

dr inż. ANNA KACZMARSKA  
 prof. dr hab. inż. ZBIGNIEW ENGEL  
 Centralny Instytut Ochrony Pracy  
 – Państwowy Instytut Badawczy

## Izolacyjność akustyczna w zakresie niskich częstotliwości przemysłowych zabezpieczeń przeciwhałasowych

Standardowe zabezpieczenia – ekrany dźwiękoizolacyjne, obudowy czy ochronniki słuchu nie są na ogół skuteczne w zakresie niskich częstotliwości. Dominującym skutkiem wpływu hałasu niskoczęstotliwościowego na organizm podczas ekspozycji zawodowej jest jego działanie uciążliwe. W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości dźwiękoizolacyjnych elementów ścian warstwowych, stosowanych powszechnie zabezpieczeń akustycznych.

Sound insulation of walls of industrial noise protections in a low frequency range

Conventional noise protections are normally not effective in reducing low frequency noise. This noise is very often not only irritating but it is also critical to achieve an acceptable overall noise level. This paper presents the results of investigations of sound insulation of building elements of noise protections in a low frequency range.

### Wprowadzenie

Hałas niskoczęstotliwościowy, czyli hałas, w widmie którego dominują składowe o częstotliwościach od 10 do 250 Hz emituje wiele powszechnie stosowanych maszyn i urządzeń. Należą do nich np. sprężarki, wentylatory, ssawy i termodmuchawy, piece hutnicze, urządzenia odlewnicze (kratki wstrząsowe, formierki); urządzenia elektrowni (maszynownie, kotły, młyny, kominy) transformatory oraz silniki okrętowe i lotnicze. Dominującym skutkiem wpływu tego rodzaju hałasu na organizm w wyniku ekspozycji zawodowej jest jego działanie uciążliwe, występujące już przy niewielkich przekroczeniach progu słyszenia. Działanie to cha-

rakteryzuje się subiektywnie określanymi stanami nadmiernego zmęczenia, dyskomfortu, senności, zaburzeniami równowagi i sprawności psychomotorycznej. Możliwe jest również występowanie zjawiska rezonansu struktur i narządów wewnętrznych organizmu, subiektywnie odczuwane jako nieprzyjemne uczucie wewnętrznego wibrowania, głównie występujące w odniesieniu do dźwięków o częstotliwościach ok. 10 ÷ 75 Hz i poziomach już od 100 dB [1]. Jest to obok ucisku w uszach jeden z najbardziej typowych objawów stwierdzanych przez osoby narażone na infradźwięki i dźwięki o niskich częstotliwościach.

Jednym z bardziej skutecznych sposobów eliminacji zagrożenia hałasem i in-

nyymi czynnikami szkodliwymi w środowisku pracy jest automatyzacja procesów technologicznych w powiązaniu z dźwiękoizolacyjnymi kabinami sterowniczymi przeznaczonymi dla obsługi bądź dźwiękoizolacyjnymi obudowami maszyn.

Większość stosowanych w przemyśle kabin i obudów jest wykonana ze ścian wielowarstwowych. Przykładowe zabezpieczenia ze ścian warstwowych przedstawiono na fotografiach [2]. Większość stosowanych w przemyśle kabin i obudów zapewnia zadowalającą redukcję hałasu (około 30 ÷ 50 dB) w zakresie częstotliwości powyżej 500 Hz, zmniejsza się jednak ona znacznie przy niższych częstotliwościach. Na przykład typowe kabiny dźwiękoizolacyjne mają na ogół małą skuteczność akustyczną (do 5 dB) w zakresie niskich częstotliwości 63 ÷ 500 Hz. Ośrodki badawcze, przeprowadzając badania kabin i innych zabezpieczeń przeciwhałasowych przeważnie pomijają zakres częstotliwości poniżej 50 Hz.

Badania eksploatacyjne kabin przemysłowych (zwłaszcza metalowych), stosowanych powszechnie w zakładach przemysłowych, wykazują niewielką ich skuteczność, głównie w zakresie 6 ÷ 50 Hz.



