

Dęblin 15.06.2022

Prof.dr hab. inż. Jerzy Bajkowski
Lotnicza Akademia Wojskowa
08-521 Dęblin
Ul. Dywizjonu 303 Nr 35

RECENZJA

rozprawy doktorskiej
dr. inż. Sebastiana Garusa
p.t.

**Modelowanie i analiza struktur fononicznych jako modeli ekranów
akustycznych**

Zlecona do opracowania przez
Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej
„Inżynieria Mechaniczna” Politechniki Częstochowskiej
Pana dr. hab. inż. Janusza Szmidłę Prof. PCz
(Pismo R-WIMii-510-10/19 z dn.03. 06.2022r.)

1. Uwagi dotyczące genezy i tematu rozprawy, sformułowanego celu i tezy oraz zakresu pracy

Podstawowym elementem rozwoju nauki i techniki jest ciągła dążność do poszukiwania nowych lub ulepszania istniejących gotowych konstrukcji i technologii ich wytwarzania z jednoczesnym dążeniem do doskonalenia modeli fizycznych oraz opisu matematycznego projektowanych lub gotowych wyrobów. W taki sposób, poza elementem promocyjnym, rozumiem chęć podjęcia się opracowanej przez Doktoranta rozprawy.

Jej temat wpisuje się w trend poszukiwań naukowych, których celem jest doskonalenie opisu matematycznego i badań symulacyjnych modeli fizycznych maszyn lub urządzeń technicznych, w tym przypadku przegród akustycznych. W moim przekonaniu, został sformułowany przez Doktoranta jednoznacznie i precyzyjnie. Wprawdzie skupiając się przede wszystkim na wątku naukowym pracy, w tytule nie wspomniano o dołączonych elementach inżynierskich, które jednak nie są istotnym jej składnikiem. Dlatego należy przyjąć, że ze względu na przejrzystość i zwięzłość tytułu jego rozszerzenie nie było to konieczne.

Przedmiotem opiniowanej dysertacji są naukowe i techniczne zagadnienia, które dotyczą zjawisk jakie mają miejsce w wybranych grupach ekranów akustycznych. W swojej pracy Doktorant przedstawił opis tych konstrukcji skupiając się przede wszystkim na badaniach symulacyjnych i analizie matematycznej modeli zjawisk akustycznych w nich zachodzących.

Moim zdaniem cel rozprawy, w brzmieniu: *„...analiza 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”*, został sformułowany nieprecyzyjnie. Sama analiza propagacji fal nie może być bowiem celem pracy. Jest nim udowodnienie sformułowanej tezy oraz wskazanie, że otrzymane w wyniku przeprowadzonej analizy rezultaty badań umożliwią ich wykorzystanie, np. do *„projektowania urządzeń do selektywnego tłumienia niekorzystnych składowych widma dźwięku powstającego w wyniku działania urządzeń przemysłowych”*.

Przedstawiając cel pracy Autor wyraźnie wskazuje, iż rezultaty zarówno modelowania rozpatrywanych struktur, opis matematyczny zjawisk z nimi związanych, jak również przeprowadzone symulacje, a więc wykonane naukowe badania teoretyczne, mają posłużyć opracowaniu ważnych wskazań inżynierskich, a zatem wskazań projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych tych struktur.

Zaprezentowana teza pracy stwierdzająca: *„...iż 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”* jest sformułowana jednoznacznie. Uważam jednak, że gdyby Autor zastąpił w niej słowo „dobra geometria” określeniem *parametry geometryczne* uznałbym to za bardziej precyzyjne określenie.

Doktorant wskazał również, iż Jego zdaniem osiągnięcie założonego celu pracy, a tym samym udowodnienie zaprezentowanej tezy pracy, będzie możliwe poprzez realizację sześciu zasadniczych zadań związanych z jej tematem. Nie sposób nie zgodzić się z zaprezentowaną przemyślaną i trafnie wypunktowaną koncepcją możliwości osiągnięcia tych zasadniczych elementów rozprawy po zrealizowaniu wymienionych zadań. Ze względu na również inżynierski charakter pracy, pozostając jednak przy przyjętej koncepcji szczegółowej prezentacji zadań gwarantujących osiągnięcie głównego celu naukowego pracy uważam, że celowe byłoby, w szeroko prezentowanym zakresie dysertacji, dodanie jeszcze jednego zadania, które podkreśliłoby również inżynierski jej charakter.

2. Struktura i ogólna charakterystyka pracy

Opiniowana praca składa się z siedmiu rozdziałów zasadniczych, rozdziału 8., w którym zamieszczony został spis wykorzystywanych pozycji literatury, dodatku z zamieszczonymi kodami źródłowymi wybranych autorskich programów, podziękowań, streszczeń w języku polskim i angielskim, wykazu najważniejszych oznaczeń używanych w tekście rozprawy, spisu treści, spisu rysunków i tablic. Cały materiał został zaprezentowany na 197. stronach. Wykaz literatury obejmuje 265 pozycji.

