

Emil Kozłowski
Rafał Młyński

TŁUMIENIE HAŁASU ULTRADŹWIĘKOWEGO W ZAKRESIE CZĘSTOTLIWOŚCI 10–16 KHZ PRZEZ WKŁADKI PRZECIWAŁASOWE

ATTENUATION OF ULTRASONIC NOISE
IN THE 10–16 KHZ FREQUENCY RANGE BY EARPLUGS

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection – National Research Institute,
Warszawa, Poland
Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych / Department of Vibroacoustic Hazards

STRESZCZENIE

Wstęp: Celem badań było określenie tłumienia hałasu ultradźwiękowego o częstotliwościach środkowych z zakresu 10–16 kHz przez wkładki przeciwałasowe. **Materiał i metody:** Wykonano pomiary tłumienia wkładek przeciwałasowych w pasmach 1/3-oktawowych dla częstotliwości środkowych z zakresu 10–16 kHz z użyciem metody REAT (real-ear attenuation at threshold) polegającej na pomiarach progów słyszenia z udziałem osób. Badania przeprowadzono dla 29 modeli powszechnie stosowanych w przemyśle wkładek przeciwałasowych różnych producentów, w tym dla 13 modeli wkładek piankowych, 10 skrzydełkowych, 5 ze sprężyną dociskową i dla 1 modelu ze trzpieniem. **Wyniki:** Tłumienie wkładek przeciwałasowych wynosiło 12,9–33,2 dB dla pasma 1/3-oktawowego o częstotliwości środkowej 10 kHz, 22,8–35,2 dB dla pasma 12,5 kHz i 29,5–37,2 dB dla pasma 16 kHz. W zakresie częstotliwości 10–16 kHz tłumienie wkładek przeciwałasowych przyjmowało większe wartości (istotne statystycznie) w przypadku wkładek piankowych niż wkładek skrzydełkowych ($p = 0,0003$ vs $p = 0,0006$) czy wkładek ze sprężyną dociskową ($p = 0,0002$ vs $p = 0,04$). **Wnioski:** Wyniki badań wykazały brak jednorodnego związku między tłumieniem dźwięku w zakresie częstotliwości 10–16 kHz a katalogowym parametrem H (tłumieniem wysokoczęstotliwościowym) wkładek przeciwałasowych. W związku z tym nie ma możliwości prostego wyznaczenia tłumienia hałasu ultradźwiękowego w zakresie częstotliwości 10–16 kHz, np. wykorzystując dane dotyczące tłumienia dźwięku dla standardowo rozpatrywanego zakresu częstotliwości (do 8 kHz). Med. Pr. 2018;69(4):395–402

Słowa kluczowe: ochronniki słuchu, wkładki przeciwałasowe, hałas ultradźwiękowy, tłumienie dźwięku, ochrona słuchu, REAT

ABSTRACT

Background: The aim of the study was to determine attenuation of earplugs for ultrasonic noise in the frequency range of 10–16 kHz. **Material and Methods:** The attenuation of earplugs in 1/3-octave-bands with the centre frequencies of 10 kHz, 12.5 kHz, and 16 kHz using the REAT (real-ear attenuation at threshold) method based on the measurements of hearing threshold of subjects. The study was carried out for 29 models of earplugs commonly used in the industry designed by various manufacturers, including 13 models of foam earplugs, 10 models of flanged earplugs, 5 models of headband earplugs and one model of no-roll earplugs. **Results:** The values of the measured attenuation of earplugs are in the range 12.9–33.2 dB for the 10 kHz frequency band, 22.8–35.2 dB for the 12.5 kHz frequency band and 29.5–37.2 dB for the 16 kHz frequency band. The attenuation of earplugs in the frequency range 10–16 kHz has higher values (statistically significant changes) for foam earplugs than flanged earplugs ($p = 0.0003$ vs. $p = 0.0006$) or headband earplugs ($p = 0.0002$ vs. $p = 0.04$). **Conclusions:** The tests indicated that there is no uniform relation between the sound attenuation in the frequencies range of 10–16 kHz and the catalogue H parameter (high-frequency attenuation value) of earplugs. Therefore, it is not possible to easily predict the attenuation of ultrasonic noise in the frequency range of 10–16 kHz using the sound attenuation data for the normally considered frequency range (up to 8 kHz). Med Pr 2018;69(4):395–402

Key words: hearing protectors, earplugs, ultrasonic noise, sound attenuation, hearing conservation, REAT

Autor do korespondencji / Corresponding author: Emil Kozłowski, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: emkoz@ciop.pl
Nadesłano: 6 grudnia 2017, zatwierdzono: 13 lutego 2018

WSTĘP

Hałas ultradźwiękowy występuje w wielu strefach przebywania ludzi. Jedną z nich są miejsca w przemyśle, gdzie hałas ultradźwiękowy wytwarzany jest przez urządzenia w celu realizacji odpowiednich procesów technologicznych lub jako niepożądany efekt [1–3].

Do pierwszej z tych grup urządzeń można zaliczyć: ultradźwiękowe zgrzewarki, myjki i drążarki, a także lutownice ręczne, wanny do cynowania, maszyny do aplikacji dekoracyjnych elementów w tkaninie, tzw. dżetownice, i jednostki dentystyczne do czyszczenia kamienia nazębnego, tzw. skalery. Do drugiej grupy urządzeń generujących hałas ultradźwiękowy, tj. tych, w których przypadku jest on efektem niepożądanym, można zaliczyć m.in. strugarki, frezarki, szlifierki, piły tarczowe i niektóre maszyny włókiennicze (np. krosna, przędzarki, rozciągarki, skręcarki, przewijarki, zgrzeblarki).

