

Metoda pomiarowo-obliczeniowa skuteczności ochrony akustycznej obudów dźwiękoizolacyjnych źródeł w zakresie częstotliwości 20 – 40 kHz

dr inż. Witold Mikulski

2018 r.

Streszczenie

Opisano metodę pomiarowo-obliczeniową określania skuteczności ochrony akustycznej obudów dźwiękoizolacyjnych źródeł w zakresie częstotliwości 20 – 40 kHz. Wielkościami określającymi skuteczność obudów są: izolacyjność akustyczna mocowa oraz izolacyjność akustyczna ciśnieniowa. Wyznacza się je z pomiarów poziomu mocy akustycznej i poziomu ciśnienia akustycznego emisji źródła wzorcowego: bez obudowy i w obudowie. Właściwości obudów określa się w zakresie częstotliwości 20-40 kHz (dotychczas określa się je w zakresie częstotliwości do 10 kHz). Metoda umożliwi ocenę akustyczną obudów i elementów obudów, co umożliwi odpowiednie ich zastosowanie w urządzeniach emitujących hałas ultradźwiękowy.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. Zrealizowano w ramach 2 etapu (2018) Zadania 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.

Metoda pomiarowo-obliczeniowa określania skuteczności ochrony akustycznej obudów dźwiękoizolacyjnych źródeł w zakresie częstotliwości 20 – 40 kHz

1. Wstęp

Metoda określania skuteczności ochrony akustycznej obudów dźwiękoizolacyjnych źródeł w zakresie częstotliwości 20 – 40 kHz polega na pomiarowo-obliczeniowym określeniu dwóch wielkości akustycznych: izolacyjności akustycznej mocowej $D_{w,f}$ oraz izolacyjności akustycznej ciśnieniowej $D_{p,f}$. Wyznacza się je z pomiarów mocy akustycznej i poziomu ciśnienia akustycznego emisji źródła wzorcowego. Pomiar przeprowadza się metodą tłumienia wtrącenia (tj. poprzez pomiar tych wielkości: bez obudowy i w obudowie). W pomiarach wykorzystuje się specjalne źródło wzorcowe. Właściwości obudów określa się w zakresie częstotliwości 20-40 kHz (dotychczas określa się właściwości dźwiękoizolacyjne obudów w zakresie częstotliwości do 10 kHz). Metoda umożliwi ocenę akustyczną obudów i elementów obudów, co umożliwi efektywne ich stosowanie w urządzeniach emitujących hałas ultradźwiękowy.

2. Metoda pomiarowo-obliczeniowa określania izolacyjności akustycznej mocowej w zakresie częstotliwości 20 – 40 kHz

Izolacyjność akustyczną mocową określa się z różnicy wartości zmierzonych poziomu mocy akustycznej laboratoryjnego wzorcowego źródła dźwięku: bez obudowy i w obudowie. Źródło dźwięku umieszcza się na powierzchni odbijającej, a pomiar poziomu mocy akustycznej przeprowadza się poprzez pomiar ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej półkuli nad powierzchnią odbijającą. Zaleca się, aby promień półkuli pomiarowej r był równy 1m.

Izolacyjność akustyczną mocową obudowy $D_{w,f}$, w tercjowym paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , oblicza się, w dB, ze wzoru:

$$\begin{aligned}
 D_{w,f} &= \\
 &= L_{w,bez\ obudowy,f} - L_{w,w\ obudowie,f} = \\
 &= \overline{L'_{p,bez\ obudowy,f}} - K_{1,bez\ obudowy,f} - K_{2,f} + 10 \cdot \log S + K_{air,f} \\
 &\quad - \left(\overline{L'_{p,w\ obudowie,f}} - K_{1,w\ obudowie,f} - K_{2,f} + 10 \cdot \log S + K_{air,f} \right) = \\
 &= \overline{L'_{p,bez\ obudowy,f}} - K_{1,bez\ obudowy,f} - \left(\overline{L'_{p,w\ obudowie,f}} - K_{1,w\ obudowie,f} \right) = \\
 &= \overline{L'_{p,bez\ obudowy,f}} - \overline{L'_{p,w\ obudowie,f}} + K_{1,w\ obudowie,f} \quad (1)
 \end{aligned}$$

gdzie:

$L_{w,bez\ obudowy,f}$, $L_{w,w\ obudowie,f}$ - poziom mocy akustycznej, odpowiednio bez i w obudowie, w dB,

