

Lublin, 29 sierpnia 2023 r.

dr hab. inż. Sławomir Biruk
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 40
20-618 Lublin

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Piskorza
pt. „Analiza przyczyn i modele predykcji opóźnień
w realizacjach obiektów mostowych”

Podstawa formalna recenzji

Recenzja została opracowana na prośbę Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, Pani dr hab. inż. Lucyny Domagały, prof. PK, wyrażoną w piśmie z dnia 28.06.2023 r. Podstawę formalną recenzji stanowi Uchwała Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dnia 21.06.2023 r.

Przedmiot recenzji

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

Rozprawa doktorska obejmuje 288 stron. Składa się z siedmiu numerowanych rozdziałów – pierwszy to wstęp, zakres merytoryczny pracy jest zawarty w rozdziałach od drugiego do szóstego, rozdział siódmy to zakończenie. Praca zawiera dodatkowo streszczenie w języku polskim i angielskim oraz załączniki. Struktura rozprawy jest zgodna z zasadami pisania prac naukowych.

We wstępie została zarysowana tematyka pracy, podkreślono konieczność identyfikacji przyczyn opóźnień w realizacjach przedsięwzięć budowlanych w celu usprawnienia zarządzania procesem inwestycyjno-budowlanym oraz wskazano możliwość wykorzystania modeli predykcyjnych do oszacowania opóźnień w realizacji robót budowlanych. Następnie sformułowano cel pracy, cele cząstkowe zapewniające osiągnięcie

Wydziału Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia	04.08.2023
L. GZ.	10. 510. 384. 2018
podpis	<i>Lucyna Domagała</i>

celu głównego oraz tezę pracy. Przedstawiono główne zagadnienia będące przedmiotem badań własnych Autora oraz zwięźle omówiono treść całej rozprawy.

W rozdziale 2 „*Analiza stanu wiedzy w zakresie tematu pracy*” Autor przedstawił charakterystykę inwestycji drogowych i kolejowych realizowanych w Polsce w ostatnich latach oraz definicję i uwarunkowania prawne dotyczące opóźnień w realizacji przedsięwzięć budowlanych, następnie dokonał przeglądu literatury zagranicznej i krajowej z zakresu tego tematu. Rozdział zakończono podsumowaniem.

Rozdział 3 przedstawia etapy prowadzenia badań własnych Autora. Zawiera też sprawozdanie z przeprowadzonych dwuetapowo badań ankietowych. Badania w pierwszym etapie mają na celu identyfikację przyczyn opóźnień realizacyjnych przedsięwzięć budowlanych, w drugim etapie uszczegółowiono zakres badań do projektowania i realizacji obiektów mostowych. W obu przypadkach badania ankietowe przeprowadzono dla systemu realizacji „zbuduj” i „zaprojektuj i zbuduj”. Rozdział został zakończony podsumowaniem.

Rozdział 4 opisuje koncepcję budowy modelu prognostycznego opóźnień realizacyjnych oraz zawiera sprawozdanie z tworzenia bazy danych o 169 zakończonych w latach 2005–2017 inwestycjach mostowych. Dokonano też oceny statystycznej zebranych danych, co pozwoliło na wybór zmiennych niezależnych modelu. Rozdział zawiera krótkie podsumowanie.

W rozdziale 5 przedstawiono proponowane modele predykcji opóźnień w realizacjach obiektów mostowych: regresji wielorakiej, drzewa regresyjnego, model bazujący na maszynie wektorów nośnych oraz dwa modele wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe: jednokierunkowe, wielowarstwowe (MLP) oraz sieci o radialnych funkcjach bazowych (RBF). Dokonano też wyboru najlepszego modelu biorąc pod uwagę następujące kryteria: błąd predykcji, współczynnik determinacji, zdolności generalizacyjne oraz stopień skomplikowania struktury modelu. Rozdział zakończono podsumowaniem.

W rozdziale 6 przedstawiono wyniki uczenia i testowania modelu predykcyjnego wykorzystującego sieć RBF oraz wykonano analizę wrażliwości modelu w celu określenia istotności zmiennych niezależnych modelu. Rozdział zawiera krótkie podsumowanie.

Rozdział 7 zawiera podsumowanie rozprawy, wnioski końcowe, opis wkładu własnego oraz oryginalne elementy pracy i kierunki dalszych badań.

