

## 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  
Telefon: + [REDACTED]  
E-mail: [mieszko.kuzawa@pwr.edu.pl](mailto:mieszko.kuzawa@pwr.edu.pl)

### RECENZJA

PRACY DOKTORSKIEJ PANA MGR INŻ. NGUYEN[A] CONG DUC[A] ZATYTULOWANEJ  
„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.)

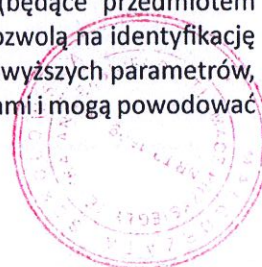
#### 2. Temat, tytuł, układ i forma pracy doktorskiej

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 wchodzi 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 niezmiennych 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 ..... zat. ....



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).

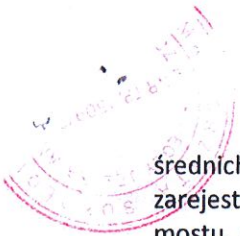
W 4-stronicowym rozdziale 1 zatytułowanym „Wstęp” przedstawiono ogólną charakterystykę podjętego zadania naukowego. Sformułowano podstawowe cele i zakres pracy oraz przedstawiono jej układ.

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.

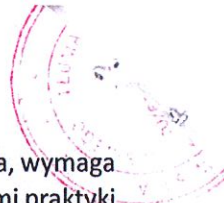
Podsumowując należy stwierdzić, że podział pracy doktorskiej na rozdziały i ich kolejność są logicznie uzasadnione i konsekwentnie dokumentują realizację założonych celów. Pod względem redakcyjnym praca jest dobrze opracowana. Stosowana terminologia techniczna nie budzi istotnych zastrzeżeń. Zamieszczone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

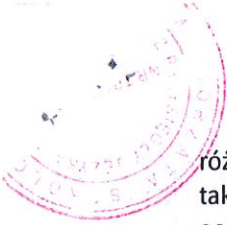
- 
- Temat pracy został właściwie dobrany - jest interesujący z poznawczego punktu widzenia, wymaga kompleksowego podejścia, a rozwiązywany problem naukowy jest związany z potrzebami praktyki inżynierskiej.
  - Doktorant wykazał się dobrym zrozumieniem stanu wiedzy w obszarze objętym pracą doktorską, 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 osiągnięciu 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 ciągłych w moście łukowym nie zawiera elementów dotyczących estymacji sił w ciągłach.
- d. Strona 29, punkt 5.2.2. Jakie rodzaje oddziaływań na konstrukcję mogą być brane pod uwagę przy wyznaczaniu sił w ciągłach 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 ciągłach wyznaczone 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 przęsła 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 pęknięcia 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 obciążeniami 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 Sokółowska, 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.

TŁUMACZ PRZYSIĘGLY  
JĘZYKA ANGIELSKIEGO  
mgr Małgorzata Sokółowska

