

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

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

**Gliwice-Szczyrk
2017-02-27 – 03-03**

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.polsl.pl/>

ISBN: 978-83-931744-7-8

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

Komitety Programowe
XLV Szkoły Zimowej
Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk, 2017-02-27 – 03-03

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

dr hab. inż. Grażyna GRELOWSKA (PGd)

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

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

dr hab. Janusz KOMPALA (GIG)

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

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

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

dr inż. Krzysztof RUDNO-RUDZIŃSKI (PWr)

dr hab. Ewa SKRODZKA (UAM)

prof. dr hab. inż. Stefan WEYNA (ZUT)

prof. dr hab. inż. Jerzy WICIAK (AGH)

Komitety Organizacyjny
XLV Szkoły Zimowej
Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk, 2017-02-27 – 03-03

Koordinator Szkół Zimowych, Przewodniczący Oddziału Górnośląskiego PTA

dr hab. inż. Franciszek WITOS

Skarbnik Szkół Zimowych, Skarbnik Oddziału Górnośląskiego PTA

dr inż. Aneta OLSZEWSKA

Chairman Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki

dr inż. Roman BUKOWSKI

XLV Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki

Szczyrk, 2017-02-27 – 03-03

SPIS TREŚCI

Autor(rzy)/Tytuł	Str.
1. MIKULSKI Witold <i>Ekrany akustyczne w pomieszczeniach open space przeznaczonych do obsługi interesantów</i>	7
2. MIKULSKI Witold <i>Metoda określania poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu w zakresie częstotliwości powyżej 10 kHz</i>	23
3. MORZYŃSKI Leszek <i>Wspomaganie profilaktyki zagrożeń wibroakustycznych w środowisku pracy na przykładzie serwisu internetowego BEZPIECZNIEJ</i>	39
4. PLEBAN Dariusz, AUGUSTYŃSKA Danuta <i>Zalecenia dotyczące ograniczenia narażenia pracowników na hałas emitowany przez turbiny wiatrowe</i>	45
5. SMAGOWSKA Bożena <i>Hałas na wybranych stanowiskach pracy w zakładzie produkcji opakowań</i>	53
Indeks Nazwisk Autorów	59
Dodatek 1 – Indeks Nazwisk Autorów za lata 2012-2016	61
Dodatek 2 – Z historii SZ WzH i ZWwP, SZ ZZW i SZ AŚiW	65

EKRANY AKUSTYCZNE W POMIESZCZENIACH OPEN SPACE PRZEZNACZONYCH DO OBSŁUGI INTERESANTÓW

Witold MIKULSKI

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

e-mail: wimik@ciop.pl

1. WPROWADZENIE

Pomieszczenia open space można podzielić na trzy typy: pomieszczenia biurowe, pomieszczenia obsługi interesantów (tzw. biura obsługi klientów) oraz pomieszczenia konsultantów telefonicznych. Hałas w pomieszczeniach biurowych open space jest skutkiem działalności pracowników, działania urządzeń technicznych (klimatyzacja, wentylacja, ksero, drukarki) oraz hałasu przenikającego z zewnątrz pomieszczenia (z korytarza i spoza budynku). Rozmowy w tych pomieszczeniach (w tym telefoniczne) nie powinny być prowadzone. Ponieważ w tych pomieszczeniach źródła emitują stosunkowo mały hałas, ale jednocześnie hałas w tych pomieszczeniach powinien być też bardzo mały (ze względu na konieczność zachowania w nich szczególnej koncentracji uwagi poziom dźwięku A powinien być poniżej 55dB), to wymagania akustyczne stawiane tym pomieszczeniom są bardzo wysokie. W pomieszczeniach obsługi interesantów open space głównym źródłem hałasu są rozmowy prowadzone między pracownikami i interesantami. Mimo iż w pomieszczeniach tych nie jest konieczne zapewnienie szczególnej koncentracji uwagi (tak jak w pomieszczeniach biurowych), to zachodzi tutaj potrzeba uzyskania dużej zrozumiałości mowy między osobami bezpośrednio ze sobą rozmawiającymi oraz jak najmniejszej zrozumiałości mowy między osobami znajdującymi się w większej odległości. Ponieważ poziom dźwięku A mowy w odległości metra od mówiącego wynosi 60-65dB, a jednocześnie hałas w tych pomieszczeniach powinien być stosunkowo mały (zapewniający zrozumiałość mowy) (poniżej 55dB), to wymagania stawiane właściwościom akustycznym tych pomieszczeń są wysokie, zbliżone do tych dla pomieszczeń biurowych open space. W pomieszczeniach konsultantów telefonicznych hałas pochodzi głównie od rozmów telefonicznych [1]. Pracownicy muszą mieć zapewnioną zrozumiałość mowy przez telefon. Ponieważ jednak pracują oni ze słuchawką i mikrofonem, których parametry można regulować, to właściwości akustyczne tych pomieszczeń mogą mniejsze niż w dwóch poprzednich typach pomieszczeń open space.

W referacie rozpatruje się pomieszczenia open space obsługi interesantów. Na wybranym przykładzie pomieszczenia rzeczywistego, w którym pracuje kilkunastu

pracowników oraz przebywa od kilku do prawie stu interesantów, metodą symulacji komputerowej programem ODEON, zostanie przeprowadzona analiza wpływu wysokości ekranów akustycznych oraz współczynnika pochłaniania dźwięku powierzchni tych ekranów na właściwości akustyczne pomieszczenia.

2. KRYTERIA AKUSTYCZNE DOTYCZĄCE POMIESZCZEŃ OPEN SPACE PRZEZNACZONYCH DO OBSŁUGI INTERESANTÓW

Ocena właściwości akustycznych pomieszczeń open space do obsługi interesantów polega na ocenie czy pomieszczenia spełniają kryteria określone w przepisach. Ponieważ kryterium odnosi się do wielu parametrów można powiedzieć, że ocena jest wieloparametrowa w oparciu o wiele kryteriów cząstkowych.

Parametry kryterialne i ich wielkości dopuszczalne (minimalne lub maksymalne) określone są w PN-B-02151-4 [2], PN-EN ISO 3382-3 [3] oraz [4-6].

Są one następujące:

1. *chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do 1 m² rzutu pomieszczenia $A_{1m2,f}$* ; minimalna wartość dopuszczalna wg normy PN-B-02151-4 [2] wynosi 1,1 m² (w pasmach częstotliwości f : 500, 1000, 2000 Hz)
2. *czas pogłosu T_f* ; maksymalną wartość dopuszczalną obliczono wg wzoru Sabine'a, dla tego pomieszczenia, wynosi ona 0,44 s (w pasmach częstotliwości f : 500, 1000, 2000 Hz)
3. *promień (odległość) rozproszenia r_D* ; parametr określany z wartości wskaźnika transmisji mowy STI; maksymalna wartość dopuszczalna wg PN-EN ISO 3382-3 [3] wynosi 5 m
4. *promień (odległość) prywatności r_P* ; parametr określany z wartości wskaźnika transmisji mowy STI; nie ma określonej wartości dopuszczalnej tego parametru (w referacie arbitralnie przyjęto równą $2 \times r_D$, tj. 10 m)
5. *poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego $L_{p,A,S,4m}$* ; parametr ten określa się z poziomu dźwięku A mowy; maksymalna wartość dopuszczalna tego parametru wg PN-EN ISO 3382-3 [3] wynosi 48 dB
6. *spadek poziomu dźwięku mowy na podwojenie odległości $D_{2,S}$* ; parametr ten określa się z poziomu dźwięku A mowy; minimalna wartość dopuszczalna wg PN-EN ISO 3382-3 [3] wynosi 7 dB.

3. METODA BADAŃ

W badaniach własnych [7] analizowano zgodność wyników pomiarów i obliczeń (symulacje cyfrowe) wykonanych w pomieszczeniach open space programem ODEON. Wyniki tych analiz potwierdziły możliwość prowadzenia analiz i wnioskowania o obiektach rzeczywistych na podstawie symulacji cyfrowych tym programem. Dlatego zastosowano tę metodę badań.

Metoda badań polegała na porównaniu wyników obliczeń i kryteriów cząstkowych dotyczących parametrów podanych wyżej, dla kilku wariantów ekranów akustycznych. Poszukiwano takiego wariantu, który spełniałby wszystkie określone wyżej kryteria.

Do badań wybrano pomieszczenie obsługi interesantów pokazane na Rys. 1-2.

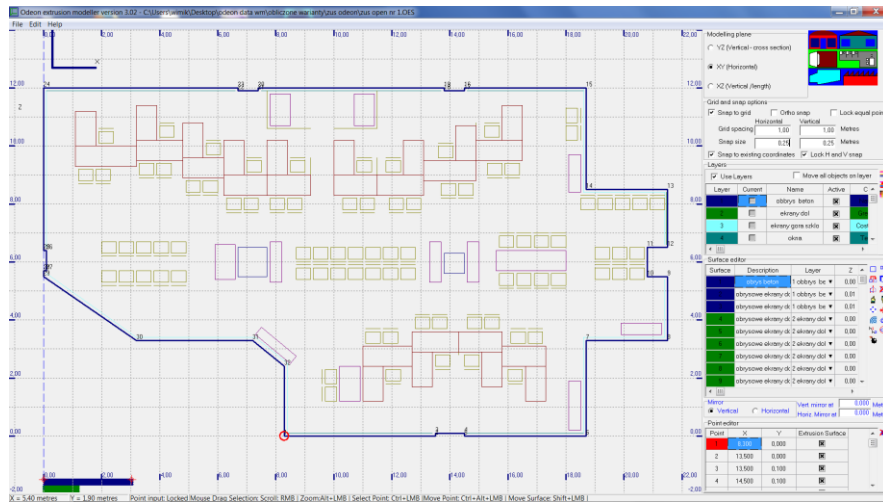
W pomieszczeniu pracuje 13 konsultantów, natomiast liczba miejsc siedzących dla interesantów wynosi 73. Objętość pomieszczenia wynosi 646 m^3 , pole powierzchni podłogi wynosi $212,6 \text{ m}^2$.

Położenie źródła akustycznego oraz punktów obliczeniowych pokazano na Rys. 3.

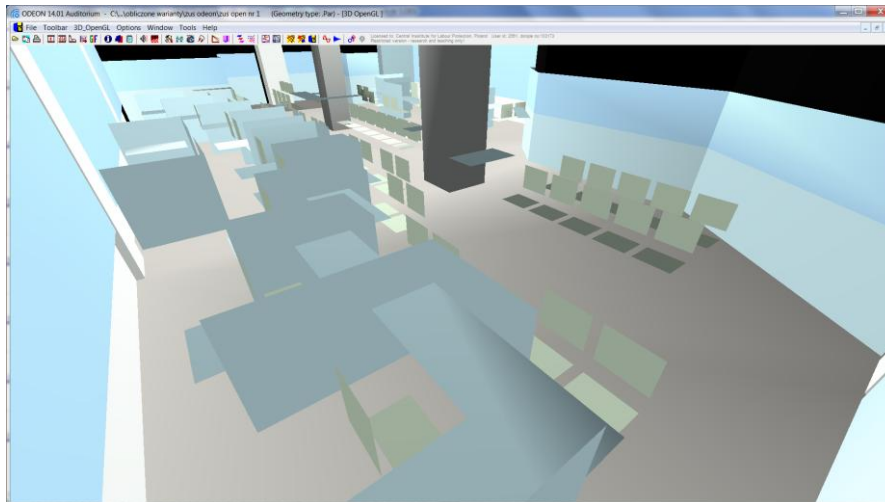
Ponieważ przedmiotem badań był wpływ ekranów akustycznych na właściwości akustyczne pomieszczenia (określone 6 parametrami podanymi wyżej) rozpatrywano różne warianty (nazwane w1-w7) wysokości ekranów akustycznych oraz różnych materiałów dźwiękochłonnych na ich powierzchniach tj.:

- w_1 – wysokość ekranu akustycznego od podłoża $h = 1,3 \text{ m}$, materiał dźwiękochłonny „0,1”, tj. o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,1$ (panele drewniane 10 mm), Rys. 4, (tj. stan przed modyfikacjami ekranów)
- w_2 – wysokość ekranu $h = 1,5 \text{ m}$, ważony współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,1$
- w_3 – wysokość ekranu $h = 2,0 \text{ m}$, ważony współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,1$
- w_4 – wysokość ekranu $h = 1,3 \text{ m}$, ważony współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,95$ (Rys. 4)
- w_5 – wysokość ekranu $h = 1,5 \text{ m}$, ważony współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,95$
- w_6 – wysokość ekranu $h = 1,8 \text{ m}$, ważony współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,95$
- w_7 – wysokość ekranu $h = 2,0 \text{ m}$, ważony współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,95$.

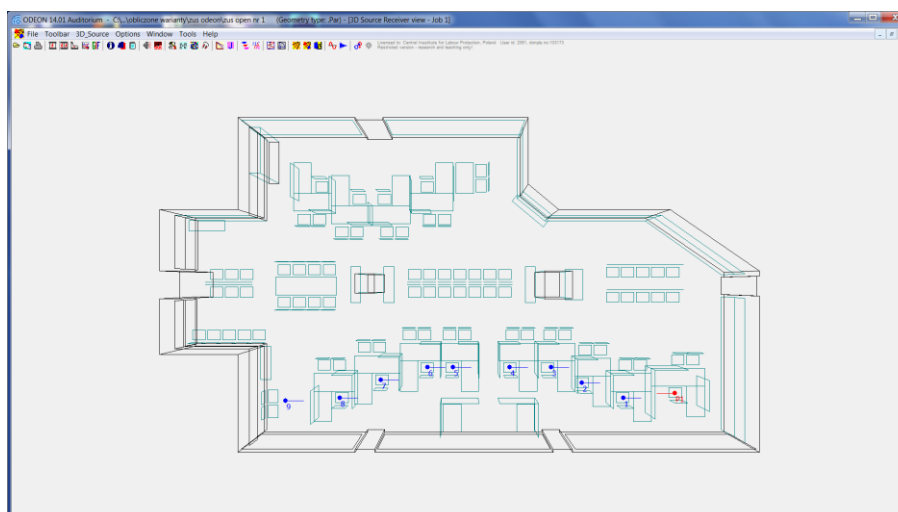
Poziom dźwięku A tła akustycznego wynosił 34,7 dB (Rys. 5).



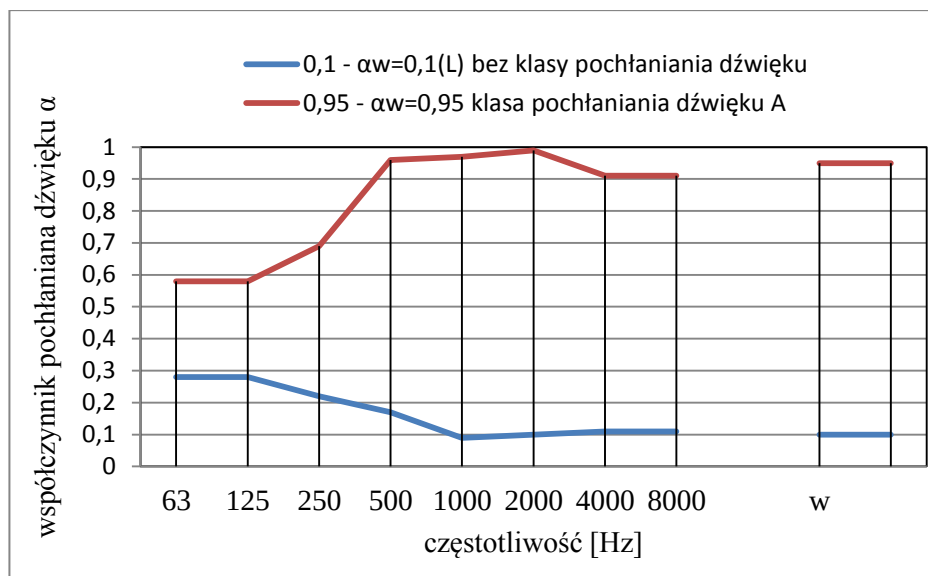
Rys. 1. Rzut rozpatrywanego pomieszczenia wygenerowany w module wprowadzania danych programu ODEON



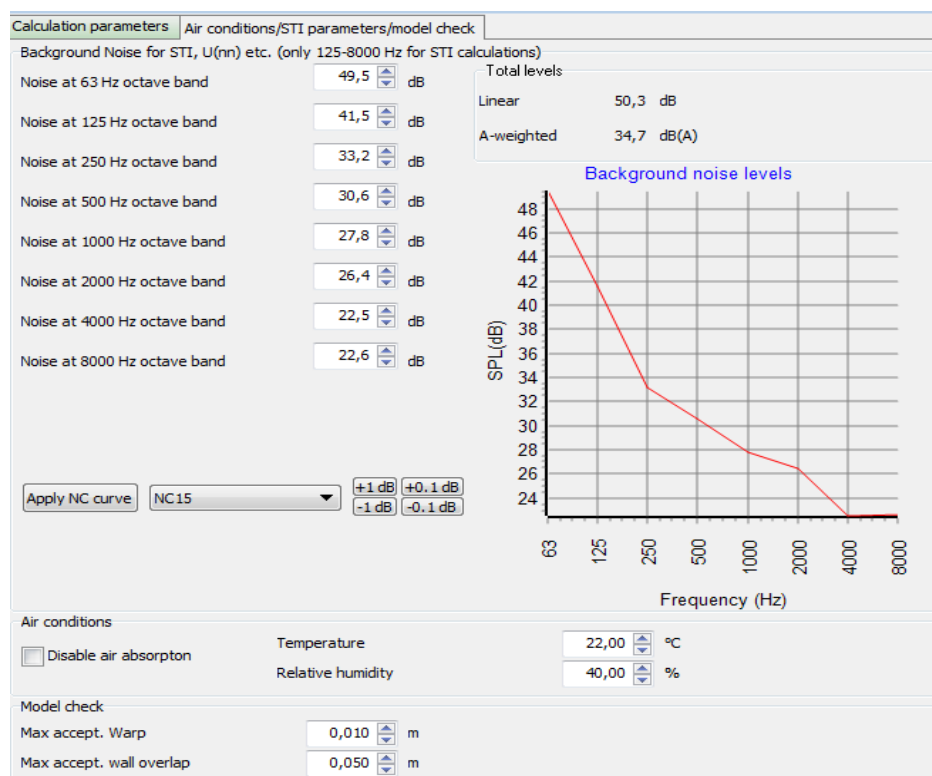
Rys. 2. Widok poglądowy z góry od strony stanowiska pracy, na którym umieszczano źródło akustyczne rozpatrywanego pomieszczenia wygenerowany w module obliczeniowym programu ODEON



Rys. 3. Widok z góry rozpatrywanego pomieszczenia z zaznaczeniem źródła sygnału pomiarowego (punkt czerwony) oraz punktów pomiarowych (punkty koloru niebieskiego) wygenerowane w module obliczeniowym programu ODEON



Rys. 4. Współczynniki pochłaniania dźwięku zastosowanych materiałów na powierzchni ekranów akustycznych



Rys 5. Poziomy ciśnienia akustycznego oraz poziom dźwięku A tła akustycznego uwzględnione w obliczeniach