Wymienione w kolejności elementy składowe pracy wskazują, iż charakteryzuje ją typowy (*choć niejednolity*) układ graficzny stosowany przy opracowywaniu tego typu prac.

Wymagane oświadczenie Autora stwierdzające, iż prezentowana praca nie zawiera elementów plagiatu, a także, że tworząc ją nie naruszono praw autorskich innych twórców zamieszczone zostało na ostatniej, nienumerowanej (197.) stronie dysertacji.

Kolejne, poza stroną tytułową pracy, jej początkowe strony wypełniają: podziękowania, dwustronicowy spis treści, trzystronicowe streszczenia pracy w języku polskim i angielskim oraz spis najważniejszych oznaczeń jakimi posługiwano się w pracy.

Pierwszy rozdział pracy, który został zatytułowany „*Wstęp teoretyczny*” obejmuje aż 33 strony. Materiał w nim zawarty został podzielony na 8 podrozdziałów, w których Doktorant wypunktował kolejne grupy poruszanych zagadnień.

Uważam, że użycie w tytule rozdziału przymiotnika „*teoretyczny*” nie jest trafne. Zawarty w tym rozdziale materiał jest bowiem starannym przeglądem zagadnień, które w sposób popularno-naukowy prezentują podstawowe i najbardziej charakterystyczne pojęcia z zakresu wibroakustyki. Zarówno omawiane pojęcia jak i prezentowane zagadnienia są starannie opisane w literaturze dotyczącej szeroko rozumianej wibroakustyki, a ich objaśnianie, w wielu przypadkach na poziomie definicyjnym, w pracy doktorskiej, uważam za zbędne. Praca doktorska jest kierowana bowiem do grona osób, które przystępując do jej studiowania są przygotowane do rozumienia i odpowiedniej interpretacji poruszanych w niej zagadnień.

Należy jednak podkreślić, iż zaprezentowany w tym rozdziale materiał, udokumentowany szerokim przeglądem bibliograficznym (*to około 70% całego spisu pozycji literaturowych pracy*), został opracowany z dużą starannością i niewątpliwie w rozszerzonej formule mógłby z powodzeniem stanowić cenną oddzielną pozycję popularno-naukową z zakresu wibroakustyki.

Dobrze rozumiem jednak Doktoranta dlaczego zaproponował tak szeroką formę wstępu do pracy. Uważam, że były tu przynajmniej dwa powody. Jeden to chęć udokumentowania swojej dobrej znajomości materiału z zakresu dotyczącego wibroakustyki, co rzeczywiście robi dobre wrażenie, a drugi to chęć uniknięcia niejednoznaczności podczas rozwiązywania lub opisu zagadnień poruszanych w pracy.

Podsumowując ten fragment struktury pracy uważam, iż rozdział 1. zawiera cenny materiał, który moim zdaniem powinien być w tej części pracy zaprezentowany w formie znacząco skróconej.

Drugi rozdział dysertacji został zatytułowany „*Cel i zakres pracy*”. Moim zdaniem powinien być uzupełniony przyjmując formę: „*Cel i zakres oraz teza pracy*”. Ocenę merytoryczną obu składników struktury wymienionych w tytule rozdziału pracy oraz zaprezentowanej w tym rozdziale tezy pracy przedstawiłem wcześniej, w pierwszej części opinii.

Zaprezentowany przez Doktoranta zakres pracy został przedstawiony, w tym rozdziale, dwukrotnie. Jednocześnie Autor przedstawił go wypunktowując niezbędne do osiągnięcia celu pracy zadania, a następnie rozwinął je, w rozszerzonej formie opisowej przedstawiając streszczenie materiału, jaki znalazł się w kolejnych rozdziałach opracowania.

W moim przekonaniu ta druga prezentacja w tym miejscu struktury pracy jest zbędna.

Trzeci rozdział pracy p.t. „*Metodyka badań*” został poświęcony w całości prezentacji zastosowanych metod badawczych, jakie mają zapewnić Autorowi pełną realizację osiągnięcia głównego celu dysertacji oraz udowodnienie sformułowanej jej tezy. Są nimi następujące rodzaje algorytmów: macierzy transmisji (TMM), różnic skończonych w domenie czasu (FDTD), genetyczny (GA) oraz metody i materiały wykorzystywane w eksperymentalnej weryfikacji wyników.

Układ tego rozdziału pracy został przez Doktoranta przemyślany i precyzyjnie przedstawiony, a zaproponowane znane metody badawcze opisane w wystarczającej formie skrótowej.

Czwarty rozdział pracy noszący tytuł: „*Przegrody wielowarstwowe*” jest obszernym materiałem merytorycznym i strukturalnym pracy. Został podzielony na osiem podrozdziałów. W każdym z nich Autor zgromadził materiał dotyczący analizy szczegółowych zagadnień, które dotyczyły: wpływu różnego rodzaju zjawisk i ich parametrów, jakie mają miejsce w przegrodach wielowarstwowych.