Ocena merytoryczna pracy

Przedsięwzięcia budowlane są realizowane w warunkach ryzyka. Na czas realizacji procesów budowlanych wpływa wiele czynników, których wpływ jest zależny od warunków realizacji – specyficznych dla danej budowy, przedsiębiorstwa czy lokalizacji placu budowy. Mają one charakter techniczny, organizacyjny, ekonomiczny, polityczny, finansowy i prawny. Negatywnie na przebieg realizacji może oddziaływać zarówno otoczenie bliższe jak i dalsze, ale również źródłem zjawisk niekorzystnych mogą być czynniki wewnętrzne, charakteryzujące dane przedsięwzięcie. Wystąpienie czynników ryzyka może prowadzić do nieterminowej realizacji etapów lub całego przedsięwzięcia budowlanego. Jest to bardzo niekorzystne zarówno dla inwestora, wykonawcy jak i przyszłego użytkownika. Inwestor ponosi straty finansowe wynikające z późniejszego użytkowania obiektu budowlanego, wykonawca musi liczyć się z możliwością poniesienia kar umownych, zwiększeniem kosztów pośrednich i bezpośrednich, utratą wiarygodności i niemożliwością osiągania zysków przy realizacji w tym czasie innych zleceń. W przypadku obiektów budownictwa drogowego dochodzą też koszty społeczne, np. wydłużony czas podróżowania czy też zwiększenie zużycie paliwa i emisji CO₂.

Tematyka rozprawy doktorskiej należy do głównego nurtu badawczego inżynierii przedsięwzięć budowlanych, o czym świadczy duża liczba publikacji krajowych

i zagranicznych w zakresie przyczyn i predykcji opóźnień w realizacji przedsięwzięć budowlanych. Zatem temat pracy można uznać za aktualny, mający duże walory badawcze oraz praktyczne.

We wstępie Doktorant przedstawił cel główny rozprawy, którym jest: „*budowa modeli umożliwiających prognozowanie opóźnień w realizacji obiektów mostowych w warunkach znajomości informacji ogólnych o obiekcie, jego parametrów technicznych oraz czynników powodujących opóźnienia*”, a następnie cele częściowe, które zostały zrealizowane w dalszej części pracy. Dobra znajomość metod identyfikacji czynników mogących powodować opóźnienia w realizacji przedsięwzięć oraz metod statystycznych i sztucznej inteligencji pozwoliło Doktorantowi na sformułowanie tezy 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*”. Udowodnieniu tezy pracy są podporządkowane wszystkie kolejne rozdziały rozprawy. W rozprawie zaproponowano 5 modeli predykcyjnych, z których model w postaci radialnej sieci neuronowej RBF jest najbardziej wiarygodny i może być stosowany w praktyce inżynierskiej.

W celu ustalenia listy kluczowych czynników opóźnień przedsięwzięć budowlanych, Autor dokonał przeglądu literatury zagranicznej i krajowej. Brak w literaturze jednolitej definicji, różne określenia stosowane do opisu tych samych czynników, ale również identyczna terminologia używana do opisu różnych czynników oraz odmienny stopień ich zagregowania powoduje trudność w analizie literatury tematu. Autor podjął próbę systematyzacji czynników zidentyfikowanych i opisanych w literaturze zagranicznej i przypisał czynniki do 10 grup: warunki pogodowe i klimatyczne, komunikacja i koordynacja, organizacja i planowanie, niedobór lub braki materiałów budowlanych, problemy finansowe, opóźnienia w płatnościach, niedobór i braki sprzętu budowlanego, brak doświadczenia i kwalifikacji, siły własne oraz zarządzanie przedsięwzięciem budowlanym. Zestawienie w tabeli 2.1 „*Wykaz literatury zagranicznej w której wzmiankowano najczęściej występujące przyczyny opóźnień przedsięwzięć budowlanych na świecie*” zostało sporządzone na podstawie publikacji [58] z 2008 r., przez co zostały pominięte najbardziej aktualne pozycje literatury. Doktorant postawił bardzo kontrowersyjną tezę (strona 26): „*z wyjątkiem pracy [25], badacze nie podejmują prób modelowania opóźnień i poszukiwania metod ich prognozowania*”.

