

dr hab. inż. Piotr Kisielewski, prof. PK  
Politechnika Krakowska  
Wydział Mechaniczny  
Instytut Pojazdów Szynowych  
Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków

Kraków, dnia 20 sierpnia 2020 r.

*Przyjęto dzień 27/08/2020*

DZIEKAN  
Wydziału Inżynierii Lądowej

prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

## Opinia

o pracy doktorskiej mgra inż. **Cezarego Kraśkiewicza**, pt.:

*Identyfikacja i dobór cech materiałowych wybranych izolatorów wibroakustycznych w systemach konstrukcji dróg szynowych*

Podstawa opracowania: zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej, Politechniki Warszawskiej z dnia 7.05.2020

### 1. Ocena tematu, celu, tezy i zakresu pracy

Praca doktorska mgra inż. Cezarego Kraśkiewicza dotyczy istotnego i aktualnego nie tylko w Polsce problemu doskonalenia konstrukcji dróg szynowych. W pracy rozpatrzono wybrane zagadnienia z zakresu izolatorów wibroakustycznych, stosowanych w ich konstrukcji w celu ograniczenia wibracji i hałasu od ruchu kolejowego. Przez izolatory wibroakustyczne Autor rozumie takie elementy składowe toru, których podstawową funkcją jest redukcja poziomu oddziaływań od ruchu pojazdów szynowych, tj. ograniczanie ich transmisji na drodze do chronionych obiektów.

Zakres pracy Autor ogólnie przedstawił w jej temacie. W szczególności zagadnienia objęte tym zakresem są następujące:

1. Ocena stosowanych obecnie w Polsce zasad dotyczących metodyki identyfikacji i doboru cech materiałowych izolatorów wibroakustycznych charakteryzowanych wybranymi parametrami.
2. Adaptowanie i rozwinięcie stosowanych w mechanice teoretycznej modeli mechanicznych konstrukcji drogi szynowej, z uwzględnieniem specyfiki warunków konstrukcyjnych, materiałowych i eksploatacyjnych dróg szynowych odnośnie do wybranych izolatorów wibroakustycznych.
3. Opracowanie zalecanych przedziałów wartości parametrów charakteryzujących izolatory wibroakustyczne z uwagi na cechy najbardziej istotne do ich funkcji.
4. Rekomendacja metod doboru i identyfikacyjnych procedur badawczych, właściwych do doboru tych parametrów.

Z podanych przez Autora informacji wynika, że za cel pracy przyjął wykonanie oceny stosowanych w Polsce zasad doboru i oceny torowych izolatorów wibroakustycznych oraz opracowanie metodyki identyfikacji i doboru ich cech materiałowych charakteryzowanych

*AK*

wybranymi parametrami, zalecanymi przedziałami ich wartości, a także wskazanie właściwych dla nich procedur badawczych.

Teżą pracy jest stwierdzenie, że istnieje możliwość właściwego doboru i identyfikacji cech materiałowych wibroizolatorów w sposób odpowiedni do ich funkcji.

W kontekście podanych wcześniej uwarunkowań kolei w Polsce i nowych jej zadań, a także stanu wiedzy w zakresie metodyki identyfikacji oraz doboru cech materiałowych umożliwiających ograniczenie wibracji i hałasu od ruchu kolejowego, sformułowane przez Autora: temat, tezę oraz przyjęty zakres pracy należy uznać za poprawne i uzasadnione.

## **2. Ogólna charakterystyka pracy**

Opiniowana praca zawiera 261 stron. Składa się z 8 rozdziałów poprzedzonych streszczeniami w językach polskim i angielskim oraz spisem treści. W rozdziałach zamieszczono 149 rysunków (odpowiednio: 26, 15, 29, 22, 50, 5, 1 i 1) oraz 107 tablic (odpowiednio: 0, 4, 7, 53, 34, 2, 7 i 0). Bibliografia składa się z wykazu 157 pozycji, w tym 77 prac naukowych, zamieszczonych alfabetycznie, zestawienia 61 norm, standardów technicznych i rekomendacji, wykazu 11 raportów z badań oraz 8 katalogów i stron internetowych firm. W 17 pozycjach wykazu prac naukowych oraz w 9 raportach z badań wyraźnie wymienionym współautorem jest Cezary Kraśkiewicz.

