



dr inż. EMIL KOZŁOWSKI (ORCID: 0000-0003-4685-1145)

dr inż. RAFAŁ MŁYŃSKI (ORCID: 0000-0002-0500-0638)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: emkoz@ciop.pl

DOI: 10.54215/BP.2022.07.19.Kozlowski

Pomiary hałasu wytwarzanego przez źródła znajdujące się blisko ucha – na przykładzie zestawów słuchawkowych



W artykule przedstawiono wyniki pomiarów parametrów hałasu wytwarzanego przez zestawy słuchawkowe. Wyniki bezpośredniego pomiaru z zastosowaniem manekina akustycznego zostały skorygowane w taki sposób, aby otrzymane wartości odpowiadały warunkom pola swobodnego i można je było odnieść do obowiązujących w Polsce wartości kryterialnych oceny narażenia na hałas. W przypadku równoważnego poziomu dźwięku A wartości poprawki zostały wyznaczone według znormalizowanej metody, natomiast w przypadku maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C zaproponowano własną metodę wyznaczania wartości tej poprawki. Zaprezentowane w artykule wyniki pomiarów potwierdziły, że w odniesieniu do badanych zestawów słuchawkowych, przy określonych ustawieniach układu wzmacnienia, nie wystąpiły przekroczenia wartości NDN oceny narażenia na hałas. Istnieje jednak możliwość przekroczenia progu działania w przypadku poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do ośmiogodzinnego dobowego wymiaru czasu pracy. Ponadto pomiary wykazały, że wartości poprawki równoważnego poziomu dźwięku A , maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C są do siebie zbliżone niezależnie od metody ich wyznaczania. Wartości poprawki zależą zaś od zestawu słuchawkowego, który służy do odtwarzania sygnału testowego.

Słowa kluczowe: hałas, zestawy słuchawkowe, poziom dźwięku, manekin akustyczny

Measurement of noise produced by sources close to an ear – on the example of headsets

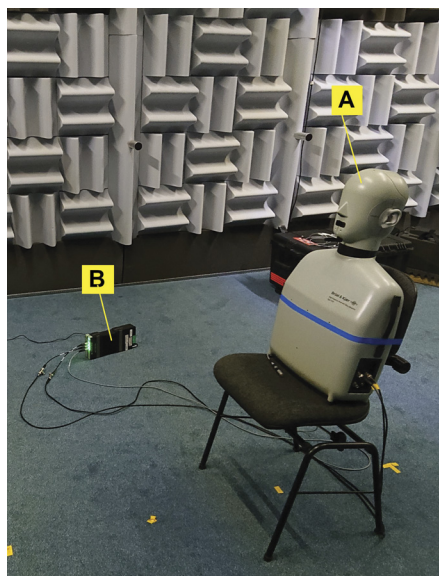
The article presents the results of measurements of noise parameters generated by headsets. The results of direct measurement carried out using an acoustic manikin were corrected so that the obtained values corresponded to the free-field conditions and could be referred to the criterion values of noise exposure assessment in Poland. In case of A -weighted equivalent sound pressure level, the correction value was determined according to the normalized method. However, in case of A -weighted maximum sound pressure level and C -weighted peak sound pressure level the own method of determination of this correction was proposed. The results of measurements presented in the paper showed that for the tested headsets, at the specific settings of gain level, no exceedance of the noise exposure limit values occurred. However, it is possible that the action value may be exceeded for daily noise exposure level. Moreover, the measurements showed that the correction values for the A -weighted equivalent sound pressure level, A -weighted maximum sound pressure level and C -weighted peak sound pressure, regardless of the method of their determination, are similar to each other. However, the correction values depend on the headset, which was used to play the test signal.

