

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

dr inż. JAN SIKORA  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
Katedra Mechaniki i Wibroakustyki

# Dobór warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych – wytyczne dla projektantów

Hałas niskoczęstotliwościowy jest zwykle bardzo słabo redukowany przez typowe zabezpieczenia przeciwhałasowe. W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące izolacyjności akustycznej elementów budowlanych warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych w zakresie niskich częstotliwości oraz zalecenia dla projektantów dotyczące prawidłowego doboru warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych w tym zakresie.

## Choosing good layer noise protections – guidelines for designers

Low-frequency noise is not normally much reduced with conventional noise protections. This paper presents the results of investigations of the sound insulation of building elements in layer noise protections in the low-frequency range. It also presents guidelines for designers regarding a good choice of layer noise protection in this range.

## Wprowadzenie

Stosowane często w przemyśle maszyny i urządzenia, np. maszyny przepływowe, m.in. wolnoobrotowe sprężarki, wentylatory, ssawy, turbodmuchawy oraz inne przemysłowe urządzenia, np. piece hutnicze, kraty wstrząsowe czy formierki, takie urządzenia elektrowni, jak maszynownie, kotły, kominy i transformatory, a ponadto różnego rodzaju młyny, silniki okrętowe i lotnicze testowane w hamowniach emitują znaczny hałas niskoczęstotliwościowy, to jest hałas, w widmie którego dominują składowe o częstotliwościach od 10 do 250 Hz.

Istotnym skutkiem wpływu tego rodzaju hałasu na organizm podczas ekspozycji zawodowej jest jego działanie uciążliwe, charakteryzujące się subiektywnie określonymi stanami nadmiernego zmęczenia, dyskomfortu, senności, obniżeniem sprawności psychomotorycznej oraz zaburzeniami funkcji fizjologicznych. Dolegliwości te występują już przy niewielkich przekroczeniach progu słyszenia. Osoby ekspozowane na ten rodzaj hałasu skarżą się również na nieprzyjemne uczucie wewnętrznego wibrowania spowodowane rezonansem struktur i narządów wewnętrznych organizmu. Zjawisko to występuje w czasie ekspozycji na dźwięki o częstotliwościach ok. 10 ÷ 75 Hz i poziomach powyżej 100 dB. Obok ucisku w uszach, jest to jeden z najbardziej typowych objawów stwierdzanych przez osoby narażone na infradźwięki i dźwięki o niskich częstotliwościach [1].

Jednym z bardziej skutecznych sposobów eliminowania zagrożenia hałasem i innymi czynnikami szkodliwymi w środowisku pracy jest automatyzacja procesów technologicznych wraz z dźwiękoizolacyjnymi kabinami sterowniczymi dla obsługi, bądź dźwiękochłonno-izolacyjnymi obudowami maszyn [2, 3]. W przemyśle najczęściej stosowanych rozwiązań kabin i obudów jest zbudowanych ze ścian wielowarstwowych.

Większość z nich znacznie obniża poziom hałasu (30 ÷ 50 dB) w zakresie częstotliwości powyżej 500 Hz, jednak ich właściwości

dźwiękoizolacyjne zmniejszają się wyraźnie w zakresie niższych częstotliwości.

Przykładowo – typowe kabiny dźwiękoizolacyjne mają na ogół małą skuteczność akustyczną (5 ÷ 30 dB) w zakresie niskich częstotliwości 63 ÷ 500 Hz. Badania eksploatacyjne kabin przemysłowych (zwłaszcza metalowych), stosowanych powszechnie w zakładach przemysłowych, wykazują niewielką ich skuteczność, głównie w zakresie 6 ÷ 50 Hz. Czasami, w tym zakresie częstotliwości we wnętrzu kabin są rejestrowane wyższe poziomy ciśnienia akustycznego niż na zewnątrz, co może świadczyć o występowaniu zjawisk rezonansowych w kabinach.

