

Prof. dr hab. inż. **Tomasz SIWOWSKI**
Politechnika Rzeszowska
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Katedra Dróg i Mostów
35-959 Rzeszów, ul. Poznańska 2
e-mail: siwowski@prz.edu.pl

Rzeszów, 31.01.2026 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Adriana Błonki

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

1. PRZEDMIOT I PODSTAWA FORMALNA RECENZJI

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Adriana Błonki pt. „*Optimization of Network Tied-Arch Bridges with Metaheuristic and Gradient-Based Algorithms*”, przygotowana na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej. Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Wojciech Glabisz, promotorem pomocniczym jest dr inż. Ryszard Hołubowski.

Recenzję wykonałem na podstawie następujących dokumentów formalnych:

- [1] Zawiadomienie Prorektora PWr prof. Piotra Młynarza z dnia 24.10.2025 r. o wyznaczeniu na Recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora.
- [2] Pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej *Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport* PWr prof. dr. hab. inż. Wojciecha Puły z dnia 27.10.2025 r.
- [3] Rozprawa doktorska mgr inż. Adriana Błonki pt. „*Optimization of Network Tied-Arch Bridges with Metaheuristic and Gradient-Based Algorithms*”, Raport serii PRE nr7/2025, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Wrocław, wrzesień 2025 r. (maszynopis + plik on-line).
- [4] Raport z badania antyplagiatowego, JSA, Politechnika Wrocławska, 20.10.2025 r.
- [5] Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668, tekst ujednolicony z 2025 r.).
- [6] Recenzje w postępowaniach o awans naukowy. Poradnik. Rada Doskonałości Naukowej, Warszawa, 2022 r.

Zgodnie z art.187 ust.1 i 2 ustawy [5] oraz poradnikiem RDN [6] niniejsza recenzja zawiera w szczególności następujące oceny:

- a) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska prezentuje **ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata** w dyscyplinie „*inżynieria lądowa, geodezja i transport*”;
- b) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje **umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej** przez Kandydata;
- c) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska stanowi **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**.

W uzupełnieniu ocen sporządzanych wg wymagań ustawowych [5], [6], w recenzji przedstawiłem także **ocenę merytoryczną rozprawy** oraz oceniłem **możliwość praktycznego zastosowania** jej wyników.

2. CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA ROZPRAWY

Przedmiotem rozprawy doktorskiej Kandydata [3] jest **grupa nowoczesnych mostów łukowych** z jezdnią dolną oraz ze ściągami, która ze względu na specyficzny układ wieszaków podwieszających pomost do dźwigarów łukowych nazywana jest „*network arch bridges*” (NAB), co można tłumaczyć jako „*mosty łukowe sieciowe*”. Specyficzny, ukośny układ wieszaków, w którym każdy wieszak przecina się z sąsiednimi minimum 2 razy, pozwala – w porównaniu do rozwiązań konwencjonalnych (tj. układów Langera, Nielsena, czy wachlarzowego) - na optymalizację zużycia głównych materiałów konstrukcyjnych oraz minimalizację bezpośrednich kosztów budowy mostu. Głównie z tych względów ten rodzaj mostów łukowych jest coraz częściej stosowany do budowy obiektów mostowych o średniej rozpiętości (ok. 70 do 200 m) zarówno w ciągu dróg publicznych jak również linii kolejowych.

Pomimo dość dobrze znanych zasad kształtowania i metod projektowania mostów NAB Kandydat w rozprawie zajął się **problematyką optymalizacji konstrukcyjnej** tego typu mostów, przyjmując jako funkcję celu koszt budowy mostu. Procedura autorska jest oparta na indywidualnie zaprojektowanym algorytmie optymalizacyjnym, bazującym na metaheurystycznych i genetycznych algorytmach AI (ESO i GA). Bazując na współczesnych narzędziach AI Kandydat stworzył własny algorytm optymalizacyjny i za jego pomocą przeprowadził liczne symulacje wybranej populacji mostów NAB. Wykorzystując własną procedurę optymalizacyjną, na podstawie wielu symulacji Kandydat sformułował ogólne zasady kształtowania mostów NAB, a także zaproponował **autorski, oryginalny i optymalny pod względem kosztu budowy układ wieszaków** (oznaczony w pracy jako MVADM - *Multi-Variant Angular Divergence Model*). W rozprawie Kandydat wykazał, że dzięki zastosowaniu autorskiego algorytmu optymalizacyjnego jest możliwa **redukcja całkowitych kosztów budowy mostu NAB o ok. 25%** w stosunku do mostów zaprojektowanych konwencjonalnie.

Podstawowa treść rozprawy liczy 298 stron, podzielonych na 8 rozdziałów. Rozprawa zawiera także wykaz stosowanych oznaczeń, spis piśmiennictwa (w tym norm i stron www) oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Zgodnie z art.187 ust.3 ustawy [5] rozprawa ma charakter **monografii naukowej**, obejmującej:

- a) wstęp, zawierający wprowadzenie, motywację, cel i zakres rozprawy (rozdział 2);
- b) obszerny przegląd stanu wiedzy (rozdziały 3 i 4);
- c) opis wstępnego algorytmu optymalizacyjnego (rozdział 5);
- d) opis finalnego algorytmu optymalizacyjnego, wraz z testami i sprawdzeniem jego efektywności (rozdział 6);
- e) symulacje z wykorzystaniem algorytmu (rozdział 6.5);
- f) wnioski końcowe (rozdział 7);
- g) kierunki dalszych badań (rozdział 8).

Integralną częścią rozprawy jest 7 załączników (ponad 90 stron), obejmujących głównie wyniki symulacji i porównań prowadzonych przez Kandydata za pomocą autorskich algorytmów optymalizacyjnych.

3. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

3.1. Geneza i zasadność podjęcia tematu

Mosty typu "*network arch bridges*" (dalej: NAB) są bardzo efektywnym rozwiązaniem konstrukcyjnym dzięki dużej sztywności i nośności przęseł oraz smukłej, lekkiej i estetycznej konstrukcji. Gęsta siatka napiętych, ukośnych wieszaków tworzy sztywną tarczę, która zabezpiecza dźwigary łukowe przed utratą stateczności w płaszczyźnie. Umożliwia to znaczące oszczędności materiałowe zarówno w stalowych dźwigarach łukowych jak również w betonowym (zazwyczaj) pomoście, pełniącym rolę ściągu. Dlatego poprawnie zaprojektowany most NAB może być od 35% do 45% tańszy w przeliczeniu na 1 m² powierzchni użytkowej w porównaniu do klasycznego mostu łukowego z pionowymi wieszakami. Lekkość i sztywność konstrukcji NAB pozwala także na jej tani i szybki montaż, co znacząco obniża także koszty budowy. Ponadto mosty NAB są uważane za jedno z najbardziej smukłych i estetycznych mostów łukowych i są idealne do zastosowań w miastach. Podsumowując, mosty typu "*network arch*" to nowoczesne i eleganckie konstrukcje, łączące wysoką sztywność i nośność z lekkością i estetyką, i są szczególnie efektywne przy średnich rozpiętościach i dużych obciążeniach, jak np. w przypadku mostów kolejowych. Ww. zalety w połączeniu z stosunkowo niskimi kosztami budowy tych mostów stanowią o ich stosunkowo dużej popularności, także w Polsce.