Dodatkowo źródłami dźwięków o wysokich częstotliwościach są urządzenia, przy których pracy występują zjawiska o charakterze aerodynamicznym [4], tj. sprężarki, palniki, pistolety czy urządzenia służące do czyszczenia detali.

Ze wszystkich wymienionych źródeł hałasu ultradźwiękowego urządzeniami, które generują najwyższe poziomy ciśnienia akustycznego, są zgrzewarki ultradźwiękowe i maszyny do obróbki tkanin [5]. W ich przypadku występują przekroczenia dopuszczalnych wartości [6] w zakresie zarówno poziomów ciśnień akustycznych w pasmach 1/3-oktawowych z przedziału 10–40 kHz odniesionych do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, jak i wartości maksymalnych. Ponadto wysokie poziomy ciśnienia akustycznego związane z hałasem ultradźwiękowym, które przekraczają wartości dopuszczalne, obserwuje się na stanowiskach pracy podczas obróbki metalu [7] i obsługi drążarek ultradźwiękowych [8].

Hałas ultradźwiękowy może być przyczyną uczucia ucisku w głowie, dyskomfortu i napięcia układu nerwowego, senności, rozdrażnienia lub problemów z koncentracją [9]. Ekspozycja na hałas ultradźwiękowy może mieć również szkodliwe następstwa w narządzie słuchu, np. powodować ubytki słuchu [10–13], a także być przyczyną bólu głowy i nudności [14].

Jednym ze sposobów ograniczania ekspozycji ludzi na hałas jest stosowanie ochronników słuchu. Standardowo tłumienie dźwięku ochronników słuchu wyznacza się jedynie dla ograniczonego zakresu częstotliwości (od 63 Hz lub 125 Hz do 8 kHz) [15,16]. W przypadku,

gdy zachodzi potrzeba stosowania ochronników słuchu w sytuacji narażenia na hałas ultradźwiękowy, brakuje niestety danych liczbowych, które pozwoliłyby stwierdzić, że określony ochronnik słuchu w odpowiednim stopniu ogranicza hałas docierający do uszu pracownika.

Wyniki niniejszej pracy stanowią uzupełnienie wiedzy o właściwościach tłumienia powszechnie stosowanych wkładek przeciwhałasowych w przypadku ekspozycji pracownika na hałas ultradźwiękowy w zakresie częstotliwości 10–16 kHz. Na podstawie wartości tłumienia dźwięku przedstawionych w niniejszej pracy i wyników pomiarów parametrów hałasu ultradźwiękowego na stanowisku pracy [17,18] możliwy będzie dobór ochronników słuchu do tego rodzaju hałasu.

MATERIAŁ I METODY

Wkładki przeciwhałasowe

Badania przeprowadzono dla 29 modeli powszechnie stosowanych w przemyśle wkładek przeciwhałasowych różnych producentów, w tym 13 modeli wkładek piankowych, 10 modeli – skrzydełkowych, 5 modeli – ze sprężyną dociskową i 1 model wkładek z trzpieniem. Zestawienie uwzględnionych w badaniach wkładek przeciwhałasowych zamieszczono w tabeli 1. Badane wkładki były nowe, bez śladów używania.

Sposób przeprowadzania badań

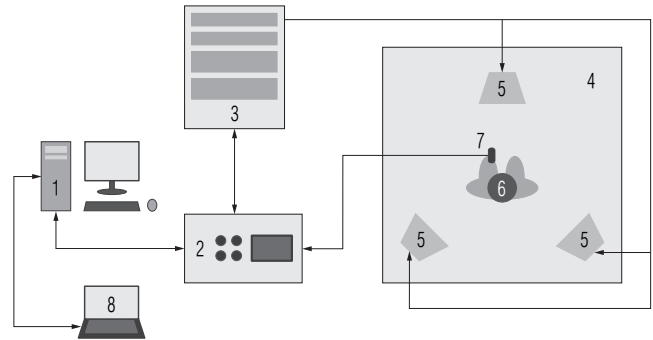
Pomiary tłumienia dźwięku przeprowadzono w pasmach 1/3-oktawowych dla częstotliwości środkowych z zakresu 10–16 kHz z wykorzystaniem metody REAT (real-ear attenuation at threshold) [15], stosowanej standardowo w zakresie częstotliwości do 8 kHz. Sygnałem testowym był szum różowy filtrowany w pasmach 1/3-oktawowych o częstotliwościach środkowych 10 kHz, 12,5 kHz i 16 kHz. Do generowania sygnału testowego wykorzystano system Norsonic NOR838 sterowany komputerem, zespół kształtujący sygnał testowy (korektor graficzny Yamaha YDG 2030, limiter JBL DSC 260, wzmacniacze mocy Crown Macro-Tech 2400) i 3 zestawy głośnikowe JBL SR4722A (zmontowane wokół badanej osoby co 120°). Ze względu na pomiary progu słyszenia badania przeprowadzono w pomieszczeniu zapewniającym niski poziom hałasu tła. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rycinie 1.

