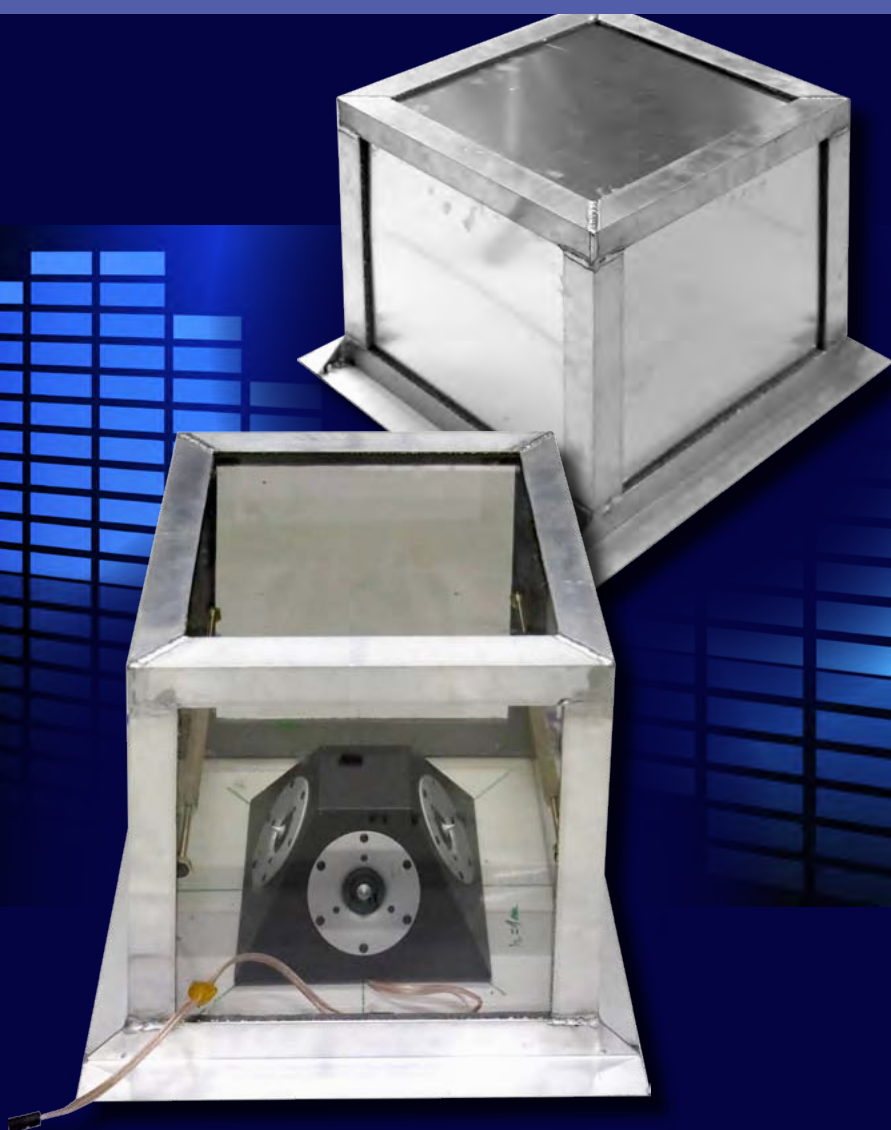


Witold Mikulski

**PROJEKTOWANIE
OBUDÓW DŹWIĘKOIZOLACYJNYCH
ŹRÓDEŁ PROMIENUJĄCYCH HAŁAS
W ZAKRESIE CZĘSTOTLIWOŚCI 20-40 KHZ**

WYTYCZNE AKUSTYCZNE



Materiały informacyjne CIOP-PIB

Projektowanie obudów dźwiękoizolacyjnych źródeł promieniujących hałas w zakresie częstotliwości 20–40 kHz. Wytyczne akustyczne

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Zadanie 3.G.02. Badanie emisji energii akustycznej, przemysłowych, kierunkowych, technologicznych źródeł hałasu ultradźwiękowego o dużej mocy akustycznej oraz badania skuteczności akustycznej obudów dźwiękoizolacyjnych dla tych źródeł.

Autor:

dr inż. Witold Mikulski – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych, Pracownia Zwalczania Hałasu

Zdjęcie na okładce: CIOP-PIB

© Copyright by

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2019

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

tel. (48-22) 623 36 98, www.ciop.pl

Wytyczne akustyczne dotyczące projektowania obudów dźwiękoizolacyjnych źródeł promieniujących hałas w zakresie częstotliwości 10–40 kHz:

I.

Przy projektowaniu obudów dźwiękoizolacyjnych źródeł promieniujących hałas w zakresie częstotliwości 10–40 kHz (tj. dominującej emisji hałasu technologicznych urządzeń ultradźwiękowych) w pierwszej kolejności trzeba określić dane charakteryzujące źródło hałasu ultradźwiękowego: częstotliwość roboczą wzbudnika urządzenia, moc elektryczną urządzenia oraz wymiary. Informacje te są zawarte w instrukcji urządzenia lub umieszczone są na tabliczce znamionowej.

Szczególnie istotna jest informacja o częstotliwości roboczej pracy urządzenia ultradźwiękowego, gdyż przy tej częstotliwości (oraz w większości przypadków przy częstotliwości dwa razy mniejszej) będzie występowało największe zagrożenie hałasem ultradźwiękowym. Ponieważ izolacyjność akustyczna obudów dźwiękoizolacyjnych zależy od częstotliwości, to projektując obudowy szczególną uwagę należy zwrócić na częstotliwość roboczą urządzenia oraz częstotliwość dwa razy mniejszą.

II.

Następnie konieczne jest określenie o ile należy zmniejszyć hałas ultradźwiękowy na stanowisku pracy (po zastosowaniu obudowy dźwiękoizolacyjnej). Wymagana zmniejszona przez obudowę dźwiękoizolacyjną wartość poziomu ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości $\Delta L_{f,wymagana_obudowy}$ będzie różnicą między wartościami zmierzonego poziomu ciśnienia na stanowisku pracy przy urządzeniu, a poziomami akceptowalnymi/dopuszczalnymi hałasu (najczęściej NDN hałasu ultradźwiękowego wg Rozporządzenia Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 12 czerwca 2018 r. (Dz.U. 2018 poz. 1286 z 3 lipca 2018, zał. 2 punkt A)).

Ponieważ wartości NDN odnoszą się do maksymalnych i równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego, to wymagane zmniejszenie przez obudowę dźwiękoizolacyjną poziomu ciśnienia akustycznego będzie równe większej z tych dwóch wartości. Określa się ją w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych z zakresu 10-40 kHz ze wzoru :

$$\Delta L_{f,wymagana_obudowy} = \max(L_{p,f,eq,pom} - L_{p,f,eq,dop}, L_{p,f,max,pom} - L_{p,f,max,dop}), \text{ dB (1)}$$

gdzie:

$L_{p,f,eq,pom}$ – równoważny 8-godzinny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy, w tercjowym paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , w dB,

$L_{p,f,eq,dop}$ – dopuszczalny (NDN) równoważny 8-godzinny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy, w tercjowym paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f (tabela 1), w dB,

$L_{p,f,max,pom}$ – maksymalny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy, w tercjowym paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , w dB,

$L_{p,f,max,dop}$ – dopuszczalny (NDN) maksymalny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy, w tercjowym paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f (tabela 1), w dB.

Tabela 1. Dopuszczalne poziomy ciśnienia akustycznego hałasu ultradźwiękowego ze względu na ochronę zdrowia (NDN) (Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 12 czerwca 2018 r. Dz.U. 2018 poz. 1286 z 3 lipca 2018 r., zał. 2 punkt A)

Parametr	Tercjowe pasmo częstotliwości o częstotliwości środkowej (kHz)						
	10	12,5	16	20	25	31,5	40
Dopuszczalny (NDN) równoważny 8-godzinny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy (dB)	80			90	105	110	
Dopuszczalny (NDN) maksymalny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy (dB)	100			110	125	130	

III.

Wymagana izolacyjność akustyczna (w każdym tercjowym paśmie częstotliwości z zakresu 10-40 kHz) obudowy dźwiękoizolacyjnej jest izolacyjnością ciśnieniową (określana z różnicy poziomu ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy). Ponieważ uniwersalnymi danymi o izolacyjności akustycznej obudów dźwiękoizolacyjnych jest izolacyjność akustyczna mocowa D_w (określana z różnicy poziomu mocy akustycznej), dlatego wymaganą izolacyjność akustyczną mocową obudowy dźwiękoizolacyjnej, w każdym tercjowym paśmie częstotliwości z zakresu 10-40 kHz, należy określić ze wzoru:

$$D_{w,f,wymagana} = \Delta L_{p,f,wymagana_obudowy} + \Delta L_{p,f,poprawka}, \text{ dB} \quad (2)$$

(we wzorze: symbol w oraz słowa: wymagana, obudowy, poprawka – prostym)

gdzie:

$\Delta L_{p,f,wymagana_obudowy}$ – wymagana różnica poziomów ciśnienia akustycznego po zastosowaniu obudowy dla danego źródła hałasu ultradźwiękowego (określona ze wzoru 1), w dB,

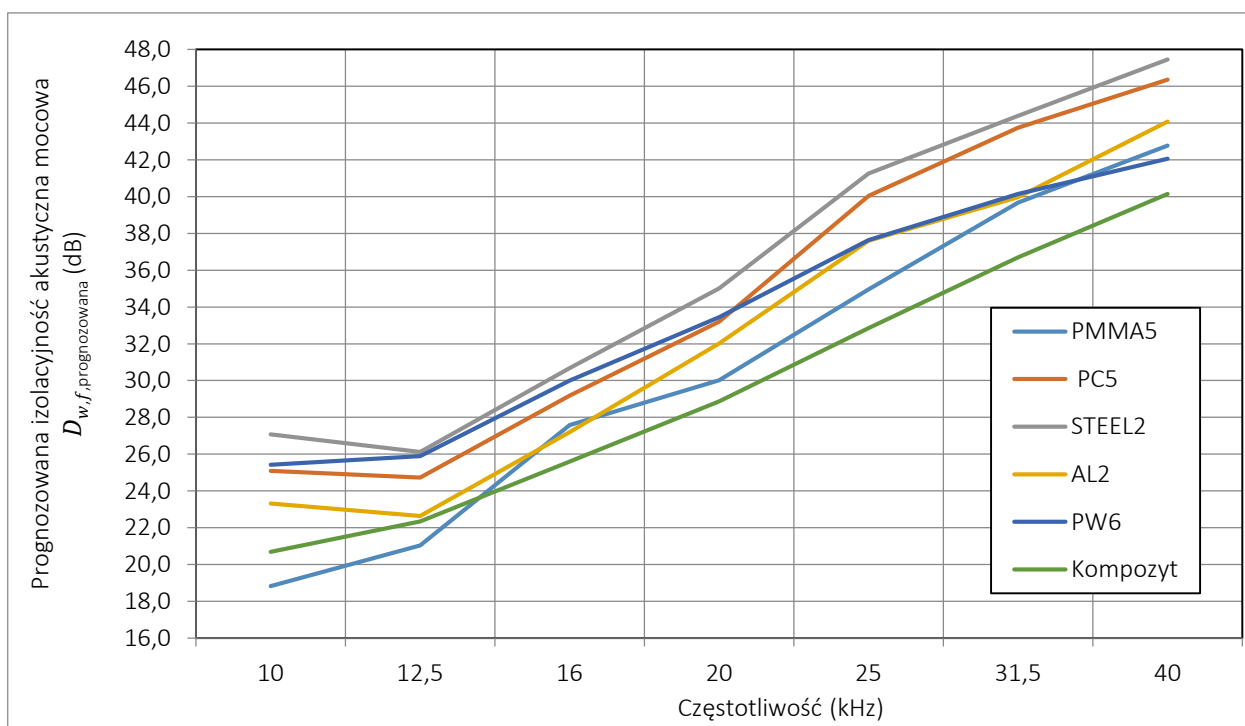
$\Delta L_{p,f,poprawka}$ – poprawka wynikająca z właściwości kierunkowych źródła, wielkości źródła w stosunku do wielkości obudowy oraz innych przyczyn, w dB.

Poprawkę $\Delta L_{p,f,poprawka}$ trudno jest jednoznacznie określić analitycznie, gdyż zależy ona od wielu trudnych do określenia parametrów (np. z właściwości kierunkowych źródła, wielkości źródła w stosunku do wielkości obudowy), dlatego jej wartość trzeba określić eksperymentalnie. W obliczeniach,

gdy obudowa znajduje się w niewielkiej odległości od źródła można ją oszacować na równą 3-15 dB. Na przykład dla obudowy prostokątnej – o wymiarach 500 x 500 x 500 mm, ze ściankami z kompozytu o grubości 4 mm – płuczki ultradźwiękowej, poprawka ta przy częstotliwości pracy płuczki 32 kHz wynosiła 2-3 dB (bez i z wyściółką z pianki poliuretanowej o grubości 15-300 mm wewnątrz obudowy).

IV.

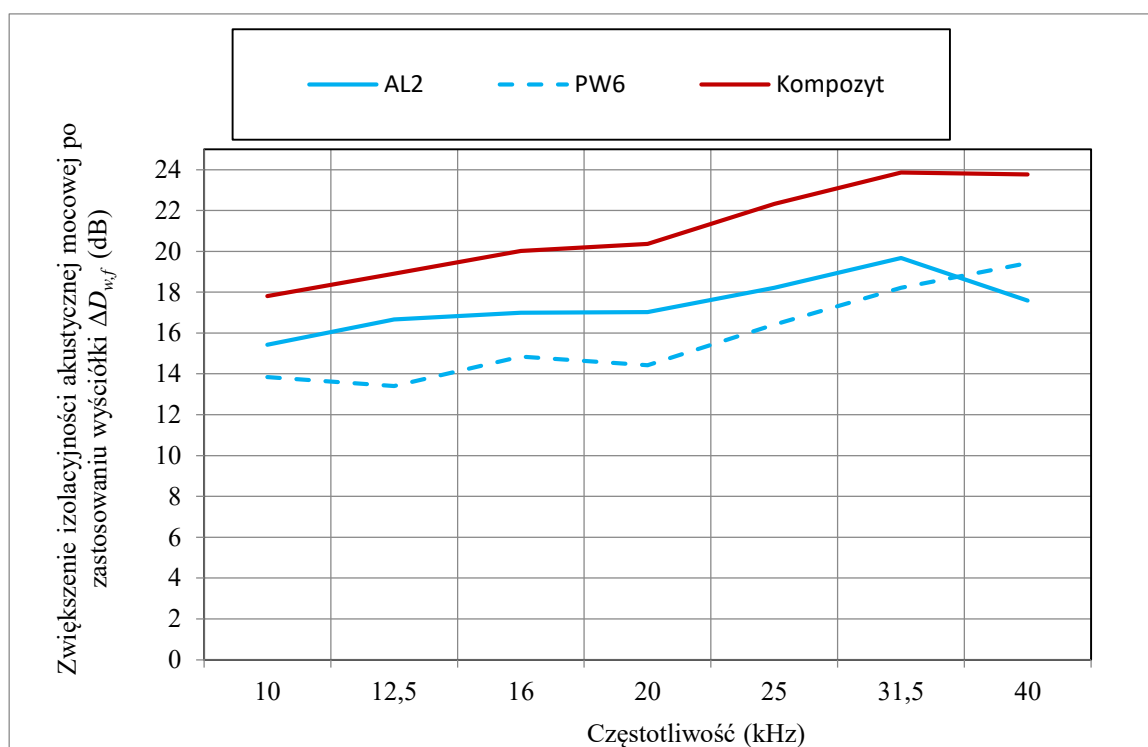
Znając wymaganą izolacyjność akustyczną mocową $D_{w,f,wymagana}$ należy dobrać materiał, z którego będą wykonane ścianki obudowy. Przy wyborze materiału można posłużyć się wykresem rys. 1. Izolacyjność akustyczna mocowa określona z tego wykresu będzie traktowana jako prognozowana izolacyjność akustyczna mocowa $D_{w,f,prognozowana}$. Obliczona wymagana wartość izolacyjności akustycznej mocowej $D_{w,f,wymagana}$ musi być mniejsza od wartości izolacyjności akustycznej mocowej $D_{w,f}$ materiałów podanych na rys. 1 we wszystkich tercjowych pasmach częstotliwości z zakresu 10-40 kHz. Jeżeli taki warunek jest spełniony, to należy zaprojektować obudowę z wybranego materiału. W przypadku gdy izolacyjność akustyczna prognozowana dla danego materiału jest o 0-10 dB za mała, wówczas można zwiększyć izolacyjność akustyczną mocową $D_{w,f,prognozowana}$ przez zwiększenie grubości ścianek.



Rys. 1. Prognozowana izolacyjność akustyczna mocowa obudów dźwiękoizolacyjnych szkieletowych (bez materiału dźwiękochłonnego wewnątrz obudowy) wykonanych z: PW6 płyty pilśniowej o grubości 6 mm, STEEL2 blachy stalowej o grubości 2 mm, AL2 – blachy aluminiowej o grubości 2 mm, PC5 – poliwęglanu o grubości 5 mm, PMMA5 – pleksi o grubości 5 mm oraz kompozytu o grubości 4 mm (blacha aluminiowa 0,3 mm, płyta plastikowa 3,4 mm i blacha aluminiowa 0,3 mm; wyściółka: pianka o grubości 15-30 mm)

Do obliczeń można przyjąć, że przy podwojeniu grubości ścianek (dwukrotny wzrost masy) prognozowana izolacyjność akustyczna mocowa $D_{w,f,prognozowana}$ rośnie o ok 5-7 dB.

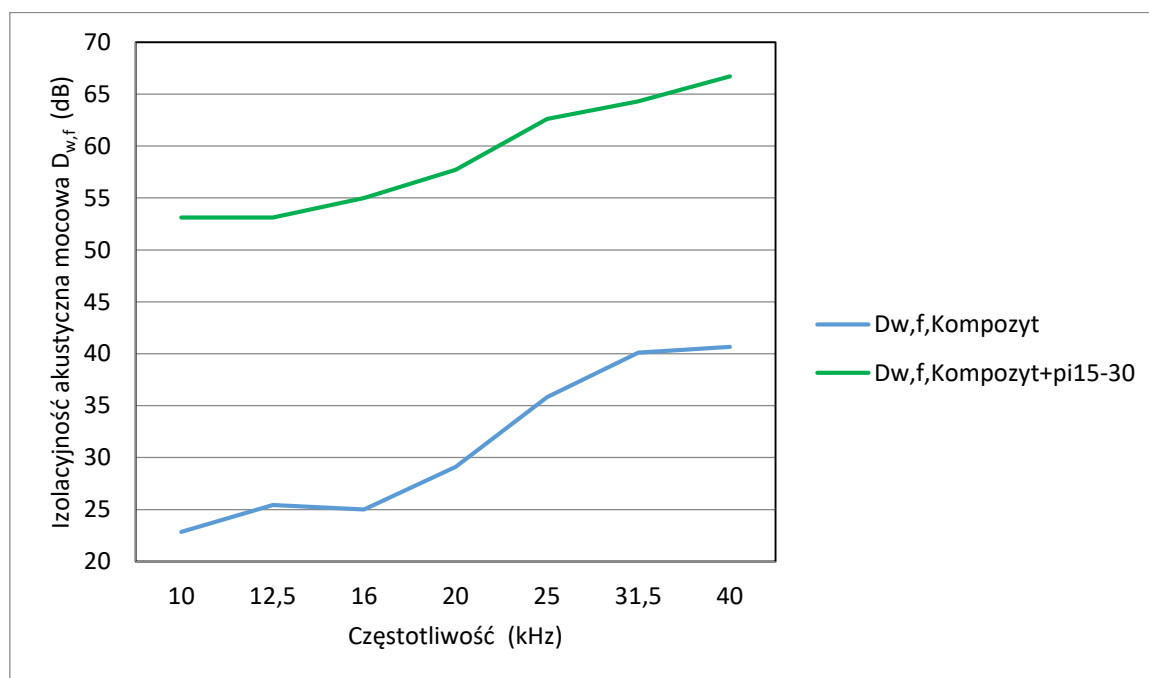
W przypadku, gdy wymagana izolacyjność akustyczna mocowa jest większa od izolacyjności akustycznej prognozowanej o ponad 10 dB, zwiększenie izolacyjności akustycznej mocowej można uzyskać przez zastosowanie materiałów dźwiękochłonnych wewnątrz obudowy. Szacowane zwiększenie prognozowanej izolacyjności akustycznej obudowy dźwiękoizolacyjnej po zastosowaniu, jako wyściółki, materiałów dźwiękochłonnych (np. pianek o grubości 15 mm) pokazano na rys. 2. Wartość średnia obliczona z wartości w tercjowych pasmach częstotliwości z zakresu 10-40 kHz zwiększenia izolacyjności akustycznej mocowej po zastosowaniu wyściółki wewnętrznych ścian obudowy dla obudów ze ściankami: z aluminium wynosi 17,4 dB, sklejki drewnianej wynosi 15,8 dB, a dla kompozytu (blacha aluminiowa 0,3 mm, płyta plastikowa 3,4 mm i blacha aluminiowa 0,3 mm; wyściółka: pianka o grubości 15-30 mm) wynosi 21 dB.



Rys. 2. Zwiększenie izolacyjności akustycznej mocowej obudowy dźwiękoizolacyjnej, po zastosowaniu wyściółki (pianka o grubości 15-30 mm). Wymiary obudowy 400 x 400 x 400 mm, ścianki ze sklejki o grubości 6 mm PW6, blachy aluminiowej o grubości 2 mm AL2 i kompozytu (blacha aluminiowa 0,3 mm, płyta plastikowa 3,4 mm i blacha aluminiowa 0,3 mm)

Grubość materiału dźwiękochłonnego zastosowanego w wyściółce również odgrywa istotne znaczenie, np. zwiększenie grubości pianki poliuretanowej z 15 do 20 mm powoduje zwiększenie izolacyjności o ok 4 dB.

Dla przykładu na rys. 3 pokazano izolacyjność akustyczną mocową obudowy wykonanej z kompozytu (blacha aluminiowa 0,3 mm, płyta plastikowa 3,4 mm i blacha aluminiowa 0,3 mm) z wyściółką obudowy z pianki o połałdowanej powierzchni (jej grubość wynosi 15-30 mm).



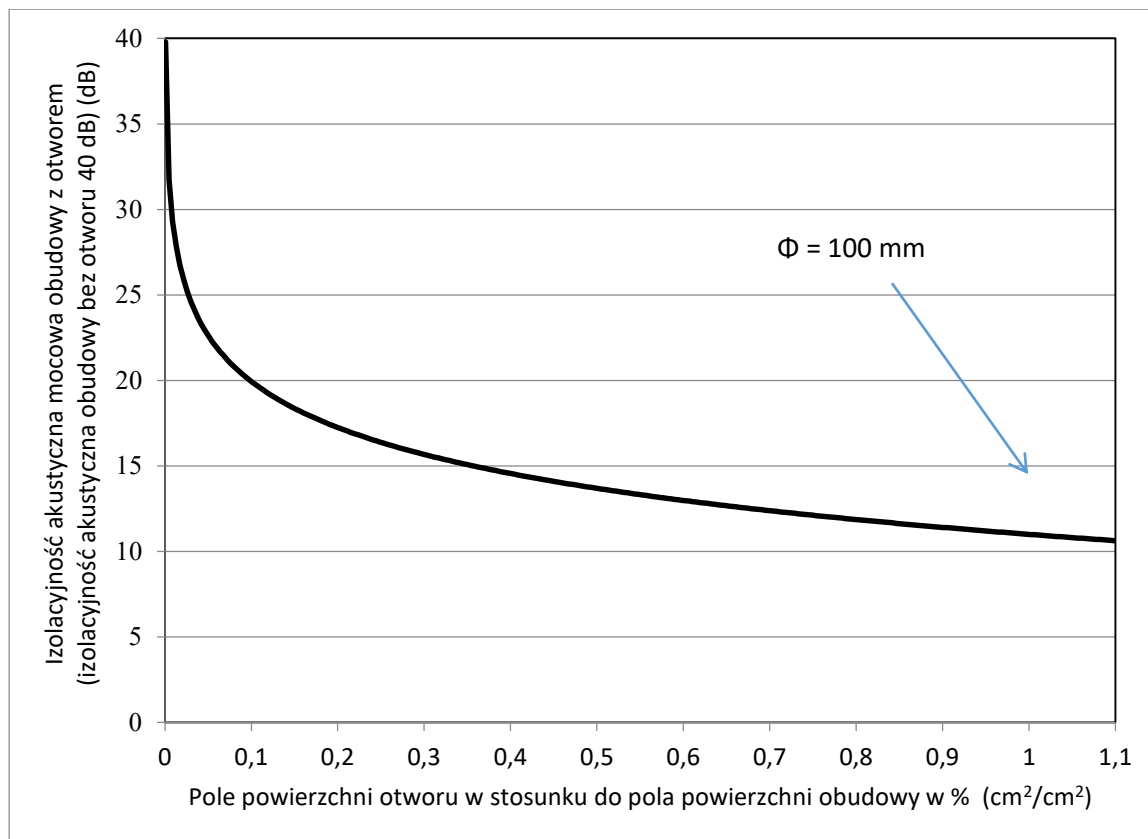
Rys. 3. Izolacyjność akustyczna mocowa obudowy dźwiękoizolacyjnej kompozytowej: bez wyściółki ($D_{w,f,Kompozyt}$) i z wyściółką z pianki 15-30 mm ($D_{w,f,Kompozyt+pi15-30}$)

V.

Szczelność obudowy odgrywa bardzo duże znaczenie. Izolacyjność akustyczna mocowa obudowy po uwzględnieniu nieszczelności zmniejsza się średnio w paśmie 10-40 kHz: dla otworu na jednej ścianie o średnicy 10 mm – o 11 dB, dla otworu na jednej ścianie o średnicy 50 mm – o 23,3 dB, a dla otworu na jednej ścianie o średnicy 100 mm – o 28,8 dB.

Na rys. 4 podano wyznaczony metodami pomiarowymi dla obudowy dźwiękoizolacyjnej (o wymiarach 400 x 400 x 400 mm wykonanej ze sklejki o grubości 12 mm i o izolacyjności akustycznej 40 dB), jej izolacyjność akustyczną mocową, po uwzględnieniu w jednej ścianie bocznej otworu, w funkcji stosunku pola powierzchni otworu do pola powierzchni obudowy w % wartości cm^2/cm^2 , np. jeżeli otwór na wentylator ma średnicę 100 mm (jego powierzchnia stanowi ok. 1% powierzchni

obudowy), izolacyjność akustyczna mocowa obudowy będzie wynosiła (z wykresu na rys. 4) 11 dB, czyli zmniejszy się po wykonaniu otworu o 29 dB.

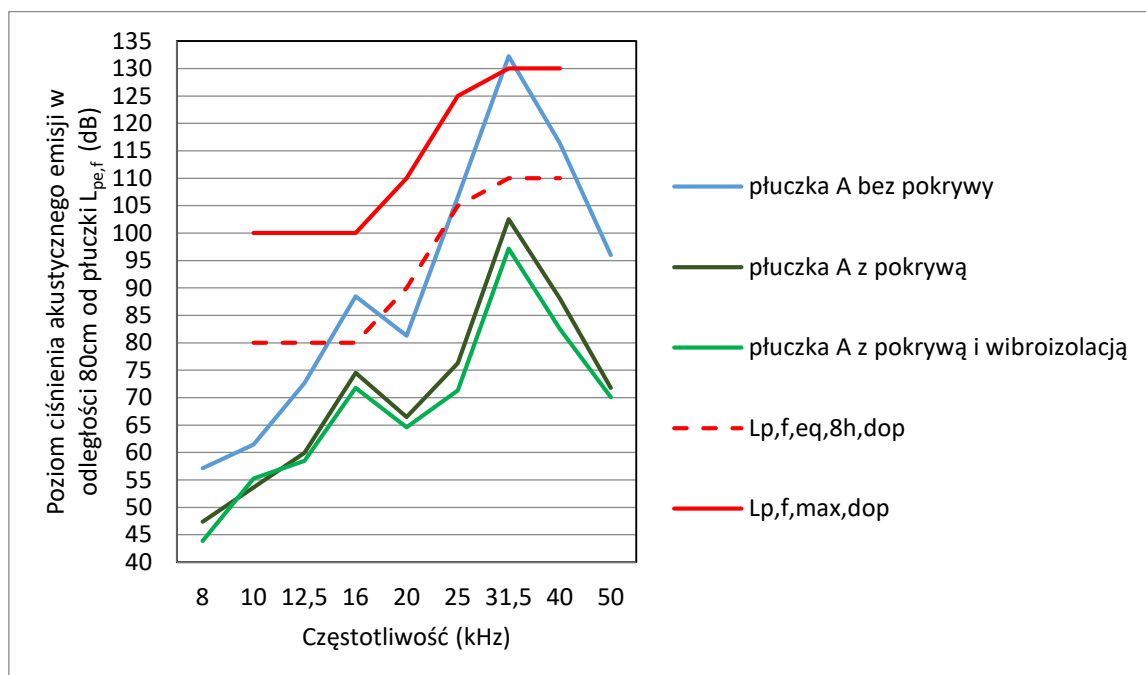


Rys. 4. Izolacyjność akustyczna mocowa obudowy z otworem (dla izolacyjności akustycznej bez otworu 40 dB), w funkcji stosunku pola powierzchni otworu do pola powierzchni obudowy w % wartości cm^2/cm^2

Wynika z tego, że w momencie emisji energii ultradźwiękowej przez urządzenie obudowa dźwiękoizolacyjna powinna być szczelnie zamknięta. Jeżeli technologicznie jest to niemożliwe, to przynajmniej otwór w obudowie powinien być zasłonięty ekranem akustycznym znajdującym się między otworem, a pracownikiem (ze szczególnym uwzględnieniem jego głowy i tych części ciała pracownika, które znajdują się najbliżej do otworu obudowy). Jednocześnie należy zastosować pokrycie wewnątrz obudowy materiałem dźwiękochłonnym. Jeżeli obudowa ma otwór np. wentylacyjny, to konieczne jest wykonanie tłumika akustycznego (w zakresie częstotliwości 10-40 kHz może to być bardzo prosty tłumik labiryntowy, wymuszający dwa odbicia przechodzącej przez niego fali akustycznej).

Wpływ szczelności obudowy na izolacyjność akustyczną mocową pokazano także na rys. 5, na którym podano zmierzone wartości poziomu ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości z zakresu 10-40 kHz w odległości 80 cm nad płuczką ultradźwiękową (stanowisko pracy). Przedstawiono wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego dla urządzenia do mycia detali bez