Ze względu na złożoność konstrukcyjną, optymalne pod względem kosztu **mosty NAB wymagają specjalnego podejścia do ich kształtowania i projektowania**. Główne parametry konstrukcyjne mostów NAB, jak geometria łuku, układ i liczba wieszaków, przekroje poprzeczne łuków, ściągu i wieszaków, a także własności materiałowe, są projektowane z użyciem procedur optymalizacyjnych. Dotychczas stosowane procedury optymalizacyjne opierały się na podejściu iteracyjnym dla konstrukcji o zdefiniowanej geometrii i własnościach materiału, lub na podejściu metaheurystycznym, m.in. za pomocą algorytmów genetycznych. Jednakże każda z dotychczas stosowanych procedur optymalizacyjnych miała swoje ograniczenia, najczęściej polegające na koniecznej redukcji liczby parametrów zmiennych lub na braku uwzględnienia parametrów mogących mieć wpływ na rozwiązanie końcowe. Także funkcje celu w dotychczas stosowanych procedurach optymalizacyjnych rzadko były zorientowane na redukcję całkowitego kosztu budowy mostu. Ww. **ograniczenia dotychczas stosowanych procedur optymalnego kształtowania mostów NAB** były dla Kandydata **główną motywacją** do zajęcia się tym problemem w rozprawie doktorskiej.

Kandydat podjął się próby zbudowania własnego, **uogólnionego algorytmu optymalizacyjnego**, uwzględniającego **jednocześnie** wszystkie główne parametry zmienne konstrukcji NAB, tj. geometrię przęsła (długość, szerokość) i łuku, liczbę i układ wieszaków, przekroje porzeczne głównych elementów (łuk, wieszaki, ściągi), właściwości materiałowe. Dodatkowo algorytm pozwalał na uwzględnienie w analizie SGN nieliniowości geometrycznej łuków w płaszczyźnie. Dzięki tym założeniom Kandydat zakładał, że w wyniku zastosowania algorytmu powstanie konstrukcja NAB optymalna pod względem zużycia materiału. Główną funkcją celu autorskiego algorytmu optymalizacyjnego jest **minimalizacja kosztu budowy**, uwzględniająca koszt głównych materiałów i robót. Ważną motywacją Kandydata było także stworzenie algorytmu dostępnego dla dużej grupy potencjalnych użytkowników, przez zastąpienie skomplikowanej optymalizacji iteracyjnej MES za pomocą bardziej dostępnego (zdaniem Kandydata) oprogramowania AI, umożliwiającego lepszą kontrolę całego procesu optymalizacyjnego przez jego wykonawcę.

Motywacje przedstawiona przez Kandydata, aczkolwiek na pierwszy rzut oka uzasadnione, budzą jednak **następujące wątpliwości** recenzenta:

- a) dobrze zaprojektowane przęsła mostów NAB uchodzą w swojej klasie za konstrukcje optymalne pod względem zużycia materiałów (stal konstrukcyjna, stal sprężająca, beton) i przez to lekkie, co powoduje, że jednostkowy koszt ich budowy (materiał + technologia montażu) jest stosunkowo niski; poszukiwanie dalszych „oszczędności” poprzez redukcję zużycia głównych materiałów może prowadzić do uzyskania konstrukcji trochę tańszej, lecz o niskiej trwałości (zmęczenie), użyteczności (drgania) i odporności na obciążenia eksploatacyjne i środowiskowe (wiatr, temperatura, obciążenia poziome); może to także generować nadmierne koszty utrzymania tak zoptymalizowanych mostów NAB;
- b) założenie o uwzględnieniu maksymalnej liczby parametrów w procedurze optymalizacyjnej rzadko przynosi satysfakcjonujące i korzystne rozwiązania (np. racjonalny czas obliczeń); przy tworzeniu takich procedur redukuje się wstępnie liczbę parametrów na podstawie chociażby doświadczenia (studiów literaturowych), prowadzącego do eliminacji parametrów nie mających wpływu na wynik (tutaj: koszt);
- c) w zagadnieniach optymalizacyjnych w projektowaniu mostów współcześnie funkcją celu nie jest bezpośredni koszt budowy, lecz koszt liczony w cyklu życia (LCC – *life cycle cost*) a także obciążenie środowiskowe generowane przez konstrukcje w cyklu życia (LCA – *life cycle assessment*);
- d) założenie o lepszej znajomości przez projektantów mostowych procedur optymalizacyjnych AI, wykorzystujących podejście metaheurystyczne i algorytmy genetyczne, od podejścia iteracyjnego za pomocą MES, nie jest (jeszcze?) prawdziwe; nowe narzędzia nie dają (na razie?) wartości dodanej w projektowaniu tak skomplikowanych konstrukcji jak mosty NAB, ani poprzez redukcję czasu (kosztów) projektowania, ani poprzez redukcję całkowitego kosztu budowy zaprojektowanego mostu.

Na tym tle badania naukowe będące przedmiotem rozprawy doktorskiej Kandydata, chociaż dobrze wpisują się w trendy naukowe współczesnej inżynierii lądowej (optymalizacja, algorytmy AI, nowoczesna konstrukcja NAB itp.), nie do końca realizują jej potrzeby rynkowe, pomimo przedstawionej motywacji autora. Tym niemniej podjęcie przez Kandydata badań nad procedurami optymalizacyjnymi do projektowania mostów, bazującymi na podejściu metaheurystycznym i algorytmach genetycznych **uwzględniłam za ważne, uzasadnione i mające bez wątpienia duże znaczenie w niedalekiej przyszłości**. Tworzenie narzędzi informatycznych, bazujących na AI, do optymalizacji w projektowaniu mostów jest bardzo pożądanym kierunkiem rozwoju inżynierii lądowej.

