



Metoda oceny narażenia na hałas z zastosowaniem techniki mikrofonu umieszczonego w uchu pracownika¹

Noise exposure assessment method using microphone in real ear technique

EMIL KOZŁOWSKI

<http://orcid.org/0000-0003-4685-1145>

e-mail: emkoz@ciop.pl

RAFAŁ MŁYŃSKI

<https://orcid.org/0000-0002-0500-0638>

JAN RADOSZ

<https://orcid.org/0000-0001-8542-7799>

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Warsaw, Poland

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę oceny narażenia na hałas z zastosowaniem techniki mikrofonu umieszczonego w uchu pracownika w przypadku, gdy źródłem hałasu jest zestaw słuchawkowy. Potrzeba opracowania takiej metody wynika z faktu, że obecnie stosowane metody pomiaru hałasu w przypadku tego rodzaju źródła ograniczają się do wyznaczania równoważnego poziomu dźwięku A. Ponadto stosowanie tych metod wiąże się z koniecznością wyznaczania poziomu ciśnienia akustycznego z użyciem korekcji w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości. Zaproponowana w artykule metoda uwzględnia dwa pozostałe, niezbędne do oceny hałasu na stanowisku pracy parametry, tj. maksymalny poziom dźwięku A i szczytowy poziom dźwięku C. Metoda pozwala na wyznaczenie parametrów hałasu z wykorzystaniem korekcji jednolicebowej, co umożliwia zastosowanie mniej zaawansowanej technicznie aparatury pomiarowej. Artykuł zawiera procedurę pomiarową przedstawiającą tryb postępowania przy wyznaczaniu parametrów hałasu generowanego przez zestaw słuchawkowy.

Słowa kluczowe: hałas, miernik poziomu dźwięku, mikrofon miniaturowy, zestaw słuchawkowy, inżynieria środowiska, nauki o zdrowiu.

¹ Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Projekt nr IL.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.

Abstract

The article presents a method of assessing noise exposure using a microphone in a real ear technique when headset is the source of noise. The need to develop such a method arose from the fact that current methods of noise measurement for this type of source are limited only to the determination of A-weighted equivalent sound pressure level. In addition, the use of these methods involves the determination of sound pressure level using appropriate corrections in 1/3 octave frequency bands. The method proposed in the article takes into account the other two parameters necessary for the evaluation of noise at the workplace, i.e. A-weighted maximum sound pressure level and C-weighted peak sound pressure level. The method allows the determination of noise parameters using a single-number correction, allowing the use of less technically advanced measurement equipment. The article was supplemented with a measurement procedure showing how to determine the parameters of noise generated by headset.

Keywords: noise, sound level meter, miniature microphone, headset, environmental engineering, health sciences.

Adres do korespondencji/Contact details: Emil Kozłowski, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: emkoz@ciop.pl

WPROWADZENIE

W ostatnich latach w związku z upowszechnieniem pracy zdalnej obserwuje się zwiększone zastosowanie służących do komunikacji słownej zestawów słuchawkowych. Zestawy słuchawkowe stosuje się na przykład podczas telekonferencji prowadzonych z użyciem platform komunikacyjnych takich jak Microsoft Teams, Skype for Business czy też Zoom. Ponadto zestawy słuchawkowe są często używane w call centers, barach szybkiej obsługi, na stanowiskach obsługi naziemnej lotnisk oraz kontroli ruchu lotniczego. Standardowo pomiary parametrów hałasu na stanowiskach pracy przeprowadza się zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9612:2011 oraz normy PN-N-01307:1994, z zastosowaniem mierników poziomu dźwięku lub dozymetrów hałasu. Metody pomiaru parametrów hałasu opisane w tych normach nie uwzględniają zestawu słuchawkowego jako źródła hałasu, ponieważ nie wzięto w nich pod uwagę obecności człowieka w polu akustycznym, a sam pomiar parametrów hałasu pod zestawami słuchawkowymi przy użyciu standardowych mierników poziomu dźwięku lub dozymetrów hałasu jest praktycznie niemożliwy. W takiej sytuacji możliwe jest przeprowadzanie pomiarów parametrów hałasu zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 11904-1:2008 z wykorzystaniem mikrofonu miniaturowego (technika MIRE – ang. *microphone in real ear*) lub zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 11904-2:2021 z użyciem manekina akustycznego. W normach PN-EN ISO 11904-1:2008 i PN-EN ISO 11904-2:2021 przedstawiono metodę wyznaczania

poziomu ciśnienia akustycznego z użyciem odpowiednich korekcyj w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości, uwzględniającą obecność człowieka w polu akustycznym. Dzięki uwzględnieniu poprawek w wynikach pomiaru możliwe jest odniesienie się do wartości 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 oraz 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. Jednakże przedstawiona w normach PN-EN ISO 11904-1:2008 i PN-EN ISO 11904-2:2021 metoda pomiaru ogranicza się do sposobu postępowania pozwalającego na wyznaczenie, z użyciem stosownych korekcyj, równoważnego poziomu dźwięku A. Parametr ten razem z określeniem czasu trwania narażenia stanowi podstawę do określenia poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy. Pełna ocena narażenia na hałas wg wspomnianego rozporządzenia 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 wymaga jednak również znajomości dwóch pozostałych parametrów określających poziom narażenia na hałas, tj. maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C.

Oprócz wspomnianych w normach PN-EN ISO 11904-1:2008 i PN-EN ISO 11904-2:2021 metod wyznaczania parametrów dla źródła hałasu umieszczonego blisko ucha pracownika, istnieją także alternatywne metody wyznaczania parametrów hałasu wytwarzanego przez tego rodzaju źródło, obowiązujące w Nowej Zelandii, Australii i Kanadzie. W normie kanadyjskiej CSA Z107.56-18 podano trzy metody obejmujące pomiary parametrów hałasu z wykorzystaniem mikrofonu miniaturowego, manekina akustycznego oraz sztucznego ucha. Metody te korzystają z przedstawionych w normach ISO 11904-1 i ISO 11904-2 odpowiednich korekcji w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości uwzględniających obecność człowieka w polu akustycznym. W przypadku pomiarów z zastosowaniem sztucznego ucha zaleca się stosowanie korekcji ustalonej dla manekina akustycznego. Ponadto w normie kanadyjskiej CSA Z107.56-18 przedstawiono metodę pośrednią wymagającą jedynie przeprowadzenia pomiarów parametrów hałasu za pomocą standardowego miernika poziomu dźwięku i zastosowania procedur obliczeniowych. Natomiast w normie australijskiej i nowozelandzkiej AS/NZS 1269.1:2005 w odróżnieniu od tego, co jest zapisane w PN-EN ISO 11904-1:2008 i PN-EN ISO 11904-2:2021, określono jednolicebne współczynniki korekcji uwzględniające obecność człowieka w polu akustycznym podczas przeprowadzania pomiaru. Współczynniki te zostały określone w przypadku pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A ($L_{Aeq,T}$) oraz szczytowego poziomu dźwięku (bez korekcji), (L_{peak}) przeprowadzanych z wykorzystaniem manekina akustycznego, symulatora ucha, szerokopasmowego sztucznego ucha oraz mikrofonu miniaturowego. Wartości tych korekcji zamieszczono w tabeli 1. Przy czym przeprowadzone badania (Nassrallah i in. 2016) wykazały, że zastosowanie jednolicebnych współczynników korekcji zwiększa

niepewność pomiaru, ponieważ współczynniki te nie uwzględniają charakteru widmowego sygnałów dźwiękowych. Według autorów wymienionego artykułu w przypadku pomiarów przeprowadzanych z wykorzystaniem sztucznych uszu preferowane jest zastosowanie metody obliczania korekcji w pasmach 1/3-oktawowych, tak jak jest to opisane na przykład w normie ISO 11904-2:2021.

Opisane w przedstawionych normach metody pomiaru parametrów hałasu wytwarzanego przez zestawy słuchawkowe były analizowane i stosowane przez wielu badaczy. Do pomiarów hałasu na stanowiskach pracowników infolinii stosowano m.in. technikę MIRE (Gerges i in. 2016; Pawlaczyk-Łuszczynska i in. 2018; Smągowska 2010), manekin akustyczny (Trompette, Chatillon 2012; Venet i in. 2018) oraz sztuczne ucho (Pawlaczyk-Łuszczynska i in. 2019). Jednakże w żadnym z tych artykułów w przedstawionych wynikach pomiarów nie uwzględniono korekcji wynikającej z przebywania człowieka w polu akustycznym w przypadku maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C.

Celem artykułu jest przedstawienie metody oceny narażenia na hałas z zastosowaniem techniki mikrofonu umieszczonego w uchu pracownika w przypadku zestawu słuchawkowego jako źródła hałasu, przy uwzględnieniu wszystkich wymaganych do oceny parametrów hałasu, tj. poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C. Ponadto w artykule podano procedurę pomiarową przedstawiającą tryb postępowania przy wyznaczaniu wspomnianych parametrów hałasu wytwarzanego przez tego typu źródła.

Tabela 1. Wartości jednolicebnych współczynników korekcji uwzględnianych w wynikach pomiaru parametrów hałasu pod zestawami słuchawkowymi wg normy AS/NZS 1269.1:2005

Table 1. Values of single number corrections to convert the measurement results of noise parameters under headsets according to AS/NZS 1269.1:2005

Urządzenie pomiarowe	Współczynnik korekcji, dB	
	równoważny poziom dźwięku A, $L_{Aeq,T}$	szczytowy poziom dźwięku, L_{peak}
Szerokopasmowe sztuczne ucho	-8	-4
Manekin akustyczny	-5	-3
Symulator ucha	-5	-3
Mikrofon miniaturowy	-5	-3

METODA OCENY NARAŻENIA NA HAŁAS

Opracowana metoda oceny narażenia na hałas z zastosowaniem techniki mikrofonu umieszczonego w uchu pracownika dotyczy sytuacji, w której źródłem hałasu jest zestaw słuchawkowy. Metoda oparta jest na porównaniu odpowiednio skorygowanych wyników pomiarów parametrów hałasu przeprowadzonych na stanowisku pracy z wartościami kryterialnymi w środowisku pracy określonymi 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 oraz 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. Wykorzystuje się pomiar przeprowadzany z użyciem mikrofonu miniaturowego. Ponieważ wyniki takiego pomiaru nie mogą być bezpośrednio odnoszone do określonych wartości kryterialnych, otrzymane wartości należy odpowiednio skorygować. W związku z tym na podstawie badań empirycznych przeprowadzonych w akustycznym polu swobodnym, które opisano w dalszej części artykułu, zaproponowano dwa sposoby uwzględnienia korekcji, tak aby wynik pomiaru można było odnieść do wartości kryterialnych.