Do udziału w badaniach wytypowano 10 osób w wieku 26–39 lat (średnia wieku: 30 lat). Stan słuchu badanych spełniał wymagania normy PN-EN 24869-1 [15], tj. ich ubytki słuchu nie były większe niż 15 dB dla

Tabela 1. Charakterystyka wkładek przeciwhałasowych uwzględnionych w badaniach nad tłumieniem hałasu ultradźwiękowego w zakresie częstotliwości 10–16 kHz
Table 1. Characteristics of earplugs used in the study of attenuation of ultrasonic noise in the 10–16 kHz frequency range

Producent i model Manufacturer and model	Rodzaj Type
Howard Leight	
Laser Lite	piankowe / foam
Firmfit	piankowe / foam
Max Lite	piankowe / foam
Max	piankowe / foam
Bilsom 303	piankowe / foam
Airsoft	skrzydełkowe / flanged
Smartfit	skrzydełkowe / flanged
Neutron	skrzydełkowe / flanged
Fusion	skrzydełkowe / flanged
PerCap	ze sprężyną dociskową / headband
QB3	ze sprężyną dociskową / headband
Matrix	ze trzpieniem / no-roll
Uvex	
x-fit	piankowe / foam
com4-fit	piankowe / foam
hi-com lime	piankowe / foam
Whisper	skrzydełkowe / flanged
x-fold	ze sprężyną dociskową / headband
3M	
1120	piankowe / foam
1100	piankowe / foam
EAR Classic	piankowe / foam
EARsoft	piankowe / foam
EARsoft FX	piankowe / foam
1271	skrzydełkowe / flanged
EAR Ultrafit	skrzydełkowe / flanged
EAR Ultrafit 20	skrzydełkowe / flanged
EAR Ultrafit 14	skrzydełkowe / flanged
1310	ze sprężyną dociskową / headband
EAR Band	ze sprężyną dociskową / headband
Stopper	
ELA	skrzydełkowe / flanged

częstotliwości wynoszących 2000 Hz i niższych oraz 25 dB dla częstotliwości powyżej 2000 Hz. Dodatkowym kryterium wyboru osób do badań było słyszenie sygnału testowego przy założonych wkładkach przeciwhałasowych oraz poprawne reagowanie na ten sygnał



1 – komputer sterujący pracą systemu Norsonic Nor838 / computer controlling the Norsonic Nor838 system,
 2 – system pomiarowy Norsonic Nor838 / Norsonic Nor838 measuring system,
 3 – zespół kształtujący sygnał testowy (korektor graficzny Yamaha YDG 2030, limiter JBL DSC 260, wzmacniacze mocy Crown Macro-tech 2400) / test signal shaping set (Yamaha YDG 2030 graphic equalizer, JBL DSC 260 limiter, Crown Macro-tech 2400 power amplifiers),
 4 – pomieszczenie przeznaczone do badania właściwości akustycznych ochronników słuchu / room for testing acoustic properties of hearing protectors,
 5 – zestaw głośnikowy JBL SR4722A / JBL SR4722A loudspeaker set,
 6 – badany / respondent,
 7 – przycisk do udzielania odpowiedzi przez badanego / response button for the respondent,
 8 – komputer do analizy danych pomiarowych i ich archiwizacji / computer for the analysis of measurement data and their archiving.

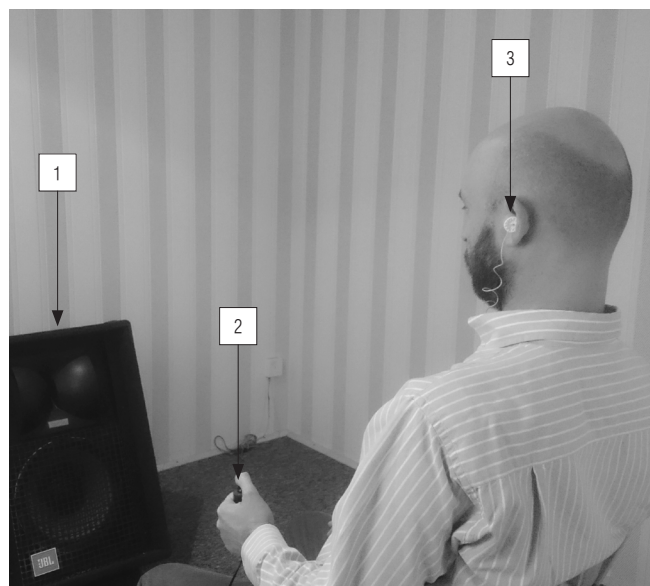
Ryc. 1. Stanowisko wykorzystywane do pomiarów tłumienia dźwięku wkładek przeciwhałasowych w zakresie częstotliwości 10–16 kHz
Fig. 1. Set-up used to measure sound attenuation of earplugs in the 10–16 kHz frequency range

w pasmach 1/3-oktawowych o częstotliwościach środkowych 10 kHz, 12,5 kHz i 16 kHz. Badania polegały na pomiarach progów słyszenia przez każdą z osób w 2 sytuacjach, tj. bez wkładek przeciwhałasowych umieszczonych w przewodzie słuchowym i podczas ich używania. Wynikiem końcowym badania było uzyskanie wartości tłumienia dźwięku, czyli różnicy wyników uzyskiwanych w obu wymienionych sytuacjach. Przykładową osobę uczestniczącą w pomiarze progów słyszenia przedstawiono na fotografii 1.

WYNIKI

Wyniki badań tłumienia dźwięku wyznaczonego z udziałem 10 osób w pasmach 1/3-oktawowych dla częstotliwości środkowych z zakresu 10–16 kHz w przypadku 29 wkładek przeciwhałasowych przedstawiono w tabeli 2.

