

# MINIMALIZOWANIE RYZYKA USZKODZENIA SŁUCHU W MIEJSCU PRACY

poradnik dla pracowników BHP, PIS, PIP,  
pracodawców i pracowników



pod redakcją  
Małgorzaty Pawlaczyk-Łuszczyńskiej



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPOJNOŚCI



INSTYTUT MEDYCYNY PRACY IM. PROF. J. NOFERA

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



# MINIMALIZOWANIE RYZYKA USZKODZENIA SŁUCHU W MIEJSCU PRACY

poradnik dla pracowników BHP, PIS, PIP,  
pracodawców i pracowników

pod redakcją  
Małgorzaty Pawlaczyk-Łuszczynskiej



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



INSTYTUT MEDYCYNY PRACY IM. PROF. J. NOFERA

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Publikacja współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, przygotowana w trakcie realizacji programu „Opracowanie kompleksowych programów profilaktycznych”

Numer projektu: POKL/Profil/2008–2013/zadanie 3

Copyright © by Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź 2010

Autorzy:

*Zakład Zagrożeń Fizycznych*

*Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi*

dr inż. Małgorzata Pawlaczyk-Łuszczczyńska

mgr Adam Dudarewicz

mgr Małgorzata Zamojska

*Klinika Audiologii i Foniatrii*

*Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi*

prof. dr hab. n. med. Mariola Śliwińska-Kowalska

Redakcja: Katarzyna Rogowska

Korekta: Edyta Olejnik

Opracowanie graficzne rycin, projekt okładki: Ida Kuśmierczyk

ISBN 978-83-60818-49-7

Wydawca:

Oficyna Wydawnicza Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera

ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź

Księgarnia:

tel./faks: 42 6314-719, e-mail: ow@imp.lodz.pl

<http://www.imp.lodz.pl/ksiegarnia>

Skład, druk i oprawa:

Print Extra, ul. Pomorska 40, 91-408 Łódź

Egzemplarz bezpłatny

## Spis treści

|  |    |
|--|----|
| Wprowadzenie .....   | 5  |
| 1. Wpływ hałasu na zdrowie .....   | 9  |
| <i>Mariola Śliwińska-Kowalska</i>  |    |
| 1.1. Skutki słuchowe .....   | 9  |
| 2. Kontrola narażenia na hałas .....   | 13 |
| <i>Małgorzata Pawlaczyk-Luszczyńska</i>  |    |
| 2.1. Podstawy oceny narażenia na hałas słyszalny .....   | 13 |
| 2.1.1. Podstawowe pojęcia i wielkości charakteryzujące narażenie .....                         | 13 |
| 2.1.2. Wartości dopuszczalne .....   | 18 |
| 2.1.3. Metody pomiaru i oceny narażenia .....  | 21 |
| 2.2. Podstawy oceny narażenia na hałas infradźwiękowy .....                                    | 31 |
| 2.3. Podstawy oceny narażenia na hałas ultradźwiękowy .....                                    | 33 |
| 2.4. Tryb i częstotliwość kontroli narażenia na hałas .....                                    | 35 |
| 2.5. Obowiązki pracodawcy .....  | 37 |
| 3. Szacowanie ryzyka uszkodzenia słuchu .....  | 41 |
| <i>Małgorzata Pawlaczyk-Luszczyńska, Adam Dudarewicz</i>                                       |    |
| 3.1. Wytyczne normy PN-ISO 1999:2000 .....   | 44 |
| 3.2. Zmodyfikowana metoda szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu .....                           | 52 |
| 4. Metody ograniczenia narażenia na hałas i minimalizowania ryzyka<br>uszkodzenia słuchu ..... | 57 |
| <i>Małgorzata Pawlaczyk-Luszczyńska, Małgorzata Zamojska</i>                                   |    |
| 4.1. Metody techniczne i organizacyjno-administracyjne .....                                   | 58 |
| 4.2. Stosowanie ochronników słuchu .....   | 59 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 4.2.1.   | Rodzaje ochronników słuchu .....  | 60 |
| 4.2.2.   | Parametry tłumienne ochronników słuchu .....  | 61 |
| 4.2.3.   | Zasady doboru ochronników słuchu .....  | 63 |
| 4.2.3.1. | Dobór ochronników słuchu na podstawie parametrów<br>tłumiennych .....   | 64 |
| 4.2.3.2. | Dobór ochronników według specjalnych potrzeb<br>lub wymagań .....   | 68 |
| 4.2.3.3. | Rzeczywista skuteczność ochronników słuchu .....  | 68 |
| 4.3.     | Profilaktyka medyczna.....  | 71 |
| 5.       | Kompleksowy program ochrony słuchu .....  | 73 |
|          | <i>Małgorzata Pawlaczyk-Łuszczczyńska, Adam Dudarewicz, Małgorzata Zamojska,<br/>Mariola Śliwińska-Kowalska</i> |    |
|          | Piśmiennictwo .....   | 79 |

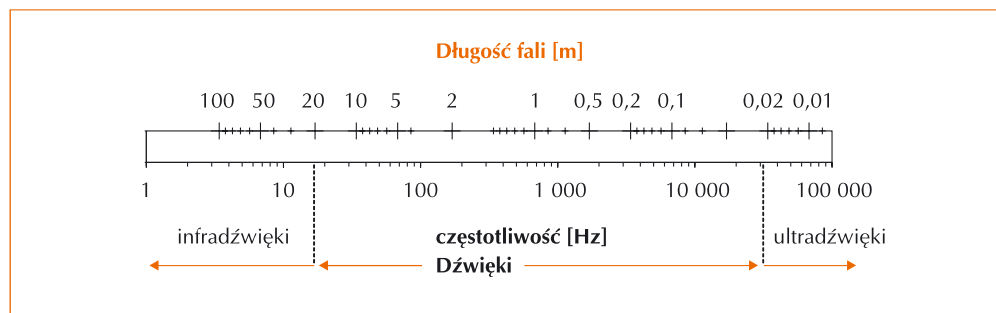
## WPROWADZENIE

Hałas to dźwięki o dowolnym charakterze akustycznym niepożądane w danym warunkach i dla danej osoby. Dźwięki są nierozłączną częścią naszego codziennego życia. Ocena, kiedy zwykły dźwięk zaczyna być uważany za hałas, jest zwykle bardzo subiektywna i w znacznym stopniu zależy od tego, czy jest to dźwięk pożądanym i jaki jest nasz stosunek do niego.

Z fizycznego widzenia dźwięk to zaburzenie falowe w ośrodku sprężystym (gazowym, ciekłym lub stałym), zdolne do wywołania wrażenia słuchowego. Ucho ludzkie reaguje na dźwięki, czyli zachodzące z odpowiednią częstotliwością zmiany ciśnienia w ośrodku (ciśnienie akustyczne).

**Ciśnienie akustyczne** to różnica między ciśnieniem wywołanym drganiami akustycznymi zachodzącymi w środowisku sprężystym a ciśnieniem statycznym (atmosferycznym) w danym punkcie środowiska, wyrażane w paskalach ( $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ ).

Częstotliwości fal dźwiękowych zawierają się w przedziale 20–20 000 Hz. Fale sprężyste o częstotliwościach wyższych (od 20 000 Hz = 20 kHz) nazywane są ultradźwiękami, a niższych (od 20 Hz) – infradźwiękami (ryc. 1.1).



Ryc. 1.1. Klasyfikacja fal akustycznych (dźwiękowych) ze względu na częstotliwość

Zakres zmienności ciśnienia akustycznego, na jakie reaguje ucho ludzkie jest bardzo szeroki. Przyjmuje się, że progowi słyszenia odpowiada wartość  $20 \mu\text{Pa}$  ( $20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ ), a progowi bólu –  $200 \text{ Pa}$ . Z tego względu wartości ciśnienia akustycznego nie są wyrażane w skali liniowej, lecz w logarytmicznej skali decybelowej. Podstawową wielkością charakteryzującą intensywność zjawisk akustycznych jest poziom ciśnienia akustycznego (w skrócie: poziom dźwięku) opisany wzorem:

$$L = 10 \lg \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 \quad [1.1]$$

gdzie:

$L$  – poziom ciśnienia akustycznego wyrażony w jednostkach względnych [dB],

$p$  – wartość ciśnienia akustycznego wyrażona w jednostkach bezwzględnych [Pa],

$p_0 = 20 \times 10^{-6} \text{ Pa} = 20 \mu\text{Pa}$  – wartość ciśnienia akustycznego odniesienia, tj. próg percepcji słuchowej.

W jednostkach względnych – decybelach [dB] – jest wyrażany nie tylko poziom ciśnienia akustycznego, ale także **poziom mocy akustycznej** i **poziom natężenia akustycznego**. **Moc akustyczna** wyrażana w watach ( $W = \text{J/s}$ ) określa ilość energii akustycznej emitowanej przez źródło dźwięku (hałasu), np. maszynę, w jednostce czasu. Z kolei **natężenie akustyczne** (wyrażane w  $\text{W/m}^2$ ) jest miarą ilości energii akustycznej emitowanej ze źródła, która przepływa w jednostce czasu, przez jednostkową powierzchnię prostopadłą do kierunku rozchodzenia się fali akustycznej.

Poziom mocy akustycznej i poziom natężenia akustycznego opisują wzory:

$$L_N = 10 \lg \frac{N_a}{N_o} \quad [1.2]$$

$$L_I = 10 \lg \frac{I_a}{I_o} \quad [1.3]$$

gdzie:

$L_N, L_I$  – odpowiednio poziom mocy i natężenia akustycznego [dB],

$N_a$  – moc akustyczna [W],

$I_a$  – natężenie akustyczne [ $\text{W/m}^2$ ],

$N_o = 10^{-12} \text{ W}$  – wartość mocy akustycznej odniesienia,

$I_o = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  – wartość natężenia odniesienia.

Hałas występujący powszechnie w środowisku pracy i w środowisku komunalnym (w miejscach zamieszkania i odpoczynku, w obiektach służby zdrowia, sanatoriach, w szkołach, w środkach komunikacji i transportu) charakteryzuje się szerokim zakresem częstotliwości. W pewnych sytuacjach dominuje zakres częstotliwości słyszalnych, w innych – zakres częstotliwości infradźwiękowych lub ultradźwiękowych. Z tego powodu obowiązujące w Polsce przepisy prawne i normatyw-

ne dotyczące środowiska pracy rozróżniają trzy rodzaje hałasu, które obejmują różne zakresy częstotliwości, tj.:

- hałas, w domyśle słyszalny – przedział częstotliwości słyszalnych (20–20 000 Hz),
- hałas infradźwiękowy – przedział częstotliwości infradźwiękowych (2–20 Hz),
- hałas ultradźwiękowy – przedział wysokich częstotliwości słyszalnych (powyżej 10 000 Hz) i niskich ultradźwiękowych (do 40 000 Hz).

Do niedawna wszystkie ww. rodzaje hałasu znajdowały się w wykazie szkodliwych czynników fizycznych środowiska pracy, natomiast w czerwcu 2009 r. wyłączono z niego hałas infradźwiękowy [1,2].

Regulacje prawne Unii Europejskiej i przepisy większości krajów europejskich koncentrują się na kontroli narażenia na hałas (słyszalny).





# 1. WPŁYW HAŁASU NA ZDROWIE

Mariola Śliwińska-Kowalska

Wpływ hałasu na organizm człowieka jest złożony i obejmuje zarówno skutki słuchowe, jak i pozasłuchowe. Narządem krytycznym dla hałasu jest ucho wewnętrzne (a dokładnie jego część słuchowa zwana ślimakiem), natomiast efektem działania – postępujący niedosłuch odbiorczy [3]. Hałas, jako czynnik stresowy, wywołuje również tzw. skutki pozasłuchowe. W szczególności może niekorzystnie wpływać na układ krążenia (nadciśnienie tętnicze, tachykardia, choroba wieńcowa) i układ nerwowy (zespoły nerwicowe) oraz powodować zaburzenia snu, uczenia się u dzieci i zaburzenia hormonalne [4,5].

## 1.1. Skutki słuchowe

Uszkodzenie słuchu może być spowodowane:

- jednorazową ekspozycją na hałas o bardzo wysokim poziomie ciśnienia akustycznego (np. eksplozja, wystrzał z broni palnej) – wtedy nazywane jest urazem akustycznym,
- wieloletnim narażeniem na hałas o względnie umiarkowanych poziomach (co w środowisku pracy jest znacznie częstsze) – takie uszkodzenie słuchu jest określane jako uszkodzenie słuchu spowodowane hałasem (noise-induced hearing loss – NIHL) [3].

Przewlekłe zawodowe narażenie na hałas powoduje zniszczenie wrażliwych struktur ucha wewnętrznego, w tym w szczególności komórek zmysłowych (komórek słuchowych zewnętrznych). W patogenezie tych uszkodzeń istotną rolę odgrywają procesy metaboliczne (stres oksydacyjny), a dla wysokich ekspozycji na hałas – zniszczenia mechaniczne. Po wielu latach narażenia dochodzi do wtórnej degeneracji włókien nerwu ślimakowego (słuchowego) i innych struktur ucha wewnętrznego [6].

Po ekspozycji na hałas dochodzić może do rozwoju zmian odwracalnych, czyli czasowego przesunięcia progu słuchu (temporary threshold shift – TTS) lub zmian nieodwracalnych, czyli trwałego przesunięcia progu słuchu (permanent threshold shift – PTS). Czynniki, od których zależy odwracalność lub nieodwracalność zmian, zależą od: poziomu dźwięku, szybkości narastania dźwięków hałasu (hałas impulsowy powoduje większe uszkodzenia niż ciągły), długości ekspozycji, lecz także indywidualnej wrażliwości/podatności na niekorzystne działanie hałasu na ucho wewnętrzne. Nie ma jednak ścisłej zależności między TTS a PTS. Trwałe uszkodzenie słuchu może być konsekwencją nakładających się zmian czasowych lub może rozwijać się bez poprzedzających zmian czasowych [6].

Uszkodzenie słuchu spowodowane hałasem jest czuciowo-nerwowym upośledzeniem słuchu pogłębiającym się powoli na przestrzeni lat. Upośledzenie słuchu jest symetryczne (w uchu lewym może być nieco głębsze) i dotyczy głównie wysokich częstotliwości z typowym załamkiem dla 4–6 kHz, bardzo często towarzyszą mu szумы uszne (do 50% osób narażonych) [3].

Diagnostyka uszkodzeń słuchu spowodowanych działaniem hałasu oparta jest w głównej mierze na badaniu audiometrii tonalnej. Bodźcami dźwiękowymi w tym badaniu są tony czyste, które podawane są drogą powietrzną (przewodnictwo powietrzne) bądź przez kość wyrostka sutkowatego (przewodnictwo kostne).

Uszkodzenie receptora słuchu przez hałas prowadzi do wystąpienia tzw. odbiorczego uszkodzenia słuchu, co oznacza, że pogorszeniu ulega zarówno przewodnictwo powietrzne, jak i kostne. Uszkodzenie słuchu spowodowane wieloletnią ekspozycją na hałas przemysłowy jest z reguły uszkodzeniem obuusznym i symetrycznym (choć w ostrym urazie akustycznym, np. po wystrzałach z broni palnej, ubytek słuchu w obu uszach może być różny) [3].

Najbardziej dynamiczny okres rozwoju uszkodzenia słuchu spowodowanego hałasem przypada na pierwsze 10–12 lat ekspozycji. Po tym okresie ubytek słuchu stabilizuje się na poziomie plateau; słuch pogarsza się jedynie o tyle, ile to wynika z procesu starzenia. Najbardziej „wrażliwe” na uszkodzenie są częstotliwości 4 i 6 kHz. W związku z wybiórczym uszkodzeniem jednego tylko typu komórek zmysłowych (komórek słuchowych zewnętrznych) i zachowaniem drugiego typu (komórek słuchowych wewnętrznych) upośledzenie słuchu nie jest bardzo głębokie czy graniczące z głuchotą (maksymalny ubytek słuchu wynosi 50–70 dB).

Indywidualna wrażliwość/podatność na uszkodzenie słuchu przez hałas jest różna. Oznacza to, że po jednakowych ekspozycjach u niektórych osób rozwi-

nać się może głęboki ubytek słuchu, podczas gdy u innych uszkodzenie słuchu jest niewielkie lub nie występuje wcale. Inna definicja podatności na uszkodzenie spowodowane hałasem mówi, że ubytek słuchu u osób szczególnie wrażliwych rozwijać się może po ekspozycjach uznawanych za bezpieczne dla ogółu osób [3].

Indywidualna wrażliwość na hałas zależy od czynników zewnątrzpochodnych i wewnątrzpochodnych. Do pierwszych należą m.in. impulsowość hałasu, przerwy w pracy (efekt ochronny), regularne stosowanie ochronników słuchu), ekspozycja na hałas pozazawodowy czy w trakcie służby wojskowej. Istotne są również ekspozycje na niektóre substancje chemiczne, jak rozpuszczalniki organiczne (m.in. toluen, styren, mieszaniny), metale ciężkie (ołów, arsen), gazy duszące (tlenek węgla, arsenowodór) czy pestycydy. W przypadku ekspozycji łącznych na hałas i rozpuszczalniki organiczne obserwowano efekt synergistyczny na narząd słuchu. Do czynników zewnątrzpochodnych będących czynnikiem ryzyka rozwoju uszkodzenia słuchu należą również palenie papierosów.

Uszkodzeniu słuchu związanego z ekspozycją na hałas w odniesieniu do czynników wewnątrzpochodnych sprzyjać mogą hyperlipidemia (wykazano korelację między ekspozycją na hałas a nadciśnieniem tętniczym, zwłaszcza rozkurczowym) czy występowanie objawu Reynauda (blednięcia palców). Niewątpliwe znaczenie mogą mieć też czynniki dziedziczne, podobnie jak to ma miejsce w uszkodzeniach słuchu związanych z wiekiem [3].

Badania na myszach wsobnych wskazują, że gen dla uszkodzeń związanych ze starzeniem się narządu słuchu (age-related gene – ahl) znajduje się na chromosomie 10. Ten sam gen może być odpowiedzialny za zwiększoną wrażliwość na hałas, ponieważ wykazano, że myszy ahl-/ahl- nie tylko wykazują przyspieszony proces starzenia się słuchu, lecz również cechują się zwiększoną podatnością na uszkodzenie słuchu przez hałas.

Niewiele jest danych dotyczących genetycznego uwarunkowania wrażliwości na uszkodzenie słuchu spowodowanego hałasem u ludzi. Badanych jest pod tym kątem wiele genów kandydatów z grupy genów stresu oksydacyjnego, warunkujących obieg jonów  $K^+$  w uchu wewnętrznym, warunkujących głuchotę dziedziczną monogenową oraz genów mitochondrialnych [6].

Szacuje się, że około 30 milionów pracowników w Europie jest narażonych na hałas stwarzający ryzyko uszkodzenia słuchu. W Polsce liczbę tę ocenia się na 640 tysięcy osób, przy czym nie uwzględnia ona rolnictwa indywidualnego, skupiającego około 10% wszystkich pracujących [7].

Uszkodzenie słuchu związane z narażeniem na hałas w miejscu pracy jest nieodwracalne i nieuleczalne. Zawodowe uszkodzenie słuchu od wielu lat znajduje się w czołówce chorób o podłożu zawodowym. Do 1995 r. choroba ta stanowiła największy odsetek wszystkich rozpoznawanych chorób zawodowych, a obecnie zajmuje ona czwarte miejsce. Wyrzedzają ją choroby narządu głosu, pylice płuc oraz choroby zakaźne i pasożytnicze [8].

Zgodnie z definicją podaną w Załączniku do Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2009 r.: „[...] zawodowe uszkodzenie słuchu to obustronny trwały odbiorczy ubytek słuchu typu ślimakowego lub czuciowo-nerwowego spowodowany hałasem, wyrażony podwyższeniem progu słuchu o wielkości co najmniej 45 dB w uchu lepiej słyszającym, obliczony jako średnia arytmetyczna dla częstotliwości audiometrycznych 1, 2 i 3 kHz [...]”. Okres rozpoznania od ustania narażenia nie może być dłuższy niż 2 lata [9].

## 2. KONTROLA NARAŻENIA NA HAŁAS

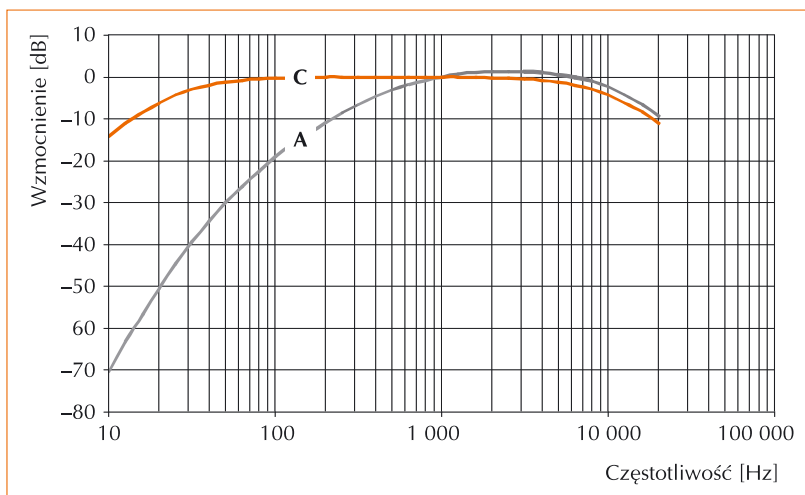
Małgorzata Pawlaczyk-Łuszczynska

### 2.1. Podstawy oceny narażenia na hałas słyszalny

Kontrola narażenia na hałas w środowisku pracy ma przede wszystkim na celu ochronę narząd słuchu przed szkodliwym działaniem hałasu.

#### 2.1.1. Podstawowe pojęcia i wielkości charakteryzujące narażenie

Podstawą oceny narażenia na hałas (słyszalny) w środowisku pracy są pomiary poziomu ciśnienia akustycznego z zastosowaniem mierników poziomu dźwięku wyposażonych w filtry korekcyjne (charakterystyki częstotliwościowe) A i C (ryc. 2.1).

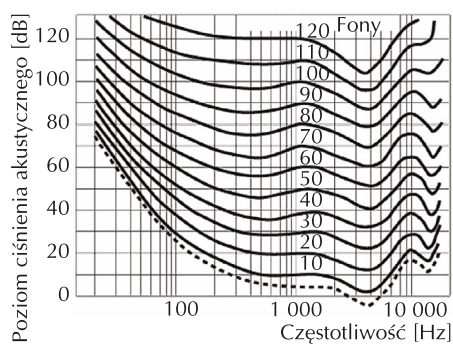


Ryc. 2.1. Charakterystyki częstotliwościowe filtrów korekcyjnych A i C miernika poziomu dźwięku

Poziom ciśnienia akustycznego skorygowany według częstotliwościowej charakterystyki korekcyjnej A przyjęto nazywać w skrócie poziomem dźwięku A, a poziom ciśnienia akustycznego skorygowany według częstotliwościowej charakterystyki korekcyjnej C – poziomem dźwięku C.

**Poziom dźwięku A to podstawowa miara hałasu** stosowana nie tylko w odniesieniu do hałasu występującego w środowisku pracy, ale również w przypadku hałasu komunalnego, domowego, rekreacyjnego itp.

Charakterystyka częstotliwościowa A silnie tłumi występujące w widmie hałasu składowe niskoczęstotliwościowe z przedziału od 10 do 200 Hz i minimalnie wzmacnia składowe o częstotliwościach powyżej 1000 Hz, podczas gdy charakterystyka C jest płaska w zakresie częstotliwości od 80 do 3000 Hz i nie tłumi składowych z tego przedziału. Z tego powodu różnica pomiędzy poziomem dźwięku C a poziomem dźwięku A – czyli tzw. wskaźnik oceny widma – pozwala na określenie, jaki zakres częstotliwości dominuje w widmie hałasu, co jest m.in. wykorzystywane przy doborze ochronników słuchu (patrz rozdz. 4.2.3.1).



Dany dźwięk ma poziom głośności  $L_s = N$  fonów, jeśli jest odbierany jako tak samo głośny jak dźwięk o częstotliwości wzorcowej równej 1000 Hz i poziomie  $N$  dB.

**Ryc. 2.2.** Krzywe izofoniczne według normy międzynarodowej ISO 226:1987<sup>1</sup> [10]

**Charakterystyki częstotliwościowe A i C** zostały opracowywane w latach 40. XX w. na podstawie tzw. krzywych izofonicznych (ryc. 2.2).

Zakładano wówczas, że charakterystyka A odpowiada reakcji ucha ludzkiego na dźwięki o niskich poziomach, czyli jest wzorowana na krzywej izofonicznej 40 fonów (stanowi jej odbicie zwierciadlane). Z kolei charakterystyka częstotliwościowa C odpowiada reakcji ucha ludzkiego na dźwięki o wysokich poziomach ciśnienia akustycznego (krzywej izofonicznej 100 fonów). Zalecano przy tym stosowanie tych charakterystyk dla wybranych zakresów poziomu ciśnienia akustycznego, np. charakterystyki częstotliwościowej A w zakresie poziomów dźwięków od 20 do 55 dB.

Obecnie przyjmuje się, że charakterystyki te są umowne i stosuje się je niezależnie od wartości poziomu ciśnienia akustycznego.

<sup>1</sup> Norma ISO 226:1987 została zrewidowana w 2003 r. [11].