Pierwszy sposób uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru polega na tym, że pomiary przeprowadzane przy użyciu mikrofonu miniaturowego w przypadku równoważnego poziomu dźwięku A i maksymalnego poziomu dźwięku A należy korygować (obniżyć) o wartość 4 dB, a w przypadku szczytowego poziomu dźwięku C należy korygować (obniżyć) o wartość 5 dB.

Drugi sposób polega na tym, że pomiary przeprowadzane przy użyciu mikrofonu miniaturowego należy w przypadku równoważnego poziomu dźwięku A korygować wg wymagań normy PN-EN ISO 11904-1:2008 z wykorzystaniem 1/3-oktawowych pasm częstotliwości, w przypadku maksymalnego poziomu dźwięku A wyniki należy korygować o wartość korekcji otrzymanej dla równoważnego poziomu dźwięku A, natomiast w przypadku szczytowego poziomu dźwięku C o wartość korekcji otrzymanej dla równoważnego poziomu dźwięku A i dodatkowo o wartość 1 dB. Sposób korekcji

opisany w normie PN-EN ISO 11904-1:2008 polega na tym, że każdy zmierzony poziom ciśnienia akustycznego w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości koryguje się charakterystyką częstotliwościową ucha w warunkach pola swobodnego/rozproszonego, aby uzyskać poziom ciśnienia akustycznego w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości odpowiadający warunkom pola swobodnego/rozproszonego. Otrzymany poziom ciśnienia akustycznego w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości jest następnie korygowany charakterystyką częstotliwościową A. Na koniec wyznacza się poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego/rozproszonego. Wartości charakterystyki ucha w warunkach pola swobodnego/rozproszonego są podane w normie PN-EN ISO 11904-1:2008 lub też mogą być wyznaczane w sposób indywidualny.

Dzięki zaproponowaniu dwóch sposobów uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru możliwe jest z jednej strony dokładniejsze wyznaczenie wartości parametrów hałasu (drugi sposób wprowadzania korekcji), wymagające przeprowadzenia pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych, co wiąże się jednak z koniecznością posiadania przyrządu pomiarowego wyposażonego w odpowiednie filtry, a z drugiej strony można zastosować sposób mniej dokładny (pierwszy sposób uwzględnienia korekcji), bez konieczności pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych. W związku z tym istnieje możliwość wyboru, który sposób zostanie zastosowany, np. na podstawie właściwości dostępnej aparatury pomiarowej.

Integralną częścią opracowanej metody jest procedura pomiarowa przedstawiająca tryb postępowania przy wyznaczeniu parametrów hałasu do potrzeb oceny narażenia na hałas generowany przez zestawy słuchawkowe. W przedstawionej procedurze określono metodę pomiaru parametrów charakteryzujących hałas generowany przez zestaw słuchawkowy oraz sposób wyznaczania poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C. Procedura przedstawia sposoby uwzględnienia poprawek związanych z wpływem obecności człowieka w polu akustycznym na wynik pomiaru. Procedura zawiera również sposób oceny niepewności pomiarów.

Przedstawiony opis procedury pomiarowej obejmuje:

- wymagania dotyczące aparatury pomiarowej oraz okresowej kontroli metrologicznej,
- wymagania dotyczące środowiska pomiarowego,
- postępowanie w czasie przeprowadzania pomiarów,
- zagadnienie korekcji wyniku pomiaru,
- wyznaczanie niepewności pomiarów,
- wytyczne do sporządzenia raportu z pomiarów.

WYZNACZENIE KOREKCJI

Sposób postępowania

W opracowanej metodzie zaproponowano dwa sposoby uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru. Wartości tych korekcji zostały wyznaczone w sposób empiryczny z udziałem ośmiu osób oraz z wykorzystaniem różnych modeli zestawów słuchawkowych. Przed rozpoczęciem badań złożono wniosek do Komisji Etyki Badań Naukowych z Udziałem Ludzi przy Instytucie Nauk o Żywieniu Człowieka SGGW w Warszawie. Komisja wydała pozytywną opinię na temat badań (uchwała nr 24/2022).

W celu wyznaczenia wartości korekcji przeprowadzono następujące działania, które w sposób opisowy oraz w formie algorytmu przedstawiono na rycinie 1:

1. Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości ($L_{\text{ear,f,ZS}}$), równoważnego poziomu dźwięku A ($L_{\text{Aeq,ear,ZS}}$), maksymalnego poziomu dźwięku A ($L_{\text{Amax,ear,ZS}}$) oraz szczytowego poziomu dźwięku C ($L_{\text{Cpeak,ear,ZS}}$) sygnału testowego odtwarzanego przez zestawy słuchawkowe (kolejno umieszczone na głowie osoby biorącej udział w badaniach) przeprowadzony przy użyciu mikrofonu miniaturowego umieszczonego w przewodzie słuchowym uczestnika badań.

2. Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości ($L_{\text{ear,f,ZG}}$) sygnału testowego odtwarzanego przez zestaw głośnikowy, przeprowadzony przy użyciu mikrofonu miniaturowego umieszczonego w przewodzie słuchowym osoby biorącej udział w badaniach.

3. Korekcja z wykorzystaniem korektora graficznego (urządzenia umożliwiającego wzmocnienie

lub tłumienie sygnału akustycznego w pasmach częstotliwości) w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości sygnału testowego tak, aby wartość poziomu ciśnienia akustycznego w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości sygnału testowego odtwarzanego przez zestaw głośnikowy ($L_{\text{ear,f,ZG}}$) odpowiadała wartościom poziomu ciśnienia akustycznego odtwarzanego przez poszczególne zestawy słuchawkowe ($L_{\text{ear,f,ZS}}$).

4. Pomiar równoważnego poziomu dźwięku A ($L_{\text{Aeq,FF}}$), maksymalnego poziomu dźwięku A ($L_{\text{Amax,FF}}$) oraz szczytowego poziomu dźwięku C ($L_{\text{Cpeak,FF}}$) skorygowanego sygnału testowego odtwarzanego przez zestaw głośnikowy przeprowadzony za pomocą mikrofonu znajdującego się w polu swobodnym.

5. Wyznaczenie: korekcji równoważnego poziomu dźwięku A ($\Delta L_{\text{Aeq}} = L_{\text{Aeq,ear,ZS}} - L_{\text{Aeq,FF}}$), korekcji maksymalnego poziomu dźwięku A ($\Delta L_{\text{Amax}} = L_{\text{Amax,ear,ZS}} - L_{\text{Amax,FF}}$) oraz korekcji szczytowego poziomu dźwięku C ($\Delta L_{\text{Cpeak}} = L_{\text{Cpeak,ear,ZS}} - L_{\text{Cpeak,FF}}$) na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych w punkcie 1 i punkcie 4.

Pomiarowe wyznaczenie wartości korekcji

Pomiar parametrów hałasu określonych w punkcie 1 przeprowadzono z użyciem dwóch mikrofonów miniaturowych SVANTEK SV25S dołączonych do dozymetru hałasu SVANTEK SV102A+, które umieszczano w zewnętrznych przewodach słuchowych ośmiu osób uczestniczących w badaniach. Źródłem hałasu były różne modele zestawów słuchawkowych (uwzględnienie wszystkich modeli zestawów oraz sposobów ich podłączenia do źródła sygnału testowego dało łącznie 16 różnych sytuacji pomiarowych). Sygnałem testowym był dźwięk słów wypowiedzianych przez mężczyznę. Był to fragment trwającej 1 min, zainscenizowanej rozmowy odbywającej się poprzez komunikator internetowy. Rozmowa oprócz słów zawierała możliwe do wystąpienia w warunkach rzeczywistych artefakty, tj. trzaski wynikające z poprawiania zestawu słuchowego na głowie czy też przypadkowe uderzenia ręką o mikrofon. Sygnał testowy odtwarzano za pomocą komputera przenośnego. W badaniach uczestniczyło osiem osób (cztery kobiety i czterech mężczyzn). Pomiar przeprowadzono w pomieszczeniu, gdzie występowały warunki pola swobodnego.

Pomiary wg punktu 2 przeprowadzono w taki sam sposób jak w przypadku pomiarów z zestawami słuchawkowymi, przy czym zestawy te zastąpiono

zestawem głośnikowym. Zestaw głośnikowy ustawiono 1,5 m od głowy osoby uczestniczącej w badaniach. Odtwarzano ten sam sygnał testowy.

Korekcja opisana w punkcie 3 została zrealizowana z użyciem korektora graficznego. Wartości korekcji wyznaczono, obliczając różnicę pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego sygnału testowego odtwarzanego przez zestawy słuchawkowe i odtwarzanego przez zestaw głośnikowy. Wartości korekcji wprowadzono następnie do widma sygnału testowego. Na tej podstawie powstało 16 skorygowanych sygnałów testowych dla każdej osoby uczestniczącej w pomiarach. Łącznie wytworzono w ten sposób 128 (16×8 osób) skorygowanych sygnałów testowych.

Realizacja punktu 4 polegała na pomiarze równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C w odniesieniu do każdego spośród 128 skorygowanych sygnałów testowych. Do pomiaru zastosowano zestaw mikrofonowy Brüel&Kjær 4191-L-001 umieszczony w miejscu głowy uczestników badań, w polu swobodnym. Zestaw mikrofonowy był podłączony do modułu pomiarowego Brüel&Kjær PULSE 3052-A-030. Pomiary przeprowadzono w polu swobodnym, ponieważ zestawy słuchawkowe są zazwyczaj stosowane w pomieszczeniach biurowych lub w mieszkaniach charakteryzujących się krótkim czasem pogłosu. W tego typu pomieszczeniach pole akustyczne jest bardziej zbliżone do warunków pola swobodnego niż pola rozproszonego.

Po wyznaczeniu wartości równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C zmierzzonego wg punktu 1 i punktu 4 obliczono różnice pomiędzy odpowiednimi parametrami hałasu i określono korekcie ΔL_{Aeq} , ΔL_{Amax} i ΔL_{Cpeak} wg punktu 5.

Wartości średnie korekcji ΔL_{Aeq} , ΔL_{Amax} i ΔL_{Cpeak} po uwzględnieniu wszystkich zestawów słuchawkowych oraz osób biorących udział w badaniach wyniosły odpowiednio: 4,0 dB, 3,9 dB i 5,2 dB. Wartości te, po zaokrągleniu do wartości całkowitych, zastosowano w opracowanej metodzie.

ANALIZA WYNIKÓW OCENY NIEPEWNOŚCI POMIARÓW

Zgodnie z PKN-ISO/IEC Guide 98-3:2021 przy ocenie niepewności należy wziąć pod uwagę

wszystkie składniki niepewności, które są istotne w danej sytuacji, i wykorzystać odpowiednie metody analizy. Uznano, że najbardziej istotnymi czynnikami, które należy wziąć pod uwagę podczas analizy niepewności pomiaru, są:

- rozrzut związany z różnym sposobem umieszczania mikrofonu miniaturowego w zewnętrznym przewodzie słuchowym,
- rozrzut międzyosobniczy, tj. związany z kształtem głowy i przewodów słuchowych osoby stosującej poszczególne zestawy słuchawkowe,
- uwzględnienie korekcji w wynikach pomiaru,
- rodzaj zastosowanej aparatury pomiarowej,
- rozrzut wartości wyników pomiaru poziomu dźwięku.

