

Prof. dr hab. inż. Henryk Zobel

Warszawa, dn. 5.01.2026 r.

Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
Instytut Dróg i Mostów

WPŁYNĘŁO - WBLIW

08-01-2025

22/1/2026

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Adriana Błonki

pt. „Optimization of Network Tied-Arch Bridges with Metaheuristic and Gradient-Based Algorithms”

Recenzję opracowano zgodnie z Uchwałą nr 226/20/RDND06/2024-2028 z dnia 22 października 2025 roku Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Wrocławskiej, na zlecenie Przewodniczącego prof. dr hab. inż. Wojciecha Puły – umowa z dnia 6 listopada 2025 roku.

1. Charakterystyka i tematyka pracy

Opiniowana praca doktorska składa się ośmiu rozdziałów, siedmiu załączników, streszczeń oraz wykazu literatury, norm i stron internetowych. Zestawienie zawiera w sumie 159 pozycji. Doktorant jest współautorem jednej, a drugą stanowi jego praca magisterska. Całkowita objętość rozprawy wynosi 297 stron, w tym 197 stron ma część główna. Pozostałą część stanowi 7 załączników. Dysertacja jest napisana w języku angielskim.

Rozprawa ma charakter analityczny. Dotyczy ważnego, choć o nieco niszowym charakterze zagadnienia, a mianowicie optymalizacji konstrukcji mostów łukowych ze ściągiem, z systemem wieszaków siatkowych, tzw. „network arches”.

Poszczególne rozdziały rozprawy zawierają:

- wstęp,
- motywację podjęcia tematyki,
- cel i zakres pracy,
- przedstawienie aktualnego stanu wiedzy, w tym tezy pracy,
- opis problemu nośności wybozeniowej konstrukcji łukowych,
- opis dwóch (autorskich) algorytmów optymalizacyjnych,
- przedstawienie nowego (autorskiego) układu wieszaków w moście łukowym,
- przedstawienie wytycznych dotyczących optymalnego kształtowania mostów łukowych typu siatkowego pod kątem minimalizacji kosztów,
- podsumowanie i wnioski końcowe wraz z opisem potencjalnych kierunków przyszłych badań.

2. Ocena merytoryczna pracy

Zagadnienie będące przedmiotem dysertacji jest przedmiotem analiz od kilkadziesiąt lat. Podstawowym czynnikiem niejako wymuszającym takie działania jest poszukiwanie nowych, bardziej efektywnych kosztowo i technologicznie rozwiązań konstrukcyjnych mostów. Do takich należą konstrukcje siatkowych mostów łukowych. Ten rodzaj mostów („network arches”) wymyślił i implementował w praktyce Per Tveit w latach 60-tych XX wieku. W jego rozwiązaniu wieszaki krzyżują się co najmniej dwukrotnie.

Na przestrzeni lat dokonywano niezbyt wielu analiz optymalizacyjnych różnych wariantów siatkowych mostów łukowych z punktu widzenia nośności i minimalizacji ciężaru własnego konstrukcji. Nieznane są (przynajmniej recenzentowi) opublikowane przypadki analiz uwzględniających geometrycznie nieliniowe wyoboczenie łuku w płaszczyźnie.

Przeprowadzony przez Doktoranta bardzo solidny przegląd literatury pozwolił mu nie tylko wybrać adekwatną do sytuacji metodę optymalizacji, ale również umożliwił „wyłowienie” parametrów do analizy takich, które pozwoliłyby uzyskać jak najbardziej przewidywalne i zbliżone do rzeczywistości (możliwe do zastosowań technicznych) rezultaty i jednocześnie nie były przedmiotem wcześniejszych rozważań. Są to:

- *Zmienność przekrojów poprzecznych dźwigarów łukowych, ściąggu (pomostu) i wieszaków,*
- *Zmienność strzałki (wyniesienia) łuku,*
- *Bazującą na kosztach funkcję celu ze:*
 - *zmiennymi właściwościami materiałowymi elementów konstrukcyjnych,*
 - *zmienną topologią wieszaków,*
 - *zmienną liczbą wieszaków,**w tym samym czasie.*
- *Geometrycznie nieliniowe wyoboczenie,*
- *Stateczność dźwigarów łukowych zarówno w płaszczyźnie jak i z płaszczyzny.*

Wymienione powyżej wskazania doprowadziły Doktoranta do wyboru do analizy algorytmu metaheurystycznej optymalizacji. Algorytm genetyczny został połączony z algorytmem ewolucyjnej optymalizacji konstrukcji, a sam proces optymalizacji podzielony na kroki w celu zredukowania jego złożoności (objętości).

