

Recenzja
rozprawy doktorskiej dr. inż. Sebastiana GARUSA
pt. „Modelowanie i analiza struktur fononicznych
jako modeli ekranów akustycznych”

Podstawy formalne opracowania recenzji:

Recenzję pracy doktorskiej dr. inż. Sebastiana Garusa opracowano zgodnie z Uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej nr 26/2021/2022 z dnia 9 maja 2022 roku.

1. Uwagi o wyborze tematyki pracy

Mnogość maszyn i urządzeń technicznych we współczesnym świecie ułatwia pracę i poprawia komfort życia ludzi. Powszechne wykorzystanie zdobyczy cywilizacyjnych ma również efekty uboczne, między innymi może potęgować narażenia na szkodliwe dla zdrowia oddziaływania czynników powstających podczas procesów eksploatacyjnych, w tym na nadmierny hałas. Poszukiwanie optymalnych rozwiązań służących ograniczaniu hałasu jest wyzwaniem dla wielu przedsiębiorstw i zespołów badawczych. Trudno zatem w aspekcie doskonalenia obiektów technicznych przecenić rolę modelowania propagacji energii wibroakustycznej popartego praktyczną weryfikacją opracowanych modeli.

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że tematyka pracy jest aktualna, a badania służące doskonaleniu narzędzi do projektowania struktur ograniczających propagację fal mechanicznych mają istotne znaczenie naukowe i użyteczne.

2. Charakterystyka pracy

Przedstawiona do oceny praca liczy 196 stron. Główna część merytoryczna zawiera 143 strony tekstu łącznie z rysunkami; resztę stanowią: licząca 265 pozycji bibliografia, strona tytułowa, podziękowania, spis treści, streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz oznaczeń, spis rysunków, spis tabel, oraz dodatek (kody źródłowe programów).

We wstępie do pracy Autor zwraca uwagę na hałas jako czynnik oddziałujący na człowieka. Bazując na literaturze przedmiotu przedstawiono wybrane aspekty metod ograniczania hałasu oraz scharakteryzowano niektóre struktury stosowane do ograniczania hałasu w przemyśle i transporcie przy nacisku położonym na przegrody akustyczne. Zasygnalizowano możliwość rozpraszania fal mechanicznych przez przegrody o strukturze dobranej do długości fali oraz omówiono niektóre metody modelowania propagacji fal mechanicznych i algorytmy optymalizacyjne możliwe do zastosowania w tym obszarze.

Tezę *„odpowiednio dobrana geometria struktur jedno i dwuwymiarowych pozwala na znaczącą redukcję natężenia propagującej się fali mechanicznej w wybranych zakresach częstotliwości co można wykorzystać w projektowaniu przemysłowych przegród i ekranów akustycznych”* Autor sformułował w rozdziale drugim nawiązując do postawionego celu pracy: analizy propagacji fal mechanicznych w jedno i dwuwymiarowych strukturach fononicznych pod kątem projektowania urządzeń do selektywnego tłumienia niekorzystnych składowych widma dźwięku powstającego w wyniku działania urządzeń przemysłowych.

Trzeci rozdział zatytułowany „Metodyka badań” zawiera opis optymalizacyjnego algorytmu genetycznego użytego podczas analiz symulacyjnych według dwóch algorytmów modelowania propagacji fal mechanicznych w jednorodnych ośrodkach sprężystych. Omówiono w nim również wyposażenie wykorzystane do badań eksperymentalnych, własności materiałów na struktury tłumiące; zaprezentowano również widma poziomu dźwięku wybranych urządzeń produkcyjnych.

Kolejny, czwarty rozdział, poświęcono badaniom symulacyjnym wpływu ilości warstw PLA (popularnego materiału do druku 3D), ich grubości, oraz wielkości szczeliny powietrznej między warstwami, na strukturę transmisji w paśmie akustycznym. Przedstawione porównania rezultatów symulacji (prowadzonych według algorytmu macierzy transmisji - TMM) z wynikami badań stanowiskowych dla przegród pięciowarstwowej i siedmiowarstwowej świadczą o akceptowalnej zbieżności uzyskanych charakterystyk. Wykazano, że przegrody wielowarstwowe mogą być projektowane jako filtry pasmowo zaporowe o charakterystykach tłumienia optymalizowanych pod kątem ograniczenia uciążliwości akustycznej konkretnych urządzeń produkcyjnych.