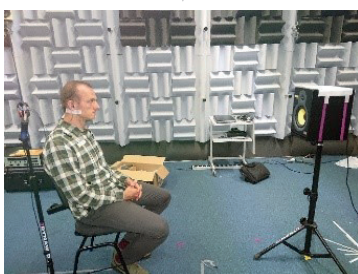
Wpływ trzech pierwszych czynników wyznaczono w sposób empiryczny wg opisu zamieszczonego w dalszej części artykułu. W przypadku niepewności związanej z aparaturą pomiarową zastosowano rozwiązanie przedstawione w normie PN-EN ISO 9612:2011. W przypadku ostatniego z wymienionych czynników sposób oceny niepewności związanej z rozrzutem wartości wyników pomiaru poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinne go dobowego wymiaru czasu pracy oparto na zapisach normy PN-EN ISO 9612:2011, a w przypadku maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C zastosowano metodę granic tolerancji przedstawioną między innymi w normie PN-Z-01339:2020-12.

Niepewność związana z różnym sposobem umieszczania mikrofonu miniaturowego w zewnętrznym przewodzie słuchowym

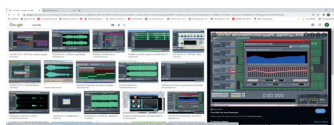
Sposób postępowania przy wyznaczeniu niepewności związanej z różnym sposobem umieszczania mikrofonu miniaturowego w zewnętrznym przewodzie słuchowym polegał na wielokrotnym przeprowadzeniu pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C sygnału testowego odtwarzanego przez wybrany zestaw słuchawkowy. Pomiar przeprowadzano z użyciem dwóch mikrofonów miniaturowych umieszczanych w zewnętrznych przewodach słuchowych lewego i prawego ucha uczestnika badań. Pomiary te powtarzano sześciokrotnie, przed każdym pomiarem mikrofony miniaturowe wyjmowano i ponownie



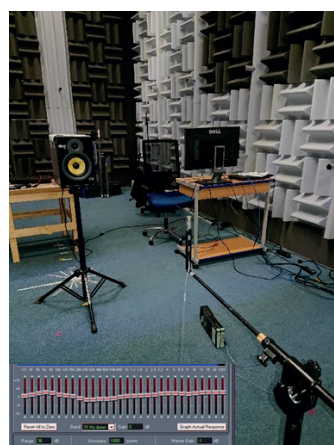
1. Pomiar $L_{\text{ear},f,ZS}$, $L_{\text{Aeq},\text{ear},ZS}$, $L_{\text{Amax},\text{ear},ZS}$, $L_{\text{Cpeak},\text{ear},ZS}$ sygnału odtwarzanego przez zestaw słuchawkowy przeprowadzony przy użyciu mikrofonu miniaturowego umieszczonego w przewodzie słuchowym osoby biorącej udział w badaniu.



2. Pomiar $L_{\text{ear},f,ZG}$ sygnału odtwarzanego przez zestaw głośnikowy przeprowadzony przy użyciu mikrofonu miniaturowego umieszczonego w przewodzie słuchowym osoby biorącej udział w badaniu.



3. Korekcja w pasmach 1/3-oktawowych sygnału testowego odtwarzanego przez zestaw głośnikowy tak, aby wartość $L_{\text{ear},f,ZG}$ odpowiadała wartościom $L_{\text{ear},f,ZS}$.



4. Pomiar $L_{\text{Aeq},FF}$, $L_{\text{Amax},FF}$ i $L_{\text{Cpeak},FF}$ hałasu sygnału testowego (skorygowanego w pasmach 1/3-oktawowych) w polu swobodnym przeprowadzony przy użyciu mikrofonu pomiarowego.

5. Wyznaczenie korekcji

$$\Delta L_{\text{Aeq}} = L_{\text{Aeq},\text{ear},ZS} - L_{\text{Aeq},FF}$$

$$\Delta L_{\text{Amax}} = L_{\text{Amax},\text{ear},ZS} - L_{\text{Amax},FF}$$

$$\Delta L_{\text{Cpeak}} = L_{\text{Cpeak},\text{ear},ZS} - L_{\text{Cpeak},FF}$$

Rycina 1. Algorytm wyznaczania wartości korekcji
Figure 1. Algorithm for determining correction values

umieszczano w przewodach słuchowych osoby uczestniczącej w badaniach i stosowano ten sam sygnał testowy. Badania przeprowadzono z udziałem ośmiu osób. Na tej podstawie obliczono odchylenia standardowe średniej, czyli niepewność standardową związaną z rozrzutem wartości próbek zmierzonych przy różnym umieszczeniu mikrofonów w zewnętrznych przewodach słuchowych w przypadku poszczególnych osób. W tabeli 2 przedstawiono odchylenie standardowe średniej obliczone na podstawie pomiarów z udziałem ośmiu osób. W ten sposób uzyskano 16 wartości odchylenia standardowego średniej w przypadku każdego analizowanego parametru hałasu. Za niepewność standardową związaną z rozrzutem wartości próbek zmierzonych przy różnym umieszczeniu mikrofonów w zewnętrznym przewodzie słuchowym uznano maksymalne odchylenie standardowe średniej spośród wszystkich wyznaczonych wartości odchylenia. Ustalono, że niepewność standardowa pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A (u_{1LAeq}), maksymalnego poziomu dźwięku A (u_{1LAmax}) oraz szczytowego poziomu dźwięku C ($u_{1LCpeak}$) związana z rozrzutem wartości próbek zmierzonych przy różnym umieszczeniu mikrofonu w przewodach słuchowych osób biorących udział w badaniach wynosi 0,5 dB.

Niepewność związana z rozrzutem międzyosobniczym

Niepewność związaną z rozrzutem międzyosobniczym wyznaczono na podstawie pomiarów,

w ramach których osoby biorące udział w badaniach zakładały kolejno te same 11 modeli zestawów słuchawkowych, co przy wyznaczaniu niepewności związanej z różnym sposobem umieszczania mikrofonu miniaturowego w zewnętrznym przewodzie słuchowym. Przeprowadzono pomiar równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C, a następnie obliczono odchylenie standardowe średniej rozważanych parametrów hałasu (tab. 3). Do analizy wybrano większe wartości zmierzone w prawym i lewym uchu danej osoby. Za niepewność standardową związaną z rozrzutem międzyosobniczym uznano maksymalne odchylenie standardowe średniej ze wszystkich wyznaczonych w opisany sposób i przedstawionych w tabeli 3 wartości odchylenia. W ten sposób ustalono, że niepewność standardowa związana z rozrzutem międzyosobniczym dla pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A (u_{2LAeq}) wynosi 0,7 dB, a dla maksymalnego poziomu dźwięku A (u_{2LAmax}) i szczytowego poziomu dźwięku C ($u_{2LCpeak}$) – 0,8 dB.

Niepewność związana z uwzględnieniem korekcji w wynikach pomiaru

W celu wyznaczenia niepewności związanej z uwzględnieniem korekcji w wynikach pomiaru określono wartości równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C sygnału testowego z użyciem obu sposobów uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru (pierwszy sposób

Tabela 2. Odchylenie standardowe średniej poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C. Pomiar przeprowadzony przy sześciokrotnym umieszczaniu mikrofonów miniaturowych w zewnętrznym przewodzie słuchowym poszczególnych osób

Table 2. Standard deviation of average A-weighted equivalent sound pressure level, A-weighted maximum sound pressure level and C-weighted peak sound pressure level. Measurement was conducted when miniature microphones were placed six times in subjects' external ear canal

Osoba biorąca udział w badaniach	Ucho lewe			Ucho prawe		
	u_{1LAeq} , dB	u_{1LAmax} , dB	$u_{1LCpeak}$, dB	u_{1LAeq} , dB	u_{1LAmax} , dB	$u_{1LCpeak}$, dB
1	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3	0,4
2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
3	0,3	0,4	0,3	0,1	0,3	0,3
4	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
5	0,4	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4
6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
7	0,2	0,2	0,2	0,5	0,3	0,3
8	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3
Wartości maksymalne	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabela 3. Odchylenia standardowe średniej poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C. Pomiar przeprowadzono dla poszczególnych zestawów słuchawkowych i z udziałem ośmiu osób

Table 3. Standard deviations of average A-weighted equivalent sound pressure level, A-weighted maximum sound pressure level and C-weighted peak sound pressure level. The measurement was made for individual headsets and eight subjects

Zestaw słuchawkowy	u_{2LAeq} , dB	u_{2LAmax} , dB	$u_{2LCpeak}$, dB
A	0,7	0,7	0,7
B	0,3	0,3	0,3
C	0,4	0,4	0,4
D	0,3	0,3	0,3
E	0,5	0,5	0,5
F	0,4	0,5	0,3
G	0,7	0,8	0,8
H	0,7	0,8	0,6
I	0,5	0,7	0,6
J	0,5	0,5	0,5
K	0,2	0,2	0,2
Wartości maksymalne	0,7	0,8	0,8

Tabela 4. Odchylenie standardowe średniej w przypadku różnicy pomiędzy wartościami równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C wyznaczonymi z wykorzystaniem pierwszego sposobu uwzględnienia korekcji oraz wartościami odniesienia. Pomiar przeprowadzono z udziałem 8 osób, które stosowały 11 różnych modeli zestawów słuchawkowych

Table 4. Standard deviation of average for the difference between A-weighted equivalent sound pressure level, A-weighted maximum sound pressure level and C-weighted peak sound pressure level values determined using the first correction method and reference values. The measurement was carried out with 8 people who used 11 different headset models

Osoba biorąca udział w badaniach	u_{31LAeq} , dB	$u_{31LAmax}$, dB	$u_{31LCpeak}$, dB
1	0,4	0,4	0,6
2	0,5	0,6	0,6
3	0,3	0,4	0,5
4	0,5	0,4	0,6
5	0,4	0,5	0,5
6	0,4	0,4	0,6
7	0,3	0,4	0,5
8	0,4	0,4	0,6
Wartości maksymalne	0,5	0,6	0,6

uwzględnienia korekcji – korekcja jednoliczbowa, drugi sposób uwzględnienia korekcji – korekcja z wykorzystaniem charakterystyki z normy PN-EN ISO 11904-1:2008). Do analizy wybrano większe wartości mierzonych parametrów hałasu w prawym i lewym uchu danej osoby. Następnie obliczono różnice pomiędzy wartościami równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C określonego z wykorzystaniem korekcji z wartościami odniesienia, które wyznaczono w sposób pomiarowy. W dalszej kolejności wyznaczono odchylenie standardowe średniej z obliczonych różnic, biorąc pod uwagę 8 osób uczestniczących

w badaniach oraz 11 modeli zestawów słuchawkowych. W tabeli 4 przedstawiono wartości odchylenia standardowego średniej różnic pomiędzy wartościami parametrów hałasu wyznaczonych z zastosowaniem pierwszego sposobu korekcji oraz wartościami odniesienia w przypadku poszczególnych osób biorących udział w badaniach. W tabeli 5 przedstawiono analogiczne wartości dotyczące drugiego sposobu uwzględnienia korekcji. Analogicznie jak w poprzednich przypadkach, za niepewność standardową związaną z uwzględnieniem korekcji uznano maksymalne odchylenie standardowe średniej ze wszystkich wyznaczonych w opisany sposób i przedstawionych

