



ANALIZA PROMIENIOWANIA AKUSTYCZNEGO PŁYTY Z CZTERAMA PARAMI ELEMENTÓW PIEZOELEKTRYCZNYCH

Analysis of the Acoustics Radiation of a Plate With Four Pairs Piezoelectric Elements

Marek S. Kozień*, Jerzy Wiciak**

* Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Stosowanej,
Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, kozien@mech.pk.edu.pl

** Akademia Górniczo-Hutnicza, Pracownia Akustyki Strukturalnej i Materiałów
Inteligentnych, Al. Mickiewicza 30, 30-095 Kraków, wiciak@agh.edu.pl

STRESZCZENIE

Prezentowana praca stanowi kontynuację prac wcześniej prowadzonych przez autorów i dotyczy wpływu sekwencji aktywowanych elementów oraz wielkości przykładanego napięcia na poziom promieniowanej energii akustycznej. W odróżnieniu od poprzednich prac aktywatory rozmieszczone były w sposób rozproszony. Analiza prowadzona była metodą elementów skończonych dla drgań strukturalnych oraz metodą elementów skończonych i alternatywnie nateżeniową metodą hybrydową dla oceny poziomu promieniowanego dźwięku. Elementem strukturalnym wykonującym drgania była stalowa płyta, z naklejonym nań układem aktywatorów, utwierdzona wzdłuż jednego z brzegów i pobudzona do drgań przez harmonicznie zmienną siłę skupioną o stałej amplitudzie.

1. WSTĘP

Zagadnienie minimalizacji energii akustycznej promieniowanej przez drgające elementy strukturalne typu powierzchniowego, jest problemem wciąż aktualnym w zastosowaniach praktycznych. Jeżeli wielkość elementów układu mechanicznego na to pozwala, to jedną ze współczesnych metod zmniejszania ich wibroaktywności jest aktywne tłumienie drgań przy zastosowaniu powierzchniowych elementów piezoelektrycznych w formie elementów piezoceramicznych bądź folii piezoelektrycznych.

Efekt piezoelektryczny polega na tym, iż po przyłożeniu napięcia do przeciwległych powierzchni elementu wykonanego z materiału wykazującego takie cechy, doznaje on odkształcenia. W przypadku odpowiedniego zamocowania takiego elementu do powierzchni zewnętrznej drgającego elementu strukturalnego, generowane są siły powierzchniowe, które mogą zmieniać charakterystykę dynamiczną całego układu [1, 2, 9, 10].

Prezentowana praca stanowi kontynuację prac wcześniej prowadzonych przez autorów [4,6,6] i dotyczy wpływu sekwencji aktywowanych elementów oraz wielkości przykładanego napięcia na poziom promieniowanej energii akustycznej. W odróżnieniu od poprzednich prac aktywatory rozmieszczone były w sposób rozproszony. Analiza

przewodzona była metodą elementów skończonych dla drgań strukturalnych oraz metodą elementów skończonych oraz alternatywnie natężeniową metodą hybrydową [5] dla oceny poziomu promieniowanego dźwięku. Elementem strukturalnym wykonującym drgania była stalowa płyta, z naklejonym nań układem aktywatorów, utwierdzona wzdłuż jednego z brzegów i pobudzona do drgań przez harmonicznie zmienną siłę skupioną o stałej amplitudzie.

2. ANALIZA NUMERYCZNA UKŁADU

Przedmiotem analizy była kwadratowa płyta stalowa o wymiarach $100 \times 100 \times 2$ mm, utwierdzona wzdłuż jednego z brzegów. Na obydwu jej powierzchniach zewnętrznych umieszczono 4 pary aktywatorów piezoelektrycznych, tworzące z płytą integralną całość. Płyta była pobudzana do drgań zewnętrzną siłą punktową. Wymuszenie miało charakter harmonicznie zmienny. Stanowiła je siła skupiona o amplitudzie 1 N, przyłożona w środku krawędzi przeciwległej do krawędzi utwierdzenia i działająca w kierunku Oz . Położenie układu współrzędnych przyjęto w taki sposób, że początek układu znajduje się w jednym narożu utwierdzonej krawędzi płyty. Osie x , y wyznaczają krawędzie płyty a oś z jest prostopadła do powierzchni płyty. Wszystkie punkty płyty posiadają dodatnie współrzędne.

