Oddział Górnośląski
Polskiego Towarzystwa Akustycznego
Komitet Akustyki Polskiej Akademii Nauk

Materiały XLVI Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki

Gliwice-Szczyrk
2018-02-26 – 03-02

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
http://ogpta.pl/index.php/oddzial/

ISBN: 978-83-931744-8-5

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

Komitet 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 KAŹMIERCZAK (PŚl)
dr hab. Janusz KOMPAŁA(GIG)
prof. dr hab. inż. Eugeniusz KOZACZKA (PGd)
prof. dr hab. inż. Marek PAWEŁCZYK (PŚl)
dr hab. inż. Dariusz PLEBAN (CIOP – PIB)
dr inż. Krzysztof RUDNO-RUDZIŃSKI (PWr)
dr hab. Ewa SKRODZKA (UAM)
prof. dr hab. inż. Stefan WEYNA (ZUT)
prof. dr hab. inż. Jerzy WICIAK (AGH)

Komitet Organizacyjny
XLVI Szkoły Zimowej
Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk, 2018-02-26 – 03-02

Koordynator 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, 2018-02-26 – 03-02

SPIS TREŚCI

	Autor(rzy)/*Tytuł*	Str.
1.	BISMOR Dariusz *The Hopping Discrete Fourier Transform in Acoustics*	7
2.	KUKULSKI Bartłomiej, WSZOŁEK Tadeusz, MLECZKO Dominik *Wpływ hałasu fajerwerków na klimat akustyczny obszarów miejskich Krakowa podczas nocy sylwestrowej*	9
3.	MIKULSKI Witold *Adaptacja akustyczna pomieszczeń połączonych – badania symulacyjne*	11
4.	MIKULSKI Witold *Laboratoryjne źródło dźwięku w zakresie częstotliwości 8-50 kHz*	31
5.	MORZYŃSKI Leszek, MŁYŃSKI Rafał, SZCZEPAŃSKI Grzegorz, KOZŁOWSKI Emil *Możliwości wykorzystania technik komunikacji bezprzewodowej i Internetu do monitorowania i ograniczania zagrożeń spowodowanych hałasem*	47
6.	NURZYŃSKI Jacek *Czynniki kształtujące jakość akustyczną środowiska zamieszkania*	53
7.	PLEBAN Dariusz, RADOSZ Jan, SMAGOWSKA Bożena *Metoda pomiaru hałasu ultradźwiękowego do oceny narażenia*	61
8.	SIEJDA Zbigniew *Możliwości GUM w zakresie wzorcowania aparatury do pomiaru udarów mechanicznych*	69
9.	SMAGOWSKA Bożena, PLEBAN Dariusz *Wyniki badań środowiskowych hałasu w zakładzie produkcji tektury falistej i opakowań tekturowych*	75
10	SZCZEPAŃSKI Grzegorz *Zautomatyzowany system wspomagający pomiary akustyczne – potrzeby i wymagania*	83
	Indeks Nazwisk Autorów	89
	Z historii SZ ASiW	91

THE HOPPING DISCRETE FOURIER TRANSFORM IN ACOUSTICS

Dariusz BISMOR
Institute of Automatic Control, Silesian University of Technology,
Akademicka 16 St., 44-100 Gliwice, Poland,
e-mail: dariusz.bismor@polsl.pl

Frequency-domain LMS algorithm is one of the fastest ways to update adaptive filters, which are nowadays very frequently used in many sound processing applications, like predictive voice coding, acoustic echo cancellation, or active noise control. Even if the Cooley-Tukey Fast Fourier Transform algorithm allows to calculate a frequency implementation very fast, the calculation time may be too long in applications using long filters. The Hopping Discrete Fourier Transform algorithm may be used as a solution to this problem. The algorithm calculates the frequency representation update based on the previous result and the new data, and may use significantly less operations than the Cooley-Tukey algorithm. This work presents an application of the Hopping DFT in an active noise control system.

WPŁYW HAŁASU FAJERWERKÓW NA KLIMAT AKUSTYCZNY OBSZARÓW MIEJSKICH KRAKOWA PODCZAS NOCY SYLWESTROWEJ

Bartłomiej KUKULSKI, Tadeusz WSZOŁEK, Dominik MLECZKO
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland;
e-mail: kukulski@agh.edu.pl, twszolek@agh.edu.pl, dmleczko@agh.edu.pl

Noc sylwestrowa stanowi szczególny przykład sytuacji, w której mieszkańcy miast narażeni są na niemalże ciągły i podwyższony poziom hałasu pochodzący od źródła dźwięków impulsowych – fajerwerki. Zwyczaj ten bywa coraz częściej przedmiotem licznych dyskusji, związanych chociażby z ochroną zdrowia ludzi i zwierząt czy zanieczyszczeniem środowiska, jednakże obowiązujące regulacje prawne jedynie w niewielkim stopniu dotykają tematyki hałasu fajerwerków i jego szkodliwości. Tak więc, na dzień dzisiejszy nie wydaje się możliwym, aby całkowicie zabronić używania fajerwerków na terenach miejskich, nie oznacza to jednak, że nie jest możliwe złagodzenie stopnia ich uciążliwości dla otoczenia.

W niniejszej pracy podjęto problematykę identyfikacji, analizy i oceny hałasu impulsowego fajerwerków oraz klimatu akustycznego podczas nocy sylwestrowej. Przedstawiono zarejestrowane przebiegi czasowe, widmo oraz wartości parametrów akustycznych wybranych fajerwerków. Omówiono wyniki pomiarów hałasu fajerwerków, będących przykładem hałasu impulsowego, rejestrowanych podczas dwóch nocy sylwestrowych w latach 2016-2017. Zaprezentowano wyniki pomiarów w kilku punktach pomiarowych rozłożonych na terenie miasta Krakowa. Uzyskane wyniki porównano z typowymi wartościami poziomu hałasu dla pory nocnej w obszarze miejskim, wskazując także główne źródła uciążliwości i zagrożenia od tego typu hałasu.

ADAPTACJA AKUSTYCZNA POMIESZCZEŃ POŁĄCZONYCH – BADANIA SYMULACYJNE

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

WPROWADZENIE

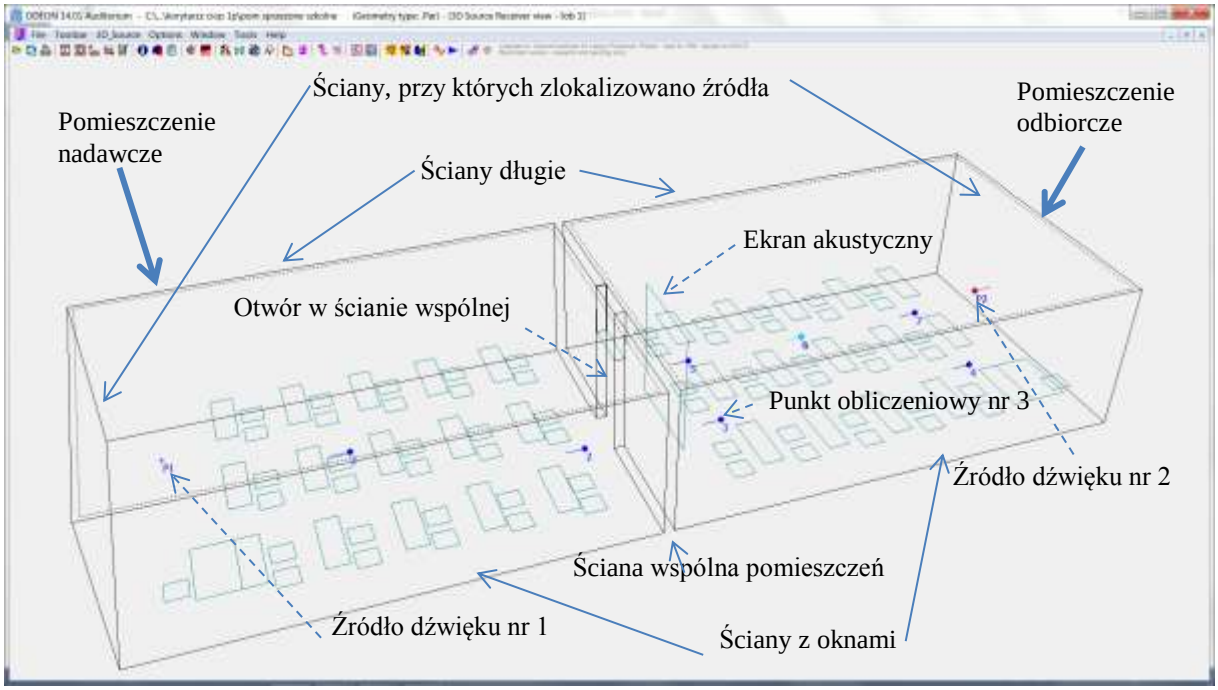
Coraz powszechniej w obiektach biurowych oraz edukacyjnych zaczęto rozpatrywać możliwość funkcjonalnego łączenia pomieszczeń poprzez nie stosowanie drzwi między nimi [1-3]. Dotyczy to zarówno pomieszczeń o tym samym jak i o innym przeznaczeniu. Skutki takiego rozwiązania są zarówno pozytywne jak i negatywne. Z punktu widzenia właściwości akustycznego środowiska pracy w tych pomieszczeniach nie jest to rozwiązanie pozytywne, gdyż dźwięki przenikające przez połączenie, są dźwiękami niepożądanymi. W referacie, metodą obliczeniową, analizowano różne warianty adaptacji akustycznej dwóch pomieszczeń połączonych, oceniając je pod kątem spełnienia wybranych kryteriów akustycznych. Kryteria te odnoszą się do oceny środowiska akustycznego oraz właściwości akustycznych pomieszczeń, w aspekcie wynikającym z połączenia pomieszczeń. Z tego punktu widzenia istotne jest, żeby środowiska akustyczne w tych pomieszczeniach nie wpływały nadmiernie na siebie przez zwiększenie pogłosu oraz nadmiernego przenikania dźwięków między pomieszczeniami. Wielkościami do oceny akustycznej pomieszczeń są: czas pogłosu w obu pomieszczeniach, poziom dźwięku A mowy i wskaźnik transmisji mowy STI w pomieszczeniu, w którym jest mówiący (w tzw. „pomieszczeniu nadawczym") oraz w pomieszczeniu, do którego mowa przenika (w tzw. pomieszczeniu odbiorczym). Jest oczywiste, że wartości kryterialne wielkości zastosowanych do oceny wynikają z funkcji pomieszczeń. Analizę przeprowadzono na przykładzie jednego przypadku pomieszczeń sal lekcyjnych. Badano wpływ ponad dwudziestu wariantów adaptacji akustycznej na te właściwości.

OBIEKT BADANY

Obiekt, w którym przeprowadzono badania to dwa pomieszczenia sal lekcyjnych, każde o wymiarach 9x6x3m. We wspólnej, krótszej bocznej ścianie znajduje się otwór o wymiarach 1x2m (Rys. 1). Objętość każdego z pomieszczeń wynosi 162 m^3, a pole powierzchni całkowitej każdego z pomieszczeń wynosi 198 m^2. Zakłada się, że dźwięki z pomieszczenia

nadawczego do odbiorczego przedostają się tylko przez ww. otwór. Podłoga pomieszczeń pokryta jest linoleum o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0{,}1$ (współczynnik pochłaniania dźwięku dla częstotliwości 1000 Hz wynosi $\alpha_{1000} = 0{,}1$), okna w ścianach długich (w każdym pomieszczeniu na jednej ścianie są okna) charakteryzują się ważonym współczynnikiem pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0{,}15$ LM (współczynnik pochłaniania dźwięku dla częstotliwości 1000 Hz wynosi $\alpha_{1000} = 0{,}15$), pozostałe ściany i sufit są betonowe o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0{,}05$ (współczynnik pochłaniania dźwięku dla częstotliwości 1000 Hz wynosi $\alpha_{1000} = 0{,}06$), biurka, stoły i siedziska charakteryzują się ważonym współczynnikiem pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0{,}1$ (współczynnik pochłaniania dźwięku dla częstotliwości 1000 Hz wynosi $\alpha_{1000} = 0{,}1$).

Do adaptacji zastosowano wyrób dźwiękochłonny jednej ze znanych firm na rynku o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0{,}6$ (współczynnik pochłaniania dźwięku dla częstotliwości 1000 Hz wynosi $\alpha_{1000} = 0{,}7$). W jednym wariancie adaptacji akustycznej (nr 4, Tab. 1) dla porównania zastosowano wyrób dźwiękochłonny tej samej firmy o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0{,}9$ (współczynnik pochłaniania dźwięku dla częstotliwości 1000 Hz wynosi $\alpha_{1000} = 0{,}8$).



Rys. 1. Szkic pomieszczenia generowany w programie komputerowym zastosowanym w analizie.

KRYTERIA OCENY POMIESZCZEŃ

W obu rozpatrywanych pomieszczeniach czas pogłosu w paśmie częstotliwości 250-8000 Hz nie powinien przekraczać 0,6 s, co wynika z PN-B-02151-4 [4] dla pomieszczeń

o rozpatrywanej objętości. Ze względu na ograniczenie prezentowanych danych w analizie ograniczono się do rozpatrywania czasu pogłosu dla częstotliwości 1000 Hz. W prezentowanych dla zwiększenia czytelności danych przyjęto konwencję: dla wartości tej wielkości nie przekraczających 0,6 s (tj. $T \leq 0{,}6$ s; kryteriom jest spełnione) tło, na którym prezentowane są wartości na rysunkach 3-23 jest zielone (a wartość na rysunkach nie jest podkreślona), dla wartości tego parametru z przedziału od 0,6 s do 0,8 s (tj. 0,6 s < T < 0,8 s; kryterium nie jest spełnione) tło jest w kolorze żółtym, a wartość podkreślona jest jedna kreską, dla wartości nie mniejszej od 0,8 s (tj. 0,8 s ≤ T; kryterium nie jest spełnione) tło jest czerwone, a wartość podkreślona jest podwójną kreską. Wartość 0,8 s autor przyjął arbitralnie w oparciu o wartość dopuszczalną wg [4] dla pomieszczenia o większej objętości niż rozpatrywane.

Zrozumiałość mowy w pomieszczeniu nadawczym (pomieszczenie po lewej stronie, pozycja źródła dźwięku nr 1 na Rys. 1) określana wskaźnikiem transmisji mowy STI powinna być nie mniejsza, niż 0,6 co wynika z PN-B-02151-4 [4] (dla położenia źródła na stanowisku pracy nauczyciela to jest w środku krótszej ściany na wysokości 1,5 m od podłogi – pozycja źródła dźwięku nr 1 na Rys. 1), a także z wg PN-EN 60268-16 [5] gdzie jest subiektywnie określana, jako dobra. W prezentowanych danych przyjęto konwencję: dla wartości tej wielkości nie mniejszej niż 0,6 s (tj. $STI_{nad} \geq 0{,}6$; kryterium jest spełnione) tło jest zielone i wartość nie jest podkreślona, dla wartości tego parametru mniejszej od 0,6 (tj. 0,6 < STI_{nad}; kryterium nie jest spełnione) tło jest czerwone i wartość podkreślona jest podwójną kreską.

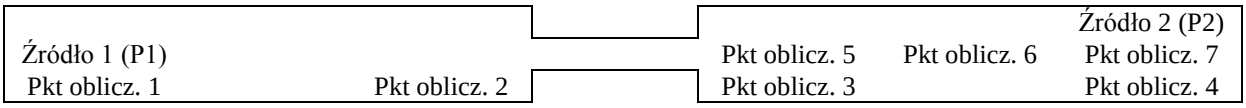
Zrozumiałość mowy przenikającej z pomieszczenia nadawczego przez otwór do pomieszczenia odbiorczego (pomieszczenie po prawej stronie, pozycja źródła dźwięku nr 1 na Rys. 1) określana wskaźnikiem transmisji mowy *STI* powinna być nie większa niż 0,5 (wartość tą przyjęto przez analogię do kryterium stosowanego w PN-EN ISO 3382-3 [6] przy określaniu promienia rozproszenia, a wartość 0,6 w oparciu o odwrotność kryterium stosowanego w pomieszczeniu nadawczym wg [4]). W prezentowanych danych przyjęto konwencję: dla wartości tej wielkości nie przekraczających 0,5 s (tj. $STI_{odb} \leq 0{,}5$ s ; kryterium jest spełnione) tło jest zielone i wartość nie jest podkreślona, dla wartości tego parametru z przedziału od 0,5 do 0,6 (tj. 0,5 < STI_{odb} < 0,6; kryterium nie jest spełnione) tło jest w kolorze żółtym i wartość podkreślona jest jedna kreską, dla wartości nie mniejszej niż od 0,6 s (tj. 0,6 ≤ STI_{odb}; kryterium nie jest spełnione) tło jest czerwone, a wartość podkreślona jest podwójną kreską.

Poziom dźwięku A od dźwięku mowy w pomieszczeniu nadawczym (pozycja źródła dźwięku nr 1 na Rys. 1) powinien być większy od 55 dB (wartość autor przyjął arbitralnie

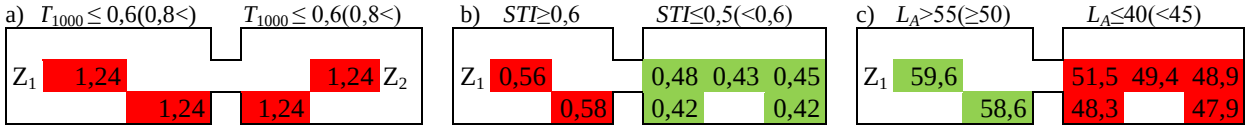
ponieważ poziom dźwięku A mowy powinien być większy od wypadkowego hałasu, którego poziom określono wg PN-N-01307 [7], a jednocześnie uwzględniając 15 dB efekt Lombarda i wartość dopuszczalnego tła akustycznego 40 dB wg PN-B-02151-02 [8]. W prezentowanych danych przyjęto konwencję: dla wartości tej wielkości nie mniejszych niż 55 dB (tj. $L_A > 55$ dB; kryterium jest spełnione) tło jest zielone i wartość nie jest podkreślona, dla wartości tego parametru z przedziału od 50 dB włącznie do 55 dB (tj. 50 dB $\leq L_{A,nad} <$ 55 dB; kryterium nie jest spełnione) tło jest w kolorze żółtym i wartość podkreślona jest jedna kreską, dla wartości mniejszej od 50 dB (tj. $L_{A,nad} <$ 50 dB; kryterium nie jest spełnione) tło jest czerwone i wartość podkreślona jest podwójną kreską. Wartość 50 dB autor przyjął arbitralnie.

Poziom dźwięku A od dźwięku mowy w pomieszczeniu z odbiorczym (pozycja źródła dźwięku nr 1 na Rys. 1) nie powinien przekraczać 40 dB (co przez analogię przyjęto wg PN-B-02151-02 [8]). W prezentowanych danych przyjęto konwencję: dla wartości tej wielkości nie przekraczających 40 dB (tj. $L_{A,odb} \leq 40$ dB; kryterium jest spełnione) tło jest zielone i wartość nie jest podkreślona, dla wartości tego parametru z przedziału od 40 dB do 45 dB (tj. 40 dB < $L_{A,odb}$ < 45 dB; kryterium nie jest spełnione) tło jest w kolorze żółtym i wartość podkreślona jest jedna kreską, dla wartości nie mniejszej od 45 dB (tj. 45 dB $\leq L_{A,odb}$; kryterium nie jest spełnione) tło jest czerwone, a wartość podkreślona jest podwójną kreską.

Powyższych kryteriów jest dosyć dużo, a wynikają one z oceny 6 wielkości jednocześnie w trzech poziomach: spełnia kryterium, nie spełnia kryterium i wartość zbliżona do kryterialnej oraz nie spełnia kryterium i wartość znaczne różni się od kryterialnej. Ocena ta prowadzona jest w pomieszczeniu nadawczym w 2 punktach obserwacji (obliczeniowych) i w pomieszczeniu odbiorczym 5 punktach. Ze względu na symetrię układu punkty obserwacji rozmieszczono nierównomiernie (Rys. 1 i Rys. 2).



Rys. 2. Szkic pomieszczenia z zaznaczonymi pozycjami źródła i punktów obliczeniowych (Rys. 1).



Rys. 3. Wyniki obliczeń, na szkicu pomieszczeń, dla wariantu 1 (bez adaptacji akustycznej):
a) czasu pogłosu dla częstotliwości 1000 Hz T_{1000} (w pomieszczeniu nadawczym od źródła Z_1, w pomieszczeniu odbiorczym od źródła Z_2,
b) wskaźnika transmisji mowy *STI* od źródła Z_1, c) poziomu dźwięku A mowy od źródła Z_1 L_A.

Mając na uwadze zwiększenie czytelności tekstu wyniki obliczeń pokazano wg. schematu jak na Rys. 2 i Rys. 3. Dla ilustracji w tym rozdziale omówiono wyniki pomiaru wariantu 1 pokazanego na Rys. 3.

Na Rys. 3 na szkicu rozpatrywanego układu pomieszczeń (nadawczego i odbiorczego) podano obliczone wartości ww. wielkości. Po lewej stronie na szkicu podano w odpowiednich do położenia punktów obliczeniowych wyniki pomiaru czasu pogłosu (oczywiście w pomieszczeniu nadawczym od źródła Z_1, w pomieszczeniu odbiorczym od źródła Z_2). Na szkicu w środku podano wartości wskaźnika transmisji mowy *STI* (dla źródła Z_1), a na szkicu po prawej stronie podano wartości poziomu dźwięku A mowy (dla źródła Z_1). W górnej części rysunków odpowiednio dla każdego pomieszczenia podano wartości kryterialne (w nawiasie wartości dla granicy między ww. kolorem żółtym i czerwonym). Dodatkowo dla zwiększenia czytelności, jeżeli na którejś ze ścian uwzględniono wyroby dźwiękochłonne te ściany zaznaczono pogrubioną kreską (np. Rys. 4 na trzech ścianach bocznych zastosowano wyroby dźwiękochłonne), natomiast gdy uwzględniono dźwiękochłonny sufit podwieszany część górną na szkicu pomieszczenia pokryto tłem szarym (np. Rys. 4). W przypadku gdy uwzględniono ekran akustyczny, w połączeniu pomieszczeń narysowano znak „X” (np. Rys. 15). Graficznie można, więc obserwować jednocześnie wszystkie ww. kryteria we wszystkich istotnych punktach obserwacji – łącznie 18 parametrów.

METODA BADAŃ

Badanie polegało na określeniu metodami obliczeniowymi wpływu zastosowania na ścianach i suficie wyrobów dźwiękochłonnych oraz zastosowania w pomieszczeniu ekranu akustycznego, na spełnienie ww. kryteriów oceny środowiska akustycznego w pomieszczeniach połączonych (w tym właściwości akustycznych pomieszczeń). Obliczenia przeprowadzono w programie do symulacji akustycznej pola akustycznego ODEON [9]. Do obliczeń wskaźnika transmisji mowy *STI* przyjęto poziom dźwięku A tła akustycznego 27,1 dB (widmo wg NC-15 [9]). Właściwości akustyczne wyrobów przyjęto wg [3, 9-12]. Zastosowane adaptacje akustyczne (poza ekranem akustycznym) uwzględniono symetrycznie jednocześnie w obu pomieszczeniach, ponieważ finalnie celem jest uzyskanie takich samych warunków akustycznych w obu pomieszczeniach tj. po zamianie źródła nr 1 i źródła nr 2.

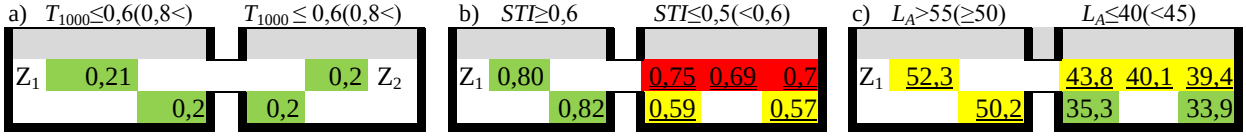
WYNIKI BADAŃ

Wyniki obliczeń różnych wariantów adaptacji akustycznej (nr 1-21) podano na Rys. 3-23. Opis wariantów podano w Tab. 1 (podano ważone współczynniki pochłaniania dźwięku zastosowanych wyrobów dźwiękochłonnych, jeżeli je zastosowano).

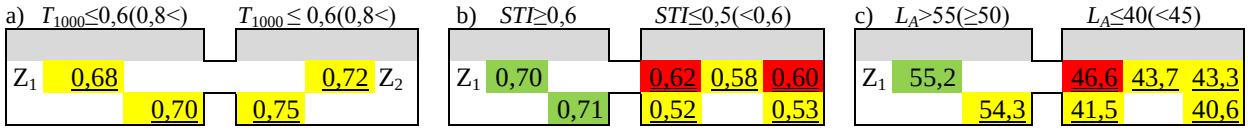
Na Rys. 24-29 podano wyniki obliczeń dla wariantu 18 adaptacji akustycznej (ekran akustyczny w pomieszczeniu odbiorczym oraz wyroby dźwiękochłonne na dwóch ścianach bocznych (ścianie długiej oraz ścianach w sąsiedztwie źródeł)). Wyniki średniego w pomieszczeniu nadawczym i odbiorczym czasu pogłosu (w oktawowych pasmach częstotliwości z zakresu częstotliwości 63-8000 Hz) podano na Rys. 24-25. Na Rys. 26-27 podano wyniki obliczeń wskaźnika transmisji mowy *STI* i poziomu dźwięku A mowy w punktach 1-7 (lokalizacja punktów na rys. 1 i 2). Rozkłady w obu pomieszczeniach poziomu dźwięku A mowy i wskaźnika transmisji mowy *STI* podano na Rys. 28-29.

Tabela 1. Warianty adaptacji akustycznej.

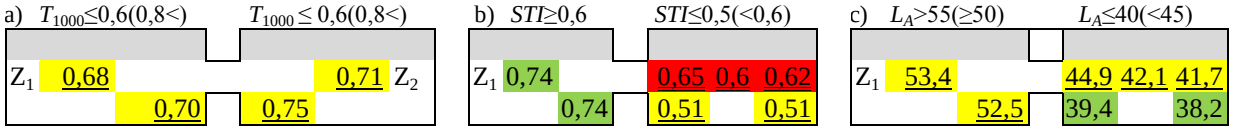
Wariant nr	Wyniki na rys.	Ważony współczynnik pochłaniania dźwięku wyrobów dźwiękochłonnych								
		Pomieszczenie nadawcze				Pomieszczenie odbiorcze				Ekran akust.
		Sufit	Ściana długa	Ściana przy źródle	Ściana wspólna	Sufit	Ściana długa	Ściana przy źródle	Ściana wspólna	
1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	-
3	5	0,6	-	-	-	0,6	-	-	-	-
4	6	0,9	-	-	-	0,9	-	-	-	-
5	7	0,6	-	0,6	-	0,6	-	0,6	-	-
6	8	0,6	-	-	0,6	0,6	-	-	0,6	-
7	9	0,6	0,6	-	-	0,6	0,6	-	-	-
8	10	-	0,6	-	-	-	0,6	-	-	-
9	11	-	0,6	0,6	-	-	0,6	0,6	-	-
10	12	-	0,6	-	0,6	-	0,6	-	0,6	-
11	13	-	-	0,6	0,6	-	-	0,6	0,6	-
12	14	-	0,6	0,6	0,6	-	0,6	0,6	0,6	-
13	15	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
14	16	0,6	-	-	-	0,6	-	-	-	0,6
15	17	0,6	-	0,6	-	0,6	-	0,6	-	0,6
16	18	0,6	-	-	0,6	0,6	-	-	0,6	0,6
17	19	0,6	0,6	-	-	0,6	0,6	-	-	0,6
18	20	-	0,6	0,6	-	-	0,6	0,6	-	0,6
19	21	-	0,6	-	0,6	-	0,6	-	0,6	0,6
20	22	-	0,6	0,6	0,6	-	0,6	0,6	0,6	0,6
21	23	0,6	0,6	-	0,6	0,6	0,6	-	0,6	0,6



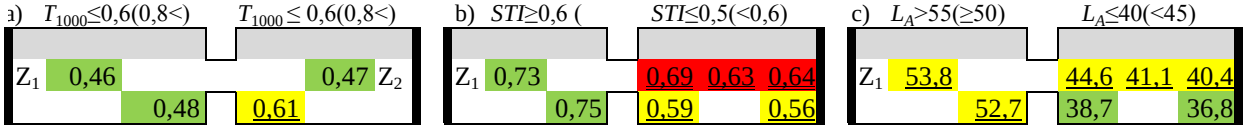
Rys. 4. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 2: a) czasu pogłosu dla częstotliwości 1000 Hz T_{1000} (w pomieszczeniu nadawczym od źródła Z_1, w pomieszczeniu odbiorczym od źródła Z_2, b) wskaźnika transmisji mowy *STI* od źródła Z_1, c) poziomu dźwięku A mowy L_A od źródła Z_1.



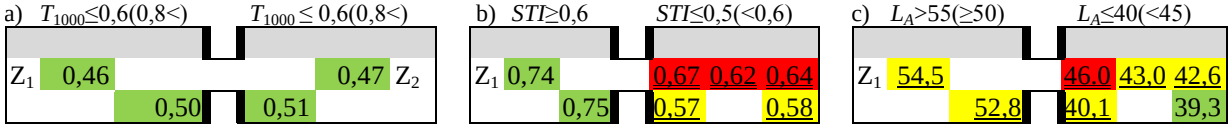
Rys. 5. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 3
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



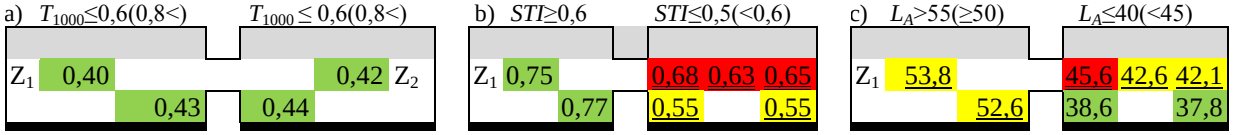
Rys. 6. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 4
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



Rys. 7. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 5
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).