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – PIB przeprowadzono rozpoznanie właściwości dźwiękoizolacyjnych elementów ścian warstwowych, stosowanych powszechnie zabezpieczeń akustycznych (ścian kabin, obudów i ekranów przemysłowych) w zakresie niskich częstotliwości [4]. Badania prowadzono, uwzględniając w szczególności prawidłowy dobór warstwowych elementów budowlanych w zależności od warunków akustycznych panujących na stanowiskach pracy, które wymagają ochrony przed hałasem. Na tej podstawie opracowano zalecenia, które mogą być przydatne dla projektantów zabezpieczeń przeciwhałasowych, szczególnie wtedy, gdy wymagana jest ochrona pracownika przed hałasem w szerokim zakresie częstotliwości.

## Przedmiot i wyniki 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 (rys.).

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.

Metoda pogłosowych komór sprzężonych jest stosowana głównie przy ocenie izolacyjności akustycznej elementów budowlanych.

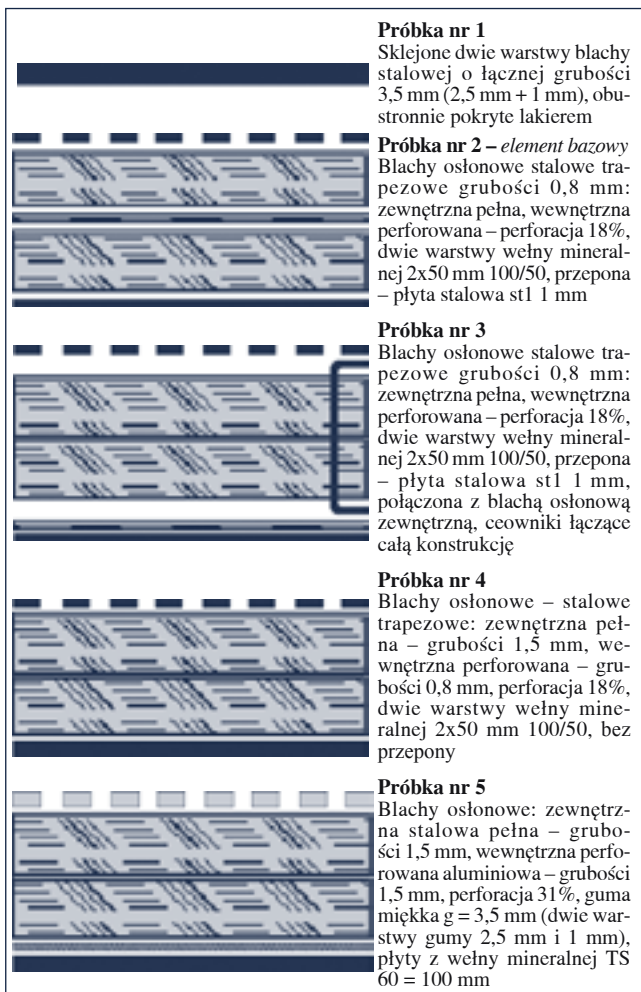
Przy współpracy z Katedrą Mechaniki i Wibroakustyki AGH opracowano orientacyjną metodę pomiaru izolacyjności akustycznej elementów warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych w zakresie niskich częstotliwości. Metoda ta wykorzystuje niektóre wymogi i zalecenia norm stosowanych w budownictwie, w odnie-

sieniu do pomiarów izolacyjności akustycznej przegród i elementów budowlanych w standardowym zakresie częstotliwości [5, 6, 7] oraz badania własne [8, 9, 10]. Metodę tę oraz uzyskane wyniki badań izolacyjności akustycznej wybranych do badań elementów ścian warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych opisano szczegółowo w artykule pt. „Izolacyjność akustyczna w zakresie niskich częstotliwości przemysłowych zabezpieczeń przeciwhałasowych” opublikowanym w *Bezpieczeństwie Pracy* nr 12/2003.

Uzyskane wyniki badań izolacyjności akustycznej w zakresie częstotliwości 20 ÷ 100 Hz należy traktować jako orientacyjne. Mogą one jednak być przydatne przy formułowaniu wniosków i wytycznych w zakresie stosowania pewnych rozwiązań zabezpieczeń przeciwhałasowych. Natomiast w celu dokładniejszego rozpoznania właściwości wibroakustycznych badanych próbek na tym samym stanowisku badawczym (w sprzężonych komorach pogłosowych) dla każdej próbki przeprowadzono badania dynamiczne struktury, przy zastosowaniu równoległego drganiowego i akustycznego [4]. Zastosowanie wymuszenia akustycznego było podyktowane tym, że w warunkach eksploatacji ścian warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych podlegają one przede wszystkim wymuszeniom akustycznym.