$\overline{L'_{p,bez\ obudowy,f}}$, $\overline{L'_{p,w\ obudowie,f}}$ - średni poziom ciśnienia akustycznego na prostopadłościennym powierzchni pomiarowej, odpowiednio bez i w obudowie, w dB,

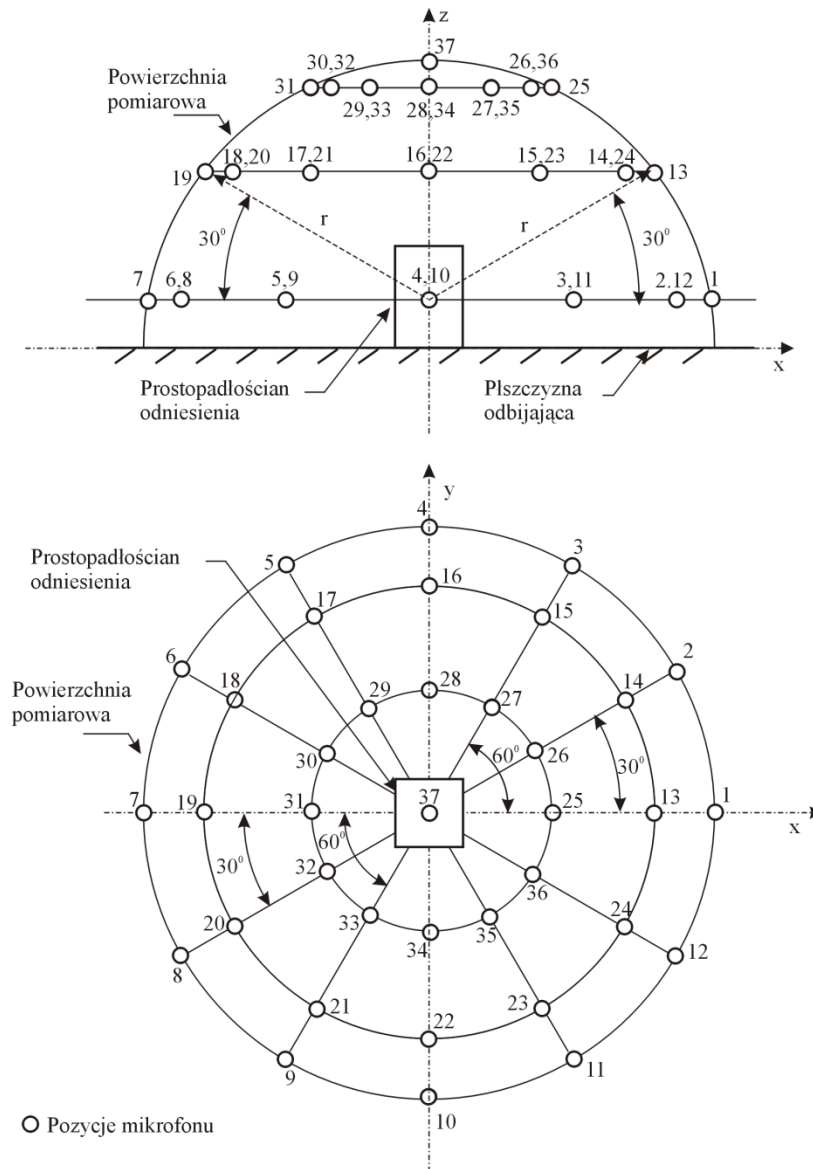
$K_{1,bez\ obudowy,f}$, $K_{1,w\ obudowie,f}$ - poprawki uwzględniające hałas tła, odpowiednio bez i w obudowie, w dB (ponieważ, w badanym pomieszczeniu, różnica średniego poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej od dźwięku źródła i tła akustycznego w rozpatrywanych pasmach częstotliwości, w przypadku pomiarów bez obudowy przekraczała 15 dB, to $K_{1,bez\ obudowy,f} \approx 0$),

$K_{2,f}$ - poprawka środowiskowa, (mimo, że poprawka $K_{2,f}$ nie jest istotna z punktu widzenia wyznaczanych wartości parametrów określających izolacyjność akustyczną, to określa się ją w celu tzw. kwalifikacji środowiska do wykonania badań), w dB,

S - pole powierzchni pomiarowej, w m^2 .

Indeks f (w całym tekście) oznacza, że daną wielkość określa się dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej: 20, 25, 31,5 i 40 kHz.

