

Dariusz Pleban

# HAŁAS ULTRADŹWIĘKOWY

– POMIARY, OCENA I ZALECENIA PROFILAKTYKI

Materiały informacyjne CIOP-PIB

Hałas ultradźwiękowy – pomiary, ocena i zalecenia profilaktyki

*Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.*

*Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*

*Zadanie 1.G.05: Opracowanie znormalizowanej metody pomiaru hałasu ultradźwiękowego do oceny narażenia zawodowego oraz zaleceń profilaktyki*

Autor:

dr hab. inż. Dariusz Pleban, prof. CIOP-PIB – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych

Projekt okładki:

Jolanta Maj

© Copyright by

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2019

**CIOP**  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa  
tel. (22) 623 36 98, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

Wstęp .....	5
1. Hałas ultradźwiękowy .....	7
2. Źródła hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy .....	7
3. Wpływ hałasu ultradźwiękowego na człowieka .....	11
4. Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego .....	12
5. Metoda pomiaru hałasu ultradźwiękowego .....	15
6. Ocena narażenia i ryzyka zawodowego .....	18
7. Zalecenia profilaktyki .....	20
Bibliografia .....	23

Drgania sprężyste o częstotliwościach z zakresu od ok. 20 kHz do 10 GHz, rozchodzące się w postaci fal akustycznych w ośrodkach gazowych, cieczach i ciałach stałych, nazywa się ultradźwiękami. Ze względu na zakres częstotliwości rozróżnia się ultradźwięki niskich częstotliwości (nieprzekraczające 100 kHz) oraz ultradźwięki wysokich częstotliwości (powyżej 100 kHz). Praktyczne zastosowanie ultradźwięków jest w skali ich częstotliwości bardzo szerokie, a górną granicą zastosowania jest częstotliwość 10 GHz [1]. Zjawiska występowania i rozchodzenia się ultradźwięków można traktować jako ultradźwięki wytwarzane celowo (np. wprowadzane jako czynny element danego procesu technologicznego lub nośnik informacji użytecznej, np. w celu diagnostyki medycznej) lub jako dźwięki niepożądane, czyli jako hałas ultradźwiękowy. Hałas ten jest emitowany przez niektóre maszyny i urządzenia stosowane w środowisku pracy.



fot. Autor

Zgodnie z przyjętą w [2] definicją za hałas ultradźwiękowy uważa się hałas, w którego widmie występują składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych i niskich ultradźwiękowych – od 10 do 40 kHz.

Technologie z czynnym wykorzystaniem ultradźwięków są coraz powszechniej stosowane, np. w zakładach: poligraficznych, elektronicznych, motoryzacyjnych, włókienniczych, tekstylnych, spożywczych, zegarmistrzowskich, jubilerskich, optycznych, produkujących wyroby z tworzyw sztucznych (w tym opakowania), warsztatach mechanicznych (w tym samochodowych), przychodniach oraz gabinetach dentystycznych i protetycznych oraz laboratoriach i ambulatoriach medycznych (w diagnostyce, fizykoterapii i chirurgii) [1]. Natężenie ultradźwięków stosowanych do celów przemysłowych zawiera się w zakresie od  $10 \text{ mW/cm}^2$  do  $10000 \text{ W/cm}^2$ . W zastosowaniu przemysłowym ultradźwięki wykorzystuje się także do: prasowania proszków, strącania pyłów, wytwarzania emulsji, aerozoli, hydrozoli itp., w urządzeniach powszechnego użytku, również w takich jak: przeciwwłamaniowe urządzenia alarmowe, gwizdki na psy, odstraszacze ptaków i gryzoni, nawilżacze powietrza i inhalatory. Ponadto ultradźwięki są generowane przez medyczny sprzęt: diagnostyczny, fizykoterapeutyczny i chirurgiczny. W celach fizykoterapeutycznych są stosowane ultradźwięki o częstotliwościach z zakresu od 0,5 do 1 MHz w przypadku leczenia głębokiego i od 2,5 do 3 MHz w przypadku leczenia powierzchniowego [1]. W diagnostyce natomiast zastosowanie znalazły ultradźwięki małej mocy o częstotliwościach z zakresu od 1 do 10 MHz [3,4,5].

