

Opinia o rozprawie doktorskiej mgr inż. Grzegorza Poprawy „Operacyjna analiza modalna w badaniach kratowych mostów kolejowych pod próbnym obciążeniem dynamicznym”

1. Podstawa formalna opracowania

Opinię opracowano na prośbę Pani Dziekan Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej, dr hab. inż. Joanny Bzówki prof. Pol. Śl. (pismo z dnia 26.04.2018r.).

2. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa dotyczy zagadnień związanych z identyfikacją właściwości modalnych przęseł kratownicowych mostów kolejowych. Autor przedstawił współczesne możliwości określania cech dynamicznych konstrukcji przęseł i przeprowadził własne analizy, w których wykorzystał metody identyfikacji częstości własnych, postaci własnych i towarzyszącego im tłumienia. Przeprowadzono również szereg eksperymentów badawczych, w których pokazano przydatność opisywanych metod.

Celem szczegółowym pracy jest zastosowanie operacyjnej analizy modalnej jako narzędzia identyfikacyjnego do określenia parametrów modalnych konstrukcji przęseł mostów kratownicowych poddanych próbnemu obciążeniu.

W rezultacie zastosowania nowoczesnej metody identyfikacji możliwe się staje obserwowanie zachowań konstrukcji pod obciążeniem dynamicznym. Szczególną uwagę zwrócono na drgania składowych elementów przęsła.

W rezultacie autor przedstawił szereg wniosków dotyczących jakości prowadzonych badań i przydatności opisaney metodyki w przypadku innych typów konstrukcji przęseł.

Tematyka pracy jest wysoce aktualna. Obecnie rozwijają się poszukiwania obiektywnej oceny pracy przęseł mostów kolejowych szczególnie w kontekście kolei dużych prędkości. Prawidłowa ocena cech dynamicznych przęseł związana jest z oceną bezpieczeństwa i żywotności oraz warunków użytkowych w relacji most-pojazd szynowy oraz pasażer. To wszystko sprawia, iż tematyka podjęta przez doktoranta jest bardzo ważna z punktu widzenia projektanta, wykonawcy i użytkownika współczesnych mostów kolejowych.

Charakteryzując ogólnie pracę należy podkreślić, że jest ona połączeniem rozważań teoretycznych i badań eksperymentalnych. Stanowi zatem komplet zagadnień potrzebnych tym, którzy będą chcieli podjąć się prowadzenie badań dynamicznych konstrukcji mostowych.

Opiniowana rozprawa liczy 218 stron maszynopisu i składa się z 7 rozdziałów, spisu treści, definicji podstawowych pojęć, definicji stosowanych skrótów, spisu bibliografii, jednego załącznika oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Rozdział 1 zawiera wprowadzenie do tematyki. Opisuje program badawczy i przedmiot rozprawy, określa zakres cele.

Zdaniem autora celem pracy jest adaptacja operacyjnej analizy modalnej do polskich warunków wykonywania próbnych obciążeń dynamicznych mostów.

Rozdział 2 – zawiera kompendium zasad, przepisów i praktyk związanych z prowadzeniem próbnych obciążeń obiektów mostowych. W rozdziale dokonano klasyfikacji obiektów badanych z wyróżnieniem konkretnych grup mostów. Przeprowadzono dyskusję na temat polskich przepisów i norm dotyczących zakresu i metodyki prowadzenia badań. W dalszej części rozdziału autor zajął się bardziej szczegółowo metodyką badań trenowych mostów. W rozdziale zwrócono szczególną uwagę na specyfikę stalowych przęseł kratownicowych i przydatność badań dynamicznych w ich ocenie.

Uwagi:

W rozdziale zbagatelizowano zagadnienia dynamiczne w mostach drogowych. Obecnie zdaniem recenzenta zagadnienia dynamiczne w stalowych mostach drogowych są niezwykle istotnym elementem oceny nośności zmęczeniowej i żywotności konstrukcji.

Opisano kolejowe mosty kratownicowe jako największe (jedyne – str. 23) rozpiętości w wieku XIX. Należy przypomnieć, że jeszcze nie było mostów kratownicowych w czasie kiedy Thomas Telford zbudował pierwszy most wiszący o rozpiętości 180 m (Menai -1826). Później w roku 1883 otworzono drogowy most Brookliński o rozpiętości przęsła 486m (dzieło J. A. Roeblinga).