4. WYNIKI BADAŃ

Zbiorcze wyniki badań przedstawiono w Tab. 1. W przypadku, gdy spełniają one kryteria są na tle zielonym (i są podkreślone). Jak powiedziano wyżej pomieszczenie będzie spełniało kryterium, gdy wartości wszystkich parametrów (ocena wieloparametrowa) będą spełniały swoje kryteria cząstkowe. W tabeli graficznie będą to te warianty (wysokości ekranu

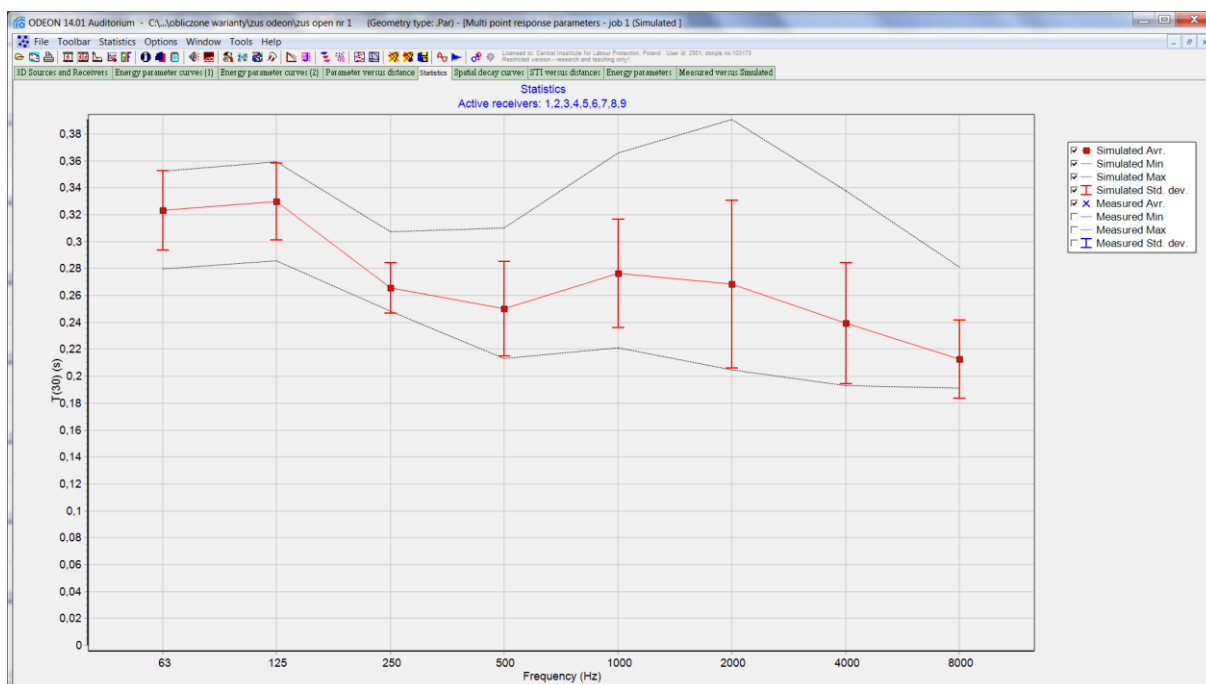
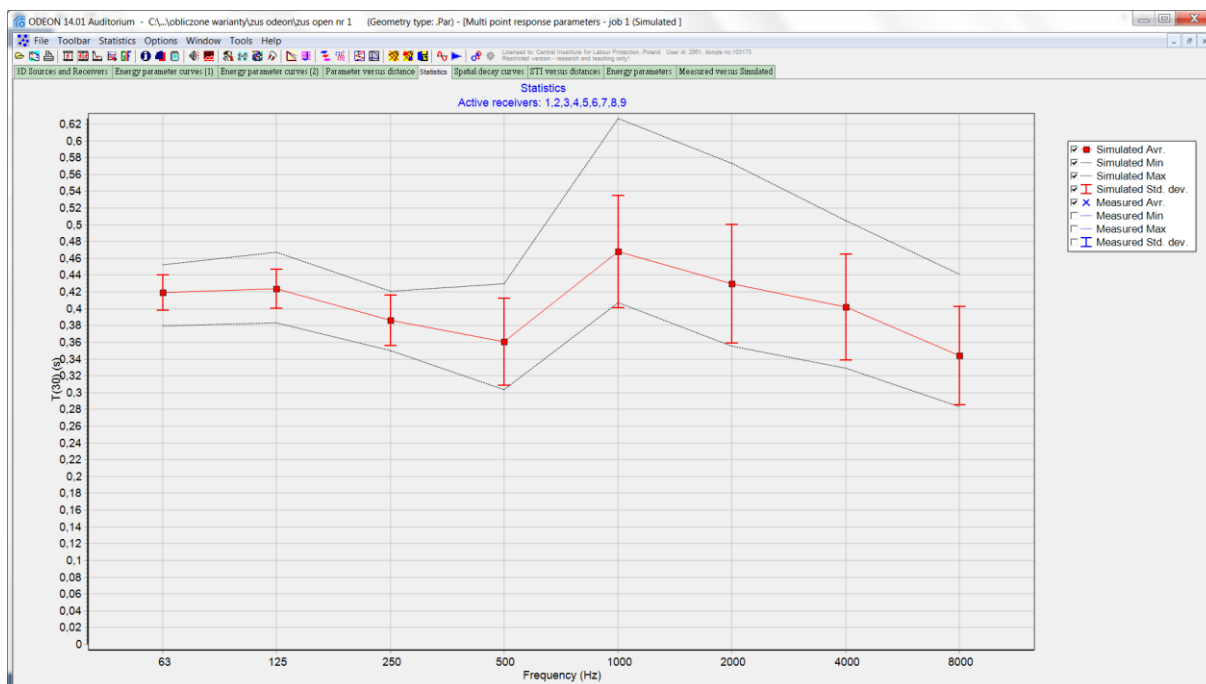
akustycznego i materiału zastosowanego na jego powierzchniach), dla których kolumna zawierająca wyniki obliczeń będzie zawierała tylko pola zielone (wszystkie wyniki będą podkreślone). Można zauważyć, że dla wariantu w_1 (ekrany akustyczne o wysokości $h = 1,3$ m i powierzchniach pokrytych materiałem o ważonym współczynniku pochłaniania równym 0,1, Rys. 4) wieloparametrowe kryterium nie jest spełnione, gdyż kryteria cząstkowe na promień rozproszenia r_D i promień prywatności r_P oraz na spadek poziomu dźwięku mowy na podwojenie odległości $D_{2,S}$ nie są spełnione. Zwiększenie wysokości ekranów akustycznych na początku do 1,5 m (wariant w_2), a następnie 2,0 m (wariant w_3), mimo że wartości tych trzech parametrów znacząco zbliżyły się do wartości kryterialnych, jednakże nadal nie spełniły kryteriów. Wynika z tego, że podwyższanie ekranów akustycznych jest dobrym rozwiązaniem technicznym, jednakże nie jest rozwiązaniem wystarczającym. Dlatego uwzględniono pokrycie ekranów akustycznych materiałem dźwiękochłonnym o bardzo dobrych parametrach dźwiękochłonnych, tj. ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,95$ (Rys. 4). W pierwszym kroku ekrany akustyczne miały wysokość $h = 1,3$ m (wariant w_4). Nie spowodowało to poprawy warunków akustycznych, a nawet wartości niektórych parametrów oddaliły się od wartości kryterialnych. Jednakże efekt zwiększenia współczynnika pochłaniania materiału pokrywającego powierzchnie ekranów akustycznych wyraźnie jest obserwowany przy zwiększeniu jego wysokości. Już dla wysokości 1,5 m (wariant w_5) spełnione jest kryterium cząstkowe na promień rozproszenia r_D (oraz czas pogłosu i chłonność akustyczną), natomiast nadal nie są spełnione kryteria cząstkowe na promień prywatności r_P oraz na spadek poziomu dźwięku mowy na podwojenie odległości $D_{2,S}$. Po zwiększeniu wysokości ekranów akustycznych do 1,8 m i przy ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku powierzchni ekranów akustycznych 0,95 (wariant w_6), pomieszczenie spełnia kryteria cząstkowe odnoszące się do wszystkich parametrów, a więc pomieszczenie spełnia kryterium akustyczne.

Tabela 1. Zbiorcze wyniki badań dla różnych wariantów wysokości ekranów akustycznych oraz różnych materiałów dźwiękochłonnych na ich powierzchniach

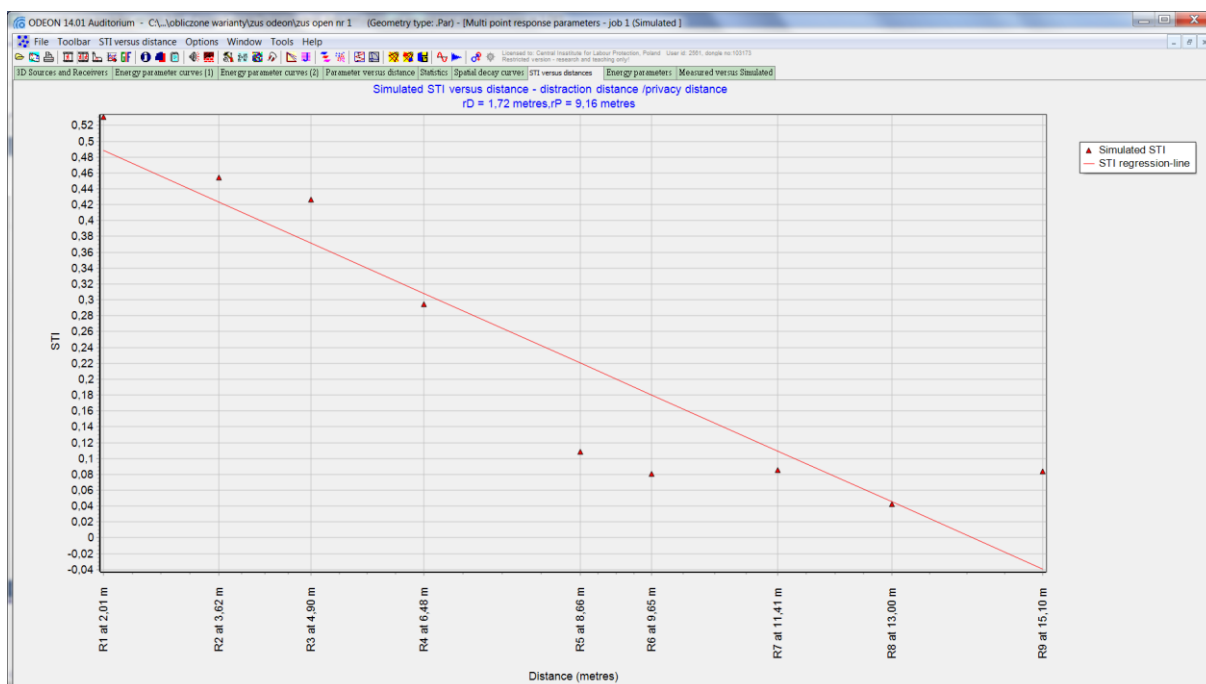
			Warianty wysokości ekranów akustycznych oraz różnych materiałów dźwiękochłonnych na ich powierzchniach						
			w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7
Parametr		Kryterium	Wysokość ekranu akustycznego h [m]						
			1,3	1,5	2	1,3	1,5	1,8	2
			Ważony współczynnik materiału dźwiękochłonnego α_w						
			0,1	0,1	0,1	0,95	0,95	0,95	0,95
Czas pogłosu T_f [s]	500 Hz	$\leq 0,44$	<u>0,36</u>	<u>0,37</u>	<u>0,34</u>	<u>0,36</u>	<u>0,27</u>	<u>0,25</u>	<u>0,22</u>
	1000 Hz	$\leq 0,44$	0,47	0,47	<u>0,44</u>	<u>0,40</u>	<u>0,34</u>	<u>0,28</u>	<u>0,22</u>
	2000 Hz	$\leq 0,44$	<u>0,43</u>	0,47	<u>0,4</u>	0,45	<u>0,32</u>	<u>0,27</u>	<u>0,21</u>
Chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do 1 m ² rzutu pomieszczenia A_{1m^2} [m ²]	500 Hz	$\geq 1,1$	<u>1,36</u>	<u>1,32</u>	<u>1,44</u>	<u>1,36</u>	<u>1,81</u>	<u>1,96</u>	<u>2,23</u>
	1000 Hz	$\geq 1,1$	1,04	1,04	<u>1,11</u>	<u>1,22</u>	<u>1,44</u>	<u>1,75</u>	<u>2,23</u>
	2000 Hz	$\geq 1,1$	<u>1,14</u>	1,04	<u>1,22</u>	1,09	<u>1,53</u>	<u>1,81</u>	<u>2,33</u>
Promień rozproszenia r_D [dB]		≤ 5	9,89	7,67	6,27	7,13	<u>3,78</u>	<u>1,72</u>	<u>0,63</u>
Promień prywatności r_P [dB]		≤ 10	25,76	16,35	13,41	26,45	11,89	<u>9,16</u>	<u>8,24</u>
Poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego $L_{p,A,S,4m}$ [m]		≤ 48	<u>46,21</u>	<u>45,87</u>	<u>44,87</u>	<u>42,56</u>	<u>39,87</u>	<u>36,98</u>	<u>35,37</u>
Spadek poziomu dźwięku mowy na podwojenie odległości $D_{2,S}$ [m]		≥ 7	3,65	5,47	6,85	3,03	5,70	<u>7,51</u>	<u>8,21</u>

Na Rys. 6-11 zestawiono wyniki obliczeń otrzymane z programu dla wariantów początkowego w_1 (wysokość ekranów 1,3 m, ważony współczynnik pochłaniania dźwięku powierzchni ekranów $\alpha_w = 0,1$) oraz przedostatniego w_6 (wysokość ekranu 1,8 m ważony współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,95$):

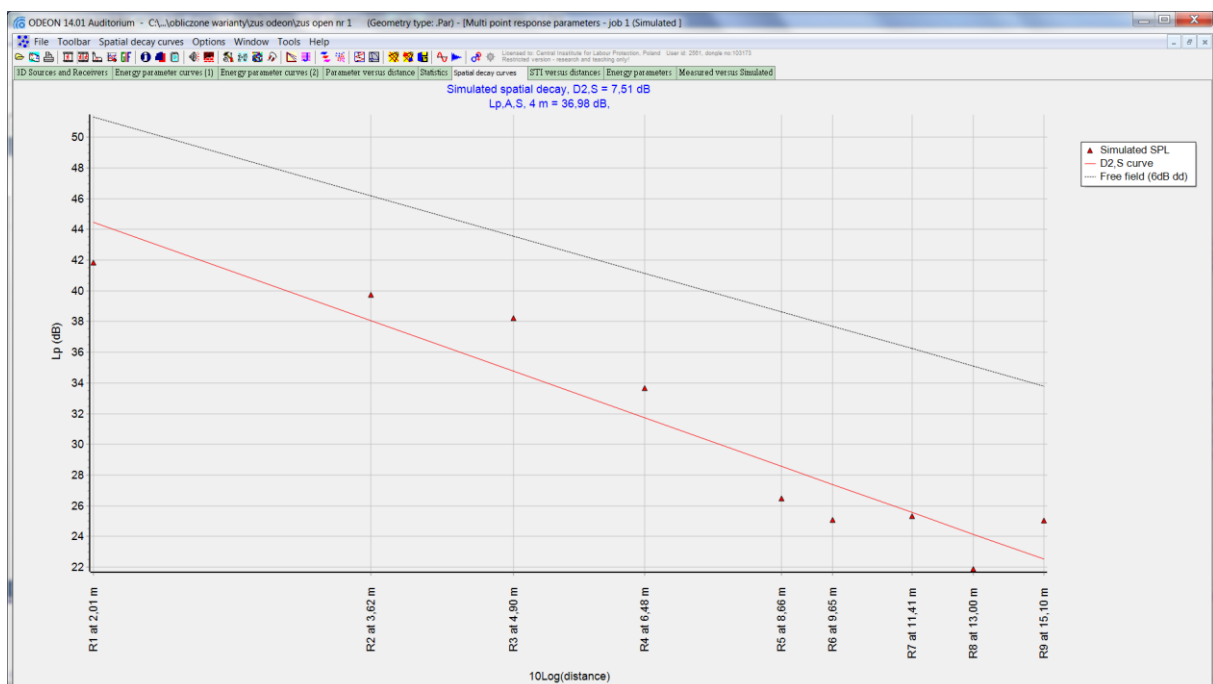
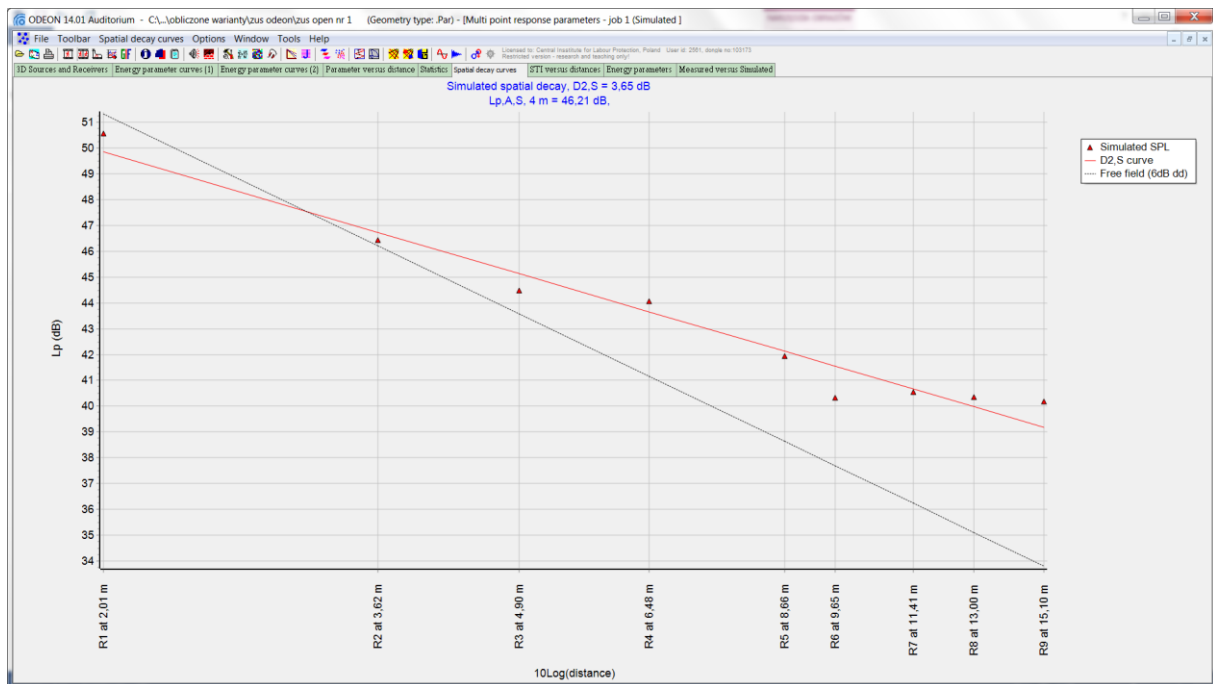
- Rys. 6 – czas pogłosu
- Rys. 7 – promienie rozproszenia i prywatności
- Rys. 8 – poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m od źródła oraz spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości
- Rys. 9 – rozkład w pomieszczeniu poziomu dźwięku A mowy
- Rys. 10 – rozkładu w pomieszczeniu poziomu dźwięku A mowy dźwięku bezpośredniego
- Rys. 11 – rozkładu w pomieszczeniu wskaźnika transmisji mowy STI.