3.2. Cele, rezultaty i działania rozprawy

W rozprawie doktorskiej Kandydat powinien rozwiązać problem naukowy, realizując postawiony cel (cele) i/lub udowadniając sformułowaną tezę (tezy) metodami naukowymi. W recenzowanej rozprawie Kandydat nie sprecyzował problemu naukowego, lecz sformułował **jeden cel rozprawy** (O), który pozwolił na osiągnięcie **czterech szczegółowych rezultatów** (R1-R4) i podjęcie **jednego specyficznego działania** (A). Jest to dość nietypowe określenie efektów rozprawy doktorskiej, nie wpływające jednak negatywnie na jej wartość naukową. Stopień realizacji celów rozprawy i opis jej rezultatów zostały omówione przez Kandydata we wnioskach końcowych rozprawy (rozdział 7).

Głównym celem rozprawy (O) było opracowanie **autorskiego algorytmu optymalizacyjnego** (narzędzia informatycznego) **bazującego na algorytmach AI**, który umożliwiłby skuteczną optymalizację (tutaj: maksymalną redukcję kosztów budowy) **mostów**

NAB w stosunku do wielkości uzyskiwanych z użyciem konwencjonalnych metod projektowania.

Wśród szczegółowych rezultatów rozprawy (celów szczegółowych?) Kandydat wskazał:

- a) optymalizację liczby i układu wieszaków, uwzględniającą wybrane parametry konstrukcji, prowadzącą do redukcji kosztów budowy;
- b) w konstrukcjach zoptymalizowanych jw. dopasowanie (zmianę?) układu wieszaków w strefach końcowych przęsła NAB;
- c) uwzględnienie w procedurze optymalizacyjnej nieliniowości geometrycznej łuku w płaszczyźnie;
- d) zoptymalizowany konstrukcyjnie i kosztowo finalny układ wieszaków w mostach NAB.

Oprócz osiągnięcia ww. rezultatów Kandydat zrealizował także jedno działanie, polegające na opracowaniu wytycznych (reguł), pozwalających na wyznaczenie kosztów, ciężaru i własności geometrycznych zoptymalizowanych mostów NAB.

Taki opis głównych efektów rozprawy **jest niezrozumiały**. Podział na cel, rezultaty i działania jest sztuczny, a poszczególne efekty powielają się i nakładają wzajemnie. Trudna jest także identyfikacja realizacji poszczególnych rezultatów i działań w rozprawie, czego dowodem jest kilkadziesiąt szczegółowych wniosków końcowych, zawartych w rozdziale 7. W tej sytuacji do oceny pozostaje stopień realizacji głównego celu rozprawy, gdyż taka ocena siłą rzeczy musi zawierać także ocenę rezultatów pracy naukowej i działań podjętych przez Kandydata w jej ramach.

Niezależnie od braku tezy rozprawy i nietypowego opisu jej celów, **cel zasadniczy ma uzasadnienie naukowe**, a także **jest istotny i ważny** z punktu widzenia praktycznego wdrożenia algorytmów metaheurystycznych w projektowaniu mostów. Cel główny opisuje także pośrednio problem naukowy (nie sprecyzowany w rozprawie), który Kandydat rozwiązał w rozprawie metodami naukowymi.

3.3. Przegląd stanu wiedzy

Przegląd stanu wiedzy nt. mostów NAB jest obszerny. Rozdział 3 zawiera w pierwszej kolejności przegląd algorytmów i metod optymalizacyjnych (załącznik A). Kolejno rozdział zawiera przegląd istniejących mostów NAB oraz stosowanych dotychczas metod ich kształtowania / projektowania. Ta ostatnia część była podstawą do wniosków, które stanowiły motywację Kandydata i pozwoliły mu na sformułowanie celu rozprawy. Wnioski wyciągnięte z przeglądu stanu wiedzy **praktycznie w całości potwierdzają zasadność przyjętych przez Kandydata kierunków badań własnych**, a w szczególności:

- a) metaheurystyczne metody optymalizacji są znacznie lepsze od stosowanych współcześnie metod konwencjonalnych, opartych na iteracji za pomocą MES;
- b) przewaga jw. jest widoczna w szczególności w przypadku funkcji celu związanej z redukcją masy i/lub kosztów;
- c) wiele ważnych (wg Kandydata) parametrów nie było dotychczas uwzględnianych w procedurach optymalizacyjnych mostów NAB;
- d) niestateczność konstrukcji łuku w płaszczyźnie i jej nieliniowość geometryczna nie były dotychczas uwzględniane w procedurach optymalizacyjnych.

Wnioski te zostały wiarygodnie i prawidłowo udokumentowane w rozprawie (poprzez cytowania), więc należy przyjąć, że sformułowany na ich podstawie cel badawczy jest uzasadniony, a **jego realizacja uzupełni brakującą wiedzę w przedmiocie rozprawy**. Przegląd stanu wiedzy uzasadnia zatem **prawidłowy wybór problemu naukowego** przez Kandydata.

3.4. Budowa i testowanie własnych algorytmów optymalizacyjnych

3.4.1. Analiza stateczności w płaszczyźnie z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznej

Własne autorskie badania naukowe Kandydat rozpoczął od analizy stateczności w płaszczyźnie łuku NAB z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznej. W rozdziale 4 Kandydat przedstawił różne podejścia do problemu niestateczności łuku w płaszczyźnie (Eurokody, piśmiennictwo), wykonał testy numeryczne uproszczonych przypadków pod kątem oceny poprawności obliczeń MES, a także wykonał test dla rzeczywistego mostu NAB (Kraków), uwzględniając zmianę niektórych parametrów. Wyniki testów uwzględniających nieliniowość geometryczną Kandydat porównał z wynikami uzyskanymi za pomocą uproszczonych podejść z literatury (LTB), w tym za pomocą liniowo – sprężystej analizy bifurkacji. Na podstawie przeprowadzonych testów numerycznych Kandydat wyciągnął liczne wnioski, z których najważniejszy dotyczy konieczności uwzględnienia nieliniowości geometrycznej w analizie stateczności w płaszczyźnie łuków NAB. Bez tego bowiem nośność łuków NAB jest znacząco przeszacowana. Stąd wynika zdaniem Kandydata **konieczność uwzględnienia w algorytmie optymalizacyjnym nieliniowości geometrycznej w płaszczyźnie łuku** przy sprawdzaniu jego SGN.