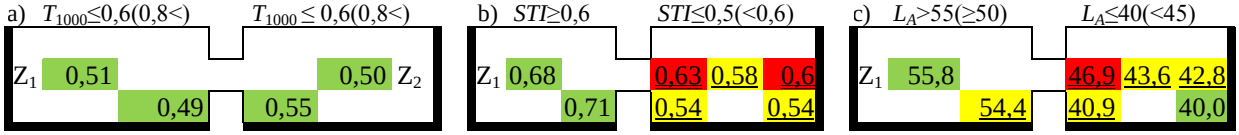


Rys. 8. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 6
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).

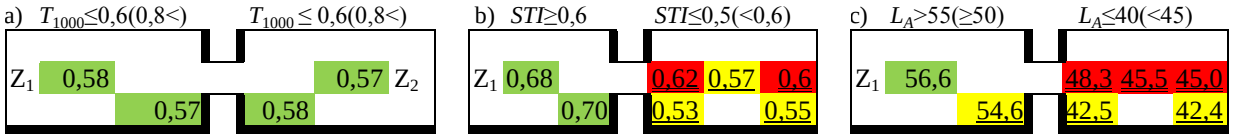


Rys. 9. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 7
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).

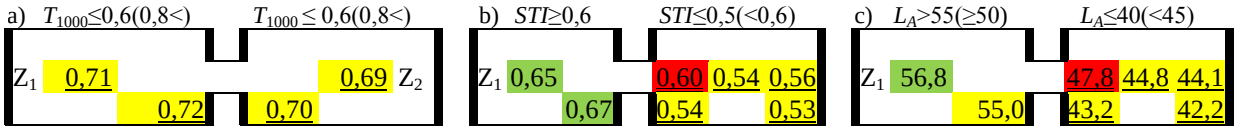
Rys. 10. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 8
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



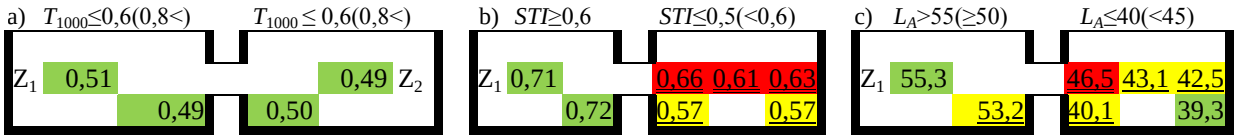
Rys. 11. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 9
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



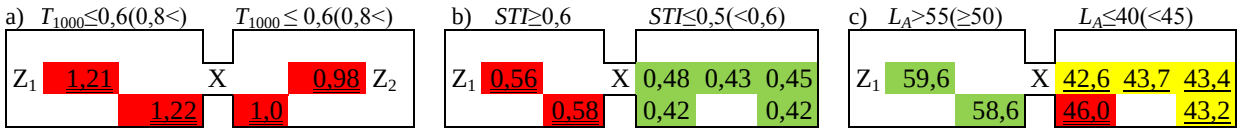
Rys. 12. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 10
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



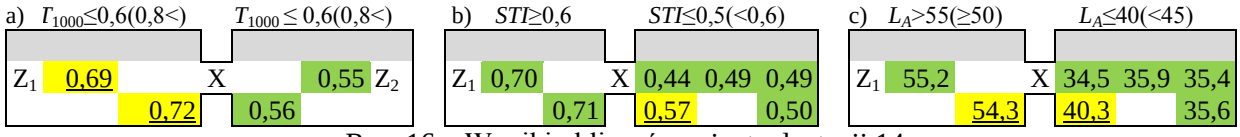
Rys. 13. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 11
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



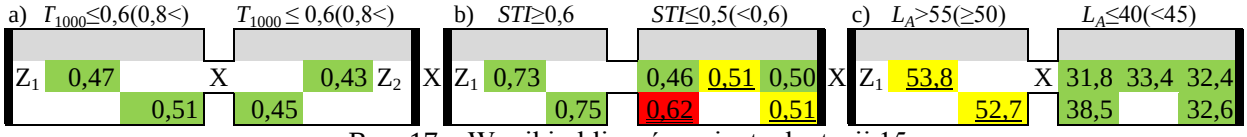
Rys. 14. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 12
(wariant wg Tab. 1,oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



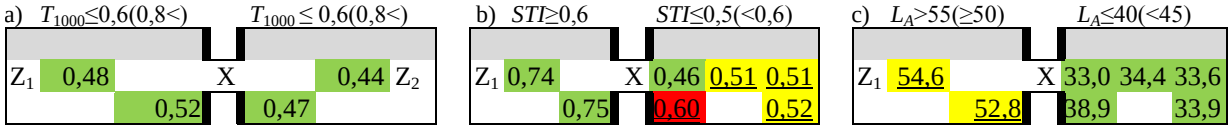
Rys. 15. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 13
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



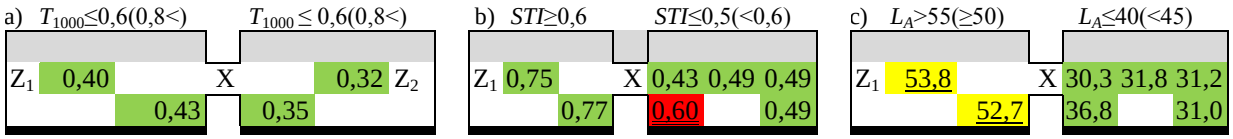
Rys. 16. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 14
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



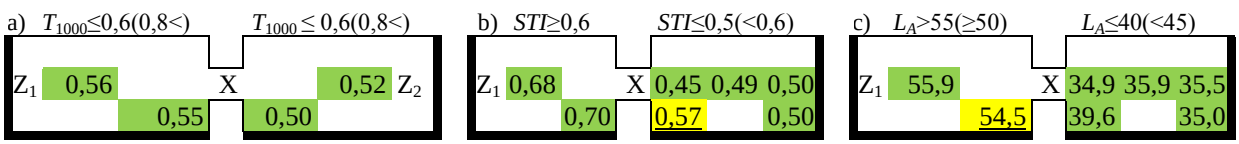
Rys. 17. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 15
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



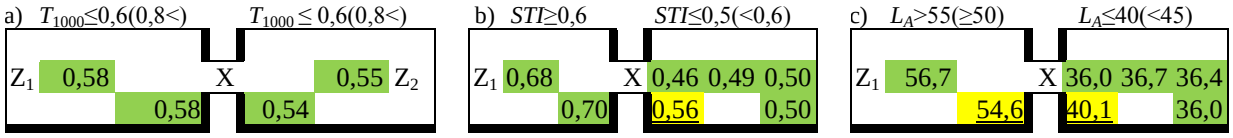
Rys. 18. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 16
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



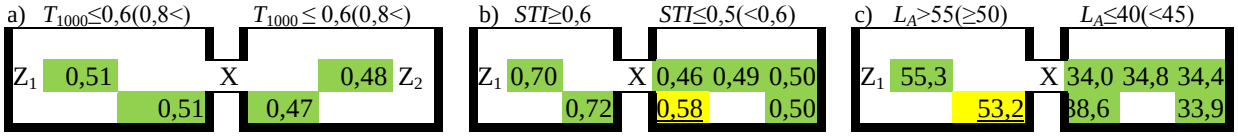
Rys. 19. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 17
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



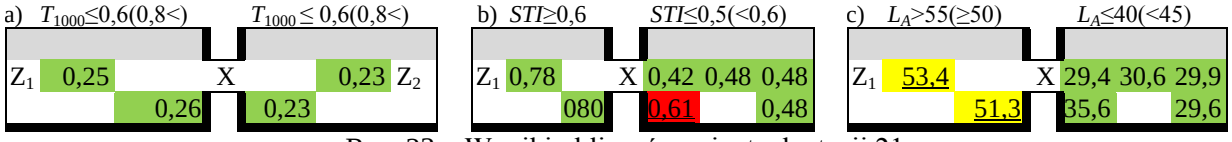
Rys. 20. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 18
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



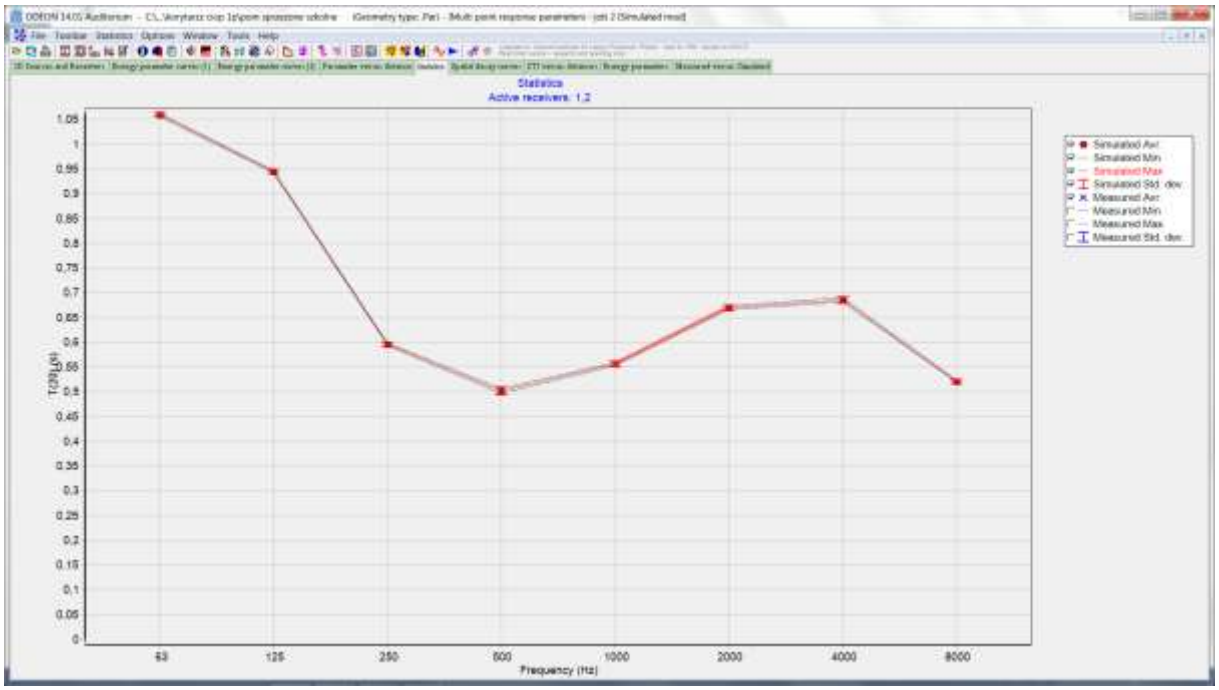
Rys. 21. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 19
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



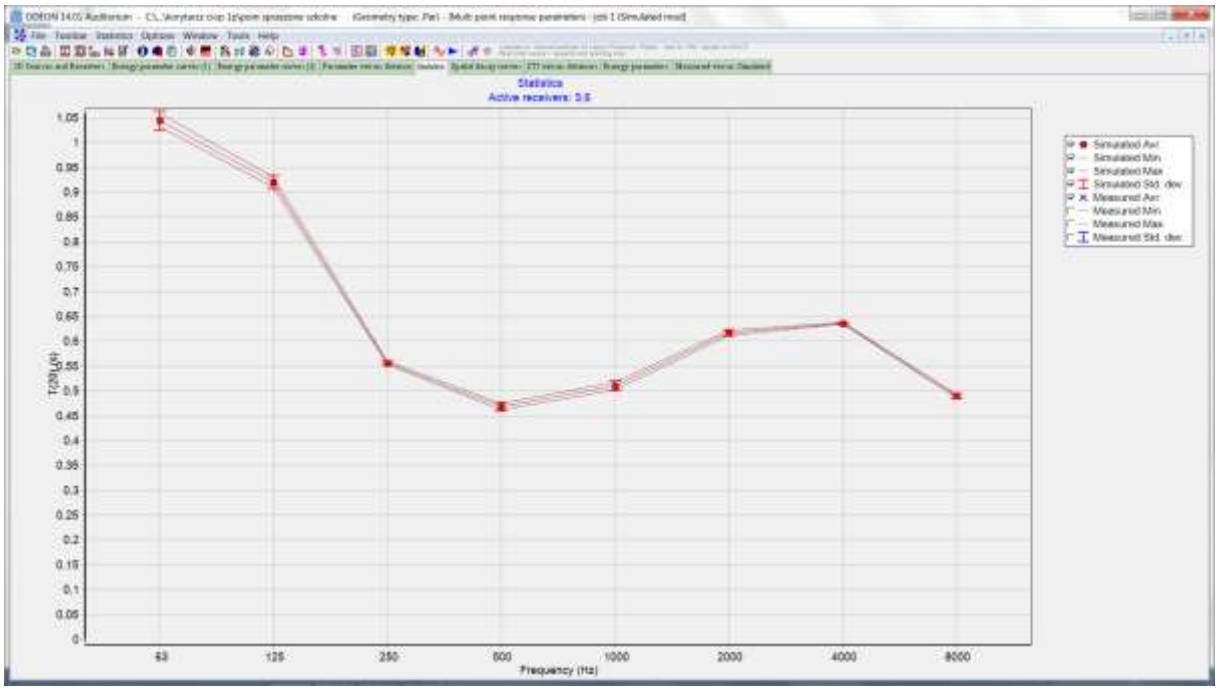
Rys. 22. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 20
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



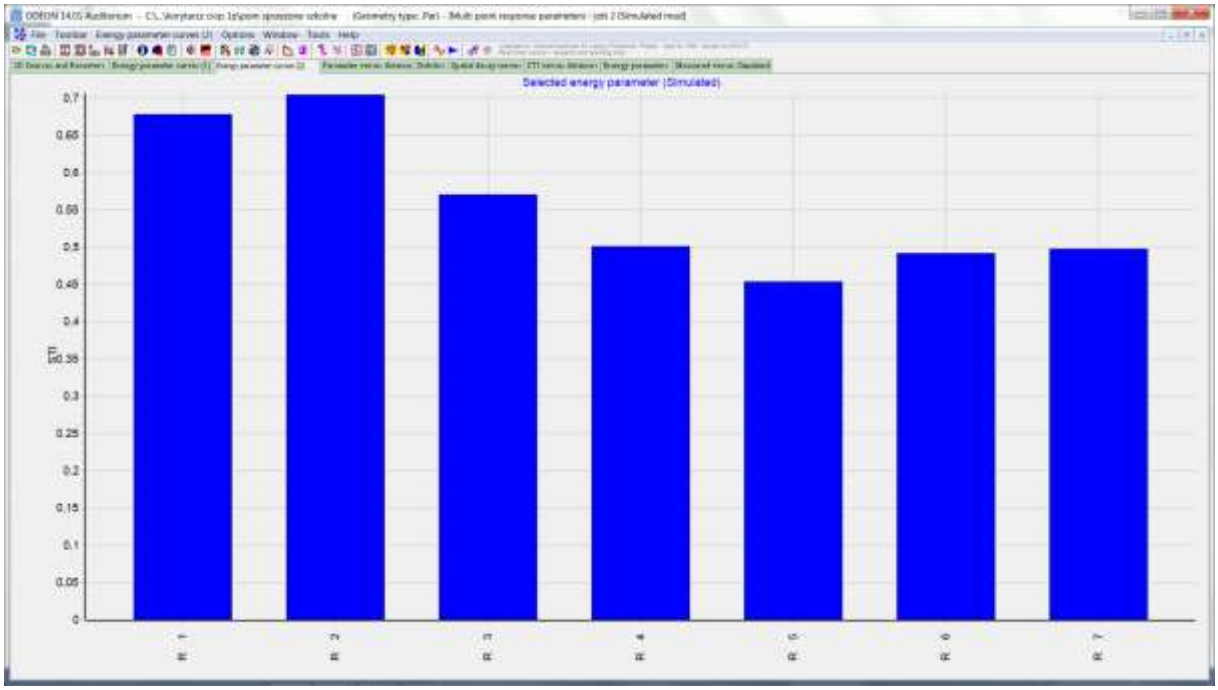
Rys. 23. Wyniki obliczeń wariant adaptacji 21
(wariant wg Tab. 1, oznaczenia analogicznie jak na Rys. 4).



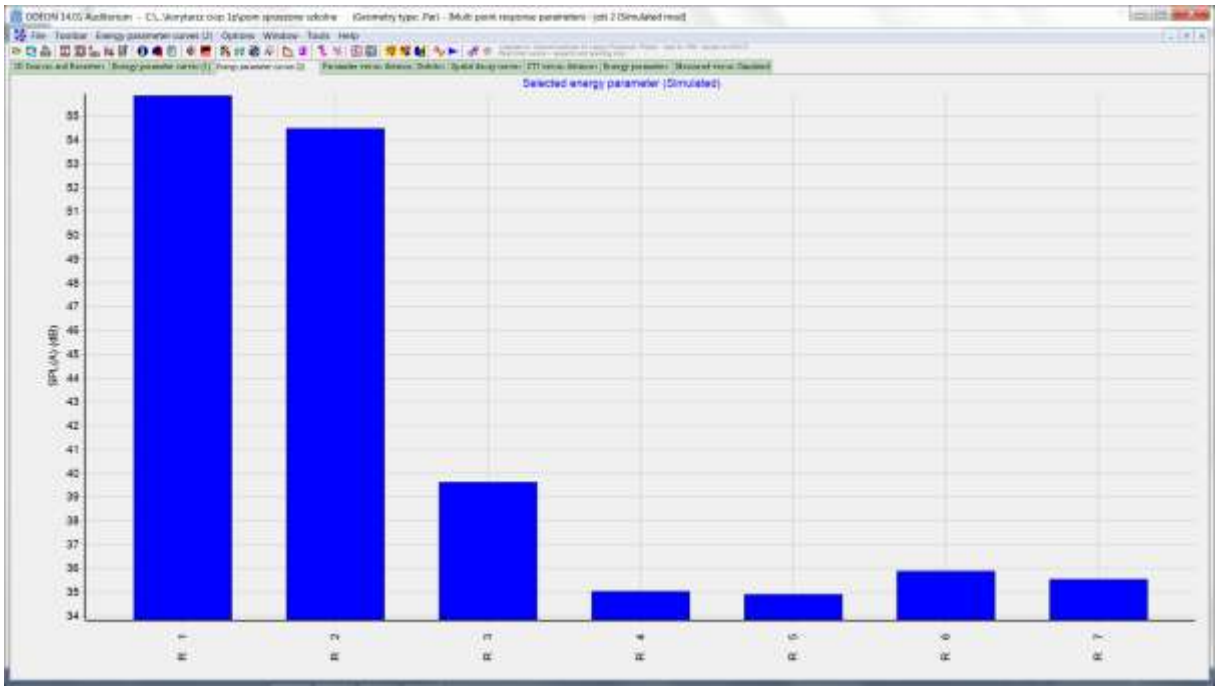
Rys. 24. Czas pogłosu w pomieszczeniu nadawczym dla wariantu 18 adaptacji akustycznej
(wykres generowany w programie komputerowym zastosowanym w analizie).



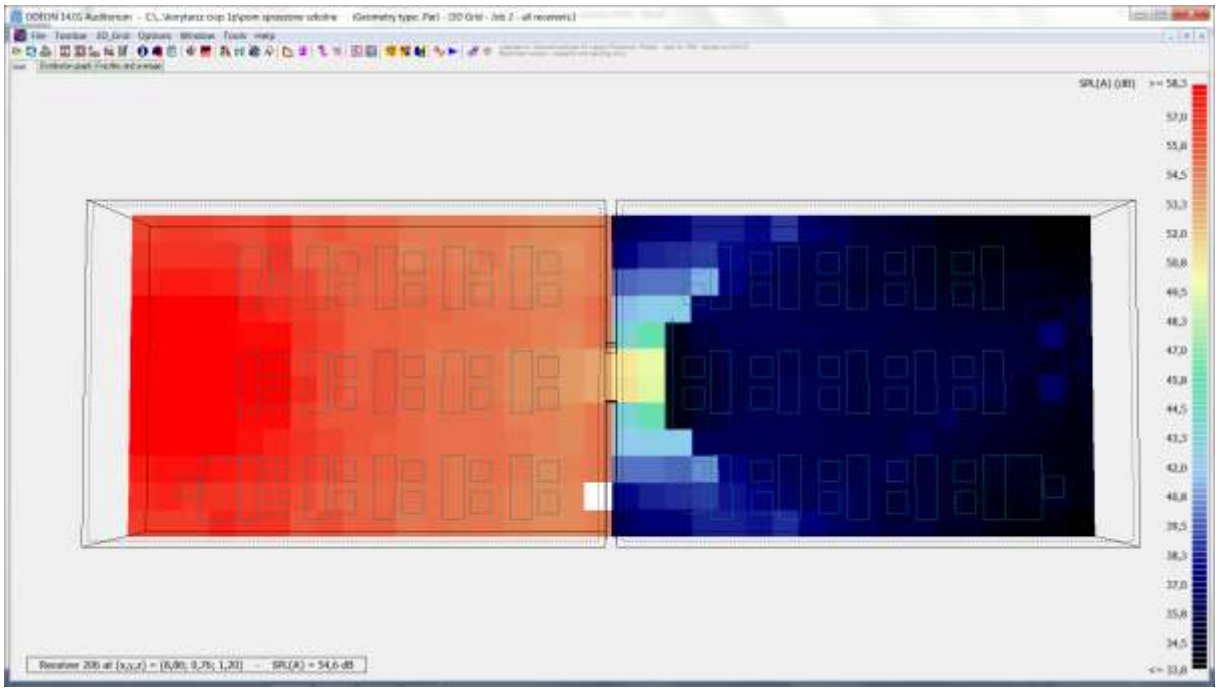
Rys. 25. Czas pogłosu w pomieszczeniu odbiorczym dla wariantu 18 adaptacji akustycznej (wykres generowany w programie komputerowym zastosowanym w analizie).



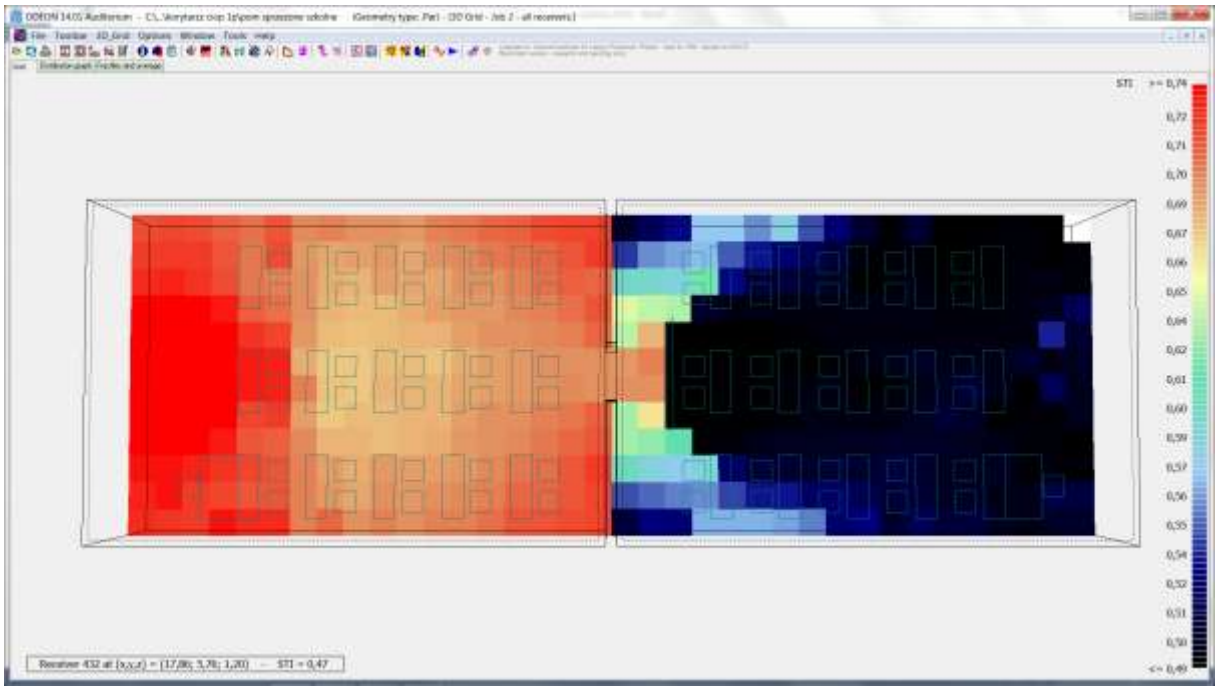
Rys. 26. Wskaźniki transmisji mowy *STI* w punktach obliczeniowych (punkty nr 1-2 w pomieszczeniu nadawczym, nr 3-7 w pomieszczeniu odbiorczym, Rys. 1 i 2), dla wariantu 18 adaptacji akustycznej (wykres generowany w programie komputerowym zastosowanym w analizie).



Rys. 27. Poziom dźwięku A mowy w punktach obliczeniowych (punkty nr 1-2 w pomieszczeniu nadawczym, nr 3-7 w pomieszczeniu odbiorczym, Rys. 1 i 2), dla wariantu 18 adaptacji akustycznej (wykres generowany w programie komputerowym zastosowanym w analizie).



Rys. 28. Rozkład poziomu dźwięku A mowy w pomieszczeniach, dla wariantu 18 adaptacji akustycznej (wykres generowany w programie komputerowym zastosowanym w analizie).



Rys. 29. Rozkład wskaźnika transmisji mowy *STI* w pomieszczeniach, dla wariantu 18 adaptacji akustycznej (wykres generowany w programie komputerowym zastosowanym w analizie).

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki obliczeń różnych wariantów adaptacji akustycznych zostały przedstawione w nieprzypadkowej kolejności. Można przyjąć, że jest to ciąg różnych wariantów projektu adaptacji, którego celem jest uzyskanie jak najlepszych warunków akustycznych, w miarę możliwości uzyskanie spełnienia zakładanych kryteriów akustycznych. Punktem wyjścia analizy są pomieszczenia bez adaptacji akustycznej wariant 1 (wyniki obliczeń na Rys. 3). Dla tego wariantu czasy pogłosu w obu pomieszczeniach znacznie przekraczają wartości dopuszczalne (są równe 1,24 s, a powinny być równe lub mniejsze od 0,6 s), zrozumiałość mowy w pomieszczeniu nadawczym jest niewystarczająca (wskaźniki transmisji mowy są równe 0,56-0,58, a powinny być równe lub większe od 0,6), poziom dźwięku A mowy w pomieszczeniu odbiorczym jest za duży (są równe 47,9-51,5 dB, a powinny być równe lub mniejsze od 40 dB). Warunki akustyczne są niewystarczające, mimo że poziomy dźwięku A w pomieszczeniu nadawczym są wystarczająco duże (są równe 58,6-59,6 dB, a powinny być większe od 55 dB), a w pomieszczeniu odbiorczym zrozumiałość mowy dochodzącej z pomieszczenia nadawczego jest wystarczająco mała (wskaźniki transmisji mowy są równe 0,42-0,48, a powinny być równe lub mniejsze od 0,5). Ten ostatni fakt jest spowodowany spadkiem zrozumiałości mowy wywołanym dużym pogłosem. Wynika z tego wniosek ogólny, że dążenie do maksymalnego ograniczenia czasu pogłosu w pomieszczeniu odbiorczym może przynieść negatywny skutek w postaci wzrostu zrozumiałości mowy w tym

pomieszczeniu (przenikającej z pomieszczenia nadawczego). Efekt ten można zauważyć na Rys. 4 (wariant 2 adaptacji akustycznej, gdzie uwzględniono wyroby dźwiękochłonne w dźwiękochłonnym suficie podwieszanym i na trzech ścianach bocznych). Czasy pogłosu są znacznie poniżej maksymalnych dopuszczalnych, zrozumiałość mowy w pomieszczeniu nadawczym jest bardzo dobra [5], jednakże poziomy dźwięku A w pomieszczeniu nadawczym i odbiorczym nie spełniają kryteriów (choć różnica uzyskanych i kryterialnych wartości nie jest duża). Najistotniejszym jest fakt, że występuje bardzo dobra zrozumiałość mowy w pomieszczeniu odbiorczym przenikającej z pomieszczenia nadawczego, co jest nie do zaakceptowania (wskaźnik transmisji mowy wynosi 0,57-0,75, a powinien być mniejszy lub równy 0,5). Dlatego punktem wyjścia dalszej analizy przyjęto wariant 1.

W wariancie 3 (Rys. 5) po uwzględnieniu dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku 0,6, uzyskano znaczną redukcję czasu pogłosu w obu pomieszczeniach (tj. 0,68-0,75 s, z 1,24 s w wariancie 1 (bez dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego)) jednakże jeszcze niesatysfakcjonującą (wymagany powinien być mniejszy lub równy 0,6 s) oraz zmianę poziomu dźwięku A także jeszcze niesatysfakcjonującą tj. w pomieszczeniu odbiorczym poziomy dźwięku A ok. 33,9-43,8 dB (wymagane poniżej 40 dB). Jest to, więc krok w dobrym kierunku, lecz niewystarczający. W wariancie 4 (Rys. 6) uwzględniono dźwiękochłonny sufit podwieszany o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku 0,9. Wynik jest zaskakujący. Względem wariantu 3 (sufit o mniejszej wartości ważonego współczynnika pochłaniania dźwięku) czas pogłosu się nie zmienił, poziomy dźwięku A zmniejszyły się ok 2 dB, natomiast wskaźnik transmisji mowy *STI* w pomieszczeniu odbiorczym wzrósł o ok 0,02. Można, więc przyjąć, że zastosowanie sufitu o większych właściwościach dźwiękochłonnych nie wpływa znacząco na warunki akustyczne, dlatego dalej rozpatrywano tylko wyroby o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku 0,6.