Pomiary takie pozwoliły na zidentyfikowanie postaci drgań własnych w odniesieniu do poszczególnych próbek, które mogą mieć istotny wpływ na właściwości dźwiękoizolacyjne (tj. obniżenie izolacyjności akustycznej próbek).

Uzyskane wyniki badań posłużyły do sformułowania zaleceń dla projektantów zabezpieczeń przeciwhałasowych.



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

Fig. Structure of the studied sample elements of industrial layer noise protections

## ZALECENIA DLA PROJEKTANTÓW W ZAKRESIE DOBORU WARSTWOWYCH ZABEZPIECZEŃ PRZECIWHAAŁASOWYCH

### I. Zalecenia ogólne dotyczące zabezpieczeń przeciwhałasowych maszyn i urządzeń zaliczanych do grupy emitujących hałas niskoczęstotliwościowy

1. Wskazane jest opracowanie przez projektanta wykazu maszyn stanowiących źródła hałasu niskoczęstotliwościowego wraz z charakterystykami widmowymi hałasu w zakresie częstotliwości co najmniej od 20 Hz.

2. W przypadku projektowania zabezpieczenia maszyny stanowiącej potencjalne źródło hałasu niskoczęstotliwościowego (jeżeli projektant nie dysponuje rozszerzoną charakterystyką widmową hałasu, bowiem na ogół przeprowadza się pomiary akustyczne maszyn w zakresie częstotliwości od 63 Hz do 8 kHz), należy przeprowadzić badania emisji hałasu maszyny, obejmując zakres niskich częstotliwości.

3. Doboru ścianek służących do wykonania rozwiązania konstrukcyjnego zabezpieczenia przeciwhałasowego należy dokonać wykorzystując wyniki badań pięciu wariantów najczęściej stosowanych w praktyce przegród warstwowych, traktując je jako wzorcowe. Szczegółowe zalecenia dotyczące ich doboru znajdują się w części II.

4. W przypadku, gdy podane w części II charakterystyki izolacyjności akustycznej przegród warstwowych są niewystarczające z punktu widzenia wymaganej izolacyjności akustycznej dla projektowanego zabezpieczenia przeciwhałasowego, należy opracować zmodyfikowaną wersję przegrody warstwowej w stosunku do wybranej, ale charakteryzującej się niewystarczającą izolacyjnością akustyczną.

### II. Zalecenia dotyczące doboru przegród warstwowych (spośród pięciu badanych wariantów) – przydatność poszczególnych przegród w projektowaniu zabezpieczeń przeciwhałasowych

1. W celu ograniczania nadmiernego hałasu maszyn i urządzeń w pełnym zakresie emisji hałasu, uwzględniając zakres niskoczęstotliwościowy (zakres częstotliwości od 20 Hz do 5 kHz), najkorzystniejsze rozwiązanie materiałowe stanowi przegroda warstwowa w wariacie oznaczonym jako próbka nr 5.

2. Biorąc pod uwagę kryterium oceny wymienione w pkt. 1., pozostałe cztery warianty ścian warstwowych (w niektórych przypadkach projektowania zabezpieczeń może mieć zastosowanie również próbka nr 1.) można sklasyfikować z punktu widzenia przydatności w następującej kolejności przegród warstwowych: próbka nr 3, próbka nr 2, próbka nr 4, próbka nr 1.

3. Z punktu widzenia możliwości ograniczenia nadmiernej emisji hałasu niskoczęstotliwościowego (zakres częstotliwości od 20 Hz do 250 Hz) przez maszynę lub urządzenie, przy mniejszych wymaganiach dotyczących zapewnienia izolacyjności w zakresie częstotliwości średnich i wysokich, najkorzystniejszymi rozwiązaniami materiałowymi są przegrody warstwowe oznaczone jako próbka nr 1 i próbka nr 5.

4. Biorąc pod uwagę kryterium oceny zawarte w pkt. 3., pozostałe trzy warianty z punktu widzenia przydatności można sklasyfikować w następującej kolejności przegród warstwowych: próbka nr 2, próbka nr 3, próbka nr 4.