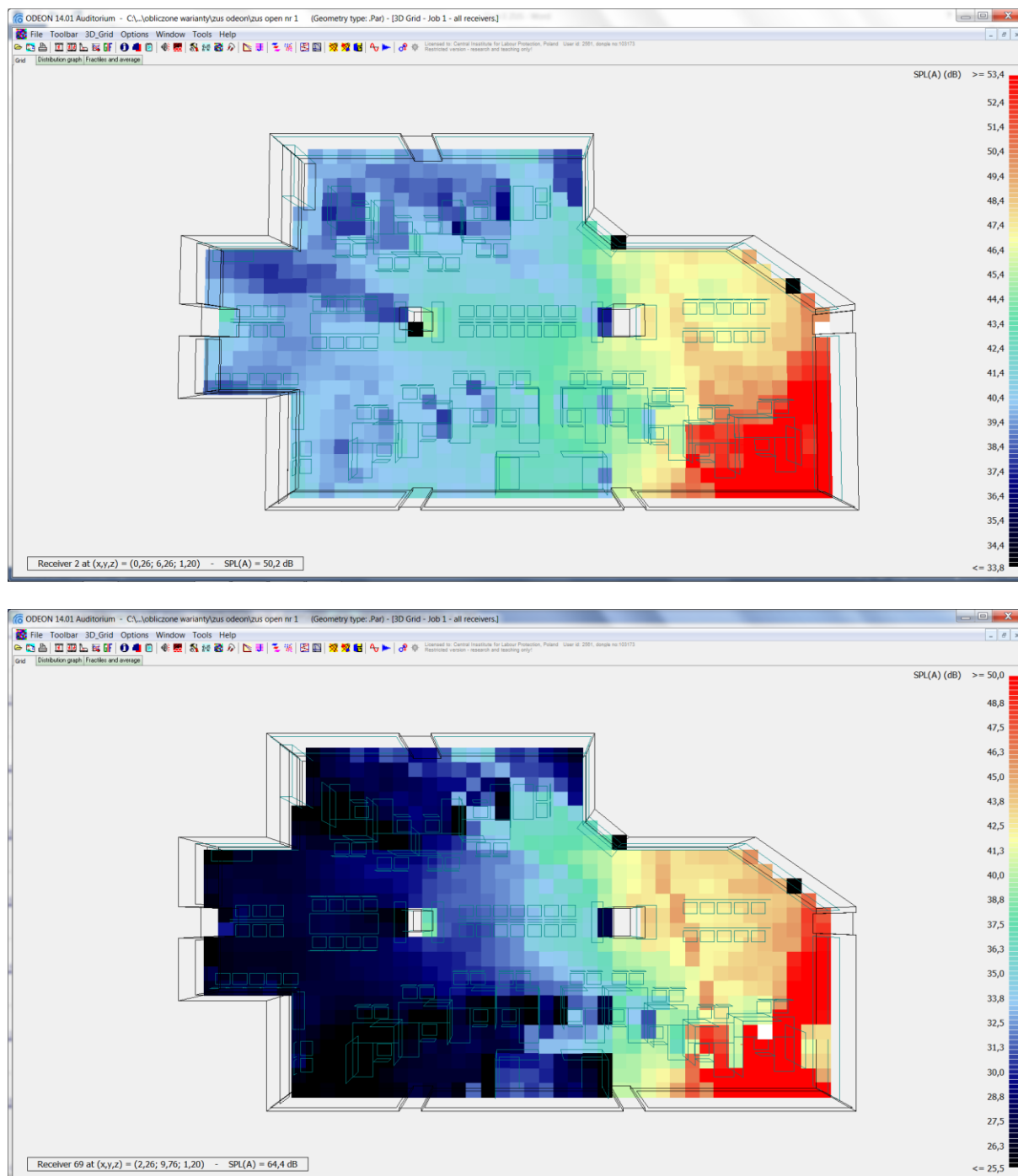
Rys. 6. Czasu pogłosu pomieszczenia (na górze dla wariantu w_1 , na dole dla wariantu w_6)



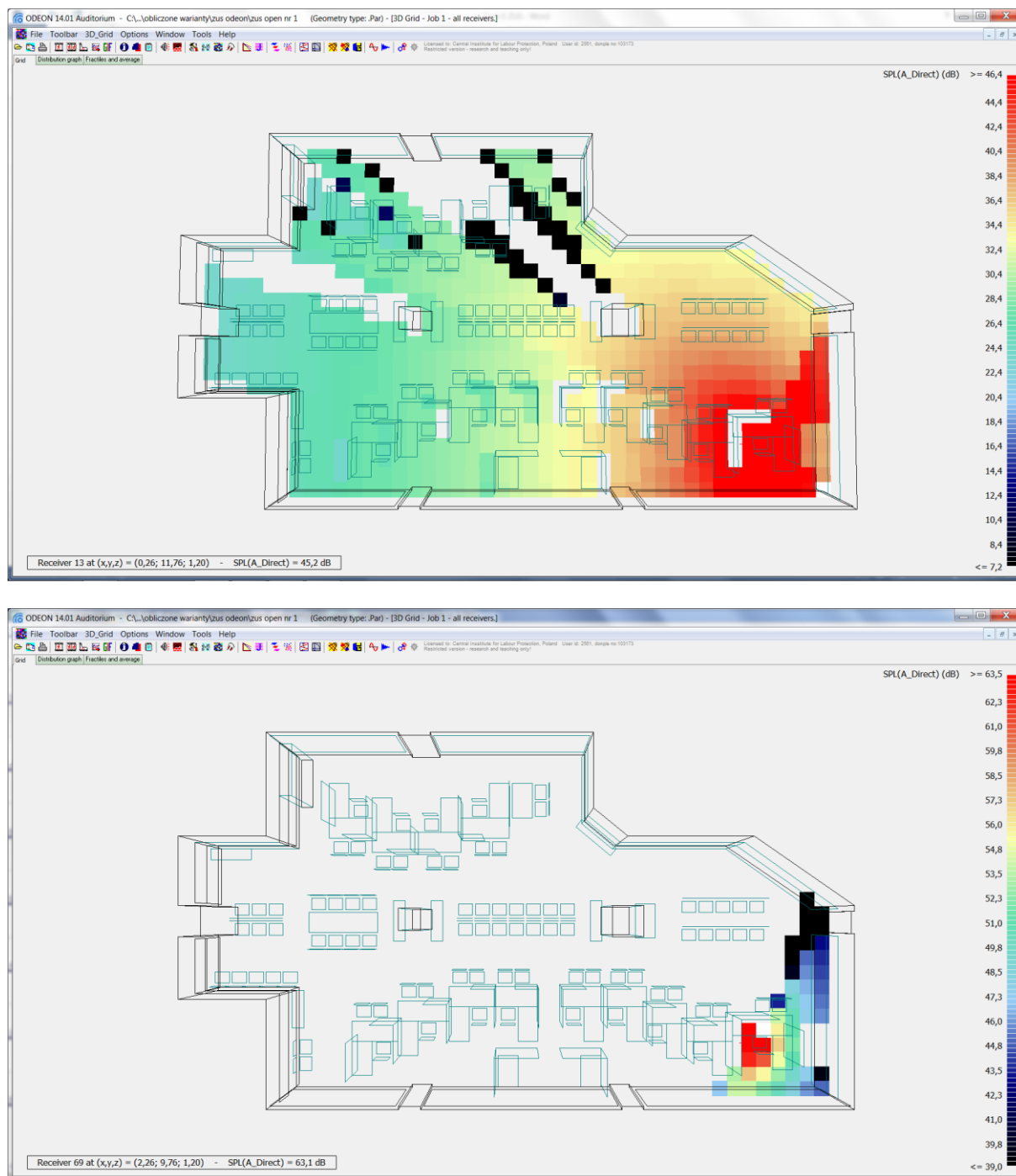
Rys. 7. Wskaźnik transmisji mowy STI w funkcji odległości od źródła, promień rozproszenia r_D i prywatności r_P , w rozpatrywanym pomieszczeniu (na górze dla wariantu w_1 , na dole dla wariantu w_6)



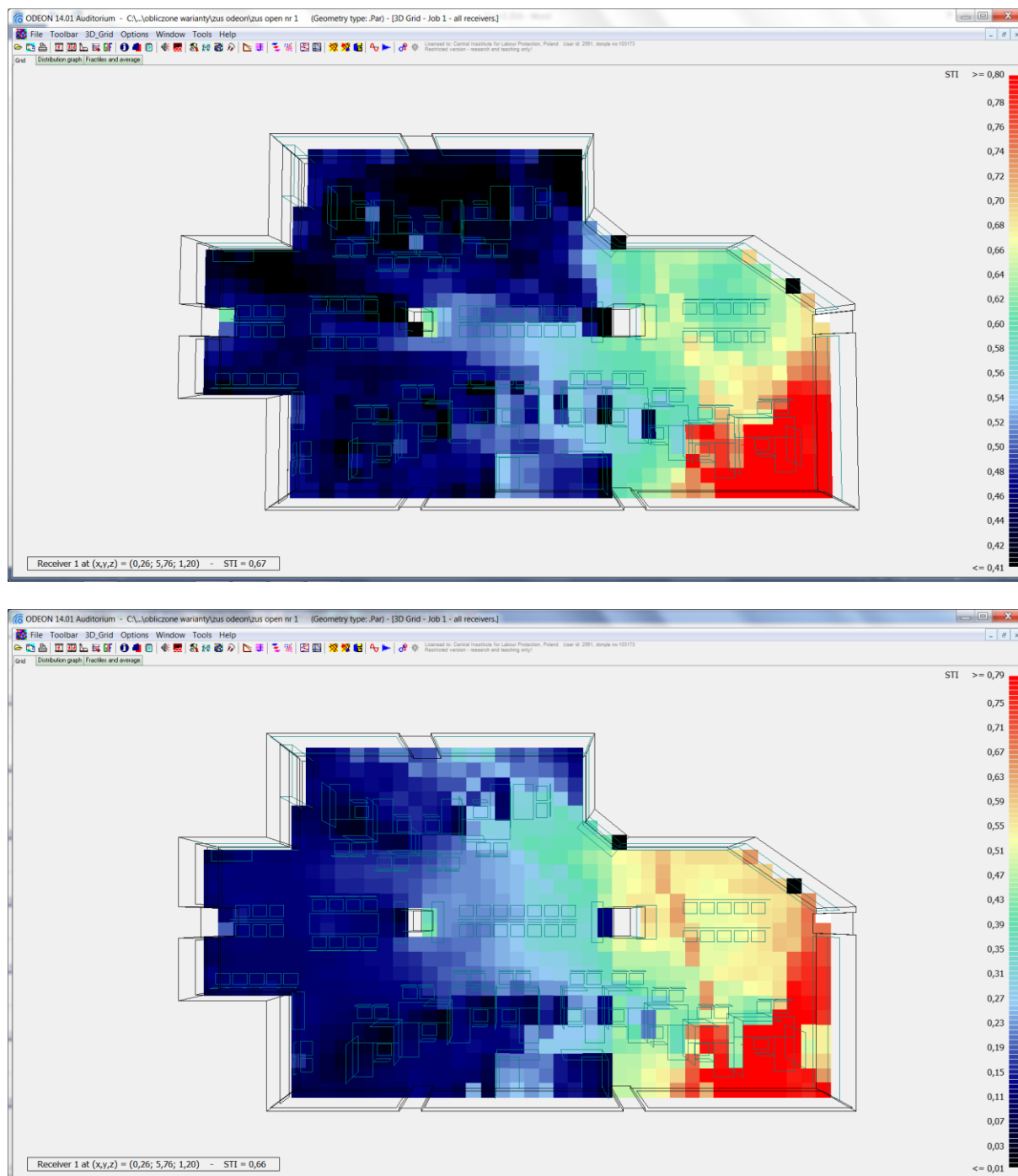
Rys. 8. Poziom dźwięku A mowy w funkcji odległości od źródła, poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m od źródła $L_{p,A,S,4m}$ oraz spadek poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości $D_{2,S}$, w rozpatrywanym pomieszczeniu (na górze dla wariantu w_1 , na dole dla wariantu w_6)



Rys. 9. Rozkład poziomu dźwięku A mowy w rozpatrywanym pomieszczeniu
(na górze dla wariantu w_1 , na dole dla wariantu w_6)



Rys. 10. Rozkład poziomu dźwięku A mowy dźwięku bezpośredniego w rozpatrywanym pomieszczeniu (na górze dla wariantu w_1 , na dole dla wariantu w_6)



Rys. 11. Rozkład wskaźnika transmisji mowy STI w rozpatrywanym pomieszczeniu
(na górze dla wariantu w_1 , na dole dla wariantu w_6)

5. PODSUMOWANIE

Dość powszechnie przyjmuje się [1, 4, 6, 8-10], że uzyskanie odpowiednich akustycznych warunków pracy oraz właściwości akustycznych pomieszczeń pracy open space jest bardzo trudne lub niemożliwe. Przeprowadzone badania to częściowo potwierdzają. Jednakże skorelowane działania, uwzględniające wiele elementów mających wpływ na warunki akustyczne w tych pomieszczeniach, mogą umożliwić uzyskanie odpowiednich warunków akustycznych określonych w przepisach PN-B-02151-4:2015 i PN-EN ISO 3382-3:2012 [2, 3]. Na podstawie przeprowadzonych badań wpływu ekranów akustycznych stosowanych przy stanowiskach pracy w pomieszczeniu open space do obsługi interesantów wynika, że tylko w przypadku jednoczesnego zastosowania dużej wysokości ekranów akustycznych przy jednoczesnym zapewnieniu bardzo dobrych właściwości dźwiękochłonnych ich powierzchni (w rozpatrywanym przypadku materiał o klasie pochłaniania dźwięku A i wysokości ekranów 1,8 m) uzyskano wartości wszystkich parametrów określonych w ww. przepisach spełniające tam podane kryteria, tj. uzyskano odpowiednie właściwości akustyczne pomieszczenia.

6. 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

7. LITERATURA

1. Smagowska B., Mikulski W., Radosz J.: Ocena hałasu na wybranych stanowiskach pracy call center metodą pomiarów stanowiskowych oraz techniką MIRE. *Bezpiecz. Pr.* 10, 24-27 (2012),
2. PN-B-02151-4:2015: Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa (2015).
3. PN-EN ISO 3382-3: 2012 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 3: Pomieszczenia biurowe “open space”. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa (2012).
4. Mikulski W., Warmiak I.: Obiektywne kryteria oceny właściwości akustycznych otwartych pomieszczeń biurowych. *Bezpiecz. Pr.* 11, 18-21 (2015).

5. Mikulski W., Warmiak I.: Metoda określania wskaźnika transmisji mowy STI i poziomu dźwięku A mowy w pomieszczeniach biurowych open space. W: Opieliński K. J. [red.]: monografia „Postępy Akustyki”, Polskie Towarzystwo Akustyczne Oddział we Wrocławiu: 509-522 (2015).
6. Mikulski W.: Warunki akustyczne w otwartych pomieszczeniach do prac administracyjnych – wyniki badań własnych, *Medycyna Pracy*: 67(5), 653–662 (2016).
7. Mikulski W.: Warunki akustyczne w pomieszczeniach biurowych open space – zastosowanie środków technicznych w typowym pomieszczeniu. CASE STUDY, przesłano do Redakcji *Medycyna Pracy* w 2016.
8. Rindel J. H.; Christensen C. L.: Acoustical simulation of open-plan offices according to ISO 3382-3, *Proceedings of the Eurnoise*, Prague, Czech Republic, Jun 10-13 (2012).
9. Keränen J.: Measurement and Prediction of the Spatial Decay of Speech in Open-Plan Offices, Aalto University publication series Doctoral Dissertations 23/2015, Finland, (2015).
10. Rindel J. H.: Prediction of acoustical parameters for open plan offices according to ISO 3382-3, *Proceedings of the Acoustics*, Hong Kong, China, May 13-18 (2012).

METODA OKREŚLANIA POZIOMU MOCY AKUSTYCZNEJ ŹRÓDEŁ HAŁASU W ZAKRESIE CZĘSTOTLIWOŚCI POWYŻEJ 10 kHz

Witold MIKULSKI

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
e-mail: wimik@ciop.pl

1. WPROWADZENIE

Podstawową wielkością fizyczną stosowaną do określania emisji hałasu źródeł jest poziom mocy akustycznej. Określa się go w oparciu o pomiar ciśnienia akustycznego lub natężenia dźwięku. Metody oparte na pomiarze tej pierwszej wielkości stosuje się w warunkach dyfuzyjnego lub quasi swobodnego pola akustycznego. W praktyce najczęściej stosowaną metodą jest metoda w oparciu o pomiar poziomu ciśnienia akustycznego w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad powierzchnią odbijającą. Metoda ta określona jest w polskich normach: PN EN ISO 3744:2011 (metoda dokładności technicznej – częściej stosowana) [1] oraz PN EN ISO 3746:2011 (metoda dokładności orientacyjnej) [2]. Metody te pozwalają określić poziom mocy akustycznej w tercjowych lub oktawowych pasmach częstotliwości z zakresu częstotliwości 100-10000 Hz lub poziom mocy akustycznej skorygowany charakterystyką częstotliwościową A. W 2015 r. ukazała się nowa norma PN-EN ISO 9295:2015 [3] w której przedstawiono metody (cztery) określania poziomu mocy akustycznej źródeł w zakresie częstotliwości od 11200 Hz do ok. 22400 Hz (tj. zakres częstotliwości tercjowych pasm częstotliwości od 12,5 kHz do 20 kHz). Metody tam opisane bazują na pomiarze poziomu ciśnienia akustycznego w polu dyfuzyjnym (trzy metody) oraz w polu swobodnym nad powierzchnią odbijającą (jedna metoda). Ta ostatnia jest zgodna w metodyce z metodą podaną w normie PN-EN ISO 3744:2011 [1], stanowi więc jakby uzupełnienie tam podanej metody na zakres częstotliwości od 10 kHz do 20 kHz. W metodzie tej ([3]) sygnalizuje się kilka zjawisk, istotnych z punktu widzenia określania poziomu mocy akustycznej w zakresie częstotliwości bliskich i powyżej 20 kHz.

W referacie zostanie przedstawiona propozycja metody określania poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu, w zakresie częstotliwości od 10 kHz do 40 kHz w oparciu o pomiar poziomu ciśnienia akustycznego w polu quasi swobodnym nad płaszczyzną odbijającą dźwięk. Metoda ta jest zmodyfikowaną metodą podaną przez W. Mikulskiego i J. Radosza w 2009-2010 r. [4,5]. Modyfikacje dotyczą głównie uściśleń wynikających z nowych standardów podanych w normach PN-EN ISO 3744:2011 [1] oraz PN-EN ISO 9295:2015 [3].

W tym aspekcie odnosząc się do powszechnie stosowanego standardu określonego w PN EN ISO 3744:2011 [1] oraz jego rozszerzenia podanego w PN-EN ISO 9295:2015 [3], uściślenia dotyczą głównie: przyjęcia tylko jednej (z dwóch podanych w PN-EN ISO 3744:2011 [1]) powierzchni pomiarowych, zwiększenia liczby punktów pomiarowych (niż podano w PN-EN ISO 3744:2011 [1] i PN-EN ISO 9295:2015 [3]) ze względu na dużo większe właściwości kierunkowej emisji energii akustycznej w tym zakresie częstotliwości, uwzględnienia tłumienia dźwięku w powietrzu (pominiętej w PN-EN ISO 3744:2011 [1] oraz marginalnie potraktowanej w PN-EN ISO 9295:2015 [3]) oraz zastosowania skanowania automatycznego na powierzchni pomiarowej (jak podano w [5] oraz PN-EN ISO 9295:2015 [3]).

