TŁUMACZENIE PRZYSIĘGŁE DOKUMENTU SPORZĄDZONEGO W JĘZYKU ANGIELSKIM

[każda ze stron recenzji parafowana]

Dr hab. inż. Mieszko Kuzawa, prof. uczelni
Politechnika Wrocławska,
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Katedra Dróg, Mostów, Kolei i Lotnisk
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

RECENZJA

PRACY DOKTORSKIEJ PANA MGR INŻ. NGUYEN[A] CONG DUC[A] ZATYTUŁOWANEJ „BRIDGE HEALTH MONITORING USING AUTOMATED FE MODEL UPDATING, SIGNAL PROCESSING, AND MACHINE LEARNING" „MONITOROWANIE STANU MOSTU PRZY UŻYCIU AUTOMATYCZNEJ AKTUALIZACJI MODELU FE, PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW I UCZENIA MASZYNOWEGO"

Dziedzina: nauki inżynieryjne i techniczne
Dyscyplina naukowa: inżynieria lądowa, geodezja i transport

1. Podstawy formalne i przedmiot recenzji

Niniejszą recenzję przygotowałem na podstawie umowy cywilnoprawnej z Politechniką Śląską nr UMC/2507/2024 z dnia 15 lipca 2024 r., podpisanej w imieniu Uczelni przez Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Panią prof. dr hab. inż. Joannę Bzówkę.

Przedmiotem recenzji jest praca doktorska Pana mgr inż. Nguyen[a] Cong Duc[a] pt. „Monitorowanie stanu mostu przy użyciu automatycznej aktualizacji modelu FE, przetwarzania sygnałów i uczenia maszynowego", opracowana na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Śląskiej, pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Marka Salamaka - jako promotora oraz dr hab. inż. Andrzeja Katunina, prof. Politechniki Śląskiej - jako promotora pomocniczego.

Praca doktorska została przedstawiona w formie zwartego wydruku formatu A4, sygnowanego przez Katedrę Mechaniki i Mostów Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Śląskiej. Praca doktorska została przygotowana w *dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych*. Praca datowana jest na maj 2024 roku.

Podstawą prawną recenzji jest ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668, z późn. zm.)

2. Temat, tytuł, układ i forma pracy doktorskiej

Tematyka recenzowanej pracy doktorskiej związana jest z procedurami monitorowania stanu konstrukcji (ang. Structural Health Monitoring, SHM) stosowanymi w inżynierii mostowej w oparciu o zaawansowane przetwarzanie danych pomiarowych rejestrowanych przez systemy monitoringu oparte na czujnikach. Ta klasa strategii monitorowania koncentruje się na identyfikacji negatywnych zjawisk w konstrukcji mostowej na podstawie fizycznej i ewentualnie chemicznej odpowiedzi obiektu na różnego rodzaju obciążenia i uderzenia, mierzonej za pomocą elektronicznego systemu sterowania. W skład systemu monitorowania wchodzą zazwyczaj: czujniki, urządzenia pomiarowe, systemy transmisji danych, a także jednostki rejestrujące, przetwarzające i dostarczające w czasie rzeczywistym informacji o konstrukcji w warunkach eksploatacyjnych.

Monitorowanie stanu konstrukcji może być realizowane poprzez systematyczną ocenę zmian wrażliwych na uszkodzenia wskaźników pracy konstrukcji, określanych na podstawie danych pomiarowych w trakcie procesu monitorowania. Bieżąca ocena i prognozowanie stanu obiektu realizowane są w oparciu o indywidualnie zaprojektowane dla danej konstrukcji algorytmy obliczeniowe (będące przedmiotem niniejszej pracy), które na podstawie historii zbieranych przez system informacji pozwolą na identyfikację ewentualnych zmian w charakterystyce układu konstrukcyjnego. Trwałe zmiany powyższych parametrów, przy niezmienionych warunkach środowiskowych, są zwykle związane z uszkodzeniami i mogą powodować natychmiastowe lub przyszłe zmiany parametrów eksploatacyjnych.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa,
Geodezja i Transport
wpłynęło dnia 26.09.2024
nr 199 zał. —

Charakterystyki eksploatacyjne konstrukcji określone w wyniku przetwarzania danych uzyskanych z systemów monitoringu są bardzo cennymi informacjami, które mogą - i powinny - być wykorzystywane do oceny zmian stanu konstrukcji w wyniku procesów degradacji, a w konsekwencji do efektywnego zarządzania utrzymaniem i eksploatacją infrastruktury mostowej.