Podobne wnioski wynikają z badań opisanych w rozdziale piątym. Jednorodne warstwy materiału PLA zastąpiono tu strukturami sieciowymi o różnym kształcie elementów z trzech różnych materiałów, a obliczenia symulacyjne zrealizowano algorytmem różnic skończonych w domenie czasu (FDTD). Eksperymenty stanowiskowe zrealizowano dla dwóch barier przestrzennych o przekroju sieci z elementów w kształcie koła i różnych stałych sieciowych.

Właściwie zaplanowany i zrealizowany cykl badań symulacyjnych uważam za mocną stronę rozprawy, zaś wykazana przez Doktoranta umiejętność weryfikacji eksperymentalnej dobrze prognozuje dalszemu rozwojowi naukowemu.

W rozdziale szóstym zaprezentowano autorskie projekty dwóch modeli nastawnych barier akustycznych: przegrody wielowarstwowej i ekranu przemysłowego z systemem sterowania stałymi sieciowymi. Opracowane rozwiązania umożliwiają dostosowanie barier do konkretnych zastosowań przemysłowych pod kątem poprawy klimatu akustycznego i **wykazują istotne walory użytkowe.**

Podsumowanie wniosków ze zrealizowanych badań i perspektywy dalszych prac rozwojowych Autor przedstawił w ostatnim, siódmym rozdziale. Uzyskane rezultaty wskazują jednoznacznie, że **właściwy dobór geometrii struktur tłumiących redukuje propagację fal mechanicznych w zadanych wybranych zakresach częstotliwości – co potwierdza prawdziwość postawionej tezy.**

Jako perspektywę rozwojową Doktorant wyeksponował możliwość opracowania sterownika, który na podstawie sygnału akustycznego przetwarzanego w czasie rzeczywistym mógłby z wykorzystaniem opracowanych algorytmów optymalizować położenie elementów barier dla uzyskania efektywnego tłumienia dominujących

składowych. Podkreślił zarazem potrzebę budowy prototypów oraz ich weryfikacji w warunkach rzeczywistych.

3. Ocena pracy

Przedstawiony przegląd literaturowy dotyczący ochrony przed hałasem, propagacji fal i optymalizacji jest opracowany właściwie. Odzwierciedla on aktualny stan wiedzy, nawiązuje do dotychczasowych badań związanych z problematyką rozprawy prowadzonych w ośrodkach krajowych i zagranicznych.

Wybór literatury przedstawiony przez Autora jest trafny a sposób cytowania poprawny, co świadczy o umiejętności posługiwania się materiałem bibliograficznym.

Na podstawie własnych doświadczeń zawodowych popartych analizą literatury przedmiotowej Autor formułuje tezę pracy: *"odpowiednio dobrana geometria struktur jedno i dwuwymiarowych pozwala na znaczącą redukcję natężenia propagującej się fali mechanicznej w wybranych zakresach częstotliwości co można wykorzystać w projektowaniu przemysłowych przegród i ekranów akustycznych"*.

W dalszej części pracy Autor wykazuje poprawność postawionej tezy. W tym celu realizuje cykle badań symulacyjnych barier akustycznych z wykorzystaniem algorytmu macierzy transmisji (TMM) oraz algorytmu różnic skończonych w domenie czasu (FDTD) oraz optymalizację efektywności tych barier algorytmem genetycznym (GA). Wybrane rezultaty symulacyjne weryfikuje podczas eksperymentów na stanowisku badawczym i wykazuje, że bariery wielowarstwowe mogą pełnić rolę filtrów pasmowo zaporowych o charakterystykach tłumienia ukierunkowanych na hałas konkretnych urządzeń produkcyjnych.