2. METODA POMIARU POZIOMU MOCY AKUSTYCZNEJ ŹRÓDEŁ HAŁASU W POLU QUASI SWOBODNYM NAD POWIERZCHNIĄ ODBIJAJĄCĄ W OPARCIU O POMIAR POZIOMU CIŚNIENIA AKUSTYCZNEGO

2.1. Ogólny opis metody

Metoda określania poziomu mocy akustycznej źródła hałasu (maszyny, urządzenia) polega na obliczeniu tego parametru ze zmierzonego poziomu ciśnienia akustycznego bieżącej fali akustycznej na powierzchni pomiarowej wokół źródła. Dlatego środowisko pomiaru to obszar, w którym energia fali bezpośrednio rozchodzącej się od źródła powinna dominować. Ze względów praktycznych (m.in. posadowienia źródła oraz możliwości umieszczenia mikrofonu pomiarowego), pomiary przeprowadza się nad płaszczyzną podłoża odbijającą dźwięk. Przyjmuje się więc, że źródło promieniuje energię akustyczną w półprzestrzeń 2π sr, tzn. pole powierzchni czoła fali akustycznej w odległości r od źródła wynosi $2\pi r^2$. Zakładając, że źródło promieniuje wszechkierunkowo energię akustyczną wówczas poziom mocy akustycznej źródła określa się ze wzoru

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

gdzie $L_{p,f}$ – poziom ciśnienia akustycznego w odległości r w metrach, dla częstotliwości f , od wszechkierunkowego źródła hałasu umieszczonego na płaszczyźnie idealnie odbijającej dźwięk (tzn. współczynnik pochłaniania dźwięku powierzchni płaszczyzny odbijającej α wynosi 0), w dB.

W warunkach rzeczywistych: źródła nie emitują energii akustycznej wszechkierunkowo (dlatego trzeba uśrednić poziom ciśnienia na powierzchni pomiarowej), poza falą bezpośrednią od źródła do mikrofonu docierają fale odbite (ponieważ mierzy się wypadkowy

poziom ciśnienia akustycznego fal bezpośrednich i odbitych, z tak otrzymanego wyniku trzeba wyeliminować wpływ fal odbitych – co wykonuje się stosując tzw. poprawkę środowiskową K_2), poza energią akustyczną od źródła na mierzony poziom ciśnienia akustycznego ma wpływ także tło akustyczne (trzeba jego wpływ wyeliminować z wyników pomiarów – co wykonuje się stosując tzw. poprawkę K_1), zmierzony poziom ciśnienia akustycznego jest zaniżony ponieważ na jego wartość miało wpływ tłumienie dźwięku w powietrzu (trzeba więc jego wartość skorygować – co wykonuje się stosując tzw. poprawkę K_a).

Uwzględniając wszystkie te uwarunkowania poziom mocy akustycznej źródła akustycznego w polu quasi swobodnym nad powierzchnią odbijającą określa się ze wzoru:

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

gdzie:

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

r – promień półkulistej powierzchni pomiarowej (przyjęto powierzchnię półkulistą), w metrach,

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

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

$K_{a,f}$ – poprawka wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu, dla częstotliwości f w Hz, w dB.

Metoda określania poziomu mocy akustycznej obejmuje wykonywanie szeregu czynności, które przeprowadza się sekwencyjnie, jednakże wzajemnie one na siebie wpływają, co powoduje konieczność powtarzania ich ze zmienionymi parametrami wejściowymi. Na początku wybiera się powierzchnię pomiarową (półkulę, walec lub prostopadłościan) oraz promień powierzchni pomiarowej (dwie pierwsze), odległość pomiarową (prostopadłościan). Następnie kwalifikuje się środowisko do badań pod względem uzyskania quasi swobodnego pola akustycznego (za pomocą poprawki $K_{2,f}$). Na wynik kwalifikacji poza właściwościami pomieszczenia (gdy pomiary przeprowadza się w przestrzeni zamkniętej) będzie miało także wpływ pole powierzchni pomiarowej, dlatego w przypadku nie uzyskania pozytywnej kwalifikacji środowiska powierzchnię pomiarową można zmniejszać, aż do momentu uzyskania pozytywnej kwalifikacji środowiska (obowiązują tutaj, podane dalej, pewne ograniczenia). Niestety zmniejszanie powierzchni pomiarowej wymusza konieczność zwiększania liczby punktów pomiarowych, co powoduje duży wzrost pracochłonności

pomiarów. Następnym krokiem jest określenie liczby punktów pomiarowych. Następnie określa się uśredniony poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej, zarówno podczas pracy źródła, jak i przy źródle wyłączonym (hałas tła obejmuje hałas aparatury pomiarowej). Pomiary te pozwalają określić różnicę tych poziomów ΔL_f i z niej poprawkę $K_{1,f}$. W tym również przypadku, gdy różnica poziomów nie spełnia kryteriów metody, można spowodować jej zwiększenie przyjmując powierzchnię pomiarową bliżej źródła (zwiększy się średni poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej przy pracującym źródle hałasu). Oczywiście w tym również przypadku, w większości przypadków, konieczne będzie zwiększenie liczby punktów pomiarowych. W tym miejscu metody należy sprawdzić, czy źródło nie emituje energii akustycznej zbyt kierunkowo (jeżeli tak, to należy zwiększyć liczbę punktów pomiarowych: albo równomiernie na powierzchni pomiarowej albo w obszarze w którym występuje największa kierunkowa emisja energii akustycznej). Oczywiście dla tak przyjętej nowej powierzchni pomiarowej lub nowych punktów pomiarowych pomiary będzie trzeba wykonać ponownie. Następnie określa się poprawkę wynikającą z tłumienia dźwięku w powietrzu (w istocie poprawkę tą można już wcześniej zastosować do skorygowania uśrednionego poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej, ale tylko przy pracującym źródle – nie dotyczy ona tła akustycznego).

Niżej przedstawiono wszystkie ww. elementy przedstawionej metody.

2.2. Wybór powierzchni pomiarowej

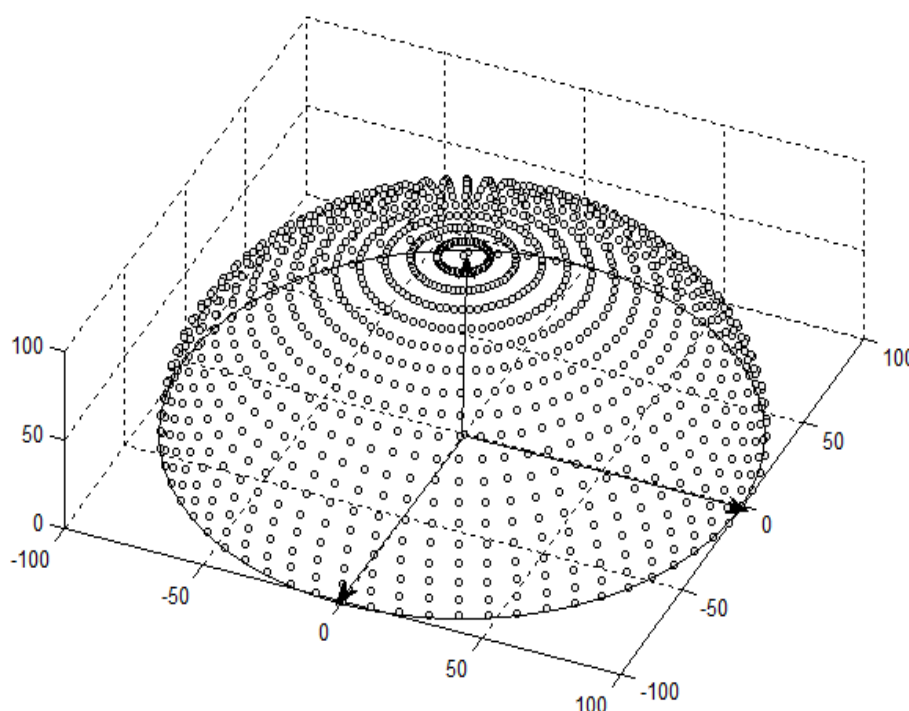
Powierzchnia pomiarowa to powierzchnia wokół źródła hałasu ograniczona od dołu powierzchnią odbijającą. Wewnątrz obszaru ograniczonego tą powierzchnią pomiarową i płaszczyzną podłoża, znajduje się źródło hałasu oraz tzw. prostopadłościan odniesienia – najmniejszy prostopadłościan opisany na źródle. Przyjmuje się następujące kształty powierzchni pomiarowych:

- półkula (Rys. 1), połowa półkuli lub ćwiartka półkuli o promieniu r (dwie ostatnie mają zastosowanie, gdy w sąsiedztwie źródła znajduje się więcej niż jedna (podłoże) płaszczyzna odbijająca – nie będą one tutaj rozpatrywane); dla półkuli musi być spełniony warunek $r \geq 2d_0$ (d_0 – odległość środka podstawy prostopadłościanu odniesienia od górnego wierzchołka Rys. 2; powierzchnie te uwzględniają metody podane w [1-5])
- prostopadłościan o ścianach bocznych równoległych do prostopadłościanu odniesienia, umieszczonych w odległości d (odległości pomiarowej) od odpowiednich ścian bocznych prostopadłościanu odniesienia (uwzględniają ją metody podane w [1, 3, 5]),

- cylinder, połowa cylindra lub ćwiartka cylindra o średnicy $2R$ i wysokości h , (uwzględniają je metody podane w [1, 3])
- kombinacja dwóch powierzchni o kształcie półkuli, prostopadłościanu lub walca (uwzględniają je metody podane w [1-3, 5]).

W przedstawionej metodzie ze względu na spodziewaną dużą liczbę punktów pomiarowych [4, 5] oraz wymagań określonych w [1] dotyczących źródeł tonalnych (np. zgrzewarki to jedno z trzech typów dominujących źródeł tonalnych emitujących hałas ultradźwiękowy, dla których poziom mocy akustycznej określa się wąskopasmowo – analiza FFT lub w pasmach 1/12 oktaowych), wybrano półkolistą powierzchnię pomiarową.

Powierzchnia pomiarowa przedstawiona jest na Rys. 1.



Rys. 1. Powierzchnia pomiarowa w zastosowanej metodzie z zaznaczonymi punktami pomiarowymi (liczba punktów pomiarowych powyżej 1000)

Promień półkulistej powierzchni pomiarowej r przyjmuje się wstępnie na równy 1 m. (W przedstawionej metodzie wiele parametrów np. liczba punktów pomiarowych, pole powierzchni pomiarowej przyjmuje się wstępnie. Następnie sprawdza się obliczeniowo lub pomiarowo czy są przyjęte właściwie, tj. czy przy tak przyjętych danych spełnione są wszystkie kryteria. Jeżeli nie to modyfikuje się wartości parametrów przyjętych wstępnie, aż do momentu spełnienia zakładanych kryteriów).

W przypadku, gdy nie są spełnione warunki na środowisko badawcze (za duża wartość poprawki K_2 , tj. $K_2 > 4$ dB) promień r można zmniejszyć poniżej 1 m, ale z zachowaniem, że $r \geq 2d_0$ oraz $r \geq 0,5$ m. Ogólne rzecz biorąc promień półkulistej powierzchni pomiarowej

r musi zapewniać, żeby $K_2 \leq 4$ dB oraz musi on być co najmniej dwukrotnie większy niż podwojony charakterystyczny wymiar źródła d_0 , a jednocześnie nie może być większy niż 16 m ($d_0 \leq r \leq 16$ m wg) [1].

2.3. Kwalifikacja środowiska badawczego

Poprawka środowiskowa K_2 , w przestrzeni otwartej nad płaszczyzną odbijającą jest równa 0. W pomieszczeniach poprawkę środowiskową dla półkulistej powierzchni pomiarowej, K_2 , w dB, oblicza się dla częstotliwości f , ze wzoru:

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

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:

$$A_f = 0,16 \frac{V}{T_f}, \quad (4)$$

gdzie:

V – objętość pomieszczenia badawczego, w m^3 ;

T_f – czas pogłosu dla częstotliwości, w sekundach.

Wg [1] poprawka na środowisko badawcze musi być nie większa od 4 dB (w szczególności $K_{2A} \leq 4$ dB).

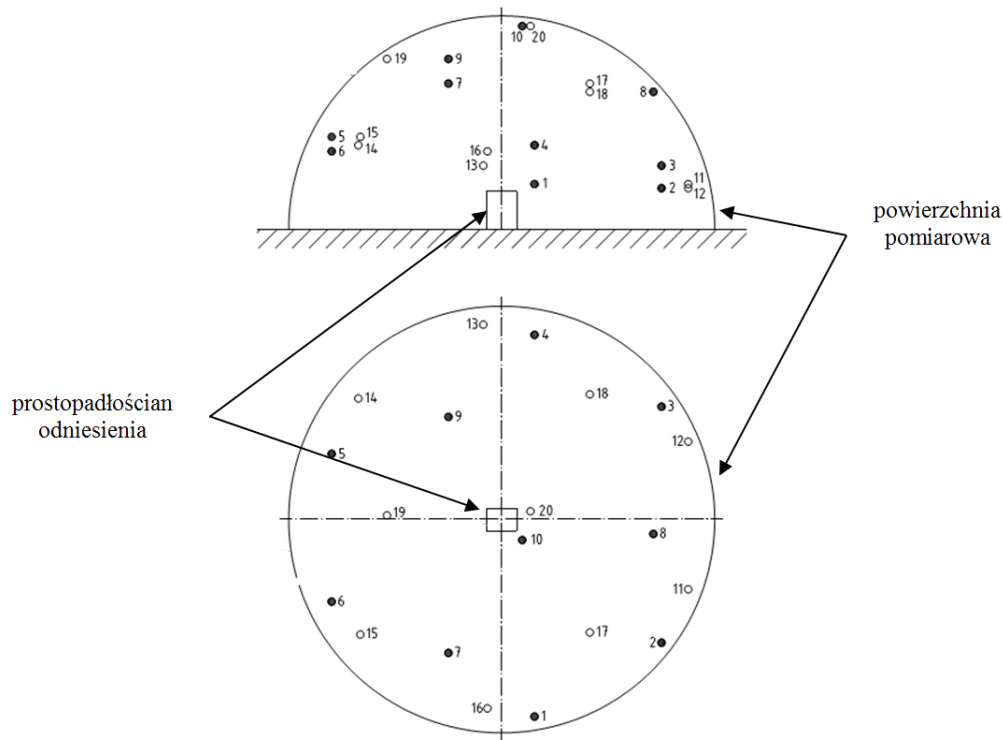
W przedstawionej metodzie przyjęto, że poprawka na środowisko badawcze w każdym paśmie częstotliwości, w którym określa się poziom mocy akustycznej, musi być nie większa od 4 dB (tj. $K_{2,f} \leq 4$ dB).

2.4. Pozycje mikrofonu na powierzchni pomiarowej

W przedstawionej metodzie pomiary przeprowadza się na powierzchni półkulistej w punktach pomiarowych (Rys. 2) lub metodą skanowania na okręgach (Rys. 3).

Wstępnie przyjęta liczba punktów pomiarowych wynosi 10 wg [1, 3] (Rys. 2 numery punktów 1-10; [1] – dotyczy pasma częstotliwości 100-10000 Hz, [3] – dotyczy pasma częstotliwości 10000-20000 Hz); w niektórych przypadkach liczbę tą trzeba podwoić tj. 20 punktów pomiarowych [1, 3] Rys. 2, tj. numery punktów 1-20) lub znacznie więcej [4, 5] (np. Rys. 1 – liczba punktów 1025). Wg [1] liczbę punktów należy podwoić, gdy maksymalna różnica poziomu dźwięku A określonych w 10 punktach przekracza 10 dB lub gdy wskaźnik pozornej kierunkowości skorygowany charakterystyką częstotliwościową A (patrz niżej wzór 5) przekracza wartość 5 dB w jakimkolwiek kierunku, albo hałas jest emitowany przez małą część źródła (np. przez otwory w obudowie maszyny). W przedstawionej metodzie kryterium

to odnosi się dla wszystkich rozpatrywanych częstotliwości. Liczba punktów pomiarowych wynika m.in. z właściwości kierunkowej emisji hałasu źródła i dalej w rozdziale *Liczba pozycji mikrofonu na półkulistej powierzchni pomiarowej* podano empiryczne przesłanki jej wyznaczenia dla źródeł emitujących energię akustyczną w zakresie częstotliwości 10-40 kHz wg [4]. W przedstawionej metodzie przyjęto że startowa liczba punktów pomiarowych wynosi 37 (punkty rozmieszczone na powierzchni kuli co 30°).



Rys. 2. Punkty pomiarowe na powierzchni pomiarowej wg [1]

Wskaźnik pozornej kierunkowości $D_{I,i}$ w kierunku i , w dB, wynosi:

$$D_{I,x,i} = L_{p,x,i} - \overline{L_{p,x}} - K_{1,x}, \quad (5)$$

gdzie:

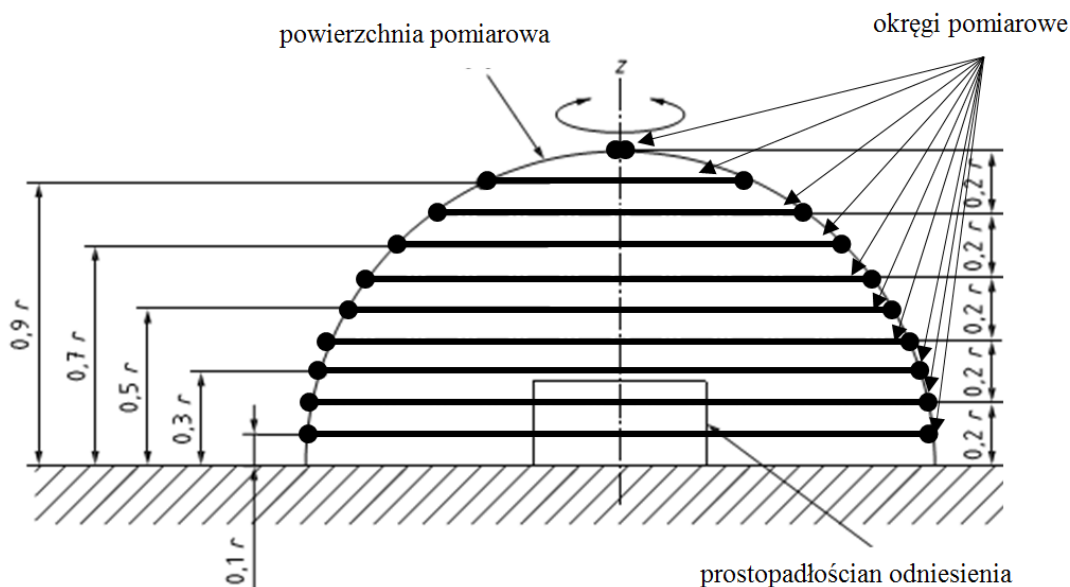
x – gdzie: A – ważony charakterystyką A , f – dla częstotliwości f ,

$D_{I,A,i}$ lub $D_{I,f,i}$ – wskaźnik pozornej kierunkowości dla poziomu dźwięku A lub poziomu ciśnienia akustycznego dla częstotliwości f , w kierunku określonym przez punkt pomiarowy o numerze i , w dB,

$L_{p,A,i}$ lub $L_{p,f,i}$ – poziom dźwięku A lub poziom ciśnienia akustycznego dla częstotliwości f na powierzchni pomiarowej w punkcie pomiarowym o numerze i , w dB,

$\overline{L_{p,A}}$ lub $\overline{L_{p,f}}$ – uśredniony na powierzchni pomiarowej poziom dźwięku A lub uśredniony poziom ciśnienia akustycznego dla częstotliwości f , w dB,

$K_{1,A}$ lub $K_{1,f}$ – poprawki uwzględniające hałas tła odpowiednio dla poziomu dźwięku A lub poziomu ciśnienia akustycznego dla częstotliwości f , w dB.