Ogólnie, zakres zastosowania systemów monitoringu wykorzystujących czujniki w odniesieniu do obiektów mostowych obejmuje przede wszystkim:

- nowe obiekty o znacznych rozpiętościach przęseł, nowatorskich rozwiązaniach konstrukcyjno-materiałowych i szczególnym znaczeniu dla systemu transportowego;
- wybrane rodzaje konstrukcji obiektów typowych, reprezentatywnych dla znaczących grup obiektów mostowych, które są przedmiotem badań związanych z identyfikacją rzeczywistych obciążeń i oddziaływań, detekcją uszkodzeń konstrukcji, modelowaniem procesów degradacji, prognozowaniem trwałości itp.;
- obiekty w złym stanie technicznym, o zaawansowanej degradacji lub zagrożonych szybkim rozwojem procesów degradacji, które jednak z różnych względów nie mogą być wyłączone z eksploatacji - do czasu ich naprawy lub wymiany.

Znaczenie rozpatrywanego problemu rośnie wraz ze wzrostem natężenia ruchu i prędkości pojazdów przejeżdżających przez mosty oraz związaną z tym intensyfikacją procesów degradacji struktury materiałowej. Obecnie standardowo stosowane procedury kontroli obiektów mostowych wymagane przepisami mogą nie gwarantować wystarczająco precyzyjnego określenia stanu konstrukcji w przypadku bardziej złożonych obiektów. Istnieje zatem potrzeba stosowania bardziej zaawansowanych metod diagnostycznych.

Podjętą przez doktoranta próbę rozwiązania przedstawionego powyżej złożonego zagadnienia z wykorzystaniem zaawansowanych metod przetwarzania danych pomiarowych i analiz symulacyjnych uważam za ważną zarówno z poznawczego, jak i technicznego punktu widzenia. W świetle powyższych uwag stwierdzam, że temat recenzowanej pracy doktorskiej został trafnie wybrany, rozważany problem naukowy jest interesujący od strony poznawczej, a jednocześnie ma bezpośrednie odniesienia praktyczne.

Recenzowana praca doktorska liczy 109 ponumerowanych stron tekstu formatu A4 - podzielonych na 7 rozdziałów. Tekst główny poprzedzają: strona tytułowa, strona podziękowań, 2-stronicowe streszczenie, 3-stronicowy spis treści, 7-stronicowy spis rycin, 1-stronicowy spis tabel oraz 2-stronicowy wykaz skrótów i ich objaśnień. Pracę doktorską uzupełniają: bibliografia (184 pozycje, 22 strony), indeks wybranych terminów (1 strona), załączniki A, B i C (łącznie 26 stron) oraz wykaz dorobku naukowego autora (4 strony).

W 4-stronicowym rozdziale 1 zatytułowanym „Wstęp" przedstawiono ogólną charakterystykę podjętego zadania naukowego. Sformułowano podstawowe cele i zakres pracy oraz przedstawiono jej układ.

W rozdziale 2 (8 stron) przedstawiono pokrótce aktualny stan, potrzeby i tendencje rozwojowe w zakresie monitorowania stanu technicznego mostów.

W rozdziale 3 (17 stron) opisano przyrządy do akwizycji danych oraz zaawansowane algorytmy przetwarzania sygnałów wykorzystane podczas przygotowywania pracy.

