

ZESZYTY NAUKOWE NR 9(81)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

INLAND SHIPPING 2005

Krzysztof Mech

Ograniczenie przenikania hałasu do wnętrza okrętowego

Słowa kluczowe: ochrona środowiska przed hałasem, izolacyjność akustyczna, natężenie dźwięku

Przedstawiono wyniki badań izolacyjności akustycznej ścian tworzących kabinę okrętową. Zaprezentowano sposób diagnozowania dróg przenikania energii akustycznej do wnętrza kabiny. Na podstawie diagnostyki akustycznej z wykorzystaniem pomiaru natężenia dźwięku zaproponowano środki w postaci technicznej modyfikacji poprawiające izolacyjność akustyczną badanej przegrody. Oprócz standardowych charakterystyk izolacyjności akustycznej przegród, w referacie przedstawiono wizualizację wektorowych efektów w polu akustycznym za przegrodą.

Attenuation of Noise Propagation into the Ship's Cabin

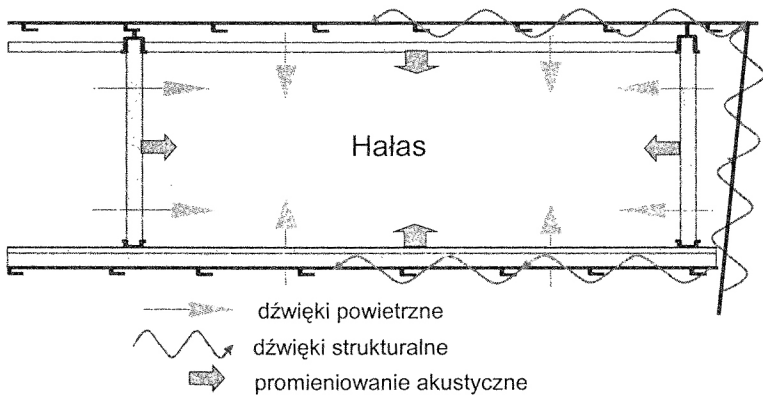
Key words: noise control, sound insulation, sound intensity

The article presents the application of the classical and sound intensity method of measuring the acoustic characteristics of ship partitions. The aim of the paper is to show the estimation of sound intensity technique applied for in-situ measurement of airborne sound insulation of inhomogeneous ship bulkheads and vector analysis of acoustic power radiated from these partitions.

Wprowadzenie

Spośród zagrożeń środowiska życia i pracy człowieka coraz bardziej dostrzegany jest problem hałasu. Przebywanie na statku jest związane z narażeniem załogi na działanie hałasu, który jest szkodliwy dla załogi i ewentualnych pasażerów. Nadmierny hałas w kabinie okrętowej uniemożliwia odpoczynek załodze i jest uciążliwy dla pasażerów. Jednym ze sposobów ograniczenia przenikania hałasu do wnętrza okrętowych są odpowiednio dobrane konstrukcje przegród okrętowych.

Oceniając kabinę okrętową jako dynamiczną konstrukcję umieszczoną w równie dynamicznej bryle statku, należy prześledzić drogi i sposoby transportu energii mechanicznej do wnętrza kabiny. Energia wewnątrz kabiny (odbierana jako hałas) jest wypadkową wielu równoczesnych, współzależnych zjawisk fizycznych, tj. przenikania energii z zewnątrz (dźwięki powietrzne), drgania konstrukcji i kabiny (dźwięki strukturalne), emisji fali akustycznej drgających przegród kabiny (promieniowanie akustyczne) – rysunek 1.



Rys. 1. Mechanizm przenikania hałasu do kabiny

Fig. 1. Propagation of noise into cabin

Poprzez wyszczególnienie różnych dróg transportu energii do kabiny, można określić wielkości wibroakustyczne opisujące to zjawisko. Dla określenia własności przegród od tzw. dźwięków powietrznych wprowadzono izolacyjność akustyczną od dźwięków powietrznych. Dla określenia sprawności tłumienia węzłów konstrukcja – przegroda wprowadzono współczynnik przenoszenia drgań. Dla oceny ilości energii emitowanej przez drgającą przegrodę wprowadzono współczynnik efektywności promieniowania akustycznego. W referacie zostaną przedstawione wyniki badań izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych.

Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych

Jedną z ważniejszych wielkości akustycznych charakteryzującą przegrody jest izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych. Jest to cecha zależna nie tylko od własności materiałowo-konstrukcyjnych, ale również od technologii budowy statków. Próby stosowania metod analitycznych do wyznaczania właściwości izolacyjnych przegród okrętowych wykazują często rozbieżności między wynikami obliczeń a wynikami eksperymentu. Metody analityczne bazują na następujących założeniach: ośrodek po obu stronach przegrody jest ten sam, przegroda jest jednorodna, o nieskończonej powierzchni. Ponadto przegroda jest cienka, tłumienie wewnętrzne można określić przez współczynnik strat materiałowych η [1]. Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych określa wartość tłumienia energii akustycznej przez przegrodę, która rozgranicza pomieszczenia. Jedno z tych pomieszczeń stanowi komorę nadawczą, w którym umieszcza się źródło dźwięku a drugie komorę odbiorczą. Zgodnie z [2] izolacyjność definiuje się jako dziesięć logarytmów dziesiętnych ze stosunku mocy akustycznej padającej na przegrodę N_1 do mocy akustycznej przenikającej przez przegrodę N_2 :

$$R = 10 \lg \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

Mimo, że definicja ta odnosi się do mocy akustycznej, czyli do opisu energetycznego izolacyjności, to do pomiarów metodą klasyczną wykorzystuje się inną relację, bazującą na ciśnieniu akustycznym:

$$R = L_{p1} - L_{p2} + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (2)$$

gdzie:

- L_{p1} – średni poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym (dB),
- L_{p2} – średni poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym (dB),
- S – powierzchnia przegrody rozdzielającej pomieszczenia (m^2),
- A – chłonność akustyczna pomieszczenia odbiorczego (m^2).

Przy określaniu izolacyjności akustycznej przegród w warunkach rzeczywistych mamy do czynienia z problemem przenikania energii do kabiny nie tylko przez badaną przegrodę, ale również przez przegrody sąsiednie (rys. 1.) W akustyce problem ten znany jest pod pojęciem przenikania bocznego. Wykonując badania metodą klasyczną otrzymamy informację o wypadkowym

działaniu wszystkich przegród, przy czym najwięcej energii przechodzi przez badaną przegrodę. Różnica między izolacyjnością wyznaczoną w warunkach rzeczywistych i w warunkach laboratoryjnych (brak przenikania bocznego) jest równa 3÷5 dB [3, 6]. Próby rachunkowego wyliczenia przenikania bocznego dla konstrukcji kratowo-powłokowych, lekkich i niejednorodnych (takie właśnie są konstrukcje okrętowe), nie dają zadowalająco dokładnych rezultatów i odnoszą się zwykle do z góry ustalonych ograniczeń materiałowo-konstrukcyjnych. Alternatywą jest technika pomiarowa oparta na pomiarze natężenia dźwięku [4,5]. Sonda natężeniowa identyfikuje bowiem kierunek padającej fali akustycznej, a więc każde miejsce „przecieku” energii akustycznej może być ilościowo oceniane.

Moc akustyczna źródła określa ilość energii akustycznej wypromieniowanej ze źródła w czasie, rozchodząca się ze źródła fala przenosi energię akustyczną w ośrodku. Natężenie odnosi się do gęstości strumienia energii przepływającego przez powierzchnię jednostkową prostopadłą do kierunku propagacji fali.

Natężeniowa izolacyjność akustyczna przegrody wyznaczana w warunkach rzeczywistych uwzględniająca poprawkę Waterhausa jest wyrażana [7, 8]:

$$R_I' = L_{p1} - L_{In} + 10 \lg \left(1 + \frac{S_k c}{8Vf} \right) - 6 \quad (3)$$

gdzie:

L_{p1} – średni poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym (dB),

L_{In} – średni poziom natężenia dźwięku na powierzchni pomiarowej w pomieszczeniu odbiorczym (dB),

S_k – powierzchnia przegród ograniczających w komorze odbiorczej (m²),

V – objętość komory odbiorczej (m³),

c – prędkość dźwięku (m/s),

f – częstotliwość (Hz).