Keywords: noise, headsets, sound pressure level, acoustic manikin

Wstęp

Pomiary parametrów hałasu na stanowiskach pracy przeprowadza się zgodnie z wymaganiami norm PN-EN ISO 9612:2011 [1] i PN-N-01307:1994 [2]. Normy te nie obejmują jednak sytuacji pomiarowych, gdy źródło hałasu znajduje się blisko ucha pracownika. W takim przypadku wymagane jest prowadzenie pomiarów parametrów hałasu z wykorzystaniem techniki mikrofonu miniaturowego, umieszczonego w uchu osoby (tzw. techniki MIRE), zgodnie z PN-EN ISO 11904-1:2008 [3], lub z użyciem manekina akustycznego, zgodnie z PN-EN ISO 11904-2:2021 [4]. W wymienionych normach przedstawiono metodę wyznaczania – z zastosowaniem odpowiedniej poprawki – poziomu ciśnienia akustycznego w przypadku, gdy źródło hałasu znajduje się blisko ucha pracownika. Metoda zapewnia otrzymanie wartości odpowiadających warunkom pola swobodnego (brak występowania odbitych fal akustycznych) lub rozproszonego (możliwość występowania dużej liczby odbitych fal akustycznych oprócz fali bezpośredniej). Dzięki temu można się odnieść do wartości kryterialnych oceny narażenia na hałas, tj. do najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN), określonych w rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [5] oraz do progów działania określonych w rozporządzeniu 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 [6]. Określone wartości NDN to: 85 dB w przypadku poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do ośmiogodzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ($L_{EX,8h}$), 115 dB w przypadku maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}) oraz 135 dB w przypadku szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}). Natomiast progi działania wynoszą: 80 dB w przypadku $L_{EX,8h}$ i 135 dB w przypadku L_{Cpeak} .

Przedstawione w PN-EN ISO 11904-1:2008 [3] i PN-EN ISO 11904-2:2021 [4] metody pomiaru ograniczają się do sposobu postępowania



Fot. 1. Układ pomiarowy do badań parametrów hałasu wytwarzanego przez zestawy słuchawkowe; A – manekin akustyczny, B – moduł pomiarowy

Photo 1. Measuring system for testing the parameters of noise produced by headsets; A – acoustic manikin, B – measuring module

pozwalającego na wyznaczenie – z użyciem stosownych poprawek – równoważnego poziomu dźwięku A (L_{Aeq}). Parametr ten razem z określeniem czasu trwania narażenia stanowi podstawę do określenia wartości $L_{EX,8h}$. Pełna ocena narażenia na hałas według przywołanych rozporządzeń [5, 6] wymaga jednak znajomości dwóch pozostałych parametrów, tj. L_{Amax} i L_{Cpeak} .

Celem artykułu jest przedstawienie wyników pomiarów parametrów hałasu wytwarzanego przez zestawy słuchawkowe oraz zaprezentowanie metody wyznaczania stosownych poprawek w przypadku maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C – tak, aby uzyskiwane wyniki tych wielkości można było odnieść do wartości kryterialnych.

Metodyka badań

Źródło hałasu

Jako źródło hałasu znajdujące się blisko ucha wybrano coraz powszechniej stosowane w środowisku pracy (np. na stanowiskach obsługi infolinii czy też w pracy zdalnej) zestawy słuchawkowe. W badaniach uwzględniono dwa zestawy słuchawkowe (nr 1 i 2) wyposażone w złącze USB, za pomocą którego podłączane są do komputera.

Wyposażenie pomiarowe

Pomiary przeprowadzono z użyciem manekina akustycznego, wyposażonego w symulatory przewodu słuchowego człowieka oraz w silikonowo-gumowe małżowiny uszne. Kształt i sztywność małżowin usznych pozwalają na uzyskanie realistycznych odsłuchalności elementów badanych zestawów słuchawkowych. Do manekina podłączono moduł po-

miarowy, za pomocą którego rejestrowany był sygnał akustyczny odtwarzany przez zestawy słuchawkowe. Przed pomiarami przeprowadzono kalibrację toru pomiarowego zgodnie z instrukcją producenta, tj. wysunięto mikrofony manekina z głowy i zastosowano specjalną przejściówkę, aby umieścić mikrofon w kalibratorze. Pomiary wykonywano w komorze do badań akustycznych, charakteryzującej się polem swobodnym. Zastosowany układ pomiarowy pokazano na fot. 1.

Sygnał testowy

Sygnąłem testowym był dźwięk mowy wypowiedzianej przez mężczyznę. Był to fragment trwającej minutę, zainscenizowanej rozmowy, odbywającej się poprzez komputerowy komunikator z użyciem zestawów słuchawkowych. Oprócz słów rozmowa zawierała możliwe do wystąpienia w warunkach rzeczywistych artefakty, tj. trzaski wynikające z poprawiania słuchawek na głowie czy odgłosy przypadkowych uderzeń ręką o mikrofon.

