

UPROSZCZONA METODA BADAŃ IZOLACYJNOŚCI AKUSTYCZNEJ W POLU FAL PŁASKICH

Jerzy WĄTŁY*, Marek JABŁOŃSKI**

*Instytut Techniki Ciepłej

ul. Dąbrowskiego 113, 93-208 Łódź, e-mail: j.watly@itc.edu.pl

**Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: Marek.Jablonski@p.lodz.pl

Streszczenie: W referacie przedstawiono opis stanowiska pomiarowego zaprojektowanego do badań izolacyjności akustycznej próbek w polu fal płaskich..

Słowa kluczowe: Akustyka, badania akustyczne, izolacyjność akustyczna materiałów.

1. WSTĘP

Niektóre zastosowania materiałów dźwiękoizolacyjnych w akustyce technicznej i budowlanej, wymagają wiedzy na temat izolacyjności akustycznej w polu fal płaskich. Katalogowe parametry akustyczne materiałów tj. izolacyjność akustyczna właściwa R_w , izolacyjność akustyczna przybliżona R' , znormalizowana różnica poziomów D_n , wzorcowa różnica poziomów D_{nT} , określane są w warunkach laboratoryjnych w polu fal rozproszonych. Odmienność zachowania się materiałów w polu fal rozproszonych i fal płaskich, nie pozwala na ich wykorzystywanie, do obliczeń akustycznych aplikacji z dominującymi falami płaskimi.

2. POLE AKUSTYCZNE

Pole fali dźwiękowej tworzą drgające cząstki ośrodka, powodując, poprzez oddziaływanie z sąsiednimi cząstkami, przyrost zmiennych stanu termodynamicznego (w ośrodku jednorodnym, ciągłym, o pomijalnej dyssypacji energii i przewodnictwie cieplnym, są to: prędkość i ciśnienie). Jest to więc obszar (część przestrzeni), w którym rozchodzą się fale akustyczne, tj. fale biegnące w stronę od źródła, oraz fale do niego powracające z jednego lub wielu kierunków. Rozpatrując, dla uproszczenia,

jedno źródło i jedną przegrodę oddaloną od źródła, to pole akustyczne utworzą dwa rodzaje fal; emitowane bezpośrednio przez źródło, oraz fale odbite od przegrody. Przy założeniu, że przegroda doskonale pochłania dźwięk, to pole akustyczne będzie wytworzone tylko przez fale emitowane przez źródło i nazywane będzie polem akustycznym swobodnym lub polem bezpogłosowym. W drugim przypadku, kiedy przegroda usytuowana na drodze transmisji fali emitowanej przez źródło, powoduje całkowite lub częściowe jej odbicie (zgodnie z zasadą Huygensa), część fal powraca w kierunku źródła, powodując na swojej drodze zjawiska interferencji. Takie pole nazywane jest polem akustycznym rozproszonym.

3. FALE PŁASKIE

W praktycznych zastosowaniach akustyki technicznej i budowlanej, niejednokrotnie ukształtowanie i lokalizacja źródła lub jego wymiary liniowe w bezpośrednim jego sąsiedztwie, pozwalają uznać promieniowane fale za płaskie tj. rozchodzące się w jednym wybranym kierunku, co np. dla kierunku x , prędkości v i czasu t można zapisać w postaci równania falowego:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (1)$$

Dla płaskiej fali sinusoidalnej rozwiązaniem tego równania falowego będzie:

$$v = v_o \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c} \cdot x) \quad (2)$$

W znacznej odległości od źródła, dochodzące do obserwatora fale również można uznać za płaskie (quasi-płaskie), jeśli spełniony jest warunek wiążący odległość i długość fali: $r/\lambda \gg 1$.

Dla przykładu, w powietrzu o temperaturze 20°C, dla częstotliwości np. 100, 500 i 1000 Hz, warunek ten jest spełniony w odległości od kilkunastu do kilku metrów.

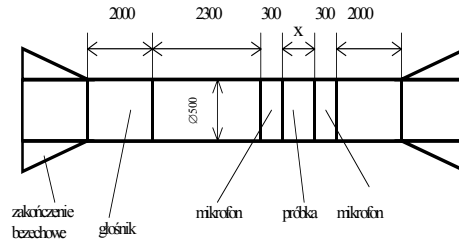
Dla kanałów i rurociągów o czynnej powierzchni przekroju S – fale można uznać za płaskie, jeśli spełniony jest warunek $\sqrt{S}/\lambda \ll 1$.