Rys. 3. Współosiowe kołowe (okręgi pomiarowe) tory mikrofonu na półkulistej powierzchni pomiarowej o promieniu r – metoda skanowania (wg [1, 3, 5])

Pomiary metodą skanowania uzyskuje się przemieszczając mikrofon po okręgach równoległych do powierzchni odbijającej (podłoże), a jednocześnie na powierzchni półkuli pomiarowej. Możliwe są dwa sposoby technicznej realizacji takich pomiarów: źródło w stałej pozycji, a mikrofon przesuwany np. ramieniem obrotowym [3] lub mikrofon w stałej pozycji, a źródło obracane na stoliku obrotowym [3-5] (Rys. 2). Liczba okręgów jest wg [3] równa 10.

Liczba okręgów pomiarowych wynika m.in. z właściwości kierunkowej emisji hałasu źródła i dalej podano empiryczne przesłanki jej wyznaczenia dla źródeł emitujących energię akustyczną w zakresie częstotliwości 10-40 kHz wg [5]. W przedstawionej metodzie przyjęto, że startowa liczba okręgów pomiarowych wynosi 8.

2.5. Obliczanie średniego poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej

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

$$\overline{L_{p,f}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{p,i}} \right), \quad (6)$$

gdzie:

n – liczba punktów pomiarowych,

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

2.6. Obliczanie poprawki K_{1f}

Poprawkę uwzględniającą hałas tła, K_1 , dla częstotliwości f , oblicza się, w dB, ze wzoru:

$$K_{1,f} = -10 \cdot \lg(1 - 10^{-0,1 \cdot \Delta L_{p,f}}), \quad (7)$$

gdzie:

$$\Delta L_{p,f} = \overline{L_{p,zr,f}} - \overline{L_{p,tlo,f}}, \quad (8)$$

$\overline{L_{p,zr,f}}$ – średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości f na powierzchni pomiarowej, podczas pracy źródła hałasu, w dB,

$\overline{L_{p,tlo,f}}$ – średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości f na powierzchni pomiarowej, tła akustycznego, w dB.

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

Dla $6 \text{ dB} \leq \Delta L_{p,f} \leq 15 \text{ dB}$ 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.

2.7. Poprawka wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu $K_{\alpha,f}$

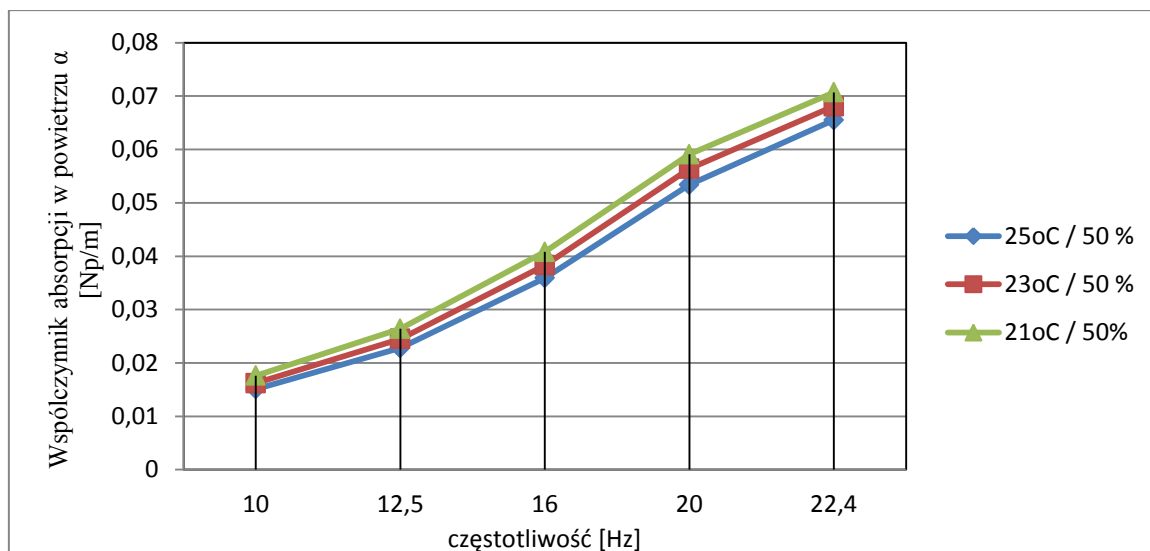
Poprawki wynikającej z tłumienia dźwięku w powietrzu nie uwzględnia się wg [1] tj. w paśmie częstotliwości do 10 kHz. Wg [3] poprawkę uwzględnia się w paśmie częstotliwości od 10 kHz do 20 kHz dla promienia powierzchni pomiarowej półkulistej większego od 2 m ($r > 2$ m).

W przedstawionej metodzie poprawkę wynikającą z tłumienia dźwięku w powietrzu uwzględnia się w całym rozpatrywanym zakresie częstotliwości tj. od 10 kHz do 40 kHz.

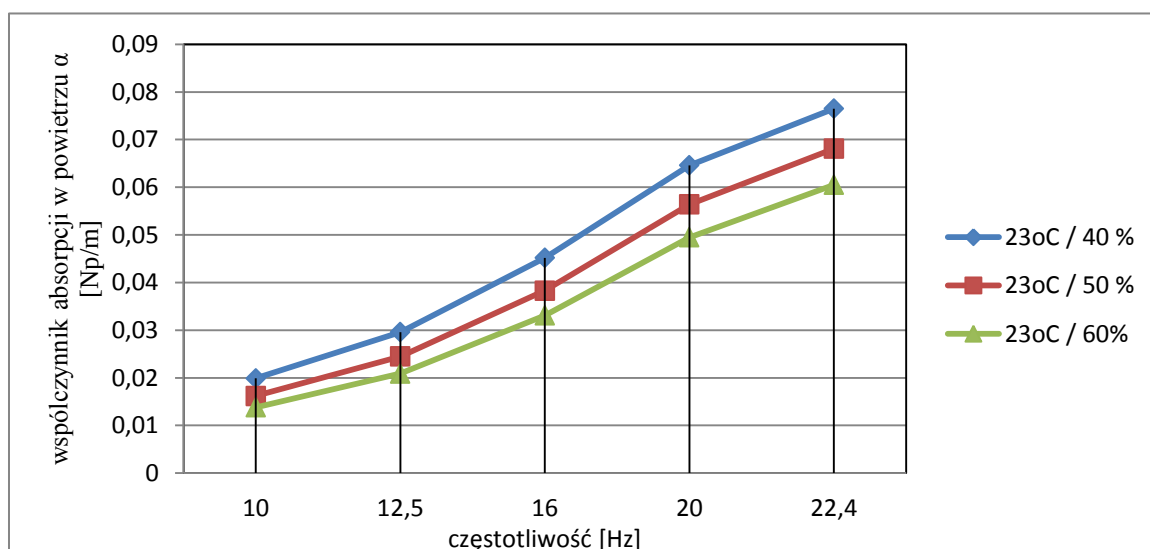
Określa się ją, w dB, ze wzoru:

$$K_{\alpha,f} = r \cdot \alpha_f, \quad (9)$$

gdzie α_f – współczynnik absorpcji w dB/m [3]. Współczynnik ten można wyznaczyć z Rys. 5 i Rys. 6 wg [3, 6, 7].



Rys. 5. Wartości współczynnika absorpcji w powietrzu α w funkcji częstotliwości dla temperatury 23°C i różnych wilgotności [Np/m] wg [3]



Rys. 6. Wartości współczynnika absorpcji w powietrzu α w funkcji częstotliwości dla wilgotności 50% i różnych temperatur [Np/m] wg [3]

3. LICZBA POZYCJI MIKROFONU NA PÓLKULISTEJ POWIERZCHNI POMIAROWEJ

W rozdziale przeprowadzono analizę przesłanek dotyczącą przyjęcia wstępnej liczby punktów pomiarowych i okręgów pomiarowych (na których wykonuje się skanowanie).

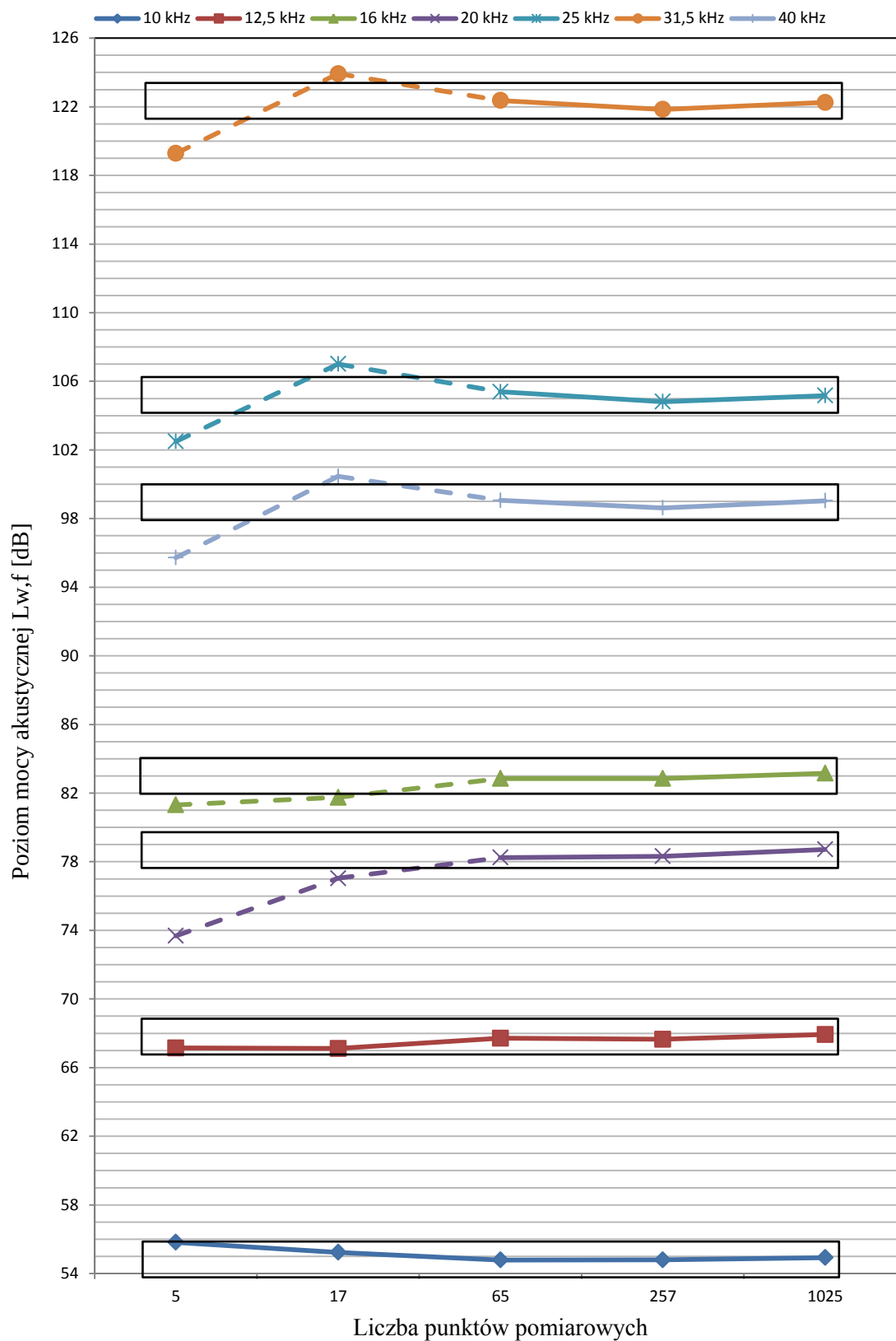
Punktem wyjścia są oczywiście liczby punktów i okręgów pomiarowych podane wyżej tj. wg [1, 3] liczba punktów pomiarowych wynosi 10 lub 20 oraz wg [3] liczba okręgów pomiarowych wynosi 10 (patrz podrozdział *Pozycje mikrofonu na powierzchni pomiarowej*).

W [4] przeprowadzono badania wpływu liczby punktów pomiarowych oraz okręgów pomiarowych na wyniki pomiarów, a w szczególności na wyniki określania poziomu mocy akustycznej. Liczba punktów pomiarowych na półkuli pomiarowej rozmieszczonych

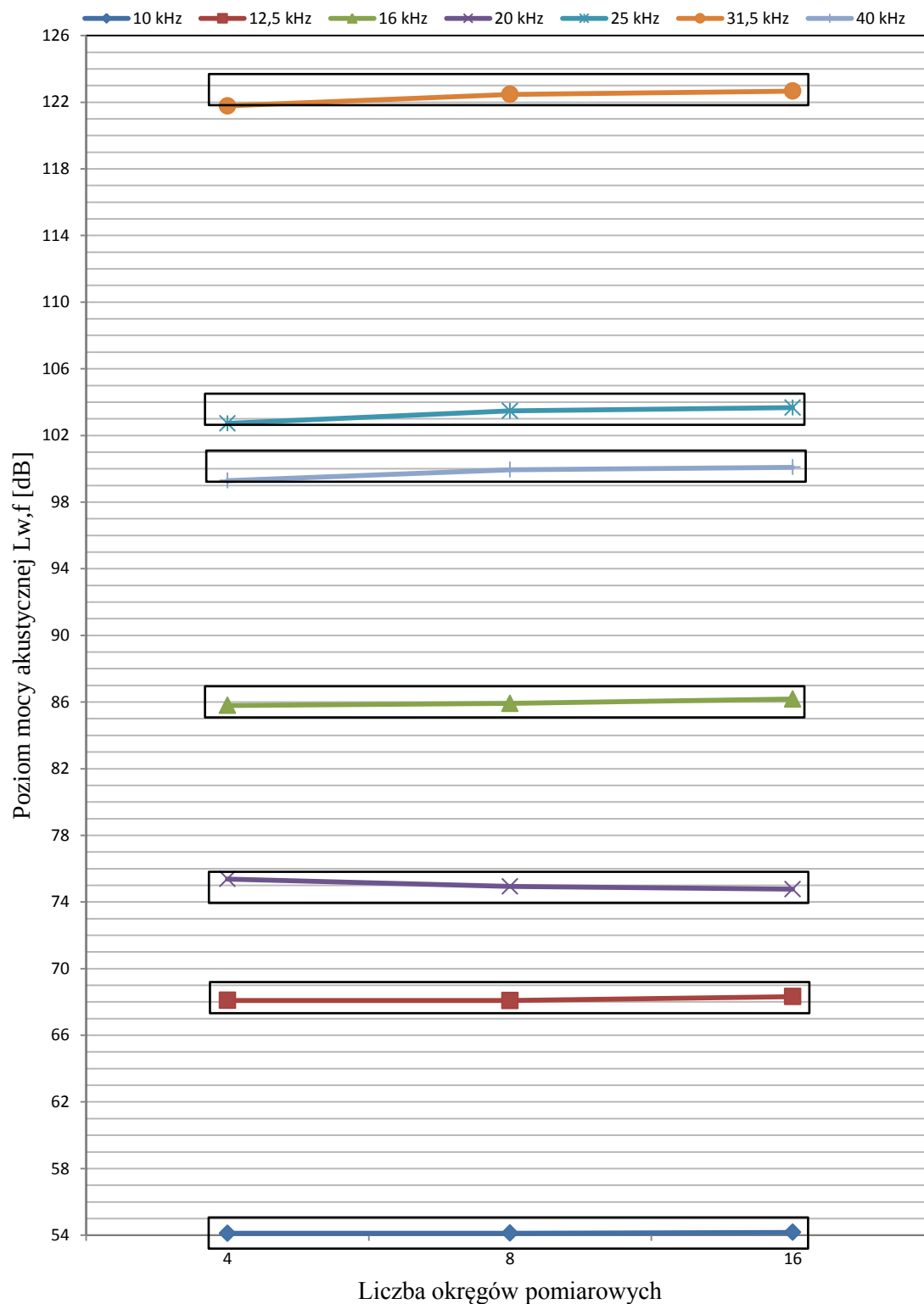
równomiernie co 90° wynosi 5, co 45° – 17, co 30° – 37, co $22,5^\circ$ – 65, co 15° – 145, co $11,25^\circ$ – 257, $7,5^\circ$ – 577, $5,625^\circ$ – 1025 itd. Przyjęcie liczby punktów pomiarowych z szeregu: 5, 17, 37, 65, 145, 257, 577, 1025, itd. znacznie przyspiesza ich wyznaczenie i w dużym stopniu skraca czas pomiarów (stosując układ współrzędnych biegunowych). Na Rys. 7 podano wyniki pomiarów poziomu mocy akustycznej źródła hałasu (płuczki ultradźwiękowej) metodą pomiaru w punktach pomiarowych. Przyjmując, że poziom mocy akustycznej określony z 1025 punktów pomiarowych na półkulistej powierzchni pomiarowej (rozmieszczenie punktów w siatce co ok. 5° kątowych) jest dokładne oraz że akceptuje się wyniki pomiarów różniące się od tej wartości o ± 1 dB, wyraźnie można zauważyć, że dla częstotliwości 16 kHz i większych minimalna liczba punktów pomiarowych wynosi 65 (w szczególności interpolując wyniki pomiarów wynosi ok. 40). Przyjmując najbliższą liczbę z szeregu podanego wyżej za odpowiednią do przyjętej na wstępie liczby punktów pomiarowych wynosi ona 37. Jest to liczba ok. czterokrotnie większa w stosunku do przyjętej wstępnie lub nawet dwukrotnie większa (w stosunku do 20) przyjętej jako ostateczna liczby punktów pomiarowych podanej w [1, 3]. Wynika z tego, że w rozpatrywanym zakresie częstotliwości konieczne jest 2-4 zwiększenie liczby punktów pomiarowych niż stosuje się dotychczas w zakresie częstotliwości poniżej 10 kHz (a nawet do 20 kHz).

Na Rys. 8 podano wyniki pomiarów poziomu mocy akustycznej źródła hałasu (płuczki ultradźwiękowej) metodą pomiaru skanowania na okręgach (liczba okręgów pomiarowych 4, 8, 16). Przyjmując, że poziom mocy akustycznej określony z 16 okręgów pomiarowych określony jest dokładnie oraz że akceptuje się wyniki pomiarów różniące się od tej wartości o ± 1 dB, wyraźnie można zauważyć, że dla wszystkich częstotliwości minimalna liczba okręgów pomiarowych wynosi 4. Ponieważ w [1, 3] przyjęto liczbę punktów pomiarowych 10 z wyników widać, że jest możliwe znaczne zmniejszenie liczby okręgów pomiarowych. Biorąc jednak pod uwagę możliwość wystąpienia dużej kierunkowości źródła w płaszczyźnie pionowej (w płaszczyźnie poziomej automatycznie zostanie ona uwzględniana podczas skanowania na okręgach), a także biorąc pod uwagę stosunkowo małą różnicę w pracochłonności pomiarów między skanowaniem na 4 i 8 okręgach, przyjęto wstępną liczbę okręgów skanowanych równą 8.

