

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Bożena Smagowska

**Zagrożenie hałasem emitowanym przez
nietechnologiczne źródła ultradźwiękowe
w środowisku pracy**



Materiały szkoleniowe

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego / Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. (projekt IIB05)

Lp.	Spis treści.....	Str.
1.	Wiadomości podstawowe.....	3
2.	Definicje.....	4
3.	Oddziaływanie hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka.....	6
4.	Nietechnologiczne źródła hałasu ultradźwiękowego.....	8
5.	Pomiary hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy.....	10
6.	Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego - ocena szkodliwości.....	11
7.	Metody ograniczania zagrożenia hałasem ultradźwiękowym.....	14
8.	Podsumowanie.....	15
9.	Piśmiennictwo.....	16

Wiadomości podstawowe

Drgania akustyczne o częstotliwościach z zakresu od ok. 20 kHz do 10 GHz rozchodzące się w postaci fal w ośrodkach gazowych, cieczech i ciałach stałych nazywa się ultradźwiękami. Ze względu na zakres częstotliwości rozróżnia się ultradźwięki niskich częstotliwości (nie przekraczające 100 kHz) oraz ultradźwięki wysokich częstotliwości (powyżej 100 kHz). Praktyczne zastosowanie ultradźwięków jest bardzo szerokie a górną granicą częstotliwości jest 10 GHz [1]. Powyżej tej częstotliwości drgania akustyczne określa się, jako hiperdźwięki.

Zagadnienie rozchodzenia się ultradźwięków można rozpatrywać dwojako. Z jednej strony ultradźwięki wytwarzane są celowo np. wprowadzane, jako źródło danego procesu technologicznego lub w celu diagnostyki medycznej. Z drugiej strony składowe ultradźwiękowe występują, jako dźwięki niepożądane w postaci hałasu ultradźwiękowego w wielu przypadkach emitowanego w maszynach i urządzeniach, w tym w środowisku pracy. Hałas, w którego widmie występują składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych (10-16 kHz) i niskich ultradźwiękowych (20 - 40 kHz) nazywa się hałasem ultradźwiękowym [2].

Technologie z 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, laboratoriach i ambulatoriach, w medycynie: diagnostyce, fizykoterapii i chirurgii [3].

Gęstość mocy ultradźwięków stosowanych do celów przemysłowych zawiera się w zakresie 10 mW/cm^2 do $10\,000 \text{ W/cm}^2$. Poza przemysłowym zastosowaniem ultradźwięki wykorzystuje się do: prasowania proszków, strącania pyłów, wytwarzania emulsji, aerozoli, hydrozoli itp. czy w takich urządzeniach powszechnego użytku, jak: przeciwwłamaniowe urządzenia alarmowe, gwizdki na psy, odstraszacze ptaków i gryzoni, nawilzacze powietrza i inhalatory.

Ponadto ultradźwięki są generowane przez medyczny sprzęt: diagnostyczny, fizykoterapeutyczny i chirurgiczny. W celach fizykoterapeutycznych są stosowane ultradźwięki rzędu 0,5 do 1 MHz w przypadku leczenia głębokiego i 2,5÷3 MHz w przypadku leczenia powierzchniowego [1]. W diagnostyce natomiast zastosowanie znalazły ultradźwięki małej mocy o częstotliwościach z zakresu 1 do 10 MHz (w okulistyce do 30 MHz). Natężenie generowanych przez nie ultradźwięków waha się od $0,06 \text{ mW/cm}^2$ do 4 W/cm^2 .

1. Definicje

Ultradźwięki - drgania akustyczne o częstotliwościach z zakresu od około 16 kHz do około 10^{10} Hz rozprzestrzeniające się w ośrodkach sprężystych (w ciałach stałych, cieczach oraz gazach) [3]

Hałas ultradźwiękowy – fale akustyczne rozprzestrzeniające się w powietrzu, niepożądane z punktu widzenia oddziaływania na człowieka, w których widmie występują składowe w zakresie częstotliwości środkowych (dla pasm tercjowych) 10 kHz - 40 kHz; zakres ten obejmuje dźwięki słyszalne o wysokich częstotliwościach (pasma 10 i 12,5 kHz) oraz ultradźwięki o częstotliwościach pasm 16 – 40 kHz nie wywołujące wrażenia słuchowego u człowieka lecz oddziałujące na inne elementy jego organizmu) [4]

Źródło hałasu ultradźwiękowego - układ fizyczny emitujący do ośrodka (najczęściej powietrza) ultradźwięki wraz z dźwiękami o wysokich częstotliwościach słyszalnych, które następnie są przekazywane do organizmu człowieka (najczęściej drogą powietrzną).

Ochrona człowieka przed hałasem ultradźwiękowym - całokształt metod i środków zmierzających do ograniczania szkodliwego oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka w środowisku pracy.

Najwyższe Dopuszczalne Natężenia (NDN) – poziom ekspozycji hałasu, 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 jego przyszłych pokoleń [5]

Ryzyko zawodowe – 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. [6]

Ocena ryzyka zawodowego - określenie wielkości tego ryzyka, na podstawie wyznaczonej krotności hałasu ultradźwiękowego występującego na danym stanowisku pracy w stosunku do ustalonych dla tego hałasu wartości dopuszczalnych.

Równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych f w zakresie od 10 kHz do 40 kHz, $L_{f,eq,Te}$ odniesione do dnia lub tygodnia pracy

- Równoważny poziom ciśnienia akustycznego w i-tym paśmie tercjowym o częstotliwości środkowej f , odniesiony do 8 – godzinnego dnia pracy $L_{f,eq,8h}$, w dB, są określone wzorem:

$$L_{f,eq,8h} = L_{f,eq,Te} + 10 \lg \frac{T_e}{T_o} \quad (1)$$

gdzie:

$L_{f,eq,Te}$ - równoważny poziom ciśnienia akustycznego w i-tym pasmie częstotliwości o częstotliwości środkowej f , w czasie ekspozycji T_e , w dB,

T_e – czas ekspozycji na hałas ultradźwiękowy w ciągu dnia pracy w min,

T_o – czas odniesienia 480 min,

- Równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych f , odniesione do tygodnia pracy $L_{f,eq,w}$, w dB, są określone wzorem:

$$L_{f,eq,w} = 10 \lg \left[\frac{1}{5} \sum_{k=1}^n 10^{0,1(L_{f,eq,8h})_k} \right] \quad (2)$$

gdzie:

k – kolejny dzień ekspozycji na hałas ultradźwiękowy w rozważanym tygodniu,

$(L_{f,eq,8h})_k$ - równoważny poziom ciśnienia akustycznego w pasmie tercjowym o częstotliwości środkowej f , odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy, dla k -tego dnia w rozważanym tygodniu,

n – liczba dni roboczych w rozważanym tygodniu (może być różna od 5).

Maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych f , w zakresie od 10 kHz do 40 kHz, $L_{f,max}$, w dB – wartość największa poziomu ciśnienia akustycznego w pasmie tercjowym o częstotliwości środkowej f , w zakresie od 10 kHz do 40 kHz, $L_{f,max}$, w dB

Oddziaływanie hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka

Hałas jako czynnik szkodliwy i uciążliwy może powodować skutki słuchowe i skutki pozasłuchowe. Uszkodzenie słuchu może być spowodowane:

- wieloletnim narażeniem na hałas o umiarkowanych poziomach ciśnienia akustycznego (np. w środowisku pracy).
- jednorazową ekspozycją na hałas o bardzo wysokim poziomie ciśnienia akustycznego (np. wystrzał, eksplozja)

Hałas zaliczany jest do szkodliwych czynników fizycznych środowiska pracy powodujących istotne zagrożenie dla zdrowia pracowników. Wysokie częstotliwości (powyżej 16 kHz) są dla człowieka niesłyszalne.[7]. W związku z tym brak jest niejednokrotnie świadomości o konieczności badań tego czynnika. Prowadzone badania z zakresu higieny pracy i patologii zawodowych wykazały, że przebywanie człowieka w środowisku działania ultradźwięków nie jest obojętne dla jego organizmu, a wielu przypadkach może być szkodliwe.

Na podstawie badań przeprowadzonych tak w kraju jak i zagranicą wykazano, że ultradźwięki powietrzne mogą wnikać do organizmu przez narząd słuchu oraz przez całą powierzchnię ciała, mimo braku swoistych receptorów na skórze, podobnie jak promieniowanie elektromagnetyczne czy jonizujące.

W związku z powyższym w oddziaływaniu hałasu ultradźwiękowego na człowieka rozróżniamy oddziaływanie na narząd słuchu oraz oddziaływania inne tzw. pozasłuchowe.

Badania wpływu hałasu ultradźwiękowego na stan narządu słuchu są utrudnione, ponieważ w warunkach przemysłowych ultradźwiękom towarzyszy zazwyczaj hałas słyszalny. Na skutek zjawisk nieliniowych zachodzących w samym uchu, pod wpływem działania ultradźwięków powstają składowe subharmoniczne o poziomach ciśnienia akustycznego często tego samego rzędu, co podstawowa składowa ultradźwiękowa. W następstwie tego zjawiska dochodzi do ubytków słuchu właśnie dla częstotliwości subharmonicznych ultradźwięków. [8, 9]

Badania oddziaływań pozasłuchowych wykazały, że ekspozycja zawodowa na hałas ultradźwiękowy o poziomach powyżej 80 dB w zakresie częstotliwości słyszalnych i ponad 100 dB w zakresie niskich częstotliwości ultradźwiękowych wywołuje zmiany o charakterze wegetatywnym. Stwierdzono 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. [2,10]

Na podstawie wyników badań stwierdzono, że hałas ultradźwiękowy wywołuje zaburzenia w układzie krążenia. Pod jego wpływem pogarsza się ukrwienie zarówno mięśnia sercowego jak i tkanek obwodowych. Objawami tych zaburzeń są spadki ocieplenia skóry, nagle blednięcie lub zaczerwienienie skóry twarzy i szyi, wyraźne zwolnienie czynności serca (obniżenie częstotliwości tętna), obniżenie ciśnienia tętniczego krwi itp. Zaburzeniom w układzie krążenia towarzyszą zmiany składu krwi. Może nastąpić spadek liczby krwinek czerwonych przy zachowaniu prawidłowego poziomu hemoglobiny, co prowadzi do tzw. nadbarwliwości.[2]

Hałas ultradźwiękowy powoduje też zaburzenia procesów termoregulacyjnych. Objawem jest w tym przypadku wzrost ciepłoty ciała o 0,5 - 0,7 °C, przy czym wzrost temperatury jest tym większy, im większe są poziomy ciśnienia akustycznego ultradźwięków powietrznych.[2]

Stwierdzono również ujemny wpływ hałasu ultradźwiękowego na procesy przemiany materii oraz czynności układu nerwowego. U osób długotrwale obsługujących urządzenia ultradźwiękowe obserwuje się wzmożoną pobudliwość nerwową oraz uczucie stałego rozdrażnienia, przy czym częstym zjawiskiem jest duża zmienność nastrojów przejawiająca się szybkimi przejściami ze stanów wybuchowości do stanów apatii [11]. Obserwuje się także trudności natury intelektualnej, wyrażające się osłabieniem pamięci, niemożnością koncentracji uwagi oraz małą chłonnością nowego materiału. [12]

Na działania ultradźwięków powietrznych niskich częstotliwości wrażliwe są także gruczoły dokrewne, w tym najbardziej gruczoły płciowe i tarczyca. Obserwuje się w nich niekorzystne zmiany różnego stopnia w zależności od poziomu natężenia hałasu ultradźwiękowego i czasu jego trwania.

