

Olsztyn, 27.09. 2023 r.

Dr hab. inż. Elżbieta Szafranko
Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie
Wydział Geoinżynierii
Instytut Geodezji i Budownictwa, Katedra Inżynierii Budowlanej
Ul. Heweliusza 4
10-724 Olsztyn

Recenzja Rozprawy doktorskiej,

Pt.: „Analiza przyczyn i modele predykcji opóźnień w realizacjach
obiektów mostowych”

autor: mgr inż. Grzegorz Piskorz

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowi Uchwała nr 150/25/RDND06/2021-2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Krakowskiej z dnia 21 czerwca 2023 roku oraz pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej dr hab. inż. Lucyny Domagały, prof. PK z dnia 28 czerwca 2023 roku.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza Piskorza pt.: „Analiza przyczyn i modele predykcji opóźnień w realizacjach obiektów mostowych”. Pracę przygotowano na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Agnieszki Leśniak, pełniącej funkcję promotora w przewodzie doktorskim oraz przy udziale promotora pomocniczego dr hab. inż. Michała Juszczyka.

3. Ogólna charakterystyka i ocena układu rozprawy doktorskiej

Opiniowana rozprawa doktorska składa się z siedmiu rozdziałów oraz dwunastu załączników przedstawiających informacje źródłowe i wyniki przeprowadzonych badań. Tematyka pracy dotyczy opóźnień w realizacji obiektów mostowych i zawiera propozycję metodyki prognozowania opóźnień oraz analizy tego zjawiska. Badania obejmują 169 zakończonych inwestycji obiektów mostowych, z których w 120 przypadkach wykazano opóźnienia. Na końcu pracy umieszczono streszczenie w języku polskim i angielskim, bibliografię oraz wymienione wcześniej załączniki. Tekst rozprawy obejmuje 288 stron wraz z załącznikami.

Rozdział pierwszy- wstęp zawiera prezentację problemu i uzasadnienie podjęcia tematu z podkreśleniem wagi zagadnień. Sprecyzowano cel główny pracy oraz cele cząstkowe prowadzące do osiągnięcia celu głównego oraz zdefiniowano tezę pracy. Scharakteryzowano również pokrótce zakres pracy.

Zarówno tematyka pracy jak i cel badań odnoszą się do bardzo ważnych problemów związanych opóźnieniami w realizacji robót budowlanych związanych z



wykonawstwem obiektów mostowych. Cel główny został sformułowany poprawnie. Cele cząstkowe zostały sformułowane właściwie, pokazując kroki prowadzące do osiągnięcia celu głównego. Teza pracy jest zgodna z celem głównym. Dobór tematu rozprawy jest w pełni uzasadniony aktualnym stanem wiedzy i potrzebami praktyki.

W rozdziale drugim została przeprowadzona analiza literatury przedmiotu (221 pozycji oraz inne źródła informacji). Przegląd literatury rozpoczyna charakterystyka przedsięwzięć drogowych w Polsce z nawiązaniem do *Programu Budowy Dróg Krajowych* na lata 2014-2023 oraz *Programu budowy stu obwodnic* na lata 2020-2030. Przeanalizowano dane statystyczne dotyczące rozbudowy dróg krajowych. W tym rozdziale uwzględniono również charakterystykę przedsięwzięć kolejowych. Zauważono, że dotychczasowe badania problemu opóźnień w realizacji przedsięwzięć budowlanych prezentowane w literaturze zagranicznej dotyczyły głównie identyfikacji przyczyn ich powstawania w zależności od kraju, regionu, rodzaju przedsięwzięcia budowlanego, systemu realizacji oraz stron biorących udział w procesie. Analiza dotychczasowych prac ujawnia różne podejścia badawcze: ocenę czynników powodujących opóźnienia oraz studia przypadków analizujące opóźnienia oraz badania porównawcze. Zaprezentowano dziesięć najczęściej cytowanych przyczyn, zidentyfikowanych w przez autorów badań tego zjawiska. W opracowaniach krajowych autorzy prezentowali wyniki badań dotyczących przyczyn opóźnień w realizacji przedsięwzięć budowlanych w oparciu o opinie zarówno zamawiających jak i wykonawców. Zestawienie przyczyn opóźnień oraz literatury związanej z analizą tej tematyki przedstawia tabela nr 2.1. W tej tabeli można zauważyć kilka błędów „literówek”.

Zarówno krajowe jak i zagraniczne prace dotyczące opóźnień w budownictwie świadczą o tym, że problem ten jest zjawiskiem powszechnie występującym, a przyczyny, które go powodują, są podobne. Przegląd literatury krajowej i zagranicznej wskazuje na zainteresowanie problemem opóźnień w pracach budowlanych i przyczynami ich wystąpienia.