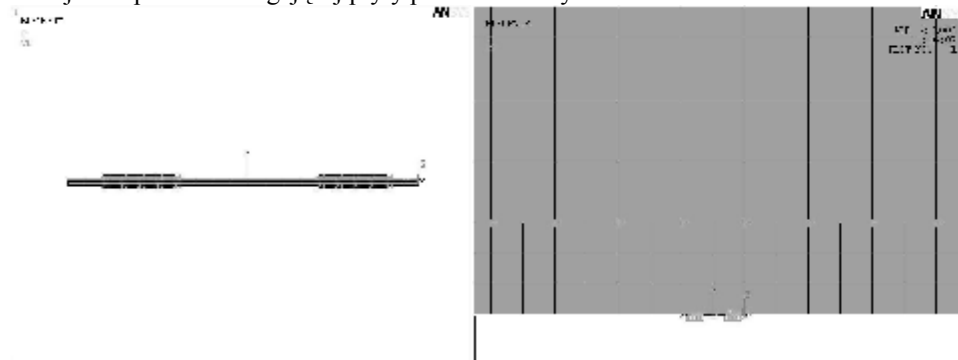
Do analizowanego modelu zamocowano 4 pary aktywatorów piezoelektrycznych o wymiarach $10 \times 10 \times 1$ mm, wykonanych z materiału PZT 4. Elementy te zamocowane zostały po obu stronach płyty symetrycznie. Potencjał na powierzchni elementów piezoelektrycznych podano w taki sposób aby na elektrodzie zewnętrznej była wartość dodatnia, a na elektrodzie wewnętrznej było zero. Dla całego modelu przyjęto współczynnik tłumienia wewnętrznego równy 0,0003. Analiza drgań metodą elementów skończonych została przeprowadzona przy wykorzystaniu pakietu obliczeniowego ANSYS. W obliczeniach zastosowano element bryłowy dla pól sprzężonych SOLID45 i SOLID5. Warstwy piezoelektryczne były modelowane przez dwie warstwy elementów skończonych, a sama płyta stalowa przez cztery warstwy elementów. Substancja łącząca w postaci kleju nie podlegała modelowaniu

Analiza obejmowała promieniowanie akustyczne wskutek drgań wymuszonych płyty w stanie ustalonym dla czterech pierwszych form jej drgań własnych. Obliczenia poziomu ciśnienia akustycznego w wybranych punktach przeprowadzono przy zastosowaniu hybrydowej metody natężeniowej oraz metodą elementów skończonych (moduł Fluid-Structure Interactive)

W przypadku metody hybrydowej [5] analizowana płyta dzielona jest na mniejsze powierzchnie zgodnie z podziałem wykonanym MES. Na podstawie wyznaczonych wartości prędkości normalnej do powierzchni zewnętrznej płyty określonej jako składowe w kierunku osi Oz , prędkości w węzłach poszczególnych podobszarów leżących na powierzchni górnej płyty określono wartość składowej z -towej wektora natężenia akustycznego w określonych punktach. Na podstawie uzyskanych wartości oszacowano wartość ciśnienia akustycznego, przyjmując, że wypadkowa fala akustyczna ma charakter fali płaskiej. W tym przypadku, dźwięki strukturalne, związane z drgającą płytą promieniowane były w pole swobodne.

Do obliczeń wypromieniowanej energii akustycznej programem ANSYS założono, że dźwięki strukturalne, związane z drgającą płytą promieniowane były do przestrzeni o wymiarach $2 \times 2 \times 2$ m. Na pięciu zewnętrznych powierzchniach ograniczających przestrzeń akustyczną umieszczono materiał pochłaniający o współczynniku pochłaniania równym 0.95. W płaszczyźnie XY , w której zachodzą drgania płyty umieszczono materiał o bardzo małym współczynniku pochłaniania równym 0.01. Objętość akustyczną zamodelowano elementami

bryłowymi typu FLUID30. Wygląd układu po podziale na elementy skończone, wraz z miejscem położenia drgającej płyty pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Model płyty w elementach skończonych z 4 parami elementami piezoelektrycznymi

3. WYNIKI BADAŃ

Na podstawie obliczeń wykonanych dla 15 wartości harmonicznie zmiennych napięć przyłożonych do powierzchni aktywatorów piezoelektrycznych oraz przeprowadzonych analiz rozkładu amplitudy drgań na powierzchni płyty wybrano 3 wartości napięcia 50 V, 120 V i 220 V. Dla tak wybranych wartości napięć przeprowadzono dalsze obliczenia rozkładu ciśnienia akustycznego w rozpatrywanej objętości. Zgodnie metodą hybrydową, na podstawie wyznaczonych wartości prędkości normalnej do powierzchni zewnętrznej płyty określonej jako składowe w kierunku osi Oz , prędkości w węzłach modelu leżących na powierzchni górnej płyty określono metodą natężeniową wartość składowej z -towej wektora natężenia akustycznego w punktach o współrzędnych xyz : 0.5,0.5,0.5 oraz 0.0,0.1,1.0. Na podstawie uzyskanych wartości oszacowano wartość ciśnienia akustycznego, przyjmując, że wypadkowa fala akustyczna ma charakter fali płaskiej.