Tabela 5. Odchylenia standardowe średniej w przypadku różnicy pomiędzy wartościami równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C wyznaczonymi z wykorzystaniem drugiego sposobu uwzględnienia korekcji oraz wartościami odniesienia. Pomiar przeprowadzono z udziałem 8 osób, które stosowały 11 różnych modeli zestawów słuchawkowych

Table 5. Standard deviations of average for the difference between A-weighted equivalent sound pressure level, A-weighted maximum sound pressure level and C-weighted peak sound pressure level values determined using the second correction method and reference values. The measurement was carried out with 8 people who used 11 different headset models

Osoba biorąca udział w badaniach	u_{32LAeq} dB	$u_{32LAmax}$ dB	$u_{32LCpeak}$ dB
1	0,1	0,1	0,3
2	0,1	0,1	0,2
3	0,1	0,1	0,2
4	0,1	0,1	0,2
5	0,1	0,1	0,2
6	0,1	0,1	0,3
7	0,1	0,1	0,2
8	0,1	0,1	0,2
Wartości maksymalne	0,1	0,1	0,3

w tabeli 4 i 5 wartości odchylenia. W ten sposób ustalono, że niepewność standardowa związana z pierwszym sposobem uwzględnienia korekcji podczas wyznaczania wartości równoważnego poziomu dźwięku A (u_{31LAeq}) wynosi 0,5 dB, a maksymalnego poziomu dźwięku A ($u_{31LAmax}$) i szczytowego poziomu dźwięku C ($u_{31LCpeak}$) wynosi 0,6 dB. Niepewność standardowa związana z drugim sposobem uwzględnienia korekcji podczas wyznaczania wartości równoważnego poziomu dźwięku A (u_{32LAeq}) i maksymalnego poziomu dźwięku A ($u_{32LAmax}$) wynosi 0,1 dB, a szczytowego poziomu dźwięku C ($u_{32LCpeak}$) wynosi 0,3 dB.

PODSUMOWANIE

Na podstawie badań przeprowadzonych w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym opracowano metodę oceny narażenia na hałas z zastosowaniem techniki mikrofonu umieszczonego w uchu pracownika w sytuacji, gdy źródłem hałasu jest zestaw słuchawkowy. Metoda ta oparta jest na porównaniu wyników pomiarów, w których uwzględniono odpowiednie korekcje, z obowiązującymi wartościami kryterialnymi (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 i 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). Wartości tych korekcji określono w sposób empiryczny. W opracowanej metodzie zaproponowano dwa sposoby uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru: albo za pomocą korekcji jednoliczbowej, albo z wykorzystaniem metody opartej na zapisach normy PN-EN ISO 11904-1:2008, tj. w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości. Dzięki temu powstaje możliwość przeprowadzenia pomiarów do oceny narażenia w przypadku zestawu słuchawkowego jako źródła hałasu z wykorzystaniem bardziej lub mniej zaawansowanej technicznie aparatury pomiarowej. Przeprowadzona analiza niepewności pomiaru wykazała, że największy wpływ na pomiar ma rozrzut międzyosobniczy, a mniejszy sposób umieszczenia mikrofonu miniaturowego w zewnętrznym przewodzie słuchowym uczestnika badań. Ponadto sposób korekcji oparty na zapisach normy PN-EN ISO 11904-1:2008 wiąże się z mniejszą niepewnością pomiaru niż w przypadku korekcji jednoliczbowej. Integralną częścią opracowanej metody jest procedura pomiarowa przedstawiająca tryb postępowania przy wyznaczaniu poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C w sytuacji, gdy źródłem hałasu jest zestaw słuchawkowy.

PIŚMIENNICTWO

AS/NZS 1269.1:2005 Occupational noise management – Measurement and assessment of noise immission and exposure.

CSA Z107.56-18 Measurement of noise exposure.

Nassrallah F.G., Giguère C., Dajani H.R. i in. (2016). Comparison of direct measurement methods for headset noise exposure in the workplace. *Noise Health* 18(81), 62–77.

Pawlaczyk-Łuszczńska M., Dudarewicz A., Zamojska-Daniszevska M. i in. (2018). Noise exposure and hearing status among call center operators. *Noise Health* 20(96), 178–189.

Pawlaczyk-Łuszczńska M., Zamojska-Daniszevska M., Zabrowski K. i in. (2019). Evaluation of noise exposure and hearing threshold levels among call centre operators. *Arch. Acoust.* 44(4), 747–759.

PKN-ISO/IEC Guide 98-3:2021-05 Niepewność pomiaru – Część 3: Przewodnik wyrażania niepewności pomiaru (GUM:1995).

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

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

PN-EN ISO 9612:2011 Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna.

PN-N-01307:1994 Hałas – Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.

PN-Z-01339:2020-12 Hałas ultradźwiękowy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów w środowisku pracy.

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. DzU 2005 nr 157 poz. 1318.

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. DzU 2018 poz. 1286.

Smagowska B. (2010). Noise at workplaces in the call center. *Arch. Acoust.* 35(2), 253–264.

Trompette N., Chatillon J. (2012). Survey of noise exposure and background noise in call centers using headphones. *J. Occup. Environ. Hyg.* 9(6), 381–386.

Venet T., Bey A., Campo P. i in. (2018). Auditory fatigue among call dispatchers working with headsets. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 31(2), 217–226.

PROCEDURA POMIARU HAŁASU GENEROWANEGO PRZEZ ZESTAWY SŁUCHAWKOWE

1. Cel

Możliwość odniesienia zmierzonych parametrów hałasu generowanego przez zestawy słuchawkowe do wartości kryterialnych oceny narażenia na hałas 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.

2. Zakres procedury

W niniejszej procedurze określono wymagania dotyczące wykonywania pomiarów hałasu generowanego przez zestawy słuchawkowe. Pomiary wykonuje się z zastosowaniem mikrofonów miniaturowych umieszczanych w przewodzie słuchowym osoby ekspozowanej na hałas. Niniejsza procedura odnosi się do równoważnego poziomu dźwięku A , maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C .

3. Powołania normatywne

Do stosowania opracowanej procedury są niezbędne wymienione dokumenty powołane:

PN-EN ISO 9612:2011 Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna.

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

PKN-ISO/IEC Guide 98-3:2021-05 Niepewność pomiaru – Część 3: Przewodnik wyrażania niepewności pomiaru (GUM:1995).

PN-EN 61672-3:2007 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 3: Badania okresowe.

PN-EN 61672-3:2014-03 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 3: Badania okresowe.

PN-EN 61672-1:2014-03 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 1: Wymagania.

PN-EN 61672-1:2005 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 1: Wymagania.

PN-EN 61260-3:2016-10 Elektroakustyka – Filtry pasmowe o szerokości oktawy i części oktawy – Część 3: Badania okresowe.

PN-EN 61260:2000 Elektroakustyka – Filtry pasmowe o szerokości oktawy i części oktawy.

PN-EN 61260-1:2015-01 Elektroakustyka – Filtry pasmowe o szerokości oktawy i części oktawy – Część 1: Wymagania.

PN-EN IEC 60942:2018-06 Elektroakustyka – Kalibratory akustyczne.

PN-Z-01339:2020-12 Hałas ultradźwiękowy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów w środowisku pracy.

4. Definicje

W niniejszej procedurze przyjęto następujące definicje:

4.1. Równoważny poziom dźwięku A

Dziesięć logarytmów dziesiętnych z ilorazu uśrednionego w czasie kwadratu ciśnienia akustycznego skorygowanego częstotliwościową charakterystyką korekcyjną A , p_A , w określonym przedziale czasowym T (rozpoczynającym się w chwili t_1 i kończącym się w chwili t_2) i kwadratu wartości ciśnienia odniesienia, p_0 , określony równaniem:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[\frac{\frac{1}{T} \int_A^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \right], \text{dB} \quad [1]$$

gdzie wartość ciśnienia odniesienia, p_0 , wynosi 20 μPa .

4.2. Równoważny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego ($L_{Aeq,T,FF}$)

Równoważny poziom dźwięku A uwzględniający korekcję wynikającą z obecności człowieka w swobodnym polu akustycznym wyznaczony na podstawie pomiaru w przewodzie słuchowym człowieka.

- 4.3. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinne go dobowego wymiaru czasu pracy ($L_{EX,8h}$)

Parametr hałasu określony równaniem:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,Te} + 10 \lg \left[\frac{T_e}{T_0} \right], \text{dB} \quad [2]$$

gdzie:

- $L_{Aeq,Te}$ – równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany częstotliwościową charakterystyką korekcyjną A w przedziale czasowym T_e ,
 T_e – efektywny czas trwania dnia pracy, wyrażony w godzinach,
 T_0 – czas odniesienia, $T_0 = 8 \text{ h}$.

- 4.4. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinne go dobowego wymiaru czasu pracy odpowiadający warunkom pola swobodnego ($L_{EX,8h,FF}$)

Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinne go dobowego wymiaru czasu pracy uwzględniający korekcję wynikającą z obecności człowieka w swobodnym polu akustycznym, wyznaczony na podstawie pomiaru w przewodzie słuchowym człowieka.

- 4.5. Maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax})
 Maksymalna wartość skuteczna poziomu dźwięku A, w decybelach, występująca w czasie obserwacji.

- 4.6. Maksymalny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego ($L_{Amax,FF}$)

Maksymalny poziom dźwięku A uwzględniający korekcję wynikającą z obecności człowieka w swobodnym polu akustycznym, wyznaczony na podstawie pomiaru w przewodzie słuchowym człowieka.

- 4.7. Szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak})
 Dziesięć logarytmów dziesiętnych z ilorazu kwadratu szczytowego ciśnienia akustycznego skorygowanego częstotliwościową charakterystyką korekcyjną C, p_{Cpeak} , i kwadratu wartości odniesienia, p_0 . Określony równaniem:

$$L_{Cpeak} = 10 \lg \frac{p_{Cpeak}^2}{p_0^2}, \text{dB} \quad [3]$$

gdzie wartość odniesienia, p_0 , wynosi $20 \mu\text{Pa}$.