Zatem głównym celem rozprawy było opracowanie własnego, oryginalnego algorytmu optymalizacyjnego uwzględniającego ten problem przy jednoczesnym uzyskaniu bardziej kosztowo efektywnego rozwiązania konstrukcyjnego w porównaniu do innych rodzajów mostów łukowych, a przy okazji poprawiającego zarówno właściwości statyczne jak i dynamiczne konstrukcji.

Wyniki analizy wykazały niższą nośność wyoboczeniową w porównaniu z rezultatami analizy bifurkacyjnej. Doktorant uzyskał, w stanie pokrytycznym, znaną z literatury wielookresową postać imperfekcji o charakterze sinusoidalnym, ale jego podejście do rozwiązania zagadnienia było bardziej uogólnione. Dwa jego, autorskie, algorytmy optymalizacyjne łączyły algorytm genetyczny z ewolucyjną optymalizacją konstrukcji mostu, a także z algorytmem gradientowym.

Biorąc pod uwagę charakter wdrożeniowy rozprawy Doktorant przedstawił również osiągnięcie o charakterze użytkowym tj. wytyczne dotyczące optymalnego kształtowania siatkowych mostów łukowych pod kątem minimalizacji kosztów dobierając różne rozpiętości dźwigarów i szerokość pomostu.

Główne części rozprawy tj. rozdziały 5 i 6 „zdominowały” rozważania. Świadczą nie tylko o bardzo dobrym opanowaniu przez Doktoranta kilku programów komputerowych, ale również i algorytmów stanowiących o ich jakości. Algorytmy genetyczne połączono w pętli z uproszczonym, ewolucyjnym algorytmem optymalizacji konstrukcji. Proces optymalizacji został podzielony na dwa etapy, które z kolei podzielono na fazy. Każda następna faza i etap charakteryzowały się rosnącą szczegółowością obliczeń co skutkowało stopniową redukcją liczby wieszaków. Nie osiągnięto jednak pozytywnych rezultatów, co Doktorant szczegółowo udokumentował i wyjaśnił przyczyny takiego stanu rzeczy. Były one zarówno natury konstrukcyjnej jak i „softwear-owej”, co świadczy o krytycznym podejściu Doktoranta do założonego programu badań.

W związku z powyższym Doktorant wprowadził szereg poprawek i uproszczeń korygujących nadmiernie optymistyczne podejście do obliczeń w pierwszym etapie analiz. Za najważniejsze można uznać zmianę modelu konstrukcji z przestrzennego na płaski oraz zmianę

elementów konstrukcyjnych z betonowych na stalowe. Także kombinacje obciążeń zracjonalizowano. Skoncentrowano się na optymalnym doborze rodzaju siatki i liczby wieszaków, bo te elementy najbardziej odróżniają „network arches” od innych rodzajów mostów łukowych. Takie posunięcie świadczyło o prawidłowym rozumieniu specyfiki analizowanego typu konstrukcji przez Doktoranta. Implementacja ww modyfikacji i przetestowanie ich na istniejących i eksploatowanych już mostach zaowocowała akceptowalną z praktycznego punktu widzenia redukcją kosztów.

Zdefiniowana kosztowo funkcja celu w połączeniu z możliwością skonfigurowania dowolnego układu i liczby wieszaków oraz modyfikacji geometrii, rodzajów przekrojów poprzecznych i właściwości materiałów pozwoliła uzyskać bardziej efektywne kosztowo rozwiązania konstrukcyjne „network arches” ze ściąganiem. Doktorant uzyskał także nowy układ wieszaków i nazwał go Modelem Wielowariantowej Dywergencji Kątowej (Multi – Variant Angular Divergence Model).

Założone i zrealizowane cele pokazują kompleksowe i należycie udokumentowane podejście Doktoranta do zagadnienia optymalnego kształtowania konstrukcji siatkowych mostów łukowych oraz do stworzenia racjonalnych procedur projektowych. Za bardzo cenny uważam wniosek dotyczący konieczności przeprowadzania analizy nieliniowej dźwigarów łukowych, ponieważ analiza liniowa (sprężysta) prowadzi do uzyskania odbiegających od rzeczywistości rozwiązań konstrukcyjnych.