Rozdział 3 – Operacyjna analiza modalna w inżynierii budowlanej

W rozdziale omówiono metody identyfikacji parametrów modalnych konstrukcji. Zwrócono uwagę na potrzebę sprawnego i bezbłędneho określenia częstości i postaci drgań własnych oraz stowarzyszonego tym postaciom tłumienia. We wstępie przedstawiono klasyfikację metod analizy modalnej i skupiono się dalej na eksperymentalnej analizie modalnej zwanej dalej operacyjną. Omówiono wybrane metody bazujące na odpowiedzi swobodnej konstrukcji po wzbudzeniu i te, które określają cechy dynamiczne konstrukcji drgającej w wyniku nieznanymi wymuszeń środowiskowych. Przedstawiono kryteria stosowania opisanych metod oraz metody oceny ich wiarygodności lub poprawności.

Uwagi:

Stosując metody identyfikacji badające odpowiedź swobodną nie musimy znać obciążenia inicjującego drgania. Ważne jest aby obciążenie to przestało oddziaływać na konstrukcję.

Identyfikacja tłumienia została potraktowana marginalnie, a jest to obecnie najbardziej aktualny problem roztrząsany przez badaczy.

Przedstawiony w rozdziale przegląd metod identyfikacji jest wynikiem studiów literatury. Zawiera niestety szereg nieprecyzyjnych zapisów, skrótów myślowych i określeń takich jak: Filtr wymuszający, wymuszenie liniowym filtrem, system wymuszający, szum Gaussowski, Gaussowska odpowiedź konstrukcji itp.

Mankamentem rozdziału jest brak precyzyjnych definicji używanych symboli i zmiennych.

Rozdział 4 – Eksperyment identyfikacyjny na kolejowych mostach kratowych

W podrozdziałach 4.1-4.3 zawarto metodykę pomiarów i analiz otrzymanych wyników. Pokazano wspólne cechy identyfikowanych przęseł, przeprowadzono wywód dotyczący wyboru punktów i kierunków pomiaru oraz sprzętu pomiarowego. Opisano weryfikację działania algorytmu identyfikacyjnego oraz procedury kontroli sprzętu pomiarowego.

Uwagi:

W p. 4.2.1 wskazano błędną identyfikację cech dynamicznych wykonaną przez inną grupę pomiarową. Jeżeli nie ma wskazania na konkretne wady lub uchybienia i nie ma wyników sprawdzających, twierdzenie o błędach wydaje się być nieuprawnione. Fakt, że wynik nie mieści się w granicach ustalonego przez autora trendu niczego nie dowodzi.

Załączone w podrozdziale rysunki są niejednoznacznie opisane i tylko można się domyślać co przedstawiają (rys. 4-4 i 4-5 prawdopodobnie reprezentują przekrój poprzeczny, rys. 4-6 i 4-7 są mało czytelne)

W p. 4.3.2. napisano iż wykorzystano dostępny algorytm identyfikacyjny OMA. Nie ma cytowania lub nazwy własnej i nie ma żadnego opisu działania. Czy autor wykonał swój własny algorytm? Weryfikacja przedstawiona w p.4.3.2 pokazuje wysoką zbieżność wyników z modelem MES. Czy model MES może być elementem testu rzeczywistej konstrukcji? Raczej na ogół jest odwrotnie. Czy model MES wykorzystano tylko do rozwiązania problemu własnego? Gdyby wykonano obliczenia MES odpowiedzi konstrukcji testowej na impuls i wyniki w postaci przebiegów przyspieszeń wybranych punktów poddano obróbce typu OMA weryfikacja byłaby pełniejsza.

W p. 4.4 opisano eksperymenty identyfikacyjne.

Podrozdział zawiera sprawozdanie z przeprowadzonych badań na trzech przęsłach kratownicowych. Opisano ilości i umiejscowienie czujników oraz podano przykładowe przebiegi przyspieszeń wybranych punktów. Ponadto podjęto temat współczynnika przewyższenia dynamicznego. Całość ma charakter sprawozdania z pomiarów i jest wstępem do kolejnego rozdziału.

Rozdział 5 – identyfikacja modeli modalnych mostów kratownicowych.

W rozdziale zamieszczono wyniki analiz pomiarów przeprowadzonych dla trzech przęseł kratownicowych – Maczki, Tarnów i Sławków.

W rozdziale zawarto również autorskie wnioski i przemyślenia związane

z prowadzeniem badań i wykorzystania wyników przeprowadzonych eksperymentów. **Ten element pracy można uznać za oryginalny wkład autora w rozwój metodyki badań i modelowania konstrukcji.**

Uwagi:

Trudno się zorientować z opisu jakie obciążenia lub zjawiska były mierzone jako odpowiedź konstrukcji przęsła. Warto by było uzupełnić opisy pod wykresami.

