

Emil Kozłowski
Rafał Młyński

TŁUMIENIE DŹWIĘKU NAUSZNIKÓW PRZECIWAHAŁASOWYCH STOSOWANYCH JEDNOCZEŚNIE ZE SPRZĘTEM OCHRONY UKŁADU ODDECHOWEGO

ATTENUATION OF EARMUFFS USED SIMULTANEOUSLY WITH RESPIRATORY PROTECTIVE DEVICES

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: W środowisku pracy pracownicy oprócz hałasu mogą być narażeni na działanie innych czynników szkodliwych, dlatego noszą jednocześnie ochronniki słuchu i inne środki ochrony indywidualnej. Celem badań było określenie, czy jednoczesne stosowanie nauszników przeciwhałasowych i sprzętu ochrony układu oddechowego może wpływać na tłumienie dźwięku nauszników. **Materiał i metody:** Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, wykorzystując subiektywną metodę REAT (Real Ear Attenuation at Threshold – tłumienie dźwięku na podstawie progu słyszenia) oraz obiektywną metodę MIRE (Microphone in Real Ear – mikrofon umieszczony w uchu). Za pomocą metody REAT wyznaczano tłumienie dźwięku nauszników przeciwhałasowych. Metodę MIRE wykorzystano natomiast do wyznaczania zmiany tłumienia nauszników pod wpływem stosowania dodatkowego środka ochrony indywidualnej. Badania przeprowadzono dla 5 modeli nauszników przeciwhałasowych i 6 modeli sprzętu ochrony układu oddechowego. **Wyniki:** Badania wykazały obniżenie tłumienia nauszników pod wpływem stosowania maski pełnej, które może sięgać nawet 20 dB. Stosowanie maski powoduje, że w zakresie niskich częstotliwości nauszники prawie w ogóle nie tłumią dźwięku. Zmiana tłumienia nauszników pod wpływem stosowania półmasek przeznaczonych do skompletowania z elementami oczyszczającymi (półmasek) wynosi 3–15 dB. Jednoczesne stosowanie nauszników i półmasek filtrujących powoduje niewielkie zmiany w tłumieniu nauszników, nieprzekraczające 3 dB. **Wnioski:** Badania skuteczności tłumienia nauszników przeciwhałasowych przy ich jednoczesnym stosowaniu ze sprzętem ochrony układu oddechowego wykazały, że największy wpływ na tłumienie nauszników mają maski pełne. Z innej strony najmniejszy wpływ na tłumienie nauszników ma stosowanie półmasek filtrujących wyposażonych w cienkie taśmy nagłowne. W przypadku półmasek przeznaczonych do skompletowania z elementami oczyszczającymi zauważono znaczną różnicę we wpływie półmasek na tłumienie nauszników ze względu na rodzaj użytych w półmaskach taśm nagłownych. Med. Pr. 2017;68(3):349–361

Słowa kluczowe: ochronniki słuchu, nauszники przeciwhałasowe, tłumienie dźwięku, sprzęt ochrony układu oddechowego, maski pełne, półmaski

ABSTRACT

Background: In the work environment, apart from the noise, employees may be exposed to other harmful factors. Therefore, they wear hearing protectors and other personal protective equipment. The aim of the study was to determine whether simultaneous use of earmuffs and respiratory protective devices affects the attenuation of earmuffs. **Material and Methods:** The study was conducted in laboratory conditions using the subjective REAT (Real Ear Attenuation at Threshold) and objective MIRE (Microphone in Real Ear) methods. The REAT method was used to measure sound attenuation of earmuffs, while MIRE was used to determine changes in attenuation of earmuffs due to the use of other personal protective equipment. **Results:** The study showed reduction in attenuation of earmuffs due to the use of a full face mask up to 20 dB. Using a full face mask causes that attenuation of earmuffs in the low frequency range is close to zero. Reduction in attenuation due to the use of half masks for complete with particle filters (half masks) is 3–15 dB. Simultaneous use of earmuffs and filtering half masks makes small changes in attenuation not exceeding 3 dB. **Conclusions:** The study showed that full face masks give the greatest reduction in attenuation of earmuffs. On the other hand, the least reduction is observed in the case of filtering half masks. There is a significant difference between the reduction in attenuation of earmuffs worn with half masks for complete with particle filters because they may be equipped with different kind of the head strap. Med Pr 2017;68(3):349–361

Key words: hearing protectors, earmuffs, sound attenuation, respiratory protective devices, full face masks, half masks

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: 5 lutego 2016, zatwierdzono: 23 sierpnia 2016

WSTĘP

Ochronniki słuchu są jednym z najczęściej stosowanych w środowisku pracy środków służących do eliminowania narażenia pracowników na hałas. Pełną ochronę narządu słuchu zapewnia jedynie poprawne stosowanie ochronników słuchu. Dość często niestety występuje różnica między zakładaną skutecznością ochrony słuchu, wynikającą ze stosowania ochronników słuchu i opartą na wartościach tłumienia dźwięku przedstawianych przez producentów w instrukcji użytkownika, a skutecznością ochrony w warunkach rzeczywistych [1–4].

Przyczyną tej różnicy jest to, że badania prowadzone w celu określenia nominalnego tłumienia dźwięku ochronników słuchu są wykonywane w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, najczęściej zgodnie z wymaganiami odnośnych norm [5,6], zazwyczaj przez grupę wytrenowanych słuchaczy i na zupełnie nowych próbkach ochronników słuchu, podczas gdy użytkowanie ochronników słuchu w warunkach rzeczywistych często odbiega od tego, co występuje w laboratorium. Na przykład pracownicy często nie przykładają należytej uwagi do poprawnego zakładania ochronników słuchu [7,8] (dotyczy to głównie wkładek przeciwhałasowych) lub używają starych, zużytych egzemplarzy ochronników, których skuteczność jest ograniczona [9–11].

W zakładach pracy często zdarza się, że pracownicy oprócz hałasu są narażeni na działanie innych czynników niebezpiecznych, w związku z czym noszą jednocześnie ochronniki słuchu i inne środki ochrony indywidualnej. Takie połączenie może skutkować spadkiem skuteczności działania ochronników słuchu ze względu na pojawienie się szczelin w poduszce uszczelniającej nauszniaka. Nieszczelności te są spowodowane obecnością elementów innych środków ochrony indywidualnej pod poduszką. Badania oceniające to zjawisko były jednak nieliczne i prowadzone na małej liczbie próbek.

Abel i wsp. [12] porównali tłumienie dźwięku 1 nauszniaka przeciwhałasowego mocowanego do hełmu ochronnego stosowanego bez dodatkowej ochrony i stosowanego z okularami ochronnymi i z półmaską oczyszczającą powietrze. Badania wykazały pogorszenie tłumienia dźwięku nauszniaka dochodzące do 9 dB w wyniku stosowania dodatkowych elementów ochronnych. Podobne badania, także z wykorzystaniem 1 nauszniaka, przeprowadzili Chung i wsp. [13]. Badania dotyczyły wpływu używania okularów, czapki oraz obecności długich włosów na skuteczność tłumie-

nia dźwięku nauszniaków przeciwhałasowych. Badania wykazały, że największe zmniejszenie tłumienia nauszniaków, ponad 10 dB, powoduje używanie czapki. W przypadku stosowania nauszniaków przez osoby używające okularów korekcyjnych lub mające długie włosy tłumienie dźwięku tych nauszniaków było niższe o ok. 5 dB.

Celem przedstawionych w niniejszej pracy badań było określenie, jak jednoczesne stosowanie nauszniaków przeciwhałasowych i sprzętu ochrony układu oddechowego może wpływać na tłumienie dźwięku nauszniaków.

