

**Oddział Górnośląski
Polskiego Towarzystwa Akustycznego
Komitet Akustyki Polskiej Akademii Nauk**

**Materiały XLVII Szkoły Zimowej
Akustyki Środowiska
i Wibroakustyki**

**Gliwice-Szczyrk
2019-02-25 – 03-01**

Organizatorzy konferencji:

Oddział Górnośląski Polskiego Towarzystwa Akustycznego
Komitet Akustyki Polskiej Akademii Nauk

Redakcja Materiałów Szkoły: dr inż. Roman Bukowski

Artykuły wydrukowano na podstawie maszynopisów dostarczonych przez autorów
bez wprowadzania zmian w ich treść.

Wydawca:

Polskie Towarzystwo Akustyczne – Oddział Górnośląski
ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice
<https://ogpta.pl/index.php/sz-asiw2>

ISBN: 978-83-931744-9-2

Drukarnia: "Cyfrodruk", ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice

Komitety Programowy
XLVI Szkoły Zimowej
Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk, 2018-02-26 – 03-02

prof. dr hab. inż. Wojciech BATKO (AGH)

dr hab. inż. Grażyna GRELOWSKA (PGd)

prof. zw. dr hab. Edward HOJAN (UAM)

prof. dr hab. inż. Jan KAŻMIERCZAK (PŚI)

dr hab. Janusz KOMPAŁA (GIG)

prof. dr hab. inż. Eugeniusz KOZACZKA (PGd)

prof. dr hab. inż. Marek PAWEŁCZYK (PŚI)

dr hab. inż. Dariusz PLEBAN (CIOP – PIB)

dr inż. Krzysztof RUDNO-RUDZIŃSKI (PW r)

dr hab. Ewa SKRODZKA (UAM)

prof. dr hab. inż. Stefan WEYNA (ZUT)

prof. dr hab. inż. Jerzy WICIAK (AGH)

Komitety Organizacyjny
XLVI Szkoły Zimowej
Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk, 2019-02-25 – 03-01

Koordinator Szkół Zimowych, Przewodniczący Oddziału Górnośląskiego PTA

dr hab. inż. Franciszek WITOS

Skarbnik Szkół Zimowych, Skarbnik Oddziału Górnośląskiego PTA

dr inż. Aneta OLSZEWSKA

Sekretarz Szkół Zimowych, Sekretarz Oddziału Górnośląskiego PTA

dr hab. inż. Dariusz BISMOR

Chairman Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki

dr inż. Roman BUKOWSKI

XLVI Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki

Szczyrk, 2019-02-25 – 03-01

SPIS TREŚCI

<i>Autor(rzy)/Tytuł</i>	<i>Str.</i>
1. MIKULSKI Witold <i>Wyniki badań hałasu w otwartym pomieszczeniu biurowym – case study w pomieszczeniu o dużej chłonności akustycznej</i>	7
2. MIKULSKI Witold <i>Izolacyjność akustyczna obudów w zakresie częstotliwości 8-50 khz</i>	19
3. MORZYŃSKI Leszek <i>Rozwój serwisu internetowego „Bezpieczniej” wspomagającego profilaktykę zagrożeń hałasem, drganiami mechanicznymi i innymi czynnikami szkodliwymi środowiska pracy</i>	31
4. NURZYŃSKI Jacek <i>Właściwości akustyczne pojedynczych ścian szklanych</i>	37
5. PLEBAN Dariusz, RADOSZ Jan, SMAGOWSKA Bożena <i>Hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy – metoda pomiaru, ocena ryzyka zawodowego i zalecenia profilaktyki</i>	45
Indeks Nazwisk Autorów	55
Dodatek 1 – Szkolenie firmy SVANTEK	57
Dodatek 2 – Z historii – XLVI SZ ASiW	61
Dodatek 3 – Program XLVII SZ AŚiW	69

WYNIKI BADAŃ HAŁASU W OTWARTYM POMIESZCZENIU BIUROWYM – CASE STUDY W POMIESZCZENIU O DUŻEJ CHŁONNOŚCI AKUSTYCZNEJ

Witold MIKULSKI

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
e-mail: wimik@ciop.pl

1. WSTĘP

W ostatnich latach obserwuje się wyraźny wzrost liczby pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy w tzw. pomieszczeniach otwartych (wielkoprzestrzennych). Można tutaj ze względu na charakter wykonywanej pracy wyróżnić trzy grupy pomieszczeń: pomieszczenia otwarte do obsługi klientów, pomieszczenia otwarte konsultantów telefonicznych oraz pomieszczenia otwarte biurowe (biurowe open-space). Wielkość i wyposażenie tych pomieszczeń oraz liczba i aranżacja znajdujących się w nich stanowisk pracy jest uwarunkowana charakterem wykonywanej pracy. W artykule rozpatruje się stanowiska pracy, w stosunku do których przyjmuje się najwyższe wymagania akustyczne, tj. stanowiska pracy w pomieszczeniach biurowych open-space. Są to pomieszczenia o kubaturze 250-1000 m³ i wysokości 3-3,5m, w których znajduje się od ok. 10 do 70 stanowisk pracy. W pomieszczeniach tych powinna być zapewniona duża chłonność akustyczna (krótki czas pogłosu) oraz powinna być zapewniona separacja akustyczna między stanowiskami pracy. Najważniejszą ich właściwością jest zapewnienie w nich akceptowalnie małego hałasu. W artykule przedstawiono wyniki badań hałasu w typowym pomieszczeniu biurowym open-space. Charakteryzowano właściwości akustyczne tego pomieszczenia oraz podano wyniki pomiarów hałasu w tym pomieszczeniu. Oceniono hałas na stanowiskach pracy ze względu na ochronę słuchu pracowników oraz możliwość realizacji przez nich podstawowych funkcji pracy.

2. ZAKRES BADAŃ, METODA BADAŃ I KRYTERIA OCENY

Badania dotyczą pomiarów i oceny hałasu na stanowiskach pracy w otwartym pomieszczeniu biurowym. Badania przeprowadzono metodami pomiarowymi. Obejmowały one dwa etapy: etap I – pomiary właściwości akustycznych pomieszczenia, etap II – pomiary hałasu na stanowiskach pracy.

Etap I

Właściwości akustyczne pomieszczenia określono wielkościami:

1. czas pogłosu T (w oktaowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 0,5; 1 i 2 kHz),
2. chłonność akustyczna pomieszczenia A i chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do 1 m² rzutu pomieszczenia, A_{1m^2} (w oktaowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 0,5; 1 i 2 kHz),
3. promień rozproszenia r_D ,
4. poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m (od źródła mowy) $L_{p,A,S,4m}$,
5. różnica poziomów dźwięku A mowy w odległościach 1 i 2 m od źródła $D_{2,S}$.

Pomiar czas pogłosu T wykonano metodą techniczną wg. PN-EN ISO 3382-2:2010 [1]. Chłonność akustyczną pomieszczenia A obliczono wg wzoru Sabina z wartości czasu pogłosu. Wartość minimalną dopuszczalną przyjęto z PN-B-02151-4:2015 [2] i wynosi ona 1,1 m² odniesiona do 1 m² rzutu pomieszczenia.

Pomiary promienia rozproszenia r_D , poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m (od źródła mowy) $L_{p,A,S,4m}$ i różnicy poziomu dźwięku A mowy w odległościach 1 i 2 m od źródła $D_{2,S}$, wykonano wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [3]. Otwarte pomieszczenia biurowe mają dobre właściwości akustyczne gdy: promień rozproszenia r_D ma wartość nie większą niż 5 m, poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m $L_{p,A,S,4m}$ ma wartość nie większą niż 48 dB, różnica poziomu dźwięku A mowy w odległościach 1 i 2 m od źródła $D_{2,S}$ ma wartość nie mniejszą niż 7 dB.

Etap II

Pomiary hałasu na stanowiskach pracy obejmowały:

- pomiary widma hałasu,
- pomiary przebiegów czasowych,
- pomiary do oceny hałasu na czterech stanowiskach pracy (poziomu ekspozycji na hałas, maksymalnego dźwięku A , szczytowego poziomu dźwięku C oraz równoważnego poziomu dźwięku A).

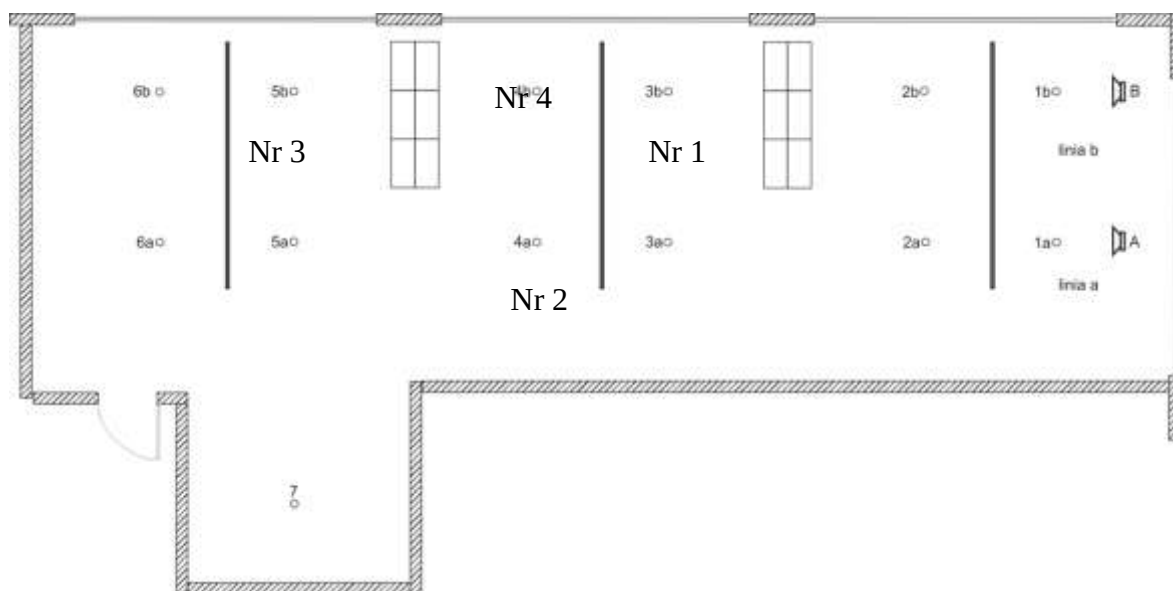
Pomiary przeprowadzono metodami określonymi w PN EN ISO 9612 [4] i PN-N-01307 [5]. Poziomy dopuszczalne hałasu na czterech stanowiskach pracy określono wg Rozporządzenia Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [6] oraz PN-N-01307 [5].

Wynoszą one:

- ze względu na ochronę słuchu (dla ogółu pracowników) [6]:
 - poziom ekspozycji na hałas – 85 dB
 - maksymalny poziom dźwięku A – 115 dB,
 - szczytowy poziom dźwięku C – 135 dB,
- ze względu na możliwość realizacji podstawowych funkcji pracy [5]:
 - równoważny poziom dźwięku A - 55 dB.

3. WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNE BADANEGO POMIESZCZENIA – ETAP I

Badania przeprowadzono w otwartym pomieszczeniu biurowym o kubaturze 295 m^3 (Rys. 1). W pomieszczeniu znajdowało się 12 stanowisk pracy oznaczonych 1a-6a i 1b-6b. Badania przeprowadzono na stanowiskach pracy oznaczonych dalej numerami 1-4 (są to odpowiednio stanowiska 3b, 4a, 5b i 4b; Rys. 1).



Rys. 1. Szkic rzutu pomieszczenia, w którym przeprowadzono pomiary ekspozycji na hałas.

Wyniki pomiarów danych charakteryzujących właściwości akustyczne pomieszczenia (wielkości i wartości dopuszczalne podano w rozdziale poprzednim) podano w Tab. 1.

Wyniki pomiarów czasu pogłosu dowodzą spełnienie przez rozpatrywane pomieszczenie obligatoryjnego wg PN-B-02151-4:2015 wymogu na chłonność akustyczną pomieszczenia.

Poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m $L_{p,A,S,4m}$ spełnia wymogi dla pomieszczeń o dobrej akustyce PN-EN ISO 3382-3:2012 [3]. Promień rozproszenia r_D i różnica poziomów dźwięku A mowy w odległościach 1 i 2 m od źródła $D_{2,S}$ nie spełniają wymogów dla

pomieszczeń o dobrej akustyce wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [3], jednakże wartości tych wielkości są w przedziałach typowych wartości dla rozpatrywanych pomieszczeń.

Tabela 1. Wyniki pomiarów danych charakteryzujących właściwości akustyczne pomieszczenia

Wielkość charakteryzująca właściwości akustyczne pomieszczenia		Wymagania wg [2]	Dobra akustyka wg [3]	Typowe wartości wg [3]	Wyniki pomiarów
Czas pogłosu T , s	0,5 kHz				0,28
	1 kHz				0,29
	2 kHz				0,37
Chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do 1 m ² rzutu pomieszczenia, A_{1m2} , dB	0,5 kHz				1,76
	1 kHz	$A_{1m2} \geq 1,1$			1,69
	2 kHz				1,30
Promień rozproszenia r_D , m			$r_D \leq 5$	$5 < r_D \leq 10$	6,1-7,2
Poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m od źródła $L_{p,A,S,4m}$, dB			$L_{p,A,S,4m} \leq 48$	$48 < L_{p,A,S,4m} \leq 50$	45,1-46,1
Różnica poziomu dźwięku A mowy w odległościach 1 i 2 m od źródła, $D_{2,S}$, dB			$7 \leq D_{2,S}$	$5 \leq D_{2,S} < 7$	5,2-5,3

Reasumując, pomieszczenie spełnia wymogi obligatoryjne, a właściwości akustyczne są na granicy dobrych. (Z innych badań autora, w tym [7-8], wynika, że wśród kilkunastu innych pomieszczeń rozpatrywane pomieszczenie miało najlepsze warunki akustyczne.)

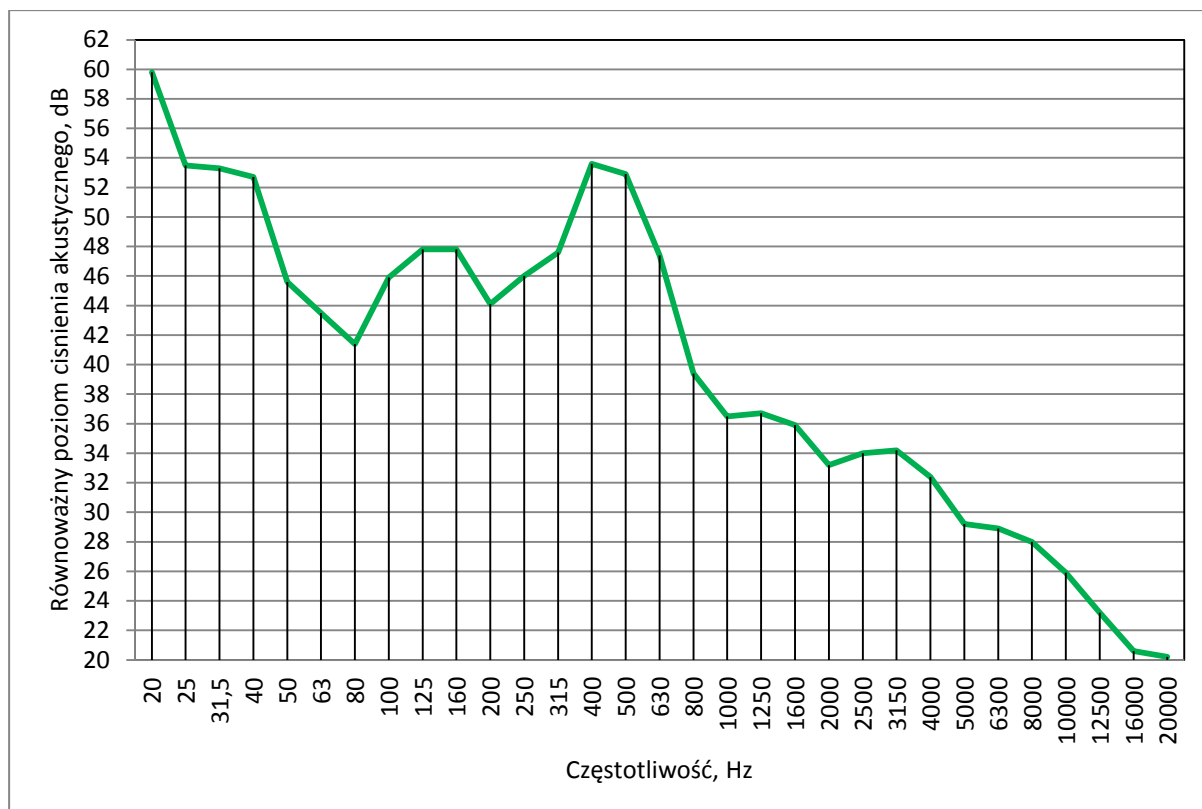
4. WYNIKI BADAŃ HAŁASU – ETAP II

4.1. Pomiary widma hałasu

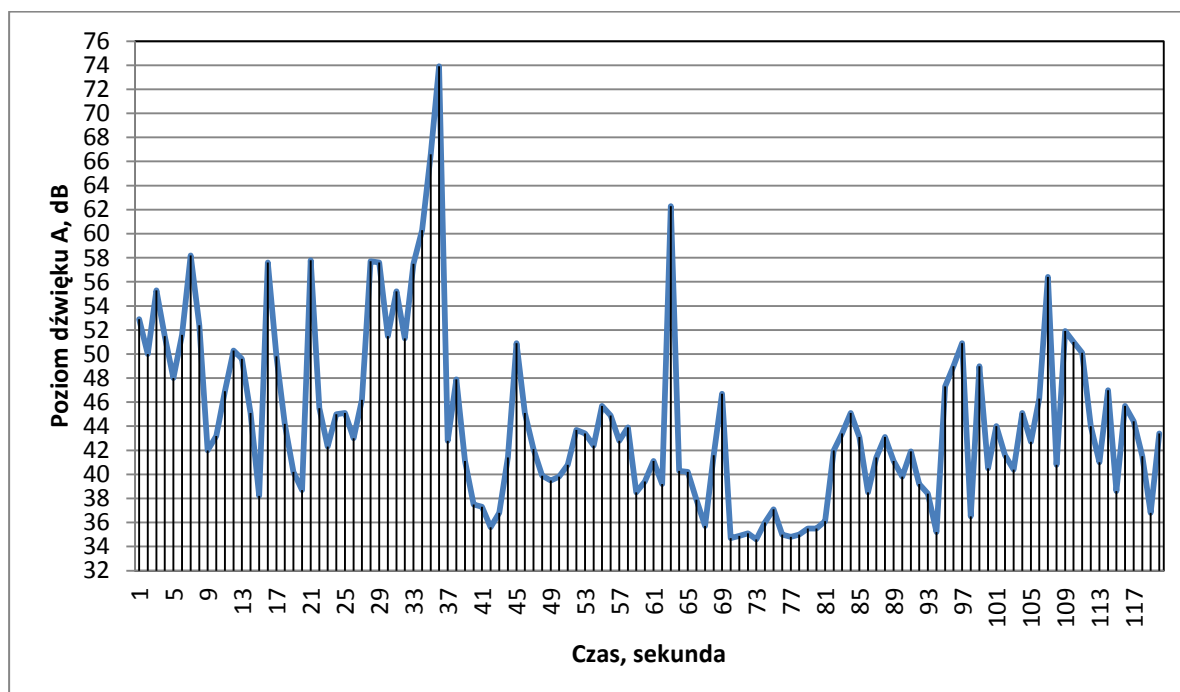
Na Rys. 2 podano wynik pomiaru widma poziomu ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości na stanowisku pracy nr 4 z pomiaru dwugodzinnego. Największe wartości poziomu ciśnienia akustycznego występują w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 20 Hz (60 dB), 125 i 160 Hz (48 dB) oraz 400 i 500 Hz (53-54 dB). Największy wpływ na poziom dźwięku A będą miały dźwięki w paśmie częstotliwości 400-500 Hz.