Liczba punktów pomiarowych, w których mierzy się poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej nie może być mniejsza niż 37. Dla tej liczby punkty pomiarowe można rozmieścić co 30^0 zarówno w płaszczyźnie poziomej jak pionowej (rys. 1).



Rys. 1. Położenie 37 punktów pomiarowych na powierzchni pomiarowej półkuli.

Średni poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej, oblicza się w dB, dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , ze wzoru:

$$\overline{L_{p,f}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{p,i,f}} \right) \quad (2)$$

gdzie:

n – liczba punktów pomiarowych,

$L_{p,i,f}$ – poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej w punkcie o numerze i , w dB (dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f).

Poprawkę uwzględniającą hałas tła, $K_{1,f}$, dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , oblicza się, w dB, ze wzoru:

$$K_{1,f} = -10 \cdot \lg(1 - 10^{-0,1 \cdot \Delta L_{p,f}}) \quad (3)$$

gdzie:

$$\Delta L_{p,f} = \overline{L_{p,zr,f}} - \overline{L_{p,tlo,f}} \quad (4)$$

$\overline{L_{p,zr,f}}$ - średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego, dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , na powierzchni pomiarowej, podczas gdy źródło dźwięku emituje dźwięk, w dB,

$\overline{L_{p,tlo,f}}$ - średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego, dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , na powierzchni pomiarowej, gdy źródło dźwięku nie emituje dźwięku, w dB.

Jeżeli $\Delta L_{p,f} > 15$ dB należy przyjąć, że poprawka $K_{1,f}$ jest równa zero i można pominąć poprawkę związaną z hałasem tła (jest ona pomijalnie mała).

Dla $3 \text{ dB} \leq \Delta L_{p,f} \leq 15 \text{ dB}$ należy poprawkę $K_{1,f}$ uwzględnić w obliczeniach.

Dla $\Delta L_{p,f} < 3 \text{ dB}$ nie można wystarczająco dokładnie uwzględnić wpływu tła akustycznego. W celu zwiększenia wartości tej różnicy należy: albo przybliżyć powierzchnię pomiarową do źródła dźwięku lub zmniejszyć hałas tła akustycznego.

Reasumując ze wzoru nr 1 wynika, że do określenia izolacyjności akustycznej mocowej wystarczy określenie średnich poziomów ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej (dla źródła w obudowie i bez obudowy) oraz określenie poprawki $K_{1,w \text{ obudowie},f}$ tj. dla źródła w obudowie.

W końcowej wersji wzoru 1 nie ma poprawki $K_{2,f}$ (wyruguje się w obliczeniach). Jednakże, żeby w celu zapewnienia, że pomiary przeprowadza się w warunkach, gdy energia akustyczna bezpośrednio docierająca ze źródła dźwięku znacznie przekracza energię fal odbitych, wartości tej poprawki powinny być mniejsze niż 4 dB ($K_{2,f} \leq 4 \text{ dB}$; analogicznie jak w PN-EN ISO 9295:2015-09). W przypadku, gdy niespełnione są warunki na środowisko badawcze (za duża wartość poprawki $K_{2,f}$, tzn. $K_{2,f} > 4 \text{ dB}$) promień r powierzchni pomiarowej należy zmniejszyć poniżej zalecanego 1 m, ale z zachowaniem, że $r \geq 2d_0$ (d_0 - przekątna prostopadłościanu obudowy) oraz $r \geq 0,5 \text{ m}$.

Poprawkę środowiskową $K_{2,f}$, w pomieszczeniach dla półkulistej powierzchni pomiarowej oblicza się, w dB, dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , ze wzoru:

$$K_{2,f} = 10 \cdot \lg \left(1 + 4 \frac{S}{A_f} \right) \quad (5)$$

gdzie:

S - pole powierzchni pomiarowej, w metrach kwadratowych (dla półkulistej powierzchni pomiarowej o promieniu r , $S=2\pi r^2$), w m^2 ,

A_f - chłonność akustyczna pomieszczenia, którą oblicza się, w m^2 , dla częstotliwości f , ze wzoru:

$$A_f = 0,16 \frac{V}{T_f} \quad (6)$$

gdzie:

V - objętość pomieszczenia badawczego, w m^3 ;

T_f - czas pogłosu pomieszczenia, dla częstotliwości f , w sekundach.