Rozdziałem pierwszym jest obszerny wstęp zawierający wprowadzenie, sformułowanie tezy, przedstawienie zakresu pracy, celowości podjęcia tematu, metody jego opracowania oraz planowanych efektów. W zakończeniu wstępu Autor przedstawił systematykę, funkcje i położenie izolatorów wibroakustycznych w konstrukcjach dróg szynowych oraz elementy składowe tych konstrukcji.

Zasadnicze rozdziały pracy obejmują następujące zagadnienia:

- przedstawienie modeli mechanicznych konstrukcji drogi szynowej,
- normy i procedury badań laboratoryjnych wibroizolatorów uwzględniające czynniki eksploatacyjne,
- przegląd wymagań dotyczące podkładek USP i mat UBM z uwzględnieniem czynników eksploatacyjnych,
- badania laboratoryjne wybranych podkładek USP i mat UBM na stanowisku badawczym,
- zastosowanie modelu mechanicznego podsypkowej konstrukcji drogi kolejowej do doboru oraz oceny skuteczności wibroizolatorów,
- wnioski z propozycjami wytycznych dotyczących doboru, wymagań i stosowania podkładek USP oraz mat UBM na sieci zarządzanej przez PKP PLK S.A oraz wnioski końcowe,
- kierunki dalszych badań.

Rozprawa zawiera podstawowe elementy opracowania naukowego, to znaczy sformułowanie problemu, zakresu, celu i tezy pracy, analizę literaturową stanu teorii i badań, metodykę, przebieg i wyniki badań własnych oraz wnioski o charakterze poznawczym i utylitarnym. Praca ma logiczny układ treści oraz została napisana w sposób przejrzysty.

## **3. Ocena merytoryczna pracy**

Osiągnięcie założonego celu pracy oraz udowodnienie postawionej tezy wymagało analizy stanu zagadnienia oraz badań teoretycznych i eksperymentalnych w szerokim zakresie.

Rozdział 1 zawiera ogólne wprowadzenie do tematu, sformułowanie tezy, uzasadnienie celowości i przedstawienie metody opracowania tematu pracy oraz przewidywanych jej efektów. Stosowane obecnie w Polsce zasady identyfikacji i doboru materiałowych cech izolatorów wibroakustycznych w systemach konstrukcji dróg szynowych nie w pełni są odpowiednie do podstawowych funkcji tych elementów oraz nie w pełni uwzględniają aktualny stan wiedzy w tej dziedzinie. Zatem uzasadnione jest stwierdzenie, stanowiące tezę pracy, że istnieje możliwość właściwego doboru i identyfikacji cech materiałowych izolatorów wibroakustycznych w sposób odpowiedni do ich funkcji.

W rozdziale 1.1 dokonano zwięzłego wprowadzenia do tematyki badawczej i przeglądu literatury w przedmiotowym zakresie. W wykazie literatury znajdują się starsze pozycje [10,20] dotyczące modelowania układu mechanicznego pojazd szynowy – tor, brak jest opracowań nowszych w tym uwzględniających ciągły model toru, co ma szczególne znaczenie dla kolei dużych prędkości i będących źródłem drgań wysokoczęstotliwościowych i hałasu. Można tu przytoczyć m.in. prace A. Grzyba: „*Drgania układów ciągłych pod wpływem bezinercyjnych obciążeń ruchomych w zastosowaniu do problemów transportu. Politechnika Krakowska, Monografia nr 174, seria Mechanika, 1–165, 1994*”, oraz Grzyba i Bogacza: „*Wspomagana komputerowo analiza dynamiczna pojazdów szynowych, wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2015*”. Nie znalazłem w przeglądzie literatury prac M. Nadera z Politechniki Warszawskiej związanych z szkodliwym wpływem wibracji generowanym przez metro w Warszawie.