4.2. Pomiary przebiegów czasowych

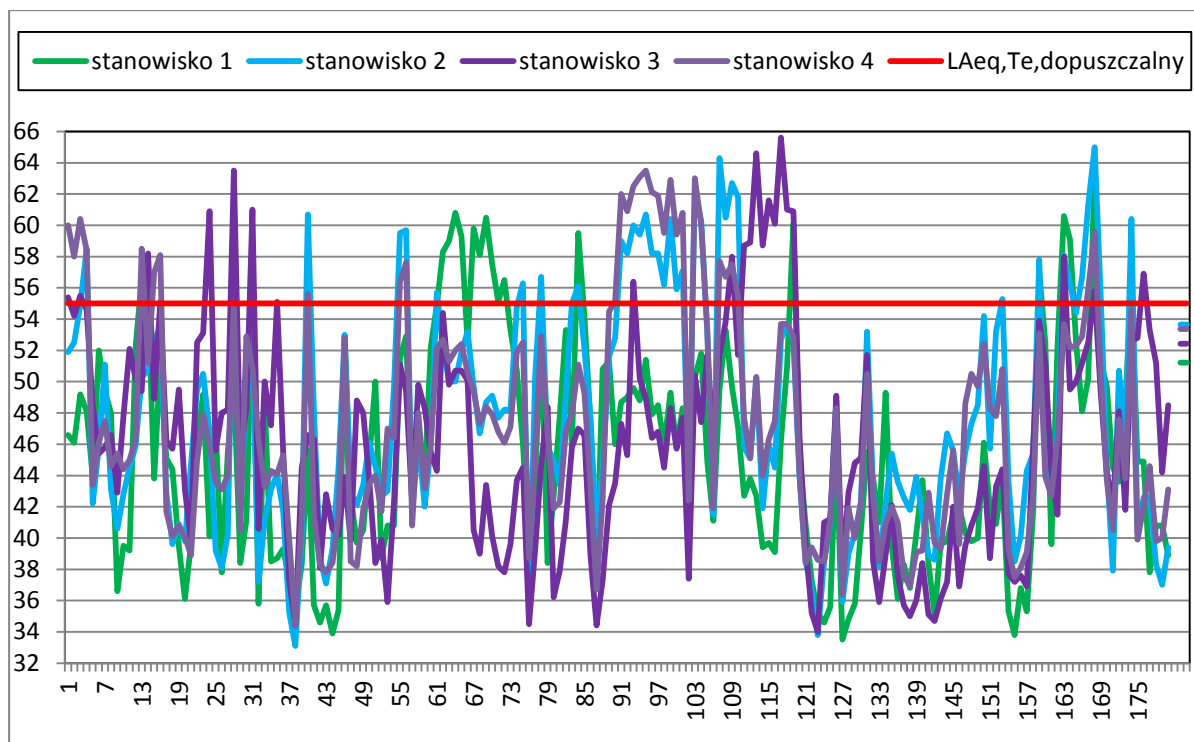
Przebiegi czasowe jednosekundowych poziomów dźwięku A w czasie 2 minut, na stanowisku pracy nr 1 pokazano na Rys. 3. Z rysunku wynika, że hałas na rozpatrywanym stanowisku pracy jest bardzo mocno zmienny w czasie (tzn. jest hałasem o poziomie nieustalonym). Wartości poziomu dźwięku A zawierają się w zakresie 34,6-73,9 dB.



Rys. 2. Wyniki pomiarów widma hałasu w tercjowych pasmach częstotliwości w rozpatrywanym otwartym pomieszczeniu biurowym (pomiar 2 h)



Rys. 3. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku A (próbkowanie 1 s, czas pomiaru 2 min) na stanowisku pracy nr 1 ($L_{Aeq,2min} = 55,2$ dB)



Rys. 4. Wyniki pomiarów równoważnych jednodominutowych poziomów dźwięku A (próbki 1 minutowe, czas pomiaru 3 godziny).

Na Rys. 4 pokazano przebiegi czasowe jednodominutowych poziomów dźwięku A na czterech stanowiskach pracy (czas pomiaru 3 godziny).

W Tab. 2. Podano wyniki obliczeń wielkości statystycznych charakteryzujących te przebiegi. Wyniki wskazują, że nie tylko mediany, ale nawet kwartyle 3 (tj. 75% wyników) mają mniejsze wartości niż dopuszczalna ze względu na możliwość realizacji podstawowych zadań pracy tj. 55 dB. Statystycznie przez ponad ok. 75% czasu poziom dźwięku jest poniżej 50-53 dB. Przez 50% czasu (między kwartylami 1 i 2) poziom dźwięku A zawiera się w zakresie: stanowisko 1 i 3 ok. 40-50 dB, 2 i 4 ok. 42-53 dB. Wartości poziomu dźwięku A na czterech stanowiskach pracy zawierają się w zakresie: mediany 45-46,1 dB; średnie (arytmetyczne) 45,4-47,7 dB; równoważne 51,2-53,7 dB.

Tabela 2. Wielkości statystyczne charakteryzujące jednodominutowe przebiegi czasowe pokazane na Rys. 4.

Nr stanowiska	$L_{A,min}$, dB	Kwartyl 1, dB	Mediana, dB	Kwartyl 3, dB	$L_{A,max}$, dB	$L_{A,sr}$, dB	Sd , dB	$L_{Aeq,3h}$, dB
1	33,5	39,6	45,0	50,2	63,4	45,41	7,07	51,2
2	33,1	42,2	46,0	53,1	65,0	47,71	7,32	53,7
3	34,0	40,3	45,7	50,3	65,6	46,10	7,11	52,4
4	34,4	41,7	46,1	52,4	63,5	47,33	7,11	53,4

Oznaczenia:

$L_{A,min}$ – najmniejsza z wartości równoważnych 1 min. poziomów dźwięku A w czasie 3 h, dB,

$L_{A,max}$ – największa z wartości równoważnych 1 min. poziomów dźwięku A w czasie 3 h, dB,

kwartyl 1 – (25 percentyl) z wartości równoważnych 1 min. poziomów dźwięku A w czasie 3 h, dB,

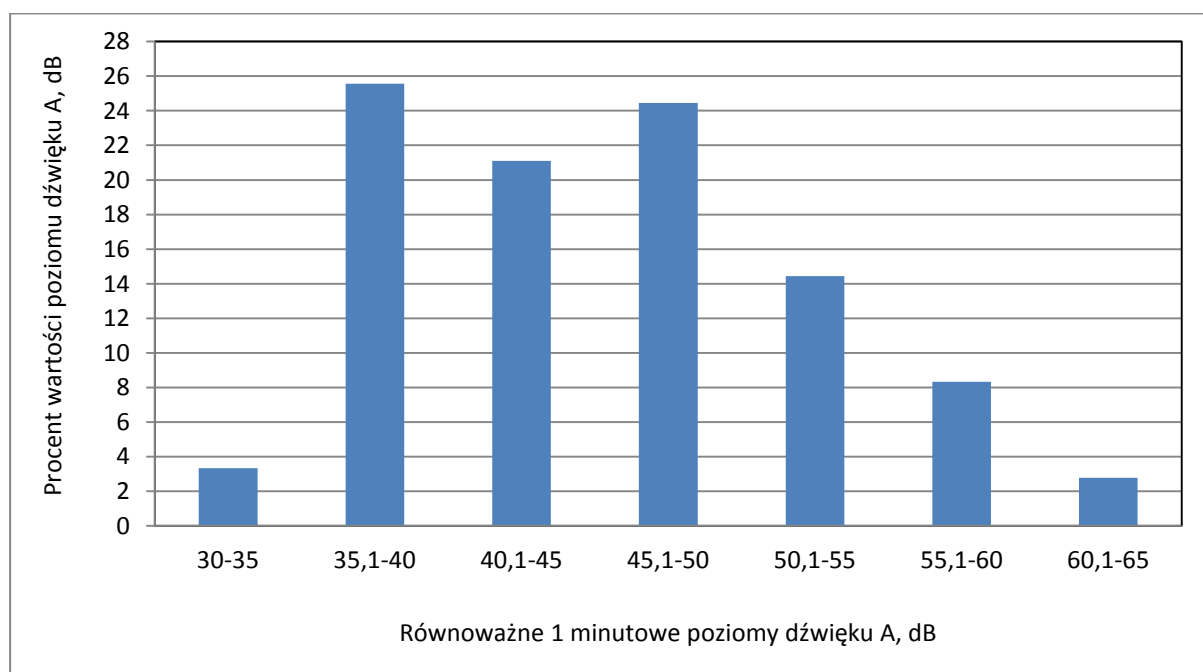
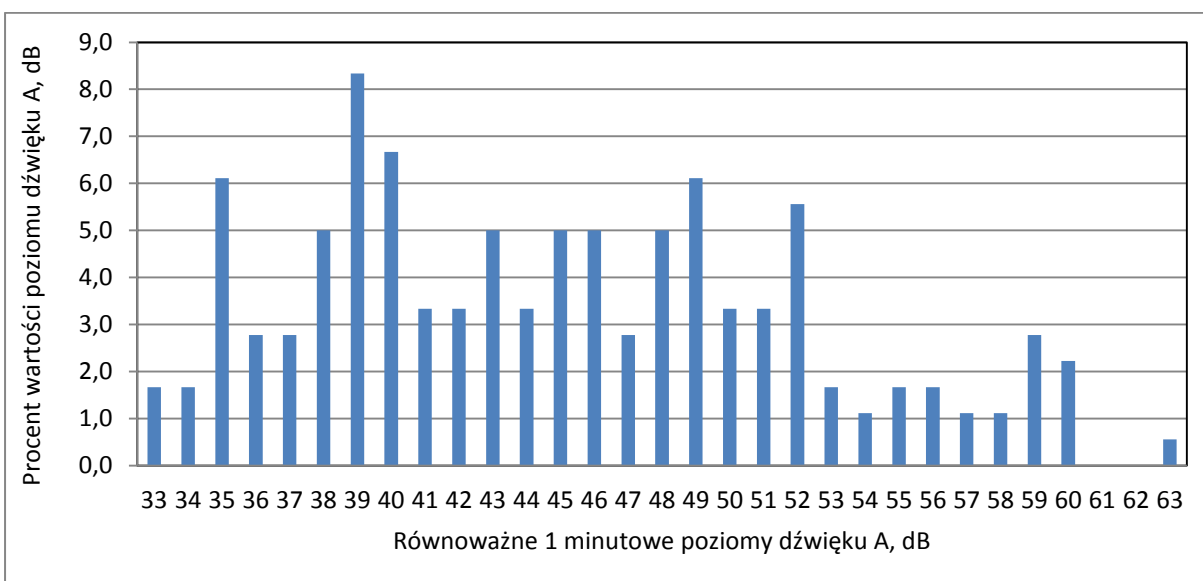
kwartyl 3 – (75 percentyl) z wartości równoważnych 1 min. poziomów dźwięku A w czasie 3 h, dB,

mediana – mediana z wartości równoważnych 1 min. poziomów dźwięku A w czasie 3 h, dB,

$L_{A,sr}$ – wartość średnia arytmetyczna z wartości równoważnych 1 min. poziomów dźwięku A w czasie 3 h, dB,

Sd – odchylenie standardowe z wartości równoważnych 1 min. poziomów dźwięku A w czasie 3 h,

$L_{Aeq,3h}$ – równoważny poziom dźwięku A w czasie 3 h, dB.



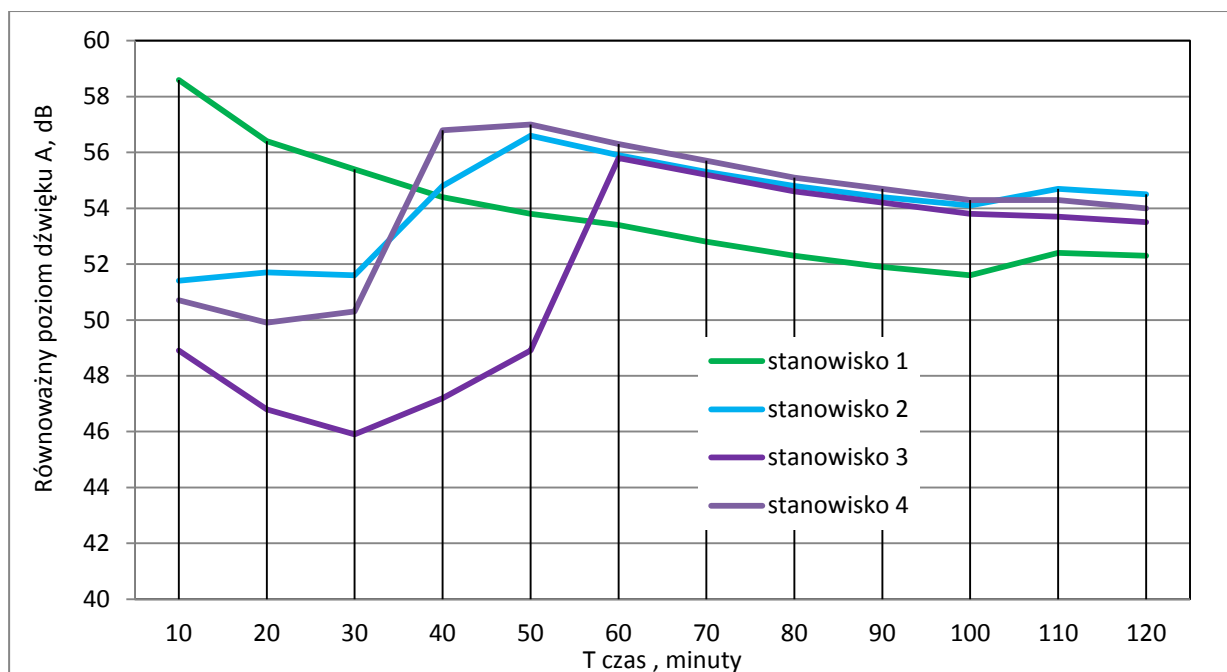
Rys. 5. Częstość (procentowo) występowania na stanowisku pracy nr 1 równoważnych jednodominowych poziomów dźwięku A: a – w przedziałach jednodecybelowych, b – w przedziałach pięciodecybelowych (próbki 1 minutowe, czas pomiaru 3 godziny) poziomu dźwięku A.

W celu dokładniejszego określania statystycznego występowania poziomu dźwięku A w czasie dla tego samego przebiegu (stanowisko pracy nr 1, na Rys. 4), na Rys. 5 pokazano w klasach wartości jednodecybelowych i pięciodecybelowych częstość występowania wartości równoważnych jednominutowych poziomów dźwięku A.

Z Rys. 5b wynika, że najczęściej poziom dźwięku A osiąga wartości w zakresie 35-50 dB. Przyjmując wartość dopuszczalną (równoważną) poziomu dźwięku A 55 dB można stwierdzić, że przez 88,9% czasu, poziom dźwięku A ma wartość mniejszą na tym stanowisku pracy.

Na Rys. 6 pokazano wartości równoważnego poziomu dźwięku A na stanowiskach pracy nr 1-4, od początku pomiaru, aż do 120 minut rejestrując wartości co 10 min (dla przykładu wartość zarejestrowana po 30 minutach jest wartością równoważną poziomu dźwięku A dla 30 minut).

Można zauważyć, że hałas na wszystkich stanowiskach pracy w danym pomieszczeniu jest zmienny w czasie nawet obserwując jego zmiany w okresach 10 minutowych. Dopiero po okresie ok 90 min mierzona wartość równoważnego poziomu dźwięku A można uznać, jako reprezentatywną dla występującego hałasu. Znaczy to, że minimalny czas pomiaru reprezentatywny dla całego czasu narażenia na ten hałas wynosi 90 minut.



Rys. 6. Wyniki pomiarów równoważnego poziom dźwięku A po czasie T

5. POMIARY I OCENA HAŁASU NA CZTERECH STANOWISKACH PRACY ZE WZGLĘDU NA
OCHRONĘ SŁUCHU ORAZ ZE WZGLĘDU NA MOŻLIWOŚĆ REALIZACJI PODSTAWOWYCH
FUNKCJI PRACY

W Tab. 3 podano wyniki pomiarów hałasu w czasie 3 godzin (reprezentatywnych dla 8 godzinnej ekspozycji) na rozpatrywanych stanowiskach. W jednej kolumnie znajdują się wartości równoważnego poziomu dźwięku A $L_{Aeq,Te}$ i poziomu ekspozycji na hałas $L_{EX,8h}$ ponieważ na rozpatrywanych stanowiskach pracy wielkości te mają takie same wartości.

Tabela 3. Równoważne poziomy dźwięku A $L_{Aeq,Te}$,
poziomy ekspozycji na hałas odniesione do dnia pracy $L_{EX,8h}$
oraz maksymalne poziomy dźwięku A L_{Amax} i szczytowe poziomy dźwięku C L_{Cpeak}
na czterech stanowiskach pracy w rozpatrywanym pomieszczeniu.