Hałas występujący w środowisku pracy charakteryzuje się różną zmiennością poziomu ciśnienia akustycznego w czasie. Hałas, którego poziom dźwięku A (wartość skuteczna mierzona ze stałą czasową S) w określonym miejscu zmienia się w czasie nie więcej niż o 5 dB, określany jest jako hałas ustalony. Z kolei hałas zmienny w czasie (lub/ i przerywany), którego wahania poziomu dźwięku A przekraczają 5 dB jest nazywany hałasem nieustalonym.

Odmianą hałasu nieustalonego jest hałas impulsowy, złożony z pojedynczych lub ciągów zdarzeń dźwiękowych o czasie trwania krótszym niż 1 s. Specyficznym przykładem hałasu impulsowego jest tzw. hałas impulsowy quasi-stacjonarny, który jest złożony z ciągu impulsów z odstępami między impulsami krótszymi niż 1 s, czyli o częstotliwości powtarzania impulsów większej niż 1 Hz.

Obecnie, bez względu na rodzaj hałasu, sposób postępowania przy ocenie narażenia na hałas jest taki sam, ale przy szacowaniu ryzyka uszkodzenia słuchu wywołanego hałasem w przypadku hałasu impulsowego uwzględnia się dodatkową poprawkę (patrz rozdz. 3.1).

Ujemny wpływ hałasu na narząd słuchu jest proporcjonalny do całkowitej pochłoniętej energii, która z kolei zależy od kwadratu ciśnienia akustycznego i efektywnego czasu ekspozycji. Na tej zależności oparta jest tzw. zasada równej (równoważnej) energii.

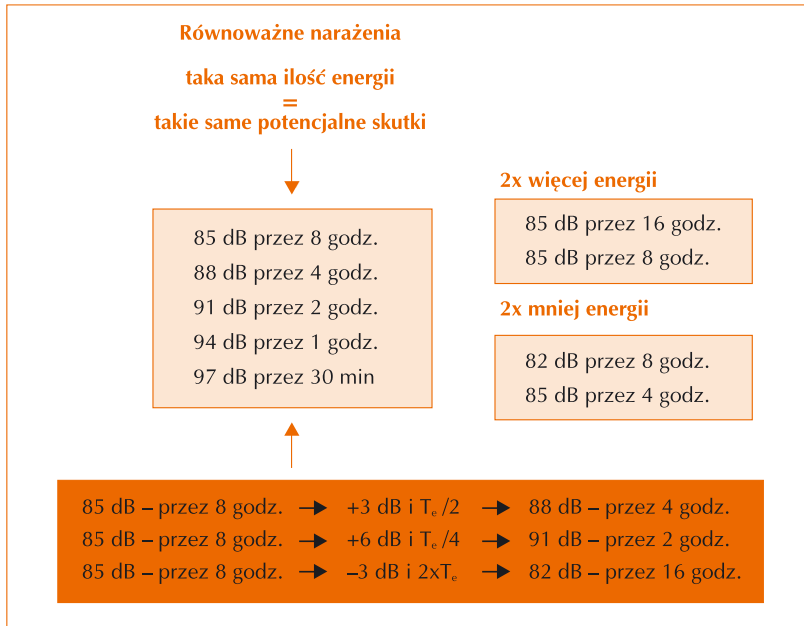
Zgodnie z nią odpowiednie zmniejszenie jednego z parametrów ekspozycji na hałas (poziomu dźwięku lub czasu trwania) i zwiększenie drugiego, przy zachowaniu stałości energii, zapewnia, że skutki działania hałasu na narząd słuchu są takie same. Jeśli zatem narząd słuchu toleruje poziom dźwięku A równy 85 dB w ciągu 8 godzin, to może również tolerować tę samą ilość energii w czasie dwukrotnie krótszym, czyli poziom 88 dB przez 4 godziny (inaczej skrócenie dziennego czasu narażenia o połowę pozwala na zwiększenie poziomu dźwięku o 3 dB) (ryc. 2.3).

**Zasada równej energii** budzi wiele wątpliwości. Istnieją dowody doświadczalne, że dłuższe ekspozycje bardziej uszkadzają słuch niż krótkie, a hałas przerywany powoduje mniejsze uszkodzenia niż ciągły. Kontrowersyjne jest również stosowanie tej zasady w odniesieniu do **hałasu impulsowego**.

Ten rodzaj hałasu jest szczególnie szkodliwy, ponieważ charakteryzuje się tak szybkim narastaniem ciśnienia akustycznego, że mechanizmy ochronne narządu słuchu (odruch strzemiączkowy), charakteryzujące się pewną bezwładnością, są w tym przypadku mało efektywne.

Mimo ograniczeń zasada równej energii wykorzystywana jest przy wyznaczaniu podstawowej wielkości stosowanej przy ocenie narażenia na hałas – równoważnego poziomu dźwięku A ( $L_{Aeq,T}$ ).





**Ryc. 2.3.** Działanie hałasu na narząd słuchu – zasada równej energii

Podstawą oceny narażenia na hałas są pomiary równoważnego poziomu dźwięku A ( $L_{Aeq,T}$ ), maksymalnego poziomu dźwięku A ( $L_{Amax}$ ) i szczytowego poziomu dźwięku C ( $L_{Cpeak}$ ), ponieważ uważa się, że wielkości te mają decydujący wpływ na powstanie uszkodzeń słuchu.

Równoważny poziom dźwięku A ( $L_{Aeq,T}$ ) to wielkość służąca do charakteryzowania hałasu zmieniającego się w przedziale czasu T, definiowana jako wartość średniokwadratowa poziomu dźwięku A zmiennego w czasie, odpowiadająca reakcji narządu słuchu na działanie hałasu o stałym poziomie (inaczej to taki poziom dźwięku A hałasu o stałym poziomie, z którym w tym samym przedziale czasu T związana jest taka sama ilość energii akustycznej jak w przypadku rozpatrywanego hałasu o zmiennym poziomie dźwięku A).

Równoważny poziom dźwięku A w przeliczeniu na znormalizowany dzienny lub tygodniowy wymiar czasu pracy jest nazywany poziomem ekspozycji na hałas odniesionym do 8-godzinnego dnia pracy  $L_{EX,8h}$  lub tygodnia pracy  $L_{EX,w^2}$ .

<sup>2</sup> Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy ( $L_{EX,8h}$ ) bywa również nazywany poziomem ekspozycji odniesionym do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy.

Zgodnie z ustaleniami norm ISO 1999:1990 [12] i PN-N-01307:1994 [13] **równoważny poziom dźwięku A**,  $L_{Aeq,T}$ , wyrażany w dB, jest określony wzorem:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \quad [2.1]$$

gdzie:

$p_A(t)$  – wartość chwilowa ciśnienia akustycznego skorygowana wg charakterystyki częstotliwościowej A [Pa],

$T = t_2 - t_1$  – przedział czasu, w którym wyznaczana jest wartość średnia, zaczynający się w chwili  $t_1$  i kończący się w chwili  $t_2$  [s],

$p_0 = 20 \mu\text{Pa}$  – wartość odniesienia ciśnienia akustycznego.

Z kolei **poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy**  $L_{EX,8h}$  lub **tygodnia pracy**  $L_{EX,w}$ , wyrażone w dB, są określone wzorami:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,Te} + 10 \log \left( \frac{T_e}{T_0} \right) \quad [2.2]$$

$$L_{EX,w} = 10 \log \left[ \frac{1}{5} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 \times L_{EX,8h_i}} \right] \quad [2.3]$$

gdzie:

$L_{Aeq,Te}$  – równoważny poziom dźwięku A wyznaczony dla efektywnego czasu narażenia  $T_e$  [dB],

$T_e$  – efektywny czas narażenia na hałas [h, min lub s],

$T_0$  – czas odniesienia (8 h = 480 min = 28 800 s),

$L_{EX,8h_i}$  – poziom ekspozycji na hałas w  $i$ -tym dniu roboczym w rozważanym tygodniu pracy [dB],

$I$  – liczba dni roboczych w rozważanym tygodniu pracy.

**Uwaga:** Jeśli na danym stanowisku pracy w trakcie dnia pracy występują wyraźnie różnialne przedziały czasu o zróżnicowanych warunkach narażenia na hałas, które odpowiadają wykonaniu określonych czynności, i dla każdego z przedziałów narażenia / każdej czynności przeprowadzono oddzielne pomiary równoważnego poziomu dźwięku A, to  $L_{EX,8h}$  wyznacza się według równania:

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[ \frac{1}{T_0} \sum_{m=1}^M T_m 10^{0,1 \times L_{Aeq,T_m}} \right] \quad [2.4]$$

gdzie:

$L_{Aeq,T_m}$  – równoważny poziom dźwięku A odpowiadający  $m$ -tej czynności /  $m$ -temu przedziałowi narażenia na hałas [dB],

$T_m$  – efektywny czas trwania  $m$ -tej czynności/ $m$ -tego przedziału narażenia na hałas [h, min lub s],

$T_0$  – czas odniesienia ( $T_0 = 8 \text{ h} = 480 \text{ min} = 28 \text{ 800 s}$ ),

$M$  – liczba zróżnicowanych czynności/przedziałów narażenia na hałas.

Dodatkowo, wraz z poziomem ekspozycji na hałas odniesionym do 8-godzinnego dnia lub tygodnia pracy są stosowane wielkości nazywane **dzienną** lub **tygodniową ekspozycją na hałas** ( $E_{A,8h}$  lub  $E_{A,w}$ ). Wielkości te charakteryzują dawkę energii akustycznej związanej z danym hałasem, są wyrażane w  $\text{Pa}^2\text{s}$  i określają je następujące wzory:

$$E_{A,8h} = \int_0^{T_e} p_A^2(t) dt \quad [2.5]$$

$$E_{A,w} = \sum_{i=1}^I E_{A,8hi} \quad [2.6]$$

gdzie:

$p_A(t)$  – wartość chwilowa ciśnienia akustycznego skorygowana według charakterystyki częstotliwościowej  $A[\text{Pa}]$ ,

$T_e$  – efektywny czas narażenia na hałas, w ciągu dnia pracy [s],

$E_{A,8hi}$  – dzienna ekspozycja na hałas w  $i$ -tym dniu roboczym w rozważanym tygodniu pracy [ $\text{Pa}^2\text{s}$ ],

$I$  – liczba dni roboczych w rozważanym tygodniu pracy.

Między ekspozycją na hałas a poziomem ekspozycji istnieje ścisły związek:

$$E_{A,8h_e} = 1,15 \times 10^{-5} \times 10^{0,1 \times L_{\text{ex},8h}} \quad [2.7]$$

Znając jedną z wielkości, można więc wyznaczyć drugą. Z tego powodu dzienna i tygodniowa ekspozycja na hałas są często pomijane.

Maksymalny poziom dźwięku  $A$  ( $L_{A_{\text{max}}}$ ) to maksymalna wartość skuteczna (uśredniana ze stałą czasową  $S$  (slow)) poziomu dźwięku  $A$  w czasie narażenia.

Szczytowy poziom dźwięku  $C$  ( $L_{C_{\text{peak}}}$ ) to maksymalna wartość chwilowa poziomu dźwięku  $C$  występująca w czasie narażenia. Szczytowy poziom dźwięku  $C$  jest szczególnie istotny w przypadku występowania hałasu impulsowego.

Powszechnie stosowane całkująco-uśredniające mierniki poziomu dźwięku pozwalają na równoczesny pomiar równoważnego poziomu dźwięku  $A$ , maksymalnego poziomu dźwięku  $A$  i szczytowego poziomu dźwięku  $C$ , tj. za czas trwania pomiaru  $T$  (np.  $T = 5 \text{ min}$ ,  $15 \text{ min}$ ,  $1 \text{ h}$  lub  $8 \text{ h}$ ) wyznaczane są wartości  $L_{A_{\text{eq},T}}$ ,  $L_{A_{\text{max}}}$  i  $L_{C_{\text{peak}}}$ .

### 2.1.2 Wartości dopuszczalne

Wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu (wartości dopuszczalne ze względu na ochronę słuchu) w środowisku pracy określa Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie naj-

wyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy z późniejszymi zmianami [1] (tab. 2.1). Odnoszą się one do ogółu zatrudnionych z wyłączeniem kobiet ciężarnych i osób młodocianych. W odniesieniu do tych grup ryzyka mają zastosowanie niższe dopuszczalne natężenia (NDN) określone w oddzielnych przepisach, ogłaszanych w formie rozporządzeń Rady Ministrów w sprawie wykazu prac wzbronionych ww. grupom pracowników [14,15] (tab. 2.2).

Zgodnie z § 3 Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy z późniejszymi zmianami wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) „[...] określają najwyższe dopuszczalne natężenia fizycznego czynnika szkodliwego dla zdrowia – ustalone jako wartość średnia natężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w Kodeksie pracy, przez jego okres aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia przyszłych pokoleń” [1].

**Tabela 2.1.** Wartości dopuszczalne hałasu ze względu na ochronę słuchu – wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu\*

| Wielkości charakteryzujące hałas   | Dopuszczalna wartość hałasu |
|--|-----------------------------|
| Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy, $L_{EX,8h}$ / tygodnia pracy $L_{EX,w}$ [dB] | 85                          |
| Ekspozycja dzienna $E_{A,8h}$ [ $Pa^2 \times s$ ]  | $3,64 \times 10^3$          |
| Ekspozycja tygodniowa $E_{A,w}$ [ $Pa^2 \times s$ ]  | $18,20 \times 10^3$         |
| Maksymalny poziom dźwięku A, $L_{Amax}$ [dB]   | 115                         |
| Szczytowy poziom dźwięku C, $L_{peak}$ [dB]  | 135                         |

\* Na podstawie Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [1].

**Tabela 2.2.** Wartości dopuszczalne hałasu dla kobiet ciężarnych i osób młodocianych \*

| Wielkości charakteryzujące hałas   | Dopuszczalna wartość hałasu |                  |
|--|-----------------------------|------------------|
|  | kobiety ciężarne            | osoby młodociane |
| Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia, pracy $L_{EX,sh}$ / /tygodnia pracy, $L_{EX,w}$ [dB] | 65                          | 80               |
| Maksymalny poziom dźwięku A, $L_{Amax}$ [dB]   | 110                         | 110              |
| Szczytowy poziom dźwięku C, $L_{Cpeak}$ [dB]   | 130                         | 130              |

\* Na podstawie Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom i Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac [14,15].

Wartości dopuszczalne hałasu ze względu na możliwość realizacji przez pracowników podstawowych zadań na wybranych typach stanowisk (wg kryterium uciążliwości) określa Polska Norma PN-N-01307:1994 [13] (tab. 2.3).

**Tabela 2.3.** Wartości dopuszczalne hałasu ze względu na możliwość realizowania przez pracownika jego podstawowych zadań \*

| Lokalizacja stanowiska pracy  | Dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A $L_{Aeq,Te}$ [dB] |
|---|--|
| Kabiny bezpośredniego sterowania bez łączności telefonicznej, laboratoria ze źródłami hałasu, pomieszczenia z maszynami i urządzeniami liczącymi, maszynami do pisania, dalekopisami itp. | 75   |
| Kabiny dyspozytorskie, obserwacyjne i zdalnego sterowania z łącznością telefoniczną używaną w procesie sterowania, pomieszczenia do wykonywania prac precyzyjnych itp.                    | 65   |
| Pomieszczenia: administracyjne, biur projektowych, do opracowywania danych itp.   | 55   |

\* Według Polskiej Normy PN-N-01307:1994 [13].

Bez względu na rodzaj stanowiska pracy i jego lokalizację zawsze wyniki pomiarów hałasu są porównywane z wartościami NDN. Ocena narażenia na hałas z uwzględnieniem wartości dopuszczalnych podanych w tabeli 2.3. jest oceną dodatkową, nie bierze się wówczas pod uwagę efektywnego czasu pracy w hałasie.

### 2.1.3. Metody pomiaru i oceny narażenia

Rutynowe pomiary hałasu na stanowiskach pracy przeprowadza się zgodnie z ustaleniami norm PN-N-01307:1994 [13] i PN-EN ISO 9612:2009<sup>3</sup> [16]. Stosuje się do nich indywidualne mierniki ekspozycji na dźwięk (dozymetry hałasu) noszone przez pracowników lub całkująco-uśredniające mierniki poziomu dźwięku umieszczane w wybranych punktach pomiarowych albo też trzymane w dłoniach przez osoby wykonujące pomiary, które podążają za pracownikami.

#### **Wymagania dotyczące przyrządów pomiarowych wg PN-EN ISO 9612:2009 [16]**

Używane do pomiarów mierniki poziomu dźwięku powinny spełniać wymagania normy PN-EN 61672-1:2005+Ap1:2007 [17] dla przyrządów pomiarowych klasy 1. lub 2., a dozymetry hałasu – PN-EN 61252:2000+A1:2005 [18]. Preferowane są mierniki poziomu dźwięku 1. klasy dokładności umożliwiające wykonywanie pomiarów w bardzo niskich temperaturach i/lub hałasów z dominującymi składowymi wysokoczęstotliwościowymi.

Na początku każdego dnia pomiarowego i przed każdą serią pomiarów w miejscu pomiaru (w warunkach *in situ*) należy przeprowadzać kalibrację/sprawdzenie stosowanych przyrządów pomiarowych za pomocą kalibratora akustycznego wraz ze stosowną adjustacją toru pomiarowego (jeśli to konieczne). Po zakończeniu każdej serii pomiarów należy przeprowadzać sprawdzenie/kalibrację terenową na miejscu bez stosownej adjustacji toru pomiarowego. Jeżeli różnica wskazań przed serią pomiarów i po niej jest większa niż 0,5 dB, to wyniki tej serii pomiarów powinny być odrzucone. Kalibrację/sprawdzenie terenowe należy wykonywać w cichym miejscu z zastosowaniem kalibratora akustycznego spełniającego wymagania normy PN-EN 60942:2005 [19] dla klasy 1.

Ponadto przyrządy pomiarowe powinny być wzorcowane/sprawdzone na zgodność z wymaganiami odpowiednich norm, w odstępach czasu nieprzekraczających 2 lat przez laboratorium wzorcujące zapewniające powiązanie z odpowiednimi wzorcami jednostek miar.

Pomiary obejmują wyznaczanie równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C. Wymienione wielkości mierzy się w miejscu, w którym zwykle znajduje się głowa pracownika lub w odległo-

<sup>3</sup> Norma PN-EN ISO 9612:2009 została zatwierdzona i opublikowana 15 października 2009 r. w języku oryginalnym, tj. w języku angielskim. Obecnie trwają prace nad przygotowaniem jej wersji polskojęzycznej.

ści około 10–40 cm od kanału ucha zewnętrznego, po stronie ucha narażonego na wyższe poziomy dźwięku A, gdy obecność pracownika w czasie pomiarów jest niezbędna, np. do obsługi maszyny, lub gdy do pomiarów stosuje się dozymetr hałasu.

**Specjalne procedury pomiarowe** są wymagane w przypadku oceny narażenia na **hałas pod słuchawkami** (dotyczy to np. sekretarek, telefonistek, pilotów, kontrolerów ruchu lotniczego) lub **pod hełmami** (np. hełmami pilotów i motocyklistów). W tego typu sytuacjach, gdy źródła hałasu znajdują się w pobliżu ucha, pomiary w kanale słuchowym mogą być przeprowadzone z zastosowaniem techniki mikrofonu umieszczonego w kanale usznym (**techniki MIRE**) lub z **manekina akustycznego**, zgodnie z normami odpowiednio PN-EN ISO 11904-1:2008 [20] lub PN-EN ISO 11904-2:2009 [21].

Przed przystąpieniem do pomiarów przeprowadza się analizę warunków pracy, w tym ustala źródła hałasu i zakres czynności w narażeniu na hałas, identyfikuje grupy stanowisk pracy o jednorodnej ekspozycji na hałas (jeśli to istotne) oraz przyjmuje odpowiednią strategię pomiarową. Zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 9612:2009 do wyboru są trzy strategie pomiarowe:

- 1. strategia – pomiarów z podziałem na czynności (task-based measurement),
- 2. strategia – pomiarów stanowiskowych (job-based measurement),
- 3. strategia – pomiarów całodziennych (full-day measurement) [16].

#### **Strategie pomiarowe wg PN-EN ISO 9612:2009 [16]**

- **1. strategia pomiarowa** – dokonuje się podziału typowego dnia pracy na przedziały czasu o zróżnicowanych warunkach narażenia na hałas odpowiadające wykonywaniu przez pracownika określonych czynności lub/i różnym warunkom pracy źródła hałasu lub/i okresem przebywania pracownika w określonych miejscach. Następnie dla każdej wyróżnionej czynności / przedziału narażenia przeprowadza się pomiary poziomu dźwięku (równoważnego poziomu dźwięku A, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C) metodą próbkowania, czyli na podstawie serii N pomiarów (próbek) ( $N \geq 3$ ) o takim samym czasie trwania  $T_p$  i wyznacza się efektywny czas ekspozycji  $T_m$  na drodze wywiadu, obserwacji lub pomiaru (minimum 3-krotnego).

Czas trwania pojedynczego pomiaru  $T_p$  powinien być reprezentatywny. Dla:

- a) krótkich czynności czas pomiaru powinien być równy czasowi trwania czynności

$$(T_p = T_{\text{czynności}}),$$

- b) długich czynności –  $T_p \geq 5 \text{ min}$ ,

- c) cyklicznych czynności –  $T_p = 3 \times T_{\text{cykl}}$  ( $T_{\text{cykl}}$  czas trwania pojedynczego cyklu).

Czas pojedynczego pomiaru  $T_p$  może ulec skróceniu, gdy poziom dźwięku jest ustalony lub powtarzalny albo gdy dana czynność/przedział narażenia ma mniej istotny wpływ na wynikową wartość dziennej ekspozycji na hałas  $L_{\text{EX,8h}}$ . W celu uchwycenia realnej zmienności poziomu hałasu pomiary wykonuje się w różnych

okresach dnia/zmiany roboczej lub/i podczas wykonywania tych samych czynności przez różnych pracowników w obrębie jednorodnej grupy.

Dla każdej czynności zaczyna się od trzech pomiarów (próbek). Jeżeli wyniki te różnią się o 3 dB lub więcej, to zwiększa się liczbę pomiarów o co najmniej 3 ( $N \geq 6$ ) lub/i wydłuża czas trwania pojedynczego pomiaru lub dokonuje się podziału typowego dnia pracy na więcej czynności/przedziałów narażenia.

- **2. strategia pomiarowa** – dokonuje się identyfikacji grupy/grup stanowisk pracy/pracowników o jednorodnej ekspozycji na hałas, tj. wykonujących takie same prace, co do których przewiduje się podobne narażenie na hałas w czasie trwania zmiany roboczej (np. obchodowi, operatorzy wózków widłowych itp.).

Przed przystąpieniem do pomiarów ustala się ich minimalny łączny czas trwania w zależności od liczebności danej grupy (tab. 2.4), a następnie przeprowadza pomiary metodą próbkowania. Pomiary wykonuje się tak, aby rozłożone były w sposób losowy podczas trwania zmiany roboczej i wśród członków badanej grupy. Minimalna liczba próbek powinna być większa lub równa 5 ( $K \geq 5$ ). Pomiary mogą obejmować kilka zmian roboczych i różne fazy dnia pracy (początek, środek i koniec).

**Tabela 2.4.** Minimalny łączny czas trwania pomiarów w zależności od liczebności badanej grupy pracowników

| Liczebność grupy $G_N$ | Minimalny łączny czas pomiarów    |
|------------------------|-----------------------------------|
| $G_N \leq 5$           | 5 h                               |
| $5 < G_N \leq 15$      | 5 h + $(G_N - 5) \times 0,5$ h    |
| $15 < G_N \leq 40$     | 10 h + $(G_N - 15) \times 0,25$ h |
| $G_N > 40$             | 17 h lub podzielić na podgrupy    |

$G_N$  – liczebność grupy o jednorodnej ekspozycji na hałas.

- **3. strategia pomiarowa** – również dotyczy grupy/grup stanowisk pracy/pracowników o jednorodnej ekspozycji na hałas, ale wymaga stosowania indywidualnych mierników ekspozycji na dźwięk (dozymetrów hałasu).

Przed przystąpieniem do pomiarów dokonuje się wyboru reprezentatywnych dni. Następnie przeprowadza się minimum 3 pomiary (np. z udziałem różnych pracowników) obejmujące całą zmianę roboczą lub znaczną jej część, aby uchwycić wszystkie znaczące okresy narażenia na hałas. Minimalna liczba pomiarów wynosi 3. Przy rozrzuć równoważnego poziomu dźwięku A większym lub równym 3 dB zwiększa się liczbę pomiarów o co najmniej 2 ( $K \geq 5$ ).



Wyniki pomiarów poddaje się niezbędnemu przeliczeniu zgodnie z ustaleniami norm PN-N-01307:1994 [13] i PN-EN ISO 9612:2009 [16]. Przed przystąpieniem do obliczeń analizuje się wyniki pomiarów, aby wyeliminować wszelkie fałszywe hałasy (np. zakłócenia powodowane przypadkowymi uderzeniami w mikrofon) i uwzględnić jedynie istotne źródła hałasu (np. grające radio, rozmowy oraz sygnały alarmowe mogą być traktowane jako istotne udziały hałasu, jeśli wynika to z analizy pracy).