Ocena promieniowania akustycznego przegród za pomocą metody natężeniowej

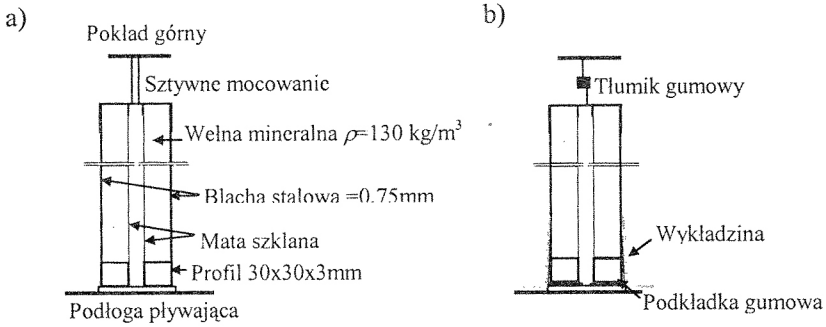
Podczas stosowania racjonalnej ochrony akustycznej pomieszczenia okrętowego musimy zdawać sobie sprawę, jakimi drogami hałas dociera do rejonu, w którym pomieszczenie to jest budowane. W zagadnieniu zwalczania hałasu okrętowego staje się więc ważny problem identyfikacji źródeł dźwięku i dróg przenoszenia, polegający na ustaleniu głównych dróg propagacji

fal bezpośrednich, odbitych lub dyfrakcyjnych wywołujących dźwięki materiałowe i powietrzne. W tych zagadnieniach niezwykle pomocne staje się wykorzystanie techniki pomiaru natężenia dźwięku. Identyfikacja ogólnych źródeł i dróg rozprzestrzeniania się efektów wibroakustycznych w konstrukcji statku z zastosowaniem metody pomiaru natężenia dźwięku pozwala racjonalnie stosować różnego rodzaju zabezpieczenia w miejscach, gdzie skuteczność ich wprowadzenia będzie największa. Analiza przenikania energii do kabiny jest możliwa z zastosowaniem obrazowania wyników pomiarów natężenia dźwięku za pomocą programu Siwin. Służy on do akwizycji danych pomiarowych i wizualizacji wyników pomiarów pokazanych w różnorodnej formie graficznej (2D, 3D, animacje ruchu falowego).

Metoda natężeniowa zastosowana w referacie polega na pomiarze składowych wektora natężenia dźwięku w trzech wzajemnie ortogonalnych kierunkach. Pomiary odbywają się w akustycznym polu bliskim badanej przegrody. Powierzchnia pomiarowa przegrody podzielona jest na segmenty, w środku każdego z nich mierzone są składowe wektora natężenia dźwięku.