Przemysłowa kabina dźwiękoizolacyjna KD1: konstrukcja nośna – aluminiowe profile cienkościennie; ściany wykonane są jako konstrukcja wielowarstwowa typu „sandwich”



Obudowa dźwiękochłonna-izolacyjna wentylatorów i filtrów F10; konstrukcja samonośna z segmentów dźwiękochłonna-izolacyjnych o grubości 105 mm; ściany wykonane z blachy stalowej, folii dźwiękoizolacyjnej, płyty z wełny mineralnej oraz z blachy perforowanej



Obudowa dźwiękochłonna-izolacyjna agregatu prądotwórczego 0,5 MW – zaadaptowany kontener obudowany elementami dźwiękochłonnymi z blachy trapezowej o grubości 3 mm

Fot. Przykłady warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych [2]



Niekiedy w tym zakresie częstotliwości, w wyniku rezonansów konstrukcji i pomieszczeń, rejestrowane są we wnętrzu kabin wyższe poziomy ciśnienia akustycznego niż na zewnątrz. Również zabezpieczenia standardowe, np. ekrany dźwiękoizolacyjne, obudowy czy ochronniki słuchu nie są na ogół skuteczne w zakresie niskich częstotliwości.

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – PIB podjęto pracę, w ramach której przeprowadzono badania właściwości dźwiękoizolacyjnych elementów ścian warstwowych, typowych zabezpieczeń akustycznych (ścian kabin, obudów i ekranów przemysłowych) w zakresie niskich częstotliwości.

**Obiekt badań**

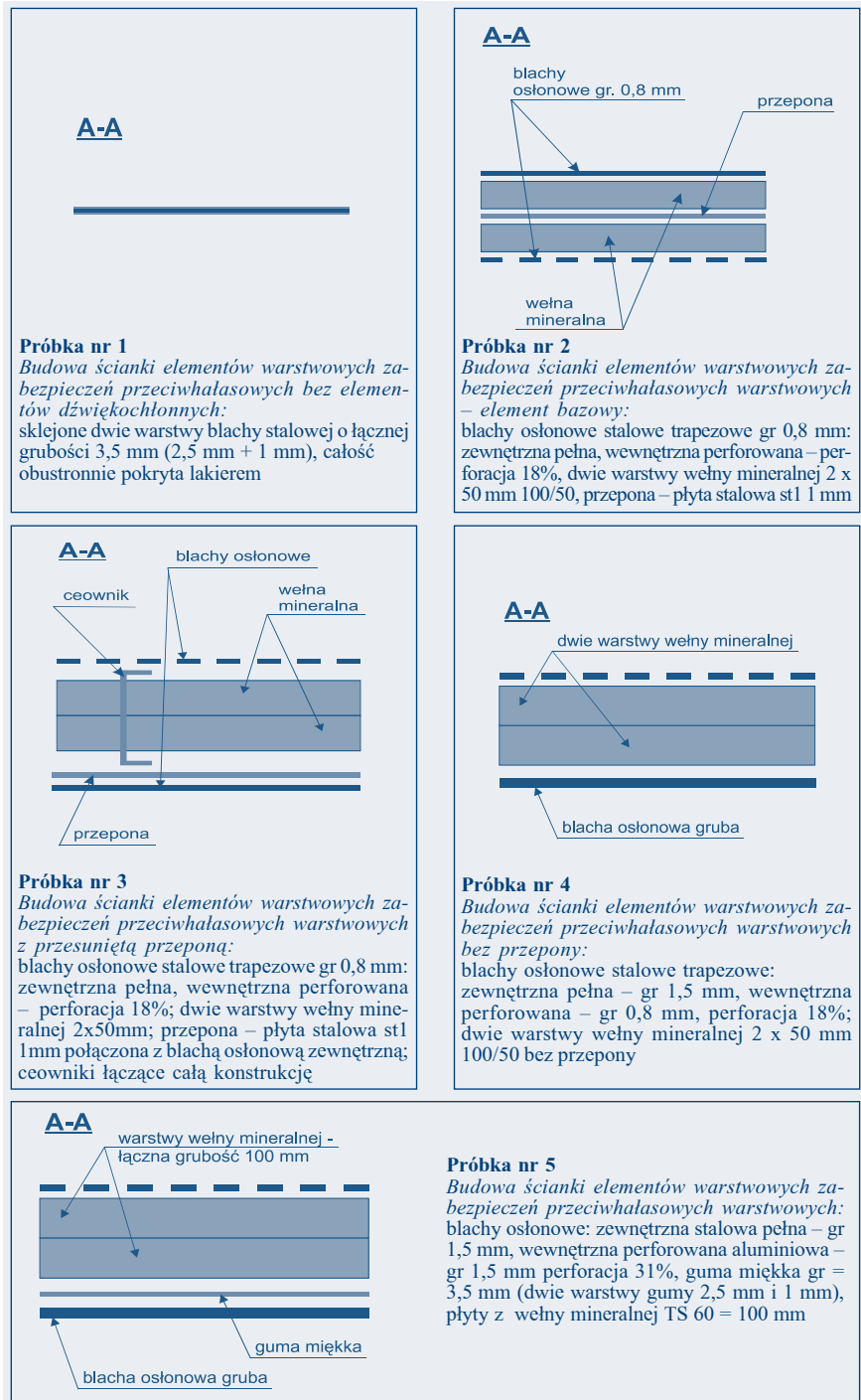
Na podstawie szczegółowej analizy konstrukcji ścian, stosowanych powszechnie warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych wytypowano do badań pięć elementów ścian o różnej konfiguracji warstw składowych.