Kolejne trzy rozdziały (4-6) prezentują dorobek naukowy autora, w tym autorskie rozwiązania oceny stanu istniejących obiektów mostowych oparte na zaawansowanym przetwarzaniu danych pozyskiwanych z elektronicznych systemów monitoringu wykorzystujących czujniki.

W 34-stronicowym rozdziale 4 zatytułowanym „Monitorowanie stanu mostu kolejowego z wykorzystaniem uczenia maszynowego" przedstawiono inteligentny algorytm przetwarzania danych oparty na sztucznych sieciach neuronowych (ang. artificial neural networks, ANN) i adaptacyjnych systemach wnioskowania neurorozmytego (ang. adaptive neuro-fuzzy inference systems, ANFIS) do prognozowania zachowania dynamicznego stalowego mostu łukowego w Dębicy na podstawie odpowiedzi dynamicznej dźwigarów stalowych podczas przejazdu pociągów. Dane terenowe zostały zebrane z opartego na wibracjach, elektronicznego systemu monitorowania mostu w okresie dziewięciu miesięcy: od grudnia 2019 r. do września 2020 r. Zmienne wejściowe modeli ANN i ANFIS składają się ze

średnich kwadratowych wartości sygnału (ang. Root Mean Square, RMS) sygnałów wibracyjnych zarejestrowanych na dźwigarach, a dane wyjściowe to wartości RMS dynamicznych odpowiedzi przęseł mostu. Architektury ANN i ANFIS zostały zoptymalizowane przy użyciu algorytmu genetycznego (ang. genetic algorithm, GA).

W 19-stronicowym rozdziale 5 zatytułowanym „Diagnostyka stanu mostu kolejowego z wykorzystaniem analizy falkowej i głębokiego uczenia" przedstawiono opracowane podejście głębokiego uczenia (podkategoria uczenia maszynowego, która obejmuje tworzenie głębokich sieci neuronowych) do oceny stanu wyżej wspomnianego stalowego mostu łukowego w Dębicy. Modele klasyfikacji konwolucyjnej sieci neuronowej (ang. convolutional neural network, CNN) wykorzystywane są do oceny stanu dźwigara w warunkach eksploatacyjnych, tj. pod wpływem zdarzeń takich jak obciążenie przez pociąg i zmiany pogody w dziewięciomiesięcznym okresie ciągłego monitorowania mostu kolejowego. Opracowana procedura diagnostyczna oparta na modelach CNN, wykorzystująca dane pomiarowe z systemu monitorowania przedmiotowego mostu, obejmuje również wykorzystanie falkowych skalogramów sygnałów drgań oraz technik całkowania i różnicowania sygnału drgań opartych na szybkiej transformacji Fouriera (ang. Fast Fourier Transform, FFT).

W 22-stronicowym rozdziale 6 zatytułowanym „Oceny obciążenia diagnostycznego mostu przy użyciu automatycznej aktualizacji modelu FE" przedstawiono osiągnięcia autora w zakresie kalibracji numerycznych modeli FEM konstrukcji mostowych na podstawie porównania wyników analiz teoretycznych z wynikami badań rzeczywistego obiektu pod obciążeniem ciężkimi pojazdami o znanych parametrach. Proponowana metodyka aktualizacji modeli mostów opiera się na współdziałaniu oprogramowania ANSYS (lub SOFISTIK) z funkcjami MATLAB wykorzystującymi algorytmy optymalizacyjne (w tym algorytm genetyczny, GA) do wyznaczania wartości parametrów ostatecznie zastosowanych w modelu FE. Zmienne optymalizacyjne obejmują: właściwości przekroju poprzecznego i moduł Younga sprężystości materiału betonowego. Proponowane procedury kalibracji modeli FEM przedstawiono na przykładzie przęseł dwóch drogowych obiektów mostowych zlokalizowanych w Wietnamie: mostu żelbetowego (studium przypadku 1) i zespolonego mostu stalowo-betonowego (studium przypadku 2). Jest to ważna część pracy, ponieważ zastosowanie odpowiednich, wiarygodnych modeli do oceny stanu istniejących konstrukcji mostowych ma ogromne znaczenie. W szczególności dotyczy to diagnostyki mostów z uszkodzeniami zmniejszającymi ich nośność.