MATERIAŁ I METODY

Nauszniki przeciwhałasowe

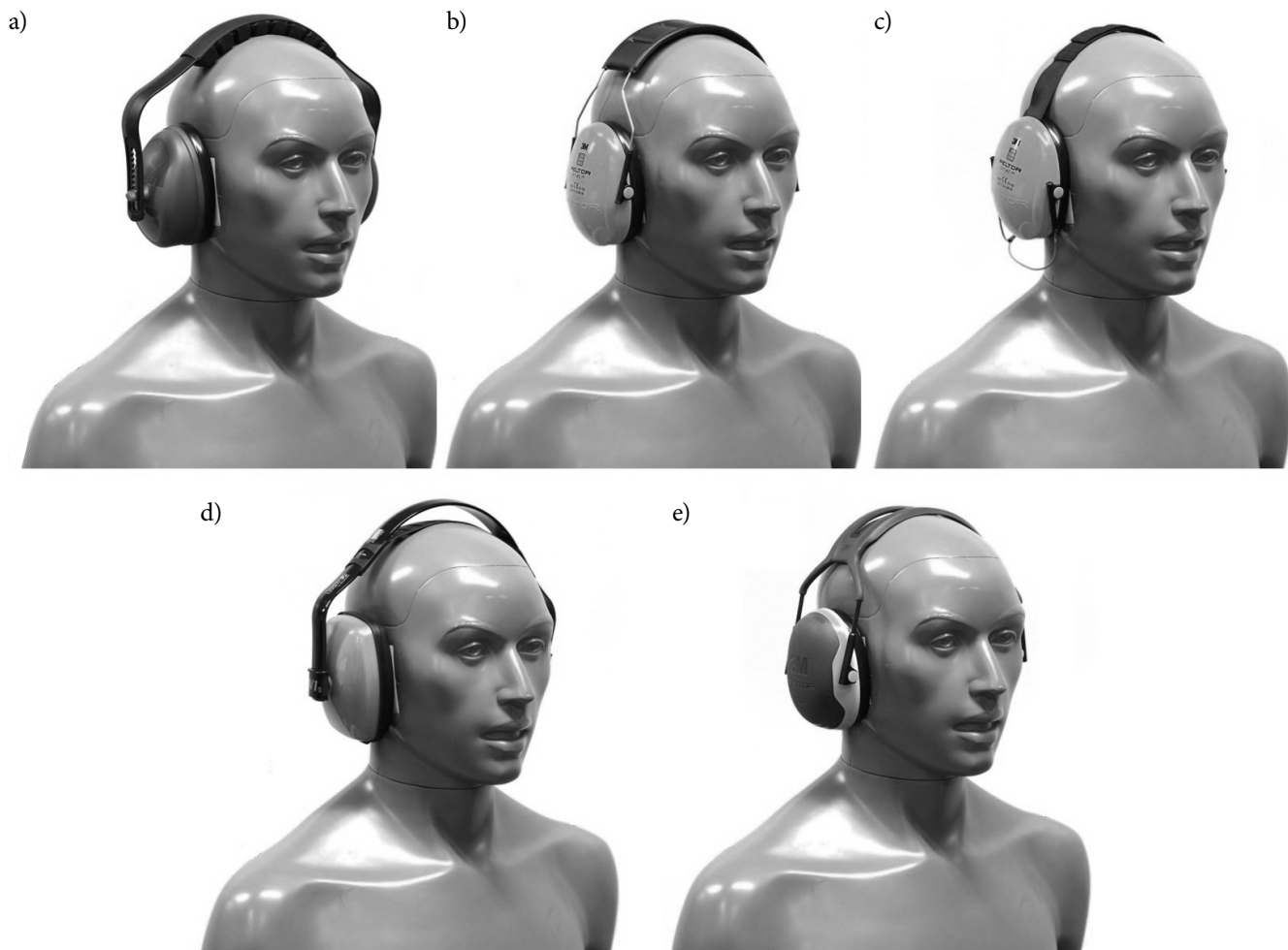
Badania zostały przeprowadzone dla 5 popularnych, używanych w przemyśle modeli nauszniaków przeciwhałasowych, tj. EAR 5000, 3M Peltor H510A, 3M Peltor H510B, HL Bilsom Viking V1 oraz 3M Peltor X4A (fot. 1). Nauszniki te różnią się nominalnym tłumieniem dźwięku, konstrukcją sprężyny dociskowej i konstrukcją poduszki uszczelniającej. Nauszniki przeciwhałasowe 3M Peltor H510A i 3M Peltor H510B różnią się jedynie konstrukcją sprężyny dociskowej przy identycznej budowie czasz i poduszek uszczelniających. Badane nauszniki były nowe, bez śladów używania.

Sprzęt ochrony układu oddechowego

Badania obejmowały wyznaczenie tłumienia dźwięku każdego przedstawionego powyżej nauszniaków podczas używania ich z 2 rodzajami półmasek filtrujących (3M 9312 i FS-913, fot. 2a, 2b), 2 rodzajami półmasek przeznaczonych do skompletowania z elementami oczyszczającymi, nazywanych dalej półmaskami (3M 6200 i 3M 7500, fot. 2c, 2d) oraz 2 rodzajami masek pełnych (Honeywell Optifit i MSA Ultra Elite, fot. 2e, 2f). Wybrane półmaski filtrujące, półmaski i maski różniły się konstrukcją elementów twarzowych oraz rodzajem użytych do regulacji taśm nagłownych, co może wpływać na tłumienie stosowanych z nimi nauszniaków.

Sposób przeprowadzania badań

Celem badań było określenie tłumienia dźwięku nauszniaków przeciwhałasowych stosowanych jednocześnie ze sprzętem ochrony układu oddechowego. Badania przeprowadzono w taki sposób, żeby uzyskane wyniki odpowiadały metodzie REAT (Real Ear Attenuation at Threshold – tłumienie dźwięku na podstawie



Fot. 1. Nauszniki przeciwhałasowe wykorzystane w badaniu tłumienia dźwięku w przypadku jednoczesnego stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego i tych nauszników: a) EAR 5000, b) 3M Peltor H510A, c) 3M Peltor H510B, d) HL Bilsom Viking V1, e) 3M Peltor X4A

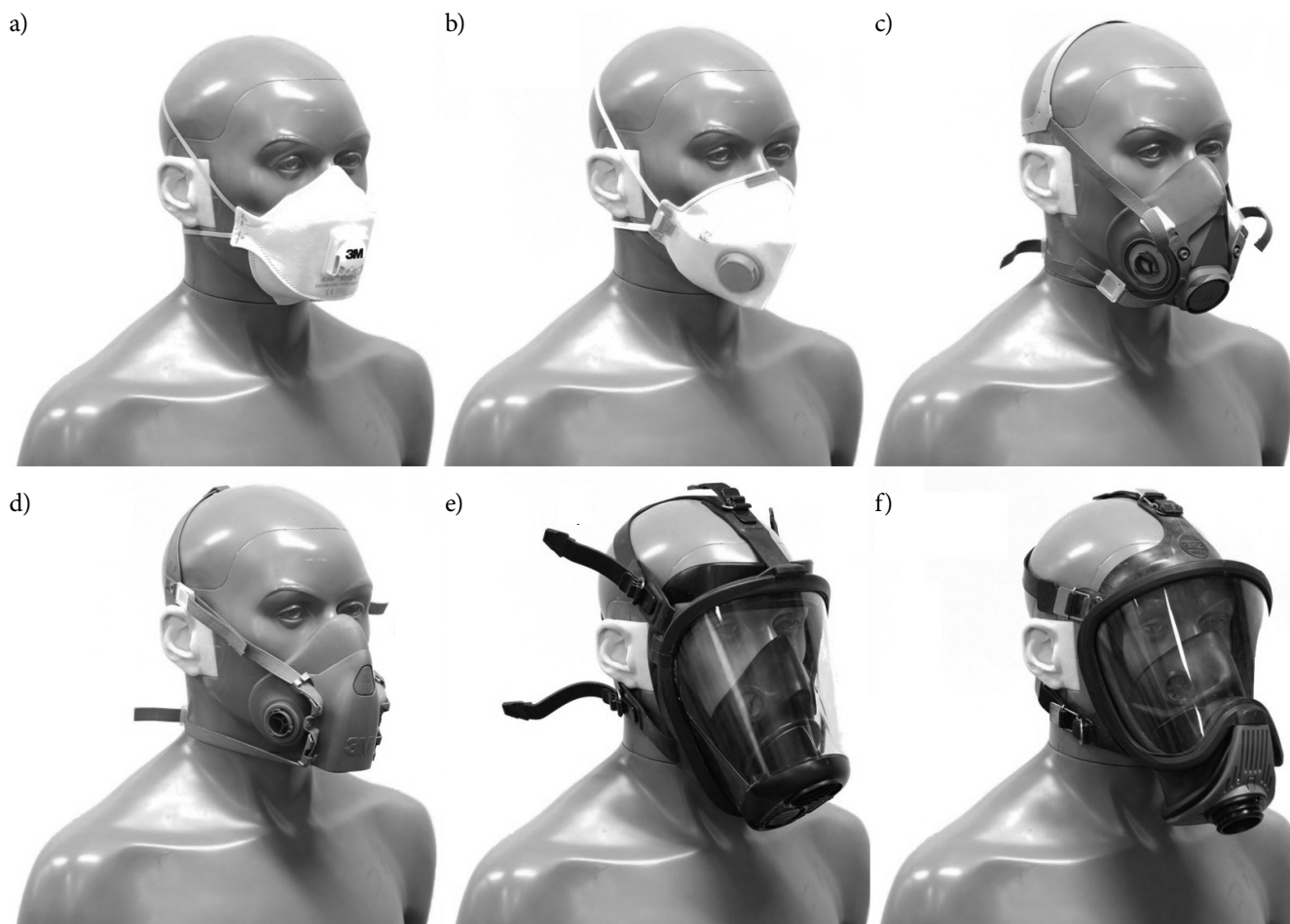
Photo 1. Earmuffs used in sound attenuation measurement when they were worn simultaneously with respiratory protective devices: a) EAR 5000, b) 3M Peltor H510A, c) 3M Peltor H510B, d) HL Bilsom Viking V1, e) 3M Peltor X4A

progu słyszenia) [8]. Metoda REAT jest stosowana do charakteryzowania właściwości akustycznych ochronników słuchu w oparciu o pomiary progów słyszenia osób. Różnica między zmierzonymi progami słyszenia z założonymi ochronnikami słuchu i bez nich stanowi tłumienie dźwięku badanych ochronników słuchu.