Nie ma porównania wyników analizy OMA z identyfikacją opartą na odpowiedzi swobodnej przęsła po przejeździe próbnego obciążenia. Z takiej analizy niemal wprost można uzyskać podstawowe częstości własne i związane z nimi tłumienia. Dlaczego nie pokazano tych wyników? Porównanie lub walidacja z wykorzystaniem modelu MES jest mało wiarygodna. Jedynie w przypadku Sławkowa pokazano tabelę wyników z próbnego obciążenia (tabela 5.6), ale nie zadano sobie trudu opracowania i zestawienia wyników tak, aby można było je porównać z wynikami OMA (tabela 5.7). Nie ma też żadnego komentarza dotyczącego różnic w wynikach częstości własnych i tłumienia. Na podstawie zamieszczonych wyników trudno zatem oszacować obiektywnie przydatność OMA do identyfikacji cech dynamicznych mostu.

W podsumowaniu rozdziału autor skupił się na scharakteryzowaniu postaci i częstotliwości drgań znamienych dla dźwigarów kratownicowych. Nie podjął się krytycznej oceny algorytmów OMA w rozpatrywanych eksperymentach.

Rozdział 6 – Przykłady badań konstrukcji mostów innych typów

W rozdziale przedstawiono inne obiekty mostowe przebadane z udziałem doktoranta. Są to wiadukty łukowe, kratownice i kładki dla pieszych. Zestawienie zawiera opis badanych konstrukcji, opis procesu badawczego i ogólne wnioski z badań.

Uwagi:

W rozdziale nie przedstawiono żadnych wyników badań. Nie dokonano też oceny procedury OMA w porównaniu do tradycyjnej obróbki wyników pomiarów.

Rozdział 7. – Podsumowanie

W rozdziale dokonano ogólnego podsumowania wykonanych prac i sformułowano wnioski dotyczące filozofii prowadzenia badań próbnych na mostach. Poddano pod wątpliwość obecny standard prowadzenia badań i wskazano rolę modelu MES konstrukcji. Zdaniem autora próbne obciążenia powinny być zreformowane i badania dynamiczne powinny być sprowadzone do analizy typu OMA określającej parametry modalne konstrukcji (częstotliwości i tłumienia).

Autor wskazuje dalej na możliwość rozszerzenia procedury typu OMA na stalowe mosty łukowe. Dalsze wnioski dotyczą metodyki podejścia do badań mostów kratownicowych.

W zakończeniu autor wskazuje dalsze kierunki badań z zastosowaniem procedur OMA.

Załącznik A. – Dobre praktyki eksperymentalne w Operacyjnej Analizie Modalnej.

Przedstawiono zasady postępowania przy przygotowaniu i prowadzeniu badań terenowych przęsła mostu, które autor wypracował na podstawie własnych doświadczeń i studiów literatury.

3. Ocena rozprawy.

3.1 Uwagi pozytywne

Praca jest ważnym przyczynkiem do technicznego wdrożenia metod pomiarowych i procedur analizy wyników przy prowadzeniu diagnostyki mostów. Rezultatem pracy jest dzieło będące kompendium wiedzy potrzebnej do prowadzenia pomiarów terenowych charakterystyk dynamicznych konstrukcji mostowych.

Doktorant przeprowadził bogate studia literatury dotyczące historii i aktualnej wiedzy dotyczącej analizy sygnałów pomiarowych. Dokonał przeglądu metod określania parametrów modalnych konstrukcji i przedstawił szereg realizacji wykonanych w oparciu o pomiary drgań środowiskowych z wykorzystaniem procedury typu OMA.

Niewątpliwie oryginalnym osiągnięciem autora jest opracowanie i wdrożenie metodyki postępowania przy prowadzeniu pomiarów pod kątem procedury OMA potwierdzone wykonanymi eksperymentami badawczymi na przęsłach mostów kratownicowych.

Przy okazji przeprowadzonych eksperymentów autor sformułował szereg wniosków i zaleceń technicznym, mogą usprawnić działanie badaczy i tym samym są wartościowym elementem rozprawy.

Praca poza częścią badawczą zawiera szeroki przegląd literatury tematu. Zamieszczono 139 pozycji związanych z rozważaną tematyką.

3.2 Uwagi krytyczne

Uwagi ogólne:

Praca dotyczy metod identyfikacji cech modalnych konstrukcji przęseł mostowych ze wskazaniem na OMA jako najlepszej metody opracowania wyników pomiarowych. Celem OMA jest identyfikacja własności modalnych struktury, która jest permanentnie obciążona losowym, całkowicie nieznanym obciążeniem środowiskowym. Mosty kolejowe należą natomiast do grupy konstrukcji, które są obciążane w sposób niemal deterministyczny, obciążenie użytkowe jest przykładane precyzyjnie, na krótki czas i wartość obciążenia jest wielokrotnie większa od wpływów środowiskowych (wiatr, drganie podłoża itp.). Dlatego w odróżnieniu od wiszącego zadaszona stadionu, masztu lub lekkiego mostu dla pieszych drgania środowiskowe wywołują efekty o bardzo małej amplitudzie. Przekłada to się na niską jakość otrzymanych wyników. Wszystko to samo można uzyskać z odpowiedzi swobodnej konstrukcji po przejeździe obciążenia. Na moście kolejowym takie pomiary można wykonać z łatwością, stosując standardowe metody analizy spektralnej czy też bardziej zaawansowany algorytm typu ERA. Inną mamy sytuację w problematyce mostach drogowych i kładkach dla pieszych. Tam obciążenie użytkowe można traktować jako losowe, a analiza odpowiedzi swobodnej bez specjalnego eksperymentu jest niemożliwa. Dlatego metoda OMA powinna być tam implementowana.