**Przeliczenia wyników pomiarów wg PN-N-01307:1994 [13] i PN-EN ISO 9612:2009 [16]**

– **1. strategia pomiarowa** – dla każdej m-tej czynności obliczany jest równoważny poziom dźwięku A ( $L_{Aeq,T_m}$ )<sup>4</sup>, udział hałasu od tej czynności w dziennym poziomie ekspozycji na hałas ( $L_{EX,8h_m}$ ) oraz maksymalny poziom dźwięku A ( $L_{Amax_m}$ ) i szczytowy poziom dźwięku C ( $L_{Cpeak_m}$ ) według równań:

$$L_{Aeq,T_m} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 \times L_{Aeq,T_i}} \right) \quad [2.8]$$

$$L_{EX,8h_m} = L_{Aeq,T_m} + 10 \log \left( \frac{T_m}{T_o} \right) \quad [2.9]$$

$$L_{Amax_m} = \max \{ L_{Amax_1}; L_{Amax_2}; \dots; L_{Amax_i}; \dots; L_{Amax_N} \} \quad [2.10]$$

$$L_{Cpeak_m} = \max \{ L_{Cpeak_1}; L_{Cpeak_2}; \dots; L_{Cpeak_i}; \dots; L_{Cpeak_N} \} \quad [2.11]$$

gdzie:

$L_{Aeq,T_i}$  – równoważny poziom dźwięku A dla i-tej próbki (pomiaru) [dB],

$L_{Amax_i}$  – maksymalny poziom dźwięku A dla i-tej próbki (pomiaru) [dB],

$L_{Cpeak_i}$  – szczytowy poziom dźwięku C dla i-tej próbki (pomiaru) [dB],

$N$  – ogólna liczba próbek (pomiarów) dla m-tej czynności,

$T_m$  – czas trwania m-tej czynności/m-tego przedziału narażenia na hałas [h, min lub s];

$T_o$  – czas odniesienia ( $T_o = 8 \text{ h} = 480 \text{ min} = 28 \text{ 800 s}$ ).

**Uwaga:** Jeśli dostępnych jest  $J$  obserwacji czasu trwania czynności  $T_{m_j}$ , to w obliczeniach uwzględniany jest średni czas trwania czynności:

$$T_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m_j} \quad [2.12]$$

Następnie dla danego stanowiska pracy wyznaczany jest wynikowy poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru pracy ( $L_{EX,8h}$ ) wg równania 2.13. lub 2.14. oraz maksymalny poziom dźwięku A ( $L_{Amax}$ ) i szczytowy poziom dźwięku C ( $L_{Cpeak}$ ) wg równań 2.15. i 2.16.:

<sup>4</sup> W poradniku stosowane są symbole wielkości charakteryzujących hałas wg normy PN-N-01307:1994 [4]. Norma PN-EN ISO 9612:2009 wprowadza nowe symbole, które nieco różnią się od dotychczasowych.

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[ \sum_{i=1}^M 10^{0,1 \times L_{EX,8hm}} \right] \quad [2.13]$$

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[ \frac{1}{T_o} \sum_{i=1}^M T_m 10^{0,1 \times L_{Aeq,Tm}} \right] \quad [2.14]$$

$$L_{Amax} = \max\{L_{Amax_1}; L_{Amax_2}; \dots; L_{Amax_m}; \dots; L_{Amax_M}\} \quad [2.15]$$

$$L_{Cpeak} = \max\{L_{Cpeak_1}; L_{Cpeak_2}; \dots; L_{Cpeak_m}; \dots; L_{Cpeak_M}\} \quad [2.16]$$

gdzie:

M – ogólna liczba czynności/zróznicowanych przedziałów narażenia.

**Uwaga:** W przypadku zróznicowanego narażenia na hałas w skali tygodnia można wyznaczać poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia ( $L_{EX,w}$ ) bezpośrednio z równania 2.14 przy uwzględnieniu czasu odniesienia  $T_o = 40 \text{ h} = 2400 \text{ min}$  i efektywnych czasów trwania poszczególnych czynności ( $T_m$ ) w skali tygodnia pracy.

- **2. i 3. strategia pomiarowa** – na podstawie K wyników pomiarów elementarnych wyznaczany jest równoważny poziom dźwięku A dla efektywnego czasu trwania narażenia na hałas ( $L_{Aeq,Te}$ ) oraz maksymalny poziom dźwięku A ( $L_{Amax}$ ) i szczytowy poziom dźwięku C ( $L_{Cpeak}$ ) według równań:

$$L_{Aeq,Te} = 10 \log \frac{1}{k} \sum_{i=1}^K 10^{0,1 \times L_{Aeq,Tk}} \quad [2.17]$$

$$L_{Amax} = \max\{L_{Amax_1}; L_{Amax_2}; \dots; L_{Amax_k}; \dots; L_{Amax_K}\} \quad [2.18]$$

$$L_{Cpeak} = \max\{L_{Cpeak_1}; L_{Cpeak_2}; \dots; L_{Cpeak_k}; \dots; L_{Cpeak_K}\} \quad [2.19]$$

gdzie:

$L_{Aeq,Tk}$  – wynik k-tego pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A z zastosowaniem 2. lub 3. strategii pomiarowej [dB],

$L_{Amax_k}/L_{Cpeak_k}$  – wynik k-tego pomiaru maksymalnego/szczytowego poziomu dźwięku A/C z zastosowaniem 2. lub 3. strategii pomiarowej [dB],

K – ogólna liczba próbek (pomiarów) w przypadku 2. strategii pomiarowej lub pomiarów całodziennych w przypadku 3. strategii pomiarowej,

$T_e$  – efektywny czas narażenia na hałas w ciągu dnia pracy [h, min lub s].

Następnie wyznaczany jest poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ( $L_{EX,8h}$ ) według równania 2.2. (patrz rozdz. 2.1.1).

**Uwaga:** W przypadku zróznicowanego narażenia na hałas w skali tygodnia pracy w pierwszej kolejności dla poszczególnych dni tygodnia w opisany wyżej sposób wyznaczany jest poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ( $L_{EX,8h}$ ), a następnie obliczany jest poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy  $L_{EX,w}$  według równania 2.3. (patrz rozdz. 2.1.1).

Wyniki pomiarów hałasu, w szczególności wartości poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ( $L_{EX,8h}$ ), podaje się wraz z oszacowaną niepewnością pomiaru.

**Niepewność pomiaru** to parametr związany z wynikiem pomiaru charakteryzujący rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej. Określa on „jakość” wykonanego pomiaru i jego wiarygodność.

Niepewność pomiarów szacuje się zgodnie z ustaleniami normy PN-EN ISO 9612:2009[16].

### Szacowanie niepewności pomiarów według PN-EN ISO 9612:2009 [16]

Załącznik C ww. normy opisuje procedurę szacowania niepewności poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy dnia pracy (alternatywnie równoważnego poziomu dźwięku A). Obejmuje ona: 1) identyfikację źródeł niepewności, 2) szacowanie niepewności standardowych poszczególnych składowych niepewności, 3) obliczanie złożonej niepewności standardowej, oraz 4) wyznaczenie niepewności rozszerzonej i przedstawianie wyniku pomiaru wraz z niepewnością.

**1) Źródła niepewności** – podczas szacowania niepewności uwzględnia się następujące źródła niepewności:

- a) rozrzut wyników pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A związany z:
- próbkowaniem poziomów hałasu dla poszczególnych czynności – 1. strategia pomiarowa,
  - próbkowaniem poziomów hałasu dla stanowiska – 2. strategia pomiarowa,
  - wielokrotnymi pomiarami całodziennymi – 3. strategia pomiarowa,
- b) oszacowanie czasu trwania poszczególnych czynności – tylko w przypadku 1. strategii pomiarowej,
- c) przyrządy pomiarowe,
- d) położenie mikrofonu.

**2) Szacowanie niepewności standardowych poszczególnych składowych:**

- a) niepewność związana z rozrzutem wyników pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A w przypadku:
- **1. strategii pomiarowej** ( $u_{1a,m}$ ) – dla m-tej czynności jest dana równaniem:

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (L_{Aeq,T_i} - \bar{L}_{Aeq,T})^2}{N(N-1)}} \quad [2.20]$$

gdzie:

$L_{Aeq,T_i}$  – równoważny poziom dźwięku A dla i-tej próbki [dB],

$N$  – ogólna liczba próbek dla  $m$ -tej czynności,

$\bar{L}_{Aeq,T} = \sum_{i=1}^N L_{Aeq,T_i} / N$  – średnia arytmetyczna  $N$  wartości (próbek) równoważnego poziomu dźwięku  $A$  dla  $m$ -tej czynności [dB].

- **2. lub 3. strategii pomiarowej ( $u_1$ )** – jest obliczana według wzoru:

$$u_1 = \sqrt{\sum_{k=1}^K (L_{Aeq,T_k} - \bar{L}_{Aeq,T})^2 / (K - 1)} \quad [2.21]$$

gdzie:

$L_{Aeq,T_k}$  – równoważny poziom dźwięku  $A$  dla  $k$ -tej próbki lub  $k$ -tego pomiaru całodziennego [dB],

$K$  – ogólna liczba próbek w przypadku 2. strategii pomiarowej lub pomiarów całodziennych w przypadku 3. strategii pomiarowej,

$\bar{L}_{Aeq,T} = \sum_{k=1}^K L_{Aeq,T_k} / K$  – średnia arytmetyczna  $K$  wartości równoważnego poziomu dźwięku  $A$  zmierzonych z zastosowaniem 2. lub 3. strategii pomiarowej [dB].

- b) niepewność związana z oszacowaniem czasu trwania  $m$ -tej czynności ( $u_{1b,m}$ ) – jest wyznaczana zgodnie z równaniem:

$$u_{1b,m} = \sqrt{\sum_{j=1}^J (T_{m_j} - T_m)^2 / (J - 1)} \quad [2.22]$$

gdzie:

$T_{m_j}$  –  $j$ -ta obserwacja ( $j$ -ty wynik pomiaru) czasu trwania czynności [h, min lub s],

$J$  – ogólna liczba obserwacji czasu trwania  $m$ -tej czynności,

$T_m = \sum_{j=1}^J T_{m_j} / J$  – średnia arytmetyczna  $J$  obserwacji czasu trwania  $m$ -tej

czynności [h, min lub s].

**Uwaga:** Jeśli czas trwania  $m$ -tej czynności jest określany na podstawie wywiadu, to  $u_{1b,m}$  przyjmuje się jako  $u_{1b,m} = 0,5 \times (T_{\max} - T_{\min})$ , gdzie:  $T_{\max} / T_{\min}$  – maksymalny/ minimalny czas trwania czynności.

- c) niepewność przyrządu pomiarowego ( $u_2$  lub  $u_{2m}$ ) zależy od rodzaju i klasy dokładności; w przypadku:

- miernika poziomu dźwięku 1. klasy według PN-EN 61672-1:2005+Ap1:2007 –  $u_2$  (lub  $u_{2m}$ ) = 0,7 dB,
- miernika poziomu dźwięku 2. klasy według PN-EN 61672-1:2005+Ap1:2007 –  $u_2$  (lub  $u_{2m}$ ) = 1,5 dB,
- indywidualnego miernika ekspozycji na dźwięk wg PN-EN 61252:2000+A1:2005 –  $u_2$  (lub  $u_{2m}$ ) = 1,5 dB.

**Uwaga:** Wymienione niepewności standardowe zostały oparte na danych empirycznych i dotyczą pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A. Niepewność w przypadku szczytowego poziomu dźwięku C może być znacznie wyższa.

d) niepewność związana z wyborem położenia mikrofonu ( $u_3$ ) wynosi 1 dB.

### 3) Obliczanie złożonej niepewności standardowej poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy $u(L_{EX,8h})$

– **1. strategia pomiarowa** – złożona niepewność standardowa  $u(L_{EX,8h})$  jest wyznaczana według równania:

$$u^2(L_{EX,8h}) = \left\{ \sum_{m=1}^M \left[ c_{1a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} u_{1b,m})^2 \right] \right\} \quad [2.23]$$

gdzie:

$u_{1a,m}$  – niepewność standardowa związana z próbkowaniem poziomu hałasu (rozrzutem wyników pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A) dla m-tej czynności [dB],

$u_{1b,m}$  – niepewność standardowa związana z oszacowaniem czasu trwania m-tej czynności [h, min lub s],

$u_{2,m}$  – niepewność standardowa związana z przyrządem pomiarowym używanym w pomiarach dla m-tej czynności [dB],

$u_3$  – niepewność standardowa związana z wyborem położenia mikrofonu [dB],

$c_{1a,m} = \frac{\partial L_{EX,8h}}{\partial L_{Aeq,Tm}} = \frac{T_m 10^{0,1 \times L_{Aeq,Tm}}}{T_o 10^{0,1 \times L_{EX,8h}}}$  – współczynnik wrażliwości związany z próbkowaniem poziomu hałasu dla m-tej czynności,

$c_{1b,m} = \frac{\partial L_{EX,8h}}{\partial T_m} = 4,34 \frac{c_{1a,m}}{T_m}$  – współczynnik wrażliwości związany z oszacowaniem czasu trwania m-tej czynności [dB/h, dB/min lub dB/s],

M – ogólna liczba czynności,

$L_{Aeq,Tm}$  – równoważny poziom dźwięku A odpowiadający m-tej czynności [dB],

$T_m$  – czas trwania m-tej czynności [h, min lub s],

$T_o$  – czas odniesienia ( $T_o = 8h = 480 \text{ min} = 28\,800 \text{ s}$ ).

**Uwaga:** Współczynniki wrażliwości  $c_{1a,m}$  i  $c_{1b,m}$  określają, jak zmienia się wartość  $L_{EX,8h}$  w zależności od zmian odpowiednio  $L_{Aeq,Tm}$  i  $T_m$ .

– **2. lub 3. strategia pomiarowa** – złożona niepewność standardowa  $u(L_{EX,8h})$  jest wyznaczana wg równania:

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 = c_1^2 u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 \quad [2.24]$$

gdzie:

$u_1$  – niepewność standardowa związana z rozrzutem wyników pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A [dB],

$u_2$  – niepewność standardowa związana z przyrządem pomiarowym [dB],

$u_3$  – niepewność standardowa związana z wyborem położenia mikrofonu [dB],

$c_1, c_2, c_3$  – współczynniki wrażliwości związane odpowiednio z rozrzutem wyników pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A, przyrządem pomiarowym i wyborem położenia mikrofonu ( $c_2 = c_3 = 1$ ),

$c_1 u_1$  – udział w złożonej niepewności standardowej  $u(L_{EX,8h})$  niepewności związanej z rozrzutem wyników pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A według tabeli 2.5 [dB].

**Tabela 2.5.** Udział w złożonej niepewności standardowej  $u(L_{EX,8h})$  niepewności wynikającej z rozrzutu wyników pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A z zastosowaniem 2. lub 3. strategii pomiarowej ( $u_1 c_1$ ), w zależności od liczby pomiarów  $N$  i niepewności standardowej  $u_1$  wg PN-EN ISO 9612:2009 [16]

| Pomiary<br>N | Niepewność standardowa $u_1$ [dB] |     |     |            |            |             |             |            |             |             |             |             |
|--------------|-----------------------------------|-----|-----|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|              | 0,5                               | 1   | 1,5 | 2          | 2,5        | 3           | 3,5         | 4          | 4,5         | 5           | 5,5         | 6           |
|              | udział niepewności $c_1 u_1$ [dB] |     |     |            |            |             |             |            |             |             |             |             |
| 3            | 0,6                               | 1,6 | 3,1 | <b>5,2</b> | <b>8,0</b> | <b>11,5</b> | <b>15,7</b> | <b>0,6</b> | <b>26,1</b> | <b>32,2</b> | <b>39,0</b> | <b>46,5</b> |
| 4            | 0,4                               | 0,9 | 1,6 | 2,5        | <b>3,6</b> | <b>5,0</b>  | <b>6,7</b>  | <b>8,6</b> | <b>10,9</b> | <b>13,4</b> | <b>26,1</b> | <b>19,2</b> |
| 5            | 0,3                               | 0,7 | 1,2 | 1,7        | 2,4        | 3,3         | <b>4,4</b>  | <b>5,6</b> | <b>6,9</b>  | <b>8,5</b>  | <b>10,2</b> | <b>12,1</b> |
| 6            | 0,3                               | 0,6 | 0,9 | 1,0        | 1,9        | 2,6         | 3,3         | <b>4,2</b> | <b>5,2</b>  | <b>6,3</b>  | <b>7,6</b>  | <b>8,9</b>  |
| 7            | 0,2                               | 0,5 | 0,8 | 1,2        | 1,6        | 2,2         | 2,8         | 3,5        | <b>4,3</b>  | <b>5,1</b>  | <b>6,1</b>  | <b>7,2</b>  |
| 8            | 0,2                               | 0,5 | 0,7 | 1,1        | 1,4        | 1,9         | 2,4         | 3,0        | <b>3,6</b>  | <b>4,4</b>  | <b>5,2</b>  | <b>6,1</b>  |
| 9            | 0,2                               | 0,4 | 0,7 | 1,0        | 1,3        | 1,7         | 2,1         | 2,6        | 3,2         | <b>3,9</b>  | <b>4,6</b>  | <b>5,4</b>  |
| 10           | 0,2                               | 0,4 | 0,6 | 0,9        | 1,2        | 1,5         | 1,9         | 2,4        | 2,9         | 3,5         | <b>4,1</b>  | <b>4,8</b>  |
| 12           | 0,2                               | 0,3 | 0,5 | 0,8        | 1,0        | 1,3         | 1,7         | 2,0        | 2,5         | 2,9         | 3,5         | <b>4,0</b>  |
| 14           | 0,1                               | 0,3 | 0,5 | 0,7        | 0,9        | 1,2         | 1,5         | 1,8        | 2,2         | 2,6         | 3,0         | 3,5         |
| 16           | 0,1                               | 0,3 | 0,5 | 0,6        | 0,8        | 1,1         | 1,3         | 1,6        | 2,0         | 2,3         | 2,7         | 3,2         |
| 18           | 0,1                               | 0,3 | 0,4 | 0,6        | 0,8        | 1,0         | 1,2         | 1,5        | 1,8         | 2,1         | 2,5         | 2,9         |
| 20           | 0,1                               | 0,3 | 0,4 | 0,5        | 0,7        | 0,9         | 1,1         | 1,4        | 1,7         | 2,0         | 2,3         | 2,6         |
| 25           | 0,1                               | 0,2 | 0,3 | 0,5        | 0,6        | 0,8         | 1,0         | 1,2        | 1,4         | 1,7         | 2,0         | 2,3         |
| 30           | 0,1                               | 0,2 | 0,3 | 0,4        | 0,6        | 0,7         | 0,9         | 1,1        | 1,3         | 1,5         | 1,7         | 2,0         |

**Uwaga:** Jeśli udział niepewności  $c_1 u_1$  w przypadku stosowania 2. lub 3. strategii pomiarowej jest większy niż 3,5 dB (wartości zaznaczone w tabeli czcionką pogrubioną), to zalecana jest korekta lub zmiana planu pomiarów w celu zmniejszenia  $u_1$ .

**4) Wyznaczanie niepewności rozszerzonej i przedstawianie wyniku pomiaru – niepewność rozszerzona (U) jest obliczana według wzoru:**

$$U = k \times u(L_{EX,8h}) = 1,65 \times u(L_{EX,8h}) \quad [2.25]$$

gdzie:

$u(L_{EX,8h})$  – złożona niepewność standardowa poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy [dB],

$k$  – współczynnik rozszerzenia odpowiadający jednostronnemu 95% przedziałowi ufności ( $k = 1,65$ ).

Wynik końcowy, czyli poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy, przedstawia się w postaci  $L_{EX,8h} + U$ , gdzie:  $U$  – niepewność rozszerzona przy jednostronnym poziomie ufności  $p = 95\%$  i współczynnika rozszerzenia  $k = 1,65$ .

Wyniki pomiarów, tj. poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub tygodnia pracy ( $L_{EX,8h}/L_{EX,w}$ ), maksymalny poziom dźwięku A ( $L_{Amax}$ ) i szczytowy poziom dźwięku C ( $L_{Cpeak}$ ) porównuje się bezpośrednio, bez uwzględnienia niepewności pomiaru, z odpowiednimi wartościami dopuszczalnymi, i wyznacza wartości krotności przekroczeń, odpowiednio według wzorów:

$$K_{L_{EX}} = 10^{(L_{EX} - L_{EX,dop}) / 10} \quad [2.26]$$

$$K_{L_{Amax}} = 10^{(L_{Amax} - L_{Amax,dop}) / 20} \quad [2.27]$$

$$K_{L_{Cpeak}} = 10^{(L_{Cpeak} - L_{Cpeak,dop}) / 20} \quad [2.28]$$

gdzie:

$L_{EX}$  – wyznaczona wartość poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy / tygodnia pracy ( $L_{EX,8h}/L_{EX,w}$ ) [dB],

$L_{EX,dop}$  – dopuszczalna wartość poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy / tygodnia pracy [dB],

$L_{Amax}$  – wyznaczona wartość maksymalnego poziomu dźwięku A [dB],

$L_{Amax,dop}$  – dopuszczalna wartość maksymalnego poziomu dźwięku A [dB],

$L_{Cpeak}$  – wyznaczona wartość szczytowego poziomu dźwięku C [dB],

$L_{Cpeak,dop}$  – dopuszczalna wartość szczytowego poziomu dźwięku C [dB].

Jako ostateczny wynik oceny przyjmuje się maksymalną wartość spośród wartości  $K_{L_{EX}}$ ,  $K_{L_{Amax}}$  i  $K_{L_{Cpeak}}$ .

## 2.2. Podstawy oceny narażenia na hałas infradźwiękowy

Źródłem hałasu infradźwiękowego w środowisku pracy są środki transportu oraz niektóre maszyny i urządzenia przemysłowe, w tym sprężarki tłokowe, pompy próżniowe, dmuchawy, piece hutnicze, młoty kuźnicze, kraty wstrząsowe, formierki maszynowe, urządzenia energetyczne elektrowni ciepłych (młyny, kominy, kotły i wentylatory kotłowe), wentylatory przemysłowe, maszyny drogowe, silniki odrzutowe testowane w hamowniach oraz urządzenia młynów zbożowych (przesiewacze zbożowe) [22].

Dominującym skutkiem ekspozycji na hałas infradźwiękowy o umiarkowanych poziomach ciśnienia akustycznego typowych dla stanowisk pracy jest uciążliwość. Występuje ona przy niewielkich przekroczeniach progu słyszenia infradźwięków, która przejawia się subiektywnie odczuwanymi stanami nadmiernego zmęczenia, dyskomfortu, senności oraz zaburzeniami sprawności psychomotorycznej i wybranych funkcji fizjologicznych [22].

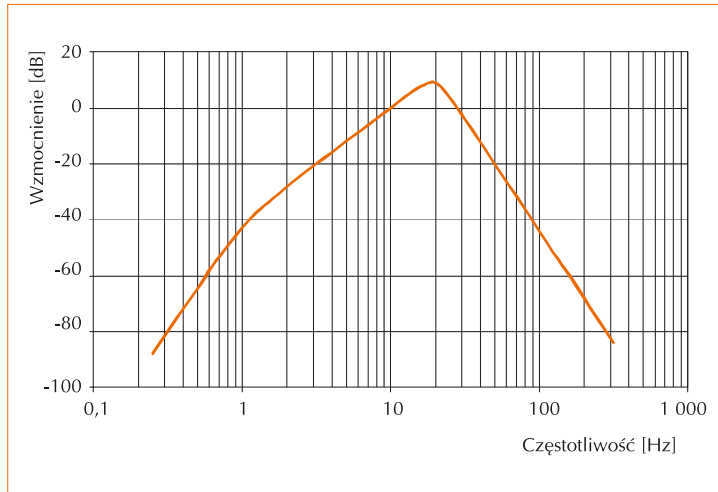
Podstawą higienicznej oceny narażenia na hałas infradźwiękowy są pomiary równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową G (ryc. 2.4) [23,24]. Do niedawna, tj. do czasu usunięcia hałasu infradźwiękowego z wykazu fizycznych szkodliwych czynników w środowisku pracy [2], mierzony był również szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego [25].

**Hałas infradźwiękowy** znalazł się w wykazie szkodliwych czynników w środowisku pracy w 1989 r. Przez szereg lat podstawą oceny narażenia na hałas infradźwiękowy były pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych o częstotliwościach środkowych od 4 do 31,5 Hz [22]. W 2001 r. miała miejsce nowelizacja wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń hałasu infradźwiękowego. Jako dopuszczalne ze względu na ochronę wartości hałasu przyjęto wówczas: a) równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy lub tygodnia pracy równy 102 dB, oraz b) szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego równy 145 dB [26].

W związku z tym, że nie ma europejskich i międzynarodowych przepisów prawnych dotyczących oceny ekspozycji zawodowej na hałas infradźwiękowy (jedynie nieliczne kraje, w tym Szwecja, Rosja i USA posiadają ustalenia w tym zakresie), a obecny stan wiedzy w zakresie szkodliwego oddziaływania infradźwięków na człowieka nie pozwala na ustalenie jednoznacznych granicznych wartości ekspozycji [27,28], w 2009 r. hałas infradźwiękowy został wykreślony z wykazu szkodliwych czynników fizycznych w środowisku pracy [2].

Wartości dopuszczalne hałasu infradźwiękowego w odniesieniu do ogółu zatrudnionych, grup szczególnego ryzyka oraz stanowisk pracy koncepcyjnej wymagających szczególnej koncentracji uwagi podano w tabeli 2.6.