i z fabryczną pokrywą (metalowa leżąca swobodnie na górnej powierzchni urządzenia) i pokrywą z uszczelką stanowiącą wibroizolację.



Rys. 5. Poziomy poziom ciśnienia akustycznego emisji $L_{p,e,f}$ w odległości 80 cm od płuczki ultradźwiękowej bez fabrycznej pokrywy, z pokrywą oraz z pokrywą i elastyczną uszczelką między pokrywą, a górną powierzchnią płuczki ($L_{p,f,eq,8h,dop}$ – dopuszczalny równoważny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych f , odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy, $L_{p,f,max,dop}$ – dopuszczalny maksymalny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych f)

VI.

W przypadku, gdy ścianki obudowy lub ich fragmenty są wykonane z różnych materiałów, to największy wpływ na wypadkową izolacyjność akustyczną będą miały te fragmenty, których izolacyjność akustyczna jest najmniejsza.

Przykład: W obudowie dźwiękoizolacyjnej znajduje się okno. Obudowa jest wykonana z blachy aluminiowej o grubości 2 mm (izolacyjność akustyczna mocowa np. dla tercjowego pasma częstotliwości 31,5 kHz wynosi 40 dB). W ściance obudowy znajduje się okno z pleksi (izolacyjność akustyczna mocowa dla tego samego pasma częstotliwości wynosi 39,7 dB). Różnica wartości izolacyjności akustycznych obu materiałów to 0,3 dB. Znaczy to, że obudowę można traktować, jako jednorodną pod względem izolacyjnych właściwości akustycznych, o izolacyjności akustycznej mocowej ok. 40 dB (w tym paśmie częstotliwości). Gdyby jednak ścianki aluminiowe obudowy od wewnątrz były pokryte pianką poliuretanową o grubości 15 mm, to wówczas część aluminiowa z wyściółką będzie miała izolacyjność akustyczną mocową ok. 60 dB, a okno nadal 39,7 dB. Wówczas różnica wartości izolacyjności akustycznych mocowych obu materiałów to 20,3 dB. Znaczy to, że obudowy nie można byłoby traktować jako jednorodnej pod względem izolacyjnych właściwości akustycznych, a izolacyjność akustyczna mocowa obudowy z oknem będzie zależała od stosunku pola powierzchni okna do pola powierzchni całej obudowy oraz izolacyjności akustycznej okna i ścianek obudowy.