

Dr hab. inż. Marek Krużyński, em. prof. P.Wr.

Wrocław, 29 czerwca 2020 r.

Ul. Wysockiego 20

51-692 Wrocław

e-mail.: [marek.kruzynski@pwr.edu.pl](mailto:marek.kruzynski@pwr.edu.pl)

tel.: 603 687 890

DZIEKAN  
Wydziału Inżynierii Lądowej  
prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

Recenzja

**Pracy doktorskiej mgra inż. Cezarego Kraśkiewicza**

**pod tytułem:**

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

**opracowanej pod kierunkiem dra hab. inż. Artura Zbiciaka, prof. uczelni, jako promotora i dra inż. Wojciecha Oleksiewicza, jako promotora pomocniczego.**

### **1. Podstawa opracowania**

Recenzję opracowałem na podstawie Uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport na Politechnice Warszawskiej z dnia 05.05.2020 r. – pismo RNDILIT/70/2020 podpisane przez Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej PW, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport, prof. dra hab. inż. Andrzeja Garbacza oraz Art.13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 z 2003 roku, poz. 595, z późniejszymi zmianami).

### **2. Charakterystyka treści rozprawy**

Oceniana rozprawa doktorska została wydana w formie książkowej, ma objętość 261 stron i składa się z dziewięciu rozdziałów, spisu literatury obejmującego 157 pozycji oraz streszczeń w języku polskim i angielskim.

Pierwszy rozdział zatytułowany WSTĘP, składa się z obszernego wprowadzenia, w którym naświetlono zagadnienia stosowania izolatorów wibroakustycznych w konstrukcjach nawierzchni szynowych i na styku podtorza z nawierzchnią. Zawiera też opis tezy i zakresu pracy, celowości i metody opracowania tematu pracy oraz planowanych efektów. Przedstawia również systematykę, funkcje i położenie izolatorów wibroakustycznych w konstrukcjach dróg szynowych oraz opis elementów składowych konstrukcji dróg szynowych.

Rozdział drugi pod tytułem MODELE MECHANICZNE KONSTRUKCJI DROGI SZYNOWEJ zawiera wykaz ważniejszych oznaczeń użytych w pracy. Następnie omawia wybrane zagadnienia dynamiki i reologii liniowych układów dynamicznych. Przedstawia mechaniczny model konstrukcji drogi kolejowej o jednym stopniu swobody, lepkosprężyste modele

wibroizolatorów oraz mechaniczny model konstrukcji drogi kolejowej o czterech stopniach swobody.

Rozdział trzeci pod tytułem PROCEDURY BADAŃ LABORATORYJNYCH WYBRANYCH WIBROIZOLATORÓW UWZGLĘDNIAJĄCE CZYNNIKI EKSPLOATACYJNE przedstawia podstawowe właściwości podkładek podpodkładowych USP i mat podposypkowych UBM oraz normy i procedury badawcze wykorzystywane przy ich identyfikacji. Zawiera opis podstawowych właściwości wpływających na ograniczenie poziomu wibracji oraz na wartości ugięć, trwałość i odporność wibroizolatorów na warunki środowiskowe. Prezentuje polskie, i europejskie, głównie niemieckie normy i procedury badawcze podkładek USP i mat UBM. Omawia przekazywanie nacisków od pojazdów szynowych na nawierzchnię kolejową o konstrukcji podsypkowej a szczególnie na zastosowane w niej elementy wibroizolacyjne.

Rozdział czwarty pod tytułem WYMAGANIA DLA PODKŁADEK USP I MAT UBM Z UWZGLĘDNIENIEM CZYNNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH prezentuje wymagania stosowane w Polsce dla podkładek i mat jak w tytule, niezgodności w polskich specyfikacjach technicznych, dokumentach przetargowych i projektowych oraz przegląd zasad i wymagań odnośnie ich stosowania u zagranicznych zarządców infrastruktury kolejowej. Rozdział kończy krótkie podsumowanie i tabelaryczne zestawienie wartości parametrów podkładek USP i mat UBM wymaganych przez zagranicznych zarządców infrastruktury kolejowej oraz wstępna rekomendacja Autora rozprawy dla sieci zarządzanej przez PKP PLK S.A.

W rozdziale piątym, zatytułowanym BADANIA LABORATORYJNE znajduje się opis stanowiska laboratoryjnego do badań podkładek USP, mat UBM, mat podpłytowych USM, podkładek podblokowych UBP, przekładek podszynowych RP i ciągłych profili podszynowych. Przedstawione zostały też wyznaczone w wyniku przeprowadzonych badań, wartości wybranych parametrów dla podkładek USP, takich jak: statyczny moduł sztywności i dynamiczny moduł sztywności w niskich i wysokich zakresach częstości wzbudzenia. Przebadano również wytrzymałość zmęczeniową, odporność na warunki atmosferyczne i przyczepność, czyli odporność na odrywanie. Również dla mat UBM przeprowadzono badania statycznego modułu sztywności, dynamicznego modułu sztywności w niskich i wysokich zakresach częstości wzbudzenia, odporności na starzenie i twardości Shore'a. Dokonano klasyfikacji odmian podkładek i mat a każdy podrozdział zakończono wnioskami.