Propozycja zmodernizowania procedur próbnego obciążenia mostów bez przeprowadzenia dyskusji nad stanem obecnym jest nieuzasadniona.

Cele próbnego obciążenia są następujące:

- Weryfikacja założeń projektowych, którą można sprowadzić do weryfikacji modelu MES projektanta. Badanie statyczne sprawdza macierz sztywności **K**, badanie dynamiczne sprawdza **K i M** – macierz mas. Oba badania są więc potrzebne po to żeby sformułować/walidować model MES.
- Potwierdzenie sprężystej pracy konstrukcji – odbywa się poprzez badanie statyczne (ugięcia trwałe) i przez badanie dynamiczne (określenie tłumienia).
- Spełnienie warunków użytkowych dotyczących ugięć i przyspieszeń – wymaga konkretnego obciążenia statycznego i dynamicznego dla różnych prędkości
- Określenie dynamicznej metryki mostu zawierającej parametry modalne konstrukcji mogące być elementem diagnostyki.

Realizacja tych celów wymaga przeprowadzenia próbnego obciążenia statycznego i dynamicznego w formie dotychczas praktykowanej. Trzeba też podkreślić, że elementem procesu walidacji modelu dynamicznego MES jest obciążenie statyczne.

Analizując strukturę i tematykę pracy uważam, że celem pracy było stworzenie kompletnej procedury badawczej związanej z identyfikacją parametrów dynamicznych przęseł mostów kolejowych, której istotnym filarem jest operacyjna analiza modalna jako narzędzie do obróbki i przetwarzania danych pomiarowych.

Sama OMA została potraktowana w pracy marginesowo. Autor nie podał źródła oprogramowania, z którego korzystał, opisu jego specyfiki i możliwości. Ponadto nie przedstawiono żadnej dyskusji dotyczącej wiarygodności otrzymanych wyników. Porównanie rozwiązania problemu własnego MES z eksperymentem nie może być traktowane jako weryfikacja metody. Brakuje prostych testów na modelach numerycznych o znanych cechach modalnych. W końcu nie porównano wyników OMA w opisanych eksperymentach z rezultatami standardowej obróbki wyników pomiarów dynamicznych odpowiedzi swobodnej podczas próbnego obciążenia. Tam rutynowo określa się częstości własne i tłumienie.

Recenzent liczy na przedstawienie porównania wyników OMA w zakresie częstości i tłumienia w porównaniu z tymi, które zidentyfikowano na podstawie odpowiedzi swobodnej dla trzech badanych przęseł mostów.

Szczegółowe uwagi krytyczne zamieszczono w opisach poszczególnych rozdziałów.

W pracy zauważono drobne usterki formalne i stylistyczne. Jednak recenzent nie uważa tego rodzaju mankamentów za istotne. Natomiast zwraca uwagę na słabą czytelność niektórych rysunków i wykresów oraz nieprecyzyjne podpisy pod rysunkami.

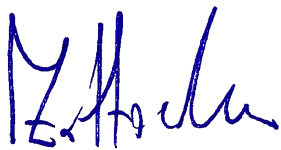
5. Ocena końcowa

Przedstawiona do recenzji praca mgr inż. Grzegorza Poprawy pt.: „Operacyjna analiza modalna w badaniach kratowych mostów kolejowych pod próbnym obciążeniem dynamicznym” ma moim zdaniem wartość pracy naukowej i spełnia wymagania stawiane rozprawie doktorskiej. Zwłaszcza w części eksperymentalnej,

dotyczącej autorskiego programu badań kratownicowych mostów kolejowych.

Na podstawie przedłożonej rozprawy stwierdzam, iż praca doktorska Pana mgr inż. Grzegorza Poprawy spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 roku (art. 13 ust.1, Dz.U.65 poz.595 z późniejszymi zmianami) i może stanowić podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora.

W związku z powyższym składam przed Wysoką Radą wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'K. Żółtowski', is positioned above the typed name.

dr hab. inż. Krzysztof Żółtowski Prof. nadzw. PG