Ostatni rozdział 7 zatytułowany „Wnioski i przyszłe prace" na 2 stronach przedstawia syntetyczne podsumowanie wyników prac przeprowadzonych przez doktoranta oraz wnioski wynikające z przeprowadzonych analiz. Na ostatniej stronie pracy doktorskiej nakreślono proponowane kierunki dalszych prac naukowo-badawczych związanych z analizowanym problemem.

Opracowane przez autora skrypty programistyczne do analiz w programach MATLAB, SOFISTIK i ANSYS zostały dobrze udokumentowane w załącznikach A, B i C.

Pracę doktorską kończy Bibliografia obejmująca 184 pozycje. Dobór źródeł literaturowych świadczy o dobrej orientacji doktoranta w zagadnieniach będących przedmiotem pracy.

Podsumowując należy stwierdzić, że podział pracy doktorskiej na rozdziały i ich kolejność są logicznie uzasadnione i konsekwentnie dokumentują realizację założonych celów. Pod względem redakcyjnym praca jest dobrze opracowana. Stosowana terminologia techniczna nie budzi istotnych zastrzeżeń. Zamieszczone liczne ilustracje graficzne i tabele są na ogół czytelne i komunikatywne.

Dobrym pomysłem są krótkie podsumowania na początku każdego rozdziału, które ułatwiają zrozumienie koncepcji i struktury pracy, a także podsumowania na końcach rozdziałów, zawierające wnioski i opinie doktoranta.

Ważniejsze uwagi szczegółowe dotyczące formy opracowania zawarłem w punkcie 4 recenzji.

3. Ocena merytoryczna pracy doktorskiej

Pod względem merytorycznym recenzowaną pracę doktorską Pana mgr inż. Nguyen[a] Cong Duc[a] oceniam ogólnie bardzo pozytywnie. O jej istotnej wartości merytorycznej decydują następujące cechy:

- Temat pracy został właściwie dobrany - jest interesujący z poznawczego punktu widzenia, wymaga kompleksowego podejścia, a rozwiązywany problem naukowy jest związany z potrzebami praktyki inżynierskiej.
- Doktorant wykazał się dobrym zrozumieniem stanu wiedzy w obszarze objętym pracą doktorską, wykazał się dużą kreatywnością i biegłością w zaawansowanym przetwarzaniu danych, a także w modelowaniu i analizie numerycznej konstrukcji mostowych.
- Wszystkie cele pracy doktorskiej sformułowane w rozdziale 1.3 zostały osiągnięte.
- Za najważniejszy, oryginalny element pracy doktorskiej Pana mgr inż. Nguyen[a] Cong Duc[a] uważam: **Opracowanie i wdrożenie do praktyki badawczej kompleksowych procedur zaawansowanego przetwarzania danych, umożliwiających identyfikację wybranych cech charakteryzujących stan techniczny obiektów mostowych.**
- Opracowane autorskie, zaawansowane procedury przetwarzania danych pomiarowych rejestrowanych przez systemy monitoringu z wykorzystaniem czujników bazują na sprzężeniu różnych twardych i miękkich technik obliczeniowych, w tym sieci neuronowych i algorytmów optymalizacyjnych. Zaproponowane rozwiązania mogą stanowić podstawę do dalszych badań w zakresie elektronicznych systemów monitoringu z wykorzystaniem czujników wspomagających zarządzanie eksploatacją i utrzymaniem obiektów mostowych.

Na podkreślenie i uznanie zasługuje fakt, że fragmenty pracy doktorskiej przedstawione w rozdziałach 4 i 6 zostały wcześniej opublikowane przez autora w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Świadczy to o wysokiej wartości merytorycznej zaproponowanych przez autora rozwiązań, stanowiących jego indywidualne i oryginalne osiągnięcie naukowe.