Rozdział szósty poświęcony jest ZASTOSOWANIU MODELU MECHANICZNEGO PODSYPKOWEJ KONSTRUKCJI DROGI KOLEJOWEJ DO DOBORU ORAZ OCENY SKUTECZNOŚCI WIBROIZOLATORÓW. Zaprezentowane zostały wybrane wyniki symulacyjnego badania zachowania się dyskretnego modelu podsypkowej konstrukcji drogi szynowej. Do badań przyjęto jako model konstrukcji, układ o czterech stopniach swobody z wibroizolatorem w postaci podkładki USP. Przedstawiono wykresy dopasowania krzywej dynamicznego modułu sztywności do wyników badań laboratoryjnych i wykresy funkcji przenoszenia drgań oraz tłumienia dodanego, porównując wyniki badań dla układów z podkładkami USP różnych odmian z wynikami uzyskanymi dla układu referencyjnego.

W rozdziale siódmym, zatytułowanym WNIOSKI przedstawiono propozycje wytycznych dotyczących doboru, wymagań i stosowania podkładek USP i mat UBM na polskiej sieci kolejowej oraz wnioski końcowe.

W rozdziale ósmym nakreślono KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ w ramach kontynuacji prac nad projektem, na bazie którego powstała niniejsza dysertacja.

### 3. Ocena pracy

Przyjęta przez Doktoranta teza pracy wynika z oceny stosowanych obecnie w Polsce zasad identyfikacji i doboru materiałowych cech izolatorów wibroakustycznych w konstrukcjach dróg szynowych, które nie w pełni są odpowiednie do podstawowych funkcji tych elementów oraz nie w pełni uwzględniają stan wiedzy w tej dziedzinie. **Tezą pracy jest stwierdzenie, że istnieje możliwość właściwego doboru i identyfikacji cech materiałowych izolatorów wibroakustycznych w sposób odpowiedni do ich funkcji.** Jest ona sformułowana prawidłowo i wyznacza zakres pracy, który ogólnie został określony w temacie.

Określenie „izolatory wibroakustyczne” może budzić oczekiwanie zajęcia się w pracy zjawiskiem tłumienia drgań materiałowych – wibracji i powietrznych – dźwięków, które dotyczą dwóch różnych form oddziaływania ruchu kolejowego na środowisko. Zakres pracy został ograniczony do analiz tłumienia wibracji a używany w pracy termin „wibroizolacja” związany jest z analizą redukcji poziomu wibracji. Przedstawione w pracy badania ograniczono do dwóch spośród wielu możliwych rozwiązań wibroizolacji. Są to podkładki pod podkładami USP i maty pod podsypką na styku z podtorzem UBM.

Praca zawiera bardzo obszerny przegląd stosowanych rozwiązań wibroizolacyjnych i aktów normatywnych, regulujących ich wymagane właściwości i stosowanie. W ten sposób Doktorant determinuje konieczny zakres prac badawczych zmierzających do udowodnienia postawionej tezy. Konieczne jest tu określenie trybu postępowania dotyczącego wyboru wariantu i charakterystyk materiałowo – technicznych wibroizolatora, właściwego do zastosowania w konstrukcji drogi szynowej a w szczególności w konstrukcji jej nawierzchni torowej. Tryb ten obejmuje sekwencję następujących po sobie działań:

- określenie rodzaju konstrukcji nawierzchni torowej i celu zastosowania wibroizolatora,
- określenie rodzaju i położenia wibroizolatora w zależności od rodzaju nawierzchni torowej i wybranej jego funkcji,
- określenie zakresu doboru: -podstawowego obejmującego funkcję ochronną i wibroizolacyjną lub - rozszerzonego, w przypadku specjalnej funkcji dostosowanej do specyficznych uwarunkowań konkretnego obiektu.

Opracowane i przedstawione w rozprawie zasady doboru cech wibroizolatorów dotyczą tylko zakresu podstawowego i wybranych przypadków. Te zasady z punktu widzenia zastosowań praktycznych są istotne, ponieważ niewłaściwy dobór może w skrajnych przypadkach nie tylko nie poprawić tłumienia drgań ale je pogorszyć.