W celu oceny stopnia narażenia pracowników na hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy w wielu ośrodkach badawczych, w tym także w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie i Instytucie Medycyny Pracy w Łodzi, prowadzono badania pola akustycznego w otoczeniu różnych maszyn i urządzeń będących potencjalnymi źródłami hałasu zawierającego składowe ultradźwiękowe. [13,14,15,16,17]

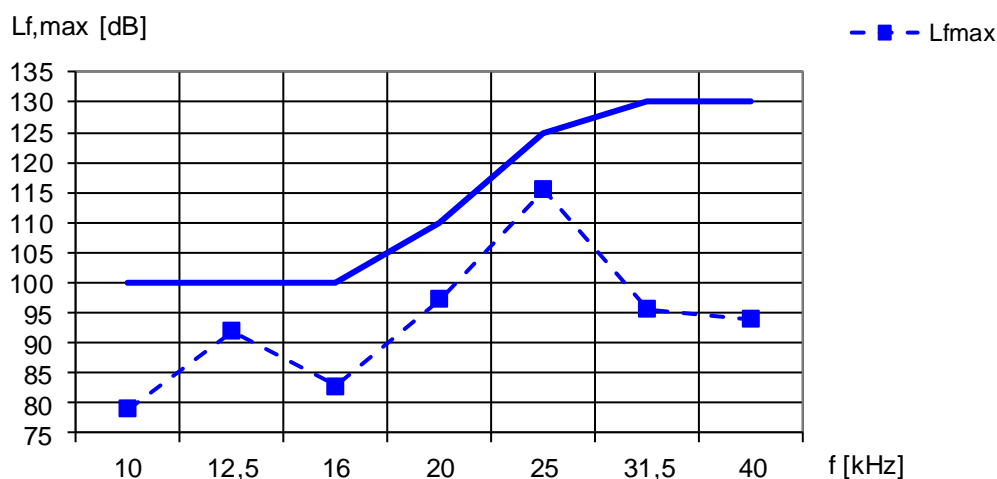
W celu zapobiegania skutkom narażenia na hałas ultradźwiękowy i uszkodzeniu słuchu została opracowana procedura pomiarowa oraz ustalone wartości dopuszczalne, które stanowią Najwyższe Dopuszczalne Natężenia (NDN) hałasu ultradźwiękowego, podane w Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r (DzU nr 217, poz. 1833, ze zm.; DzU nr 212 poz. 1769 z 28 października 2005) [18,19].

Technologiczne źródła hałasu ultradźwiękowego

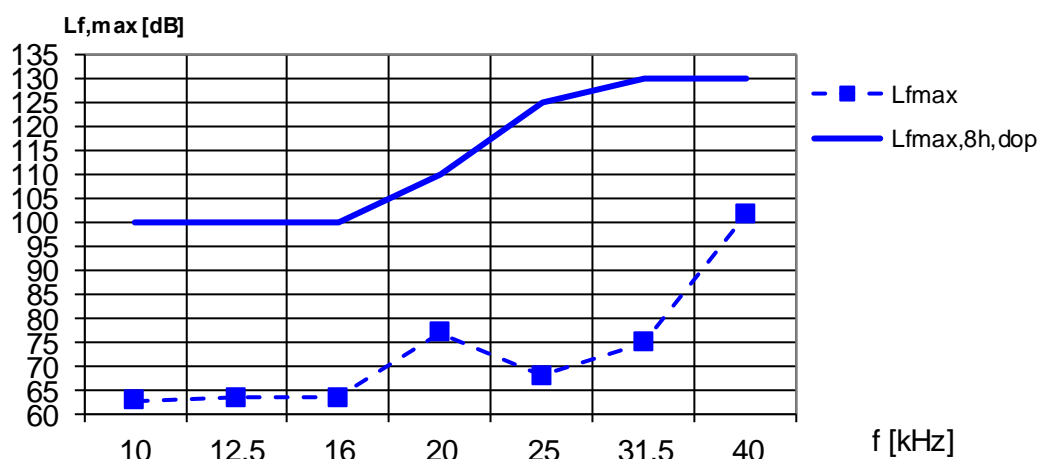
Ultradźwięki znajdują coraz szersze zastosowanie w różnych dziedzinach techniki i medycyny, jako czynnik niezbędny do realizacji procesów technologicznych. W praktyce realizowane jest to bardzo często poprzez zastosowanie w maszynach i różnego rodzaju urządzeniach - przetworników ultradźwiękowych. W związku z powyższym coraz powszechniejsza jest obecność ultradźwięków oraz hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy. [2]

Główne i najbardziej niebezpieczne źródła hałasu ultradźwiękowego stanowią technologiczne urządzenia ultradźwiękowe niskich częstotliwości, w których drgania ultradźwiękowe wytwarzane są w celu realizacji lub usprawnienia założonych procesów technologicznych. Do tej grupy źródeł hałasu ultradźwiękowego należą m.in.: zgrzewarki ultradźwiękowe (tworzyw sztucznych, metali oraz materiałów trudno zgrzewalnych), myjki ultradźwiękowe, drążarki ultradźwiękowe, lutownice ręczne i wanny do cynowania, maszyny do aplikacji dekoracyjnych elementów w tkaninie tzw. dżetownice oraz jednostki dentystyczne do czyszczenia kamienia nazębnego, tzw. skalery. Częstotliwość znamionowa pracy tych źródeł waha się w zakresie od 18 do 40 kHz. [16,20]

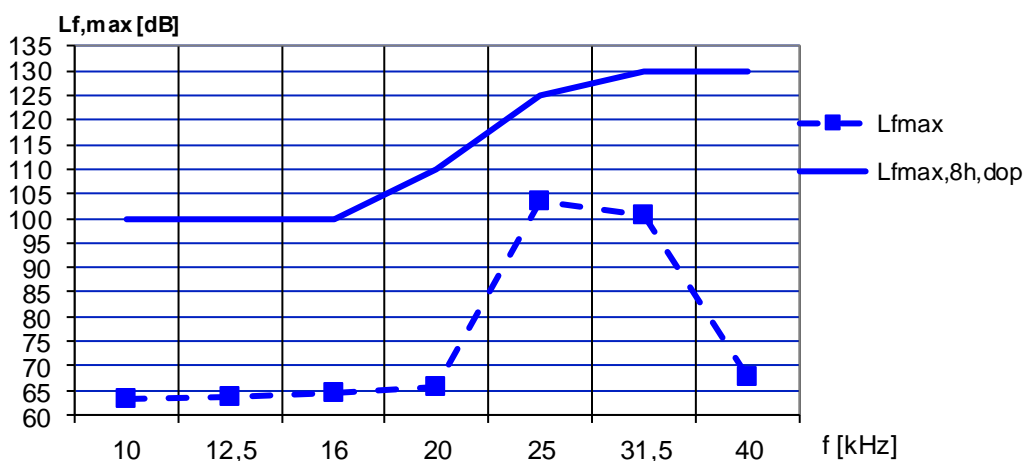
Na rysunkach 4.1, 4.2 i 4.3 zamieszczono przykładowe zmierzone maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy zgrzewarki ultradźwiękowej, myjki ultradźwiękowej oraz dżetownicy ultradźwiękowej.