W broszurze omówiono podstawowe wiadomości o hałasie ultradźwiękowym z punktu widzenia ochrony człowieka.

# 1. Hałas ultradźwiękowy

Ultradźwięki są to drgania akustyczne (tj. drgania cząstek ośrodka sprężystego wokół położenia równowagi) w zakresie od ok. 20 kHz do 10 GHz. Uwzględniając m.in. sposoby ich: generowania, rozprzestrzeniania się i tłumienia w ośrodkach (w tym w powietrzu), są one klasyfikowane jako ultradźwięki niskich częstotliwości i ultradźwięki wysokich częstotliwości [2]. Pierwsze z nich, tj. ultradźwięki niskich częstotliwości, mogą rozchodzić się w różnych ośrodkach sprężystych, w tym także w powietrzu. Ultradźwięki niskich częstotliwości, rozchodzące się w powietrzu wraz z dźwiękami o wysokich częstotliwościach słyszalnych (tj. powyżej 10 kHz), nazywa się hałasem ultradźwiękowym.

Wobec powyższego hałas ultradźwiękowy jest definiowany jako hałas, w którego widmie występują składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych i niskich ultradźwiękowych, tj. od 10 do 40 kHz [6]. Hałas ten znajduje się w wykazie czynników szkodliwych w środowisku pracy.

## 2. Źródła hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy

Wśród przemysłowych źródeł hałasu ultradźwiękowego można wyróżnić dwa rodzaje źródeł: technologiczne i nietechnologiczne. W tabeli 1. zamieszczono klasyfikacje przemysłowych źródeł hałasu ultradźwiękowego [7].

**Tabela 1.** Rodzaje przemysłowych źródeł hałasu ultradźwiękowego wg [7]

Przemysłowe źródła hałasu ultradźwiękowego	
technologiczne	nietechnologiczne
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ myjki ultradźwiękowe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ maszyny i urządzenia skrawające:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– maszyny do obróbki metali</li> <li>– maszyny do obróbki drewna</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zgrzewarki ultradźwiękowe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ maszyny ze sprężonym powietrzem:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– ręczne narzędzia pneumatyczne</li> <li>– maszyny włókiennicze</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ drążarki ultradźwiękowe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ maszyny i urządzenia do cięcia:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– cięcie plazmą</li> <li>– cięcie palnikami acetylenowo-tlenowymi</li> <li>– linie do wycinania plastikowych kart</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ wanny lutownicze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ inne maszyny i procesy:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– spawanie w osłonie gazu</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tygle ultradźwiękowe</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ maszyny pasmanteryjne</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ skalery</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gilotyny lub noże ultradźwiękowe</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kurtyny ultradźwiękowe</li> </ul>	

Dążenie w ostatnich latach do wzrostu zarówno wydajności produkcji, jak i poziomu jej jakości przyczyniło się m.in. do rozwoju zastosowań technologicznych urządzeń ultradźwiękowych, w których ultradźwięki wytwarzane są celowo do realizacji lub przyspieszenia czy też usprawnienia założonych procesów technologicznych. Urządzenia te charakteryzują się stosunkowo dużymi mocami, a częstotliwość znamionowa ich pracy zawiera się najczęściej w zakresie od 18 do 40 kHz.



Najszerzej stosowane są myjki (płuczki) ultradźwiękowe. Stanowią one 2/3 wszystkich technologicznych urządzeń ultradźwiękowych wykorzystywanych w przemyśle. Technologia oczyszczania ultradźwiękowego jest stosowana przy oczyszczaniu zarówno miniaturowych elementów, jak i dużych konstrukcji. Pozwala ona uzyskać tak wysoki stopień czystości powierzchni części i podzespołów, jaki nie jest możliwy do osiągnięcia innymi metodami. Poziomy ciśnienia akustycznego składowych ultradźwiękowych na stanowiskach pracy osób obsługujących myjki ultradźwiękowe dochodzą do 135 dB [2].