Reasumując do wyznaczenia poziomu mocy akustycznej źródeł w zakresie częstotliwości powyżej 10 kHz (do 40 kHz) należy zastosować pomiary na półkulistej powierzchni pomiarowej w minimum 37 punktach pomiarowych (obecny standard dla pomiarów do 20 kHz zaleca 10-20 punktów) lub pomiar na 8 okręgach pomiarowych (obecny standard dla pomiarów do 20 kHz zaleca 10 okręgów).



Rys. 7. Wyniki pomiarów poziomu mocy akustycznej płuczki ultradźwiękowej Intersonic typ IS-4 uwzględniające różną liczbę punktów pomiarowych.



Rys. 8. Wyniki pomiarów poziomu mocy akustycznej płuczki ultradźwiękowej Inter sonic typ IS-4 uwzględniające różną liczbę okręgów pomiarowych.

4. PODSUMOWANIE

Typowymi źródłami hałasu emitującymi hałas w zakresie częstotliwości powyżej 10 kHz są tzw. technologiczne źródła hałasu ultradźwiękowego (np. myjki/płuczki ultradźwiękowe, zgrzewarki ultradźwiękowe i drążarki ultradźwiękowe [4, 5, 8]). Część energii wibroakustycznej tych źródeł promieniowana jest do otoczenia źródła drogą powietrzną i docierając do pracownika staje się czynnikiem szkodliwym środowiska pracy. Dlatego znajomość wielkości emisji hałasu jest istotna z punktu widzenia wnoszonego zagrożenia hałasem na stanowiskach pracy. Wynika z tego potrzeba znajomości emisji hałasu w zakresie częstotliwości emisji technologicznych źródeł ultradźwiękowych tj. w zakresie częstotliwości powyżej 10 kHz.

W przedstawionej metodzie określania poziomu mocy akustycznej w zakresie częstotliwości powyżej 10 kHz (do 40 kHz) uwzględniono metody podane w PN-EN ISO 3744:2015 [1] (dotyczy zakresu częstotliwości do 10 kHz), PN-EN ISO 9295:2015 [3] (dotyczy zakresu częstotliwości 10-20 kHz) oraz metodę opisaną przez W. Mikulskiego i J. Radosza z 2009-2010 r. [4, 5] (dotyczyła zakresu częstotliwości 10-40 kHz). Z badań wynika, że w stosunku do metod określonych w ww. normach konieczne jest w zakresie częstotliwości 10-40 kHz zastosować powierzchnie pomiarową w kształcie półkuli oraz należy 2-4 krotnie zwiększyć liczbę punktów pomiarowych (tj. zastosować punkty rozmieszczone równomiernie co ok. 30° kąta płaskiego) lub nieco obniżyć niż podaną w [1-3] liczbę okręgów na których wykonuje się skanowanie (tj. zastosować 8 okręgów pomiarowych). Konieczne jest także uwzględnienie korekcji wynikającej z tłumienia dźwięku w powietrzu, nawet dla promienia powierzchni pomiarowej poniżej 1 m (wg [3] do 2 m włącznie tłumienia dźwięku w powietrzu nie trzeba uwzględniać). Konieczne jest także bardzo dokładne kontrolowanie właściwości kierunkowych źródeł i ewentualne zwiększenie liczby punktów lub okręgów pomiarowych (w tym zakresie częstotliwości silne właściwości kierunkowe źródeł występują bardzo często). I wreszcie konieczne jest określenie czy źródło nie emituje energii akustycznej tonalnie. W przypadku, gdy tak jest, konieczne jest określenie poziomu mocy akustycznej w węższych pasmach częstotliwości niż pasma tercjowe. Można tutaj zastosować analizę FFT, ale za wystarczającą należy przyjąć analizę w pasmach częstotliwości o szerokości 1/12 oktawy.

5. PODZIĘKOWANIA

Referat został 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

6. LITERATURA

1. 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.
2. PN-EN ISO 3746:2011, Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej i poziomów energii akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metoda orientacyjna z zastosowaniem otaczającej powierzchni pomiarowej nad płaszczyzną odbijającą dźwięk.
3. PN-EN ISO 9295:2015-09, Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy hałasu wysokiej częstotliwości emitowanego przez maszyny i urządzenia.
4. 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).
5. 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).
6. PN-ISO 9613-1:2000, Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej – Obliczanie pochłaniania dźwięku przez atmosferę.
7. PN-ISO 9613-2:2002, Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej – Ogólna metoda obliczania.
8. Smagowska B., Ultrasonic noise sources in the work environment. Archives of Acoustics Vol. 38, No. 2, p. 169-176 (2013).
9. Smagowska B., Narażenie na hałas o częstotliwości 10-40 kHz na stanowiskach pracy zgrzewarek ultradźwiękowych. Przykład profilaktyki. PIMOŚ Nr 2 (88) str. 5-13 (2016).

WSPOMAGANIE PROFILAKTYKI ZAGROŻEŃ WIBROAKUSTYCZNYCH W ŚRODOWISKU PRACY NA PRZYKŁADZIE SERWISU INTERNETOWEGO BEZPIECZNIEJ

Leszek MORZYŃSKI

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

1. WPROWADZENIE

Szkodliwe czynniki fizyczne [1], takie jak m.in. hałas i drgania mechaniczne występują powszechnie w środowisku pracy. Dane GUS [2] wskazują, że liczba osób pracujących w zagrożeniu czynnikami fizycznymi przekracza 250 tys. osób. Rzeczywistą skalę zagrożenia można jednak oszacować jako co najmniej dwukrotnie większą, gdyż dane GUS nie obejmują zakładów pracy zatrudniających mniej niż 10 pracowników. Praca w narażeniu na szkodliwe czynniki środowiska pracy prowadzi do powstawania chorób zawodowych. Konieczne jest zatem powadzenie działań profilaktycznych prowadzących do likwidacji lub ograniczania zagrożeń oraz ograniczania narażenia pracowników. Pierwszym stopniem na drodze właściwej profilaktyki jest przede wszystkim świadomość występowania zagrożeń w środowisku pracy oraz odpowiednia wiedza na temat skutków ich oddziaływania na człowieka oraz na temat metod ograniczania tych zagrożeń i ich skutków. Zasady profilaktyki zagrożeń w środowisku pracy mają również swoje umocowanie w przepisach prawa. Występowanie w zakładzie pracy zagrożeń czynnikami szkodliwymi środowiska pracy nakłada na pracodawców i pracowników szereg obowiązków, mających na celu ograniczenie narażenia pracowników. Niedopełnienie tych obowiązków zagrożone jest przewidzianymi w przepisach sankcjami. Niestety, często zdarza się, że obowiązki te nie są wykonywane lub są wykonywane w sposób nieprawidłowy. Przyczynami tych nieprawidłowości jest często brak odpowiedniej wiedzy dotyczącej niebezpieczeństw związanych z narażeniem na poszczególne czynniki fizyczne oraz zasad ich właściwej profilaktyki, co skutkuje lekceważeniem możliwych następstw zdrowotnych. Części pracodawców i pracowników sprawia również problem prawidłowa interpretacja przepisów bhp oraz prawidłowe zastosowanie metod oceny narażenia.

Z przedstawionych powyżej względów istotnym jest zapewnienie pracodawcom i pracownikom łatwego dostępu do przyjaznych użytkownikom – o różnym stopniu wykształcenia i wiedzy w dziedzinie bhp – materiałów o charakterze informacyjno-szkoleniowym, które wspomagałyby zainteresowane osoby w prowadzeniu profilaktyki

zagrożeń czynnikami fizycznymi środowiska pracy. W obecnych czasach środkiem umożliwiającym upowszechnianie wiedzy dla szerokiego grona odbiorców jest Internet. W latach 2010-2013 w Zakładzie Zagrożeń Wibroakustycznych CIOP – PIB opracowano serwis internetowy BEZPIECZNIEJ wspomagających profilaktykę zagrożeń fizycznych w środowisku pracy [3]. Serwis ten jest aktualizowany i rozbudowywany, aby zapewnić jego użytkownikom dostęp do jak najszerzej aktualnej i adekwatnej do ich potrzeb wiedzy w zakresie profilaktyki wspomnianych zagrożeń. W dalszej części artykułu omówiono strukturę oraz zawartość serwisu na przykładzie hałasu i drgań mechanicznych oraz przedstawiono plany dalszego rozwoju serwisu.

2. STRUKTURA I ZAWARTOŚĆ SERWISU BEZPIECZNIEJ

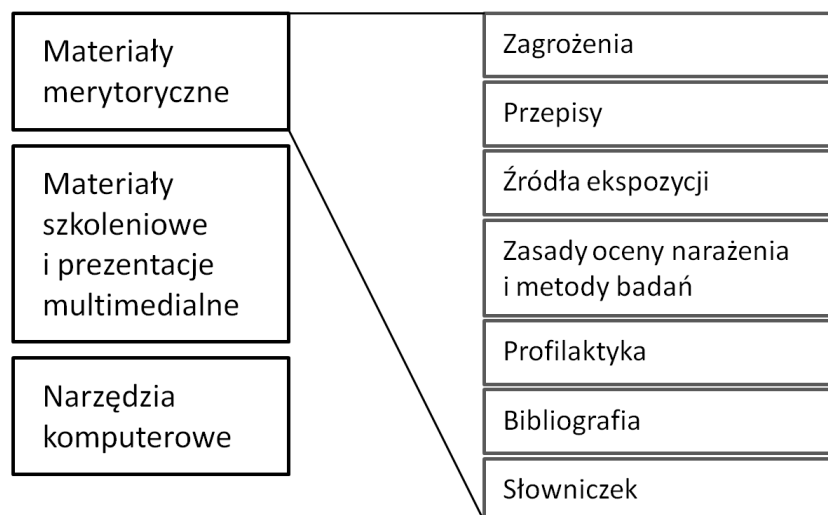
Serwis internetowy BEZPIECZNIEJ funkcjonuje w ramach portalu internetowego CIOP – PIB (www.ciop.pl). Na stronę główną serwisu można przejść wybierając w górnym menu na stronie głównej CIOP – PIB zakładkę „Serwisy” a następnie „BEZPIECZNIEJ – profilaktyka fizycznych zagrożeń środowiskowych”, lub bezpośrednio wpisując w pasku adresu przeglądarki www.ciop.pl/bezpieczniej

Obecnie w serwisie BEZPIECZNIEJ (Rys. 1) znajdują się informacje na temat takich czynników fizycznych środowiska pracy, jak hałas, drgania mechaniczne, promieniowanie elektromagnetyczne, nielaserowe promieniowanie optyczne, a także na temat zagrożeń związanych z elektrycznością statyczną. W trakcie opracowania są informacje dotyczące zagrożeń związanych z mikroklimatem gorącym i mikroklimatem zimnym środowiska pracy.



Rys. 1. Zakres tematyczny serwisu BEZPIECZNIEJ

Prezentowane w serwisie BEZPIECZNIEJ materiały dla każdego z omawianych czynników fizycznych podzielone zostały na trzy kategorie (Rys. 2), obejmujące materiały merytoryczne, materiały szkoleniowe i prezentacje multimedialne oraz narzędzia komputerowe. Kategoria *Materiały merytoryczne* stanowi główny zasób wiedzy odnoszący się do danego czynnika fizycznego. Pozostałe kategorie zawierają elementy ułatwiające przyswajanie wiedzy zawartej w *Materiałach merytorycznych* oraz wspomagających ich wykorzystanie w praktyce.



Rys. 2. Struktura informacji w serwisie BEZPIECZNIEJ

Materiały merytoryczne zostały podzielone na działy (Rys. 2) omawiające kolejno zagrożenia dla zdrowia lub życia związane z danym czynnikiem fizycznym, związane z nim przepisy prawa, źródła ekspozycji w środowisku pracy, zasady oceny narażenia i metody badań danego czynnika oraz zasady profilaktyki technicznej i organizacyjnej. Uzupełnieniem tych informacji są dane bibliograficzne oraz krótki słowniczek pojęć odnoszących się do danego czynnika. Publikowane w serwisie materiały dla każdego czynnika prezentowane są w formie przypominającej książkę, z umieszczonym po lewej stronie spisem treści zawierającym odpowiednie kategorie i działy.

W bloku tematycznym dotyczącym hałasu w dziale poświęconym zagrożeniom omówiono stan zagrożenia hałasem w środowisku pracy w Polsce w oparciu o dane statystyczne GUS. Przedstawiono podstawowe informacje na temat organu słuchu oraz słyszenia a następnie omówiono wpływ hałasu na organ słuchu oraz konsekwencje uszkodzeń słuchu. Na zakończenie przedstawiono dane na temat występowania wśród pracowników trwałego ubytku słuchu spowodowanego hałasem na tle innych chorób zawodowych.

W dziale *Przepisy* omówiono najważniejsze przepisy prawa związane z występowaniem czynników szkodliwych w środowisku pracy. Są tu przywołane zarówno przepisy ogólne,

mające zastosowanie do różnego rodzaju czynników takie jak „Kodeks Pracy” czy rozporządzenie dotyczące badań i pomiarów czynników szkodliwych jak i przepisy szczegółowe, odnoszące się do danego czynnika. W przypadku hałasu i drgań mechanicznych jest to w szczególności 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. 2005, nr 157, poz. 1318). W dziale podano najważniejsze obowiązki pracodawców i pracowników wynikające z przywołanych dokumentów.

W dziale *Źródła ekspozycji* podano podział źródeł hałasu według różnych kryteriów. Podano przykłady źródeł przemysłowych, źródeł hałasu impulsowego oraz źródeł hałasu muzycznego wraz z wielkościami hałasu charakteryzującymi te źródła.

W dziale *Ocena narażenia i metody badań* omówiono podstawowe wielkości charakteryzujące hałas w środowisku pracy, rozpoczynając od pojęć podstawowych, takich jak ciśnienie akustyczne czy częstotliwość, starając się wyjaśnić ich znaczenie w sposób jak najbardziej przystępny dla szerszego grona odbiorców. Następnie omówiono zasady oceny narażenia na hałas i ryzyka zawodowego z nim związanego z uwzględnieniem obowiązujących progów działania i wartości dopuszczalnych.

W dziale *Profilaktyka* omówiono podstawowe zagadnienia związane z ograniczaniem hałasu lub narażenia na hałas z wykorzystaniem środków technicznych oraz metod organizacyjnych. Obok zagadnień związanych z redukcją hałasu u źródła jego powstawania oraz środkami ochrony zbiorowej przed hałasem sporo miejsca poświęcono środkom ochrony indywidualnej. W dziale omówiono również zasady profilaktyki medycznej pozwalające wykryć wczesne symptomy uszkodzeń słuchu.

Bibliografię tematu podzielono na trzy części. W pierwszej umieszczono artykuły dotyczące hałasu opublikowane w miesięczniku Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka (wraz z ich pełnymi treściami). W części drugiej omówiono książki poświęcone zagadnieniom związanym z hałasem wydane przez CIOP – PIB. Część trzecia zawiera wykaz literatury uzupełniającej. W materiałach merytorycznych znajduje się również *Słowniczek* zawierający krótkie definicje podstawowych pojęć dotyczących hałasu.

Kolejną kategorię materiałów zamieszczonych w serwisie stanowią *Materiały szkoleniowe i prezentacje multimedialne*. Znajdują tu się materiały szkoleniowe i prezentacje jak również krótkie ulotki czy materiały informacyjne omawiające zagadnienia związane z danym zagrożeniem, zapisane formacie PDF. Materiały te mogą być przeglądane bezpośrednio w serwisie lub pobrane i zapisane przez użytkownika we własnym komputerze

a następnie wykorzystane do prowadzenia szkoleń lub działań informacyjnych z zakładzie pracy.

Trzecią kategorię materiałów udostępnianych w serwisie BEZPIECZNIEJ stanowią narzędzia komputerowe. Są to niewielkie programy mające obecnie formę apletów działające bezpośrednio w przeglądarce, wspomagające prowadzenie działań profilaktycznych. W przypadku hałasu umożliwiają one np. wyznaczanie poziomu ekspozycji na hałas, wyznaczanie wypadkowego poziomu ciśnienia akustycznego hałasu pochodzącego od kilku źródeł czy wyznaczanie czasu pogłosu i chłonności akustycznej pomieszczenia. W przypadku drgań mechanicznych jest to np. wyznaczanie wartości dziennej ekspozycji na drgania czy też wyznaczanie sumy wektorowej przyspieszeń drgań.

3. PODSUMOWANIE

Opisany w artykule serwis internetowy BEZPIECZNIEJ stanowi ważne źródło informacji dla pracodawców i pracowników, szczególnie małych przedsiębiorstw, dla których łatwy dostęp do nieodpłatnych, rzetelnych źródeł wiedzy ma istotne znaczenie w aspekcie poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy. Prowadzone obecnie prace obejmujące aktualizację i rozbudowę serwisu pozwolą na dostarczenie użytkownikom szerszego i użytecznego kompendium wiedzy na temat czynników fizycznych zagrożeń środowiska pracy. Realizowane prace, obok poszerzenia zakresu tematycznego o zagrożenia związane z mikroklimatem zimnym i gorącym, obejmują opracowanie anglojęzycznej wersji serwisu oraz prezentację kluczowych informacji w innych językach ze względu na coraz powszechniejszy dostęp cudzoziemców do polskiego rynku pracy.

Publikacja została 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. Koradecka D. (red.), Bezpieczeństwo i higiena pracy, CIOP – PIB, Warszawa, 2008.
2. Główny Urząd Statystyczny, Warunki pracy w 2015 r., Warszawa, 2016.
3. Morzyński L., Serwis internetowy „Bezpieczniej” poświęcony fizycznym czynnikom szkodliwym środowiska pracy – na przykładzie bloku tematycznego dotyczącego hałasu, Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka, 12, 2013, str. 14-15.

ZALECENIA DOTYCZĄCE OGRANICZENIA NARAŻENIA PRACOWNIKÓW NA HAŁAS EMITOWANY PRZEZ TURBINY WIATROWE

Dariusz PLEBAN, Danuta AUGUSTYŃSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
e-mail: dapple@ciop.pl

1. WPROWADZENIE

Regulacje Unii Europejskiej w zakresie polityki energetyczno-środowiskowej i wdrażające je przepisy prawa krajowego wpływają na system elektroenergetyczny, a w szczególności na źródła wytwarzania energii elektrycznej [1]. Wejście w życie Ustawy z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii [2], wdrażającej dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych [3], skutkuje zwiększeniem inwestycji m.in. w energetykę wiatrową w Polsce, ponieważ w 2020 r. udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii w Polsce musi osiągnąć poziom 15%. Według ostatnich danych Urzędu Regulacji Energetyki na dzień 30.06.2016 r. [4] w okresie ostatnich 11. lat moc zainstalowana w przypadku odnawialnych źródeł energii elektrycznej wzrosła z 115,537 MW (w 2005 r.) do 8241,479 MW (w 2015 r.), przy czym obecnie największy udział mają elektrownie wiatrowe: moc zainstalowana w 2016 r. wynosiła 5660,070 MW, zaś w 2005 r. moc ta wynosiła zaledwie 83,280 MW. Publikowane przez wspomniany Urząd dane dotyczące energetyki wiatrowej podają, że w kwietniu 2016 r. w Polsce znajdowało się 1039 instalacji wiatrowych. Według rządowych planów w 2020 r. ich moc ma wynosić 6650 MW [5]. Natomiast, zgodnie z [6], w styczniu 2017 r. w Polsce funkcjonowało 40 przemysłowych farm wiatrowych o mocy powyżej 5 MW każda, natomiast liczba turbin wiatrowych na terenie tych 40 przemysłowych farm wiatrowych wahała się od 2 do 60, a największą moc znamionową posiadała farma w Margoninie – 120 MW.