Dla osiągnięcia celu, którym jest udowodnienie tezy pracy Doktorant zastosował klasyczny sposób polegający na dwutorowym analizowaniu skuteczności wibroizolatorów.

Przeprowadził serię eksperymentów laboratoryjnych, w wyniku których uzyskał podstawowe informacje o charakterystykach materiałowych wibroizolatorów. Wykorzystał je do opracowania modelu reologicznego badanego wibroizolatora z wykorzystaniem pochodnych ułamkowego rzędu oraz analitycznego modelu podsypkowej konstrukcji drogi kolejowej w celu wyznaczenia poziomu tłumienia dodanego. Zastosował zaawansowany model o czterech stopniach swobody, który lepiej odwzorowuje pracę poszczególnych elementów konstrukcji drogi kolejowej niż stosowane dotychczas modele o jednym stopniu swobody. Należy tu jeszcze nadmienić, że Doktorant samodzielnie opracował autorski program obliczeniowy napisany w środowisku Matlab.

W przedstawionych wynikach analiz numerycznych brakuje jednak oceny skuteczności badanych wibroizolacji w ograniczaniu wpływów dynamicznych na podtorze pomimo, że jest ono najsłabszym elementem konstrukcji dróg szynowych.

Reasumując stwierdzam, że Doktorant z wielką starannością i dokładnością prześledził informacje z literatury, aktów normatywnych i technicznych, dotyczące wymagań i zasad stosowania elementów wibroizolacyjnych w konstrukcji dróg kolejowych i na podstawie przeprowadzonych badań, określił podstawowe właściwości oraz zaproponował wartości graniczne parametrów materiałowych wybranych dwóch rodzajów izolatorów wibroakustycznych (podkładek USP i mat UBM) w podsypkowej konstrukcji dróg kolejowych. Zarekomendował ponadto procedury doboru cech materiałowych w odniesieniu do wybranych izolatorów wibroakustycznych oraz opracował dla nich zestawienia najistotniejszych właściwości, wartości parametrów granicznych oraz procedur badań laboratoryjnych służących do ich identyfikacji.

#### **4. Uwagi dyskusyjne**

Doktorant w rozdziale 2.5. pod tytułem „Model mechaniczny konstrukcji drogi kolejowej o czterech stopniach swobody”, w modelach przedstawionych na rys. 2.11–2.13 na stronach 65–67, przyjmuje jako czwarty element składowy modeli masę podtorza  $m_4$  a do tego parametry  $k_u$  i  $d_u$  reprezentujące sztywność oraz współczynnik lepkości tłumików modelujących właściwości podtorza kolejowego. Nie wyjaśnia jednak skąd uzyskał wartości tych parametrów. Szczególnie problematyczna jest wartość współdrgającej masy podtorza przyjęta arbitralnie w Tablicy 2.4 na stronie 70, wynosząca  $m_4 = 603$  kg.

W części pracy poświęconej wynikom badań laboratoryjnych Doktorant zbyt mało uwagi poświęcił dyskusji błędowi pomiaru. Jak wynika z opisu na stronie 185 przebadane zostały 42 podkłady USP a okrojona dyskusja błędowi pomiaru dotyczy tylko czterech podkładek, przyjętych jako reprezentatywne. Są to podkłady nr 018, 036, 075 i 095.

Nie wyjaśnia też Autor dlaczego do badań wytrzymałości zmęczeniowej i odporności na warunki atmosferyczne przyjmuje próbki inne niż poprzednio. Na stronie 193 podaje następujące numery próbek: 002, 004 i 007.

To samo dotyczy badań laboratoryjnych mat UBM.

Szkoda, że Doktorant nie odniósł się do problemu ochrony podtorza przed wibracją, ponieważ właśnie podtorze, jak wspomniałem wyżej, jest najsłabszym i najbardziej wrażliwym na

przeciążenia dynamiczne elementem konstrukcji drogi kolejowej. Jest ono też medium transmitującym wibracje do otoczenia linii kolejowej. Głównym zadaniem mat podpodsypekowych UBM jest więc ochrona podtorza i ograniczenie propagacji drgań do otoczenia.

W mojej ocenie Doktorant zbyt dużo miejsca w rozprawie poświęcił przeglądowi literatury. Np. nie było konieczne prezentowanie elementów składowych dróg szynowych w podrozdziale 1.4.1 aż na ponad 20 stronach. Przez to zmuszony był ograniczyć prezentację wyników badań własnych a właśnie swojemu dorobkowi badawczemu należało poświęcić jak najwięcej miejsca.

## 5. Uwagi redakcyjne

Terminologia naukowa stosowana w rozprawie jest poprawna. Na uwagę zasługuje logiczny i czytelny układ pracy. Wnioski wyciągane z kolejnych rozdziałów są wykorzystywane w rozdziałach następnych. Pozycje cytowane w tekście są oznaczone prawidłowo numerami ze spisu literatury i tylko przy niektórych- tych ważniejszych dla problematyki poruszanej w pracy pojawiają się nazwiska autorów.