W pierwszych dwóch podrozdziałach (*podrozdziały 4.1. i 4.2.*) udokumentowano zależność struktury transmisji hałasu w funkcji liczby warstw struktury przegrody wielowarstwowej określając precyzyjnie zjawisko transmisji fali w dwuelementowych strukturach pięciowarstwowych.

W kolejnych podrozdziałach (*podr. 4.3 i 4.4*) wskazane zostały pasma wzbronione w wybranych strukturach, zaprezentowano analizę określającą przestrzeń rozwiązań w warunkach minimalizacji transmisji widma fali akustycznej oraz optymalizację struktur wielowarstwowych wykonaną przy wykorzystaniu algorytmu genetycznego.

W podrozdziałach 4.5. ÷ 4.8. przedstawione zostało porównanie rezultatów badań numerycznych i eksperymentalnych struktur z propozycją projektową wielowarstwowych filtrów dwupasmych, a także podsumowanie całości rozdziału.

Struktura tego rozdziału jest przejrzysta, prezentacja rezultatów badań poprawna i jednoznaczna.

Piąty rozdział pracy został poświęcony analizie możliwości minimalizacji transmisji fali w dwuwymiarowych strukturach barier fononicznych. Zgromadzony w nim materiał został zaprezentowany w 9. podrozdziałach. Sześć pierwszych podrozdziałów (*podr.5.1 ÷ 5.6*) to szczegółowe badania wpływu różnych czynników i parametrów na tę transmisję. Kolejno omówione zostały : parametry niezbędne do inicjacji algorytmu FDTD (*podr. 5,1*), rodzaje propagacji fal w badanych strukturach przy ich inicjacji z różnych źródeł (*podr.5.2*), wpływ liczby warstw metaatomów, współczynnika wypełnienia, stałej sieciowej i kształtu przekroju oraz materiału metaatomów (*podr. 5.3 ÷ 5.6*). W podrozdziale 5.7 dla wybranych dwuwymiarowych struktur fononicznych przedstawiono analityczne porównanie rezultatów badań numerycznych i eksperymentalnych badanych struktur proponując w podrozdziale 5.8, projekt dwuwymiarowego, selektywnego filtra przeznaczonego dla układu rzeczywistego. Ostatni podrozdział (*podr. 5.9*), to podsumowanie całego rozdziału.

Szósty rozdział dysertacji został poświęcony opisowi inżynierskich rozwiązań przykładowych modeli nastawnych przegród i barier akustycznych.

W podrozdziale 6.1 zaprezentowany został model wielowarstwowej przegrody akustycznej, a w kolejnym (*podr. 6.2*), model dwuwymiarowego ekranu przemysłowego.

Zamieszczone przykłady zostały opracowane na podstawie otrzymanych przez Doktoranta rezultatów badań symulacyjnych, które zostały szczegółowo przedstawione w dwóch ostatnio dyskutowanych rozdziałach 4. i 5..

Ostatni merytoryczny , autorski, siódmy rozdział rozprawy zawiera podsumowanie pracy oraz sformułowane wnioski. Podsumowanie jest w pewnym sensie powtórzeniem, w czasie dokonanym zakresu pracy, który zamieszczony został w 2. jej rozdziale. Wnioski zostały sformułowane trafnie i poprawnie; część z nich jest oczywista.

Zamykający merytoryczną część pracy spis literatury jest obszerny. Wspominałem już wcześniej, iż większość pozycji bibliograficznych posłużyła Autorowi do opracowania szerokiego wstępu do pracy. W pozostałej części pracy Autor rzadko podpira się gotowymi opracowaniami.

Ważnym elementem rozprawy jest również dodatek, w którym Doktorant zamieścił źródłowe pliki autorskich programów jakie powstały w związku z opracowywaną pracą.

Oceniając układ strukturalny pracy stwierdzam, że został on przez Doktoranta przemyślany, a prezentowany materiał podzielony na właściwie dobrane grupy zagadnień tematycznych i przedstawiony zgodnie z powszechnie przyjętymi zasadami, które dotyczą przygotowywania prac doktorskich.

3. Ocena i uwagi merytoryczne dotyczące rozprawy

W pierwszej części opinii wspominałem, że zaproponowany temat rozprawy jest aktualny i ważny zarówno z punktu widzenia naukowego jak i inżynierskiego. Wpisuje się bardzo dobrze w trend prac badaczy i naukowców stawiających za cel swojej działalności poszukiwanie nowych lub uściślanie modeli odwzorowujących charakterystyki rzeczywistych procesów zachodzących w urządzeniach technicznych przez co umożliwiają bardziej precyzyjny ich opis matematyczny i formułowanie nowych wniosków o charakterze inżynierskim.

Uwagi, które dotyczą struktury pierwszego rozdziału pracy zamieściłem w drugiej części mojego opracowania formułując m.in. uwagę dotyczącą tytułu, jak i objętości zamieszczonego w tym rozdziale materiału.