Analizując dane zamieszczone w tabeli 2., można zauważyć, że wartości zmierzonego tłumienia dźwięku zawierają się w zakresie 12,9–33,2 dB w przypadku pasma 1/3-oktawowego o częstotliwości środkowej 10 kHz, 22,8–35,2 dB dla pasma 1/3-oktawowego o częstotliwości środkowej 12,5 kHz i 29,5–37,2 dB



1 – 1 z 3 zestawów głośnikowych / 1 of 3 loudspeaker sets,
2 – przycisk do udzielania odpowiedzi przez badanego / response button
for the respondent,
3 – badane wkładki przeciwhałasowe / tested earplugs.

Fot. 1. Badany na stanowisku do pomiaru tłumienia dźwięku wkładek przeciwhałasowych

Photo 1. Respondent on the stand for the measurement of sound attenuation of earplugs

dla pasma 1/3-oktawowego o częstotliwości środkowej 16 kHz. Największe wartości tłumienia obserwowano w przypadku wkładek przeciwhałasowych Howard Leight Max i Howard Leight Max Lite oraz EARsoft FX, natomiast najniższe – dla wkładek 3M Ultrafit 14 i Howard Leight Neutron. Odchylenie standardowe zmierzonego tłumienia dźwięku przyjmowało wartości z zakresu 2,3–5,7 dB, co nie odbiega od odchyżeń standardowych tłumienia dźwięku mierzonych w typowym zakresie częstotliwości (do 8 kHz) podawanych w informacji dla użytkownika.

Uzyskane dane tłumienia dźwięku w pasmach 1/3-oktawowych o częstotliwościach środkowych 10 kHz, 12,5 kHz i 16 kHz w przypadku 29 uwzględnionych w badaniach wkładek przeciwhałasowych zestawiono z wartościami katalogowego parametru H tych wkładek. Parametr H to „wartość tłumienia wysokoczęstotliwościowego” określana na podstawie danych uzyskiwanych w zakresie częstotliwości do 8 kHz [19,20]. Parametr H, mimo że dotyczy pasm 1/3-oktawowych o częstotliwościach środkowych nie większych niż 8 kHz, charakteryzuje ochronniki słuchu w zakresie najbardziej zbliżonym do zakresu niniejszych badań spośród jednoliczbowych, katalogowych parametrów zamieszczanych w informacji dla użytkownika.

Tabela 2. Pomiary tłumienia dźwięku przez wkładki przeciwhałasowe przy częstotliwości środkowej pasma 1/3-oktawowego

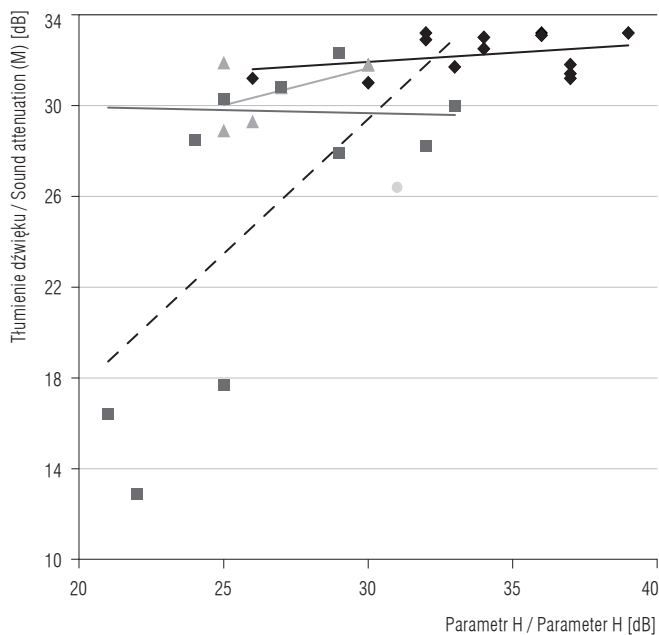
Table 2. Sound attenuation measurements by earplugs at the 1/3-octave-band center frequency

Producent i model Manufacturer and model	Tłumienie dźwięku Sound attenuation [dB]					
	10 kHz		12,5 kHz		16 kHz	
	M	SD	M	SD	M	SD
Howard Leight						
Laser Lite	32,5	2,6	35,2	4,8	36,7	3,1
Firmfit	31,4	2,8	33,4	4,0	36,5	2,8
Max Lite	33,2	3,7	34,6	4,5	36,1	2,8
Max	33,2	3,3	33,7	4,1	36,6	3,2
Bilsom 303	32,9	4,1	34,4	4,9	37,1	3,3
Airsoft	27,9	4,6	32,1	4,6	33,7	4,7
Smartfit	28,2	4,1	31,9	3,8	35,3	3,5
Neutron	16,4	4,3	22,8	3,8	30,3	5,7
Fusion	32,3	3,3	33,0	3,4	35,5	3,7
PerCap	30,8	3,5	32,4	4,1	36,1	3,5
QB3	28,9	5,1	32,4	5,4	36,3	3,1
Matrix	26,4	3,2	32,0	3,9	35,6	2,9
Uvex						
x-fit	33,1	3,4	34,0	4,4	36,0	4,2
com4-fit	31,7	3,4	34,4	4,4	36,6	4,2
hi-com lime	31,2	3,8	33,2	4,0	35,6	2,8
Whisper	28,5	4,2	33,3	4,2	35,0	2,7
x-fold	29,3	3,8	31,7	3,7	35,7	4,7
3M						
1120	31,8	2,9	33,8	5,0	36,2	4,0
1100	31,2	2,3	33,2	4,4	36,2	3,7
EAR Classic	31,0	3,4	33,1	4,6	36,6	3,4
EARsoft	33,0	2,3	34,2	3,6	37,2	3,1
EARsoft FX	33,2	2,5	34,3	4,4	37,2	2,8
1271	30,8	3,6	33,2	4,5	36,3	3,7
EAR Ultrafit	30,0	2,4	32,6	4,1	36,2	2,9
EAR Ultrafit 20	17,7	5,0	23,5	3,8	33,0	4,5
EAR Ultrafit 14	12,9	4,0	24,5	4,4	29,5	4,7
1310	31,8	2,8	32,8	4,4	36,0	4,0
EAR Band	31,9	3,3	33,0	4,2	35,2	3,8
Stopper						
ELA	30,3	3,8	33,3	4,4	34,9	4,1

