

Streszczenie

Hałas emitowany przez współczesne systemy inżynierskie stanowi istotne ograniczenie projektowe w wielu zastosowaniach transportowych, przemysłowych oraz konsumenckich. W celu spełnienia wymagań dotyczących emisji hałasu powszechnie stosuje się lekkie obudowy zawierające otwory funkcjonalne, które jednocześnie prowadzą do powstania złożonego sprzężenia wibroakustycznego oraz zwiększonej transmisji dźwięku. Szczególnie istotne znaczenie ma zakres niskich i średnich częstotliwości, w którym metody pasywne są ograniczone przez wymagania masowe, przestrzenne oraz funkcjonalne.

W rozprawie opracowano zorientowane projektowo ramy analityczne umożliwiające modelowanie oraz optymalizację układów wibroakustycznych z otworami. Zaproponowany model jest sparametryzowany względem kształtu i położenia otworu oraz uwzględnia sprzężenie pomiędzy płytą, wnęką akustyczną oraz polem swobodnym. Dynamikę płyty opisano metodą Rayleigha–Ritza z zastosowaniem funkcji hiperboliczno-trygonometrycznych, natomiast moc promieniowaną wyznaczono z wykorzystaniem macierzy oporu promieniowania. Całkowitą moc akustyczną zdefiniowano jako sumę promieniowania strukturalnego oraz transmisji przez otwór, co umożliwiło analizę redystrybucji energii akustycznej w funkcji parametrów geometrycznych.

Poprawność modelu zweryfikowano z wykorzystaniem modelowania numerycznego FEM–BEM oraz badań eksperymentalnych przeprowadzonych na układzie obudowy z cienką płytą stalową. Uzyskano zgodność częstotliwości własnych, postaci drgań oraz charakterystyk mocy akustycznej. Na tej podstawie opracowano deterministyczną procedurę projektowania otworów, w której parametry geometryczne traktowane są jako zmienne decyzyjne. Zoptymalizowane konfiguracje umożliwiły redukcję szczytowej mocy akustycznej do około 12 dB w zakresie 100–350 Hz. Wykazano ponadto, że nieciągłości konturu otworu oraz jego asymetryczne położenie prowadzą do wzrostu rezonansów w średnim paśmie częstotliwości.

W pracy przeanalizowano również strategię aktywnej redukcji hałasu w warunkach szerokopasmowego wymuszenia. Zaproponowano metodę rozmieszczenia inercyjnych wzbudników drgań opartą na kryteriach mocy akustycznej oraz wpływie wycieku przez otwór. Badania eksperymentalne obejmowały porównanie aktywnej strukturalnej kontroli akustycznej (ASAC), aktywnej redukcji hałasu (ANC) oraz konfiguracji hybrydowej typu dual-actuator. Konfiguracja hybrydowa umożliwiła uzyskanie średniej redukcji sygnału błędu rzędu 15 dB oraz maksymalnej przekraczającej 30 dB w wybranych zakresach częstotliwości.

Zaproponowane podejście zastosowano również do płyt wielomateriałowych z transparentnymi wstawkami, wprowadzając zależny od częstotliwości współczynnik transmisji umożliwiający rozdzielenie składowej promieniowania strukturalnego i wycieku akustycznego. Wyniki wskazują na istotny wpływ właściwości materiałowych oraz rozmieszczenia elementów wykonawczych na skuteczność sterowania.

Przeprowadzone badania wykazują ścisły związek pomiędzy geometrią otworów, rozmieszczeniem elementów wykonawczych oraz odpowiedzią wibroakustyczną układu. Opracowane modele, procedury projektowe oraz strategię sterowania aktywnego umożliwiają skuteczną szerokopasmową redukcję emisji hałasu w lekkich strukturach z otworami funkcjonalnymi.