Na drugim miejscu pod względem zastosowań w Polsce należy wymienić technologie zgrzewania ultradźwiękowego tworzyw sztucznych i metali. Technologie te mają zastosowanie przy łączeniu elementów z tworzyw sztucznych (eliminując technologie klejenia), w procesach mikrozgrzewania (w produkcji elementów półprzewodnikowych) oraz w łączeniu materiałów trudno zgrzewalnych, np. aluminium. Na stanowiskach pracy osób obsługujących zgrzewarki ultradźwiękowe poziomy ciśnienia akustycznego składowych ultradźwiękowych sięgają do 140 dB [2].

Kolejną grupą technologicznych urządzeń ultradźwiękowych są drążarki ultradźwiękowe. Drążenie ultradźwiękowe jest oparte na współdziałaniu drgań ultradźwiękowych i środków erozyjnych w postaci proszków ściernych. Wprowadzenie proszków pomiędzy drgające narzędzie a obrabiany przedmiot powoduje żłobienie materiału. Drążenie ultradźwiękowe jest przydatne zwłaszcza przy wytwarzaniu zagłębień lub otworów profilowanych o dowolnie skomplikowanych kształtach i dużej wymaganej dokładności, i to bez względu na rodzaj obrabianego materiału. Stosuje się je do obróbki: szkła, kwarcu, wszystkich kamieni naturalnych i syntetycznych oraz innych materiałów twardych.



W przypadku tych urządzeń równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w zakresie częstotliwości ultradźwiękowych wynoszą od 90 do 120 dB [7].

Do technologicznych urządzeń ultradźwiękowych niskich częstotliwości zalicza się także: lutownice ręczne i wanny do cynowania różnych elementów, maszyny do obróbki tkanin (dżetownice, koronkarki, pikowarki), jednostki dentystyczne do czyszczenia kamienia nazębnego, tzw. skalery, oraz gilotyny, noże i kurtyny ultradźwiękowe.

Oprócz technologicznych urządzeń ultradźwiękowych występuje też w przemyśle liczna grupa maszyn i urządzeń, które emitują ultradźwięki jako niezamierzony, uboczny czynnik towarzyszący. Źródłem tych ultradźwięków są zjawiska o charakterze aerodynamicznym (przepływ lub wypływ sprężonych gazów) albo mechanicznym (duże prędkości obrotowe elementów maszyn). Obecność składowych ultradźwiękowych o znacznych poziomach ciśnienia akustycznego stwierdza się w hałasie w otoczeniu: sprężarek, palników, zaworów, narzędzi pneumatycznych, a także takich maszyn wysokoobrotowych, jak: strugarki, frezarki, szlifierki, piły tarczowe oraz niektóre maszyny włókiennicze. Największa ilość energii akustycznej emitowanej przez te maszyny do otoczenia zawiera się w zakresie wysokich częstotliwości słyszalnych i niskich ultradźwiękowych. W przypadku tych źródeł hałasu ultradźwiękowego poziomy ciśnienia akustycznego składowych ultradźwiękowych na stanowiskach pracy osiągają wartości do 115 dB [7].

### 3. Wpływ hałasu ultradźwiękowego na człowieka

Ultradźwięki niskich częstotliwości, zwłaszcza generowane przez technologiczne urządzenia ultradźwiękowe, mogą wnikać do organizmu człowieka drogą kontaktową (np. przez kontakt z przetwornikiem ultradźwiękowym lub cieczą). Zawsze jednak energia akustyczna pochodząca od przemysłowych źródeł hałasu ultradźwiękowego jest przekazywana do organizmu człowieka drogą powietrzną.