W celu uzyskania wartości tłumienia dźwięku badanych nauszników używanych jednocześnie z półmaskami i maskami zastosowano sposób badań, który składał się z 2 metod pomiaru tłumienia sygnału akustycznego – wspomnianej metody REAT oraz metody MIRE (Microphone in Real Ear – mikrofon umieszczony w uchu) [14], która pozwala w znacznym stopniu skrócić czas pomiarów z udziałem osób. Za pomocą metody REAT wyznaczano tłumienie nauszników przeciwhałasowych (tłumienie odniesienia wyznacza-

ne bez stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego). Natomiast metodę MIRE zastosowano podczas wyznaczania zmiany tłumienia nauszników pod wpływem wykorzystywania dodatkowego środka ochrony indywidualnej.

Wyznaczano tłumienie metodą MIRE w 2 sytuacjach stosowania nauszników – bez dodatkowego środka ochrony indywidualnej i z nim. Różnica między oboma tłumieniami wyznaczonymi metodą MIRE wskazuje na zmiany tłumienia nauszników wynikające ze stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego. Ostatecznie tłumienie nauszników stosowanych jednocześnie ze sprzętem ochrony układu oddechowego zostało wyznaczone na podstawie wcześniej zmierzonego tłumienia metodą REAT (tłumienie odniesienia) i zmiany tłumienia wyznaczonej metodą MIRE.



Fot. 2. Sprzęt ochrony układu oddechowego wykorzystany w badaniu tłumienia dźwięku nauszników przeciwhałasowych przy jednoczesnym stosowaniu nauszników i tego sprzętu: a) półmaska filtrująca 3M 9312, b) półmaska filtrująca FS-913, c) półmaska 3M 6200, d) półmaska 3M 7500, e) maska pełna Honeywell Optifit, f) maska pełna MSA Ultra Elite

Photo 2. Respiratory protective devices used in sound attenuation measurement of earmuffs when they were worn simultaneously with respiratory protective devices: a) filtering half mask 3M 9312, b) filtering half mask FS-913, c) half mask 3M 6200, d) half mask 3M 7500, e) full face mask Honeywell Optifit, f) full face mask MSA Ultra Elite

Opisany powyżej sposób wyznaczania tłumienia nauszników stosowanych jednocześnie ze sprzętem ochrony układu oddechowego można przedstawić za pomocą następującej zależności:

$$TN+S(f) = TN(f) - (TMN(f) - TMN+S(f)) \quad (1)$$

gdzie:

TN+S – tłumienie dźwięku nauszników stosowanych jednocześnie ze sprzętem ochrony układu oddechowego,

TN – tłumienie nauszników wyznaczone metodą REAT,

TMN – tłumienie nauszników wyznaczone metodą MIRE,

TMN+S – tłumienie nauszników stosowanych jednocześnie ze sprzętem ochrony układu oddechowego, wyznaczone metodą MIRE,

f – częstotliwość środkowa pasma 1/3-oktawowego z zakresu 63–8000 Hz.

W przypadku pomiarów metodą REAT sygnałem testowym był szum różowy filtrowany w pasmach 1/3-oktawowych o częstotliwościach środkowych od 63 Hz do 8000 Hz. Do generacji sygnału testowego wykorzystano system Norsonic NOR838 sterowany specjalnym oprogramowaniem zainstalowanym na komputerze, wzmacniacz mocy Rotel RMB-1075 i 4 zestawy głośnikowe JBL 4208. Ze względu na pomiaru progu słyszenia badania przeprowadzono w pomieszczeniu zapewniającym niski poziom hałasu tła.

Zarówno wyznaczanie wartości tłumienia dźwięku nauszników przeciwhałasowych metodą REAT, jak i zmiany tłumienia nauszników pod wpływem stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego metodą MIRE przeprowadzono na podstawie pomiarów z udziałem 10 słuchaczy (8 mężczyzn i 2 kobiet) w wieku 25–45 lat. Osoby te miały doświadczenie w bada-

niach właściwości ochronników słuchu i stan ich słuchu spełniał wymagania normy dotyczącej badań tłumienia dźwięku [5]. Kryterium w tej normie stanowi, że przesunięcie progu słyszenia osób uczestniczących w badaniach nie powinno być większe niż 15 dB dla częstotliwości audiometrycznych 2000 Hz i niższych oraz 25 dB dla częstotliwości powyżej 2000 Hz. Na fotografii 3. przedstawiono jedną z badanych osób podczas pomiaru progu słyszenia metodą REAT.

W odróżnieniu od metody REAT, w której rejestruje się reakcję słuchaczy, w badaniach metodą MIRE w celu pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego wykorzystano mikrofon miniaturowy Knowles BL1785 podłączony do miernika poziomu dźwięku SVAN 948. Sposób umieszczenia mikrofonu w małżowinie usznej słuchacza przedstawiono na fotografii 4. Pomiarów metodą MIRE wykonano w tym samym pomieszczeniu co pomiary progów słyszenia, a sygnałem testowym był szum różowy generowany przez tę samą aparaturę co w przypadku pomiarów metodą REAT. W każdej sytuacji pomiarowej (bez nauszników, z nausznikami, z nausznikami i jednocześnie założonym sprzętem układu oddechowego) 3-krotnie prezentowano sygnał testowy o czasie trwania 30 s. Zmierzone 3-krotnie poziomy ciśnienia akustycznego były uśredniane.

Analizę istotności zmian tłumienia przeprowadzono z użyciem testu t-Studenta dla prób zależnych, rozpatrując zmiany tłumienia w przypadku wszystkich 22 częstotliwości środkowych pasm 1/3-oktawowych oddzielnie. Dane wejściowe do przeprowadzonej analizy, tj. zmierzone wartości tłumienia nauszników stosowanych bez sprzętu ochrony układu oddechowego i nauszników stosowanych jednocześnie z tym sprzętem, były równoliczne oraz charakteryzowały się rozkładem normalnym (test Lillieforsa).

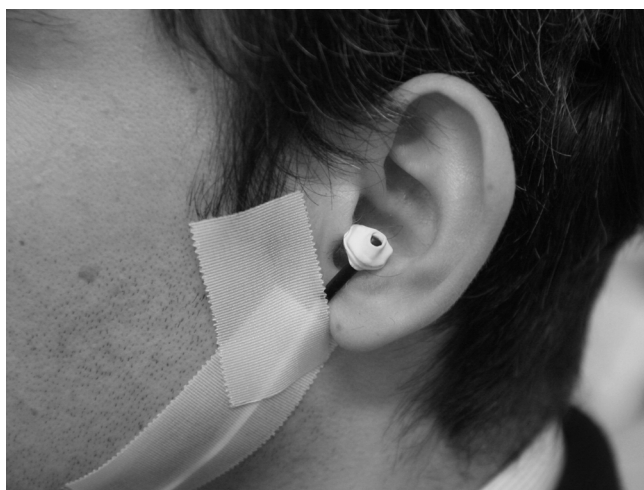
WYNIKI

Na rycinie 1. przedstawiono średnie wartości tłumienia dźwięku wraz z odchyleniami standardowymi samych (założonych bez sprzętu ochrony układu oddechowego) nauszników przeciwhałasowych EAR 5000, uzyskane metodą REAT. Ponadto na rycinie 1. przedstawiono tłumienie w 6 sytuacjach, tj. gdy nauszники EAR 5000 były założone kolejno: z półmaską filtrującą 3M 9312, półmaską filtrującą FS-913, półmaską 3M 6200, półmaską 3M 7500, maską pełną Honeywell Optifit oraz maską pełną Honeywell MSA Ultra Elite. Wyniki te obliczono jako różnicę przedstawionego tłumienia dźwięku nauszników i wyznaczonej metodą MIRE



Fot. 3. Pomiar metodą REAT (tłumienie dźwięku na podstawie progu słyszenia) tłumienia dźwięku nauszników przeciwhałasowych

Photo 3. Measurement of sound attenuation of earmuffs with the use of REAT (Real Ear Attenuation at Threshold) method