Mimo iż autor traktuje priorytetowo z rozpatrywanych parametrów wskaźnik transmisji mowy *STI* w pomieszczeniu odbiorczym (artykuł dotyczy możliwości połączenia pomieszczeń), to niezależnie od uwzględnianych wariantów adaptacji konieczne jest uzyskanie odpowiedniego krótkiego czasu pogłosu w każdym rozpatrywanym pomieszczeniu [4]. Jak wskazują ww. przykłady adaptacji akustycznej redukcję pogłosu można uzyskać stosunkowo najłatwiej spośród innych ww. kryteriów, dlatego w analizie będzie się ją uwzględniało w pierwszej kolejności (pierwszej, to nie znaczy priorytetowo, gdyż jak podano wyżej priorytetem jest uzyskanie małej zrozumiałości mowy w pomieszczeniu odbiorczym od dźwięków przenikających z pomieszczenia nadawczego). W następnych kilku wariantach (nr

5-7) poza dźwiękochłonnym sufitem podwieszanym zastosowano dodatkowo wyrób dźwiękochłonny na jednej ścianie (w każdym pomieszczeniu) o ważonym współczynniku pochłaniania 0,6. Rozpatrując wszystkie te trzy warianty można stwierdzić, że uzyskano bardzo podobne wyniki. Przede wszystkim można stwierdzić, że dźwiękochłonny sufit podwieszany i wyrób dźwiękochłonny na jednej ze ścian pozwalają uzyskać odpowiedni czas pogłosu (tj. poniżej 0, 6 s). Nie uzyskano jednakże spełnienia pozostałych kryteriów. W tym miejscu zawieszono dalsze rozważania modyfikacji adaptacji uwzględniającej dźwiękochłonny sufit podwieszany. Rozważono czy można uzyskać wymagany czas pogłosu oraz spełnienie innych kryteriów nie stosując dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego. W wariancie 8 (Rys. 10; wyrób dźwiękochłonny tylko na ścianach długich – po jednej w każdym pomieszczeniu (na przeciwległych ścianach są okna)) nie uzyskano odpowiedniego krótkiego czasu pogłosu. Dlatego w następnym kroku uwzględniono wyroby dźwiękochłonne na jednocześnie na dwóch ścianach (w każdym pomieszczeniu), warianty 9, 10 i 11. W wariancie 11 (Rys. 13; wyroby dźwiękochłonne uwzględniono na ścianach przeciwległych) nie uzyskano wystarczająco krótkiego czasu pogłosu. W wariantach 9 i 10 (Rys. 11, 12; wyroby dźwiękochłonne uwzględniono na ścianach przyległych) uzyskano wymagany czas pogłosu, natomiast wskaźnik transmisji mowy *STI* w pomieszczeniu odbiorczym wynosił 0,53-0,63 i przekraczał wartość dopuszczalną 0,5, a nawet 0,6 (jednakże wartości te są bliżej wartości dopuszczalnej niż dla adaptacji akustycznych rozpatrywanych wyżej i dlatego jest to krok w dobrym kierunku). W wariancie 12 (Rys. 14) zastosowano wyroby dźwiękochłonne na 3 ścianach. To rozwiązanie nie jest zadawalające, gdyż względem wariantów 9 i 10 zwiększyła się zrozumiałość mowy przenikającej z pomieszczenia nadawczego do odbiorczego. Rozpatrując powyższe warianty adaptacji akustycznej (wyroby dźwiękochłonne w suficie dźwiękochłonnym oraz na ścianach) można stwierdzić, że uzyskano spełnienie kryteriów na czas pogłosu oraz dobrą zrozumiałość mowy i odpowiednio duży poziom dźwięku A w pomieszczeniu, w którym jest źródło (pomieszczeniu nadawczym), natomiast warunki akustyczne w pomieszczeniu odbiorczym przy uwzględnieniu wyrobów dźwiękochłonnych na ścianach i dźwiękochłonnym suficie podwieszanym nie są możliwe do uzyskania. W sprzeczności jest tutaj uzyskanie małego pogłosu w pomieszczeniach i małej zrozumiałości mowy w pomieszczeniu odbiorczym przenikającej z pomieszczenia nadawczego. Dlatego w celu uzyskania odpowiednich warunków akustycznych (bez stosowania przegrody akustycznej np. drzwi) konieczne jest zastosowanie innych środków zmniejszających przenikanie dźwięków między pomieszczeniami. Rozpatrzono zastosowanie ekranu akustycznego w pomieszczeniu

odbiorczym (ekran o wymiarach wymiary 2x2,5m i ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku powierzchni 0,6; Rys. 1). W wariancie 13 (Rys. 15) uwzględniono ekran akustyczny w pomieszczeniu bez adaptacji akustycznej ścian i bez dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego. Jak się spodziewano (w porównaniu z wariantem 1) czas pogłosu w pomieszczeniu nadawczym nie uległ zmianie, natomiast w pomieszczeniu odbiorczym się nieznacznie skrócił (ekran wniósł chłonność akustyczną) jednakże jest on w obu pomieszczeniach za duży. Natomiast w pomieszczeniu odbiorczym uzyskano wystarczająco małą zrozumiałość mowy przenikającej z pomieszczenia nadawczego (wskaźnik transmisji mowy *STI* ok. 0,45, a wymagany powinien być mniejszy lub równy od 0,5). W wariancie 14 uwzględniono ekran akustyczny i sufit podwieszany, jednakże jak w wariancie 13 i 3 czas pogłosu w pomieszczeniu nadawczym jest za duży. Warianty 15, 16 i 17 to analogicznie jak poprzednio warianty 5, 6 i 7 (tj. uwzględnienie dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego i wyrobu dźwiękochłonnego na jednej ścianowe), z tym, że w nich uwzględniono ekran akustyczny. W porównaniu do tamtych wariantów nie zmieniły się czasy pogłosu (jednakże spełniają one kryterium), nie zmieniła się zrozumiałość mowy oraz poziom dźwięku A w pomieszczeniu nadawczym, ale i to jest najważniejsze, w dużym stopniu zmniejszyła się zrozumiałość mowy i poziom dźwięku A w pomieszczeniu odbiorczym (np. wariant 15 i 5, na środku pomieszczenia odbiorczego wskaźnik transmisji mowy *STI* zmniejszył się o 0,12, a poziom dźwięku A zmniejszył się o 7,7 dB). Co znacznie ważniejsze, uzyskano dla tych wariantów spełnienie prawie wszystkich kryteriów. Dla przykładu wariant 17 uzyskano nieco za niskie poziomy dźwięku A w pomieszczeniu nadawczym (o 1,2-2,3 dB) oraz w punkcie o nr 3 (Rys. 1 i 2) wskaźnik transmisji mowy *STI* ma za dużą wartość (0,60, a powinien być mniejszy lub równy 0,5), choć trzeba docenić, że relatywnie do wszystkich innych rozwiązań wartość ta jest najmniejsza (dla wariantów, dla których spełnione jest kryterium na czas pogłosu). Punkt nr 3 jest szczególny w tym pomieszczeniu. Z niego „widać" pomieszczenie nadawcze, a do tego widać ścianę z oknami, która ma słabe właściwości dźwiękochłonne. Z tego wniosek, że w obszarze (niewielkim) pomieszczenia odbiorczego), z którego widać pomieszczenie nadawcze nie powinno być stanowisk pracy (lub co jest jednoznaczne, ekran akustyczny powinien być nieco większy, w dalszych rozwiązaniach go jednak nie modyfikowano). W tym miejscu można by było zakończyć rozważania, jednakże zachodzi pytanie czy zamiast zastosowania ekranu akustycznego, wyrobu dźwiękochłonnego na jednej ścianie i dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego (warianty 15, 16 i 17) przez analogię jak dla wariantów 9, 10, 12 w stosunku do wariantów 5, 6 i 7, zamiast dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego w rozwiązaniach uwzględnić wyrób dźwiękochłonny na dodatkowej ścianie

(tj. uwzględnić warianty 18, 19 i 20). W wariantach tych uwzględniono, więc ekran akustyczny oraz wyroby dźwiękochłonne na dwóch przyległych ścianach. Uzyskano spełnienie prawie wszystkich kryteriów, ponadto uzyskano lepsze rezultaty w miejscach, w których kryteria nie są spełnione (np. wariant 18 w porównaniu do wariantu 17 – zmniejszenie wartości wskaźnika transmisji mowy *STI* w ww. newralgicznym punkcie nr 3 o 0,03 i podwyższenie poziomu dźwięku A mowy w pomieszczeniu nadawczym o 2,4 dB). W wariancie 18 (dwie ściany przyległe pokryte wyrobami dźwiękochłonnymi oraz ekran akustyczny) z zastrzeżeniem powiększenia ekranu uzyskano spełnienie wszystkich kryteriów.

Można, więc stwierdzić, że zastosowanie ekranu akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym oraz pokrycie dwóch przyległych powierzchni ograniczających każde z pomieszczeń powoduje spełnienie zakładanych kryteriów. Najlepszym rozwiązaniem jest, gdy te dwie powierzchnie to przyległe ściany boczne każdego z pomieszczeń, a minimalnie gorsze rozwiązanie, gdy to sufit i ściana boczna. W celu obserwacji czy uwzględnienie poza dwoma powierzchniami odbijającymi (np. wariant 17-19) trzeciej (analogicznie jak wariant 12 w stosunku do wariantów 9-11) przeprowadzono obliczenia wariantu 20. W wariancie tym (20) uzyskano tylko nieznaczne gorsze warunki niż w wariancie 18, co wskazuje, że zastosowanie wyrobów dźwiękochłonnych na dodatkowo trzeciej ścianie nie można uzasadnić akustycznie, a jest nieuzasadnione z przyczyn ekonomicznych. Wariant 21 adaptacji akustycznej to uwzględnienie poza ekranem dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego i wyrobów dźwiękochłonnych na dwóch ścianach (tj. łącznie ekranu akustycznego i wyrobów dźwiękochłonnych na trzech powierzchniach ograniczających pomieszczenie). Można wyniki porównać z wariantem 19, w którym wyroby dźwiękochłonne są na tych samych ścianach, a w tamtym nie uwzględniono dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego. Jak widać uwzględnienie dodatkowo dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego spowodowało pogorszenie warunków akustycznych (np. wskaźnik transmisji mowy *STI* w pomieszczeniu odbiorczym jest większy o 0,04; poziom dźwięku A w pomieszczeniu nadawczym jest mniejszy o 2,3 dB. Dowodzi to, że warianty 18 i nieco mniejszym stopniu 17 w największym stopniu spełniają określone wyżej kryteria.

Na Rys. 24-29 pokazano dokładne wyniki obliczeń (w postaci wydruków z programu) dla wariantu 18 adaptacji akustycznej (ekran akustyczny w pomieszczeniu odbiorczym oraz wyroby dźwiękochłonne na dwóch przyległych ścianach bocznych (ścianach długich oraz ścianach w sąsiedztwie źródeł) w każdym pomieszczeniu. Czas pogłosu w obu pomieszczeniach spełnia określone wyżej kryteria w oktawowych pasmach częstotliwości 250, 500, 1000 i 8000 Hz. W oktawowych pasmach częstotliwości 2000 i 4000 Hz czas

pogłosu pomieszczenia nadawczego wynosi 0,66-0,68 s, a pomieszczenia odbiorczego 0,61-0,64 s (dopuszczalny wg PN-B-02151-4 [4] to 0,6 s). Wynika z tego, że szczegółowa analiza w pasmach częstotliwości wskazuje, że z punktu widzenia czasu pogłosu warianty z sufitem i ścianą boczną byłyby bardziej uzasadnione (np. wariant 17). Jednakże wskaźnik transmisji mowy *STI* w pomieszczeniu odbiorczym byłby większy, co nie jest wskazane. Na Rys. 26 i 27 pokazano, że wartości wskaźników transmisji mowy *STI* i poziomu dźwięku A spełniają ww. kryteria. Przyjmując ww. założenie o priorytecie kryterium na wskaźnik transmisji mowy *STI* względem czasu pogłosu, można uznać rozwiązania stosowane w wariancie 18 za najlepsze. Na Rys. 28 i 29 zobrazowano efekt omawiany wyżej, że energia akustyczna z pomieszczenia nadawczego przenika obok ekranu i jest szczególnie duża w sąsiedztwie ekranu, w którym to obszarze znajduje się punkt obserwacji nr 3 (rys. 1 i 2). Można to zaobserwować zarówno na rozkładzie w pomieszczeniu poziomu dźwięku A mowy, ale także na rozkładzie wskaźnika transmisji mowy *STI*.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W ramach przeprowadzonej, metodą obliczeniową, analizy weryfikowano możliwość uzyskania odpowiednich warunków środowiska akustycznego w dwóch połączonych pomieszczeniach sal lekcyjnych. W analizie zastosowano ocenę wieloparametryczną (6 wielkości łącznie obserwowanych w 7 punktach pomieszczeń) opartej na trzech wielkościach: czasie pogłosu, wskaźniku transmisji mowy STI i poziomie dźwięku A mowy. Rozpatrzono 21 różnych wariantów adaptacji akustycznej pomieszczeń, tj. stosowania: wyrobów dźwiękochłonnych na powierzchniach pomieszczenia (w dźwiękochłonnym suficie podwieszanym oraz na trzech ścianach bocznych w obu pomieszczeniach), a także ekranu akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym. Analiza wykazała, że spełnienie wszystkich kryteriów jest bardzo trudne do uzyskania, jednakże jest możliwe. Najlepsze rozwiązanie to zastosowanie wyrobów dźwiękochłonnych na dwóch bocznych przyległych ścianach pomieszczenia i jednocześnie zastosowanie ekranu akustycznego. Niewiele gorszym rozwiązaniem jest zastosowanie dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego i wyrobów dźwiękochłonnych na ścianie bocznej pomieszczenia i jednocześnie zastosowanie ekranu akustycznego. To drugie rozwiązanie daje trochę lepsze rezultaty, jeżeli chodzi o zmniejszenie pogłosu (krótszy czas pogłosu), kosztem pogorszenia tj. zwiększenia zrozumiałości mowy dźwięków mowy przenikających z sąsiedniego pomieszczenia.

Reasumując w przypadku uzasadnionej konieczności, jest możliwe zrezygnowanie ze stosowania drzwi między sąsiednimi pomieszczeniami. Jednakże wówczas konieczne jest

przeprowadzanie dokładnej wieloparametrycznej analizy i wykonanie specjalnej adaptacji akustycznej w obu pomieszczeniach. W analizie tej uwzględnić się powinno nie tylko czas pogłosu, ale także inne wielkości określające przenikanie dźwięków między pomieszczeniami.

PODZIĘKOWANIA

Referat opracowany na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy", finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

LITERATURA

1. Chaudhary A., Li Z.: Classroom acoustics of Mcneese State University. The 24th International Congress on Sound and Vibration. London. (2017)
2. Akagi M. and Irie Y., Privacy protection for speech based on concepts of auditory scene analysis, INTER NOISE, USA, NEW YORK, 20-24.08.2012. (2012)
3. Jarosz M., Opracowanie materiałów informacyjnych dotyczących obecnie stosowanych rozwiązań technicznych przy kształtowaniu akustyki pomieszczeń przeznaczonych do komunikacji werbalnej, Materiały Saint-Gobain Construction Products Polska Sp. z o.o., 2011.(2011)
4. PN-B-02151-4:2015, Akustyka budowlana Ochrona przed hałasem w budynkach Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach.
5. PN-EN 60268-16:2011, Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy.
6. PN-EN ISO 3382-3:2012, Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 3: Pomieszczenia biurowe typu open space.
7. PN-N-01307:1994, Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonania pomiarów
8. PN-B-02151-02:1987, Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
9. www.odeon.dk
10. http://ecophon.com/acousticweb.

11. Mikulski W., Warunki akustyczne w pomieszczeniach biurowych open space – zastosowanie środków technicznych w typowym pomieszczeniu, Medycyna Pracy, 2018;69(2). (2018)
12. Mikulski W., Wyniki badań wpływu adaptacji akustycznych sal lekcyjnych, na jakość komunikacji werbalnej, Medycyna Pracy, 2013;64(2):207–215.(2013)

LABORATORYJNE ŹRÓDŁO DŹWIĘKU 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

WPROWADZENIE

Badania hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym prowadzone są od wielu lat [1-5]. Od kilkunastu lat prowadzi się badania tego hałasu w warunkach laboratoryjnych [2-5]. W badaniach tych wykorzystuje się opracowane w Instytucie źródła hałasu ultradźwiękowego [5]. Wykorzystuje się tutaj źródła jednogłośnikowe, dwunastogłośnikowe oraz dwudziestogłośnikowe (Rys. 1). Zaletą źródła jednogłośnikowego jest jego mały wymiar, a wadą silna kierunkowość emisji dźwięku. Zaletą źródeł 12 i 20 głośnikowych jest ich stosunkowo wszechkierunkowa charakterystyka, a wadą stosukowo duże wymiary (wraz ze statywem ok 0,5 m). Ponieważ w najbliższej przyszłości planowane są badania skuteczności akustycznej obudów na źródła ultradźwiękowe, konieczne jest opracowanie źródeł zbliżonych gabarytowo do technologicznych źródeł ultradźwiękowych. Większość z tych źródeł (np. płuczki ultradźwiękowe, zgrzewarki) mają stosunkowo małe wymiary przy stosunkowo wszechkierunkowej charakterystyce emisji, dlatego powstała potrzeba opracowania nowego mniejszego źródła emisji dźwięku w zakresie częstotliwości hałasu ultradźwiękowego tj. ok. 10-40 kHz.

a) b)

Rys. 1. Obecnie wykorzystywane w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym źródła hałasu ultradźwiękowego:
a) dwunastogłośnikowe, b) dwudziestogłośnikowe.

ZAŁOŻENIA OPRACOWYWANEGO LABORATORYJNEGO ŹRÓDŁA AKUSTYCZNEGO

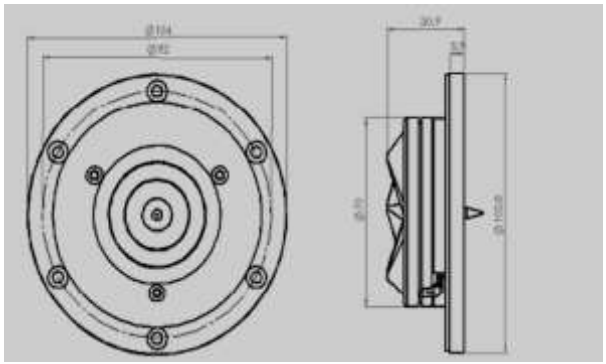
Wymagania odnoszące się do opracowywanych źródeł są następujące:

- źródło powinno emitować szum różowy w paśmie częstotliwości minimum 8-50 kHz (duża równomierność charakterystyki częstotliwościowej nie jest konieczna, jednakże emisja hałasu nie powinna mieć charakteru tonalnego, przyjęto kryterium tonalności w tercjowych pasmach częstotliwości 5 dB przez analogie do ISO 1996-2:2017 [6]),
- źródło powinno emitować dźwięki stosunkowo wszechkierunkowo (ze względu na właściwości fizyczne emisji dźwięku w tym zakresie częstotliwości przyjęto, że dla każdego tercjowego pasma częstotliwości z zakresu 8-50 kHz maksymalna różnica poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni półkuli o promieniu 1m o środku w środku źródła nie powinna być większa niż 15 dB),
- poziom ciśnienia akustycznego powinien znacznie (min. 30 dB) być większy niż poziom tła akustycznego (tj. poziom ciśnienia akustycznego emisji oraz średni poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej powinien być większy niż ok. 75 dB),
- źródło (w szczególności część emitująca dźwięk) ze względu na ograniczenie wymiarów powinno być jak najmniejsze.

KONSTRUKCJA OPRACOWYWANEGO LABORATORYJNEGO ŹRÓDŁA AKUSTYCZNEGO

Źródło składa się z trzech elementów:

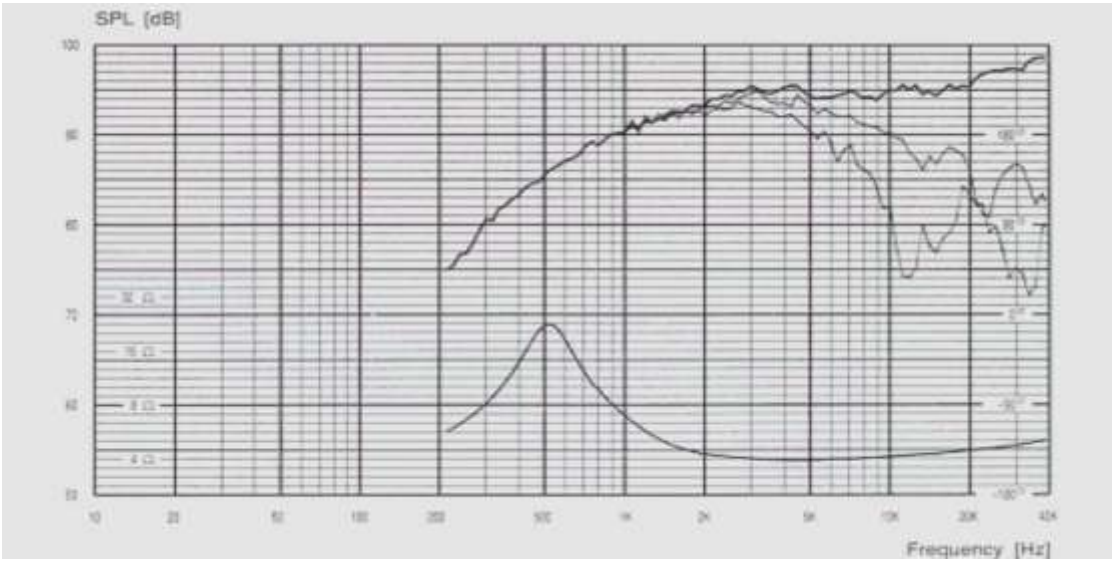
- generatora szumu realizowanego przez Systemem Puls typ 3560C,
- wzmacniacz mocy realizowanego przez Wzmacniacz mocy Yamacha – 797,
- kolumna głośnikowa – realizowana jako zestaw czterogłośnikowy w jednej obudowie zawierający cztery głośniki ScanSpeak R2904/700000 połączone równolegle szeregowo o wypadkowej impedancji znamionowej jak pojedynczy głośnik. Widok głośnika oraz charakterystykę częstotliwościową (podane wg danych producenta) podano na Rys. 2 i 3.



Rys. 2. Rysunek techniczny głośnika ScanSpeak R2904/700000 **(**dane producenta**).**

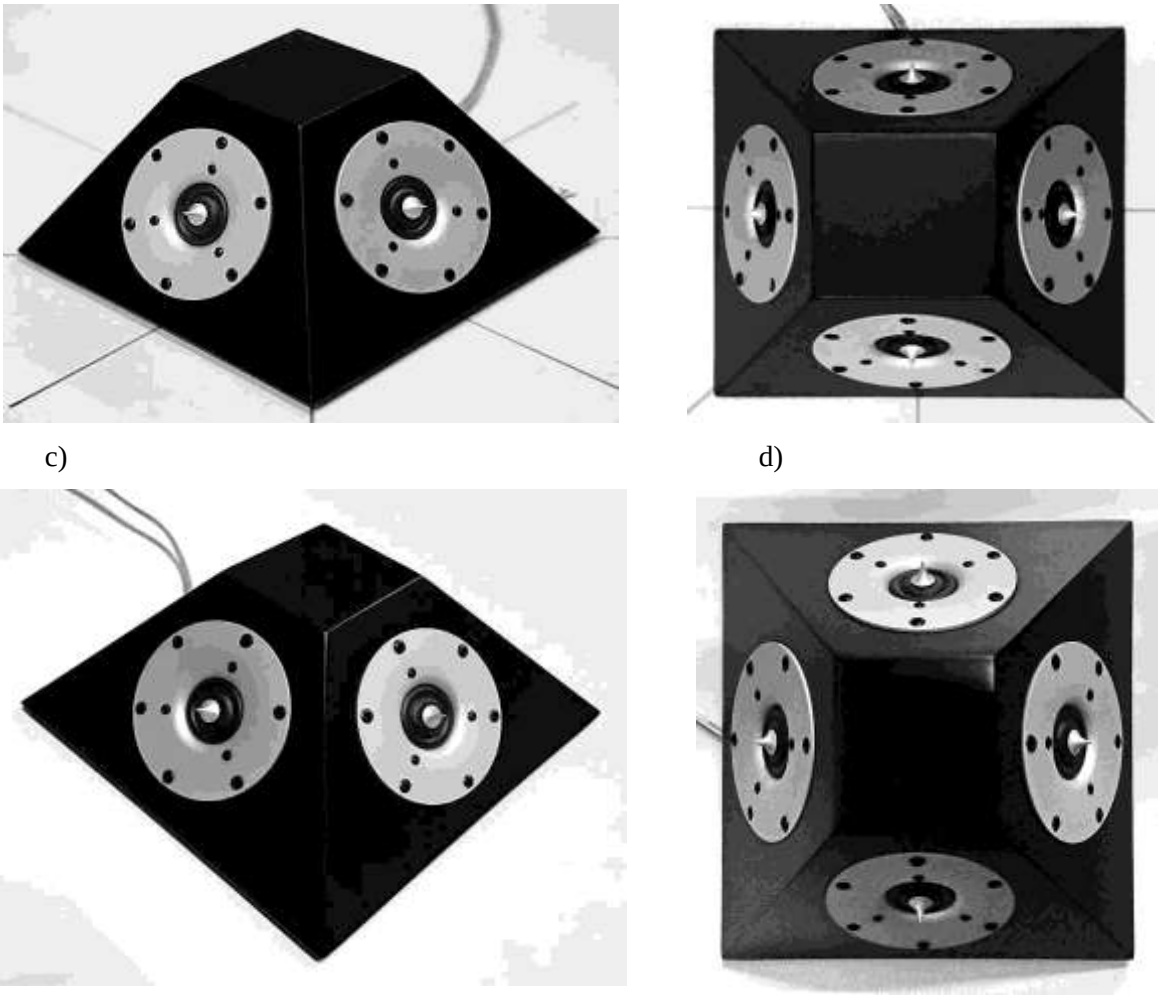
W celu zapewnienia jak najbardziej zbliżonej charakterystyki kierunkowej promieniowania do charakterystyki wszechkierunkowej, głośniki umieszczono w obudowie w kształcie ostrosłupa ściętego o podstawie kwadratu. Głośniki umieszczono na ścianach bocznych

ostrosłupa. Widok źródła w dwóch wariantach (o różnym nachyleniu ścian bocznych) oznaczone są N (wysokość 13 cm) i W (o wysokość 16 cm) pokazano na Rys. 4.



Rys. 3. Charakterystyka częstotliwościowa głośnika ScanSpeak R2904/700000 (dane producenta).

a) b)



c) d)

Rys. 4. Zdjęcia wykonanych laboratoryjnych źródeł: a) i b) źródło W, c) i d) źródło N.

METODA POMIARÓW EMISJI HAŁASU ŹRÓDEŁ W ROZPATRYWANYM ZAKRESIE CZĘSTOTLIWOŚCI

Do określenia emisji hałasu ultradźwiękowego (10-40 kHz) źródeł emitujących energię ultradźwiękową zastosowano wielkości fizyczne:

- poziom mocy akustycznej w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40 i 50 kHz,
- poziom ciśnienia akustycznego emisji w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40 i 50 kHz,
- charakterystykę częstotliwości promieniowania źródła w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40 i 50 kHz.

Metoda wyznaczania poziomu mocy akustycznej

Metoda pomiarowo-obliczeniowa wyznaczania poziomu mocy akustycznej rozpatrywanych laboratoryjnych źródeł dźwięku polega na obliczeniu tego parametru ze zmierzonego poziomu ciśnienia akustycznego bieżącej fali akustycznej na półkulistej powierzchni pomiarowej wokół źródła umieszczonego na powierzchni odbijającej. Ponieważ cechą immanentną tych źródeł jest kierunkowa emisja energii akustycznej, dlatego konieczne jest uśrednienie poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej.

Poza falą bezpośrednią w pomieszczeniach do mikrofonu docierają fale odbite (mierzy się wypadkowy poziom ciśnienia akustycznego fal bezpośrednich i odbitych). Z wyników pomiarów trzeba więc wyeliminować wpływ fal odbitych (nie dotyczy to wpływu fal odbitych od podłoża odbijającego, od którego ten ostatni wpływ jest uwzględniony). Wpływ fal odbitych uwzględnia się to stosując tzw. poprawkę środowiskową $K_{2,f}$. Poza energią akustyczną promieniowaną przez rozpatrywane źródła, na mierzony poziom ciśnienia akustycznego ma wpływ także tło akustyczne. Wpływ tła eliminuje się z wyników pomiarów stosując tzw. poprawkę $K_{1,f}$. Zmierzony poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej zależy również od tłumienia dźwięku w powietrzu (trzeba więc wartości mierzone skorygować) – co wykonuje się stosując poprawkę $K_{powietrze,f}$ (dotyczy tylko poziomu mocy akustycznej).

Uwzględniając wszystkie te uwarunkowania poziom mocy akustycznej źródła hałasu (w zakresie częstotliwości 8 kHz – 50 kHz tj. zakresie częstotliwości szerszym niż hałas ultradźwiękowy, który obejmuje pasma częstotliwości 10-40 kHz) nad powierzchnią odbijającą określa się, w dB, ze wzoru:

$$L_{W,f} = \overline{L_{p,f}} + 10 \cdot lg(2\pi \cdot r^2) - K_{2,f} - K_{1,f} + K_{powietrze,f} \quad (1)$$

gdzie:

$\overline{L_{p,f}}$ – średni na powierzchni pomiarowej poziom ciśnienia akustycznego, dla częstotliwości *f*, w dB,

r – promień półkulistej powierzchni pomiarowej, w metrach,

$K_{2,f}$ – poprawka środowiskowa, dla częstotliwości *f*, w dB,

$K_{1,f}$ – poprawka na hałas tła akustycznego, dla częstotliwości f, w dB,

$K_{powietrze,f}$ – poprawka wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu, dla częstotliwości *f* i odległości *r*, w dB.

W przypadku, gdy niespełnione są warunki na środowisko badawcze (za duża wartość poprawki $K_{2,f}$, tj. $K_{2,f} > 4$ dB [7,8]) promień *r* należy zmniejszyć poniżej zalecanego 1 m, ale z zachowaniem, że $r \geq 2d_0$ (d_0 – przekątna prostopadłościanu otaczającego źródło) oraz $r \geq 0{,}5$ m. W artykule przyjęto wymaganie na środowisko badawcze ostrzejsze tj., że $K_{2,f} \leq 2$ dB (wg poprzedniej wersji normy [7] oraz przez analogię z [9]).

