

Materiały informacyjne dotyczące wyników realizacji zadania badawczego pt:

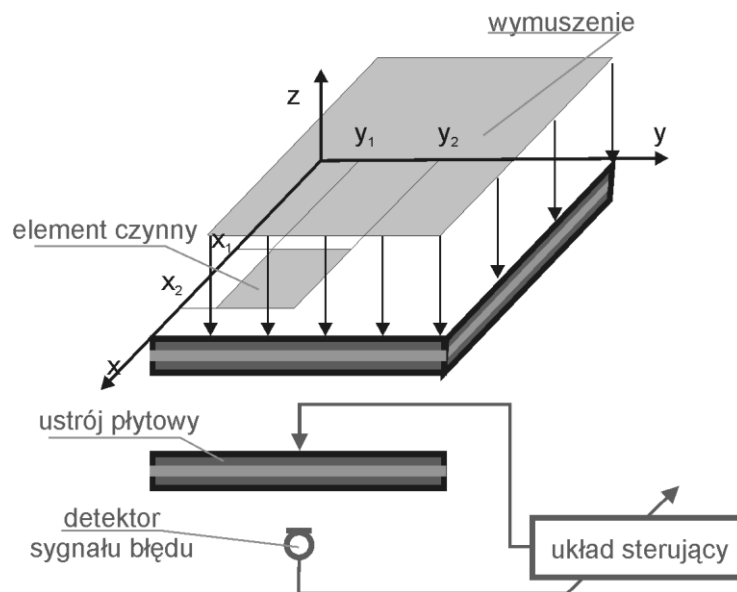
Opracowanie modelu aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego o zmiennych tłumieniu i izolacyjności

Hałas jest jednym z najpowszechniej występujących zjawisk fizycznych towarzyszących człowiekowi. Przy niższych poziomach ciśnienia akustycznego może być czynnikiem uciążliwym przeszkadzającym w wypoczynku, śnie czy też wykonywaniu wymagających dużej koncentracji. Przy większych poziomach staje się czynnikiem szkodliwym negatywnie oddziałując na słuch, oraz może być czynnikiem niebezpiecznym powodując bezpośrednio, bądź pośrednio wypadki przy pracy i poza nią. Obecnie znanych jest wiele rozwiązań stosowanych do ograniczenia hałasu. Jedną ze najbardziej zaawansowanych technologicznie rozwiązań redukcji hałasu jest zastosowanie systemów aktywnych. Ich istotnym elementem (odróżniającym systemy aktywne od rozwiązań pasywnych zwanych również tradycyjnymi) jest dodatkowe źródło energii wibroakustycznej. Poprzez odpowiednie sterowanie parametrami tego źródła możliwe jest wytworzenie sygnału wibroakustycznego, który rozchodząc się w ośrodku propagacji razem z sygnałem hałasu powoduje jego kompensację. Dodatkowe źródło energii wibroakustycznej zwane jest źródłem kompensującym lub wtórnym, zaś generowany przez nie sygnał, sygnałem kompensującym. Najważniejszym elementem systemu aktywnej redukcji hałasu (systemu ARH) jest układ sterujący. To on jest odpowiedzialny za ustalenie właściwych parametrów amplitudowych i fazowych sygnału sterującego.

Jedną z najistotniejszych zalet systemów ARH w stosunku do rozwiązań tradycyjnych jest możliwość redukcji hałasu niskoczęstotliwościowego. Co więcej skuteczność redukcji hałasu zwykle rośnie wraz ze zmniejszaniem się jego częstotliwości. W ten sposób systemy ARH stanowią doskonałe uzupełnienie rozwiązań pasywnych pozwalając na projektowanie układów hybrydowych o charakterystykach szerokopasmowych. Obecnie w systemach tych najczęściej wykorzystuje się, jako element wykonawczy, źródła dźwięku z elementami czynnymi w postaci głośników. Jedną z potencjalnych możliwości powiększenia pola zastosowań systemów ARH jest wykorzystanie aktywnych ustrojów dźwiękochłonna-izolacyjnych. W ustrojach tych, jako elementy czynne, stosuje się materiały, które pod wpływem doprowadzonej do nich energii zmieniają swoje właściwości (tzw. materiały inteligentne) powodując zmiany wybranych parametrów akustycznych ustrojów.