Generalny wniosek z analizy jest dość oczywisty i powszechnie znany projektantom tego typu mostów. Jak sam Kandydat wykazał w przeglądzie piśmiennictwa, problem ten nie był dotychczas uwzględniany w analizach optymalizacyjnych gdyż uznaje się, że **nie ma on zasadniczego wpływu (tzn. większego niż inne zmienne) w optymalizacji masy / kosztów budowy łuków NAB**. Dotyczy to jednak typowych mostów NAB z gęstą siatką wieszaków (patrz komentarz w p.3.1). Analiza wykonana przez Kandydata dostarcza jednak ważnych wniosków jakościowych i ilościowych, których uwzględnienie w projektowaniu na pewno może zwiększyć niezawodność i bezpieczeństwo mostów NAB.

3.4.2. Pierwszy autorski algorytm optymalizacyjny

Kolejny rozdział rozprawy (5) opisuje pierwsze podejście do budowy autorskiego algorytmu optymalizacyjnego oraz wyniki testów, wykonanych przy jego użyciu. Kandydat stworzył własną procedurę optymalizacyjną na bazie dwóch algorytmów: heurystycznego, tj. Ewolucyjnej Optymalizacji Strukturalnej (ESO) oraz genetycznego (GA). Wykorzystał w tym celu zestaw dedykowanego oprogramowania: Sofistik / Grasshopper / Phytion. Funkcją celu był koszt konstrukcji NAB, a parametrami zmiennymi były: geometria łuku (strzałka i przekrój), układ, geometria i siła naciągu wieszaków oraz własności materiałowe obu ww. elementów konstrukcji. Pozostałe parametry mostu i obciążeń, a także kryteria projektowe (SGN, SGU) i koszty zostały przyjęte jako stałe. W analizie SGN uwzględniono nieliniowość geometryczną łuku w płaszczyźnie, wykonując analizy GNA i GNIA.

Po wykonaniu wielu kilkietapowych i czasochłonnych obliczeń z wykorzystaniem własnej procedury Kandydat **nie uzyskał satysfakcjonującego rozwiązania**, głównie ze względu na zbyt dużą czasochłonność poszczególnych symulacji. Powody były następujące: zbyt rozbudowany model konstrukcji (3D), zbyt ogólna i przez to zbyt czasochłonna metoda analizy (GNIA), źle dobrany wstępny przekrój wieszaków, zbyt wiele przypadków ustawienia obciążeń ruchomych, ograniczenia solvera Galapagos w programie Grasshopper 3D, czasochłonne obliczenia betonowego ściągu sprężonego w poszczególnych układach wieszaków, dwuetapowość obliczeń (GA i ESO) oraz brak zbieżności wyników obliczeń GA w pierwszym

etapie. To **zbyt dużo wad i ograniczeń**, ażeby efekt pracy naukowej Kandydata (procedura optymalizacyjna) uznać za satysfakcjonującą.

Kandydat ma jednak świadomość własnego niepowodzenia. Nie ukrywa go, lecz celowo omawia wady i ograniczenia wstępnego algorytmu, który stworzył bardzo dużym nakładem pracy. Ucząc się na własnych błędach pokazuje, jak wyciągając z nich wnioski można jednak osiągnąć główny cel. Sprawą otwarta pozostaje pytanie, czy znając z doświadczenia metody projektowania mostów NAB, **można było uniknąć chociażby niektórych wad i ograniczeń** wstępnego algorytmu i tym samym ograniczyć nieefektywne badania własne nad jego stworzeniem. Biorąc pod uwagę cel pracy i funkcję celu przedmiotowego algorytmu optymalizacyjnego, moim zdaniem z góry można było uprościć zagadnienie, np. przez redukcję przypadków obciążenia, właściwe przyjęcie materiału i przekroju wieszaków, startowe przyjęcie konwencjonalnego układu „*network arch*” czy jednoetapowość optymalizacji (tylko GA).

3.4.3. Finalny autorski algorytm optymalizacyjny

W finalnym algorytmie optymalizacyjnym Kandydat przyjął **wiele uproszczeń początkowych**, a następnie – na podstawie wykonanych testów – wprowadził **kolejne modyfikacje i usprawnienia** finalnego algorytmu. Wśród przyjętych uproszczeń były m.in.: model mostu 2D, kołowy przekrój łuków, ścią stalowy zamiast betonowego, brak wzmocnionych węzłowi, uproszczony model obciążeń ruchomych (tylko UDL w dwóch ustawieniach) oraz uproszczony współczynnik wybočeníowy w SGN. Wprowadzone po testach kolejne modyfikacje i uproszczenia gotowego algorytmu **miały na celu redukcję czasu obliczeń** i obejmowały zarówno model mostu jak i sam algorytm. Wprowadzone modyfikacje to m.in.: wieszaki ze stali sprężającej zamiast zwykłej, „startowy” układ wieszaków „*network*” (wykluczenie wieszaków pionowych i układu Nielsena), wykluczenie niektórych sił wewnętrznych z analizy (m.in. w ściągu i węzłowiach), przyjęcie 2-etapowej funkcji celu oraz ograniczeń w liczbie iteracji optymalizacyjnych.

Efektywność i poprawność działania autorskiego algorytmu optymalizacyjnego (po uproszczeniach i modyfikacjach) Kandydat sprawdził wykonując **obliczenia porównawcze na przykładzie trzech rzeczywistych mostów NAB**. Geometria oraz rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe tych mostów i ich obciążeń zostały dostosowane (tzn. znacząco uproszczone) do ograniczeń autorskiego algorytmu optymalizacyjnego. Zastosowanie algorytmu optymalizacyjnego z dwiema różnymi funkcjami celu miało wskazać zoptymalizowany (w stosunku do rzeczywistego rozwiązania) układ wieszaków. Znalezione nowe układy wieszaków dla testowanych mostów dawały **ok. 25 % oszczędności kosztów**, co było związane głównie z mniejszą liczbą wieszaków (rzadszy układ), lepszym wykorzystaniem nośności elementów stalowych (łuk, ścią, wieszaki) oraz większą sztywnością przęsła (mniejsze ugięcie). Tym samym Kandydat wykazał, że stworzony przez niego algorytm optymalizacyjny pozwala skutecznie znajdować najlepszy układ wieszaków w mostach NAB, generujący najmniejsze koszty mostu.