Ultradźwięki rozchodzące się w powietrzu mogą wnikać do ciała człowieka zarówno przez narząd słuchu, jak i całą powierzchnię ciała. Docierając do organizmu człowieka, mogą wpływać na: stan narządu słuchu, czynność narządu przedsionkowego oraz funkcje układu krążenia, ośrodkowego układu nerwowego, a pośrednio również na inne układy. W licznych badaniach laboratoryjnych i środowiskowych (przemysłowych) wykazano, że potencjalne skutki oddziaływania ultradźwięków powietrznych (hałasu ultradźwiękowego) można sklasyfikować jako skutki słuchowe (pomimo że składowe hałasu ultradźwiękowego o częstotliwościach powyżej 16-20 kHz nie powodują u człowieka wrażeń słuchowych) i termiczne oraz objawy subiektywne i zaburzenia czynnościowe [2,6,8].

Badania wpływu hałasu ultradźwiękowego na stan narządu słuchu są utrudnione, ponieważ w warunkach przemysłowych ultradźwiękom towarzyszy zazwyczaj hałas słyszalny i trudno jest określić, czy zmiany słuchu osób badanych występują na skutek oddziaływania tylko składowych słyszalnych lub tylko ultradźwiękowych, czy też na skutek jednoczesnego działania obu tych składników. Niemniej jednak coraz

szerzej rozpowszechniony jest pogląd, że na skutek zjawisk nieliniowych zachodzących w samym uchu, pod wpływem działania ultradźwięków, powstają składowe subharmoniczne o poziomach ciśnienia akustycznego o często tego samego rzędu, co podstawowa składowa ultradźwiękowa. W następstwie tego zjawiska dochodzi do ubytków słuchu właśnie dla częstotliwości subharmonicznych ultradźwięków [8].

Poza szkodliwym oddziaływaniem na słuch stwierdzono też ujemny wpływ ultradźwięków na narząd przedsionkowy w uchu wewnętrznym, objawiający się: bólami i zawrotami głowy, zaburzeniami równowagi, nudnościami, sennością w ciągu dnia, nadmiernym zmęczeniem itp. W badaniach oddziaływań pozaśluchowych wykazano, że ekspozycja zawodowa na hałas ultradźwiękowy o poziomach ciśnienia akustycznego ponad 80 dB w zakresie wysokich częstotliwości słyszalnych (do 20 kHz) i ponad 100 dB w zakresie niskich częstotliwości ultradźwiękowych (ponad 20 kHz) wywołuje zmiany o charakterze wegetatywno-naczyniowym [8].

## 4. Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego

Uwzględniając obecny stan wiedzy na temat skutków oddziaływania ultradźwięków niskich częstotliwości na organizm człowieka, obecnie obowiązujące wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego są określone w rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [9].

Według wymienionego rozporządzenia hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy jest charakteryzowany przez:

- ➔ równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz odniesione do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego tygodniowego, określonego w Kodeksie pracy [10], wymiaru czasu pracy (wyjątkowo w przypadku oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu),
- ➔ maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz.

Poziomy te nie mogą przekraczać wartości najwyższego dopuszczalnego natężenia (NDN) hałasu ultradźwiękowego podanych w tabeli 2.

**Tabela 2.** Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego dla ogółu pracowników wg rozporządzenia [9]

Częstotliwość środkowa pasma tercjowego, kHz	Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego tygodniowego, określonego w Kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy, dB	Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego, dB
10; 12,5; 16	80	100
20	90	110
25	105	125
31,5; 40	110	130

Na stanowiskach pracy młodocianych i kobiet w ciąży obowiązują natomiast mniejsze wartości, określone odpowiednio w rozporządzeniu

Rady Ministrów w sprawie prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudnienia przy niektórych z tych prac [11] i w rozporządzeniu Rady Ministrów w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią [12]. Wartości te podano w tabelach 3. i 4.