Rozdział 1.4 poświęca autor konstrukcji toru z użyciem wibroizolatorów. Opis jest może obszerny, ale bardzo dobra prezentacja graficzna na rysunkach jest pozytywnym elementem wprowadzenia do pracy.

W rozdziale 2 przedstawione są modele mechaniczne konstrukcji toru oraz wybrane zagadnienia dotyczące jej dynamiki z uwzględnieniem modeli dyskretnych. Brak informacji o modelach, w których tor kolejowy traktowany jest jako układ ciągły poddany działaniu ruchomych bezmasowych lub masowych obciążeń. Takie układy były rozpatrywane przykładowo w pracach R. Bogacza, K. Frischmutha, A. Grzyba czy W. Szcześniaka. W wykazie literatury wymieniona jest tylko jedna praca W. Szcześniaka (poz. [65]). Z prac tych wynika, że w zakresie dużych prędkości pociągów, konieczna jest analiza dynamiczna układu pojazd szynowy – tor w szerokim zakresie częstotliwości, w tym dużych częstotliwości drgań będących źródłem dokuczliwego hałasu. Co prawda autor w rozdziale 1.2 zakres pracy jawnie ogranicza przedmiot badań do drgań nisko-częstotliwościowych, ale omawiane badane materiały izolacyjne mają cel ochronny w szerokim zakresie częstotliwości, stąd jak w tytule są poprawnie nazwane izolatorami wibroakustycznymi.

Autor świadomie ogranicza rozpatrywane modele mechaniczne toru z wibroizolatorami do modeli liniowych i prezentuje bardzo dobrze wybrane charakterystyki dynamiczne uzyskane w badaniach na licznych rysunkach. W badaniach laboratoryjnych omówionych w rozdziale 3, Autor wykazał nieliniowość charakterystyk układu mechanicznego np. strona 73 pkt. dotyczący statycznego i dynamicznego modułu sztywności, które w sposób nieliniowy zależą od nacisku. Brak jest w pracy uwag autora w zakresie błędu przybliżenia związanego z zastosowaniem modeli liniowych i ograniczeń ich zastosowania. W problemie wyznaczenia stałych modelowych Autor odwołuje się tylko pokrótce, bez komentarza, do współautorskiej pracy [34].

W kolejnym 3 rozdziale zostały omówione najistotniejsze właściwości wpływające na ograniczenie poziomu wibracji oraz wartości ugięć podkładek i mat, a także dokonano przeglądu norm i procedur badawczych stosowanych do badań laboratoryjnych wybranych wibroizolatorów z uwzględnieniem czynników eksploatacyjnych. Rozdział jest nieco obszerny, bez

mała 40 stronicowy. Autor słusznie zwraca uwagę na problem trwałości eksploatacyjnej wibroizolatorów, odporności na warunki atmosferyczne i starzenie.

Rozdział czwarty przedstawia krajowe i zagraniczne wymagania dotyczące rozpatrywanych w pracy podkładek i mat z uwzględnieniem czynników eksploatacyjnych. Na podkreślenie zasługuje to, że Autor zwrócił uwagę na niezgodności występujące w polskich dokumentacjach projektowych i przetargowych, a także podał przykłady spotykanych tam niejednoznacznych wymagań. W podsumowaniu Autor słusznie zwrócił uwagę na to, że na podstawie dokonanego przeglądu wymagań zagranicznych zarządców infrastruktury kolejowej zaprezentowane zostały tabelaryczne zestawienia porównawcze wartości granicznych parametrów uznanych za szczególnie istotne do właściwego doboru wibroizolatorów w podsypkowej konstrukcji nawierzchni kolejowej. Rozdział 4 stanowi przytłaczająco obszerny rozdział pracy, w stosunku do dokonań autora w zakresie badań symulacyjnych i laboratoryjnych.