Studia literaturowe pozwoliły na wyznaczenie 29 czynników mogących powodować opóźnienia na etapie projektowania w systemie „zaprojektuj i zbuduj” oraz 25 czynników na etapie realizacji przedsięwzięcia w systemie „zbuduj” co dało podstawę do opracowania kwestionariusza ankiety. Badania ankietowe zostały przeprowadzone za pomocą platformy internetowej *Profitest.pl*. Ankieta została dostarczona 396 respondentom biorącym udział w badaniu dotyczącym systemu „zbuduj” i 356 respondentom dla systemu „zaprojektuj i zbuduj”. O trudności prowadzenia badań ankietowych świadczy fakt, że uzyskano 71 (23%) odpowiedzi dla badań w systemie „zbuduj” i 82 (23%) „zaprojektuj i zbuduj”. Respondenci oceniali ważność i częstość wystąpienia każdego czynnika w skali pięciopunktowej. Przeprowadzona analiza kwestionariuszy pozwoliła na ustalenie rankingu przyczyn powstawania opóźnień. Znajomość kluczowych czynników ryzyka pozwala managerom budowlanym skoncentrować uwagę na obszarach mających największy wpływ na wystąpienie opóźnień w realizacji przedsięwzięć budowlanych. Dużą część ankietowanych, którzy byli pytani o czynniki dostrzegalne na etapie projektowania w systemie „zaprojektuj i zbuduj” stanowili wykonawcy (48%) i nie ma pewności, że brali oni czynny udział w projektowaniu, nawet jeżeli pracowali w bezpośrednim wykonawstwie inwestycji realizowanych w systemie „zaprojektuj i zbuduj”. Należy także wyjaśnić czy w grupie 1 (Tabela 3.1) czynnik „potencjał wykonawcy” dotyczy projektanta czy realizatora robót budowlanych.

Po analizie wyników Doktorant zawęził badania ankietowe do czynników opóźnień realizacji obiektów mostowych. Kwestionariusz ankiety został rozesłany pocztą elektroniczną. W przypadku opóźnienia na etapie projektowania obiektów wybrano 19 czynników zestawionych w 5 grupach, natomiast dla etapu realizacji 21 czynników połączonych w 5 grup. Respondenci oceniali wpływ każdego czynnika za pomocą skali pięciopunktowej. Uzyskano łącznie 120 poprawnie wypełnionych kwestionariuszy, z czego 94% dotyczyła etapu realizacji. Efektem przeprowadzonych badań było ustalenie rankingu czynników dla etapu projektowania (rys. 3.10) i realizacji (rys. 3.11). W ten sposób został osiągnięty 1. cel cząstkowy: *„Identyfikacja, analiza i ocena czynników wpływających na występowanie opóźnień w realizacji obiektów mostowych”*.

Studia literatury, wcześniejsze badania własne oraz analizy dokumentacji kontraktowej, pozwoliły na wyodrębnienie zestawu potencjalnych zmiennych niezależnych modeli predykcyjnych. Zmienne niezależne zostały podzielone na 3 grupy:

1. Charakterystyki obiektów mostowych – 3 potencjalne predyktory.
2. Parametry techniczne obiektów mostowych – 9 potencjalnych predyktorów.
3. Czynniki opóźnień – 10 potencjalnych predyktorów.

Z opisu czynnika *„organizacja i technologia budowy”* (str. 56) wynika, że obejmuje on jedynie planowanie i zarządzanie budową. Żadna dana wejściowa nie uwzględnia technologii wykonania obiektu (technologia monolityczna, prefabrykowana), a technologia wpływa na czynniki ryzyka i siłę ich oddziaływania – np. trudność realizacji obiektów monolitycznych w warunkach obniżonej temperatury. Rysunek 4.1 przedstawia histogram rozkładu zmiennej zależnej, a dane te pozyskano dopiero w rozdziale kolejnym – 4.4. Zapis wyrażenia 4.3 powoduje, że opóźnienie względne jest uwzględniane także dla przedsięwzięć zrealizowanych przed terminem dyrektywnym.

