

Doskonalenie badań hałasu w środowisku pracy – metoda pomiaru pojedynczych zdarzeń akustycznych oraz metoda dostosowania danych wejściowych¹

Improving noise measurements in the work environment: a method of measuring single acoustic events and a method of conditioning input data

inż. DARIUSZ FUGIEL

<https://orcid.org/0000-0001-7357-9277>

e-mail: dafugiel@tlen.pl

Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Rzeszowie,

Laboratorium Hałasu i Wibracji

Voivodship Sanitary and Epidemiological Station in Rzeszów

Streszczenie

Pomiary hałasu przeprowadzone według 1. strategii pomiarowej (pomiar z podziałem na czynności), zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9612:2011 „Akustyka. Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas. Metoda techniczna”, nie zawsze prowadzą do uzyskania wiarygodnych wyników pomiarów. Ma to miejsce w sytuacjach, w których mierzony hałas charakteryzuje się znaczną zmiennością wynikającą ze zróżnicowanej intensywności pracy lub zmian czasów trwania poszczególnych cykli technologicznych. To samo dotyczy krótkotrwałych zdarzeń akustycznych charakteryzujących się wysokimi poziomami dźwięku oraz różnego rodzaju przerw w realizowanych przez pracownika czynnościach. Przyczyny te oraz przyjęte w 1. strategii pomiarowej – uproszczenia matematyczne – bywają często źródłem istotnych błędów. Dla wymienionych sytuacji, w celu poprawy dokładności oraz zmniejszenia czasochłonności pomiarów hałasu w środowisku pracy, zaproponowano następujące metody:

1) Metodę pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych (używaną w badaniach środowiska zewnętrznego w zakresie pomiarów hałasów komunikacyjnych) – którą zaadoptowano do środowiska pracy przez wyprowadzenie stosowanych w niej wzorów matematycznych (1. strategia pomiarowa), podanie zasad wykonywania pomiarów oraz wyprowadzenie wzorów do szacowania ich niepewności.

2) Metodę dostosowania danych wejściowych – która po odpowiednim przekształceniu danych wejściowych pozwala w sposób ścisły na wykonanie obliczeń wyników końcowych (oraz ich niepewności) za pomocą wzorów matematycznych, podanych w 1. strategii pomiarowej.

Proponowane metody pozwalają wyznaczyć wszystkie te wartości i dane akustyczne, które są otrzymywane w wyniku stosowania 1. strategii pomiarowej. Wymienione metody nadają się również do jednoczesnego stosowania w trakcie badań tego samego stanowiska pracy – co uwzględniono w przedstawionym modelu pomiaru.

Zakres tematyczny artykułu obejmuje zagadnienia zdrowia oraz bezpieczeństwa i higieny środowiska pracy będące przedmiotem badań z zakresu nauk o zdrowiu oraz inżynierii środowiska.

Słowa kluczowe: hałas, środowisko pracy, pomiary, wybór strategii pomiarowej, pomiary z podziałem na czynności, nauki o zdrowiu, inżynieria środowiska.

¹ Publikacja opracowana na podstawie wyników badań Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Rzeszowie – Oddział Laboratoryjny w Tarnobrzegu – Laboratorium Hałasu i Wibracji.

Abstract

Strategy 1 (task-based measurements), described in Standard No. PN-EN ISO 9612: 2011 „Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Engineering method „ does not always bring fully reliable results of noise measurements. This happens in conditions where the measured noise varies significantly because of changes in the intensity of work or changes in the duration of individual technological cycles. The same applies to short-term acoustic events characterized by high sound levels and various types of interruptions in activities performed by a worker. These reasons, as well as mathematical simplifications adopted in Strategy 1, often cause significant errors. For such situations, in order to improve accuracy and to reduce the duration of measurements, the following methods have been proposed for measuring noise in the work environment:

1) A method of measuring individual acoustic events (used in measuring traffic noise) adapted to the work environment by deriving mathematical formulas applied in it directly from Strategy 1, providing rules of measuring and deriving formulas for estimating their uncertainty.

2) A method of conditioning input data, which, after appropriate adjustment of input data, makes it possible to calculate final results (and their uncertainties) accurately, with mathematical formulas in Strategy 1.

The proposed methods make it possible to determine all the values and acoustic data obtained as a result of using Strategy 1. They can also be applied simultaneously at the same workstation, which is included in the presented measurement model.

This article discusses the problems of occupational safety and health, which are covered by health sciences and environmental engineering.

Keywords: noise, work environment, measurements, selection of measurements strategies, task-based measurement, health sciences, environmental engineering.

WPROWADZENIE

Hałas należy do najbardziej rozpowszechnionych i niebezpiecznych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Wpływa istotnie na zdrowie i komfort zatrudnionych osób oraz na jakość i wydajność wykonywanych przez nich czynności w pracy. Związana z tym konieczność systematycznych badań hałasu została zapisana w odpowiednich przepisach (Rozporządzenie Ministra Zdrowia... 2011; Rozporządzenie Ministra Rodziny... 2018). Wyniki pomiarów kontrolnych są często podstawą do wszczęcia (lub zaniechania) kosztownych przedsięwzięć mających na celu ograniczenie oddziaływania nadmiernego hałasu (Rozporządzenie Ministra Gospodarki... 2005). Wyniki tych pomiarów są również podstawą do uznania wystąpienia u badanego choroby zawodowej (Rozporządzenie Ministra Zdrowia... 2002). Dlatego też (z punktu widzenia ekonomii i bezpieczeństwa pracy) dokładność i reprezentatywność badań hałasu należą do zagadnień kluczowych.

Wymagania dotyczące przeprowadzania pomiarów hałasu w środowisku pracy precyzuje norma PN-EN ISO 9612:2011 oraz (bardzo ogólnie) norma PN-N-01307:1994 „Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące przeprowadzania pomiarów”.

Norma PN-EN ISO 9612:2011 przedstawia trzy różne strategie pomiarowe oraz wytyczne dotyczące ich wyboru w zależności od różnych modeli pracy (tab. B.7. w normie PN-EN ISO 9612:2011). Teoretycznie, dla każdego z możliwych przypadków pomiarowych (tzn. dla konkretnego stanowiska pracy), można wybrać tę strategię, która jest najwłaściwsza. Możliwe jest to jednak tylko wtedy, jeśli:

- laboratorium ma akredytację na każdą z trzech wyżej wymienionych metod (Polskie Centrum Akredytacji tego nie wymaga – wystarczy bowiem akredytować jedną strategię pomiarową, rezygnując z opanowania i stosowania pozostałych wymienionych w normie metod),
- laboratorium ma praktyczną, nieskrępowaną przeszkodami i ekonomią, możliwość wyboru najdokładniejszej metody.

Wobec powyższego, chociaż norma PN-EN ISO 9612:2011 jest merytorycznie wyczerpująca i kompleksowa, to praktycznie jej stosowanie napotyka na istotne przeszkody. Mianowicie: dwie stosunkowo najdokładniejsze metody (2. strategia pomiarowa i 3. strategia pomiarowa) są bardzo pracochłonne i czasochłonne. Z powodów czysto praktycznych (ze

względu na efektywność i ergonomię pracy wykonawców pomiarów) wymagają dostatecznie licznej i specyficznej aparatury (indywidualnych mierników ekspozycji na hałas), a ponadto konieczny jest specjalny nadzór nad pomiarami i analizą ich wyników w laboratorium. Zwykle okazuje się celowe, aby na badanym stanowisku wykonywało czynności przynajmniej kilku pracowników, jak również kilka osób wykonywało jednocześnie pomiary.

Opisane powyżej strategie pozwalają w ciągu całego dnia (lub dłużej) na zbadanie jednego stanowiska pracy, podczas gdy 1. strategia pomiarowa (stosunkowo mniej dokładna metoda) umożliwi jednej osobie, w prosty sposób, za pomocą jednego miernika, w ciągu jednego dnia, pomierzyć hałas na kilku – kilkunastu stanowiskach pracy.

Z wymienionych powodów oraz celem zachowania konkurencyjnej oferty, ponad 95% laboratoriów, akredytuje i stosuje wyłącznie prostą i wydajną 1. strategię pomiarową, tj. pomiary z podziałem na czynności. Z tych samych powodów, pomimo braku przeszkód formalnych, pozostałe kilka procent laboratoriów prawie wyłącznie wykorzystuje tę właśnie metodę. Oznacza to, że praktycznie 1. strategia pomiarowa jest stosowana również wtedy, gdy norma jej nie zaleca, natomiast uzyskane za jej pomocą wyniki są znacznie mniej wiarygodne niż wyniki otrzymane za pomocą innych strategii pomiarowych.

Niezależnie od niedokładności powodowanych stosowaniem 1. strategii pomiarowej w każdym niemalże przypadku pomiarowym wymieniona metoda posiada pewne ograniczenia. Źródłem niepewności wynikających ze ścisłego stosowania normy może być to, że podany w normie wzór na obliczenie równoważnego poziomu dźwięku A z wyników pomiarów poszczególnych próbek hałasu daje wyniki zgodne z zależnością ogólną (tj. nadającą się do stosowania w każdym przypadku pomiarowym) tylko wtedy, gdy czasy pomiaru tych próbek są jednakowe, czego norma wprost nie wymaga. W przekonaniu autora najpoważniejszą przyczyną niedokładności jest jednak nadużywanie przez wykonawców pomiarów postanowienia normy dopuszczającego przyjmowanie bezpośrednio z wywiadu (jako gotowych danych) wartości czasów trwania czynności związanych z narażeniem na hałas. Ze względu na wygodę i oszczędność czasu, to bardzo przydatne w szeregu trudnych przypadków rozwiązanie jest w praktyce laboratoryjnej stosowane najczęściej jako praktycznie jedyna metoda. Powoduje to nadmierne uproszczenie analizy pracy i istotne błędy w ocenie czasów ekspozycji (a tym samym w wyznaczeniu dziennych

poziomów ekspozycji na hałas). Tymczasem, w bardzo dużej liczbie przypadków pomiarowych, za pomocą prostego przeliczenia danych pozyskanych z podstawowej analizy pracy można wymienione błędy znacznie ograniczyć. Nadające się do tego celu sposoby, jak i metody służące do weryfikacji wyników badań i danych wejściowych zostały przedstawione w materiałach szkoleniowych dotyczących praktycznych aspektów badań hałasu w środowisku pracy (Fugiel 2014) oraz w procedurze pomiaru hałasu (Radosz 2015) – czego nie można uznać za zupełnie wyczerpujące. Metody pomiarów hałasu nieprzedstawione w normie PN-EN ISO 9612:2011 zaprezentowano natomiast w referacie na XXXIII Sympozjum POLLAB (Fugiel 2017). Poza nimi brak jest literatury, w której prezentowane są alternatywne metody pomiarów hałasu w środowisku pracy, równoważne dla przedstawionych w normie strategii pomiarowych. Istniejące w przedmiotowej dziedzinie najnowsze publikacje ograniczają się zwykle do szczegółowego przedstawienia i omówienia normy (Pawlaczyk-Łuszczńska 2010).

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie propozycji nowych (tzn. niestosowanych dotychczas w dziedzinie badań środowiska pracy) metod pomiarów hałasu na stanowiskach pracy, wskazanie potrzeby i możliwości ich wykorzystania oraz zaprezentowanie przykładów ich zastosowań. Opisane w artykule metody badań zawierają: wyprowadzenie stosowanych w nich zależności matematycznych, wymagania związane z przeprowadzaniem pomiarów oraz metody szacowania niepewności. Omówiono również przykłady wykonywania obliczeń, prezentacji wyników badań oraz porównania wyników pomiarów przeprowadzonych różnymi metodami. W artykule podano także model pomiaru, wykorzystujący łącznie 1. strategię pomiarową (PN-EN ISO 9612:2011) oraz metody proponowane – wraz z przykładem ich jednoczesnego zastosowania w badaniu tego samego stanowiska pracy. Należy zwrócić uwagę na to, że punktem wyjścia w niniejszej analizie oraz podstawą do dokonywania porównań jest metoda pomiarów z podziałem na czynności, wobec czego i tę strategię szczegółowo opisano.

Przedstawione w artykule wnioski i propozycje zostały opracowane na podstawie doświadczeń uzyskanych z działalności pomiarowej Laboratorium Hałasu i Wibracji Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Rzeszowie (Oddział Laboratoryjny w Tarnobrzegu) oraz w toku realizacji wymaganych systemem zarządzania działań doskonalących.

Polegało to m.in. na:

- adoptowaniu do potrzeb pomiarów w środowisku pracy metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska ... 2011), tj. metody akredytowanej i stosowanej w pomiarach hałasów komunikacyjnych m. in. przez laboratoria Inspekcji Ochrony Środowiska,
- opracowaniu metody własnej, polegającej na wstępnym przeliczeniu uzyskanych z pomiarów danych wejściowych (czasów trwania czynności oraz poziomów równoważnych dźwięku) w taki sposób, że po zastosowaniu do nich istniejących w 1. strategii pomiarowej wzorów matematycznych otrzymuje się w każdym przypadku wartości wyznaczone w sposób matematycznie ścisły. Jednocześnie, wynikający z istoty metody sposób ustalania danych wejściowych gwarantuje, że są one znacznie bardziej wiarygodne, niż wartości danych przyjmowanych wprost z wywiadu.

Każdą z przedstawionych w artykule nowych metod pomiarowych można potraktować jako propozycję do uwzględnienia w nowelizacji Polskiej Normy PN-N-01307:1994 „Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów”. Można je również traktować jako rozwinięcie lub formę realizacji 1. strategii pomiarowej, tj. pomiarów z podziałem na czynności (wydaje się jednak, że ze względów natury formalnej, obecnie bardziej właściwie będzie stosować je do celów walidacji lub weryfikacji wyników uzyskanych za pomocą strategii opisanych w normie PN-EN ISO 9612:2011).

Strategie pomiarowe hałasu na podstawie normy PN-EN ISO 9612:2011

W normie PN-EN ISO 9612:2011 zaproponowano trzy strategie pomiarowe przeznaczone do wyznaczania ekspozycji na hałas w środowisku pracy. Są to:

1. Pomiary całodzienne (3. strategia pomiarowa) – polegające na tym, że poziom ciśnienia akustycznego jest mierzony w sposób ciągły przez cały czas ekspozycji pracownika na hałas (np. przez cały czas trwania zmiany roboczej). W odniesieniu do większości stanowisk pracy metoda ta okazuje się zwykle najdokładniejsza.
2. Pomiary stanowiskowe (2. strategia pomiarowa) – polegające na tym, że podczas wykonywania prac na konkretnym stanowisku jest mierzona pewna liczba losowo wybranych próbek poziomu dźwięku.
3. Pomiary z podziałem na czynności (1. strategia pomiarowa) – polegające na tym, że praca wykonywana w trakcie dnia jest analizowana i dzielona na pewną liczbę czynności, reprezentatywnych z punktu widzenia poziomu hałasu, oddziałującego na pracownika podczas ich realizacji. Dla każdej czynności/sytuacji akustycznej są przeprowadzane oddzielne pomiary poziomu dźwięku oraz są określane czasy trwania tych czynności. Wyznaczone tak wartości wykorzystuje się do obliczenia wyniku końcowego badania, który jest wyznaczany na podstawie odpowiednich zależności matematycznych. Chociaż wiarygodność tego wyniku jest często istotnie mniejsza niż w przypadku stosowania 2. strategii pomiarowej lub 3. strategii pomiarowej, jest to najbardziej wydajna i najczęściej stosowana metoda pomiarowa.

