

Poznań, 22 lutego 2025 r.

Prof. UAM dr hab. Ewa Skrodzka
Katedra Akustyki
Wydział Fizyki i Astronomii
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Recenzja pracy doktorskiej

Tytuł rozprawy: **Kształtowanie frontu fali za pomocą soczewek akustycznych**

Autor rozprawy: **mgr inż. Tomasz Nowak**

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Andrzej Dobrucki

Dziedzina: nauki inżynierjno-techniczne

Dyscyplina: automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Tomasza Nowaka pt. „Kształtowanie frontu fali za pomocą soczewek akustycznych”. Recenzja została opracowana na zlecenie wyrażone w piśmie nr RDN AEETK/11/2025 z dnia 9 stycznia 2025r. podpisanym przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej, prof. dr. hab. inż. Andrzeja Dziedzica.

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska dotyczy zbadania możliwości kształtowania frontu fali akustycznej pochodzącej od źródła dowolnego kształtu, za pomocą soczewki akustycznej. Jednym z problemów dotyczących przetworników elektroakustycznych jest duża kierunkowość ich promieniowania akustycznego, tym większa im większa jest częstotliwość emitowanego dźwięku. Gdy odbiorca tego dźwięku znajduje się poza osią promieniowania przetwornika doświadcza wrażenia braku wyrównania głośności dźwięków o różnych częstotliwościach, co jest w sposób oczywisty zjawiskiem niekorzystnym. Najwcześniejsze zastosowanie soczewek akustycznych do rozpraszania dźwięku generowanego przez głośnik jest datowane na połowę XX w. Soczewka akustyczna, w uproszczeniu, to układ falowodów o różnej długości i kształcie, dla których sygnałem wejściowym jest sygnał pochodzący bezpośrednio z przetwornika, a sygnał wyjściowy z poszczególnych falowodów jest przesunięty w fazie ze względu na różne drogi akustyczne przebywane przez wycinki fali wejściowej. Dotychczas stosowane rozwiązania, opierające się na obrocie wyjść falowodów względem ich wejść, pozwalają na sterowanie krzywizną czoła fali w jednej płaszczyźnie, co jest istotnym ograniczeniem.

Autor pracy postawił i udowodnił tezę, że możliwe jest stworzenie soczewki akustycznej pozwalającej na regulację krzywizn czoła fali w dwóch płaszczyznach, dla dowolnego kształtu źródła tej fali.

Zagadnienie, którego dotyczy rozprawa jest ważne i aktualne przede wszystkim w aspekcie aplikacyjnym. Rozprawa ma charakter konstrukcyjno-eksperymentalny, przy czym eksperyment dotyczy zarówno pomiarów fizycznych jak i symulacji numerycznych. Praca napisana jest po polsku, liczy 66 stron tekstu głównego i składa z siedmiu rozdziałów się poprzedzonych stroną tytułową, podziękowaniami, streszczeniami w języku polskim i angielskim, wykazem akronimów i oznaczeń oraz spisem treści. Na końcu umieszczono spis 24 pozycji literaturowych do których Autor odwoływał się w tekście.

W rozdziale 1 przedstawiono motywację, która legła u podstaw rozwiązywanego problemu, cel pracy oraz sformułowano tezę. W rozdziale 2 opisano rozwiązanie techniczne dla proponowanej soczewki akustycznej, opisano sposób jej działania oraz opisano możliwe do uzyskania efekty wynikające z manipulacji geometrią matrycy wejściowej oraz matrycy wyjściowej. W rozdziale 3 opisano proces przygotowania soczewki testowej z wykorzystaniem druku przestrzennego. W rozdziale 4 zawarto wyniki symulacji numerycznych i wstępne wnioski. Rozdział 5 zawiera opis przygotowania pomiarów akustycznych a rozdział 6 zawiera wyniki tych pomiarów oraz ich porównanie z wynikami symulacji numerycznych dla przetwornika wyposażonego w soczewkę i przetwornika bez soczewki. W rozdziale 7 zawarto podsumowanie, wnioski z przeprowadzonych badań, dowód tezy, perspektywy dalszych badań oraz ocenę działania proponowanego rozwiązania. Taka struktura rozprawy doktorskiej jest logiczna i prawidłowa obejmuje bowiem podstawy teoretyczne koncepcji, symulacje numeryczne i weryfikację eksperymentalną oraz krytyczną dyskusję i wnioski. Dobór pozycji literaturowych jest oszczędny, prawidłowy i uzasadniony.