**Tabela 3.** Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy młodocianych wg rozporządzenia [11]

Częstotliwość środkowa pasma tercjowego, kHz	Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego tygodniowego, określonego w Kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy, dB	Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego, dB
10; 12,5; 16	75	100
20	85	110
25	100	125
31,5; 40	105	130

**Tabela 4.** Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy kobiet w ciąży wg rozporządzenia [12]

Częstotliwość środkowa pasma tercjowego, kHz	Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego tygodniowego, określonego w Kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy, dB	Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego, dB
10; 12,5; 16	75	95
20	85	105
25	100	120
31,5; 40	105	125

## 5. Metoda pomiaru hałasu ultradźwiękowego

Aktualnie stosowana metoda pomiaru hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy, opracowana na podstawie wyników badań zrealizowanych w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym, została opracowana w formie procedury pomiarowej „Procedura pomiaru hałasu ultradźwiękowego” opublikowanej w kwartalniku Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy w 2015 r. [13]. W 2019 r. zainicjowano prace normalizacyjne w Polskim Komitecie Normalizacyjnym nad opracowanym w CIOP-PIB projektem Polskiej Normy PN-Z-01339 *Hałas ultradźwiękowy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów w środowisku pracy*, który zawiera metodę pomiaru hałasu ultradźwiękowego zgodną z wymienioną procedurą pomiarową.

Wymieniona procedura pomiarowa, jak również metoda ujęta w ww. projekcie Polskiej Normy, dotyczy wyznaczania równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych w zakresie od 10 do 40 kHz, odniesionych do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy oraz maksymalnych poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz. W projekcie normy określono również metodę uwzględniania poprawek związanych z wpływem charakterystyk metrologicznych aparatury oraz wpływem siatki ochronnej mikrofonu na wynik pomiaru, a także zasadę szacowania niepewności pomiarów w celu określenia jakości pomiarów.

Stanowiska pracy związane z hałasem ultradźwiękowym, zwłaszcza stanowiska obsługi technologicznych urządzeń ultradźwiękowych, zazwyczaj są stacjonarnymi stanowiskami pracy i wykonywane na nich czynności mogą być podzielone na wyraźne przedziały czasowe zależne od pracy tych urządzeń. W takim przypadku najbardziej efektywną metodą pomiarową jest metoda z podziałem na czynności zawarta w normie PN-EN ISO 9612:2011 [14]. Polega ona na analizie pracy i podziale jej na pewną liczbę reprezentatywnych czynności, dla których się przeprowadza oddzielne pomiary.

Pomiary powinny być wykonywane w obecności pracownika na stanowisku pracy. Mikrofon w czasie wykonywania pomiarów powinien być umieszczony w odległości około 10 cm od wejścia do kanału ucha zewnętrznego, po stronie ucha narażonego na wyższe wartości poziomu ciśnienia akustycznego.

Czas pracy na badanym stanowisku powinien być podzielony na czas trwania poszczególnych czynności rozróżnialnych ze względu na hałas ultradźwiękowy. Łączny czas trwania poszczególnych czynności powinien obejmować pełną zmianę roboczą. Dla każdej czynności należy wykonać co najmniej trzy pomiary. Wartość równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego dla  $m$ -tej czynności wyznacza się na podstawie wzoru:

$$L_{f_i,eq,Tm} = 10 \log \left( \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J 10^{0,1L_{f_i,eq,Tm,j}} \right) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

gdzie:

$L_{f_i,eq,Tm}$  – równoważny poziom ciśnienia akustycznego w  $i$ -tym paśmie częstotliwości, dla  $m$ -tej czynności, w dB,



$L_{fi,eq,Tm,j}$  – równoważny poziom ciśnienia akustycznego w  $i$ -tym paśmie częstotliwości, dla  $j$ -tego pomiaru dla  $m$ -tej czynności, w dB,

$J$  – liczba pomiarów dla  $m$ -tej czynności.

Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego w danym przedziale narażenia (tj. dla  $m$ -tej czynności),  $L_{fi,max,Tm}$ , jest to wartość największa z uzyskanych wartości maksymalnych z zarejestrowanych pomiarów.

Wyniki pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego w  $i$ -tym paśmie częstotliwości (poziomy równoważny oraz maksymalny) należy skorygować zgodnie z następującym wzorem:

$$L_{fi} = L'_{fi} + K_{apfi} - K_{gfi} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

gdzie:

$L'_{fi}$  – wskazanie miernika/analizatora w  $i$ -tym paśmie tercjowym, w dB,

$K_{apfi}$  – poprawka uwzględniająca łączny wpływ charakterystyk metrologicznych aparatury na wynik pomiaru w  $i$ -tym paśmie tercjowym, w dB,

$K_{gfi}$  – poprawka uwzględniająca wpływ na wynik pomiaru stosowania siatki ochronnej mikrofonu w  $i$ -tym paśmie tercjowym, w dB.

Na podstawie wzoru (3) możliwe jest obliczenie równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego w  $i$ -tym paśmie tercjowym odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy:

$$L_{fi,eq,8h} = 10 \log \left[ \sum_{m=1}^M \frac{T_m}{T_0} 10^{0,1L_{fi,eq,Tm}} \right] \quad \text{dB} \quad (3)$$

gdzie:

- $L_{fi,eq,8h}$  – równoważny poziom ciśnienia akustycznego w  $i$ -tym paśmie częstotliwości odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, w dB,
- $T_m$  – czas trwania  $m$ -tej czynności, w h,
- $T_0$  – przedział czasowy odniesienia,  $T_0 = 8$  h,
- $m$  – numer czynności,
- $M$  – ogólna liczba czynności mających udział w ekspozycji na hałas ultradźwiękowy.

## 6. Ocena narażenia i ryzyka zawodowego

Ocena narażenia zawodowego na hałas ultradźwiękowy polega na porównaniu zmierzonych i/lub wyznaczonych wartości hałasu ultradźwiękowego z wartościami dopuszczalnymi równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego (odniesionego do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy) w pasmach tercjowych (o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz) i maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych (o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz), obowiązującymi jednocześnie. Wystarczy przekroczenie jednej z tych wartości, aby stwierdzić przekroczenie wartości NDN hałasu ultradźwiękowego.

Ryzyko zawodowe, będące następstwem narażenia na hałas ultradźwiękowy na danym stanowisku pracy, do którego oceny zobowiązuje

pracodawców Kodeks pracy [10], jest określana na podstawie wyznaczonych dla tego stanowiska krotności NDN dla hałasu ultradźwiękowego. Krotność NDN dla hałasu ultradźwiękowego,  $k$ , wyznacza się na podstawie następujących wzorów (4) i (5):

- ➔ w przypadku równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach o częstotliwościach środkowych  $f$  z zakresu od 10 do 40 kHz:

$$k = 10^{\frac{L_{feq,8h,zm} - L_{feq,8h,dop}}{10}} \quad (4)$$

- ➔ w przypadku maksymalnych poziomów ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych  $f$  z zakresu od 10 do 40 kHz:

$$k = 10^{\frac{L_{fmax,zm} - L_{fmax,dop}}{20}} \quad (5)$$

gdzie:

- $L_{feq,8h,zm}$  – zmierzony (lub obliczony) równoważny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowym paśmie o częstotliwości środkowej  $f$  z zakresu od 10 do 40 kHz odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, w dB,
- $L_{feq,8h,dop}$  – dopuszczalny równoważny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowym paśmie o częstotliwości środkowej  $f$  z zakresu od 10 do 40 kHz odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy (NDN hałasu ultradźwiękowego), w dB,
- $L_{fmax,zm}$  – zmierzony maksymalny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowym paśmie o częstotliwości środkowej  $f$  z zakresu od 10 do 40 kHz, w dB,
- $L_{fmax,dop}$  – dopuszczalny maksymalny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowym paśmie o częstotliwości środkowej  $f$  z zakresu od 10 do 40 kHz (NDN hałasu ultradźwiękowego), w dB.