Na zakończenie przeglądu literatury podkreślono, że dotychczasowe prace skupiają się na identyfikacji i analizie czynników powodujących opóźnienia. Wskazano również, że badacze nie podejmują prób modelowania opóźnień i poszukiwania metod ich prognozowania. To stwierdzenie sugeruje istnienie luki badawczej i jest podstawą określenia celu pracy. Przegląd literatury obejmujący ponad 200 pozycji został przeprowadzony poprawnie. Rozdział zawiera podrozdziały wprowadzające stopniowo w tematykę podjętą w rozprawie.

Rozdział trzeci przedstawia badania własne w zakresie opóźnień. W tym rozdziale przedstawiono etapy przeprowadzonych badań oraz metody wykorzystane w ich trakcie.

W celu identyfikacji przyczyn opóźnień opracowano ankietę składającą się z dwóch części: pierwsza z nich dotyczyła respondentów, co umożliwiło krótką charakterystykę uczestniczących w badaniach, a druga badanego problemu - czynników przyczyn powodujących opóźnienia. Ankietę otrzymało w sumie 752 respondentów z terenu całej

Szel

Polski, w tym 396 respondentów biorących udział w badaniu dotyczącym realizacji przedsięwzięć w systemie „zbuduj” i 356 respondentów w systemie „zaprojektuj i zbuduj”. Przeprowadzona ankieta dostarczyła danych do dalszych badań. Do oceny ważności czynników powodujących opóźnienia i częstości ich występowania zastosowano skalę od 1 do 5. Przy ocenach ważności 1 oznacza nieważny a 5 bardzo ważny, w ocenach częstości 1 oznacza nigdy nie występujący, natomiast 5 występujący bardzo często. W dalszych częściach rozdziału przedstawiono dane uzyskane z ankiet i poddano je wstępnej analizie (rys. 3.1. – 3.11. i tabele 3.1. – 3.5.).

W oparciu o wyniki pierwszego etapu badań własnych, opracowano listę czynników powodujących opóźnienia w realizacji obiektów mostowych z podziałem na fazę projektowania i realizacji. W etapie drugim wytypowano i poddano analizie przyczyny opóźnień w projektowaniu i realizacji obiektów mostowych. Wynik tego etapu posłużyły do budowy bazy danych co zostało opisane w kolejnym rozdziale.

Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań ankietowych posłużyły , w dalszej części prac badawczych, do stworzenia bazy danych koniecznej do budowy modelu predykcji opóźnień realizacji robót mostowych. Rozdział ten oceniam pozytywnie.

Rozdział czwarty zawiera założenia do budowy modelu i opracowania bazy danych do modelowania opóźnień. Przedstawiono koncepcje modelu, przeanalizowano szereg zmiennych takich jak np.: zmienne jakościowe, zmienne ilościowe ciągłe i dyskretne, określono zmienne niezależne. Przeprowadzono ocenę statystyczną zebranego materiału badawczego, co w konsekwencji, pozwoliło na wybór ostatecznego zbioru zmiennych do modelowania. Do oceny statystycznej zebranego materiału badawczego posłużono się statystyką opisową przy wykorzystaniu dostępnych narzędzi statystycznych. Obliczone zostały wybrane parametry statystyczne dla badanych zmiennych. Uwzględniono takie cechy jak rodzaj obiektu, rodzaj przeszkody, przeznaczenie użytkowe, system realizacji przedsięwzięcia, typ konstrukcji i schemat statyczny, rozwiązania materiałowe, rodzaje podpór skrajnych i pośrednich, rodzaj nawierzchni na obiekcie, klasa obciążenia. Dokonano sprawdzenia rozkładu normalności metodą Shapiro-Wilka oraz Kruskala-Wallisa.

Na podstawie badań własnych pozyskano dane dotyczące 169 zakończonych inwestycji obejmujących realizacje obiektów mostowych. W oparciu o przeprowadzoną analizę statystyczną do dalszego modelowania wybrano 15 zmiennych niezależnych. Rozdział jest dobrym przygotowaniem do wykonania kolejnego kroku tj. budowy modeli predykcji.

W rozdziale piątym zaprezentowano budowę modeli predykcji opóźnień w realizacji obiektów mostowych w oparciu o analizę regresji wielorakiej, drzew regresyjnych, maszyn wektorów nośnych oraz o sztuczne sieci neuronowe typu MLP i RBF, jak również analizę dokładności prognoz i wybór najlepszego modelu prognozowania opóźnień. W kolejnych krokach przeprowadzono kodowanie zmiennych w zbiorze danych co doprowadziło do uzyskania zbioru przekodowanych danych (zał. 10), wyróżniono zbiór uczący i zbiór testowy, przeprowadzono walidację krzyżową, sformułowano założenia do modelowania - do modelowania użyto języka

Szep

programowania *Python*, przeprowadzono optymalizację hiperparametrów modeli czyli dobór wartości parametrów. Optymalizacji poddano między innymi drzewo regresyjne, model oparty o maszynę wektorów nośnych, perceptron wielowarstwowy MLP oraz sieć radialną RBF. Dokonano wyboru najlepszego modelu predykcji opóźnień, którym okazał się model zbudowany w oparciu o radialną sieć neuronową (RBF).