W tekście występują nieliczne błędy literowe, pomyłki i nieścisłości, ale jest ich niewiele.

Niektóre z nich zestawilem poniżej:

- strona 12, wiersz 10 g - pierwszym poziomem transmisji wibroakustycznej jest szynka szyny a nie system jej przytwierdzenia,
- strona 18, wiersz 12 d- niepotrzebne „i”, wiersz 2 d – „a” zamiast „e”,
- strona 22, wiersz 15 d – zamiast „ciężar” powinno być „masa”,
- strona 38, wiersz 6 g – przerwa dylatacyjna ma „szerokość” a nie „grubość”,
- strona 42, wiersz 7 g – górną „powierzchnią” a nie „podstawą”,
- strona 83, wiersz 2 d – czym różni się obciążenie stopnia I od stopnia II ?,
- strona 101, wiersz 2 d – „zdemontowanego” a nie „zdemontowanej”,
- strona 103, wiersz 10 d i strona 104, wiersz 5 g – „ o określonym” a nie „ o kreślonym”,
- strona 105, wiersz 13 g – „zakresy” zamiast „zakresów”,
- strony 107 i 108 , rysunki 3.25 i 3.26 – słabo czytelne,
- strona 180, wiersz 5 d – „maszynie” zamiast „maszyny”,
- strona 216, wiersz 12 i 13 d – „wyznaczenia” zamiast „wyznaczenie” i „badawcze” zamiast „badacze”,
- strona 237, wiersz 4 g – zdanie powinno zaczynać się od słów: „ - pomiarów twardościomierzem typu A...”,
- strona 243, wiersz 10 d – jest „typy”, powinno być „typu”,
- strona 252, wiersze od 15 g do 19 g – źle skonstruowane zdanie – za długie i trudne do zrozumienia.

## 6. Wnioski końcowe

Przedstawione wyżej uwagi krytyczne i dyskusyjne nie umniejszają dużej merytorycznej wartości rozprawy. Należy stwierdzić, że przedstawiona rozprawa doktorska stanowi

samodzielny i twórczy dorobek naukowo- badawczy mgra inż. Cezarego Kraśkiewicza, oraz zawiera oryginalne wnioski, umożliwiające rozwiązanie ważnych zagadnień w budowie dróg kolejowych. Daje ona określone korzyści teoretyczne i poznawcze oraz wnosi bardzo pożądany wkład do racjonalizacji konstruowania dróg kolejowych.

Do oryginalnych osiągnięć mgra inż. Cezarego Kraśkiewicza należy zaliczyć:

- opracowanie modelu konstrukcji drogi kolejowej o czterech stopniach swobody i autorskiego programu obliczeniowego,
- analizę wyników symulacyjnego badania dyskretnego modelu podsypkowej konstrukcji nawierzchni drogi szynowej,
- określenie najistotniejszych parametrów wibroizolatorów i procedur ich identyfikacji
- wykonanie szeroko zakrojonych badań laboratoryjnych i analizy ich wyników,
- opracowanie propozycji podstawowych wymagań w odniesieniu do podkładek USP i częściowo również mat UBM dla sieci polskich linii kolejowych.

W ten sposób udowodniona została teza pracy, że istnieje możliwość doboru i identyfikacji cech materiałowych izolatorów wibroakustycznych, w sposób odpowiedni do ich funkcji.

Doktorant wykazał przygotowanie praktyczne i teoretyczne do pracy naukowo- badawczej, a także umiejętność posługiwania się nowoczesnymi metodami badawczymi i znajomość aktualnego piśmiennictwa dotyczącego przedmiotu rozprawy. Stanowi to potwierdzenie wiedzy teoretycznej Doktoranta i Jego umiejętności samodzielnego prowadzenia prac naukowych. Odpowiada zatem tak pod względem merytorycznym, jak i metodologicznym wymogom stawianym rozprawom doktorskim określonym w przywołanej na wstępie Ustawie.

Na podstawie tych stwierdzeń rozprawę doktorską mgra inż. Cezarego Kraśkiewicza pod tytułem „Identyfikacja i dobór cech materiałowych wybranych izolatorów wibroakustycznych w systemach konstrukcji dróg szynowych” oceniam pozytywnie, jako odpowiadającą wymaganiom określonym w *Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*.

Stwierdzam, że rozprawa może stanowić podstawę do nadania jej Autorowi naukowego stopnia doktora nauk technicznych i wnoszę o dopuszczenie mgra inż. Cezarego Kraśkiewicza do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