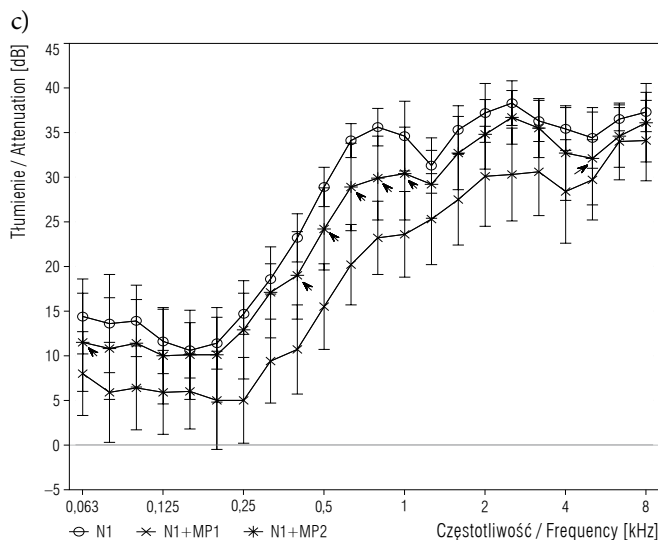
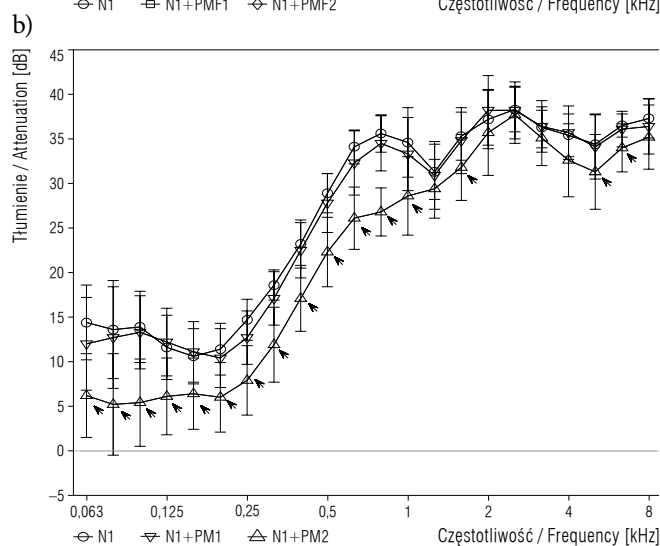
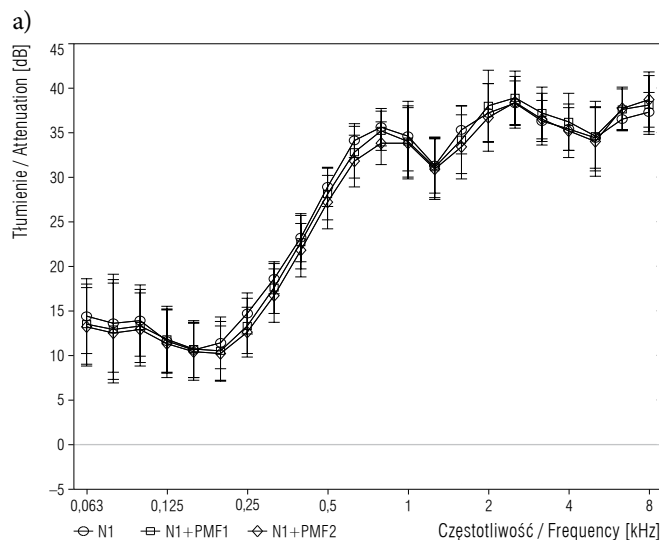
MIRE – Microphone in Real Ear / mikrofon umieszczony w uchu.

Fot. 4. Mikrofon Knowles BL1785 umieszczony w małżowinie usznej słuchacza w celu wyznaczenia metodą MIRE tłumienia dźwięku nauszników przeciwhałasowych

Photo 4. Knowles BL1785 microphone placed in the subject auricle to measure sound attenuation of earmuffs with MIRE method

zmiany tłumienia pod wpływem stosowania dodatkowego środka ochrony indywidualnej. Analogicznie na rycinach 2–5. przedstawiono tłumienie nauszników 3M Peltor H510A, 3M Peltor H510B, HL Bilsom Viking V1 i 3M Peltor X4A używanych bez sprzętu ochrony układu oddechowego i z tym sprzętem.

W tabeli 1. zamieszczono podsumowanie analizy istotności zmian tłumienia nauszników pod wpływem stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego. Określono, w których przypadkach jednoczesnego



N1 – nauszniaki EAR 5000 / EAR 5000 earmuffs, PMF1 – półmaska filtrująca 3M 9312 / 3M 9312 filtering half mask, PMF2 – półmaska filtrująca FS-913 / FS-913 filtering half mask, PM1 – półmaska 3M 6200 / 3M 6200 half mask, PM2 – półmaska 3M 7500 / 3M 7500 half mask, MP1 – maska pełna Honeywell Optifit / Honeywell Optifit full face mask, MP2 – maska pełna MSA Ultra Elite / MSA Ultra Elite full face mask.

Strzałkami zaznaczono istotne statystycznie zmiany tłumienia nauszników pod wpływem stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego w przypadkach tych wykresów, dla których istotne statystycznie zmiany występują jedynie w części pasm częstotliwości (zgodnie z zapisami w tabeli 1) / Arrows indicate statistically significant changes in attenuation of earmuffs used simultaneously with respiratory protective devices in case of plots where statistically significant changes are present only in a part of frequency bands (as specified in Table 1).

Ryc. 1. Tłumienie dźwięku nauszników przeciwhałasowych EAR 5000 stosowanych z: a) półmaskami filtrującymi, b) półmaskami, c) maskami pełnymi

Fig. 1. Attenuation of EAR 5000 earmuffs used with: a) filtering half masks, b) half masks, c) full face masks

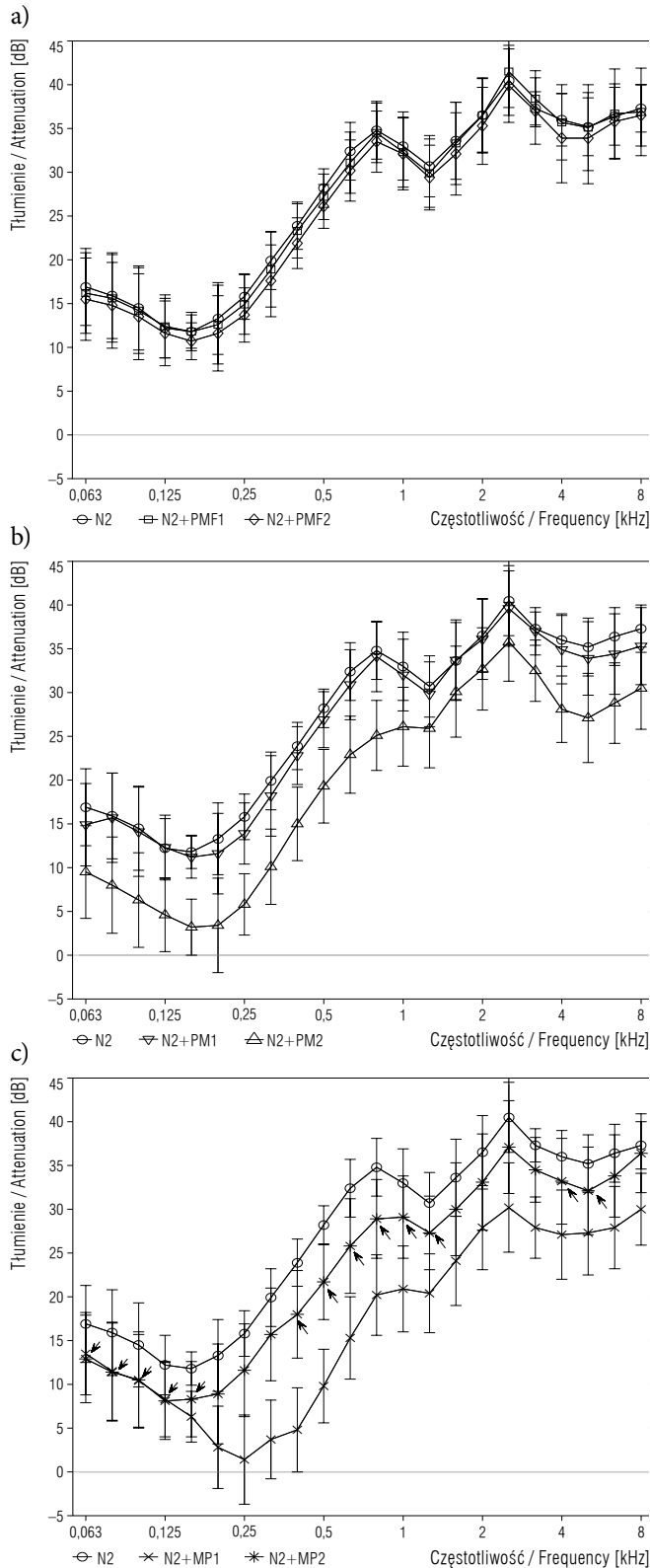
stosowania nauszników i sprzętu ochrony układu oddechowego zmiany tłumienia nauszników są istotne statystycznie.

Na podstawie wyników badań przedstawionych na rycinach 1–5. i analizy przedstawionej w tabeli 1. można zauważyć, że największy wpływ na tłumienie dźwięku nauszników ze zbadanego sprzętu ochrony układu oddechowego mają maski pełne. W przypadku wszystkich modeli nauszników jednoczesne stosowanie z nimi maski pełnej Honeywell Optifit powoduje znaczne, istotne statystycznie ($p = 0,001–0,035$) obniżenie tłumienia dźwięku w całym zakresie częstotliwości, w szczególności w zakresie 250–1000 Hz.