Poprawkę środowiskowa $K_{2,f}$, w pomieszczeniach dla półkulistej powierzchni pomiarowej, $K_{2,f}$, w dB, oblicza się dla częstotliwości *f*, ze wzoru:

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

gdzie:

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

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

$$A_f = 0{,}16\frac{V}{T_f} \quad (3)$$

gdzie:

V – objętość pomieszczenia badawczego, w m^3;

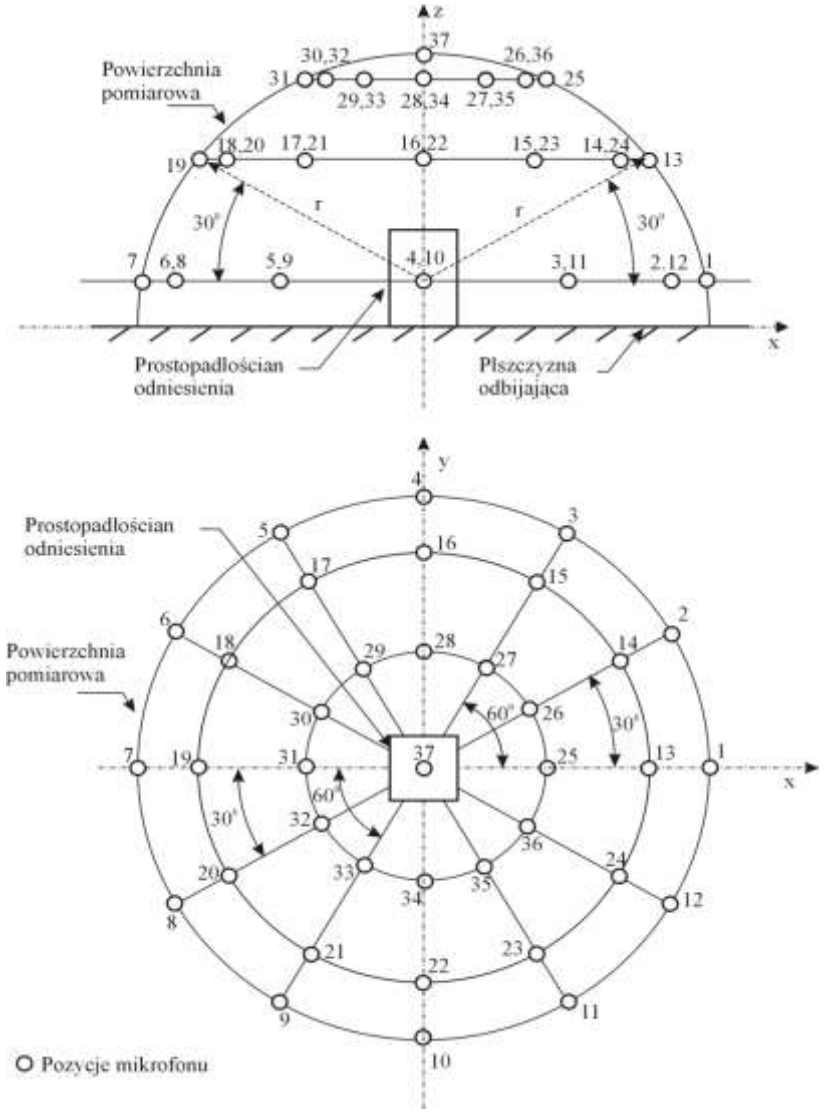
T_f – czas pogłosu dla częstotliwości, w sekundach.

Z tego wynika, że poprawkę środowiskową dla półkulistej powierzchni pomiarowej, $K_{2,f}$, w dB, oblicza się dla częstotliwości *f*, ze wzoru:

$$K_{2,f} = 10 \cdot lg\left(1 + 4\frac{S}{A_f}\right) = 10 \cdot lg\left(1 + 24{,}8\frac{S \cdot T_f}{V}\right) \approx 10 \cdot lg\left(1 + 25\frac{S \cdot T_f}{V}\right) \quad (4)$$

Z wcześniejszych badań autora [3] wynika, że w celu określenia poziomu mocy akustycznej różniącego się maksymalnie o 1 dB od określonego z bardzo dużej liczby

punktów pomiarowych (ponad 1000), wystarczy uwzględnić ok. 37 punktów pomiarowych (Rys. 5). Jest to również zgodne z kryterium, że maksymalna różnica poziomów ciśnienia akustycznego zmierzona w punktach pomiarowych na powierzchni pomiarowej, w dB, musi być mniejsza od liczby punktów pomiarowych [7, 8]. Liczba 37 jest ok. czterokrotnie większa w stosunku do przyjętej wstępnie liczby 9 wg [7] lub nawet dwukrotnie większa (w stosunku do 20) przyjętej, jako ostateczna liczby punktów pomiarowych podanej w [8]. Dlatego przyjęto liczbę punktów pomiarowych równą 37 przy punktach pomiarowych na powierzchni półkuli rozmieszczonych, co 30^0 zarówno w płaszczyźnie poziomej jak pionowej (Rys. 5).



Rys. 5. Położenie 37 punktów pomiarowych na powierzchni pomiarowej półkuli.

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

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

gdzie:

n – liczba punktów pomiarowych,

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

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

$$K_{1,f} = -10 \cdot lg\left(1 - 10^{-0,1 \cdot \Delta L_{p,f}}\right) \tag{6}$$

gdzie:

$$\Delta L_{p.f} = \overline{L_{p,zr,f}} - \overline{L_{p,tło,f}} \tag{7}$$

$\overline{L_{p,zr,f}}$ – średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości f na powierzchni pomiarowej, podczas gdy źródło emituje hałas ultradźwiękowy, w dB,

$\overline{L_{p,tło,f}}$ – średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości f na powierzchni pomiarowej, gdy źródło nie emituje hałasu ultradźwiękowego, w dB.

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

Dla 6 dB $\leq \Delta L_{p,f} \leq 15$ dB należy poprawkę $K_{1,f}$ uwzględnić w obliczeniach.

Wartości $\Delta L_{p,f} < 6$ dB nie można zaakceptować. W celu zwiększenia wartości tej różnicy należy: albo przybliżyć powierzchnię pomiarową do źródła (patrz wyżej), albo zmniejszyć hałas tła akustycznego.

Poprawkę wynikającą z tłumienia dźwięku w powietrzu uwzględnia się tylko przy określaniu poziomu mocy akustycznej. Określa się ją, w dB, ze wzoru:

$$K_{powietrze,f} = r \cdot \alpha_{powietrze,f} \tag{8}$$

gdzie:

$\alpha_{powietrze,f}$ – współczynnik tłumienia dźwięku w powietrzu, w dB/m,

r – promień powierzchni pomiarowej, w metrach.

W normie PN-EN ISO 9295 [8] podano współczynniki pochłaniania dźwięku w powietrzu $\alpha_{powietrze}$ w zakresie częstotliwości od 10 kHz do 22,4 kHz (w jednostkach Np/m). Po przeliczeniu na jednostki dB/m, dla wilgotności 50% i temperatury 22^{o}C i ekstrapolacji wykresu współczynnika pochłaniania dźwięku w powietrzu $\alpha_{powietrze}$ w funkcji częstotliwości, na zakres częstotliwości do 50 kHz współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu $\alpha_{powietrze}$ można opisać funkcją:

$$\propto_{powietrze} = 0,0026 \cdot f^{1,7546} \tag{9}$$

gdzie f – częstotliwość, w kHz.

W Tab. 1 podano wartości współczynnika pochłaniania dźwięku w powietrzu $\alpha_{powietrze}$ dla częstotliwości środkowych pasm tercjowych z zakresu 8 – 50 kHz dla odległości 1 m tj. wartości poprawki $K_{powietrze,1\ m}$.

Tab. 1 Tłumienie dźwięku w powietrzu na 1 m odległości od źródła (wilgotność 50%, temp. 22°C)

Częstotliwość, w kHz	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
$K_{powietrze,1\ m}$, w dB	0,01	0,15	0,22	0,34	0,50	0,74	1,11	1,68	2,49

Metoda wyznaczania poziomu ciśnienia akustycznego emisji

Metoda pomiarowo-obliczeniowa wyznaczania poziomu ciśnienia akustycznego emisji źródła hałasu polega na obliczeniu tego parametru ze zmierzonego poziomu ciśnienia akustycznego bieżącej fali akustycznej na stanowisku pracy, lub gdy nie jest określone stanowisko pracy, w innym sprecyzowanym punkcie pomiarowym. Dlatego środowisko pomiaru to obszar, w którym energia fali bezpośrednio rozchodzącej się od źródła powinna dominować. Ze względów możliwości porównywania wyników pomiarów, pomiary przeprowadza się nad płaszczyzną odbijającą dźwięk w warunkach zbliżonych do użytkowania źródła lub (co tutaj ma miejsce) na specjalnym stoliku pomiarowym spełniającym wymagania [9] (Rys. 6).

Rys. 6. Specjalny stolik pomiarowy do pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego emisji spełniający wymagania [9] wykonany w Centralnym Instytucie ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym

Poziom ciśnienia akustycznego emisji określa się ze wzoru:

$$L_{p,e,f} = L'_{p,f} - K_{1,f} - K_{3,f} \qquad (10)$$

gdzie :

$L'_{p,f}$ – poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy lub w innym określonym miejscu, w odległości d od źródła, dla częstotliwości f, w dB,

$K_{3,f}$ – poprawka środowiskowa, dla częstotliwości f, w dB,

$K_{1,f}$ – poprawka na hałas tła akustycznego, dla częstotliwości f, w dB,

W warunkach rzeczywistych w pomieszczeniach poza falą bezpośrednią od źródła, do mikrofonu docierają fale odbite, z otrzymanego wyniku pomiaru trzeba wyeliminować wpływ fal odbitych – co wykonuje się stosując tzw. poprawkę środowiskową $K_{3,f}$ (analogicznie jak poprawka $K_{2,f}$ przy wyznaczaniu poziomu mocy akustycznej). Poza

energią akustyczną docierającą od źródła, na mierzony poziom ciśnienia akustycznego ma także wpływ tło akustyczne. Trzeba jego wpływ także wyeliminować z wyników pomiarów – co wykonuje się stosując tzw. poprawkę $K_{1,f}$.

W pomieszczeniach poprawkę środowiskową, $K_{3,f}$, w dB, oblicza się dla częstotliwości f, ze wzoru:

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

gdzie:

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

d – odległość stanowiska pracy od źródła hałasu, w metrach,

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

$$A_f = 0{,}16\frac{V}{T_f} \tag{12}$$

gdzie:

V – objętość pomieszczenia badawczego, w m^3;

T_f – czas pogłosu dla częstotliwości f, w sekundach.

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

$$K_{3,f} = 10 \cdot lg\left(1 + 4\frac{S}{A_f}\right) = 10 \cdot lg\left(1 + 24{,}8\frac{S \cdot T_f}{V}\right) \approx 10 \cdot lg\left(1 + 25\frac{S \cdot T_f}{V}\right) \tag{13}$$

Wg [9] poprawka na środowisko badawcze musi być nie większa od 2 dB tj. $K_{3,f} \leq 2$dB), natomiast wg [7] dla pomiaru poziomu mocy akustycznej poprawka na środowisko badawcze musi być nie większa od 4 dB tj. $K_{2,f} \leq 4$ dB. Przyjęto, że $K_{3,f} \leq 2$ dB.

Przy określeniu poziomu ciśnienia akustycznego emisji przyjęto, że pracownik stoi przy stoliku laboratoryjnym, tzn. źródło umieszczano na środku stolika o wysokości 0,75 m, a pomiar przeprowadza się na wysokości 1,5 m od podłoża w taki sposób, że odległość źródła od mikrofonu wynosiła ok. 0,71 m.

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

$$K_{1,f} = -10 \cdot \lg\left(1 - 10^{-0{,}1 \cdot \Delta L_{p,f}}\right) \tag{14}$$

gdzie:

$$\Delta L_{p.f} = L'_{p,f} - L''_{p,f} \tag{15}$$

$L'_{p,f}$ – poziom ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości f, podczas pracy źródła hałasu, w dB,

$L''_{p,f}$ – poziom ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości f, tła akustycznego, w dB,

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

Dla 6 dB $\leq \Delta L_{p,f} \leq$ 15 dB należy poprawkę $K_{1,f}$ uwzględnić w obliczeniach.

Wartości $\Delta L_{p,f} < 6$ dB nie można zaakceptować, w celu zwiększenia wartości tej różnicy należy zmniejszyć hałas tła akustycznego.

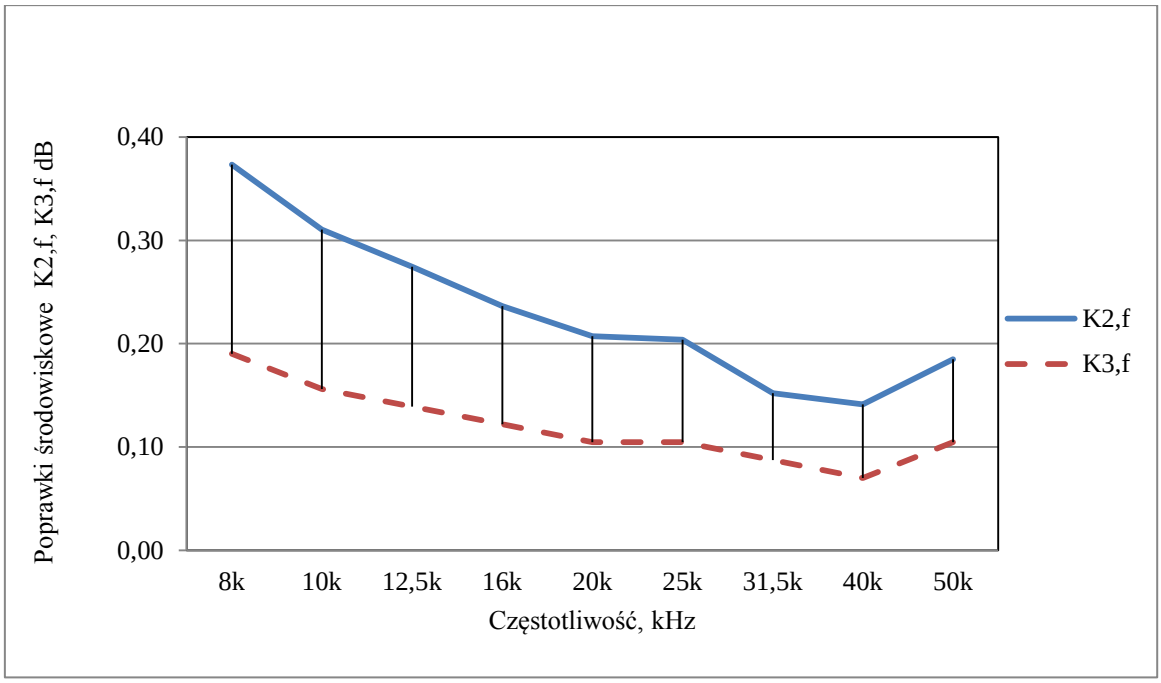
Właściwości kierunkowej emisji dźwięku źródeł ultradźwiękowych podaje się w postaci charakterystyk promieniowania w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Są to wartości poziomu ciśnienia akustycznego w odległości 1m od środka źródła. Przedstawia się je na wykresach kołowych. Przy określaniu tych charakterystyk nie uwzględnia się poprawek środowiskowych i tłumienia dźwięku w powietrzu $K_{3,f}$ i $K_{powietrze,f}$ (we wszystkich punktach pomiarowych są takie same), nie ma potrzeby także uwzględniania poprawki $K_{1,f}$.

WYNIKI POMIARÓW EMISJI HAŁASU ŹRÓDEŁ

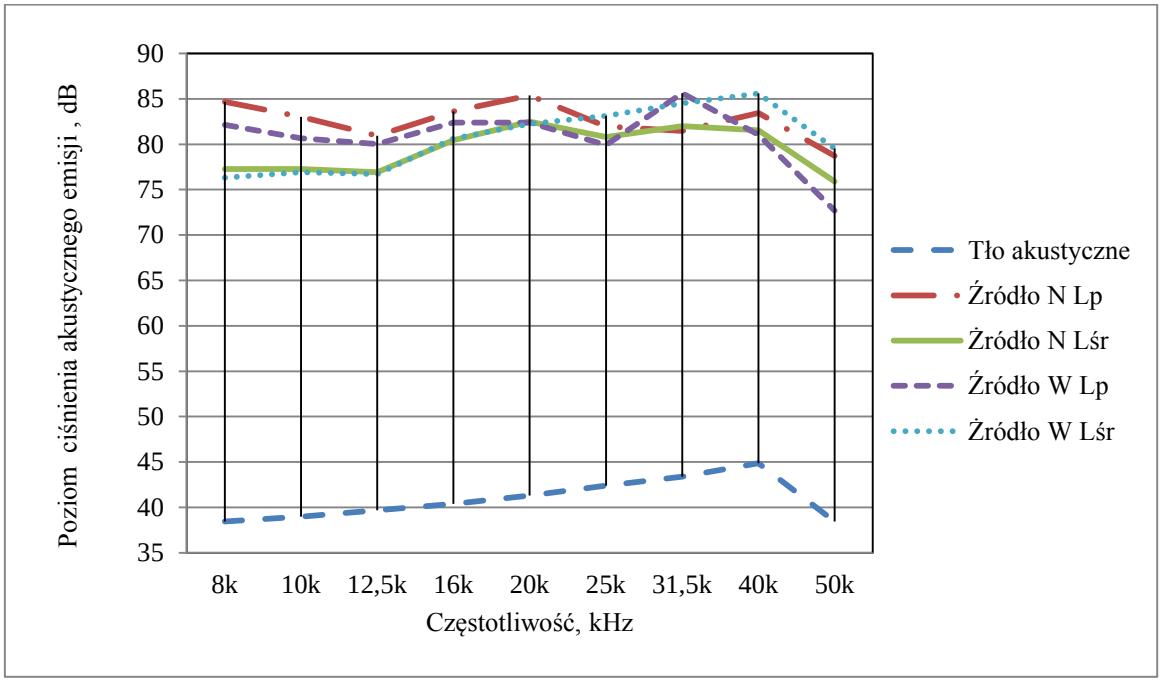
Pomiary emisji hałasu ultradźwiękowego źródeł wykonano wg. metody określonej w punkcie 4. Określono poziom mocy akustycznej, poziom ciśnienia akustycznego emisji oraz właściwości kierunkowe emisji dźwięku źródeł. Badania przeprowadzono w pomieszczeniu semi-bezechowym o objętości 200 m^3. Podłoga pomieszczenia była odbijająca.

Na Rys. 7 podano wartości poprawki środowiskowej $K_{2,f}$ dla przyjętej odległości pomiarowej r równej 1 m (dla pomiarów poziomu mocy akustycznej i właściwości kierunkowych emisji dźwięku ze źródeł) oraz d równej 0,71 m (dla pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego emisji). Jak podano wyżej maksymalne dopuszczalne wartości tych poprawek wynoszą 2 dB. Wynika z tego, że dla tak przyjętych odległości pomiarowych pomieszczenie, w którym przeprowadzono badania spełnia oba te wymagania. Poprawki te uwzględniono w obliczeniach.

Na rysunku 8 podano wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych: tła akustycznego, hałasu od obu źródeł w punkcie, w którym określa się poziom ciśnienia akustycznego emisji oraz średnich poziomów ciśnienia akustycznego na półkulistej powierzchni pomiarowej (tj. na powierzchni na której wykonuje się pomiary do określenia poziomu mocy akustycznej).



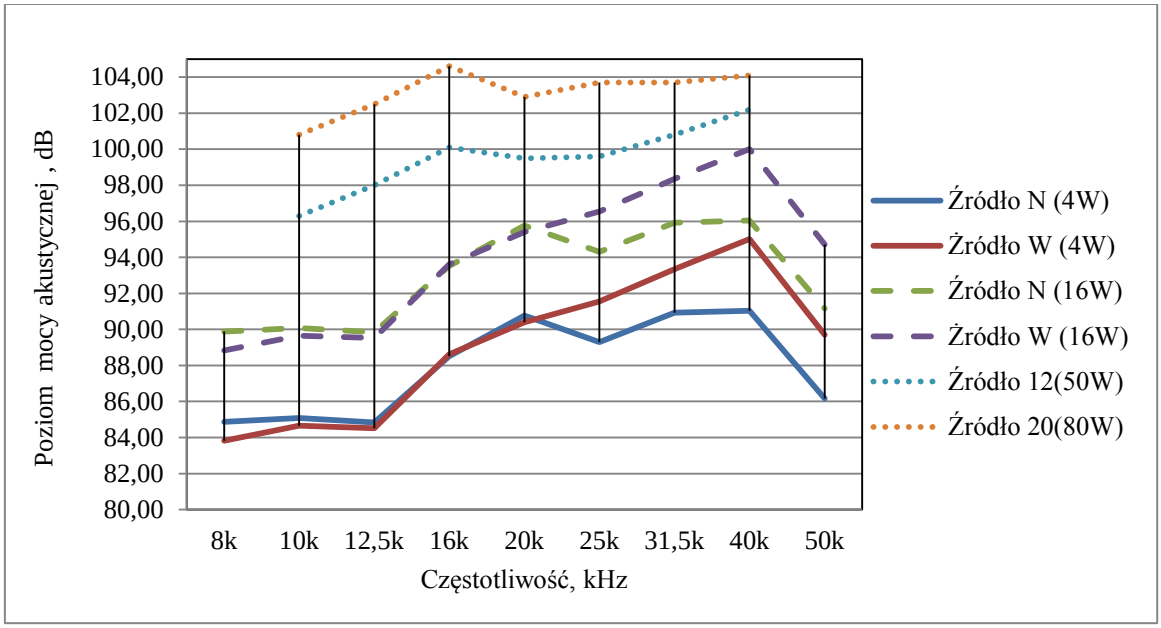
Rys. 7. Poprawki środowiskowe $K_{2,f}$ i $K_{3,f}$



Rys. 8. Wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego: tła akustycznego, hałasu obu źródeł (N i W): w punkcie, w którym określa się poziom ciśnienia akustycznego emisji (L_p) oraz średnich poziomów na powierzchni pomiarowej, na której wykonuje się pomiary do określenia poziomu mocy akustycznej ($L_{śr}$) (przy mocy elektrycznej źródła 4 W).

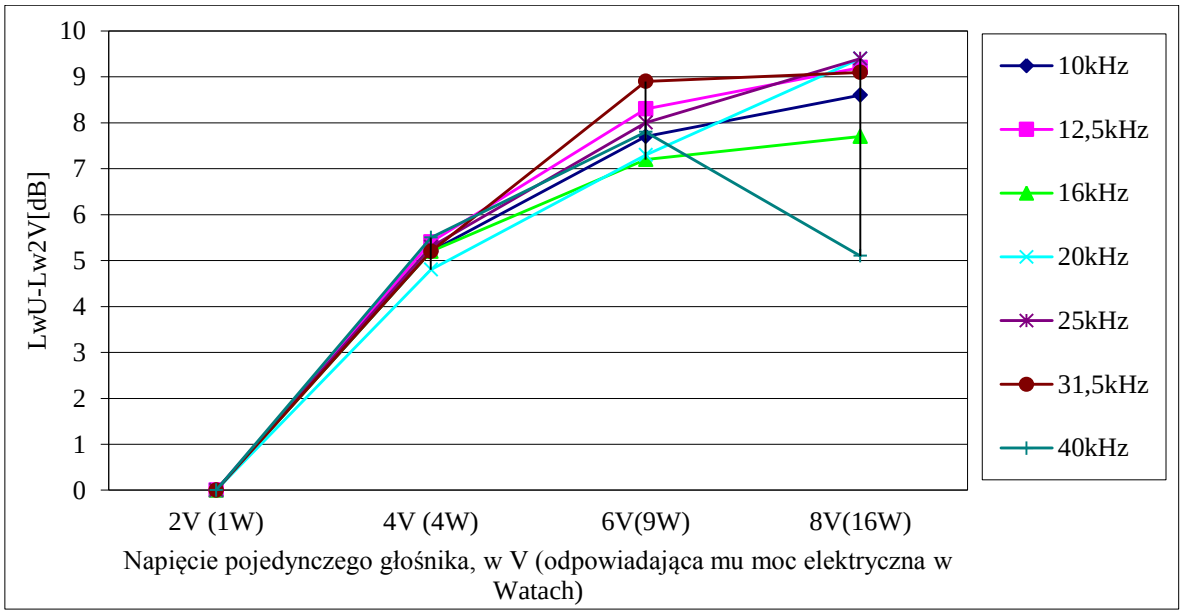
Jak widać różnica poziomów ciśnienia akustycznego między mierzonymi wartościami tła akustycznego i przy włączonych źródłach znacznie przekracza ww. wymagania 30 dB, z tego wynika, że poprawki wynikające z tła akustycznego $K_{1,f}$ (zarówno przy obliczaniu poziomu mocy akustycznej jak i poziomu ciśnienia akustycznego emisji) można pominąć (tzn. $K_{1,f} = 0$).

Na Rys. 9 podano wyniki pomiarów poziomu mocy akustycznej laboratoryjnych źródeł N i W przy mocy elektrycznej 4 W, estymowany wynik tej wielkości dla mocy elektrycznej 16 W oraz dla porównania źródeł 12 i 20 głośnikowych (Rys. 1) dla mocy elektrycznej odpowiednio 50 i 80 W (te ostatnie wg wcześniejszych badań autora [4]).



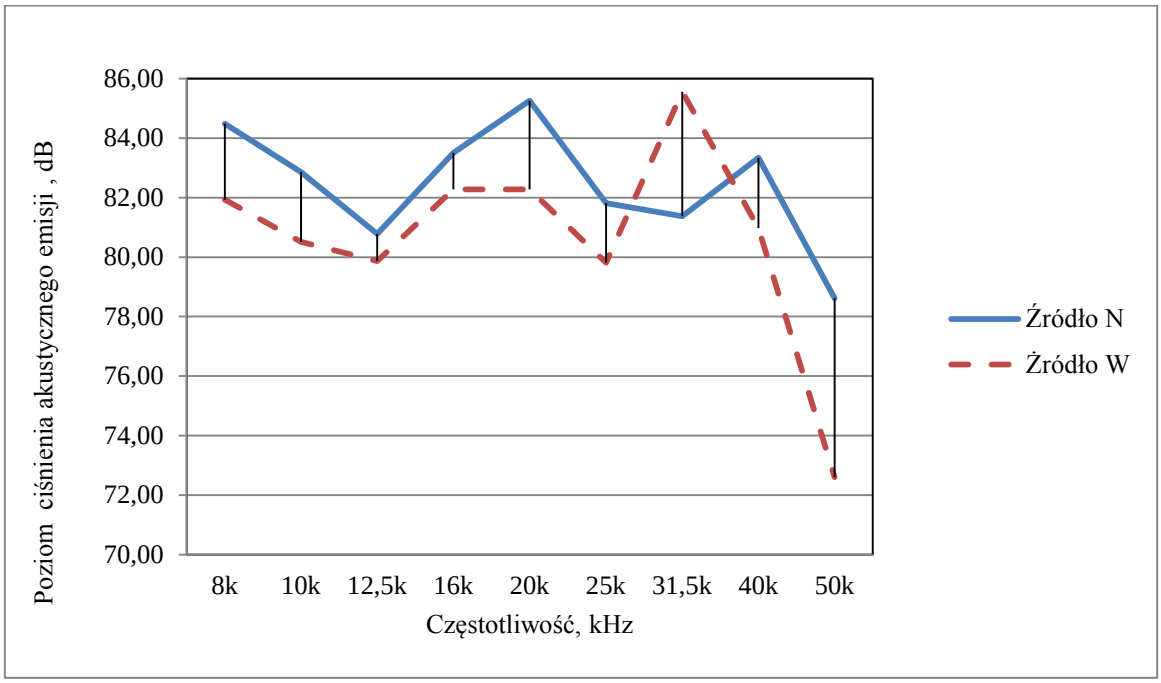
Rys. 9. Poziomu mocy akustycznej mierzonych źródeł

Estymację poziomu mocy źródła dla różnego napięcia zasilającego przeprowadzono na podstawie badań wpływu napięcia na zaciskach rozpatrywanego głośnika (a więc i poziomu mocy elektrycznej) na poziom ciśnienia akustycznego fali akustycznej emitowanej ze źródła (Rys. 10).



Rys. 10. Przyrost poziomu mocy akustycznej emitowanej ze źródła dla większych wartości napięcia na zaciskach głośnika niż 2 V (oraz moc elektryczna) pojedynczego głośnika elektrodynamicznego R2904-70000.

Na Rys. 11 podano wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego emisji źródeł N i W przy mocy elektrycznej 4 W (dla odległości mikrofonu od źródła 0,71 m).



Rys. 11. Poziom ciśnienia akustycznego emisji (dla odległości stanowiska mikrofonu od źródła 0,71 m) źródła N i W (przy mocy elektrycznej 4 W)

Charakterystyki kierunkowe emisji dźwięku rozpatrywanych źródeł pokazano na:

- Rys. 12 – charakterystyka w płaszczyźnie poziomej źródła N,
- Rys. 13 – charakterystyka w płaszczyźnie pionowej źródła N,
- Rys. 14 – charakterystyka w płaszczyźnie poziomej źródła W,
- Rys. 15 – charakterystyka w płaszczyźnie pionowej źródła W.

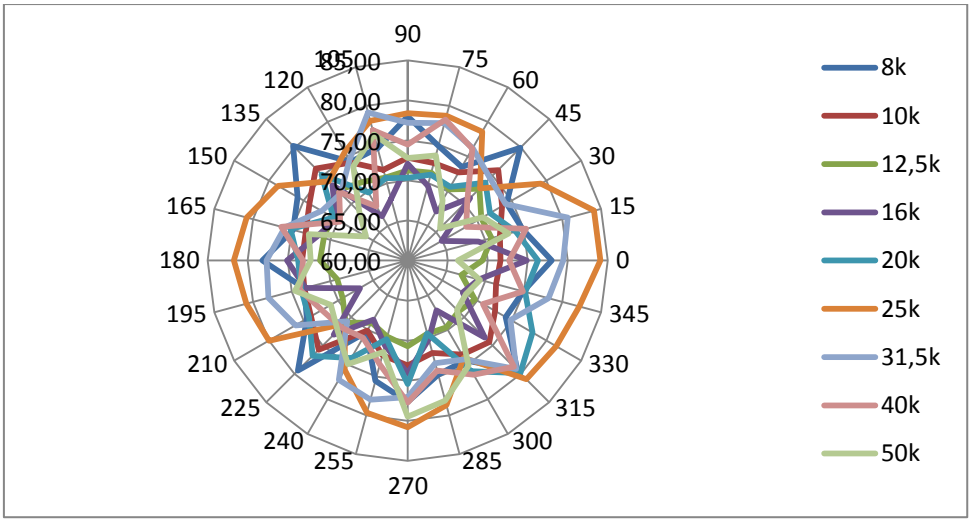
Maksymalna różnica poziomów dla każdej z tercjowych pasm częstotliwości na półkulistej powierzchni pomiarowej (tj. z wartości zmierzonych w 37 punktach pomiarowych) zawiera się w zakresie dla źródła N 5 - 13 dB, dla źródła W 6-12 dB.