Pomimo weryfikacji algorytmu, wykazującej efektywność jego działania, przyjęte w wyniku badań wstępnych oraz testów i symulacji modyfikacje i uproszczenia skłaniają recenzenta do postawienia pytań nt. pewnych **wątpliwości** w stosunku do poprawności stworzonego narzędzia do optymalizacji mostów NAB:

- a) zasadność przyjęcia kilku kluczowych parametrów stałych w algorytmie:

- a. krzywizna łuku – przyjęto nieefektywny łuk kołowy; algorytm nie uwzględnia tzw. linii ciśnień, która jest podstawą właściwego kształtowania łuków;
 - b. obciążenie – zmodyfikowano niekorzystnie składnik TS z modelu LM-1, który ma duży wpływ na SGN wieszaków;
 - c. kryteria SGU – brak sprawdzenia drgań; NAB to bardzo lekkie konstrukcje (szczególnie ze ściągiem ze stali); możliwość rezonansu (szczególnie na kolei);
 - d. cena stali – stal sprężająca na wieszaki jest zdecydowanie droższa od ceny stali konstrukcyjnej, którą przyjęto w algorytmie;
- b) wyniki optymalizacji dla mostów ze ściągiem sprężonym będą inne, gdyż wykorzystanie nośności elementów stalowych i betonowych ma miejsce przy różnych obciążeniach i układach wieszaków;
 - c) ściągi z betonu jest zdecydowanie tańszy od ściągu stalowego; optymalizacja z przyjętą funkcją celu może dać inny wynik;
 - d) zamiana tańszego i przez to powszechnie stosowanego ściągu z betonu sprężonego na droższy ściągiem stalowy zmniejsza aplikacyjność algorytmu;
 - e) typowe stany montażowe przęsła NAB (nasuwanie, montaż dźwigami) wymagają dużej sztywności całego przęsła (tzw. bryły sztywnej); gęsty układ wieszaków zapewnia wymaganą sztywność; optymalizacja prowadząca do rzadszego układu wieszaków może nie zagwarantować odpowiedniej stateczności ogólnej przęsła przy montażu;
 - f) model 2D uniemożliwia ocenę wybożenia łuków z płaszczyzny i ocenę stateczności ogólnej, przez co nie mogą być wzięte pod uwagę w projektowaniu np. stany montażowe jw.

Ww. wątpliwości moim zdaniem **stawiają pod znakiem zapytania** możliwość wiarygodnej optymalizacji mostów NAB za pomocą autorskiego algorytmu.

3.5. Symulacje z wykorzystaniem finalnego algorytmu optymalizacyjnego

Opracowany algorytm optymalizacyjny Kandydat wykorzystał do symulacji wybranej populacji obiektów NAB w zakresie rozpiętości od 100 do 250 m oraz szerokości użytkowej od 3,0 do 12,0 m. Celem symulacji było wyznaczenie zależności wybranych parametrów mostów NAB od długości/szerokości przęseł przy zachowaniu wybranej wcześniej funkcji celu. Kolejno Kandydat wyznaczył takie zależności dla: masy, ceny, ciężaru na 1m^2 pomostu, wielu szczegółowych wymiarów i parametrów konstrukcji stalowej (χ_{ip} , I_y , A , D , f_y , H/L , itp.) a także liczby, kąta nachylenia, punktu skrzyżowania oraz miejsc zakotwienia wieszaków, czyli układu wieszaków. W szczególności symulacje dotyczące układu wieszaków pozwoliły Kandydatowi na znalezienie **optymalnego układu wieszaków** (nazwanego **MVADM - Multi-Variant Angular Divergence Model**) (rys.6.67) i porównanie go z układami konwencjonalnymi (CARSM, CSM i V-CSM). Porównanie wykazało, że przy gęstym układzie wieszaków nowy układ jest porównywalny z układem konwencjonalnym CARSM, lecz przy rzadszym układzie ma on pewne przewagi, których ilościowa kwantyfikacja wymaga jednak dalszych badań.

Wyniki symulacji przeprowadzonych przez Kandydata pozwoliły na opracowanie wielu zaleceń i narzędzi (np. wzorów, wykresów, nomogramów), pozwalających na **lepsze (tzn. optymalne pod względem kosztu całkowitego) wstępne kształtowanie mostów NAB**, a w szczególności układu ich wieszaków. I chociaż wstępne porównania potwierdziły możliwość redukcji kosztu przy wykorzystaniu ww. narzędzi, stwierdzone niepewności w budowie i działaniu algorytmu optymalizacyjnego oraz liczne problemy pozostałe do rozwiązania w dalszych badaniach, **nie dają zdaniem recenzenta wyraźnej przewagi nad stosowanymi obecnie i ugruntowanymi doświadczeniem konwencjonalnymi metodami projektowania mostów NAB.**

3.6. Podsumowanie rozprawy

Podsumowanie rozprawy zawiera **zestawienie głównych wniosków**, sformułowanych przez Kandydata na podstawie własnych prac badawczych (rozdział 7), oraz sugerowane przez Kandydata kierunki dalszych badań (rozdział 8). W podsumowaniu Kandydat odniósł się bezpośrednio do celu (O) i rezultatów (R1-R4) rozprawy, a poszczególne wnioski końcowe (jest ich **w sumie aż 54 !!!**) zawierają informacje potwierdzające realizację celu i osiągnięcie rezultatów.

Wnioski z rozprawy są przedstawione nieprawidłowo. Kandydat (często po raz drugi) formułuje wnioski z poszczególnych rozdziałów rozprawy, podając w nich wiele szczegółowych ustaleń (np. liczbowych), związanych z poszczególnymi jej etapami. Brakuje natomiast generalnych podsumowań, oceniających całość wykonanych prac naukowych, stopień realizacji głównego celu rozprawy, ich ostateczny rezultat (autorski algorytm) oraz jego krytyczną ocenę (zalety, ograniczenia). Wprawdzie końcowa część wniosków (oznaczone jako (A)) może stanowić obiecane we wstępie **wytyczne do projektowania**, ale powinny one stanowić odrębny, merytoryczny rozdział rozprawy, a nie jej podsumowanie.

Niezależnie od krytyki układu i zawartości wniosków należy jednak stwierdzić, że **stopień realizacji celu rozprawy jest dobry**. Kandydat opracował wysłany algorytm optymalizacyjny, w satysfakcjonujący sposób go zweryfikował i wykorzystał do symulacji projektowych szerokiej populacji mostów NAB. Także poszczególne rezultaty pracy zostały wykonane prawidłowo i wnoszą nową, niekiedy detaliczną wiedzę do problematyki kształtowania mostów NAB. Całość prac naukowych Kandydat wykonał z wykorzystaniem algorytmów metaheurystycznych i współczesnych narzędzi informatycznych, umożliwiających ich implementację w zagadnieniach technicznych. Większość wykorzystanych algorytmów było stworzone przez Kandydata, co potwierdza jego umiejętności i wiedzę nie tylko w dyscyplinie naukowej, którą reprezentuje.