Ogólnie można stwierdzić, że za falę płaską można uznać taką, dla której generowane są powierzchnie jej rozchodzenia odległe od siebie o okres drgań $T = \lambda/c$ (warunek ten można przyjąć dla fal harmonicznych), na których cząstki ośrodka mają taką samą fazę drgań.

4. STANOWISKO DO BADAŃ METODĄ KANAŁOWĄ

Budowa stanowiska do badań materiałów lub przegród w polu fal płaskich napotyka wiele trudności i ograniczeń. Budowa przegród dostatecznie dużych, pozwalających objąć badaniami cały zakres częstotliwości, wymaga odpowiednio skomponowanych źródeł dźwięku, co stwarza warunki sprzyjające wystąpieniu zjawiska koincydencji, właściwej dla skośnego padania fal dźwiękowych na przegrodę. Ważne jest także, zachowanie wymaganej odległości źródła od przegrody, nie mówiąc już o wymiarach badanych przegród. Ograniczenie wymiarów badanych próbek (przegród), zawęża zakres częstotliwości, przy których mogą wystąpić różne zjawiska akustyczne, jak np. wspomniane zjawisko koincydencji. W tym jednak przypadku pojawia się możliwość znormalizowania badań, oraz ograniczenia ich kosztów. Niewątpliwą wadą jest, natomiast, ograniczenie dla próbek o małej gęstości, chyba że ich budowa pozwala na zachowanie wszystkich cech strukturalnych, niezależnie od położenia (przy umieszczeniu badanej próbki w płaszczyźnie pionowej lub poziomej).

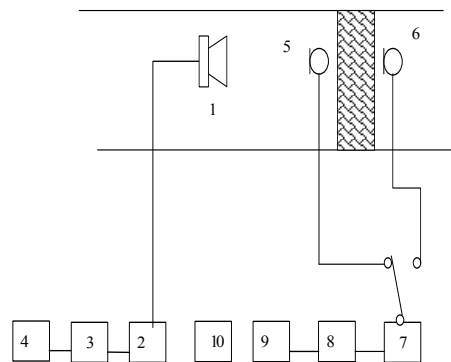
Niżej opisano znormalizowane stanowiska do badań akustycznych metodą kanałową. Poza wieloma przytoczonymi zaletami, jego podstawową wadą, jest brak możliwości badań próbek z materiałów „luźnych”, a więc takich, które nie zachowują swoich cech strukturalnych podczas umieszczenia ich w płaszczyźnie pionowej. Dotyczy to głównie próbek z materiałów sypkich, pianek i materiałów włóknistych o małej gęstości.



Rys. 1 Stanowisko do badań metodą kanałową
Fig. 1. Station for research by induct method.

Badany materiał umieszcza się w kanale pomiarowym o średnicy ok. $\varnothing 500$ mm. Fala płaska wytwarzana jest przez głośnik umieszczony w odległości ponad 2,5 m od badanej próbki. Przed próbką ciśnienie akustyczne mierzone jest przy pomocy sondy mikrofonowej z mikrofonem 1/2" lub samym mikrofonem. Za próbką ciśnienie akustyczne mierzone jest przy pomocy mikrofonu 1/2". Zakończenia bezchowe na wlocie i wylocie stanowiska pomiarowego mają na celu ograniczenie odbić fali akustycznej od zakończeń kanałów. Tor pomiarowy składa się z dwóch niezależnych części - rys.2:

- 1) generatora szumu, zasilacza, wzmacniacza mocy i sztucznego źródła dźwięku w postaci głośnika,
- 2) mikrofonów pomiarowych oraz analizatora hałasu.



Rys. 2. Oprzyrządowanie.
Fig. 2. Measurement path.

Oznaczenia do rys. 2: 1 - źródło dźwięku, 2 - wzmacniacz moc, 3 - zasilacz typ, 4 - generator szumu, 5, 6 - mikrofony, 7 - analizator hałasu, 8 - komputer IBM, 9 – drukarka, 10 - kalibrator akustyczny.

5. PROCEDURA BADAŃ

Pomiary rozpocząć należy od sprawdzenia warunków pola akustycznego w kanale i otoczeniu stanowiska oraz sprawdzeniu charakterystyk mikrofonu i sondy pomiarowej.