Dla wymienionych punktów wykonano również obliczenia rozkładu ciśnienia akustycznego metodą MES przy użyciu programu Ansys. Uzyskane wyniki w postaci poziomu dźwięku dla określonych postaci drgań i rozpatrywanych wartości przyłożonego napięcia zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Estymowany poziom dźwięku dla punktów o współrzędnych: 0.0,0.1,1.0 oraz 0.5,0.5,0.5

Numer modu	Częstot. [Hz]	Model I (ANSYS) Poziom dźwięku [dB]				Model II Poziom dźwięku [dB]			
		Amplituda napięcia				Amplituda napięcia			
		0 V	50 V	140 V	220 V	0 V	50 V	140 V	220 V
punkt o współrzędnych xyz: 0.0,0.0,1.0									
1	192,6	63.0	60.8	54.9	47.5	62.3	60.8	52.6	46.3
2	471,2	52.2	50.3	46.1	44.7	54.8	52.0	48.0	51.8
3	1097,2	52.5	51.7	52.2	54.4	55.7	53.0	58.9	63.6
4	1459,4	54.2	54.3	56.2	58.9	56.2	55.4	62.5	67.0
punkt o współrzędnych xyz: 0.5,0.5,0.5									
1	192,6	63.1	60.9	54.9	47.6	62.2	60.7	52.6	46.3
2	471,2	54.8	52.8	48.7	47.3	54.6	51.8	47.8	51.4
3	1097,2	49.7	49.1	49.1	62.6	54.8	51.9	57.7	62.4
4	1459,4	59.6	59.7	62.7	65.6	54.7	53.5	60.5	65.1

Analiza uzyskanych rezultatów wskazuje na możliwość redukcji poziomu drgań strukturalnych, co powoduje wyraźne zmniejszenie poziomu dźwięku promieniowanego przez element. W zależności od badanej częstotliwości i od przyłożonego napięcia poziom ciśnienia akustycznego obniżono o około 15 dB dla częstotliwości 192,6 Hz i 8 dB dla częstotliwości 471,2 Hz

4. WNIOSKI

1. Analiza uzyskanych rezultatów wskazuje na możliwość redukcji poziomu drgań strukturalnych poprzez zastosowanie aktywatorów piezoelektrycznych. Redukcja ta przekłada się bezpośrednio na zmniejszenie poziomu promieniowanego dźwięku.
2. Pokazano, że istotnym parametrem wpływającym na skuteczność redukcji jest kształt, rozmieszczenie elementów na powierzchni płyty oraz wartość amplitudy napięcia doń przykładanego. Parametry te zależą od postaci poszczególnych modów i mogą podlegać optymalizacji bądź być czynnikami poddanymi sterowaniu w układzie aktywnej redukcji hałasu poprzez aktywną redukcję drgań strukturalnych..
3. Rezultaty analiz promieniowanego dźwięku uzyskane metodą elementów skończonych i natężeniową metodą hybrydową wykazują dużą zgodność.

LITERATURA

1. P. Cupiał, Some Analytical and Finite Element solutions of the Vibration of Piezoelectric Continua, XX Sympozjum: Vibrations in Physical Systems, Poznań-Blażejewko, (2002).
2. S. P. Elliott, P.A. Nelson, Active Control of Vibrations. Academic Press. London, 1997.
3. C.R. Fuller, Active Control of Sound Transmission/ Radiation From Elastic Plates by Vibration Inputs: I Analysis. J. of Sound and Vibration, **136(1)**, 1-15, (1990).
4. S. I. Hajek, Encyclopedia of Vibration, Ed. S. Braun, D. Evins, S.S. Rao, Academic Press p. 544 – 553 (2002).
5. M.S. Kozień, Hybrid Method of Evaluation of Sounds Radiated by Vibrating Surface Elements, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, **Vol.42**, No.4, (2004).
6. M. S. Kozień, J. Wiciak, Analiza promieniowania akustycznego płyty z elementami piezoelektrycznymi. Materiały XLVI Otwartego Seminarium z Akustyki OSA'02, PTA – Oddział Warszawski, Warszawa – Stare Jabłonki, 2002, 601-608.
7. M. S. Kozień, J. Wiciak, Influence of the piezoelectric elements configuration on the lowering of plate vibrations Proceedings of the Conference: Structural Acoustics – Waves - Biomedical Engineering, R. Panuszka, Ed., Polish Acoustical Society, Division Kraków - Zakopane, 2003, 47-58.
8. M. S. Kozień, J. Wiciak, Acoustics Radiation of a Plate With Line and Cross Type Piezoelectric Elements. Molecular and Quantum Acoustics, **vol.24**, p.97-108, (2003).
9. L. Leniowska: Active control of circular plate vibration by using piezoceramic actuators: An experimental investigation. Proc. Open Seminar on Acoustics, 2003, p. 458 – 461.
10. M. Pietrzakowski, Composites with Piezoceramic Fibers and Interdigitated Electrodes in Vibration Control, Mechanika, **Vol.22**, z.3, 375 (2003).
11. A. Tylikowski, *Aktywne tłumienie w elementach ciągłych konstrukcji i maszyn*, J. Osiński, Tłumienie drgań, PWN, Warszawa, 1997.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych nr 8T07b 04820.