Ze względu na skomplikowaną budowę i wysoki koszt takich ustrojów już na etapie projektowania systemów aktywnej redukcji hałasu niezbędna jest jak największa wiedza dotycząca skuteczności działania tych systemów w warunkach rzeczywistych. Jednym z istotnych problemów związanych z zastosowaniem metod aktywnych do redukcji hałasu jest dobór i odpowiednia lokalizacja elementów czynnych w ustrojach. Zastosowanie źródeł kompensujących wykorzystujących, jako elementy czynne materiałów inteligentnych, umożliwi konstruowanie systemów ARH do zastosowań w nowych obszarach. Z tego względu w CIOP-PIB zrealizowano pracę, której celem było opracowanie aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego mającego możliwość zmiany tłumienia i izolacyjności akustycznej.

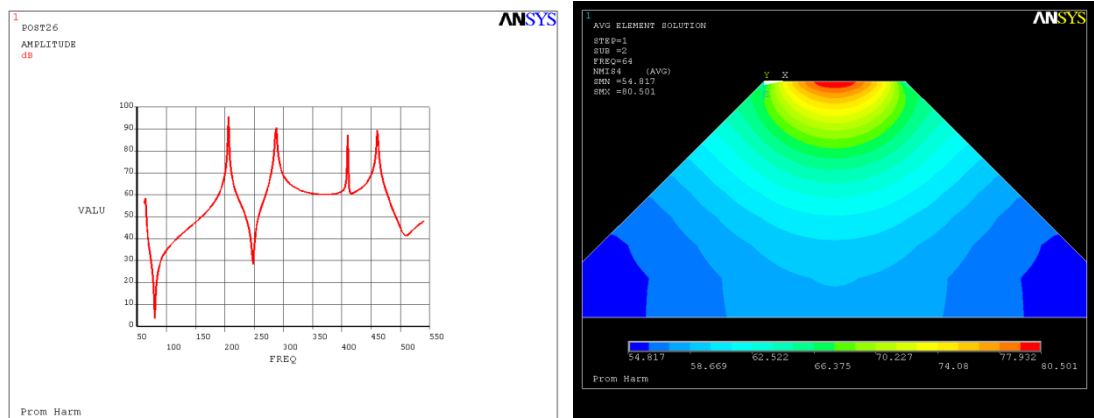
Na wstępie opracowano model fizyczny i modele matematyczne ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego oraz przeprowadzono badania symulacyjne z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES) i analizy wrażliwości.



Rysunek 1. Schemat modelu fizycznego aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego z uwzględnieniem pobudzenia zewnętrznego

W przyjętym modelu fizycznym (Rysunek 1) założono, że aktywny ustrój dźwiękochłonna-izolacyjny składa się z płyty metalowej (stalowej lub mosiężnej) o wymiarach 240x300x0,5 [mm], elementów czynnych, detektora sygnału błędu oraz układu sterującego. Elementem czynnym jest przetwornik M-8528-P2 firmy Smart Material. Elementy czynne sterowane są przez układ sterujący wykorzystujący system cyfrowego przetwarzania sygnałów z zastosowaniem algorytmów adaptacyjnych. Założono również, że

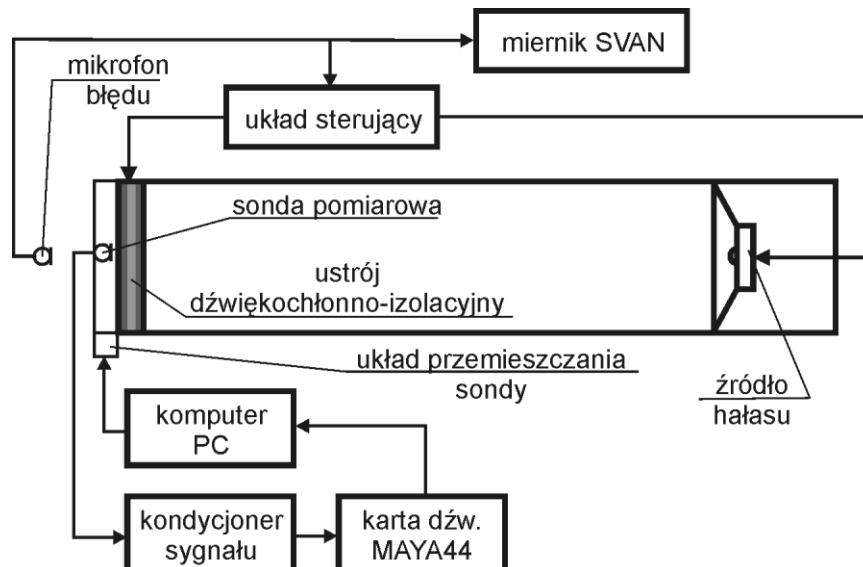
wymuszenie poprzecznych drgań płyty jest obciążeniem harmonicznym równomiernie rozłożonym na całej powierzchni płyty. Na podstawie modelu fizycznego opracowano modele matematyczne ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego wykorzystane do analizy wrażliwości i modelowania MES. Do modelowania wykorzystano środowisko obliczeniowe ANSYS. Opracowane modele posłużyły do przeprowadzenia badań symulacyjnych, w których analizowano wpływ elementów czynnych (sam fakt umieszczenia, a także ilość i położenie ich) na zmianę rozkładu drgań na powierzchni ustroju oraz jego promieniowania akustycznego, a przez to na skuteczność aktywnej redukcji hałasu. Symulacje przeprowadzono dla 2 rodzajów płyt, 3 wariantów umieszczenia elementów czynnych. Przeprowadzona w ramach symulacji analiza modalna i harmoniczna nie wykazała znaczącego wpływu umieszczenia elementów czynnych w postaci piezolaminatu MFC na sztywność analizowanego ustroju. Z kolei analiza promieniowania akustycznego wykazała istotny wpływ położenia elementów czynnych na skuteczność aktywnej redukcji hałasu. Wprowadzenie niesymetrycznego mocowania znacząco poprawiło skuteczność działania aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego. Analiza promieniowania akustycznego (Rysunek 2) pod wpływem pobudzenia falą płaską aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego wykazała, że możliwa jest redukcja promieniowania akustycznego o ok. 10 dB.