Rys. 4.1. Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku zgrzewarki ultradźwiękowej



Rys. 4.2. Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku myjki ultradźwiękowej



Rys. 4.2. Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku dźetownicy ultradźwiękowej

2. Nietechnologiczne źródła hałasu ultradźwiękowego

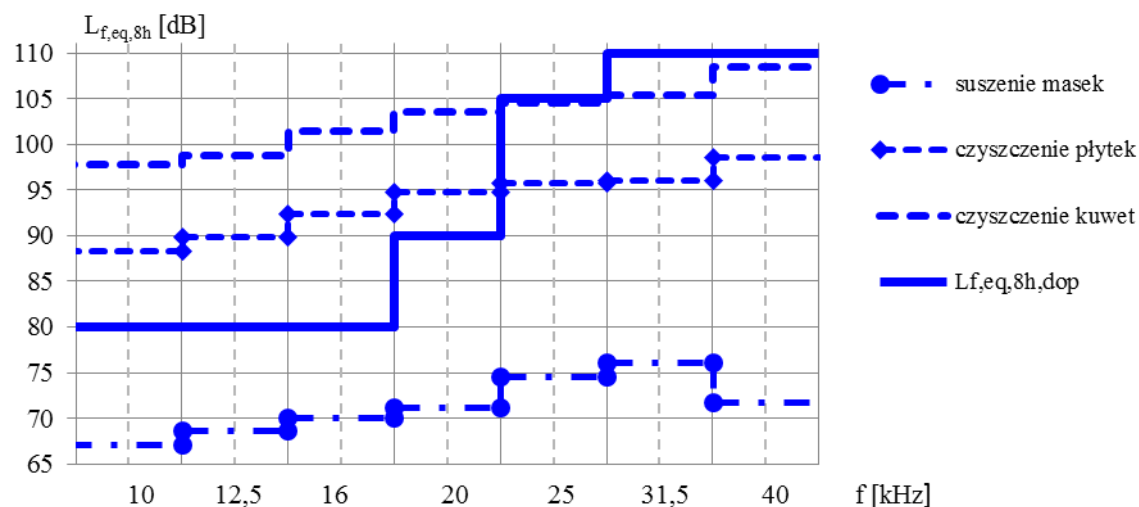
Poza wymienionymi urządzeniami, w których drgania ultradźwiękowe są czynnikiem roboczym wykorzystywanym w procesie technologicznym, hałas ultradźwiękowy powstaje także jako niezamierzony skutek pracy wielu maszyn i urządzeń, określanych jako nietechnologiczne źródła hałasu ultradźwiękowego.[21]

Urządzenia te nie mają w swojej nazwie określenia „ultradźwiękowe”, a ich identyfikacja, jako potencjalnych źródeł hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy jest trudna, ponieważ składowe ultradźwiękowe nie są słyszalne i jest dokonywana drogą pomiarową. Najczęściej w widmie hałasu emitowanego przez te urządzenia występują znaczne poziomy ciśnienia akustycznego z zakresu wysokich częstotliwości słyszalnych, określanych przez osoby ekspozowane na ten czynnik, jako dźwięki: piszczące, gwizdzące i świszczące. [22]

Na podstawie analizy wyników badań własnych wielkości charakterystycznych hałasu oraz z nielicznych danych literaturowych wynika, że obecność składowych ultradźwiękowych o znacznych poziomach ciśnienia akustycznego stwierdzono w otoczeniu takich urządzeń, podczas pracy których występują zjawiska o charakterze aerodynamicznym lub mechanicznym, a także podczas innych procesów, jak np. spawanie czy cięcie plazmą [23,24,25].

Do pierwszej grupy urządzeń (przy pracy których występują zjawiska o charakterze aerodynamicznym) można zaliczyć m.in.: sprężarki, prasy (m.in. wulkanizacyjne), palniki, pistolety i narzędzia pneumatyczne (w tym np. ręczne narzędzia pneumatyczne, klucze pneumatyczne, szlifierki). Na stanowiskach pracy czyszczenia detali, podczas stosowania zaworów ze sprężonym powietrzem, równoważny poziom ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz; 12,5 kHz, 16 i 20 kHz zawiera się w zakresie $90 \div 98$ dB i przekracza wartości dopuszczalną równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego określoną dla tych pasm częstotliwości.

Na rysunku 5.1 zamieszczono zmierzone równoważne poziomy ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy pistoletu sprężonego powietrza podczas suszenia i czyszczenia detali.



Rys. 5.1 Równoważny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy pistoletu [24].