Analiza 1. strategii pomiarowej – pomiary z podziałem na czynności

Ogólne wytyczne dotyczące realizacji pomiarów i wyznaczania zawodowej ekspozycji na hałas

Dla pojedynczych pracowników lub grup o jednorodnej ekspozycji na hałas, nominalny (np. przeciętny) dzień pracy powinien być podzielony na czynności. Podstawową wielkością mierzoną powinien być poziom równoważny ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A ($L_{p,A,eqT}$), wyznaczony dla czynności m o czasie trwania T_m , określonym dla całej zmiany roboczej. Każda czynność powinna być tak zdefiniowana, aby była możliwa powtarzalność $L_{p,A,eqT}$ (PN-EN ISO 9612:2011).

Czas trwania poszczególnych czynności można określić na podstawie: wywiadu, obserwacji i pomiarów czasów trwania czynności lub na podstawie danych dotyczących działania typowych źródeł dźwięku (np. procesów produkcyjnych).

Dla każdej czynności m powinna być zmierzona wartość poziomu równoważnego ciśnienia akustycznego $L_{p,A,eqT,m}$, reprezentatywna dla narażenia pracownika na hałas. Pomiary powinny uwzględniać zmiany poziomu hałasu dla każdej czynności w czasie, przestrzeni i warunkach pracy. Czas trwania każdego

pomiaru powinien być wystarczająco długi, aby odzwierciedlał średni równoważny poziom dźwięku dla rzeczywistej czynności. Jeżeli czas trwania czynności jest krótszy niż 5 min, to czas trwania każdego pomiaru powinien być równy czasowi trwania tej czynności. W przypadku dłuższych czynności czas trwania każdego pomiaru powinien wynosić co najmniej 5 min. Czas trwania każdego pomiaru można jednak skrócić, jeśli się okaże, że poziom dźwięku jest stały lub powtarzalny, bądź ma niewielki wpływ na całkowitą ekspozycję na hałas.

Jeśli hałas w trakcie czynności ma charakter cykliczny, to każdy pomiar powinien obejmować czas trwania co najmniej trzech ściśle określonych cykli. Jeśli czas trzech cykli jest krótszy niż 5 min, to każdy pomiar powinien trwać co najmniej 5 min lub taką liczbę pełnych cykli, aby trwał co najmniej 5 min. Czas trwania każdego pomiaru powinien zawsze odpowiadać czasowi trwania określonej liczby pełnych cykli.

Jeżeli hałas zmienia się w sposób losowy podczas czynności, to czas trwania każdego pomiaru powinien być wystarczająco długi, aby zapewnić, że mierzona wartość $L_{p,A,eqT,m}$ jest reprezentatywna dla całej czynności.

Dla każdej czynności powinny być wykonane co najmniej trzy pomiary. Jeżeli wyniki trzech pomiarów różnią się o 3 dB lub więcej, należy wykonać co najmniej trzy dodatkowe pomiary dla tej czynności, lub podzielić czynność na czynności składowe i powtórzyć pomiary, lub powtórzyć pomiary, wydłużając czas trwania każdego pomiaru.

Obliczanie wyników pomiarów z podziałem na czynności

Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A ($L_{p,A,eqT,m}$), dla czynności m , na podstawie I oddzielnych pomiarów ($L_{p,A,eqT,mi}$), oblicza się na podstawie normy w następujący sposób:

$$L_{p,A,eqT,m} = 10 \lg \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,mi}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

w którym:

$L_{p,A,eqT,mi}$ – wynik pomiaru próbki równoważnego poziomu dźwięku A ($L_{p,A,eqT,m}$) podczas czynności m o czasie trwania T_m ; i – numer próbki dla czynności m ; I – ogólna liczba próbek dla czynności m .

Wynikiem końcowym badania hałasu jest wielkość charakteryzująca narażenie pracownika na

hałas w ciągu nominalnego dnia pracy, tj. dzienny poziom ekspozycji na hałas, $L_{EX,8h}$, wyznaczony na podstawie wzoru:

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left(\sum_{m=1}^M \frac{\bar{T}_m}{T_o} 10^{0,1 L_{p,A,eqT,m}} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

w którym:

\bar{T}_m – uśredniony (arytmetycznie) czas trwania czynności m ; T_o – przedział czasowy odniesienia, $T_o = 8$ h; m – numer czynności; M – liczba czynności m mających udział w dziennym poziomie ekspozycji na hałas.

Udział hałasu związanego z czynnością m w całkowitym dziennym poziomie ekspozycji na hałas (pochodzącym od wszystkich czynności), $L_{EX,8h,m}$, określa się na podstawie wzoru:

$$L_{EX,8h,m} = L_{p,A,eqT,m} + 10 \lg \left(\frac{\bar{T}_m}{T_o} \right) \text{ dB} \quad (3)$$

Rezultat badania, tj. dzienny poziom ekspozycji na hałas, $L_{EX,8h}$, można wówczas wyznaczyć z zależności:

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left(\sum_{m=1}^M 10^{0,1 L_{EX,8h,m}} \right) \text{ dB} \quad (4)$$

Norma PN-EN ISO 9612:2011 przedstawia w załączniku C sposób szacowania niepewności pomiaru $L_{EX,8h}$. Wśród składowych tej niepewności, dla porównania prezentowanych w artykule metod pomiarowych istotna jest niepewność standardowa typu A, $u_{1a,m}$, związana z próbkowaniem poziomu hałasu dla czynności m . Wymieniona norma podaje wzór obliczeniowy:

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m})^2 \right]} \quad (5)$$

w którym:

$\bar{L}_{p,A,eqT,m}$ – średnia arytmetyczna z I wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego, zmierzonych dla czynności m .

Norma dopuszcza stosowanie statystycznego podejścia do obliczania niepewności metodami innymi niż określone w załączniku C, pod warunkiem, że są one zgodne z ISO/IEC Guide 98-3 oraz wykaże się, że nie prowadzą one do niedoszacowania niepewności.

Wybrane aspekty praktycznej realizacji pomiarów hałasu za pomocą 1. strategii pomiarowej

Wyznaczanie równoważnego poziomu dźwięku A ($L_{p,A,eq,T,m}$)

Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką A ($L_{p,A,eq,T,m}$) można wyznaczyć z zależności ogólnej (która wprawdzie nie jest podana w normie PN-EN ISO 9612:2011, jednakże jest słuszna w każdym przypadku pomiarowym) na podstawie wzoru:

$$L_{p,A,eqT,m} = 10 \lg \left(\frac{1}{t_{m,e}} \sum_{i=1}^I t_{mi} 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,mi}} \right) \text{ dB} \quad (6)$$

w którym:

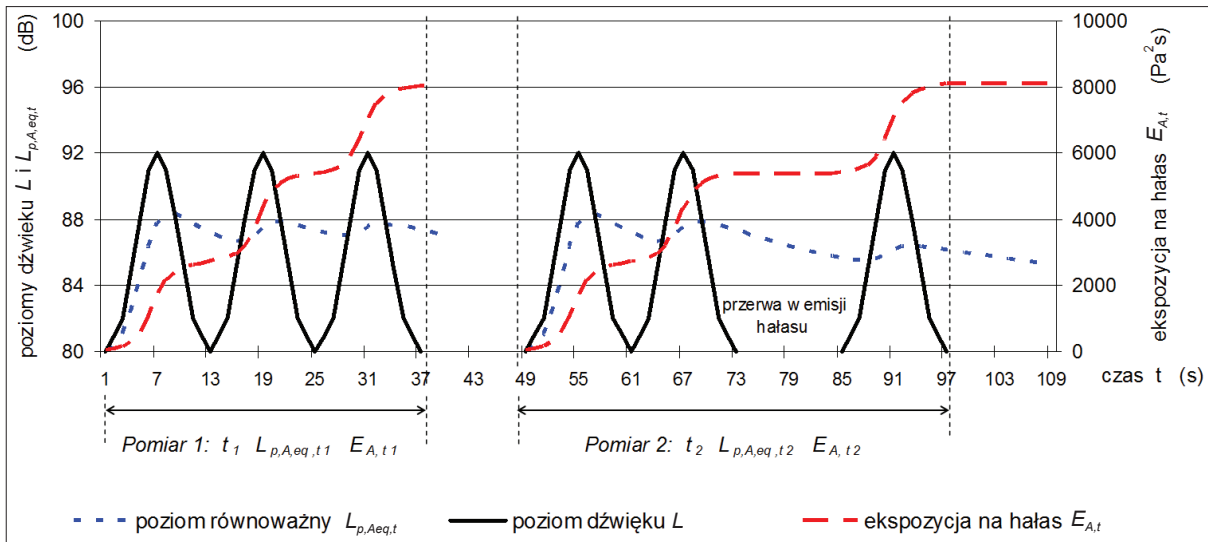
t_{mi} – czas trwania pomiaru poziomu równoważnego ciśnienia akustycznego $L_{p,A,eq,T,mi}$ (poszczególne pomiary, z których oblicza się wynik badania wielkości mierzonej, są nazywane w niniejszym artykule pomiarami próbek lub pomiarami elementarnymi); $t_{m,e}$ – suma czasów trwania wszystkich pomiarów elementarnych / próbek, t_{mi} , tj.:

$$t_{m,e} = \sum_{i=1}^I t_{mi} \quad (7)$$

Jeśli czasy t_{mi} są równe (tj. $t_{mi} = t_m$, a stąd $t_{m,e} = I t_m$), wzór (6) upraszcza się do podanego w normie wzoru (1), co można przedstawić następująco:

$$\begin{aligned} L_{p,A,eqT,m} &= 10 \lg \left(\frac{1}{t_{m,e}} \sum_{i=1}^I t_{mi} 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,mi}} \right) = \\ &= 10 \lg \left(\frac{1}{I t_m} \sum_{i=1}^I t_m 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,mi}} \right) = \\ &= 10 \lg \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,mi}} \right) \text{ dB} \end{aligned}$$

Jest istotne, że wśród założeń 1. strategii pomiarowej nie sformułowano wymagania, aby czasy pomiarów próbek hałasu były równe². Przyjęto natomiast zasadę, że w przypadku hałasu cyklicznego pomiar powinien obejmować pełne cykle zmienności, natomiast ich liczba nie powinna być mniejsza od trzech. Jeśli więc ww. cykle (lub ich serie) charakteryzują się różnymi długościami trwania, wynikającymi np. ze zmian w intensywności pracy lub z przerw w jej realizacji, wówczas w sposób oczywisty czasy ich pomiarów również nie powinny być jednakowe. Zachowanie ww. zasad może być powodem wydłużenia lub skrócenia czasu pomiaru próbki hałasu, co w konsekwencji prowadzi do zmiany wyniku pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A (rys. 1.).



Rys. 1. Równoważny poziom dźwięku A ($L_{p,A,eq,t}$) oraz ekspozycja na hałas $E_{A,t} = 10^{0,1 L_{p,A,eq,t}} t p_o^2$ w zależności od zmian czasu pomiaru próbki (t) oraz poziomu dźwięku L w czasie t . Porównanie wyników dwóch pomiarów (obejmujących trzy identyczne cykle hałasu) przeprowadzonych zgodnie z wymaganiami 1. strategii pomiarowej na podstawie normy PN-EN ISO 9612:2011: $t_1 < t_2$, $L_{p,A,eq,t1} > L_{p,A,eq,t2}$, $E_{A,t1} = E_{A,t2}$

² W przypadku innej strategii pomiarowej, tj. 2. strategii pomiarowej – pomiary stanowiskowe, norma jednoznacznie stwierdza potrzebę przeprowadzania pomiarów próbek o tym samym czasie trwania (p. E.4 ww. normy). Brak w jakimkolwiek miejscu analogicznych zapisów dla 1. strategii pomiarowej wskazuje zatem, że w przypadku jej wykorzystania nie jest konieczne stosowanie takiego wymagania.

Jeśli czasy t_{mi} są istotnie różne, wówczas wyniki obliczeń uzyskane na podstawie wzorów (1) i (6) przestają być jednakowe. W takim wypadku, za rezultat dokładniejszy należy oczywiście uznać wynik uzyskany za pomocą zależności ogólnej (6). Jak wykazano w przykładzie pomiarowym nr 1, stosując wzory (1) i (6) dla tych samych danych, można uzyskać znacząco różne wartości $L_{p,A,eqT,m}$ (czynność 1).

wykonano pomiary równoważnego dźwięku A ($L_{p,A,eqT,m}$) podczas realizacji przez pracownika poszczególnych czynności. Dodatkowo odczytywano z miernika poziom ekspozycyjny SEL_{mi} (opis w dalszej części artykułu). Uzyskane wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Przykład pomiarowy nr 1

W celu wyznaczenia poziomu ekspozycji na hałas ($L_{EX,8h}$) na stanowisku pracy pomocnika stolarza

Tabela 1.

Porównanie wyników uzyskanych na podstawie tych samych danych pomiarowych oraz różnych wzorów obliczeniowych

Wielkość mierzona	Wyniki pomiarów elementarnych podczas realizacji pełnych cykli pracy (1 cykl = 1 zbite paleta albo 1 wywiercony otwór)								Rozrzut wyników
Wyniki badań podczas czynności nr 1 (3 zbite palety = 1 pomiar)									rozstęp
Poziom równoważny $L_{p,A,eqT,m}$ w dB	86,6	92,1	83,5	82,2	78,8	79,8	84,9	85,0	13,3
Czas pomiaru t_{mi} w s	340	300	655	790	1570	1392	573	620	1270
$SEL_{m,i}$ w dB	111,9	116,9	111,7	111,2	110,8	111,2	112,5	112,9	6,1
Równoważny poziom dźwięku A dla czynności 1, wyznaczony wg wzoru (1), tj. na podstawie wzoru normy PN-EN ISO 9612:2011: $L_{p,A,eqT,m} = 86,1$ dB									–
Równoważny poziom dźwięku A dla czynności 1, wyznaczony na podstawie wzoru (6), tj. z uwzględnieniem wagi czasowej pomiarów: $L_{p,A,eqT,m} = 83,9$ dB									–
Czas trwania czynności 1 podany przez kierownictwo zakładu: $\bar{T}_m = 210$ min									–
Czas trwania czynności 1 obliczony z podanej ilości zdarzeń akustycznych lub cykli pracy ($\bar{N}_m = 48$) oraz średniego czasu pomiaru zdarzenia ($\bar{t}_m = 4,33$ min; $\bar{T}_m = \bar{N}_m \bar{t}_m = 208$ min)									–
Wyniki badań podczas czynności 2 (wiercenie precyzyjne 3 otworów = 1 pomiar)									rozstęp
Poziom równoważny $L_{p,A,eqT,m}$ w dB	86,5	85,5	84,8	84,8	–	–	–	–	1,7
Czas pomiaru t_{mi} w s	328	416	336	300	–	–	–	–	116
$SEL_{m,i}$ w dB	111,7	111,7	110,1	109,6	–	–	–	–	2,1
Równoważny poziom dźwięku A dla czynności 2, wyznaczony na podstawie wzoru (1), tj. ściśle na podstawie wzoru normy PN-EN ISO 9612:2011: $L_{p,A,eqT,m} = 85,5$ dB									–
Równoważny poziom dźwięku A ($L_{p,A,eqT,m}$) dla czynności 2, wyznaczony z uwzględnieniem wagi czasowej pomiaru, tj. na podstawie wzoru (6): $L_{p,A,eqT,m} = 85,6$ dB									–
Czas trwania czynności 2 podany przez kierownictwo zakładu: $\bar{T}_m = 210$ min									–
Czas trwania czynności 2 obliczony z podanej ilości zdarzeń akustycznych lub cykli pracy, $\bar{N}_m = 24$ i średniego czasu pomiaru zdarzenia, $\bar{t}_m = 1,92$ min : $\bar{T}_m = \bar{N}_m \bar{t}_m = 46$ min									–

U w a g a

Zarówno zgodność czasów trwania pomiarów poszczególnych próbek hałasu, jak i ocena sposobu obliczenia równoważnego poziomu dźwięku A może być przedmiotem kontrowersji w interpretacji wymagań normy. Sama ocena rozbieżności wyników uzyskanych za pomocą zależności (1) i (6) nie wymaga zastosowania metody referencyjnej (np. pomiarów ciągłych), ponieważ porównanie dotyczy nie wyników pomiarów, lecz wyników obliczeń uzyskanych za pomocą różnych wzorów. W związku z tym, w rozpatrywanym przykładzie, za wzór referencyjny należy uznać zależność ogólną (6), natomiast za wartości referencyjne należy przyjąć wyniki obliczeń wykonanych z jej wykorzystaniem.