Do badań zostały wybrane elementy o konstrukcji typowej (najczęściej spotykanej) oraz modyfikacje typowej konstrukcji zaprojektowane pod kątem zwiększenia izolacyjności akustycznej w zakresie niskich częstotliwości.

Próbki rozpatrywane w ramach omawianej pracy przedstawiono na rys. 1.

**Metodyka badań**

W celu dokonania pomiaru izolacyjności akustycznej elementów ścian warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych w zakresie niskich częstotliwości opracowano metodę pomiarową bazującą na pomiarze w sprzężonych komorach pogłosowych. Element badany był umieszczany na stanowisku badawczym – w otworze pomiarowym znajdującym się w zespole dwóch sprzężonych komór pogłosowych, będących w dyspozycji



Rys. 1. Struktura badanych elementów (próbek do badań) ścian warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych

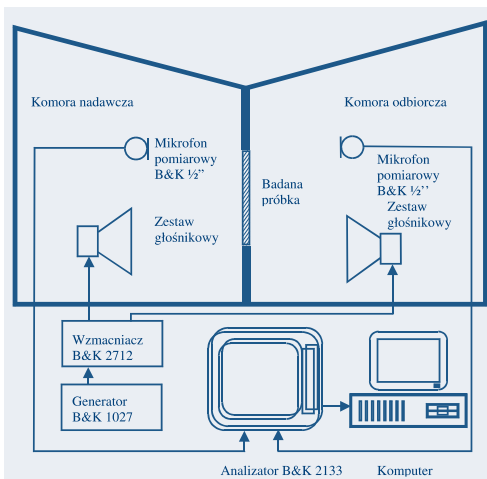


Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH – przeznaczonych do badań izolacyjności akustycznej przegród od dźwięków powietrznych. Parametry stanowiska badawczego były następujące:

- objętość komory nadawczej: 178,8 m<sup>3</sup>
- objętość komory odbiorczej: 176,9 m<sup>3</sup>
- wymiary otworu pomiarowego: 2 m × 1 m
- przeniesienie boczne: brak.