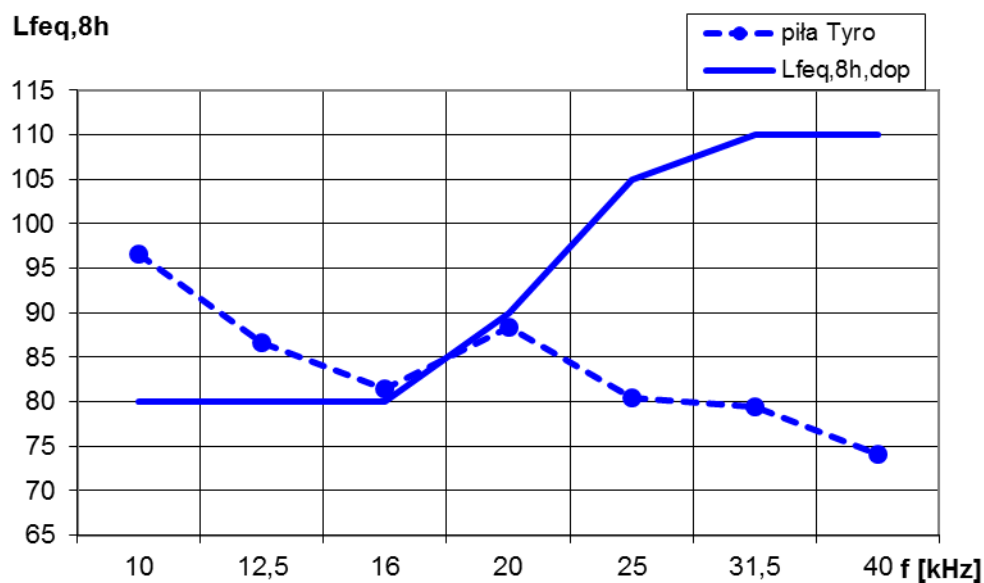
W grupie takich narzędzi pneumatycznych, jak: ubijaki formierskie, klucze pneumatyczne i szlifierki, równoważny poziom ciśnienia akustycznego, głównie w paśmie tercjowym o częstotliwości środkowej 10 kHz, waha się od 85 do 92 dB.

Natomiast podczas pracy z użyciem młotków pneumatycznych i sprężarek wartość tego poziomu w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych 10 kHz; 12,5 kHz i 16 kHz zawiera się w zakresie $100 \div 115$ dB.

Do drugiej grupy urządzeń, (w których źródłem ultradźwięków są procesy mechaniczne) można zaliczyć m.in.: wysokoobrotowe: strugarki, frezarki, szlifierki, piły tarczowe, niektóre maszyny włókiennicze (np. krosna, przędzarki, rozciągarki, skręćarki, przewijarki i zgrzeblarki). W przypadku maszyn do obróbki mechanicznej tj. strugarek do drewna i frezarek - równoważny poziom ciśnienia akustycznego dochodzi do 98 dB.

Z kolei dla szlifierek (kątowych) i młotów kowalskich (o ciężarze 1500 i 2000 kG) równoważny poziom ciśnienia akustycznego osiąga wartość 91 dB. W grupie pił tarczowych i poprzecznych do drewna oraz taśmowych do metalu, równoważny poziom ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz; 12,5 kHz i 16 kHz zawiera się w zakresie 95 ÷ 100 dB.

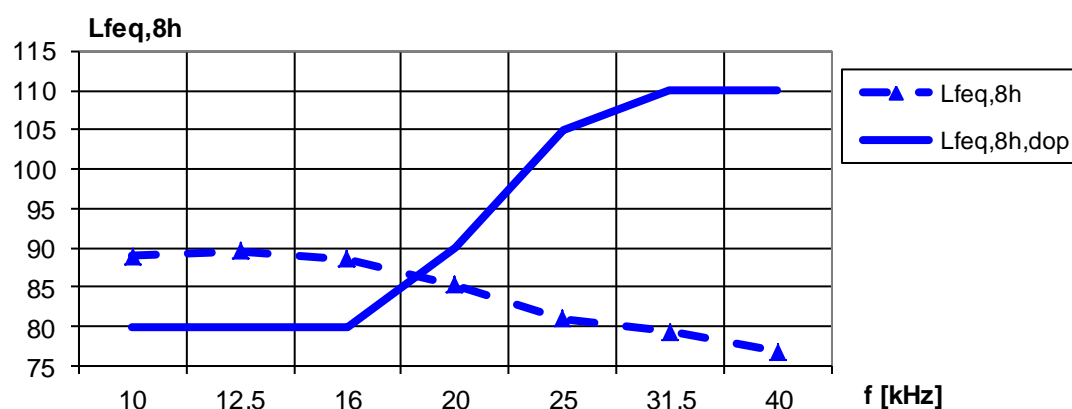
Na rysunku 5.2 podano przykładowe wyniki równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy piły tarczowej do metalu (cięcia krat pomostowych).



Rys. 5.2 Równoważny poziom ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy piły tarczowej do metalu

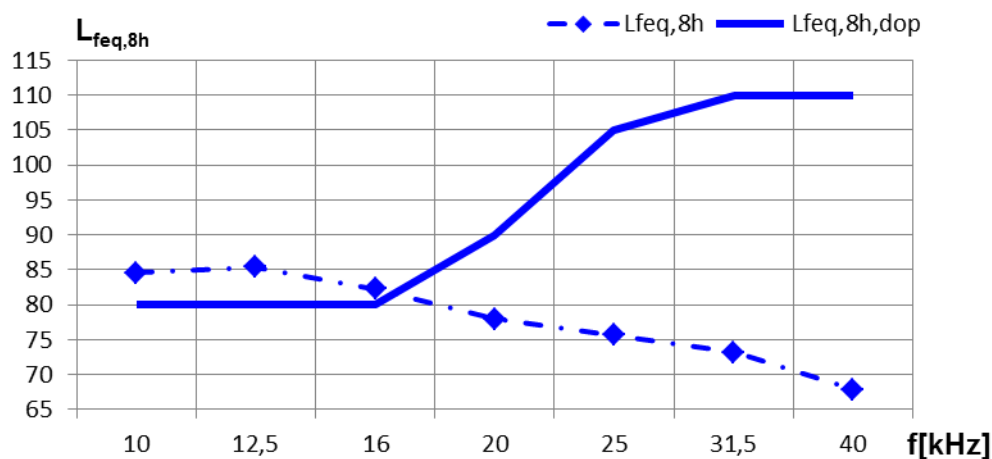
Z kolei podczas szlifowania detali z zastosowaniem szlifierek kątowych przekroczenia wartości dopuszczalnej równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego (89 dB) występują w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz; 12,5 kHz i 16 kHz.