Źródło N (niższe) maksimum energii promieniuje pod kątem 45^{o}, a źródło W (wyższe) pod kątem 30^{o} do płaszczyzny podłoża.

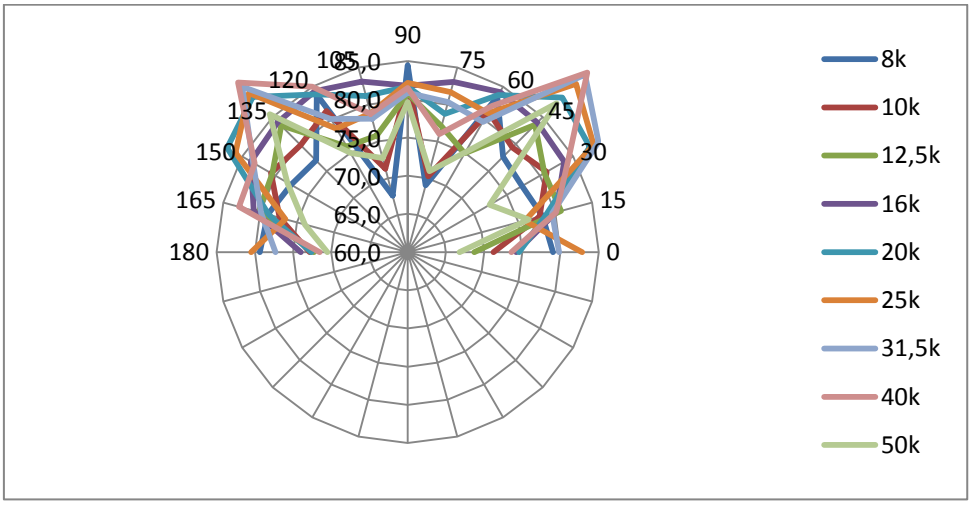
PODSUMOWANIE

W Centralnym Instytucie ochrony Pracy - Państwowym Instytucie Badawczym opracowano dwa nowe laboratoryjne źródła emitujące dźwięki w zakresie częstotliwości obejmującym tercje 8-50 kHz. Przeznaczeniem tych źródeł jest prowadzenie badań skuteczności akustycznej obudów na źródła hałasu ultradźwiękowego. Dlatego konieczne było opracowanie źródeł o jak najmniejszych gabarytach zapewniających jednakże

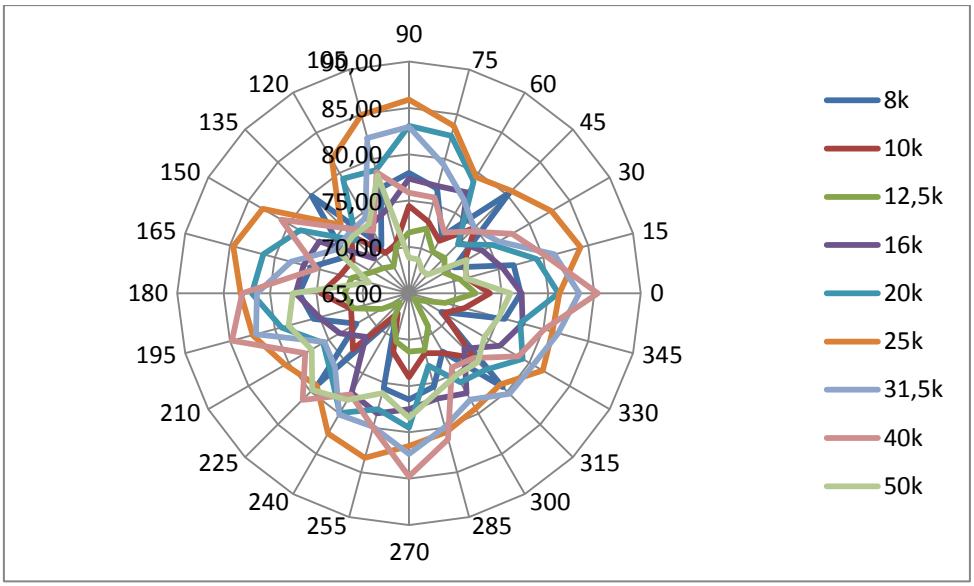
wystarczająco duży poziom mocy akustycznej. Oba źródła składają się z generatora szumu, wzmacniacza mocy oraz kolumny czterogłośnikowej. Kolumny mają kształt ostrosłupów prawidłowych o podstawie kwadratowej ze ściennym wierzchołkiem. Wysokość ostrosłupów to 13 i 16 cm. Poziom mocy akustycznej źródeł w ww. zakresie częstotliwości zawiera się w zakresie 85-95 dB (dla mocy elektrycznej 4 W) lub 90-100 dB (dla mocy elektrycznej 16 W). Poziom ciśnienia akustycznego emisji (dla odległości od źródła 0,71 m) w zakresie częstotliwości hałasu ultradźwiękowego (10-40 kHz) zawiera się w zakresie 80-85 dB. Źródło niższe maksimum energii promieniuje pod kątem 45°, a źródło wyższe pod kątem 30° do płaszczyzny podłoża.



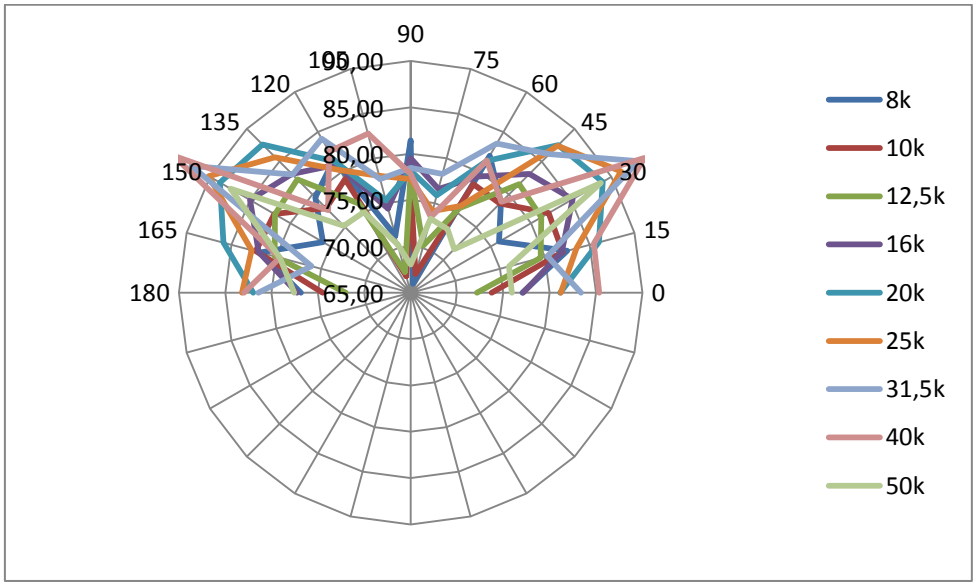
Rys. 12. Kierunkowość promieniowania w płaszczyźnie poziomej źródła N (liczby w kolumnie przy osi OY na wykresie są wartościami poziomu ciśnienia akustycznego w dB, natomiast liczby na obwodzie wykresu kołowego są wartościami kąta płaskiego w stopniach od przyjętej osi głównej źródła).



Rys. 13. Kierunkowość promieniowania w płaszczyźnie pionowej źródła N (liczby w kolumnie przy osi OY na wykresie są wartościami poziomu ciśnienia akustycznego w dB, natomiast liczby na obwodzie wykresu kołowego są wartościami kąta płaskiego w stopniach od przyjętej osi głównej źródła).



Rys. 14. Kierunkowość promieniowania w płaszczyźnie poziomej źródła W (liczby w kolumnie przy osi OY na wykresie są wartościami poziomu ciśnienia akustycznego w dB, natomiast liczby na obwodzie wykresu kołowego są wartościami kąta płaskiego w stopniach od przyjętej osi głównej źródła).



Rys. 15. Kierunkowość promieniowania w płaszczyźnie pionowej źródła W (liczby w kolumnie przy osi OY na wykresie są wartościami poziomu ciśnienia akustycznego w dB, natomiast liczby na obwodzie wykresu kołowego są wartościami kąta płaskiego w stopniach od przyjętej osi głównej źródła).

PODZIĘKOWANIA

Referat opracowany 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 Panu Jerzemu Kozłowskiemu za pomoc w wykonaniu pomiarów.

LITERATURA

13. Smagowska B., Ultrasonic noise sources in the work environment, Archives of Acoustics Vol. 38, No. 2, p. 169-176. (2013)
14. Mikulski W., Metoda określania poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu w zakresie częstotliwości powyżej 10kHz, XLV Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki, Szczyrk, 27.02-3.3.2017 r. (2017)
15. Mikulski W., Radosz J., Metoda określania poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu ultradźwiękowego. Określenie kryteriów ustalania minimalnej liczby punktów pomiarowych, 56 Otwarte Seminarium Akustyki, Warszawa-Goniądz, 15-18.09.2009 r. (2009)
16. Mikulski W., Radosz J., Określanie poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu ultradźwiękowego na podstawie pomiaru średniego poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej metodą omiatania, XV Konferencja Noise Control, Książ-Wrocław, 6-9.06.2010 r. (2010)
17. Mikulski W., Metoda pomiaru emisji hałasu źródeł ultradźwiękowych, 55 Otwarte Seminarium z Akustyki, Wrocław- Szklarska Poręba, 8-12.09.2008 r. (2008)
18. ISO 1996-2:2017 Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of sound pressure levels
19. 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.
20. PN-EN ISO 9295:2015-09 Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy hałasu wysokiej częstotliwości emitowanego przez maszyny i urządzenia.
21. 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.

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA TECHNIK KOMUNIKACJI BEZPRZEWODOWEJ I INTERNETU RZECZY DO MONITOROWANIA I OGRANICZANIA ZAGROŻEŃ SPOWODOWANYCH HAŁASEM

Leszek MORZYŃSKI, Rafał MŁYŃSKI, Grzegorz SZCZEPAŃSKI, Emil KOZŁOWSKI
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
e-mail: lmorzyns@ciop.pl

1. WPROWADZENIE

Hałas jest fizycznym czynnikiem szkodliwym występującym powszechnie w środowisku pracy. Szacuje się, że liczba pracowników pracujących w zagrożeniu hałasem może być ponad dwukrotnie większa niż podawana przez Główny Urząd Statystyczny za 2016 r. liczba ponad 186 tys. osób [1], gdyż publikowane dane nie obejmują przedsiębiorstw zatrudniających mniej niż 10 osób. Ekspozycja na hałas o wartościach przekraczających wartości określone w przepisach najwyższych dopuszczalnych natężeń [2] prowadzi przede wszystkim do powstawania trwałych ubytków słuchu. W 2016 r. wśród pracowników narażonych na hałas odnotowano 133 przypadki ubytków słuchu [3] spełniających kryteria choroby zawodowej.

Szkodliwe oddziaływanie na narząd słuchu nie jest jednak jedynym niekorzystnym skutkiem występowania hałasu w środowisku pracy. Hałas może być sygnałem maskującym inne użyteczne sygnału akustyczne, niosących istotne informacje dla bezpieczeństwa pracowników. Szczególnym przykładem są dźwiękowe sygnały bezpieczeństwa (sygnały ostrzegawcze) emitowane przez będące w ruchu pojazdy (w tym pojazdy transportu wewnątrzzakładowego takie jak wózki jezdniowe) czy maszyny (np. suwnice). Na możliwość percepcji tego rodzaju sygnałów przez pracowników w warunkach hałasu wpływa nie tylko efekt maskowania ale również stosowanie przez pracowników ochronników słuchu [4]. Nieprawidłowa percepcja sygnału ostrzegawczego skutkuje powstawaniem groźnych wypadków przy pracy.

Zagrożenia związane z hałasem powinny być eliminowane lub ograniczane poprzez odpowiednie działania profilaktyczne, w tym wykorzystujące nowoczesne środki profilaktyki technicznej. Można do nich zaliczyć monitorowanie zagrożeń spowodowanych hałasem i ostrzeganie pracowników o tych zagrożeniach z wykorzystaniem urządzeń nasobnych (noszonych przez pracownika). Realizacja tego rodzaju rozwiązań opiera się na zastosowaniu technik komunikacji bezprzewodowej, które w ostatnich latach podlegają dynamicznemu

rozwojowi. W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania technik komunikacji bezprzewodowej do monitorowania i ograniczania zagrożeń związanych z hałasem na przykładzie opracowywanych w Centralnym instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym rozwiązań technicznych: sieci sensorowej do monitorowania środowiska pracy i ostrzegania pracowników przed zagrożeniami oraz systemowi do ostrzegania osób stosujących ochronniki słuchu przed zbliżającymi się pojazdami.

2. SIEĆ SENSOROWA DO MONITOROWANIA ŚRODOWISKA PRACY

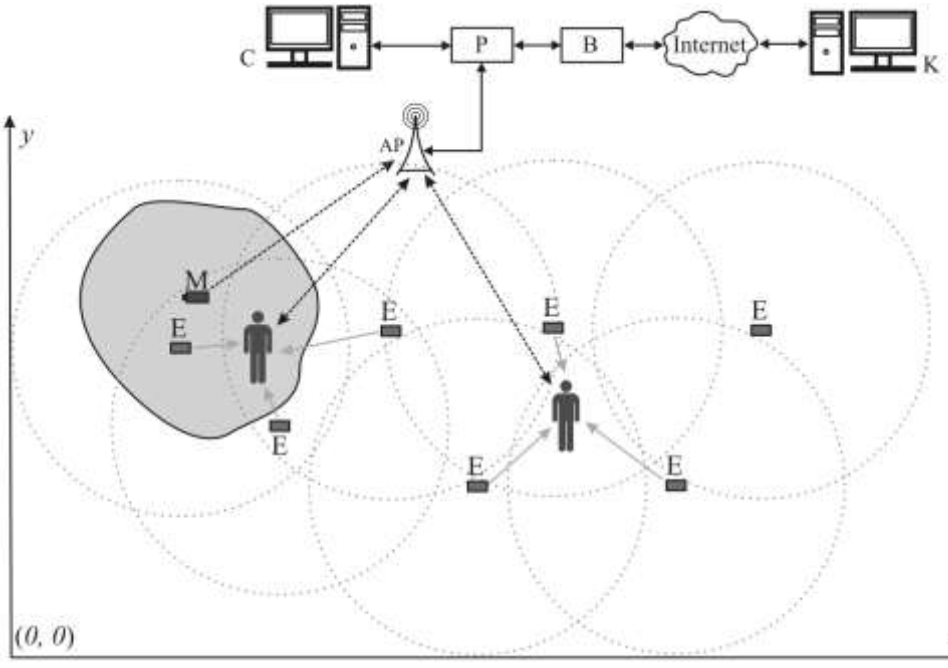
Stężenie lub natężenie czynników szkodliwych, w tym hałasu, w środowisku pracy może ulegać zmianie np. w wyniku zmian parametrów procesu pracy czy też w wyniku zużywania się maszyn i narzędzi, powodując zwiększone zagrożenia dla pracowników. Wykrycie pojawiającego się zagrożenia lub zmiany jego parametrów oraz szybka i skuteczna reakcja mająca na celu ograniczenie wpływu tego zagrożenia na zdrowie pracownika jest w takich przypadkach możliwa przy założeniu ciągłego monitoringu parametrów środowiska pracy. Narzędziem, jakie może znaleźć zastosowanie do monitorowania środowiska pracy i ostrzegania pracowników o zagrożeniach, jest bezprzewodowa sieć sensorowa (ang. Wireless Sensor Network – WSN) [5]. Sieć taka jest zestawem urządzeń komunikujących się i przesyłających pomiędzy sobą dane z wykorzystaniem wybranego protokołu komunikacji bezprzewodowej w celu realizacji określonego zadania. W omawianym rozwiązaniu zadaniem sieci jest ostrzeganie pracowników o zagrożeniach w oparciu o realizowane na bieżąco pomiary parametrów czynników szkodliwych środowiska pracy. Sieć realizująca takie zadanie musi składać się z dwóch rodzajów urządzeń: układów pomiarowych, realizujących pomiary parametrów danego czynnika szkodliwego środowiska pracy, np. hałasu, oraz noszonych przez pracowników urządzeń nasobnych, przekazujących pracownikom komunikaty o zagrożeniach. Każde z tych urządzeń powinno być wyposażone w układy komunikacji bezprzewodowej do przesyłania danych o zagrożeniach. W prawidłowo funkcjonującej sieci przed zagrożeniami powinni być ostrzegani tylko ci pracownicy, którzy znajdują się w strefie danego zagrożenia. Oznacza to, że sieć powinna dysponować informacjami o bieżącym położeniu pracowników względem stref zagrożenia. Implikuje to w dużym stopniu zastosowane w sieci rozwiązania i jej strukturę. Schemat zaproponowanej struktury sieci przedstawiony został na Rys. 1.

Sieć ma strukturę gwiazdy. Układy pomiarowe i urządzenia nasobne komunikują się z punktem centralnym sieci, którym w tym przypadku jest komputer stanowiący centralę sieci. Dane o zagrożeniach przesyłane są z układów pomiarowych do centrali. Centrala

w oparciu o te dane oraz informacje o położeniu pracowników względem stref zagrożenia wysyła do odpowiednich urządzeń nasobnych komunikaty o zagrożeniach. Do komunikacji w wymienionym powyżej zakresie wybrano protokół komunikacyjny Wi-Fi. Układy pomiarowe i urządzenia nasobne łączą się bezprzewodowo z punktem dostępowym Wi-Fi. Dalsza komunikacja pomiędzy punktem dostępowym a centralą odbywa się z wykorzystaniem łącza stałego typu Ethernet. Bezpośrednia implementacja w protokole Wi-Fi protokołu internetowego (IP) powoduje, że dane z/do elementów sieci mogą być przesyłane poprzez sieć Internet. Tego rodzaju rozwiązania, w których elementy sieci sensorowej mogą komunikować się z innymi urządzeniami (sieciami) poprzez Internet określa się mianem Internetu rzeczy (ang. Internet of Things, IoT). Zastosowanie rozwiązań z zakresu IoT w przypadku sieci sensorowej do monitorowania środowiska pracy daje przede wszystkim możliwość zdalnego nadzoru nad warunkami pracy. Osoba za nie odpowiedzialna, nawet jeśli przebywa poza zakładem pracy, może być w dowolnej chwili powiadamiana np. o zmianie natężenia czynnika szkodliwego i podejmować odpowiednie działania profilaktyczne (przy założeniu, że ma dostęp do sieci Internet, chociażby poprzez sieć telefonii komórkowej). Połączenie sieci sensorowej z Internetem wymaga oczywiście zastosowania typowych elementów infrastruktury sieciowej takich jak przełączniki czy bramy internetowe.

Wyznaczenie położenia pracownika w obszarze zakładu pracy a tym samym względem stref zagrożenia możliwe jest również przy zastosowaniu środków komunikacji bezprzewodowej. Wykorzystuje się tu zależność mocy odbieranego w odbiorniku sygnału radiowego od jego odległości od nadajnika. Współczesne moduły radiowe do komunikacji bezprzewodowej umożliwiają odczyt w odbiorniku tzw. wskaźnika mocy sygnału odbieranego (ang.: Recived Signal Strenght Indicator – RSSI), którego wartość jest odwrotnie proporcjonalna do odległości od nadajnika. Odczytując wartości RSSI z trzech nadajników, których położenie jest znane, można określić odległości odbiornika od tych nadajników, a następnie jego położenie przy użyciu metody triangulacji. Wyznaczanie położenia pracowników w obszarze zakładu pracy wymaga zatem rozmieszczenia w tym obszarze niewielkich nadajników sygnału radiowego – etykiet aktywnych. W omawianej sieci zaproponowano zastosowanie etykiet wykorzystujących protokół komunikacyjny Bluetooth LE. Tego rodzaju nadajniki do celów lokalizacji osób lub przedmiotów, nazywane beaconami (ang. beacon – latarnia, boja sygnalizacyjna) są coraz częściej wykorzystywane w wystawiennictwie, muzealnictwie, handlu, marketingu i przemyśle [6, 7, 8]. Dokładność

lokalizacji może być zwiększana poprzez zastosowanie większej liczby etykiet i o mniejszym zasięgu nadajnika.



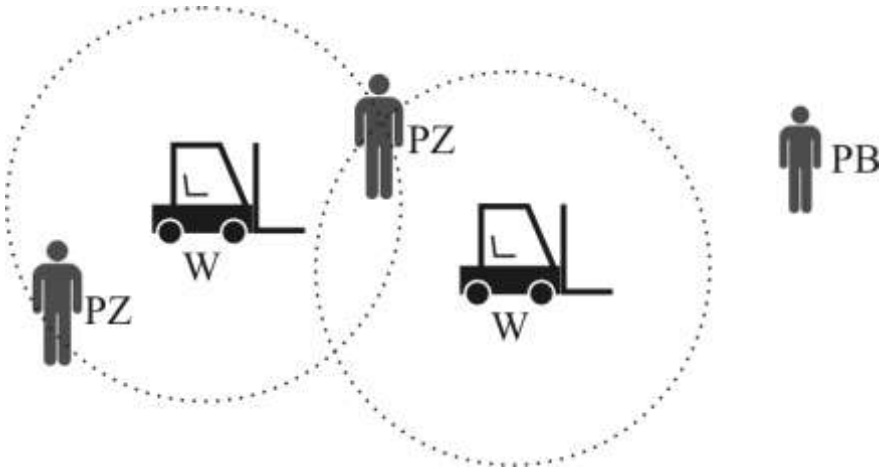
Rys. 1. Schemat struktury bezprzewodowej sieci sensorowej do monitorowania środowiska pracy i ostrzegania pracowników o zagrożeniach (przyjęte oznaczenia: M – układ pomiarowy, E – etykieta aktywna (beacon), AP – punkt dostępowy Wi-Fi, P – przełącznik sieciowy, B – brama sieciowa, C – centrala sieci (komputer), K – komputer komunikujący się z siecią sensorową poprzez Internet, szary obszar – strefa zagrożenia, strzałki szare – połączenie Bluetooth LE, strzałki czarne, przerywane – połączenie Wi-Fi, strzałki czarne, ciągłe – połączenie Ethernet, ikona człowieka – pracownik z urządzeniem nasobnym, szare okręgi linią przerywaną – zasięg transmisji etykiety.

Wyznaczanie położenia pracowników względem stref zagrożenia wymaga wpisania obszaru zakładu pracy w pewien układ współrzędnych (Rys. 1). Centrala systemu powinna posiadać informacje o położeniu stref zagrożenia oraz etykiet aktywnych w tym układzie współrzędnych. Urządzenie nasobne noszone przez pracownika odbiera sygnały od etykiet aktywnych odczytując wartości RSSI i przesyła te dane do centrali. Centrala sieci na podstawie wartości RSSI określa położenie pracownika w układzie współrzędnych. W ten sposób sprawdzane jest, czy pracownik nie znajduje się w strefie zagrożenia, a jeśli tak, wysyła do jego urządzenia nasobnego odpowiedni komunikat o zagrożeniu.

3. System ostrzegania pracowników przed zbliżającymi się pojazdami

Jak podano we wprowadzeniu hałas może stanowić istotny czynnik ryzyka w obszarach zakładów pracy, po który poruszają się jednocześnie pracownicy i pojazdy. Stosowane zazwyczaj w pojazdach akustyczne sygnały ostrzegawcze, w szczególności sygnały cofania (podczas którego kierowca ma ograniczone możliwości obserwacji pola za pojazdem) często nie są odbierane przez znajdujących się w obszarze potencjalnego zagrożenia pracowników ze

względu na zjawisko maskowania oraz wpływ stosowania ochronników słuchu. Uniknięcie wypadków w warunkach zagrożenia hałasem wymaga zatem zastosowania alternatywnych metod ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu. Opracowywany w CIOP-PIB system ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed zbliżającymi się pojazdami bazuje na wykorzystaniu urządzeń do komunikacji bezprzewodowej. Schemat działania tego systemu przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Schemat działania systemu ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed zbliżającymi się pojazdami
(przyjęte oznaczenia: W – wózek jezdniowy, PZ – pracownik w strefie zagrożenia, PB – pracownik poza strefą zagrożenia (bezpieczny), okręgi linią przerywaną – zasięg nadajnika pojazdu).

W opracowywanym systemie wykorzystano omówioną już w poprzednim rozdziale zależność mocy sygnału odbieranego od odległości od nadajnika. Do pojazdów poruszających się po terenie zakładu pracy montowane są nadajniki sygnału radiowego działające w trybie rozgłoszeniowym. Z kolei każdy z pracowników wyposażony jest w urządzenie nasobne posiadające odbiornik sygnału radiowego. Odbiorniki w urządzeniach nasobnych nasłuchują sygnałów radiowych oraz odczytują wartości RSSI dla danego sygnału. Na tej podstawie mogą określić, czy znajdują się w pobliżu poruszającego się pojazdu oraz w jakiej od niego odległości. Jeżeli odległość ta jest mniejsza od założonej minimalnej odległości, urządzenie nasobne ostrzega pracownika. Jednym z kluczowych elementów jest dobór rodzaju sygnału ostrzegawczego. W warunkach zagrożenia hałasem najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie sygnału drganiowego, odbieranego poprzez zmysł dotyku. Oznacza to, że urządzenie nasobne powinno mieć dobry kontakt (bezpośredni lub pośredni) ze skórą człowieka. Preferowane są zatem urządzenia nasobne w formie zegarka naręcznego. Innym ważnym zagadnieniem w tego rodzaju systemie jest dobór zasięgu nadajnika mocowanego na pojeździe tak, aby ostrzeganie pracowników następowało odpowiednio wcześnie wziąwszy pod uwagę możliwe prędkości poruszania się pojazdów.

3. PODSUMOWANIE

Hałas w środowisku pracy może powodować różnego rodzaju zagrożenia, nie tylko dla słuchu ale również dla bezpieczeństwa pracowników. Przedstawione w pracy przykłady rozwiązań technicznych rozwijanych w CIOP-PIB pokazują możliwości zastosowania technik komunikacji bezprzewodowej do ograniczania zagrożeń spowodowanych hałasem. Bieżący monitoring parametrów środowiska pracy z zastosowaniem bezprzewodowej sieci sensorowej pozwala na szybkie reagowanie na pojawiające się zagrożenia a pozyskane za pomocą sieci dane umożliwiają lepsze planowanie działań profilaktycznych w zakładzie pracy. Bezprzewodowe systemy ostrzegawcze mogą również skutecznie poprawiać bezpieczeństwo pracowników pracujących w zagrożeniu hałasem. Konieczny jest zatem dalszy rozwój tego rodzaju rozwiązań.

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

4. LITERATURA

1. Główny Urząd Statystyczny, Warunki pracy w 2016 r., Warszawa, 2017.
2. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, tekst jednolity Dz.U. 2017 poz. 1348.
3. Instytut Medycyny Pracy im. prof. dra med. Jerzego Nofera, dane o zapadalności na choroby zawodowe http://www.imp.lodz.pl/home_pl/o_instytucie/reg_and_databases/work_dissises1/dane_o_zapadalnosci/
4. Alali K. A., Casali J. G.: The challenge of localizing vehicle backup alarms: Effects of passive and electronic hearing protectors, ambient noise level, and backup alarm spectral content. Noise Health 2011;13(51): 99–112.
5. Yang S.-H., Wireless Sensor Networks – Principles, Design and Applications, Springer, London, 2014.
6. Indoor Positioning, Tracking and Indoor Navigation with Beacons, infsoft GmbH, https://www.infsoft.com/technology/sensors/bluetooth-low-energy-beacons
7. Kolenda P. (red)., Internet rzeczy w Polsce, raport, IAB Polska, DS Automobiles, SAS Institute, https://iab.org.pl/wp-content/uploads/2015/09/Raport-Internet-Rzeczy-w-Polsce.pdf

CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE JAKOŚĆ AKUSTYCZNĄ ŚRODOWISKA ZAMIESZKANIA

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

1. WPROWADZENIE

Jakość użytkowa budynków mieszkalnych może być różna, dlatego kryterium spełnienia lub niespełnienia minimalnych wymagań, które jest adekwatne w przypadku zagadnień konstrukcyjnych lub wytrzymałościowych, w odniesieniu do parametrów funkcjonalnych nie daje możliwości przeprowadzenia pełnej i miarodajnej oceny. Aktualna sytuacja na rynku mieszkaniowym jest odmienna niż w okresie budownictwa prefabrykowanego z drugiej połowy zeszłego wieku, gdzie powstawały bardzo podobne moduły wykonywane z takich samych materiałów. Coraz bardziej jest zróżnicowana zarówno klasa oferowanych mieszkań, jak też oczekiwania ich użytkowników, dotyczy to w szczególności ochrony przed hałasem. Z tego względu, konieczne są narzędzia umożliwiające określenie klasy akustycznej budynku, zbiór jednoznacznie zdefiniowanych parametrów, które podlegają ocenie i które tworzą kompleksowy system ujmujący wszystkie istotne zagadnienia kształtujące jakość akustyczną środowiska zamieszkania. Uporządkowanie tych zagadnień, zdefiniowanie kryteriów oceny oraz ustalenie dla nich wartości progowych było podstawą nowelizacji normy [4].

2. ZAKRES OCHRONY AKUSTYCZNEJ BUDYNKU MIESZKALNEGO

Na jakość akustyczną budynku mieszkalnego składają się różne czynniki związane z działaniem rożnych źródeł hałasu. W budynkach wielorodzinnych zasadnicze znaczenia ma ochrona przed hałasem bytowym, powstającym na skutek użytkowania sąsiednich mieszkań, przestrzeni komunikacyjnej, oraz pomieszczeń technicznych i lokali usługowych. Hałas bytowy jest z zasady wynikiem normalnej aktywności innych mieszkańców i użytkowników budynku, chociaż mogą się pojawiać także uciążliwe pod względem akustycznym zachowania odbiegające od normy. Występuje w postaci dźwięków powietrznych oraz uderzeniowych, powstających podczas użytkowania stropu. Ochrona przed hałasem bytowym polega przede wszystkim na stosowaniu przegród budowlanych o odpowiedniej izolacyjności akustycznej, która może być zróżnicowana w zależności od klasy budynku, oraz oczekiwań jego mieszkańców, przy czym zawsze muszą być spełnione minimalne obowiązkowe wymagania.