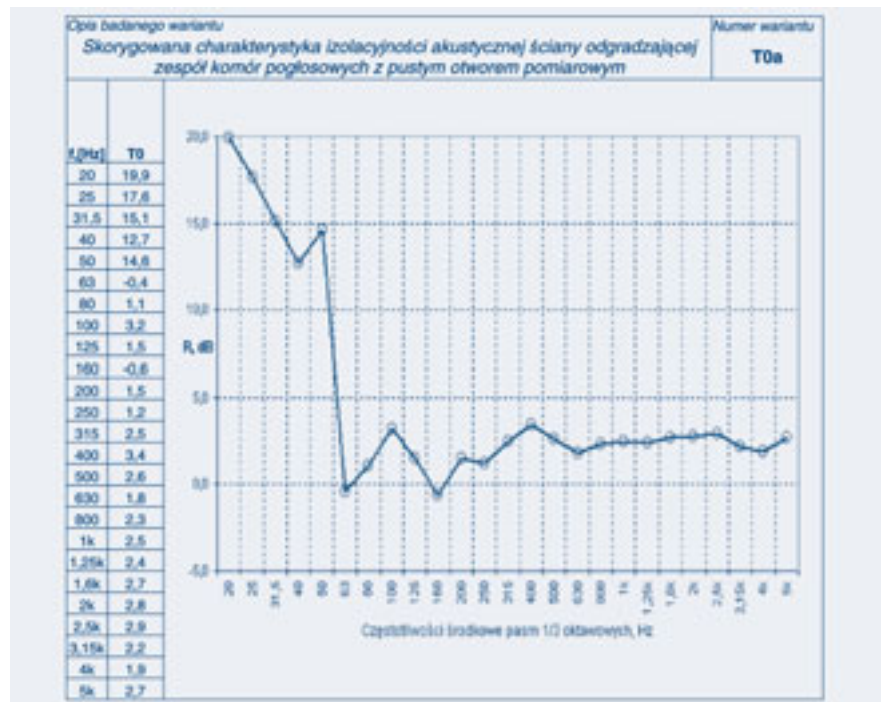
Pole akustyczne wytwarzane było w komorze nadawczej przez specjalnie zaprojektowane źródło hałasu niskoczęstotliwościowego – zestaw głośnikowy.

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Układ pomiarowy do pomiaru izolacyjności akustycznej przegród

Metoda pogłosowych komór sprzężonych jest stosowana głównie przy ocenie izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Badania izolacyjności akustycznej przegród przeprowadzane są najczęściej w zakresie częstotliwości powyżej 100 Hz. Istnieją pewne zalecenia norm w zakresie częstotliwości 50 ÷ 80 Hz. Brak jest jednak informacji dotyczących zarówno metodyki przeprowadzania badań izolacyjności akustycznej



Rys. 3. Skorygowana charakterystyka izolacyjności akustycznej ściany z pustym otworem

przegród jak i wyników badań materiałów dźwiękoizolacyjnych w odniesieniu do częstotliwości poniżej 50 Hz. Badania izolacyjności akustycznej w ramach omawianej pracy przeprowadzono w pasmach terejowych w zakresie częstotliwości 20 ÷ 5 kHz.

Przy współpracy z Katedrą Mechaniki i Wibroakustyki AGH opracowano orientacyjną metodę pomiaru izolacyjności akustycznej elementów warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych w zakresie niskich częstotliwości [3]. Metoda ta wykorzystuje niektóre wymogi i zalecenia norm stosowanych w budownictwie, w odniesieniu do pomiarów izolacyjności akustycznej przegród i elementów budowlanych w standardowym zakresie częstotliwości [4, 5, 6, 7]. Komorę nadawczą pobudzano białym szumem szerokopasmowym emitowanym przez wzmacniacz mocy i zestawy głośnikowe o wysokiej skuteczności. Pozwoliło to uzyskać poziom ciśnienia akustycznego zmierzony na charakterystyce częstotliwościowej LIN w komorze nadawczej wynoszącej ok. 112 dB. Sygnały z obu pomieszczeń (poziomy ciśnienia akustycznego) podawano jednocześnie na analizator dwukanałowy i uśredniano je liniowo w czasie 45 s dla każdego punktu pomiarowego. Wykonano pomiary ciśnienia akustycznego w ośmiu punktach, zarówno w komorze nadawczej jak i odbiorczej. Po wyznaczeniu wartości śred-

nich z ośmiu widm wyliczono izolacyjność akustyczną R w pasmach terejowych w zakresie częstotliwości środkowych 20 ÷ 5 kHz.