Kierunkowość mikrofonu

Kierunkowość mikrofonu należy określić dla szumu białego filtrowanego w paśmie 1/3 oktawowym, przy czym krzywe graniczne należy wyznaczyć z równania (3):

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \frac{1}{1 + f_o + K + \Theta^3} \quad (3)$$

gdzie:

ΔL - zmniejszenie czułości dla kąta padania Θ (w radiach) odniesione do kierunku osiowego od czoła mikrofonu

K - stała kierunkowości,

dla 1000 Hz	$K_{\min}=0,35 \cdot 10^{-3}$	$K_{\max}=1,5 \cdot 10^{-3}$
dla 2000 Hz	$K_{\min}=0,35 \cdot 10^{-3}$	$K_{\max}=1,5 \cdot 10^{-3}$
dla 4000 Hz	$K_{\min}=0,35 \cdot 10^{-3}$	$K_{\max}=2,2 \cdot 10^{-3}$
dla 8000 Hz	$K_{\min}=0,35 \cdot 10^{-3}$	$K_{\max}=2,2 \cdot 10^{-3}$

f_o - częstotliwość środkowa pasma 1/3 oktawowego, Hz
poprawkę C (poprawka charakterystyki częstotliwościowej mikrofonu) należy określić z zależności (4):

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (4)$$

gdzie:

C_1 - poprawka charakterystyki mikrofonu podawana przez producenta, którą należy dodać do charakterystyki kalibrowanego mikrofonu, aby otrzymać charakterystykę w polu swobodnym,

C_2 - poprawka charakterystyki częstotliwościowej mikrofonu, którą wyznacza się na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego dla częstotliwości środkowych w pasmach 1/3-oktawowych. Jest ona równa liczbowo różnicy pomiędzy poziomami zmierzonymi przy użyciu samego mikrofonu i sondy. Jest to przypadek, kiedy używana jest sonda z mikrofonem/

C_3 - poprawka prędkości opływu (wartość tej poprawki przy pomiarach bez przepływu powietrza należy przyjąć równą zero),

C_4 - poprawka modalna mikrofonu, której wartość liczbowa uzależniona jest od średnicy kanału i względnego położenia promieniowego mikrofonu.

630 Hz	1
800 Hz	1,5
1000 Hz	2
1250 Hz	2
1600 Hz	2,5
2000 Hz	3
2500 Hz	3,5
3150 Hz	4

4000 Hz	5
5000 Hz	5,5
6300 Hz	6
8000 Hz	6
10000 Hz	6

Dla pozostałych częstotliwości poprawka C_4 jest równa zero.

Należy dokonać oceny właściwości zakończeń bezecho- wych poprzez wyznaczenie współczynnika odbicia ciśnienia akustycznego r_a dla każdej częstotliwości środkowej mierzonego pasma wg zależności (5).

$$r_a = \frac{10^{\Delta L/20} - 1}{10^{\Delta L/20} + 1} \quad (5)$$

gdzie ΔL - różnica między maksymalnym i minimalnym poziomem ciśnienia akustycznego fali stojącej, powstałej w kanale pomiarowym.

Współczynnik odbicia należy mierzyć w pasmach począwszy od 50 Hz do częstotliwości granicznej f_o pierwszego modu poprzecznego wyznaczonej z zależności (6):

$$f_o = 0,586 \cdot c/d \quad (6)$$

gdzie

c - prędkość dźwięku, m/s

d - minimalna średnica zakończenia, m ($d = 0,5$ m)

f_o należy przyjąć 400 Hz.

Pomiar należy przeprowadzić wg następującej procedury:

- na końcu kanału pomiarowego zainstalować głośnik zasilany poprzez wzmacniacz z generatora (na głośnik podawany powinien być sygnał tonalny w zakresie środkowych częstotliwości pasm 1/3 oktawy)

- wzdłuż całego kanału w osi przesuwając należy mikrofon pomiarowy, z którego sygnał należy filtrować za pomocą analizatora tercjowego i wąskopasmowego

- przesuując mikrofon należy określić różnicę między maksymalną i minimalną wartością poziomu ciśnienia dla poszczególnych częstotliwości

- otrzymane wyniki należy porównywać z wartościami dla poszczególnych częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktawy. Maksymalne wartości r_a wynoszą:

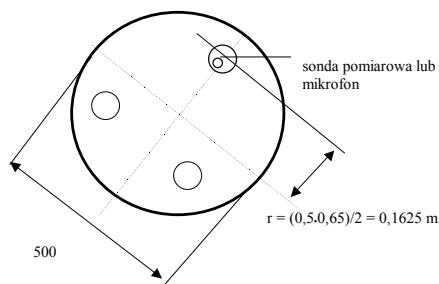
50 Hz	0,40
63 Hz	0,35
80 Hz	0,30
100 Hz	0,25
125 i więcej Hz	0,15

Dodatkowo przed i po pomiarach należy określić tło pomiarowe wewnątrz kanału, w bezpośrednim otoczeniu badanego materiału lub przegrody.