Opis	$L_{EX,8h}$ i $L_{Aeq,Te}$, dB	L_{Amax} , dB	L_{Cpeak} , dB
Wartości dopuszczalne ze względu na ochronę słuchu	85	115	135
Wartości dopuszczalne ze względu na możliwość realizacji podstawowych zadań wg PN-N-01307:1994, $L_{Aeq,Te}$	55		
Stanowisko 1	51,2	75,9	101,2
Stanowisko 2	53,7	75,2	102,5
Stanowisko 3	52,4	76,3	105,4
Stanowisko 4	53,4	73,6	94,7

Na podstawie wyników pomiarów w otwartym pomieszczeniu biurowym można stwierdzić, że poziomy ekspozycji na hałas $L_{EX,8h}$ i równoważne poziomy dźwięku A $L_{Aeq,Te}$ zawierają się w zakresie 51,2-53,7 dB i nie przekraczają wartości dopuszczalnych hałasu na stanowiskach pracy (odpowiednio 85 dB i 55 dB). Analogiczne maksymalne poziomy dźwięku A L_{Amax} i szczytowe poziomy dźwięku C L_{Cpeak} zawierają się w zakresie odpowiednio 73,6-76,3 dB i 94,7-105,4 dB i również nie przekraczają wartości dopuszczalnych hałasu na stanowiskach pracy (odpowiednio 115 dB i 135 dB).

6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania hałasu w typowym otwartym pomieszczeniu biurowym można stwierdzić, że pomieszczenie to spełnia obligatoryjne wymagania dotyczące dużej chłonności akustycznej (w zakresie częstotliwości 0,5-2 kHz chłonność akustyczna odniesiona do 1 m² powierzchni rzutu pomieszczenia zawierała się w zakresie 1,3-1,76 m² przy minimalnej dopuszczalnej wg PN-B-02151-4 – 1,1 m²). Uwzględniając zalecenia dotyczące dobrych właściwości akustycznych rozpatrywanych pomieszczeń (określone w PN-EN ISO 3382-3) można stwierdzić że właściwości te są minimalnie poniżej granicy tzw.

dobrych. Jednocześnie są one znacznie wyższe niż typowe w rozpatrywanych pomieszczeniach. Występujący hałas na stanowiskach pracy jest bardzo zmienny. Minimalny czas pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A który można uznać za reprezentatywny to 90 minut. Wartości wielkości stosowanych do oceny hałasu na stanowiskach pracy nie są przekroczone, zarówno ze względu na ochronę słuchu jak i możliwość realizacji podstawowych funkcji pracy. Równoważny poziom dźwięku A na rozpatrywanych czterech stanowiskach pracy zawierał się w zakresie ok. 51-54 dB. Średnia (arytmetyczna) wartość jednodominutowych próbek poziomu dźwięku A zawierała się w zakresie ok. 45-48 dB, a mediany 45-46,1. Przez 88,9% czasu poziom dźwięku A ma wartość mniejszą niż 55 dB.

7. PODZIĘKOWANIE

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 ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

LITERATURA

1. PN-EN ISO 3382-2:2010 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach.
2. PN-B-02151-4:2015 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach.
3. PN-EN ISO 3382-3:2012, Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 3: Pomieszczenia biurowe typu open-space.
4. PN EN ISO 9612:2011 Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna
5. PN-N-01307:1994 Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonania pomiarów.
6. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286 z 3 lipca 2018)

7. Mikulski W., Warunki akustyczne w pomieszczeniach biurowych open-space – zastosowanie środków technicznych w typowym pomieszczeniu, Medycyna Pracy, 2018;69(2).
8. Mikulski W., Adaptacja akustyczna pomieszczeń połączonych – badania symulacyjne – Materiały z Konferencji Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki, Szczyrk, 2018-02-26÷03-02.

IZOLACYJNOŚĆ AKUSTYCZNA OBUDÓW W ZAKRESIE CZĘSTOTLIWOŚCI 8-50 kHz

Witold MIKULSKI

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

e-mail: wimik@ciop.pl

1. WPROWADZENIE

W przemyśle i usługach wykorzystuje się wiele źródeł hałasu ultradźwiękowego [1]. Wśród nich stwarzające największe zagrożenie hałasem są: zgrzewarki ultradźwiękowe, drążarki ultradźwiękowe oraz płuczki (myjki) ultradźwiękowe. Emitują one głównie energię akustyczną w zakresie częstotliwości 10-40 kHz. Wiele z tych urządzeń znajduje się (lub może znajdować się) w obudowach dźwiękoizolacyjnych, które powszechnie przyjmuje się jako najbardziej skuteczny środek separujący akustycznie źródło hałasu i pracownika. Do chwili obecnej właściwości dźwiękoizolacyjne obudów źródeł określa się jednak tylko w zakresie częstotliwości do 10 kHz [2, 3], co w odniesieniu do źródeł hałasu ultradźwiękowego nie daje możliwości wiarygodnego określenia ich skuteczności, a w konsekwencji wnoszonej przez nie ochrony akustycznej w zakresie częstotliwości hałasu ultradźwiękowego. Brak wiedzy dotyczy nie tylko braku danych określających izolacyjność akustyczną obudów w tym zakresie częstotliwości, ale także braku określenia wielkości fizycznych i metod pomiaru ich izolacyjności akustycznej [4]. W artykule zaproponowano wielkości i metody ich pomiaru oraz na przykładzie obudów drewnianych przeprowadzono analizę możliwości stosowania tych wielkości w praktycznym stosowaniu obudów dźwiękoizolacyjnych źródeł hałasu ultradźwiękowego.

Przez analogię do wielkości określających izolacyjność akustyczną obudów w zakresie częstotliwości poniżej 10 kHz [2, 3], izolacyjność akustyczną obudów określa się dwoma wielkościami fizycznymi: izolacyjnością akustyczną ciśnieniową i izolacyjnością akustyczną mocową. W artykule zaproponowano stosowanie tych wielkości w zakresie częstotliwości od 8 do 50 kHz. Określa się je metodami pomiarowymi w oparciu o pomiary tłumienia wtrącenia [2, 3]. Do badań stosuje się wzorcowe źródło dźwięku [5]. Izolacyjność akustyczną ciśnieniową oblicza się z różnicy zmierzonych wartości poziomu ciśnienia akustycznego emisji [6] dla źródła wzorcowego bez obudowy i w obudowie. Izolacyjność akustyczną mocową oblicza się z różnicy pomiarowo wyznaczonych wartości poziomu mocy akustycznej [7-10].

2. METODA POMIARU IZOLACYJNOŚCI AKUSTYCZNEJ CIŚNIENIOWEJ W ZAKRESIE CZĘSTOTLIWOŚCI 8-50 KHz

Izolacyjność akustyczną ciśnieniową $D_{p,f}$ określa się z różnicy wartości zmierzonych poziomów ciśnienia akustycznego wzorcowego źródła dźwięku: bez obudowy i w obudowie. Źródło dźwięku umieszcza się na powierzchni specjalnego stolika pomiarowego (Rys. 1) (lub w celach porównawczych na powierzchni odbijającej), a pomiar poziomu ciśnienia akustycznego przeprowadza się na stanowisku pracy (lub w wybranym punkcie odniesienia).



Rys. 1. Stolik pomiarowy wg PN EN ISO 11201 [6] wykonany w laboratorium CIOP-PIB.

Izolacyjność akustyczną ciśnieniową obudowy $D_{p,f}$, w dB, w 1/3 oktaowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych f (8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40 i 50 kHz), oblicza się, ze wzoru:

$$D_{p,f} = L'_{p,bez_obudowy,f} - L'_{p,w_obudowie,f} + K_{1,w_obudowie,f} \quad (1)$$

gdzie:

$L'_{p,bez_obudowy,f}$, $L'_{p,w_obudowie,f}$ – poziomy ciśnienia akustycznego wzorcowego źródła dźwięku, w 1/3 oktaowym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f ,

zmierzony odpowiednio bez i w obudowie, w dB,

$K_{1,w_obudowie,f}$ – poprawka uwzględniająca wpływ hałasu tła podczas pomiarów wzorcowego źródła dźwięku, w obudowie (w 1/3 oktaowym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f), w dB. Oblicza się ją ze wzoru:

$$K_{1,w_obudowie,f} = \begin{cases} 0 & \text{dla } L'_{p,f} - L''_{p,f} > 15 \text{ dB} \\ -10 \cdot \lg(1 - 10^{-0,1 \cdot (L'_{p,f} - L''_{p,f})}) & \text{dla } 3 \text{ dB} \leq L'_{p,f} - L''_{p,f} \leq 15 \text{ dB} \\ ? & \text{dla } L'_{p,f} - L''_{p,f} < 3 \text{ dB} \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

$L'_{p,f}$ – poziom ciśnienia akustycznego, w 1/3 oktaowym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , gdy źródło wzorcowe emituje dźwięk, w dB,

$L''_{p,f}$ – poziom ciśnienia akustycznego, w 1/3 oktaowym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , gdy źródło wzorcowe nie emituje dźwięku, w dB.

Kwalifikację środowiska do badań wykonuje się na podstawie obliczonej poprawki środowiskowej $K_{3,f}$. Jej wartość powinna być mniejsza niż 2 dB ($K_{3,f} \leq 2$ dB; analogicznie jak podano w PN EN ISO 11201 [6]). Oblicza się ją, w dB, w 1/3 oktaowych pasmach

częstotliwości o częstotliwościach środkowych f (8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40 i 50 kHz), ze wzoru:

$$K_{3,f} = 10 \cdot \lg \left(1 + 4 \frac{S}{A_f} \right) \approx 10 \cdot \lg \left(1 + 156 \frac{d^2 \cdot T_f}{V} \right) \quad (3)$$

gdzie:

d – odległość między punktem referencyjnym (np. stanowiskiem pracy), a źródłem wzorcowym, w metrach,

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

A_f – chłonność akustyczna pomieszczenia, w m^2 , w 1/3 oktawowym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , w m^2 ,

V – objętość pomieszczenia badawczego, w m^3 ,

T_f – czas pogłosu pomieszczenia, w 1/3 oktawowym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , w sekundach.

3. METODA POMIARU IZOLACYJNOŚCI AKUSTYCZNEJ MOCOWEJ W ZAKRESIE CZĘSTOTLIWOŚCI 8-50 KHz

Izolacyjność akustyczną mocową $D_{w,f}$ określa się z różnicy średnich wartości poziomów ciśnienia akustycznego $\overline{L'_{p,f}}$ na półkulistej powierzchni pomiarowej nad płaszczyzną odbijającą (lub różnicy poziomów mocy akustycznej $L_{w,f}$), dla wzorcowego źródła dźwięku: bez obudowy i w obudowie.

Izolacyjność akustyczną mocową obudowy $D_{w,f}$ określa się w 1/3 oktaowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych f (8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40 i 50 kHz), w dB, ze wzoru:

$$D_{w,f} = \overline{L'_{p,bez_obudowy,f}} - \overline{L'_{p,w_obudowie,f}} + K_{1,w_obudowie,f} \quad (4)$$

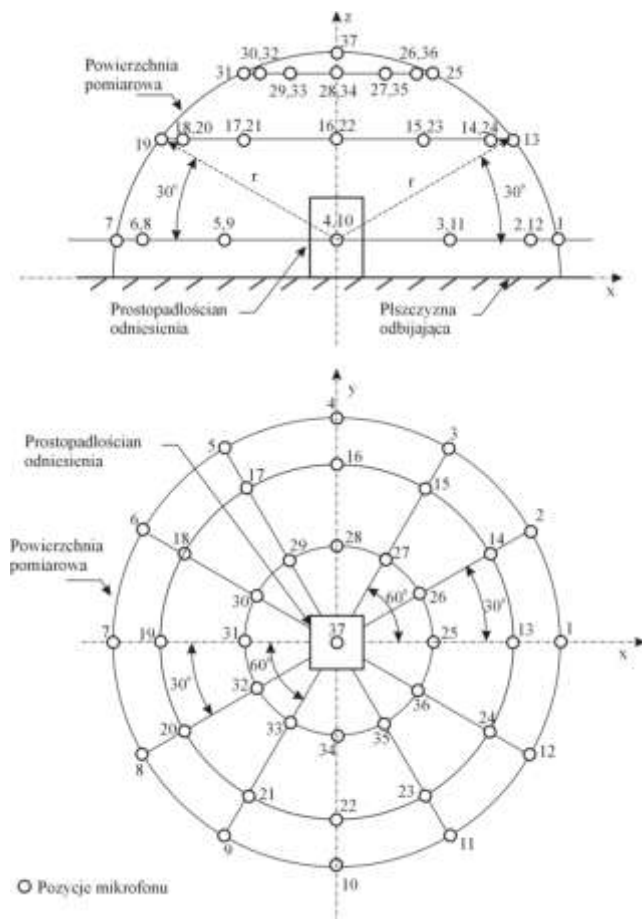
gdzie:

$\overline{L'_{p,bez_obudowy,f}}$, $\overline{L'_{p,w_obudowie,f}}$ – średni poziom ciśnienia akustycznego, na powierzchni pomiarowej od wzorcowego źródła dźwięku (w 1/3 oktawowym paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f), odpowiednio bez i w obudowie, w dB,

$K_{1,w_obudowie,f}$ – poprawka uwzględniająca wpływ hałasu tła podczas pomiarów wzorcowego źródła dźwięku, w obudowie (w 1/3 oktawowym paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f), w dB.

Liczbę punktów pomiarowych, w których mierzy się poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej przyjęto równą 37 (zgodnie z wymogami PN EN ISO 3744 [7] dla metody technicznej liczba punktów pomiarowych w zakresie częstotliwości do 10 kHz

musi być większa niż maksymalna różnica poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej, wg PN EN ISO 9295 [8] w zakresie częstotliwości 10-20 kHz minimalna liczba punktów pomiarowych wynosi 20). W przypadku, gdy warunek wg PN EN ISO 3744 nie jest spełniony, liczbę punktów pomiarowych należy zwiększyć. Przyjmując 37 punktów pomiarowych można je rozmieścić na półkulistej powierzchni pomiarowej, co 30° kąta płaskiego zarówno w płaszczyźnie poziomej jak pionowej (Rys. 2).



Rys. 2. Położenie 37 punktów pomiarowych na powierzchni pomiarowej półkuli

oktawowym paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , w dB.

Poprawkę uwzględniającą hałas tła, $K_{1,w_obudowie,f}$, oblicza się, w dB, w 1/3 oktawowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych f (8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40 i 50 kHz), ze wzoru:

$$K_{1,w_obudowie,f} = \begin{cases} 0 & , \quad \overline{L_{p,zr,f}} - \overline{L_{p,tlo,f}} > 15 \text{ dB} \\ -10\lg(1 - 10^{-0,1(\overline{L_{p,zr,f}} - \overline{L_{p,tlo,f}})}) & , \quad 3 \text{ dB} \leq \overline{L_{p,zr,f}} - \overline{L_{p,tlo,f}} \leq 15 \text{ dB} \\ ? & , \quad \overline{L_{p,zr,f}} - \overline{L_{p,tlo,f}} < 3 \text{ dB} \end{cases} \quad (6)$$

gdzie:

Średni poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej (zarówno w przypadku określania go dla źródła w obudowie jak i bez obudowy oraz określania tła akustycznego), oblicza się, w dB, w 1/3 oktawowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych f (8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40 i 50 kHz), ze wzoru:

$$\overline{L'_{p,f}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{0,1 \cdot L'_{p,j,f}} \right) \quad (5)$$

gdzie:

n – liczba punktów pomiarowych,

$L'_{p,j,f}$ – poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej w punkcie o numerze j (Rys. 2), w 1/3

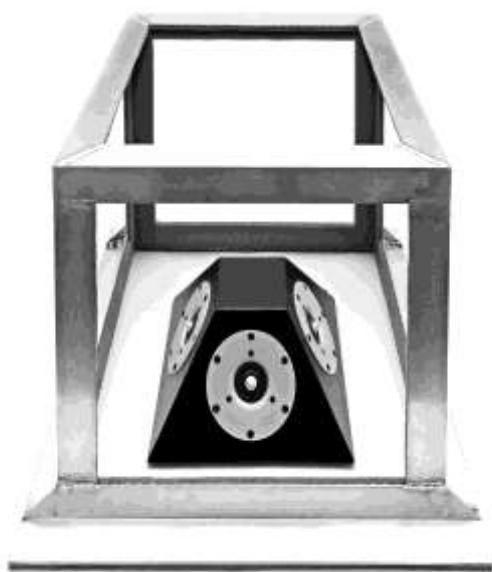
$\overline{L_{p,zr,f}}$ – średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego, w 1/3 oktawowym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , na powierzchni pomiarowej, podczas gdy wzorcowe źródło dźwięku emituje dźwięk, w dB,

$\overline{L_{p,tlo,f}}$ – średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego, w 1/3 oktawowym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , na powierzchni pomiarowej, podczas gdy wzorcowe źródło dźwięku nie emituje dźwięku, w dB

? – nie można wystarczająco dokładnie uwzględnić wpływu tła akustycznego.

Kwalifikację środowiska do badań wykonuje się na podstawie obliczonej poprawki środowiskowej $K_{2,f}$. Jej wartość powinna być mniejsza niż 4 dB ($K_{2,f} \leq 4$ dB; analogicznie jak podano w PN EN ISO 9295 [8]). Dla półkulistej powierzchni pomiarowej oblicza się ją, w dB, w 1/3 oktaowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych f (8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40 i 50 kHz), ze wzoru:

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



Rys. 3. Szkielet obudowy oraz wzorcowe źródło dźwięku do badania wpływu materiałów, z którego wykonane są ścianki obudów dźwiękoizolacyjnych w zakresie częstotliwości 8-50 kHz w CIOP-PIB (fot. W. Mikulski).