Ponieważ wymagania te odnoszą się do przeciętnych oczekiwań i zachowań, ich spełnienie nie dla wszystkich jest satysfakcjonujące.

Drugim istotnym parametrem podlegającym ocenie jest hałas instalacyjny związany z działaniem urządzeń należących do wyposażenia technicznego budynku, który przenika drogą powietrzną i strukturalną do pomieszczeń podlegających ochronie akustycznej. Skuteczna ochrona przed hałasem technicznym również wymaga stosowania przegród budowlanych o odpowiedniej izolacyjności, a także zabezpieczeń wibroizolacyjnych dla urządzeń i powiązanych z nimi elementów instalacyjnych, tłumików, kompensatorów itp.. W wielu przypadkach, dla subiektywnej oceny dokuczliwości hałasu istotny jest nie tylko poziom dźwięku, ale również jego specyfika, udział niskich częstotliwości, występowanie składowych tonalnych, czy też impulsowy charakter zdarzeń akustycznych. W budynku rozprzestrzeniają się również inne dźwięki materiałowe, np. związane z funkcjonowaniem kabiny prysznicowej u sąsiada, przesuwaniem drzwi, odwieszaniem słuchawki prysznicowej na uchwycie ściennym itp.. Zakłócenia te trudno jest jednak poddać formalnej ocenie i zakwalifikować do określonej grupy źródeł o ustalonym cyklu działania.

Pewien wpływ na warunki akustyczne w budynku ma również hałas pogłosowy, zwłaszcza występujący w przestrzeni komunikacyjnej, ale także w mieszkaniach, szczególnie w przypadku wnętrz o dużej kubaturze. Warunki pogłosowe panujące w mieszkaniu są jednak w znacznej mierze zależne od decyzji użytkownika i jego upodobań, są konsekwencją sposobu umeblowania i wykończenia wnętrza. Trudno jest w takiej sytuacji określać szczegółowe wymagania czy zalecenia. Czas pogłosu powinien być natomiast ograniczony w holach i klatkach schodowych, w celu zmniejszenia hałasu bytowego związanego z użytkowaniem tej przestrzeni i działaniem urządzeń technicznych, zwłaszcza windy.

Kolejnym czynnikiem składającym się na ogólną jakość akustyczną budynku jest hałas dobiegający z zewnątrz, którego głównym źródłem jest komunikacja kołowa. Izolacyjność akustyczna ściany zewnętrznej powinna być dostosowana do warunków panujących w otoczeniu budynku. Wyznacza się ją przy założeniu, że okna i drzwi balkonowe są zamknięte. Przyjmując takie założenie, można zastosować elementy ściany zewnętrznej o bardzo wysokich parametrach akustycznych i skutecznie odizolować pomieszczenia w budynku od zewnętrznych wpływów. Jednak w rzeczywistości okna w budynkach mieszkalnych przez znaczną część roku są otwarte lub uchylone. Warunki akustyczne panujące w tym okresie wewnątrz pomieszczeń są więc zależne przede wszystkim od lokalizacji i stopnia ekspozycji konkretnej elewacji na hałas środowiskowy, natomiast izolacyjność akustyczna ściany z zamkniętymi oknami ma już znaczenie drugorzędne. Z tego

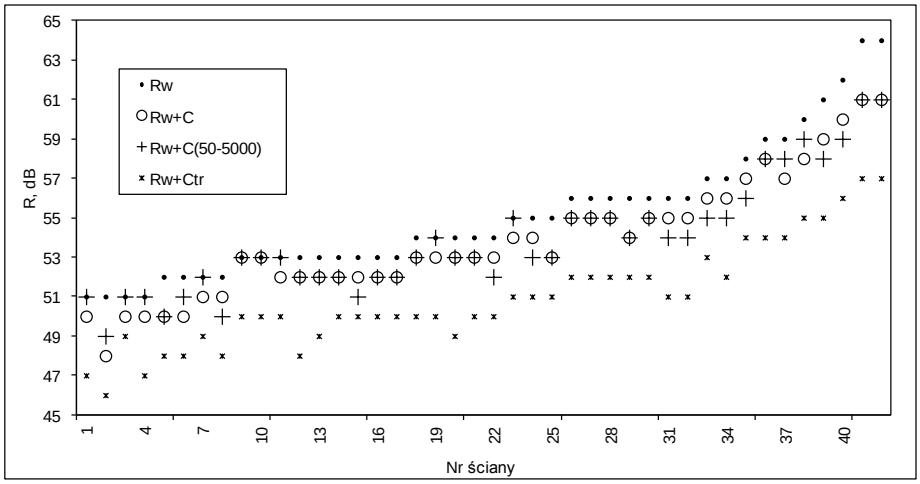
względu, do oceny jakości akustycznej środowiska zamieszkania powinny być włączone również warunki panujące w bezpośrednim otoczeniu rozpatrywanego budynku. Są one niezależne od architekta, który realizuje swój projekt w konkretnej lokalizacji i musi się do niej dostosować. Natomiast z punktu widzenia użytkownika występują dwie odrębne składowe oceny, odnoszące się do jakości samego budynku oraz jego otoczenia.

Poza źródłami komunikacyjnymi, na zewnętrzne warunki akustyczne wpływa również działanie własnych urządzeń, zwłaszcza tych, które są usytuowane na dachu lub na elewacji budynku. Odpowiednie ograniczenie tych oddziaływań jest konieczne dla zapewnienia należytych warunków akustycznych na balkonach, tarasach a także wewnątrz pomieszczeń przy otwartych oknach.

3. PODSTAWOWE PARAMETRY OCENY JAKOŚCI AKUSTYCZNEJ BUDYNKU

3.1 Hałas bytowy

Podstawowym kryterium oceny izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych dla wewnętrznych przegród budowlanych jest wskaźnik $R'_{A1}=R'_{w}+C$. W budynkach wielorodzinnych można jednak zaobserwować coraz większą, negatywną rolę zakłóceń niskoczęstotliwościowych, powodowanych choćby przez domowe urządzenia audio charakteryzujące się dużą mocą w pasmach niskich. Z tego względu w ocenie budynków o podwyższonym standardzie akustycznym należałoby w większym stopniu uwzględnić niskie częstotliwości. Wydaje się, że najprościej można to uzyskać np. rozszerzając zakres objęty podstawowym wskaźnikiem R'_{A1} o pasma 50-80Hz, tj. dodając do wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej R'_{w} widmowy wskaźnik adaptacyjny $C_{50\text{-}5000}$. Jednak z analizy dotychczasowych doświadczeń pomiarowych wynika, że w przypadku tradycyjnych przegród masywnych, które są w Polsce stosowane powszechnie w budynkach wielorodzinnych, wartości tego wskaźnika są w zasadzie takie same, jak wskaźnika R'_{A1} wyznaczonego z podstawowego zakresu częstotliwości 100-3150 Hz, a w niektórych przypadkach nawet nieco wyższe (Rys. 1). Zatem zastosowanie tego rozszerzonego kryterium nie wniosłoby żadnej zmiany do oceny właściwości przegród w zakresie niskich częstotliwości. Skomplikowałoby natomiast pomiary izolacyjności akustycznej w budynku, ponieważ uzyskanie wiarygodnych i powtarzalnych wyników w pasmach niskich jest trudne nawet w warunkach laboratoryjnych. Kryterium $R'_{A1,50\text{-}5000}$ stanowiłoby natomiast istotną zmianę zasad oceny w przypadku przegród lekkich, które z reguły charakteryzują się gorszymi właściwościami w zakresie niskich częstotliwości, jednak tego typu przegrody są w Polsce stosowane sporadycznie.



Rys. 1. Relacje zachodzące między wartościami jednoliczbowych wskaźników izolacyjności akustycznej jednorodnych ścian masywnych, wyniki badań laboratoryjnych

Dla uwzględnienia pasm niskich występujących w hałasie bytowym, do oceny budynków najwyższej klasy zaproponowano wskaźnik R'_{A2}, który zasadniczo jest przeznaczony dla ścian zewnętrznych, eksponowanych na hałas komunikacyjny, w którym dominują niskie i średnie częstotliwości. Wskaźnik ten nie obejmuje, co prawda pasm 50-80 Hz, jednak w większym stopniu zależy od niskich częstotliwości i ujmuje tendencje występujące w tym zakresie w charakterystyce widmowej izolacyjności akustycznej. W przypadku ścian masywnych jego wartość jest niższa od R'_{A1} oraz $R'_{A1,50\text{-}5000}$ o ok. 3 dB, natomiast dla przegród lekkich jest ona bardziej zróżnicowana, bliska wartości wskaźnika $R'_{A1,50\text{-}5000}$ [3].

Parametrem oceny izolacyjności stropów od dźwięków uderzeniowych jest wskaźnik $L'_{n,w}$. Nie jest on w jednakowym stopniu reprezentatywny dla wszystkich źródeł hałasu uderzeniowego, jednak trudno jest obecnie wskazać bardziej miarodajne kryterium. Do oceny niskich częstotliwości jest przeznaczony dodatkowy widmowy wskaźnik C_{I}, ale w przypadku tradycyjnych stropów masywnych, stosowanych w budownictwie mieszkaniowym, jego wartość jest mniejsza od zera, a więc z zasady nie wpływa na ocenę przeprowadzoną za pomocą wskaźnika $L'_{n,w}$.

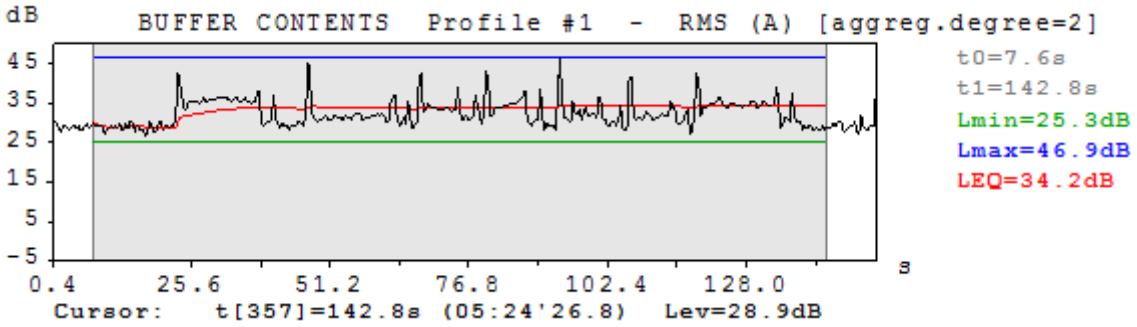
3.2 Hałas instalacyjny

Ocena hałasu instalacyjnego odnosi się do równoważnego oraz maksymalnego poziomu dźwięku, występującego w pomieszczeniach wymagających ochrony akustycznej. Czas odniesienia obejmuje podstawowy cykl pracy konkretnego urządzenia stanowiącego źródło zakłóceń [4], a nie jak przyjmowano wcześniej, ustalone okresy doby. Różnica ta ma szczególne znaczenie w przypadku urządzeń działających okresowo, cyklicznie lub w sposób nieregularny, ponieważ przy pozostawieniu tych samych wartości dopuszczalnych nowe

kryterium jest wobec nich znacznie bardziej rygorystyczne. Ponadto brak zróżnicowania wymagań na porę dzienną i nocną (zakładając, że warunki dopuszczalne powinny być spełnione niezależnie od pory doby) powoduje dodatkowe zaostrzenie wymagań w odniesieniu do urządzeń działających tylko w porze dziennej. W takiej sytuacji również działania organizacyjne, polegające na ograniczeniu lub wykluczeniu pracy urządzeń w godzinach od 22:00 do 6:00, nie powodują zmiany w ocenie emitowanego przez nie hałasu.

Standardowe cykle pracy różnych urządzeń, które są reprezentatywne dla ich normalnego działania, zostały zdefiniowane w normie [5]. Wymienione są tam między innymi urządzenia wentylacyjne, systemy grzewcze, urządzenia chłodzące, bojlery, pompy i dmuchawy, a także automatyczne bramy garażowe. Szczegółowo została opisana procedura pomiaru hałasu pochodzącego od windy oraz zsypu na śmieci. Odrębną grupę źródeł hałasu stanowią instalacje i urządzenia sanitarne, zawory, baterie, kabiny prysznicowe, wanny itp. W tym przypadku uwzględnia się hałas związany z przepływem wody oraz opróżnianiem przyborów sanitarnych, a także uderzaniem wody w podłogę kabiny prysznicowej lub wanny.

Ocena maksymalnego poziomu dźwięku odnosi się do wartości wyznaczonych ze stałą czasową *fast*, co przy zachowaniu takich samych wartości dopuszczalnych stanowi bardziej restrykcyjne kryterium, niż w przypadku stosowanej wcześniej stałej *slow*, zwłaszcza dla zdarzeń o dużej dynamice, gdzie wartości ze stałą *fast* mogą być o kilka decybeli wyższe.



Rys. 2. Wyniki pomiarów hałasu windy w pokoju sąsiadującym z maszynownią

Oceniając poziom hałasu w konkretnym pomieszczeniu istotny jest też rzeczywisty sposób jego umeblowania. Ponieważ może być ono różne, brane są pod uwagę wartości sprowadzone do rzeczywistego czasu pogłosu, ustalonego na podstawie pomiaru lub oszacowanego wg [5]:

$$L_{Aeq,nT} = L_{Aeq} - 10lg\frac{T}{T_0}$$

Uwzględnia się również czynniki zwiększające subiektywną dokuczliwość hałasu. Jeżeli ma on charakter niskoczęstotliwościowy, impulsowy lub tonalny, wymagania ulegają

zaostrzeniu o 5dB. W praktyce hałas uznaje się za niskoczęstotliwościowy, jeśli różnica między poziomem dźwięku A, a poziomem dźwięku C jest większa niż 20 dB. Innym, bardziej dokładnym sposobem identyfikacji hałasu niskoczęstotliwościowego jest analiza jego widma w pasmach tercjowych z zakresu od 12,5 Hz do 250 Hz. Przyjmuje się, że występowanie w tym przedziale składowych o poziomie o 5 dB większym od poziomu określonego charakterystyką L_{A10}, opisaną wzorem; $L_{A10} = 10 - k_A$, świadczy o niskoczęstotliwościowym charakterze hałasu [1].

Z kolei, zgodnie z zaproponowanymi obecnie zasadami [4], o hałasie tonalnym mówimy wówczas, jeżeli w jego widmie tercjowym znajdują się składowe o co najmniej 5 dB większe od poziomów w pasmach sąsiadujących. Trudniejsza sytuacja występuje w ocenie hałasu impulsowego, ponieważ nie ma ogólnie przyjętej definicji pozwalającej na jego jednoznaczną identyfikację. Można się posiłkować zaleceniami odnoszącymi się do hałasu środowiskowego [6], lub zasadą praktyczną oceny impulsowości *I*, opartą na różnicy wartości poziomu dźwięku A tego samego zdarzenia akustycznego zmierzonego ze stałą czasową *peak* i *slow* $I = L_{A,peak} - L_{A,s} \geq 15$dB [7].

4. WARTOŚCI PROGOWE KLASYFIKACJI AKUSTYCZNEJ

Uwzględniając cały zakres ochrony akustycznej budynku oraz poszczególne cząstkowe kryteria oceny, opracowano zasady klasyfikacji budynków mieszkalnych o podwyższonym standardzie akustycznym [2, 4]. Podstawą schematu są właściwości izolacyjne przegród rozdzielających sąsiednie mieszkania, do których dostosowano wartości progowe pozostałych parametrów. Cztery wyższe klasy akustyczne są oznaczone symbolami od AQ-1 do AQ-4, natomiast obowiązkowe wymagania na poziomie podstawowym odpowiadają klasie AQ-0.

Tabela 1. Wartości progowe wskaźników izolacyjności akustycznej przegród międzymieszkaniowych w budynkach wielorodzinnych dla poszczególnych klas akustycznych wg [4]

Parametr oceny	Wartość progowe wskaźników izolacyjności akustycznej odpowiadające poszczególnym klasom akustycznym budynku, dB				
	AQ-0	AQ-1	AQ-2	AQ-3	AQ-4
R'_{A1}	$\geq 50^{*)}$	≥ 53	≥ 56	-	-
R'_{A2}	-	-	-	≥ 59	≥ 62
$L'_{n,w}$	≤ 55	≤ 51	≤ 47	≤ 43	≤ 39

*) w odniesieniu do stropów wymagana jest wyższa wartość; $R'_{A1} \geq 51$ dB.

Wartości progowe izolacyjności akustycznej przegród między-mieszkaniowych dla dwóch pierwszych klas zostały wyrażone za pomocą wskaźnika R'_{A1}. Są one stosunkowo bliskie wartościom wymaganym dla standardu podstawowego, dzięki czemu w zakresie od AQ-0 do AQ-2 można przejść do wyższej klasy stosując jedynie odpowiednie rozwiązania

materiałowe. Natomiast dla spełnienia wymagań w dwóch najwyższych klasach, AQ-3 i AQ-4, są już konieczne zarówno odpowiednie materiały, jak też szczegółowo zaprojektowane rozwiązania konstrukcyjne [2].

Zostały również ustalone odpowiednie wartości progowe dla ścian i stropów oddzielających pomieszczenia techniczne, usługowe, a także obszar komunikacyjny. Nie określono natomiast wymagań odnośnie do izolacyjności akustycznej ścian działowych w obrębie mieszkania. Sposób podziału wnętrza zależy tu w pewnym stopniu od użytkownika, może być przez niego w dowolnym momencie zmieniony, zatem nie można od niego uzależnić klasy akustycznej całego budynku. Ponadto wypadkowa izolacyjność ścian działowych jest ograniczona właściwościami akustycznymi drzwi, które ze względu na system wentylacji grawitacyjnej nie mogą być całkiem szczelne, nie są więc zdolne uzyskiwać wysokich parametrów akustycznych.

Wartości progowe dla hałasu instalacyjnego zostały wyrażone za pomocą poziomu równoważnego $L_{\mathrm{Aeq,nT}}$ oraz maksymalnego $L_{\mathrm{AFmax,nT}}$, które obowiązują w pomieszczeniach podlegających ochronie akustycznej (Tab. 2). Ponadto zostały określone wartości dopuszczalne poziomu hałasu występującego na zewnątrz, na balkonach i tarasach. Dotychczas przyjmowano, że kwestie te są regulowane przepisami środowiskowymi, które jednak nie obejmują wszystkich występujących w praktyce sytuacji. Nie dotyczą na przykład elewacji budynków mieszkalnych usytuowanych w linii pasa drogowego, ale przede wszystkim nie stosuje się ich w odniesieniu do hałasu panującego na własnym terenie, który pochodzi od własnych źródeł.

Tabela 2. Dopuszczalny poziom dźwięku A hałasu instalacyjnego odpowiadający poszczególnym klasom akustycznym budynku, wg [4].

Pomieszczenie	Dopuszczalny poziom dźwięku A, w poszczególnych klasach, dB					
	AQ-0		AQ-1 i AQ-2		AQ-3 i AQ-4	
	$L_{\mathrm{Aeq,nT}}$	$L_{\mathrm{AFmax,nT}}$	$L_{\mathrm{Aeq,nT}}$	$L_{\mathrm{AFmax,nT}}$	$L_{\mathrm{Aeq.nT}}$	$L_{\mathrm{AFmax,nT}}$
Pokój	25	30	22	30	20	27
Kuchnia	35	-	27	35	25	35
Balkony i tarasy	-	-	40	45	35	40

Do powyższego schematu zostały dostosowane również wymagania odnośnie do izolacyjności akustycznej ściany zewnętrznej, zależnie od klasy budynku oraz występujących na zewnątrz warunków akustycznych. Ze względu na hałas pogłosowy określono też wymaganą minimalną chłonność akustyczną pomieszczeń związanych z komunikacją ogólną w budynku, holi, korytarzy i klatek schodowych.

5. PODSUMOWANIE

Zasady oceny i klasyfikacji budynków mieszkalnych o podwyższonym standardzie akustycznym pozwalają określić w sposób miarodajny jakość akustyczną środowiska zamieszkania oraz dają użytkownikom możliwość wyboru dostosowanego do indywidualnych potrzeb i możliwości. Pomimo, że deklaracja wyższej klasy akustycznej jest dobrowolna, upowszechnienie klasyfikacji będzie miało duży wpływ na rynek mieszkaniowy, pozwoli też lepiej dostosować cenę mieszkania do jego wartości użytkowej.

Uzupełnieniem tworzonego obecnie systemu oceny środowiska zamieszkania będzie klasyfikacja akustyczna terenów przeznaczonych pod budownictwo mieszkaniowe, nawiązująca do strategicznych map hałasu i umożliwiająca ich racjonalne wykorzystanie w gospodarce przestrzennej [3]. Całość będzie stanowiła kompletny zestaw zasad przeznaczonych do stosowania w planowaniu przestrzennym, przy projektowaniu, budowie i ocenie budynków mieszkalnych, który będzie działał stymulująco na rozwój materiałów i wyrobów budowlanych o wysokiej jakości akustycznej.

6. LITERATURA

1. Mirowska M., Hałas niskoczęstotliwościowy w budynkach mieszkalnych, źródła, skutki oddziaływania i metody oceny uciążliwości, Wydawnictwo ITB, Warszawa 2013.
2. Nurzyński J., Założenia do klasyfikacji akustycznej budynków mieszkalnych, Materiały Budowlane, 4, 2016, s. 121-123.
3. Nurzyński J., Ochrona przed hałasem w zrównoważonym budownictwie, Wydawnictwo ITB, Warszawa 2013.
4. PN-B-02151 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach
5. PN-EN ISO 10052 Akustyka - Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych oraz hałasu od urządzeń wyposażenia technicznego - Metoda uproszczona
6. PN-EN ISO 1996 Akustyka – Opis, pomiary i ocena hałasu środowiskowego
7. Wszołek T., Korekcja tonalna i impulsowa wskaźników hałasu w kwalifikacji jego źródła. W: Postępy akustyki, redakcja Opieliński K., PTA, Wrocław 2015, s. 413-424.

METODA POMIARU HAŁASU ULTRADŹWIĘKOWEGO DO OCENY NARAŻENIA ZAWODOWEGO

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

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy od lat 70. ubiegłego wieku są prowadzone badania w zakresie oddziaływania ultradźwięków na człowieka. W tamtym okresie większość z tych badań dotyczyła skutków termicznych (np. w gałce ocznej) i zmian czynnościowych w organizmie człowieka. Wg danych ujętych w [1] badania te obejmowały:

- zmiany zawartości glukozy (1976, 1977),
- zmiany eozynofilii (1978),
- nieprawidłowej przemiany materii (1978),
- zmiany czynności nadnerczy, tarczycy, podwzgórza oraz zmiany neurohormonalne w przemianie węglowodanowej, tłuszczowej i białkowej (1978),
- trudności natury intelektualnej - pobudliwość nerwowa, rozdrażnienie, osłabienie pamięci (1978),
- badania EEG(1978).

W latach 80. prace prowadzone w zakresie źródeł hałasu ultradźwiękowego oraz jego oddziaływania na człowieka w środowisku pracy przyczyniły się do rozwoju prac normalizacyjnych w tej dziedzinie i opracowania normy PN-86/N-01321 zawierającej dopuszczalne wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy i podającej ogólne wymagania dotyczące wykonywana pomiotów [2].

Kolejnym wynikiem prac Centralnego Instytutu Ochrony Pracy w zakresie hałasu ultradźwiękowego, tym razem wspólnie z Instytutem Medycyny Pracy im. prof. dr med. Jerzego Nofera, była opublikowana w 2001 r. procedura pomiarowa dotycząca hałasu ultradźwiękowego [3, 4].

W następnych latach kontynuowano prace w zakresie m.in. określania poziomu mocy akustycznej technologicznych źródeł ultradźwiękowych [5], współczynników pochłaniania dźwięku w zakresie częstotliwości powyżej 5 kHz [6]. Wynikiem dalszych badań dotyczących metod pomiarów hałasu ultradźwiękowego jest nowa procedura badań hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy, opublikowana w grudniu 2015 r. w czasopiśmie „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy" [7].

2. WARTOŚCI DOPUSZCZALNE

Hałas ultradźwiękowy definiuje się jako hałas, w którego widmie występują składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych i niskich ultradźwiękowych – od 10 kHz do 40 kHz [3, 8]. Uwzględniając obecny stan wiedzy na temat skutków oddziaływania ultradźwięków o niskich częstotliwościach na organizm człowieka oraz wyników badań prowadzonych w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy-Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP-PIB), obecnie obowiązujące wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego są określone w rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [9].

Według powyższego rozporządzenia 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, określonego w kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy (wyjątkowo w przypadku oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu),
- maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz.

Określone wyżej poziomy nie mogą przekraczać wartości podanych w Tab. 1 [9].

Tabela 1. Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego dla ogółu pracowników [9]

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

Na stanowiskach pracy młodocianych i kobiet w ciąży obowiązują mniejsze wartości, podane w Tab. 2 [10] i Tab. 3 [11].

Tabela 2. Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego na stanowisku pracy młodocianych [10]

Częstotliwość środkowa pasm tercjowych, 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	75	100
20	85	110
25	100	125
31,5; 40	105	130

Tabela 3. Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy kobiet w ciąży [11]

Częstotliwość środkowa pasm tercjowych, 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	75	95
20	85	105
25	100	120
31,5; 40	105	125

3. PROCEDURA POMIAROWA

Konieczność opracowania nowej procedury pomiaru hałasu ultradźwiękowego wynikła z analizy:

- obowiązujących przepisów w zakresie hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy,
- metod pomiarów hałasu,
- wymagań metrologicznych dotyczących aparatury pomiarowej,

a także szczegółowej identyfikacji czynników wpływających na wyniki pomiarów. Na podstawie wyników badań prowadzonych w CIOP-PIB [12, 13, 14] opracowano nową procedurę pomiarową hałasu ultradźwiękowego [7], w której określono metodę pomiaru wielkości charakteryzujących hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy. Procedura dotyczy wyznaczania równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych w zakresie 10 ÷ 40 kHz, odniesionych do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy oraz maksymalnych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych 10 ÷ 40 kHz. Określono metodę uwzględniania poprawek związanych z wpływem charakterystyk metrologicznych aparatury oraz wpływem siatki ochronnej mikrofonu na wynik pomiaru. Procedura umożliwia również szacowanie niepewności pomiarów w celu określenia jakości pomiarów.

Procedura pomiarowa obejmuje:

- wymagania dotyczące aparatury pomiarowej oraz jej okresowej kontroli metrologicznej,
- wymagania dotyczące środowiska pomiarowego,
- opis postępowania w czasie przeprowadzania pomiarów,
- metodę korekcji wyników pomiarów,
- metodę wyznaczania niepewności pomiarów,
- wymagania w zakresie sporządzania raportów z pomiarów.

Na podstawie analizy piśmiennictwa oraz wyników przeprowadzonych badań przyjęto, że na niepewność związaną z metodą pomiaru (próbkowaniem) ma wpływ odchylenie standardowe oraz liczba próbek (pomiarów elementarnych). Założono, że należy wykonać co najmniej trzy pomiary elementarne w celu określenia uśrednionej wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego, a największy rozrzut między wartościami wyników tych pomiarów elementarnych nie powinien przekraczać 3 dB. W takim przypadku odchylenie standardowe wartości próbek wynosi maksymalnie około 1,5 dB.

Pomiary hałasu ultradźwiękowego są przeprowadzane w miejscu przebywania pracownika. 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 wyraźne 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 [15]. Polega ona na analizie pracy i podziale jej na pewną liczbę reprezentatywnych czynności, dla których się przeprowadza oddzielne pomiary.

Pomiary powinny być wykonywane w obecności pracownika na stanowisku pracy. Mikrofon w czasie wykonywania 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.

Czas pracy na badanym stanowisku powinien być podzielony na czas trwania poszczególnych czynności rozróżnialnych ze względu na hałas ultradźwiękowy. Łączny czas trwania poszczególnych czynności powinien obejmować pełną zmianę roboczą. Dla każdej czynności należy wykonać co najmniej trzy pomiary. Wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego dla *m*-tej czynności wyznacza się na podstawie wzoru:

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

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.

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

Wyniki pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego w *i*-tym paśmie częstotliwości (równoważny oraz maksymalny) należy skorygować zgodnie z poniższym wzorem:

$$L_{fi} = L'_{fi} + K_{apfi} - K_{gfi} \tag{2}$$

gdzie:

L'_{fi} – wskazanie miernika/analizatora w *i*-tym paśmie tercjowym, w dB,

K_{apfi} – poprawka uwzględniająca łączny wpływ charakterystyk metrologicznych aparatury na wynik pomiaru, w dB,

K_{gfi} – poprawka uwzględniająca wpływ na wynik pomiaru stosowania siatki ochronnej mikrofonu, w dB.

Na podstawie wzoru (2) możliwe jest obliczenie równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego w *i*-tym pasmie tercjowym odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy:

$$L_{fi,eq,8h} = 10\log\left[\sum_{m=1}^{M}\frac{T_m}{T_0}10^{0,1L_{fi,eq,Tm}}\right] \tag{3}$$

gdzie:

$L_{fi,eq,8h}$ – 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. WYNIKI BADAŃ

Głównymi źródłami hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy są tzw. technologiczne urządzenia ultradźwiękowe niskich częstotliwości ultradźwiękowych, jak np.:

myjki, zgrzewarki czy drążarki, a także niektóre maszyny oraz inne urządzenia (tzw. nietechnologiczne źródła hałasu ultradźwiękowego) wytwarzające hałas, którego widmo, oprócz składowych słyszalnych, obejmuje także składowe ultradźwiękowe.

Przykładowe wyniki pomiaru hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach obsługi myjki przedstawiono w Tab. 4. W tym przypadku na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić przekroczenia wartości dopuszczalnych w pasmie tercjowym o częstotliwości środkowej 12,5 kHz.