Ryc. 2.4. Charakterystyka częstotliwościowa G według normy PN-ISO 7196:2002 [25]

Tabela 2.6. Dopuszczalne wartości hałasu infradźwiękowego w środowisku pracy\*

| Wielkości charakteryzujące hałas infradźwiękowy  | Wartość dopuszczalna [dB] |   |                                     |
|--|---------------------------|---|-------------------------------------|
|  | ogół zatrudnionych        | stanowiska pracy koncepcyjnej wymagające szczególnej koncentracji uwagi | kobiety ciężarne i osoby młodociane |
| Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G, odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy $L_{\text{Geq},8\text{h}}$ / tygodnia pracy $L_{\text{Geq},w}$ | 102**                     | 86**  | 86                                  |
| Szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego $L_{\text{LINpeak}}$  | –                         | –   | 140                                 |

\* Według normy PN-Z-01338:2010 [23] i Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 30 lipca 2002 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom i Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac [29,15].

\*\* Wartości dopuszczalne (odniesienia) stanowiące kryterium uciążliwości według normy PN-Z-01338:2010 [23].

### 2.3. Podstawy oceny narażenia na hałas ultradźwiękowy

Typowymi źródłami hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy są tzw. technologiczne urządzenia ultradźwiękowe niskich częstotliwości, takie jak myjki, zgrzewarki, ultradrażarki, lutownice ręczne i wanny do cynowania (cynkowania) detali. Hałas ultradźwiękowy jest również emitowany przez sprężarki wysokoobrotowe, palniki, zawory, narzędzia pneumatyczne oraz maszyny wysokoobrotowe, w tym strugarki, frezarki, szlifierki, piły tarczowe i niektóre maszyny włókiennicze [30].

W świetle nielicznych wyników badań laboratoryjnych i środowiskowych, wchodzące w skład hałasu ultradźwiękowego wysokie częstotliwości słyszalne z przedziału częstotliwości 10–20 kHz mogą powodować uciążliwość, szumy uszne, bóle głowy, zmęczenie i nudności. Z kolei składowe ultradźwiękowe (powyżej 20 kHz) o wysokich poziomach ciśnienia akustycznego mogą powodować uszkodzenie słuchu [30,31].

Kontrola narażenia na hałas ultradźwiękowy ma na celu zabezpieczenie przed wystąpieniem ww. skutków. Podstawą higienicznej oceny ekspozycji jest analiza widmowa w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych z przedziału częstotliwości 10–40 kHz [33].

**Hałas ultradźwiękowy, podobnie jak hałas infradźwiękowy, znalazł się w wykazie szkodliwych czynników w środowisku pracy w 1989 r.** Przez szereg lat zgodnie z zaleceniami normy PN-86/N-01323 podstawą oceny narażenia były pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 100 kHz [32]. W 2001 r. miała miejsce nowelizacja wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń hałasu ultradźwiękowego [26]. Mając na uwadze wyniki wcześniejszych pomiarów hałasu ultradźwiękowego oraz możliwości techniczne realizacji pomiarów, zawężono wówczas ocenę do pasm tercjowych 10–40 kHz [26,30].

Obowiązujące w Polsce dopuszczalne wartości hałasu ultradźwiękowego podano w tabelach 2.7. i 2.8.

**Tabela 2.7.** Wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu ultradźwiękowego odnoszące się do ogółu zatrudnionych z wyłączeniem kobiet ciężarnych i osób młodocianych\*

| Częstotliwość środkowa pasm tercjowych [kHz] | Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy, $L_{f,eq,8h}$ / tygodnia pracy, $L_{f,eq,w}$ [dB] | Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego, $L_{f,max}$ [dB] |
|--|---|--|
| 10; 12,5; 16                                 | 80  | 100  |
| 20   | 90  | 110  |
| 25   | 105   | 125  |
| 31,5; 40                                     | 110   | 130  |

\* Na podstawie Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [1].

**Tabela 2.8.** Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego w odniesieniu do grup zwiększonego ryzyka\*

| Częstotliwość środkowa pasm tercjowych [kHz] | Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy, $L_{f,eq,8h}$ / tygodnia pracy, $L_{f,eq,w}$ [dB] |                  | Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego, $L_{f,max}$ [dB] |                  |
|--|---|------------------|--|------------------|
|  | młodociani  | kobiety ciężarne | młodociani   | kobiety ciężarne |
| 10; 12,5; 16                                 | 75  | 77               | 100  | 100              |
| 20   | 85  | 87               | 110  | 110              |
| 25   | 100   | 102              | 125  | 125              |
| 31,5; 40                                     | 105   | 107              | 130  | 130              |

\* Na podstawie Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 30 lipca 2002 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom i Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac [29,15].

## 2.4. Tryb i częstotliwość kontroli narażenia na hałas

Tryb, metody, rodzaj i częstotliwość wykonywania pomiarów i badań szkodliwych czynników w środowisku pracy określa Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [34].

Pracodawca dokonuje rozeznania procesów technologicznych, organizacji i sposobu wykonywania pracy oraz występujących w nich czynników szkodliwych i nie później niż w terminie 30 dni od dnia rozpoczęcia działalności jest zobowiązany do wykonania ich pomiarów. Kolejne pomiary i badania przeprowadzane są:

- co najmniej raz na dwa lata – przy stwierdzeniu w ostatnio przeprowadzonym badaniu stężenia lub natężenia czynnika szkodliwego dla zdrowia powyżej 0,1 do 0,5 wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS) lub natężenia (NDN) (krotność przekroczenia wartości NDN lub NDS powyżej 0,1 do 0,5),
- co najmniej raz w roku – przy stwierdzeniu w ostatnio przeprowadzonym badaniu stężenia lub natężenia czynnika szkodliwego dla zdrowia powyżej 0,5 wartości NDN lub NDS (krotność przekroczenia NDN lub NDS powyżej 0,5),
- w każdym wypadku wprowadzenia zmiany w warunkach występowania tego czynnika, np. w przypadku zmian w procesie technologicznym.

Badań i pomiarów czynnika szkodliwego dla zdrowia nie przeprowadza się, jeśli wyniki dwóch ostatnio przeprowadzonych badań i pomiarów nie przekroczyły 0,1 wartości NDS lub NDN (krotność przekroczenia wartości NDS lub NDN poniżej 0,1)<sup>5</sup>.

Przykładowe wartości wielkości charakteryzujących narażenie na hałas (słyszalny) i opowiadające im wartościrotności przekroczenia NDN podano w tabeli 2.9. Jak z niej wynika pracodawca jest zwolniony z obowiązku przeprowadzania pomiarów hałasu, jeśli narażenie na hałas (poziom ekspozycji na hałas  $L_{EX,8h}/L_{EX,w}$ ) nie przekracza 75 dB.

<sup>5</sup> Aktualnie trwają prace nad nowelizacją Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [34].

**Tabela 2.9.** Krotności przekroczeń wartości NDN w zależności od wartości wielkości charakteryzujących hałas

| Wielkości charakteryzujące hałas  |  |  | Krotność przekroczenia wartości NDN |
|---|--|--|-------------------------------------|
| poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy, $L_{EX,8h}$ / tygodnia pracy, $L_{EX,w}$ [dB] | maksymalny poziom dźwięku A, $L_{Amax}$ [dB] | szczytowy poziom dźwięku C, $L_{Cpeak}$ [dB] |                                     |
| 75  | 95   | 115  | 0,10                                |
| 79  | 103  | 123  | 0,25                                |
| 82  | 109  | 129  | 0,50                                |
| 84  | 113  | 133  | 0,75                                |
| 85  | 115  | 135  | 1,00                                |
| 88  | 121  | 141  | 2,00                                |
| 92  | 129  | 149  | 5,00                                |
| 95  | 135  | 155  | 10,00                               |

Do przeprowadzania badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, w tym pomiarów hałasu, upoważnione są laboratoria badawcze posiadające akredytację zgodnie z Ustawą z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności [35], czyli laboratoria badawcze legitymujące się akredytacją Polskiego Centrum Akredytacji (z wdrożonym systemem zarządzania zgodnym z PN-EN ISO/IEC 17027:2005+Ap1:2007).

Wykaz akredytowanych laboratoriów badawczych dostępny jest na stronie internetowej Polskiego Centrum Akredytacji (<http://www.pca.gov.pl>).

Na podstawie wyników badań i pomiarów pracodawca prowadzi na bieżąco Rejestr czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy wraz z Kartą badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia według wzorów stanowiących Załączniki nr 1 i 2 do ww. Rozporządzenia Ministra Zdrowia [34].

Dla każdego stanowiska pracy przygotowywana jest jego charakterystyka, podawana jest liczba zatrudnionych osób (w tym kobiet, osób młodocianych i osób

pracujących na nocnej zmianie), a także wymieniane są szkodliwe czynniki fizyczne i chemiczne wraz z liczbą osób pracujących w warunkach przekroczenia wartości dopuszczalnych.

## 2.5. Obowiązki pracodawcy

Szczegółowe obowiązki pracodawców dotyczące kontroli narażenia na hałas i zapobiegania skutkom jego działania zawiera Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne [36]. Wymienione rozporządzenie stanowi implementację Dyrektywy 2003/10/EW Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników spowodowanego czynnikami fizycznymi (hałasem) [37].

Ochrona przed negatywnymi skutkami ekspozycji zawodowej na hałas to jedno z priorytetowych działań Unii Europejskiej w zakresie bezpieczeństwa, higieny i zdrowia w miejscu pracy. Przez wiele lat strategię ochrony pracowników przed hałasem określała uchwalona w 1986 r. **Dyrektywa Rady Europy nr 86/188/EWG** [38].

W 2003 r. ustanowiono nową – **Dyrektywę 2003/10/WE** Parlamentu Europejskiego i Rady z 6 lutego 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników spowodowanego czynnikami fizycznymi (hałasem) [37].

Zgodnie z jej ustaleniami wielkościami charakteryzującymi hałas (hałas ustalony, nieustalony i impulsowy) są:

- **poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy lub tygodnia pracy** ( $L_{EX,sh}/L_{EX,w}$ ), wyrażany w dB, zdefiniowany w normie ISO 1999:1990 (PN-ISO 1999:2000),
- **szczytowa wartość ciśnienia akustycznego C** ( $p_{Cpeak}$ ), czyli maksymalna wartość chwilowa ciśnienia akustycznego skorygowana charakterystyką częstotliwościową C, wyrażana w Pa.

W celu zapobiegania nieodwracalnym uszkodzeniom słuchu Dyrektywa 2003/10/WE ustanawia **graniczne wartości ekspozycji:  $L_{EX,sh} = 87$  dB i  $p_{Cpeak} = 200$  Pa (140 dB)**.

Żaden pracownik nie może być narażony na hałas przekraczający ww. graniczne wartości ekspozycji, a przy sprawdzaniu spełnienia tego kryterium uwzględniane jest tłumienie dźwięku przez indywidualne ochrony słuchu.

Dyrektywa 2003/10/WE określa również **dolne ( $L_{EX,sh} = 80$  dB i  $p_{Cpeak} = 112$  Pa (135 dB)) i górne ( $L_{EX,sh} = 85$  dB i  $p_{Cpeak} = 140$  Pa (137 dB)) wartości działania**, przy których pracodawca jest zobowiązany podjąć określone działania prewencyjne.

Z dniem 15 lutego 2006 r. Dyrektywa 2003/10/WE zastąpiła dotychczas obowiązującą Dyrektywę 86/188/EWG. Z tą datą państwa członkowskie Unii Europejskiej, a wśród nich także Polska, zostały zobligowane do wprowadzenia w życie przepisów wdrażających jej postanowienia.

Równoległe do prac nad nową dyrektywą „hałasową” prowadzono prace dotyczące dyrektywy „drganiowej”, a ich efektem była Dyrektywa 2002/44/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 25 czerwca 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników spowodowanego czynnikami fizycznymi (wibracją) [39].

Postanowienia Dyrektywy 2002/44/WE i 2003/10/WE zostały wdrożone do prawa polskiego w formie Rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne [36].

Wymienione rozporządzenie wprowadza szereg nowych pojęć, w tym pojęcie progów działania, określa wartości dopuszczalne dla progów działania w odniesieniu do hałasu (i drgań mechanicznych) oraz uzależniania podejmowane przez pracodawcę działania od tego, czy wielkości charakteryzujące hałas w środowisku pracy osiągają lub przekraczają wartości progów działania lub wartości NDN.

Wybrane określenia stosowane w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne (DzU z 2005 r. nr 157, poz. 1318) [36]:

- **grupy szczególnego ryzyka** – pracownicy, którzy na podstawie przepisów prawa pracy podlegają szczególnej ochronie zdrowia, w szczególności kobiety w ciąży oraz młodociani;
- **hałas** – każdy niepożądany dźwięk, który może być uciążliwy albo szkodliwy dla zdrowia lub może zwiększać ryzyko wypadku przy pracy;
- **narażenie indywidualne** – rzeczywisty poziom narażenia pracownika na hałas lub drgania mechaniczne, po uwzględnieniu tłumienia uzyskanego w wyniku stosowania środków ochrony indywidualnej;
- **środki pracy** – maszyny, instalacje, narzędzia, przyrządy i inne urządzenia techniczne służące do wykonywania pracy, które mogą być źródłem hałasu lub drgań mechanicznych;
- **wartości NDN** – dopuszczalne wartości wielkości charakteryzujących hałas lub drgania mechaniczne, określone w przepisach w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, a dla kobiet w ciąży oraz młodocianych odpowiednio w przepisach w sprawie prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet oraz w przepisach w sprawie prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudnienia przy niektórych z tych prac;
- **wartości progów działania** – wartości wielkości charakteryzujących hałas i drgania mechaniczne w środowisku pracy (bez uwzględniania skutków stosowania środków ochrony indywidualnej), określone w załączniku do ww. rozporządzenia.



**Ryc. 2.5.** Podstawowe obowiązki pracodawcy w zakresie ochrony przed hałasem [36]



Jako wartości progów działania przyjęto:

- dla poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do tygodnia pracy – 80 dB,
- dla szczytowego poziomu dźwięku C – 135 dB.

**Dyrektywa 2003/10/WE** ustalając minimalne wymagania w zakresie ochrony pracowników przed hałasem, pozostawiła państwom członkowskim Unii Europejskiej możliwość utrzymania istniejących bardziej rygorystycznych przepisów, żeby wdrożenie zapisów Dyrektywy nie powodowało regresu w stosunku do aktualnej sytuacji prawnej.

Biorąc pod uwagę, że określone w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. (DzU z 2002 r. nr 217, poz. 1833 z późn. zm.) wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasów (tab. 2.1) są niższe od wartości granicznych ekspozycji i pokrywają się z górnymi wartościami progów działania przyjętymi w Dyrektywie 2003/10/WE, w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 5 sierpnia 2005 r. (DzU z 2005 r. nr 157, poz. 1318) uwzględniono jedynie dolne wartości działania i nazwano je **wartościami progów działania [36]**.

Podstawowe obowiązki pracodawcy w zakresie minimalizowania ryzyka uszkodzenia słuchu powodowanego działaniem hałasu w miejscu pracy przedstawia rycina 2.5.

### 3. SZACOWANIE RYZYKA USZKODZENIA SŁUCHU

Małgorzata Pawlaczyk-Łuszczynska, Adam Dudarewicz

Jednym z obowiązków pracodawców zatrudniających pracowników narażonych na hałas jest szacowanie i minimalizowanie ryzyka zawodowego. Takie działania są wymuszane przez obowiązujące przepisy, w tym § 39 Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy [40] oraz Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne [36].

Pojęcie ryzyka zawodowego zostało wprowadzone do prawa europejskiego Dyrektywą 89/391/EWG z dnia 12 czerwca 1989 r. w sprawie wprowadzenia środków sprzyjających poprawie bezpieczeństwa i higieny pracy. Przywołuje się w niej wprawdzie pojęcie „ryzyka”, ale go nie definiuje [41]. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku Dyrektywy 2003/10/WE (tzw. hałasowej) [37].

W Polsce zgodnie z § 2, pkt 7 ww. rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej [40] przez ryzyko zawodowe rozumie się „[...] prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zdarzeń związanych z wykonywaną pracą, powodujących straty, w szczególności wystąpienia u pracowników niekorzystnych skutków zdrowotnych w wyniku zagrożeń zawodowych występujących w środowisku pracy lub sposobu wykonywania pracy [...]”. Zasady oceny tak rozumianego ryzyka zawodowego opisuje Polska Norma PN-N-18002:2000 [42].

Do szacowania ryzyka zawodowego poza metodą według PN-N-18002: 2002 stosuje się również inne metody, w tym: risk score, pięciu kroków, wstępnej analizy zagrożeń (preliminary hazard analysis – PHA) oraz metodę analizy bezpieczeństwa pracy (job safety analysis – JSA).

Zgodnie z zaleceniami ww. normy wartości wielkości charakteryzujących narażenie, w szczególności narażenie na hałas, stanowią podstawę szacowania ryzyka zawodowego. Przytoczony z normy PN-N-18002:2000 przykład szacowania ry-

zyka zawodowego związanego z narażeniem na hałas (tab. 3.1) dotyczy ogółu zatrudnionych z wyłączeniem kobiet ciężarnych i osób młodocianych. Przy szacowaniu ryzyka dla grup szczególnie ryzyka zalecane jest uwzględnienie ustanowionych dla nich niższych wartości dopuszczalnych (patrz rozdz. 2.1.2 i tab. 2.2).

**Tabela 3.1.** Oszacowanie ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na hałas jako czynnik szkodliwy dla narządu słuchu w skali trójstopniowej\*

| Krotność przekroczenia wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) dla hałasu ( $K_{\text{NDN}}$ )** | Wielkości charakteryzujące hałas   | Ryzyko zawodowe |
|--|--|-----------------|
| $K_{\text{NDN}} > 1$   | $L_{\text{EX,8h}} (L_{\text{EX,w}}) > 85 \text{ dB}$<br>lub<br>$L_{\text{Amax}} > 115 \text{ dB}$<br>lub<br>$L_{\text{Cpeak}} > 135 \text{ dB}$  | duże            |
| $1 \geq K_{\text{NDN}} \geq 0,5$   | $85 \text{ dB} \geq L_{\text{EX,8h}} (L_{\text{EX,w}}) \geq 82 \text{ dB}$<br>oraz<br>$109 \text{ dB} \geq L_{\text{Amax}} \geq 115 \text{ dB}$<br>oraz<br>$129 \text{ dB} \geq L_{\text{peak}} \geq 135 \text{ dB}$ | średnie         |
| $K_{\text{NDN}} < 0,5$   | $L_{\text{EX,8h}} (L_{\text{EX,w}}) < 82 \text{ dB}$<br>oraz<br>$L_{\text{Amax}} < 109 \text{ dB}$<br>oraz<br>$L_{\text{Cpeak}} < 129 \text{ dB}$  | małe            |

\* Na podstawie Załącznika B.2 do normy PN-N-18002:2000 [42].

\*\* Bez uwzględnienia ograniczenia narażenia poprzez zastosowanie środków ochrony indywidualnej; stosowanie prawidłowo dobranych ochronników słuchu pozwala na zmianę oszacowania ryzyka, np. z dużego na średnie.

$K_{\text{NDN}}$  – krotność przekroczenia wartości NDN.

$L_{\text{EX,8h}} (L_{\text{EX,w}})$  – poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy (tygodnia pracy).

$L_{\text{Amax}}$  – maksymalny poziom dźwięku A.

$L_{\text{Cpeak}}$  – szczytowy poziom dźwięku C.

Sposób szacowania ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na hałas według PN-N-18002:2000 pozwala jedynie na opisowe oszacowanie tego ryzyka. Nie ma ilościowego odniesienia parametrów ekspozycji do głębokości ubytków słuchu,

czyli powiązania narażenia z ryzykiem zdrowotnym. Pomijane są przy tym inne czynniki decydujące o urazowości hałasu, dotyczące zarówno samej ekspozycji na hałas (np. impulsowość, stosowanie przerw w pracy), jak i innych czynników środowiskowych i osobniczych, w tym występujących łącznie z hałasem narażeń na niektóre substancje chemiczne (np. rozpuszczalniki organiczne) lub drgania mechaniczne. Zwracają na to uwagę szczegółowe przepisy dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne stanowiące implementację ww. dyrektywy hałasowej [36].

Narażenie na hałas w miejscu pracy po raz pierwszy powiązано z ryzykiem zdrowotnym w normie międzynarodowej ISO 1999:1975 [43]. Podano w niej wyniki szacowania ryzyka upośledzenia słuchu wywołanego hałasem, wyrażonego jako różnica między odsetkiem osób w danym wieku narażonych na hałas a odsetkiem osób nienarażonych na hałas w tym samym wieku, u których stwierdzono niedomogę słuchu. Przyjęto przy tym założenie, że niedomoga słuchu utrudniająca rozumienie mowy występuje wtedy, gdy średnia arytmetyczna trwałego przesunięcia progu słyszenia dla częstotliwości audiometrycznych 500, 1000 i 2000 Hz jest większa lub równa 25 dB.

Zgodnie z ustaleniami ww. normy ryzyko upośledzenia słuchu po 40 latach pracy w hałasie o równoważnym poziomie dźwięku A równym 90 dB wynosi 21%

**Tabela 3.2.** Ryzyko wystąpienia niedomogi słuchu w funkcji ekspozycji zawodowej na hałas według normy międzynarodowej ISO 1999:1975 [43]

| Równoważny poziom dźwięku A [dB] | Czas narażenia [w latach]   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------------|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                  | 0                           | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
|                                  | ryzyko niedomogi słuchu [%] |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 80                               | 0                           | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 85                               | 0                           | 1  | 3  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 7  |
| 90                               | 0                           | 4  | 10 | 14 | 16 | 16 | 18 | 20 | 21 | 15 |
| 95                               | 0                           | 7  | 17 | 24 | 28 | 29 | 31 | 32 | 29 | 23 |
| 100                              | 0                           | 12 | 29 | 37 | 42 | 43 | 44 | 44 | 41 | 33 |
| 105                              | 0                           | 18 | 42 | 53 | 58 | 60 | 62 | 61 | 54 | 41 |

i maleje do 10% przy poziomie 85 dB. Zerowe ryzyko wystąpienia niedomogi słuchu występuje dopiero przy poziomie 80 dB (tab. 3.2).

W drugim, aktualnym wydaniu normy międzynarodowej ISO 1999: 1990 (PN-ISO 1999:2000<sup>6</sup>) opisano metodę umożliwiającą wyznaczanie przewidywanych trwałych ubytków słuchu w populacji osób narażonych zawodowo na hałas oraz szacowanie ryzyka uszkodzenia słuchu na podstawie takich zmiennych, jak: wiek, płeć i narażenie na hałas (średni poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia (tygodnia) pracy ( $L_{EX,8h}/L_{EX,w}$ ) i czas narażenia (w latach) [12,44].

### 3.1. Wytyczne normy PN-ISO 1999:2000

Polska Norma PN-ISO 1999:2000 zakłada, że próg słuchu związany z wiekiem i hałasem (hearing threshold level related to noise and age – HTLAN) jest kombinacją progu słuchu związanego z wiekiem i płcią (age related hearing threshold level – HTLA) oraz trwałego przesunięcia progu słuchu wywołanego hałasem (noise related permanent threshold shift – NIPTS) i pozwala na wyznaczenie rozkładów przewidywanych ubytków słuchu w populacji osób w danym wieku i danej płci narażonych zawodowo na hałas [44].

Zgodnie z PN-ISO 1999:2000 [44] **próg słuchu** (dla poszczególnych częstotliwości audiometrycznych z przedziału od 500 do 6000 Hz) związany z wiekiem i narażeniem na hałas opisuje następujący wzór:

$$HTLAN = HTLA + NIPTS - \frac{HTLA \times NIPTS}{120} \quad [3.1]$$

gdzie:

HTLA – próg słuchu związany z wiekiem (i płcią) [dB],

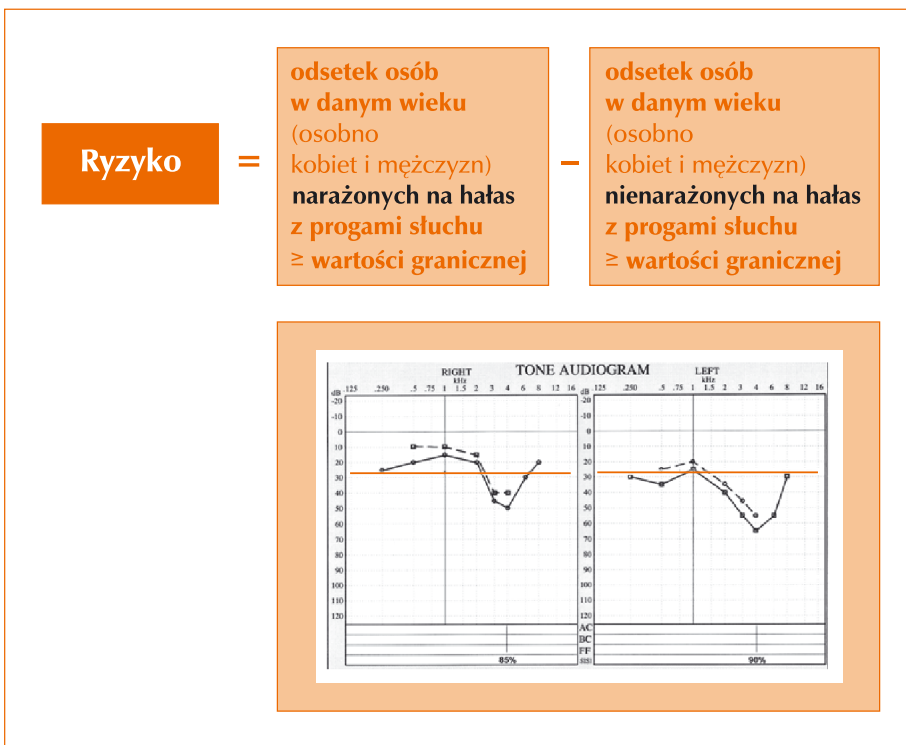
NIPTS – trwałe przesunięcie progu słuchu wywołane ekspozycją na hałas (wyznaczone przy uwzględnieniu uśrednionego za czas narażenia poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy  $L_{EX,8h}$  lub tygodnia pracy  $L_{EX,w}$  i łącznego czasu narażenia T) [dB].