Stwierdzona dla czynności 1 różnica wyników obliczeń równoważnego poziomu dźwięku A ($L_{p,A,eqT,m}$), (co skutkuje taką samą rozbieżnością dla wyznaczonego poziomu $L_{EX,sh,m}$) należy do typowych i często występuje w analogicznych przypadkach.

Przyczyną wyznaczenia odbiegającej od rzeczywistej wartości równoważnego poziomu dźwięku A jest przeprowadzenie jego pomiarów podczas nie-reprezentatywnych fragmentów zmiany roboczej, gdy intensywność pracy odbiega od typowej, lub w trakcie poszczególnych jej cykli (albo pomiędzy nimi) występują przerwy w realizacji pracy powodujące zmiany mierzonego poziomu $L_{p,A,eqT,m}$. Zmiany te przełożą się w takim samym stopniu na wartość poziomu ekspozycji na hałas, $L_{EX,sh,m}$, jeśli do jego obliczenia zastosuje się wartość czasu ekspozycji (tj. czasu trwania czynności m) wyznaczoną zupełnie osobno, bez związku z liczbą określonych cykli pracy i przeciętną długością czasu ich trwania wyznaczoną w trakcie wymienionych wcześniej pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A.

W razie uznania, że pewnego rodzaju zdarzenie wymaga oddzielnego uwzględnienia w nominalnym dniu pracy, wówczas w przypadkach pomiarów krótkich, lecz bardzo głośnych zdarzeń akustycznych mających miejsce w znacznych odstępach czasu (kilkanaście – kilkadziesiąt minut, np. sporadyczne upusty sprężonego powietrza, przykręcanie śrub kluczem pneumatycznym, przejazdy pojazdów itd.), a zwłaszcza wtedy, gdy nie wiadomo dokładnie, kiedy rozpocznie się badane zjawisko, opóźnione lub przedwczesne rozpoczęcie pomiaru skutkuje zwykle niedokładnym wynikiem badania poziomu $L_{p,A,eqT,m,i}$ ³.

³ W przedstawionych w artykule metodach alternatywnych, celem uniknięcia ww. niedokładności, można rozpocząć pomiar (niemal dowolnie) wcześniej przed wystąpieniem mierzonego zdarzenia akustycznego oraz zakończyć (niemal dowolnie) po jego zaistnieniu – co w obu przypadkach nie zmienia wyniku końcowego badania, tj. poziomu $L_{EX,sh,m}$.

Wyznaczanie wartości czasu trwania czynności T_m

Niezależnie od metody obliczania równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego, właściwego dla określonej czynności m ($L_{p,A,eqT,m}$) w przypadku ustalania czasu trwania czynności T_m za pomocą wywiadu, dość często popełniane są duże błędy w ocenie tego czasu (a tym samym w wyniku końcowym badania, tj. poziomie ekspozycji na hałas $L_{EX,sh}$). Wynika to nie tylko z obiektywnych trudności, znacznej zmienności wielkości T_m w poszczególnych dniach lub dłuższych okresach czasu, lecz również z mimowolnego wliczania do czasu T_m przerw wymienionych w poprzednim punkcie rozdziału, wynikających z istoty wykonywanej pracy, lecz także z przypadkowości, zmian w intensywności i wydajności pracy, zmęczenia, chwilowego braku surowca itp.

O zjawisku wymienionym powyżej można się łatwo przekonać, usiłując uzyskać od informatora jednoznaczne dane (często z dużym trudem), podczas konfrontacji informacji od różnych osób, jak również przy porównaniu tych danych z wnioskami wynikającymi z oceny funkcjonowania poszczególnych źródeł dźwięku. Czas poświęcony na rzeczywistą pracę można natomiast wyliczyć w prosty sposób ze średniej liczby określonych zdarzeń akustycznych (które można potraktować jak cykle pracy i *vice versa*) N_m (np. liczby wywierconych otworów, wykonanych detali itp.) oraz średniego czasu trwania pojedynczego cyklu pracy t_m na podstawie wzorów:

$$\bar{t}_m = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I t_{m,c,i} \quad (8)$$

$$\bar{T}_m = \bar{N}_m \bar{t}_m \quad (9a)$$

gdzie:

$t_{m,c,i}$ – czas pomiaru pojedynczego zdarzenia akustycznego / cyklu pracy.

Jeśli natomiast, podczas pomiaru każdej próbki hałasu w czasie t'_{mi} , występowało nie jedno, lecz kilka zdarzeń akustycznych, np. w liczbie n_{mi} , wówczas czas czynności T_m wyznacza się na podstawie wzoru:

$$\bar{T}_m = \bar{N}_m \frac{\sum_{i=1}^I t'_{mi}}{\sum_{i=1}^I n_{mi}} \quad (9b)$$

Przykład: w rozpatrywanym przypadku pomiarowym kierownik obiektu podał, że czas realizacji czynności 2 wynosi w przybliżeniu około 210 min/zm. Jednocześnie na podstawie dziennych raportów produkcyjnych stwierdził z dużą dokładnością, że liczba wywierconych w ciągu zmiany roboczej otworów wynosi przeciętnie 24. Tymczasem, osoba wykonująca badania, korzystając z pomierzonych czasów trwania poszczególnych zdarzeń/cykli pracy, może wyliczyć wartość czasu \bar{T}_m blisko pięciokrotnie mniejszą (wzory (8), (9a) i dane w tabeli 1.):

$$\bar{t}_m = (328 + 416 + 336 + 300) / (3 * 4) = 115s = 1,92 \text{ min},$$

$$\bar{T}_m = 24 * 1,92 \text{ min} = 46 \text{ min}.$$

Oczywiście, tak wyznaczony czas T_m jest dokładniejszy, tym bardziej że został on ściśle powiązany z wykonaniem pomiarów elementarnych poszczególnych poziomów $L_{p,A,eqT,mi}$. Skutkiem powyższego, jest w tym przykładzie zmiana wyniku badania o ponad 6 dB.

Wyznaczenie czasu trwania czynności T_m (wg wzorów 9a lub 9b) na podstawie czasów pomiarów próbek hałasu t_{mi} tych samych, z których wyznaczono poziomy dźwięku $L_{p,A,eqT,mi}$ powoduje eliminację wpływu nietypowych i niereprezentatywnych przerw w realizacji czynności wykonywanej podczas przeprowadzania pomiarów, na wartość udziału hałasu związanego z czynnością m w całkowitym dziennym poziomie ekspozycji na hałas, $L_{EX,sh,m}$.

Zasada przedstawiona powyżej została zilustrowana na rysunku 1., na którym widać, jak wynika-

jąca z ww. przerw wydłużenie czasu pomiaru próbek, t_{mi} , powoduje jednocześnie:

- zmniejszenie wartości równoważnego poziomu dźwięku A ($L_{p,A,eqT,mi}$),
- zwiększenie wartości czasu trwania czynności $\bar{T}_m = \bar{N}_m \bar{t}_m$.

Obliczone z ww. danych wartości ekspozycji na hałas $E_{A,Te,m}$ oraz poziomu ekspozycji na hałas $L_{EX,sh,m}$ (a tym samym i wyniku końcowego badania $L_{EX,sh}$) nie ulegają zmianom związanym z liczbą i długością przerw zaistniałych podczas wykonywania pomiarów hałasu.

Chcąc zastosować zależności (8) i (9), pomiary wymienionych próbek należy tak przeprowadzić, aby każdy z nich zawierał pełną liczbę zdarzeń akustycznych/cykli pracy i jednocześnie, żeby ww. liczby zdarzeń (najlepiej ze względów statystycznych takie same) oraz czasy trwania pomiarów ww. próbek zostały zarejestrowane.

Sposoby eliminacji błędów pomiarowych

Błędy pomiarowe związane z wyznaczeniem wartości równoważnych poziomów dźwięku A ($L_{p,A,eq,T,m}$) oraz czasów ich ekspozycji T_m , można istotnie zminimalizować, stosując:

- podane powyżej wzory: (8), (9a) i (9b) wraz ze wskazanymi zasadami przeprowadzania pomiarów próbek hałasu,
- alternatywne metody pomiarowe (Rozporządzenie Ministra Środowiska... 2011; Fugiel 2017) omówione w następnych rozdziałach artykułu.

PROPOZYCJE NOWYCH METOD WYZNACZANIA EKSPOZYCJI ZAWODOWEJ NA HAŁAS

Strategia pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych

W środowisku zewnętrznym w badaniach hałasów powodowanych przez ruch: drogowy, kolejowy, tramwajowy oraz lotniczy, jedną z powszechnie stosowanych metod jest metoda pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych (Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska ... 2011). Zaletą tej metody w porównaniu do metody analogicznej do wykonywania pomiarów hałasu związanego z realizacją określonej czynności (na podstawie 1. strategii pomiarowej i PN-EN ISO

9612:2011) jest uniezależnienie wyniku końcowego badania od niereprezentatywnego funkcjonowania źródeł dźwięku (np. od nietypowej struktury i natężenia ruchu pojazdów) podczas pomiarów próbek hałasu drogowego. W niniejszym rozdziale przedstawiono adaptację tej metody do badań hałasu w środowisku pracy (Fugiel 2017).

Zasada pomiarów oraz podstawowe wzory obliczeniowe

W dziedzinie środowiska pracy zasada metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych polega

na tym, że po scharakteryzowaniu nominalnego dnia pracy za pomocą zidentyfikowanych i wyszczególnionych czynności, należy podczas każdej z nich wykonać w odpowiedni sposób pomiary akustyczne. Moment rozpoczęcia i zakończenia pomiaru próbki hałasu należy tak dobrać do specyfiki stanowiska pracy, aby obejmował on w całości pewien charakterystyczny, powtarzalny cykl zmienności hałasu⁴, ściśle związany z wykonywaną przez pracownika czynnością m . Takim cyklem zmienności może być określone przez wykonawcę badań zdarzenie akustyczne, np. gdy czynnością jest obsługa piły poprzecznej, zdarzeniem może być przecięcie jednej deski (lub określonej liczby desek), natomiast gdy czynnością jest zbijanie palet, za zdarzenie akustyczne można uznać wykonanie określonej liczby palet (np. trzech).

W przypadku ekspozycji hałasu ustalonego za zdarzenie można przyjąć narażenie pracownika na hałas przez ściśle określony czas (np. $t_{m,c} = 1$ min), którego całkowita wielokrotność N_m będzie odpowiadała czasowi trwania czynności T_m .

Zauważmy, że jeśli wartość czasu T_m , wyrażoną iloczynem czasu pomiaru pojedynczego zdarzenia akustycznego t_m i liczby tych zdarzeń w ciągu zmiany roboczej N_m , (wzór – 9a), podstawimy do wzoru (2) obliczającego udział hałasu związanego z czynnością m w całkowitym, dziennym poziomie ekspozycji na hałas, $L_{EX,8h,m}$, wówczas zależność tę można zapisać i przekształcić następująco (Fugiel 2017):

$$\begin{aligned} L_{EX,8h,m} &= L_{p,A,eqT,m} + 10 \lg \left(\frac{\bar{T}_m}{T_o} \right) = \\ &= L_{p,A,eqT,m} + 10 \lg \left(\frac{\bar{t}_m \bar{N}_m}{T_o} \right) = \\ &= L_{p,A,eqT,m} + 10 \lg \bar{t}_m + 10 \lg \bar{N}_m - 10 \lg T_o \end{aligned} \quad (10)$$

gdzie:

$L_{p,A,eqT,m}$ – równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A, pomierzony dla czynności m ; \bar{t}_m – średni czas pomiaru pojedynczego zdarzenia /cyklu pracy podczas trwania czynności m , wyrażony wzorem (8); \bar{N}_m – średni czas trwania

czynności m ; T_o – przedział czasowy odniesienia wyrażony w tych samych jednostkach jak T_m ; \bar{N}_m – średnia liczba zdarzeń akustycznych określonych dla czynności m .

Wielkością nadającą się do scharakteryzowania pojedynczych zdarzeń akustycznych jest ekspozycyjny poziom dźwięku A (poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 1 s, oznaczany zazwyczaj jako SEL lub L_{AE}), który jest mierzony przez miernik jednocześnie z równoważnym poziomem dźwięku A ($L_{p,A,eqT}$) w czasie T . Definicja poziomu ekspozycyjnego jest analogiczna jak dla poziomu równoważnego, natomiast różni się jedynie tym, że przeliczenie następuje zamiast dla czasu obserwacji T – na umowny czas odniesienia 1 s:

$$SEL = 10 \lg \left(\frac{T[s]}{1[s]} 10^{0,1L_{p,A,eqT}} \right) = L_{p,A,eqT} + 10 \lg T \quad \text{dB} \quad (11)$$

Można więc przyjąć:

$$SEL_m = L_{p,A,eqT,m} + 10 \lg \bar{T}_m \quad \text{dB} \quad (12)$$

gdzie:

SEL_m – poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 1 s, zmierzony w czasie trwania zdarzenia akustycznego będącego jednym z N_m zdarzeń (cykli pracy) składających się na czynność m .

Podstawiając wzór (12) do zależności (10) i zastępując czas odniesienia $T_o = 8$ h równoważną mu wartością 28 800 s, otrzymujemy zależność na udział hałasu związanego z czynnością m w dziennym poziomie ekspozycji na hałas:

$$L_{EX,8h,m} = SEL_m + 10 \lg \bar{N}_m - 10 \lg (28\,800) \quad \text{dB} \quad (13)$$

Jeśli podczas pomiaru każdej próbki mierzono więcej niż jedno zdarzenie akustyczne, np. ich liczbę n_m , to miernik wskaże poziom:

$$SEL'_m = SEL_m + 10 \lg n_m \quad \text{dB} \quad (14)$$

⁴ Może to również być odpowiednio określony, powtarzalny cykl pracy.

⁵ W dalszej części artykułu będzie używane określenie „ekspozycyjny poziom dźwięku A”.