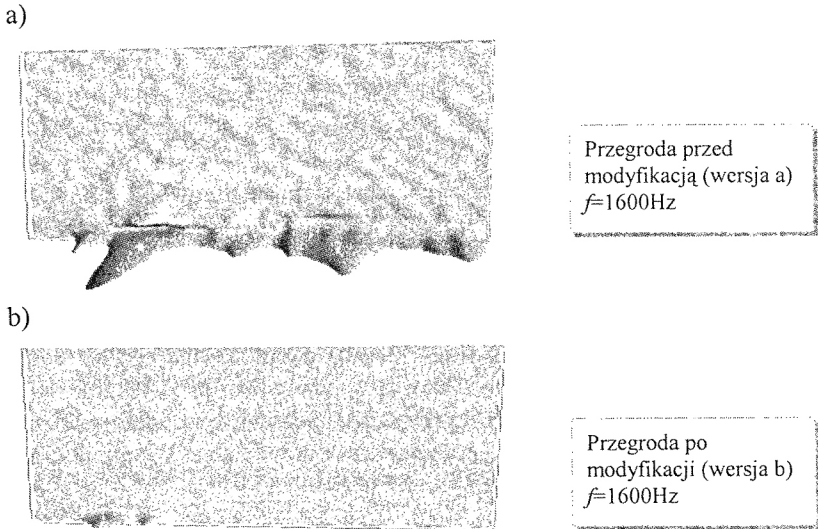
Wyniki

Przeprowadzono badania przegrody okrętowej podwójnej zamocowanej w kabinie w warunkach rzeczywistych w nadbudówce okrętowej. Szkic przegrody przedstawia rysunek 2. Badania przegrody podwójnej były przeprowadzone w dwóch etapach. Pierwszy dotyczył przegrody dostarczonej przez producenta w wersji pierwotnej – rysunek 2, wersja (a). Po analizie wyników badań, w szczególności wizualizacji promieniowania akustycznego przegrody (rys. 3), zmodyfikowano dolną część przegrody i zastąpiono sztywne połączenie mocowania górnego ściany elastycznym tłumikiem. Następnie przeprowadzono powtórne badania. Po modyfikacji ściany izolacyjność akustyczna wyraźnie wzrosła w zakresie częstotliwości od 200 Hz do 5 kHz, przełożyło się to na wzrost R'_w o 6 dB. Trafna diagnoza akustyczna wykonana na podstawie pomiarów natężenia dźwięku pozwoliła na uzyskanie większej izolacyjności ściany, co w tym przypadku pozwoliło zredukować energię akustyczną przenikającą przez tę przegrodę i obniżyć hałas w kabinie o połowę w stosunku do wersji pierwotnej.

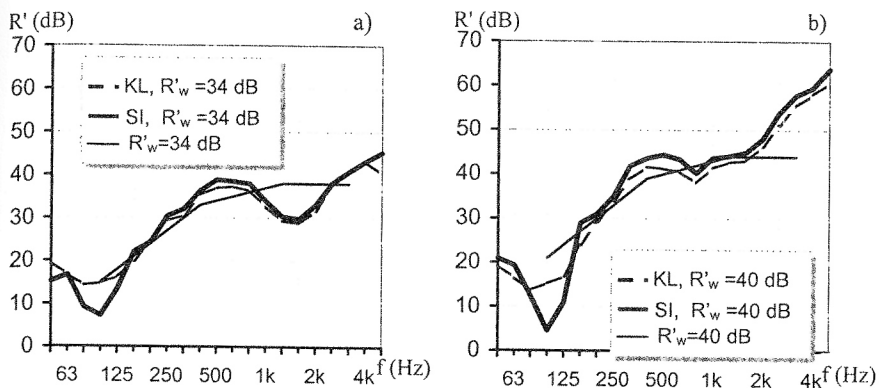


Rys. 2. Przegroda okrętowa w wersji a i b
 Fig. 2. The ship bulkhead in version a and b

Na rysunku 4 przedstawiono charakterystykę izolacyjności akustycznej (właściwą przybliżoną w warunkach rzeczywistych) od dźwięków powietrznych wyznaczoną metodą natężeniową SI na podstawie równania (3) i klasyczną KL na podstawie równania (2) (tylko zamiast R wstawiamy R').



Rys. 3. Przenikanie energii akustycznej przez ścianę. Składowa normalna natężenia dźwięku przedstawiona w postaci powierzchni fali akustycznej w przestrzeni
 Fig. 4. Acoustics energy transmission through the wall. Normal intensity vector in the shape wave of head surface

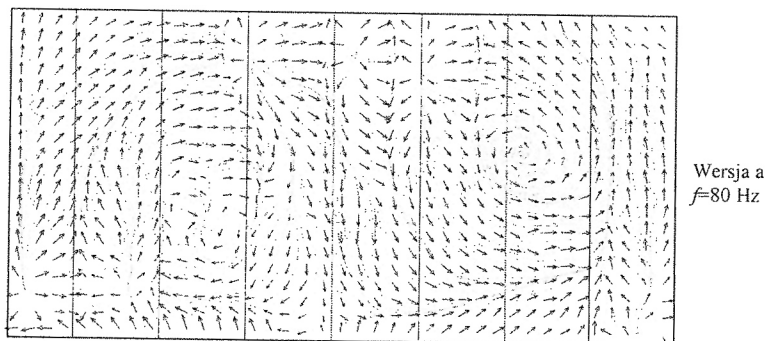


Rys. 4. Charakterystyka izolacyjności akustycznej przegrody od dźwięków powietrznych w wersji a i b

Fig. 4.. Airborne sound insulation of bulkhead in version a and b

Na rysunku 5 przedstawiono wektorowe pole akustyczne, którego źródłem jest pobudzona falą akustyczną przegroda. Pomiary tylko ciśnienia akustycznego nie dają nam możliwości opisu takich akustycznych zjawisk falowych, jak interferencja, dyfrakcja lub rozproszenie fali. Przez pomiar natężenia określimy kierunek transportu i wartość przepływającej energii akustycznej. Dzięki wektorowej analizie pól akustycznych prowadzonej za pomocą natężenia dźwięku możliwe jest graficzne obrazowanie przepływu fali akustycznej i określenie efektów dynamicznych zachodzącym w polu bliskim źródeł akustycznych.