Największe obniżenie tłumienia pod wpływem stosowania maski pełnej Honeywell Optifit, sięgające 20 dB, występuje dla nauszników HL Bilsom Viking V1. Wpływ maski pełnej Honeywell Optifit na tłumienie nauszników jest na tyle duży, że niektóre nauszniaki w zakresie częstotliwości 160–250 Hz są mało sku-

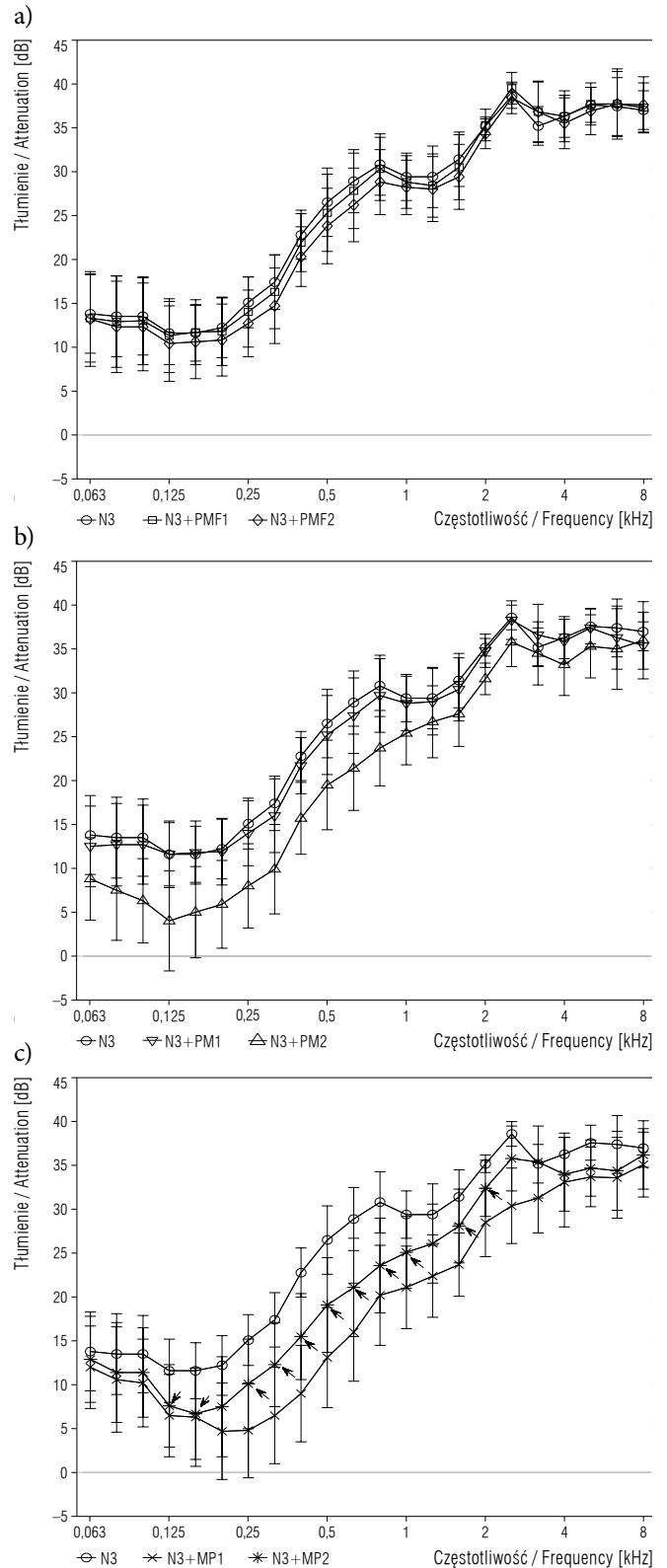
teczne, ponieważ prawie w ogóle nie tłumią dźwięku. W zależności od modelu nauszników tłumienie w zakresie częstotliwości 160–250 Hz, gdy stosowana jest maska pełna Honeywell Optifit, nie przekracza 3 dB dla nauszników 3M Peltor H510A i HL Bilsom Viking V1 oraz 7 dB dla nauszników EAR 5000, 3M Peltor H510B i 3M Peltor X4A.

Zdecydowanie mniejszy wpływ na tłumienie nauszników obserwuje się w przypadku maski pełnej MSA Ultra Elite. Jej stosowanie powoduje, że tłumienie obniża się maksymalnie o ok. 10 dB w przypadku nauszników HL Bilsom Viking V1 i 3M Peltor H510B. W przypadku pozostałych 3 nauszników zmiany te oscylują jedynie wokół wartości 5 dB. Analiza wykazała, że zmiany tłumienia nauszników wynikające ze stosowania tej maski są tylko dla części pasm częstotliwości istotne statystycznie. W przypadku nauszników EAR 5000 ma to miejsce jedynie dla 7 z 22 pasm częstotliwości ($p = 0,001–0,049$).



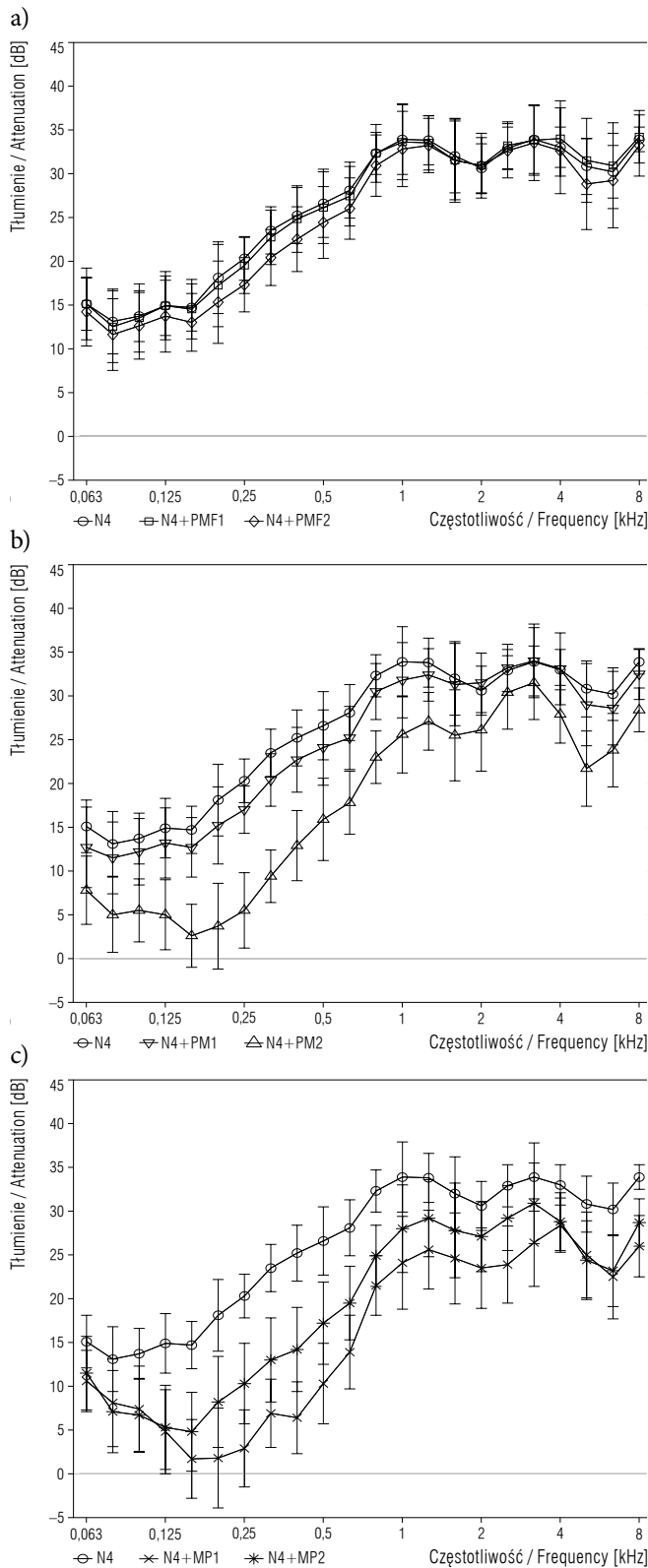
N2 – nauszники 3M Peltor H510A / 3M Peltor H510A earmuffs.
Inne objaśnienia jak w rycinie 1 / Other abbreviations as in Figure 1.

Ryc. 2. Tłumienie dźwięku nauszników przeciwhałasowych 3M Peltor H510A stosowanych z:
a) półmaskami filtrującymi, b) półmaskami, c) maskami pełnymi
Fig. 2. Attenuation of 3M Peltor H510A earmuffs used with:
a) filtering half masks, b) half masks, c) full face masks



N3 – nauszники 3M Peltor H510B / 3M Peltor H510B earmuffs.
Inne objaśnienia jak w rycinie 1 / Other abbreviations as in Figure 1.