- 4.8. Szczytowy poziom dźwięku C odpowiadający warunkom pola swobodnego ($L_{Cpeak,FF}$)

Szczytowy poziom dźwięku C uwzględniający korekcję wynikającą z obecności człowieka w swobodnym polu akustycznym, wyznaczony

na podstawie pomiaru w przewodzie słuchowym człowieka.

- 4.9. Pierwszy sposób uwzględnienia korekcji
 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A i maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C przeprowadzanego przy użyciu mikrofonu miniaturowego koryguje się (obniża) za pomocą jednej liczby.

- 4.10. Drugi sposób uwzględnienia korekcji
 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C przeprowadzanego z wykorzystaniem mikrofonu miniaturowego koryguje się na podstawie wartości korekcji ustalonych w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości.

5. Aparatura pomiarowa

- 5.1. Indywidualny miernik ekspozycji na dźwięk (dozometr hałasu) w funkcji miernika poziomu dźwięku wyposażony w mikrofon miniaturowy/ mikrofony miniaturowe

Indywidualny miernik ekspozycji na dźwięk (dozometr hałasu) w funkcji miernika poziomu dźwięku:

- a) przeszedł pomyślnie badania okresowe opisane w normie PN-EN 61672-3:2007/PN-EN 61672-3:2014-03 co najmniej w zakresie opisanym w punkcie 5.3 (poniżej) i spełnia wymagania zawarte w normie PN-EN 61672-1:2014-03 lub PN-EN 61672-1:2005 dla przyrządów pomiarowych klasy 1 (w przypadku pierwszego lub drugiego sposobu uwzględnienia korekcji) lub klasy 2 (w przypadku pierwszego sposobu uwzględnienia korekcji) w zakresie obejmującym przeprowadzone sprawdzenie. Jednocześnie (w przypadku pierwszego lub drugiego sposobu uwzględnienia korekcji) umożliwia on pomiar następujących parametrów hałasu: równoważny poziom dźwięku A, maksymalny poziom dźwięku A, szczytowy poziom dźwięku C;

- b) w przypadku drugiego sposobu uwzględnienia korekcji miernik jest wyposażony w filtry pasmowe 1/3-oktawowe o częstotliwości środkowej z zakresu co najmniej $100 \div 16\,000 \text{ Hz}$, które przeszły pomyślnie badania okresowe opisane w PN-EN 61260-3:2016-10/PN-EN 61260:2000 co najmniej w zakresie opisanym w punkcie 5.3 i spełniają wymagania zawarte w normie PN-EN 61260-1:2015-01 dla przyrządów pomiarowych klasy 1 lub 2 w zakresie obejmującym badania okresowe; dopuszcza się również spełnienie wymagań starszej normy PN-EN 61260:2000.

5.2. Kalibrator akustyczny

Kalibrator akustyczny powinien spełniać wymagania zawarte w normie PN-EN IEC 60942:2018-06 dla przyrządów klasy 1. Indywidualny miernik ekspozycji na dźwięk powinien być wyposażony w adapter dostosowujący średnicę jego mikrofonu miniaturowego do komory sprzęgającej kalibratora akustycznego.

5.3. Sprawdzanie okresowe

Okresowe sprawdzanie indywidualnego miernika ekspozycji na dźwięk (dozymetru hałasu) powinno być okresowo wykonywane w laboratoriach wzorczących zapewniających powiązanie z odpowiednimi wzorcami jednostek miar.

Okresowe sprawdzanie powinno być przeprowadzane wg normy PN-EN 61672-3:2007/PN-EN 61672-3:2014-03 (chyba że w dalszej części określono to inaczej) i obejmować co najmniej:

- pomiar szumów własnych,
- wzorcowanie przyrządu z mikrofonem, obejmujące wyznaczenie jego charakterystyki częstotliwościowej przy pobudzeniu sygnałem akustycznym w pasmach częstotliwości z zakresu 63 Hz – 16 kHz z uwzględnieniem krzywych korekcyjnych A, C i Z (liniowa). Pomiar ten nie jest wykonywany wg wymagań normatywnych, jednak należy przyjąć kryteria oceny bazujące na wymaganiach normy PN-EN 61672-3:2007 dotyczących badania częstotliwościowych charakterystyk korekcyjnych za pomocą sygnału elektrycznego,
- wyznaczenie błędów związanych z uśrednianiem liniowym i uśrednianiem wykładniczym,
- pomiar liniowości,
- pomiar odpowiedzi na impulsy tonowe,
- wskazania szczytowego poziomu dźwięku C,
- pomiar sygnalizacji przesterowania.

W przypadku opcjonalnego wyposażenia indywidualnego miernika ekspozycji na dźwięk w 1/3-oktawowe filtry pasmowe sprawdzanie okresowe powinno zostać przeprowadzone zgodnie z PN-EN 61260-3:2016-10 lub PN-EN 61260:2000 (badania okresowe) i powinno obejmować co najmniej pomiary w zakresie:

- wyznaczenia tłumienia względnego filtrów 1/3-oktawowych,
- pomiaru szumów własnych w pasmach częstotliwości,
- pomiaru zakresu liniowości,

- pomiaru tłumienia względnego filtrów przy częstotliwościach środkowych (wyznaczenie płaskiej charakterystyki częstotliwościowej).

Sprawdzanie okresowe wyposażenia pomiarowego należy przeprowadzać w odstępach czasu nieprzekraczających 2 lat. Data ostatniego sprawdzania okresowego i nazwa laboratorium wykonującego sprawdzanie powinny być rejestrowane i podane w sprawozdaniu z pomiarów.

6. Pomiary

6.1. Postanowienia ogólne

Pomiary parametrów hałasu generowanego przez zestawy słuchawkowe przeprowadza się w miejscu przebywania pracownika po określeniu wykonywanych przez niego czynności oraz zapewnieniu reprezentatywnych warunków. Stanowiska pracy związane z hałasem generowanym przez zestawy słuchawkowe z reguły są stacjonarnymi stanowiskami pracy, na których występuje jeden rodzaj czynności związany z działalnością zawodową (rozmowa przez zestaw słuchawkowy). Jednakże aby przedstawiona procedura była uniwersalna, w przypadku pomiaru hałasu generowanego przez zestaw słuchawkowy należy stosować metodę pomiaru z podziałem na czynności opisaną w normie PN-EN ISO 9612:2011. Polega ona na analizie pracy i podziale jej na pewną liczbę reprezentatywnych czynności, dla których przeprowadza się oddzielne pomiary.

Pomiary parametrów hałasu generowanego przez zestawy słuchawkowe należy wykonywać w następujących warunkach środowiskowych:

- temperatura $13 \div 33^{\circ}\text{C}$,
- ciśnienie statyczne $970 \div 1050 \text{ hPa}$,
- zakres wilgotności względnej $25 \div 90\%$.

W przypadku warunków środowiskowych, które nie odpowiadają przyjętym wymaganiom, należy informację o tych warunkach zamieścić w sprawozdaniu z badań.

6.2. Analiza organizacji pracy

Za każdym razem przed przystąpieniem do pomiarów wymagana jest analiza organizacji pracy, która powinna dostarczyć informacji do:

- opisu czynności zawodowych pracowników,
- wyboru dnia lub dni pracy, podczas których będą wykonywane pomiary hałasu,
- identyfikacji czynności wykonywanych na stanowiskach pracy.

Czas pracy na badanym stanowisku powinien być podzielony na czas trwania poszczególnych czynności rozróżnialnych ze względu na hałas. Trzeba uwzględnić wszystkie istotne udziały hałasu, a łączny czas trwania poszczególnych czynności powinien obejmować pełną zmianę roboczą.

Czas trwania poszczególnych czynności, T_m , należy wyznaczyć na podstawie:

- wywiadów z pracownikami i osobami nadzorującymi stanowiska pracy,
- obserwacji i pomiarów czasu trwania czynności podczas pomiarów.

Suma czasu trwania poszczególnych czynności, T_m , składa się na 8-godzinny dobowy wymiar czasu pracy.

6.3. Kalibracja w miejscu pomiaru

Przed każdą serią pomiarów należy przeprowadzić kalibrację w miejscu pomiaru wraz ze stosowną regulacją toru pomiarowego. Kalibracja ta obejmuje cały tor pomiarowy z mikrofonem lub mikrofonami miniaturowymi włącznie. Na koniec każdej serii pomiarów należy przeprowadzić sprawdzenie bez regulacji toru pomiarowego. Jeżeli odczyt przy częstotliwości kalibracji kalibratora akustycznego na końcu serii pomiarów różni się od odczytu przy tej częstotliwości na początku serii o więcej niż 0,5 dB, to wyniki tej serii pomiarów powinny zostać odrzucone.

6.4. Wykonanie pomiaru

Wielkościami mierzonymi powinny być:

- równoważny poziom dźwięku A, maksymalny poziom dźwięku A i szczytowy poziom dźwięku C,
- poziom ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych (opcjonalnie).

Uwzględniając zapisy odnoszące się do mocowania mikrofonu oraz zasad bezpieczeństwa przedstawione w PN-EN ISO 11904-1:2008, mikrofon miniaturowy należy umieścić w zewnętrznym przewodzie słuchowym ucha pracownika po tej stronie, która jest narażona na wyższe wartości poziomu ciśnienia akustycznego. W przypadku zestawów słuchawkowych wyposażonych w dwie słuchawki pomiary można przeprowadzać w obu uszach jednocześnie. Dzięki temu łatwiej można określić, które ucho jest narażone na wyższe wartości poziomu ciśnienia akustycznego. Szczególną uwagę należy zwrócić na to, aby podczas mocowania mikrofonu w przewodzie słuchowym oraz podczas przeprowadzania pomiaru uniknąć ryzyka uszkodzenia ucha.

W przypadku każdej wyznaczonej czynności należy wykonać co najmniej trzy pomiary równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C oraz w razie potrzeby trzy pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych.

W każdym odcinku czasu trwania danej czynności należy tak dobrać czas pomiaru, aby zostały uwzględnione czasowe zmiany poziomu ciśnienia akustycznego. Zaleca się, aby czas trwania poszczególnych pomiarów wynosił co najmniej 5 min. Jeżeli wyniki trzech pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A dotyczące danej czynności będą się różniły między sobą o 3 dB lub więcej, należy przeprowadzić dodatkowe trzy pomiary danej czynności lub powtórzyć pomiary z dłuższym czasem trwania każdego pomiaru.

W przypadku dużych, powyżej 3 dB, rozrzutów wartości maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C zaleca się przeprowadzenie dodatkowych trzech pomiarów w celu obniżenia wartości niepewności pomiaru.