Sposób przeprowadzania badań

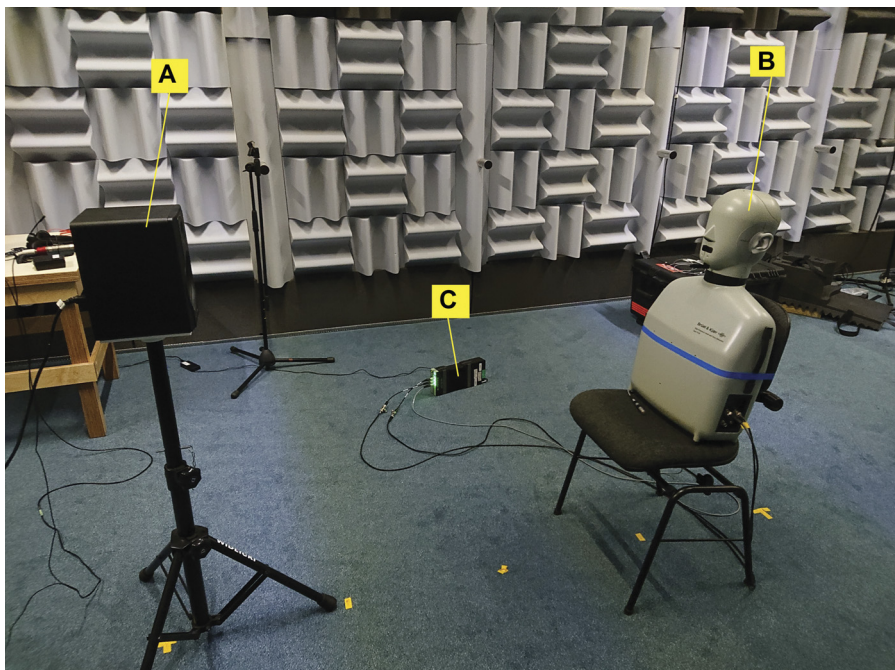
Zestawy słuchawkowe były kolejno umieszczone na głowie manekina. Po założeniu danego zestawu słuchawkowego generowano sygnał testowy z komputera. Sygnał był generowany dwa razy ze wzmocnieniem w torze odtwarzania sygnału karty dźwiękowej, ustawionym na poziomie 75% i 90%. W momencie włączenia sygnału testowego uruchamiano również pomiar parametrów sygnału akustycznego odtwarzanego przez zestaw słuchawkowy – za pomocą manekina akustycznego podłączonego do modułu pomia-

rowego. Wyznaczano wartości poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych (pomiar liniowy, wartości równoważne za cały czas odtwarzania sygnału testowego), L_{Aeq} , L_{Amax} i L_{Cpeak} . Wartości L_{Aeq} zostały skorygowane zgodnie z wymaganiami PN-EN ISO 11904-2:2021 [4]. Wartości L_{Amax} i L_{Cpeak} określono natomiast z uwzględnieniem poprawki wyznaczanej własną metodą, przedstawioną w dalszej części artykułu.