Rozdział piąty dotyczy badań laboratoryjnych. Przedstawiono opis zbudowanego stanowiska laboratoryjnego oraz zaprezentowano wykonane badania laboratoryjne, których celem było wyznaczenie wartości wybranych parametrów rozważanych wibroizolatorów, czyli podkładek i mat. Dołączona jest dokumentacja zdjęciowa stanowiska badawczego i reprezentatywne wyniki badań w postaci tabelarycznej i wykresowej. Na podkreślenie zasługuje obszerny zakres badań, a przede wszystkim autorski projekt i wykonanie stanowiska badawczego w ramach pracy doktorskiej.

W rozdziale szóstym Autor zaprezentował wyniki symulacyjnego badania zachowania się dyskretnego modelu mechanicznego podsypkowej konstrukcji drogi kolejowej do doboru oraz oceny skuteczności wibroizolatorów. Autor zastosował własny liniowy, dyskretny model symulacyjny o 4 stopniach swobody. Wyniki tych symulacji dobrze ilustrują tabele i wykresy. W zakończeniu rozdziału przedstawiona jest ocena efektywności badanych obiektów w zakresie ograniczenia poziomu wibracji, która dobrze zilustrowana jest zamieszczonymi wykresami. Autor pomija w komentarzu nieznaczne wzmocnienie wibracji wskutek zastosowania wibroizolacji w wąskim pasmie niskich częstotliwości.

W ostatnich dwóch rozdziałach – siódmym i ósmym – Autor przedstawił istotne jego zdaniem – podzielanym także przez recenzenta – wnioski i propozycje wytycznych w zakresie doboru, wymagań i stosowania rozpatrywanych w rozprawie podkładek oraz mat na krajowej sieci kolejowej. Sformułowane zostały wnioski końcowe oraz przedstawione kierunki dalszych badań.

Przedstawiona praca jest w moim przekonaniu zbyt obszerna. Uważam, że jej objętość powinna być o około 20% mniejsza, dotyczy to zwłaszcza rozdziału 3 i 4. Dokonując oceny merytorycznej wyników pracy stwierdzam, że Autor osiągnął założony cel i udowodnił słuszność postawionej tezy. Praca ma walor naukowy i aspekt użyteczny, gdyż można ją wykorzystać przy projektowaniu nowych szlaków kolejowych oraz infrastruktury, a także do modernizacji już eksploatowanych. Pomimo tego, że badania dynamiki układu pojazd szynowy – tor prowadzone są od wielu lat przez różne ośrodki naukowe, to wiele zagadnień wymaga dalszych prac. Rozwiązaniu występujących problemów sprzyja w ostatnich latach rozwój metod oraz oprogramowania do symulacji komputerowej, a także możliwość stosowania lepszej aparatury badawczej. Należy podkreślić, że wykonana praca świadczy o tym, iż jej Autor w dużym stopniu wykorzystał aktualny stan badań i dostępną aparaturę.

#### 4. Uwagi szczegółowe

Analizując pracę, mimo jej dużej poprawności merytorycznej i mniejszej edytorskiej, dostrzegłem pewne uchybienia oraz nieścisłości, które przedstawiam poniżej, w zasadzie w kolejności ich występowania w pracy:

- Na stronie 3 streszczenia, a później w całej pracy Autor konsekwentnie stosuje określenie drogi szynowej, co jest bezpośrednim tłumaczeniem z języka angielskiego czy rosyjskiego, natomiast w języku polskim brzmi sztucznie. W polskim słownictwie kolejowym używa się określenie toru.
- Na stronie 3 streszczenia, autor używa określenia „... otoczenie trasy pojazdu szynowego”. Słowo „trasa”, jest tutaj błędnie użyte, powinno być: „... otoczenie szlaku kolejowego”. Podobnie na stronie 11 w wierszu 8, 9 i ostatnim.
- Na stronie 4 w słowach kluczowych użyto „podsypkowa konstrukcja nawierzchni szynowej”, zamiast wprost „podsypkowa konstrukcja toru”.
- Na stronie 5 streszczenia w języku angielskim: w wierszu 12 od góry, zamiast „ad” powinno być „and”, a w wierszu ostatnim, zamiast „railway system”, powinno być „railway network”. Poza wymienionymi uwagami streszczenie w języku angielskim jest poprawne gramatycznie i pod względem użytego słownictwa technicznego.
- Na stronie 11, w wierszu 9 zapisano „Głównym źródłem tych oddziaływań jest strefa kontaktu koła z szyną”. Powinno być : „Głównym źródłem tych oddziaływań są zjawiska w strefie dynamicznego kontaktu koła z szyną”.
- Na stronie 13 są odwołania do rysunków, których nie ma w pobliżu strony 13, co utrudnia korzystanie z pracy. Są znacznie dalej: rysunek 1.4 jest na str. 26, rysunek 1.5 na str. 27, rysunki 1.7a, 1.7b są na str. 30, a rys. 1.8b dopiero na str.31.
- Na stronie 18 w przedostatnim wierszu powinno być: „... różne możliwości położenia wibroizolatorów”.
- Na stronie 19 w wierszu ostatnim jest „... ruch ustalonych pojazdów szynowych”, a powinno być „... ruch określonych rodzajów/typów pojazdów szynowych”.
- Na stronie 180, w wierszu 4 od dołu powinno być „... na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej”.
- Na stronie 23, autor podaje, że „W ramach pracy doktorskiej zaprojektowano i zrealizowano stanowiska do badań laboratoryjnych związanych z realizacją pracy”, a na stronie 180 że badania zostały zrealizowane w ramach badań własnych autora oraz projektu POIR, co może budzić pewne wątpliwości.
- Autor nie powinien we wzorach matematycznych stosować oznaczeń pochodzących z języków programowania matematycznego, przykładowo znak ( $:=$ ), a stosować klasyczny formalny zapis matematyczny.
- Na str. 57 macierz  $\mathbf{M}$  z równania różniczkowego (2.21), zgodnie z (2.22), jest macierzą osobliwą, zawierającą tylko jeden element niezerowy, czyli nie istnieje do niej macierz odwrotna. Pomimo tego w dwóch zależnościach (2.24) występuje macierz odwrotna do niej. Autor zauważa ten problem i na następnej stronie i stwierdza, że można go rozwiązać za pomocą metody zaimplementowanej w programie *Matlab*. Uważam, że należałoby to dokładniej wyjaśnić.
- Autor niepoprawnie w wielu miejscach używa słowa „wypadek” oznaczającego niebezpieczne zdarzenie, zamiast poprawnego w tych miejscach terminu „przypadek” np. na str. 243” zdanie zaczyna się od: „W tym wypadku należy ...”.

## 5. Końcowa ocena pracy

Podsumowując ocenę opiniowanej pracy doktorskiej uważam, że stanowi ona wartościowy dorobek naukowy Autora. Osiągnął On postawiony cel, wykazując się umiejętnością prowadzenia badań naukowych z zakresu tematyki pracy. Moje uwagi krytyczne nie obniżają jej wartości, a mogą być pomocne w dalszej działalności naukowej oraz publikacyjnej autora.

Rezultaty pracy posiadają wartości poznawcze i użytkowe w zakresie doskonalenia konstrukcji toru kolejowego.

Na podkreślenie zasługuje również to, że Autor rozprawy przedstawił wnikliwe rozważanie tematyki identyfikacji i doboru cech materiałowych wybranych wibroizolatorów a także wykazał umiejętność analizy teoretycznej, symulacji komputerowej oraz badań eksperymentalnych. Znaczny jest także jego dorobek publikacyjny w zakresie podjętej tematyki.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Cezarego Kraśkiewicza, pt.: „Identyfikacja i dobór cech materiałowych wybranych izolatorów wibroakustycznych w systemach konstrukcji dróg szynowych” spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o stopniach naukowych i wnioskuje o dopuszczenie Autora do jej publicznej obrony.

Piotr Kisielewski