Ostatecznie na podstawie przeprowadzonych pomiarów z użyciem odpowiednich korekcji należy wyznaczyć poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy $L_{EX,8h,FF}$ maksymalny poziom dźwięku A $L_{Amax,FF}$ i szczytowy poziom dźwięku C $L_{Cpeak,FF}$ odpowiadające warunkom pola swobodnego. Maksymalny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego $L_{Amax,FF}$ jest to wartość największa wyznaczona dla wszystkich uwzględnionych w pomiarach czynności. Szczytowy poziom dźwięku C odpowiadający warunkom pola swobodnego $L_{Cpeak,FF}$ jest to wartość największa wyznaczona dla wszystkich uwzględnionych w pomiarach czynności.

6.5. Korekcja wyniku pomiaru

Uzyskane z użyciem mikrofonu miniaturowego wartości równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C należy skorygować wg jednego z dwóch przedstawionych sposobów, tak aby uzyskać wartości równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C odpowiadające warunkom pola swobodnego:

- Korekcja jednolicebowa (pierwszy sposób uwzględnienia korekcji)

Zmierzoną wartość równoważnego poziomu dźwięku A należy skorygować zgodnie ze wzorem:

$$L_{Aeq,T,FF,m} = L_{Aeq,T,m} - 4, \text{ dB} \quad [4]$$

w którym:

- $L_{Aeq,T,FF,m}$ – równoważny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego dotyczący m -tej czynności,
 $L_{Aeq,T,m}$ – równoważny poziom dźwięku A zmierzony mikrofonem miniaturowym w przypadku m -tej czynności.

Zmierzoną wartość maksymalnego poziomu dźwięku A należy skorygować zgodnie ze wzorem:

$$L_{Amax,FF,m} = L_{Amax,m} - 4, \text{ dB} \quad [5]$$

w którym:

- $L_{Amax,FF,m}$ – maksymalny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego w przypadku m -tej czynności,
 $L_{Amax,m}$ – maksymalny poziom dźwięku A zmierzony mikrofonem miniaturowym w przypadku m -tej czynności.

Zmierzoną wartość szczytowego poziomu dźwięku C należy skorygować zgodnie ze wzorem:

$$L_{Cpeak,FF,m} = L_{Cpeak,m} - 5, \text{ dB} \quad [6]$$

w którym:

- $L_{Cpeak,FF,m}$ – szczytowy poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego w przypadku m -tej czynności,
 $L_{Cpeak,m}$ – szczytowy poziom dźwięku C zmierzony mikrofonem miniaturowym w przypadku m -tej czynności.

- b) Korekcja uwzględniająca charakterystykę częstotliwościową (drugi sposób uwzględnienia korekcji)

Zmierzoną z użyciem mikrofonu miniaturowego wartość równoważnego poziomu dźwięku A należy skorygować zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 11904-1:2008.

Zmierzoną z użyciem mikrofonu miniaturowego wartość maksymalnego poziomu dźwięku A należy skorygować zgodnie ze wzorem:

$$L_{Amax,FF,m} = L_{Amax,m} - \Delta L_{Aeq,m}, \text{ dB} \quad [7]$$

w którym:

- $L_{Amax,FF,m}$ – maksymalny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego dotyczący m -tej czynności,

$L_{Amax,m}$ – maksymalny poziom dźwięku A zmierzony mikrofonem miniaturowym w przypadku m -tej czynności,

$\Delta L_{Aeq,T,m}$ – korekcja wyznaczona zgodnie ze wzorem:

$$\Delta L_{Aeq,T,m} = L_{Aeq,T,m} - L_{Aeq,T,FF,m} \quad [8]$$

w którym:

- $L_{Aeq,T,m}$ – równoważny poziom dźwięku A zmierzony mikrofonem miniaturowym w przypadku m -tej czynności,
 $L_{Aeq,T,FF,m}$ – równoważny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego, wyznaczony wg normy PN-EN ISO 11904-1:2008, dotyczący m -tej czynności.

Zmierzoną z użyciem mikrofonu miniaturowego wartość szczytowego poziomu dźwięku C należy skorygować zgodnie ze wzorem:

$$L_{Cpeak,FF,m} = L_{Cpeak,m} - \Delta L_{Aeq,T,m} - 1, \text{ dB} \quad [9]$$

w którym:

- $L_{Cpeak,FF,m}$ – szczytowy poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego dotyczący m -tej czynności,
 $L_{Cpeak,m}$ – szczytowy poziom dźwięku C zmierzony mikrofonem miniaturowym w przypadku m -tej czynności,
 $\Delta L_{Aeq,T,m}$ – korekcja wyznaczona zgodnie ze wzorem [8].

- 6.6. Wyznaczenie poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy odpowiadającego warunkom pola swobodnego

Należy obliczyć poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy zgodnie ze wzorem:

$$L_{EX,8h,FF} = 10 \lg \left(\sum_{m=1}^M \frac{T_m}{T_0} 10^{0,1 L_{Aeq,T,FF,m}} \right), \text{ dB} \quad [10]$$

w którym:

- $L_{Aeq,T,FF,m}$ – równoważny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego dotyczący m -tej czynności, w dB,
 T_m – czas trwania m -tej czynności, w h,
 T_0 – czas odniesienia, $T_0 = 8$ h,

- m – numer czynności,
 M – liczba czynności mających udział w ekspozycji na hałas.

7. Ocena niepewności pomiarów

7.1. Postanowienia ogólne

Zgodnie z PKN-ISO/IEC Guide 98-3:2021-05 przy ocenie niepewności należy wziąć pod uwagę wszystkie składniki niepewności, które są istotne w danej sytuacji, z wykorzystaniem odpowiednich metod analizy. Ponieważ do oceny ryzyka przyjmuje się wartości wyników pomiarów bez uwzględnienia niepewności tych pomiarów, wartości niepewności służą jedynie określeniu jakości wykonania pomiarów.

7.2. Niepewność wyznaczania poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy odpowiadającego warunkom pola swobodnego

Biorąc pod uwagę to, że wielkości wejściowe budżetu niepewności nie są skorelowane, złożoną niepewność standardową wyznaczania poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy odpowiadającego warunkom pola swobodnego $u(L_{EX,8h,FF})$, oblicza się na podstawie wartości liczbowych poszczególnych udziałów niepewności na podstawie wzoru:

$$u(L_{EX,8h,FF}) = \sqrt{\sum_{m=1}^M c_{1a,m}^2 (u_{LAeq,m}^2 + u_{1LAeq}^2 + u_{2LAeq}^2 + u_{3xLAeq}^2 + u_{4,m}^2)}, \text{ dB} \quad [11]$$

w którym:

- $c_{1a,m}$ – współczynnik wrażliwości dotyczący m -tej czynności,
 $u_{LAeq,m}$ – niepewność związana z rozrzutem wartości próbek w przypadku m -tej czynności, w dB,
 u_{1LAeq} – niepewność standardowa związana z położeniem mikrofonu miniaturowego w zewnętrznym przewodzie słuchowym, w dB,
 u_{2LAeq} – niepewność standardowa związana z rozrzutem międzyosobniczym, w dB,
 u_{3xLAeq} – niepewność standardowa związana z zastosowaniem x -tego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru, w dB,
 $u_{4,m}$ – niepewność standardowa związana z aparaturą pomiarową dotycząca m -tej czynności, w dB,
 m – numer czynności,

- M – liczba czynności mających udział wekspozycji na hałas ultradźwiękowy.

Współczynniki wrażliwości określają, w jakim stopniu dany przedział narażenia wpływa na wyznaczaną wartość $L_{EX,8h}$. Współczynnik wrażliwości $c_{1a,m}$ można obliczyć w następujący sposób:

$$c_{1a,m}^2 = \frac{T_m}{T_0} 10^{0,1(L_{Aeq,T,FF,m} - L_{EX,8h,FF})} \quad [12]$$

gdzie:

- $L_{Aeq,T,FF,m}$ – równoważny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego, dotyczący m -tej czynności, w dB,
 $L_{EX,8h,FF}$ – poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy odpowiadający warunkom pola swobodnego,
 T_m – czas trwania m -tej czynności,
 T_0 – czas odniesienia, $T_0 = 8$ h.

Niepewność standardową związaną z rozrzutem wartości próbek $u_{LAeq,m}$ dotyczącą danej czynności wyznacza się na podstawie wzoru:

$$u_{LAeq,m} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{Aeq,T,FF,m,i} - \overline{L_{Aeq,T,FF,m}})^2 \right]}, \text{ dB} \quad [13]$$

w którym:

- $L_{Aeq,T,FF,m,i}$ – równoważny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego w przypadku i -tego pomiaru dotyczącego m -tej czynności, w dB,
 I – liczba pomiarów dotycząca m -tej czynności,
 $\overline{L_{Aeq,T,FF,m}}$ – średnia arytmetyczna równoważnego poziomu dźwięku A odpowiadającego warunkom pola swobodnego w przypadku m -tej czynności.

Niepewność standardową związaną z położeniem mikrofonu miniaturowego u_{1LAeq} , niepewność standardową związaną z rozrzutem międzyosobniczym u_{2LAeq} , niepewność standardową związaną z zastosowaniem pierwszego sposobu uwzględnienia korekcji u_{31LAeq} oraz niepewność standardową związaną z zastosowaniem drugiego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru u_{32LAeq} wyznaczono empirycznie. Wartości tych niepewności podano w tabeli 1.

Zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 9612:2011 niepewność standardowa $u_{4,m}$ związana z wyposażeniem pomiarowym zależy od klasy zastosowanego przyrządu i wynosi 0,7 dB w przypadku miernika poziomu dźwięku zgodnego z wymaganiami normy PN-EN 61672-1:2014-03 klasa 1 i 1,5 dB w przypadku miernika poziomu dźwięku zgodnego z wymaganiami normy PN-EN 61672-1:2014-03 klasa 2. Uznano, że przedstawione powyżej wartości mają również zastosowanie w budźcie niepewności w przypadku $L_{EX,8h,FF}$.

Ostatecznie niepewność rozszerzoną poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy odpowiadającego warunkom pola swobodnego $U(L_{EX,8h})$ oblicza się w następujący sposób:

$$U(L_{EX,8h,FF}) = 1,65u(L_{EX,8h,FF}), \text{ dB} \quad [14]$$

gdzie:

$u(L_{EX,8h,FF})$ – złożona niepewność standardowa wyznaczania $L_{EX,8h,FF}$ w dB.