Największa z krotności NDN spośród krotności  $k$  wyznaczonych wg wzorów (4) i (5) stanowi podstawę do określenia wielkości ryzyka zawodowego będącego następstwem narażenia na hałas ultradźwiękowy. Zgodnie z wytycznymi do oceny ryzyka zawodowego, podanymi w normie PN-N-18002:2011 [15] i po uwzględnieniu skali trójstopniowej, przyjmuje się, że:

- ➔ jeżeli wyznaczona dla stanowiska pracy krotność jest mniejsza od 0,5 ( $k < 0,5$ ), to ryzyko wystąpienia niekorzystnych dla zdrowia pracowników następstw ekspozycji na hałas ultradźwiękowy na tym stanowisku jest dopuszczalne – małe,
- ➔ jeżeli wyznaczona dla stanowiska pracy krotność jest równa lub większa od 0,5, ale nie przekracza 1 ( $0,5 \leq k < 1$ ), to ryzyko zawodowe związane z ekspozycją na hałas ultradźwiękowy jest dopuszczalne – średnie,
- ➔ jeżeli wyznaczona dla stanowiska pracy krotność jest większa od 1 ( $k > 1$ ), to ryzyko zawodowe związane z narażeniem na ten rodzaj hałasu jest niedopuszczalne – duże.

## 7. Zalecenia profilaktyki

W celu ochrony pracowników przed hałasem ultradźwiękowym należy uwzględnić w podejmowanych działaniach profilaktycznych zarówno wyniki oceny ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na ten czynnik pracownika na danym stanowisku pracy, jak i wyniki badań medycznych, szczególnie w przypadku łącznego działania kilku czynników szkodliwych.

W profilaktyce szkodliwego działania hałasu ultradźwiękowego obowiązują w zasadzie takie same wymagania i metody jak w przypadku

hałasu. Najskuteczniejszym sposobem ograniczenia zagrożenia hałasem ultradźwiękowym są działania ukierunkowane na redukcję hałasu ultradźwiękowego u źródeł jego powstawania. W pierwszej kolejności powinny być zatem podejmowane przez producentów urządzeń działania w zakresie ograniczenia emisji źródeł hałasu ultradźwiękowego. W drugiej kolejności, ze względu na krótkofalowość ultradźwięków niskich częstotliwości rozchodzących się w powietrzu, w ramach działań ograniczających narażenie na hałas ultradźwiękowy powinno znaleźć się stosowanie ochron zbiorowych. W tym przypadku najbardziej skutecznymi ochronami są następujące środki techniczne: hermetyzacja i obudowanie źródeł, osłony oraz ekrany akustyczne. Środki te ograniczają hałas ultradźwiękowy na drodze jego propagacji. Skutecznym środkiem technicznym jest także zastosowanie zdalnego sterowania procesem technologicznym. Umożliwia to odsunięcie pracownika od źródeł hałasu ultradźwiękowego.

Podczas eksploatacji urządzenia emitującego hałas ultradźwiękowy należy uwzględnić takie aspekty, jak:

- ➔ właściwe użytkowanie urządzenia, zgodnie z jego przeznaczeniem,
- ➔ stosowanie zabezpieczeń akustycznych, stanowiących elementy wyposażenia urządzenia (dołączone przez producenta),
- ➔ regularna konserwacja i utrzymywanie urządzenia w odpowiednim stanie technicznym.

Po osiągnięciu lub przekroczeniu wartości NDN hałasu ultradźwiękowego pracodawca, oprócz wymienionych działań, podejmuje działania o charakterze organizacyjnym, obejmujące m.in. ograniczanie czasu i poziomu narażenia oraz liczby osób narażonych na hałas ultradźwiękowy poprzez właściwą organizację pracy, w szczególności stosowanie skróconego czasu lub przerw w pracy i rotacji na stanowiskach pracy.