M – średnia / mean, SD – odchylenie standardowe / standard deviation.

Wykresy z wartościami zmierzonego tłumienia dźwięku w funkcji parametru H wkładek przedstawiono na rycinie 2. (dla częstotliwości środkowej 10 kHz), rycinie 3. (dla częstotliwości środkowej 12,5 kHz) i rycinie 4. (dla częstotliwości środkowej 16 kHz). Na wymienionych rycinach dane pogrupowano z podziałem na poszczególne rodzaje wkładek przeciwhałasowych.

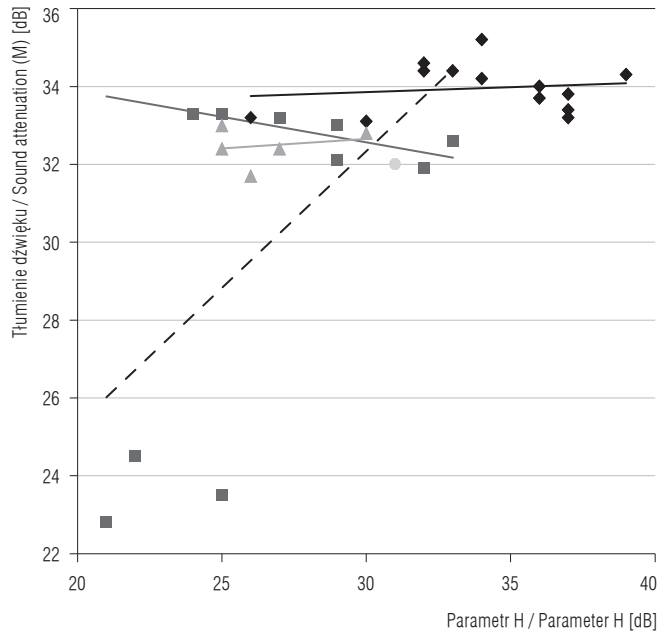
Tłumienie dźwięku wkładek przeciwhałasowych w każdym z analizowanych pasm 1/3-oktawowych (10 kHz, 2,5 kHz i 16 kHz) przyjmuje największe wartości w przypadku wkładek piankowych. Analiza z wykorzystaniem testu Wilcoxon wykazała, że w przypadku wkładek skrzydełkowych tłumienie dźwięku różni się istotnie statystycznie od tłumienia dźwięku wkładek piankowych ($p = 0,0003$, $p = 0,0004$ i $p = 0,0006$ dla częstotliwości, odpowiednio, 10 kHz, 12,5 kHz oraz 16 kHz).



Rodzaj wkładek / Earplugs' type:
 ◆ piankowe / foam
 ■ skrzydełkowe / flanged
 ▲ ze sprężyną / headband
 ● z trzpieniem / no-roll
 — linie trendu w obrębie wkładek określonego rodzaju (w przypadku wkładek skrzydełkowych bez uwzględnienia tłumienia 3 wkładek o odstających wartościach tłumienia) / trend lines calculated within the particular type of earplugs (in the case of flanged earplugs without 3 earplugs with outliers sound attenuation values)
 - - - linia trendu uwzględniająca tłumienie wszystkich modeli wkładek skrzydełkowych / trend line taking into account the attenuation of all flanged earplugs

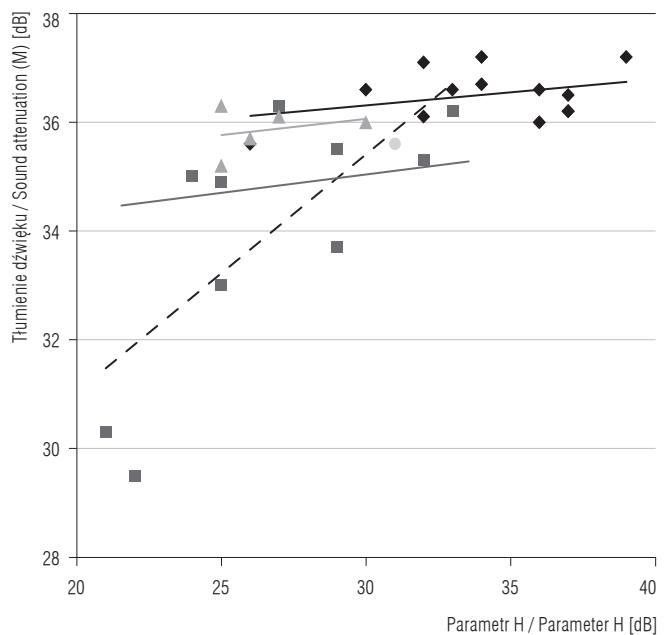
H – tłumienie wysokoczęstotliwościowe / high-frequency attenuation value.
 M – średnia / mean.