Biorąc pod uwagę objętość komór pogłosowych i wynikające z nich częstotści drgań własnych komór, a także wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych izolacyjności akustycznej przegród, można stwierdzić, że wiarygodne wyniki badań uzyskuje się począwszy od 80 Hz. Na etapie formułowania założeń do metody badania orientacyjnej izolacyjności akustycznej próbki w zakresie niskich częstotliwości, tj. 20 ÷ 100 Hz przeprowadzono porównawcze badania izolacyjności akustycznej w zakresie częstotliwości 20 ÷ 5 kHz różnych rodzajów przegród (płyty ze sklejki o grubości 18 mm, płyty gumowej o grubości 40 mm, przegrody warstwowej: płyta ze sklejki 18 mm – dylatacja powietrzna 800 mm – płyta gumowa 40 mm) oraz badania samej ściany oddzielającej obie komory, z otwartym (pustym) otworem pomiarowym [8]. Na podstawie tych badań przyjęto skorygowaną charakterystykę izolacyjności akustycznej ściany z pustym otworem jako krzywą odniesienia, którą można odjąć od zafałszowanej w zakresie niskich częstotliwości charakterystyki izolacyjności akustycznej dowolnej przegrody. Skorygowaną charakterystykę izolacyjności akustycznej ściany odgradzającej zespół komór pogłosowych



z pustym otworem pomiarowym przedstawia rys. 3. – wariant T0a. Uzyskane wyniki izolacyjności akustycznej w zakresie niskich częstotliwości, tj. 20 ÷ 100 Hz według opisaney metodyki należy jednak traktować jako orientacyjne.

**Wyniki pomiarów**

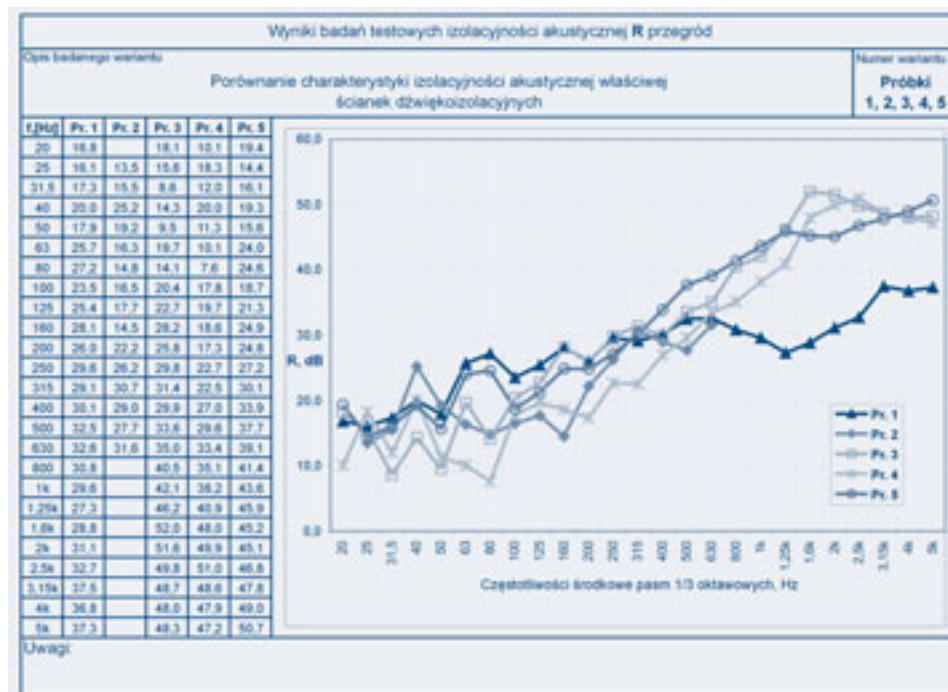
Badania izolacyjności akustycznej wybranych elementów ścian warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych przeprowadzono (zgodnie z wymienionymi założeniami) z uwzględnieniem zakresu niskich częstotliwości, tj. od 20 do 100 Hz [9].