Zasadnicze badania

Sztuczne źródło dźwięku, umieszczone wewnątrz kanału, wytwarza szum biały o określonym poziomie dźwięku. Badania realizować należy poprzez pomiar ciśnienia akustycznego dla poszczególnych częstotliwości w pasmach

1/3 - oktawowych (tercjach) w zakresie częstotliwości środkowych między 1,6 Hz a 20000 Hz po obydwu stronach założonej przegrody. Od czoła mikrofonu do powierzchni badanego materiału należy zachować odległość rzędu 150 mm. Liczba punktów pomiarowych nie powinna być mniejsza od trzech po jednej i trzech po drugiej stronie przegrody, przy czym punkty pomiarowe należy rozmieścić równomiernie na obwodzie kanału pomiarowego zgodnie - rys. 3.



Rys. 3. Położenie mikrofonu w kanale pomiarowym
Fig. 3. Location of speaker in the measuring canal

6. RZYSKŁADOWE WYNIKI BADAŃ

Dla przykładu w rozdziale tym przedstawiono izolacyjność akustyczną kilku przegród wykonanych z wełny mineralnej. Izolacyjność akustyczną zdefiniowano tutaj jako różnicę poziomów zgodnie z zależnością (7):

$$D = L_1 - L_2 \quad (7)$$

gdzie:

L_1 – średni (uśredniony w czasie i przestrzeni) poziom ciśnienia akustycznego w przestrzeni nadawczej, dB

L_2 – średni (uśredniony w czasie i przestrzeni) poziom ciśnienia akustycznego w przestrzeni odbiorczej, dB

Średni poziom ciśnienia akustycznego w części nadawczej i odbiorczej (poziom przeciętnego ciśnienia akustycznego) L należy określić z zależności (8):

$$L = 10 \cdot \lg(p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2) / (n \cdot p_0^2) \quad (8)$$

gdzie:

p_1, p_2, \dots, p_n – wartości skuteczne ciśnień akustycznych w n różnych punktach, μPa

p_0 – ciśnienie akustyczne odniesienia równe 20 μPa

Jeśli, mierzona jest wartość poziomu ciśnienia akustycznego, należy posłużyć się zależnością (9):

$$L = 10 \cdot \lg(n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}) \quad (9)$$

gdzie:

L_i – wartości poziomu ciśnienia akustycznego w różnych n punktach pomiarowych, dB

Płyta z wełny szklanej grubości 30 mm – $D=19,0$ dB

Płyta z wełny szklanej grubości 50 mm – $D=20,0$ dB

Płyta z wełny szklanej grubości 100 mm – $D=26,0$ dB

Mata z wełny bazaltowej grubości 50 mm – $D=22,0$ dB

7. UWAGI KOŃCOWE

Wykorzystanie w pełni znormalizowanego stanowiska do badań akustycznych metodą kanałową, zapewnia powtarzalność wyników badań. Zaletą stanowiska jest ograniczenie wymiarów próbek badanych materiałów. Wadą natomiast, są ograniczenia wynikające z rodzaju badanego materiału. Próbkę z materiałów o małej grubości i małej gęstości, po zamontowaniu w płaszczyźnie pionowej, nie zachowują swojej struktury i kształtów podczas badań, a przez to nie są zapewnione warunki odtwarzalności wyników badań.

SIMPLIFIED PROCEDURE OF SOUND INSULATION RESEARCH IN THE FIELD OF PLANE WAVES

Summary: Description of measurement station designed for research of samples' sound insulation in the field of plane waves has been presented in this paper.

Literatura

[1] PN-EN ISO 5136 *Akustyka. Określenie mocy akustycznej emitowanej do kanału przez wentylatory oraz inne urządzenia do przetłaczania powietrza. Metoda kanałowa*

[2] Normy z serii PN-EN ISO 140 *Akustyka. Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych.*