Mając świadomość ograniczeń własnych wniosków, Kandydat **sprecyzował kierunki dalszych badań** w przedmiocie rozprawy. Dotyczą one głównie kolejnych modyfikacji autorskiego algorytmu optymalizacyjnego oraz dalszych badań nad układem MVADM, a także konieczności wyjaśnienia kilku wątpliwości wskazanych przez Kandydata i recenzenta. Kierunki te wydają się słuszne w świetle wniosków z rozprawy. Dziwić jednak może brak propozycji skwantyfikowania wyników badań własnych w postaci profesjonalnych wytycznych do projektowania mostów NAB, co umożliwiłoby praktyczne zastosowania wyników rozprawy. Bez tego **praktyczne znaczenie** przeprowadzonych oraz dalszych badań w przedmiocie rozprawy będzie niewielkie.

4. UWAGI KRYTYCZNE I Dyskusyjne

Poniżej przedstawiłem zbiorczo **uwagi krytyczne i dyskusyjne oraz wątpliwości i pytania**, które sformułowałem po analizie rozprawy i jej ocenie merytorycznej, przedstawionej w p.3 (kolejność zgodna z tekstem rozprawy).

4.1. W p.3.1, s.4 recenzji przedstawiłem moje **wątpliwości odnośnie motywacji** Kandydata do podjęcia przedmiotowej tematyki rozprawy. Proszę Kandydata o odniesienie się do nich.

4.2. Jednym z konwencjonalnych założeń projektowania mostów NAB jest przyjęcie układu i siły naciągu wieszaków w taki sposób, aby sztywno podeprzeć łuk w płaszczyźnie i

zabezpieczyć go przed utratą stateczności lokalnej. Ponadto odpowiedni naciąg wieszaków zabezpiecza je przed zjawiskiem „wyłączenia”, które prowadzi do redukcji podparcia łuku, zwiększając jego długości wybojeniowe i narażając na wyboczenie. Czy przy takim założeniu projektowym jest konieczne uwzględnianie nieliniowości geometrycznej łuku w płaszczyźnie w algorytmie optymalizacyjnym?

4.3. W p.3.4.3, s.7 recenzji przedstawiłem kilka wątpliwości w stosunku do **poprawności stworzonego narzędzia (algorytmu) do optymalizacji mostów NAB**. Proszę Kandydata o odniesienie się do nich.

4.4. Na ile uproszczenia przyjęte w finalnym algorytmie optymalizacyjnym (p.6.1 rozprawy) wpływają na **końcową wartość poziomu redukcji kosztów**, uzyskaną w wyniku zastosowania algorytmu optymalizacyjnego (ok. 25%)?

4.5. Na czym polega **główna korzyść dla projektanta** ze stosowania algorytmu optymalizacyjnego w stosunku do konwencjonalnych metod projektowania mostów NAB (oszczędność kosztów budowy to nie jest korzyść projektanta)?

5. OCENA STRONY FORMALNEJ I REDAKCJI ROZPRAWY

Układ rozprawy jest zasadniczo poprawny zarówno od strony formalnej, jak również merytorycznej. Uwagi dotyczące redakcji wniosków końcowych i konieczności wydzielenia odrębnych rozdziałów (symulacje, wytyczne) podałem powyżej. Redakcja tekstu rozprawy jest właściwa, na dobrym poziomie, bez większych błędów formalnych i edytorskich. Język rozprawy jest poprawny technicznie, spójny, lecz jednocześnie bardzo zwarty, naszpikowany indywidualnymi pojęciami technicznymi, skrótami i nietypowym żargonem z zakresu AI. Tak napisaną rozprawę trudno się czyta, a zrozumienie intencji autora wymaga czasami głębokich i powtórnych studiów nad tekstem. Ponadto część ważnego tekstu rozprawy jest w załącznikach (jest ich aż 7), co dodatkowo utrudnia jej percepcję i zrozumienie. Kandydat włożył w rozprawę całą swoją bardzo obszerną pracę naukową nad mostami NAB, co doprowadziło do przerostu treści nad meritum rozprawy. Lepsza selekcja treści przedstawionych w rozprawie oraz usunięcie z niej niektórych zagadnień nie wpłynęłoby zdaniem recenzenta na jej wartość merytoryczną i naukową, a znacznie poprawiłoby jej percepcję i odbiór środowiskowy.

6. OCENA SPEŁNIENIA PRZEZ ROZPRAWĘ DOKTORSKĄ WARUNKÓW OKREŚLONYCH W ART.187 UST.1 I 2 USTAWY [5]

6.1. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej Kandydata w dyscyplinie „inżynieria lądowa, geodezja i transport”

Analiza treści rozprawy pozwala uznać ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie „inżynieria lądowa, geodezja i transport” jako **wystarczającą i satysfakcjonującą w świetle wymagań ustawowych**. Kandydat wykazał się dobrą teoretyczną wiedzą ogólną w zakresie mechaniki obiektów mostowych, w szczególności mostów typu NAB, zasad kształtowania mostów łukowych, obciążalności mostów, stanów granicznych konstrukcji stalowych (SGN, SGU), a w szczególności zagadnień związanych z niestatecznością łuków oraz nieliniowością geometryczną konstrukcji. Głównym obszarem wiedzy teoretycznej Kandydata jest **znajomość metod i algorytmów optymalizacyjnych**, mających zastosowanie w inżynierii lądowej (załącznik A), a także umiejętność ich praktycznego wykorzystania za pomocą współczesnych narzędzi informatycznych, wspomagających kształtowanie i

projektowanie konstrukcji. Tworzenie i wykorzystanie niestandardowych narzędzi informatycznych w języku Python dla zagadnień optymalizacyjnych w inżynierii lądowej jest głównym obszarem wiedzy eksperckiej Kandydata. Kandydat nie tylko zna algorytmy metaheurystyczne i genetyczne do optymalizacji konstrukcji, ale także potrafi je twórczo zaadoptować w tworzonych narzędziach informatycznych, co znacząco ułatwia, przyspiesza i zwiększa dokładność prowadzonych analiz teoretycznych. Wykorzystanie w tworzonych narzędziach informatycznych algorytmów AI wpisuje się w jeden z ważniejszych trendów rozwojowych w inżynierii lądowej.

Wiedza ogólna Kandydata nie ogranicza się jedynie do inżynierii lądowej, ale obejmuje także **dyscypliny „informatyka” i „matematyka”** z dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych, pozwalając Kandydatowi prowadzić badania naukowe z wykorzystaniem autorskich narzędzi informatycznych, tworzonych w najbardziej otwartym współcześnie języku programowania Python. Stworzone przez kandydata narzędzia informatyczne umożliwiły realizację celu pracy i warunkowały osiągnięcie jej zadowalających rezultatów naukowych. W rozprawie Kandydat wykazał także dobrą znajomością matematyki (do opisu zagadnień optymalizacyjnych oraz algorytmów AI). Interdyscyplinarność wiedzy ogólnej Kandydata jest w dzisiejszym czasie bardzo pożądana, gdyż rozwój inżynierii lądowej jest napędzany w dużym stopniu osiągnięciami współczesnej informatyki (narzędzia) oraz wykorzystaniem systemów opartych na sztucznej inteligencji.