Na rysunku 4. zestawiono uzyskane wyniki badań izolacyjności akustycznej wybranych do badań elementów ścian warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych, których strukturę przedstawiono na rys. 1. Uzyskane wyniki badań izolacyjności akustycznej w zakresie częstotliwości 100 ÷ 5 kHz są dokładne, natomiast wyniki w zakresie częstotliwości 20 ÷ 100 Hz należy traktować jako orientacyjne.

**Podsumowanie**

W artykule przedstawiono orientacyjną metodę oszacowania izolacyjności akustycznej elementów ścian warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych w zakresie niskich częstotliwości 20 ÷ 100 Hz oraz wyniki tej izolacyjności akustycznej wybranych elementów ścian warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych o zróżnicowanej konfiguracji warstw składowych.

Na podstawie przedstawionych charakterystyk izolacyjności akustycznej badanych próbek i znajomości widma hałasu, przed którym ma chronić projektowane zabezpieczenie akustyczne, można dobrać rozwiązanie konstrukcyjne ściany warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych, które będzie najkorzyst-



Rys. 4. Zestawienie charakterystyk izolacyjności akustycznej badanych próbek nr 1-5 (por. rys. 1.)

niejsze, czyli najbardziej skuteczne w odniesieniu do częstotliwości dominujących w widmie hałasu.

Prawidłowo dobrana konstrukcja warstwowych zabezpieczeń będzie stanowić kompleksową ochronę w zakresie hałasu, zwłaszcza hałasu niskoczęstotliwościowego coraz częściej postrzeganego jako bardzo uciążliwy.

Obecnie w katalogach dotyczących materiałów, wyrobów i urządzeń brak jest danych na temat właściwości dźwiękoizolacyjnych elementów budowlanych zabezpieczeń przeciwhałasowych w zakresie niskich częstotliwości poniżej 100 Hz.

**PIŚMIENNICTWO**

[1] Lanstrom U., Pelmer P. L. *Infrasound a Short Review*, „Journal of Low Frequency Noise & Vibration”, Vol.12, No 1, 1993  
 [2] Sadowski J. i inni *Ochrona przed hałasem i drganiami Baza danych 2000, materiały, wyroby, ustroje*. SPR-1 Zadanie wdrożeniowe nr 37/W prace ITB/AGH/CIOP

[3] Kaczmarek A., Sikora J., Wszolek T. *Badania doświadczalne urządzeń rezonatorowych*, „Mechanika” tom 16, zeszyt 3, 1997  
 [4] PN-B-02151-3:1999 *Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach – Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych – Wymagania*.  
 [5] PN-EN ISO 717-1:1999 *Akustyka. Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Izolacyjność od dźwięków powietrznych*  
 [6] PN-EN 20140-10:1994 *Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych małych elementów budowlanych*  
 [7] PN-EN 20140-3:1999 *Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Pomiar laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych elementów budowlanych*  
 [8] Kaczmarek A. *Metody redukcji hałasu niskoczęstotliwościowego w kabinach przemysłowych*. Rozprawa doktorska. CIOP, Warszawa 1997  
 [9] Kaczmarek A., Augustyńska D., Engel Z., Górski P. *Przemysłowe zabezpieczenia przed hałasem infradźwiękowym i niskoczęstotliwościowym Wybrane elementy i modele*. CIOP, Warszawa 2001

*Publikacja opracowana na podstawie wyników zadania badawczego II-5-06 realizowanego w ramach programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów UE” dofinansowywanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2002-2004. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*