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Nowaka jest aktualna i rozwojowa a sposób realizacji postawionego problemu świadczy o dobrej znajomości zagadnień fizycznych, akustycznych, konstrukcyjnych, elementów technologii materiałowej, metodologii pomiarów akustycznych oraz obliczeń numerycznych.

2. ORYGINALNE OSIĄGNIĘCIA ROZPRAWY

Głównym celem rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Nowaka było opracowanie i przetestowanie numeryczne oraz eksperymentalne koncepcji soczewki akustycznej za pomocą której można kształtować czoło fali akustycznej pochodzącej od przetwornika elektroakustycznego, w dwóch prostopadłych płaszczyznach. Pozwala to na sterowanie szerokości wiązki akustycznej w granicach wyznaczonych stosunkiem długości emitowanej fali do wymiarów źródła. **Jest to rozwiązanie oryginalne i perspektywiczne, które dotychczas nie było opisane.**

Testowany głośnik wyposażono w soczewkę akustyczną, czyli strukturę zbudowaną z dwóch matryc, gdzie matryca wejściowa ma rozmiary źródła, a wyjściowa jest od niej większa. Matryce te były połączone falowodami o różnej długości i kształcie. Manipulowanie rozmiarem matrycy wyjściowej lub jej pozycją wzdłuż każdego z wymiarów głośnika, ze względu na wprowadzone w sposób kontrolowany opóźnienia czasowe, umożliwiło uzyskanie różnych kształtów powierzchni czołowej fali, m.in. płaskiej i cylindrycznie elipsoidalnej. **To rozwiązanie jest oryginalnym pomysłem Autora.** Przed przystąpieniem do obliczeń numerycznych i pomiarów poziomów ciśnienia akustycznego w różnych odległościach od źródła Doktorant rozważył problem granicy między akustycznym polem bliskim (strefą Fresnela) i dalekim (obszarem Fraunhofera) zarówno dla głośnika bez soczewki jak i dla urządzenia w nią wyposażonego. Wobec stałych wymiarów testowanego źródła dźwięku (większych dla urządzenia wyposażonego w soczewkę) generującego płaskie czoło fali, czyli prostokątnego, średniotonowego głośnika izodynamicznego granica ta, jak należało się spodziewać, zależy od częstotliwości emitowanej fali i wymiarów urządzenia. Przewidywania obliczeniowe zostały zestawione z wynikami pomiarowymi i skomentowane.

Oprócz niewątpliwych zalet zaproponowanego rozwiązania Doktorant wymienił jego ograniczenia, tj. brak możliwości skupiania wiązki dźwiękowej oraz trudności w dopasowaniu amplitudowym matrycy wielu soczewek, co dowodzi krytycznego podejścia do rozwiązywanego problemu.

W trakcie realizacji celu pracy i weryfikacji postawionej tezy Doktorant wykazał, że:

- a) Dla zaproponowanego rozwiązania oraz testowanego urządzenia zarówno symulacje numeryczne jak i pomiary akustyczne wyraźnie wykazały zakładany wpływ soczewki na czoło fali, tj. rozproszenie wiązki akustycznej dla większych częstotliwości.

- b) Niezależne kształtowanie frontu falowego w dwóch prostopadłych płaszczyznach umożliwiło przekształcenie przetwornika charakteryzującego się różnymi szerokościami wiązki w tych płaszczyznach w przetwornik o porównywalnych szerokościach obu wiązek akustycznych.
- c) Szerokość wiązki akustycznej w funkcji częstotliwości w polu dalekim była stała powyżej częstotliwości odcięcia.
- d) Zaproponowane rozwiązanie w postaci soczewki akustycznej ma cechy uniwersalności, tzn. może być zastosowane dla przetwornika o dowolnym kształcie.

W spisie literatury znalazły się trzy publikacje w których współautorem jest mgr inż. Tomasz Nowak. Publikacje te wykazują że Doktorant posiada wiedzę w zakresie tematyki swoich badań oraz, że przedstawione osiągnięcie zostało poddane niezależnej weryfikacji w środowisku naukowym.