Uwzględniając powyższe, dzienny poziom ekspozycji na hałas związany z czynnością m ($L_{EX,sh,m}$) należy wyznaczyć na podstawie wzoru:

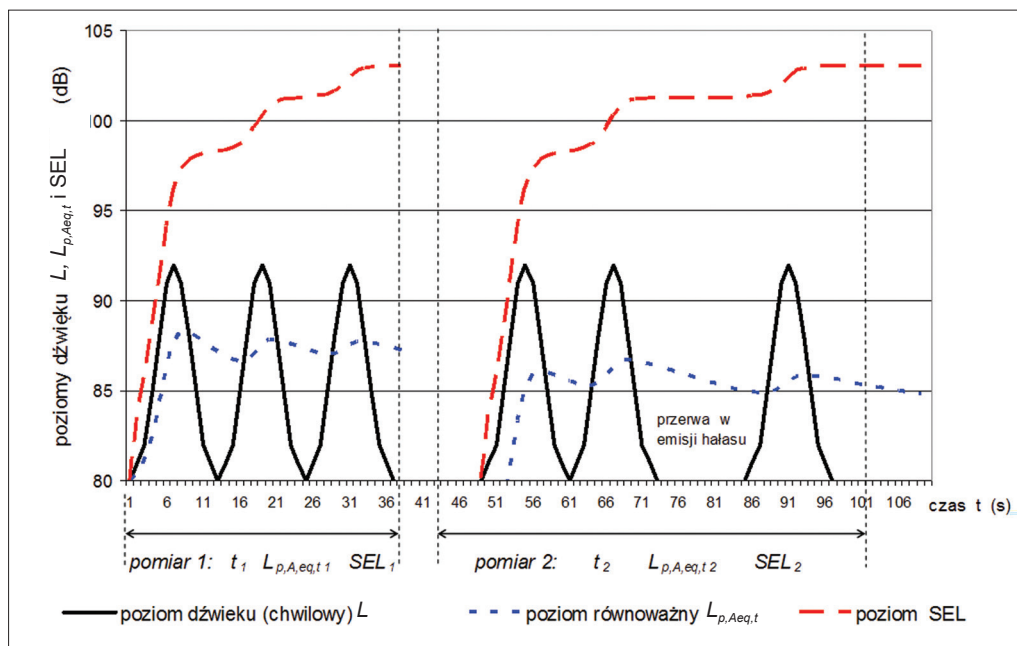
$$L_{EX,sh,m} = SEL'_m - 10 \lg n_m + 10 \log(\bar{N}_m) - 10 \lg(28800) \text{ dB} \quad (15)$$

Dzienny poziom ekspozycji na hałas od wszystkich czynności ($L_{EX,sh}$) należy obliczyć na podstawie wzoru (4).

Dla wzorów (10) ÷ (12) jest istotne, aby czas odniesienia T_0 oraz czas pomiaru t_m zostały wyrażone w sekundach. Z praktycznego punktu widzenia istotne jest również to, że poziom ekspozycyjny SEL nie wymaga obliczania, wyznaczany jest bowiem przez miernik podczas pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego.

Zaletą metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych jest brak wrażliwości wyniku pomiaru

poziomu ekspozycyjnego SEL_m na zmiany związane z wystąpieniem przerw w emisji hałasu oraz zmiany związane ze wcześniejszym rozpoczęciem pomiaru lub późniejszym jego zakończeniem⁶. Skutki wymienionych efektów przedstawiono na rysunku 2. Mierząc dwukrotnie to samo zdarzenie akustyczne (trzy identyczne cykle hałasu) otrzymano dwie różne wartości poziomu równoważnego dźwięku $L_{A,eqT,mi}$ w zależności od tego, czy wymienione cykle następują bezpośrednio po sobie, czy też występują pomiędzy nimi przerwy w emisji hałasu. Jednocześnie w każdym z rozpatrywanych przypadków uzyskano identyczne wartości poziomu SEL_m . Mierząc bowiem poziom ekspozycyjny istotne jest to, aby czas pomiaru obejmował w całości badane zdarzenie akustyczne lub tę samą liczbę składających się na nie cykli zmienności hałasu, a nie wyłącznie czas ich występowania – jak to ma miejsce w pomiarach równoważnego poziomu dźwięku A.



Rys. 2. Równoważny poziom dźwięku A ($L_{p,A,eq,t}$) oraz ekspozycyjny poziom dźwięku A, $SEL = L_{p,A,eq,t} + 10 \lg t$, w zależności od zmian czasu pomiaru próbki t , oraz poziomu dźwięku L w czasie t . Porównanie wyników dwóch pomiarów obejmujących trzy identyczne cykle hałasu, przeprowadzonych zgodnie z wymaganiami 1. strategii pomiarowej według normy PN-EN ISO 9612:2011: $t_1 < t_2$, $L_{p,A,eq,t1} > L_{p,A,eq,t2}$, $SEL_1 = SEL_2$

⁶ Taką samą zaletę ma prezentowana w dalszej części pracy metoda dostosowania danych wejściowych.

Zalecenia dotyczące realizacji pomiarów i wyznaczania ekspozycji zawodowej na hałas

Porównując przedstawioną metodę pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych z opisaną w normie PN-EN ISO 9612:2011 metodą pomiarów z podziałem na czynności należy stwierdzić, że metody te polegają na zastosowaniu analogicznych wzorów obliczeniowych oraz sposobów wykonywania pomiarów z tą różnicą, że wykorzystując metodę pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych postępujemy następująco:

1. Celem wyznaczenia poziomu ekspozycji na hałas związanego z czynnością m ($L_{EX,sh,m}$) wykonujemy pomiary i stosujemy w obliczeniach ekspozycyjny poziom dźwięku A (odniesiony do 1 s), SEL_m – zamiast (wyłącznie) równoważny poziom dźwięku A ($L_{p,A,eqT,m}$).
2. Podczas pomiaru każdej próbki hałasu rejestrujemy liczbę określonych w modelu narażenia (tj. w nominalnym dniu pracy) zdarzeń n_m (związanych z określoną czynnością lub zdarzeniem m , które zaistniały w czasie jego wykonywania).
3. Uśredniony z co najmniej trzech pomiarów ekspozycyjny poziom dźwięku A, SEL_m wyznaczamy ze wzoru:

$$SEL_m = 10 \lg \left(\frac{\sum_{k=1}^K 10^{0,1 SEL_{m,k}}}{\sum_{k=1}^K n_{m,k}} \right) \text{ w dB} \quad (16)$$

gdzie:

$SEL_{m,k}$ – ekspozycyjny poziom dźwięku A zmierzony w próbce hałasu związanej ze zdarzeniem akustycznym m ; k – numer próbki dla zdarzenia akustycznego m ; K – ogólna liczba próbek dla zdarzenia akustycznego m .

U w a g a

Znając ekspozycyjny poziom dźwięku A, SEL_m , równoważny poziom dźwięku A związany z czynnością lub zdarzeniem akustycznym m ($L_{p,A,eqT,m}$), można wyznaczyć z zależności:

$$L_{p,A,eqT,m} = SEL_m - 10 \lg \left(\bar{N}_m \bar{t}_m \right) \text{ dB} \quad (17)$$

gdzie:

\bar{t}_m – średni czas pomiaru pojedynczego zdarzenia / cyklu pracy podczas trwania czynności m , wyrażony wzorem (8); \bar{N}_m – średnia liczba zdarzeń akustycznych określonych dla czynności m .

4. Zamiast czasu trwania czynności T_m (w ciągu całej zmiany roboczej) stosujemy liczbę zdarzeń związanych z wykonywaną czynnością N_m zaistniałych w ciągu całej zmiany roboczej (np. liczbę wykonanych lub poddanych obróbce detali produkcyjnych).
5. Zamiast czasu wyrażonego w dowolnych jednostkach, zawsze podajemy jego wartość w sekundach.
6. Jeśli, po zmierzeniu (w całym przedziale czasu istnienia) wybranego do badań zdarzenia akustycznego, ekspozycyjny poziom dźwięku A (SEL_m) nie zmienia się (brak jest do tego przesłanek), nie musimy kontynuować pomiaru do wymaganego czasu 5 min.

Jeśli to wygodne, ze względu na sposób realizacji pomiarów lub obliczeń, wykonawca badań za pojedyncze zdarzenie akustyczne może uznać pewną grupę określonego rodzaju zdarzeń technologicznych (np. wymianę czterech kół w samochodzie – zamiast zdarzenia polegającego na wymianie jednego koła. Oczywiście, wówczas i liczba wszystkich zdarzeń akustycznych określonych dla całej zmiany będzie w obu przypadkach różnić się czterokrotnie).

Ekspozycyjne poziomy dźwięku A, SEL, są mierzone dla pojedynczych zdarzeń akustycznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska... 2011). Czas pomiaru poziomu SEL dla każdego pojedynczego zdarzenia akustycznego nie może być mniejszy niż akustyczny czas trwania zjawiska. Jednocześnie, jeśli istnieją powody (np. oczekiwanie na wystąpienie zdarzenia lub upewnienie się, że zdarzenie będące przedmiotem pomiaru rzeczywiście się zakończyło) czas ten może być dłuższy, pod warunkiem, że w jego trakcie nie pojawią się zakłócenia akustyczne, które zmienią wartość poziomu SEL związanego z badanym zdarzeniem.

Ekspozycyjne poziomy dźwięku A, SEL, dla pojedynczych zdarzeń akustycznych powinny być mierzone w tak wybranych momentach zmiany roboczej, aby w czasie ich pomiaru, poza zdarzeniem badanym nie występowały inne zdarzenia akustyczne lub czynności określone w modelu narażenia (nominalnym dniu pracy). Jeśli nie da się ich uniknąć, należy je traktować jako zakłócenia

pomiarowe. Można je dopuścić tylko wtedy, jeśli poziom SEL związany ze zdarzeniem akustycznym będącym przedmiotem pomiaru jest wyższy o co najmniej 10 dB od poziomu ekspozycyjnego będącego rezultatem ww. zakłóceń (wynikający stąd błąd pomiaru próbki nie spowoduje zawyżenia poziomu SEL o więcej niż 0,5 dB, tj. o wartość mniejszą od niepewności standardowej miernika poziomu dźwięku klasy 1). Można to sprawdzić, wykonując dodatkowy pomiar poziomu SEL pochodzącego od wymienionych zakłóceń, w czasie identycznym jak pomiar badanego zdarzenia.

U w a g a

W metodzie pomiaru pojedynczych zdarzeń akustycznych (Rozporządzenie Ministra Środowiska... 2011) stosowanej w pomiarach hałasów komunikacyjnych sformułowano następujące wymaganie: czas pomiaru poziomu ekspozycyjnego dla każdego pojedynczego zdarzenia akustycznego nie może być mniejszy niż czas trwania tego zdarzenia, pod warunkiem, że maksymalna wartość poziomów hałasu podczas zdarzenia akustycznego będącego przedmiotem pomiaru będzie wyższa co najmniej o 10 dB od poziomu tła akustycznego występującego pomiędzy zdarzeniami. W adaptacji tej metody do badań hałasu w środowisku pracy powyższą zasadę można przyjąć jedynie w zakresie pomiarów głośnych i zarazem krótkotrwałych zdarzeń akustycznych/cykli pracy.

Proponuje się, aby dla każdego zdarzenia akustycznego wykonać co najmniej trzy pomiary. Jeśli zdarzenie akustyczne jest związane z niezbyt długimi (do kilku minut) cyklami zmienności hałasu/zdarzeniami występującymi kolejno po sobie bez istotnie długich przerw pomiędzy nimi, wówczas jest wskazane, aby pomiar każdej próbki hałasu zawierał przynajmniej trzy takie pełne cykle. Ogólnie biorąc, czas trwania pojedynczego pomiaru powinien być uzależniony od zmienności hałasu i uzyskanej powtarzalności wyników pomiaru poziomu SEL. W okresie wdrażania metody do praktyki laboratoryjnej można wstępnie przyjąć, że nie powinien on być krótszy niż 5 min. Czas trwania pomiaru każdej próbki można jednak skrócić, jeśli mierzony poziom SEL jest powtarzalny bądź hałas powiązany z danym zdarzeniem akustycznym ma niewielki wpływ na całkowitą ekspozycję na hałas. Czas ten można skrócić również wtedy, gdy mierzone zdarzenie akustyczne wystąpiło już w całości, natomiast na podstawie znajomości procesu pracy (przede wszystkim ze względu na przewidywany brak kolejnych zdarzeń)

wiadomo, że kontynuowanie pomiaru nie doprowadzi do pomiaru kolejnego tego typu zdarzenia (czyli nie zmieni wskazania SEL).

Jeśli wyniki trzech pomiarów poziomu ekspozycyjnego SEL_{mk} dla danego zdarzenia akustycznego m różnią się o 3 dB lub więcej, wówczas analogicznie jak w normie, należy: wykonać co najmniej trzy dodatkowe pomiary dla tego zdarzenia lub powtórzyć pomiary, zwiększając liczbę zdarzeń w trakcie każdego pomiaru (wymagać to będzie w opracowaniu odpowiedniego przeliczenia każdego z wyników na pojedyncze zdarzenie akustyczne albo zastosowania wzoru 15), lub (jeśli stosowne) podzielić zdarzenie akustyczne na zdarzenia składowe i powtórzyć pomiary według zaleceń z niniejszego rozdziału.

Podział zdarzeń akustycznych na klasy może zmniejszać niepewność wyznaczanego ekspozycyjnego poziomu dźwięku A , SEL_m , tylko wtedy, jeśli można określić liczebność każdej z tych klas w sposób dokładniejszy niż wyłącznie na podstawie pomiarów wykonywanych wraz z pomiarami hałasu pochodzącego od ww. zdarzeń.

Podstawowym kryterium łączenia pojedynczych zdarzeń akustycznych w klasy (Rozporządzenie Ministra Środowiska... 2011) jest uzyskanie możliwie niskiej wartości odchylenia standardowego dla klasy p , $s(SEL_{m,pi})$. Dla każdej z p klas pojedynczych zdarzeń akustycznych oblicza się średnią logarytmiczną wartość ekspozycyjnego poziomu dźwięku (A , $SEL_{m,p}$) na podstawie wzoru:

$$SEL_{m,p} = 10 \log \left(\frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} 10^{0,1SEL_{m,pi}} \right) \text{ dB} \quad (18)$$

gdzie:

i – numer próbki, której wynik pomiaru $SEL_{n,pi}$ mieści się w klasie p ; N_p – liczebność klasy p (liczba pojedynczych zdarzeń akustycznych w ciągu zmiany roboczej należących do tej klasy); $SEL_{m,p}$ – średni dla klasy p ekspozycyjny poziom dźwięku A , w dB; $SEL_{m,pi}$ – zmierzona w próbce i wartość ekspozycyjnego poziomu dźwięku A , zakwalifikowanego do p -tej klasy, w dB.

Wypadkową wartość ekspozycyjnego poziomu dźwięku A , SEL_m , określa się na podstawie wzoru:

$$SEL_m = 10 \log \left(\frac{1}{\sum_{p=1}^P N_p} \sum_{p=1}^P N_p 10^{0,1SEL_{m,p}} \right) \text{ dB} \quad (19)$$

gdzie:

SEL_m – ekspozycyjny poziom dźwięku A, wyznaczony dla zdarzenia akustycznego reprezentatywnego dla N_m zdarzeń / cykli pracy składających się na czynność m ; P – liczba klas, na które podzielono zbiór zdarzeń akustycznych występujących podczas czynności m .

Zalety metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych uwidaczniają się szczególnie wyraźnie w przypadkach, w których zdarzenia akustyczne charakteryzujących się tym, że są jednocześnie głośne, krótkotrwałe i występują w nieprzewidywalnych lub znacznych odstępach czasu (np. czynności wykonywane w celu naprawy lub wymiany opon w zakładzie wulkanizacyjnym). Wykonanie wówczas pomiarów w sposób zgodny z 1. strategią pomiarową jest bardzo utrudnione i czasochłonne, natomiast metoda pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych pozwala zastosować rozwiązania zmniejszające wymienioną czasochłonność (np. możliwość zakończenia pomiaru próbki przed upływem wymaganego normą czasu, jeśli zdarzenie wystąpiło w całości i można przewidzieć, że nie powtórzy się w akceptowalnym okresie oczekiwania).