Zgodnie z ustaleniami ww. normy miarą ryzyka uszkodzenia słuchu związanego z ekspozycją na hałas i wiekiem jest odsetek (centyl) osób w danym wieku (oddzielnie kobiet i mężczyzn), których próg słuchu przekracza założoną wartość graniczną (np. 25 dB).

<sup>6</sup> Polska Norma PN-ISO 1999:2000 [44] jest tłumaczeniem angielskiej normy międzynarodowej ISO 1999:1990 [12] i jest wydana jako norma identyczna z wprowadzoną normą międzynarodową.

**Centyl to parametr pozycyjny rozkładu zmiennej losowej**, który dzieli zbiorowość statystyczną uporządkowaną według wartości badanej cechy w kolejności niemalejącej. Na użytek normy PN-ISO 1999:2000 [44] przyjęto, że jest to wartość z przedziału od 0 do 1, która określa część rozkładu znajdującą się powyżej lub równą danej wartości.

Z kolei ryzyko uszkodzenia słuchu związane tylko z ekspozycją na hałas jest określane jako różnica między odsetkiem (centylem) populacji w danym wieku (oddzielnie kobiet i mężczyzn), której próg słuchu przekracza wartość graniczną i odsetkiem (centylem) populacji w tym samym wieku (i tej samej płci) bez narażenia na hałas z progiem słuchu powyżej założonej wartości granicznej (ryc. 3.1).



Na rycinie pokazano przykładowy audiogram z naniesionymi poziomymi liniami oznaczającymi założoną wartość graniczną progu słuchu równą 25 dB.

**Ryc. 3.1.** Definicja ryzyka uszkodzenia słuchu związanego tylko z narażeniem na hałas

W obu przypadkach ryzyko może być określane oddzielnie dla poszczególnych częstotliwości (1, 2, 3, 4 i 6 kHz) oraz jako wartość średnia dla kombinacji częstotliwości, np. jako średnia dla 1, 2 i 3 kHz lub 2, 3 i 4 kHz. Częstotliwości 1, 2 i 3 kHz są szczególnie istotne ze względu na rozumienie polskiej mowy i tzw. wydolność socjalną słyszenia. Z kolei w zakresie częstotliwości 2, 3 i 4 kHz najwcześniej uwidaczniają się ubytki słuchu wywołane działaniem hałasu.

**Progi słuchu w populacji osób nienarażonych zawodowo na hałas (HTLA)** zależą nie tylko od wieku i płci, ale również od szeregu innych czynników, w tym przebytych chorób, przyjmowanych leków ototoksycznych oraz nieznannej zawodowej i pozazawodowej ekspozycji na hałas.

Z tego powodu norma dopuszcza **stosowanie dwóch baz danych odniesienia**, tj. bazy danych uwzględniającej progi słuchu wyselekcjonowanej populacji zdrowych otologicznie osób (osobno kobiet i mężczyzn) według normy ISO 7029:1984 [46] (baza danych A) i bazy obejmującej niewyselekcjonowane, nienarażone zawodowo na hałas populacje (mężczyzn i kobiet) z przemysłowych krajów europejskich i północnoamerykańskich (baza danych B) [44]. Przedstawione w dalszej części wyniki szacowania ryzyka uwzględniają progi słuchu dla wyselekcjonowanej populacji zdrowych otologicznie osób z bazy danych A.

Aby oszacować ryzyko, należy więc:

- ustalić wiek, płeć oraz parametry narażenia na hałas (średni poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy lub tygodnia pracy i czas narażenia w latach),
- wybrać oceniane częstotliwości lub ich kombinację (np. 1, 2 i 3 kHz) i ustalić graniczną wartość progu słuchu (np. 25 lub 45 dB),
- przyjąć referencyjną bazę danych z progami słuchu populacji osób nienarażonych zawodowo na hałas (bazę danych A lub B).

**Średni poziom ekspozycji na hałas** odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy za okres pracy w narażeniu na hałas jest obliczany według wzoru:

$$\overline{L_{EX, 8h}} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N T_i \times 10^{0,1 \times (L_{EX, 8h})_i} \right) \quad [3.2]$$

gdzie:

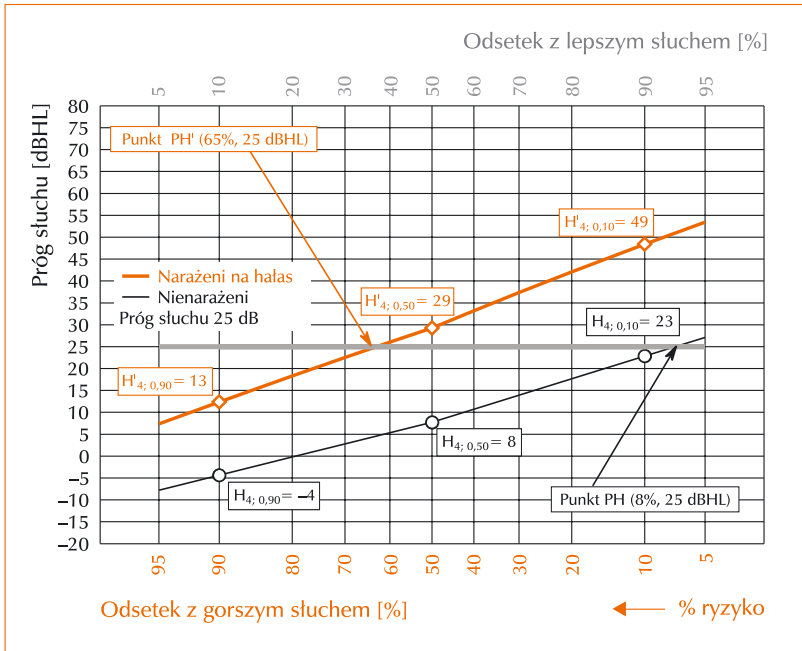
$N$  – liczba różnych zajmowanych stanowisk pracy,

$(L_{EX, 8h})_i$  – równoważny poziom dźwięku odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy na  $i$ -tym stanowisku pracy [dB],

$T_i$  – okres zatrudnienia na  $i$ -tym stanowisku pracy [w latach],

$T = \sum_{i=1}^N T_i$  – łączny czas narażenia na hałas [w latach].

Przykład ilustrujący sposób szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu przedstawiono na rycinie 3.2.



Na wykresie przedstawiono rozkład progu słyszenia (dla częstotliwości 4 kHz) w grupie 40-letnich mężczyzn narażonych na hałas o poziomie ekspozycji  $L_{EX,8h} = 95$  dB przez okres 20 lat ( $H'$ ) oraz rozkład progu słyszenia w grupie wyselekcjonowanych, zdrowych otologicznie mężczyzn w wieku 40 lat, nienarażonych zawodowo na hałas ( $H$ ), zaczerpnięty z bazy danych A. Punkt PH' – odsetek osób narażonych na hałas z progiem słuchu powyżej 25 dB. Punkt PH – odsetek osób bez narażenia na hałas z takim samym stanem słuchu. Ryzyko uszkodzenia słuchu związane z ekspozycją:  $65\% - 8\% = 57\%$ .

**Ryc. 3.2.** Przykład oszacowania ryzyka upośledzenia słyszenia według PN-ISO 1999:2000 [44]

Wyniki szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu związanego z narażeniem na hałas i wiekiem oraz ryzyka związanego tylko z narażeniem hałas w funkcji poziomu ekspozycji na hałas  $L_{EX,8h}$  i czasu narażenia w latach oraz wieku i płci podano w tabelach 3.3. i 3.4. W obliczeniach tych uwzględnione zostały rozkłady progu słuchu z bazy danych A (wyselekcjonowanej, zdrowej otologicznie nienarażonej zawodowo na hałas populacji odniesienia).



**Tabela 3.3.** Ryzyko uszkodzenia słuchu związane z wiekiem i ekspozycją na hałas w zależności od narażenia na hałas (poziomu ekspozycji  $L_{EX,sh}$  i czasu narażenia w latach), wieku i płci według normy PN-ISO 1999:2000 [44]

| Średni próg słuchu        | Poziom ekspozycji na hałas $L_{EX,sh}$ [dB] | Wiek [w latach] / Czas narażenia [w latach]                |    |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
|---------------------------|---|--|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
|                           |   | 25   | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65        | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |  |  |
|                           |   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45        | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |  |  |
|                           |   | ryzyko uszkodzenia słuchu związane z wiekiem i hałasem [%] |    |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| kobiety                   |   |  |    |    |    |    |    |    |    | mężczyźni |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| 1, 2 i 3 kHz $\geq 25$ dB | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 5  | 9  | 16        | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 5  | 9  | 18 | 28 |  |  |
|                           | 85  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3  | 8  | 13 | 21        | 0  | 0  | 0  | 1  | 3  | 7  | 13 | 22 | 32 |  |  |
|                           | 90  | 0  | 0  | 2  | 3  | 6  | 10 | 16 | 23 | 31        | 0  | 1  | 3  | 5  | 9  | 15 | 23 | 31 | 41 |  |  |
|                           | 95  | 3  | 6  | 10 | 16 | 22 | 28 | 35 | 42 | 50        | 4  | 7  | 12 | 18 | 25 | 32 | 41 | 49 | 58 |  |  |
|                           | 100   | 14   | 23 | 32 | 40 | 48 | 56 | 64 | 72 | 77        | 15 | 24 | 33 | 41 | 50 | 60 | 69 | 75 | 81 |  |  |
| 1, 2 i 3 kHz $\geq 45$ dB | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  |  |  |
|                           | 85  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3  |  |  |
|                           | 90  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 6  |  |  |
|                           | 95  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 3  | 6  | 9         | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3  | 5  | 9  | 15 |  |  |
|                           | 100   | 0  | 1  | 3  | 6  | 10 | 13 | 18 | 24 | 29        | 0  | 2  | 4  | 7  | 11 | 16 | 22 | 28 | 35 |  |  |
| 2, 3 i 4 kHz $\geq 25$ dB | 80  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 5  | 11 | 20 | 29        | 0  | 0  | 1  | 3  | 8  | 16 | 27 | 39 | 52 |  |  |
|                           | 85  | 0  | 0  | 1  | 3  | 6  | 11 | 18 | 27 | 37        | 0  | 1  | 3  | 7  | 13 | 23 | 35 | 46 | 58 |  |  |
|                           | 90  | 2  | 5  | 8  | 13 | 19 | 27 | 35 | 44 | 53        | 3  | 6  | 12 | 18 | 28 | 38 | 50 | 60 | 70 |  |  |
|                           | 95  | 11   | 20 | 28 | 37 | 44 | 52 | 61 | 69 | 75        | 13 | 22 | 32 | 41 | 51 | 61 | 71 | 78 | 83 |  |  |
|                           | 100   | 29   | 44 | 56 | 66 | 74 | 81 | 85 | 89 | 91        | 30 | 45 | 58 | 69 | 77 | 84 | 88 | 91 | 94 |  |  |
| 2, 3 i 4 kHz $\geq 45$ dB | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 7  | 15 |  |  |
|                           | 85  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 5         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 4  | 10 | 19 |  |  |
|                           | 90  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3  | 6  | 12        | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 5  | 10 | 18 | 28 |  |  |
|                           | 95  | 0  | 0  | 1  | 3  | 6  | 10 | 15 | 21 | 28        | 0  | 1  | 2  | 6  | 10 | 17 | 25 | 34 | 44 |  |  |
|                           | 100   | 2  | 8  | 14 | 20 | 27 | 33 | 40 | 47 | 54        | 3  | 9  | 16 | 23 | 31 | 40 | 48 | 57 | 67 |  |  |

**Tabela 3.4.** Ryzyko uszkodzenia słuchu związane tylko z ekspozycją na hałas w zależności od narażenia na hałas (poziomu ekspozycji  $L_{EX,sh}$  i czasu narażenia w latach), wieku i płci według normy PN-ISO 1999:2000 [44]

| Średni próg słuchu         | Poziom ekspozycji na hałas $L_{EX,sh}$ [dB] | Wiek [w latach] / Czas narażenia [w latach]            |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------|---|--|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                            |   | 25   | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60        | 65 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |
|                            |   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40        | 45 | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
|                            |   | ryzyko uszkodzenia słuchu związane tylko z hałasem [%] |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| kobiety                    |   |  |    |    |    |    |    |    | mężczyźni |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1, 2<br>i 3 kHz<br>≥ 25 dB | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                            | 85  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 3  | 3         | 5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 4  |
|                            | 90  | 0  | 0  | 2  | 3  | 5  | 8  | 11 | 13        | 15 | 0  | 1  | 2  | 4  | 7  | 10 | 13 | 13 | 13 |
|                            | 95  | 3  | 6  | 10 | 16 | 21 | 26 | 31 | 33        | 33 | 4  | 7  | 11 | 17 | 23 | 28 | 31 | 30 | 30 |
|                            | 100   | 14   | 23 | 32 | 39 | 47 | 54 | 60 | 63        | 61 | 15 | 24 | 33 | 41 | 48 | 55 | 59 | 57 | 53 |
| 1, 2<br>i 3 kHz<br>≥ 45 dB | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                            | 85  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                            | 90  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0         | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 3  |
|                            | 95  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 3  | 6         | 9  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3  | 5  | 9  | 12 |
|                            | 100   | 0  | 1  | 3  | 6  | 10 | 13 | 18 | 24        | 29 | 0  | 2  | 4  | 7  | 11 | 16 | 22 | 27 | 32 |
| 2, 3<br>i 4 kHz<br>≥ 25 dB | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 4  | 7  | 10        | 10 | 0  | 0  | 1  | 2  | 7  | 13 | 17 | 13 | 2  |
|                            | 85  | 0  | 0  | 1  | 3  | 5  | 10 | 14 | 18        | 19 | 0  | 1  | 3  | 6  | 12 | 20 | 25 | 20 | 8  |
|                            | 90  | 2  | 5  | 8  | 13 | 19 | 26 | 31 | 35        | 34 | 3  | 6  | 11 | 18 | 27 | 35 | 40 | 34 | 20 |
|                            | 95  | 11   | 20 | 28 | 37 | 44 | 50 | 57 | 60        | 57 | 13 | 22 | 32 | 40 | 50 | 58 | 61 | 52 | 33 |
|                            | 100   | 29   | 44 | 56 | 66 | 74 | 79 | 81 | 80        | 73 | 30 | 45 | 58 | 68 | 76 | 80 | 78 | 65 | 44 |
| 2, 3<br>i 4 kHz<br>≥ 45 dB | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0         | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 7  | 15 |
|                            | 85  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1         | 4  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 4  | 10 | 18 |
|                            | 90  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3  | 6         | 12 | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 5  | 10 | 18 | 27 |
|                            | 95  | 0  | 0  | 1  | 3  | 6  | 10 | 15 | 21        | 28 | 0  | 1  | 2  | 6  | 10 | 17 | 25 | 34 | 43 |
|                            | 100   | 2  | 8  | 14 | 20 | 27 | 33 | 40 | 47        | 54 | 3  | 9  | 16 | 23 | 31 | 40 | 48 | 57 | 66 |

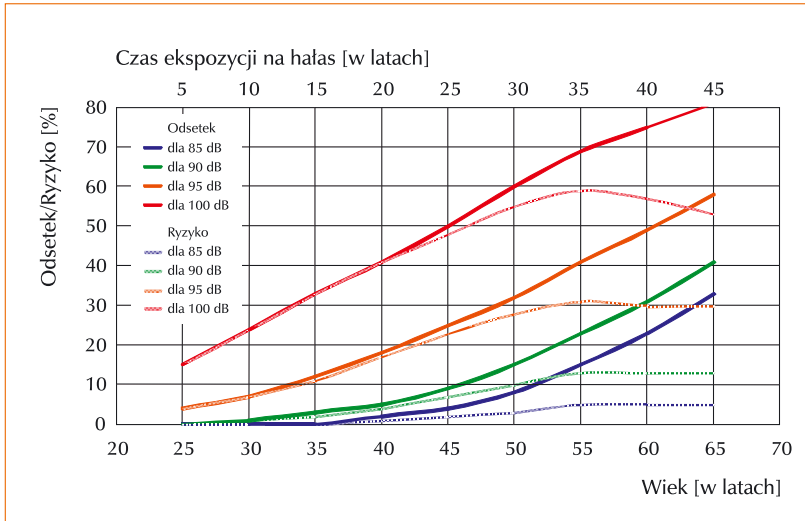
Dane te wskazują, że przykładowo w wyniku 40-letniej ekspozycji zawodowej na hałas o poziomie 85 dB średni próg słuchu dla częstotliwości 2, 3 i 4 kHz będzie większy lub równy 25 dB u 27% kobiet i 46% mężczyzn. Z kolei ubytków słuchu kwalifikujących do rozpoznania zawodowego uszkodzenia słuchu (tj. średnich progów słuchu dla 1, 2 i 3 kHz większych bądź równych 45 dB) można spodziewać się u kobiet i mężczyzn narażonych przez 40 lat na hałas o poziomach rzędu 95 dB i wyższych (tab. 3.3).

Bez względu na poziom ekspozycji na hałas ( $L_{EX,8h}$ ) w początkowym okresie narażenia ryzyko uszkodzenia słuchu wywołane hałasem wzrasta z czasem i jest takie same jak ryzyko związane z wiekiem i hałasem. Dopiero później zaczyna się zmniejszać wpływ hałasu, a dominować wiek. Im wyższy poziom ekspozycji na hałas i wyższa wartość graniczna progu słuchu, tym później zaczyna się to uwidaczniać (ryc. 3.3).

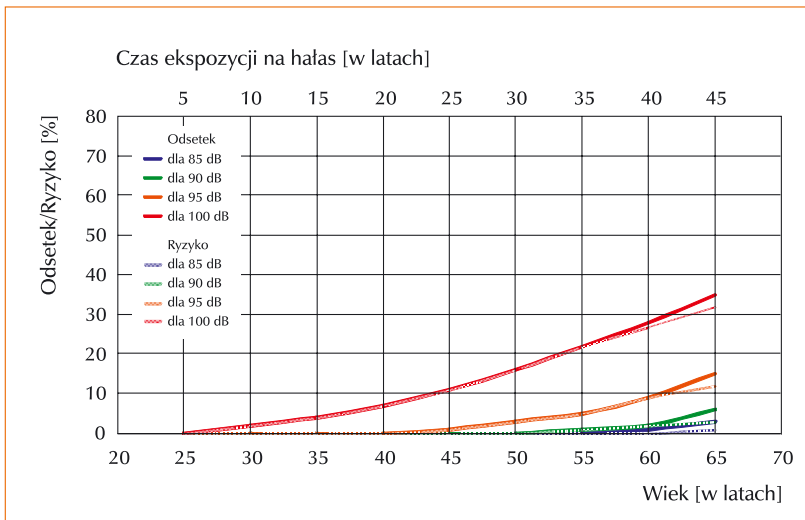
Przykładowo przy wartości granicznej 25 dB i narażeniu na hałas o poziomie 90 dB ryzyko związane z hałasem zaczyna maleć dopiero po około 15 latach narażenia (w wieku 35 lat), podczas gdy przy narażeniu na hałas o poziomie 100 dB – po około 22 latach (ryc. 3.3a). Z kolei przy poziomie 100 dB i wartości granicznej progu słyszenia równej 45 dB ryzyko to zaczyna zmniejszać się dopiero po około 35 latach pracy w narażeniu na hałas (ryc. 3.3b).

Przedstawiona wyżej metoda powstała w oparciu o dane uzyskane dla populacji osób narażonych na ustalony hałas szerokopasmowy bez składowych tonalnych. Istotne czynniki wpływające na urazowość hałasu, takie jak np. jego widmo częstotliwości i charakter zmienności w czasie (np. impulsowość) zostały tylko częściowo uwzględnione w postaci poprawki o wartości 5 dB dla hałasu tonalnego lub impulsowego. Nie uwzględniono natomiast wielu innych czynników, do których należą takie uwarunkowania środowiskowe, jak ekspozycje pozazawodowe na hałas czy występujące łącznie z hałasem narażenie na niektóre substancje chemiczne (np. rozpuszczalniki organiczne), a także uwarunkowania osobnicze (np. nadciśnienie tętnicze, hiperlipidemia czy palenie papierosów) (patrz rozdz. 1.1). Z tego powodu podejmowane są próby modyfikacji metody szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu opisanej w normie PN-ISO 199:2000 (ISO 1999:1990), aby możliwe było uwzględnienie wpływu wszystkich istotnych zawodowych i pozazawodowych czynników ryzyka.

a)



b)



Ryzyko uszkodzenia słuchu wywołane hałasem – linie ciągłe.  
 Ryzyko związane z wiekiem i hałasem – linie przerywane.

**Ryc. 3.3.** Porównanie ryzyka uszkodzenia słuchu wywołanego hałasem z ryzykiem wynikającym z wieku i narażenia na hałas u mężczyzn w zależności od poziomu ekspozycji na hałas ( $L_{EX,0h}$ ), przy założonym średnim progu słuchu dla częstotliwości 1, 2 i 3 kHz większym lub równym a) 25 dB lub b) 45 dB

Dla optymalnej profilaktyki zawodowego uszkodzenia słuchu wywołanego hałasem istnieje potrzeba oceny wpływu wszystkich istotnych czynników zawodowych i pozazawodowych, dlatego też na bazie normy PN-ISO 1999:2000 (ISO 1999:1990) podejmowano próby opracowania nowych metod szacowania ryzyka upośledzenia słuchu. Jedną z nich, opracowaną przez zespół pracowników Zakładu Zagrożeń Fizycznych Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi im. prof. J. Nofera, opisano w dalszej części rozdziału.

### 3.2. Zmodyfikowana metoda szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu

Zmodyfikowana metoda szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu oparta na normie międzynarodowej PN-ISO 1999:2000 poza narażeniem na hałas (poziomem ekspozycji  $L_{EX,8h}$  lub  $L_{EX,w}$  i czasem narażenia w latach) oraz płcią i wiekiem uwzględnia dodatkowe czynniki, które mają istotny wpływ na głębokość uszkodzenia słuchu, takie jak: charakter impulsowy hałasu, stosowanie ochronników słuchu, równoczesne narażenie na rozpuszczalniki organiczne oraz palenie papierosów i podwyższone ciśnienie tętnicze krwi [46].

Podstawą modyfikacji metody szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu według normy PN-ISO 1999:2000 (ISO 1999:1990) była analiza bazy danych, zgromadzonej w Zakładzie Zagrożeń Fizycznych Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi, zawierającej informacje o stanie zdrowia (w tym wynikach badań audiometryczne, przebytych chorobach i urazach, wynikach badań ciśnienia tętniczego) i przebiegu pracy zawodowej 4687 osób narażonych na hałas lub/i inne czynniki ototoksyczne w miejscu pracy [46].

Przewidywane ubytki słuchu przy obecności ww. dodatkowych czynników ryzyka wyznaczane są przy uwzględnieniu skorygowanego ze względu na obecność hałasu impulsowego i stosowanie ochronników słuchu poziomu ekspozycji na hałas oraz poprawek wynikających z palenia papierosów, nadciśnienia tętniczego i równoczesnego narażenia na rozpuszczalniki organiczne.

