

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Łagoda  
Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Opolska

Opole, 2025-01-16

## Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Łabuńskiego - „Wpływ rodzaju materiału tłumiącego, temperatury pracy oraz geometrii elementu tłumiącego na skuteczność pasywnej wibroizolacji”**

Recenzję pracy wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny „Inżynieria Mechaniczna” Politechniki Rzeszowskiej, prof. dra hab. inż. Andrzeja Burghardta z dnia 27 listopada 2024 r. Promotorem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Lucjan Witek.

### **1. Charakterystyka pracy**

Bierna wibroizolacja jest stosowana w celu redukcji drgań różnych urządzeń mechanicznych. W przypadku kabin pasażerskich, poprawnie zaprojektowana wibroizolacja obniża hałas we wnętrzu kabiny, co przekłada się na poprawę komfortu. Problem właściwego projektowania pasywnej wibroizolacji jest zagadnieniem złożonym ze względu na fakt, że właściwości tłumiące materiałów wiskoelastycznych zależą od wielu czynników min. częstotliwości, konfiguracji (CLD lub FLD) oraz temperatury. Aby skutecznie tłumić wibracje należy w sposób właściwy dobrać materiał tłumiący biorąc pod wszystkie wyżej wymienione czynniki. Ze względu na powyższe istnieje potrzeba realizacji szczegółowych badań eksperymentalnych oraz analizy uzyskanych wyników aby określić własności tłumiące wybranych materiałów stosowanych w pasywnej wibroizolacji. W związku z tym, problem

podjęty przez Doktoranta Pana mgr inż. Piotra Łabuńskiego idealnie wpisuje się w takie badania i analizy. Tytuł pracy dobrze odzwierciedla zakres pracy doktorskiej.

Praca doktorska została zawarta na 176 stronach. Wielkość ta nieznacznie przekracza rozmiar standardowej liczby stron dla tego rodzaju prac. Praca podzielona jest na 6 numerowanych rozdziałów. Dodatkowo na początku umieszczono wykaz stosowanych skrótów i oznaczeń co Autor określił jako „Nomenklatura”. Niestety spis ten nie jest napisany w kolejności alfabetycznej. Dobrze jednak, że symbole i acrononimy zostały rozdzielone. Można jednak było w spisie symboli umieścić tylko ważniejsze symbole, które pojawiają się w pracy więcej niż tylko raz. Praca zakończona jest nienumerowanym rozdziałem („Bibliografia”), w którym zawarto spis literatury w liczbie 147. Na uwagę zasługuje fakt, że przy stronach internetowych umieszczono datę dostępu, co niestety jest rzadkością. Po spisie literatury na końcu umieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim wraz z tytułami co jest dobrym zwyczajem.

Pierwszy rozdział nazwany „wstęp” to w praktyce rozszerzony spis treści z krótkim opisem zawartości poszczególnych rozdziałów. W tym rozdziale umieszczono również cel i zakres pracy. Zdaniem recenzującego lepiej by było aby cel i zakres pracy wynikał z przeglądu literatury i niejako zakończeniem tego rozdziału. Przegląd literatury zawarty w rozdziale 2 podzielono aż na 9 podrozdziałów. Taki podział pozwala już po przeczytaniu tytułu podrozdziału na zapoznanie się jakie treści będą tam umieszczone. Pierwszy podrozdział dotyczy opisu hałasu lotniczego i samochodowego. W drugim podrozdziale opisano rodzaje stosowanego tłumienia, a w trzecim opisano miary tłumienia drgań. Bogaty podrozdział 4 opisuje materiały lepkosprężyste. W podrozdziale tym opisano wybrane modele i ogólnie właściwości materiałów lepkosprężystych. W kolejnych podrozdziałach opisano rodzaje analiz dynamicznych oraz estymacji parametrów modalnych. W następnym podrozdziale opisano metody identyfikacji materiałów lepkosprężystych dla belki jednorodnej, belki Obersta, Van Oorta i symetrycznej belki warstwowej. W przedostatnim podrozdziale dokonano przeglądu ośmiu metod tłumienia stosowanych w rozwiązaniach konstrukcyjnych. Całość rozdziału zakończona jest opisem zastosowania tłumienia w przemyśle samochodowym i w lotnictwie. Ten podrozdział jest niejako zwieńczeniem tego bogatego rozdziału, gdyż dokładnie lokuje się w tematyce pracy. Trzeci rozdział to przedstawienie właściwych badań eksperymentalnych pasywnej wibroizolacji. Zawarty jest on na 42 stronach. Kolejny krótki rozdział czwarty to rozdział dotyczący identyfikacji własności dynamicznych materiałów lepkosprężystych. Nie wiadomo po co Autor podzielił ten rozdział na jeden podrozdział. Jest to niewłaściwe. W piątym dłuższym rozdziale dokonano oceny skuteczności pasywnej wibroizolacji

w odniesieniu do fragmentu samolotu. W ostatnim numerowanym rozdziale 6 zdefiniowano wnioski. W rozdziale tym przedstawiono podsumowującą analizę, wyróżniono 9 wniosków oraz kierunki dalszych badań co jest bardzo wartościowe.