Wartości niektórych czynników, np. *„rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe”*, *„rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)”* czy *„rodzaje podpór pośrednich obiektu”*, jest łatwo ustalić przed rozpoczęciem robót budowlanych. Sposób oszacowania stanu czynników związanych z realizacją, np. *„organizacja i technologia budowy”* czy *„warunki atmosferyczne i społeczne”*, nie został wyjaśniony w rozprawie. Czy predykcja opóźnień wymaga prognozowania stanu czynników opóźnień?

W rozdziale 4.4 został przedstawiony formularz bazy danych. W wyniku kolejnego badania ankietowego uzyskano dane o 169, zakończonych w latach 2005–2017, inwestycjach mostowych realizowanych w systemie „zbuduj” (155 obiektów) i „zaprojektuj i zbuduj” (14 obiektów). Następnie dokonano analizy statystycznej danych w celu wyboru predyktorów, dla których wykazano statystyczną istotność zależności pomiędzy nimi a zmienną zależną – opóźnieniem przedsięwzięcia. Wśród wybranych predyktorów są zarówno zmienne jakościowe jak i zmienne ilościowe ciągłe oraz dyskretne. Doktorant uwzględnił dodatkowo trzy zmienne objaśniające (*„decyzje administracyjne”*, *„rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę”*, *„typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny”*) dla których testy statystyczne nie wykazały istotnego wpływu na opóźnienie względne. Do dalszych analiz wybrano 15 zmiennych objaśniających. W ten sposób osiągnięte założone cele cząstkowe: 2. *„Wybór zmiennych wejściowych istotnych dla modelowania opóźnień w realizacji obiektów mostowych”* oraz 3. *„Budowa bazy danych obejmującej przypadki zrealizowanych obiektów mostowych”*.

Wymaga szerszego komentarza stwierdzenie Doktoranta: *„Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę oraz Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny są czynnikami narzucającymi warunki brzegowe realizacji przedsięwzięcia. To właśnie od tych czynników zależy technologia realizacji przedsięwzięcia jak również dobór zasobów sprzętowych, materiałowych i ludzkich”*. Sugeruje to, że wprowadzone dodatkowo predyktory są

skorelowane z uwzględnioną już wcześniej zmiennymi: „organizacja i technologia budowy” czy „zasoby sprzętowe i materiałowe”. Wymaga wyjaśnienia też czy zawsze wykonanie obiektu mostowego było zlecane odrębną umową. Często obiekt mostowy jest częścią umowy na realizację odcinka drogi kołowej czy żelaznej. Jak wtedy oceniano rzeczywisty termin zakończenia prac i termin planowany? Uwaga ta dotyczy w szczególności realizacji w systemie „projektuj i buduj”.

W rozdziale 5 przedstawiono opracowane przez Doktoranta modele predykcji opóźnień w realizacjach obiektów mostowych: regresji wielorakiej, drzewa regresyjnego, model bazujący na maszynie wektorów nośnych oraz dwa modele wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe: jednokierunkową, wielowarstwową (MLP) i sieć o radialnych funkcjach bazowych (RBF). Podziału na zbiory uczący i testowy dokonano za pomocą funkcji *train_test_split* dostępnej w bibliotece *scikit-learn*. Ten sam zbiór testowy i uczący został wykorzystany do uczenia, walidacji, testowania oraz oceny wszystkich modeli w celu obiektywnego porównania wiarygodności proponowanych modeli predykcyjnych. Do modelowania użyto języka programowania *Python* (v.3.9). Model sieci radialnej został zaimplementowany w pakiecie *TensorFlow* oraz *Keras*. Pozostałe modele zostały zbudowane z wykorzystaniem procedur dostępnych w bibliotece *scikit-learn*. Jako miary jakości modelu przyjęto: błąd średniokwadratowy (MSE), średni błąd absolutny (MAE) oraz współczynnik determinacji (R^2) obliczane zarówno dla zbioru uczącego jak i testowego. Dla modeli: drzewo regresyjne, maszyny wektorów nośnych, perceptron wielowarstwowy MLP oraz sieć radialna RBF dokonano optymalizacji hiperparametrów modeli przy użyciu pakietu *Optuna*. Na podstawie przyjętych miar modelu oraz dodatkowych kryteriów: zdolności generalizacyjne i stopień skomplikowania struktury modelu wykazano, że model sieci radialnej jest rozwiązaniem optymalnym w sensie Pareto. W ten sposób osiągnięto cele cząstkowe 4. „Budowa modeli predykcyjnych z wykorzystaniem metod statystycznych i sztucznej inteligencji” oraz 5. „Wybór najlepszego modelu w oparciu o przyjęte kryteria”.