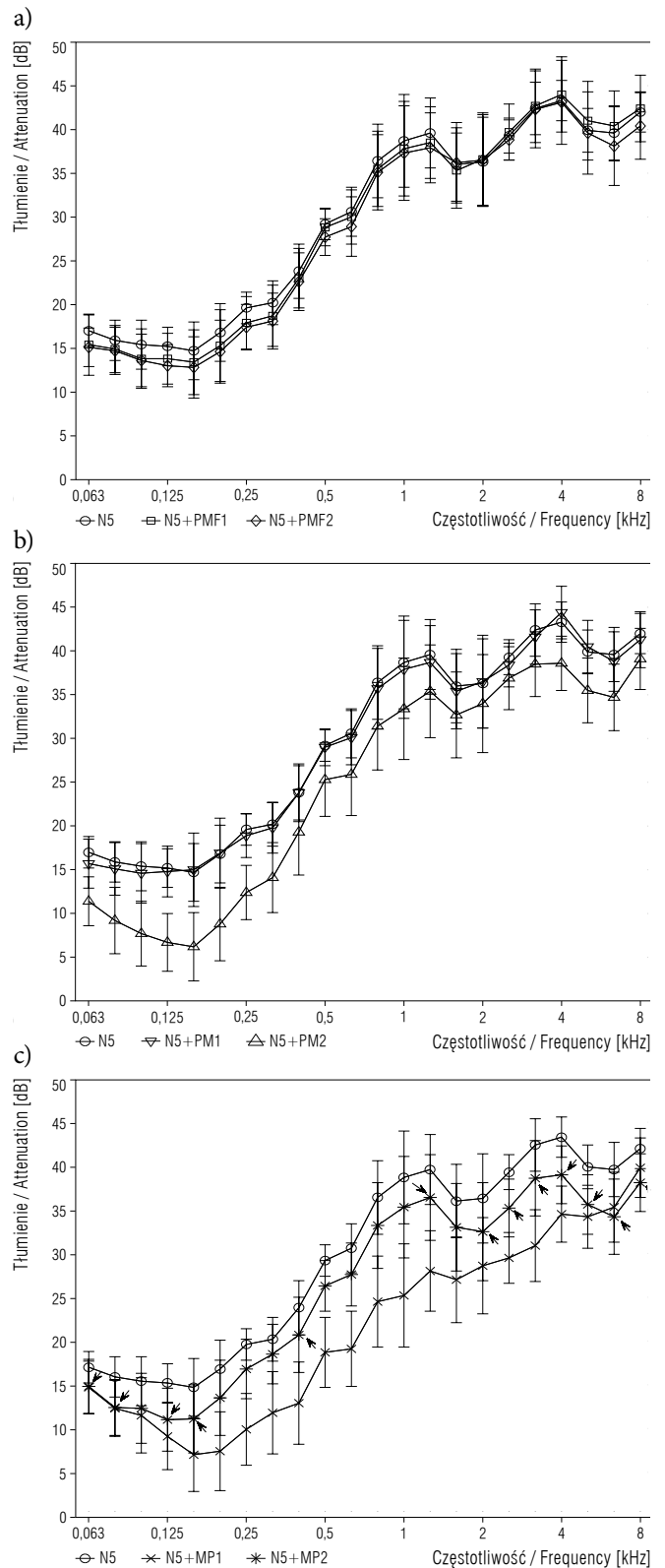
Ryc. 3. Tłumienie dźwięku nauszników przeciwhałasowych 3M Peltor H510B stosowanych z:
a) półmaskami filtrującymi, b) półmaskami, c) maskami pełnymi
Fig. 3. Attenuation of 3M Peltor H510B earmuffs used with:
a) filtering half masks, b) half masks, c) full face masks



N4 – nauszники HL Bilsom Viking V1 / HL Bilsom Viking V1 earmuffs.
 Inne objaśnienia jak w rycinie 1 / Other abbreviations as in Figure 1.

Ryc. 4. Tłumienie dźwięku nauszników przeciwhałasowych HL Bilsom Viking V1 stosowanych z: a) półmaskami filtrującymi, b) półmaskami, c) maskami pełnymi

Fig. 4. Attenuation of HL Bilsom Viking V1 earmuffs used with: a) filtering half masks, b) half masks, c) full face masks



N5 – nauszники 3M Peltor X4A / 3M Peltor X4A earmuffs.

Inne objaśnienia jak w rycinie 1 / Other abbreviations as in Figure 1.

Ryc. 5. Tłumienie dźwięku nauszników przeciwhałasowych 3M Peltor X4A stosowanych z: a) półmaskami filtrującymi, b) półmaskami, c) maskami pełnymi

Fig. 5. Attenuation of 3M Peltor X4A earmuffs used with: a) filtering half masks, b) half masks, c) full face masks

Tabela 1. Analiza istotności zmian tłumienia dźwięku nauszników przeciwhałasowych pod wpływem stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego**Table 1.** Significance of changes in attenuation of earmuffs used simultaneously with respiratory protective devices

Nauszniki przeciwhałasowe Earmuffs	Półmaska filtrująca Filtering half mask		Półmaska Half mask		Maska pełna Full face mask	
	3M 9312	FS-913	3M 6200	3M 7500	Honeywell Optifit	MSA Ultra Elite
EAR 5000	-	-	-	-/+ (16 z 22*)	+	-/+ (7 z 22*)
3M Peltor H510A	-	-	-	+	+	-/+ (13 z 22*)
3M Peltor H510B	-	-	-	+	+	-/+ (11 z 22*)
HL Bilsom Viking V1	-	-	-	+	+	+
3M Peltor X4A	-	-	-	+	+	-/+ (13 z 22*)

„-” – brak istotnych statystycznie zmian tłumienia nauszników pod wpływem stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego / no statistically significant changes in attenuation of earmuffs used simultaneously with respiratory protective devices.

„+” – istotne statystycznie zmiany tłumienia nauszników pod wpływem stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego / statistically significant changes in attenuation of earmuffs used simultaneously with respiratory protective devices.

„-/+” – istotne statystycznie zmiany tłumienia nauszników pod wpływem stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego występują w części pasm częstotliwości, w nawiasie podano liczbę pasm częstotliwości, przy których zmiany są istotne statystycznie, i liczbę analizowanych pasm / statistically significant changes in attenuation of earmuffs used simultaneously with respiratory protective devices are present in a limited number of frequency bands, in brackets there are given the number of frequency bands where changes are statistically significant and the number of analyzed bands.

* Pasm częstotliwości / Of frequency bands.

Istotne statystycznie ($p = 0,001-0,034$) zmiany tłumienia nauszników 3M Peltor H510B pod wpływem stosowania maski MSA Ultra Elite obserwuje się w połowie pasm częstotliwości. Natomiast w przypadku nauszników 3M Peltor H510A i 3M Peltor X4A zmiany te są istotne statystycznie dla 13 pasm (odpowiednio: $p = 0,001-0,041$ i $p = 0,002-0,043$). Jedynymi ochronnikami, dla których wpływ maski MSA Ultra Elite jest na tyle duży, że istotne statystycznie ($p = 0,001-0,041$) zmiany występują w całym zakresie częstotliwości, są nauszники HL Bilsom Viking V1.

Zasadniczo stosowanie półmasek wraz z nausznikami powinno powodować mniejsze zmiany tłumienia niż masek pełnych. Tak jest w przypadku półmaski 3M 6200, która w małym stopniu wpływa na tłumienie nauszników. W zależności od modelu nauszników zmiany te nie przekraczają 1,5–3 dB i nie są istotne statystycznie ($p = 0,063-0,975$). Zdecydowanie większe zmiany w tłumieniu nauszników mają miejsce dla półmaski 3M 7500. Największe zmiany tłumienia pod wpływem stosowania półmaski 3M 7500 – dochodzące do 15 dB – dotyczą nauszników HL Bilsom Viking V1. Mniejsze zmiany, wynoszące ok. 8–10 dB, obserwuje się dla pozostałych 4 nauszników. Zmiany te są więc nawet większe, niż miało to miejsce w przypadku maski pełnej MSA, która mimo większych gabarytów w mniejszym stopniu wpływa na tłumienie nauszników.

Podobnie jak w przypadku maski pełnej Honeywell Optifit tak duża ingerencja półmaski 3M 7500

w tłumienie przez nauszники powoduje, że w zakresie niskich częstotliwości tłumienie to może być nawet mniejsze niż 5 dB. Analiza wykazała, że zmiany tłumienia przez nauszники wynikające ze stosowania półmaski 3M 7500 są istotne statystycznie w przypadku nauszników 3M Peltor H510A, 3M Peltor H510B, HL Bilsom Viking V1 i 3M Peltor X4A ($p = 0,001-0,038$). Natomiast dla nauszników EAR 5000 zmiany są istotne statystyczne dla 16 z 22 pasm częstotliwości ($p = 0,001-0,602$).