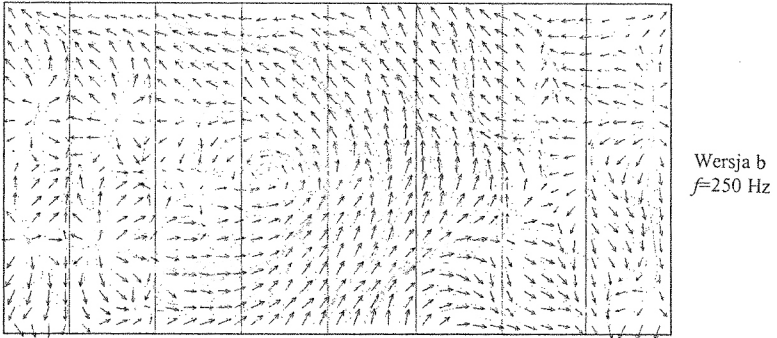
a)



Rys. 5a. Rozkład pola wektorowego i strumieni natężenia dźwięku przy przegrodzie

Fig. 5a. Vector field distributions and intensity streamlines around the bulkhead

b)



Rys. 5b. Rozkład pola wektorowego i strumieni natężenia dźwięku przy przegrodzie
 Fig. 5b. Vector field distributions and intensity streamlines around the bulkhead

Wnioski

Przedstawiona w referacie technika pomiarowa oparta na pomiarze natężenia dźwięku jest nową formą analizy transportu energii uwzględniającą wszystkie zdarzenia towarzyszące przenikaniu hałasu przez przegrodę okrętową. Graficzna analiza wektorowego rozkładu pola akustycznego prowadzona przez obrazowanie wektora natężenia dźwięku w pobliżu przegrody pozwala diagnozować miejsca przenikania energii do kabiny. Wymiernym efektem badań jest obniżenie hałasu w kabinie okrętowej.

Literatura

1. Fahy F., *Sound and structural vibration*, Academic Press. London, 1985.
2. PN-EN ISO 140-4:2000, *Akustyka. Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Pomiar terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami.*
3. Hongisto V., *A case study of flanking transmission through double structures*, Applied Acoustics Volume: 62, 2001, pp. 589-599.
4. Weyna S., *Identyfikacja dróg propagacji energii akustycznej w konstrukcjach okrętowych metodą 'SI'*, 42 Otwarte Seminarium z Akustyki - OSA'95 IPPT PAN, Warszawa: 1995 s. 351-356.

5. Weyna S. *Eksperymentalne badania charakterystyk akustycznych warstwowych przegród okrętowych*, 43 Otwarte Seminarium z Akustyki - OSA'96, PTA-Oddział Górnośląski, Gliwice: 1996, t.2, s. 727-732.
6. Weyna S. *Applications of "SI" technique in research of flanking transmission and noise source identification*, Noise Control '98: Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa: 1998, pp.637-642.
7. PN-ISO 15186 -1:2001 *Akustyka, Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach oraz elementów budowlanych z wykorzystaniem natężenia dźwięku*. Część 1: Pomiary laboratoryjne.
8. ISO 15186-2:2003 *Acoustics, Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity - Part 2: Field measurements*

Wpłynęło do redakcji w grudniu 2005 r.

Recenzent

prof. dr hab. inż. Jan Kulczyk

Adres Autora

mgr Krzysztof Mech

Politechnika Szczecińska

Wydział Techniki Morskiej, Zakład Wibroakustyki Stosowanej

71-065 Szczecin, Al. Piastów 41

tel.(091) 449 4538

e-mail: Krzysztof.Mech@ps.pl,