7.3. Niepewność wyznaczania maksymalnego poziomu dźwięku A odpowiadającego warunkom pola swobodnego

W celu wyznaczenia niepewności maksymalnego poziomu dźwięku A odpowiadającego warunkom pola swobodnego można posłużyć się metodą granic tolerancji (PN-Z-01339:2020-12). Podobnie jak w przypadku wyznaczania niepewności dla $L_{EX,8h,FF}$ przyjmuje się 95-procentowy przedział ufności. Górną granicę tolerancji $L_{Amax,FF(0,95)}$ należy obliczyć na podstawie wzoru:

$$L_{Amax,FF(0,95)} = \overline{L_{Amax,FF}} + k_1 u_{LAmax}, \text{ dB} \quad [15]$$

w którym:

- $\overline{L_{Amax,FF}}$ – średnia arytmetyczna wartości maksymalnego poziomu dźwięku A odpowiadającego warunkom pola swobodnego, w dB,
- u_{LAmax} – niepewność standardowa związana z rozrzutem wartości próbek, w dB,
- k_1 – współczynnik rozszerzenia dotyczący niecentralnego rozkładu t -Studenta.

Niepewność maksymalnego poziomu dźwięku A wyznacza się w przypadku czynności, w której wystąpiły największe z zarejestrowanych wartości.

Współczynnik k_1 można wyznaczyć metodą przybliżoną omówioną poniżej. Pierwszym krokiem jest wyznaczenie niepewności u_{LAmax} związanej z rozrzutem wartości próbek:

$$u_{LAmax} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{Amax,FF,i} - \overline{L_{Amax,FF}})^2 \right]}, \text{ dB} \quad [16]$$

gdzie:

- $L_{Amax,FF,i}$ – maksymalny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego dotyczący i -tego pomiaru (próbki), w dB,
- I – liczba pomiarów,
- $\overline{L_{Amax,FF}}$ – średnia arytmetyczna wartości maksymalnego poziomu dźwięku A odpowiadającego warunkom pola swobodnego, w dB.

Następnie należy wyznaczyć parametr niecentralności rozkładu, δ_f :

Tabela 1. Niepewność standardowa związana z położeniem mikrofonu miniaturowego u_{1LAeq} , niepewność standardowa związana z rozrzutem międzyosobniczym u_{2LAeq} , niepewność standardowa związana z zastosowaniem pierwszego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru u_{31LAeq} oraz niepewność standardowa związana z zastosowaniem drugiego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru u_{32LAeq}

Table 1. The standard uncertainty associated with the position of the miniature microphone u_{1LAeq} , the standard uncertainty associated with the interpersonal spread u_{2LAeq} , the standard uncertainty associated with the use of the first correction method into the measurement result u_{31LAeq} and the standard uncertainty associated with the use of the second correction method into the measurement result u_{32LAeq}

Rodzaj niepewności	u_{1LAeq}	u_{2LAeq}	u_{31LAeq}	u_{32LAeq}
Niepewność standardowa, dB	0,5	0,7	0,5	0,1

$$\delta_{fi} = \sqrt{I \frac{L_{Amax,FF} - \overline{L_{Amax,FF}}}{u_{LAmax}}}, \text{ dB} \quad [17]$$

gdzie:

- I – liczba pomiarów,
- $L_{Amax,FF}$ – maksymalny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego, w dB,
- $\overline{L_{Amax,FF}}$ – średnia arytmetyczna wartości maksymalnego poziomu dźwięku A odpowiadającego warunkom pola swobodnego, w dB,
- u_{LAmax} – niepewność standardowa związana z rozrzutem wartości próbek, w dB.

Wartość współczynnika rozszerzenia k_1 w zależności od liczby pomiarów I odczytuje się z wykresu przedstawionego na rycinie 1.

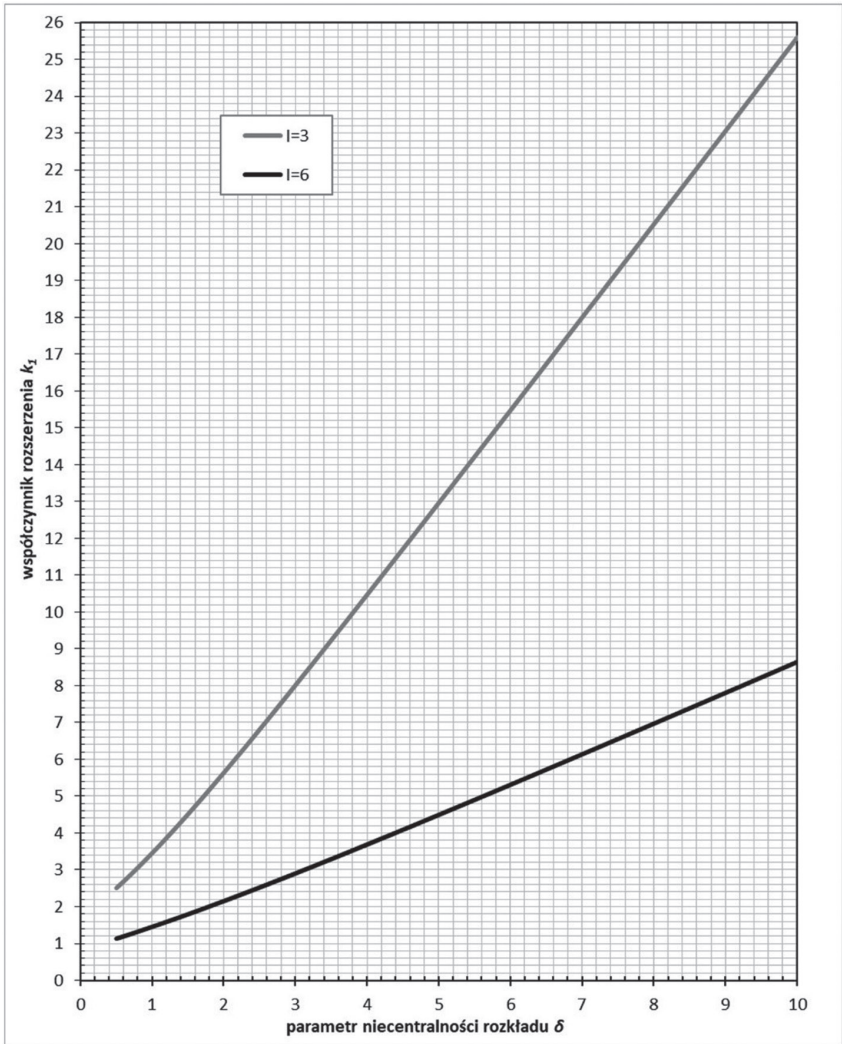
Po podstawieniu k_1 i u_{LAmax} do wzoru [15] można wyznaczyć górną granicę tolerancji $L_{Amax,FF(0,95)}$. Następnie można wyznaczyć niepewność rozszerzoną typu A maksymalnego poziomu dźwięku A $U_A(L_{Amax,FF})$ w następujący sposób:

$$U_A(L_{Amax,FF}) = L_{Amax,FF(0,95)} - L_{Amax,FF}, \text{ dB} \quad [18]$$

przy czym:

- $L_{Amax,FF(0,95)}$ – górna granica tolerancji dotycząca $L_{Amax,FF}$ przy przyjęciu 95-procentowego przedziału ufności, w dB,
- $L_{Amax,FF}$ – maksymalny poziom dźwięku A odpowiadający warunkom pola swobodnego, w dB.

Niepewność rozszerzoną typu B maksymalnego poziomu dźwięku A odpowiadającego warunkom



Rycina 1. Współczynnik rozszerzenia k_1 w zależności od parametru δ oraz liczby pomiarów (PN-Z-01339:2020-12)
Figure 1. Expansion coefficient k_1 depending on the parameter δ and the number of measurements (PN-Z-01339:2020-12)

poła swobodnego $U_B(L_{Amax,FF})$ należy wyznaczyć z równania:

$$u_B(L_{Amax,FF}) =$$
$$= 1,65 \sqrt{u_{1LAmax}^2 + u_{2LAmax}^2 + u_{3xLAmax}^2 + u_4^2}, \text{ dB}$$

[19]

w którym:

- u_{1LAmax}

–

niepewność standardowa związana z różnym sposobem umieszczenia mikrofonu miniaturowego w zewnętrznym przewodzie słuchowym, w dB,
- u_{2LAmax}

–

niepewność standardowa związana z rozrzutem międzysobniczym, w dB,
- $u_{3xLAmax}$

–

niepewność standardowa związana z zastosowaniem x -tego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru, w dB,
- u_4

–

niepewność standardowa związana z rodzajem wyposażenia pomiarowego, w dB.

Ostatecznie niepewność rozszerzoną maksymalnego poziomu dźwięku A odpowiadającego warunkom pola swobodnego $U(L_{Amax,FF})$ wyznacza się w następujący sposób:

$$U(L_{Amax,FF}) =$$
$$= \sqrt{U_A^2(L_{Amax,FF}) + U_B^2(L_{Amax,FF})}, \text{ dB}$$

[20]

gdzie:

- $U_A(L_{Amax,FF})$

–

niepewność rozszerzona typu A (wyznaczana na podstawie analizy statystycznej) maksymalnego poziomu dźwięku A odpowiadającego warunkom pola swobodnego, w dB,
- $U_B(L_{Amax,FF})$

–

niepewność rozszerzona typu B (związana z błędami systema-

tycznymi) maksymalnego poziomu dźwięku A odpowiadającego warunkom pola swobodnego, w dB.

Niepewność standardową związaną z położeniem mikrofonu miniaturowego u_{1LAmax} , niepewność standardową związaną z rozrzutem międzysobniczym u_{2LAmax} , niepewność standardową związaną z zastosowaniem pierwszego sposobu uwzględnienia korekcji $u_{31LAmax}$ oraz niepewność standardową związaną z zastosowaniem drugiego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru $u_{32LAmax}$ wyznaczono empirycznie. Wartości tych niepewności podano w tabeli 2.

Niepewność standardowa związana z aparaturą pomiarową w przypadku pomiaru maksymalnego poziomu dźwięku A w odróżnieniu od równoważnego poziomu dźwięku A nie została określona w żadnych dokumentach. Jednakże na potrzeby niniejszej procedury przyjęto, że tak samo jak w przypadku $L_{EX,8h,FF}$ niepewność standardowa związana z aparaturą pomiarową dotycząca $L_{Amax,FF}$ wynosi 0,7 dB w przypadku miernika poziomu dźwięku zgodnego z wymaganiami normy PN-EN 61672-1:2014-03 klasa 1 i 1,5 dB w przypadku miernika poziomu dźwięku zgodnego z wymaganiami normy PN-EN 61672-1:2014-03 klasa 2.

U w a g a
W normie PN-EN ISO 9612:2011 jest przedstawione, że podane wartości niepewności związanej z aparaturą pomiarową są ważne tylko w przypadku równoważnego poziomu dźwięku A, jednakże ze względu na brak danych dotyczących niepewności związanej z aparaturą pomiarową w przypadku maksymalnego poziomu dźwięku A uznano, że w procedurze zostaną zastosowane wartości niepewności ustalone odnośnie do równoważnego poziomu dźwięku A.