Metoda wyznaczania poprawki

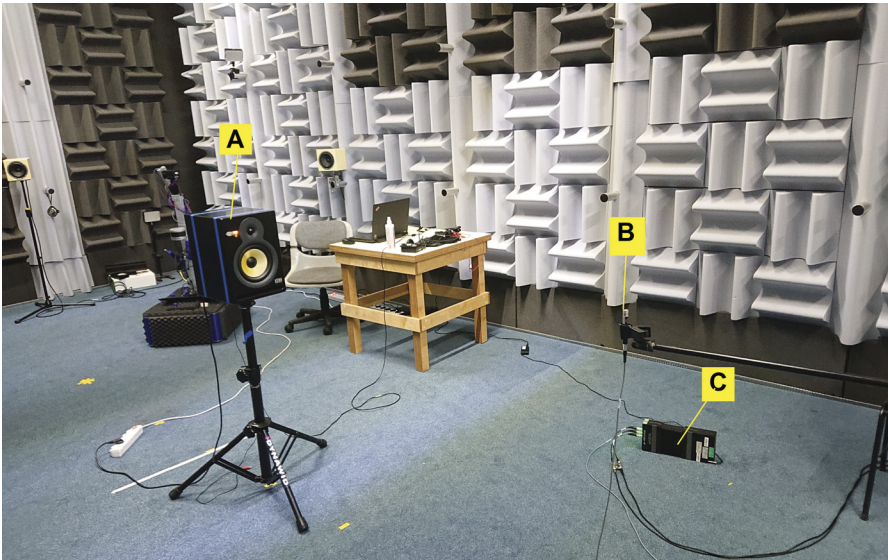
Jak już wspomniano we wstępie, w odniesieniu do L_{Amax} i L_{Cpeak} norma PN-EN ISO 11904-2:2021 [4] nie określa sposobu wyznaczania poprawki w przypadku pomiarów w polu swobodnym, aby wynik pomiaru mógł zostać odniesiony do wartości kryterialnych. W celu ustalenia, jakie mogą być wartości poprawki maksymalnego poziomu dźwięku A (ΔL_{Amax}) oraz poprawki szczytowego poziomu dźwięku C (ΔL_{Cpeak}), opracowano własną metodę wyznaczania tych poprawek. Procedura postępowania jest następująca:

1. Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych, L_{Amax} i L_{Cpeak} sygnału testowego (opisanego wcześniej) odtwarzanego przez zestaw słuchawkowy. Pomiar z zastosowaniem manekina akustycznego.
2. Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych sygnału testowego (tego samego co w pkt 1) odtwarzanego przez zestaw głośnikowy, ustawiony 1,5 m od głowy manekina akustycznego (fot. 2).
3. Obliczenie różnicy pomiędzy wartościami poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych uzyskanymi w przypadku



Fot. 2. Zestaw głośnikowy (A) oraz manekin akustyczny (B) wraz z modułem pomiarowym (C), wykorzystane do wyznaczania poprawki ΔL_{Amax} i ΔL_{Cpeak}

Photo 2. The loudspeaker set (A) and the acoustic manikin (B) with the measuring module (C) used to determine the ΔL_{Amax} and ΔL_{Cpeak} corrections



Fot. 3. Zestaw głośnikowy (A) oraz zestaw mikrofonowy (B) wraz z modulem pomiarowym (C), wykorzystane do wyznaczenia poprawki ΔL_{Amax} i ΔL_{Cpeak}

Photo 3. The loudspeaker set (A) and the microphone set (B) with the measuring module (C) used to determine the ΔL_{Cpeak} corrections

sygnału testowego odtwarzanego przez zestaw słuchawkowy i sygnału testowego odtwarzanego przez zestaw głośnikowy (określenie poprawki ΔL_i).

- Skorygowanie sygnału testowego o wartości ΔL_i w taki sposób, aby wartości poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych związane z sygnałem testowym odtwarzanym przez zestaw głośnikowy odpowiadały wartościom poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych związanego z sygnałem odtwarzanym przez zestaw słuchawkowy.
- Pomiar L_{Amax} i L_{Cpeak} skorygowanego sygnału testowego (poprawka ΔL_i) odtwarzanego przez zestaw głośnikowy z zastosowaniem zestawu mikrofonowego znajdującego się w miejscu manekina akustycznego (fot. 3).
- Wyznaczenie poprawki ΔL_{Amax} i ΔL_{Cpeak} jako różnicy wyników pomiaru L_{Amax} i L_{Cpeak} z pkt 1 i 5.

Wyniki badań

W tabeli zestawiono zmierzone w lewym i prawym uchu manekina akustycznego wartości L_{Aeq} , L_{Amax} i L_{Cpeak} odnoszące się do sygnału testowego odtwarzanego przez zestawy słuchawkowe. W przypadku parametrów L_{Amax} i L_{Cpeak} wartości zamieszczone w wierszach „Uwzględnienie poprawki/Tak” są wynikami pomiarów przeprowadzonych zestawem mikrofonowym, gdy źródłem dźwięku był zestaw głośnikowy (fot. 3), natomiast wartości zamieszczone w wierszach „Uwzględnienie poprawki/Nie” odnoszą się do pomiarów przeprowadzonych z użyciem manekina akustycznego w sytuacji odtwarzania sygnału testowego przez zestawy słuchawkowe.