Ryc. 2. Tłumienie dźwięku wkładek przeciwhałasowych w pasmie tercjowym o częstotliwości środkowej 10 kHz w funkcji katalogowego parametru H według rodzaju wkładek
Fig. 2. Sound attenuation by earplugs in the 1/3-octave-band with the 10 kHz centre frequency as a function of the catalogue H parameter by type of earplugs



Skróty i objaśnienia jak na rycinie 2 / Abbreviations and explanations as in Figure 2.

Ryc. 3. Tłumienie dźwięku wkładek przeciwhałasowych w pasmie tercjowym o częstotliwości środkowej 12,5 kHz w funkcji katalogowego parametru H według rodzaju wkładek
Fig. 3. Sound attenuation by earplugs in the 1/3-octave-band with the 12.5 kHz centre frequency as a function of the catalogue H parameter by type of earplugs



Skróty i objaśnienia jak na rycinie 2 / Abbreviations and explanations as in Figure 2.

Ryc. 4. Tłumienie dźwięku wkładek przeciwhałasowych w pasmie tercjowym o częstotliwości środkowej 16 kHz w funkcji katalogowego parametru H według rodzaju wkładek
Fig. 4. Sound attenuation by earplugs in the 1/3-octave-band with the 16 kHz centre frequency as a function of the catalogue H parameter by type of earplugs

Podobna sytuacja występuje, gdy porównuje się tłumienie dźwięku wkładek piankowych z tłumieniem dźwięku wkładek ze sprężyną dociskową ($p = 0,04$, $p = 0,0002$ oraz $p = 0,02$ dla częstotliwości, odpowiednio, 10 kHz, 12,5 kHz oraz 16 kHz). Porównanie tłumienia dźwięku wkładek skrzydełkowych z tłumieniem dźwięku wkładek ze sprężyną dociskową wskazuje natomiast na brak statystycznie istotnych różnic między tymi tłumieniami ($p = 0,11$, $p = 0,9$ i $p = 0,08$ dla częstotliwości, odpowiednio, 10 kHz, 12,5 kHz oraz 16 kHz). Należy także zwrócić uwagę na niskie wartości tłumienia dźwięku dla 3 modeli wkładek skrzydełkowych wynikające z zastosowania w 2 modelach takich wkładek (3M EAR Ultrafit 14 i 3M EAR Ultrafit 20) filtra przepuszczającego dźwięk. Standardowo wkładki takie tłumią dźwięk słabiej niż pozostałe typy ochronników słuchu.

Tłumienie dźwięku w przypadku poszczególnych typów wkładek przeciwhałasowych przyjmuje coraz większe wartości wraz ze wzrostem częstotliwości. W przypadku wkładek piankowych wartość tłumienia rośnie o ok. 2 dB ze wzrostem poszczególnych częstotliwości środkowych pasm 1/3-oktawowych (uśredniona wartość tłumienia dźwięku w przypadku różnych modeli wkładek piankowych wynosi 32,3 dB, 34 dB i 36,5 dB, dla częstotliwości, odpowiednio, 10 kHz, 12,5 kHz i 16 kHz). Podobny wzrost tłumienia obserwowano dla wkładek ze sprężyną dociskową (uśredniona wartość tłumienia dźwięku: 30,5 dB, 32,5 dB i 35,9 dB), natomiast w przypadku wkładek skrzydełkowych tłumienie rośnie o ok. 4 dB (uśredniona wartość tłumienia dźwięku: 25,5 dB, 30 dB i 34 dB).

Nie zaobserwowano znaczącego związku między zmianą wartości parametru H a zmianą tłumienia dźwięku w zakresie częstotliwości 10–16 kHz. Rozpiętość wartości parametru H uwzględnionych w badaniach modeli piankowych wkładek przeciwhałasowych wynosiła 13 dB. Tłumienie dźwięku zmieniało się natomiast jedynie w zakresie ok. 2 dB we wszystkich 3 rozpatrywanych pasmach częstotliwości. O braku zależności między zmianą wartości parametru H a zmianą tłumienia dźwięku w zakresie częstotliwości 10–16 kHz świadczą także linie trendu o małym stopniu nachylenia (współczynnik kierunkowy linii trendu wynosi 0,02–0,08). Również w przypadku wkładek ze sprężyną dociskową zmiana parametru H nie wpływała znacząco na tłumienie dźwięku wkładek (współczynnik kierunkowy linii trendu wynosi 0,05–0,06 dla częstotliwości 12,5 kHz i 16 kHz). Jedynie dla częstotliwości 10 kHz można zaobserwować