Reasumując, Doktorant zrealizował bardzo obszerny program własnych analiz studialnych, i obliczeniowych zarówno teoretycznych jak i numerycznych np. z wykorzystaniem oprogramowania Sofistik czy algorytmu genetycznego z autorskim zastosowaniem metody „Evolutionary Structural Optimization” zapisanej w języku Python. Zarówno założenia do zbudowania jak i jakość modeli numerycznych są na wysokim poziomie. Widoczna jest biegłość w tworzeniu modeli, w stosowaniu różnych „chwytów numerycznych”, a także umiejętność wyciągania wniosków z poprzednich analiz. Innymi słowy, Doktorant wykazał duży profesjonalizm. Należy dodać, że Doktorant oprócz optymalnego osiągnięcia realizacji funkcji celu jako kryterium jakości analiz przyjął również długość trwania obliczeń, co nie zawsze jest traktowane jako kategoria ekonomiczna.

Zaprezentowany poziom merytoryczny rozprawy, a także sposób i logika wnioskowania są na bardzo dobrym poziomie. Na każdym etapie prac badawczych Doktorant prawidłowo zaplanował procedury przeprowadzania eksperymentu, przeprowadził go i wyciągnął wnioski.

W rozprawie nie stwierdzono błędów merytorycznych, a pojawiające się niekiedy nieścisłości czy wątpliwości nie wpływają ujemnie na odbiór i jakość rozprawy.

Można zatem stwierdzić, że mgr inż. Adrian Błonka wnosi oryginalny wkład w rozwój mostownictwa.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Jak to wynika z powyżej przedstawionej oceny poziom merytoryczny rozprawy doktorskiej mgr inż. Adriana Błonki jest wysoki. Tym niemniej recenzentowi nasunęły się następujące pytania i uwagi:

1. Jednym z kluczowych zagadnień w projektowaniu „network arches” jest ukształtowanie siatki wieszaków co sprowadza się do określenia niżej wymienionych parametrów takich jak:
 - *Kąt nachylenia wieszaków,*
 - *Rozstaw wieszaków i wynikający z tego rozstaw poprzecznic, a w konsekwencji charakter, wymiary i materiał konstrukcji pomostu,*
 - *Sposób mocowania wieszaków w dźwigarze łukowym, w pomoście, w ich skrzyżowaniach,*

- *Możliwość regulacji siły naciągu w wieszakach,*
- *Nośność wieszaków i powiązana z tym bezpośrednio ich średnica (przekrój poprzeczny),*
- *Gatunek stali,*
- *Możliwość zginania wieszaków.*

Z powyższym zagadnieniem jest ściśle powiązany problem określenia parametrów dźwigara (-ów) łukowego, a także pomostu tj.

- *Rodzaju materiału konstrukcyjnego łuku (betonowy, stalowy czy zespolony)*
- *Kształtu łuku,*
- *Rozpiętości,*
- *Strzałki (wyniesienia)*
- *Schematu statycznego,*
- *Kąta pochylecia względem pomostu,*
- *Rodzaju (betonowy czy ortotropowy) i charakterystyk geometrycznych przekroju poprzecznego,*
- *Stosunek sztywności łuku do sztywności pomostu,*
- *Obecności i lokalizacji stężeń poprzecznych.*

Jak widać z powyższego liczba parametrów, która mogła by być wykorzystana w procesie optymalizacji jest znacząca. Zatem jest interesująca odpowiedź na pytanie: Jakie kryteria zostały zastosowane w procesie podejmowania decyzji o uwzględnieniu bądź pominięciu w procesie optymalizacji wyżej wymienionych parametrów?

2. Wyniki analizy wybozeniowej konstrukcji łukowego mostu kolejowego w Krakowie są bardzo ciekawe w szczególności w przypadku zerwania się jednego bądź jednocześnie dwóch wieszaków. Szczególnie ważne jest stwierdzenie, że często stosowane analityczne rozwiązania nie biorą pod uwagę tego efektu. Co zatem należy zrobić, aby w sytuacji gdy przeszacowanie nośności łuków w przypadku wybozenia liniowo-sprężystego jest większe niż w przypadku wybozenia geometrycznie nieliniowego? Na marginesie, brakuje rysunku przedstawiającego dokładny przekrój poprzeczny mostu.
3. W rozdziale 7 są wymienione 54 wnioski. Są one oznaczone w zadziwiający sposób. Doktorant nie opisał we wstępie do tego rozdziału, co poszczególne oznaczenia oznaczają np. R1 do R4, O, A, a niektóre są bez żadnych oznaczeń. W niektórych przypadkach można się domyślić znaczenia takiej symboli, ale w niektórych recenzentowi nie udało się znaleźć rozsądnego wyjaśnienia. Nie odparte jest wrażenie bałaganu.
4. Jest bardzo wiele wniosków szczegółowych wymieszanych z generalnymi. Pomieszane są także wnioski o charakterze stricte „software’owym” z konstrukcyjnymi. To czyni ich analizę uciążliwą. Na pewno wskazane byłoby uporządkowanie wniosków, a także redukcja ich liczby. Trudno jest też „wyłuskać” wnioski pokazujące autorski, oryginalny dorobek od wynikających ze specyfiki poszczególnych metod czy istniejących już algorytmów.