**W zmodyfikowanej metodzie szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu** uwzględniającej dodatkowe czynniki ryzyka przewidywane ubytki słuchu są obliczane zgodnie z wzorem:

$$HTL_k = HTLA + NIPTS_k - \frac{(HTLA \times NIPTS_k)}{120} + CF_{RO} + CF_{PP} + CF_{NT} \quad [3.3]$$

gdzie:

HTLA – próg słuchu związany z wiekiem [dB],

NIPTS<sub>k</sub> – trwałe przesunięcie progu słuchu wywołane ekspozycją na hałas wyznaczone na podstawie skorygowanego średniego poziomu ekspozycji na hałas uwzględniającego skuteczność stosowanych ochronników słuchu lub/i impulsowy charakter hałasu

L<sub>EX, kr</sub> i czasu ekspozycji T [dB],

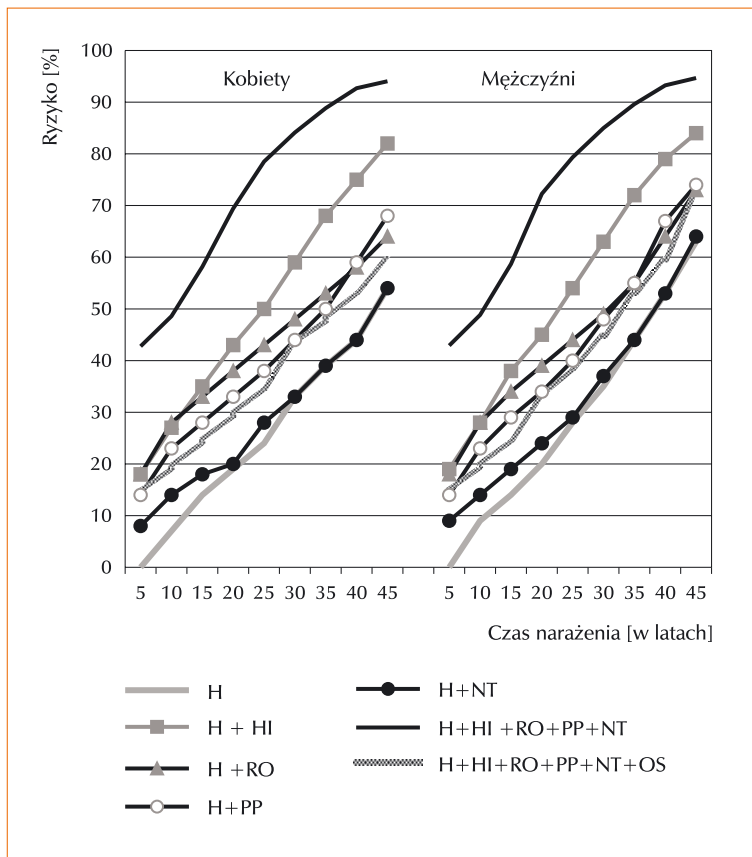
CF<sub>RO</sub> – poprawka wynikająca z ekspozycji zawodowej na rozpuszczalniki organiczne [dB],

CF<sub>PP</sub> – poprawka uwzględniająca palenie papierosów [dB],

CF<sub>NT</sub> – poprawka uwzględniająca nadciśnienie tętnicze krwi [dB].

**Uwaga:** Poprawki CF<sub>RO</sub>, CF<sub>PP</sub> i CF<sub>NT</sub> nie są wartościami stałymi. Są one uzależnione od częstotliwości audiometrycznej, poziomu i czasu trwania ekspozycji na hałas oraz centyla populacji [46].

Przykłady wyników szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu związanego z ekspozycją na hałas (przy uwzględnieniu dodatkowych czynników ryzyka oraz stosowania ochronników słuchu i impulsowości hałasu) podano w tabeli 3.5. Dodatkowe czynniki (takie jak impulsowy charakter hałasu, równoczesne narażenie na rozpuszczalniki organiczne oraz palenie papierosów i podwyższone ciśnienie tętnicze) powodują zwiększenie ryzyka, podczas gdy stosowanie ochronników słuchu daje przeciwny efekt (ryc. 3.4).



Wyniki szacowania dotyczą średniego progu słuchu dla częstotliwości 1, 2 i 3 kHz większego lub równego 25 dB.

**Ryc. 3.4.** Ryzyko uszkodzenia słuchu związane z wiekiem i ekspozycją na hałas w przypadku narażenia na hałas o poziomie ekspozycji  $L_{EX,8h} = 95$  dB (H) przy uwzględnieniu dodatkowych czynników ryzyka, tj. impulsowego charakteru hałasu (HI), palenia papierosów (PP), nadciśnienia tętniczego (NT) i równoczesnej ekspozycji na rozpuszczalniki (RO) oraz stosowania ochronników słuchu (OS)

**Tabela 3.5.** Ryzyko uszkodzenia słuchu związane z wiekiem i ekspozycją na hałas w zależności od narażenia na hałas (poziomu ekspozycji  $L_{EX,8h}$  i czasu narażenia), wieku i płci przy uwzględnieniu dodatkowych czynników ryzyka, tj. impulsowego charakteru hałasu, palenia papierosów, nadciśnienia tętniczego i równoczesnej ekspozycji na rozpuszczalniki oraz stosowania ochronników słuchu

| Dodatkowy czynnik ryzyka   | Poziom ekspozycji na hałas $L_{EX,8h}$ [dB] | Wiek [w latach] / Czas narażenia [w latach]                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
|----------------------------|---|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
|                            |   | 25   | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 25 | 30        | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |  |  |
|                            |   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 5  | 10        | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |  |  |
|                            |   | ryzyko uszkodzenia słuchu związane z wiekiem i hałasem [%] |    |    |    |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
|                            |   | kobiety  |    |    |    |    |    |    |    |    |    | mężczyźni |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Hałas impulsowy            | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 9  | 15 | 24 | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 8  | 15 | 24 | 34 |  |  |
|                            | 85  | 0  | 0  | 0  | 0  | 7  | 13 | 19 | 25 | 34 | 0  | 0         | 0  | 6  | 10 | 18 | 24 | 34 | 44 |  |  |
|                            | 90  | 0  | 7  | 14 | 19 | 24 | 33 | 39 | 44 | 54 | 0  | 9         | 14 | 20 | 28 | 35 | 44 | 53 | 63 |  |  |
|                            | 95  | 18   | 27 | 35 | 43 | 50 | 59 | 68 | 75 | 82 | 19 | 28        | 38 | 45 | 54 | 63 | 72 | 79 | 84 |  |  |
|                            | 100   | 34   | 47 | 59 | 70 | 79 | 85 | 89 | 93 | 94 | 34 | 48        | 60 | 73 | 80 | 87 | 90 | 93 | 95 |  |  |
| Rozpuszczalniki organiczne | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 5  | 9  | 15 | 23 | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 9  | 15 | 24 | 34 |  |  |
|                            | 85  | 0  | 0  | 0  | 6  | 10 | 15 | 20 | 28 | 34 | 0  | 0         | 0  | 8  | 14 | 19 | 28 | 34 | 43 |  |  |
|                            | 90  | 0  | 8  | 14 | 19 | 25 | 33 | 38 | 43 | 49 | 0  | 9         | 15 | 23 | 29 | 35 | 43 | 49 | 55 |  |  |
|                            | 95  | 18   | 28 | 33 | 38 | 43 | 48 | 53 | 58 | 64 | 18 | 28        | 34 | 39 | 44 | 49 | 55 | 64 | 73 |  |  |
|                            | 100   | 34   | 40 | 48 | 54 | 63 | 69 | 78 | 83 | 88 | 34 | 43        | 49 | 55 | 64 | 73 | 79 | 85 | 89 |  |  |
| Palenie tytoniu            | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 7  | 13 | 18 | 23 | 0  | 0         | 0  | 0  | 7  | 13 | 18 | 24 | 33 |  |  |
|                            | 85  | 0  | 0  | 0  | 0  | 8  | 14 | 18 | 24 | 30 | 0  | 0         | 0  | 6  | 13 | 18 | 24 | 30 | 39 |  |  |
|                            | 90  | 0  | 6  | 10 | 15 | 20 | 28 | 33 | 39 | 45 | 0  | 7         | 13 | 18 | 24 | 30 | 39 | 45 | 55 |  |  |
|                            | 95  | 14   | 23 | 28 | 33 | 38 | 44 | 50 | 59 | 68 | 14 | 23        | 29 | 34 | 40 | 48 | 55 | 67 | 74 |  |  |
|                            | 100   | 29   | 38 | 45 | 54 | 64 | 73 | 79 | 84 | 88 | 29 | 38        | 48 | 55 | 65 | 74 | 82 | 87 | 90 |  |  |
| Nadciśnienie tętnicze      | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 5  | 8  | 14 | 18 | 24 | 0  | 0         | 0  | 0  | 8  | 14 | 19 | 25 | 33 |  |  |
|                            | 85  | 0  | 0  | 0  | 0  | 7  | 9  | 14 | 19 | 25 | 0  | 0         | 0  | 6  | 9  | 14 | 20 | 28 | 35 |  |  |
|                            | 90  | 0  | 0  | 6  | 8  | 13 | 18 | 23 | 28 | 34 | 0  | 5         | 8  | 13 | 15 | 20 | 28 | 34 | 44 |  |  |
|                            | 95  | 8  | 14 | 18 | 20 | 28 | 33 | 39 | 44 | 54 | 9  | 14        | 19 | 24 | 29 | 37 | 44 | 53 | 64 |  |  |
|                            | 100   | 19   | 28 | 35 | 44 | 50 | 63 | 73 | 79 | 84 | 20 | 29        | 38 | 45 | 54 | 65 | 75 | 83 | 88 |  |  |



**Tabela 3.5.** Ryzyko uszkodzenia słuchu związane z wiekiem i ekspozycją na hałas w zależności od narażenia na hałas (poziomu ekspozycji  $L_{EX,8h}$  i czasu narażenia), wieku i płci przy uwzględnieniu dodatkowych czynników ryzyka, tj. impulsowego charakteru hałasu, palenia papierosów, nadciśnienia tętniczego i równoczesnej ekspozycji na rozpuszczalniki oraz stosowania ochronników słuchu – cd.

| Dodatkowy czynnik ryzyka  | Poziom ekspozycji na hałas $L_{EX,8h}$ [dB] | Wiek [w latach] / Czas narażenia [w latach]                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
|---|---|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|
|   |   | 25   | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 25 | 30 | 35        | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |  |  |  |  |
|   |   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 5  | 10 | 15        | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |  |  |  |  |
|   |   | ryzyko uszkodzenia słuchu związane z wiekiem i hałasem [%] |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
|   |   | kobiety  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | mężczyźni |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| Hałas impulsowy, rozpuszczalniki organiczne, palenie tytoniu, nadciśnienie tętnicze                     | 80  | 11   | 13 | 14 | 18 | 19 | 24 | 29 | 34 | 39 | 13 | 14 | 15        | 19 | 23 | 28 | 33 | 39 | 45 |  |  |  |  |
|   | 85  | 14   | 19 | 24 | 29 | 34 | 40 | 45 | 53 | 59 | 15 | 19 | 24        | 30 | 38 | 44 | 50 | 59 | 72 |  |  |  |  |
|   | 90  | 25   | 38 | 43 | 45 | 50 | 55 | 65 | 74 | 83 | 25 | 38 | 43        | 48 | 54 | 60 | 73 | 79 | 85 |  |  |  |  |
|   | 95  | 43   | 49 | 58 | 69 | 79 | 84 | 89 | 93 | 94 | 43 | 49 | 59        | 72 | 79 | 85 | 90 | 93 | 95 |  |  |  |  |
|   | 100   | 53   | 65 | 80 | 89 | 93 | 99 | 99 | 99 | 99 | 53 | 68 | 80        | 89 | 93 | 99 | 99 | 99 | 99 |  |  |  |  |
| Hałas impulsowy, rozpuszczalniki organiczne, palenie tytoniu, nadciśnienie tętnicze i ochronniki słuchu | 80  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 10 | 18 | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 13 | 19 | 29 |  |  |  |  |
|   | 85  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 10 | 18 | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 13 | 19 | 29 |  |  |  |  |
|   | 90  | 9  | 10 | 13 | 14 | 15 | 19 | 23 | 25 | 30 | 10 | 13 | 14        | 15 | 19 | 23 | 25 | 30 | 38 |  |  |  |  |
|   | 95  | 13   | 13 | 14 | 18 | 20 | 24 | 29 | 34 | 39 | 13 | 14 | 15        | 19 | 23 | 28 | 33 | 39 | 48 |  |  |  |  |
|   | 100   | 15   | 19 | 24 | 30 | 35 | 43 | 48 | 53 | 60 | 15 | 20 | 25        | 33 | 39 | 45 | 53 | 60 | 73 |  |  |  |  |

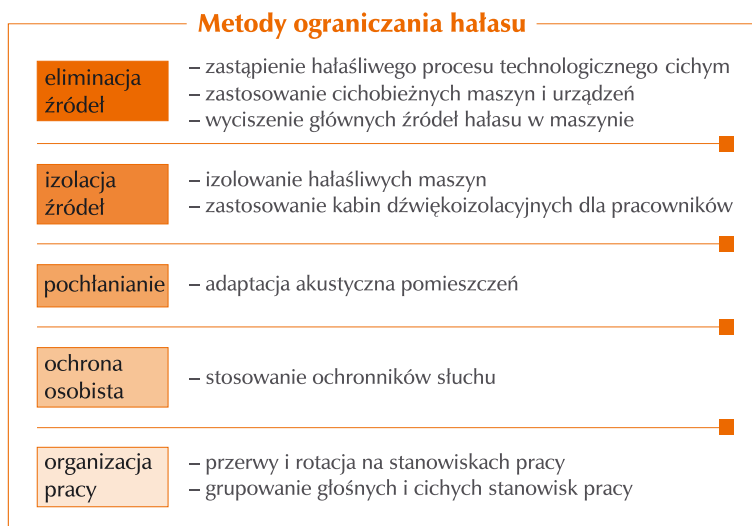
\* Obliczono na podstawie Dudarewicz i wsp. [46], przy założeniu, że pracę w narażeniu na hałas rozpoczęto w wieku 20 lat. Wyniki szacowania dotyczą średniego progu słuchu dla częstotliwości 1, 2 i 3 kHz większego lub równego 25 dB.

## 4. METODY OGRANICZENIA NARAŻENIA NA HAŁAS I MINIMALIZOWANIA RYZYKA USZKODZENIA SŁUCHU

Małgorzata Pawlaczyk-Łuszczynska, Małgorzata Zamojska

Praca w narażeniu na hałas powyżej wartości dopuszczalnych – w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego – jest zaliczana do prac szczególnie szkodliwych (przy przekroczeniu wartości NDN) lub uciążliwych (przy przekroczeniu wartości dopuszczalnych ze względu na możliwość realizowania przez pracownika jego podstawowych zadań).

Kompleksowe działania mające na celu zapobieganie ujemnym skutkom działania hałasu obejmują ograniczenie ekspozycji metodami technicznymi i organizacyjno-administracyjnymi, stosowanie indywidualnych ochronników słuchu oraz profilaktykę medyczną (ryc. 4.1). Konieczność ograniczenia ekspozycji na hałas jest prawnie usankcjonowana (patrz rozdz. 2.5).



Ryc. 4.1. Metody ograniczenia narażenia na hałas w środowisku pracy

### 4.1. Metody techniczne i organizacyjno-administracyjne

Na mocy § 5.2 Rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne [36] w odniesieniu do stanowisk pracy, dla których krotność przekroczenia wartości NDN hałasu jest większa lub równa 1 ( $K_{NDN} \geq 1$ ), pracodawca sporządza i wdraża program działań organizacyjno-technicznych zmierzających do ograniczenia narażenia na hałas [36].

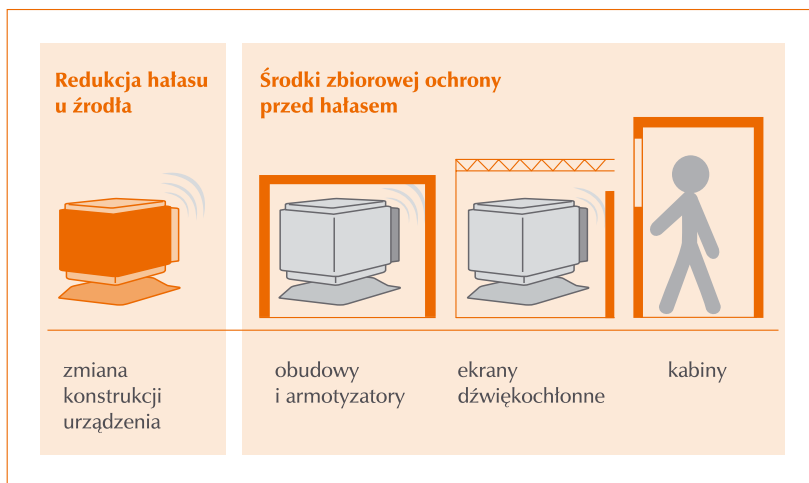
Zgodnie z § 5.3 program działań organizacyjno-technicznych obejmuje:

- unikanie procesów lub metod pracy powodujących narażenie na hałas i zastępowanie ich innymi, stwarzającymi mniejsze narażenie,
- dobieranie środków pracy właściwie zaprojektowanych pod względem ergonomicznym, o możliwie najniższym poziomie emisji hałasu,
- ograniczenie narażenia środkami technicznymi, w tym stosowanie obudów dźwiękoizolacyjnych, kabin dźwiękoszczelnych, tłumików, ekranów, materiałów dźwiękochłonnych oraz układów izolujących i tłumiących dźwięki materiałowe<sup>7</sup>,
- projektowanie miejsc pracy i rozmieszczanie stanowisk pracy w sposób umożliwiający izolacje od źródeł hałasu oraz ograniczający jednocześnie oddziaływanie na pracownika wielu źródeł,
- konserwowanie środków pracy, obiektów budowlanych, urządzeń i układów izolujących i tłumiących hałas oraz innych środków ochrony zbiorowej,
- ograniczanie czasu i poziomu narażenia oraz liczby osób narażonych na hałas przez właściwą organizację pracy, w tym stosowanie skróconego czasu lub przerw w pracy i rotacji pracowników na stanowiskach.

W ramach programu działań organizacyjno-technicznych pracodawca [36]:

- oznacza znakami bezpieczeństwa miejsca pracy, w których występuje hałas o poziomach przekraczających wartości NDN, oraz wydziela strefy z takimi miejscami i ogranicza do nich dostęp, jeśli jest to technicznie wykonalne;
- wydziela pomieszczenia przeznaczone do wypoczynku, w których równoważny poziom dźwięku A nie przekracza 55 dB.

<sup>7</sup> Praktyczne wytyczne w tym zakresie zawierają m.in. pozycje 47 i 48 w wykazie piśmiennictwa do niniejszego poradnika.



Ryc. 4.2. Metody techniczne ograniczenia narażenia na hałas w środowisku pracy

## 4.2. Stosowanie ochronników słuchu

Najprostszym i najczęściej stosowanym sposobem ograniczenia narażenia na hałas jest stosowanie indywidualnych ochronników słuchu (środków ochrony indywidualnej), które istotnie zmniejszają ilość energii akustycznej docierającej do ucha.

W środowisku pracy ochronników słuchu używa się przede wszystkim w sytuacji, kiedy nie jest możliwe ograniczenie narażenia na hałas metodami technicznymi lub organizacyjno-administracyjnymi, a także kiedy ekspozycja występuje rzadko lub pracownik obsługujący hałaśliwe urządzenie musi jedynie okresowo wchodzić do pomieszczenia, w którym się ono znajduje.

Z formalnego punktu widzenia<sup>8</sup> pracodawca jest zobligowany do udostępnienia pracownikom środków ochrony indywidualnej, jeżeli wielkości charakteryzujące hałas przekraczają wartości progów działania ( $L_{EX,8h} / L_{EX,w} > 80$  dB), oraz dodatkowo do nadzorowania prawidłowości ich stosowania, jeżeli wielkości charakteryzujące hałas osiągają lub przekraczają wartości NDN ( $L_{EX,8h} / L_{EX,w} \geq 85$  dB lub  $i L_{Amax} \geq 115$  dB lub  $i L_{Cpeak} \geq 135$  dB) [36].

<sup>8</sup> Patrz Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne [36].

Pracodawca jest zwolniony z obowiązku udostępniania ochronników słuchu do prac, przy których właściwe stosowanie ich przez cały czas mogłoby spowodować większe zagrożenie dla zdrowia i bezpieczeństwa pracownika niż rezygnacja z ich stosowania, a w szczególności w przypadku prac wykonywanych przez:

- osoby prowadzące akcję ratowniczą w celu ochrony życia lub zdrowia ludzkiego, ochrony mienia lub środowiska, usunięcia awarii albo przeciwdziałania klęsce żywiołowej;
- kierujących pojazdami samochodowymi, ciągnikami rolniczymi lub maszynami samobieżnymi po drogach publicznych lub drogach komunikacyjnych i transportowych na terenie zakładu pracy;
- wykonywanych przez artystów – wykonawców widowisk muzycznych i rozrywkowych [36].

#### 4.2.1. Rodzaje ochronników słuchu

Obecnie dostępne są na rynku dwie kategorie ochronników słuchu:

- pasywne ochronniki słuchu wykonane z materiałów pochłaniających lub/i odbijających dźwięk,
- specjalne ochronniki słuchu, czyli ochronniki słuchu wykonane z materiałów pochłaniających lub/i odbijających dźwięk, które mają dodatkowe funkcje i wyposażone są w dodatkowe układy mechaniczne lub elektroniczne.

Do kategorii ochronników specjalnych zalicza się:

- ochronniki słuchu o regulowanym wzmocnieniu – zaprojektowane w celu zapewnienia różnego tłumienia w zależności od zmian poziomu hałasu; ich podstawowym zadaniem jest ochrona przed hałasem impulsowym i przerywanym oraz umożliwienie komunikacji w okresach ciszy;
- ochronniki o płaskiej charakterystyce tłumienia w całym zakresie częstotliwości, które umożliwiają efektywną komunikację;
- ochronniki słuchu wyposażone w układy do komunikacji przewodowej lub bezprzewodowej, które umożliwiają porozumiewanie się, odbiór sygnałów ostrzegawczych, poleceń słownych lub programów rozrywkowych;
- ochronniki z aktywną redukcją hałasu (ARN) – ochronniki wyposażone w układy elektroakustyczne służące do kompensacji dźwięków dochodzących z zewnątrz.

**Ochronniki o regulowanym wzmacnieniu:**

- ochronniki słuchu zawierające układy elektroniczne odtwarzające dźwięki – w warunkach niskich poziomów hałasu dźwięk odbierany przez mikrofon zewnętrzny jest wzmacniany i przekazywany do głośnika wewnątrz czaszy nauszника lub wkładki; gdy poziom dźwięku na zewnątrz ochronnika wrasta, układy elektroniczne stopniowo redukują transmisję dźwięku w ochronniku słuchu;
- pasywne ochronniki o regulowanym tłumieniu – wyposażone w filtry akustyczne, które przepuszczają sygnały akustyczne o niskich poziomach dźwięku, ale zapewniają większe tłumienie hałasów o wysokich poziomach dźwięku – przewidziane przede wszystkim do tłumienia hałasów impulsowych o bardzo wysokich poziomach, np. takich jak hałas broni palnej.

**Zasada działania aktywnych ochronników** słuchu oparta jest na idei interferencji fal akustycznych i sprowadza się do kompensacji hałasu dźwiękami generowanymi z dodatkowych źródeł. Układy tego typu są stosowane przede wszystkim do poprawy skuteczności tłumienia hałasu niskoczęstotliwościowego i umożliwiają redukcję rzędu 10–15 dB w zakresie częstotliwości 50–500 Hz [48].

Zarówno pasywne, jak i specjalne ochronniki słuchu są dostępne w formie:

- dousznych wkładek przeciwhałasowych (jednorazowego lub wielokrotnego użytku), w tym wkładek kształtowanych przez producenta lub użytkownika oraz wkładek formowanych (dopasowywanych) indywidualnie do kanału usznego użytkownika,
- nauszników przeciwhałasowych (nahełmowych lub z nagłówną sprężyną dociskową) oraz hełmów przeciwhałasowych.

#### 4.2.2. Parametry tłumienne ochronników słuchu

Właściwości tłumienne ochronników słuchu są charakteryzowane przez następujące parametry: a) średnie tłumienie dźwięku ( $M_p$ ), b) założony poziom tłumienia (assumed protection value –  $APV_{fx}$ ), w tym minimalne tłumienie, c) tłumienie: wysokoczęstotliwościowe (H), średniczęstotliwościowe (M) i niskoczęstotliwościowe (L), oraz d) jednoliczbową ocenę tłumienia (single noise reduction – SNR) (tab. 4.1). Parametry te są wyznaczone na podstawie testowania wybranych egzemplarzy danego typu ochronników.

**Tabela 4.1.** Przykładowa „metryczka” ochronnika słuchu charakteryzująca jego właściwości tłumienne

| Parametr tłumieniowy [dB]    | Częstotliwość [Hz] |      |      |      |       |       |       |       | SNR | H  | M  | L  |
|------------------------------|--------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|----|----|----|
|                              | 62                 | 125  | 250  | 500  | 1 000 | 2 000 | 4 000 | 8 000 |     |    |    |    |
| Średnie tłumienie $M_f$      | 16,4               | 18,3 | 23,3 | 26,6 | 32,9  | 33,8  | 36,0  | 37,9  | 30  | 32 | 28 | 21 |
| Odchylenie standardowe $s_f$ | 5,4                | 4,3  | 2,7  | 2,3  | 2,3   | 2,9   | 2,3   | 3,2   |     |    |    |    |
| Minimalne tłumienie $APV_f$  | 11,0               | 14,0 | 20,6 | 24,3 | 30,6  | 30,9  | 33,7  | 34,7  |     |    |    |    |

SNR – jednoliczbowa ocena tłumienia, H – tłumienie wysokoczęstotliwościowe, M – tłumienie średniczęstotliwościowe, L – tłumienie niskoczęstotliwościowe.

**Tłumienie dźwięku  $M_f$**  to podstawowy parametr określający właściwości ochronnika słuchu. Jest to wielkość określająca, o ile decybeli obniży się poziom ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych 63–8000 Hz, przy błonie bębenkowej po zastosowaniu ochronnika. Zgodnie z PN-EN 24869-1:1999 [49] parametr ten jest określany na podstawie badań z udziałem 16-osobowej grupy słuchaczy z dobrym słuchem w specjalnej kabinie. Tłumienie dźwięku wyznacza się na podstawie pomiaru różnicy progu słyszenia słuchacza z ochronnikiem i bez ochronnika słuchu. Sygnałem testowym jest szum różowy filtrowany w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych 63, 126, 250, 500, 1000, 2000, 4000 i 8000 Hz.