Bibliografia pracy doktorskiej wymienia 7 publikacji współautorstwa doktoranta, w tym: 3 publikacje w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym oraz 4 w międzynarodowych materiałach konferencyjnych. Pozostałe publikacje współautorstwa doktoranta (prace niecytowane w tekście), wymienione w wykazie osiągnięć naukowych na końcu opracowania, obejmują 11 publikacji.

Zgłaszam następujące ogólne uwagi i spostrzeżenia dotyczące recenzowanej pracy doktorskiej:

1. Sformułowane w rozdziale 1 cele i zakres pracy są jasno określone i logicznie wynikają ze stanu badań nad diagnostyką obiektów mostowych w strategii monitoringu z wykorzystaniem czujników.
2. Wysoko oceniam zastosowane w pracy metody badawcze zaawansowanego przetwarzania danych uzyskanych z systemów monitoringu w celu przekształcenia ich w wiedzę dziedzinową charakteryzującą stan konstrukcji mostowej.
3. Doktorant wykazał, że różne techniki symbolicznej i niesymbolicznej reprezentacji wiedzy, w tym metody inteligencji obliczeniowej, są wysoce efektywne i powinny być stosowane w SHM konstrukcji mostowych. Należy jednak pamiętać, że każdy oparty na czujnikach system monitorowania konstrukcji mostowej musi być projektowany indywidualnie, z uwzględnieniem specyficznych problemów badanej konstrukcji. Rodzaje mierzonych wielkości, lokalizacja punktów pomiarowych, rodzaje czujników oraz strategia akwizycji i przetwarzania danych powinny być ustalane indywidualnie dla każdej konstrukcji, w sposób umożliwiający jej ocenę w oparciu o ustalone kryteria.
4. Wszelkie zmiany charakterystyk układu konstrukcyjnego powinny być analizowane - w każdym przypadku - wraz ze zmianami warunków środowiskowych otaczających obiekt, zachodzącymi w trakcie jego użytkowania. W prezentowanej pracy doktorskiej pominięto zagadnienie wpływu zmian temperatury na zachowanie się konstrukcji.
5. Pozyskiwanie dobrej jakości danych podczas całego procesu monitorowania jest absolutnie kluczowe. Dobór rozwiązań technicznych w systemie pomiarowym ma największy wpływ na ogólnie rozumianą skuteczność systemów monitoringu z wykorzystaniem czujników w osiąganiu założonych celów. Zagadnienia sprzętowe, które mają duże znaczenie w praktyce, zostały przedstawione w pracy doktorskiej w bardzo ograniczonym zakresie.
6. W pracy używane są bardzo specjalistyczne pojęcia bez podania ich definicji. W przypadku prac naukowych dotyczących zagadnień interdyscyplinarnych stworzenie przez autora słowniczka pojęć byłoby dodatkowym atutem.
7. Monitoring obiektów mostowych z wykorzystaniem czujników jest bardzo złożonym, interdyscyplinarnym zagadnieniem naukowo-technicznym, wymagającym specjalistycznej wiedzy z

różnych dziedzin: inżynierii mostowej, systemów pomiarowych, informatyki, mechaniki konstrukcji, a także znajomości numerycznych metod obliczeniowych i metod inteligencji obliczeniowej. W mojej ocenie, autor pracy wykazał się rozległą wiedzą teoretyczną i praktyczną w wyżej wymienionych dziedzinach.