Na rysunku 5.3 zamieszczono przykładowe wyniki równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy szlifierki kątovej



Rys. 5.3. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy szlifierki kątovej

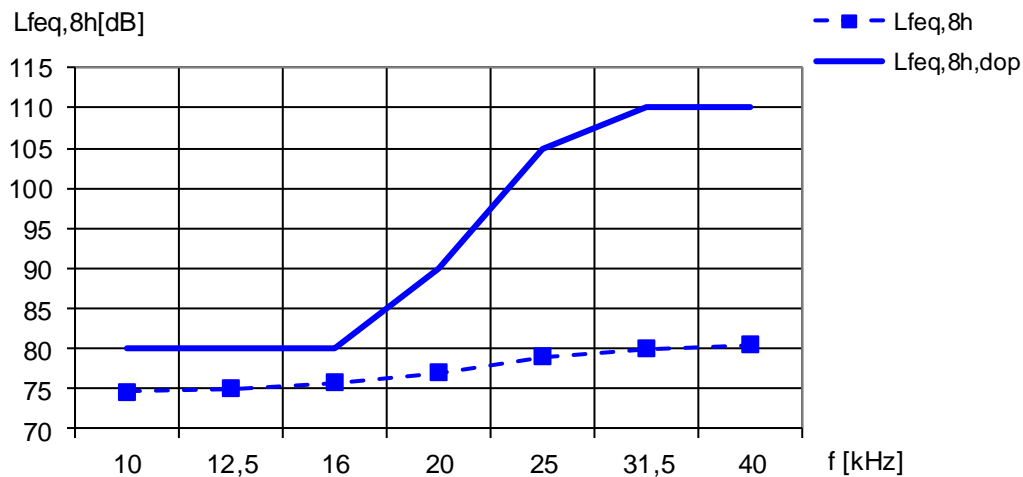
W grupie maszyn włókienniczych (np. krosien, przędzarek, rozciągarek, skręcarek, przewijarek i zgrzeblarek) równoważne poziomy ciśnienia akustycznego wahają się w granicach 80 ÷ 90dB a największe wartości poziomów maksymalnych ciśnienia akustycznego notuje się w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz; 12,5 kHz i 16 kHz [25]. Na rysunku 5.4 zamieszczono wyniki równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy rozciągarki.



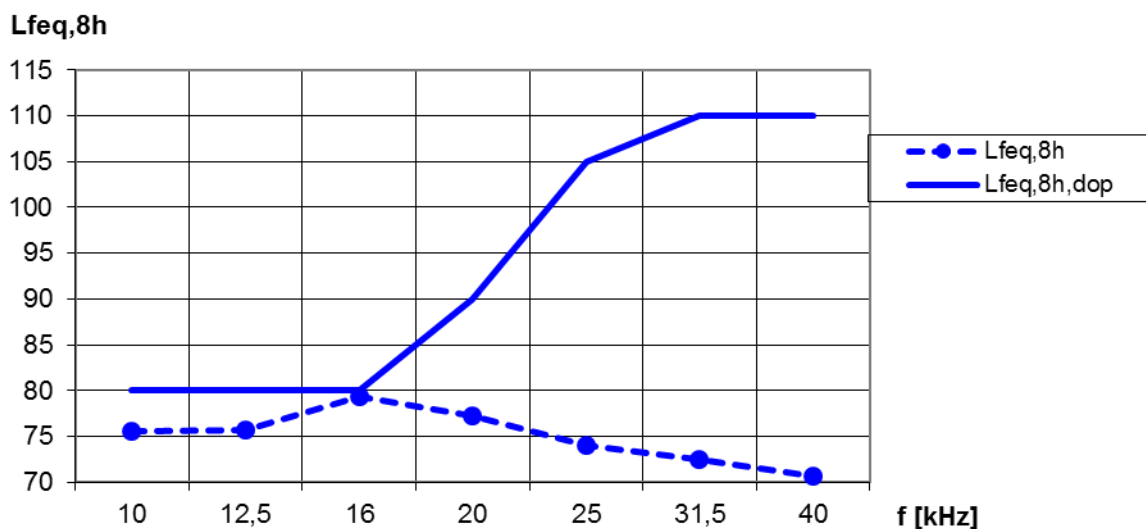
Rys. 5.4. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy rozciągarki

Ponadto znaczne poziomy ciśnienia akustycznego w zakresie hałasu ultradźwiękowego występują podczas spawania (72 dB), przecinania blachy palnikiem acetylenowo-tlenowym (75dB), cięcia plazmą (87 dB) czy procesów walcowania (80 dB). Znaczne wartości poziomu ciśnienia akustycznego występują podczas takich operacji jak: cięcie blachy 25mm palnikiem acetylenowo-tlenowym oraz chłodzenia kęsów z

pieca (walcownia). Na rysunkach 5.5 i 5.6 zamieszczono przykładowe wyniki równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy podczas tych operacji. W tym przypadku największe wartości poziomu ciśnienia akustycznego występują w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz; 12,5 kHz i 16 kHz i wahają się w granicach 75 – 80 dB.



Rys. 5.5 Równoważny poziom ciśnienia akustycznego podczas cięcia blachy 25mm palnikiem acetylenowo-tlenowym.



Rys. 5.6 Równoważny poziom ciśnienia akustycznego podczas chłodzenia kęsów z pieca

3. Pomiary hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy

Pomiary hałasu ultradźwiękowego, dla potrzeb oceny narażenia pracownika na danym stanowisku pracy na ten rodzaj hałasu, przeprowadza się w typowych dla tego stanowiska miejscach przebywania pracownika, z uwzględnieniem wszystkich wykonywanych przez niego czynności oraz standardowych warunków eksploatacji narzędzia, maszyny czy urządzenia będącego źródłem tego hałasu.

Narażenie na hałas ultradźwiękowy przeprowadza się na podstawie wyznaczonych z pomiarów wartości poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych 10 – 40 kHz. Pomiary hałasu ultradźwiękowego przeprowadza się metodą określoną w procedurze pomiarowej (opracowanej przez CIOP-PIB i IMP w Łodzi) [18]. Zgodnie z tą metodą wyznacza się następujące wielkości fizyczne charakteryzujące hałas ultradźwiękowy:

- równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz, 12,5 kHz, 16 kHz, 20 kHz, 25 kHz, 31,5 kHz i 40 kHz, odniesione do 8-godzinnego dnia pracy, $L_{feq,8h}$ (lub do tygodnia pracy $L_{feq,w}$ - w przypadku oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu lub gdy pracownik pracuje inną liczbę dni w tygodniu niż 5);
- maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz, 12,5 kHz, 16 kHz, 20 kHz, 25 kHz, 31,5 kHz i 40 kHz, $L_{f,max,d}$ w czasie dnia pracy (lub tygodnia pracy $L_{fmax,w}$).