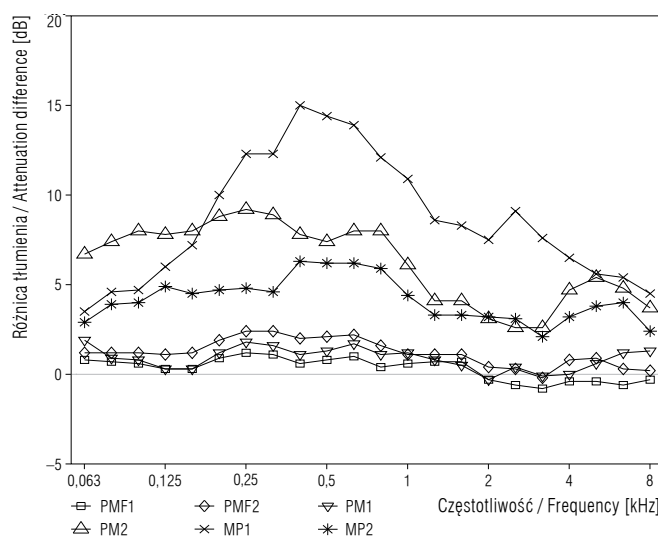
Jednoczesne stosowanie nauszników i półmasek filtrujących powoduje niewielkie zmiany w tłumieniu dźwięku nauszników, które nie są istotne statystycznie ($p = 0,102-0,993$). W przypadku stosowania półmaski filtrującej 3M 9312, która wyposażona jest w bardzo wąską taśmę, tłumienie dźwięku badanych nauszników zmienia się maksymalnie o 1–2 dB. Wpływ stosowania półmaski filtrującej FS-913 na tłumienie nauszników jest nieznacznie większy niż w przypadku półmaski filtrującej 3M 9312, wynikający z wyposażenia tych półmasek filtrujących w szerszą taśmę. Obserwowana zmiana tłumienia jest największa dla HL Bilsom Viking V1 i wynosi maksymalnie 3 dB.

W celu usystematyzowania trendu zmian tłumienia nauszników pod wpływem jednoczesnego stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego, wykorzystując dane przedstawione na rycinach 1–5., uśredniono różnice między tłumieniem nauszników stosowanych bez dodatkowego sprzętu ochrony i z nim. Na ryci-

nie 6. przedstawiono wartości zmian tłumienia odnoszące się do stosowania poszczególnych półmasek filtrujących, półmasek i masek pełnych jednocześnie z nausznikami, przy uśrednieniu wyników dla wszystkich badanych nauszników. Natomiast na rycinie 7. pokazano średnią zmianę tłumienia poszczególnych nauszników, gdy uśrednieniem objęto wszystkie modele badanego sprzętu ochrony układu oddechowego.

Przedstawione na rycinie 6. średnie zmiany tłumienia dźwięku nauszników przeciwhałasowych, wynikające ze stosowania poszczególnych sprzętów ochrony układu oddechowego, wskazały, że duży wpływ na tłumienie miało stosowanie masek pełnych Honeywell Optifit i MSA Ultra Elite oraz półmaski 3M 7500. Dla każdego z tych sprzętów obserwuje się znaczne, istotne statystycznie średnie zmiany tłumienia nauszników w całym badanym zakresie częstotliwości ($p = 0,00003$ lub mniejsze).

Największe zmiany tłumienia (15 dB) występują dla maski Honeywell Optifit przy częstotliwości 400 Hz. W przypadku półmaski 3M 7500, charakteryzującej się wypukłym elementem regulacji taśm nagłownych, średnia zmiana tłumienia w zakresie niskich częstotliwości (63–800 Hz) sięga 7 dB. W pozostałym zakresie częstotliwości zmiana tłumienia jest mniejsza i wynosi około 4 dB. Mniejsze zmiany tłumienia nauszników niż w przypadku wspomnianej półmaski obserwuje



Objaśnienia jak na rycinie 1 / Abbreviations as in Figure 1.

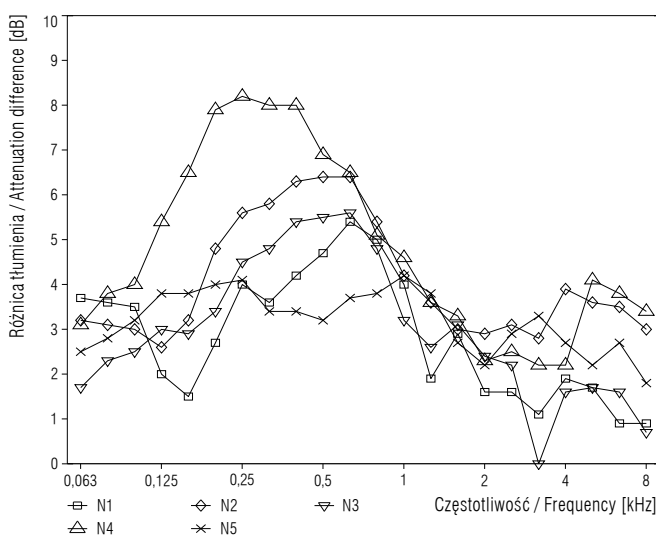
Ryc. 6. Różnica między tłumieniem dźwięku nauszników przeciwhałasowych (średnia uwzględniająca 5 modeli nauszników przeciwhałasowych i 10 słuchaczy) stosowanych ze sprzętem ochrony układu oddechowego i bez tego sprzętu

Fig. 6. Difference between attenuation of earmuffs (average for 5 models of earmuffs and 10 subjects) used without and with respiratory protective devices

dla maski pełnej MSA Ultra Elite. Średnia zmiana tłumienia nauszników oscyluje wokół 4 dB w całym zakresie badanych częstotliwości.

Analiza średnich zmian tłumienia nauszników w przypadku stosowania z nimi pozostałych 3 ochron, tj. półmaski 3M 6200 oraz półmasek filtrujących 3M 9312 i FS-913, wykazuje mały wpływ tego sprzętu na skuteczność tłumienia przez nauszniki. Zmiany te dla każdej z wymienionych ochron nie przekraczają 2,5 dB w całym badanym zakresie częstotliwości. Dodatkowo analiza danych wykazała, że zmiana tłumienia nauszników w przypadku tych 3 półmasek nie jest istotna statystycznie dla 7 spośród 22 pasm częstotliwości ($p = 0,06–0,99$).

Porównując średnie zmiany tłumienia przedstawione na rycinie 7., można stwierdzić, że w większości nauszników zmiany tłumienia dźwięku wywołane stosowaniem dodatkowych ochron są zbliżone i różnią się między sobą maksymalnie o 3 dB. Wyjątkiem są nauszniki HL Bilsom Viking V1, dla których widać wyraźnie większy wpływ stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego na tłumienie dźwięku nauszników, ponieważ zmiany tłumienia w zakresie częstotliwości 125–800 Hz przekraczają 5 dB. W tym



N1 – nauszniki EAR 5000 / EAR 5000 earmuffs, N2 – nauszniki 3M Peltor H510A / 3M Peltor H510A earmuffs, N3 – nauszniki 3M Peltor H510B / 3M Peltor H510B earmuffs, N4 – nauszniki HL Bilsom Viking V1 / HL Bilsom Viking V1 earmuffs, N5 – nauszniki 3M Peltor X4A / 3M Peltor X4A earmuffs.

Ryc. 7. Różnica między tłumieniem dźwięku nauszników przeciwhałasowych (średnia uwzględniająca 6 badanych modeli sprzętu ochrony układu oddechowego i 10 słuchaczy) stosowanych ze sprzętem ochrony układu oddechowego i bez tego sprzętu

Fig. 7. Difference between attenuation of earmuffs (average for 6 models of respiratory protective devices and 10 subjects) used without and with respiratory protective devices

zakresie częstotliwości zmiana tłumienia nauszników Bilsom Viking V1 różni się istotnie ($p = 0,006$ lub mniejsze) względem zmian tłumienia o najmniejszych wartościach (nausznik EAR 5000 dla zakresu częstotliwości 125–250 Hz oraz nausznik 3M Peltor X4A dla zakresu 315–800 Hz).

Porównując średnie zmiany tłumienia w przypadku nauszników wyposażonych w czasie tego samego rodzaju, a różniące się jedynie sprężynami dociskowymi (3M Peltor H510A i 3M Peltor H510B), obserwuje się w zakresie częstotliwości 63 Hz–2,5 kHz zbliżone wartości tych zmian (różnice ok. 1 dB). W zakresie częstotliwości 3,15–8 kHz rozpiętość zmian tłumienia nauszników 3M Peltor H510A względem 3M Peltor H510B jest nieco większa i sięga 2,8 dB. Różnice tłumienia w tym zakresie częstotliwości są istotne statystycznie ($p = 0,00001$ lub mniejsze).

OMÓWIENIE

Łączne wykorzystanie w niniejszej pracy 2 metod badań tłumienia dźwięku nauszników (REAT i MIRE) pozwoliło w mniej czasochłonny sposób (niż ma to miejsce przy wykorzystaniu metody REAT stosowanej samodzielnie) określić wpływ sprzętu ochrony układu oddechowego na tłumienie nauszników przeciwhałasowych. Ponieważ metoda MIRE służyła jedynie do wyznaczania zmiany tłumienia wynikającej z założenia sprzętu ochrony układu oddechowego, nie powinno to wpływać na dokładność ostatecznego wyniku tłumienia.