Wyznaczanie dziennego poziomu ekspozycji na hałas

W związku z tym, że przy spójnych danych, te same wyniki pomiarów poziomu ekspozycji na hałas $L_{EX,8h,m}$ można uzyskać, stosując różne zależności matematyczne, można również przedstawić je we wspólnym wzorze na dzienny poziom ekspozycji na hałas, $L_{EX,8h}$:

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left[\sum_{m=1}^M \frac{\bar{T}_m}{T_o} 10^{0,1L_{p,A,eqT,m}} + \sum_{n=1}^N \frac{\bar{N}_n}{T_o} 10^{0,1SEL_n} \right] \text{ dB} \quad (20)$$

Dla większej przejrzystości tam, gdzie jest to wskazane, czynności, poziomy i inne wielkości opisane za pomocą zdarzeń akustycznych mogą być odtąd oznaczane indeksem n – w odróżnieniu od czynności opisanych czasem ich trwania T_m oznaczanych indeksem m .

U w a g a

Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A dla efektywnego czasu trwania dnia pracy, L_{p,A,eqT_e}

można wyznaczyć z zależności:

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \lg \left(\sum_{m=1}^M \frac{\bar{T}_m}{T_e} 10^{0,1L_{p,A,eqT,m}} + \sum_{n=1}^N \frac{\bar{T}_n}{T_e} 10^{0,1L_{p,A,eqT,n}} \right) \text{ dB} \quad (21)$$

gdzie:

\bar{T}_m – średni czas trwania czynności m ; T_e – efektywny czas trwania dnia pracy, który jest wyznaczony na podstawie wzoru:

$$\bar{T}_e = \sum_{m=1}^M \bar{T}_m + \sum_{n=1}^N \bar{T}_n \quad (22)$$

gdzie:

\bar{T}_n – średni czas trwania czynności n związany z liczbą określonych zdarzeń akustycznych N_n wyznaczony z zależności analogicznej do wzoru (9a):

$$\bar{T}_n = \bar{N}_n \bar{t}_n,$$

gdzie:

\bar{N}_n – średnia liczba zdarzeń akustycznych określonych dla czynności n ; \bar{t}_n – średni czas pomiaru pojedynczego zdarzenia / cyklu pracy podczas trwania czynności n , wyrażony wzorem (8); $L_{p,A,eqT,m}$ – równoważny poziom dźwięku A związany z czynnością m , wyznaczony z zależności (6) lub (1); $L_{p,A,eqT,n}$ – równoważny poziom dźwięku A związany z czynnością lub zdarzeniem akustycznym n , wyznaczony z zależności będącej przekształceniem wzoru (17):

$$L_{p,A,eqT,n} = SEL_n - 10 \lg \left(\bar{N}_n \bar{t}_n \right) \text{ dB}.$$

Szacowanie niepewności pomiaru

Podane w artykule wzory na niepewność badania poziomu ekspozycji $L_{EX,8h}$, $u(L_{EX,8h})$, wyprowadzono zgodnie z zasadami zawartymi w Przewodniku ISO Wyrażanie niepewności pomiaru (GUM 1999), zachowując: uproszczenia, zgodność oznaczeń i sposób prezentacji jak w normie PN-EN 9612:2011. Szacowanie to zostało przeprowadzone jednocześnie dla zmiennych pomiarowych opisanym za pomocą czynności m oraz zdarzeń akustycznych n (Fugiel 2017). Ponadto zostało przyjęte najczęściej sprawdzające się założenie, że rozkład wartości poziomów ciśnienia akustycznego, wyrażonych w dB, jest normalny (Makarewicz 1996) – co również zakłada norma PN-EN 9612:2011 (w tablicy C.2 normy).

Równanie niepewności pomiaru określa się na podstawie wzoru:

$$u^2(L_{EX,8h}) = \sum_m \left(\frac{\partial L_{EX,8h}}{\partial L_{EX,8h,m}} \right)^2 u^2(L_{EX,8h,m}) + \sum_n \left(\frac{\partial L_{EX,8h}}{\partial L_{EX,8h,n}} \right)^2 u^2(L_{EX,8h,n}) \quad (23)$$

przy czym:

$u(L_{EX,8h,m})$ – niepewność pomiaru poziomu $L_{EX,8h,m}$ wyznaczonego dla czynności m za pomocą metody pomiarów z podziałem na czynności, $u(L_{EX,8h,n})$ – niepewność pomiaru poziomu $L_{EX,8h,n}$ wyznaczonego dla zdarzenia akustycznego n za pomocą metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych.

Przedstawienie kolejnych działań i przekształceń wykracza poza cel niniejszego artykułu, w związku z czym w dalszej części artykułu zamieszczono głównie wzory końcowe na szacowanie niepewności.

Niepewność standardowa pomiaru dziennego poziomu ekspozycji na hałas $u(L_{EX,8h})$, z uwzględnie-

niem niepewności cząstkowych dotyczących czasów realizacji czynności T_m i niepewności dotyczących liczby zdarzeń akustycznych N_n wyraża poniższa zależność (Fugiel 2014):

(24)

$$u(L_{EX,8h}) = \sqrt{\sum_{m=1}^M [c_{1a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_2^2 + u_3^2) + c_{1b,m}^2 u_{1b,m}^2] + \sum_{n=1}^N [c_{1c,n}^2 (u_{1c,n}^2 + u_2^2 + u_3^2) + c_{1d,n}^2 u_{1d,n}^2]}$$

gdzie:

$u_{1a,m}$ – niepewność standardowa związana z próbkowaniem poziomu hałasu dla czynności m ; $u_{1b,m}$ – niepewność standardowa związana z oszacowaniem czasu trwania czynności m ; $u_{1c,n}$ – niepewność standardowa związana z próbkowaniem poziomu hałasu dla zdarzenia akustycznego n ; $u_{1d,n}$ – niepewność standardowa związana z oszacowaniem średniej liczby zdarzeń akustycznych n ; u_2 – niepewność standardowa związana z błędami aparatury pomiarowej; u_3 – niepewność standardowa związana z położeniem mikrofonu; $c_{1a,m}$, $c_{1b,m}$ – odpowiednie współczynniki wrażliwości dla czynności m ; $c_{1c,n}$, $c_{1d,n}$ – odpowiednie współczynniki wrażliwości dla zdarzenia akustycznego n .

Niepewność rozszerzona wyznaczona dla jednostronnego przedziału ufności z prawdopodobieństwem $P = 95\%$, U , wynosi:

$$U = k u(L_{EX,8h}) = 1,65 u(L_{EX,8h}) \quad (25)$$

gdzie:

k – współczynnik rozszerzenia.

Niepewność rozszerzoną wyniku badania można wyznaczyć, wykorzystując współczynniki rozszerzenia z rozkładu t -Studenta, co jest sposobem dokładniejszym. Dla zachowania spójności z normą PN-EN 9612:2011 proponuje się, aby we wzorze (23) można było opcjonalnie przyjąć wartość pochodzącą z rozkładu normalnego, tj. $k = 1,65$.

Składowe niepewności pomiaru

Współczynniki wrażliwości w metodzie pomiarów z podziałem na czynności (PN-EN ISO 9612:2011) oraz w metodzie pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych (Fugiel 2014) określone są następująco:

$c_{1a,m}$ – współczynnik związany z próbkowaniem równoważnych poziomów dźwięku A , $L_{p,A,eqT,m}$:

$$c_{1a,m} = \frac{T_m}{T_o} 10^{0,1(L_{p,A,eqT,m} - L_{EX,8h})} \quad (26)$$

gdzie:

T_m – średni czas trwania czynności m ; T_o – przedział czasowy odniesienia $T_o = 8h$; $L_{p,A,eqT,m}$ –

równoważny poziomu dźwięku A związany z czynnością m , $L_{EX,8h}$ – dzienny poziom ekspozycji na hałas (od wszystkich określonych czynności m i zdarzeń akustycznych n).

Współczynnik $c_{1b,m}$ związany z szacowaniem czasów trwania czynności T_m określa się na podstawie wzoru:

$$c_{1b,m} = 4,34 \frac{c_{1a,m}}{T_m} \quad (27).$$

Współczynnik $c_{1c,n}$ związany z próbkowaniem ekspozycyjnych poziomów dźwięku, SEL_n określa się na podstawie wzoru:

$$c_{1c,n} = \frac{N_n}{T_o} 10^{0,1(SEL_n - L_{EX,8h})} \quad (28)$$

gdzie:

N_n – średnia liczba zdarzeń akustycznych określonych dla czynności n ; SEL_n – ekspozycyjny

$$u_{1a,m} = \sqrt{\sum_{i=1}^I \left(\frac{\partial L_{p,A,eqT,m}}{\partial L_{p,A,eqT,mi}} \right)^2} u_A^2(L_{p,A,eqT,mi}) = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \left(10^{0,1(L_{p,A,eqT,mi} - L_{p,A,eqT,m})} \right)^2 \frac{1}{I(I-1)} \sum_{i=1}^I \left(L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m} \right)^2} \quad (30)$$

gdzie:

$\bar{L}_{p,A,eqT,m}$ – średnia arytmetyczna z I wartości równoważnego poziomu dźwięku A , zmierzonych dla czynności m , $L_{p,A,eqT,mi}$, tj.:

$$\bar{L}_{p,A,eqT,m} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{p,A,eqT,mi} \quad (31)$$

gdzie:

i – numer próbki dla czynności m ; I – ogólna liczba próbek dla czynności m .

Odchylenie standardowe poziomów $L_{p,A,eqT,mi}$ zmierzonych w poszczególnych próbkach, $s(L_{p,A,eqT,mi})$, określa się na podstawie wzoru:

$$s(L_{p,A,eqT,m}) = \sqrt{\frac{1}{(I-1)} \sum_{i=1}^I (L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m})^2} \quad (32)$$

Po podstawieniu powyższej zależności do wzoru (30) otrzymujemy :

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \left(10^{0,1(L_{p,A,eqT,mi} - L_{p,A,eqT,m})} \right)^2 \frac{s(L_{p,A,eqT,m})}{\sqrt{I}}} \quad (33)$$

U w a g a

Dla przypadków, w których różnice $(L_{p,A,eqT,mi} - L_{p,A,eqT,m})$ są na tyle mało istotne, że wartość pierwiastka we wzorze (33) jest bliska 1, wzór ten można uprościć do postaci podanej w normie PN-EN ISO 9612:2011, tj.:

$$u_{1a,m} \approx \frac{s(L_{p,A,eqT,m})}{\sqrt{I}} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \sum_{i=1}^I (L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m})^2} \quad (34)$$

poziom dźwięku A związany ze zdarzeniem akustycznym n .

Współczynnik $c_{1d,n}$ związany z szacowaniem liczby zdarzeń akustycznych N_n określa się na podstawie wzoru:

$$c_{1d,n} = 4,34 \frac{c_{1c,n}}{N_n} \quad (29).$$

Poszczególne niepewności standardowe zawarte we wzorze (24) określone są następująco (Fugiel 2014):

Niepewność standardowa $u_{1a,m}$ poziomu hałasu dla czynności m , wynikająca z próbkowania:

Niepewność standardowa $u_{1b,m}$ związana z szacowaniem czasów trwania czynności m może być praktycznie obliczona na podstawie danych uzyskanych od poszczególnych, upoważnionych do udzielania informacji osób lub na podstawie obserwacji. Można ją wyznaczyć w następujący sposób:

$$u_{1b,m} = u(\bar{T}_m) = s(\bar{T}_m) = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \sum_{j=1}^J (T_{m,j} - \bar{T}_m)^2} \quad (35)$$

przy czym J jest ogólną liczbą obserwacji lub informacji o czasie trwania czynności. Jeżeli zakres czasu wynika z analizy pracy, to oszacowaniem niepewności standardowej jest wartość $u_{1b,m} = 0,5 (T_{m,max} - T_{m,min})$.

Niepewność standardowa $u_{1c,n}$ związana z próbkowaniem ekspozycyjnego poziomu dźwięku A , SEL_n , podczas czynności n opisanej liczbą określonych zdarzeń / cykli pracy N_n , możliwa jest do wyznaczenia z równania (Fugiel 2014):

$$u_{1c,n} = u_A(SEL_n) = \sqrt{\sum_{k=1}^K \left(\frac{\partial SEL_n}{\partial SEL_{nk}} \right)^2} u_A^2(SEL_{nk}) = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (10^{0,1(SEL_{nk} - SEL_n)})^2 \frac{1}{K(K-1)} \sum_{k=1}^K (SEL_{nk} - \overline{SEL}_n)^2} \quad (36)$$

przy czym:

SEL_{nk} – ekspozycyjny poziom dźwięku A zmierzony w próbce k , związanej ze zdarzeniem akustycznym n ;
 SEL_n – ekspozycyjny poziom dźwięku A wyznaczony jako średni dla zdarzenia akustycznego n , ze wzoru:

$$SEL_n = 10 \lg \left(\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K 10^{0,1 SEL_{nk}} \right) \quad \text{dB} \quad (37)$$

gdzie:

k – numer próbki dla zdarzenia akustycznego n ; K – ogólna liczba próbek dla zdarzenia akustycznego;
 \overline{SEL}_n – średnia arytmetyczna z K wartości ekspozycyjnego poziomu dźwięku A , SEL_{nk} , zmierzonych dla czynności n , tj.:

$$\overline{SEL}_n = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K SEL_{nk} \quad (38)$$

Odchylenie standardowe poziomów SEL_{nk} zmierzonych w poszczególnych próbkach, $s(SEL_{nk})$, określa się na podstawie wzoru:

$$s(SEL_{nk}) = \sqrt{\frac{1}{(K-1)} \sum_{k=1}^K (SEL_{nk} - \overline{SEL}_n)^2} \quad (39)$$

Po podstawieniu powyższej zależności do wzoru (36) otrzymujemy:

$$u_{1c,n} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (10^{0,1(SEL_{nk} - SEL_n)})^2 \frac{s(SEL_{nk})}{\sqrt{K}}} \quad (40)$$

U w a g a

Dla przypadków, w których różnice $(SEL_{nk} - SEL_n)$ są na tyle mało istotne, że wartość pierwiastka we wzorze (40) jest bliska 1, można przyjąć (analogicznie jak we wzorze (34)):

$$u_{1c,n} \approx \frac{s(SEL_{nk})}{\sqrt{K}} = \sqrt{\frac{1}{K(K-1)} \sum_{k=1}^K (SEL_{nk} - \overline{SEL}_n)^2} \quad (41)$$

Niepewność standardowa $u_{1d,n}$ dotycząca oceny liczby zdarzeń \bar{N}_n w ciągu zmiany roboczej może być obliczona na podstawie danych uzyskanych od poszczególnych, upoważnionych do udzielania in-

formacji osób lub w inny sposób (np. na podstawie raportów produkcyjnych). Można ją wyznaczyć analogicznie, jak niepewność dla czynności n :

$$u_{1d,n} = u(\bar{N}_n) = s(\bar{N}_n) = \sqrt{\frac{1}{P(P-1)} \sum_{p=1}^P (N_{n,p} - \bar{N}_n)^2} \quad (42)$$

przy czym P jest ogólną liczbą obserwacji lub informacji o ilości zdarzeń N_n . Jeżeli zakres zdarzeń wynika z analizy pracy, to oszacowaniem niepewności standardowej jest wartość $u_{1b,m} = 0,5(N_{n,max} - N_{n,min})$.

Niepewność standardowa związana z wyposażeniem pomiarowym

Z dokonanego wyprowadzenia wzorów na składowe niepewności typu B, tj. niepewności cząstkowe związane z niedokładnością przyrządów pomiarowych

u_2 wynika, że są one tak samo określone dla wielkości SEL_n , jak i $L_{p,A,eqT,m}$. Należy więc je przyjąć zgodnie z tablicą C.5 podaną w normie PN-EN ISO 9612:2011 (tab. 2.).