Rozdział 5 pokazuje cały proces doboru modeli i w efekcie wskazuje ten, który zostanie wykorzystany do dalszych badań. Rozdział zawiera wszystkie niezbędne informacje i oceniam go bardzo dobrze.

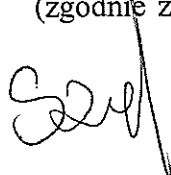
W rozdziale szóstym zaprezentowano wyniki uczenia i testowania wybranego modelu radialnej sieci RBF. Wykonano analizę wrażliwości, określając użyteczność i ważność poszczególnych zmiennych niezależnych wybranej sieci neuronowej. Analizę przeprowadzono dla poszczególnych zmiennych niezależnych. W wyniku tego stwierdzono, że najsilniejszy wpływ na wartość zmiennej zależnej Y ma zmienność zmiennej niezależnej X_9 - Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe. Na uwagę zasługuje również wysoka pozycja zmiennych X_4 - Administracja i finanse budowy, X_7 - Warunki atmosferyczne i społeczne oraz X_{13} - Sposób posadowienia obiektu. Natomiast najslabiej na wartość zmiennej zależnej Y wpływa zmienność zmiennej niezależnej X_8 - Decyzje administracyjne.

W dalszej kolejności przeprowadzono analizę jakości modelu dla zmiennych niezależnych o największych wartościach Shapley'a, czyli X_9 - Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe, X_4 - Administracja i finanse budowy a także zmienne X_7 - Warunki atmosferyczne i społeczne oraz X_{13} - Sposób posadowienia podpór obiektu. Analiza ta miała na celu ocenę jakości wybranego modelu. Następnie przeprowadzono weryfikację hipotez statystycznych o nieobciążoności odchyleń losowych modelu oraz o identyczności rozkładów wartości zmiennej zależnej prognozowanej przez model i obserwowanej. Weryfikację hipotez przeprowadzono dla zbioru uczącego i testującego razem, zbioru uczącego oraz zbioru testującego. W celu weryfikacji hipotezy o nieobciążoności odchyleń losowych modelu wykonano test t-Studenta. Weryfikację hipotezy o identyczności rozkładów wartości zmiennej zależnej prognozowanej przez model i obserwowanej przeprowadzono w oparciu o test U Manna-Whitneya. We wszystkich przypadkach dla zbiorów uczącego i testującego razem, zbioru uczącego oraz zbioru testującego $p > \alpha = 0,05$, co świadczy o tym, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotez. Wyniki przeprowadzonego testowania zbioru przyjętych hipotez statystycznych nie dały podstaw do negatywnej oceny. Uznano, że weryfikacja modelu wypadła pomyślnie.

Rozdział jest opisany dokładnie i wyczerpująco przedstawia przebieg i wyniki badań.

Rozdział siódmy zawiera podsumowanie ocenianej rozprawy doktorskiej, wnioski końcowe oraz informacje o wkładzie własnym, a także wskazanie kierunków dalszych badań. W podsumowaniu przedstawiono pokrótce zawartość pracy oraz etapy badań.

Wnioski końcowe pokazują efekty osiągnięte na kolejnych etapach realizacji badań (zgodnie z opisem etapów badań umieszczonym w rozdziale 3). Wymieniono osiem



podpunktów, w których podkreślono efekty uzyskane w kolejnych krokach prowadzonych badań i analiz a całość kończy stwierdzenie, że: „... sformułowana następująca teza pracy *Zaproponowany model predykcyjny wykorzystujący zidentyfikowane zmienne wejściowe i autorską bazę danych pozwala na oszacowanie możliwego opóźnienia w realizacji obiektu mostowego przed rozpoczęciem robót budowlanych została udowodniona, a wszystkie cele pracy zostały osiągnięte.*”

Ostatnim fragmentem podsumowania jest wskazanie dalszych kierunków badań. Wskazano, że w kolejnych krokach zostanie rozbudowana i zaktualizowana baza danych, powstanie model predykcji oparty na zespole sztucznych sieci, zostanie przeprowadzona modyfikacja radialnej sieci RBF oraz implementacja proponowanego modelu do programu informatycznego. Słabo natomiast jest podkreślone zastosowanie opracowanego rozwiązania w praktyce.