### III. Zasady konstruowania i doboru zabezpieczeń przeciwhałasowych w zakresie niskich częstotliwości pod kątem ograniczenia drgań własnych elementów zabezpieczeń

1. Projektant zabezpieczeń przeciwhałasowych, powinien znać pełną charakterystykę widmową maszyny przeznaczoną do wyciszenia, obejmującą zakres niskich częstotliwości (poniżej 63 Hz).

2. Projektant zabezpieczeń przeciwhałasowych, powinien znać odpowiedź na pytanie, czy przeznaczona do wyciszenia maszyna emituje ponadnormatywny hałas w pełnym zakresie częstotliwości, czy też jej ponadnormatywna aktywność akustyczna charakteryzuje się znacznymi przekroczeniami w zakresie częstotliwości niskich, poniżej 250 Hz. Wyciszenie maszyny w zakresie częstotliwości średnich i wysokich nie wymaga stosowania przegród o wysokiej izolacyjności akustycznej.

3. O rodzaju przegrody warstwowej, jaką należy zastosować w rozwiązaniu konstrukcyjnym zabezpieczenia przeciwhałasowego decyduje informacja o dominujących częstotliwościach w emitowanym przez maszynę widmie hałasu. Ogólne zasady doboru rodzajów warstw dźwiękoizolacyjnych i dźwiękochłonnych, a także przeciwdrganiowych w przegrodach warstwowych zostały omówione w części II.

4. Szczegółowe zasady doboru rodzajów warstw oraz ich konfiguracji w przegrodach warstwowych, mających zastosowanie w konstrukcjach zabezpieczeń przeciwhałasowych ograniczających emisję hałasu niskoczęstotliwościowego maszyn i urządzeń, są następujące:

#### A. Redukcja hałasu w szerokim zakresie częstotliwości

Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie następujących warstw materiałów:

- przegroda typowo dźwiękoizolacyjna (np. blacha stalowa, aluminiowa, metaplex, poliwęglan pełny)
- warstwa lub warstwy gumy miękkiej albo innego tworzywa tłumiącego drgania, klejona do przegrody dźwiękoizolacyjnej na całej powierzchni
- warstwa dźwiękochłonna (np. płyty z wełny mineralnej o różnych gęstościach, inne materiały charakteryzujące się właściwościami dźwiękochłonnymi, jak wełna szklana, pianki poliuretanowe, materiały ziarniste)
- przegroda pełniąca funkcję ochronną, np. blachy perforowane stalowe, aluminiowe, z tworzyw sztucznych, siatki.

#### B. Redukcja hałasu przede wszystkim niskoczęstotliwościowego

• Równorzędnymi rozwiązaniami są przegrody warstwowe złożone tylko z materiałów typowo dźwiękoizolacyjnych, a także powstałe z połączenia materiałów dźwiękochłonnych i dźwiękoizolacyjnych, charakteryzujących się tłumieniem drgań materiałowych płyt dźwiękoizolacyjnych:

– **przegroda warstwowa** w podobnym zestawieniu warstw i ich, konfiguracji, jak wymienione w punkcie A

– **przegroda warstwowa** powstała z połączenia materiałów typowo dźwiękoizolacyjnych o różnych grubościach oraz masach powierzchniowych (blacha stalowa z blachą stalową, blacha stalowa z blachą aluminiową, blacha stalowa z płytą z tworzywa sztucznego); połączenia mogą obejmować dwie lub więcej płyt.

• Stosowanie w przegrodach warstwowych dodatkowych przepon – przegród (płyt) dźwiękoizolacyjnych w środku układu warstw, może wpływać na poprawę właściwości dźwiękoizolacyjnych przegrody warstwowej w zakresie niskich częstotliwości.

• Niekorzystne, z punktu widzenia dobrej izolacyjności przegrody warstwowej w zakresie niskich częstotliwości, jest stosowanie blach profilowanych, na ogół o małej grubości – poniżej 1 mm. Blachy profilowane powinny być stosowane w konstrukcjach zabezpieczeń przeciwhałasowych, jako element wykańczający i osłaniający ścianki zewnętrzne wykonane z blach płaskich, jak w przypadku przegród zastosowanych w próbie nr 1 i próbie nr 5.