Tabela 2. Niepewność standardowa związana z położeniem mikrofonu miniaturowego u_{1LAmax} , niepewność standardowa związana z rozrzutem międzysobniczym u_{2LAmax} , niepewność standardowa związana z zastosowaniem pierwszego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru $u_{31LAmax}$ oraz niepewność standardowa związana z zastosowaniem drugiego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru $u_{32LAmax}$

Table 2. The standard uncertainty associated with the position of the miniature microphone u_{1LAmax} , the standard uncertainty associated with the interpersonal spread u_{2LAmax} , the standard uncertainty associated with the use of the first correction method into the measurement result $u_{31LAmax}$, and the standard uncertainty associated with the use of the second correction method into the measurement result $u_{32LAmax}$

Rodzaj niepewności	u_{1LAmax}	u_{2LAmax}	$u_{31LAmax}$	$u_{32LAmax}$
Niepewność standardowa, dB	0,5	0,8	0,6	0,1

7.4. Niepewność wyznaczania szczytowego poziomu dźwięku C odpowiadającego warunkom pola swobodnego

W celu wyznaczenia niepewności szczytowego poziomu dźwięku C odpowiadającego warunkom pola swobodnego tak samo jak w przypadku $L_{Amax,FF}$ można posłużyć się metodą granic tolerancji (PN-Z-01339:2020-12). Analogicznie jak w przypadku dwóch poprzednio omawianych parametrów, tj. $L_{EX,8h,FF}$ i $L_{Amax,FF}$ przyjmuje się 95-procentowy przedział ufności. Górną granicę tolerancji $L_{Cpeak,FF(0,95)}$ należy obliczyć na podstawie wzoru:

$$L_{Cpeak,FF(0,95)} = \overline{L_{Cpeak,FF}} + k_1 u_{LCpeak}, \text{ dB} \quad [21]$$

w którym:

- $\overline{L_{Amax,FF}}$ – średnia arytmetyczna wartość szczytowego poziomu dźwięku C odpowiadającego warunkom pola swobodnego, w dB,
- u_{LCpeak} – niepewność standardowa związana z rozrzutem wartości próbek, w dB,
- k_1 – współczynnik rozszerzenia dotyczący niecentralnego rozkładu t -Studenta.

Niepewność szczytowego poziomu dźwięku C wyznacza się w przypadku czynności, w której wystąpiły największe z zarejestrowanych wartości.

Współczynnik k_1 można wyznaczyć metodą przybliżoną omówioną poniżej. Pierwszym krokiem jest wyznaczanie niepewności u_{LCpeak} związanej z rozrzutem wartości próbek:

$$u_{LCpeak} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{Cpeak,FF,i} - \overline{L_{Cpeak,FF}})^2 \right]}, \text{ dB} \quad [22]$$

gdzie:

- $L_{Cpeak,FF,i}$ – szczytowy poziom dźwięku C odpowiadający warunkom pola swobodnego dotyczący i -tego pomiaru (próbki), w dB,
- I – liczba pomiarów,
- $\overline{L_{Amax,FF}}$ – średnia arytmetyczna wartości szczytowego poziomu dźwięku C odpowiadającego warunkom pola swobodnego, w dB.

Następnie należy wyznaczyć parametr niecentralności rozkładu, δ_{fi} :

$$\delta_{fi} = \sqrt{I \frac{L_{Cpeak,FF} - \overline{L_{Cpeak,FF}}}{u_{LCpeak}}}, \text{ dB} \quad [23]$$

gdzie:

- I – liczba pomiarów,
- $L_{Cpeak,FF}$ – szczytowy poziom dźwięku C odpowiadający warunkom pola swobodnego, w dB,
- $\overline{L_{Amax,FF}}$ – średnia arytmetyczna wartości szczytowego poziomu dźwięku C odpowiadającego warunkom pola swobodnego, w dB,
- u_{LCpeak} – niepewność standardowa związana z rozrzutem wartości próbek, w dB.

Wartość współczynnika rozszerzenia k_1 w zależności od liczby pomiarów I jest odczytywana z wykresu przedstawionego na rycinie 1.

Po podstawieniu k_1 i u_{LCpeak} do wzoru [21] można wyznaczyć górną granicę tolerancji $L_{Cpeak,FF}$. Po wyznaczeniu tej wartości można wyznaczyć niepewność rozszerzoną typu A szczytowego poziomu dźwięku C $U_A(L_{Cpeak,FF})$ w następujący sposób:

$$U_A(L_{Cpeak,FF}) = L_{Cpeak,FF(0,95)} - L_{Cpeak,FF}, \text{ dB} \quad [24]$$

przy czym:

- $L_{Cpeak,FF(0,95)}$ – górna granica tolerancji w przypadku L_{Cpeak} przy przyjęciu 95-procentowego przedziału ufności, w dB,
- $L_{Cpeak,FF}$ – szczytowy poziom dźwięku C odpowiadający warunkom pola swobodnego, w dB.

Niepewność rozszerzoną typu B szczytowego poziomu dźwięku C odpowiadającego warunkom pola swobodnego $U_B(L_{Amax,FF})$ należy wyznaczyć z równania:

$$U_B(L_{Cpeak,FF}) = 1,65 \sqrt{u_{1LCpeak}^2 + u_{2LCpeak}^2 + u_{3xLCpeak}^2 + u_4^2}, \text{ dB} \quad [25]$$

w którym:

- $u_{1LCpeak}$ – niepewność standardowa związana z różnym sposobem umieszczania mikrofonu miniaturowego w zewnętrznym przewodzie słuchowym, w dB,
- $u_{2LCpeak}$ – niepewność standardowa związana z rozrzutem międzypersonalnym, w dB,

- $u_{3xLCpeak}$ – niepewność standardowa związana z zastosowaniem x -tego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru, w dB,
- u_4 – niepewność standardowa związana z rodzajem wyposażenia pomiarowego, w dB.

Ostatecznie niepewność rozszerzoną szczytowego poziomu dźwięku C odpowiadającego warunkom pola swobodnego $U(L_{Cpeak,FF})$ wyznacza się w następujący sposób:

$$U(L_{Cpeak,FF}) = \sqrt{U_A^2(L_{Cpeak,FF}) + U_B^2(L_{Cpeak,FF})}, \text{ dB} \quad [26]$$

gdzie:

- $U_A(L_{Cpeak,FF})$ – niepewność rozszerzona typu A (wyznaczana na podstawie analizy statystycznej) szczytowego poziomu dźwięku C odpowiadającego warunkom pola swobodnego, w dB,
- $U_B(L_{Cpeak,FF})$ – niepewność rozszerzona typu B (związana z błędami systematycznymi) szczytowego poziomu dźwięku C odpowiadającego warunkom pola swobodnego, w dB.

Niepewność standardową związaną z położeniem mikrofonu miniaturowego $u_{1LCpeak}$, niepewność standardową związaną z rozrzutem międzyosobniczym $u_{2LCpeak}$, niepewność standardową związaną z zastosowaniem pierwszego sposobu uwzględnienia korekcji $u_{31LCpeak}$ oraz niepewność standardową związaną z zastosowaniem drugiego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru $u_{32LCpeak}$ wyznaczono empirycznie. Wartości tych niepewności podano w tabeli 3.

Niepewność standardowa związana z aparaturą pomiarową w przypadku pomiaru szczytowego poziomu dźwięku C tak jak w przypadku maksymalnego poziomu dźwięku A nie została określona w żadnych dokumentach. Na potrzeby niniejszej procedury przyjęto, że tak samo jak w przypadku $L_{EX,8h,FF}$ niepewność standardowa związana z aparaturą pomiarową dotyczącą $L_{Cpeak,FF}$ wynosi 0,7 dB w przypadku miernika poziomu dźwięku zgodnego z wymaganiami normy PN-EN 61672-1:2014-03 klasa 1 i 1,5 dB w przypadku miernika poziomu dźwięku zgodnego z wymaganiami normy PN-EN 61672-1:2014-03 klasa 2.

U w a g a

W normie PN-EN ISO 9612:2011 jest przedstawione, że podane wartości niepewności związane z aparaturą pomiarową są ważne tylko w przypadku równoważnego poziomu dźwięku A, jednakże ze względu na brak danych dotyczących niepewności związanej z aparaturą pomiarową w przypadku szczytowego poziomu dźwięku C uznano, że w procedurze zostaną zastosowane wartości niepewności ustalone odnośnie do równoważnego poziomu dźwięku A.

8. Sprawozdanie z pomiarów hałasu

Sprawozdanie z pomiarów hałasu wykonanych zgodnie z opracowaną procedurą powinno zawierać co najmniej następujące informacje:

- ogólne informacje: nazwę jednostki zlecającej pomiary, nazwę jednostki przeprowadzającej pomiary, identyfikację stanowisk pracy,
- analizę warunków pracy: opis stanowisk pracy wraz z wykonywanymi na nich czynnościami, opis źródeł hałasu,
- wykaz aparatury pomiarowej: konfiguracja układu pomiarowego (np. rodzaj i typ

Tabela 3. Niepewność standardowa związana z położeniem mikrofonu miniaturowego $u_{1LCpeak}$, niepewność standardowa związana z rozrzutem międzyosobniczym $u_{2LCpeak}$, niepewność standardowa związana z zastosowaniem pierwszego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru $u_{31LCpeak}$ oraz niepewność standardowa związana z zastosowaniem drugiego sposobu uwzględnienia korekcji w wynikach pomiaru $u_{32LCpeak}$

Table 3. The standard uncertainty associated with the position of the miniature microphone $u_{1LCpeak}$, the standard uncertainty associated with the interpersonal spread $u_{2LCpeak}$, the standard uncertainty associated with the use of the first correction method into the measurement result $u_{31LCpeak}$, and the standard uncertainty associated with the use of the second correction method into the measurement result $u_{32LCpeak}$

Rodzaj niepewności	$u_{1LCpeak}$	$u_{2LCpeak}$	$u_{31LCpeak}$	$u_{32LCpeak}$
Niepewność standardowa, dB	0,5	0,8	0,6	0,3

- miernika, rodzaj i typ mikrofonów miniaturowych), dane o wzorcowaniu, wyniki kalibracji, rodzaj zastosowanej korekcji,
- warunki pomiarowe: datę i godzinę wykonania pomiarów, czas pomiaru, liczbę próbek, czas wykonywanych przez pracownika czynności, wpływ zakłóceń,
 - wyniki pomiarów i podsumowanie: wyniki pomiarów $L_{Aeq,T,m}$, $L_{Amax,m}$ i $L_{Cpeak,m}$ w przypadku każdej czynności i stanowiska, wyznaczone skorygowane wartości $L_{EX,8h,FF}$, $L_{Amax,FF}$ i $L_{Cpeak,FF}$ rozszerzoną niepewność pomiarową $U(L_{EX,8h,FF})$, $U(L_{Amax,FF})$ i $U(L_{Cpeak,FF})$.