4. Uwagi szczegółowe

Uwagi szczegółowe przedstawiam w kolejności, w jakiej zostały sformułowane podczas studiowania pracy; nie są one ułożone według ich znaczenia merytorycznego czy redakcyjnego:

a. Str. 29, 30 i kilka innych - przed wymienieniem poszczególnych pozycji najlepiej zastosować dwukropki zamiast kropek.
b. Str. 29, pkt 3.4. Wymienione zdania w mojej ocenie nie najlepiej podsumowują treść rozdziału 3, który jedynie skrótowo przedstawia narzędzia wykorzystane w dalszej części pracy doktorskiej. Niektóre sformułowania wydają mi się nieprecyzyjne lub nieprawdziwe: „zaproponowano transformaty falkowe", „omówiono algorytmy FFT", „wykonano algorytmy różniczkowania".
c. Strona 66, punkt 5.1. Schemat blokowy (Rys. 5.1) proponowanej procedury oceny stanu cięgieł w moście łukowym nie zawiera elementów dotyczących estymacji sił w cięgłach.
d. Strona 29, punkt 5.2.2. Jakie rodzaje oddziaływań na konstrukcję mogą być brane pod uwagę przy wyznaczaniu sił w cięgłach zgodnie z podanym wzorem (5.1)? Temu bardzo ważnemu zagadnieniu (w przypadku monitorowania obiektów rozciąganych) poświęcono zaledwie pół strony. Nie przedstawiono wyników analiz w tym zakresie.
e. Strona 69, Tabela 5.2. Ostateczne wartości parametrów stali i betonu użyte w analizach budzą duże wątpliwości, ponieważ są niezwykle niskie. Niewiele wiadomo o samym układzie konstrukcyjnym mostu. Czy przęsła mostu wykonane są w całości ze stali, czy są to konstrukcje zespolone, stalowo-betonowe? Jeśli są to przęsła zespolone, to moim zdaniem rozwiązania problemu „nadmiernej sztywności" oryginalnego modelu należy szukać gdzie indziej.
f. Strona 69. Nieprecyzyjny podpis pod rysunkiem 5.4.
g. Strona 71. Nieprecyzyjny podpis pod rysunkiem 5.6, a także nieprecyzyjne wyjaśnienie w tekście wyników analitycznych przedstawionych na tym wykresie.
h. Strona 72, punkt 5.2.5. Jeśli dobrze rozumiem, klasy poziomu sił w cięgłach wyznaczane są na podstawie pomiarów drgań tylko w jednym punkcie na płycie pomostu. Jest to bardzo cenne spostrzeżenie z punktu widzenia projektowania systemów monitoringu. W jaki sposób ustalono lokalizację tego punktu?
i. Strona 83, punkt 6.1. Niejasny fragment tekstu: „Aktualizacja pełnoskalowego modelu FE istniejącego mostu poprzez zmierzone w terenie częstotliwości drgań własnych jest porównywana i modyfikowana według numerycznych częstotliwości drgań własnych analitycznego modelu FE zaimplementowanego w oprogramowaniu MATLAB w celu komunikacji z oprogramowaniem ANSYS APDL".
j. Strona 84, punkt 6.2. Błędny podpis pod rysunkiem 6.1, a także nieprecyzyjne wyjaśnienie procedury kalibracji modeli numerycznych w tekście.
k. Str. 85, pkt 6.3. Wzory (6.2) i (6.3) można stosować tylko do niektórych prostych układów konstrukcyjnych. W tekście nie ma komentarza na ten temat. Do oceny nośności konstrukcji zespolonej, nawet w układzie statycznie niewyznaczalnym (jak w studium przypadku nr 2), wzory te nie mają zastosowania.
l. Strona 86. Tekst poprzedzający wzór (6.4) jest niejasny, podobnie jak sformułowanie tego wzoru.
m. Strona 88, punkt 6.4.2. W procesie kalibracji modelu numerycznego przęseł mostu ThiThac, referencyjną wielkością fizyczną jest zmierzone odkształcenie w połowie rozpiętości we włóknach dolnych dźwigarów żelbetowych. Czy, a jeśli tak, to w jaki sposób, uwzględniono kwestię pękania dźwigarów żelbetowych i wpływu oddziaływania termicznego na wartości mierzonych wielkości? W tekście podano, że zmierzono również ugięcia dźwigarów, które w tym przypadku mogłyby być bardziej wiarygodnym parametrem charakteryzującym zachowanie tej konstrukcji pod obciążeniem pojazdami.
n. Strona 91, punkt 6.4.3. Ostateczne wartości momentów bezwładności dźwigarów żelbetowych uzyskane w wyniku kalibracji modelu według procedury opracowanej przez autora są niezwykle niskie. Niewykluczone, że w tym przypadku może wystąpić problem tzw. efektu klawiatury