Z tego wynika, że poprawkę środowiskową dla półkulistej powierzchni pomiarowej o promieniu r , $K_{2,f}$, oblicza się dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , w dB, ze wzoru:

$$K_{2,f} = 10 \cdot \lg \left(1 + 4 \frac{S}{A_f} \right) = 10 \cdot \lg \left(1 + 24,8 \frac{S \cdot T_f}{V} \right) \approx 10 \cdot \lg \left(1 + 156 \frac{r \cdot T_f}{V} \right) \quad (7)$$

Oznaczenia jak we wzorze 6.

Normy związane :

- PN-EN ISO 11546-2:2010 Akustyka - Wyznaczanie dźwiękoizolacyjnych właściwości obudów -- Część 2: Pomiary w warunkach terenowych.
- PN-EN ISO 15667:2004 Akustyka - Wytyczne dotyczące ograniczania hałasu przez obudowy i kabiny.
- PN-EN ISO 3744:2011, Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej i poziomów energii akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metody techniczne stosowane w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk.
- PN-EN ISO 3746:2011, Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej i poziomów energii akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metoda orientacyjna z zastosowaniem otaczającej powierzchni pomiarowej nad płaszczyzną odbijającą dźwięk.
- PN-EN ISO 9295:2015-09 Akustyka -- Wyznaczanie poziomów mocy hałasu wysokiej częstotliwości emitowanego przez maszyny i urządzenia.

3. Metoda pomiarowo-obliczeniowa określania izolacyjności akustycznej ciśnieniowej w zakresie częstotliwości 20 – 40 kHz

Izolacyjność akustyczną ciśnieniową określa się z różnicy wartości zmierzonych poziomów ciśnienia akustycznego emisji laboratoryjnego wzorcowego źródła dźwięku: bez obudowy i w obudowie. Źródło dźwięku umieszcza się na powierzchni specjalnego stolika pomiarowego rys.1, a pomiar poziomu ciśnienia akustycznego przeprowadza się na stanowisku pracy i/lub w punkcie odniesienia. Ze względów jednoznaczności wyników pomiarów zaleca się przyjąć dodatkowo punkt odniesienia na wysokości 1,5m nad podłogą nad krawędzią stołu pomiarowego. Wówczas otrzyma się wartości izolacyjności akustycznej ciśnieniowej: na stanowisku pracy i/lub w punkcie odniesienia



Rys. 1. Stolik pomiarowy wg serii norm PN-EN ISO 11200.

Izolacyjność akustyczną ciśnieniową obudowy $D_{p,f}$ w trzecim paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , oblicza się, w dB, ze wzoru:

$$\begin{aligned}
 D_{p,f} &= \\
 &= L_{p,bez\ obudowy,f} - L_{p,w\ obudowie,f} = \\
 &= L'_{p,bez\ obudowy,f} - K_{1,bez\ obudowy,f} - K_{3,f} - (L'_{p,w\ obudowie,f} - K_{1,w\ obudowie,f} - K_{3,f}) = \\
 &= L'_{p,bez\ obudowy,f} - K_{1,bez\ obudowy,f} - (L'_{p,w\ obudowie,f} - K_{1,w\ obudowie,f}) = \\
 &= L'_{p,bez\ obudowy,f} - L'_{p,w\ obudowie,f} + K_{1,w\ obudowie,f} \quad (8)
 \end{aligned}$$

gdzie:

$L_{p,bez\ obudowy,f}$ $L_{p,w\ obudowie,f}$ - poziom ciśnienia akustycznego emisji, odpowiednio bez i w obudowie, w dB,

$L'_{p, bez obudowy}$, $L'_{p, w obudowie}$ - poziom ciśnienia akustycznego zmierzony, odpowiednio bez i w obudowie, w rozpatrywanych pasmach częstotliwości, w dB,

$K_{1, bez obudowy, f}$, $K_{1, w obudowie, f}$ - poprawki uwzględniające hałas tła, odpowiednio bez i w obudowie (ponieważ, w badanym pomieszczeniu, różnica poziomu ciśnienia akustycznego w określonym miejscu od dźwięku źródła i od dźwięku tła akustycznego w rozpatrywanych pasmach częstotliwości, w przypadku pomiarów bez obudowy przekraczała 15 dB, to $K_{1, bez obudowy, f} \approx 0$), w dB,

$K_{3, f}$ - poprawka środowiskowa, w dB (mimo, że poprawka $K_{3, f}$ nie jest istotna z punktu widzenia wyznaczanych wartości określanych parametrów, to określa się ją w celu tzw. kwalifikacji środowiska do wykonanych badań).