Rozdziały od czwartego do szóstego stanowią najważniejszy fragment ocenianej pracy i potwierdzają, że **Autor posiada wystarczającą wiedzę teoretyczną w zakresie badanego zagadnienia. Przeprowadzone badania oraz analizy uzyskanych wyników, a także wnioski sformułowane na zakończenie każdego opisanego w pracy etapu badań, potwierdzają umiejętności prowadzenia samodzielnych prac o charakterze naukowo – badawczym.**

4. Ocena ogólna pracy

Przyjęta przez Doktoranta struktura pracy jest poprawna a kolejne rozdziały zawierają treści odpowiadające ich tytułom. W treści pracy dają się zauważyć liczne błędy stylistyczne, gramatyczne („W modelowaniu z zastosowaniem sztucznych sieciach neuronowych”- 8 wiersz od dołu strona 149, „W wyniku czego stwierdzono, że najsilniejszy wpływ na wartość zmiennej zależnej Y wpływa...”- 6 i 7 wiersz w rozdziale 6.5. str. 176) i interpunkcyjne a także jakby w połowie urwane zdania (np.: pierwszy akapit pod rys. 5.9. na str. 140). Można te niedociągnięcia znaleźć w różnych fragmentach tekstu, ale również w nagłówkach np.: „Niedobór lub braki materiały budowlanych” – str. 18, „Podział na zbioru danych na testowy i uczący” – str. 119. Uwagi te mają jednak tylko charakter redakcyjny i nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę pracy.

5. Ocena doboru zastosowanego piśmiennictwa

Autor dysertacji powołał się w treści pracy na 221 pozycje literatury, liczne akty prawne i inne źródła – głównie strony internetowe. W większości są to publikacje w czasopiśmie naukowych o zasięgu międzynarodowym. Akty prawne to Uchwały i Rozporządzeni Rady Ministrów, związane z tematyką pracy. Większość materiałów źródłowych została opublikowana po 2000 roku.

6. Ocena naukowej wartości pracy

Do najważniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta można zaliczyć: identyfikację przyczyn opóźnień w realizacji obiektów mostowych, budowę bazy danych, w oparciu o pozyskane w wyniku badań i analiz informacje, dotyczące zrealizowanych inwestycji



mostowych, wykorzystanie wybranych metod sztucznej inteligencji do budowy modeli predykcji opóźnień w realizacji obiektów mostowych

7. Podczas obrony prosiłabym Doktoranta o odpowiedź na następujące pytanie:

Czy w trakcie pracy nad modelami predykcji przeprowadzał Pan próby zastosowania budowanych modeli w praktyce? – w pracy nie znalazłam informacji na ten temat.

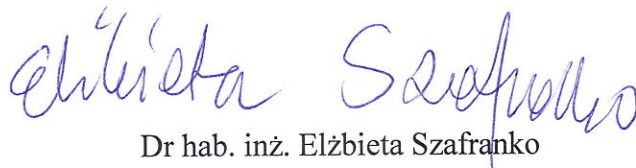
Uwaga do „Proponowanych kierunków dalszych badań:

Wydaje mi się że należałoby położyć większy nacisk na weryfikację metody w praktyce. Tylko to umożliwi tak naprawdę stwierdzenie czy opracowany model się sprawdza a spostrzeżenia z takich prób mogą posłużyć do udoskonalenia tego modelu.

Ocena końcowa pracy

Oceniana praca stanowi spójną i uporządkowaną całość. Doktorant na podstawie literatury tematu zidentyfikował poprawnie lukę badawczą, określił cel i zakres badań. Zapoznanie się z aktualnym stanem wiedzy pozwoliło na opracowanie metodyki badawczej. Przeprowadzone badania są obszerne i kompletne. Pozwoliły na sformułowanie wniosków i osiągnięcie założonych na początku pracy celów. Dysertacja jest napisana na dobrym poziomie naukowym, a uwagi zgłoszone wcześniej nie obniżają ogólnie pozytywnej oceny. Doktorant w sposób właściwy dobrał aparat matematyczny do rozwiązania problemu badawczego. Wnioski sformułowane przez Autora pracy świadczą o umiejętności analizy i krytycznej oceny co stanowi ważną cechę w samodzielnym prowadzeniu prac badawczych. Temat podjęty w pracy jest ważny, zarówno pod względem teoretycznym jak i praktycznym. W związku z powyższym oceniana praca doktorska wnosi istotny wkład w rozwój nauk inżynieryjno – technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport. W związku z tym stwierdzam, że recenzowana dysertacja autorstwa mgr inż. Grzegorza Piskorza pt.: „Analiza przyczyn i modele predykcji opóźnień w realizacjach obiektów mostowych” ” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. z 2003 Nr 65 poz. 595 z późn. zm.).

Stawiam więc wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Grzegorza Piskorza przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Krakowskiej i dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów postępowania kwalifikacyjnego w zakresie uzyskania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno – technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport.



Dr hab. inż. Elżbieta Szafranko