Niewątpliwie Doktorant opanował doskonale procedury optymalizacyjne oraz analizę styczo – wytrzymałościową konstrukcji łukowych. Tymczasem w ostatnich kilkadziesiąt lat rośnie nacisk na określanie trwałości konstrukcji czego wyrazem jest upowszechnienie LCCA. W związku z tym nasuwają się następujące pytania:

- Czy znane są Doktorantowi wyniki badań zmęczeniowych konstrukcji będących przedmiotem rozprawy lub podobnych? Czy wiadomo coś na temat ich nośności zmęczeniowej i w konsekwencji trwałości? Czy optymalizując konstrukcję siatkowych mostów łukowych nie obniżymy ich trwałości?
- W dysertacji pominięto wpływ oddziaływań dynamicznych niekiedy decydujących o wyborze danego rodzaju konstrukcji do realizacji. Czy w zaproponowanych algorytmach

jest możliwość optymalizacji biorąc za kryterium częstotliwość drgań własnych czy też wzbudzonych przez odpowiednie kombinacje obciążeń? Chodzi o możliwość wygenerowania zjawiska rezonansu.

4. Ocena strony formalnej pracy

- Treść rozprawy jest zgodna z tytułem. Układ rozprawy jest logiczny i uporządkowany. Także opracowanie graficzne jest na bardzo dobrym poziomie.
- Narracja jest płynna, choć czasami zbyt rozbudowana.
- Język angielski, w którym jest napisana rozprawa, wydaje się być na dobrym poziomie na tyle na ile recenzent jest w stanie to ocenić, choć trafiają się akapity napisane zgodnie z regułami polskiej, a nie angielskiej gramatyki.
- Za bardzo cenne uważam wprowadzone przez Doktoranta skróty literowe. Szkoda, że brakuje ich tłumaczeń na język polski np. w dodatku do streszczenia w języku polskim. Są też braki w opisie symboli – np. MVADM.
- Praca jest bardzo obszerna – prawie 300 stron objętości. Zdaniem recenzenta można byłoby ją skrócić usuwając niektóre bardzo szczegółowe rozważania.

Dostrzeżone w tekście usterki redakcyjne nie obniżają poziomu merytorycznego rozprawy. Generalnie, odbiór opracowania jest dobry.

5. Wnioski końcowe

Rozwój konstrukcji mostowych jest bardzo ważnym zagadnieniem zarówno z technicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia. Doktorant przeprowadził przemyślany cykl analiz, poprzedzony oceną aktualnego stanu wiedzy, udowadniając, że zoptymalizowana konstrukcja siatkowego mostu łukowego poprawia szeroko rozumianą jakość konstrukcji mostowych.

Autor rozprawy wykazał się umiejętnością rozwiązywania zagadnień teoretycznych, korzystania z istniejących programów komputerowych i logicznym wnioskowaniem.

Opiniowana rozprawa stanowi udane rozwiązanie postawionego zadania naukowego i praktycznego.

Całość opracowania pokazuje również, że Doktorant oprócz umiejętności analizy zagadnienia wykazał także zdolność syntetyzowania wiedzy. Wyniki przedstawionych prac zostały wykorzystane do sformułowania interesujących wniosków. Wskazane zostały także obszary do dalszych badań naukowych i wdrożeniowych.

Biorąc pod uwagę przedstawione wyżej oceny stwierdzam, że przedłożona przez **mgr inż. Adriana Błonki** praca doktorska pod tytułem „**Optimization of Network Tied-Arch Bridges with Metaheuristic and Gradient-Based Algorithms**” stanowi twórczy wkład do nauki w zakresie mostownictwa i spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. z 2022 roku, poz. 574 z póź. zm.).

Mając powyższe na uwadze, stawiam wniosek o przyjęcie opiniowanej rozprawy jako spełniającej wymagania ustawowe i dopuszczenie do publicznej obrony.

Wnoszę o nadanie stopnia doktora nauk technicznych w obszarze wiedzy nauki techniczne, dziedzinie nauki techniczne, w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Stawiam również wniosek o wyróżnienie rozprawy jeśli spełnia ona wymogi uchwały Rady Dyscypliny ILGiT Politechniki Wrocławskiej z dnia 19 października 2022 roku nr 220/31/RDND06/2021-2024