Z merytorycznego punktu widzenia zgromadzony w tym rozdziale materiał, w moim przekonaniu, jest cennym, skrótowym ale uporządkowanym przedstawieniem w większości powszechnie znanych pojęć i zagadnień z zakresu wibroakustyki. Natomiast z naukowego punktu widzenia nie wnoszą one nowości ale niewątpliwie miały istotny wpływ na dalszą prezentację materiału pracy przyczyniając się do stworzenia jej przejrzystej struktury, jak również jasnej prezentacji omawianych zagadnień. Dlatego pomimo wcześniej poczynionych uwag, moja merytoryczna ocena omawianego materiału jest pozytywna. Zamieszczony w tym rozdziale materiał potwierdza również, o czym wspominałem wcześniej, dobre rozeznanie Doktoranta w zakresie specjalności, której dotyczy praca.

Ogólną opinię merytoryczną dotyczącą materiału zgromadzonego w rozdziale drugim, a więc dotyczącym celu i zakresu pracy przedstawiłem w pierwszej części opinii. Uzupełniając pragnę podkreślić, iż Autor wskazując sześć zadań pośrednich, których rozwiązania stanowią kolejne etapy pracy i są niezbędne do osiągnięcia celu głównego, jednocześnie i jednoznacznie, w bezpośredni sposób określił zamierzony zakres pracy. Dlatego pozostają, również przy wyrażonym

wcześniej zdaniu, iż zamieszczony w tym rozdziale i będący zwięzłym streszczeniem pracy opisowy jej zakres jest zbędny, gdyż jest powtórzeniem wypunktowanych wszystkich, tzw. celów częściowych, które dobrze ten zakres pracy formułują. W omawianym rozdziale Doktorant zaprezentował również tezę swojej dysertacji. Została ona jasno sformułowana i poza drobną, wcześniejszą i dyskusyjną zresztą uwagą, przedstawiona podobnie jak główny cel pracy, jasno i precyzyjnie.

Wspomniana uwaga dotyczy użycia w sformułowaniu tezy, pojęcia „*geometria*” zamiast „*parametry geometryczne*”. Zdaję sobie sprawę z faktu, że w środowisku inżynierskim i nie tylko, te dwa pojęcia bardzo często są stosowane zamiennie. Uważam jednak, że w pracy ściśle naukowej raczej to drugie określenie jest właściwsze.

Trzeci rozdział pracy został poświęcony prezentacji metodyki badawczej jaką zastosowano w pracy. Autor przedstawił ją w sposób przejrzysty i uporządkowany. W trzech pierwszych podrozdziałach zaprezentowano przewidziane do realizacji zadań określonych w dysertacji, algorytmy: macierzy transmisji (TMM), zależnego od czasu, algorytm różnic skończonych (FDTD) oraz algorytm genetyczny (GA). Dwa pierwsze przewidziane zostały do określenia właściwości struktur jedno- i dwuwymiarowych, trzeci do działań optymalizacyjnych. Wymienione algorytmy zostały opisane w sposób dość szczegółowy. Nie wnoszą one do pracy nowości, gdyż są procedurami powszechnie znanymi i stanowią narzędzie w dalszych działaniach Autora pracy. Należy podkreślić jednak, że dzięki takiemu szczegółowemu opisowi, prowadząc w dalszej części pracy badania symulacyjne, Doktorant mógł skorzystać z najważniejszych zależności, jakie w tych procedurach obowiązują. Dlatego uważam, iż przyjęcie takiej metody działania, miało w tym względzie pełne uzasadnienie.

Założono, iż w prowadzonych badaniach symulacyjnych nie będzie uwzględniane wewnętrzne tłumienie, co oczywiście z punktu widzenia ogólnej analizy omawianych zagadnień stanowi znaczące uproszczenie. Koncentrując się jednak przede wszystkim na analizie wpływu przestrzennego rozkładu materiału na propagację fal uważam, że Autor mógł tak postąpić, choć zdawać należy sprawę z istotnego wpływu dyssypacji energii przede wszystkim na zmianę wartości natężenia fali. Do zaakceptowania są także inne przewidywane uproszczenia, które Doktorant zakłada przyjmując, iż zostaną one wykorzystane podczas badań symulacyjnych, np. iż ośrodek jest idealnie sprężysty, ciągły, jednorodny itd.. W czwartym podrozdziale omawianego trzeciego rozdziału pracy Autor zaproponował przewidywaną metodę i przewidywane możliwości weryfikacji symulacyjnych i eksperymentalnych rezultatów badań.

W kolejności zaprezentowane zostały materiały wykorzystywane w tych badaniach, opis realizacji struktur oraz pomiarów.