Gdy uniknięcie lub wyeliminowanie ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na hałas ultradźwiękowy nie jest możliwe za pomocą wymienionych środków technicznych lub działań organizacyjnych, wówczas sposobem ograniczenia szkodliwego oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na pracowników jest stosowanie ochronników słuchu oraz ochron osłaniających głowę (tj. hełmów lub przyłbic zaopatrzonych w przezroczyste ekrany, np. z pleksiglasu). Dobór ochronników słuchu powinien być dokonany zgodnie nie tylko z wymaganiami ujętymi w Polskiej Normie PN-EN 458: 2016 [16], lecz także z uwzględnieniem opracowanej w CIOP-PIB metody doboru ochronników słuchu w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10; 12,5 oraz 16 kHz [17]. Podstawowym warunkiem skuteczności ochrony przed hałasem ultradźwiękowym za pomocą ochronników słuchu jest ich nieprzerwane stosowanie w trakcie narażenia.

Ponadto pracodawca powinien zapewnić pracownikom narażonym na działanie hałasu ultradźwiękowego informacje i szkolenie w zakresie: wyników oceny ryzyka zawodowego, potencjalnych jego skutków i środków niezbędnych do wyeliminowania lub ograniczenia tego ryzyka. Jednocześnie, zgodnie z Kodeksem pracy [10], w ramach profilaktyki pracownicy podlegają okresowym badaniom lekarskim. Tryb, zakres oraz częstotliwość badań są określone w rozporządzeniu Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej [18] – w przypadku narażenia na hałas ultradźwiękowy badania ogólne wykonuje się co 2 lata.

1. A. Śliwiński. Ultradźwięki i ich zastosowania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2001.
2. M. Pawlaczyk-Łuszczczyńska, J. Koton, M. Śliwińska-Kowalska, D. Augustyńska, M. Kameduła. Hałas ultradźwiękowy. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2001, 2(28), 55–88.
3. J. Ranachowski [red.]. Problemy i metody współczesnej akustyki. PWN, Warszawa-Poznań, 1989, 237-276.
4. A. Nowicki. „Ultradźwięki w medycynie, wprowadzenie do współczesnej ultrasonografii, IPPT PAN, Warszawa 2010.
5. M. Postema, Fundamentals of medical ultrasonics, CRC Press, Boca raton London New York, 2017.
6. W.M. Zawieska [red.]. Ryzyko zawodowe. Metodyczne podstawy oceny. CIOP-PIB. Warszawa 2009.
7. B. Smagowska. Identyfikacja zagrożeń i ocena ryzyka zawodowego hałasem ultradźwiękowym w wybranych gałęziach przemysłu. Rozprawa doktorska. CIOP-PIB. Warszawa 2015.
8. M. Pośniak [red.]. Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne. CIOP-PIB. Warszawa 2018.
9. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U. 2018, poz. 1286.



10. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 16 maja 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Kodeks pracy. Dz.U. 2019, poz. 1040.
11. Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 29 sierpnia 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac. Dz.U. 2016, poz. 1509.
12. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią. Dz.U. 2017, poz. 796.
13. J. Radosz. Procedura pomiarowa hałasu ultradźwiękowego. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2015, 4(86), 169–190.
14. PN-EN ISO 9612:2011. Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna.
15. PN-N-18002:2011. Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego.
16. PN-EN 458:2016. Ochronniki słuchu. Zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej. Dokument przewodni.
17. R. Młyński, E. Kozłowski. Stosowanie indywidualnych ochron słuchu w przypadku hałasu o częstotliwościach słyszalnych powyżej 8 kHz. CIOP-PIB. Warszawa 2016.
18. Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 4 listopada 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie przeprowadzenia badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktyki opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. Dz.U. 2016, poz. 2067.