Przedstawione w tabeli wartości L_{Aeq} skorygowano zgodnie z PN-EN ISO 11904-2: 2021 [4] – tak, by odpowiadały wartościom

poziomu ciśnienia akustycznego w polu swobodnym. Poprawka ta spowodowała obniżenie wartości L_{Aeq} o 2,7 dB (w przypadku zestawu słuchawkowego nr 1) i o 6,7 dB (w przypadku zestawu nr 2) względem wartości otrzymanych bezpośrednio z pomiarów. Z kolei wartości L_{Amax} i L_{Cpeak} skorygowano według opisanej w artykule własnej metody. Wartości poprawki parametru L_{Amax} wynosiły odpowiednio 2,8 dB (w przypadku zestawu nr 1) i 7,3 dB (w przypadku zestawu nr 2), a wartości poprawki parametru L_{Cpeak} – 1,5 dB (w przypadku zestawu nr 1) i 7,4 dB (w przypadku zestawu nr 2). Wartości poprawki świadczą o potrzebie jej stosowania zarówno w odniesieniu do parametru L_{Aeq} , jak i do L_{Amax} oraz L_{Cpeak} . Dzięki temu można się bezpośrednio odnieść do wartości kryterialnych w środowisku pracy.

Tak jak wcześniej wspomniano, zgodnie z polskimi uregulowaniami wartość NDN w przypadku $L_{EX,8h}$ wynosi 85 dB [5]. Na podstawie pomiarów L_{Aeq} można obliczyć czas ekspozycji na sygnał akustyczny, niepowodujący przekroczenia wartości kryterialnych. W przypadku obu zestawów słuchawkowych przy poziomie wysterowania sygnału testowego 75% i 90% wartości równoważnego poziomu dźwięku są niższe niż 85 dB, co oznacza, że w takich warunkach zestawy mogą być używane nawet przez osiem godzin w ciągu dnia pracy i nie spowoduje to przekroczenia wartości NDN. Inaczej jest natomiast w przypadku progu działania. Biorąc pod uwagę wyższe wartości L_{Aeq} z pomiarów w obu uszach manekina akustycznego, zestaw nr 1 może być używany przez pięć godzin i dwie minuty, a zestaw nr 2 – przez siedem godzin i 27 minut, aby nie wystąpiło przekroczenie progu działania w przypadku parametru $L_{EX,8h}$.

Wartości L_{Amax} i L_{Cpeak} wskazują, że w przypadku badanych zestawów słuchawkowych i poziomu wzmocnienia sygnału testowego 75% i 90% nie wystąpią przekroczenia wartości NDN odnoszące się do tych parametrów hałasu (115 dB i 135 dB), a w konsekwencji nie wystąpi również przekroczenie progu działania w przypadku L_{Cpeak} .

Tabela. Wartości równoważnego poziomu dźwięku A (L_{Aeq}), maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}) i szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}) sygnału testowego odtwarzanego przez zestawy słuchawkowe

Table. Values of A-weighted equivalent sound pressure level (L_{Aeq}), A-weighted maximum sound pressure level (L_{Amax}) and C-weighted peak sound pressure level (L_{Cpeak}) of the test signal played by the headsets

| Zestaw słuchawkowy | Poziom wzmocnienia | Uwzględnienie poprawki | Parametry hałasu | | | | | |
|--------------------|--------------------|------------------------|------------------|------------|-----------------|------------|------------------|------------|
| | | | L_{Aeq} [dB] | | L_{Amax} [dB] | | L_{Cpeak} [dB] | |
| | | | ucho lewe | ucho prawe | ucho lewe | ucho prawe | ucho lewe | ucho prawe |
| Zestaw nr 1 | 90% | Nie | 84,5 | 84,7 | 90,6 | 90,6 | 110 | 109,6 |
| | | Tak | 81,8 | 82,0 | 87,8 | 87,8 | 108,5 | 108,1 |
| | 75% | Nie | 72,5 | 72,7 | 78,5 | 78,6 | 98,1 | 97,9 |
| | | Tak | 69,8 | 70,0 | 75,7 | 75,8 | 96,6 | 96,4 |
| Zestaw nr 2 | 90% | Nie | 79,5 | 85,9 | 86,5 | 92,9 | 107,1 | 113,7 |
| | | Tak | 72,1 | 80,3 | 79,2 | 85,6 | 99,7 | 106,3 |
| | 75% | Nie | 76,4 | 82,8 | 83,4 | 89,9 | 104 | 110,7 |
| | | Tak | 68,9 | 77,1 | 76,1 | 82,6 | 96,6 | 103,3 |