Rysunek 2. Przykładowa charakterystyka częstotliwościowa promieniowania akustycznego aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego

W dalszej kolejności opracowano i wykonano laboratoryjny model aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego z zastosowaniem materiałów inteligentnych oraz przeprowadzono badania laboratoryjne weryfikujące wyniki zrealizowanych badań symulacyjnych. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem stanowiska laboratoryjnego (Rysunek 3) składającego się z: falowodu akustycznego zamkniętego z jednej strony źródłem

hałasu (głośnikiem z obudową), systemu ARH w postaci aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego oraz układu pomiarowego. System ARH składa się z układu sterującego wraz z oprogramowaniem, kondycjonera sygnałów, wzmacniacza mocy, detektora sygnału błędu oraz ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego.



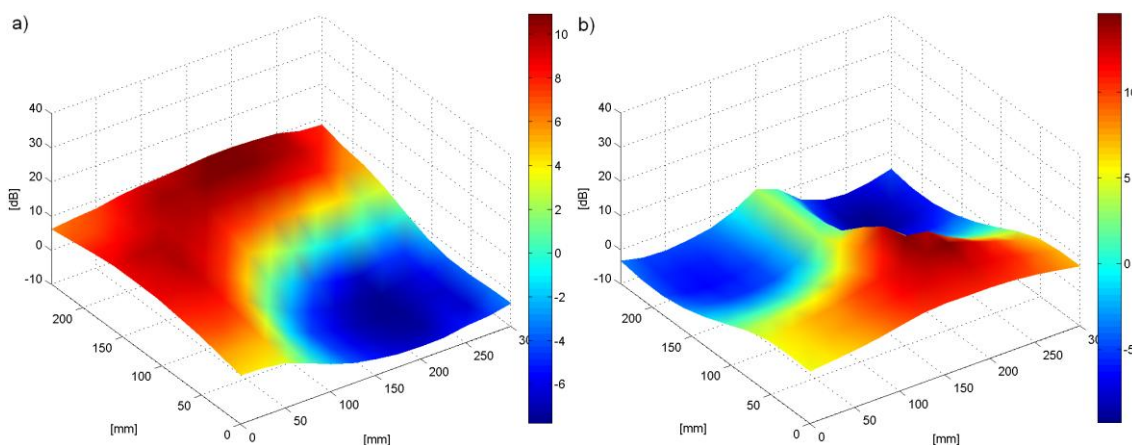
Rysunek 3. Stanowisko laboratoryjne do badań aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego

Istotnym elementem aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego jest kondycjoner sygnałów sterujących umożliwiający wysterowanie przetworników MFC, które wymagają sygnałów o amplitudach dochodzących do 200 V oraz polaryzacji napięciem dodatnim w zakresie od 0 do 100 V. Kondycjoner ten modyfikuje niskonapięciowe sygnały wychodzące z układu sterującego na sygnały wysokonapięciowe. Układ pomiarowy składa się z komputera PC z oprogramowaniem Matlab i Mach2, sondy Microflown USP, ramy pomiarowej z systemem sterowania, karty dźwiękowej ESI Maya 44 USB, oscyloskopu Tektronix TDS 3014B, miernika poziomu ciśnienia akustycznego Svan 948. Model ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego umieszczono na otwartym końcu falowodu.