## **2. Opinia o pracy odnośnie spełnienia warunków ustawowych**

### **2.1. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej**

Bogaty przegląd stanu wiedzy zawarty w rozdziale 2 pozwala bez problemu potwierdzić bardzo duże rozeznanie Doktoranta w problemach tłumienia w celu uzyskania skutecznej pasywnej wibroizolacji. Analiza powyższa została wykonana na bazie środków transportu takich jak hałas lotniczy i samochodowy. Pominięto tutaj między innymi problem hałasu w transporcie szynowym, który też jest znaczący. Przeanalizowano rodzaje stosowanego tłumienia oraz miary tłumienia drgań występujących w konstrukcjach. Opisano materiały lepkosprężyste i sposoby ich modelowania z szeroką analizą odpowiednich modeli. Całość przeglądu literatury dotyczącej wiedzy teoretycznej podsumowano w oddzielnym punkcie na koniec tego rozdziału. Świadczy to o tym, że Doktorant po dokonanych przeglądzie literatury umiał sam wyciągnąć z niego najważniejsze wnioski.

### **2.2. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**

Doktorant wykazał się samodzielnością zarówno w zakresie przygotowania jak i przeprowadzenia właściwych badań wpływu rodzaju materiału tłumiącego na skuteczność pasywnej wibroizolacji. Umiał przeanalizować dobór różnych materiałów przy różnej temperaturze pracy z uwzględnieniem również geometrii elementu tłumiącego. Szczegółowe badania eksperymentalne wykonane przez doktoranta zaprezentowano jak to wspomniano w rozdziale 3 pracy doktorskiej, a później w rozdziale 4, gdzie opisano identyfikację właściwości dynamicznych materiałów lepkosprężystych. Te dwie części zajęły łącznie 68 stron.

### **2.3. Ocena oryginalnego rozwiązania problemu naukowego**

Przedstawione osiągnięcia w ramach poszczególnych rozdziałów wskazują, jak to wykazano w charakterystyce pracy, na wkład naukowy niniejszej rozprawy doktorskiej, jej innowacyjność oraz zasadność podjętego tematu.

Pomimo ogólnie pozytywnej recenzji pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Łabuńskiego, co napisano w charakterystyce pracy i najważniejszych osiągnięciach Doktoranta, kilka wątpliwości zamieściłem w charakterystyce pracy, jak również w uwagach i pytaniach dotyczących pracy. Zdecydowana większość tych uwag nie wpływa na jakość merytoryczną pracy, ale gdyby Doktorant uniknął tych błędów, pracę czytałoby się jeszcze lepiej.

### 3. Uwagi i pytania szczegółowe dotyczące pracy

Część uwag zawarłem w poprzednich punktach. Poniżej przytaczam inne zauważone błędy lub też pytania:

- na str.18 Doktorant powołuje się na wzór (2.3), którego jeszcze nie było. Następnie przed pojawieniem się tego wzoru pisze o modelu nieliniowym przedstawiając wzór, który dotyczy właśnie modelu liniowego. Ta część punktu 2.2.1 nie jest spójna,
- na str. 37 napisano o kącie przesunięcia fazowego wymuszenia i później przemieszczenia. To przesunięcie jest względem innej wielkości fizycznej czego nie napisano w tekście,
- na rys.2.16 zdublowano informacje w podpisie i na rysunku (materiał bitumiczny, guma butylowa),
- na str. 52 Autor zamiennie stosuje określenia własności i właściwości. Powinno być właściwości,
- na str. 68 zbyt skrótowo opisano intensywność wymuszenia. Nie wchodząc w szczegóły można dojść do wniosku, że jednostka  $g=m/s^2$ . To powinno być napisane trochę precyzyjniej,
- w wielu miejscach pracy jednostki napisano w nawiasach kwadratowych [], co nie jest właściwym sposobem zapisu jednostek,
- na str. 75 wprowadzono określenie „mod” i konsekwentnie je stosuje. Jednak recenzent ma wątpliwość, czy to jest prawidłowe określenie,
- na str. 78 Autor odnosi się do współczynnik strat, które w tym miejscu nie są określone. Warto by było dla czytelności pracy odnieść się do konkretnych wzorów,
- duże częstotliwości powodują generalnie grzanie się materiałów, a w szczególności materiałów na bazie gumy. Czy nie było problemu ze stabilnością temperatury w procesie drgań?
- na str. 107 mowa jest o modułach zachowawczych i stratności. Warto by było lepiej zdefiniować te wielkości fizyczne,