### Przykłady zastosowań ścian warstwowych do budowy zabezpieczeń przeciwhałasowych



Fot. 1. Obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne agregatów pompowych

Fot. 1. Acoustic enclosures for pumps

Warstwowa ścianka korpusu wentylatora: blacha stalowa – 2 mm, płyta izolacyjna ARMAFLEX – 25 mm, płyta warstwowa klejona z blachy aluminiowej – 1,05 mm (trzy blachy aluminiowe o grubości 0,35 mm)



Fot. 2. Korpus wentylatora promieniowego o zwiększonej izolacyjności akustycznej

Fot. 2. Acoustic trunk of radial fan

Warstwowa ścianka korpusu wentylatora: blacha stalowa – 2 mm, płyta izolacyjna ARMAFLEX – 25 mm, płyta warstwowa klejona z blachy aluminiowej – 1,05 mm (trzy blachy aluminiowe o grubości 0,35 mm)



Fot. 3. Obudowa dźwiękochłonno-izolacyjna zespołu skraplaczy

Fot. 3. Acoustic enclosure for condensers

Wykonana z przegród warstwowych: blacha stalowa trapezowa – 0,8 mm, blacha stalowa – 1 mm, płyty z wełny mineralnej – 100 mm, siatka stalowa ochronna – 1 mm



Fot. 4. Obudowa dźwiękochłonno-izolacyjna piły do cięcia rur

Fot. 4. Acoustic enclosure for hack-saw

Wykonana z przegród warstwowych: blacha stalowa trapezowa – 1 mm, blacha stalowa ocynkowana – 1,5 mm, dwie warstwy wełny mineralnej – 100 mm, blacha stalowa ocynkowana perforowana – 1 mm



## Podsumowanie

W artykule przedstawiono zalecenia metodologiczne dla projektantów przemysłowych zabezpieczeń przeciwhałasowych typu kabiny i obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne.

Na podstawie określonych w wyniku eksperymentu charakterystyk izolacyjności akustycznej badanych pięciu różnych wariantów przegród warstwowych i znajomości widma hałasu, przed którym ma chronić projektowane zabezpieczenie akustyczne, można dobrać najkorzystniejsze (najbardziej skuteczne w odniesieniu do częstotliwości dominujących w widmie hałasu) rozwiązanie konstrukcyjne ściany warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych.

Prawidłowo dobrana konstrukcja warstwowych zabezpieczeń może bowiem stanowić kompleksową ochronę, zarówno w zakresie hałasu średnio- i wysokoczęstotliwościowego, jak i – coraz częściej postrzeganego jako bardzo uciążliwy (zarówno w warunkach przemysłowych, jak i w pomieszczeniach biurowych) – hałasu niskoczęstotliwościowego. Obecnie nie ma powszechnie dostępnych danych na temat właściwości dźwiękoizolacyjnych elementów budowlanych zabezpieczeń przeciwhałasowych w zakresie niskich częstotliwości poniżej 100 Hz.

Dla konstruktora zabezpieczeń przeciwhałasowych z opisanych badań wynikają następujące wnioski, dotyczące występowania i ograniczania hałasu, w tym hałasu niskoczęstotliwościowego:

- Wiele rodzajów występujących w przemyśle maszyn i urządzeń, stwarzających zagrożenie akustyczne na stanowiskach pracy, obok hałasu średnio- i wysokoczęstotliwościowego, emituje hałas niskoczęstotliwościowy (przekraczający dopuszczalne normy), w którego widmie dominują składowe o częstotliwościach 10 ÷ 250 Hz.

- Obecnie nie ma możliwości doboru odpowiednich przegród (ścianek) dźwiękochłonno-izolacyjnych do rozwiązań konstrukcyjnych zabezpieczeń przeciwhałasowych maszyn i urządzeń, mających na celu obniżenie nadmiernej emisji hałasu niskoczęstotliwościowego. Brak jest również katalogów z charakterystykami izolacyjności akustycznej właściwej  $R$  przegród stosowanych w zabezpieczeniach przeciwhałasowych, obejmujących zakres częstotliwości poniżej 63 Hz. Katalogi i zestawienia przegród stosowanych w rozwiązaniach konstrukcyjnych zabezpieczeń przeciwhałasowych (m.in. obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne) podają charakterystyki izolacyjności akustycznej w zakresie częstotliwości od 63 Hz do 8 kHz.