Tabela 4. Wyniki pomiarów hałasu ultradźwiękowego na stanowisku pracy myjki ultradźwiękowej

Częstotliwość środkowa pasm tercjowych, kHz	Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, dB	Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego, dB
10	74,3	79,8
12,5	85,6	86,9
16	75,4	77,3
20	74,6	75,9
25	100,4	101,1
31,5	81,8	82,2
40	68,1	69,7

Kolejny przykład wyników pomiaru hałasu ultradźwiękowego dotyczy sytuacji pracownika, który jedynie przez 60 minut podczas zmiany roboczej obsługuje myjkę ultradźwiękową, natomiast pozostały czas pracy podczas zmiany roboczej (tj. 390 minut) związany jest z pracą przy komputerze. Wyniki pomiarów dla takiego przypadku zastosowano w Tab. 5, z których wynika, że nie są w tym przypadku przekroczone wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego.

Tabela 5. Wyniki pomiarów hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy osoby pracującej przy myjce ultradźwiękowej i komputerze

Czynność	Czas trwania czynności [min]	Zmierzony poziom ciśnienia akustycznego [dB]						
		Parametr	Częstotliwość środkowa pasma tercjowego [kHz]						
			10	12,5	16	20	25	31,5	40
Obsługa myjki	$t_1 = 60$	$L_{eq,t1}$	63,5	73,2	65,4	71	92,3	74,5	71,2
		$L_{max,t1}$	64,3	74,6	66	74,4	93,9	75,9	72,2
Praca przy komputerze	$t_2 = 390$	$L_{eq,t2}$	61,8	62,6	63,8	66,2	66,1	67,2	68,5
		$L_{max,t2}$	62,5	62,9	64,2	73,3	66,3	67,4	68,7
Wszystkie czynności w dniu roboczym	480	$L_{eq,8h}$	61,8	66,1	63,8	67	83,3	68,9	68,7
		L_{max}	64,3	74,6	66	74,4	93,9	75,9	72,2

5. PODSUMOWANIE

Zgodnie z zasadą przyjętą przez Polskie Centrum Akredytacji, krajową jednostkę akredytującą, metody i procedury badawcze opublikowane w recenzowanym czasopiśmie ”Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” są uznawane jako metody zwalidowane. W związku z tym krajowe, akredytowane laboratoria badawcze, które prowadzą badania parametrów środowiska pracy mogą stosować w ramach zakresów akredytacji procedurę pomiaru hałasu ultradźwiękowego, opracowaną w CIOP-PIB.

Procedura pomiaru hałasu ultradźwiękowego była także objęta międzylaboratoryjnymi badaniami porównawczymi. Obecnie podjęto działania w celu opracowania Polskiej Normy zawierającej metodę pomiaru hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy, wykorzystując w tym celu opracowaną procedurę.

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.

7. LITERATURA

1. Smagowska B., Identyfikacja zagrożeń i ocena ryzyka zawodowego hałasem ultradźwiękowym w wybranych gałęziach przemysłu, Rozprawa Doktorska, Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy (2015).
2. PN-86/N-01321 Hałas ultradźwiękowy. Dopuszczalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące wykonywania pomiarów (1986).
3. Pawlaczyk-Łuszczyńska 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 – Principles and Methods of Assessing the Working Environment, 2001, 2(28), 55-88.
4. Pawlaczyk-Łuszczyńska M., Koton J., Augustyńska D., Hałas ultradźwiękowy. Procedura pomiarowa, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy – Principles and Methods of Assessing the Working Environment, 2001, 2(28), 89-95.

5. Mikulski W., Metoda określania mocy akustycznej źródeł hałasu w zakresie częstotliwości powyżej 10 kHz, Materiały XLV Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki, 2017, 23-38.
6. Pleban D., Method of sound absorption properties of materials intended for ultrasonic noise protection, Archives of Acoustics, 2013, 38(2), 191-195.
7. Radosz J., Procedura pomiarowa hałasu ultradźwiękowego – Procedure for measuring ultrasonic noise, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy – Principles and Methods of Assessing the Working Environment, 2015, 4(86), 169-190.
8. Augustyńska D., Pośniak M. Ed., Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne, CIOP-PIB, Warszawa (2016).
9. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 7 czerwca 2017 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U. 2017, poz. 1348 (2017).
10. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią, Dz. U. 2017, poz. 796 (2017).
11. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudnienia przy niektórych z tych prac, Dz. U. 2004, poz. 2047 z późn. zm. (2004).
12. Radosz J., Methodology issues of ultrasonic noise exposure assessment, Noise Control Engineering Journal, 2012, 60(6), 645-654.
13. Radosz J., Uncertainty due to instrumentation for sound pressure level measurement in high frequency range, Noise Control Engineering Journal, 2014, 62(4), 186-195.
14. Radosz J., Krukowicz T., Aparatura i metody pomiaru hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy – Principles and Methods of Assessing the Working Environment, 2012, 4(74), 5-15.
15. EN ISO 9612:2009 Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Engineering method (2009).

MOŻLIWOŚCI GUM W ZAKRESIE WZORCOWANIA APARATURY DO POMIARU UDARÓW MECHANICZNYCH

Zbigniew SIEJDA
Główny Urząd Miar; Laboratorium Akustyki i Drgań; Pracownia Drgań
ul. Elektoralna 2, 00-139 Warszawa

1. WPROWADZENIE

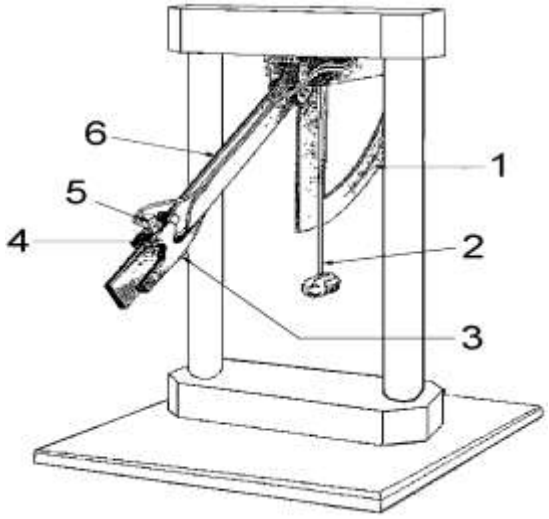
Udar można zdefiniować jako nagłe przyspieszenie spowodowane na przykład uderzeniem, spadkiem/upadkiem z wysokości, eksplozją lub trzęsieniem ziemi, które z reguły powoduje drgania rezonansowe obiektu. Udar jest przejściowym wzbudzeniem fizycznym. Można go scharakteryzować za pomocą wartości szczytowej przyspieszenia, czasu trwania i kształtu impulsu uderzeniowego (najczęstsze postacie to impuls połowy sinusoidy, trójkątny, trapezowy). Przyjmuje się, że czas trwania impulsu wynosi od 0,05 ms do 8,0 ms, natomiast wartość szczytowa przyspieszenia jest większa niż 100 ms^{-2} i dochodzi do 100 kms^{-2}, a nawet do większych wartości.

2. METODY WZORCOWANIA APARATURY DO POMIARU UDARÓW

Przystępując do rozszerzenia działalności laboratorium dokonano rozeznania metod wykorzystywanych do wzorcowania przetworników do pomiaru udarów. Obecnie stosowanych jest kilka metod. Każda z tych metod różni się uzyskiwanymi zakresami przyspieszenia, czasem impulsu i niepewnością pomiaru.

2.1. Wahadło

Najprostszą metodą wywoływania udarów stosowanych do celu wzorcowania jest wykorzystanie wahadła, które przedstawiono na Rys. 1.



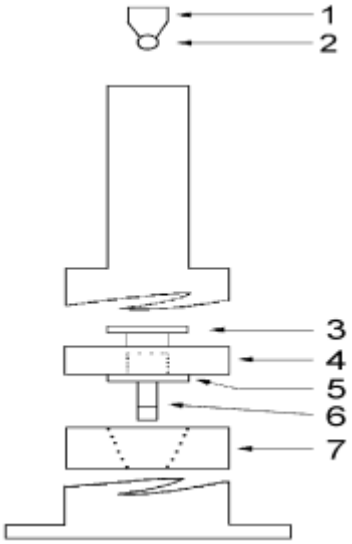
1 – skala kątowa
2 – młotek wahadłowy
3 – podkładka gumowa
4 – przetwornik wzorcowy
5 – przetwornik wzorcowany
6 – wahadło

Rys. 1. Schemat stanowiska do wzorcowania przetworników przyspieszenia z wykorzystaniem wahadła[1]

Zawieszony wahliwie młotek opadając uderza w wahadło, na którym umieszone są dwa przetworniki: wzorcowy i wzorcowany. Tą metodą możliwe jest uzyskanie przyspieszenia w granicach (100 ÷1500) $m \cdot s^{-2}$. Czas trwania impulsu wynosi od 3 ms do 5 ms. Różne wartości przyspieszenia uzyskuje się ustawiając młotek w różnej pozycji wyjściowej. Minusem tego rozwiązania jest mały zakres uzyskiwanego przyspieszenia.

2.2. Spadająca kula

Innym rozwiązaniem do wywoływania udarów jest stanowisko ze swobodnie spadającą kulą (Rys. 2). Kula uderzając w kowadło powoduje udar, który jest mierzony przez przetworniki zamocowane z drugiej strony kowadła.



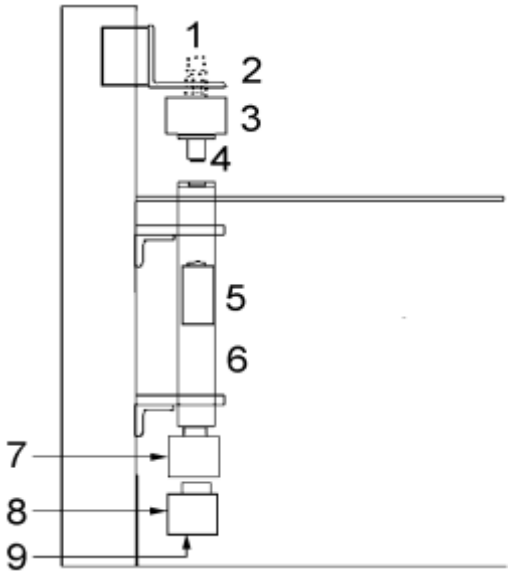
1 – stabilizator
2 – stalowa kula
3 – tłok (opcjonalnie)
4 – uchwyt
5 – kowadło
6 – przetworniki
7 – mechanizm wychwytujący

Rys. 2. Schemat stanowiska ze spadającą kulą [1]

Tą metodą uzyskuje się przyspieszenie o wartościach w granicach 200 $ms^{-2} \div 100$ kms^{-2}. Czas trwania impulsu od 0,1 ms do 3 ms. Wartość przyspieszenia regulowana jest za pomocą rozmiaru kuli oraz poprzez zmianę właściwości tłumiących materiału umieszonego na szczycie kowadła, w które uderza kula. Problemem jest tu przypadkowość miejsca uderzenia kuli w kowadło. Pomimo dobrych parametrów udarów uzyskiwanych tą metodą, to jednak dodatkowo na jej niekorzyść przemawia skomplikowana metoda regulacji.

2.3. Pneumatycznie sterowany bijnik

Odwrotne zjawisko wykorzystywane jest w kolejnym stanowisku (Rys. 3). Eliminację wad poprzedniej metody uzyskuje się za pomocą zastosowania bijnika, napędzanego sprężonym powietrzem. Bijnik porusza się z dołu do góry w pionowej rurze, uderzając w kowadło, do którego przymocowane są przetworniki przyspieszenia. Wartości przyspieszenia można regulować w trakcie pomiarów za pomocą wysokości, z jakiej rozpoczyna się ruch bijnika, a także ciśnienia powietrza napędzającego bijnik.

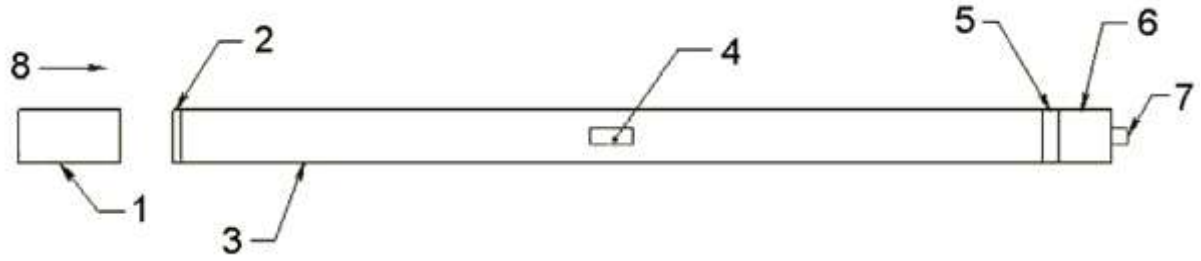


1 – zawieszenie
2 – przetworniki
3 – masa balansowa
4 – kowadło
5 – tłoczek
6 – działo
7 – zawór
8 – regulator ciśnienia
9 – źródło sprężonego powietrza

Rys. 3. Schemat stanowiska z pneumatycznie sterowanym bijnikiem [1]

Tą metodą można uzyskać przyspieszenie o wartości w granicach 200 ms^{-2} do 100 kms^{-2}. Czas trwania impulsu od 0,1 ms do 3 ms.

2.4. Pręt Hopkinsona



Rys. 4. Schemat stanowiska z prętem Hopkinsona [1].
1 – bijnik; 2 – pobudzany koniec pręta; 3 – pręt; 4 – mostek tensometryczny; 5 – czujnik piezoelektryczny; 6 – masa obciążająca; 7 – przetwornik wzorcowany; 8 – ruch bijnika

W stanowiskach wykorzystujących tę metodę bijnik uderza w koniec długiego pręta, powstająca fala czołowa przemieszcza się wzdłuż pręta. Pomiar przyspieszenia realizowany jest jako pomiar siły F działającej na drugi pręt zgodnie z II prawem Newtona ($F = ma$). Układ pomiarowy może być wyregulowany pod kątem wartości prędkości przemieszczającej się fali uderzeniowej za pomocą układu przetworników tensometrycznych lub wibrometru laserowego.

Tą metodą można uzyskać wartości przyspieszenia w granicach 1 $kms^{-2} \div 2000$ kms^{-2}. Parametry udaru regulowane są za pomocą ustawienia początkowego uderzenia. Metoda jest uzupełnieniem poprzednich metod, gdyż nie zapewnia wzorcowania przy mniejszych

wartościach przyspieszeń. Zapewnia natomiast pomiar tzw. metodą bezwzględną, z wykorzystaniem wibrometrów laserowych i odniesieniem do prędkości światła.

Tabela 1. Zestawienie parametrów różnych metod wzorcowania

Metoda pomiarowa	**Wartość szczytowa przyspieszenia ($km \cdot s^{-2}$)**	**Minimalny czas trwania impulsu (ms)**	**Względna niepewność pomiaru (%)**
Wahadło	1,5	3	5
Spadająca kula	100	0,100	5
Pneumatyczny bijnik	100	0,100	5
Pręt Hopkinsona	2 000	0,025	8

3. WYBÓR I ZAKUP APARATURY

Analiza krajowych potrzeb w zakresie wzorcowania oraz możliwości ich zaspokojenia (w tym finansowych) doprowadziła do wniosku, że na etapie zapoczątkowania wzorcowania aparatury do pomiaru udarów właściwym rozwiązaniem będzie zakup stanowiska z pneumatycznie sterowanym bijnikiem. W połowie listopada 2017 roku w Pracowni Drgań GUM zamontowano stanowisko do wzorcowania CS18 LMS firmy SPEKTRA. Stanowisko umożliwia wzorcowanie przetworników przy pobudzeniu udarowym o przyspieszeniu o wartościach od 50 ms^{-2} do 100 kms^{-2}.

Rys. 5. Stanowisko pomiarowe CS18 LMS firmy SPEKTRA

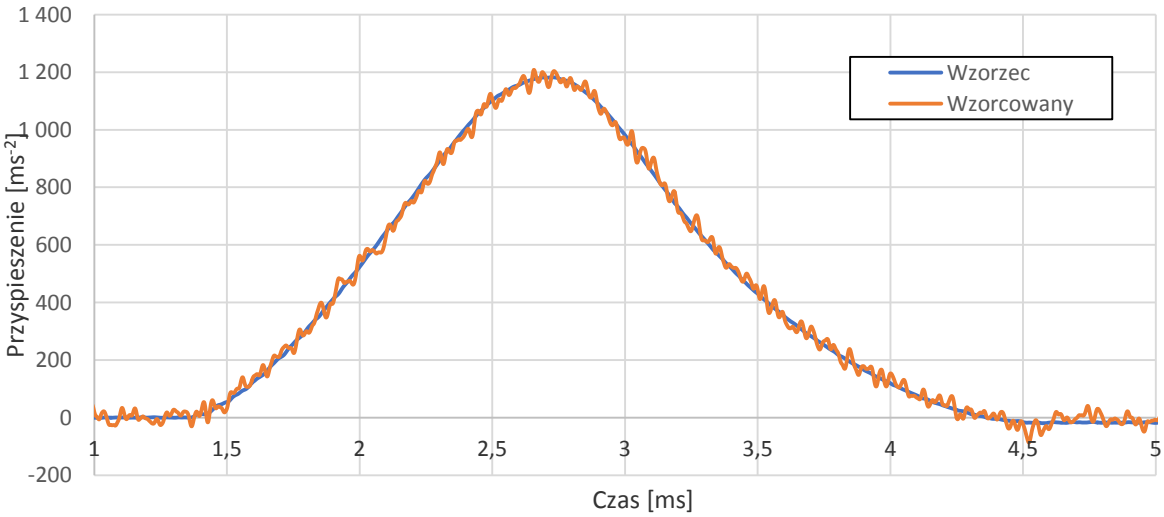
- Zakres realizowanych przyspieszeń: (50 – 100 000) ms^{-2}
- Czas trwania impulsu: do 5 ms
- Masa wzorcowanych przetworników do 80 g
- Praca w trybie automatycznym

Stanowisko wyposażone jest w dwa kowadła. Jedno pracuje w zakresie od 50 ms^{-2} do 2000 ms^{-2}, drugie od 2 kms^{-2} do 100 kms^{-2}. Kowadła różnią się sposobem zawieszenia i amortyzacji.

4. Pierwsze wzorcowania

Do czasu pisania artykułu w Pracowni Drgań GUM wykonano wzorcowanie 6 przetworników, w tym dwóch 3-osiowych. Testowane były przetworniki o różnych czułościach nominalnych: od 0,005 $pCms^{-2}$ do 1 $pCms^{-2}$.

Przykładowe przebiegi zależności przyspieszenia generowanego sygnału od czasu podczas wzorcowań przetwornika typu BK 8309 o czułości nominalnej 0,005 ms^{-2} przedstawiono na poniższych wykresach.

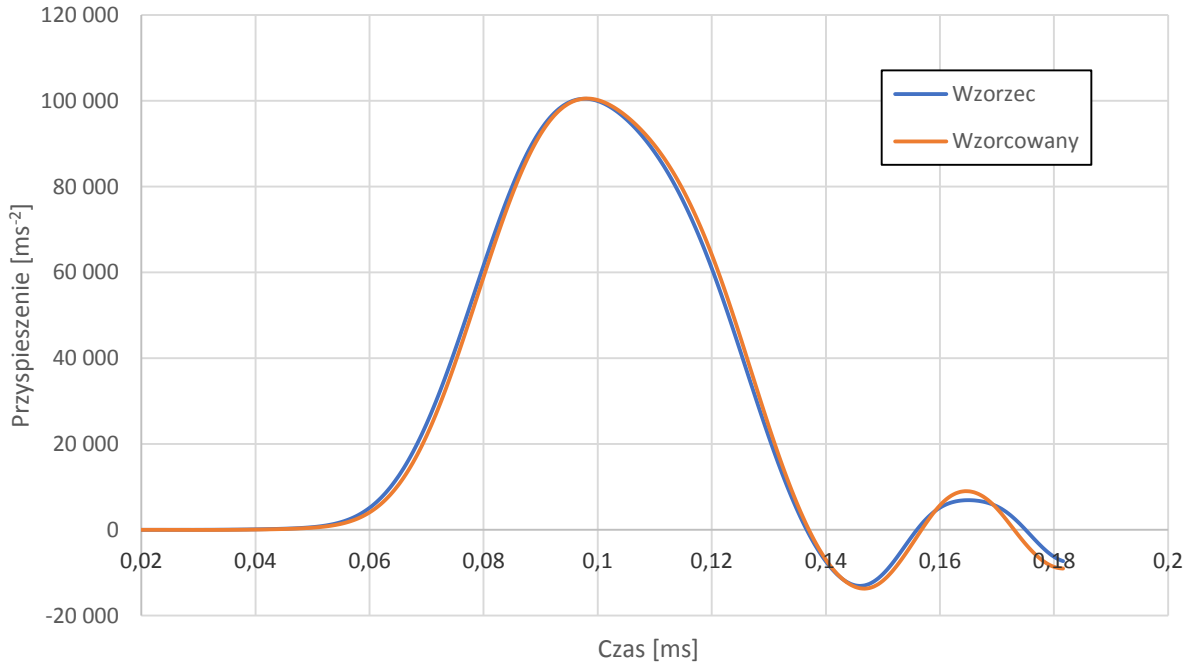


Rys. 6. Przebieg czasowy realizacji wzorcowania przy wymuszeniu 1200 ms^{-2}.

Metoda wzorcowania stosowana na stanowisku polega na odtworzeniu przez przetwornik wzorcowany wartości szczytowej przyspieszenia wyznaczonej przez przetwornik wzorcowy.

$$S_x = S_S \frac{u_x}{u_S}$$

gdzie: S_S – czułość przetwornika wzorcowego; u_x – szczytowa wartość przyspieszenia w torze wzorcowanym; u_s – szczytowa wartość przyspieszenia w torze wzorcowym.



Rys. 7. Przebieg czasowy realizacji wzorcowania przy wymuszeniu 100 kms^{-2}.

Widoczny na Rys. 6 duży udział zakłóceń (szumów) w przebiegu jest efektem stosunkowo niskiego poziomu wymuszenia, wynoszącego ok. 10% maksymalnej wartości możliwości pomiarowej przetwornika.

5. Wnioski

1. Po zainstalowaniu w GUM nowego stanowiska pomiarowego Pracownia Drgań rozpoczęła akcję informowania środowiska naukowo-badawczego o nowych możliwościach wzorcowania przetworników drgań przy pobudzeniu udarowym.
2. Udało się pozyskać do współpracy szereg laboratoriów pomiarowych i dzięki temu dokonać praktycznej weryfikacji stanowiska.
3. Uzyskane wyniki wskazują na poprawność pracy stanowiska, a zdobyta w trakcie testów wiedza pozwoli na opracowanie instrukcji wzorcowania przetworników udarów oraz oszacowanie niepewności pomiarów.

6. Literatura

1. ISO 16063-22 Methods for the calibration of vibration and shock transducers. Part 22: Shock calibration by comparison to a reference transducer.
2. https://www.spektra-dresden.com/en/products/calibration-solutions/cs18-calibration-systems/shock.html

WYNIKI BADAŃ ŚRODOWISKOWYCH HAŁASU W ZAKŁADZIE PRODUKCJI TEKTURY FALISTEJ I OPAKOWAŃ TEKTUROWYCH

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

1. WPROWADZENIE

Wg danych GUS (z dn. 31.12.2016) w roku 2016 r. – 268,0 tys. osób liczonych raz w grupie czynnika przeważającego pracowało w warunkach zagrożenia czynnikami związanymi ze środowiskiem pracy [1]. Spośród tych czynników największe zagrożenie stanowił hałas, którym zagrożonych było 186,4 tys. osób co stanowiło 56,5% osobo-zagrożeń związanych ze środowiskiem pracy [1]. Liczba pracowników narażonych na hałas była ponad trzykrotnie większa od liczby pracowników zagrożonych drugim pod względem częstości występowania czynnikiem szkodliwym – pyłami przemysłowymi, na które narażonych było 54,5 tys. osób (16,5% osobo-zagrożeń związanych ze środowiskiem pracy) [1]. Z kolei według danych dotyczących 1000 zatrudnionych w warunkach zagrożenia (w zakładach objętych badaniem), na pierwszym miejscu również znalazł się hałas (32,6%). Drugą co do wielkości grupę czynników na które byli narażeni pracownicy stanowiły zagrożenia związane z uciążliwością pracy [2]. W badanym okresie 117,9 tys. osób liczonych raz w grupie czynnika przeważającego pracowało w warunkach zagrożenia związanego z uciążliwością pracy.

Jak ogólnie wiadomo, praca w warunkach szkodliwych i uciążliwych może być przyczyną chorób zawodowych i prowadzić do wypadków przy pracy [2, 3, 4]. Liczba świadczeń i kosztu odszkodowań przysługujących z tytułu wypadków przy pracy w roku 2016 wyniosła 26,8 tys., natomiast ich koszt kształtował się na poziomie 96,9 mln zł [2]. Odszkodowania z tytułu wypadków przy pracy stanowiły 98,3% ogółu zrealizowanych odszkodowań i przeznaczono na nie 94,9% wypłaconej kwoty. W tym okresie (2016 r.) odnotowano 460 chorób zawodowych a ich koszt wyniósł 5,2 mln zł [2].

Jedną z metod oceny zagrożenia czynnikami szkodliwymi jest ocena ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na te czynniki [5, 6, 7]. Zgodnie z rozporządzeniem [8] w przypadku nadmiernego hałasu występującego w środowisku pracy pracodawca jest zobowiązany do eliminowania u źródła ryzyka związanego z narażeniem na hałas lub ograniczania go do możliwie najniższego poziomu. W tym zakresie na pierwszym miejscu w 2016 roku były stosowane środki ochrony indywidualnej (658,5 tys.), następnie środki

organizacyjne (454,2 tys.) i środki techniczne (385,9 tys.) [2]. Przy czym w części z tych przypadków zastosowano więcej niż jeden środek eliminujący ryzyko zawodowe na stanowisku pracy.

W produkcji opakowań w Polsce zatrudnionych jest ok. 230 tys. osób [9] i przemysł ten stanowi znaczącą część (1,4%) światowego rynku opakowań [10]. W większości zakładów produkujących opakowania zatrudnieni wykonują pracę w systemie zmianowym. Fakt ten oprócz pracy w warunkach zagrożenia czynnikami szkodliwymi i uciążliwymi może dodatkowo negatywnie wpływać na bezpieczeństwo pracowników [11]. Niewiele pozycji literaturowych podejmuje zagadnienia bezpieczeństwa w tej branży przemysłowej – wyjątkami są [4, 12, 13, 14].

Celem artykułu jest przedstawienie oceny narażenia pracowników na hałas w zakładzie produkcji tektury falistej i opakowań tekturowych. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań środowiskowych tj. pomiarów hałasu przeprowadzonych na wybranych stanowiskach pracy.

2. OBIEKT I METODA BADAŃ

Wybrane do badań stanowiska pracy, znajdujące się w jednej hali, były związane z obsługą następujących linii produkcyjnych: tekturnicy tj. linii do produkcji tektury falistej, w tym sklejarek i linii transportu tektury oraz linii technologicznych służących do produkcji opakowań z tektury falistej [14, 15]. W zależności od rodzaju, zastosowanych w linii produkcyjnej wycinarek, były to linie: wykrawania i zadruku tektury (3 i 5 kolorów), wykrawania rotacyjnego oraz wykrawania płaskiego. Linie produkcyjne były zautomatyzowane i w większości obsługiwane były przez trzech pracowników, których zadaniem było: podawanie tektury, kontrola procesu wzdłuż linii oraz odbiór gotowego wyrobu z linii produkcyjnej. Na Rys. 1 przedstawiono stanowisko podawania tektury.

Rys. 1. Stanowisko podawania tektury

Stanowisko głównego operatora tekturnicy znajdowało się w sterowni (pomieszczeniu wydzielonym z hali produkcyjnej). Praca na tym stanowisku polegała na kontroli całego procesu technologicznego produkcji tektury falistej (w sterowni i na hali produkcyjnej).

Rys. 2. Stanowisko pracy głównego operatora tekturnicy

Do pomiarów wielkości charakteryzujących hałas w zakresie częstotliwości infradźwiękowych i słyszalnych wykorzystano analizator dźwięku Svan 945 z mikrofonem o średnicy ½" oraz kalibrator akustyczny B&K typ 4230. Punkty pomiarowe były zlokalizowane w miejscach przebywania pracowników na stanowiskach pracy w odległościach od 0,5 do 1 m od urządzeń. Do pomiaru hałasu w zakresie częstotliwości słyszalnych i infradźwiękowych zastosowano metodę pośrednią oraz strategię z podziałem na czynności opisaną w normie PN-EN ISO 9612 [16].

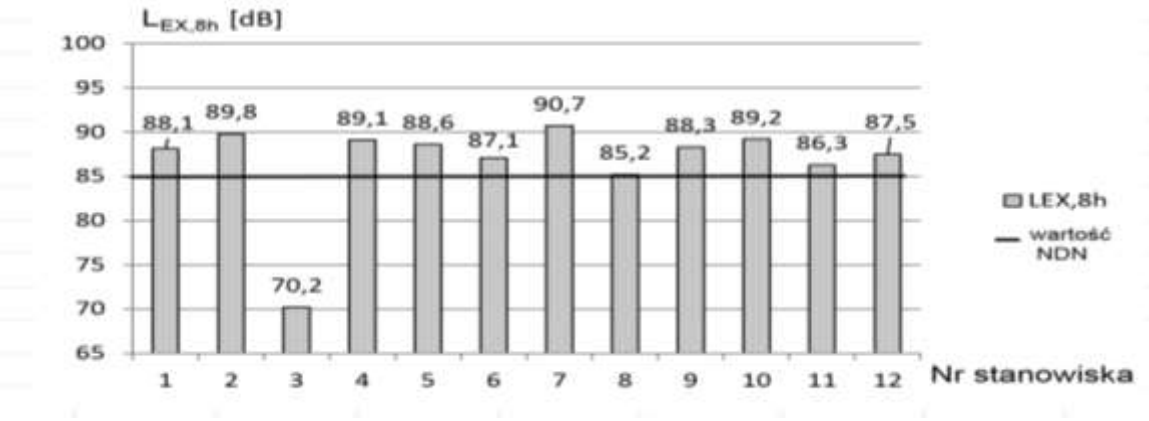
3. WYNIKI BADAŃ ŚRODOWISKOWYCH HAŁASU

Wyniki badań hałasu w zakresie częstotliwości słyszalnych na 12 stanowiskach pracy w zakładzie produkcji tektury falistej i opakowań tekturowych przedstawiono na Rys. 3-6. Poziomy ekspozycji na hałas odniesione do 8-godzinnego dnia pracy, zamieszczone na Rys. 1, zawierają się w zakresie od 85,2 dB do 90,7 dB i przekraczają wartość najwyższego dopuszczalnego natężenia (NDN) hałasu wynoszącą zgodnie z [17] – 85 dB.