Omówione, w trzecim rozdziale pracy, algorytmy zostały wykorzystane do badań wpływu rozmieszczenia, grubości i liczby warstw przegród akustycznych na strukturę transmisji fali, a w tym minimalizację niekorzystnych składowych jej widma. Tym zagadnieniom został poświęcony materiał zamieszczony w czwartym rozdziale dysertacji.

W podrozdziale 4.1. Autor zamieścił wykresy ilustrujące przebiegi zmian wartości ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości, które zostały wyznaczone w przypadku zwiększającej się liczby przegród (*od 2 ÷ 8*). Interpretacja tych wyników jest bardzo oszczędna, a wniosek sformułowany na końcu podrozdziału oczywisty.

Materiał zamieszczony w podrozdziale 4.2 omawianego rozdziału poświęcony został badaniom wpływu grubości materiałów tworzących pięciowarstwową strukturę przegrody na przejście przez nią zjawiska fali. Badanie zostały zrealizowane przy założeniu natężenia dźwięku o wartości 90 dB. Otrzymane wyniki badań numerycznych zostały zilustrowane na rys. 4.2.1. we wszystkich analizowanych przypadkach ciśnienia akustycznego, jakie dotyczą struktur z pojedynczą warstwą PLA o różnej grubości. Interpretacja otrzymanych rezultatów tych badań została przez Autora ograniczona do prezentacji otrzymanych wartości, jakie zostały zamieszczone w tabelicy 4.2.1.

Ilustrację rezultatów podobnych badań dotyczących przebiegów zmian wartości ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości ale struktury dwuwarstwowej, zbudowanej z PLA i o grubościach warstw, jak w przypadku struktury jednowarstwowej lecz ze zmieniającą się odległością między warstwami (*10 i 20 mm*), Doktorant zamieścił na rysunku 4.2.2., a na rysunku 4.2.3. analogiczne wyniki odnoszące się do przegród wykonanych z PLA o różnych grubościach i różnych odległościach między nimi. Autorska dyskusja wyników zaprezentowanych w tym podrozdziale jest skromna i ogranicza się we wszystkich analizowanych przypadkach do wskazania wartości częstotliwości przy których występują ekstremalne wartości ciśnienia akustycznego.

W kolejnym podrozdziale (*podr. 4.3*) Autor skupił się na badaniach wpływu rozkładu warstw na możliwość istnienia i wskazaniu miejsc występowania pasm wzbronionych w strukturach okresowych, quasi okresowych i aperiodycznych. Badane struktury zostały zestawione w tabelicy 4.3.1. Na kolejnych rysunkach (*od Rys. 4.3.1 ÷ Rys4.3.3*) zilustrowano wyniki transmisji fali w funkcji częstotliwości zaznaczając pasma wzbronione, za które przyjęto w pracy takie dla których poziom przyjmuje wartość poniżej 100 dB.

W podrozdziałach 4.4. i 4.5. zamieszczona została analiza przestrzeni rozwiązań w przypadku minimalizacji transmisji fali (*podr. 4.4.*) oraz optymalizacja analizowanych struktur wielowarstwowych (*podr. 4.5.*) z wykorzystaniem opisanego wcześniej (*podr.3.3.*) algorytmu genetycznego. Wykorzystując zamieszczony w podrozdziale 3.3. formalizm tego algorytmu, określono funkcję celu tak, aby w założonym przedziale częstotliwości możliwa była minimalizacja lub eliminacja odpowiednich składowych tej funkcji. Rezultaty przeprowadzonej analizy struktur o liczbie warstw od 5 ÷ 12 zbudowanych z PLA, zostały zaprezentowane w postaci odpowiednich histogramów.

Zaprezentowany w podrozdziale 4.5. proces optymalizacji dotyczył minimalizacji przejścia fali w omawianych strukturach w określonym przedziale częstotliwości. Rezultaty tej analizy Autor zaprezentował na 9. różnorodnych wykresach, na których zilustrowane zostały zmiany wartości: funkcji celu dla najlepszego osobnika danej populacji, struktury o założonej (*Rys.4.5.1.*) i zadanej liczbie warstw (*Rys.4.5.2.*), składowych funkcji celu F_1 i F_{D1} (*Rys.4.5.3.* i *Rys.4.5.4.*) oraz zmiany wartości: ciśnienia akustycznego w funkcji częstości struktur wskazanych jako najlepsze (*Rys.4.5.5.*) i częstości o wartości niższej od 3 kHz (*Rys.4.5.6.*), a także wykresy ilustrujące zmiany wartości ciśnienia akustycznego otrzymane przy częstościach 3 kHz i liczbie warstw zmieniających się co 5, w zakresie od 15 ÷ 100 (*Rys.4.5.7.* ÷ *Rys.4.5.9.*).

Materiał zamieszczony w podrozdziale 4.5 ma charakter czysto akademicki. Autor wykazał się dobrą, czynną znajomością korzystania z procedury optymalizacyjnej wykorzystującej algorytm genetyczny, także umiejętnością prezentacji graficznej uzyskanych rezultatów badań. Natomiast analiza otrzymanych wyników przeprowadzonej analizy jest skromna, pobieżna i poza interpretacją sporządzonych rysunków, nie zawiera interesujących wniosków, które nawiązałyby również do inżynierskiego charakteru pracy.