4. WYNIKI BADAŃ

Badano izolacyjność akustyczną ciśnieniową i mocową obudowy sześcienniej (bok 0,4 m), której konstrukcja nośna – szkielet obudowy – wykonana była z kątowników aluminiowych, a ścianki wykonane były ze sklejki drewnianej o grubości 12 mm (Rys. 3). Do badań

gdzie:

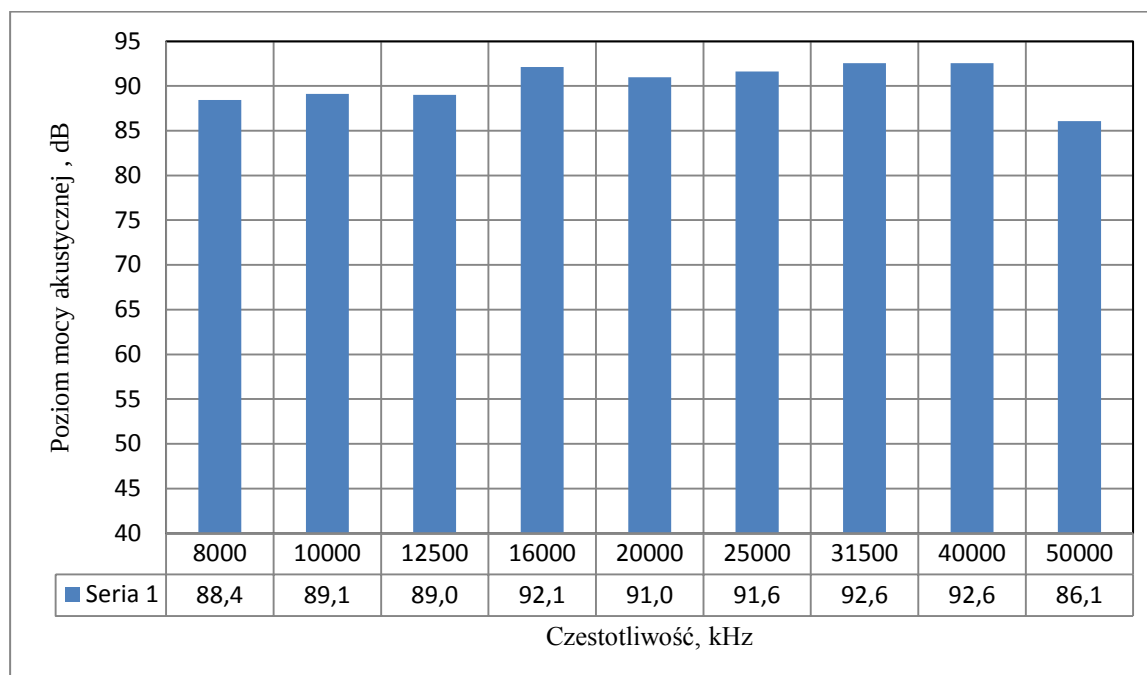
S – pole powierzchni pomiarowej (dla półkulistej powierzchni pomiarowej o promieniu r , $S=2\pi r^2$), w m^2 ,

A_f – chłonność akustyczna pomieszczenia, w m^2 , w 1/3 oktawowym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , w m^2 ,

V – objętość pomieszczenia badawczego, w m^3 ,

T_f czas pogłosu pomieszczenia, w 1/3 oktawowym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , w sekundach.

zastosowano wzorcowe źródło dźwięku wykonane w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (Rys. 3 i 4).



Rys. 4. Poziom mocy akustycznej wzorcowego źródła dźwięku zastosowanego w badaniach

Badania przeprowadzono w pomieszczeniu o dużej chłonności akustycznej z odbijającą podłogą (komora semi-bezechowa w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym). Pomiary izolacyjności akustycznej ciśnieniowej $D_{p,f}$ i izolacyjności akustycznej mocowej $D_{w,f}$ przeprowadzono na powierzchni półkuli o promieniu 1 m (Rys. 2). Dla tak przyjętych warunków pomiarowych poprawki wynikające ze środowiska pomiarowego $K_{3,f}$ i $K_{2,f}$ podano w Tab. 1.

Tabela 1. Poprawki wynikające ze środowiska pomiarowego $K_{3,f} (d = 1 \text{ m}) = K_{2,f} (r = 1 \text{ m})$.

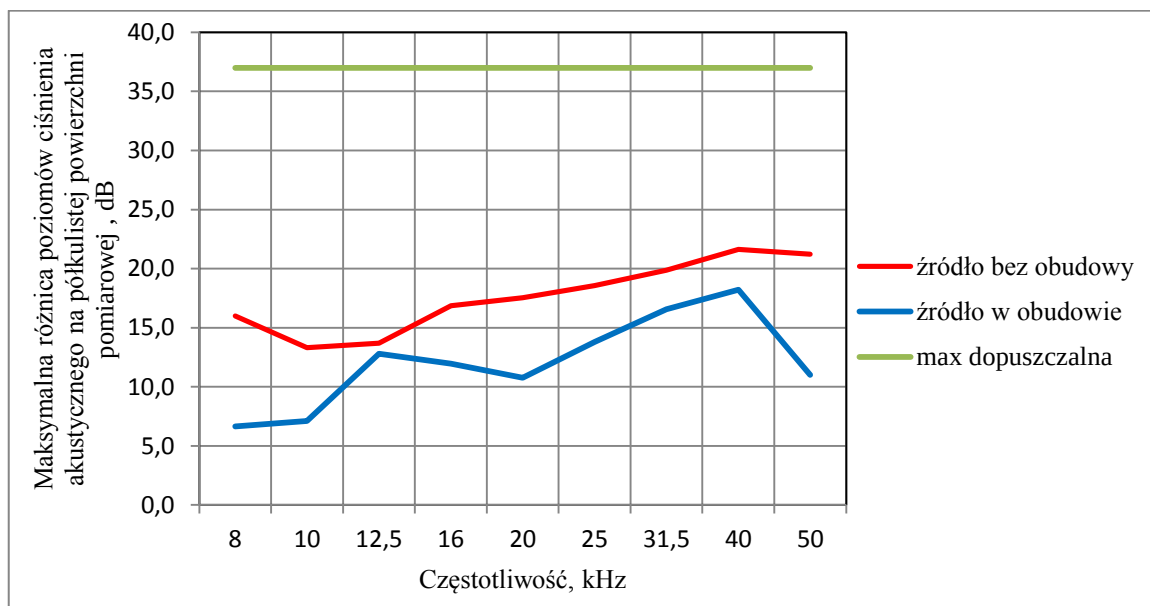
Poprawki środowiskowe	Częstotliwość, kHz								
	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
Wyniki pomiarów $K_{2,f}$ i $K_{3,f}$, dB	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,2	0,15	0,14	0,19
Wartość dopuszczalna $K_{3,f,max}$, dB	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Wartość dopuszczalna $K_{2,f,max}$, dB	4	4	4	4	4	4	4	4	4

gdzie:

$K_{3,f}$ i $K_{2,f}$ – poprawki wynikające ze środowiska pomiarowego z pomiarów w badanym pomieszczeniu,

$K_{2,f,max}$ i $K_{3,f,max}$ – maksymalne dopuszczalne wg ww. metody.

Do wyznaczania izolacyjności akustycznej mocowej ze średnich wartości poziomów ciśnienia akustycznego w punktach na powierzchni pomiarowej (równanie (5)) wykonano pomiary mierząc poziomy ciśnienia akustycznego w 37 punktach (zarówno dla źródła bez obudowy jak i w obudowie). Maksymalna wartość poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej zarówno dla pomiarów źródła bez obudowy i w obudowie w każdym rozpatrywanym paśmie częstotliwości nie może przekroczyć 37 dB. Wartości zmierzone podane na Rys. 5 potwierdzają spełnienie tych wymagań.

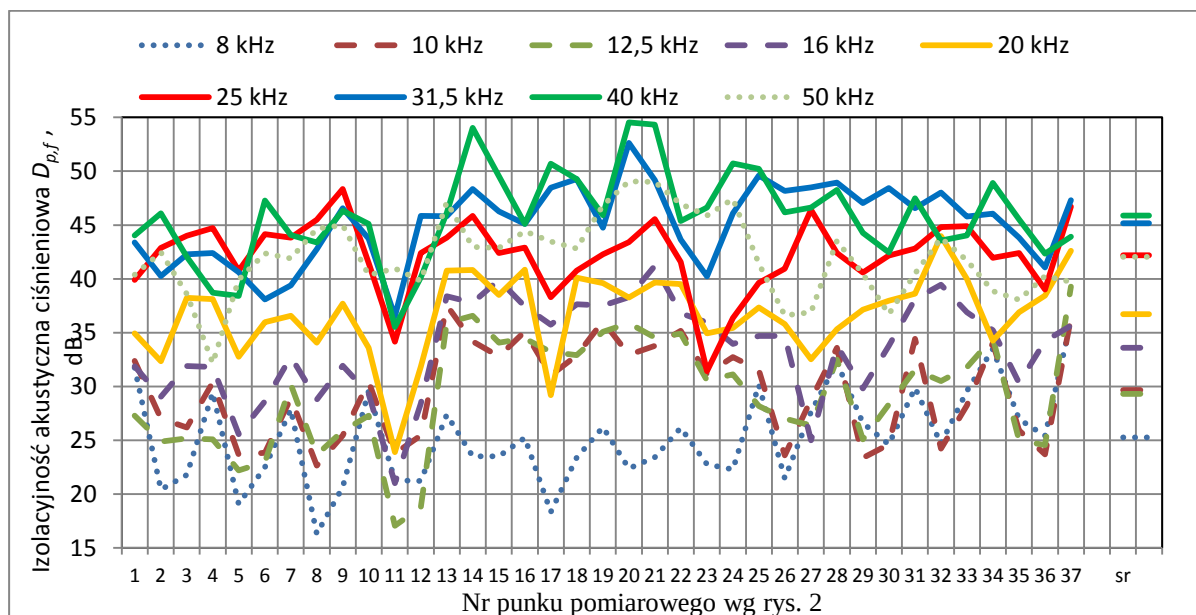


Rys. 5. Maksymalna różnica poziomów ciśnienia akustycznego na półkulistej powierzchni pomiarowej o promieniu 1 m (Rys. 2) dla wzorcowego źródła dźwięku: bez i w obudowie drewnianej o grubości ścianki 12 mm

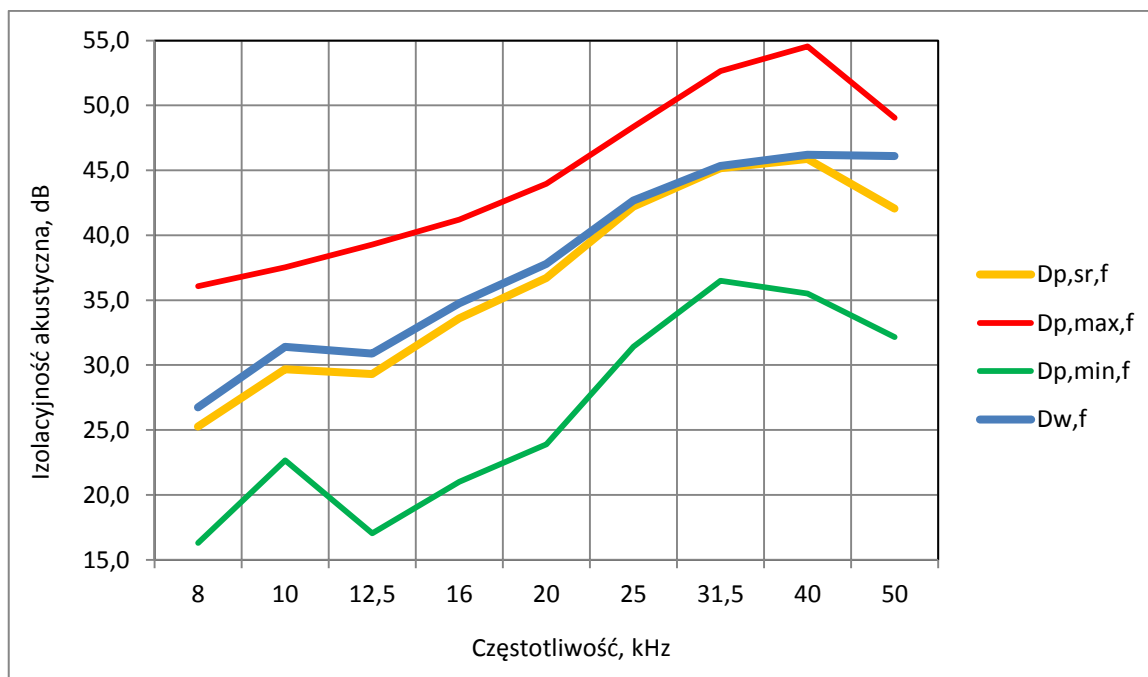
Na Rys. 6 podano wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej ciśnieniowej $D_{p,f}$ w 37 punktach pomiarowych (Rys. 2) na półkulistej powierzchni pomiarowej o promieniu 1 m (oraz wartości średniej arytmetycznej). Można zauważyć, że wartości te w poszczególnych punktach bardzo różną się między sobą. Dotyczy to wszystkich częstotliwości. Wynika z tego, że wartość izolacyjności akustycznej ciśnieniowej bardzo zależy od punktu, w którym się ją określa. Przypadkowo wybrany punkt spowoduje uzyskanie przypadkowej wartości izolacyjności akustycznej ciśnieniowej. Wynika z tego, że wielkość tą można zastosować w przypadku dokładnego określania konfiguracji źródło-punkt pomiaru (tzw. referencyjny, np. stanowisko pracy).

Na Rys. 7 podano wyniki pomiarów: izolacyjności akustycznej mocowej $D_{w,f}$ oraz średniej arytmetycznej $D_{p,sr,f}$, minimalnej $D_{p,min,f}$ i maksymalnej $D_{p,max,f}$ z izolacyjności akustycznych ciśnieniowych określonych w 37 punktach na powierzchni pomiarowej (Rys. 2). Można zauważyć że wartości izolacyjności akustycznej mocowej $D_{w,f}$ oraz wyniki

średniej arytmetycznej z 37 izolacyjności akustycznych ciśnieniowych $D_{p,sr,f}$ są zbliżone, ale nie identyczne. Jest to skutkiem logarytmicznego uśredniania poziomu ciśnienia akustycznego przy określaniu izolacyjności akustycznej mocowej (równanie (5)).



Rys. 6. Izolacyjność akustyczna ciśnieniowa obudowy $D_{p,f}$ w 37 punktach pomiarowych na półkulistej powierzchni pomiarowej o promieniu 1 m (Rys. 2) dla częstotliwości: 8, 10, 12,5, 16, 20, 25, 31,5, 40 i 50 kHz

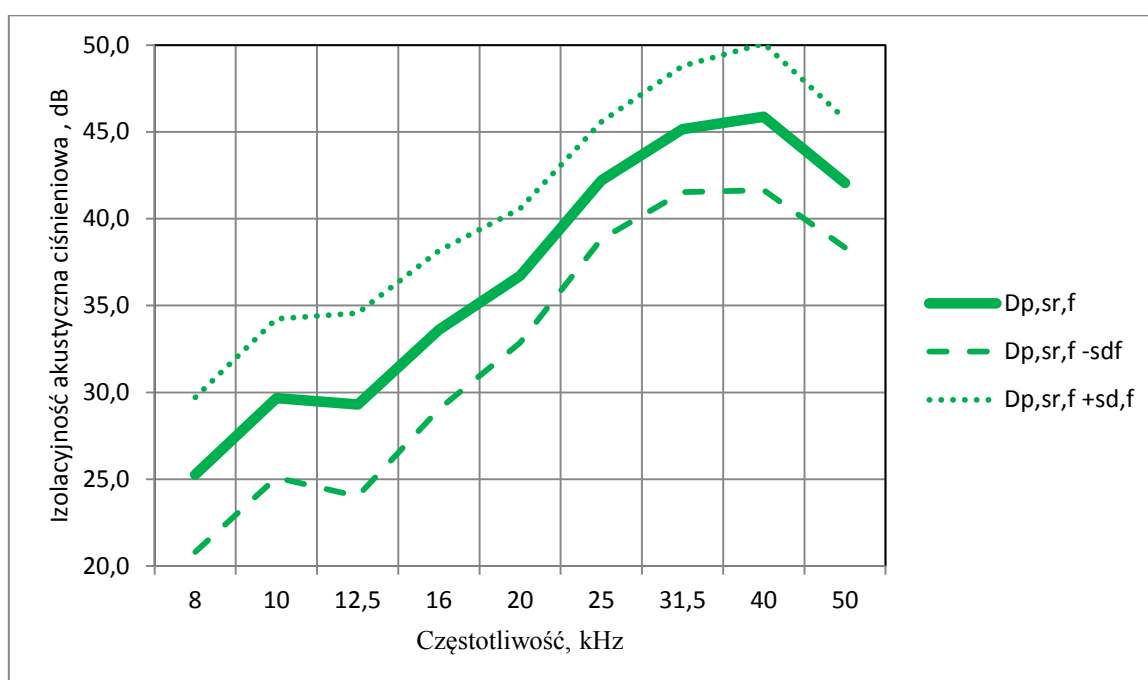


Rys. 7. Izolacyjność akustyczna ciśnieniowa obudowy: średnia arytmetyczna $D_{p,sr,f}$, minimalna $D_{p,min,f}$, maksymalna $D_{p,max,f}$, z wartości w 37 punktach na półkulistej powierzchni pomiarowej o promieniu 1 m (Rys. 2) oraz izolacyjność akustyczna mocowa $D_{w,f}$

Izolacyjność akustyczna mocowa obudowy drewnianej o grubości ścianek 12 mm zawiera się w zakresie od 26,7 dB (dla częstotliwości 8 kHz) do 46,1 dB (dla częstotliwości

50 kHz). Natomiast izolacyjność akustyczna ciśnieniowa zawierała się w zakresie od 16,3-36,1 dB (dla częstotliwości 8 kHz) do 32,2-49,1 dB (dla częstotliwości 50 kHz). Największa wartość izolacyjności akustycznej ciśnieniowej jest dla częstotliwości 40 kHz i wynosiła 54,5 dB.

Przy szacowaniu wpływu obudowy na zmniejszenie poziomu ciśnienia akustycznego w jakimś obszarze, można stwierdzić, że: poziom ciśnienia akustycznego zmniejszy się średnio o ok. wartość średniej arytmetycznej (z izolacyjności akustycznych ciśnieniowych) $D_{p,sr,f}$, przy czym zmniejszenie poziomu ciśnienia akustycznego będzie się zwierzało w zakresie od $D_{p,min,f}$ do $D_{p,max,f}$. Dla przykładu ww. obudowa drewniana spowoduje obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego w pasmie częstotliwości 20 kHz o 23,9-44 dB.



Rys. 8. Średnia arytmetyczna z 37 izolacyjności akustycznych ciśnieniowych $D_{p,sr,f}$ oraz ta ostatnia pomniejszona i powiększona o wartość odchylenia standardowego dla obudowy drewnianej o grubości ścianki 12 mm

Na Rys. 8 podano wyniki pomiarów: średniej arytmetycznej z 37 izolacyjności akustycznych ciśnieniowych $D_{p,sr,f}$, oraz tej ostatniej wielkości pomniejszonej i powiększonej o wartość odchylenia standardowego. Zakładając, że rozkład wartości izolacyjności akustycznych ciśnieniowych w 37 punktach pomiarowych na powierzchni pomiarowej Rys. 2 ma rozkład normalny, na stanowisku pracy po zastosowaniu obudowy z prawdopodobieństwem 0,68 poziom ciśnienia akustycznego obniży się od $D_{p,sr,f} - sd$ do $D_{p,sr,f} + sd$ decybeli. W rozpatrywanym przypadku dla częstotliwości 20 kHz izolacyjność akustyczna mocowa wynosi 37,8 dB, izolacyjność akustyczna ciśnieniowa średnia wynosi 36,7 dB, a przedział zawierający 68% wyników obejmuje wartości 32,9-40,6 dB.