występującego w dźwigarach prefabrykowanych na skutek postępującego uszkodzenia wzajemnych połączeń belek i/lub cienkiej płyty betonowej w wyniku obciążeń cyklicznych (problem występujący w przęsłach mostów budowanych z elementów prefabrykowanych, głównie w latach 70-tych XX wieku). W tym konkretnym przypadku - podczas procesu kalibracji modelu FE - uzasadnione byłoby również lokalne zmodyfikowanie sztywności wzajemnych połączeń belek w modelu FEM.

o. Strony 92-93. Nieprecyzyjne podpisy pod rysunkami 6.7 do 6.10, a także nieprecyzyjne wyjaśnienia w tekście wyników analizy przedstawionych na wykresach: Co dokładnie pokazują te wykresy?

Przedstawione powyżej nieliczne uwagi nie obniżają znacząco ogólnej wysokiej oceny recenzowanej pracy doktorskiej.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowując, stwierdzam, że praca doktorska Pana mgr. inż. Nguyen[a] Cong Duc[a] pt. „Monitorowanie stanu mostów z wykorzystaniem automatycznej aktualizacji modelu FE, przetwarzania sygnałów i uczenia maszynowego" jest pracą o istotnej wartości merytorycznej - zarówno naukowej, jak i praktycznej, zawiera oryginalne rozwiązanie badanego problemu naukowego oraz wykazuje umiejętność właściwego prowadzenia badań naukowych przez doktoranta.

W recenzowanej pracy główna uwaga została skupiona na metodyce przetwarzania danych pomiarowych z systemów monitoringu z wykorzystaniem czujników w celu identyfikacji stanu konstrukcji mostowej. Na potrzeby niniejszej pracy przeprowadzono oryginalne badania eksperymentalne 3 obiektów mostowych. Opracowano modele numeryczne badanych obiektów oraz przedstawiono metodykę ich kalibracji i weryfikacji.

Autor pracy wykazał się rozległą wiedzą teoretyczną i praktyczną w zakresie badań eksperymentalnych konstrukcji inżynierskich i ich analiz numerycznych. Zaprezentował również umiejętność rozwiązywania problemów naukowych z harmonijnym wykorzystaniem narzędzi analizy teoretycznej i eksperymentalnej, co zasługuje na szczególne podkreślenie.

Przedstawione w recenzji nieliczne uwagi krytyczne dotyczą głównie aspektów redakcyjno-językowych i nie mają istotnego wpływu na ogólną wysoką ocenę recenzowanej pracy doktorskiej. Warto podkreślić bogaty i starannie przygotowany materiał ilustracyjny, zapewniający wysoką komunikatywność pracy.

Główny cel pracy został osiągnięty przy zastosowaniu metod naukowych. Rekomendacje dotyczące różnych aspektów przedstawionej metodologii zostały zawarte w odpowiednich częściach pracy. Szczegóły techniczne dotyczące procedur analitycznych przeprowadzonych z wykorzystaniem specjalistycznych programów komputerowych zostały opisane w załącznikach zamieszczonych na końcu pracy.

Recenzowana praca doktorska, w mojej ocenie, spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668, z późn. zm.). W związku z powyższym, wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Wrocław, 12 września 2024 r.
[podpis nieczytelny]

Ja, Małgorzata Sokołowska, tłumacz przysięgły języka angielskiego w Gliwicach, nr wpisu na listę tłumaczy przysięgłych TP/1509/05. Poświadczam zgodność niniejszego tłumaczenia z okazanym mi plikiem pdf sporządzonym w języku angielskim. Gliwice, dnia 24 września 2024 r. Repertorium nr 588/2024