Współczesna inżynieria lądowa stała się już dawno nauką interdyscyplinarną, a rozprawa Kandydata dokładnie pokazuje zasadność tego stwierdzenia. Kandydat w rozprawie wykorzystał wiedzę ogólną z dwóch dyscyplin, efektywnie i skutecznie łącząc ją dla realizacji głównego celu rozprawy. Dlatego jednoznacznie stwierdzam, że rozprawa **wykazała ogólną wiedzę teoretyczną** Kandydata w dyscyplinie „*inżynieria lądowa, geodezja i transport*”, przez co **spełnia ona warunek określony w art.187 ust.1 ustawy [5]**.

6.2. Ocena umiejętności **samodzielnego prowadzenia pracy naukowej** przez Kandydata

Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oznacza, że Kandydat potrafi samodzielnie zaplanować, przeprowadzić i zakończyć proces badawczy zgodnie z przyjętymi standardami naukowymi. Obejmuje to zarówno aspekty merytoryczne, jak i organizacyjne. Kandydat skutecznie realizując i finalizując rozprawę doktorską w sposób wystarczający i przekonujący **potwierdził nabycie stosownych kompetencji do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej** zgodnie z oceną w tabeli poniżej:

Lp.	Kompetencje Kandydata	Ocena opisowa	Ocena punktowa (0-5 pkt.)
1	Identyfikacja problemu badawczego	Problem badawczy dotyczący optymalizacji mostów NAB z minimum kosztów jako funkcją celu został zidentyfikowany poprawnie, chociaż z zastrzeżeniami podanymi w p.3.1. Główny przedmiot pracy (mosty NAB) jest też stosunkowo ograniczony w praktycznym stosowaniu, a zagadnienie kształtowania i projektowania mostów NAB należy (na razie) uznać za dość niszowe.	3,0
2	Przegląd piśmiennictwa	Kandydat samodzielnie wyszukał, wyselekcjonował i przeanalizował właściwe źródła naukowe, niezbędne do realizacji celu pracy.	5,0
3	Sformułowanie hipotez lub celów badawczych	Kandydat jasno określił, co chce zbadać i dlaczego. Identyfikacja celu głównego i rezultatów uzupełniających jest właściwa.	5,0

4	Zaplanowanie metodologii badawczej	Kandydat zastosował metaheurystyczne i genetyczne algorytmy AI z wykorzystaniem zestawu dedykowanego oprogramowania (Sofistik, Grasshopper, Phytion). Zastosowane techniki i autorskie narzędzia informatyczne były odpowiednie do badań wybraną metodą.	5,0
5	Przeprowadzenie badań własnych	Kandydat przeprowadził bardzo rozległe i zaawansowane badania i symulacje numeryczne, których szczegółowość i zakres nie zawsze były konieczne do osiągnięcia celu pracy. W tym zakresie rozprawa jest zbyt obszerna a jej efekt zbyt ogólny i niedopracowany.	4,0
6	Analiza wyników i jakość wyciągniętych wniosków	Kandydat samodzielnie zinterpretował wyniki badań własnych (symulacji) i wyciągnął poprawne wnioski. Odniósł się także w tym zakresie do istniejącej wiedzy. Jednakże liczba i sposób sformułowania wniosków nie jest prawidłowy.	4,0
7	Przedstawienie wyników w formie naukowej	Kandydat napisał rozprawę (monografię) w sposób przejrzysty, zgodny z zasadami cytowania i etyki naukowej. Język rozprawy jest jednak bardzo zwarty, naszpikowany indywidualnymi pojęciami technicznymi, skrótami i nietypowym żargonem z zakresu AI. Rozprawę trudno się czyta, a zrozumienie intencji autora wymaga czasami głębokich i powtórnych studiów nad tekstem.	3,5
8	Krytyczna ocena własnej pracy	Kandydat dość lakonicznie przedstawił ograniczenia swojej metodologii i możliwe błędy. Wskazał jednak poprawnie kierunki dalszych badań. Ocena: 4,5.	4,5
	Ocena końcowa:		34 / 40 (85%)

Rozprawa doktorska Kandydata powstała **pod kierunkiem doświadczonego promotora oraz promotora pomocniczego**. Za ich cenny wkład w powstanie pracy Kandydat podziękował odpowiednim wpisem na początku rozprawy. Trudno zatem mówić o pełnej samodzielności prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata. Bez wątpienia przedmiot rozprawy (pomysł), główne elementy jej oryginalności (zastosowanie AI), zakres i program badań powstały przy zaangażowaniu obu promotorów. Jednakże ze względu na charakter badań naukowych Kandydata (tworzenie algorytmów, symulacje z wykorzystaniem autorskich narzędzi informatycznych), mógł on je wykonywać praktycznie samodzielnie na własnym komputerze. Nie musiał korzystać w tym przypadku ze wsparcia chociażby personelu laboratorium badawczego własnej uczelni. Wszystkie prace informatyczne (pisanie oprogramowania, tworzenie narzędzi informatycznych, wykorzystanie narzędzi do badań, analiza i postprocesing wyników) zostały wykonane samodzielnie przez Kandydata, bo taka jest ich natura.

Samodzielność wykonania rozprawy doktorskiej potwierdzają także wyniki badania antyplagiatowego, dołączone do rozprawy.

Przedstawiona powyżej ocena kompetencji nabytych przez Kandydata potwierdza jednoznacznie **umiejętność samodzielnego prowadzenia przez niego pracy naukowej**, przez co **spełniony jest warunek określony w art.187 ust.1 ustawy [5]**.

6.3. Ocena oryginalnego rozwiązania problemu naukowego.

W recenzowanej rozprawie Kandydat nie sprecyzował problemu naukowego, nie sformułował tez(y), lecz postawił sobie jeden główny i kilka szczegółowych celów badawczych, nazwanych rezultatami. Ich analiza pozwala recenzentowi (niejako w zastępstwie Kandydata) na sprecyzowanie problemu naukowego rozprawy jako: **opracowanie**,

weryfikacja i praktyczna implementacja procedury optymalizacyjnej, opartej na algorytmach AI i pozwalającej na kształtowanie mostów NAB tak, aby uzyskać minimalny koszt ich budowy. Kandydat rozwiązał ww. problem naukowy za pomocą indywidualnie zaprojektowanych narzędzi informatycznych (algorytmu w środowisku dedykowanego oprogramowania).