Badania symulacyjne według opracowanej metodyki Doktorant zrealizował własnym autorskim oprogramowaniem w środowisku Mathematica, a weryfikację wyników badań symulacyjnych wykonał dla struktur drukowanych technologią 3D na stosownie oprzyrządzonym stanowisku laboratoryjnym. Zaprojektował również dwa modele nastawnych barier akustycznych, które mogą być wykorzystane podczas dalszych prac.

Praca została zakończona poprawnie sformułowanymi wnioskami i wskazaniem kierunku rozwoju narzędzia powstałego jako jej rezultat. Udowodniono postawioną

tezę, a opracowana metodyka ma istotne znaczenie użytkowe – stanowi moim zdaniem wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Całość wywodów przedstawionych w pracy oceniam pozytywnie pod względem merytorycznym i metodycznym. Autor poprawnie zaplanował i przeprowadził eksperymenty prowadzące do potwierdzenia postawionej tezy, oraz stworzył narzędzie pozwalające optymalizować skuteczność barier akustycznych dla konkretnych zastosowań – co powinno istotnie ułatwić działania podejmowane na potrzeby ograniczenia zagrożeń hałasem przemysłowym i komunikacyjnym.

4. Szczegółowe uwagi krytyczne

W trakcie czytania pracy nasuwają się następujące uwagi:

- Niewłaściwie użyto pojęcia „natężenie” w odniesieniu do poziomu ciśnienia akustycznego dla hałasu środowiskowego na stronie 18; pojęcie to Autor stosuje dość dowolnie, na przykład "natężeń źródeł dźwięków" na stronie 33.
- Pominięto informacje dotyczące lokalizacji mikrofonu użytego do rejestracji sygnałów akustycznych wybranych urządzeń produkcyjnych o widmach zaprezentowanych na rysunku 3.4.2 pomimo, że położenie punktu pomiarowego ma istotne znaczenie dla poziomu ciśnienia akustycznego składowych o różnych częstotliwościach.
- Zastosowano szereg uproszczeń pojęciowych, przykładowo o czasie pogłosu napisano, że mierzy on odbicie dźwięku (strona 63) – choć faktycznie parametr ten jest czasem tysiąckrotnego spadku amplitudy (o 60 dB).
- Lapidarna informacja o przeprowadzeniu pomiaru kalibracyjnego komory (Rys. 4.6.4) utrudnia zrozumienie istoty działań zrealizowanych w celu zapewnienia wiarygodności rezultatów badań eksperymentalnych.
- Na niektórych wykresach nie podano, jakie wielkości fizyczne są przestawione na osi pionowej (na przykład Rys 5.2.9).

5. Uwagi o stronie edytorskiej rozprawy

Praca pod względem edytorskim jest opracowana starannie. Incydentalne drobne błędy stylistycznych bądź edytorskie nie obniżają czytelności ani nie utrudniają odbioru pracy.

6. Wnioski końcowe

Wymienione przeze mnie uwagi krytyczne nie obniżają pozytywnej całościowej oceny pracy. Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa jest wartościowa pod względem poznawczym i użytecznym, zawiera nowatorskie spojrzenie na konstruowanie barier akustycznych, które znajdują zastosowanie w zadaniu minimalizacji zagrożeń hałasem.

Dr inż. Sebastian Garus wykazał się umiejętnością postawienia i samodzielnego rozwiązania problemu naukowego, jakim jest właściwe zaplanowanie cyklu badań eksperymentalnych i wykorzystanie rezultatów do poprawnego formułowania wniosków. Tym samym wykazał, że ma odpowiedni zasób wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz, że potrafi samodzielnie prowadzić pracę naukową.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana praca doktorska dr. inż. Sebastiana Garusa nt „Modelowanie i analiza struktur fononicznych jako modeli ekranów akustycznych” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim przez ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U.2017 r. poz. 1789) w zw. z art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2018 r. poz. 1669 z późn. zm) i może zostać dopuszczona do publicznej obrony.