Wymaga wyjaśnienie stwierdzenie Autora: „warto zauważyć, że analiza jednoczynnikowa wskazała na brak istotnych różnic pomiędzy wartościami przeciętnymi zmiennej zależnej w grupach w przypadku dwóch z tych zmiennych i zostały one uwzględnione w analizie na podstawie przesłanek merytorycznych”. Należy szczegółowo wyjaśnić też stwierdzenie: „pięciokrotne testowanie modelu jest prowadzone w sposób losowy” – str. 124. Sugeruje to, że dana obserwacja mogła być wykorzystana np. w zbiorze testowym więcej niż jeden raz, co nie jest zgodne z rys. 5.2.

W przypadku regresji wielorakiej współczynnik determinacji R^2 jest ujemny, co oznacza, że mniejsze błędy przy prognozowaniu popełnia się przyjmując średnią wartość zmiennej zależnej, niż wyniki prognoz z modelu. Doktorant nie wskazał, że na tej podstawie model ten można odrzucić.

W rozdziale 6.2. przedstawiono analizę wrażliwości modelu predykcji bazującego na sieci neuronowej o radialnych funkcjach bazowych (RBF) mającą na celu ustalenie wpływu zmiany parametrów wejściowych modelu na wartość opóźnień realizacji przedsięwzięć. Wpływ poszczególnych zmiennych niezależnych został wyznaczony na podstawie tzw. wartości Shapleya (wyrażenie 6.3) – pojęcie z teorii gier kooperacyjnych. Opis obliczania wartości Shapleya jest nieprecyzyjny, nie nawiązuje bezpośrednio do tematyki pracy. Nie zdefiniowano funkcji charakterystycznej (koalicyjnej) $v(S)$ i nie omówiono jak interpretować wkład marginalny w przypadku czynników opóźnień. Dodatkowo Doktorant nie wskazał zastosowanych narzędzi do obliczenia wartości Shapleya.

Dla przedstawionych w rozprawie modeli predykcji rankingi istotności czynników i ich wpływ na opóźnienia są różne, a część czynników ma nieznaczny wpływ na zmienną objaśnianą. Próbę podniesienia wiarygodności modelu poprzez redukcję liczby zmiennych

niezależnych przeprowadzono jedynie dla modelu drzewa regresyjnego. To celowe działanie jedynie zostało wskazane jako kierunek doskonalenia modelu sieci RBF.

W celu oceny dopasowania modelu do danych empirycznych przeprowadzono weryfikację hipotez statystycznych o nieobciążoności odchyleń losowych modelu oraz o identyczności rozkładów wartości zmiennej prognozowanej przez model i obserwowanej. W niepełny sposób zostały opisane zmienne statystyki testowej (wyrażenie 6.7), a opis zmiennych nie jest dostosowany do tematyki pracy.

Wnioski zamykające pracę odnoszą się do przeprowadzonych badań są poprawne. Autor przedstawił także kierunki dalszych badań. Należy wyjaśnić dlaczego w zakończeniu Autor odnosi się do kosztów, skoro tematem rozprawy są opóźnienia realizacyjne. Autor niepoprawnie stwierdził, że „*zidentyfikowano 10 czynników jako przyczyny opóźnień*” bowiem w następnym punkcie mamy: „*w wyniku analiz wytypowano 15 zmiennych niezależnych*”. Autor we wnioskach omawia wartość średniego bezwzględnego błędu procentowego (MAPE), a nie był on analizowany w poprzednich rozdziałach. Doktorant stwierdził, że: „*średni błąd absolutny MAE nie przekracza 10%*”. MAE jest błędem wyrażanym w jednostkach prognozowanej wartości. Co prawda, prognozowaną wartość tj. opóźnienie względne można wyrazić procentowo, ale zastosowanie tej jednostki dla błędu MAE może być w tym przypadku mylące.