Według [7] na etapie eksploatacji farmy wiatrowej jej oddziaływanie na środowisko jest postrzegane między innymi poprzez oddziaływanie na ornitofaunę i chiropterofaunę, na klimat akustyczny i elektromagnetyczny oraz na krajobraz. Jednocześnie hałas, infradźwięki oraz zjawiska optyczne (efekt migotania cienia) to najczęściej wymieniane w literaturze czynniki, które mogą wpływać na zdrowie osób zamieszkałych w pobliżu turbin wiatrowych [8].

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym zrealizowano badania dotyczące uciążliwości i narażenia na hałas i hałas infradźwiękowy na stanowiskach pracy personelu obsługującego farmy wiatrowe oraz na stanowiskach pracy zlokalizowanych w pobliżu farm/turbin wiatrowych (tj. w odległości do 3 km). Poniżej scharakteryzowano wyniki uzyskane w ramach tych badań oraz zamieszczono ogólne zalecenia dotyczące ograniczania hałasu na stanowiskach pracy serwisantów turbin wiatrowych.

2. WYNIKI BADAŃ

Opracowano metodykę badań, która obejmuje:

- badania środowiskowe, czyli bezpośrednie pomiary hałasu na stanowiskach pracy personelu obsługującego turbiny wiatrowe,
- badania ankietowe, tj. badania subiektywnej oceny warunków pracy i narażenia na hałas na ww. stanowiskach i na stanowiskach pracy zlokalizowanych w pobliżu turbin wiatrowych.

Badaniami hałasu objęto farmy wiatrowe, na których były zainstalowane turbiny wiatrowe trzech najbardziej popularnych w Polsce producentów: VESTAS, GENERAL ELECTRIC oraz ENERCON. Obiektami badań były stanowiska pracy personelu obsługującego turbiny wiatrowe GE 2.5 MW, ENERCON E70-E4 oraz VESTAS V80-2.0 MW. Przeprowadzone pomiary wykazały m.in., że zmierzone poziomy hałas i hałas infradźwiękowy na stanowiskach pracy serwisantów turbin wiatrowych nie przekraczają odpowiednio wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu (określonych w rozporządzeniu [9]) i kryteriów uciążliwości hałasu infradźwiękowego (określonych w PN-Z-01338 [10]). Wyznaczone na stanowiskach pracy osób obsługujących turbiny wiatrowe poziomy ekspozycji na hałas (odniesione do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub odniesione do przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy) były w granicach od 74,6 dB do 83,9 dB, czyli poniżej wartości NDN hałasu wynoszącej 85 dB. Natomiast wyznaczone równoważne poziomy ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową G (odniesione do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub odniesione do przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy) wynosiły od 91 dB do 92,5 dB i były mniejsze od wartości kryterium uciążliwości hałasu infradźwiękowego wynoszącego 102 dB. Stwierdzono jednak, że w trakcie wykonywania prac serwisowych występują krótkotrwałe czynności, którym towarzyszy hałas charakteryzujący się równoważnym poziomem dźwięku A osiagającym wartości bliskie 102 dB.

Przykładowe wyniki badań hałasu na stanowisku pracy serwisanta turbin wiatrowych GE 2.5 MW (Rys. 1 i Rys. 2) zestawiono w Tab. 1 i Tab. 2.



Rys. 1. Turbina wiatrowa GE 2.5 MW



Rys. 2. Gondola oraz wirnik turbiny wiatrowej GE 2.5 MW

Tabela 1. Wyniki badań hałasu na stanowisku pracy serwisanta turbiny wiatrowej GE 2.5 MW

Stanowisko pracy	Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godz. dobowego wymiaru czasu pracy, $L_{EX,8h}$ [dB]	Maksymalny poziom dźwięku A, L_{Amax} [dB]	Szczytowy poziom dźwięku C, L_{Cpeak} [dB]
Serwisant turbiny	83,9	103,2	117,3

Tabela 2. Wyniki badań hałasu infradźwiękowego na stanowisku pracy serwisanta turbiny wiatrowej GE 2.5 MW

Stanowisko pracy	Równoważny poziom dźwięku G odniesiony do 8-godz. dobowego wymiaru czasu pracy, $L_{Geq,8h}$ [dB]
Serwisant turbiny	91,0

Z kolei wyniki pomiarów przeprowadzonych na stanowiskach pracy zlokalizowanych w odległościach od 470 m do 2300 m od turbin wiatrowych ww. producentów wykazały, że hałas i hałas infradźwiękowy badanych turbin wiatrowych VESTAS V80-2.0 MW, GE 2.5 MW oraz ENERCON E70-E4 nie przekracza również wartości NDN hałasu i wartości określających kryterium uciążliwości hałasu infradźwiękowego. Wyznaczone wartości równoważnego poziomu dźwięku A były w granicach od 29,9 dB do 52 dB, a równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową G były w granicach od 48,4 dB do 79,4 dB.

Ocenę subiektywną warunków pracy dokonano poprzez badania ankietowe, które przeprowadzono na 20 farmach wiatrowych. W badaniach wzięło udział 50 serwisantów farm wiatrowych oraz 273 innych pracowników (w tym rolników, nauczycieli oraz osób zajmujących się działalnością usługową oraz handlowo-usługową) zatrudnionych w odległości do 3 km od tych farm wiatrowych.

Kluczowym pytaniem, które stanowiło podstawę do szczegółowych analiz niezbędnych do określenia regresji i korelacji pomiędzy subiektywną oceną zagrożeń hałasem turbin, jej uwarunkowaniami i odczuwanymi dolegliwościami było wskazanie uciążliwości hałasu związanego z pracą turbin wiatrowych. Każdy respondent dokonał subiektywnej oceny hałasu według skali od 0 do 10, gdzie niższe wartości oznaczają hałas nieuciążliwy lub mało uciążliwy, wartości wyższe, hałas bardzo uciążliwy. Zdecydowana większość uczestników badania ocenia uciążliwość hałasu, jako niewielką. Łącznie 73,7% badanych wskazało oceny od 0 do 3, w tym:

- 38,7% wskazało ocenę 1,
- 15,8% ocenę 2,
- 13,6% ocenę 3,
- 5,6% ocenę 0.

Oceny świadczące o przeciętnej uciążliwości hałasu emitowanego przez turbiny wiatrowe – oceny od 4 do 6 wskazało łącznie 17,0% badanych, w tym:

- 8,4% ocenę 4,
- 5,0% ocenę 5,
- 3,7% ocenę 6.

Wysoko uciążliwość hałasu oceniło łącznie 9,3% respondentów, w tym:

- 3,1% badanych wskazało ocenę 8,
- po 2,8% respondentów wymieniło oceny 7 oraz 9,
- 0,6% badanych wskazało najwyższą ocenę 10.

Średnia ocena uciążliwości hałasu generowanego przez turbiny wiatrowe w skali od 0 do 10 wyniosła 2,67, a więc była ona niewielka.

Przeprowadzone analizy statystyczne wyników badań ankietowych i badanie związków między obiektywnymi i subiektywnymi czynnikami wpływającymi na uciążliwość hałasu farm wiatrowych wykazały, że ocena uciążliwości hałasu farm jest uwarunkowana między innymi:

- rodzajem pracy – serwisanci oceniali wyżej uciążliwość hałasu niż osoby wykonujące inne rodzaje pracy,
- warunkami pracy – większą uciążliwość hałasu oceniały osoby o przeciętnych warunkach pracy niż osoby o dobrych warunkach pracy,
- odległością od farm wiatrowych – najbardziej uciążliwość hałasu odczuwały osoby niezatrudnione na farmach wiatrowych, ale pracujące w ich bliskiej odległości – do 500 metrów. Uciążliwość hałasu takie osoby odczuwały bardziej niż serwisanci.

4. OGRANICZENIE HAŁASU NA STANOWISKACH PRACY SERWISANTÓW OBSŁUGUJĄCYCH TURBINY FARM WIATROWYCH

Uzyskane wyniki w ramach badań środowiskowych hałasu, jak również w ramach badań ankietowych stanowiły podstawę do opracowania wymagań i zaleceń dotyczących ograniczenia narażenia na hałas turbin wiatrowych. Zalecenia te scharakteryzowano poniżej.

Serwisanci powinni być wyposażeni i stosować na stanowiskach pracy, na których poziom hałasu przekracza 80 dB, właściwie dobrane do widma hałasu (zgodnie z PN-EN 458:2016 [11]) ochronniki słuchu [12, 13].

Podstawą tego doboru jest oszacowanie spodziewanego poziomu dźwięku pod ochronnikiem słuchu na podstawie parametrów tłumieniowych ochronników słuchu i wyników pomiarów hałasu na stanowisku pracy. Sposób doboru ochronników zależy od rodzaju hałasu: ustalonego, nieustalonego, impulsowego lub udarowego. Jednocześnie wartość poziomu dźwięku A pod ochronnikami słuchu nie powinna być mniejsza niż 70 dB ze względu na możliwość odbioru dźwięków użytecznych [13].

Należy także podkreślić, że warunkami determinującymi skuteczność prawidłowo dobranych ochronników słuchu są:

- stosowanie ochronników słuchu przez cały czas przebywania pracownika w obecności hałasu (przerwy w stosowaniu ochronników słuchu mogą w znacznym stopniu zmniejszyć stopień ochrony),
- prawidłowe zakładanie ochronników słuchu (w szczególności należy zwrócić uwagę na poprawne umieszczanie wkładek przeciwhałasowych w zewnętrznym przewodzie słuchowym użytkownika),
- uwzględnienie, że stosowanie ochronników słuchu, łącznie z innymi środkami ochrony indywidualnej (np. okularami, hełmami ochronnymi) może prowadzić do zmniejszenia skuteczności ograniczania hałasu przez ochronniki słuchu,

- regularne kontrolowanie stanu technicznego ochronników słuchu,
- czyszczenie ochronników słuchu środkami i w sposób zgodny z zasadami przedstawionym w instrukcji użytkowania.

Ze względu na charakter pracy oraz poziomy ciśnienia akustycznego hałasu występującego na stanowiskach pracy serwisantów turbin wiatrowych zaleca się stosowanie:

- lekkich nauszników przeciwhałasowych (ewentualnie mocowanych do przemysłowego hełmu ochronnego), lub
- wkładek przeciwhałasowych skrzydełkowych, lub
- wkładek wyposażonych w sprężynę dociskową.

Pracownicy powinni być również poddawani lekarskim badaniom profilaktycznym. Profilaktyka lekarska obejmuje wstępne i okresowe badania lekarskie, którymi powinni być objęci pracownicy [14]. Badania lekarskie mają na celu wyeliminowanie przy pracach w narażeniu na hałas osób, których stan zdrowia odbiega od normy, gdyż w wyniku narażenia na hałas może on ulec znacznemu pogorszeniu.

5. PODSUMOWANIE

Jak wykazały badania, serwisanci obsługujący farmy wiatrowe należą do grupy pracowników najbardziej narażonych na hałas pochodzący od turbin wiatrowych. Wprawdzie zmierzone poziomy ekspozycji na hałas odniesione do 8-godzinnego lub tygodniowego wymiaru czasu pracy nie przekraczają wartości NDN hałasu ($L_{Ex,8h} = 85$ dB, $L_{Amax} = 115$ dB, $L_{Cpeak} = 135$ dB), jednak równoważne poziomy dźwięku A wyznaczone podczas określonych operacji (np. prac diagnostycznych w gondoli) mogą osiągać znaczne wartości (80-102 dB), a tym samym mogą stanowić zagrożenie dla słuchu pracowników.

Publikacja została opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

6. LITERATURA

1. Sowiński J., Pydych T., Tomaszewski R., Wachtarczyk A., OZE na rynku energii elektrycznej, Rynek Energii, 1(122), 2016
2. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 2015, poz. 478)

3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dz.U. L 140/16 z 5.06.2009 r.)
4. Moc zainstalowana (MW), www.ure.gov.pl/pl/rynki-energii/energia-elektryczna/odnawialne-zrodla-ener/potencjal-krajowy-oze/5753,Moc-zainstalowana-MW.html (dostęp 29 styczeń 2017 r.)
5. Batóg P.: Czy jesteśmy na właściwej drodze w rozwoju energii wiatrowej?, www.wnp.pl/odnawialne-zrodla-energii/czy-jestesmy-na-wlasciwej-drodze-w-rozwoju-energetyki-wiatrowej,147201_1_0_0.html (dostęp 29 styczeń 2017 r.)
6. Energetyka wiatrowa w Polsce, https://pl.wikipedia.org/wiki/Energetyka_wiatrowa_w_Polsce (dostęp 29 styczeń 2017 r.)
7. Stryjecki M., Mielniczuk K., Wytyczne w zakresie prognozowania oddziaływań na środowisko farm wiatrowych, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2011
8. Pawlas K., Pawlas N., Boroń M., Życie w pobliżu turbin wiatrowych, ich wpływ na zdrowie – przegląd piśmiennictwa, *Medycyna Środowiskowa, Environmental Medicine*, 15 (4), 150-198, (2012)
9. 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.)
10. PN-Z-01338:2010 Akustyka. Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy
11. PN-EN 458:2016 Ochronniki słuchu. Zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej. Dokument przewodni
12. Dobór środków ochrony indywidualnej, pod redakcją K. Majchrzyckiej, A. Pościka, CIOP – PIB, Warszawa, 2007
13. Kozłowski E., Młyński R., Ochronniki słuchu – dobór i użytkowanie. CIOP – PIB, Warszawa, 2015
14. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy (Dz. U. 1996, nr 69 poz. 332 z późn. zm.)

HAŁAS NA WYBRANYCH STANOWISKACH PRACY W ZAKŁADZIE PRODUKCJI OPAKOWAŃ

Bożena SMAGOWSKA

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

e-mail: bosma@ciop.pl

1. WPROWADZENIE

Polski rynek opakowań stanowi ok. 1,4% światowego rynku opakowań i systematycznie rośnie. Wg danych Głównego Urzędu Statystycznego w Polsce jest ok. 8 tys. zakładów wytwarzających opakowania, w których, jak wynika z informacji Polskiej Izby Opakowań, zatrudnionych jest ok. 230 tys. osób [1, 2]. W większości są to małe i średnie firmy, wytwarzające opakowania z: drewna; tworzyw sztucznych; papieru i tektury; metalu; szkła i materiałów tekstylnych. W literaturze brak jest doniesień na temat oceny warunków akustycznych oraz ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na hałas na stanowiskach pracy w zakładach produkcji opakowań. Na podstawie informacji służb bhp, w wielu przypadkach w zależności od rodzaju technologii zastosowane do produkcji opakowań, maszyny i urządzenia (m.in. maszyny tnące: wykrawarki, krajarki, wycinarki, prasy i termoprasy, wytrząsarki czy do regranulacji odpadów) są źródłem nadmiernego hałasu przekraczającego wartości największych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu.

W niniejszym artykule przedstawiono wstępne wyniki pomiarów i oceny narażenia na hałas w zakresie częstotliwości infradźwiękowych, słyszalnych i ultradźwiękowych przeprowadzonych na wybranych stanowiskach pracy w zakładzie produkującym opakowania z tworzyw sztucznych. Pomiary hałasu w zakresie ww. częstotliwości przeprowadzono metodą pośrednią zgodną z wymaganiami zawartymi w normach: PN-N-01338: 2010, PN-EN ISO 9612: 2011 i PN-N-01307: 1994 [3, 4, 5] oraz z procedurą badawczą opracowaną przez CIOP – PIB [6]. Zgodnie z nimi wyznacza się: równoważny poziom dźwięku G, równoważny poziom dźwięku A, maksymalny poziom dźwięku A i szczytowy poziom dźwięku C w zakresie częstotliwości słyszalnych oraz równoważne i maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz, 12,5 kHz, 16 kHz, 20 kHz, 25 kHz, 31,5 kHz i 40 kHz w zakresie hałasu ultradźwiękowego. Wartości dopuszczalne hałasu ze względu na ochronę zdrowia (wartości NDN hałasu) dla ogółu pracowników, obowiązujące w Polsce, określone są Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r.[7]. Wartości dopuszczalne, ze względu na możliwość realizacji przez pracowników podstawowych zadań na wybranych typach

stanowisk, określa Polska Norma PN-N-01307: 1994. W odniesieniu do kobiet ciężarnych i osób młodocianych mają zastosowanie niższe wartości dopuszczalne zamieszczone w rozporządzeniach [8] i [9]. W zakresie uciążliwości hałasu infradźwiękowego stosowana jest norma PN-N-01338: 2010 Akustyka. Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy [3].

2. WYNIKI POMIARÓW I OCENY HAŁASU NA STANOWISKACH PRACY

Pomiary poziomu hałasu w zakresie częstotliwości infradźwiękowych, słyszalnych i ultradźwiękowych przeprowadzono na 12 stanowiskach pracy obsługi automatów do produkcji opakowań (z polipropylenu oraz polietylenu), 11 stanowiskach pakowania wyrobów gotowych i stanowisku obsługi maszyny do granulacji tworzyw sztucznych (recykling). W produkcji formowania wyrobów stosowana była technologia wytłaczania i rozdmuchu. Urządzenia były zautomatyzowane i składały się z następujących układów: dozowania granulatu i barwników, plastyfikacji i homogenizacji surowców, rozdrabniania i dozowania odpadów poprodukcyjnych, formowania wyrobów, transporterów taśmowych wyrobów gotowych, automatycznych urządzeń pakujących. Praca na stanowiskach rozdmuchiwarek polegała na kontroli procesu podczas pracy automatu i obsłudze pulpitu sterowniczego, natomiast stanowiska pracy pakowania wyrobów gotowych były częściowo zautomatyzowane.

Ww. stanowiska znajdowały się w hali, która posiadała adaptację akustyczną (płyty dźwiękochłonne na ścianie, panele dźwiękochłono-izolacyjne typu sandwich na suficie oraz częściowa obudowa rozdmuchiwarek). Obsługa linii recyklingu znajdującej się w osobnym pomieszczeniu, polegała na dostarczeniu materiału do młynów, kontroli procesu granulacji i odstawieniu gotowego granulatu.

Pomiary wielkości charakteryzujących hałas w zakresie częstotliwości infradźwiękowych, słyszalnych i ultradźwiękowych przeprowadzono za pomocą analizatorów dźwięku Svan 979 i Svan 945 firmy Svantek, mikrofonów (o średnicy $\frac{1}{2}$ " i $\frac{1}{4}$ ") oraz kalibratora akustycznego BK typ 4230 firmy B & K. Punkty pomiarowe były zlokalizowane w miejscach przebywania pracowników na stanowiskach pracy w odległościach od 0,5 do 1 m od urządzeń.