- na rys. 4.1 – 4.6 przedstawiono wyniki pomiarów wraz z aproksymacją. Nie podano jednak jak przeprowadzono aproksymację i jak dobrano funkcję aproksymującą. Proszę o wyjaśnienie procedury aproksymującej zawartej na tych rysunkach,
- w wnioskach Doktorant napisał o „ilości”. Powinno być o „liczbie” bo te wyniki są policzalne,
- we wnioskach na str. 159 napisano o znaczącej pulsacji naprężeń. Określenie „znaczącej” jest określeniem nie precyzyjny. Ponadto co Autor rozumie poprzez określenie „pulsacja naprężeń”?
- w pozycjach literatury [9, 30, 79 96] brak jest konsekwencji w pisaniu nazwisk i imion. W pozycji polskiej nie powinno być łącznika „and”.

Ponadto w pracy można znaleźć nieliczne błędy interpunkcyjne, których w niniejszej recenzji nie będę już przywoływał.

#### **4. Uwagi i wnioski ogólne**

Z przedstawionej charakterystyki pracy oraz uwag, czy też pytań uzupełniających dotyczących pracy, wynika, że rozprawa wskazuje na bardzo duże rozeznanie problemu postawionego w pracy w zakresie badania i analiz wpływu rodzaju materiału tłumiącego, temperatury pracy oraz geometrii elementu tłumiącego na skuteczność pasywnej wibroizolacji, a w szczególności elementów samolotu. Dotyczy to zarówno uwag merytorycznych, jak i redakcyjnych w tym zakresie zrealizowanych przez mgr inż. Piotra Łabuńskiego. Uwagi zawarte w recenzji mogą być przedmiotem analiz w dalszej działalności badawczej i publikacyjnej Doktoranta, a także mogą być przydatne w redagowaniu kolejnych prac naukowych. Tu należy zwrócić uwagę, że część uwag ma charakter pytań i sugestii do wykorzystania na przyszłość.

Do najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych pracy można zaliczyć:

1. Określenie zdolności tłumiących materiału bitumicznego oraz gumy butylowej.
2. Ocena skuteczności wibroizolacji w konfiguracji CLD i FLD.
3. Określenie wpływu temperatury na skuteczność pasywnej wibroizolacji (z użyciem zaprojektowanej i wykonanej komory chłodzącej wykorzystującej ogniwa Peltiera).
4. Eksperymentalne określenie współczynnika strat  $\eta^*$  i modułu zachowawczego  $E'$  gumy butylowej i materiału bitumicznego.
5. Walidacja modelu materiału lepkosprężystego z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES).

6. Numeryczna analiza harmoniczna skuteczności pasywnej wibroizolacji fragmentu kadłuba samolotu turbośmigłowego Bombardier Dash-8 Q400.
7. Określenie wpływu ażurowej konfiguracji geometrycznej mat tłumiących (guma butylowa i bitumin) na skuteczność tłumienia drgań kadłuba.
8. Określenie względnych wskaźników tłumienia kadłuba samolotu (z uwzględnieniem masy materiału tłumiącego).

Po analizie pracy można pracę pozytywnie ocenić w zakresie zarówno ogólnej wiedzy teoretycznej, umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, jak i znalezienia oryginalnego rozwiązania problemu naukowego. Dodatkowo należy wskazać, że recenzowana praca doktorska jest pracą interdyscyplinarną i mogłaby być ulokowana w dwóch aktualnie funkcjonujących dyscyplinach: Inżynieria Mechaniczna i Inżynieria Materiałowa. Z uwagi na to, że kwestie materiałowe są w pracy potraktowane zdecydowanie drugoplanowo, to praca najlepiej lokuje się w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna tak jak została przesłana do recenzji.

## 5. Wniosek końcowy

Całość oceny rozprawy doktorskiej umożliwia sformułowanie wniosku o spełnienie w stopniu wystarczającym warunków określonych Ustawą *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 roku z późniejszymi zmianami i dopuszczenie rozprawy mgr inż. Piotra Łabuńskiego pod tytułem „Wpływ rodzaju materiału tłumiącego, temperatury pracy oraz geometrii elementu tłumiącego na skuteczność pasywnej wibroizolacji” do publicznej obrony pracy doktorskiej na Politechnice Rzeszowskiej w Dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Z poważaniem