pewien związek między zmianą wartości parametru H a tłumieniem dźwięku wkładek (współczynnik kierunkowy linii trendu: 0,32). Wzrost parametru H o 5 dB spowodował zwiększenie tłumienia w przypadku tego rodzaju wkładek o 3 dB. Inna jest natomiast sytuacja, gdy rozpatruje się zmianę tłumienia dźwięku w funkcji parametru H w przypadku wkładek skrzydełkowych. Tak jak opisano wcześniej, 2 typy wkładek przeciwhałasowych (3M EAR Ultrafit 14 i 3M EAR Ultrafit 20) są wyposażone w filtry akustyczne, co powoduje, że wyniki pomiaru różnią się od wyników uzyskanych dla pozostałych modeli uwzględnionych w badaniach wkładek. Ponadto obserwuje się wyraźnie mniejsze wartości tłumienia w przypadku wkładek Howard Leight Neutron. Uwzględniając w analizie wymienione wkładki, poszczególne modele wkładek skrzydełkowych maksymalnie różniły się wartością parametru H o 13 dB, natomiast tłumienie dźwięku w zależności od modelu wkładek zmieniało się o 19 dB, 10 dB i 7 dB dla częstotliwości, odpowiednio, 10 kHz, 12,5 kHz i 16 kHz. Bez uwzględnienia wkładek charakteryzujących się odbiegającymi wartościami tłumienia dźwięku, podobnie jak w przypadku wkładek piankowych i ze sprężyną dociskową, obserwowana zmiana tłumienia dźwięku w funkcji wzrostu wartości parametru H dla wkładek skrzydełkowych nie jest duża. W tej sytuacji wartość parametru H zmienia się o 9 dB, a tłumienie dźwięku – jedynie o 4 dB, 1 dB i 3 dB dla częstotliwości, odpowiednio, 10 kHz, 12,5 kHz i 16 kHz, z czego wynikają wartości współczynnika kierunkowego linii trendu wynoszące –0,03, –0,13 i 0,07 dla częstotliwości, odpowiednio, 10 kHz, 12,5 kHz i 16 kHz.

OMÓWIENIE

Ze względu na występujące stanowiskach pracy sytuacje, kiedy wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego są przekraczane, istnieje potrzeba ochrony pracowników, którzy są narażeni na takiego rodzaju hałas. Jednym ze sposobów ograniczania narażenia na hałas jest stosowanie ochronników słuchu. Dostępnych jest niewiele prac z zakresu badań skuteczności tłumienia ochronników słuchu w przypadku hałasu ultradźwiękowego. W jednej z nich przedstawiono badania, które ograniczają się jedynie do kilku wybranych modeli ochronników słuchu, których właściwości ochronne wyznaczano metodą obiektywną, za pomocą testera akustycznego [21]. Badania przeprowadzone za pomocą testera akustycznego w przypadku wkładek przeciwhałasowych wykazały wartości tłumienia wyższe

(przekraczające nawet 60 dB) niż przedstawione w niniejszej pracy wartości tłumienia uzyskane metodą subiektywną. Podobnie natomiast jak w niniejszej pracy tłumienie wkładek piankowych było wyższe niż tłumienie wkładek skrzydełkowych. Niestety ze względu na brak danych o wartości parametru H badanych w pracy [21] wkładek przeciwhałasowych trudno się w tym przypadku odnieść do obserwacji poczynionych w niniejszej pracy, wskazujących na brak zależności między wartością parametru H a wartościami tłumienia dźwięku dla częstotliwości 10–16 kHz. W omawianej pracy [21] przedstawiono także wyniki badań tłumienia hałasu ultradźwiękowego w przypadku 2 modeli nauszników przeciwhałasowych. Badane nauszники różniły się między sobą wartością parametru H o 7 dB. Różnica ta – podobnie jak w niniejszej pracy dotyczącej wkładek przeciwhałasowych – nie miała większego wpływu na tłumienie nauszników.

Taki sam wniosek dotyczący nauszników przeciwhałasowych otrzymano również w badaniach Kozłowskiego i Młyńskiego [22]. Przedstawiono w nich wyniki pomiarów tłumienia dźwięku w przypadku hałasu ultradźwiękowego otrzymanych metodą zarówno subiektywną, jak i obiektywną. Wyniki te wskazały, że używanie testera akustycznego do charakteryzowania właściwości nauszników przeciwhałasowych poza standardowym zakresem wiąże się z ograniczoną dokładnością wyznaczania tłumienia hałasu. Mając na uwadze powyższe oraz to, że tłumienie wkładek otrzymane za pomocą testera akustycznego [21] może osiągać wartości powyżej 60 dB, w niniejszej pracy zdecydowano przeprowadzać pomiary z udziałem ludzi. O tym, że ochronniki słuchu są skutecznym sposobem ochrony słuchu przed hałasem ultradźwiękowym, świadczą wyniki przedstawione w pracy Pawlaczyk-Łuszczynskiej i wsp. [23]. Badania te nie dostarczyły danych liczbowych dotyczących ograniczania hałasu ultradźwiękowego przez ochronniki słuchu, a związane były jedynie z pomiarami progu słyszenia podczas ich stosowania. Nie można więc tych wyników bezpośrednio porównać z wynikami otrzymanymi w niniejszej pracy.

WNIOSKI

Wyniki przedstawionych badań dostarczyły danych dotyczących ograniczania hałasu przez 29 powszechnie stosowanych modeli wkładek przeciwhałasowych, w przypadku hałasu ultradźwiękowego w zakresie 10–16 kHz, które to dane do tej pory nie były dostępne. Dane te są uzupełnieniem wiedzy o właściwościach akustycznych

stosowanych wkładek przeciwhałasowych, która umożliwi dobór ochronników słuchu do hałasu na stanowisku pracy. Taki dobór zapewni, że stosowanie wkładek przeciwhałasowych obniży poziom dźwięku (dla częstotliwości środkowych 10–16 kHz) poniżej wartości, które mogą być niebezpieczne dla narządu słuchu.