- Powszechnie stosowane w rozwiązaniach konstrukcyjnych zabezpieczeń przeciwhałasowych ścianki warstwowe nie spełniają w większości przypadków wymagań, jakie powinny spełniać przegrody ograniczające emisję hałasu niskoczęstotliwościowego. Występują przypadki, że klasyczne przegrody mogą być w zakresie niskich częstotliwości wtórnym źródłem tego typu hałasu. Skuteczność akustyczna konstrukcji przeciwhałasowej może być w tym zakresie częstotliwości ujemna (np. wzmocnienie poziomu hałasu we wnętrzu dźwiękoizolacyjnych kabin przemysłowych).

- Przeprowadzone badania (modalne) dynamiki strukturalnej pięciu wariantów warstwowych przegród dźwiękochłonno-izolacyjnych, najczęściej stosowanych w rozwiązaniach konstrukcyjnych zabezpieczeń przeciwhałasowych, pozwoliły na sformułowanie wstępnego wniosku o możliwości wpływu drgań

własnych elementów warstwowych na obniżenie ich własności dźwiękoizolacyjnych w zakresie niskich częstotliwości.

- W wyniku przeprowadzonych badań opracowano orientacyjną metodę oszacowania izolacyjności akustycznej warstwowych przegród (ścianek) dźwiękochłonno-izolacyjnych w zakresie niskich częstotliwości, poniżej 100 Hz. Jest to, jak dotychczas, jedyna metoda umożliwiająca określenie właściwości dźwiękoizolacyjnych przegród z wykorzystaniem stanowiska do badań izolacyjności akustycznej w zespole dwóch komór pogłosowych.

- Wykorzystując opracowaną metodę, wyznaczono charakterystyki izolacyjności akustycznej w zakresie częstotliwości od 20 Hz do 5 kHz, w odniesieniu do pięciu wariantów warstwowych przegród dźwiękochłonno-izolacyjnych, które równocześnie przebadano metodą analizy modalnej.

- Istnieje więc możliwość badania nowych rozwiązań przegród warstwowych oraz stworzenia katalogu przegród, mogących mieć zastosowanie w kompleksowej ochronie, zarówno w zakresie hałasu średnio- i wysokoczęstotliwościowego, jak i niskoczęstotliwościowego.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Leventhall H. G. *A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects Defra Publications*. London 2003
- [2] Engel Z. *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. PWN, Warszawa 1993
- [3] 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
- [4] Kaczmarska A., Engel Z. i inni *Badania eksperymentalne i ocena wpływu drgań własnych elementów warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych na ich właściwości dźwiękoizolacyjne*. Zadanie badawcze nr II-5-06, CIOP-PIB, Warszawa 2003
- [5] PN-B-02151-3 *Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach – Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania*
- [6] PN-EN ISO 717-1 *Akustyka. Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Izolacyjność od dźwięków powietrznych*
- [7] PN-EN 12040-3:1999 *ISO-3 Akustyka. Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych elementów budowlanych*
- [8] Augustyńska D., Kaczmarska A. *Study of Sound Insulation of Control Cabins in Industry in Low Frequency Range*. Journal of Low Frequency Noise & Vibration Vol. 11, No 2, 1992
- [9] Kaczmarska A., Sikora J., Wszolek T. *Badania doświadczalne ustrojów rezonatorowych*. „Mechanika” t. 16, zeszyt 3, 1997
- [10] Kaczmarska A. *Modal Studies of the Wall of Industrial Control Cabins In Coupled Reverberation Chambers*. „Mechanika” t. 23, zeszyt 2, 2004

Publikacja opracowana na podstawie wyników badań objętych programem wieloletnim pt.: „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej”, zadanie badawcze II-5-06 „Badania eksperymentalne i ocena wpływu drgań własnych elementów warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych na ich właściwości dźwiękoizolacyjne”, dofinansowywane przez Komitet Badań Naukowych w latach 2002–2004. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy