

# Przegrody warstwowe stosowane w rozwiązaniach ograniczających hałas maszyn i urządzeń



Poprawa warunków akustycznych na stanowiskach pracy jest możliwa dzięki stosowaniu zintegrowanych obudów dźwiękochłonna-izolacyjnych lub zwiększeniu izolacyjności akustycznej oryginalnych korpusów maszyn. W tego typu zabezpieczeniach przeciwhałasowych mają zastosowanie cienkie przegrody warstwowe. W artykule scharakteryzowano te zabezpieczenia na tle stosowanych rozwiązań technicznych redukcji hałasu maszyn i urządzeń oraz przegród warstwowych. Zaprezentowano również prototypowe rozwiązania tych zabezpieczeń oraz możliwości wykorzystania w nich nowych przegród warstwowych na przykładzie wyników badań własności akustycznych wybranych przegród warstwowych.

## Layered baffles in solutions restricting the noise level of machinery and tools

Workplace acoustics can be improved either via integrated sound-absorbing covers or increased acoustic isolation of the original machinery body. Such anti-noise techniques include thin layered baffles. The article characterizes such techniques in the light of recent technical solutions in reducing noise of machinery and tools and in layered baffles. It also presents some prototype solutions of anti-noise techniques as well as possibilities of including new layered baffles in them, using the example of own research on the acoustic properties of selected layered baffles.

## Wstęp

Ograniczenie poziomu hałasu na stanowiskach pracy w zakładach przemysłowych nadal stanowi poważny problem. Szczególnie w przypadku maszyn i urządzeń wymagających ciągłej i bezpośredniej obsługi przez operatorów. Dotyczy to zarówno maszyn starych jak i nowo zakupionych. Najlepsze

efekty w poprawie warunków pracy przy obsłudze tego typu maszyn i urządzeń można uzyskać stosując dwa rozwiązania techniczne redukujące poziom emitowanego hałasu: zintegrowaną obudowę dźwiękochłonna-izolacyjną oraz w niektórych przypadkach wzmocnienie izolacyjności akustycznej oryginalnego korpusu maszyny.

Zastosowanie obu rozwiązań nie jest obecnie zbyt rozpowszechnione z powodu konieczności stosowania nowych rozwiązań materiałowych cienkich przegród (dźwiękoizolacyjnych i dźwiękochłonna-izolacyjnych) warstwowych, pojedynczych i wielokrotnych (dwuściennych). Niemniej jednak, perspektywy stosowania zintegrowanych obudów oraz korpusów maszyn o zwiększonej izolacyjności akustycznej wydają się być obiecujące z uwagi na podjęte szerokie badania nad nowymi rozwiązaniami tego typu przegród w ramach projektu rozwojowego.

W artykule omówiono najczęściej stosowane rozwiązania techniczne redukcji hałasu maszyn i urządzeń ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązania w postaci zintegrowanej obudowy dźwiękochłonna-izolacyjnej. Na tle klasyfikacji przegród stosowanych w rozwiązaniach zabezpieczeń wibroakustycznych zaprezentowano przegrody warstwowe stanowiące elementy ścienne zabezpieczeń ograniczających poziom hałasu maszyn i urządzeń z przykładami ich zastosowania w prototypowych rozwiązaniach.

## Rozwiązania techniczne ograniczające poziom hałasu maszyn i urządzeń

Na stanowiskach pracy w zakładach przemysłowych skuteczne ograniczanie hałasu możliwe jest przy wykorzystaniu znanych metod technicznych obniżania poziomu hałasu [1]. Są one szczególnie przydatne w części dotyczącej poczynania technicznych, mających na celu ochronę środowiska pracy, a polegających głównie na redukcji hałasu maszyn, urządzeń i procesów technologicznych na etapie ich projektowania – z uwzględnieniem wymogu ich cichobieżności – oraz w warunkach już zaistniałych.

Metody techniczne zwalczania hałasu przemysłowego można podzielić na cztery zasadnicze grupy:

- ograniczenie emisji źródeł – polegające na ograniczeniu lub minimalizacji emisji hałasu przez źródło, przy czym przez emisję rozumie się generowanie dźwięków przez źródło

- ograniczenie transmisji – polegające na ograniczeniu energii wibroakustycznej źródła na drogach jej przenoszenia

- ograniczenie emisji wobec określonych obszarów środowiska (np. terenów akustycznie chronionych) oraz wobec człowieka (np. stanowiska pracy) dzięki stosowaniu odpowiednich rozwiązań technicznych; odsunięcie człowieka od hałaśliwych procesów; przez automatyzację i robotyzację stanowisk pracy, a także (przy braku innych możliwości) dzięki stosowaniu środków ochrony indywidualnej

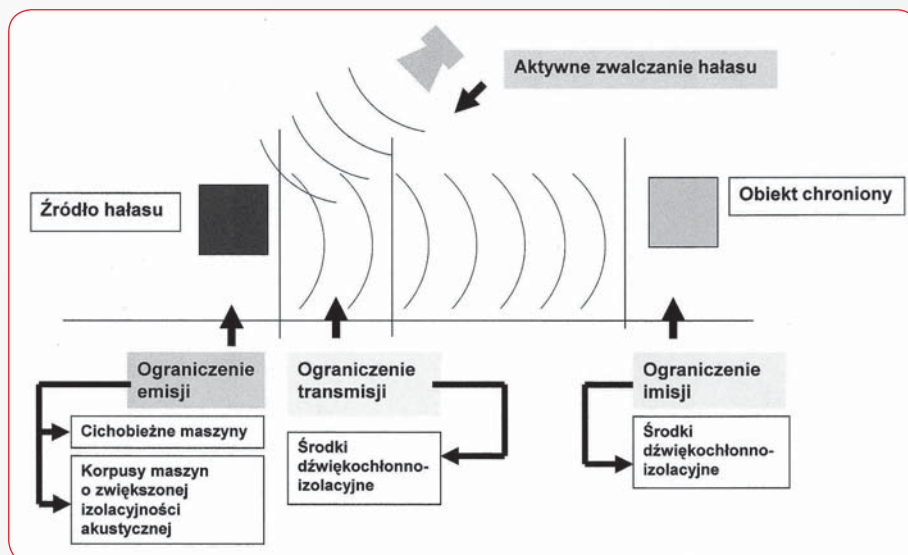
- aktywną (czynną) redukcję hałasu – polegającą w popularnym ujęciu na tym, że hałas kompensuje się hałasem z dodatkowych źródeł, aczkolwiek z zastrzeżeniem, że metody czynne mają obecnie wąskie zastosowanie i są uważane za metody przyszłościowe.

Na rys. 1. przedstawiono zasady stosowania poszczególnych metod technicznych redukcji hałasu [2].

Praktyka wykazuje, że w chwili obecnej najlepsze efekty w ograniczaniu poziomu hałasu maszyn i urządzeń występujących na stanowiskach pracy można uzyskać, korzystając z dwóch metod technicznych redukcji hałasu: ograniczenia transmisji energii wibroakustycznej oraz, w niektórych przypadkach, ograniczenia emisji źródeł.

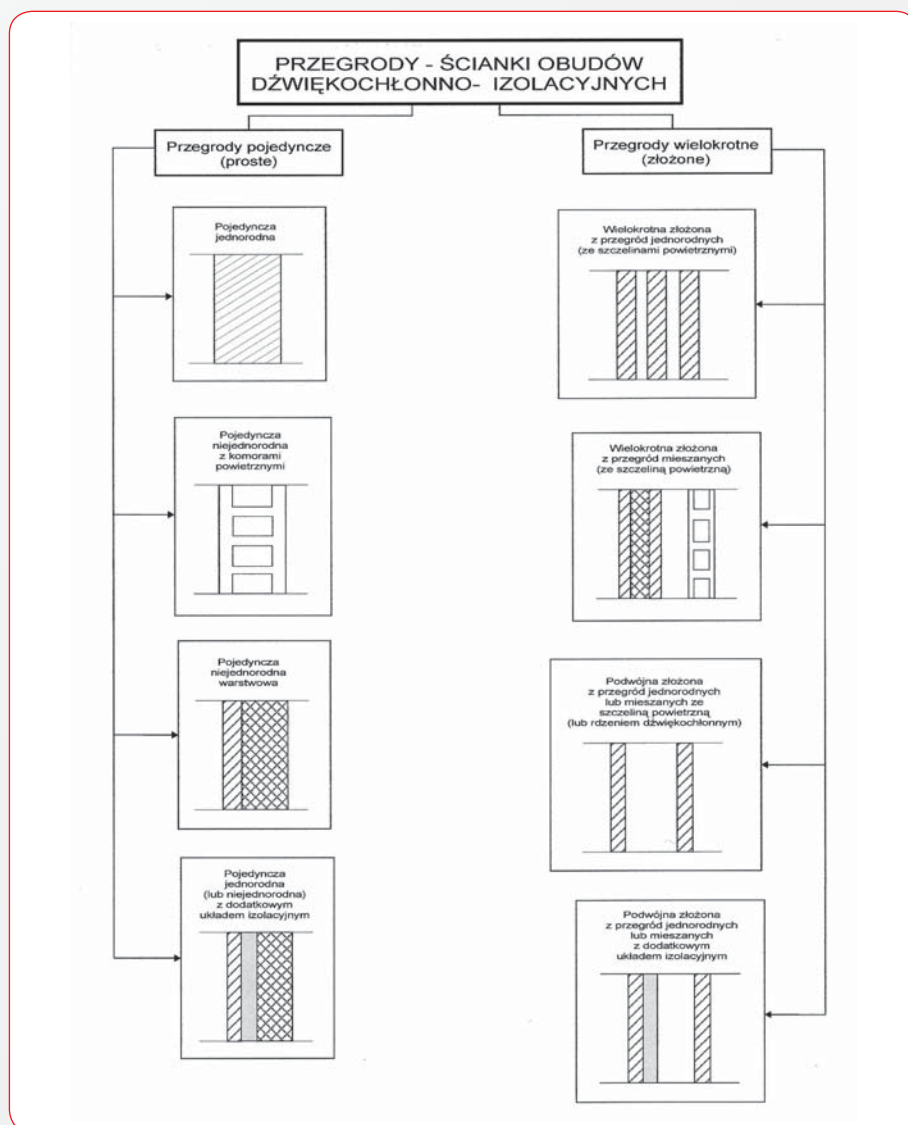
Ograniczenie transmisji energii wibroakustycznej polega na wprowadzeniu ograniczeń na drogach jej propagacji od źródła hałasu do odbiorcy. Ograniczenia te są stosowane głównie na drodze powietrznej – bezpośredniej (ale także materiałowej z wykorzystaniem odpowiedniego fundamentowania i wibroizolacji). Charakterystyczne dla tej metody jest to, że zabezpieczenie przeciwhałasowe zlokalizowane jest w pobliżu źródła hałasu. Dodatkowo może także być wprowadzona odpowiednia adaptacja akustyczna pomieszczeń (także elementy adaptacji akustycznej), wpływająca na ograniczenie odbić i ugięć fali dźwiękowej. Metody ograniczania transmisji energii wibroakustycznej nazywane są metodami biernymi ochrony przeciwhałasowej. Stosowane są wtedy, gdy ograniczenie hałasu nie jest możliwe do zrealizowania poprzez zmiany konstrukcyjne maszyny czy też zmiany procesu technologicznego. Najskuteczniejszymi rozwiązaniami technicznymi ograniczającymi hałas maszyn i urządzeń tą metodą są obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne, szczególnie zintegrowane, stanowiące składową część korpusu maszyny hermetyzującą akustycznie źródła hałasu technologicznego lub cały korpus maszyny, odpowiednio opracowany pod względem akustycznym [1-5]. Są przydatne w przypadku maszyn wymagających ciągłej i bezpośredniej obsługi przez operatora, dla których nie można zastosować obudów klasycznych całkowicie hermetyzujących źródło hałasu (np. agregat pompowy, sprężarka, agregat chłodniczy).

Wymieniona metoda ma zastosowanie bądź na etapie projektowania maszyn i urządzeń lub przez zamianę, w konkretnym przypadku, maszyny hałaśliwej na mniej hałaśliwą (jeżeli istnieje taka możliwość), spełniającą wymagania dopuszczalnego poziomu dźwięku A na stanowisku pracy – w miejscu jej zainstalowania. W identyczny sposób należy postępować przy ograniczaniu emisji procesów technologicznych. Innym, pośrednim sposobem w ograniczaniu emisji źródeł może być modyfikacja akustyczna istniejącego korpusu



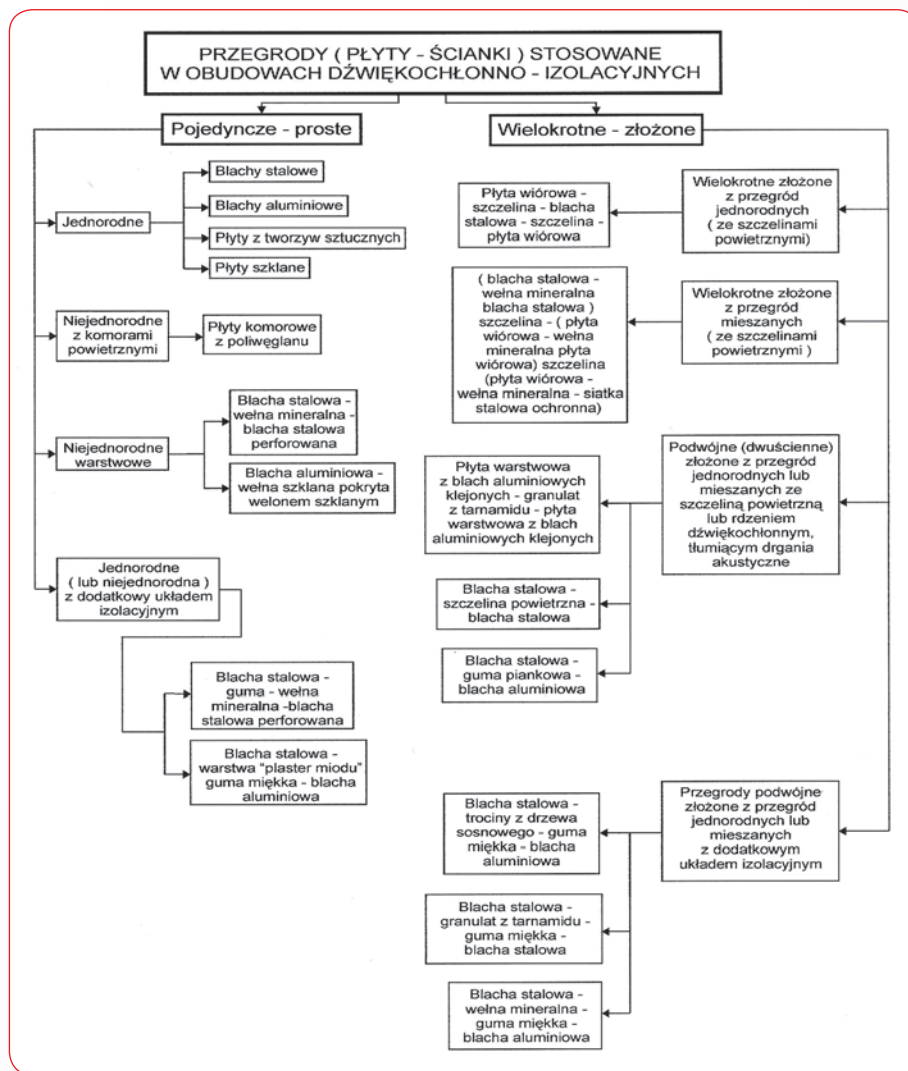
Rys. 1. Zasady stosowania poszczególnych metod technicznych redukcji hałasu

Fig. 1. Rules of implementing selected technical methods of noise reduction

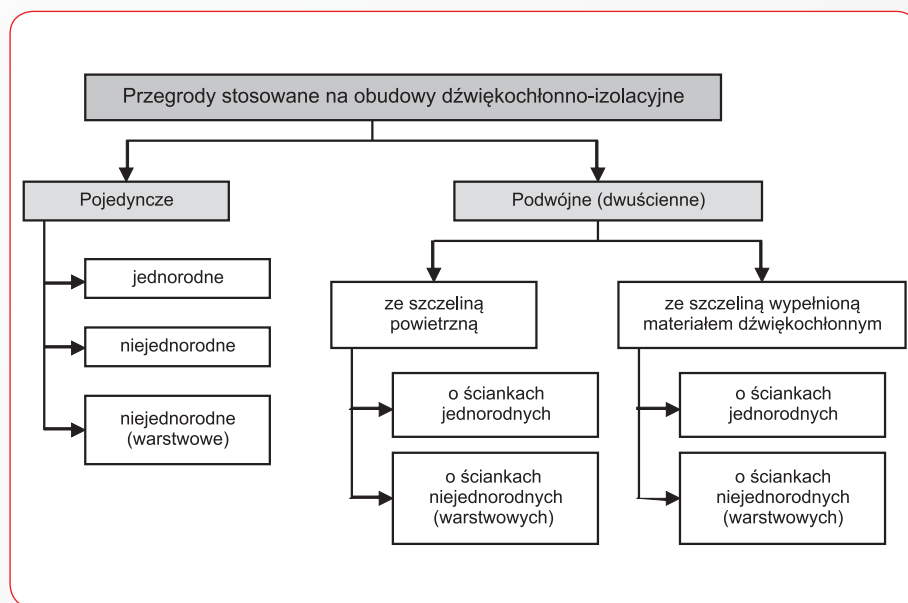


Rys. 2. Klasyfikacja ogólna przegród stosowanych w obudowach dźwiękochłonno-izolacyjnych

Fig. 2. General classification of baffles used in sound-absorbing covers



Rys. 3. Klasyfikacja przegród stosowanych we wszystkich rodzajach obudów z przykładami układów warstwowych  
 Fig. 3. Classification of baffles used in all types of covers with some sample layer set-ups



Rys. 4. Klasyfikacja przegród występujących głównie w obudowach zintegrowanych  
 Fig. 4. Classification of baffles present mainly in integrated covers

maszyny, polegająca na wzmocnieniu izolacyjności akustycznej jego ścianek. W Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki prowadzone są prace nad prototypami prostych korpusów maszyn o zwiększonej izolacyjności akustycznej [1, 4, 5].

### Przegrody stosowane w rozwiązaniach zabezpieczeń wibroakustycznych

Występujące w akustyce budowlanej oraz wibroakustyce przemysłowej (zabezpieczenia przeciwhałasowe) pojęcie przegrody dźwiękochłonna-izolacyjnej wywodzi się z pojęcia ogólnej przegrody budowlanej – elementu budowy oddzielającego ją od otoczenia lub wydzielającego w niej pomieszczenia. Połączenie w rozwiązaniach materiałowo-konstrukcyjnych przegród dwóch materiałów: dźwiękoizolacyjnego i dźwiękochłonnego, upoważnia do przyjęcia określenia przegrody dźwiękochłonna-izolacyjnej.

Analiza materiałów i wyrobów stosowanych w rozwiązaniach konstrukcyjnych obudów dźwiękochłonna-izolacyjnych [6, 7], najnowszych wyników prac własnych (zwłaszcza praktycznych) w zakresie doboru i projektowania obudów, a także wyników badań doświadczalnych izolacyjności akustycznej nowych rozwiązań przegród stosowanych na ścianki różnego typu obudów [8, 9, 10], pozwoliła autorowi na opracowanie ogólnej klasyfikacji przegród stosowanych w obudowach dźwiękochłonna-izolacyjnych (rys. 2.), klasyfikacji przegród stosowanych we wszystkich rodzajach obudów z przykładami układów warstwowych (rys. 3.) oraz klasyfikacji przegród występujących głównie w obudowach zintegrowanych (rys. 4.). W zaprezentowanych klasyfikacjach przegrodami warstwowymi są zarówno przegrody pojedyncze niejednorodne warstwowe i przegrody jednorodne lub niejednorodne z układem izolacyjnym (w przypadku przegród pojedynczych – prostych), jak i przegrody dwuścienne z rdzeniami dźwiękochłonnymi i dźwiękoizolacyjnymi (w przypadku przegród wielokrotnych złożonych).

Klasyfikację przegród stosowanych na ścianki obudów dźwiękochłonna-izolacyjnych opracowano, opierając się na klasyfikacji przegród budowlanych uwzględniającej zasadniczy podział przegród na pojedyncze i wielokrotne (złożone z przegród pojedynczych ze szczelinami powietrznymi). Przegrody pojedyncze stosowane są głównie w klasycznych rozwiązaniach obudów dźwiękochłonna-izolacyjnych o wymaganej średniej izolacyjności akustycznej rzędu 20-30 dB. Przegrody wielokrotne mają zarówno zastosowanie w obudowach klasycznych (ale o wymaganej wysokiej izolacyjności akustycznej powyżej 30 dB), jak i w obudowach zintegrowanych. Z tym, że w obudowach zintegrowanych stosuje się głównie przegrody podwójne (dwuścienne), charakteryzujące się małą grubością, a stosunkowo dużą izolacyjnością akustyczną. Przegrody pojedyncze i wielokrotne stosowane w klasycznych obudowach mają grubość rzędu 50 – 200 mm.

Ścianka (przegroda) obudowy zintegrowanej powinna zapewniać bardzo dobrą izolacyjność akustyczną, porównywalną z izolacyjnością ścianek obudów klasycznych oraz ograniczać jej grubość do niezbędnego minimum (10 – 30 mm), aby

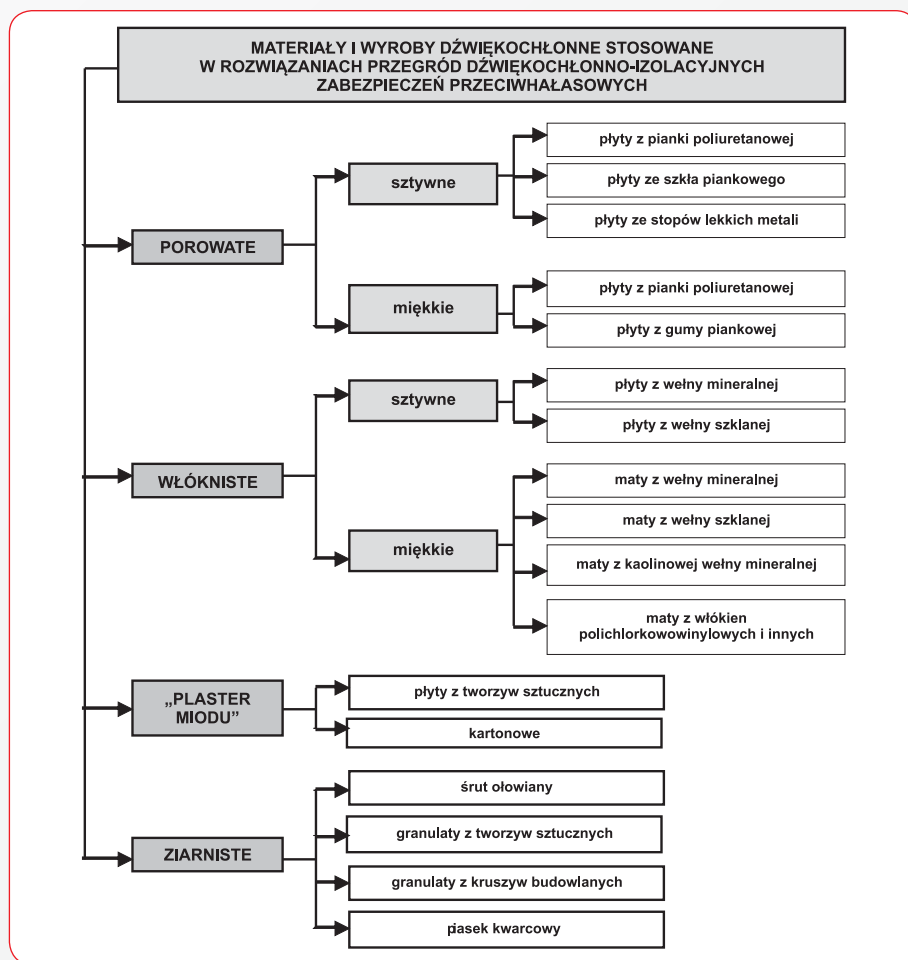
nie spowodować zwiększenia gabarytów obudowanej maszyny lub urządzenia.

Na rys. 5. przedstawiono, opracowaną przez autora, szczegółową klasyfikację porowatych materiałów dźwiękochłonnych występujących w rozwiązaniach przegród zabezpieczeń przeciwhałasowych typu obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne, osłony dźwiękoizolacyjne oraz ekrany akustyczne [2].

Z punktu widzenia struktury i cech materiałowych w przegrodach zabezpieczeń przeciwhałasowych stosowane są cztery zasadnicze grupy materiałów porowatych dźwiękochłonnych: o strukturze piankowej (komórkowej czy kanalikowej), włóknistej (zbudowane z włókien połączonych lub nie – lepiszczem), ziarnistej (wszelkiego rodzaju granulaty i ziarna) oraz „plastra miodu”. Wszystkie cztery grupy wymienionych materiałów mogą mieć zastosowanie jako rdzenie dźwiękochłonne w przegrodach warstwowych dwuściennych. W przegrodach warstwowych pojedynczych, w których materiał dźwiękochłonny znajduje się od strony zewnętrznej mają zastosowanie płyty porowate. Płyty z tworzyw sztucznych o strukturze „plastra miodu” mogą mieć zastosowanie jako dodatkowa warstwa zewnętrzna osłaniająca płytę z materiału porowatego. Wpływa to na zwiększenie pochłaniania dźwięku przez przegrodę. Niektóre z zaprezentowanych na rys. 5. materiałów o właściwościach dźwiękochłonnych, mają szczególne zastosowanie w przegrodach stanowiących elementy zintegrowanych obudów dźwiękochłonno-izolacyjnych, charakteryzujących się małymi grubościami. Są to między innymi: płyty z gumy piankowej, materiały ziarniste oraz płyty ze szkła piankowego.

## Właściwości akustyczne wybranych przegród warstwowych

W realizowanym projekcie badawczo-rozwojowym założono, że nowe rozwiązania przegród warstwowych, stanowiących elementy ścienne zabezpieczeń, będą zbudowane z różnych, nowych dotychczas nie stosowanych materiałów i tworzyw, charakteryzujących się dobrymi właściwościami akustycznymi (dźwiękochłonnymi i dźwiękoizolacyjnymi). Jednym z przetestowanych nowych materiałów pod względem przydatności zastosowania jako warstwy dźwiękochłonnej, jest płyta o strukturze komórkowej (z komorami powietrznymi otwartymi), podobnej do folii pęcherzykowych (z komorami powietrznymi zamkniętymi) stosowanych w opakowaniach. W całej objętości płyty (w przekroju poziomym i pionowym) występują komory powietrzne oddzielone pomiędzy sobą cienkimi ściankami z elastycznego tworzywa – folii (fot. 1.). Aby komory powietrzne nie były zamknięte, płyta ma „nakłucia” rozmieszczone w odległości co ok. 10 mm (fot. 2.). Badania doświadczalne obejmowały ocenę właściwości dźwiękochłonnych samej płyty oraz ocenę izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych wybranych konfiguracji przegród warstwowych (pojedynczych i dwuściennych z blachy aluminiowej) z zastosowaną płytą (rys. 6 i 7.). Badania właściwości akustycznych (pochłanianie dźwięku i izolacyjność akustyczna) przeprowadzono w trzech grubościach płyty, mając na uwadze zastosowanie przegród warstwowych w zabezpieczeniach typu klasyczna obudowa



Rys. 5. Klasyfikacja materiałów i wyrobów dźwiękochłonnych stosowanych w rozwiązaniach przegród zabezpieczeń wibroakustycznych

Fig. 5. Classification of materials and sound-absorbing materials used in solutions including vibroacoustic safeguard baffles



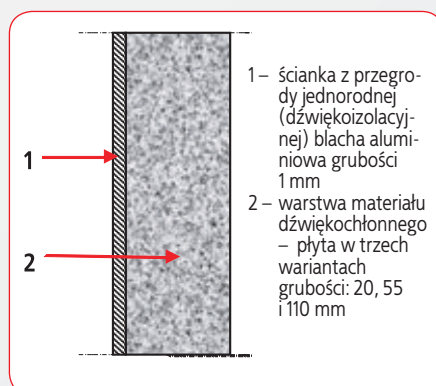
Fot. 1. Komory powietrzne w płycie (widok po zdjęciu wierzchniej warstwy)

Photo. 1. Air chamber in the slab (view after removing surface layer)



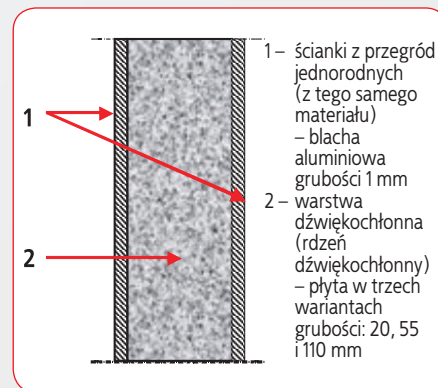
Fot. 2. Nakłucia komór powietrznych w płycie (widok z góry)

Photo. 2. Air chamber puncture in the slab (view from the above)



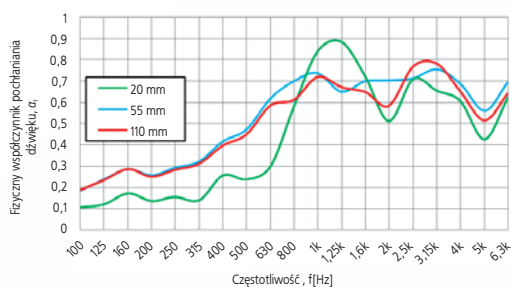
Rys. 6. Schemat poprzeczny przekroju przegrody warstwowej pojedynczej

Fig. 6. Diagram of a horizontal cross-section of a single layered baffle



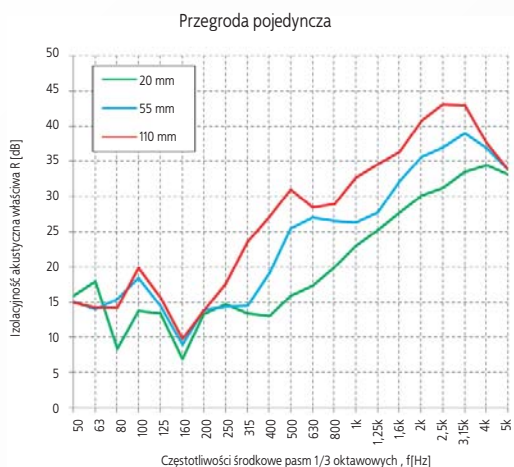
Rys. 7. Schemat poprzeczny przekroju przegrody warstwowej podwójnej (dwuściennej) o ściankach jednorodnych (dźwiękoizolacyjnych)

Fig. 7. Diagram of a horizontal cross-section of a double layered baffle with homogeneous facets



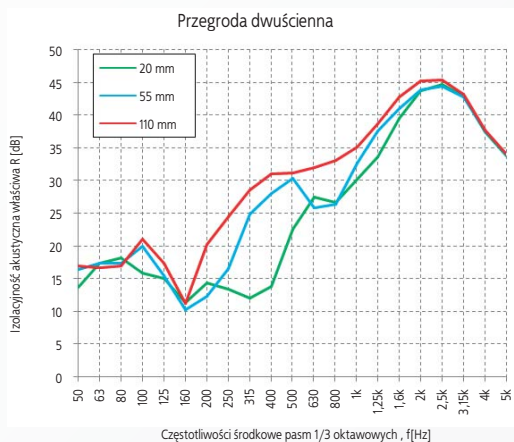
Rys. 8. Porównanie charakterystyk pochłaniania dźwięku próbek trzech grubości płyty

Fig. 8. Comparison of sound absorbance characteristics of three samples of a slab with three thicknesses



Rys. 9. Porównanie charakterystyk izolacyjności akustycznej przegrody warstwowej pojedynczej  $R_w$ ; blacha aluminiowa grubości 1 mm – warstwa płyty (grubości 20, 55 i 110 mm)

Fig. 9. Comparison of acoustic isolation characteristics of a single layered baffle  $R_w$ ; 1-mm thick aluminum metal plate – layer of the slab (20-, 55- and 110-mm thick)

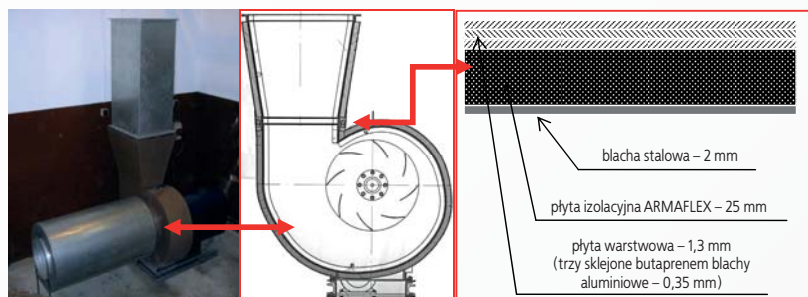


Rys. 10. Porównanie charakterystyk izolacyjności akustycznej przegrody warstwowej  $R_w$  dwuściennej; blacha aluminiowa grubości 1 mm – warstwa płyty (grubości 20, 55 i 110 mm) – blacha aluminiowa grubości 1 mm

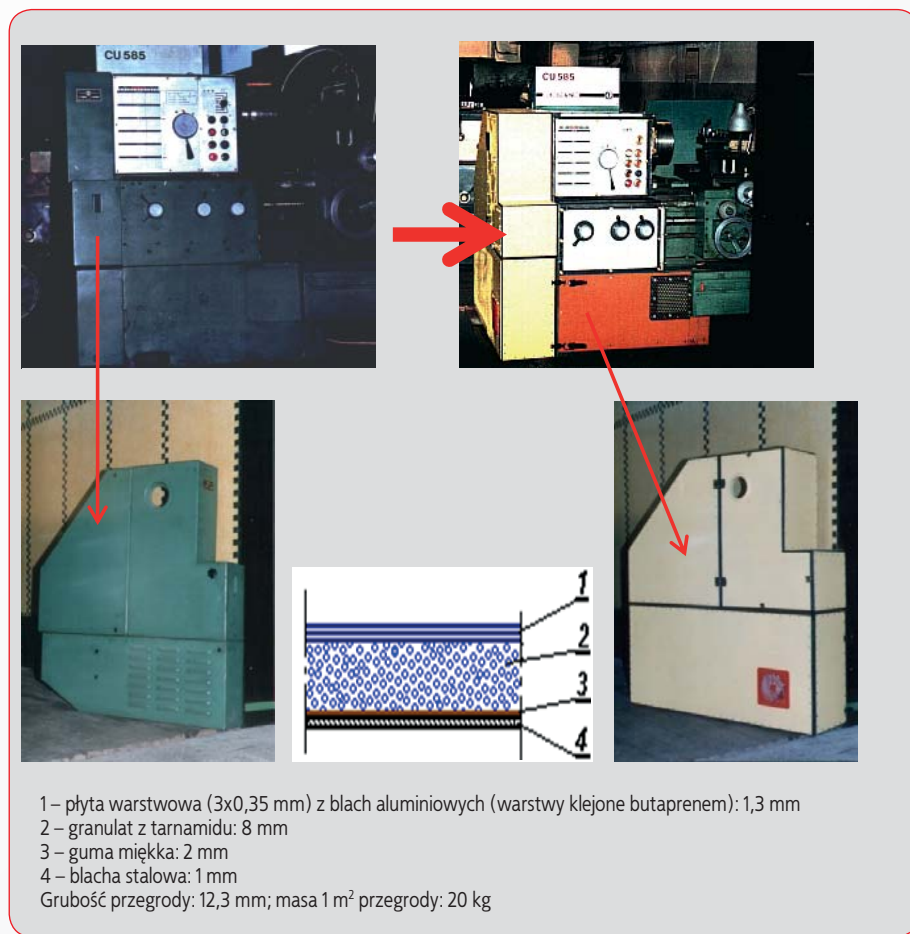
Fig. 10. Acoustic isolation characteristics comparison of a double layered baffle  $R_w$ ; 1-mm thick aluminum metal plate – layer of the slab (20-, 55- and 110-mm thick) – 1-mm thick aluminum metal plate

dźwiękochłonno-izolacyjna, zintegrowana obudowa dźwiękochłonno-izolacyjna i ekran akustyczny.

Wyniki badań wstępnych fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku dla płyty o zróżnicowanych grubościach przedstawiono na rys. 8. w postaci wykresów charakterystyk pochłaniania dźwięku w pasmach 1/3 oktaowych częstotliwości.



Rys. 11. Obudowa wentylatora promieniowego o zwiększonym pochłanianiu energii wibroakustycznej  
Fig. 11. Cover of the radial ventilation with increased level of vibroacoustic energy absorbance



Rys. 12. Zmodyfikowana osłona boczna łańcuchów kinematycznych napędowych tokarki  
Fig. 12. Modified side cover of kinematic driving chains of a turning lathe

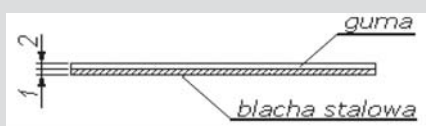
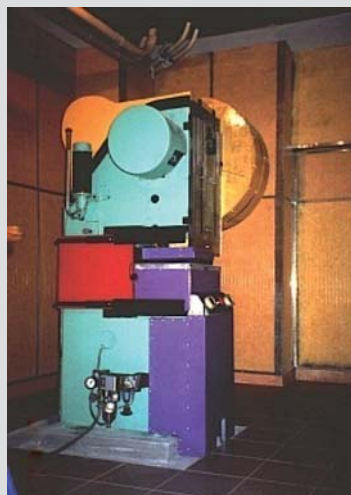
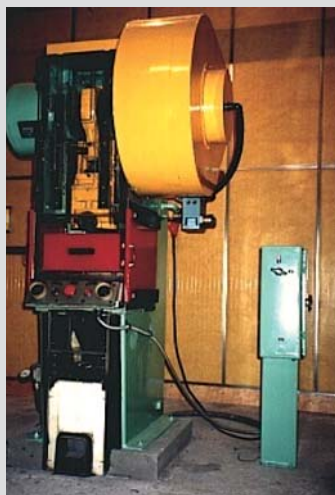
Wyniki badań izolacyjności akustycznej próbek przegród warstwowych  $R_w$  pojedynczych i podwójnych w postaci wykresów charakterystyk izolacyjności akustycznej w pasmach 1/3 oktaowych częstotliwości przedstawiono na rys. 9. (przegrody pojedyncze) i rys. 10. (przegrody dwuścienne).

Analizując zestawienia porównawcze charakterystyk izolacyjności akustycznej przegród warstwowych (wykonanych z połączenia blachy aluminiowej z płytą) można stwierdzić, że:

- zwiększenie grubości płyty w przegrodzie pojedynczej wpływa znacząco na wzrost jej izolacyjności akustycznej w całym zakresie częstotliwości powyżej 250 Hz
- zmiana grubości płyty w przegrodzie dwuściennej ma zasadniczy wpływ na zwiększenie izolacyjności akustycznej w zakresie częstotliwości od 250 Hz do 1 kHz

– w obu rodzajach przegród zwiększenie grubości płyty wpływa na wyraźny wzrost wartości jednolitego wskaźnika izolacyjności od dźwięków powietrznych  $R_w$ ; w przegrodzie pojedynczej  $R_w$  wynosi odpowiednio 21dB, 26 dB i 30 dB, a w przegrodzie dwuściennej 25 dB, 29 dB i 34 dB

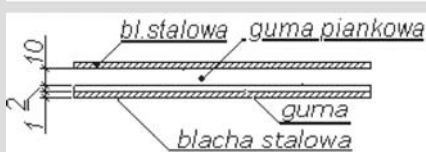
– przegrody dwuścienne charakteryzują się lepszą izolacyjnością akustyczną od przegród pojedynczych; zastosowanie płyty o grubości 20 mm powoduje znaczący przyrost izolacyjności akustycznej (od 10 do 15 dB) przegrody dwuściennej powyżej 500 Hz; płyta o grubości 55 mm powoduje przyrost izolacyjności akustycznej przegrody dwuściennej rzędu 10 dB w zakresie od 315 Hz do 500 Hz i 1,25 kHz do 2,5 kHz; płyta o grubości 110 mm powoduje zwiększenie izolacyjności akustycznej przegrody dwuściennej już w mniejszym stopniu, rzędu 5 dB w zakresie od 200 Hz do 400Hz i od 630Hz do 2,5 kHz.



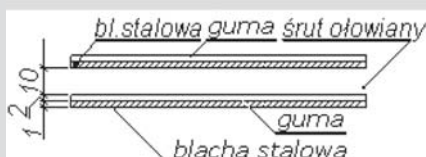
Hermetyczacja tylnej ściany korpusu prasy



Zmodyfikowana osłona koła zamachowego oraz silnika napędowego prasy



Boczne osłony dźwiękoizolacyjne pola operacyjnego prasy



Zintegrowana obudowa dźwiękochłonno-izolacyjna dla wykrojnika

Rys. 13. Przegrody warstwowe jako elementy ścienne zintegrowanej obudowy prasy mechanicznej mimośrodowej  
Fig. 13. Layered baffles as wall elements of an integrated cover of an off-centre mechanical press

## Zastosowanie przegród warstwowych w rozwiązaniach ograniczających poziom hałasu maszyn i urządzeń

Możliwości zastosowania przegród warstwowych w ograniczaniu nadmiernego poziomu hałasu maszyn i urządzeń ilustrują trzy (rys. 11.-13.) przedstawione zabezpieczenia przeciwhałasowe [4, 5]. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych prototypowych zabezpieczeń wibroakustycznych, w ściankach których zastosowano przegrody warstwowe opracowano w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki.

Na rys. 11. przedstawiono propozycję modyfikacji korpusu – osłony wirnika wentylatora promieniowego pod kątem zwiększenia pochłaniania energii wibroakustycznej. Ściany osłony wirnika wykonane z blachy stalowej grubości 2 mm zastąpiono przegrodą dwuścienną z rdzeniem dźwiękochłonnym z gumy piankowej grubości 25 mm. Natomiast przegrody dwuścienna składa się z dwóch ścianek: jednorodnej z blachy stalowej grubości 2 mm i niejednorodnej warstwowej grubości 1,3 mm (trzy blachy aluminiowe grubości 0,35 mm

sklejone na całej powierzchni). Po modyfikacji korpusu uzyskano obniżenie emisji hałasu o 8,5 dB.

Wykorzystanie w przegrodzie dwuścienną warstwy gumy litej oraz warstwy granulatu z tworzywa sztucznego przedstawiono na rys. 12. prezentującym zastosowane elementy obudowy zintegrowanej dla tokarki uniwersalnej. Jednym z rozwiązań jest zastąpienie oryginalnej osłony łańcuchów kinematycznych napędowych, osłoną o zwiększonej izolacyjności akustycznej. Po jej zastosowaniu osiągnięto obniżenie hałasu o 13 dB.

Zastosowanie warstw gumowych, pianki poliuretanowej oraz śrutu ołowianego w przegrodach pojedynczych i dwuściennych elementów prototypowej zintegrowanej obudowy minimalizującej hałas mechaniczny, uderzeniowy oraz urządzeń pomocniczych w prasie mechanicznej mimośrodowej zilustrowano na rys. 13. Po zastosowaniu zintegrowanej obudowy osiągnięto obniżenie poziomu hałasu w granicach od 8 do 10 dB w zależności od trybu pracy prasy (skokowy, ciągły).

## Podsumowanie

Ograniczenie poziomu hałasu maszyn i urządzeń stanowiących zagrożenie akustyczne na stanowiskach pracy można osiągnąć za pomocą zintegrowanych obudów dźwiękochłonno-izolacyjnych oraz zwiększenia izolacyjności akustycznej oryginalnych korpusów i osłon. Skuteczność stosowania tych rozwiązań potwierdzają wykonane prototypy oraz zastosowane w nich jako elementy ścienne cienkie przegrody warstwowe. Aby upowszechnić zaproponowane rozwiązania do poprawy warunków pracy w zakładach przemysłowych niezbędne jest opracowanie katalogu cienkich przegród warstwowych, przydatnych w konstruowaniu tego typu zabezpieczeń przeciwhałasowych, nie powodujących zwiększenia gabarytów obudowanej maszyny lub urządzenia.

Realizowany pod kierownictwem autora projekt rozwojowy pt. „Nowe rozwiązania materiałowe przegród warstwowych w projektowaniu zabezpieczeń wibroakustycznych maszyn i urządzeń” ma na celu stworzenie takiego katalogu z wariantowymi zestawami przegród warstwowych z uwzględnieniem zastosowania w nich nowych materiałów (charakteryzujących się własnościami dźwiękochłonnymi i dźwiękoizolacyjnymi) użytkowanych na drodze recyklingu w postaci płyt twardych i miękkich oraz granulatów. Zdaniem autora powinno to przyczynić się do rozszerzenia możliwości technicznych w poprawie warunków akustycznych na stanowiskach pracy w zakładach przemysłowych.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Engel Z., Piechowicz J., Stryczniewicz L. *Podstawy wibroakustyki przemysłowej*. Wyd. WydZIAŁ Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, AGH, Kraków 2003
- [2] Sikora J. *Warstwy gumowe w rozwiązaniach zabezpieczeń wibroakustycznych*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011
- [3] Engel Z., Sikora J., Turkiewicz J. *Zintegrowane obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne*. „Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka” 1999 (332)3, s. 2-8
- [4] *Zintegrowane obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne oraz korpusy maszyn o zwiększonym pochłanianiu energii wibroakustycznej*. J. Sikora (red.) Projekt badawczy KBN Nr 7T07B01010, Prace Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH, Kraków 1996-1998
- [5] *Hałasy uderzeniowe w przemyśle i ich zwalczanie na przykładzie pras*. Z. Engel (red.). SPR-1 (Strategiczny Program Rządowy), Bezpieczeństwo i ochrona człowieka w środowisku pracy, zadanie badawcze nr 03.8.13, Prace Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH, Kraków 1998-2001
- [6] Engel Z., Sikora J. *Sposoby redukcji hałasu maszyn i urządzeń. Rozwiązania przegród dźwiękoizolacyjnych*. IZOLACJE. Budownictwo. Przemysł. Ekologia 2002, 10, s. 60-64
- [7] Kaczmarska A., Engel Z., Sikora J. *Dobór warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych – wytyczne dla projektantów*. „Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka” 2005 (407)6, s. 10-13
- [8] Sikora J. *Materiały porowate w zabezpieczeniach ograniczających hałas maszyn i urządzeń*. Mat. Konf. V<sup>th</sup> International Conference INTERPOR, Lubostrój/Bydgoszcz, 24-27 May 2006 (Volume of extended abstracts), s. 87-88
- [9] Sikora J., Turkiewicz J. *Przegrody dwuścienną z rdzeniami dźwiękochłonnymi z materiałów ziarnistych*. „IZOLACJE, Budownictwo, Przemysł, Ekologia” 2007, 10, s. 28-33
- [10] Sikora J. *Materiały ziarniste w zabezpieczeniach przeciwhałasowych*. „Materiały Budowlane: technologie, rynek, wykonawstwo” 2010, 8, s. 5-7 i 36

Artykuł opracowano w ramach realizacji projektu rozwojowego nr II.B.12 (2011-2013) pt.: „Nowe rozwiązania materiałowe przegród warstwowych w projektowaniu zabezpieczeń wibroakustycznych maszyn i urządzeń”, stanowiącego jedno z zadań programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” koordynowanego przez CIOP-PB w Warszawie.