Reasumując, można stwierdzić, że w przypadku próby scharakteryzowania właściwości izolacyjnych obudowy pomiar jednopunktowy (np. izolacyjnością akustyczną ciśnieniową $D_{p,f}$) w zależności od wyboru punktu da prawdziwą, lecz ze względu na przypadkowy wybór punktu referencyjnego dosyć przypadkową wartość. Nie można, więc bez dokładnego określenia punktu referencyjnego wnioskować o właściwościach izolacyjnych obudowy oraz nie można porównywać właściwości izolacyjnych obudów między sobą (bez zapewnienia takiego samego punktu referencyjnego). Nie znaczy to, że wielkość ta jest całkowicie nieprzydatna w praktycznym zastosowaniu. Zachodzi tu, bowiem wyjątek, który ma pierwszorzędne znaczenie. Jeżeli dla tego samego urządzenia będącego źródłem hałasu, dla którego ściśle określone jest stanowisko pracy (a więc dokładnie określone jest położenie punktu referencyjnego), to określenie właściwości izolacyjnych obudowy izolacyjnością akustyczną ciśnieniową ma pierwszorzędne znaczenie, gdyż daje dokładną informację o ile obniży się hałas po zastosowaniu obudowy na tym stanowisku pracy. W przypadkach ogólnych, gdy nie jest ściśle określone źródło (poziom mocy akustycznej, właściwości kierunkowe emisji dźwięku) oraz punkt referencyjny, wówczas bardziej obiektywną wielkością do oceny izolacyjności akustycznej obudowy jest izolacyjność akustyczna mocowa $D_{w,f}$.

5. PODSUMOWANIE

Prezentowano metody pomiaru akustycznych właściwości izolacyjnych obudów źródeł hałasu w zakresie częstotliwości 8-50 kHz. Zakres ten zawiera tzw. hałas ultradźwiękowy, w którym określone są w Polsce poziomy dopuszczalne ze względu na ochronę zdrowia ludzi. Wielkościami charakteryzującymi izolacyjność akustyczną obudów są: izolacyjność akustyczna ciśnieniowa i izolacyjność akustyczna mocowa. Izolacyjność akustyczna ciśnieniowa określa o ile obniży się poziom ciśnienia akustycznego w wybranym punkcie (referencyjnym; np. na stanowisku pracy) po zastosowaniu obudowy na źródło dźwięku. Jej wartość zależy od właściwości źródła (głównie charakterystyki kierunkowości promieniowania energii akustycznej), wzajemnego położenia źródła dźwięku – punkt referencyjny oraz od budowy obudowy. Z tego względu wielkość tą można stosować tylko wtedy, gdy te pierwsze dwie dane są znane. Przykładem może być konkretne urządzenie ultradźwiękowe i stałe stanowisko pracy do jego obsługi. Zachodzi, więc tutaj analogia tej wielkości i poziomu ciśnienia akustycznego emisji. Izolacyjność akustyczna mocowa jest wielkością, która określa o ile, po zastosowaniu obudowy, zmniejszy się poziom mocy źródła emitowanej przez niego energii akustycznej do środowiska. Jest, więc wielkością, która

obiektywnie określa o ile zmniejszy się hałas ultradźwiękowy w otoczeniu źródła. Zachodzi tutaj analogia tej wielkości i poziomu mocy akustycznej. W rozpatrywanym przypadku obudowy drewnianej (o grubości ścianek 12 mm) na wzorcowe źródło dźwięku, izolacyjność akustyczna mocowa zawierała się w zakresie od 26,7 dB (dla częstotliwości 8 kHz) do 46,1 dB (dla częstotliwości 50 kHz). Natomiast izolacyjność akustyczna ciśnieniowa zawierała się w zakresie od 16,3-36,1 dB (dla częstotliwości 8 kHz) do 32,2-49,1 dB (dla częstotliwości 50 kHz).

Przy projektowaniu obudowy dźwiękoizolacyjnej źródła hałasu korzystna może być informacja o rozkładzie izolacyjności akustycznej ciśnieniowej lub informacja szacunkowa o wartości średniej i odchyleniu standardowym izolacyjności akustycznej ciśnieniowej.

6. PODZIĘKOWANIE

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego 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. Autor dziękuje technikowi Panu Jerzemu Kozłowskiemu za pomoc w wykonaniu pomiarów.

LITERATURA

1. Smagowska B., Ultrasonic noise sources in the work environment, Archives of Acoustics Vol. 38, No. 2, p. 169-176 (2013)
2. PN EN ISO 11546-2:2010, Akustyka – Wyznaczanie dźwiękoizolacyjnych właściwości obudów – Część 2: Pomiary w warunkach terenowych (dla celów akceptacji i weryfikacji)
3. PN EN ISO 15667:2004, Akustyka – Wytyczne dotyczące ograniczania hałasu przez obudowy i kabiny
4. Pleban D., Mikulski W., Methods of testing of sound insulation properties of barriers intended for high frequency noise and ultrasonic noise protection, Journal of Mechanical Engineering – Strojnícky časopis, Vol. 68, No. 4, 55-64 (2018)
5. Mikulski W., Laboratory sound source operating in frequency range 8-50 kHz (Laboratoryjne źródło dźwięku w zakresie częstotliwości 8-50 kHz), XLVI Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki, Szczyrk, 2018-02-26÷03-02 (2018)

6. 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
7. 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
8. PN EN ISO 9295:2015, Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy hałasu wysokiej częstotliwości emitowanego przez maszyny i urządzenia
9. Mikulski W., Method for determination of sound power levels of noise sources in the frequency range above 10 kHz (Metoda określania poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu w zakresie częstotliwości powyżej 10 kHz), XLV Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki, Szczyrk, 2017-02-27÷03-03 (2017)
10. Mikulski W., Radosz J., Method for determination of sound power levels of ultrasonic noise sources. Determining criteria for specifying the minimum number of measuring points (Metoda określania poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu ultradźwiękowego. Określenie kryteriów ustalania minimalnej liczby punktów pomiarowych), 56 Otwarte Seminarium Akustyki, Warszawa-Goniądz, 2009-09-15÷18 (2009)

ROZWÓJ SERWISU INTERNETOWEGO „BEZPIECZNIEJ” WSPOMAGAJĄCEGO PROFILAKTYKĘ ZAGROŻEŃ HAŁASEM, DRGANIAMI MECHANICZNYMI I INNYMI CZYNNIKAMI SZKODLIWYMI ŚRODOWISKA PRACY

Leszek MORZYŃSKI

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
e-mail: lmorzyns@ciop.pl

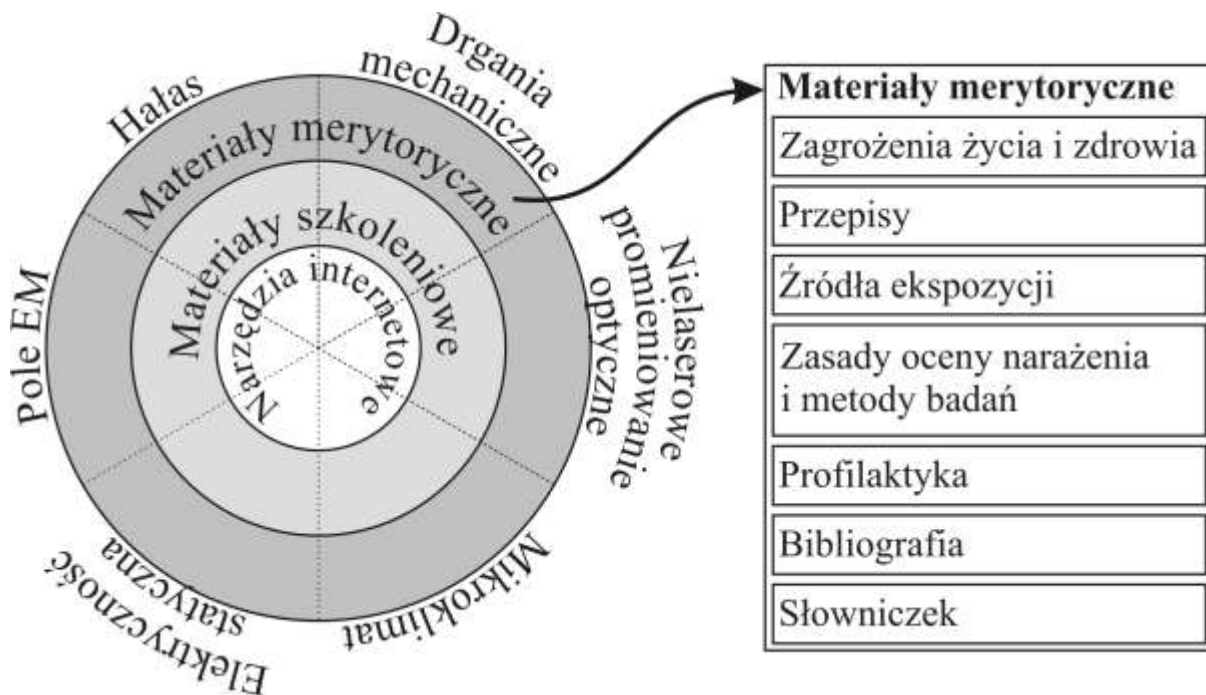
1. WPROWADZENIE

Hałas, drgania mechaniczne i inne czynniki fizyczne szkodliwe dla zdrowia pracowników [1] występują powszechnie w środowisku pracy. Jak wskazują dane GUS [2], liczba osób pracujących w zagrożeniu czynnikami fizycznymi przekracza 250 tysięcy. Czynniki te, przy braku odpowiedniej profilaktyki, mogą być przyczyną powstawania chorób zawodowych u pracowników. Ważne jest zatem zapewnienie szerokiego gronu pracodawców i pracowników łatwego dostępu do materiałów o charakterze informacyjno-szkoleniowym, które wspomagały by zainteresowane osoby w prowadzeniu profilaktyki zagrożeń czynnikami fizycznymi środowiska pracy. Materiały te powinny być dostosowane do użytkowników o różnym stopniu wykształcenia i wiedzy w dziedzinie bhp.

Kanałem informacyjnym zapewniającym w obecnych czasach szeroką dystrybucję wiedzy jest Internet. Dążenie do jak najszerszego upowszechniania wiedzy w zakresie profilaktyki zagrożeń w środowisku pracy zaowocowało opracowaniem i udostępnieniem w portalu internetowym Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego serwisu internetowego BEZPIECZNIEJ wspomagającego profilaktykę zagrożeń fizycznych w środowisku pracy [3]. Serwis ten funkcjonuje w ramach portalu internetowego CIOP – PIB. Na stronę główną serwisu można przejść wpisując w przeglądarce jego bezpośredni adres www.ciop.pl/bezpieczniej, lub korzystając z menu na głównej stronie portalu CIOP – PIB (zakładka „Serwisy” a następnie „BEZPIECZNIEJ – profilaktyka fizycznych zagrożeń środowiskowych”) W dalszej części artykułu omówiono, na przykładzie zagrożeń hałasem i drganiami mechanicznymi, strukturę i zawartość serwisu oraz zagadnienia związane z jego bieżącym rozwojem i rozbudową, w tym w szczególności związane z angielskojęzyczną wersją serwisu.

2. STRUKTURA I ZAWARTOŚĆ SERWISU BEZPIECZNIEJ

Serwis BEZPIECZNIEJ zawiera informacje na temat: hałasu, drgań mechanicznych (o działaniu ogólnym i miejscowym), promieniowania elektromagnetycznego, nielaserowego promieniowania optycznego, zimnego i gorącego mikroklimatu środowiska pracy oraz elektryczności statycznej. Informacje prezentowane w serwisie dla każdego z tych czynników usystematyzowane są w podobny sposób. Strukturę serwisu BEZPIECZNIEJ i prezentowanych w nim treści przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Struktura serwisu BEZPIECZNIEJ

Dostępne w serwisie treści dla każdego z omawianych czynników fizycznych podzielone zostały na trzy kategorie: materiały merytoryczne, materiały szkoleniowe i prezentacje multimedialne oraz narzędzia internetowe. W *Materiałach merytorycznych* zawarto główny zasób wiedzy odnoszący się do danego czynnika fizycznego. Pozostałe kategorie zawierają elementy ułatwiające przyswajanie wiedzy zawartej w *Materiałach merytorycznych* oraz wspomagających ich wykorzystanie w praktyce.

Materiały merytoryczne omawiają kolejno zagrożenia dla zdrowia lub życia związane z danym czynnikiem fizycznym, związane z nim przepisy prawa, źródła ekspozycji w środowisku pracy, zasady oceny narażenia i metody badań danego czynnika oraz zasady profilaktyki technicznej i organizacyjnej. Uzupełnieniem tych informacji są dane bibliograficzne oraz krótki słowniczek pojęć odnoszących się do danego czynnika.

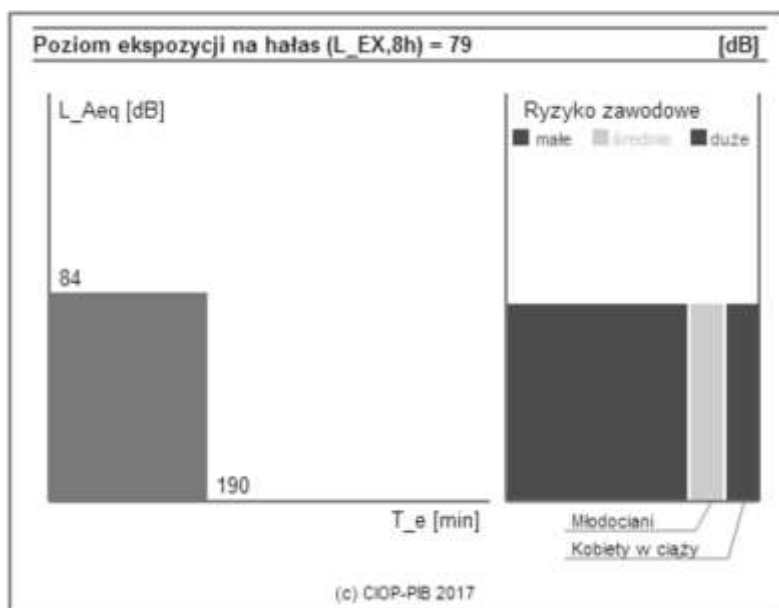
W przypadku hałasu w serwisie BEZPIECZNIEJ omówiono stan zagrożenia tym czynnikiem w środowisku pracy, wpływ hałasu na organ słuchu i konsekwencje uszkodzeń

sluchu oraz występowanie wśród pracowników trwałego ubytku słuchu spowodowanego hałasem na tle innych chorób zawodowych (dział *Zagrożenia życia i zdrowia*). Omówiono najważniejsze przepisy prawa związane z występowaniem hałasu w środowisku pracy oraz podano najważniejsze obowiązki pracodawców i pracowników wynikające z przywołanych dokumentów (dział *Przepisy*). Przedstawiono kryteria podziału źródeł hałasu i podano przykłady źródeł hałasu (przemysłowych, impulsowego i muzycznego) wraz z parametrami wytwarzanego przez nie hałasu (dział *Źródła ekspozycji*). Omówiono podstawowe wielkości charakteryzujące hałas w środowisku pracy, zasady oceny narażenia na hałas i ryzyka zawodowego z nim związanego z uwzględnieniem obowiązujących progów działania i wartości dopuszczalnych (dział *Zasady oceny narażenia i metody badań*). Przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z ograniczaniem hałasu lub narażenia na hałas z wykorzystaniem środków technicznych (redukcja u źródła powstawania, środki ochrony zbiorowej i indywidualnej) oraz metod organizacyjnych (dział *Profilaktyka*). Omówiono również zasady profilaktyki medycznej pozwalające wykryć wczesne symptomy uszkodzeń słuchu. *Bibliografię* podzielono na artykuły dotyczące hałasu opublikowane w miesięczniku „Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka”, książki o hałasie wydane przez CIOP – PIB oraz literaturę uzupełniającą. *Słowniczek* zawiera krótkie definicje podstawowych pojęć dotyczących hałasu.

Kategoria *Materiały szkoleniowe i prezentacje multimedialne* zawiera materiały szkoleniowe i prezentacje jak również krótkie ulotki czy materiały informacyjne omawiające zagadnienia związane z danym zagrożeniem. Materiały te są zapisane w formacie PDF, więc mogą być przeglądane bezpośrednio w oknie przeglądarki internetowej lub pobrane przez użytkownika i wykorzystane do prowadzenia szkoleń lub działań informacyjnych z zakładzie pracy.

Ostatnią z kategorii treści udostępnianych w serwisie BEZPIECZNIEJ stanowią narzędzia internetowe. Są to niewielkie programy opracowane w języku skryptowym JavaScript, uruchamiane bezpośrednio w oknie przeglądarki internetowej, wspomagające prowadzenie działań profilaktycznych. Przykład narzędzia internetowego służącego do wyznaczania poziomu ekspozycji na hałas ustalony przedstawiono na Rys. 2. Po lewej stronie okna programu znajduje się wykres słupkowy, w którym wysokość słupka odpowiada wartości równoważnego poziomu dźwięku A (L_{Aeq}), natomiast jego szerokość odpowiada czasowi ekspozycji na hałas (T_e) podanemu w minutach. Użytkownik narzędzia może zmieniać wysokość i szerokość tego słupka (czyli wartości L_{Aeq} i T_e) naciskając odpowiednie dla danego narzędzia klawisze (podawane w instrukcji obsługi narzędzia). Podczas

wprowadzania tych zmian program automatycznie wylicza wartość poziomu ekspozycji na hałas, $L_{EX,8h}$ (wyświetlane w górnej części okna programu). Równocześnie dokonywana jest ocena, wynikającego z wyznaczonej ekspozycji na hałas, ryzyka zawodowego. Podawane jest ono po prawej stronie okna programu w postaci trzech słupków barwnych, odpowiadających trzem grupom pracowników – ogółowi pracowników, pracownikom młodocianym i kobietom w ciąży. W zależności od oszacowanego poziomu ryzyka odpowiedni słupek przyjmuje barwę zieloną (ryzyko zawodowe małe), żółtą (ryzyko średnie) lub czerwoną (ryzyko duże).