Szósty podrozdział omawianego rozdziału 4. poświęcony został prezentacji rezultatów badań porównawczych numerycznych i eksperymentalnych. Wyniki badań numerycznych zostały uzyskane z wykorzystaniem algorytmu macierzy transmisji fali. Natomiast realizując badania eksperymentalne, zastosowano oprogramowanie REW V5.20.4 współpracujące z odpowiednio przystosowanymi mikrofonami pomiarowymi.

Ogólną ilustrację przebiegów wyników badań numerycznych i eksperymentalnych Doktorant zaprezentował na rys.4.6.1. Na kolejnych trzech rysunkach zilustrowany został schemat stanowiska pomiarowego (*Rys.4.6.2.*), początkowy kształt narastającego sygnału pomiarowego (*Rys.4.6.3.*) oraz wykres ilustrujący wartości kalibracyjne komory pomiarowej (*Rys.4.6.4.*).

Ilustrację rezultatów badań, które zostały otrzymane metodą obliczeń numerycznych oraz będących rezultatem przeprowadzonego eksperymentu,

Doktorant zamieścił na rysunkach 4.6.5. i 4.6.6. Są to krzywe, które dotyczą struktury pięciowarstwowej (Rys.4.6.5) i struktury siedmiowarstwowej (Rys.4.6.6).

Zamieszczona autorska analiza otrzymanych wyników, mimo kilku interesujących sformułowań jest ograniczona. Doktorant dokonał porównania otrzymanych wyników dwiema metodami w sposób dość swobodny opierając się na obserwacji przebiegów krzywych bez jakiegokolwiek uzasadnienia matematycznego.

W przedostatnim podrozdziale (podr. 4.7) siódmego rozdziału pracy, Autor zaproponował materiał teoretyczny, którego wykorzystanie może być podstawą do projektowania wielowarstwowych filtrów dwupasmowych. Za podstawę prowadzonej analizy posłużyły zarejestrowane w funkcji częstotliwości, wyniki pomiaru ciśnienia akustycznego frezarki. W tym celu wykorzystany został algorytm genetyczny, który wykorzystany został w taki sposób, by możliwe było zminimalizowanie przejścia fali, w interesujących zakresach częstotliwości. Minimalizując wartość składowej transmisji fali, a więc składowej F_l oraz minimalizującą piki wysokiej transmisji fali o małej szerokości składowej F_{DI} wyznaczono funkcję celu F_c przeprowadzając analizę przestrzeni struktur składających się z liczby warstw określonej przedziałem od $5 \div 12$.

Kolejny 5. rozdział dysertacji został poświęcony analizie parametrów geometrycznych struktur mającej na celu minimalizację transmisji fali. W tym celu zastosowany został algorytm różnic skończonych (FDTD) oraz wykorzystana analiza Fouriera. W kolejnych podrozdziałach zaprezentowana została szczegółowa procedura postępowania oraz obszerna prezentacja rezultatów badawczych, będących niezbędnym elementem analizy. Dotyczyły one kolejno: ustalenia parametrów inicjalizujących algorytm, propagacji fal w badanych strukturach przy ich różnych źródłach inicjacji, wpływu warstw metaatomów, współczynnika wypełnienia struktury oraz stałej sieciowej. Zamieszczone zostało również porównanie rezultatów badań numerycznych z podobnymi rezultatami badań eksperymentalnych analizowanych struktur, a w podrozdziale 5.8. przedstawiono propozycję postępowania podczas projektowania filtra posługując się zarejestrowanymi parametrami ciśnienia akustycznego odnoszącymi się do innego typu maszyny skrawającej, którą analizowano wcześniej.

Zaprezentowany w tym rozdziale materiał oceniam pozytywnie. Rezultaty przeprowadzonych badań z naukowego punktu widzenia zostały zrealizowane poprawnie. Zamieszczone w podsumowaniu rozdziału spostrzeżenia i wnioski są istotne i przydatne przede wszystkim w teoretycznej analizie złożonych problemów, które dotyczą zagadnień bezpośrednio związanych z omawianymi przegrodami.

Przedostatni merytoryczny rozdział pracy (rozd.6.) zatytułowany „Przykłady modeli nastawnych przegród i barier akustycznych” odczytuję jako autorską próbą wskazania możliwości inżynierskiego wykorzystania zgromadzonego w dysertacji materiału analitycznego. Zaprezentowane modele: zarówno przegrody wielowarstwowej, jak i ekranu przemysłowego, przy zaproponowanej koncepcji zilustrowanej na wszystkich zaprezentowanych rysunkach i przy tak ogólnikowym, autorskim opisie przedstawianych struktur oraz ich wybranych elementów, prawie nie nawiązującym do wyników zamieszczonych w pracy, w moim przekonaniu zaniżają poziom opiniowanej pracy. W związku z tym uważam, że zaproponowany w omawianym rozdziale materiał powinien być opracowany w sposób na znacznie wyższym poziomie inżynierskim i przede wszystkim opisany w taki sposób, aby istniało bezpośrednie nawiązanie do otrzymanych w pracy wyników badań.