Tabela 2.

Niepewność standardowa u_2 związana z wyposażeniem pomiarowym (PN-EN ISO 9612:2011)

Rodzaj wyposażenia pomiarowego	Niepewność standardowa $u_{2,m}$ oraz $u_{2,n}$, dB
Miernik poziomu dźwięku klasy 1 zgodny z wymaganiami normy IEC 61672-1:2002	0,7
Indywidualny miernik ekspozycji na dźwięk zgodny z wymaganiami normy IEC 61252	1,5
Miernik poziomu dźwięku klasy 2 zgodny z wymaganiami normy IEC 61672-1:2002	1,5

Niepewność standardowa związana z pozycją pomiarową

Niepewność standardowa u_3 związana z wyborem miejsca usytuowania mikrofonu oraz z jego ukierunkowaniem, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9612:2011, wynosi 1,0 dB.

Metoda dostosowania danych wejściowych

Zalecenia dotyczące realizacji pomiarów i wyznaczenia ekspozycji zawodowej na hałas

Metoda dostosowania danych wejściowych jest opracowaniem własnym (Fugiel 2017). Polega ona na tym, że:

- wybrane czynności lub sytuacje akustyczne (jedna lub więcej spośród wszystkich opisujących nominalny dzień pracy) są scharakteryzowane za pomocą zdarzeń akustycznych lub cykli pracy oraz ich liczby (analogicznie, jak w metodzie pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych),

- czas trwania czynności wyznacza się na podstawie iloczynu liczby zdarzeń akustycznych oraz czasu trwania pojedynczego zdarzenia (wyznaczonego podczas pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A), na podstawie wzorów (8) i (9a) lub (8) i (9b),

- pomiary próbek hałasu przeprowadza się zgodnie z wymaganiami wymienionymi w metodzie pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych (p. 2.1.2. „Zalecenia dotyczące realizacji pomiarów i wyznaczenia ekspozycji zawodowej na hałas”), przy czym każdy z ww. pomiarów powinien obejmować w całości określone zdarzenie akustyczne / cykl pracy,

- wartości: $L_{p,A,eqT,m}$, $L_{EX,8h,m}$, $L_{EX,8h}$ oraz ich niepewności oblicza się według zależności przedstawionych w metodzie pomiarów z podziałem na czynności, przy czym:

- należy zastosować dodatkowo wzór (44) zapewniający dostosowanie wyników pomiarów elementarnych (próbek) równoważnego poziomu dźwięku A, $L_{p,A,eqT,m}$
- składową niepewności związaną z czasem trwania czynności m należy oszacować na podstawie wzorów (46) ÷ (49) – co dopuszcza norma PN-EN ISO 9612:2011.

Wyznaczenie wartości poziomu $L_{p,A,eqT,m}$ dla czynności oraz jej niepewności

Jeśli czasy pomiarów poszczególnych próbek t_{mi} mogą być różne, to równoważny poziom dźwięku A dla czynności m ($L_{p,A,eqT,m}$) można obliczyć z następujących zależności:

$$L_{p,A,eqT,m} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^I \frac{t_{mi}}{t_{m,e}} 10^{0,1xL_{p,A,eqT,mi}} \right) = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^I \frac{t_{mi}}{I \bar{t}_m} 10^{0,1xL_{p,A,eqT,mi}} \right) \text{ dB} \quad (43)$$

gdzie:

t_{mi} – czas pomiaru próbki równoważnego poziomu dźwięku A ($L_{p,A,eqT,mi}$); \bar{t}_m – średni czas pomiaru próbki hałasu obliczony ze wzoru (8); $t_{m,e}$ – suma czasów pomiarów wszystkich próbek hałasu t_{mi} :

$$t_{m,e} = I \bar{t}_m,$$

przy czym I to ogólna liczba wszystkich próbek hałasu.

Wyniki pomiarów równoważnych poziomów dźwięku A ($L_{p,A,eqT,mi}$) należy zastąpić wartościami, które są im równoważne energetycznie i które można wyznaczyć z zależności:

$$L_{p,A,eqt,mi} = 10 \lg \left(\frac{t_{mi}}{\bar{t}_m} \right) + L_{p,A,eqT,mi} \quad (44)$$

gdzie:

$L_{p,A,eqt,mi}$ – wynik pomiaru w czasie t_{mi} próbki równoważnego poziomu dźwięku A, $L_{p,A,eqT,mi}$ po przeliczeniu go na odpowiadającą mu energetycznie wartość ww. poziomu obliczonego dla średniego czasu pomiaru \bar{t}_m .

Po przekształceniu powyższego równania w zależność określającą $L_{p,A,eqt,mi}$, a następnie podstawieniu jej do równania (43), otrzymujemy zależność analogiczną do przedstawionej w 1. strategii pomiarowej (1):

$$L_{p,A,eqT,m} = 10 \lg \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1xL_{p,A,eqt,mi}} \right) \text{ dB} \quad (45)$$

W celu obliczenia równoważnego poziomu dźwięku A dla czynności m ($L_{p,A,eqT,m}$), (w sposób nadający się do stosowania również w przypadkach, gdy czasy pomiarów próbek nie są jednakowe) można zastosować zależność przedstawioną w 1. strategii pomiarowej we wzorze (9a) lub (9b) z zastrzeżeniem, że wyniki pomiarów poszczególnych próbek ($L_{p,A,eqt,mi}$) będą zastąpione wartościami przeliczonymi

na podstawie wzoru (44). Wartości te stanowią wyniki pomiarów przeprowadzonych w różnych okresach czasu t_{mi} , po dokonaniu ich dostosowania do tego samego (średniego) czasu pomiaru \bar{t}_m w sposób zgodny z zasadą zachowania energii.

Przeliczone na podstawie wzoru (44) wartości wyników pomiarów należy wykorzystać do obliczenia niepewności poziomu $L_{p,A,eqt,m}$, $u(L_{p,A,eqt,m})$, na podstawie zamieszczonych w normie zależności (wzory od (C3) do (C7) podane w załączniku C ww. normy), opcjonalnie z wykorzystaniem podanego w artykule wzoru (33), z ewentualnym zastrzeżeniem poczynionym w rozdziale: „Kryterium stosowalności metody”.

Wyznaczenie wartości czasu trwania czynności T_m oraz jej niepewności

Czas trwania czynności, T_m , wyznacza się zgodnie z zależnościami (8) i (9a) albo (8) i (9b) na podstawie przeciętnej liczby zdarzeń akustycznych/cykli pracy N_m oraz średniego czasu pomiaru pojedynczego zdarzenia/cyklu pracy \bar{t}_m . Jeśli pomiar każdej próbki zawiera tylko jedno zdarzenie / cykl pracy, wówczas stosujemy wzór (9a) lub (9b):

$$\bar{T}_m = \bar{N}_m \bar{t}_m$$

Składową niepewności związaną z czasem trwania czynności m , $u_{1,b,m}$, określa się na podstawie wzoru, który został wyprowadzony z prawa propagacji niepewności:

$$u_{1,b,m} = \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{T}_m}{\partial \bar{N}_m} u(\bar{N}_m)\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{T}_m}{\partial \bar{t}_m} u(\bar{t}_m)\right)^2} = \sqrt{\left(\bar{t}_m u(\bar{N}_m)\right)^2 + \left(\bar{N}_m u(\bar{t}_m)\right)^2} \quad (46)$$

przy czym:

$u(\bar{N}_m)$ – niepewność związana z ustaloną liczbą zdarzeń akustycznych/cykli pracy, wyznaczona analogicznie jak w zależności (40) lub (41):

$$u(\bar{N}_m) = \sqrt{\frac{1}{P(P-1)} \sum_{p=1}^P \left(N_{m,p} - \bar{N}_m\right)^2} \quad (47)$$

przy czym:

\bar{N}_m – przeciętna liczba zdarzeń podczas realizacji czynności m (określona np. jako średnia arytmetyczna z P informacji o ww. liczbie zdarzeń),

$$\bar{N}_m = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P N_{m,p} \quad (48)$$

przy czym:

$u(\bar{t}_m)$ – niepewność związana z czasem trwania pomiaru próbki hałasu zawierającego pomierzone zdarzenie akustyczne $t_{m,i}$, odpowiadająca niepewności określenia średniego czasu trwania wymienionego zdarzenia,

$$u(\bar{t}_m) = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \sum_{i=1}^I \left(t_{m,i} - \bar{t}_m\right)^2} \quad (49)$$

przy czym:

\bar{t}_m – średnia arytmetyczna z I pomiarów, z których określono średni czas trwania zdarzenia akustycznego dla czynności m , wyznaczona zgodnie z zależnością:

$$\bar{t}_m = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I t_{m,i} .$$

U w a g a

W metodzie dostosowania danych wejściowych oraz w metodzie pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych, sposób pomiaru próbki hałasu, polegający na tym, że zawiera się w nim całkowicie pomierzone zdarzenie akustyczne / pełny cykl pracy, powoduje, że zachodzi równość: $t_{mi} = t_{m,i}$ (co ma znaczenie w interpretacji wzorów zawierających ww. symbole).

U w a g a

Bardzo podobne (choć nie według identycznego wzoru) podejście do wyznaczania czasu trwania czynności T_m , jak w metodzie dostosowania danych wejściowych, tj. na podstawie zależności (9), można wskazać w procedurze pomiarów hałasu ultradźwiękowego (Radosz 2015).

W tabeli 3. przedstawiono przykład wykorzystania tej metody oraz sposobu walidacji jej algorytmu obliczeniowego, który przeprowadzono za pomocą porównania jej wyników z rezultatami uzyskanymi za pomocą metody pomiaru pojedynczych zdarzeń akustycznych i wyników obliczonych według zależności ogólnej (6), którą w rozpatrywanym przypadku potraktowano jako referencyjną.

Tabela 3.

Porównanie wyników obliczeń wykonanych metodą dostosowania danych wejściowych, metodą pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych oraz obliczonych z zależności ogólnej

Lp.	Opis pomiaru lub zdarzenia akustycznego	Wyniki pomiarów akustycznych dla czynności <i>m</i>			
		poziom równoważny $L_{p,A,eqT,mi}$, dB	poziom ekspozycyjny $L_{EX,15} = SEL_{mi}$, dB	czas pomiaru t_{mi} , s	równoważny poziom dźwięku (dostosowany), $L_{p,A,eq,t,mi}$, dB $L_{p,A,eq,mi} = L_{p,A,eqT,mi} + 10 \log \left(\frac{t_{mi}}{t_m} \right)$
1	Zbijanie palet	86,6	111,9	340	83,0
2	za pomocą młotka	92,1	116,9	300	88,0
3	Zbijanie palet, przerwy	83,5	111,7	655	82,7
4	w realizacji czynności	82,2	111,2	790	82,3
5	Jw. znaczne przerwy	78,8	110,8	1570	81,8
6	w realizacji czynności	79,8	111,2	1392	82,3
7	Zbijanie palet, przerwy	84,9	112,5	573	83,6
8	w realizacji czynności	85,0	112,9	620	84,0
9	Rozstępowanie	13,3	6,1	–	6,1
Różna intensywność pracy źródła oraz liczne i dłuższe przerwy w realizacji czynności powodują zmienność wyników pomiarów oraz różne czasy trwania pomiarów próbek		dane wejściowe wzięte z przykładu pomiarowego 1. (tab. 1.). Każda próbka zawierała $n_p = 3$ zdarzeń akustycznych/cykli pracy. Niepewności typu A, $U_{A,95}$ oszacowano dla $P = 95\%$ i dwustronnego przedziału ufności, na podstawie wzorów (33), (36) i poniższych zależności: $u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \left(10^{0,1(L_{p,A,eqT,mi} - L_{p,A,eqT,m})} \right)^2 \frac{s(L_{p,A,eqT,m})}{\sqrt{I}}}; \quad U_{A,95} = 2u_{1a,m} \quad \text{dB}$			
10	Niepewność $U_{A,95}$, dB	3,0	2,4	–	2,4
Porównanie wyników obliczeń $L_{p,A,et,m}$ oraz $L_{EX,8h,m}$ przeprowadzonych różnymi metodami:					
11	Metoda wyznaczenia równoważnego / ekspozycyjnego poziomu dźwięku A i czasu czynności / liczby zdarzeń	Wzory obliczeniowe na równoważny poziom dźwięku A $L_{p,A,et,m}$ i poziomy ekspozycji na hałas, $L_{EX,8h,m}$			
		wartość poziomu $L_{p,A,et,m}$ lub SEL_m , dB		wartość poziomu ekspozycji $L_{EX,8h,m}$, dB	
12	Równoważny poziom dźwięku A obliczony z zależności ogólnej uwzględniającej zasadę zachowania energii (metoda I – testowa)	$L_{p,A,eqT,m} = 10 \lg \left(\frac{1}{\sum_i t_{mi}} \sum_{i=1}^I t_{m,i} 10^{0,1L_{p,A,eqT,mi}} \right)$		$L_{EX,8h,m} = 10 \lg \left(\frac{T_m}{T_0} \sum_{i=1}^I \frac{t_{m,i}}{\sum_{i=1}^I t_{m,i}} 10^{0,1L_{p,A,eqT,mi}} \right)$	
	$\bar{T}_m = 208 \text{ min} = 12\,480 \text{ s}$ z wywiadu w z-dzie	83,9		80,3	
13	Ekspozycyjny poziom dźwięku A wyznaczony dla określonego (i reprezentatywnego) zdarzenia akustycznego (metoda II)	$SEL_m = 10 \lg \left(\frac{\sum_{k=1}^K 10^{0,1SEL_{mk}}}{\sum_k n_k} \right)$		$L_{EX,8h,m} = SEL_m + 10 \lg \bar{N}_m - 10 \lg T_0$	
	$\bar{N}_m = 3 \bar{T}_m / \bar{t}_m = 48$ – wg danych zakładu	108,1		80,3	
14	Równoważny poziom dźwięku A obliczony z poziomów dostosowanych (metoda III)	$L_{p,A,eqT,m} = 10 \lg \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1L_{p,A,eqT,mi}} \right)$		$L_{EX,8h,m} = 10 \lg \left(\frac{T_m}{T_0} \sum_{k=1}^K \frac{1}{I} 10^{0,1L_{p,A,eqT,mi}} \right)$	
	$\bar{T}_m = \bar{t}_m \bar{N}_m = 208 \text{ min} = 12\,480 \text{ s}$ (dostosowany)	83,9		80,3	
Wnioski	Wyniki pomiarów metodą I (referencyjną – uwzględniającą zasadę zachowania energii) oraz metodą II (pojedynczych zdarzeń akustycznych) i metodą III (dostosowania danych wejściowych), tj. poziomy $L_{EX,8h,m}$ i $L_{p,A,eqT,m}$, są identyczne. Metoda II oraz III charakteryzują się mniejszym rozrzutem wyników pomiarów i niepewnością typu A.				

Kryterium stosowalności metody

Zalecanym kryterium stosowalności metody (nie w sposób bezwzględny, lecz w zależności od okoliczności) jest uzyskanie mniejszych wartości rozstępu wyników pomiarów SEL_{mi} niż rozstępu wyników

$L_{p,A,eqT,m}$ otrzymanych w tych samych próbkach hałasu. W przeciwnym wypadku wprawdzie wyniki końcowe badań, $L_{EX,8h,m}$ i $L_{EX,8h}$ wyznaczone zostaną prawidłowo, jednakże ich niepewności mogą okazać się przeszacowane.