W ramach badań laboratoryjnych przeprowadzono pomiary rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego hałasu i prędkości akustycznej w pobliżu powierzchni ustroju z wykorzystaniem sondy natężeniowej Microflown USP. Dodatkowo przeprowadzono pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w punkcie umieszczonym w odległości 20 cm od powierzchni ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego, naprzeciw jego geometrycznego środka. Pomiary przeprowadzono dla hałasu w postaci tonów o częstotliwościach: 100 Hz, 150 Hz,

200 Hz, 250 Hz oraz czterech poziomach ciśnienia akustycznego każdego tych sygnałów. Badania przeprowadzono dla dwóch wersji aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego różniących się ilością i sposobem rozmieszczenia elementów czynnych. W badaniach zastosowano dwa rodzaje sterowania systemem ARH: manualny i adaptacyjny. W trybie manualnym wykorzystywano wskazania miernika poziomu ciśnienia akustycznego Svan 948, a w trybie adaptacyjnym zastosowano filtr NOTCH sterowany za pomocą algorytmu LMS przy wykorzystaniu mikrofonu B&K 4135 ze wzmacniaczem mikrofonowym B&K 2607. W celu wyznaczenia skuteczności ARH dla każdej konfiguracji aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego wyznaczono różnice poziomów ciśnienia akustycznego i natężenia dźwięku przy wyłączonym i włączonym systemie ARH.

Pomiary przeprowadzone sondą natężeniową wykazały, że osiągnięcie dodatniej wartości skuteczności ARH mierzonej jedynie w punkcie detektora sygnału błędu nie zawsze przekłada się na zmniejszenie promieniowania ustroju na całej jego powierzchni. Przykładowo dla hałasu o częstotliwości 100 Hz i o poziomie ciśnienia akustycznego w punkcie mikrofonu błędu równym 82 dB zarejestrowane skuteczności przy powierzchni ustroju dochodziły do 14 dB, jednak skuteczność określana w punkcie mikrofonu błędu wynosiła 3 dB. Powodem tych różnic była jednoczesna degradacja skuteczności ARH w innym miejscu przy powierzchni ustroju o wartościach -7 dB.



Rysunek 4. Rozkład skuteczności aktywnej redukcji hałasu aktywnego ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego o jednym elemencie czynnym (a) i trzech elementach czynnych (b)

Znacznie lepsze wyniki uzyskano w przypadku redukcji hałasu o częstotliwości 200 Hz, gdy mody drgań ustroju pokrywały się z miejscem zamocowania elementu czynnego. Wtedy też skuteczność ARH, zmierzona jako obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego w

odległości 20 cm od ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego dochodziła do 16 dB. W tym przypadku wartości skuteczności ARH wyznaczone na podstawie pomiarów sondą natężeniową przy powierzchni ustroju oscylowały w granicach 15 dB, jednak nie zarejestrowano wartości ujemnych. Z kolei dla przypadku ustroju o trzech elementach czynnych pobudzanego hałasem o częstotliwości 100 Hz i o poziomie ciśnienia akustycznego w punkcie mikrofonu błędu równym 82 dB obserwowano wzrost skuteczności ARH do wartości 20 dB. Skuteczność ARH wyznaczona w odległości 20 cm od ustroju w tym przypadku wynosiła ok. 10 dB. Zwiększenie ilości elementów czynnych w aktywnym ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnym może zatem znacząco poprawić możliwości redukcji hałasu (Rysunek 4).

W przypadku badań wpływu zastosowanego sterowania systemem ARH na skuteczność ARH wyniki nie różniły się znacząco. Dla sterowania manualnego skuteczność ARH wyznaczona w odległości 20 cm od ustroju wynosiła 16 dB, a skuteczność uzyskana w przypadku sterowania adaptacyjnego była o ok. 1 dB niższa. W przypadku sygnałów ustalonych lepsze efekty daje zastosowanie ustrojów o sterowaniu nieadaptacyjnym, mimo iż w niektórych przypadkach regulacja parametrów jest kłopotliwa i pracochłonna.

Wyniki realizacji zadania badawczego mogą być wykorzystane do wykonania ustrojów dźwiękochłonna-izolacyjnych, a tym samym umożliwią konstruowanie systemów ARH w zastosowaniach dotąd niedostępnych dla metod aktywnych.