Rys. 2. Narzędzie internetowe do wyznaczania poziomu ekspozycji na hałas ustalony

3. PODSUMOWANIE

Serwis internetowy BEZPIECZNIEJ stanowi powszechnie dostępne kompendium wiedzy dotyczącej nie tylko hałasu i drgań mechanicznych, lecz także pozostałych fizycznych czynników szkodliwych środowiska pracy. Serwis ten jest dedykowany szczególnie pracodawcom i pracownikom z małych przedsiębiorstw, dla których łatwy dostęp do sprawdzonych źródeł wiedzy jest istotny w kontekście poprawy warunków pracy. Serwis BEZPIECZNIEJ jest stale aktualizowany i rozbudowywany. Ze względu na coraz szerszy dostęp cudzoziemców do polskiego rynku pracy w 2018 r. uruchomiono w portalu internetowym CIOP – PIB angielskojęzyczną wersję serwisu (SAFER). Ze względu na coraz większy udział w polskim rynku pracy pracowników z Ukrainy na dalszych etapach rozwoju serwisu planowane jest również opracowanie jego ukraińskojęzycznej wersji.

4. PODZZIEKOWANIA

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego 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.

5. LITERATURA

1. Koradecka D. (red.), Bezpieczeństwo i higiena pracy, CIOP – PIB, Warszawa, 2008.
2. Główny Urząd Statystyczny, Warunki pracy w 2017 r., Warszawa, 2018.
3. Morzyński L., Szczepański G., Serwis „Bezpieczniej” – kompendium wiedzy wspomagającej profilaktykę zagrożeń fizycznych środowiska pracy, Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka, 2, str. 24 – 26, 2018.

WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNE POJEDYNCZYCH ŚCIAN SZKLANYCH

Jacek NURZYŃSKI
Instytut Techniki Budowlanej
ul. Filtrowa 1, 00-611 Warszawa
e-mail: j.nurzynski@itb.pl

1. WPROWADZENIE

Ściany szklane jako przegrody wewnętrzne są stosowane głównie w budynkach biurowych. Umożliwiają podział powierzchni użytkowej zachowując przy tym wrażenie przestrzeni. Zapewniają też lepsze warunki oświetlenia niż w przypadku ścian tradycyjnych oraz umożliwiają komunikację wzrokową osób znajdujących się w sąsiednich pomieszczeniach. Są więc, w pewnym sensie, rozwiązaniem pośrednim pomiędzy tradycyjnym podziałem na odrębne pokoje, a pomieszczeniem typu open-space, w którym sąsiednie stanowiska pracy znajdują się w jednej wspólnej przestrzeni i są od siebie odseparowane jedynie niskimi ekranami. Ściany szklane, w odróżnieniu od ekranów biurowych, charakteryzują się już określoną izolacyjnością akustyczną, którą można w pewnym zakresie kształtować stosując różne rozwiązania konstrukcyjne. Obecnie coraz częściej są wykonywane ściany całkowicie przeszklone, tworzące jedną przeźroczystą powierzchnię, bez widocznego szkieletu konstrukcyjnego.

2. KONSTRUKCJA ŚCIANY I JEJ WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNE

Bezszprowe ściany szklane składają się z przeźroczystych tafli mocowanych jedynie do dolnej poziomej listwy podłogowej i górnej listwy sufitowej. Pionowe krawędzie sąsiednich szyb są połączone między sobą za pomocą taśmy dwustronnej, silikonu lub specjalnych uszczelek, jedynie elementy skrajne są mocowane jedną krawędzią do listew przyściennych. Tworzy się w ten sposób jedna przeszklona powierzchnia, w której pionowe styki tafli są w zasadzie niewidoczne (Rys. 1). Konstrukcyjne profile obwodowe mają minimalny przekrój, pozwalający jedynie uchwycić krawędź szyby za pośrednictwem uszczelek.

Wypełnienie ściany stanowią szyby jednorodne, szyby laminowane lub specjalne szyby o zwiększonej odporności ogniowej. Stosowane jest oszklenie pojedyncze lub podwójne. Pod względem akustycznym występuje tu analogia do rozwiązań występujących w oknach, ścianach kurtynowych, a także klasycznych ścianach szkieletowych, jednak można też

wskazać szereg różnic konstrukcyjnych, które mają istotne znaczenie dla uzyskiwanych parametrów akustycznych.

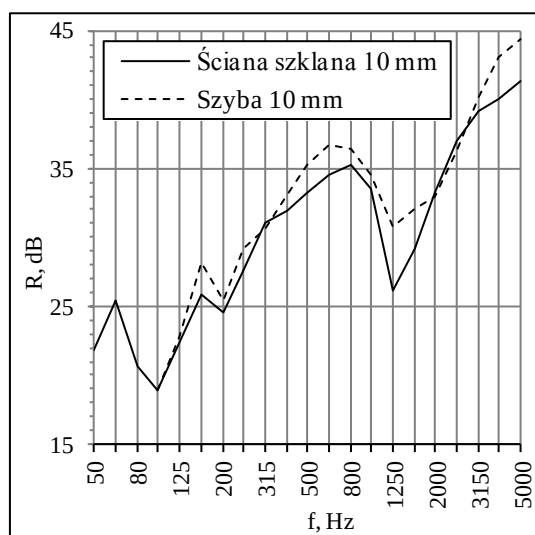


Rys. 1. Ściana szklana zamontowana na stanowisku badawczym ITB.

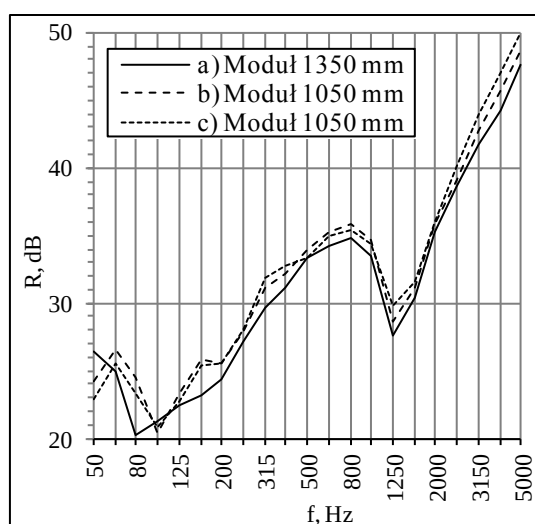
W konstrukcjach ściennych szyby są oparte jedynie na dwóch krótszych krawędziach, a nie na całym obwodzie, tak jak w przypadku klasycznego oszklenia. Pionowe krawędzie boczne sąsiednich elementów są ze sobą zespolone w sposób elastyczny, tworząc jedną płaszczyznę o znacznych rozmiarach. Połączenia stanowią rodzaj elastycznych przegubów, których właściwości akustyczne są funkcją

częstotliwości. Pojedyncze tafle mają kształt wydłużonego prostokąta, którego szerokość ze względów montażowych wynosi zwykle około jednego metra, natomiast długość jest równa wysokości pomieszczenia. Proporcje te znacznie różnią się od standardowej próbki oszklenia stosowanej w badaniach izolacyjności akustycznej szyb. W przypadku ścian podwójnych, odległość pomiędzy szybami wynosi 45-60 mm, jest zatem większa niż w typowych szybach zespolonych stosowanych w przegrodach zewnętrznych. Powstaje również kwestia szczelności zespołów pionowych krawędzi sąsiednich tafli, zarówno w odniesieniu do zastosowanych rozwiązań technologicznych, jak też staranności wykonania podczas montażu.

Biorąc pod uwagę wymienione różnice, ocena właściwości akustycznych ścian szklanych na podstawie parametrów samych szyb, wyznaczonych na normowych próbkach o wymiarach 1230 mm x 1480 mm, czy też na podstawie dotychczasowych doświadczeń zebranych w zakresie izolacyjności akustycznej okien, będzie mało precyzyjna. Na Rys. 2 zestawiono charakterystykę izolacyjności akustycznej standardowej próbki szyby o grubości 10 mm z izolacyjnością pojedynczej ściany szklanej zbudowanej z szyb o takiej samej grubości i rzeczywistych wymiarach 1030 mm x 2700 mm (oba badania wykonano na tym samym stanowisku).



Rys. 2. Izolacyjność akustyczna standardowej próbki szyby o grubości 10 mm w porównaniu z izolacyjnością szklanej ściany zbudowanej z szyb o takiej samej grubości



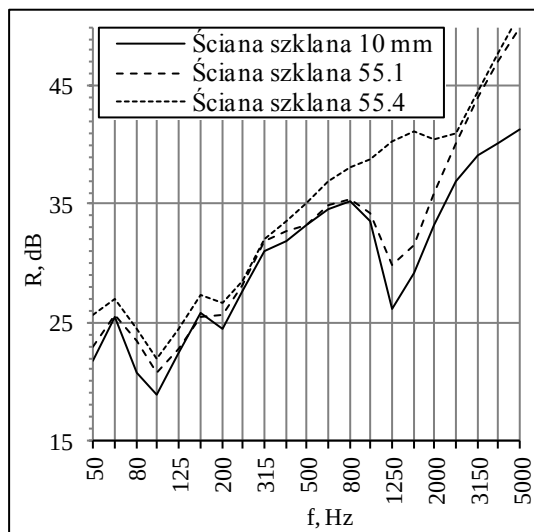
Rys. 3. Ściana z oszkleniem 55.1, podział na moduły o różnej szerokości

3. SZYBY JEDNORODNE A ZESTAWY LAMINOWANE

O właściwościach akustycznych ściany szklanej decyduje przede wszystkim rodzaj zastosowanego w niej oszklenia, jednak w praktyce możliwość wyboru jest tu w pewnym stopniu ograniczona, ze względów konstrukcyjnych i ekonomicznych. W przypadku tafli jednorodnych, standardowo jest stosowana szyba o grubości 10 mm – mniejsza grubość może powodować komplikacje techniczne, natomiast większa nie przynosi znaczących korzyści akustycznych. W celu uzyskania wyższej izolacyjności stosuje się więc szkło laminowane, którego właściwości zależą od współczynnika tłumienia warstwy elastycznej zespalającej

Zróznicowanie przebiegu wykresów jest widoczne zwłaszcza w pasmach średnich, szczególnie w rejonie częstotliwości koincydencji. Wartości jednolicebnych wskaźników izolacyjności akustycznej właściwej kompletnej ściany są niższe o ok. 2 dB w stosunku do samej szyby o standardowych wymiarach. W praktyce wymiary szyb tworzących ścianę mogą być różne, w zależności od jej podziału na poszczególne moduły, co również ma wpływ na właściwości akustyczne całej przegrody [1]. Ilustruje to Rys. 3, przedstawiający wyniki badań ścian z jednakowym oszkleniem 55.1, ale różnym podziałem. W rozpatrywanym przypadku szerokość tafli wynosi 1030 mm lub 1370 mm. Dla szerszych modułów występuje przesunięcie częstotliwości rezonansowej w kierunku pasm niskich oraz pewien spadek izolacyjności niemal w całym zakresie częstotliwości (Rys. 3), wartości wskaźników jednolicebnych są niższe o ok. 1 dB.

tafle, impedancji mechanicznej szyby i jej modułu sztywności na zginanie [2]. Parametry te są określane na podstawie badań normowej próbki zespolenia, pobudzonej do drgań giętych [3].

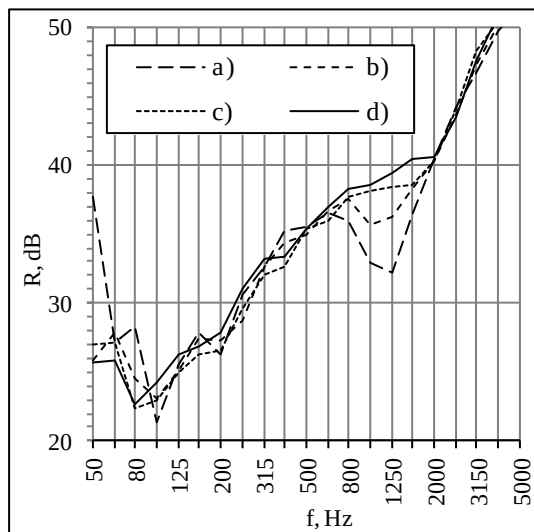


Rys. 4. Efekt zastosowania szyby laminowanej – wyniki badań izolacyjności akustycznej ściany z oszkleniem: 10 mm, 55.1 oraz 55.4 silence

Efekt zastosowania szyb laminowanych jest widoczny na Rys. 4, gdzie zestawiono charakterystyki izolacyjności akustycznej tej samej ściany oszklonej szybą jednorodną 10 mm, zwykłą szybą laminowaną 55.1 oraz szybą akustyczną 55.4 silence. Różnice w przebiegu wykresów można zaobserwować przede wszystkim w rejonie częstotliwości koincydencji. O dobrych właściwościach szyby laminowanej decydują głównie dwa czynniki – korzystne położenie częstotliwości krytycznej i duże tłumienie wewnętrzne spowodowane obecnością warstwy elastycznej.

W ogólnym przypadku położenie częstotliwości krytycznej f_c jest zależne od masy powierzchniowej płyty m oraz jej sztywności na zginanie B :

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} \quad 1$$

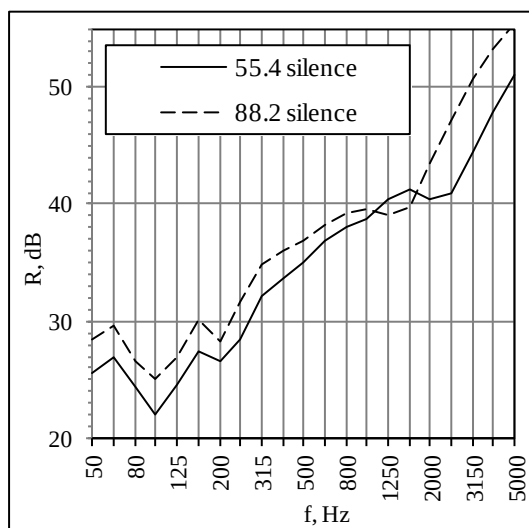


Rys. 5. Efekt zastosowania szyby laminowanej – wyniki badań izolacyjności akustycznej ściany z oszkleniem 66.2 przy różnych właściwościach laminatu

W przypadku płyty jednorodnej, sztywność B zwiększa się wraz ze wzrostem grubości płyty znacznie szybciej niż jej masa powierzchniowa. Stąd częstotliwość koincydencji obniża się wraz z grubością szyby, co wpływa niekorzystnie na izolacyjność akustyczną i niweluje dodatni efekt związany z większą masą. Zwiększenie grubości szyby powoduje więc dwa przeciwne efekty, dlatego wzrost wartości jednolicebowych wskaźników izolacyjności wraz z grubością szyby jest mniej dynamiczny, niż wynikałoby to np. z prawa masy. Znajac sztywność B można też

oszacować teoretycznie izolacyjność płyty w wąskich pasmach [4].

W szybach laminowanych sztywność całego układu zależy głównie od właściwości warstwy elastycznej zespalającej tafle szklane. Odpowiednio do jej zdolności tłumiących, zjawisko koincydencji przemieszcza się w stronę pasm wysokich, w porównaniu do szyby jednorodnej o takiej samej grubości. Efekt ten jest widoczny na Rys. 4 – częstotliwość koincydencji stosunkowo sztywnej zwykłej szyby laminowanej 55.1 sytuuje się niemal w tym samym miejscu, co szyby jednorodnej 10 mm (1250 Hz), natomiast w przypadku szyby akustycznej 55.4 przesuwają się w rejon 2000-2500 Hz, co odpowiada grubości szyb składowych 5 mm. Przy zachowaniu dużej masy powierzchniowej powoduje to znaczący wzrost izolacyjności w pasmach średnich i wysokich, który może osiągać nawet kilkanaście decybeli (Rys. 4). W rozpatrywanym przypadku wartości wskaźników jednoliczbowych szyby akustycznej 55.4 są o ok. 5 dB większe niż uzyskiwane przez szybę jednorodną 10 mm.



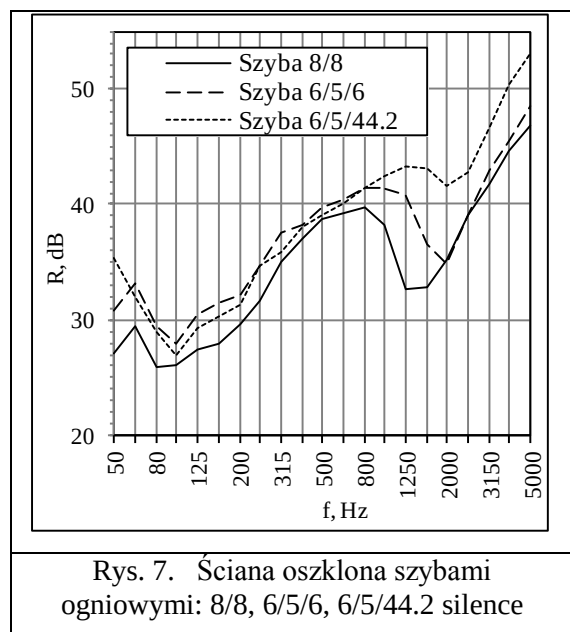
Rys. 6. Ściana szklana z szybą akustyczną o różnej budowie

Podobny efekt można zaobserwować na Rys. 5, gdzie zostały przedstawione wyniki badań ściany zbudowanej z szyb 66.2 o różnych właściwościach tłumiących. Oprócz zmiany położenia częstotliwości krytycznej widoczny jest efekt zwiększonego tłumienia wewnętrznego, które łagodzi spadek izolacyjności spowodowany koincydencją.

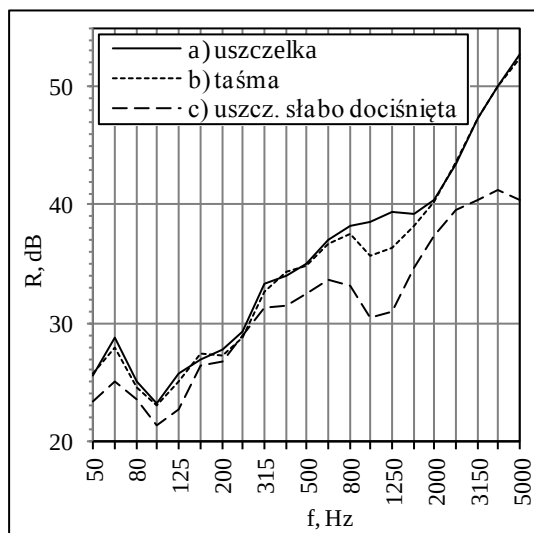
4. SZYBY SPECJALNE

Dalszą poprawę właściwości akustycznych ściany można uzyskać zwiększając grubość szyby laminowanej i różnicując grubości szyb składowych, z których jest ona zbudowana. Powoduje to zmianę położenia częstotliwości koincydencji, co można zaobserwować na Rys. 6 przedstawiającym przykładowe wyniki badań szyb o różnej budowie. Szyby akustyczne charakteryzują się wysokim tłumieniem wewnętrznym, więc obniżenie izolacyjności akustycznej przebiega bardzo łagodnie (Rys. 6). W analizowanym przypadku wartości wskaźników jednoliczbowych ściany 88.2 wynoszą $R_w(C; C_{tr}) = 40(-1; -4)$ dB.