Wykaz literatury jest bardzo obszerny i zawiera łącznie 258 pozycji, w tym 4, których Doktorant jest współautorem. Dobór pozycji bibliograficznych należy uznać za poprawny. Świadczy to bardzo dobrym rozpoznaniu problematyki badawczej przez Doktoranta oraz umiejętności przeprowadzania interdyscyplinarnych studiów literaturowych, bowiem bibliografia obejmuje pozycje zarówno ze specjalności inżynieria przedsięwzięć budowlanych, jak również z zakresu statystyki i uczenia maszynowego. W rozprawie powinno unikać się takich pozycji jak internetowe materiały dydaktyczne, np. [240] czy Wikipedia.

Autor trafnie dobrał i wykorzystał współczesne narzędzia wspomagające rozwiązywanie problemów decyzyjnych: metody statystyczne, sztuczną inteligencję (model drzewa decyzyjnego, metoda maszyny wektorów nośnych i sieci neuronowe). Praca ma duży potencjał aplikacyjny. Oszacowane, przez opracowany model sztucznej sieci neuronowej RBF, opóźnienia w realizacji obiektów mostowych mogą być uwzględniane przy określaniu terminu dyrektywnego planowanej inwestycji w metodach harmonogramowania przedsięwzięć w celu zwiększenia odporności harmonogramów na dezaktualizację. Biorąc pod uwagę kompletność proponowanego ujęcia, sposób postawienia problemu i prezentacji uważam, że cel pracy został osiągnięty, a postawiona teza pozytywnie potwierdzona. Rozprawę można uznać za oryginalne dzieło o dużej wartości naukowej.

Za główne osiągnięcia uważam:

1. Utworzenie bazy danych o 169, zakończonych w latach 2005–2017, realizacjach obiektów mostowych, zawierającą dane o opóźnieniach realizacyjnych i przyczynach ich wystąpienia.
2. Przeprowadzenie badań ankietowych przyczyn opóźnień w realizacjach przedsięwzięć budowlanych i stworzenie hierarchii ważności czynników na etapie projektowania i realizacji. Ranking czynników może być wskazówką dla kadry inżynierskiej pozwalającą na wybór i wdrożenie działań pozwalających na zmniejszenie opóźnień w realizacji etapów i całego przedsięwzięcia budowlanego.
3. Przeprowadzenie badań ankietowych przyczyn opóźnień w realizacjach obiektów mostowych i opracowanie listy rankingowej ich ważności.

4. Budowę modeli predykcyjnych opóźnień realizacji obiektów mostowych: regresji wielorakiej, drzewa regresyjnego, modelu bazujący na maszynie wektorów nośnych oraz wykorzystujących sztuczne sieci neuronowe MLP i RBF.

Przy ogólnej bardzo pozytywnej ocenie merytorycznej rozprawy nasuwają się pewne pytania i uwagi krytyczne o różnym stopniu ich znaczenia. Mają one charakter dyskusyjny i wymagają ustosunkowania się do nich Autora rozprawy. Zasadnicze uwagi recenzenta dotyczą następujących kwestii merytorycznych:

- Baza danych zawiera informacje o 169, zakończonych w latach 2005–2017, inwestycjach obiektów mostowych. Wymaga komentarza i analizy czy zgromadzone i przetwarzane dane są adekwatne w obecnym otoczeniu rynkowym. Nie znaczy to, że baza danych nie może być wykorzystana w przykładach proponowanych modeli prognostycznych opóźnień w realizacjach obiektów mostowych.
- Przy budowie modeli: drzewo regresyjne, maszyny wektorów nośnych, perceptron wielowarstwowy MLP oraz sieć radialna RBF dokonano optymalizacji hiperparametrów modeli. Autor stwierdził, że „*zdecydowano się zastosować optymalizację wielokryterialną*” i jako pierwszą miarę jakości modelu zastosowano: błąd średniokwadratowy (MSE), a drugą współczynnik determinacji R^2 . Nawet przy dwóch miarach pojawia się problem wielokryterialnej analizy i dokonania oceny alternatywnych wariantów w każdej iteracji procesu optymalizacyjnego. W rzeczywistości podczas walidacji modelu „*do oceny działania modelu*” „*wyznaczano popełniany błąd MSE*” – strona 123. Stwierdzenie o zastosowaniu metod wyboru rozwiązań optymalnych przy wielorakości celów nie dotyczy optymalizacji hiperparametrów lecz wyboru modelu predykcyjnego. Przy wyborze modelu optymalnego Doktorant wskazuje na 4 istotne kryteria: błąd predykcji, współczynnik determinacji, zdolności generalizacyjne oraz stopień skomplikowania struktury modelu. Podczas analizy zostało pominięte kryterium czwarte, przez co model sieci RBF stał się rozwiązaniem niezdominowanym (paretooptymalnym) i nie ma konieczności stosowania metod analizy wielokryterialnej.
- Autor stwierdził „*Pod względem skomplikowania struktury model ten jest najbardziej zaawansowany i kosztowny obliczeniowo ...*”. Wymaga wyjaśnienia w jaki sposób zostały oszacowane miary efektywności modeli.
- Doktorant stwierdził, że zastosował metodę analizę dokumentacji projektowej i „*metoda ta pozwoliła na pozyskanie parametrów obiektów i dokładną analizę udzielonych opinii przez ekspertów z faktami oraz rzeczywistymi przypadkami opóźnień w inwestycjach budowy obiektów mostowych*”. Działania te nie zostały udokumentowane w rozprawie. Nie podano liczby analizowanych dokumentacji projektowych i jak te analizy wpłynęły na projektowanie formularza bazy danych oraz w ilu przypadkach miało to wpływ na korektę lub imputację danych.
- Planowany czas budowy nie został zidentyfikowany jako potencjalna zmienna niezależna. W wielu przeprowadzonych przez innych autorów badaniach, czas i koszt są jednymi z podstawowych predyktorów w prognozowaniu opóźnień, nawet jeżeli są analizowane opóźnienia względne.

Druga grupa uwag dotyczy stosowanej terminologii oraz usterek językowych i edycyjnych. Najważniejsze z nich zestawiono poniżej:

- Powinno się unikać wielokrotnych odwołań do literatury, np. [31,87,126,165,214] (str. 15), [91,92,96,121,173,192,212] (str. 24), itd.

- Strona 19, 25 itd. Niewłaściwe, potoczne wykorzystanie terminu firma. Zgodnie z definicją zawartą w Kodeksie cywilnym, firmą jest imię i nazwisko osoby fizycznej oraz nazwa osoby prawnej lub jednostki organizacyjnej nieposiadającej osobowości prawnej.
- Strona 21. „*Niedobór lub braki materiały budowlanych*”. Niedobór i braki to są synonimy. Dodatkowo błąd literowy.
- Strona 32, 34 itd. Powinno być: niedotrzymanie.
- Strona 32. „błędne zdefiniowanie ryzyk mogących wystąpić na projekcie”. Powinno być: wystąpić podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego.
- Strona 33, 47 itd. Powinno się unikać określenia „*czasokres*”.
- Strona 34. Powinno być: zidentyfikowano opóźnienia na etapie projektowania.
- Strona 48. „*W oparciu o wyniki*”. Niewłaściwe wykorzystanie składni w oparciu. Należy używać: na podstawie, bazując.
- Strona 81. Niewłaściwy zapis przedziału: [5,70 - 26,26].
- Tabela 4.17, 4,18 i dalsze. W ostatniej kolumnie powinno być: 1 – wpływ czynnika na opóźnienie.
- Strona 124. „*użycie wyliczonego modelu*”. Powinno być: wykorzystanie wyników.
- Strona 134. W opisie przytaczane wartości są niezgodne z danymi z tabeli 5.1.
- Strona 136. Odwołanie do niewłaściwych pozycji literatury: [2, 10].
- Opisy rysunku 6.9 są w języku angielskim.

Podsumowanie i wnioski

Pomimo sformułowanych wcześniej uwag krytycznych, uważam recenzowaną rozprawę za cenną i oryginalną, wnoszącą wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport. Wniesione uwagi merytoryczne należy traktować jako dyskusyjne i służące do ewentualnego uwzględnienia w dalszych pracach badawczych i publikacjach.

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Spełnione są zatem warunki określone spełnia wymogi stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595).

Stawiam wniosek o przyjęcie pracy i wnoszę o dopuszczenie Pana mgr. inż. Grzegorza Piskorza do publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej.