DYSKUSJA

Zestawiając nieco inaczej zapisaną zależność (3) oraz (13) uzyskano:

$$L_{EX,8h,m} = L_{p,A,eqT,m} + 10 \lg \left(\bar{T}_m \right) - 10 \lg(T_o) = SEL_m + 10 \lg(\bar{N}_m) - 10 \lg 28800.$$

Na podstawie przedstawionego powyżej równania można zauważyć, że dzienny poziom ekspozycji na hałas związany z czynnością m można obliczyć na podstawie zależności i wielkości wskazanych w 1. strategii pomiarowej (tj. pomiarów z podziałem na czynności), zastępując:

- czas trwania czynności m , T_m – liczbą zdarzeń związanych z tą czynnością, N_m ,
- równoważny poziom dźwięku A , $L_{p,A,eqT,m}$ – poziomem ekspozycyjnym SEL_m ,
- czas odniesienia T_o – czasem odniesienia T_o wyrażonym w sekundach.

Skutki powyższego można praktycznie przyjąć jako specyficzną zamianę / transformację zmiennych, potraktowanych jako dane wejściowe procesu pomiarowego⁷.

W związku z brakiem wyników pomiarów uzyskanych za pomocą metody referencyjnej (np. pomiarów całodziennych⁸ przeprowadzonych na kilku zmianach roboczych) wyniki pomiarów uzyskanych za pomocą metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych oraz metody dostosowania danych wejściowych porównano:

- wzajemnie (uzyskanie za pomocą różnych metod tych samych rezultatów potwierdziło

ich wiarygodność oraz wskazuje, że są one spójne i poprawne w zakresie dokonanych obliczeń, tab. 6. z omówieniem),

- z wynikami obliczonymi za pomocą zależności ogólnej wyrażonej wzorem (6), (co jest podstawą do wniosku o poprawności merytorycznej obu proponowanych metod – tab. 6.),
- z wynikami uzyskanymi za pomocą metody pomiarów z podziałem na czynności, tj. opisanej w normie 1. strategii pomiarowej (co pozwala oszacować możliwe do popełnienia błędy pomiarowe); przykład pomiarowy 2 i obliczenia w przykładzie pomiarowym 3),
- w zakresie wiarygodności danych wejściowych służących do oszacowania czasów trwania czynności (lub liczby zdarzeń akustycznych), wykorzystywanych przez wszystkie ww. metody (co daje wskazanie, które z analizowanych metod można uznać za stosunkowo dokładniejsze – rozdział: „Wybrane aspekty praktycznej realizacji pomiarów hałasu za pomocą 1. strategii pomiarowej),
- w zakresie uzyskanych wartości niepewności typu A, związanej z rozrzutem statystycznym wyników pomiarów poszczególnych próbek (co daje wskazanie, którą z analizowanych

⁷ Stąd też w materiałach przedstawiających tę metodę (Fugiel 2014; Fugiel 2017) nazwano ją roboczo metodą transformacji, Miało to na celu podkreślenie jej spójności i wzajemnej przeliczalności z przedstawioną w normie 1. strategią pomiarową (PN-EN ISO 9612:2011).

⁸ Ponieważ zależność ogólna (6) wykorzystuje ten sam algorytm obliczeniowy co metoda pomiarów ciągłych, jak również dane wejściowe do porównywanych metod, uzyskane są w tych samych punktach pomiarowych i w tym samym czasie (oraz są identyczne), istnieją przesłanki, aby wyniki obliczeń przeprowadzonych za pomocą ww. zależności ogólnej (6) przyjąć jako substytut wartości referencyjnych. Tym bardziej, że pomijając ważne zagadnienie wiarygodności i weryfikowalności danych wejściowych, obie prezentowane metody oraz 1. strategia pomiarowa różnią się jedynie algorytmami obliczeniowymi. Zależność ogólną (6), jako słuszną dla każdego przypadku pomiarowego, można w ww. okolicznościach potraktować jako wzór referencyjny.

metod można uznać za stosunkowo dokładniejszą – tabele 3. i 6. oraz przykład pomiarowy 1),

- w zakresie wpływu na wyniki końcowe (dziennie poziomy ekspozycji na hałas $L_{EX,8h}$, $L_{EX,8h,m}$) niereprezentatywnych warunków badań związanych z przerwami i nietypowym przebiegiem cykli pracy podczas wykonywania pomiarów hałasu (co wskazuje, którą z porównywanych metod można uznać za stosunkowo dokładniejszą – komentarze do rysunków 1. i 2. oraz tab. 3.).

Metoda pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych, metoda dostosowania danych wejściowych oraz 1. strategia pomiarowa (PN-EN ISO 9612:2011) przy spójnych i odpowiadających sobie danych wejściowych (a w przypadku metody pomiarów z podziałem na czynności, przy jednakowych czasach pomiarów próbek) dają identyczne wyniki. Praktyka pomiarowa i wyniki porównania przedstawione w tabeli 3. wykazują jednak, że niepewność pomiarów pierwszej i drugiej z wymienionych metod jest w typowym przypadku istotnie mniejsza.

W przypadkach pomiarowych, w których ma miejsce znaczna zmiana intensywności pracy oraz występują nieregularne przerwy w realizacji czynności lub zdarzeń akustycznych, metoda pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych oraz metoda dostosowania danych wejściowych pozwalają na uzyskanie bardziej powtarzalnych pomiarów, ponieważ nawet znaczne zmiany jedynie czasu pomiaru obejmującego całkowicie ten sam ciąg zdarzeń akustycznych, nie zmieniają wyników dotyczących poziomu ekspozycyjnego SEL – co przedstawiono na rysunku 2. Jednocześnie, metoda ta szczególnie nadaje się do pomiarów krótkotrwałych zdarzeń akustycznych (rzędu sekund), zwłaszcza wtedy, gdy ich zaistnienie w procesie technologicznym jest trudno przewidywalne (np. zrzut pary lub sprężonego powietrza w razie nadmiernego wzrostu ciśnienia). W takich przypadkach włączenie pomiaru hałasu przed wystąpieniem krótkotrwałego zjawiska akustycznego pozwala na uniknięcie błędów związanych z opóźnionym rozpoczęciem pomiaru, jak również wydłużenie pomiaru (np. w oczekiwaniu na kontynuację zdarzenia lub zakończenie cyklu pracy) nie zmienia wyniku pomiaru ekspozycyjnego poziomu dźwięku A, $SEL_{m,i}$, oraz wyniku pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A otrzymanego za pomocą metody dostosowania danych wejściowych, tj. po przeliczeniu go na pod-

stawie wzoru (44), $L_{p,A,eqT,mi}$. Z przedstawionych powodów rozrzut wyników pomiarów SEL_{mi} oraz $L_{p,A,eqT,mi}$ jest znacznie mniejszy od rozrzutu wyników pomiarów poziomu $L_{A,eqT,mi}$.

Istnieją incydentalnie przypadki pomiarowe, w których pomimo takich samych wyników końcowych badania, oszacowana niepewność jest mniejsza, gdy stosuje się metodę pomiarów z podziałem na czynności. Ma to miejsce wtedy, gdy rozrzut wyników pomiarów uzyskanych tą metodą jest mniejszy. Wystąpienie takiej relacji należy wówczas potraktować nie tyle jako jedno z kryteriów wyboru metody obliczania wyniku badania poziomu $L_{EX,8h,m}$, lecz także jako kryterium sposobu szacowania jego niepewności (jeśli jest odwrotnie, oznacza to, że metoda pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych jest dokładniejsza).

W tabeli 6. przedstawiono przykłady wyników pomiarów hałasu przeprowadzonych na tym samym, rzeczywistym stanowisku pracy, wykonanych dwoma metodami: za pomocą 1. strategii pomiarowej oraz za pomocą metody dostosowania danych wejściowych – której realizacja prowadzi do uzyskania identycznych wyników (cząstkowych i końcowych), jak w metodzie pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych. Stąd też wnioski wyciągnięte dla jednej z ww. metod są właściwe dla drugiej.

Jak łatwo zauważyć (tab. 6), wykorzystanie metody dostosowania danych wejściowych lub metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych nie prowadzi do utraty żadnych danych akustycznych charakteryzujących narażenie pracownika na hałas na badanym stanowisku pracy. We wszystkich przedstawionych w tabeli 6. przykładach stosowania poszczególnych metod pomiarowych, znajdują się bowiem takie podstawowe wartości, jak: równoważne poziomy dźwięku A podczas wykonywania określonych czynności m , $L_{p,A,eqT,m}$, czasy trwania tych czynności T_m , poziom równoważny w ciągu całego czasu narażenia L_{p,A,eqT_e} , związana z nimi ekspozycja na hałas E_{A,T_e} , dzienny poziom ekspozycji na hałas $L_{EX,8h}$, niepewności wyników pomiarów itd.

Mając na uwadze spójność pomiarową i zasady wykonywania pomiarów, metodę pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych oraz metodę dostosowania danych wejściowych można uznać za formę rozwinięcia przedstawionej w normie PN-EN ISO 9612:2011 1. strategii pomiarowej, polegającą w praktyce na rozszerzeniu jej stosowania o dziedzinę zdarzeń akustycznych oraz zapewnieniu bardziej wygodnych w realizacji wymagań dotyczących czasów trwania pomiarów próbek hałasu, momen-

tów ich rozpoczynania, momentów zakończenia oraz ewentualnych przerw w realizacji czynności.

Z przedstawionych powodów, jest uzasadnione rozważenie stosowania w praktyce metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych oraz metody dostosowania danych wejściowych nie na zasadzie odstępstwa dla uzasadnionych dokładnością przypadków, lecz w ramach akredytowanej normy PN-EN ISO 9612:2011, jako formy realizacji 1. strategii pomiarowej, tj. metody pomiarów z podziałem na czynności. W kwestii tej istotne jest ustalenie Polskiego Centrum Akredytacji zawarte w dokumencie formalnym DAB-07 (2019) „Akredytacja laboratoriów badawczych. Wymagania szczegółowe”. W p. 3.1. „Zakres akredytacji” ww. dokumentu stwierdza się, że, cyt.: „W przypadku badań wykonywanych metodami alternatywnymi do metod wskazanych w przepisie prawa, i gdy przepis prawa dopuszcza stosowanie takich metod, uznanie metody alternatywnej za metodę równoważną odbywa się na zasadach określonych w tym przepisie lub zasadach wskazanych przez właściwego regulatora”. Oznacza to, że Minister Zdrowia, który jest w tym przypadku właściwym regulatorem, może

podjąć decyzję usuwającą przeszkody formalne uniemożliwiające stosowanie przedstawionych metod w obszarze regulowanym, w ramach posiadanej akredytacji⁹.

Pomiary maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C

Metoda pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych oraz metoda dostosowania danych wejściowych nie wymagają przeprowadzenia osobnych pomiarów celem wyznaczenia określonego w normie PN-N-01307:1994 1304 maksymalnego poziomu dźwięku A, $L_{A\ max}$, oraz określonego w normie PN-EN ISO 9612:2011 szczytowego poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową C, $L_{C\ peak}$, ponieważ stosowana powszechnie aparatura pomiarowa umożliwia w każdym pomiarze jednoczesne pozyskiwanie wartości ww. wielkości wraz z wartością poziomu ekspozycyjnego SEL. Oznacza to, że sposoby wyznaczenia tych poziomów mogą pozostać takie same, jak podczas stosowania 1. strategii pomiarowej.

PRZYKŁADOWE WYNIKI BADAŃ HAŁASU Z ZASTOSOWANIEM RÓŻNYCH METOD POMIAROWYCH

Przykład pomiarowy (nr 2)

Oprócz czynności wymienionych w przykładzie pomiarowym (nr 1), pomocnik stolarza w swoim nominalnym dniu pracy narażony jest na hałas przy wykonywaniu zadań wymienionych w tabeli 4.

W związku z tym wykonano pomiary równoważnego poziomu dźwięku A, $L_{p,A,eqT,m}$, których wyniki wraz z wartościami czasów trwania czynności zamieszczono w tabeli 4.

Tabela 4.

Uzupełnienie wyników pomiarów hałasu na stanowisku pracy pomocnika stolarza podanych w przykładzie pomiarowym (nr 1), (tab. 1.)

Wielkość mierzona	Wyniki pomiarów elementarnych podczas realizacji pełnych cykli pracy								Rozrzut wyników
Wyniki pomiarów podczas czynności 3 (przygotowanie powierzchni do impregnacji)									rozstęp
Poziom równoważny $L_{p,A,eqT,m}$, dB	79,1	80,0	77,5	79,1	–	–	–	–	2,5
Czas pomiaru t_{mi} , s	300	301	302	300	–	–	–	–	2
SEL _{m,i} , dB	103,9	104,8	102,3	103,9					2,5
Równoważny poziom dźwięku A dla czynności 3, wyznaczony na podstawie wzoru (1), tj. według wzoru normy PN-EN ISO 9612:2011: $L_{p,A,eqT,m} = 79,0$, w dB									–

⁹ Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Rzeszowie w listopadzie 2018 r. złożyła Grupie Ekspertów ds. Hałasu przy Międzyresortowej Komisji do spraw NDN i NDS dla Zdrowia w Środowisku pracy propozycję zwrócenia się do Ministra Zdrowia o uznanie obu przedstawionych metod za równoważne 1. strategii pomiarowej – metodzie pomiarów z podziałem na czynności, opisanej w PN-EN ISO 9612:2011.

cd. tab. 4

Wielkość mierzona	Wyniki pomiarów elementarnych podczas realizacji pełnych cykli pracy								Rozrzut wyników
Czas trwania czynności 3 podany przez kierownictwo zakładu: $\bar{T}_m = 20 \pm 5$ min									–
Wyniki pomiarów podczas czynności 4 (impregnacja detali)									rozstęp
Poziom równoważny $L_{p,A,eqT,m}$ dB	77,2	78,5	78,8	77,8	–	–	–	–	1,6
Czas pomiaru t_{mi} , s	300	303	309	302	–	–	–	–	9
SEL $_{mi}$, dB	102,0	103,3	103,7	102,6	–	–	–	–	–
Równoważny poziom dźwięku A dla czynności 4, wyznaczony na podstawie wzoru (1), tj. według wzoru normy PN-EN ISO 9612:2011: $L_{p,A,eqT,m} = 78,1$, w dB									–
Czas trwania czynności 4 podany przez kierownictwo zakładu: $T_m = 20 \pm 5$ min									–

Dzienny poziom ekspozycji na hałas wyznaczony ściśle wg wzoru normy, tj. wg zależności (2) wynosi:

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left(\sum_{m=1}^M \frac{\bar{T}_m}{T_o} 10^{0,1L_{p,A,eqT,m}} \right) = 10 \lg \left(\frac{210}{480} 10^{0,1 \cdot 86,1} + \frac{210}{480} 10^{0,1 \cdot 85,5} + \frac{20}{480} 10^{0,1 \cdot 79,0} + \frac{20}{480} 10^{0,1 \cdot 78,1} \right),$$

$$L_{EX,8h} = 85,3 \text{ dB.}$$

Dzienny poziom ekspozycji na hałas wyznaczony z wykorzystaniem metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych, tj. na podstawie zależności (21) wynosi:

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left(\sum_{n=1}^N \frac{\bar{N}_m}{T_o} 10^{0,1SEL_n} + \sum_{m=N+1}^M \frac{\bar{T}_m}{T_o} 10^{0,1L_{p,A,eqT,m}} \right),$$

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left(\frac{48}{28800} 10^{0,1 \cdot 108,1} + \frac{24}{28800} 10^{0,1 \cdot 106,1} + \frac{20}{480} 10^{0,1 \cdot 79,0} + \frac{20}{480} 10^{0,1 \cdot 78,1} \right) = 81,7 \text{ dB.}$$

Różnica otrzymanych wyników za pomocą ww. metod wynosi:

$$R = 85,3 - 81,7 = 3,6 \text{ dB.}$$

U w a g a

Przedstawiona powyżej rozbieżność wyników jest przede wszystkim rezultatem niespójnych danych wejściowych (czasów czynności T_m i liczby zdarzeń akustycznych N_m otrzymanych od tej samej osoby informującej). Ważne jest jednak to, że na wartości tych danych wpływa sposób ich pozyskiwania, który jest uzależniony w bardzo istotnym stopniu od zastosowanej metody pomiarowej.