Wielkości te należy mierzyć w miejscu, w którym zwykle znajduje się głowa pracownika lub w odległości około 10 – 40 cm od kanału ucha zewnętrznego, po stronie ucha narażonego na wyższe poziomy dźwięku, gdy obecność pracownika w czasie pomiarów jest niezbędna do obsługi maszyny lub urządzenia.

Przed przystąpieniem do pomiarów wielkości charakteryzujących hałas, należy określić źródła hałasu i w zależności od typu maszyn i urządzeń, stanowisk pracy oraz rodzaju pracy i wykonywanych czynności, zastosować odpowiednią strategię pomiarową oraz aparaturę pomiarową. Według wymagań zawartych w normie PN-EN ISO 9612 do wyboru są trzy strategie pomiarowe [26]:

- Strategia 1 – pomiary z podziałem na czynności,
- Strategia 2 – pomiary stanowiskowe,
- Strategia 3 – pomiary całodzienne

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. [27] do przeprowadzania badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (w tym pomiarów i oceny narażenia na hałas) upoważnione są przede wszystkim laboratoria badawcze posiadające akredytację zgodnie z Ustawą z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności. Na stronie internetowej Polskiego Centrum Akredytacji (<http://www.pca.gov.pl>) zamieszczony jest wykaz akredytowanych laboratoriów badawczych.

4. Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego - ocena szkodliwości i określenie ryzyka zawodowego

Jednym z rodzajów szacowania ryzyka utraty zdrowia przez pracowników narażonych na czynniki szkodliwe jest ocena ryzyka zawodowego oparta na kryteriach NDN [28,29]. Ocenę ekspozycji na hałas ultradźwiękowy przeprowadza się porównując wyznaczone z pomiarów wartości poziomu ciśnienia akustycznego z wartościami dopuszczalnymi. Pomiary hałasu ultradźwiękowego przeprowadza się określając wielkości fizyczne charakteryzujące hałas ultradźwiękowy wymienione w rozdz. 5. W tabeli 1 poniżej podano dopuszczalne wartości hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy dla ogółu pracowników oraz w przypadku zatrudnienia grup szczególnego ryzyka: kobiet w ciąży i młodocianych.

Tabela 1. Dopuszczalne równoważne poziomy ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy, odniesione do 8-godzinnej lub tygodniowej ekspozycji na hałas i maksymalne dopuszczalne poziomy ciśnienia akustycznego, w tercjowych pasmach częstotliwości dla ogółu pracowników, kobiet w ciąży i pracowników młodocianych [19,30,31]

Częstotliwości środkowe tercjowych pasm częstotliwości f , [kHz]	Dopuszczalne równoważne poziomy ciśnienia akustycznego $L_{\text{feq,sh,dop}}$ lub $L_{\text{feq,w,dop}}$, [dB]	Dopuszczalne maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego $L_{\text{f max,dop}}$ lub $L_{\text{f max,w,dop}}$, [dB]
10; 12,5; 16	80 (77^1) (75^2)	100
20	90 (87^1) (85^2)	110
25	105 (102^1) (100^2)	125
31,5; 40;	110 (107^1) (105^2)	130

¹Dopuszczalne wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego hałasu ultradźwiękowego w przypadku zatrudniania kobiet w ciąży. [30]

²Dopuszczalne wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego hałasu ultradźwiękowego w przypadku zatrudniania młodocianych [31]

Ryzyko zawodowe, będące następstwem narażenia na hałas ultradźwiękowy na danym stanowisku pracy, określa się na podstawie wyznaczonych dla tego stanowiska krotności:

- równoważnego dla 8 godzin poziomu ciśnienia akustycznego $L_{eq,8h}$ w stosunku do dopuszczalnego poziomu ciśnienia akustycznego odniesionego do 8 godzin $L_{dop,8h}$
- maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego L_{max} w stosunku do dopuszczalnego maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego $L_{dop,max}$.

Krotność $L_{feq,8h}$ względem $L_{dop,8h}$ określa się ze wzoru:

$$k_{L_{feq,8h}} = 10^{(L_{feq,8h} - L_{feq,8hdop})/10} \quad (3)$$

Krotność L_{fmax} względem $L_{dop,max}$ określa się ze wzoru:

$$k_{L_{fmax}} = 10^{(L_{fmax} - L_{fmax,dop})/20} \quad (4)$$

W sporadycznych przypadkach, tj. wtedy gdy hałas ultradźwiękowy działa na organizm pracownika w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach tygodnia, przy ocenie narażenia pracownika na hałas ultradźwiękowy i określaniu ryzyka zawodowego należy uwzględnić zamiast równoważnego dla 8 godzin poziomu ciśnienia akustycznego $L_{eq,8h}$ równoważny dla tygodnia pracy poziom ciśnienia akustycznego $L_{eq,w}$. Wówczas, zamiast krotności $K_{eq,8h}$ należy wyznaczyć krotność $K_{eq,w}$ ze wzoru:

$$K_{Leq,w} = 10^{(L_{eq,w} - L_{dop,w})/10} \quad (5)$$

Wszystkie wyżej omówione krotności wyznacza się oczywiście dla każdego kontrolowanego pasma tercjowego, zatem w fazie początkowej procesu oceny ryzyka otrzymuje się 7 krotności $K_{eq,8h}$ lub $K_{eq,w}$ i 7 krotności K_{max} . Następnie z 7 krotności $K_{eq,8h}$ lub $K_{eq,w}$ należy wybrać tę o największej wartości i z 7 krotności K_{max} również tę o największej wartości. W wyniku tego postępowania otrzymuje się dwie krotności, z których wybieramy największą. Ta wybrana finalnie krotność stanowi podstawę do określenia wielkości ryzyka zawodowego będącego następstwem narażenia na hałas ultradźwiękowy.