Analizując wpływ poziomu wzmocnienia w torze odtwarzania sygnału karty dźwiękowej komputera na wartości parametrów hałasu, można zauważyć, że zmiana tego poziomu z 90% na 75% daje różne wartości parametrów hałasu w zależności od modelu zestawu słuchawkowego. W przypadku zestawu nr 1 taka zmiana poziomu wzmocnienia spowodowała różnicę w wartościach parametrów L_{Aeq} , L_{Amax} i L_{Cpeak} , wynoszącą ok. 3 dB. W przypadku zestawu nr 2 ta różnica była większa i wynosiła ok. 12 dB.

Parametry hałasu mierzonego w obu uszach manekina akustycznego wskazują na dużą dysproporcję w wartościach parametrów L_{Aeq} , L_{Amax} i L_{Cpeak} , uzyskanych podczas badania zestawu nr 2, która wynikała z różnego działania przetworników w obu słuchawkach tego zestawu.

Należy zwrócić uwagę, że wartość poprawki parametru L_{Aeq} , wyznaczona metodą znormalizowaną, jest zbliżona do wyznaczonych autorską metodą wartości poprawek parametrów L_{Amax} i L_{Cpeak} . Wartości poprawki zależą jednak w znacznym stopniu od tego, który zestaw słuchawkowy był stosowany do odtwarzania sygnału testowego.

Podsumowanie

Analiza zmierzonych wartości L_{Aeq} , L_{Amax} i L_{Cpeak} , odnoszących się do sygnału testowego odtwarzanego przez użyte w badaniach zestawy słuchawkowe, nie wykazała przekroczenia wartości NDN dotyczących hałasu na stanowisku pracy. Długotrwałe stosowanie tych zestawów słuchawkowych wiąże się jednak z ryzykiem przekroczenia progu działania w przypadku poziomu ekspozycji

na hałas, odniesionego do ośmiogodzinnego dobowego wymiaru czasu pracy.

W badaniach wykazano, że taka sama zmiana poziomu wysterowania w torze odtwarzania sygnału akustycznego w przypadku stosowania różnych zestawów słuchawkowych może skutkować znacznymi zmianami mierzonych wartości hałasu.

Wartości wyznaczanych poprawek parametrów L_{Aeq} , L_{Amax} i L_{Cpeak} (korygowanych po to, aby można je było odnieść do warunków pola akustycznego, gdzie nie występuje wpływ obecności głowy na poziom ciśnienia akustycznego) zależą od zestawu słuchawkowego, użytego do odtwarzania sygnału testowego. Wartości tej poprawki są do siebie zbliżone, biorąc pod uwagę poszczególne analizowane parametry hałasu odtwarzanego przez dany zestaw słuchawkowy. Przedstawiona autorska metoda wyznaczania poprawki dotyczy pomiarów z wykorzystaniem manekina akustycznego. Prowadzone są jednak prace nad zastosowaniem tej metody do pomiarów parametrów hałasu z użyciem mikrofonu miniaturowego, dzięki czemu stałaby się ona bardziej powszechna.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN ISO 9612:2011. Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna.
- [2] PN-N-01307:1994. Hałas – Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.

[3] PN-EN ISO 11904-1:2008. Akustyka – Wyznaczanie emisji dźwięku od źródeł umieszczonych bezpośrednio przy uchu – Część 1: Technika z zastosowaniem mikrofonu umieszczonego w uchu (technika MIRE).

[4] PN-EN ISO 11904-2:2021. Akustyka – Wyznaczanie emisji dźwięku od źródeł umieszczonych bezpośrednio przy uchu – Część 2: Technika z zastosowaniem manekina akustycznego.

[5] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. poz. 1286 z późn. zm.).

[6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne (Dz.U. nr 157, poz. 1318).

Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (projekt nr II.PB.19 pt. „Opracowanie metody oceny narażenia na hałas z zastosowaniem techniki mikrofonu umieszczonego w uchu pracownika”). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.