Reasumując tę część recenzji, za najważniejsze osiągnięcia i oryginalny dorobek Doktoranta uznaję:

- a) Przygotowanie i opracowanie koncepcji rozpraszającej soczewki akustycznej pozwalającej na kształtowanie dowolnego kształtu czoła fali akustycznej, szczególnie pożądanego dla dużych częstotliwości.
- b) Wszechstronne przetestowanie zaproponowanego rozwiązania i wykazanie zadowalającej zgodności symulacji numerycznych i eksperymentów pomiarowych z założeniami teoretycznymi.

Osiągnięcia Doktoranta stanowią oryginalny wkład w rozwój dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

3. UWAGI KRYTYCZNE I DYSKUSYJNE

Po lekturze rozprawy nasuwają mi się następujące spostrzeżenia i pytania:

- a) pojęcie częstotliwości odcięcia nie zostało zbyt precyzyjnie zdefiniowane w początkowej części pracy. Oczekiwałam jasnego sformułowania.
- b) W części dotyczącej symulacji numerycznych wykonanych metodą FEM zabrakło nieco bardziej szczegółowych informacji na temat samego modelu numerycznego, jego parametrów, rozmiaru, kryterium zbieżności itp.
- c) Nie znalazłam uzasadnienia wyboru częstotliwości stosowanych w eksperymencie numerycznym i akustycznym (1-20 kHz). Wybór ten wydaje się oczywisty w świetle prowadzonych badań ale nie został skomentowany.

4. OCENA REDAKCYJNEJ STRONY ROZPRAWY

Rozprawa jest napisana bardzo zwięźle, bez niepotrzebnego przepisywania informacji podręcznikowych. Jednak tok wywodu oraz niektóre skróty myślowe Autora wymagają od czytelnika sporego wysiłku i domysłu. Rozprawa nie jest wolna od usterek językowych i redakcyjnych, z których wymienię kilka przykładowych:

- Wykaz oznaczeń: Q_m jest opisane jako źródło (wydajność?) domeny monopolowej. W tekście w podobny sposób oznaczana jest również kierunkowość źródła (str.40).
- Wykaz oznaczeń: c_0 jest opisane jako prędkość dźwięku w powietrzu. We wzorze (2.2) ta sama wielkość oznaczona jest przez c bez indeksu.
- Streszczenie, wiersz 12 od góry: jest „określone”, powinno być „określonej”.
- Podpisy pod rys.2.4-2.6: co oznacza np. $A_m = 1,2A_{m-1-0,1}$?
- Brak odniesienia w tekście do rys.2.6.

- Str.13: zdanie niegrammatyczne: „Zmieniając rozmiar ... pozwala na uzyskanie...”
- Str.14: zdanie niejasne: „Wadą ... przy długościach fal ułamek jego wielkości...”
- Str.25. Rys. 4.6: Układ współrzędnych –dlaczego lewoskrętny, jeśli poprzednie były prawoskrętne?
- Str.40: zdanie: „Znając poziom średniej kwadratowej ciśnienia akustycznego...” Ewidentna pomyłka. Powinno być „wartość średniej kwadratowej”.
- Str.56, wiersz 3 od dołu: jest „wycinak”, powinno być „wycinek”.

Rysunki i tabele są czytelne, poprawnie opisane. Literatura sformatowana i cytowana prawidłowo.

Powyższe uwagi krytyczne w żaden sposób nie wpływają na moją pozytywną ocenę zawartości merytorycznej dysertacji mgr. inż. Tomasza Nowaka.

5. PODSUMOWANIE I KONKLUZJA

Mgr inż. Tomasz Nowak rozwiązał w oryginalny sposób postawiony w rozprawie doktorskiej problem naukowy. Rozprawa doktorska, sposób realizacji zaplanowanych badań, prawidłowo dobrane i wykorzystane narzędzia numeryczne i pomiarowe, uzyskane wyniki, ich dyskusja i starannie sformułowane wnioski dowodzą, że Doktorant posiadał wiedzę i umiejętności związane z prowadzeniem badań numerycznych i eksperymentalnych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Doktorant wykazał, że możliwe jest zaprojektowanie i wykonanie rozpraszającej soczewki akustycznej oraz kształtowanie a jej pomocą kształtu czoła fali akustycznej pochodzącej od przetwornika elektroakustycznego.

W konkluzji stwierdzam, że mgr inż. Tomasz Nowak osiągnął w oryginalny sposób cel rozprawy, udowodnił postawioną tezę i wniósł wkład w rozwój dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. **Przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Tomasza Nowaka spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r. poz.742 z późn. zmianami)** w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Wnioskuje o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ewa Skowrońska