Indeks f (w całym tekście) oznacza, że daną wielkość określa się dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej: 20, 25, 31,5 i 40 kHz.

Poprawkę uwzględniającą hałas tła, $K_{1, f}$ dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , oblicza się, w dB, ze wzoru:

$$K_{1, f} = -10 \cdot \lg(1 - 10^{-0,1 \cdot \Delta L_{p, f}}) \quad (9)$$

gdzie:

$$\Delta L_{p, f} = L'_{p, f} - L''_{p, f} \quad (10)$$

$L'_{p, f}$ - poziom ciśnienia akustycznego, dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , gdy źródło dźwięku emituje dźwięk, w dB,

$L''_{p, f}$ - poziom ciśnienia akustycznego, dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , gdy źródło dźwięku nie emituje dźwięku, w dB,

Jeżeli $\Delta L_{p, f} > 15$ dB należy przyjąć, że $K_{1, f}$ jest równa zero tj. nie uwzględniać poprawki związanej z hałasem tła (jest pomijalnie mała).

Dla $3 \text{ dB} \leq \Delta L_{p, f} \leq 15$ dB należy poprawkę $K_{1, f}$ uwzględnić w obliczeniach.

Dla $\Delta L_{p, f} < 3$ dB nie można wystarczająco dokładnie uwzględnić wpływu tła akustycznego. W celu zwiększenia wartości tej różnicy należy zmniejszyć hałas tła akustycznego.

Reasumując ze wzoru nr 8 wynika, że do określenia izolacyjności akustycznej ciśnieniowej wystarczy określenie poziomów ciśnienia akustycznego w punkcie odniesienia (dla źródła w obudowie i bez obudowy) oraz określenie poprawki $K_{1, w obudowie, f}$ tj. dla źródła w obudowie.

W końcowej wersji wzoru 8 nie ma poprawki $K_{3, f}$ (wyruguje się w obliczeniach). Jednakże, żeby w celu zapewnienia, że pomiary przeprowadza się w warunkach, gdy energia akustyczna bezpośrednio docierająca ze źródła dźwięku znacznie przekracza energię fal odbitych, wartości tej poprawki powinny być mniejsze niż 2 dB ($K_{3, f} \leq 2$ dB; analogicznie jak w PN-EN ISO 11201).

Poprawkę środowiskową, $K_{3,f}$, w pomieszczeniach, oblicza się, w dB, dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , ze wzoru:

$$K_{3,f} = 10 \cdot \lg \left(1 + 4 \frac{S}{A_f} \right) \quad (11)$$

gdzie:

$S = 2\pi d^2$, w m^2 ,

d - odległość stanowiska pracy od środka źródła dźwięku, w metrach,

A_f - chłonność akustyczna pomieszczenia, oblicza się, w m^2 , dla częstotliwości f , ze wzoru:

$$A_f = 0,16 \frac{V}{T_f} \quad (12)$$

gdzie:

V - objętość pomieszczenia badawczego, w m^3 ;

T_f - czas pogłosu pomieszczenia, dla częstotliwości f , w sekundach.

Z tego wynika, że poprawkę środowiskową, $K_{3,f}$, oblicza się, w dB, dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej f , ze wzoru:

$$K_{3,f} = 10 \cdot \lg \left(1 + 4 \frac{S}{A_f} \right) = 10 \cdot \lg \left(1 + 24,8 \frac{S \cdot T_f}{V} \right) \approx 10 \cdot \lg \left(1 + 156 \frac{d \cdot T_f}{V} \right) \quad (13)$$

Oznaczenia jak we wzorze 12.

Normy związane :

- PN-EN ISO 11546-2:2010 Akustyka - Wyznaczanie dźwiękoizolacyjnych właściwości obudów -- Część 2: Pomiary w warunkach terenowych.
- PN-EN ISO 15667:2004 Akustyka - Wytyczne dotyczące ograniczania hałasu przez obudowy i kabiny.
- PN-EN ISO 11201:2012, Akustyka -- Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia -- Wyznaczanie poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych określonych miejscach w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk z pomijalnymi poprawkami środowiskowymi.
- PN-EN ISO 11202: 2012, Akustyka -- Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia -- Wyznaczanie poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych określonych miejscach z zastosowaniem przybliżonych poprawek środowiskowych.