Specjalne pakiety wieloszybowe o zwiększonej odporności ogniowej mogą uzyskiwać nieco wyższą izolacyjność, jednak jest to również uwarunkowane zastosowaniem w zestawie szyby laminowanej, łagodzącej efekt koincydencji i przesuwającej go w stronę pasm wysokich (Rys. 7).



tak dobrych efektów bardzo istotne są szczegóły wykonawcze, zwłaszcza szczelność połączenia krawędzi sąsiednich tafli, na które wpływa zarówno samo rozwiązanie konstrukcyjne styku, jak też jakość montażu ściany.



Rys. 8. Ściana oszklona szybą akustyczną 66.2, efekt szczelności złączy sąsiednich tafli

szczelina pomiędzy taflami była niedostrzegalna. Oprócz bezpośredniej izolacyjności akustycznej samego styku, jego rozwiązanie wpływa również na warunki podparcia krawędzi tafli szklanych, a tym samym również w pewnym stopniu na jej właściwości akustyczne [5].

Pojedyncze ściany szklane charakteryzują się wartością wskaźnika izolacyjności akustycznej R_{A1} wynoszącą od 30 do ok. 40 dB, zależnie od zastosowanego oszklenia. Wynik ten pozwala spełnić podstawowe wymagania obowiązujące w pomieszczeniach biurowych [6], a jeśli wymagania te są wyższe, konieczne jest już zastosowanie ścian podwójnych.

5. SZCZELNOŚĆ POŁĄCZEŃ TAFLI

SZKLANYCH

Przedstawione wyniki badań wskazują, że pojedyncze ściany szklane o dobrych właściwościach akustycznych, w których zastosowano efektywne szyby laminowane, mogą uzyskiwać parametry porównywalne ze ścianami tradycyjnymi wykonanymi z pustaków ceramicznych o grubości 6,5 cm, elementów gipsowych 80 cm, czy betonu komórkowego o grubości wynoszącej nawet kilkanaście centymetrów. Jednak w praktyce dla uzyskania

Problem ten dobrze ilustrują wyniki badań laboratoryjnych tej samej ściany, z takim samym oszkleniem, lecz różnym rozwiązaniem uszczelnienia styków (Rys. 8). Na Rys. 8 widoczny jest efekt zastosowania różnej metody uszczelnienia: taśmą dwustronną (a) oraz specjalną uszczelką (b), a także wpływ nieszczelności spowodowanej zbyt słabym docięnięciem uszczelki (c). Minimalna nieszczelność, czy raczej niedocięnięcie uszczelki, spowodowało obniżenie wartości wskaźnika R_{A1} aż o 5 dB, pomimo że fizycznie

7. PODSUMOWANIE

Decydujący wpływ na właściwości akustyczne ściany ma zastosowane w nim oszklenie. Szyby laminowane charakteryzują się wyższą izolacyjnością od szyb jednorodnych, jednak ich parametry zależą od elastyczności i zdolności tłumiących laminatu zespalającego tafle tworzące cały zestaw. W przypadku zestawów akustycznych, zespolenie jest na tyle wiotkie, że szyby składowe zachowują się niemal jak odrębne płyty, co skutkuje korzystnym przemieszczeniem częstotliwości koincydencji w stronę pasm wysokich i w konsekwencji znacznym wzrostem izolacyjności w zakresie średnich częstotliwości.

Pojedyncze ściany są w całości wykonane z tafli szklanych, jednak ich parametry akustyczne różnią się od właściwości samych szyb określonych w warunkach laboratoryjnych na standardowych próbkach. Parametry te zależą od podziału ściany na moduły, a więc od proporcji geometrycznych poszczególnych tafli, jak też od sposobu rozwiązania występujących między nimi połączeń, zwłaszcza uzyskiwanej przez nie szczelności, na co duży wpływ ma staranność wykonania podczas montażu.

Pojedyncze ściany o odpowiedniej konstrukcji spełniają podstawowe wymagania obowiązujące w pomieszczeniach biurowych, natomiast przy wyższych wymaganiach należy stosować ściany podwójne.

6. LITERATURA

1. Nurzyński J., Akustyka w budownictwie, PWN, Warszawa 2018.
2. Yoshimura J., Kanazawa J. Influence of damping characteristics on the transmission loss of laminated glass. *InterNoise*, 84 (1), pp. 589-592
3. ISO 16940 Glass in building. Glazing and airborne sound insulation. Measurement of the mechanical impedance of laminated glass.
4. Beranek L. L. (ed.). Noise and vibration control. McGraw-Hill, p. 281
5. Nurzyński J. Influence of sealing on the acoustic performance of windows. *Research in Building Physics*, edited by Carmeliet J., Hens H., Vermeir G., A. A. Balkema Publishers, 2003, pp. 595-604.
6. PN-B-02151 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach

HAŁAS ULTRADŹWIĘKOWY W ŚRODOWISKU PRACY – METODA POMIARU, OCENA RYZYKA ZAWODOWEGO I ZALECENIA PROFILAKTYKI

Dariusz PLEBAN, Jan RADOSZ, Bożena SMAGOWSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
e-mail: daple@ciop.pl

1. WPROWADZENIE

Dążenie w ostatnich latach do wzrostu zarówno wydajności produkcji jak i jej poziomu jakości przyczyniło się między innymi do rozwoju zastosowań technologicznych urządzeń ultradźwiękowych, w których ultradźwięki wytwarzane są celowo do realizacji lub przyspieszenia czy też usprawnienia założonych procesów technologicznych. Urządzenia te charakteryzują się stosunkowo dużymi mocami, a częstotliwość znamionowa ich pracy zawiera się najczęściej w zakresie od 18 do 40 kHz.

W Polsce najszersze wykorzystanie znalazły myjki ultradźwiękowe. Stanowią one ok. 2/3 wszystkich technologicznych urządzeń ultradźwiękowych wykorzystywanych w przemyśle. Na drugim miejscu pod względem stosowania znajdują się zgrzewarki ultradźwiękowe. Kolejną grupą technologicznych urządzeń ultradźwiękowych są drążarki ultradźwiękowe. Do technologicznych urządzeń ultradźwiękowych niskich częstotliwości zalicza się także lutownice ręczne i wanny do cynowania różnych elementów, maszyny do obróbki tkanin (np. dżetownice), jednostki dentystyczne do usuwania kamienia nazębnego oraz gilotyny, noże i kurtyny ultradźwiękowe.

Oprócz technologicznych urządzeń ultradźwiękowych występuje też w przemyśle liczna grupa maszyn i urządzeń, które emitują również ultradźwięki jako niezamierzony, uboczny czynnik towarzyszący. Źródłem tych ultradźwięków są zjawiska o charakterze aerodynamicznym (przepływ lub wypływ sprężonych gazów) albo mechanicznym (duże prędkości obrotowe elementów maszyn).

Ultradźwięki rozchodzące się w powietrzu mogą wnikać do ciała człowieka zarówno przez narząd słuchu, jak i całą powierzchnię ciała. Docierając do organizmu człowieka mogą wpływać na stan narządu słuchu, czynność narządu przedsionkowego oraz funkcje układu krążenia, ośrodkowego układu nerwowego, a pośrednio również na inne układy. Liczne badania wykazały, że potencjalne skutki oddziaływania ultradźwięków powietrznych (hałasu ultradźwiękowego) można sklasyfikować jako skutki słuchowe i termiczne oraz objawy subiektywne i zaburzenia czynnościowe [1]. Na skutek zjawisk nieliniowych zachodzących

w samym uchu, pod wpływem działania ultradźwięków powstają składowe subharmoniczne o poziomach ciśnienia akustycznego często tego samego rzędu, co podstawowa składowa ultradźwiękowa. W następstwie tego zjawiska dochodzi do ubytków słuchu właśnie dla częstotliwości subharmonicznych ultradźwięków [2].

2. WARTOŚCI DOPUSZCZALNE I OCENA RYZYKA ZAWODOWEGO

Obowiązujące wartości dopuszczalne (NDN) hałasu ultradźwiękowego są określone w rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [3]. Zgodnie z tym rozporządzeniem hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy jest charakteryzowany przez:

- równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz odniesione do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego tygodniowego (wyjątkowo w przypadku oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu), określonego w Kodeksie pracy [4], wymiaru czasu pracy,
- maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz.

Wartości dopuszczalne powyższych wielkości, określone w/w rozporządzeniu, zestawiono w Tab. 1.

Tabela 1. Wartości dopuszczalne (NDN) hałasu ultradźwiękowego dla ogółu pracowników wg [3]

Częstotliwość środkowa pasma tercjowego, kHz	Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego tygodniowego, określonego w Kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy, dB	Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego, dB
10; 12,5; 16	80	100
20	90	110
25	105	125
31,5; 40	110	130

Ryzyko zawodowe, będące następstwem narażenia na hałas ultradźwiękowy na danym stanowisku pracy, do którego oceny zobowiązuje pracodawców Kodeks pracy [4], jest określone na podstawie wyznaczonych dla tego stanowiska krotności NDN dla hałasu

ultradźwiękowego. Krotność NDN dla hałasu ultradźwiękowego, k , wyznacza się z poniższych wzorów (1) i (2):

- w przypadku równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych f z zakresu od 10 kHz do 40 kHz:

$$k = 10^{\frac{L_{feq,8h,zm} - L_{feq,8h,dop}}{10}} \quad (1)$$

- w przypadku maksymalnych poziomów ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych f z zakresu od 10 kHz do 40 kHz:

$$k = 10^{\frac{L_{fmax,zm} - L_{fmax,dop}}{20}} \quad (2)$$

gdzie:

- $L_{feq,8h,zm}$ – zmierzony (lub obliczony) równoważny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowym paśmie o częstotliwości środkowej f z zakresu od 10 kHz do 40 kHz odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, w dB
- $L_{feq,8h,dop}$ – dopuszczalny równoważny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowym paśmie o częstotliwości środkowej f z zakresu od 10 kHz do 40 kHz odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy (NDN), w dB
- $L_{fmax,zm}$ – zmierzony maksymalny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowym paśmie o częstotliwości środkowej f z zakresu od 10 kHz do 40 kHz, w dB
- $L_{fmax,dop}$ – dopuszczalny maksymalny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowym paśmie o częstotliwości środkowej f z zakresu od 10 kHz do 40 kHz (NDN), w dB.

Największa z krotności NDN spośród krotności k wyznaczonych wg wzorów (1) i (2) stanowi podstawę do określenia wielkości ryzyka zawodowego będącego następstwem narażenia na hałas ultradźwiękowy. Zgodnie z wytycznymi do oceny ryzyka zawodowego podanymi w normie PN-N-18002:2011 [5] i po uwzględnieniu skali trójstopniowej, przyjmuje się, że:

- jeżeli wyznaczona dla stanowiska pracy krotność jest mniejsza od 0,5 ($k < 0,5$), to ryzyko wystąpienia niekorzystnych dla zdrowia pracowników następstw ekspozycji na hałas ultradźwiękowy na tym stanowisku jest dopuszczalne – małe,
- jeżeli wyznaczona dla stanowiska pracy krotność jest równa lub większa od 0,5, ale nie przekracza 1 ($0,5 \leq k \leq 1$), to ryzyko zawodowe związane z ekspozycją na hałas ultradźwiękowy jest dopuszczalne – średnie,
- jeżeli wyznaczona dla stanowiska pracy krotność jest większa od 1 ($k > 1$), to ryzyko zawodowe związane z narażeniem na ten rodzaj hałasu jest niedopuszczalne – duże.

3. METODA POMIARU – PROJEKT POLSKIEJ NORMY

W 2018 r. w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP – PIB) opracowano i zgłoszono do Polskiego Komitetu Normalizacyjnego wstępny projekt Polskiej Normy, który obecnie posiada status projektu prPN-Z-01339 „*Hałas ultradźwiękowy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów w środowisku pracy*”. W projekcie normy określono metodę pomiaru wielkości charakteryzujących hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy oraz metodę wyznaczania równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych w zakresie 10÷40 kHz odniesionych do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, a także maksymalnych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych 10÷40 kHz. Określono także metodę uwzględniania poprawek związanych z wpływem charakterystyk metrologicznych aparatury oraz wpływem siatki ochronnej mikrofonu na wynik pomiaru. Zakres projektu normy prPN-Z-01339 obejmuje:

- wymagania dotyczące aparatury pomiarowej oraz okresowej kontroli metrologicznej,
- wymagania dotyczące środowiska pomiarowego,
- opis postępowania w czasie przeprowadzania pomiarów,
- zagadnienie korekcji wyniku pomiaru,
- metodę wyznaczania niepewności pomiarów,
- wytyczne sporządzenia raportu z pomiarów.

W projekcie normy prPN-Z-01339 przyjęto, że potrzeba co najmniej trzech pomiarów elementarnych do określenia uśrednionej wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego, a największy rozrzut między wartościami próbek nie powinien przekraczać 3 dB. W takim przypadku, odchylenie standardowe wartości próbek wynosi maksymalnie około 1,5 dB.

Zazwyczaj stanowiska pracy związane z hałasem ultradźwiękowym, zwłaszcza stanowiska obsługi technologicznych urządzeń ultradźwiękowych, są stacjonarnymi stanowiskami pracy i wykonywane na nich czynności mogą być podzielone na przedziały czasowe zależne od pracy tych urządzeń. W takim przypadku najbardziej efektywną metodą pomiarową jest metoda z podziałem na czynności zawarta w normie PN-EN ISO 9612:2011 [6]. W związku z tym zgodnie z projektem normy prPN-Z-01339 czas pracy na badanym stanowisku powinien być podzielony na czas trwania poszczególnych czynności rozróżnialnych ze względu na hałas ultradźwiękowy. Wszystkie istotne udziały hałasu

ultradźwiękowego powinny być uwzględnione, a łączny czas trwania poszczególnych czynności powinien obejmować pełną zmianę roboczą.

Ujęta w opracowanym projekcie normy metoda wymaga wykonania pomiarów w obecności pracownika na stanowisku pracy. Mikrofon w czasie pomiarów powinien być umieszczany w odległości około 10 cm od wejścia do kanału ucha zewnętrznego, po stronie ucha narażonego na wyższe wartości poziomu ciśnienia akustycznego. Dla każdej czynności należy wykonać co najmniej trzy pomiary, uwzględniając ewentualną zmienność hałasu ultradźwiękowego.

Wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych dla m -tej czynności wyznacza się na podstawie poniższego wzoru (3):

$$L_{fi,eq,Tm} = 10 \log \left(\frac{1}{J} \sum_{j=1}^J 10^{0,1L_{fi,eq,Tm,j}} \right) \quad (3)$$

gdzie:

- $L_{fi,eq,Tm}$ – równoważny poziom ciśnienia akustycznego w i -tym paśmie częstotliwości, dla m -tej czynności, w dB
- $L_{fi,eq,Tm,j}$ – równoważny poziom ciśnienia akustycznego w i -tym paśmie częstotliwości, dla j -tego pomiaru dla m -tej czynności, w dB,
- J – liczba pomiarów dla m -tej czynności.

Natomiast poziom maksymalny w danym przedziale narażenia (dla m -tej czynności) $L_{fi,max,Tm}$ jest to wartość największa z uzyskanych wartości maksymalnych z zarejestrowanych pomiarów.

Projekt normy prPN-Z-01339 wymaga, aby wynik pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego w i -tym paśmie częstotliwości (równoważny oraz maksymalny) skorygować zgodnie z poniższym wzorem (4):

$$L_{fi} = L'_{fi} + K_{apfi} - K_{gfi} \quad (4)$$

gdzie:

- L_{fi} – skorygowany wynik pomiaru w i -tym paśmie tercjowym (równoważny poziom ciśnienia akustycznego dla m -tej czynności lub maksymalny poziom ciśnienia akustycznego dla m -tej czynności), w dB,
- L'_{fi} – wskazanie miernika/analizatora w i -tym paśmie tercjowym, w dB,
- $K_{ap,fi}$ – poprawka uwzględniająca łączny wpływ charakterystyk metrologicznych miernika/analizatora poziomu dźwięku na wynik pomiaru w i -tym paśmie tercjowym (dane ze świadectwa wzorcowania), w dB,

$K_{g,fi}$ – poprawka uwzględniająca wpływ na wynik pomiaru stosowania siatki ochronnej mikrofonu w i -tym paśmie tercjowym, w dB.

Zaś na podstawie poniższego wzoru (5) możliwe jest obliczenie równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego w i -tym paśmie tercjowym odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy:

$$L_{fi,eq,8h} = 10 \log \left[\sum_{m=1}^M \frac{T_m}{T_0} 10^{0,1L_{fi,eq,Tm}} \right] \quad (5)$$

gdzie:

$L_{fi,eq,8h}$ – równoważny poziom ciśnienia akustycznego w i -tym paśmie częstotliwości odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, w dB,

$L_{fi,eq,Tm}$ – równoważny poziom ciśnienia akustycznego w i -tym paśmie częstotliwości, dla m -tej czynności, w dB,

T_m – czas trwania m -tej czynności, w h,

T_0 – przedział czasowy odniesienia, $T_0 = 8$ h,

m – numer czynności,

M – ogólna liczba czynności mających udział w ekspozycji na hałas ultradźwiękowy.

4. PRZYKŁADOWE WYNIKI OCENY RYZYKA ZAWODOWEGO

Ocenianymi stanowiskami pracy były stanowiska obsługi 5-ciu myjek ultradźwiękowych. W Tab. 2 i Tab. 3 zamieszczono wyniki pomiarów hałasu ultradźwiękowego, zaś w Tab. 4 zestawiono wyniki oceny ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na hałas ultradźwiękowy na stanowiskach obsługi badanych myjek ultradźwiękowych.