Wyniki niniejszych badań wykazały istotne różnicowanie wartości tłumienia dźwięku w zakresie częstotliwości 10–16 kHz między poszczególnymi wkładkami przeciwhałasowymi. Spośród powszechnie stosowanych 29 modeli wkładek wartości mierzonego dla nich tłumienia zawierają się w zakresie od 12,9 dB dla pasma 1/3-oktawowego o częstotliwości środkowej 10 kHz do 37,2 dB dla pasma 1/3-oktawowego o częstotliwości środkowej 16 kHz. Przy czym najwyższe tłumienie dźwięku zmierzono w przypadku wkładek piankowych.

W niniejszych badaniach wykazano brak jednorodnego związku między tłumieniem dźwięku wkładek przeciwhałasowych w zakresie częstotliwości 10–16 kHz a katalogowym parametrem H. W związku z tym nie ma możliwości prostego przewidywania tłumienia hałasu ultradźwiękowego w zakresie częstotliwości 10–16 kHz, np. z wykorzystaniem danych tłumienia dźwięku dla standardowo rozpatrywanego zakresu częstotliwości (do 8 kHz).

PIŚMIENNICTWO

1. Pleban D.: Methods of testing of sound absorption properties of materials intended for ultrasonic noise protection. *Arch. Acoust.* 2013;38(2):191–195, <https://doi.org/10.2478/aoa-2013-0022>
2. Koton J.: Przemysłowe źródła hałasu ultradźwiękowego. *Bezp. Pr. Nauk. Prakt.* 1988;10:11–15
3. Smagowska B.: Ultrasonic noise sources in a work environment. *Arch. Acoust.* 2013;38(2):169–176, <https://doi.org/10.2478/aoa-2013-0019>
4. Smagowska B.: Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy maszyn i urządzeń ze sprężonym powietrzem. *Bezp. Pr. Nauk. Prakt.* 2011;7–8:38–41
5. Pawlaczyk-Łuszczynska M., Dudarewicz A., Śliwińska-Kowalska M.: Źródła ekspozycji zawodowej na hałas ultradźwiękowy – ocena wybranych urządzeń. *Med. Pr.* 2007; 58(2):105–116
6. 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. *DzU* z 2017 r., poz. 1348

7. Smagowska B.: Objective and subjective study of noise exposure in the frequency range from 10 kHz to 40 kHz. *Arch. Acoust.* 2013;38(4):559–563, <https://doi.org/10.2478/aoa-2013-0066>
8. Smagowska B., Mikulski W.: Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy drążarek ultradźwiękowych – ocena ryzyka zawodowego. *Bezp. Pr. Nauk. Prakt.* 2008;10:18–22
9. Smagowska B., Mikulski W.: Badania laboratoryjne wpływu hałasu ultradźwiękowego na funkcje poznawcze i sprawność psychomotoryczną człowieka. *Bezp. Pr. Nauk. Prakt.* 2012;5:24–26
10. Dudarewicz A., Zaborowski K., Rutkowska-Kaczmarek P., Zamojska-Daniszevska M., Śliwińska-Kowalska M., Zamysłowska-Szmytka E. i wsp.: The hearing threshold of employees exposed to noise generated by the low-frequency ultrasonic welding devices. *Arch. Acoust.* 2017;42(2):199–205, <https://doi.org/10.1007/BF00381381>
11. Parrack H.O.: Effects of airborne ultrasound. *Int. Aud.* 1966;(5):294–308
12. Grzesik J., Pluta E.: Dynamics of high frequency hearing loss of operators of industrial ultrasonic devices. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 1986;57(2):137–142, <https://doi.org/10.1007/BF00381381>
13. Smagowska B., Pawlaczyk-Łuszczynska M.: Effects of action of ultrasonic noise on the human body – A bibliographic review. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 2013;19(2):195–202, <https://doi.org/10.1080/10803548.2013.11076978>
14. Acton W.I.: Exposure to industrial ultrasound: Hazards, appraisal and control. *Occup. Med.* 1983;33(3):107–113, <https://doi.org/10.1093/occmed/33.3.107>
15. PN-EN 24869-1:1999. Akustyka. Ochronniki słuchu. Metoda subiektywna pomiaru tłumienia dźwięku. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1999
16. PN-EN 352-1:2005. Ochronniki słuchu. Wymagania ogólne. Część 1: nauszniki przeciwhałasowe. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2005
17. Radosz J.: Methodology issues of ultrasonic noise exposure assessment. *Noise Control Eng. J.* 2012;60(6):645–654, <https://doi.org/10.3397/1.3701038>
18. Radosz J.: Procedura pomiaru hałasu ultradźwiękowego. *Podst. Metod. Ocen. Środow. Pr.* 2015;4(86):169–190, <https://doi.org/10.5604/1231868X.1192088>
19. PN-EN 458:2006. Ochronniki słuchu – zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006
20. PN-EN 4869-2:2002. Akustyka. Ochronniki słuchu. Część 2: szacowanie efektywnych poziomów dźwięku A pod ochronnikami słuchu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002
21. Crabtree R.B., Behar A.: Measurement of hearing protector insertion loss at ultrasonic frequencies. *Appl. Acoust.* 2000;59(3):287–299, [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(99\)00003-1](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(99)00003-1)
22. Kozłowski E., Młyński R.: Measurement of earmuffs attenuation at high audible frequencies. *Arch. Acoust.* 2017;42(2):249–254, <https://doi.org/10.1515/aoa-2017-0027>
23. Pawlaczyk-Łuszczynska M., Zaborowski K., Dudarewicz A.: Evaluation of efficiency of personal hearing protective devices in case of exposure to ultrasonic noise. *Proceedings of the 16th International Conference on Noise Control 2013.* 26–29 maja 2003, Ryn, Polska. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2013