Przykład pomiarowy (nr 3)

W celu wyznaczenia dziennego poziomu ekspozycji na hałas na stanowisku montażysty okien ustalono jakie czynności wykonuje pracownik w ciągu zmiany roboczej oraz jakie są przeciętne czasy ich wykonywania. Ustalono też liczbę zdarzeń akustycznych, jakie mają miejsce podczas realizacji ww. czynności. Uzyskane dane oraz wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5.

Porównanie wyników badań uzyskanych za pomocą 1. strategii pomiarowej przedstawionej w normie PN-EN ISO 9612:2011 oraz przy zastosowaniu metody pomiaru pojedynczych zdarzeń akustycznych (Fugiel 2017)

Strefa pracy	Czynność, sytuacja lub zdarzenie akustyczne	Wyniki pomiarów dziennego poziomu ekspozycji na hałas					
		metoda pomiarów z podziałem na czynności			metoda pomiaru pojedynczych zdarzeń akustycznych		
		$L_{p,A,eq,T_{mr}}$ dB	T_{mr} min	$L_{EX,8h,mr}$ dB	SEL_m dB	N_{mr} zdarzenia	$L_{EX,8h,mr}$ dB
A	wiercenie otworów i wkręcanie wkrętów	84,8	30	72,0	89,8	530	72,4
B	wiercenie otworów i wkręcanie zawiasów	75,8	30	63,8	90,8	120	67,0
C	zgrzewanie	64,2	120	58,2	85,0	30	55,2
D	czyszczenie profili diaksem	90,2	60	81,2	105,6	45	78,5
E	czyszczenie na czyszczarce	84,7	60	75,7	103,9	30	74,1
F	przedmuchiwanie sprężonym powietrzem	95,5	30	83,5	107,4	30	77,6
G	docinanie listew okiennych	85,6	60	76,6	105,0	20	73,4
Całe stanowisko pracy	dzienny poziom ekspozycji na hałas $L_{EX,8h}$ dB	86,5			83,0		
Uwagi	wyniki pomiarów pochodzą z autentycznych, rutynowych badań. Poziomy ciśnienia akustycznego L_{p,A,eq,T_m} w metodzie pomiarów z podziałem na czynności obliczono z uwzględnieniem czasów trwania pomiarów poszczególnych próbek (tzn. z „wagą czasową pomiaru”).						

Przykład pomiarowy (nr 4)

Na tym samym, rzeczywistym stanowisku pracy wykonano pomiary hałasu trzema sposobami: za pomocą 1. strategii pomiarowej – gdy czasy czynności ustalone zostały bezpośrednio z wywiadu, za pomocą 1. strategii pomiarowej – gdy czasy czynności obliczone zostały na podstawie iloczynu liczby zdarzeń/cykli pracy oraz zmierzonego średniego czasu trwania pojedynczego zdarzenia, a także za pomocą metody dostosowania danych wejściowych. Wszystkie dane pomiarowe przyjęte w ww. przykładach pochodzą z pomiarów tych samych próbek hałasu.

Można zauważyć, że w realizacji 1. strategii pomiarowej, już samo zastosowanie innego sposobu oceny czasu T_m powoduje znaczną zmianę wyniku końcowego badania, tj. poziomu $L_{EX,8h}$ (w podanym przykładzie o kilka dB). Ponieważ, zaistniały istot-

ne powody, aby sposób wyznaczenia czasu trwania czynności T_m z wariantu II uznać za bardziej wiarygodny, to dla rozpatrywanego stanowiska pracy można uznać, że mogła nastąpić analogiczna zmiana dokładności wyniku. Z zestawienia podanych w tabeli 6. przykładów obliczeń wynika, że wykorzystanie metody dostosowania danych wejściowych (wariant III) powoduje kolejną zmianę wyników końcowych badań względem rezultatów otrzymanych w wariantach I i II 1. strategii pomiarów. Ponieważ, metoda dostosowania danych wejściowych jest w znaczącym stopniu odporna na niereprezentatywne warunki pomiaru, również i w tym przypadku nastąpiła poprawa dokładności wyniku końcowego badania.

Tabela 6.

Porównanie wyników pomiarów przeprowadzonych różnymi metodami, przedstawione na fragmencie rutynowego sprawozdania z pomiarów hałasu w środowisku pracy (opracowano w Laboratorium Hałasu i Wibracji Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Rzeszowie)

ZDPO-09/HW/1 data wydania: 10.01.2017 r.

KARTA WYNIKÓW BADAŃ HAŁASU NR - x x

x x /17

przeprowadzonych dn. 2017-07-11 w x x x x x x x x x

na stanowisku: **Operator maszyny rozlewniczej i operator wózka widłowego**

strefa/nr pomiaru	Sytuacja akustyczna	czas ekspozycji	Poziom dźwięku za czas obserwacji			Ekspozycja na hałas $E_{A,T,m}$	DANE I WYNIKI SZACOWANIA NIEPEWNOŚCI POMIARU POZIOMU RÓWNOWAŻNEGO wyznaczone z prawdopodobieństwem 95%							
			równo-ważny	maksy-malny	szczy-towy		w dB							
			$L_{p,A,eqT,m}$	$L_{p,A,max}$	$L_{p,C,peak}$		U_r^{+95}	$u_{1a,m}$	$c_{1a,m}$	R	n	$u_{1b,m}$	$c_{1b,m}$	
			[dB]	[dB]	[dB]		[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[godz]	[dB]	
Wariant I: ocena wg Strategii I														
czasy ekspozycji ustalone bezpośrednio z wywiadu														
A	55 min. / zm.	81,2	99,1	115,3	170	2,1	0,4	0,1	2,6	7	0,1	0,2		
- prace transportowe wózkiem widłowym CPQYD50-RXW 57 (na hali prod. i poza halą)														
B	180 min. / zm.	88,6	95,8	117,1	316	2,3	0,6	0,9	2,5	4	1,0	1,4		
- obsługa maszyny rozlewniczej - wypełnienie gąsek														
Wariant II: ocena wg Strategii I														
czasy ekspozycji obliczone z liczby cykli pracy i przeciętnego czasu ich trwania														
A	22 min. / zm.	81,2	99,1	115,3	70	2,1	0,4	0,0	2,6	7	0,1	0,5		
- prace transportowe wózkiem widłowym CPQYD50-RXW57 (na hali prod. i poza halą) - 7+15 kursów/1 kurs po ok. 2 min.														
B	83 min. / zm.	88,6	95,8	117,1	1458	2,3	0,6	1,0	2,5	4	0,3	3,0		
- obsługa maszyny rozlewniczej - wypełnienie 400-600 gąsek/zm. (1 wypełnienie ok.10 sek)														
Wariant III: ocena wg metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych lub metody dostosowania danych wejściowych														
czasy ekspozycji obliczone z liczby cykli pracy i przeciętnego czasu ich trwania														
A	22 min. / zm.	82,2	99,1	115,3	88	2,1	0,3	0,0	2,5	7	0,1	0,5		
- prace transportowe wózkiem widłowym CPQYD50-RXW57 (na hali prod. i poza halą) - 7+15 kursów/1 kurs po ok. 2 min.														
B	83 min. / zm.	89,7	95,8	117,1	1852	2,2	0,6	1,0	2,0	4	0,3	3,0		
- obsługa maszyny rozlewniczej - wypełnienie 400-600 gąsek/zm. (1 wypełnienie ok.10 sek)														

OCENA NARAŻENIA NA HAŁAS

WARTOŚCI HAŁASU NA STANOWISKU PRACY									
wyznaczone na podstawie przeprowadzonych pomiarów i podanych przez pracodawcę czasów ekspozycji									
stanowisko: Operator maszyny rozlewniczej i operator wózka widłowego	Łączny czas ekspozycji T_c	Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8 h dnia pracy			Maksymalny poziom dźwięku A w czasie dnia pracy		Szczytowy poziom dźwięku C w czasie dnia pracy		Ekspozycja na hałas odniesiona do 8 h $E_{A,Tc}$
		$L_{EX,8h} + U$	krotność NDN	$L_{A,max} + U$	krotność NDN	$L_{C,peak} + U^*$	krotność NDN		
zatrudnionych: 1os. / 4bryg.	[min]	[dB]		[dB]		[dB]		[Pa ² * s]	
Wartości dopuszczalne:	480	85	1	115	1	135	1	3,64 x 10 ³	
Wartości wyznaczone w Wariantcie I:	235	84,6 + 3,1	0,92	99,1 + 2,2	0,2	117,1 + 1,2	0,1	3,33 x 10 ³	
Wartości wyznaczone w Wariantcie II:	105	81,2 + 2,6	0,42	99,1 + 2,2	0,2	117,1 + 1,2	0,1	1,53 x 10 ³	
Wartości wyznaczone w Wariantcie III:	105	82,3 + 2,5	0,53	99,1 + 2,2	0,2	117,1 + 1,2	0,1	1,94 x 10 ³	

PODSUMOWANIE

1. Przedstawiona w normie PN-EN ISO 9612:2011 1. strategia pomiarowa – metoda pomiarów z podziałem na czynności – jest metodą o zadowalającej dokładności i dobrze sprawdzającą się w praktyce, jednakże w szczególnych przypadkach, jej dokładność w stosunku do wymagań wykonawcy badań lub klienta może okazać się niezadowalająca.
2. Do błędów pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A (na który jest narażony pracownik podczas wykonywania czynności) mogą w istotny sposób dokładać się błędy spowodowane niewłaściwą oceną czasu trwania tych czynności. Dokładność oceny ww. czasów można w znacznej części przypadków zwiększyć, obliczając je na podstawie liczby odpowiednio określonych zdarzeń akustycznych i zmierzonego podczas pomiarów hałasu średniego czasu ich trwania.
3. Niepewność typu A, w przypadku stosowania 1. strategii pomiarowej – metody pomiarów z podziałem na czynności – w istotnej części przypadków okazuje się większa niż analogiczna składowa niepewności wyników obliczonych na podstawie metody pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych lub metody dostosowania danych wejściowych. Z tego powodu, wymienione powyżej metody mogą być dla wykonawcy badań dogodną alternatywą.
4. Metoda pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych oraz metoda dostosowania danych wejściowych są spójne z metodą pomiarów z podziałem na czynności. Obie zaproponowane w artykule metody pozwalają na zachowanie wydajności i przejrzystości 1. strategii pomiarowej przy istotnym zwiększeniu wiarygodności danych i reprezentatywności wyników badań. Nie wymagają też stosowania innej aparatury pomiarowej. W porównaniu do 1. strategii pomiarowej – metody pomiarów z podziałem na czynności – nie wprowadzają komplikacji do samego procesu pomiarowego, ponieważ metodyki realizacji pomiarów akustycznych są niemal identyczne (różnice polegają na prostym pozyskaniu dodatkowych danych związanych z czasami trwania określonych cykli pracy/zdarzeń akustycznych). Nie wymagają one przeprowadzania osobnych pomiarów akustycznych – do wykorzystania nadaje się ten sam zestaw wyników badań, który otrzymuje się w pomiarach równoważnego poziomu dźwięku A, tj. wartości: $L_{p,A,eqT,mi}$, SEL_{mi} , t_{mi} . W szeregu przypadków, w których widoczny jest brak czynników lub zdarzeń mogących zmienić wskazanie poziomu ekspozycyjnego SEL, czasy pomiarów poszczególnych próbek hałasu można zgodnie z wymaganiami normy skrócić. Jest istotne, że często jest to możliwe również wtedy, gdy równoważne poziomy ciśnienia akustycznego, $L_{p,A,eqT,mi}$ nie spełniają kryterium stałości lub powtarzalności hałasu.
3. Po dokonanej w artykule adaptacji, metoda dostosowania danych wejściowych oraz metoda pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych nadają się do wykorzystania w dziedzinie badań hałasu w środowisku pracy, zwłaszcza w sytuacjach, gdy pomiary równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego są utrudnione z powodu nieregularnych i znacznych przerw w emisji hałasu mających miejsce w trakcie poszczególnych zdarzeń lub cykli realizacji procesu pracy. To samo dotyczy krótkotrwałych zdarzeń akustycznych charakteryzujących się wysokimi poziomami dźwięku oraz zdarzeń występujących sporadycznie.
4. Biorąc pod uwagę powyższe argumenty stwierdzono, że zasadne jest udzielenie odpowiedzi na pytanie: Czy właściwe jest zaniechanie działań zmierzających do usunięcia przeszkód formalnych uniemożliwiających stosowanie jednej lub obu proponowanych metod w obszarze regulowanym prawnie?

PIŚMIENNICTWO

- DAB-07 (2019). Akredytacja laboratoriów badawczych. Wymagania szczegółowe. Dokument Polskiego Centrum Akredytacji, wyd. 10.
- Fugiel D. (2014). Badania hałasu w środowisku pracy wg normy PN-EN ISO 9612:2011 – pomiary, szacowanie niepewności oraz przygotowanie do badań biegłości. Materiały szkoleniowe NOT Tarnobrzeg [publication in Polish].
- Fugiel D. (2017). Nowe podejście do procesu badania hałasu w środowisku pracy – metoda transformacji oraz metoda kondycjonowania danych wejściowych. Materiały XXXIII Sympozjum POLLAB [<http://pollab.pl/XXIII,sympozjum,2017,390.html>], [publication in Polish].
- Makarewicz R. (1996). Hałas w środowisku. Poznań, Ośrodek Wydawnictw Naukowych [publication in Polish].
- Radosz J. (2015). Procedura pomiaru hałasu ultradźwiękowego. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 4(86), 169–190 [publication in Polish].
- Pawlaczyk-Łuszczczyńska M. (2010). Kontrola narażenia na hałas [W:] Minimalizowanie ryzyka uszkodzenia słuchu w miejscu pracy – poradnik dla pracowników BHP, PIS, PIP, pracodawców i pracowników. Łódź, Instytut Medycyny Pracy 13–40 [publication in Polish].
- PN-EN ISO 9612: 2011. Akustyka – Wyznaczenie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna [Polish standard].
- PN-N-01307:1994. Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów [Polish standard].
- PN-ISO 2602:1994. Statystyczna interpretacja wyników badań. Estymacja wartości średniej. Przedział ufności [Polish standard].
- Przewodnik ISO. Wyrażanie niepewności pomiaru. GUM (1999) [publication in Polish].
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 6.08.2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne. DzU 2005, nr 157, poz. 1318 [Polish legal act].
- Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12.06.2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2018, poz. 1286 [Polish legal act].
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 1.08.2002 r. w sprawie sposobu dokumentowania chorób zawodowych i skutków tych chorób. DzU 2002, nr 132, poz. 1121 [Polish legal act].
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16.06.2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem; załącznik nr 1 do nr 3. DzU 2011, nr 140, poz. 824 [Polish legal act].
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2.02.2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2011, nr 33, poz. 166, z późn. zm. [Polish legal act].

Adres do korespondencji/Contact details:

inż. Dariusz Fugiel
e-mail: dafugiel@tlen.pl
Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Rzeszowie,
Laboratorium Hałasu i Wibracji
39-400 Tarnobrzeg
ul. 1 Maja 5, POLAND