W pracy zdecydowano się na określanie tłumienia we wszystkich pasmach 1/3-oktawowych w zakresie 63–8000 Hz. W odróżnieniu od metody powszechnie stosowanej (m.in. w procesie certyfikacji) wg wymagań normy PN-EN 24869-1 [5], gdzie tłumienie dźwięku wyznacza się w mniejszej liczbie pasm, tzn. w pasmach 1/3-oktawowych dla częstotliwości środkowych oddalonych o oktawę: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz i 8000 Hz oraz nieobligatoryjnie dla pasma o częstotliwości 63 Hz. Umożliwiło to dokładniejszą analizę zmian tłumienia nauszników spowodowaną stosowaniem różnego sprzętu ochrony układu oddechowego. Otrzymano przy tym dość dużą zgodność między wynikami pomiaru tłumienia dźwięku metodą REAT uzyskanymi w ramach niniejszej pracy a wynikami tłumienia deklarowanymi przez producentów. W zależności od częstotliwości pasma 1/3-oktawowego wartości tłumienia nie różniły się więcej niż o 1,4–3,7 dB.

Technika MIRE była również wykorzystana w pracy [15] dotyczącej analizy wpływu stosowania okularów ochronnych na tłumienie nauszników. Przy tym w odróżnieniu od niniejszej pracy, w której przeprowadzono własne pomiary tłumienia metodą REAT, w pracy innych autorów [15] uwzględniono jedynie wyniki pomiarów metodą REAT zaczerpnięte z instrukcji użytkowania nauszników, podane w pasmach oddalonych o oktawę, co zawężyło możliwość analizy zmian tłumienia. Natomiast w innej pracy [12], ze względu na małą liczbę badanych środków ochrony indywidualnej, wykorzystywana była jedynie metoda REAT. W cytowanej pracy przedstawiono wpływ 1 okularów ochronnych i 1 półmasksi na tłumienie 1 nauszników mocowanych do przemysłowego hełmu ochronnego. Ponadto pomiary wykonywano jedynie dla 8 pasm 1/3-oktawowych w zakresie 250–8000 Hz.

Przedstawione w cytowanych pracach [12,15] wyniki – podobnie jak wyniki niniejszej pracy – wykazały, że jednoczesne stosowanie nauszników przeciwhałasowych i innych środków ochrony indywidualnej zmniejsza tłumienie nauszników. W przypadku okularów ochronnych [15] tłumienie nauszników może być mniejsze nawet o około 14 dB. Tak duże zmiany obserwowane są w zakresie 200–400 Hz, czyli w podobnym do stwierdzonego w niniejszej pracy, gdzie maksymalne zmiany tłumienia występowały w zakresie 250–630 Hz. Maksymalne obniżenie tłumienia nauszników przedstawione w pracy [12] wynosi 5 dB, kiedy nauszniki są stosowane z okularami lub półmaską oddzielnie. Podczas jednoczesnego stosowania nauszników, okularów i półmasksi tłumienie nauszników obniża się o 9 dB. Zbliżone wyniki, tj. obniżenie tłumienia o około 3 dB, uzyskano w niniejszej pracy w sytuacji stosowania 1 z badanych półmasek. Nie można jednak tych wyników ze sobą porównywać w sposób bezpośredni, ponieważ – jak wcześniej wspomniano – wyniki zostały uzyskane dla różnej liczby częstotliwości środkowych pasm oktawowych.

Ponadto, jak przedstawiono w niniejszej pracy, występuje duże zróżnicowanie między wynikami uzyskanymi dla różnych modeli półmasek. Przyczyną są różne rodzaje taśm nagłownych, w które wyposażane są półmasksi. Na przykład półmaska 3M 7500 jest wyposażona w element do regulacji taśm nagłownych znajdujący się z tyłu głowy, w odróżnieniu od półmasksi 3M 6200, gdzie element ten znajduje się przy części twarzowej półmasksi. Element regulacji znajdujący się z tyłu głowy powoduje to, że nauszniki odstawiają od twarzy użytkownika, co z kolei skutkuje znacznym obniżeniem tłumie-

nia dźwięku, dochodzącym nawet do 15 dB. W przypadku półmasksi 3M 6200 obniżenie tłumienia dźwięku nauszników nie jest większe niż 3 dB.

Podobna sytuacja występuje przy maskach pełnych. W przypadku 1 z badanych masek pełnych (Honeywell Optifit) obserwuje się znaczne zmiany tłumienia w całym zakresie częstotliwości, sięgające 20 dB. Przyczyną tak dużych zmian tłumienia nauszników są wypukłe elementy regulacji taśm nagłownych tych masek, przez co powstają szczeliny między poduszkami uszczelniającymi nausznika i twarzą użytkownika. Natomiast maska pełna MSA Ultra Elite ma mniejszy wpływ na tłumienie nauszników (maksymalne obniżenie tłumienia jest nie większe niż 10 dB), ponieważ jest wyposażona w płaskie, metalowe elementy regulacji taśm nagłownych.

WNIOSKI

Badania skuteczności tłumienia nauszników przeciwhałasowych przy jednoczesnym ich stosowaniu ze sprzętem ochrony układu oddechowego wykazały, że największy wpływ na tłumienie dźwięku nauszników mają maski pełne. Wynika to z tego, że maski pełne mają szerokie taśmy nagłowne i wypukłe elementy ich regulacji, co powoduje powstanie szczelin na styku poduszek uszczelniających nauszników z twarzą ich użytkownika i skutkuje obniżonym tłumieniem dźwięku.

Z innej strony najmniejszy wpływ na tłumienie nauszników miało stosowanie półmasek filtrujących, ponieważ są one wyposażone w cienkie, nieingerujące w tłumienie taśmy nagłowne. W całym zakresie częstotliwości ich wpływ nie przekraczał 3 dB.

W przypadku półmasek przeznaczonych do skompletowania z elementami oczyszczającymi zauważono znaczną różnicę we wpływie półmasek na tłumienie nauszników ze względu na różne umiejscowienie elementu regulacji taśm nagłownych. Kiedy element regulacji półmasksi był umiejscowiony przy części twarzowej, jej wpływ na tłumienie nauszników był niewielki. Kiedy natomiast znajdował się on z tyłu głowy, wpływ półmasksi na tłumienie nauszników był na tyle duży, że w zakresie niskich częstotliwości nauszniki prawie w ogóle nie tłumily dźwięku.

PIŚMIENNICTWO

1. Berger E.H.: Methods of measuring the attenuation of hearing protection devices. *J. Acoust. Soc. Am.* 1986;79 (6):1655–1687, <https://doi.org/10.1121/1.393228>
2. Casali J.G., Park M.Y.: Laboratory versus field attenuation of selected hearing protectors. *Sound Vib.* 1991;25 (10):28–38
3. Giardino D.A., Durkt G.: Evaluation of muff-type hearing protectors as used in a working environment. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1996;57(3):264–271, <https://doi.org/10.1080/15428119691014990>
4. Kotarbińska E., Kozłowski E.: Measurement of effective noise exposure of workers wearing ear-muffs. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 2009;15(2):193–200, <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2009.11076800>
5. PN-EN 24869-1:1999. Akustyka. Ochronniki słuchu. Metoda subiektywna pomiaru tłumienia dźwięku. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1999
6. ANSI S3.19-1974. American National Standard method for the measurement of real-ear protection of hearing protectors and physical attenuation of earmuffs. American National Standards Institute, New York 1974
7. Liedtke M.: Risk by use of hearing protectors – Expert programme supports SMEs in appropriate selection and use. *Noise Health* 2005;7(26):31–37, <https://doi.org/10.4103/1463-1741.31642>
8. Nélisse H., Gaudreau M.A., Boutin J., Voix J., Laville F.: Measurement of hearing protection devices performance in the workplace during full-shift working operations. *Ann. Occup. Hyg.* 2012;56(2):221–232, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mer087>
9. Kotarbinska E.: The influence of aging on the noise attenuation of ear-muffs. *Noise Health* 2005;7(26):39–45, <https://doi.org/10.4103/1463-1741.31641>
10. Rawlinson R.D., Wheeler P.D.: The effects of industrial use on the acoustical performance of some earmuffs. *Ann. Occup. Hyg.* 1987;31(3):291–298, <https://doi.org/10.1093/annhyg/31.3.291>
11. Carletti E., Pedrielli F.: The ageing effect on the acoustic performance of earmuffs: An investigation involving the forestry compartment. ICSV10. Proceedings of the 10th International Congress on Sound and Vibration; 7–10 lipca 2003; Stockholm, Sweden. International Institute of Acoustics and Vibration, 2003, ss. 4929–4936
12. Abel S.M., Sass-Kortsak A., Kielar A.: The effect on earmuff attenuation of other safety gear worn in combination. *Noise Health* 2002;5(17):1–13
13. Chung D.Y., Hardie R., Gannon R.P.: The effect of hair, glasses, or cap on the performance of one pair of Bilsom Viking circumaural hearing protectors. *Can. Acoust.* 1983;11(2):45–49
14. PN-EN ISO 11904:2008. Akustyka. Wyznaczanie emisji dźwięku od źródeł umieszczonych bezpośrednio przy uchu. Część 1: technika z zastosowaniem mikrofonu

-
- umieszczonego w uchu (technika MIRE). Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2008
15. Lemstad F, Kluge R.: Real-world attenuation of muff-type hearing protectors: The effect of spectacles. BNAM2004. Proceedings of the Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2004; 8–10 czerwca 2004; Mariehamn, Åland, Finland. Nordic Acoustic Association, 2004