Oryginalnym pomysłem Kandydata jest wykorzystanie algorytmów optymalizacyjnych, bazujących na wybranych technikach AI (GA, ESO), do optymalizacji kosztów budowy mostów NAB. Oryginalny jest finalny algorytm optymalizacyjny oraz metodyka jego implementacji do symulacji wybranej populacji obiektów NAB w celu wyznaczenia zależności wybranych parametrów mostów NAB od długości/szerokości przęseł przy zachowaniu wybranej wcześniej funkcji celu. W szczególności oryginalne są symulacje dotyczące układu wieszaków, które umożliwiły Kandydatowi znalezienie układu optymalnego (MVADM) i porównanie go z układami konwencjonalnymi. Właśnie stworzone narzędzie informatyczne (algorytm w środowisku dedykowanego oprogramowania) oraz sposób jego wykorzystania do rozwiązania postawionego problemu badawczego (realizacji celu rozprawy) jest **oryginalnym i autorskim wkładem intelektualnym** Kandydata w rozwój przedmiotowej dyscypliny.

Oryginalnym rozwiązaniem postawionego problemu naukowego jest **autorska procedura optymalizacyjna**, której budowę, implementację, weryfikację i badanie efektywności Kandydat przedstawił w rozprawie. Głównymi cechami tego rozwiązania, stanowiącymi o jego oryginalności są:

- a) wykorzystanie algorytmów metaheurystycznych i genetycznych AI (GA, ESO) do rozwiązania problemu optymalizacyjnego w inżynierii lądowej, polegającego na ukształtowaniu geometrii mostu NAB, a w szczególności układu wieszaków, na minimum kosztów budowy;
- b) stworzenie i weryfikacja autorskich narzędzi informatycznych do realizacji celu rozprawy;
- c) wyznaczenie zależności wybranych parametrów mostów NAB (masy, ciężaru jednostkowego, χ_p , I_y , A, D, f_y , H/L, itp.) od długości/szerokości przęseł przy zachowaniu wybranej funkcji celu;
- d) znalezienie optymalnego układu wieszaków (MVADM) w mostach NAB i porównanie go z układami konwencjonalnymi.

Zarówno podjęta przez Kandydata tematyka badawcza jak również opracowany przez niego indywidualny program numerycznych badań własnych cechują się wysokim stopniem oryginalności, w szczególności w warunkach krajowych, gdzie zarówno tematykę jak i przyjętą metodologię badań (w pewnym zakresie) można uznać za pionierskie. Dlatego jednoznacznie stwierdzam, że rozprawa Kandydata stanowi **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**, przez co spełnia ona warunek określony w art.187 ust.2 ustawy [5].

7. OCENA MOŻLIWOŚCI PRAKTYCZNEGO ZASTOSOWANIA UZYSKANYCH WYNIKÓW ROZPRAWY

Możliwość praktycznego zastosowania wyników rozprawy doktorskiej, zrealizowanej w dyscyplinie „inżynieria lądowa, geodezja i transport” jest **zdaniem recenzenta koniecznością**. Wyniki badań Kandydata są bezpośrednio związane z praktycznymi możliwościami wykorzystania autorskiego algorytmu optymalizacyjnego do minimalizacji kosztów budowy mostów NAB. Zastosowanie algorytmów AI w inżynierii lądowej w Polsce jest jeszcze w fazie badań doświadczalnych, lecz ich wyniki wskazują na możliwość nieodległej komercjalizacji niektórych systemów i narzędzi. Do nich z pewnością należy także algorytm opracowany przez

Kandydata. Wyniki badań naukowych Kandydata **mogą mieć zatem praktyczne zastosowanie** w projektowaniu i budowie kolejowych i drogowych mostów NAB, w szczególności realizowanych w formule „*design & build*”, w której o rodzaju zastosowanego rozwiązania decyduje zazwyczaj najniższa cena. Jednakże do takiego zastosowania konieczne są wskazane przez Kandydata i recenzenta modyfikacje autorskiego algorytmu optymalizacyjnego oraz dalsze badania nad układem MVADM.

8. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Adriana Błonki stanowi **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**, jakim jest opracowanie procedury optymalizacyjnej do minimalizacji kosztów budowy mostów typu NAB wraz z wykorzystaniem algorytmów bazujących na wybranych technikach AI. W rozprawie Kandydat opisał etapową budowę autorskiej procedury optymalizacyjnej oraz jej weryfikację, implementację i badanie efektywności na wybranej populacji mostów typu NAB. Kandydat rozwiązał problem naukowy metodami numerycznymi, wykorzystując opracowane przez siebie nowe narzędzia informatyczne, w szczególności oparte na algorytmach metaheurystycznych i genetycznych (ESO i GA).

Kandydat rozwiązał w rozprawie liczne problemy badawcze z min. dwóch dyscyplin naukowych, efektywnie i skutecznie łącząc je dla realizacji celu i rezultatów rozprawy, przez co **wykazwał ogólną wiedzę teoretyczną** w szczególności w dyscyplinie „*inżynieria lądowa, geodezja i transport*”. Podczas realizacji rozprawy Kandydat nabył także odpowiednie kompetencje badawcze, które **potwierdzają umiejętność samodzielnego prowadzenia przez niego pracy naukowej**. Jednocześnie ze względu na rosnące zapotrzebowanie rynku budowlanego (wykonawcy, biura projektów) na narzędzia do optymalizacji (w tym zwłaszcza minimalizacji kosztów) nowych obiektów mostowych, wyniki pracy naukowej Kandydata **mogą mieć znaczenie praktyczne**.

Reasumując **mogę jednoznacznie stwierdzić**, że oczywiste walory poznawcze rozprawy, oryginalne rozwiązanie postawionego problemu metodami naukowymi, a także wykazana w pracy ogólna wiedza teoretyczna i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata, upoważniają mnie do stwierdzenia, że rozprawa doktorska mgr inż. Adriana Błonki pt. “*Optimization of Network Tied-Arch Bridges with Metaheuristic and Gradient-Based Algorithms*” **spełnia wymogi** stawiane rozprawom doktorskim w ustawie [5] oraz do postawienia wniosku o przyjęcie recenzowanej rozprawy doktorskiej i **dopuszczenie** jej do publicznej obrony.



Tomasz Siwowski
Rzeszów, 31.01.2026 r.