Materiał zamieszczony w siódmym rozdziale pracy został poświęcony jej podsumowaniu oraz sformułowaniu wniosków; zawiera również autorskie uwagi, które odnoszą się do pracy. W pełni potwierdzam, zawarte na początku rozdziału autorskie stwierdzenie, które Doktorant wymienił w 7. pierwszych punktach podsumowania pracy, iż założony jej cel został osiągnięty; potwierdzam również udowodnienie założonej jej tezy.

Nie zgadzam się natomiast z ostatnim punktem podsumowania, które złożone z ogólników, ma niewiele wspólnego z prezentowaną dysertacją. Wspomniałem o tym również powyżej omawiając 6. rozdział pracy.

Zamieszczone wnioski zostały w większości sformułowane poprawnie i oceniam je pozytywnie. Niestety Autor nie ustrzegł się również i tu ogólnikowości opisu. Zarówno w wyróżnionej grupie pierwszej, wniosek oznaczony jako 5., jak i wniosek 6., w drugiej grupie, to ogólniki, które bez trudu można sformułować bez wykonywania jakiegokolwiek pracy i nie tylko naukowej.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe dotyczące układu edytorskiego i graficznego oraz komentarz dotyczący prezentowanych rysunków i tekstu pracy

1. Prezentacja zamieszczonego w pracy zasadniczego materiału merytorycznego została starannie przemyślana i konsekwentnie zrealizowana. Całość została zaprezentowana w siedmiu rozdziałach zasadniczych; rozdział 8. stanowi spis literatury. Pracę uzupełnia załącznik z kodami źródłowymi programów. Jestem przeciwny oznaczaniu spisu literatury jako kolejnego rozdziału.

2. Odnosząc się do ogólnego układu pracy stwierdziłem wcześniej, że jej układ edytorski nie odbiega od powszechnie przyjmowanego standardu jaki obowiązuje dla prac doktorskich. W zaproponowanym układzie zwraca **jednak** uwagę zróżnicowana objętość rozdziałów. Podstawową zasadą wydawniczą jest,

aby ta objętość była podobna. Zdaję jednak sobie sprawę z faktu, że prezentując pracę naukową nie zawsze można ten wymóg zrealizować, np. rozdział dotyczący przeglądu literatury i rozdział dotyczący celu i zakresu pracy. Ponadto, zwraca uwagę również nietypowy układ graficzny każdej ze stron pracy. Dotyczy to miejsca umieszczenia na górnym marginesie nagłówka jak również niepotrzebnie rozbudowanej jego treści; nietypowe jest również miejsce (*prawy górny róg strony*) wpisanych numerów kolejnych stron.

3. Prezentację materiału przedstawiono unikając trójstopniowego podziału rozdziałów przez co, w spisie znalazły się punktory. Nie widzę uzasadnienia dlaczego Doktorant nie skorzystał z drugiego stopnia podrozdziałów.

4. W pracy nie został zachowany jednolity układ edytorski pracy. Materiał zgromadzony w rozdziałach 1., 2. i 7. został przedstawiony w formie klasycznej, powszechnie stosowanej. Pozostałe rozdziały (3., 4., 5. i 6.) zostały zaprezentowane przez Autora w układzie graficznym z tzw. „*tekstem wiszącym*”. Aktualnie wydawcy odchodzą od tego rodzaju prezentacji stosując ją tylko wtedy, gdy to jest konieczne. Oznacza to, że:

- po przyjęciu cyfrowej numeracji rozdziałów, np. rozdziału 3.,
- po tytule rozdziału powinien wystąpić od razu tytuł podrozdziału, np. 3.1.,
- a tuż po tytule podrozdziału 3.1. powinien być tytuł podrozdziału 3.1.1. itd.

Pomiędzy nimi nie powinno być żadnego tekstu (zwanego wiszącym). Teksty te to z reguły ogólne wprowadzenia do rozdziałów, omówienia czy streszczenia. Przyjmuje się, że jeżeli tekst wiszący jest cennym i niezbędnym wprowadzeniem, powinien mieć numer i tytuł; jeśli tekst zawiera same ogólniki lub omówienie dalszej części rozdziału, nie powinien być zamieszczany.

5. W wielu fragmentach pracy Autor nie zawsze wyraża swoje myśli precyzyjnie. Dotyczy to wielokrotnie zastosowanego w pracy, niepełnego określenia np. badanego zjawiska, którym jest „*transmisja fali ...*”, a które Doktorant zastępuje tylko słowem „*transmisja*”. (np. tytuł podr. 4.1., str.64, 4. w. od d. i w wielu, wielu innych miejscach –uwaga nie dotyczy opisu algorytmu macierzy transmisji TMM).