Na podstawie wyników pomiarów hałasu, należy stwierdzić, że na badanych stanowiskach poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy zawiera się w zakresie od 85 dB do 95,4 dB, zmierzone maksymalne poziomy ciśnienia wahają się od 86,7 dB do 104,9 dB natomiast szczytowy poziom dźwięku C wynosi w granicach 106 dB do

118,5 dB. Wartości poziomu dźwięku G wynoszą od 80,2 dB do 86,9 dB. Wyznaczone wartości poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy zamieszczono w tabeli nr 1. Jak można zauważyć, na wszystkich badanych stanowiskach pracy poziom ekspozycji na hałas przekracza wartość dopuszczalną 85 dB.

Tabela 1. Wyniki poziomu ekspozycji hałasu na stanowiskach pracy

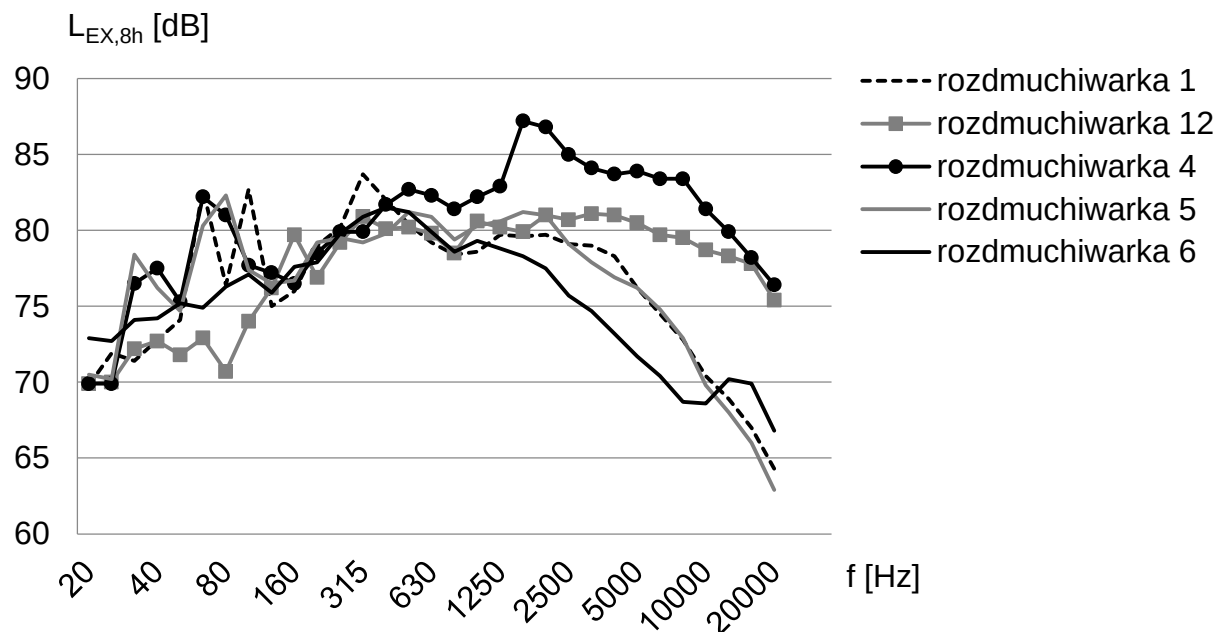
Typ urządzenia	$L_{EX,8h}$ [dB]	$L_{EX,8h,dop}$ [dB]	Nr stanowiska pakowania	$L_{EX,8h}$ [dB]	$L_{EX,8h,dop}$ [dB]
rozdmuchiwarka nr 1	90,0	85	1.	85,7	85
rozdmuchiwarka nr 2	90,2		2.	87,2	
rozdmuchiwarka nr 3	90,0		3.	86,0	
rozdmuchiwarka nr 4	93,0		4.	87,1	
rozdmuchiwarka nr 5	90,8		5.	87,4	
rozdmuchiwarka nr 6	90,0		6.	86,7	
rozdmuchiwarka nr 7	95,4		7.	88,1	
rozdmuchiwarka nr 8	91,3		8.	87,3	
rozdmuchiwarka nr 9	89,4		9.	86,5	
rozdmuchiwarka nr 10	88,4		10.	85,1	
rozdmuchiwarka nr 11	90,4		11.	88,0	
rozdmuchiwarka nr 12	91,7		-	-	
linia do recyklingu	85,0		-	-	

Pozostałe wartości dopuszczalne maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C określone ze względu na ochronę słuchu nie są przekroczone. Nie jest przekroczona również wartość dopuszczalna równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego skorygowana krzywą G stanowiąca kryterium uciążliwości hałasu infradźwiękowego.

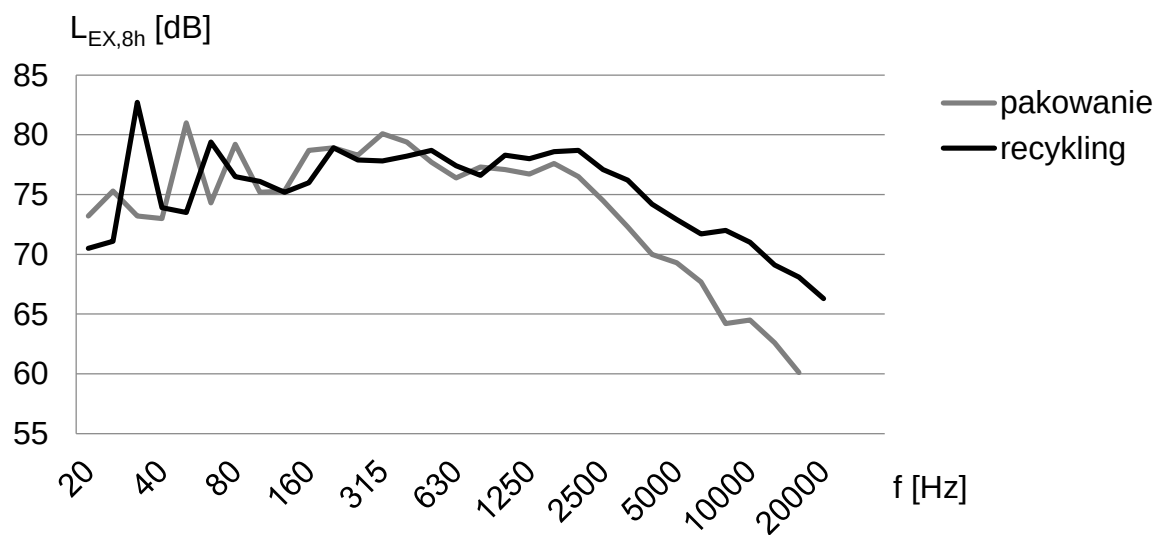
Przykładowe wyniki poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy na badanych stanowiskach rozdmuchiwarek, recyklingu i pakowania zamieszczono na rysunkach 1 i 2. Jak widać z rysunków duży udział w widmie hałasu występującego na stanowiskach rozdmuchiwarek mają składowe niskoczęstotliwościowe.

W zakresie hałasu ultradźwiękowego zmierzone równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach terejowych o częstotliwościach środkowych od 10 kHz do 40 kHz odniesione do 8-godzinnego dnia pracy, na badanych stanowiskach pracy wahają się w granicach 62 - 89 dB. Najwyższe równoważne i maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego na 2 stanowiskach rozdmuchiwarek przekraczają wartości dopuszczalne

określone dla pasm częstotliwości o częstotliwościach środkowych: 10 kHz, 12,5 kHz, i 16 kHz, a więc w zakresie wysokich częstotliwości słyszalnych (do 20 kHz).



Rys. 1 Wyniki hałasu na wybranych stanowiskach pracy rozdmuchiwarek



Rys. 2 Przykładowe wyniki hałasu na stanowiskach pracy recyklingu i pakowania

3. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów hałasu (w zakresie częstotliwości infradźwiękowych, słyszalnych i ultradźwiękowych) przeprowadzonych na wybranych stanowiskach pracy w zakładzie produkcji opakowań z tworzyw sztucznych stwierdza się, że:

- w zakresie częstotliwości słyszalnych hałasu przekroczenia wartości dopuszczalnych poziomu ekspozycji odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy występują na wszystkich stanowiskach pracy, pozostałe wielkości charakteryzujące hałas, tj. maksymalny i szczytowy poziom ciśnienia akustycznego są poniżej wartości dopuszczalnych określonych dla tego zakresu częstotliwości,
- w zakresie częstotliwości ultradźwiękowych przekroczenia wartości dopuszczalnych równoważnego i maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego występują w trzech pasmach częstotliwości (10 kHz, 12,5 kHz, i 16 kHz) tercjowych normalizowanego zakresu częstotliwości,
- w zakresie hałasu infradźwiękowego nie występują przekroczenia dopuszczalnych wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego krzywą G określających kryterium uciążliwości.

Podsumowując, należy zauważyć, że pomimo istniejącej adaptacji akustycznej w hali oraz zastosowaniu obudowy rozdmuchiwarek na badanych stanowiskach pracy występuje zagrożenie hałasem ze względu na ochronę zdrowia. Jak wspomniano, duży udział w widmie hałasu występującego na stanowiskach rozdmuchiwarek mają składowe niskoczęstotliwościowe. Poza tym, izolacyjność akustyczną obudów automatów do produkcji opakowań zmniejszają w nich zastosowane, otwory technologiczne. W celu ochrony pracowników przed skutkami oddziaływania tego czynnika w środowisku pracy należy podjąć działania profilaktyczne [10]. W tym przypadku, w celu zmniejszenia emisji hałasu źródeł, należałoby przeprowadzić ocenę istniejącej adaptacji akustycznej oraz rozmieszczenia maszyn, zastosować odpowiednio dobraną izolację maszyny od podłoża (dylatacje lub wibroizolatory oraz ruchomą osłonę istniejących otworów technologicznych) i wypełnienie od wewnątrz obudowy materiałem dźwiękochłonnym [11, 12, 13]. W przypadku ekspozycji na hałas odniesionej do 8-godzinnego czasu pracy wynoszącej powyżej wartości NDN, należy stosować skrócony czas pracy lub przerwy w pracy oraz rotacje pracowników na stanowiskach pracy. Pracownicy powinni stosować ochronniki słuchu odpowiednio dobrane do widma hałasu występującego na stanowisku pracy [14].

Publikacja została 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. Wasiak W. „Przemysł i rynek opakowań w Polsce – RAPORT PIO” , OOH magazine 2015 nr 4-6, www.oohmagazine.pl
2. Rynek opakowań w Polsce, Departament Informacji Gospodarczej, Polska Agencja Informacji i Inwestycji Zagranicznych S.A. Warszawa 2011
3. PN-N-01338: 2010, Akustyka. Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy
4. PN-N-01307: 1994, Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów
5. PN-EN ISO 9612: 2011, Akustyka. Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas. Metoda techniczna
6. Radosz J., Procedura pomiarowa hałasu ultradźwiękowego. PiMOŚP 4(86), s.169-190, (2015)
7. 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.
8. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu *prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet*. Dz. U. 1996, nr 114, poz. 545; zm. Dz. U. 2002, nr 127, poz. 1092
9. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu *prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac*. Dz. U. 2004, nr 200, poz. 2047., zm. Dz. U. 2005, nr 136, poz.1145
10. Engel Z., Zawieska W. M., Hałas i drgania w procesach pracy- źródła, ocena, zagrożenia, CIOP – PIB Warszawa 2010
11. Pleban D., Stosowanie globalnego wskaźnika jakości akustycznej maszyn do optymalizacji lokalizacji maszyn i stanowisk pracy ze względu na zagrożenie hałasem, Przegląd Mechaniczny, 11, s. 43-46, (2014)
12. Mikulski W., Wpływ zastosowania adaptacji akustycznej na wskaźnik transmisji mowy i czas pogłosu pomieszczenia, Materiały Budowlane 8(504), s. 25-29, (2014)
13. Smagowska B., Mikulski W., Jakubowska I., Materiały przeznaczone do stosowania w ochronach zbiorowych przed hałasem ultradźwiękowym – wyniki badań własnych, Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka 5(511), s. 24-26, (2014)
14. Kozłowski E., Młyński R., Ochronniki słuchu – dobór i użytkowanie, CIOP – PIB, Warszawa, 2015

XLV Szkoła Zimowa
Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk, 2017-02-27 – 03-03

INDEKS NAZWISK AUTORÓW

Lp.	Autor	Strona
1.	AUGUSTYŃSKA Danuta	45
2.	MIKULSKI Witold	7, 23
6.	MORZYŃSKI Leszek	39
8.	PLEBAN Dariusz	45
11.	SMAGOWSKA Bożena	53

DODATEK 1

**Indeks Nazwisk Autorów
Szkół Zimowej Zwalczania Zagrożeń Wibroakustycznych i
Szkół Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
za lata 2012-2016**

Lp.	NAZWISKO i Imię	Strona(y)/rok
1.	BOCZKOWSKI Arkadiusz	17, 157/12
2.	BOGUSZ Bolesław	7/13
3.	CZECHYRA Bartosz	7/15
4.	DĄBROWSKI Marcin	157/12
5.	DOBRUCKI Andrzej	7/13
6.	DOMINIK Ireneusz	51/12
7.	DUDEK Wojciech	7/14
8.	DUZDZIŃSKA Anna	83/12
9.	DZIECHCIŃSKI Paweł	241/12; 61/13
10.	ENGEL Zbigniew Witold	7, 15/12
11.	FIEBIG Wiesław	61/12
12.	FILEC Mateusz	67/12
13.	GÓRSKI Paweł	77/12; 71/13; 15/14
14.	GRELOWSKA Grażyna	23/13; 21/15
15.	HOLEWA Karolina	83/12
16.	IWANIEC Joanna	83/12
17.	IWANIEC Marek	51, 83, 93/12
18.	JAKUBOWSKI Piotr	21/16
19.	JAKUBÓW Maciej	241/12; 61/13
20.	KACZOROWSKI Bartosz	39, 91/12
21.	KAŹMIERCZAK Jan	157/12
22.	KIRPLUK Mikołaj	29/13
23.	KOMONIEWSKI Marek	157/12
24.	KOMPAŁA Janusz	105/12
25.	KOSAŁA Krzysztof	119/12
26.	KOWALSKI Piotr	127, 135/12
27.	KOZACZKA Eugeniusz	23/13; 21/15
28.	KOZACZKA Sławomir	23/13; 21/15
29.	KOZŁOWSKI Emil	143/12; 47/13; 21/14
30.	KOŹLIK Grzegorz	17/12
31.	KRUKOWICZ Tomasz	151, 203/12; 41/16
32.	KUBOSZEK Artur	157/12
33.	KUJAWA-ŁOBACZEWSKA Honorata	7/16
34.	KWAPISZ Leszek	21/16
35.	MACIEJCZYK Jerzy	7/16
36.	MALICKI Łukasz	83/12
37.	MAZUR Krzysztof	175/12
38.	MICHALCZYK Małgorzata I.	67/12
39.	MIKULSKI Witold	183/12
40.	MIROWSKA Marianna	195/12
41.	MŁYŃSKI Rafał	143/12
42.	MORZYŃSKI Leszek	151, 203/12; 23/15; 33, 41, 81/16
43.	NURZYŃSKI Jacek	211/12; 83/13; 27/14; 29/15
44.	ORCZYK Małgorzata	7/15; 49, 57/16

Lp.	NAZWISKO i Imię	Strona(y)/rok
45.	PASZKOWSKI Waldemar	157, 219/12
46.	PAWEŁCZYK Marek	175, 235/12; 47/14
47.	PERETA Karol	37/15
48.	PLEBAN Dariusz	227/12; 53/15; 67/16
49.	RADOSZ Jan	233/12; 35/14; 53/15; 67/16
50.	RADZIŃSKI Maciej	21/16
51.	RUDNO-RUDZIŃSKI Krzysztof	241/12; 61/13
52.	SMAGOWSKA Bożena	253/12; 59/15; 67, 75/16
53.	SZCZEPAŃSKI Grzegorz	81/16
54.	SZOPA Krystian	83/12
55.	TOMASZEWSKI Franciszek	7/15; 57/16
56.	WATRAS Piotr	263/12
57.	WRONA Stanisław	47/14
58.	ZAJĄC Jacek	127, 135/12
59.	ZAKRZEWSKI Maciej	53/14
60.	ZAWIESKA Wiktor	119/12
61.	ZIEMIAŃSKI Leonard	37/15
62.	ŻERA Jan	143/12

DODATEK 2

Z historii

**Szkoły Zimowej Walki z Hałasem
i Zagrożeniami Wibroakustycznymi w Przemysle,**

Szkoły Zimowej Zwalczania Zagrożeń Wibroakustycznych,

Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki

foto – Roman Bukowski



Profesor **Aleksander Opilski**,
jeden z inicjatorów powołania Szkoły
Zimowej Walki z Hałasem
i Zagrożeniami Wibroakustycznymi
w Przemysle.
XXXIX SZ ZZW, Szczyrk-2011,
uroczystość jubileuszu
80. urodzin Profesora



Dr **Mieczysław Roczniak** –
wieloletni chairman SZ ZZW
XXXIV SZ ZZW, Wisła 2007



Dr **Ryszard Hnatków** –
wieloletni współorganizator SZ ZZW
XLI SZ ZZW, Szczyrk 2013



Dr inż. **Barbara Pustelny** –
wieloletnia skarbniczka
Oddziału Górnośląskiego PTA
oraz Szkół Zimowych
XLII SZ ZZW, Szczyrk 2014



Z lewej – Prof. **Zbigniew Engel**, wieloletni uczestnik SZ ZZW, twórca wibroakustyki
XL SZ ZZW, Szczyrk 2012



Prof. **Rufin Makarewicz** – wieloletni uczestnik SZ ZZW
XXXVI SZ ZZW, Wisła 2008



Prof. **Adam Lipowczan** – wieloletni uczestnik SZ ZZW
XXXVI SZ ZZW, Wisła 2008



Prof. **Andrzej Dobrucki** – uczestnik SZ ZZW, przew. ZG PTA
XLI SZ ZZW, Szczyrk 2013



Prof. **Marek Pawelczyk** – wieloletni uczestnik SZ ZZW
XL SZ ZZW, Szczyrk 2012



Dr **Krzysztof Rudno-Rudziński** – wieloletni uczestnik SZ ZZW
XXXV SZ ZZW, Wisła 2007

	
Prof. Janusz Kompala – wieloletni uczestnik SZ ZZW XL SZ ZZW, Szczyrk 2012	Prof. Anna Snakowska – wieloletnia uczestniczka SZ ZZW XXXIX SZ ZZW, Szczyrk 2011
	
Dr Jacek Nurzyński – wieloletni uczestnik SZ ZZW XLI SZ ZZW, szczyrk 2013	Mgr Mikołaj Kirpluk – wieloletni uczestnik SZ ZZW XLI SZ ZZW, szczyrk 2013
	
Z lewej – dr Jerzy Maciejczyk, wieloletni uczestnik SZ ZZW XLI SZ ZZW, szczyrk 2013	Od prawej – prof. Grażyna Grelowska, dr Mariana Mirowska, prof. Eugeniusz Kozaczka, autor XL SZ ZZW, Szczyrk 2012