Badania przeprowadza się na co najmniej dwóch próbkach ochronnika słuchu. Próg słuchu bez i z ochronnikiem jest mierzony jednokrotnie dla każdego słuchacza. W wyniku przeprowadzonych pomiarów otrzymuje się, dla każdego pasma częstotliwości, wartości średnie tłumienia dźwięku  $M_f$  i odchylenie standardowe  $s_f$ .

Na podstawie wyznaczonych w ten sposób wartości  $M_f$  i  $s_f$  oblicza się pozostałe parametry tłumienne ochronników.

**Założony poziom tłumienia  $APV_{fx}$**  jest określony wzorem:

$$APV_{fx} = M_f - \alpha s_f \quad [4.1]$$

gdzie:

$M_f$  – średnie tłumienie dźwięku w  $f$ -tym paśmie oktawowym [dB],

$s_f$  – odchylenie standardowe tłumienia dźwięku w  $f$ -tym paśmie oktawowym [dB],

$f$  – pasma oktawowe: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz,

$\alpha$  – przyjęty współczynnik korekcyjny przy założonym poziomie ochrony  $x$

(np. dla  $x = 80\%$ ; 85%, 90% i 95% –  $\alpha = 0,84$ ; 1,04; 1,28 i 1,64).

**Uwaga:** Ponieważ przy określaniu właściwości tłumieniowych ochronników słuchu nie uwzględnia się żadnych indywidualnych cech ich potencjalnych użytkowników, przyjmuje się założony **poziom ochronny (x)**. Zgodnie z definicją poziom ochronny to odsetek sytuacji, w których tłumienie dźwięku przez ochronnik nie będzie mniejsze od deklarowanego. Dla poziomu ochrony  $x = 84\%$  założony poziom tłumienia odpowiada liczbowo wartości minimalnego tłumienia ochronnika słuchu, czyli jego średniemu tłumieniu pomniejszonemu o jedno odchylenie standardowe.

**Parametry tłumienne H, M, L** określają, o ile decybeli zmniejszy się poziom dźwięku A przy błonie bębenkowej po zastosowaniu ochronnika odpowiednio w przypadku hałasów wysokoczęstotliwościowych, średniczęstotliwościowych i niskoczęstotliwościowych.

Pojęcia hałas wysokoczęstotliwościowy, średniczęstotliwościowy i niskoczęstotliwościowy mówią o tym, jaki zakres częstotliwości dominuje w widmie hałasu. Rodzaj hałasu jest określany na podstawie różnic między poziomem dźwięku C a poziomem dźwięku A ( $L_C - L_A$ ), czyli na podstawie tzw. wskaźnika oceny widma.

Zgodnie z ustaleniami normy PN-EN ISO 4869-2 [50] parametry tłumienne H, M, L są wyznaczane dla hałasów o określonych wartościach różnic  $L_C - L_A$ , a mianowicie: a)  $L_C - L_A = -2$  dB – parametr H; b)  $L_C - L_A = +2$  dB – parametr M; c)  $L_C - L_A = +10$  dB – parametr L.

**Parametr SNR** mówi o tym, o ile obniży się poziom dźwięku w przypadku hałasu o widmie zbliżonym do szumu różowego. Wartość tę należy odjąć od poziomu dźwięku C hałasu, aby oszacować poziom dźwięku A pod ochronnikiem.

### 4.2.3. Zasady doboru ochronników słuchu

Podstawowym warunkiem prawidłowego doboru ochronników słuchu jest zapewnienie pod ochronnikiem poziomu dźwięku niższego niż obowiązujące wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu (w tym równoważnego poziomu dźwięku A niższego niż 85 dB i szczytowego poziomu dźwięku C niższego niż 135 dB). Istotna jest również dolna granica poziomu dźwięku pod ochronnikiem, ponieważ zbyt duże wytłumienie hałasu może powodować u pracownika poczucie izolacji akustycznej. z tego powodu zaleca się, aby równoważny poziom dźwięku A pod ochronnikiem nie był niższy niż 70 dB.

Ponieważ istnieje wiele typów ochronników – różniących się konstrukcją, funkcjami i parametrami tłumieniowymi – przy ich doborze uwzględnia się również wygodę użytkownika, specjalne potrzeby użytkownika oraz warunki środowiskowe ich stosowania (np. wysoką i niską temperaturę lub wilgotność, konieczność rozumienia mowy czy też możliwość stosowania w warunkach ekspozycji na hałas przerywany itp.), a także przeciwwskazania zdrowotne.



Osoby z problemami zdrowotnymi ze strony narządu słuchu (takimi jak podrażnienie przewodu słuchowego, ból ucha, wyciek z ucha i ubytki słuchu) lub pozostające w trakcie leczenia tych chorób powinny być konsultowane przez laryngologa.

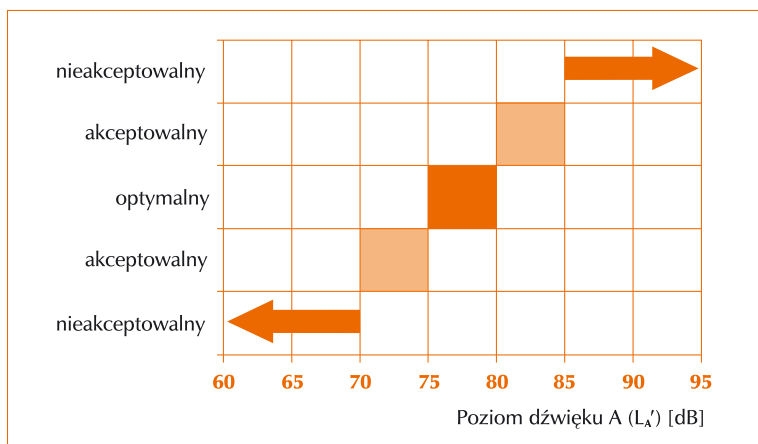
O wygodzie użytkowania wkładek przeciwhałasowych decyduje m.in. łatwość ich wkładania i wyjmowania, natomiast ochronników nausznikowych – masa i siła docisku sprężyny dociskowej. Praca fizyczna w wysokich temperaturach i dużej wilgotności powietrza może powodować pocenie się skóry pod poduszkami ochronników nausznikowych. Wówczas lepszym rozwiązaniem może być stosowanie wkładek przeciwhałasowych. Z kolei praca w zanieczyszczonych warunkach wymaga sprawdzenia, czy zakładanie ochronników (zwłaszcza wkładek) brudnymi rękoma nie stwarza ryzyka infekcji u ich użytkowników.

#### **4.2.3.1. Dobór ochronników słuchu na podstawie parametrów tłumieniych**

Podstawą doboru ochronników słuchu jest oszacowanie spodziewanego poziomu dźwięku pod ochronnikiem słuchu na podstawie parametrów tłumieniych ochronników słuchu i wyników pomiarów hałasu. Tłumienie ochronnika słuchu można uznać za wystarczające, kiedy równoważny poziom dźwięku pod ochronnikiem (poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czas) i szczytowy poziom dźwięku C (tylko w przypadku hałasów impulsowych i udarowych) jest niższy od wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu. W celu uniknięcia zbyt dużego wytłumienia hałasu, które mogłoby powodować poczucie izolacji akustycznej u pracownika, zalecane jest, aby poziom dźwięku A pod ochronnikiem nie był mniejszy niż 70 dB. Optymalny dobór ochronnika (zabezpieczenie dobre) ma miejsce wtedy, gdy pod ochronnikiem występuje hałas o poziomie dźwięku A z przedziału 75–80 dB (ryc. 4.3) [51].

Ogólne zalecenia dotyczące doboru, użytkowania oraz konserwacji codziennej i okresowej ochronników słuchu określa norma PN-EN 458:2006 [51]. Sposób postępowania jest uzależniony od rodzaju hałasu. W przypadku narażenia na hałas impulsowy lub udarowy o szczytowym poziomie dźwięku C powyżej 140 dB przy przeliczeniach uwzględnia się parametry tłumienne H, M lub L i skład widmowy hałasu. Z kolei w przypadku ekspozycji na hałas ustalony, nieustalony i impulsowy o szczytowym poziomie dźwięku C poniżej 140 dB norma daje do wyboru cztery metody doboru ochronników słuchu:

- metodę pasm oktaowych,
- metodę HML,
- metodę kontroli HML,
- metodę SNR.



**Ryc. 4.3.** Zasady doboru ochronników słuchu na podstawie oceny równoważnego poziomu dźwięku A pod ochronnikiem według PN-EN 458:2006 [51]

W zależności od metody wymagane są inne dane pomiarowe dotyczące hałasu (równoważne poziomy ciśnienie w pasmach oktaowych 63(125)–8000 Hz lub równoważny poziom dźwięku A lub/i równoważny poziom dźwięku C) i brane pod uwagę inne parametry tłumienne ochronników (parametry  $APV_f$  lub H, M, L lub SNR).

Najdokładniejszą metodą doboru ochronników jest metoda pasm oktaowych, chociaż równie dokładna jest metoda HML. Metodę kontroli HML należy traktować jako orientacyjną. Z kolei metoda SNR daje wiarygodne wyniki w przypadku typowych hałasów przemysłowych, ale zdecydowanie zaniża poziom dźwięku pod ochronnikiem w przypadku hałasów niskoczęstotliwościowych.

**Metoda pasm oktaowych** wymaga przeprowadzenia analizy widmowej hałasu w pasmach oktaowych 63–8000 Hz. Spodziewany poziom dźwięku A pod ochronnikiem jest wyznaczany według wzoru:

$$L'_A = 10 \log \sum_f 10^{0,1 \times (L_f + K_{Af} - APV_f)} = 10 \log \sum_f 10^{0,1 \times (L_f + K_{Af} - (M_f - s_f))} \quad [4.2]$$

gdzie:

$L'_A$  – równoważny poziom dźwięku A pod ochronnikiem [dB],

$L_f$  – równoważny poziom ciśnienia akustycznego w f-tym paśmie oktawowym [dB],

$K_{Af}$  – poprawka korekcyjna wg charakterystyki częstotliwościowej A dla f-tego pasma oktawowego [dB] (tab. 4.2),

$APV_f$  – minimalne tłumienie ochronnika słuchu w f-tym paśmie oktawowym [dB],

$M_f$  – średnie tłumienie ochronnika słuchu w f-tym paśmie oktawowym [dB],

$s_f$  – odchylenie standardowe tłumienia ochronnika słuchu w f-tym paśmie oktawowym [dB],

f – pasma oktawowe: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 i 8000 Hz.

**Tabela 4.2.** Poprawki korekcyjne według charakterystyki częstotliwościowej A

| Częstotliwość pasm oktawowych [Hz] | 63    | 125   | 250  | 500  | 1 000 | 2 000 | 4 000 | 8 000 |
|------------------------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Poprawka korekcyjna $K_{Af}$ [dB]  | -26,2 | -16,1 | -8,6 | -3,2 | 0     | +1,2  | +1,0  | -1,1  |

**Metoda HML** sprowadza się do pomiaru poziomu dźwięku A i C, a następnie wyznaczenia poziomu dźwięku A pod ochronnikiem według wzoru 4.3. lub 4.4.

$$L'_A = L_A - M + \frac{H-M}{4} (L_C - L_A - 2) \quad \text{dla } L_C - L_A \leq 2 \text{ dB} \quad [4.3]$$

$$L'_A = L_A - M + \frac{M-L}{8} (L_C - L_A - 2) \quad \text{dla } L_C - L_A > 2 \text{ dB} \quad [4.4]$$

gdzie:

$L'_A$  – równoważny poziom dźwięku A pod ochronnikiem [dB],

$L_A$  – równoważny poziom dźwięku A na stanowisku pracy [dB],

$L_C$  – równoważny poziom dźwięku C na stanowisku pracy [dB],

H, M, L – parametry tłumienne ochronnika słuchu [dB].

**W metodzie SNR** wymagana jest znajomość poziomu dźwięku C lub poziomu dźwięku A i wartości wskaźnika rozkładu widma hałasu (tj. różnicy  $L_C - L_A$ ) na stanowisku pracy. Poziom dźwięku A pod ochronnikiem wylicza się ze wzoru:

$$L'_A = L_C - \text{SNR} = L_A + (L_C - L_A) - \text{SNR}; \quad [4.5]$$

gdzie:

$L'_A$  – równoważny poziom dźwięku A pod ochronnikiem [dB],

$L_C$  – równoważny poziom dźwięku C na stanowisku pracy [dB],

$L_A$  – równoważny poziom dźwięku A na stanowisku pracy [dB],

SNR – parametr SNR ochronnika [dB].

W przypadku hałasów impulsowych i udarowych o szczytowym poziomie dźwięku powyżej 140 dB podstawowym warunkiem prawidłowego doboru ochronników słuchu jest zapewnienie przy uchu użytkownika szczytowego poziomu dźwięku C i równoważnego poziomu dźwięku A niższych od wartości NDN hałasu ( $L'_{C_{peak}} < 135$  dB i  $L'_{A_{eq,Te}} < 85$  dB). Spodziewany szczytowy poziom dźwięku C i równoważny poziom dźwięku A pod ochronnikiem wyznacza się poprzez odjęcie tzw. zmodyfikowanego tłumienia dźwięku  $d_m$ , uzależnionego od typu hałasu impulsowego.

Spodziewany szczytowy poziom dźwięku C i równoważny poziom dźwięku A pod ochronnikiem oblicza się z uwzględnieniem tzw. zmodyfikowanego tłumienia dźwięku  $d_m$ , uzależnionego od typu hałasu (tab. 4.3), zgodnie z wzorami:

$$L'_{C_{peak}} = L_{C_{peak}} - d_m \quad [4.6]$$

$$L'_{A_{eq,Te}} = L_{A_{eq,Te}} - d_m \quad [4.7]$$

gdzie:

$L_{C_{peak}}$  – szczytowy poziom dźwięku C na stanowisku pracy [dB],  
 $L_{A_{eq,Te}}$  – równoważny poziom dźwięku A na stanowisku pracy [dB],  
 $d_m$  – zmodyfikowane tłumienie dźwięku według tabeli 4.3. [dB].

**Tabela 4.3.** Wartość zmodyfikowanego tłumienia dźwięku w zależności od typu hałasu impulsowego i udarowego

| Typ hałasu | Zakres częstotliwości  | Źródła hałasu   | Zmodyfikowane tłumienie dźwięku $d_m$ [dB] |
|------------|--|---|--|
| Typ 1      | większa część energii akustycznej jest zawarta w zakresie niskich częstotliwości             | dziurkarka<br>formierka kombinowana<br>materiał wybuchowy (1 kg)<br>materiał wybuchowy (8 kg)   | $d_m = L-5$                                |
| Typ 2      | większa część energii akustycznej jest zawarta w zakresie średnich i wysokich częstotliwości | gwoździarka<br>młot uderzający w płytę<br>gwoździarka automatyczna<br>młot (stalowy)<br>młot (aluminiowy)<br>karabin<br>strzał próbny | $d_m = M-5$                                |

**Tabela 4.3.** Wartość zmodyfikowanego tłumienia dźwięku w zależności od typu hałasu impulsowego i uderowego – cd.

| Typ hałasu | Zakres częstotliwości   | Źródła hałasu                                 | Zmodyfikowane tłumienie dźwięku $d_m$ [dB] |
|------------|---|---|--|
| Typ 3      | większa część energii akustycznej jest zawarta w zakresie wysokich częstotliwości | pistolet<br>lekki pistolet<br>ciężki pistolet | $d_m = H$                                  |

H, M, L – wartości parametrów tłumieniowych ochronnika słuchu.

#### 4.2.3.2. Dobór ochronników według specjalnych potrzeb lub wymagań

W przypadku, gdy występują specjalne potrzeby lub wymagania, istnieje możliwość stosowania ochronników specjalnych, czyli pasywnych ochronników wyposażonych w dodatkowe układy mechaniczne lub elektryczne.

Przykładowo ochronniki słuchu o regulowanym tłumieniu mogą być rozpatrywane do stosowania wtedy, gdy występuje hałas impulsowy lub przerywany oraz jeśli wymagana jest dobra zrozumiałość mowy. Z kolei ochronniki słuchu z urządzeniami do komunikacji mogą być używane:

- podczas szkoleń i zajęć edukacyjnych w hałaśliwych miejscach,
- w miejscach hałaśliwych, gdzie przekazywane są szczegółowe instrukcje,
- podczas zwiedzania zakładów przemysłowych w hałaśliwych miejscach,
- tam, gdzie odtwarza się audycje radiowe.

Z kolei w przypadku hałasów niskoczęstotliwościowych o wysokich poziomach zalecane jest stosowanie ochronników słuchu z aktywną redukcją hałasu.

**Zasady doboru specjalnych ochronników słuchu** z odtwarzaniem dźwięku oraz aktywną redukcją hałasu zawierają odpowiednio Załączniki C i D do normy PN-EN 458:2006 [51].

#### 4.2.3.3. Rzeczywista skuteczność ochronników słuchu

W znormalizowanych metodach szacowania poziomu dźwięku pod ochronnikiem słuchu nie uwzględniono wielu czynników warunkujących ich rzeczywistą

skuteczność, w tym wpływu procesu starzenia się ochronników i rzeczywistych warunków akustycznych, w jakich są one użytkowane.

Warto pamiętać, że parametry tłumienne ochronników, w szczególności tłumienie dźwięku  $M_p$ , wyznaczane są w warunkach laboratoryjnych z zastosowaniem sygnałów testowych o niskich poziomach dźwięku, podczas gdy ochronników używa się w hałaśliwych miejscach (o poziomach dźwięku powyżej 80 dB). Nic więc dziwnego, że badania rzeczywistej skuteczności ochronników prowadzone na hałaśliwych stanowiskach pracy często wykazują, że jest ona znacznie niższa od skuteczności wyznaczanej w warunkach laboratoryjnych w procesie certyfikacji. Różnice te, w zależności od rodzaju ochronników (zarówno wkładek, jak i ochronników nauszniowych), mogą dochodzić nawet do kilkunastu dB [52].

Również badania dotyczące wpływu czasu użytkowania i magazynowania oraz oddziaływania warunków atmosferycznych na właściwości tłumienne nauszników przeciwhałasowych wskazują, że wpływ ten, w przypadku niektórych wzorów ochronników, może być znaczący. W odniesieniu do niektórych rozwiązań konstrukcyjnych obserwowano pogorszenie skuteczności ochronników rzędu 8–10 dB związane z czasem magazynowania lub/i oddziaływania warunków atmosferycznych [53].

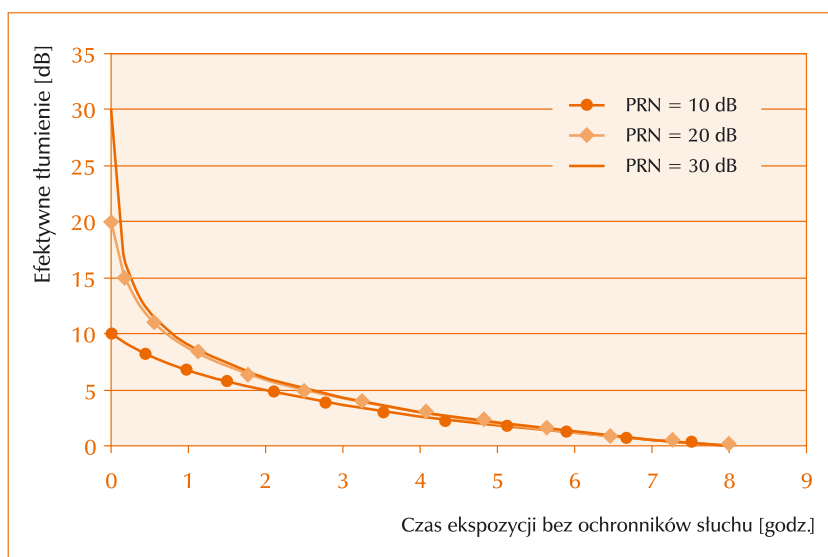
Niebagatelne znaczenie dla rzeczywistej skuteczności ochronników słuchu ma także poprawne ich zakładanie i noszenie. Jest to szczególnie istotne w przypadku wkładek dousznych. Niepoprawne ich stosowanie, wynikające z braku odpowiedniego przeszkolenia, może powodować obniżenie ich skuteczności w zakresie częstotliwości poniżej 1000 Hz rzędu kilkunastu dB, a w zakresie wyższych częstotliwości – o 5 dB [52].

Jednym ze sposobów weryfikacji rzeczywistej skuteczności ochronników słuchu jest metoda pomiaru czasowych zmian słuchu z zastosowaniem audiometrii tonalnej lub emisji otoakustycznych. Badania te wykonuje się dwukrotnie, czyli przed zmianą roboczą i po jej zakończeniu. Brak czasowego przesunięcia (pogorszenia) progu słuchu (temporary threshold shift – TTS) ocenianego z zastosowaniem audiometrii tonalnej (przewodnictwo powietrzne) lub czasowego obniżenia amplitudy sygnału emisji otoakustycznej stanowi potwierdzenie skutecznej ochrony narządu słuchu przed hałasem.

Pracownicy narażeni na bardzo wysokie poziomy hałasu mogą niekiedy potrzebować większej ochrony niż ta, jaką zapewniają same nauszniaki przeciwhałasowe lub wkładki douszne. W takich przypadkach można stosować ochronę

podwójną (za pomocą wkładki i nauszniaka). Należy mieć jednak świadomość, że przy jednoczesnym stosowaniu wkładek przeciwhałasowych i ochronników nausznikowych tłumienie dźwięku nie jest sumą tłumienia obu typów ochronników. Stosowanie niektórych kombinacji może prowadzić do pogorszenia właściwości ochronnych, dlatego tego typu rozwiązania zaleca się stosować, gdy potwierdzone są właściwości tłumienne zestawu [51].

Warto pamiętać, że podstawowym warunkiem skutecznej ochrony przed hałasem jest nieprzerwane stosowanie ochronników w trakcie narażenia. Nawet jeśli ochronniki zdejmowane są na krótki czas, to ich efektywna skuteczność znacząco maleje (ryc. 4.4).



**Ryc. 4.4.** Skuteczność ochrony, jaką zapewnia stosowanie ochronników słuchu o różnym przewidywanym tłumieniu (PRN) w zależności od długości przerw w ich stosowaniu

W przypadku stosowania ochronników przez część zmiany roboczej o ich skuteczności bardziej decyduje czas przebywania w hałasie bez ochronników niż ich parametry tłumienne (przewidywane tłumienie, predicted noise reduction – PRN). Przykładowo 1-godzinna przerwa w noszeniu ochronników w ciągu 8-godzinnej

zmiany w przypadku ochronników o tłumieniu rzędu 20–30 dB powoduje obniżenie efektywnej skuteczności o około 12–13 dB. Z kolei skrócenie czasu użytkowania ochronników o połowę – bez względu na ich tłumienie (10, 20 lub 30 dB) – powoduje, że ich skuteczność jest taka sama i wynosi zaledwie około 3 dB.

### 4.3. Profilaktyka medyczna

Profilaktyka medyczna ma na celu z jednej strony eliminowanie przy zatrudnianiu osób, u których stan czynnościowy organizmu odbiega od normy, gdyż odchylenia te mogą pogłębiać się wskutek narażenia na hałas, a z drugiej strony – ograniczanie skutków zdrowotnych związanych z ekspozycją na hałas.

**Tabela 4.4.** Zakres profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami pracującymi w narażeniu na hałas\*

|                            |            |   |
|----------------------------|------------|---|
| Badania wstępne            | lekarskie  | ogólne otolaryngologiczne   |
|                            | pomocnicze | audiometryczne tonalne badanie słuchu w zakresie 125–8000 Hz (przewodnictwo powietrzne i kostne)<br>inne – w zależności od wskazań                      |
| Badania okresowe           | lekarskie  | ogólne – co 4 lata<br>otolaryngologiczne – przez pierwsze 3 lata pracy w hałasie co rok, następnie co 3 lata  |
|                            | pomocnicze | audiometryczne tonalne w zakresie 125–8000 Hz (przewodnictwo powietrzne i kostne) – przez pierwsze 3 lata pracy w hałasie – co rok, następnie co 3 lata |
| Badanie ostatnie okresowe  | lekarskie  | ogólne otolaryngologiczne   |
|                            | pomocnicze | audiometryczne tonalne w zakresie 125–8000 Hz   |
| Narządy (układy) krytyczne |            | narząd słuchu   |

\* Na podstawie Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych dla celów przewidzianych w Kodeksie pracy [54].



Zalecenia odnośnie do badań profilaktycznych zawiera Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych dla celów przewidzianych w Kodeksie pracy [54]. Rozporządzenie to określa minimalny zakres opieki medycznej, który pracodawca jest zobowiązany zapewnić osobom zatrudnionym (tab. 4.4). Zakres ten może zostać poszerzony ze wskazań medycznych na wniosek lekarza przeprowadzającego badanie lub na wniosek pracodawcy, który podczas zawierania umowy z jednostką wykonującą badania zleca częstsze ich przeprowadzanie lub poszerza zakres diagnostyczny ponad wymagane minimum.