6. Autor w całym tekście pracy powołując się na numer odpowiedniego rysunku błędnie wpisuje ten wyraz używając dużej litery, np. Rysunek 4.5.2. (str.80) lub Rys.4.6.3. (87). Zasadą obowiązującą jest wpisywanie w tekście tych słów małą literą mimo, że podpisy pod rysunkami zaczynają się dużymi literami.

7. Studiując tekst w miarę starannie zauważyłem kilka błędów składniowych i potknięć literowych. Tak więc na:

-str. 56. 3. i 5. wiersz od góry, jest: „...ilość..” powinno być: liczba,
 -str. 57. 6. l 12 w. od g., jest: „z Równań...” oraz „w Równaniu” powinno być: ..z równań.. oraz w równaniu,
 -str.58, Tablica 3.4.1., jest: „Gęstość ρ i prędkość dźwięku c ...”; powinno być: Wartości gęstości ρ i prędkości dźwięku c ,
 -str. 70, 2. w. od dołu, jest „...posiadały tę samą ..”; powinno być: ...posiadały tę samą..
 -str. 79 i 81, rysunki 4.5.1 ÷ 4.5.3, jest: „Wartość...”; powinno być: Wartości,
 -str. 82, rys.4.5.4, jest: „Wartość....przy zadanej liczby...”; powinno być: Wartości ...przy zadanej liczbie...,
 -str. 89, Rys. 4.6.5. i rys. 4.6.6., jest: „Porównanie” To nie jest porównanie tylko wykresy ilustrujące zmiany wartości wyników badań teoretycznych i eksperymentalnych pozwalające na porównanie.....
 Ponadto na rys, 4.6.6., jest: „...siedmiowarstwowej...”; powinno być: siedmiowarstwowej,
 -str.90, 6. w. od d., jest: „...w widmie...”; powinno być: widma,
 -str.90, 9. w. od d. , jest: niepoprawna składnia zdania. Na rys.4.7.1 nie ma frezarki dolnowrzecionowej tylko przebieg zmian wartości ciśnienia akustycznego wyznaczony dla tej frezarki,
 -str.94. 2.w. od g., jest: „...mniejsza liczba warstw znacząco redukuje koszty...”; (liczba warstw nie redukuje kosztów); powinno być: ... ale zmniejszając liczbę warstw można przyczynić się do redukcji kosztów,
 -str.104, 5.w.od d., jest: „...(Rys. 526 i .”); powinno być: (Rys. 5.2.6. i...),
 -str. 160. Pozycja 90. Bibliografii. Brak roku wydania.

8. Wszystkie prezentowane w pracy fotografie i rysunki są czytelne; niektóre mogłyby być powiększone. Podpisy pod rysunkami nie zawsze w sposób precyzyjny określają to co zostało na nich zaprezentowane.

Wymienione powyżej drobne potknięcia nie mają większego znaczenia w ocenie strony edytorskiej i graficznej omawianej rozprawy; oceniam ją w tym względzie pozytywnie.

5. Końcowa ocena pracy

Oceniając całość zaprezentowanej rozprawy należy podkreślić przede wszystkim istotną wagę poznawczą i badawczą, analizowanych w pracy zagadnień mających na celu rozwiązanie złożonego i ambitnie sformułowanego zadania naukowego. Realizacja kolejnych jej etapów potwierdziła poprawność przyjętej metody postępowania zmierzającej do jednoznacznego udowodnienia sformułowanej tezy pracy.

Na każdym etapie dysertacji, poczynwszy od pozytywnie ocenionego przeze mnie przeglądu literatury, poprzez dobór i opis wybranych algorytmów oraz przeprowadzone badania podstawowe oraz eksperymentalne Doktorant wykazał się doskonałą znajomością i umiejętnością wykorzystywania zastosowanych algorytmów, do analizy złożonych zagadnień, które dotyczyły Wibroakustyki oraz Budowy i Eksploatacji Maszyn wpisując się tym samym swoim opracowaniem w dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna.

Biorąc pod uwagę przedstawiony mi do zaopiniowania materiał, oryginalność rozwiązanego w rozprawie, zagadnienia naukowego oraz całość działań związanych z realizacją dysertacji, a tym samym fakt potwierdzenia umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i badawczej uważam, że przedłożona rozprawa może służyć za podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych. Wobec spełnienia wymogów *artykułu 13 ust 1. Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 z późniejszymi zmianami)* w związku z *art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669 z późniejszymi zmianami)* formułuję wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Sebastiana Garusa do publicznej obrony opiniowanej pracy jako pracy doktorskiej reprezentującej dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna.

Niniejszą opinię przedkładam Panu dr. hab. inż. Januszowi Szmidli prof. PCz Przewodniczącemu Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej zleconiodawcy powyższej recenzji.