Tabela 2. Równoważne poziomy ciśnienia akustycznego odniesione do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy wyznaczonego na stanowiskach obsługi myjek ultradźwiękowych, w dB

Stanowisko pracy	Częstotliwość, kHz						
	10	12,5	16	20	25	31,5	40
Obsługa myjki nr 1	63,8	66,5	75,2	85,9	76,0	94,4	108,9
Obsługa myjki nr 2	55,2	65,8	61,0	81,3	97,8	76,0	63,0
Obsługa myjki nr 3	55,5	58,0	68,8	72,0	63,3	76,7	92,0
Obsługa myjki nr 4	64,8	77,6	68,5	83,4	96,5	81,6	80,1
Obsługa myjki nr 5	74,3	85,6	75,4	74,6	100,4	81,8	68,1

Tabela 3. Maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego wyznaczone na stanowiskach obsługi myjek ultradźwiękowych, w dB

Stanowisko pracy	Częstotliwość, kHz						
	10	12,5	16	20	25	31,5	40
Obsługa myjki nr 1	75,4	77,7	86,7	97,5	88,1	107,1	121,3
Obsługa myjki nr 2	73,0	82,0	68,0	97,0	113,5	91,0	78,0
Obsługa myjki nr 3	71,5	72,5	79,5	85,6	78,2	93,6	108,9
Obsługa myjki nr 4	79,1	91,9	82,8	97,2	115,5	95,6	93,9
Obsługa myjki nr 5	79,8	86,9	77,3	75,9	101,1	82,2	69,7

Tabela 4. Wyniki oceny ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na hałas ultradźwiękowy

Stanowisko pracy	Wartość maksymalna k	Ryzyko
Obsługa myjki nr 1	0,78	Średnie – dopuszczalne
Obsługa myjki nr 2	0,27	Małe – dopuszczalne
Obsługa myjki nr 3	0,09	Małe – dopuszczalne
Obsługa myjki nr 4	0,58	Średnie – dopuszczalne
Obsługa myjki nr 5	3,63	Duże – niedopuszczalne

Z przedstawionych wyników wynika, że jedynie w przypadku myjki nr 5 występują przekroczenia wartości NDN hałasu ultradźwiękowego i wynik oceny ryzyka zawodowego dla stanowiska pracy związanego z obsługą tej myjki jest następujący: ryzyko jest duże (niedopuszczalne).

5. ZALECENIA PROFILAKTYKI

Zgodnie z [7] w celu ochrony pracowników przed hałasem ultradźwiękowym należy uwzględnić w podejmowanych działaniach profilaktycznych zarówno wyniki oceny ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na ten czynnik pracownika na danym stanowisku pracy, jak i wyniki badań medycznych, szczególnie w przypadku łącznego działania kilku czynników szkodliwych.

W profilaktyce szkodliwego działania hałasu ultradźwiękowego obowiązują w zasadzie takie same wymagania i metody jak w przypadku hałasu. Najskuteczniejszym sposobem ograniczenia zagrożenia hałasem ultradźwiękowym są działania ukierunkowane na redukcję hałasu ultradźwiękowego u źródeł jego powstawania. Zatem w pierwszej kolejności powinny być podejmowane przez producentów urządzeń działania w zakresie ograniczenia emisji

źródeł hałasu ultradźwiękowego. W drugiej kolejności, ze względu na krótkofalowość ultradźwięków niskich częstotliwości rozchodzących się w powietrzu, w ramach działań ograniczających narażenie na hałas ultradźwiękowy powinno być stosowanie ochron zbiorowych. W tym przypadku najbardziej skutecznymi ochronami są następujące środki techniczne: hermetyzacja i obudowanie źródeł, osłony oraz ekrany akustyczne. Środki te ograniczają hałas ultradźwiękowy na drodze jego propagacji. Skutecznym środkiem technicznym jest także zastosowanie zdalnego sterowania procesem technologicznym, w którym zastosowano energię ultradźwiękową. Umożliwia to odsunięcie pracownika od źródeł hałasu ultradźwiękowego.

Podczas eksploatacji urządzenia emitującego hałas ultradźwiękowy, należy uwzględnić takie aspekty, jak:

- właściwe użytkowanie urządzenia zgodnie z jego przeznaczeniem,
- stosowanie zabezpieczeń akustycznych, stanowiących elementy wyposażenia urządzenia (dołączone przez producenta),
- regularna konserwacja i utrzymywanie urządzenia w odpowiednim stanie technicznym.

Po osiągnięciu lub przekroczeniu wartości NDN hałasu ultradźwiękowego, pracodawca, oprócz powyższych działań, podejmuje działania o charakterze organizacyjnym, obejmujące m.in. ograniczanie czasu i poziomu narażenia oraz liczby osób narażonych na hałas ultradźwiękowy poprzez właściwą organizację pracy, w szczególności stosowanie skróconego czasu lub przerw w pracy i rotacji na stanowiskach pracy.

Gdy uniknięcie lub wyeliminowanie ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na hałas ultradźwiękowy nie jest możliwe za pomocą wymienionych środków technicznych lub działań organizacyjnych, wówczas sposobem ograniczenia szkodliwego oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na pracowników jest stosowanie ochronników słuchu oraz ochron osłaniających głowę (tj. hełmów lub przyłbic zaopatrzonych w przezroczyste ekrany (np. z pleksiglasu)). Dobór ochronników słuchu powinien być dokonany zgodnie nie tylko z wymaganiami ujętymi w Polskiej Normie PN-EN 458: 2016 [8], ale także z uwzględnieniem opracowanej w CIOP-PIB metody doboru ochronników słuchu w pasmach częstotliwości 10, 12,5 oraz 16 kHz [9]. Podstawowym warunkiem skuteczności ochrony przed hałasem ultradźwiękowym za pomocą ochronników słuchu jest nieprzerwane ich stosowanie w trakcie narażenia.

Ponadto pracodawca powinien zapewnić pracownikom narażonym na działanie hałasu ultradźwiękowego informacje i szkolenie w zakresie wyników oceny ryzyka zawodowego, potencjalnych jego skutków i środków niezbędnych do wyeliminowania lub ograniczenia

tego ryzyka. Jednocześnie zgodnie z Kodeksem pracy [4], w ramach profilaktyki pracownicy podlegają okresowym badaniom lekarskim. Tryb i zakres oraz częstotliwość badań określa rozporządzenie ministra zdrowia i opieki społecznej [10] – w przypadku narażenia na hałas ultradźwiękowy badania ogólne wykonuje się co 2 lata.

6. PODSUMOWANIE

Pracownicy obsługujący technologiczne urządzenia ultradźwiękowe mogą należeć do grupy pracowników zagrożonych hałasem ultradźwiękowym. Przeprowadzenie oceny tego zagrożenia wymaga wykonania pomiarów hałasu ultradźwiękowego. Jednocześnie zgodnie z Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [3] metody pomiaru hałasu ultradźwiękowego powinny być określone w Polskich Normach. W związku z tym został opracowany wstępny projekt Polskiej Normy prPN-Z-01339 „Hałas ultradźwiękowy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów w środowisku pracy”.

W projekcie normy określono metodę pomiaru wielkości charakteryzujących hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy oraz metodę wyznaczania równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych w zakresie 10÷40 kHz odniesionych do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, a także maksymalnych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych 10÷40 kHz. W styczniu 2019 r. projekt ten przekazano do Komitetu Technicznego PKN nr 157 ds. Zagrożeń Fizycznych w Środowisku Pracy i została uruchomiona procedura związana z ustanowieniem na jego podstawie Polskiej Normy.

Natomiast w profilaktyce szkodliwego działania hałasu ultradźwiękowego obowiązują w zasadzie takie same wymagania i metody jak w przypadku hałasu. Metody te obejmują zarówno działania techniczne, jak i organizacyjne oraz profilaktykę lekarską.

7. PODZIĘKOWANIE

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego 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.

8. LITERATURA

1. Pawlaczyk-Łuszczynska M., Koton J., Śliwińska-Kowalska M., Augustyńska D., Kameduła M., Hałas ultradźwiękowy. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, 2001, 2(28), 55-88
2. Augustyńska D., Pośniak M., red., Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne, CIOP – PIB, Warszawa, 2016
3. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U. 2018, poz. 1286
4. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 13 kwietnia 2018 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Kodeks pracy. Dz.U. 2018, poz. 917 z późn. zm.
5. PN-N-18002:2011. Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego
6. PN-EN ISO 9612:2011. Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna
7. Smagowska B., Profilaktyka narażenia na hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, 2012, 2(72), 5-11
8. PN-EN 458:2016. Ochronniki słuchu. Zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej. Dokument przewodni
9. Młyński R., Kozłowski E., Stosowanie indywidualnych ochron słuchu w przypadku hałasu o częstotliwościach słyszalnych powyżej 8 kHz, CIOP – PIB, Warszawa, 2016
10. Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 4 listopada 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. Dz. U. 2016, poz. 2067

XLVII Szkoła Zimowa
Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk, 2019-02-25 – 03-01

INDEKS NAZWISK AUTORÓW

Lp.	Autor	Strona
1.	MIKULSKI Witold	7, 19
2.	MORZYŃSKI Leszek	31
3.	NURZYŃSKI Jacek	37
4.	PLEBAN Dariusz	45
5.	RADOSZ Jan	45
6.	SMAGOWSKA Bożena	45

DODATEK 1

Szkolenie

**przeprowadzane przez firmę SVANTEK
w ramach**

XLVII Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki



SEMINARIUM TECHNICZNE

HAŁAS I DRGANIA NA
STANOWISKACH PRACY
PROBLEMATYKA POMIARU HAŁASU
ULTRADŹWIĘKOWEGO

ORGANIZATORZY: GÓRNOŚLĄSKI
ODDZIAŁ POLSKIEGO
TOWARZYSTWA
AKUSTYCZNEGO
ORAZ FIRMA SVANTEK

28 LUTEGO 2019 R., SZCZYZRK

HOTEL META, UL. SKOŚNA 4

Już po raz trzeci serdecznie zapraszamy do udziału w seminarium technicznym poświęconemu pomiarom **hałasu i drgań na stanowiskach pracy**. Podczas spotkania będą mieli Państwo okazję do praktycznego zapoznania się z profesjonalną aparaturą pomiarową firmy **SVANTEK**. Spotkanie zostanie przeprowadzone w formie warsztatów pomiarowych. Każdy z uczestników będzie miał do dyspozycji aparaturę pomiarową oraz stanowisko do analizy danych pomiarowych.

Gościem specjalnym wydarzenia będzie **mgr inż. Michał Stopa**, Kierownik Akredytowanego Laboratorium Bezpieczeństwa Pracy Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej (nr akredytacji AB 905), który przedstawi od strony praktycznej **problematykę pomiarów hałasu ultradźwiękowego** na stanowiskach pracy wraz z elementami wiedzy dotyczącej zabezpieczenia pracowników przed jego wpływem.

Seminarium będzie doskonałą okazją do spotkania specjalistów z branży i wymiany poglądów. Zachęcamy również do udziału w **Szkole Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki**. Podczas konferencji poruszane są ciekawe tematy z szeroko pojętej wibroakustyki. Więcej informacji o wydarzeniu znajdą Państwo na stronie organizatora www.ogpta.pl

Program seminarium

- 9:00 – 9:15 *Rejestracja uczestników*
- 9:15 – 9:30 *Otwarcie Seminarium*
- 9:30 – 11:45 Kalibracja i pomiary hałasu na stanowisku pracy oraz analiza wyników w programie Supervisor zgodnie z PN-EN ISO 9612
- 11:45 – 12:00 *Przerwa kawowa*
- 12:00 – 13:00 Problematyka pomiarów hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy z elementami wiedzy dotyczącej zabezpieczenia pracowników przed jego wpływem
- mgr inż. Michał Stopa, Politechnika Wrocławska
- 13:00 – 13:45 *Lunch*
- 13:45 – 15:45 Kalibracja i pomiary drgań miejscowych na stanowisku pracy oraz analiza wyników w programie Supervisor zgodnie z PN-EN 5349
- 15:45 – 16:00 *Podsumowanie i zakończenie seminarium*

Zgłoszenia

Roman.Bukowski@polsl.pl lub biuro@svantek.pl

Szczegółowe informacje

Karol Sałagan tel. 795 568 643, 22 5188 325

Koszt udziału: 200 zł (Uczestnicy Szkoły Zimowej bez opłaty)
zawiera przerwy kawowe, lunch

Opłaty prosimy wносить na konto

PKO BP SA: 53 1020 2401 0000 0502 0173 8087

Czekamy na Państwa zgłoszenia
do 20 lutego 2019 r.



Do zobaczenia w Szczyrku!

DODATEK 2

Z historii

**XLVI Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk 2018**

foto – Roman Bukowski



**Przed otwarciem IOS i Szkół Zimowych
Szczyrk 2018**



**Prof. Franciszek Witos, Przew. OG PTA
otwiera sesję poświęconą jubileuszowi 45-lecia
pracy prof. Tadeusza Pustelnego**



Dostojny Jubilat, prof. Tadeusz Pustelny



Prof. Tadeusz Pustelny
Sesja jubileuszowa



Prof. Eugeniusz Kozaczka, Przew. Komitetu
Akustyki PAN składa gratulacje Jubilatowi



**Od prawej – prof. Tadeusz Pustelny, prof. Tomasz Wolioński,
dr hab. Szymon Pustelny, dr hab. inż. Zbigniew Opilski**



Jubileuszowy wieczór uświetnił występ kwartetu smyczkowego



**Uczestnicy XLVI Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk 2018**



Słuchacze jednej z sesji SZ ASiW'18



Dr hab. inż. Dariusz Bismor,
prelegent SZ ASiW



Dr inż. Witold Mikulski,
prelegent SZ ASiW



Dr inż Jerzy Maciejczyk, już tradycyjnie, na zakończenie obrad dzieli się swoim hobby z uczestnikami SZ ASiW



W czasie szkolenia firmy SVANTEK



Karol Sałagan, organizator szkolenia firmy SVANTEK

PROGRAM

**XLVII SZKOŁY ZIMOWEJ
AKUSTYKI ŚRODOWISKA I WIBROAKUSTYKI**

SZCZYRK

2019-02-25÷03-01

XLVII Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki SZCZYRK 2019-02-25 – 03-01	
2019-02-25 – Poniedziałek	
13:00	Obiad
14:30-14:35	Uroczyste otwarcie 14th IOS'2019, XLVIII SZ AFiK oraz XLVII SZ AŚiW
14:35-15:30	Jubileusz Profesora Wiesława WOLIŃSKIEGO
15:30-16:30	<i>Sesja dedykowana prof. Wiesławowi Wolińskiemu z okazji jego jubileuszu</i> <i>część I</i>
15:30-16:00	<i>Graphene in infrared and terahertz detector family</i> A. ROGALSKI
16:00-16:30	<i>Examination of the bottom of the Gdansk Bay by means of acoustic methods</i> <u>E. KOZACZKA</u> , G. GRELOWSKA
16:30-17:00	Przerwa kawowa
17:00-18:00	<i>Sesja dedykowana prof. Wiesławowi Wolińskiemu z okazji jego jubileuszu</i> <i>część II</i>
17:00-17:20	<i>Synthesis and propagation of structured light beams in nematic liquid crystals</i> U. A. LAUDYN, M. KWAŚNY, J. PIŁKA, P. JUNG, <u>M. A. KARPIERZ</u>
17:20-17:40	<i>The problems of the direction finding by air vehicles of the radars working with rotating antenna</i> A. RUTKOWSKI, <u>A. KAWALEC</u>
17:40-18:00	<i>Near-infrared emission in fluoroindate glasses co-doped with rare-earth</i> M. KOCHANOWICZ, J. ŻMOJDA, P. MILUSKI, A. BARANOWSKA, T. RAGIŃ, J. DOROSZ, M. KUWIK, W. A. PISARSKI, J. PISARSKA, M. LEŚNIAK, B. STARZYK, M. FERRARI, <u>D. DOROSZ</u>
18:00-19:00	Czas wolny
19:00-20:00	Kolacja
20:00-....	<i>Chwila z muzyką – występ kwartetu smyczkowego</i>

2019-02-26 – Wtorek	
8:00-9:00	Śniadanie
13:00	Obiad
14:20-14:30	Otwarcie XLVII Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
14:30-16:30	Sesja konferencyjna – przewodniczy dr inż. Roman Bukowski
14:30-15:30	PLEBAN Dariusz, RADOSZ Jan, SMAGOWSKA Bożena <i>Hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy – metoda pomiaru, ocena ryzyka zawodowego i zalecenia profilaktyki</i>
15:30-16:30	MIKULSKI Witold <i>Izolacyjność akustyczna obudów w zakresie częstotliwości 8-50 kHz</i>
16:30-17:00	Przerwa kawowa
17:00-18:30	Czas wolny
18:30-19:00	Sesja posterowa IOS i SZ AFiK
19:00-20:00	Kolacja
20:00-...	Sesja posterowa IOS i SZ AFiK – cd

2019-02-27 – Środa	
8:00-9:00	Śniadanie
13:00	Obiad
15:00-16:30	Sesja konferencyjna – przewodniczy dr hab. inż. Dariusz Pleban
15:00-15:30	NURZYŃSKI Jacek <i>Właściwości akustyczne pojedynczych ścian szklanych</i>
15:30-16:00	MIKULSKI Witold <i>Wyniki badań hałasu w otwartym pomieszczeniu biurowym— case study w pomieszczeniu o dużej chłonności akustycznej</i>
16:00-16:30	MORZYŃSKI Leszek <i>Rozwój serwisu internetowego „Bezpieczniej” wspomagającego profilaktykę zagrożeń hałasem, drganiami mechanicznymi i innymi czynnikami szkodliwymi środowiska pracy</i>
16:30-17:00	Przerwa kawowa
17:00-19:30	Czas wolny
19:30-...	Uroczysta kolacja

2019-02-28 – Czwartek	
8:00-9:00	Śniadanie
9:00-16:00	Seminarium szkoleniowe firmy SVANTEK
9:00-9:15	Rejestracja uczestników
9:15-9:30	Otwarcie seminarium
9:30-11:45	<i>Kalibracja i pomiary hałasu na stanowisku pracy oraz analiza wyników w programie Supervisor zgodnie z PN-EN ISO 9612</i>
11:45-12:00	<i>Przerwa kawowa</i>
12:00-13:00	Mgr inż. MICHAŁ STOPA – Politechnika Wrocławska <i>Problematyka pomiarów hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy z elementami wiedzy dotyczącej zabezpieczenia pracowników przed jego wpływem</i>
13:00-13:45	Lunch
13:45-15:45	<i>Kalibracja i pomiary drgań miejscowych na stanowisku pracy oraz analiza wyników w programie Supervisor zgodnie z PN-EN 5349</i>
15:45-16:00	Podsumowanie szkolenia i zakończenie seminarium
16:30-17:00	<i>Przerwa kawowa</i>
17:00-17:10	Zakończenie XLVII SZ AŚiW
19:00	Kolacja

2019-03-01 – Piątek	
8:00	Śniadanie