## 5. KOMPLEKSOWY PROGRAM OCHRONY SŁUCHU

Małgorzata Pawlaczyk-Łuszczczyńska, Adam Dudarewicz,  
Małgorzata Zamojska, Mariola Śliwińska-Kowalska

W Polsce od wielu lat funkcjonują przepisy prawne obligujące pracodawców do podejmowania działań mających na celu minimalizowanie ryzyka zawodowego związanego z hałasem w miejscu pracy [34,36]. Obejmują one m.in. kontrolę narażenia, ograniczenie ekspozycji metodami technicznymi i organizacyjno-administracyjnymi oraz stosowanie środków ochrony indywidualnej, a także profilaktykę medyczną. Mimo to zawodowe uszkodzenie słuchu wciąż plasuje się na początku listy najczęściej rozpoznawanych chorób zawodowych, co sugeruje, że realizacja ww. zapisów jest wciąż nie w pełni zadowalająca.

W praktyce działaniami profilaktyki słuchu zajmują się służby bhp i służby medycyny pracy. Niejednokrotnie jednak każda z tych służb realizuje swe cele niezależnie, nie konsultując się wzajemnie, a co za to idzie nie w pełni wykorzystując informacje zarówno dotyczące oceny narażenia, jak i stanu zdrowia pracownika. Wynika z tego potrzeba doskonalenia działań ukierunkowanych na minimalizowanie ryzyka uszkodzenia słuchu wywołanego działaniem hałasu w miejscu pracy. Służy temu tzw. kompleksowy program ochrony słuchu (POS) opracowany przez zespół Zakładu Zagrożeń Fizycznych oraz Kliniki Audiologii i Foniatrii Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi.

Kompleksowy program ochrony słuchu (POS) obejmuje:

- kontrolę narażenia na hałas oraz inne szkodliwe czynniki ototoksyczne (w tym rozpuszczalniki organiczne) w środowisku pracy,
- identyfikację stanowisk pracy i pracowników wymagających ochrony przed hałasem,
- monitorowanie stanu słuchu pracowników,
- opracowanie i wdrożenie działań mających na celu ograniczenie narażenia na hałas metodami technicznymi i organizacyjno-administracyjnymi,

- dobór środków ochrony indywidualnej i wyposażenie w nie pracowników,
- identyfikację zawodowych, pozazawodowych i osobniczych czynników ryzyka uszkodzenia słuchu,
- szacowanie indywidualnego ryzyka uszkodzenia słuchu,
- akcje uświadamiające i szkoleniowe wśród pracowników i kadry kierowniczej,
- gromadzenie i analizę danych,
- okresową ewaluację i weryfikację podjętych działań (ryc. 5.1).

Z założenia programem ochrony słuchu powinny być objęte wszystkie osoby zatrudnione na stanowiskach pracy, na których stwierdzono (przynajmniej w ostatnim badaniu) przekroczenie wartości progów działania hałasu (tj.  $L_{EX,8h} / L_{EX,w} > 80$  dB lub  $L_{Cpeak} \geq 135$  dB).

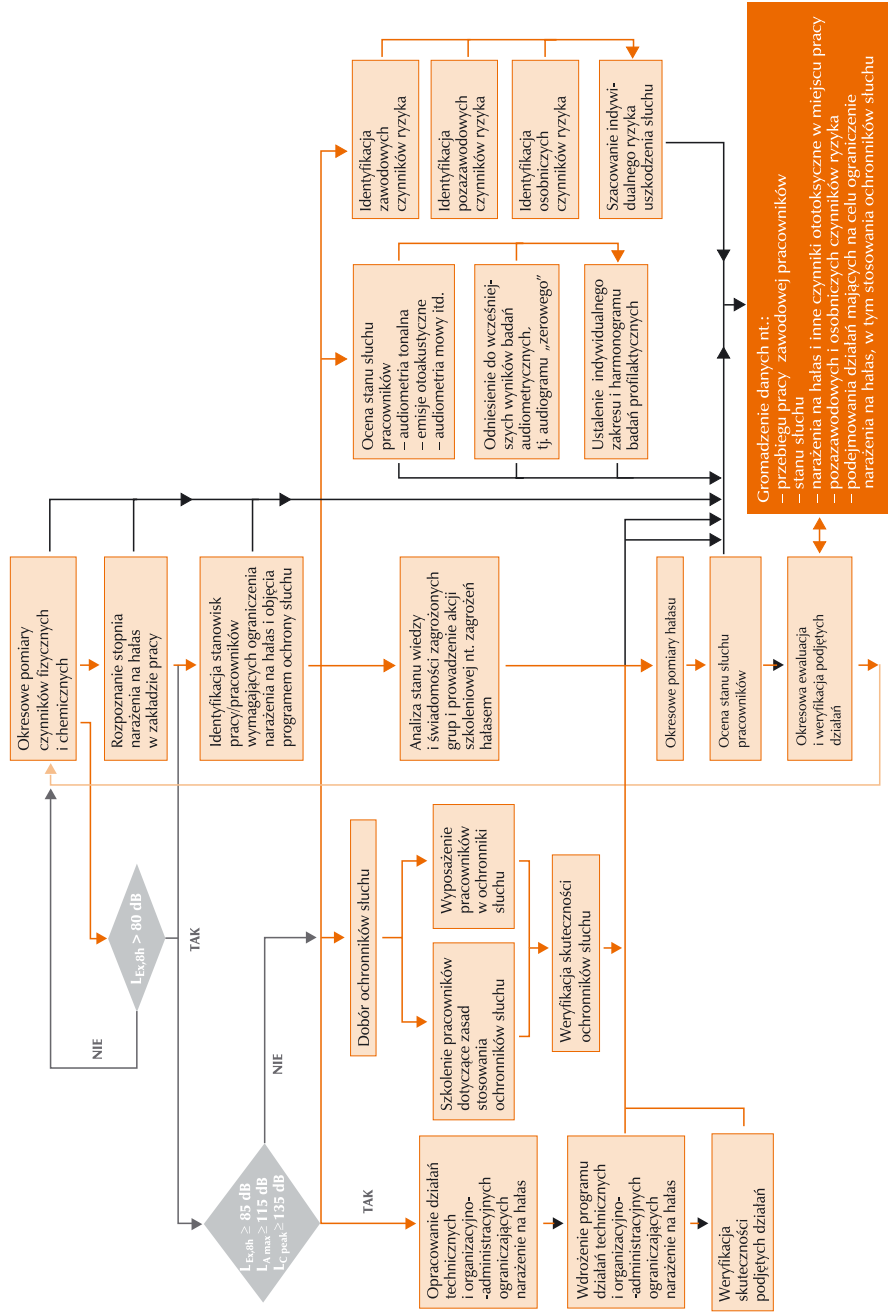
Kobiety ciężarne i osoby młodociane są odsuwane od pracy na stanowiskach, na których występuje hałas o wartościach niższych od progów działania, lecz wyższych od wartości dopuszczalnych w odniesieniu do tych grup szczególnego ryzyka.

W realizację POS powinni być zaangażowani nie tylko pracodawca, personel kierowniczy, służby bhp i służby medyczne, ale przede wszystkim pracownicy. Opis obowiązków i uprawnień poszczególnych podmiotów zawiera tabela 5.1.

Większość działań organizacyjno-technicznych podejmowanych przez pracodawcę w ramach realizacji POS (np. kontrola narażenia na hałas, ograniczenie tego narażenia metodami organizacyjno-technicznymi, dobór ochronników słuchu, akcje szkoleniowo-uświadamiające wśród pracowników itp.) to rutynowe działania, do których obligują przepisy prawne, o których była mowa we wcześniejszych rozdziałach.

Istotną część opracowanego POS stanowi opieka medyczna. Zgodnie ze standardami światowymi jej ciężar przesunięty jest z niedopuszczenia do rozwoju niedosłuchu o głębokości upoważniającej do rozpoznania choroby zawodowej na jak najwcześniejsze wykrycie niewielkich ubytków słuchu i podejmowanie szerokich działań profilaktycznych, aby zachować w pełni wydolny społecznie słuch osoby badanej. Działania te opierają się o ścisłą współpracę z służbami bhp.

W szczególności proponowane jest wprowadzenie pojęcia tzw. znaczącego przesunięcia progu słuchu (ZPPS, significant threshold shift – STS) [55].



Ryc. 5.1. Schemat blokowy kompleksowego programu ochrony słuchu

**Tabela 5.1.** Zakres odpowiedzialności i uprawnień podmiotów zaangażowanych w realizację programu ochrony słuchu

| Zakres odpowiedzialności  |   |   |   |
|---|---|---|---|
| pracodawca  | personel kierowniczy, służby bhp i/lub inne osoby wskazane przez pracodawcę   | służby medyczne   | pracownicy  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>ograniczenie ryzyka wynikającego z ekspozycji na hałas do możliwie najniższego poziomu z uwzględnieniem postępu technicznego i dostępności środków ograniczenia hałasu, szczególnie u źródeł jego powstawania</li> <li>zapewnienie pracownikom profilaktycznej opieki lekarskiej, w tym badań słuchu</li> <li>wytypowanie osób odpowiedzialnych za realizację poszczególnych zadań (modułów) programu ochrony słuchu</li> <li>nadzór nad realizacją programu ochrony słuchu i okresową (coroczną) ewaluacją programu ochrony słuchu</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>kontrola narażenia na hałas i inne szkodliwe czynniki ototoksyczne</li> <li>opracowanie i realizowanie programu redukcji hałasu metodami technicznymi i organizacyjnymi</li> <li>zapewnienie środków ochrony zbiorowej przed hałasem (np. tłumików, obudów maszyn)</li> <li>konserwacja środków ochrony zbiorowej przed hałasem</li> <li>zapewnienie pracownikom indywidualnych ochronników słuchu</li> <li>oznakowanie obszarów zagrożonych hałasem i ograniczenie do nich dostępu</li> <li>prowadzenie szkoleń nt. zasad stosowania indywidualnych i zbiorowych środków ochrony przed hałasem</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>prowadzenie badań profilaktycznych wstępnych, okresowych i końcowych: <ul style="list-style-type: none"> <li>identyfikacja indywidualnych czynników ryzyka uszkodzenia słuchu oraz typowanie osób wymagających szczególnej ochrony przed hałasem</li> <li>monitorowanie stanu słuchu pracowników objętych badaniami profilaktycznymi</li> <li>opracowywanie kart wyników badań słuchu</li> <li>opracowywanie orzeczeń lekarskich o braku lub występowaniu przeciwwskazań do pracy</li> </ul> </li> <li>współpraca z pracodawcą w zakresie szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu u objętych opieką pracowników</li> <li>współdziałanie w weryfikacji prawidłowości doboru ochronników</li> <li>prowadzenie szkoleń nt. skutków działania hałasu i profilaktyki uszkodzeń słuchu dla pracowników, służb bhp i pracodawcy</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>współdziałanie przy ocenie zagrożenia hałasem</li> <li>stosowanie środków ochronnych zbiorowej przed hałasem (np. tłumików, obudów maszyn)</li> <li>stosowanie indywidualnych ochronników słuchu</li> <li>informowanie pracodawców o uszkodzeniach środków ochronnych przed hałasem lub o trudnościach w ich stosowaniu</li> <li>konserwacja środków ochronnych indywidualnej</li> </ul> |

**Znaczące przesunięcie progu słuchu (ZPPS)** definiowane jest jako wystąpienie średniego przesunięcia (pogorszenia) progu słuchu w częstotliwościach 2, 3 i 4 kHz o wartość co najmniej 10 dB w odniesieniu do **audiogramu „zerowego”**, uzyskanego podczas badania audiometrycznego wykonanego w chwili rozpoczęcia pracy w narażeniu na hałas (w danym zakładzie) bądź w chwili przystąpienia zakładu pracy do POS.

**Audiogram „zerowy”** może podlegać weryfikacji na wniosek specjalisty otolaryngologa, z uwzględnieniem wieku pracownika. Coroczne badania słuchu z zastosowaniem audiometrii tonalnej i ustalenie ZPPS może odbywać się bez udziału lekarza profilaktyka. Konsultacje lekarza medycyny pracy i specjalisty otolaryngologa lub audiologa powinny być przeprowadzane z częstotliwością podaną w rozporządzeniu MZiOS [54] lub gdy w badaniu audiometrycznym wystąpi ZPPS.

Lekarz powinien otrzymywać od służb bhp szczegółową informację o poziomach ekspozycji i impulsowości hałasu, do których powinien dostosować, indywidualną dla każdego pracownika, częstość badań okresowych. Monitorowanie stanu słuchu można prowadzić również za pomocą oceny emisji otoakustycznych, uznawanych za czulsze narzędzie wykrywania niewielkich uszkodzeń ślimaka niż audiometria tonalna.

W przypadku wystąpienia ZPPS lekarz-profilaktyk zobowiązany jest do bezwzględnego poinformowania o tym pracownika, a jednocześnie przekazania pracodawcy (z zachowaniem tajemnicy lekarskiej) informacji o konieczności:

- weryfikacji stosowanych ochron słuchu, w tym konieczności oceny skuteczności ochronników w oparciu o pomiar czasowego przesunięcia progu słuchu (pomiar słuchu przed zmianą roboczą i po niej),
- w przypadku uzasadnionym – korekty doboru ochronników słuchu,
- nadzoru nad sposobem i efektywnym czasem stosowania ochronników słuchu w trakcie zmiany roboczej,
- przeprowadzenia indywidualnego szkolenia pracownika w zakresie ochrony narządu słuchu przed hałasem,
- zalecenia kontrolnego badania słuchu w terminie nie późniejszym niż 6 miesięcy.

Jeżeli w badaniu kontrolnym stwierdza się dalsze pogłębienie niedosłuchu (powyżej 5 dB) lekarz profilaktyk zobowiązany jest do wnioskowania o czasowe lub trwałe przeniesienie pracownika na inne stanowisko pracy, bez narażenia na hałas. Decyzje administracyjne podejmowane powinny być jedynie w przypadku, gdy progi słuchu przekraczają zakres wartości prawidłowych dla wieku.

Proponowany program ochrony słuchu kładzie nacisk na konieczność poinformowania badanej osoby (najlepiej w formie pisemnej) przez lekarza o ujawnieniu w trakcie badań okresowych uszkodzenia słuchu mającego związek z ekspozycją na hałas.

Jednym z elementów opieki medycznej jest również współdziałanie lekarza z pracodawcą w szacowaniu ryzyka zdrowotnego, co musi odbywać się z zachowaniem tajemnicy lekarskiej.

Pracodawca ma obowiązek uwzględnienia wniosków wynikających z porady specjalisty medycyny pracy lub innej wykwalifikowanej osoby czy też właściwych organów poprzez wprowadzenie wszelkich środków wymaganych w celu eliminacji lub zmniejszenia ryzyka progresji uszkodzenia słuchu (łącznie z możliwością przeniesienia pracownika do innej pracy, gdzie nie występuje dalsze narażenie na hałas).

Przedstawiony POS zawiera wszystkie niezbędne moduły do prawidłowej ochrony słuchu u pracowników narażonych na hałas. Nowatorskimi elementami programu są:

- wprowadzenie do profilaktyki medycznej nowego pojęcia ‘znaczące przesunięcie progu słuchu’ (ZPPS) i działań profilaktycznych z tego wynikających, w tym pisemnego powiadomienia o tym fakcie pracownika, obowiązkowego przeszkolenia go w zakresie istotności ochrony słuchu przed hałasem, weryfikacji skuteczności stosowania ochronnika słuchu, nadzorowania czasu i poprawności stosowania ochronnika w czasie zmiany roboczej, ewentualnego doboru innego typu ochronnika – działania te pozwolą na wczesne reagowanie już przy minimalnym upośledzeniu słuchu;
- zacieśnienie współpracy między lekarzem profilaktykiem a służbami bhp w zakresie działań profilaktycznych, oparte na pogłębieniu umiejętności interpretacji wyników badań prowadzonych i gromadzonych przez obie strony;
- zintensyfikowanie akcji szkoleniowo-uświadamiającej wśród pracowników nt. zagrożeń zdrowotnych wynikających z narażenia na hałas i metod ograniczenia narażenia, w tym zasad prawidłowego stosowania ochronników słuchu;
- wypracowanie narzędzi dla efektywnego szacowania indywidualnego ryzyka uszkodzenia słuchu, z uwzględnieniem narażenia na czynniki ototoksyczne (np. rozpuszczalniki organiczne) oraz innych czynników pozazawodowych i osobniczych mogących sprzyjać uszkodzeniom słuchu wraz z aplikacją programową (elektroniczną)<sup>9</sup>.

Program ten może być adaptowany dla poszczególnych zakładów pracy, z uwzględnieniem ich specyfiki.

<sup>9</sup> Do omówionych w rozdziale 3.1. i 3.2. metod szacowania ryzyka uszkodzenia słuchu spowodowanego hałasem została opracowana aplikacja programowa.

## PIŚMIENICTWO

1. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU z 2002 r. nr 217, poz. 1833 z późn. zm.; DzU z 2005 r. nr 212, poz. 1769; DzU z 2007 r. Nr 161, poz. 1142; DzU z 2009 r. nr 105, poz. 873; DzU z 2010 r. nr 141, poz. 950
2. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 16 czerwca 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU z 2009 r. nr 105, poz. 873
3. Śliwińska-Kowalska M.: Uszkodzenia słuchu spowodowane hałasem. W: Śliwińska-Kowalska M. [red.]. Audiologia kliniczna. Mediton, Łódź 2005, ss. 289–298
4. Berglund B., Lindvall T., Schwella D., Goh K.T. [red.]. Guidelines for community noise. World Health Organization, Geneva 2000
5. Stanfeld S.A., Mathesen M. P.: Noise pollution: non-audithory effects on health. Br. Med. Bull. 2003;68:243–257
6. Śliwińska-Kowalska M.: Patofizjologia uszkodzeń słuchu spowodowanych hałasem. W: Śliwińska-Kowalska M. [red.]. Audiologia kliniczna. Mediton, Łódź 2005, ss. 89–96
7. Warunki pracy w 2009 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2008
8. Szeszenia-Dąbrowska N., Wilczyńska U., Sobala W.: Choroby zawodowe w Polsce w 2009 r. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2010
9. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2009 r. w sprawie chorób zawodowych. DzU z 2009 r. nr 105, poz. 869
10. ISO 226:1987 Acoustics – Normal equal-loudness level contours. International Committee for Standardization, Geneva 1999
11. ISO 226:2003 Acoustics – Normal equal-loudness level contours. International Committee for Standardization, Geneva 2003
12. ISO 1999:1990 Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. International Committee for Standardization, Geneva 1999
13. PN-N-01307:1994 Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące przeprowadzania pomiarów. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1994
14. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. DzU z 1996 r. nr 114, poz. 545 z późn. zm.; DzU z 2002 r. nr 127, poz. 1092
15. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac. DzU z 2004 r. nr 200, poz. 2047 z późn. zm.; DzU z 2005 r. nr 136, poz. 1145; DzU z 2006 r. nr 107, poz. 724
16. PN-EN ISO 9612: 2009 Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009



17. PN-EN 61672-1:2005+Ap1:2007 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku. Część 1: Wymagania. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2005 i 2007
18. PN-EN 61252:2000+A1:2005 Elektroakustyka – Wymagania dotyczące indywidualnych mierników ekspozycji na dźwięk. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2000 i 2005
19. PN-EN 60942:2005 Elektroakustyka – Kalibratory akustyczne. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2005
20. PN-EN ISO 11904-1:2008 Akustyka – Wyznaczanie emisji dźwięku od źródeł umieszczonych bezpośrednio przy uchu. Część 1. Technika z zastosowaniem mikrofonu umieszczonego w uchu (technika MIRE). Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2008
21. PN-EN ISO 11904-2:2009 Akustyka – Wyznaczanie emisji dźwięku od źródeł umieszczonych bezpośrednio przy uchu. Część 2. Technika z zastosowaniem manekina akustycznego. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009
22. Pawlaczyk-Łuszczczyńska M., Augustyńska D., Kaczmarska-Kozłowska A., Śliwińska-Kowalska M., Kameduła M.: Hałas infradźwiękowy – dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2001;2(28):5–45
23. PN-Z-01338:2010 Akustyka – Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010
24. PN-ISO 7196:2002 Akustyka – Charakterystyka częstotliwościowa filtru do pomiarów infradźwięków. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002
25. Pawlaczyk-Łuszczczyńska M., Augustyńska D., Kaczmarska-Kozłowska A.: Hałas infradźwiękowy – procedura pomiarowa. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2001;2(28):47–53
26. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 2 stycznia 2001 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *DzU z 2001 r. nr 4, poz. 36*
27. Augustyńska D.: Wartości graniczne ekspozycji na infradźwięki – przegląd piśmiennictwa. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2009;2(60):5–15
28. Pawlas K.: Wpływ infradźwięków i hałasu o niskich częstotliwościach na człowieka – przegląd piśmiennictwa. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2009;2(60):27–64
29. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 lipca 2002 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. *DzU z 2002 r. nr 127, poz. 1092*
30. Pawlaczyk-Łuszczczyńska M., Koton J., Śliwińska-Kowalska M., Augustyńska D., Kameduła M.: Hałas ultradźwiękowy – dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2001;2(28):55–88
31. Lawton B.W.: Damage to human hearing by airborne sound of very high frequency or ultrasonic frequency [cytowany 6 października 2010]. Contract Research Report 343/2001. Institute of Sound and Vibration Research for Health and Safety Executive, University of Southampton, Crown copyright, London 2001. Adres: [http://www.hse.gov.uk/research/crr\\_pdf/2001/crr01343.pdf](http://www.hse.gov.uk/research/crr_pdf/2001/crr01343.pdf)
32. PN-N/86-01321 Hałas ultradźwiękowy. Dopuszczalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące wykonywania pomiarów. Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Warszawa 1986
33. Pawlaczyk-Łuszczczyńska M., Koton J., Augustyńska D.: Hałas ultradźwiękowy – procedura pomiarowa. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2001;2(28):89–96

34. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU z 2005 r. nr 73, poz. 645 z późn. zm.; DzU z 2007 r. nr 241, poz. 1772
35. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o systemie oceny zgodności. DzU z 2010 r. nr 138, poz. 935
36. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne. DzU z 2005 r. nr 157, poz. 1318
37. Dyrektywa 2003/10/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (hałasem) (siedemnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG). DzU WE L042 z 15.02.2003
38. Dyrektywa Rady 86/188/EWG z 12 maja 1986 r. w sprawie ochrony pracowników przed ryzykiem związanym z narażeniem na działanie hałasu w miejscu pracy. DzU WE L137/28 z 24.05.1986
39. Dyrektywa 2002/44/EW Parlamentu Europejskiego i Rady z 25 czerwca 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników spowodowanego czynnikami fizycznymi (wibracją) (szesnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16, ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG). DzU WE L177 z 06.07.2002
40. Obwieszczenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 sierpnia 2003 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. DzU z 2003 r. nr 169, poz. 1650
41. Dyrektywa 89/391/EWG w sprawie wprowadzenia środków w celu poprawy bezpieczeństwa i zdrowia pracowników w miejscu pracy. DzU WE L183 z 29.06.1989
42. PN-N-18002:2000 System zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracą. Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2000
43. ISO 1999:1975 Acoustics – Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes. International Committee for Standardization, Geneva 1975
44. PN-ISO 1999:2000 Akustyka – Wyznaczanie ekspozycji zawodowej na hałas i szacowanie uszkodzenia słuchu wywołanego hałasem. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2008
45. ISO 7029:1984 Acoustics – Threshold of hearing by air conduction as a function of age and sex for otologically normal persons. International Committee for Standardization, Geneva 1984
46. Dudarewicz A., Toppila E., Pawlaczyk-Łuszczczyńska M., Śliwiska-Kowalska M.: The influence of selected risk factors on the hearing threshold level of noise exposed employees. Arch. Acoust. 2010;35(3):371–382
47. Engel Z., Sikora J.: Obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne. Podstawy projektowania i stosowania. Wydawnictwa AGH, Kraków 1998

48. Engel Z., Makarewicz G., Murzyński T., Zawieska W.M.: Aktywne metody redukcji hałasu. CIOP, Warszawa 2001
49. PN-EN 24869-1:1999 Akustyka – Ochronniki słuchu – Metoda subiektywna pomiaru tłumienia dźwięku. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1999
50. PN-EN ISO 4869-2: 2002+AC:2007 Akustyka – ochronniki słuchu. Szacowanie efektywnych poziomów dźwięku A pod ochronnikami słuchu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002 i 2007
51. PN-EN 458:2006 Ochronniki słuchu – zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej – dokument przewodni. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006
52. Starck J., Toppila E., Pyykkö I.: Hearing protectors. W: Luxon L., Linda M., Prasher D. [red.]. Noise and Its Effects. John Wiley & Sons Ltd, London 2007, ss. 667–680
53. Kotarbińska E.: Ochronniki słuchu – przepisy, rozwiązania konstrukcyjne, metody doboru. *Bezp. Pr.* 2005;4:2–4
54. Rozporządzenie MZiOS z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych dla celów przewidzianych w Kodeksie Pracy. *DzU* z 1996 r. nr 69, poz. 332 z późn. zm.; *DzU* z 1997 r. nr 60, poz. 375; *DzU* z 1998 r. nr 159, poz. 1057; *DzU* z 2001 r. nr 37, poz. 451
55. Daniell W.E., Stover B.D., Takaro T.K.: Comparison of criteria for significant threshold shift in workplace hearing conservation programs. *J. Occup. Environ. Med.* 2003;45(3):295–304

