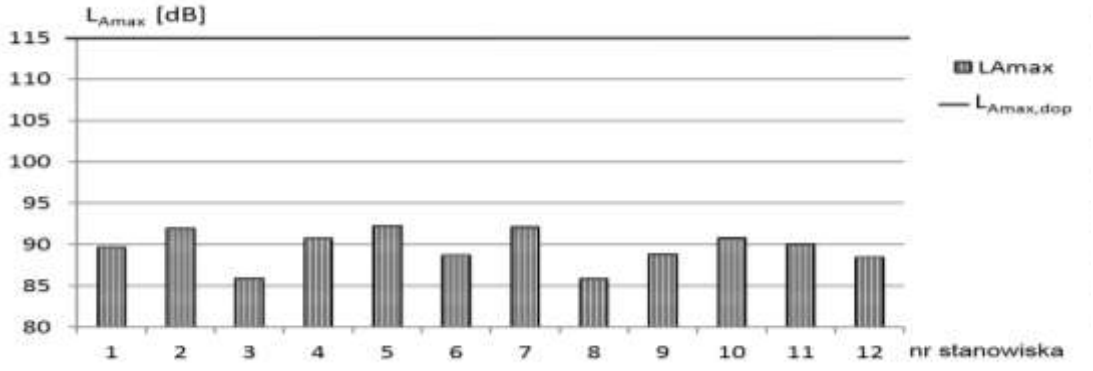
Wyjątkiem jest stanowisko pracy głównego operatora tekturnicy (stanowisko nr 3). Na tym stanowisku pracy poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy wynosi 70,2 dB. Rezultat ten wynika z faktu, że stanowisko pracy znajduje się w wydzielonym pomieszczeniu hali produkcyjnej (kabinie), a praca operatora w większości zmiany roboczej (ok. 330 minut na zmianę roboczą) polega na kontroli procesu za pomocą ekranu komputera. Zmierzony równoważny poziom dźwięku A w czasie pobytu na tym stanowisku pracy wynosi 75,1 dB.

W tym przypadku można mówić o przekroczeniu kryterium uciążliwości hałasu na stanowisku pracy wynikającego z charakteru pracy (65 dB) wymagającej koncentracji [18].

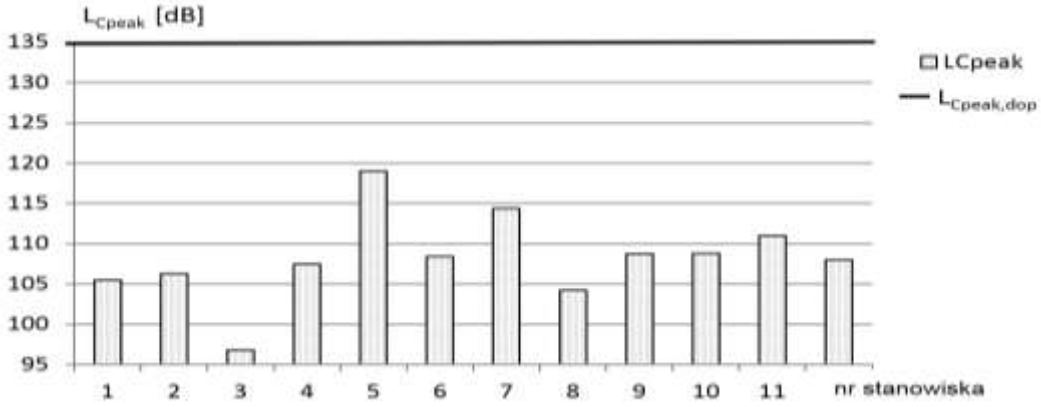
Zmierzone na stanowiskach pracy maksymalne poziomy dźwięku A, przedstawione na Rys. 4, wahają się od 85,8 dB do 92,2 dB i nie przekraczają wartości NDN hałasu wynoszącej zgodnie z [7]-115 dB. Natomiast szczytowe poziomy dźwięku C, przedstawione na Rys. 5, wynoszą w granicach od 96,8 dB do 114,4 dB, i nie przekraczają wartości NDN hałasu wynoszącej zgodnie z [7] – 135 dB.



Rys. 3. Poziomy ekspozycji na hałas na stanowiskach pracy

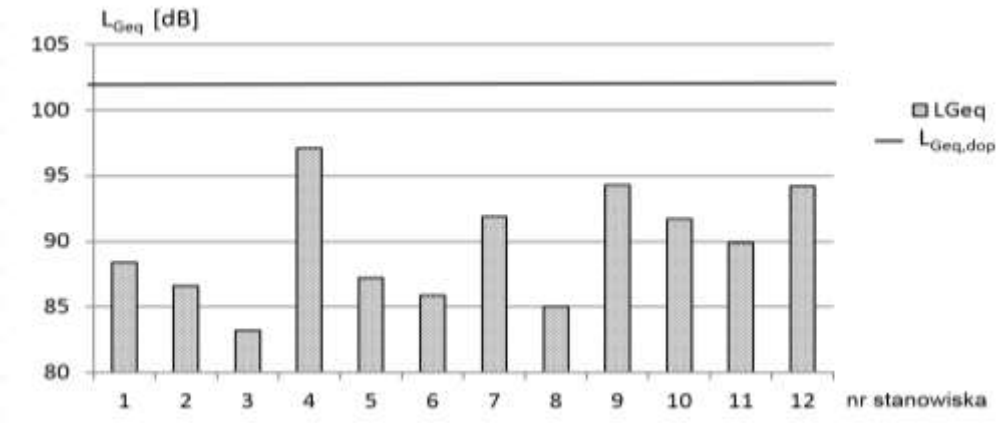


Rys. 4. Maksymalne poziomy dźwięku A na stanowiskach pracy



Rys. 5. Szczytowe poziomy dźwięku C na stanowiskach pracy

W zakresie hałasu infradźwiękowego wartości równoważnego poziomu dźwięku G (tj. ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką G) zamieszczone na Rys. 6, wynoszą od 83,2 dB do 97,1 dB i nie przekraczają wartości kryterium uciążliwości równej 102 dB [19].



Rys. 6. Równoważny poziom dźwięku G na stanowiskach pracy

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników badań środowiskowych na badanych stanowiskach pracy w zakładzie produkcji tektury i opakowań tekturowych stwierdza się, że:

- przekroczenie wartości dopuszczalnej poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy równej 85 dB występuje na badanych stanowiskach pracy (poza stanowiskiem głównego operatora tekturnicy)
- maksymalne poziomy dźwięku A i szczytowe poziomy dźwięku C, zmierzone na stanowiskach pracy nie przekraczają wartości NDN hałasu wynoszących odpowiednio: 115 dB i 135 dB.

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają występowanie hałasu jako czynnika szkodliwego i uciążliwego. Mimo zastosowanych częściowych obudów linii produkcyjnych w badanym zakładzie istnieje zagrożenie ryzykiem zawodowym wynikającym z zagrożenia hałasem na stanowiskach pracy. Źródłem emisji hałasu są procesy technologiczne, elementy maszyn i urządzeń (m.in. układy napędowe, elementy sprężonego powietrza oraz elementy transportu wyrobów) oraz niewłaściwe rozmieszczenie stanowisk pracy. W celu ochrony pracowników przed skutkami oddziaływania hałasu w środowisku pracy istnieje konieczność prowadzenia badań w zakresie narażenia pracowników na hałas w środowisku pracy w zakładach opakowań oraz opracowania kompleksowych działań profilaktycznych.

Obecnie w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy-Państwowym Instytucie Badawczym realizowany jest projekt, w którym zaplanowane są dalsze badania środowiskowe (w zakładach o innej technologii) i ankietowe (mające na celu subiektywną ocenę narażenia pracowników na hałas na stanowiskach pracy).

PODZIĘKOWANIA

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. Zgierska A., Pracujący w gospodarce narodowej w 2016 r. GUS, W-wa 2017, http://stat.gov.pl/en/publikacje
2. Zgierska A., Warunki pracy w 2016r. wyd. GUS, W-wa 2017, http://stat.gov.pl/en/publikacje
3. Augustyńska D., Pleban D., Radosz J., Zagrożenia hałasem na stanowiskach pracy w Polsce i innych państwach Unii Europejskiej. *Med. Pr.* 63(6), 689-700 (2012).
4. Standler K., Kowal M. Problematyka bezpieczeństwa pracy w zakładach papierniczych. *Przegląd Papierniczy* 69(9), 489-492 (2013).
5. PN-N-18002: 2011. Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy – Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego.
6. Koradecka D., [red.] *Bezpieczeństwo i higiena pracy*. CIOP-PIB, Warszawa 2008.
7. Zawieska W. M., [red] *Ryzyko zawodowe. Metodyczne podstawy oceny.*, CIOP-PIB, W-wa 2007.
8. Rozporządzenie ministra gospodarki i pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. *w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne* (Dz. U. Nr 157, poz. 1318).
9. Wasiak W., Przemysł i rynek opakowań w Polsce – RAPORT PIO, *OOH magazine*, 4-6, 40-41 (2015), www.oohmagazine.pl
10. *Rynek opakowań w Polsce*, Departament Informacji Gospodarczej, Polska Agencja Informacji i Inwestycji Zagranicznych S.A. Warszawa 2011.
11. Zużewicz K., Konarska M., *Praca zmianowa a wiek*, CIOP-PIB Warszawa 2008.
12. Szewczyk Wł., Łapczyńska M., Bezpieczeństwo i higiena pracy w przemyśle papierniczym. *Przegląd Papierniczy* 69(7), 330-332 (2013).
13. Smagowska B., *Hałas na wybranych stanowiskach pracy w zakładzie produkcji opakowań*. w Materiały XLV Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki, O. Górnośląski PTA Gliwice 2017.

14. Smagowska B., Pleban D., Zagrożenie hałasem na wybranych stanowiskach pracy w zakładzie produkcji tektury falistej i opakowań tekturowych. *Przegląd papierniczy* 10, 703 – 708 (2017).
15. Bielecki M., Chmielewska-Wurch A., Damięcki T., Patalan B., Słoma M., Ździebło Sł., *Zagadnienia ogólne oraz rekomendowane standardy dotyczące tektury falistej i opakowań z tektury falistej*. Stowarzyszenie Papierników Polskich. Łódź 2011.
16. PN-EN ISO 9612 Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna.
17. Rozporządzenie ministra pracy i polityki społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. *w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz. U. 2014, poz. 817, z późn. zm.).
18. PN-N-01307:1994 Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.
19. PN-N-01338: 2010 Akustyka. Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy.
20. ISO ISO/TS 15666: 2003 Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys.
21. Plovsing B., Søndergaard B., Wind turbine noise propagation: Comparison of measurements and predictions by a method on geometrical ray theory, Noise Control Eng. J. 59(1), 10-21 (2011).
22. Augustyńska D., Kaczmarska A., Mikulski W., Radosz J., Assessment of teachers' exposure to noise in selected primary schools, Arch. of Acoustics, 35(4), 521-542 (2010).
23. Pawlas K., Boron M., Markiewicz-Górka J., Kawalec A., Pawlas N., Zachara J., Szłapa P., Kozłowska A., Będkowska K., Januszewska L., Porównania efektów zdrowotnych wywołanych zawodową ekspozycją na hałas niskoczęstotliwościowy i hałas słyszalny, Medycyna Środowiskowa – Environmental Med., 17(1), 41-51 (2014).
24. Pawlaczyk-Łuszczyńska M., Dudarewicz A., Zaborowski K., Zamojska-Daniszewska M., Waszkowska M., Annoyance Related to Wind Turbin Noise, Arch. of Acoustics, 39(1) 89-102 (2014).

ZAUTOMATYZOWANY SYSTEM WSPOMAGAJĄCY POMIARY AKUSTYCZNE - POTRZEBY I WYMAGANIA

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

1. WPROWADZENIE

Pomiary hałasu odgrywają istotną role w obszarze badań związanych z ochroną pracy. Hałas oddziałuje w sposób niekorzystny na organizm człowieka powodując ubytek słuchu [1]. Według raportu GUS [2] w 2016 roku wśród czynników związanych ze środowiskiem pracy to hałas stanowił największe zagrożenie dla pracowników (około 186,4 tys. osób pracujących na stanowiskach zagrożonych hałasem). Wielkościami określającymi emisję hałasu są: poziom mocy akustycznej źródła oraz poziom ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy lub/i w innych miejscach w pobliżu źródła. Przy pomiarach mocy akustycznej ważną kwestią jest między innymi kształt powierzchni pomiarowej oraz liczby punktów pomiarowych i ich lokalizacja, które mogą być różne i są zależne od wielu czynników, w tym od gabarytów urządzeń. Pomimo rozwoju techniki i automatyzacji w różnych gałęziach gospodarki i życia codziennego, sposób realizacji pomiarów mocy akustycznej źródła hałasu nie zmienił się w sposób znaczący. W artykule przedstawiona została koncepcja opracowywanego w Zakładzie Zagrożeń Wibroakustycznych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego systemu wspomagającego, który umożliwi zautomatyzowanie sposobu wykonywania pomiarów hałasu, tym samym wpłynie na zwiększenie dokładności i powtarzalności realizowanych badań.

2. POTRZEBY W ZAKRESIE AUTOMATYZACJI POMIARÓW AKUSTYCZNYCH

Sprawne przeprowadzenie pomiarów akustycznych nawet w kilku punktach pomiarowych oraz odpowiednie ustawienie mikrofonu względem danego źródła jest czasochłonne. W większości przypadków pomiarów akustycznych sposób realizacji pomiarów w dalszym ciągu opiera się na umieszczaniu sondy pomiarowej na statywach, gdzie osoba realizująca pomiar odmierza odległości usytuowania sondy względem obiektów za pomocą dalmierza laserowego lub taśmy mierniczej. Po wykonaniu pomiaru cały zestaw składający się z systemu pomiarowego, mikrofonu i statywu przenoszony jest w kolejne punkty pomiarowe, gdzie powtarzana jest cała procedura. Obecny stan techniki umożliwia jednak wykonania tych czynności w sposób zdecydowanie szybszy, dokładniejszy przy

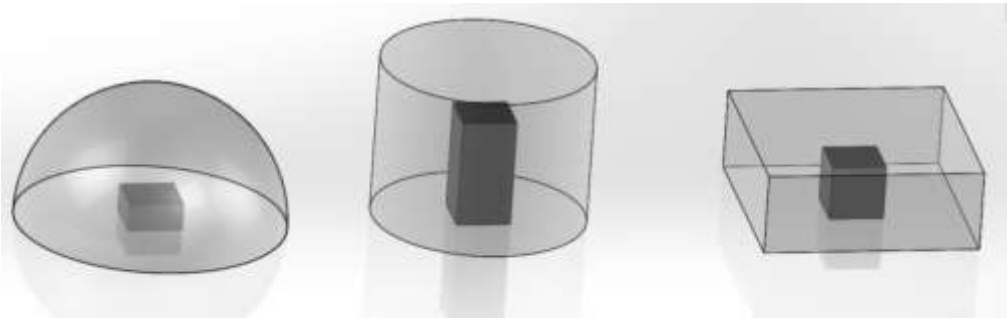
minimalnym udziale człowieka. Zautomatyzowanie i udoskonalenie sposobu wykonywania pomiarów akustycznych może zwiększyć dokładność oraz powtarzalność wyników. Badania akustyczne związane z emisją hałasu maszyn i urządzeń są zagadnieniem szerokim, a sam kształt powierzchni pomiarowej oraz liczba punktów pomiarowych i ich lokalizacja może być znacząco w zależności m. in. od dokładności metody czy miejsca wykonywania pomiaru. Przy pomiarach mających na celu wyznaczenie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu liczba punktów pomiarowych jest uregulowana normatywnie i różni się w zależności od kształtu i wymiarów źródła oraz parametrów środowiska badawczego [3]. W niektórych przypadkach do prawidłowego wyznaczenia poziomów mocy akustycznej potrzebne jest przeprowadzenie pomiarów nawet w 20 ściśle określonych punktach pomiarowych na powierzchni półkulistej. Z uwagi na dynamikę badanych zjawisk, możliwe niesprzyjające lub nawet groźne warunki środowiskowe, a także ze względów ekonomicznych ważne jest, by czas realizacji pomiarów był jak najkrótszy. Możliwość udoskonalenia wykonywania pomiarów jest również ważna w przypadku badań naukowych, gdzie precyzja i informacja o parametrach akustycznych wynikająca z bezpośrednich pomiarów z zagęszczenia siatki pomiarowej są istotne.

W ramach zadania badawczego realizowanego w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym opracowywany jest system, który wspomagałby przeprowadzanie pomiarów akustycznych i w sposób zautomatyzowany pomoże rozwiązać lub zminimalizować choć część z przytoczonych problemów. Odpowiednio sformułowane wymagania dla konstrukcji systemu wspomagającego będą miały bezpośredni wpływ na jego strukturę oraz zasadę funkcjonowania. System wspomagający pomiary akustyczne musi spełniać dwa rodzaje wymagań: pierwszym są wymagania związane z jego funkcjonalnością, drugim natomiast wymagania związane z bezpieczeństwem jego użytkowania, co uregulowane jest przez odpowiednie dokumenty normatywne i rozporządzenia. Wymagania te zostały opisane w dalszych rozdziałach.

3. WYMAGANIA FUNKCJONALNE DLA SYSTEMU

Odpowiednio sformułowane wymagania dla konstrukcji systemu wspomagającego będą miały bezpośredni wpływ na jego strukturę oraz zasadę funkcjonowania. W ramach opracowywanego rozwiązania podstawowym wymaganiem funkcjonalnym jest zautomatyzowanie pomiarów mocy akustycznej realizowanych zgodnie z normą PN-EN ISO 3744:2010 dotyczącej przypadku badania poziomu mocy akustycznej lub poziomu energii akustycznej źródła hałasu na podstawie poziomów ciśnienia akustycznego [4]. W przypadku

tej normy należy zastosować jedną z określonych powierzchni pomiarowych, przy czym różnie ukształtowane powierzchnie pomiarowe mogą dawać różne oceny poziomu mocy akustycznej dla tego samego źródła hałasu. Powierzchnię pomiarową przyjmuje się na podstawie kształtu i wymiarów źródła hałasu, zakładając, że odległość każdej pozycji mikrofonu od źródła hałasu jest w przybliżeniu równa. O wyborze powierzchni pomiarowej może również decydować stosunek rozmiaru źródła do użytecznej przestrzeni pomiarowej środowiska badawczego. Ważne jest natomiast, aby kierunek ustawienia mikrofonu był prostopadły do powierzchni pomiarowej. W celu ułatwienia wyboru kształtu i wymiarów powierzchni pomiarowej określa się tzw. prostopadłościan odniesienia definiowany jako najmniejszy możliwy prostopadłościan otaczający badane źródło z pominięciem elementów wystających, które nie są znaczącymi promiennikami dźwięku. Przykładowe powierzchnie pomiarowe zostały przedstawione na Rys. 1.



Rys. 1. Przykładowe powierzchnie pomiarowe w badaniach poziomu mocy akustycznej

Podstawowym warunkiem funkcjonalności systemu jest precyzyjne umieszczenie mikrofonu w ściśle zdefiniowanych punktach, przy czym odległość mikrofonu od badanego urządzenia powinna być nie mniejsza niż 1 m. Jeden z punktów pomiarowych znajduje się nad badanym elementem, tak więc w przypadku urządzenia prostopadłościennego o wymiarach 1 m x 1 m x 1 m minimalna wysokość, na którą należy umieścić mikrofon to 2 m.

Z uwagi na fakt, że system wspomagający ma zostać wykorzystany do badań z dziedziny akustyki w trakcie wykonywania pomiarów sam nie powinien generować hałasu. Jest to podstawowy warunek dla doboru jego komponentów. System wspomagający musi umożliwiać uruchamianiem pomiarów systemem pomiarowym na nim zainstalowanym, dlatego też istotne jest ograniczenie ilości możliwych do zainstalowania systemów pomiarowych. Na potrzeby zadania badawczego wykorzystane zostaną: systemu PULSE firmy Bruel & Kjaer model 3052-A-030 oraz miernik poziomu dźwięku SVAN 979. Konstrukcja systemu wspomagającego musi umożliwiać poprowadzenie okablowania od

miernika do sondy pomiarowej, dodatkowo, rozwiązanie powinno być otwarte na prostą wymianę jednego urządzenia pomiarowego na drugie.

4. WYMAGANIA DOTYCZĄCE BEZPIECZEŃSTWA

Już na etapie projektu każda opracowywana, przeznaczona do użytkowania maszyna powinna spełniać wymagania dotyczące bezpieczeństwa jej użytkowania zdefiniowane w odpowiednich dokumentach normatywnych i rozporządzeniach. Spełnienie tych wymagań jest konieczne, by zminimalizować ryzyko wystąpienia zdarzeń potencjalnie niebezpiecznych i zapewnić należyty poziom ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dla ich użytkowników oraz osób postronnych. Podstawowymi obowiązującymi dokumentami regulującymi zapewnienie wysokiego poziomu ochrony zdrowia i bezpieczeństwa, a także umożliwiającymi wprowadzenie do obrotu maszyny w ramach rynku wewnętrznego Unii Europejskiej są dyrektywy harmonizacji technicznej (tzw. dyrektywy nowego podejścia), w tym Dyrektywa Maszynowa 2006/42/WE [5]. Wymagania Dyrektywy zostały przeniesione do prawa krajowego poprzez rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 roku w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn [6]. W ramach realizacji zadania czynione będą zatem starania w kierunku:

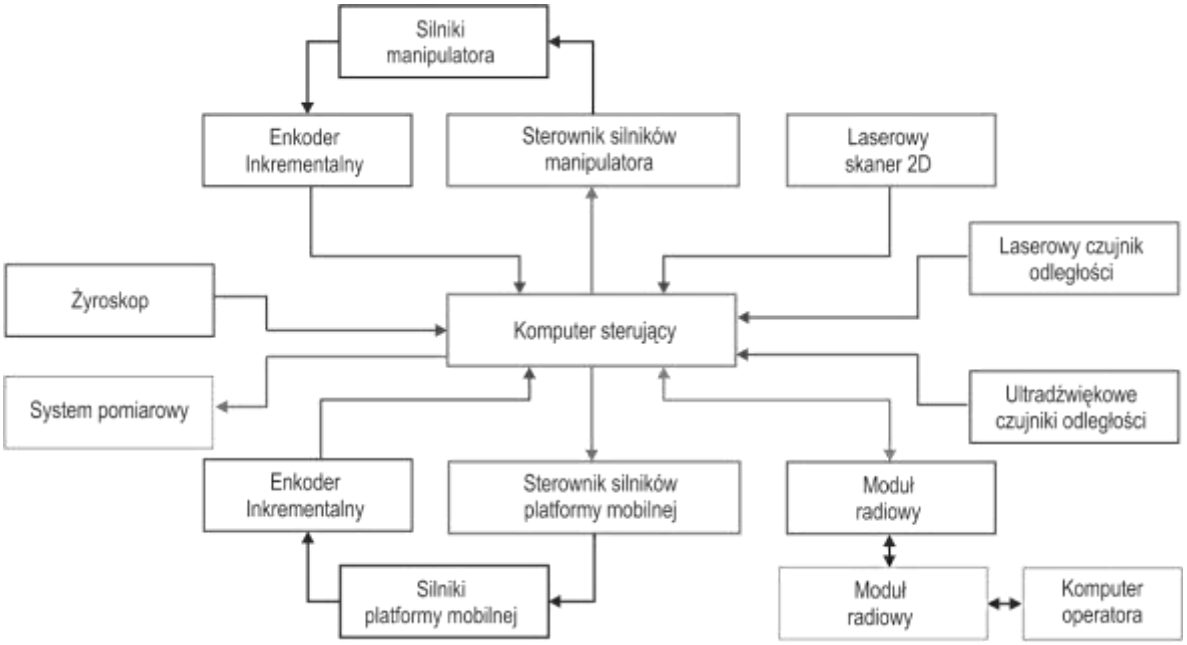
- spełnienia zasadniczych wymagań opisanych w załączniku I do dyrektywy, w tym m. in. sporządzenie oceny ryzyka oraz sprawdzenie całość wymagań części ogólnej,
- przeprowadzenie procedury oceny zgodności dla całego zespołu maszynowego, umieszczenie znaku CE na maszynie (jako całości),
- sporządzenie i podpisanie deklaracji zgodności WE dotyczącej zespołu maszyn.

W procesie oceny ryzyka oraz projektowania maszyny wykorzystany zostanie program PRO-M opracowany przez CIOP-PIB. Przykład danych wprowadzonych do programu został zobrazowany na Rys. 2.

Rys. 2. Przykładowy zrzut ekranu z okna oprogramowania PRO-M

5. KONCEPCJA SYSTEMU WSPOMAGAJĄCEGO

System wspomagający pomiary akustyczne będzie składać się z platformy mobilnej wyposażonej w układ jezdny, pozwalającej na przemieszczenie systemu pomiarowego do kolejnej lokalizacji pomiarowej oraz manipulatora umożliwiającego precyzyjne umieszczenie zainstalowanego na nim mikrofonu w określonym przez użytkownika punkcie pomiarowym. Schemat rozwiązania przedstawiony został na Rys. 3.



Rys. 3. Struktura systemu wspomagającego realizację pomiarów akustycznych

System wspomagający zbudowany będzie z trzech grup elementów: elementów konstrukcyjnych mechanicznych (składających się m. in. na ramę podwozia platformy mobilnej i ramiona manipulatora), elementów napędowych (silniki, siłowniki oraz przekładnie) oraz komponentów elektronicznych (w tym m. in. sterowniki silników, komputer sterujący, moduły radiowe, układy zasilania). Platforma mobilna zostanie skonstruowana w układzie czterokołowym z osobnym sterowaniem na każdym kole co pozwoli na eliminację drążka kierowniczego. Moc silników platformy mobilnej oraz siłowników manipulatora zostanie ustalona w drodze symulacji numerycznych dla założonego obciążenia platformy. W skład systemu wspomagającego wchodzić będą laserowe czujniki odległości, w tym skaner typu LiDAR pozwalający na aktualizację pozycji względem badanego obiektu. Sterowanie procesem wykonywania pomiaru odbywać się będzie poprzez komputer operatora. Instrukcje dotyczące pomiarów przesyłane będą drogą radiową do komputera połączonego z systemem wspomagającym i miernikiem pomiarowym.

6. PODSUMOWANIE

Przedstawiona koncepcja systemu wspomagającego realizację pomiarów akustycznych umożliwi szybkie i powtarzalne wykonywanie pomiarów dla zadanych lokalizacji pomiarowych. System znajdzie zastosowanie w pomiarach poziomu mocy akustycznej źródła oraz poziom ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy. Aktualnie trwają prace konstrukcyjne modelu laboratoryjnego opracowywanego rozwiązania, który po zaprogramowaniu posłuży do przeprowadzenia badań w warunkach laboratoryjnych oraz w warunkach rzeczywistych.

PODZIĘKOWANIA

Opracowano na podstawie badań zrealizowanych w latach 2017-2018 w ramach działalności statutowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego sfinansowanych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

7. LITERATURA

1. Główny Urząd Statystyczny, Warunki Pracy w 2016 r., Warszawa, 2017
2. Szeszenia-Dąbrowska N., Wilczyńska U.: Choroby zawodowe w Polsce w 2015 r., Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Centralny Rejestr Chorób Zawodowych, Łódź 2016
3 Engel Z., Piechowicz J., Pleban D., Stryczniewicz L.: Hale przemysłowe, maszyny i urządzenia – wybrane problemy wibroakustyczne, Warszawa, 2009
4 PN-EN ISO 3744 – 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
5 Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn
6 Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 roku w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz. U. z 2008 nr 199, poz. 1228 z późn. zm.)

XLVI Szkoła Zimowa
Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk, 2018-02-26 – 03-02

INDEKS NAZWISK AUTORÓW

Lp.	Autor	Strona
1.	BISMOR Dariusz	7
2.	KOZŁOWSKI Emil	47
3.	KUKULSKI Bartłomiej	9
4.	MIKULSKI Witold	11, 31
5.	MLECZKO Dominik	9
6.	MŁYŃSKI Rafał	47
7.	MORZYŃSKI Leszek	47
8.	NURZYŃSKI Jacek	53
9.	PLEBAN Dariusz	61, 75
10.	RADOSZ Jan	61
11.	SIEJDA Zbigniew	69
12.	SMAGOWSKA Bożena	61, 75
13.	SZCZEPAŃSKI Grzegorz	47, 83
14.	WSZOŁEK Tadeusz	9

DODATEK 2

Z historii

Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki

foto – Roman Bukowski

Przed otwarciem IOS i Szkół Zimowych
Szczyrk 2017

Prof. Franciszek Witos, Przew. OG PTA
i dr hab. Marzenna Dzida
Otwarcie IOS i Szkół Zimowych
Szczyrk 2017

Mgr inż. Bożena Smagowska
Prof. Dariusz Pleban
Sesja SZ ASiW, Szczyrk 2017

Prof. Dariusz Pleban
Sesja SZ ASiW, Szczyrk 2017

Dr inż. Leszek Morzyński
Sesja SZ ASiW, Szczyrk 2017

Od prawej –
mgr inż. Bożena Smagowska, dr inż. Witold Mikulski, prof. Dariusz Pleban
Szczyrk 2017

Dr inż. Aneta Olszewska, skarbnik OG PTA
dr inż. Cuma Tyszkiewicz, uczestnik IOS
sesja plakatowa, Szczyrk 2017

Dr inż. Kamil Barczak
administrator strony www OG PTA
sesja plakatowa, Szczyrk 2017

Uczestnicy szkolenia firmy SVANTEK
SZ ASiW, Szczyrk 2017