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 małe,

- jeżeli wyznaczona dla stanowiska pracy krotność jest równa lub większa od 0,5, ale nie przekracza 1 ($0,5 \leq K \leq 1$), to ryzyko zawodowe związane z ekspozycją na hałas ultradźwiękowy jest ryzykiem akceptowalnym – średnim,
- jeżeli wyznaczona dla stanowiska pracy krotność jest większa od 1 ($K > 1$), to ryzyko związane z narażeniem na ten hałas jest ryzykiem nieakceptowalnym - dużym .

Zaszeregowanie ryzyka zawodowego do określonej klasy (małe, średnie czy duże) decyduje o rodzaju przedsięwzięć, które należy podjąć w ramach realizacji polityki bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników, a także o terminie wykonania następnych badań hałasu ultradźwiękowego na kontrolowanym stanowisku pracy. Częstotliwość wykonywania badań hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy zależy od wielkości ustalonego ryzyka zawodowego i jest określona w Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [32]. Zgodnie z tym rozporządzeniem pomiary hałasu ultradźwiękowego na danym stanowisku pracy powinny być dokonane:

- co najmniej raz na dwa lata – jeżeli podczas ostatniego badania i pomiaru stwierdzono natężenie hałasu w zakresie 0,2 do 0,5 wartości NDN ($0,2 \leq K \leq 0,5$)
- co najmniej raz w roku - jeżeli podczas ostatniego badania i pomiaru stwierdzono natężenie hałasu powyżej 0,5 wartości NDN ($0,5 \leq K$)
- jeżeli podczas dwóch ostatnich badań i pomiarów hałasu, wykonanych w odstępie dwóch lat, natężenie hałasu nie przekraczało 0,2 wartości NDN, pracodawca może odstąpić od wykonywania badań i pomiarów.

Często zdarza się, że w przypadku obsługi maszyny czy urządzenia przez pracownika - kobietę w ciąży lub młodocianego ryzyko zawodowe należy sklasyfikować, jako nieakceptowalne (duże), natomiast przy obsłudze tej samej maszyny czy urządzenia przez mężczyznę lub kobietę niebędącą w ciąży, zawodowe ryzyko utraty zdrowia jest na poziomie akceptowalnym (średnim).

Nawet w przypadku stwierdzenia na danym stanowisku pracy ryzyka małego czy akceptowalnego, którego granicę wyznaczają ustalone wartości dopuszczalne, należy rozważyć możliwość ograniczenia tego ryzyka z uwzględnieniem bilansu kosztów jego obniżenia i oczekiwanych korzyści lub przynajmniej zapewnić, że ryzyko pozostaje stale na tym samym poziomie. Natomiast w razie stwierdzenia ryzyka nieakceptowalnego, pracodawcy są zobowiązani do opracowania programu redukcji ryzyka i jego sukcesywnego realizowania zgodnie z ustalonym harmonogramem.

5. Metody ograniczania zagrożenia hałasem ultradźwiękowym

Szkodliwe działanie ultradźwięków może być ograniczone w przypadku ekspozycji na hałas ultradźwiękowy przez podejmowanie odpowiednich działań profilaktycznych [33,34,35], tj.:

- ograniczenia emisji hałasu ultradźwiękowego przez zmianę konstrukcji urządzeń będących źródłami hałasu ultradźwiękowego,
- szkolenie pracowników urządzeń emitujących hałas ultradźwiękowy w zakresie zasad prawidłowej i bezpiecznej ich obsługi,
- szkolenie pracowników w zakresie szkodliwego wpływu ultradźwięków na organizm człowieka,
- stosowanie ochron zbiorowych (osłon, obudów oraz ekranów akustycznych) ograniczających hałas na drodze propagacji,
- stosowanie ochronników słuchu (odpowiednio dobranych do widma hałasu) oraz ochron osłaniających głowę (hełmów lub przyłbic zaopatrzonych w przezroczyste ekrany, np. z pleksiglasu),
- ograniczenie ekspozycji metodami organizacyjnymi (np. właściwe rozmieszczenie stanowisk pracy, tworzenie oaz ciszy, rotacja pracowników), np. w przypadku ekspozycji na hałas odniesionej do 8-godzinnego czasu pracy wynoszącej powyżej wartości NDN należy stosować skrócony czas pracy,
- przeprowadzenie lekarskich badań profilaktycznych wstępnych i okresowych [35].

Aby ograniczenie oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy było skuteczne konieczne jest nie tylko określenie przez pracodawcę programu redukcji ryzyka i jego sukcesywnego realizowania, ale również współdziałanie pracowników w tej dziedzinie. Pracownik powinien: współdziałać przy ocenie zagrożenia hałasem ultradźwiękowym, stosować środki ochrony zbiorowej przed hałasem (tłumiki, obudowy maszyn), stosować ochronniki słuchu oraz informować pracodawcę o uszkodzeniach środków ochrony przed hałasem lub o trudnościach w ich stosowaniu. Pracownicy powinni być poinformowani o wynikach pomiarów hałasu i zagrożenia dla zdrowia wynikającego z narażenia na hałas.

Ponadto w ramach profilaktyki lekarskiej powinni być objęci wstępnymi i okresowymi badaniami lekarskimi [36]. Badania wstępne obejmują: ogólnolekarskie i otolaryngologiczne oraz audiometrię tonalną (przewodnictwo powietrzne i kostne). Badania okresowe powinny być

przeprowadzane nie rzadziej niż co 2 lata w zakresie takim, jaki obowiązuje badania wstępne. W przypadku stwierdzenia odchylenia od normalnego stanu zdrowia w wyniku ekspozycji na hałas ultradźwiękowy badania należy rozszerzyć o badania specjalistyczne np. EEG, EKG i inne.

Badania lekarskie mają na celu określenie wczesnych objawów zmian chorobowych (uszkodzenia słuchu) powstających pod wpływem narażenia na hałas i niedopuszczenie do pogłębiania się choroby. Pracodawca nie może dopuścić do pracy pracownika bez aktualnego orzeczenia lekarskiego stwierdzającego brak przeciwwskazań do pracy na określonym stanowisku. Przeciwwskazaniami do ekspozycji na ultradźwięki są m.in. choroby nowotworowe, gruźlica, schorzenia oczu i zaćma, choroba wrzodowa żołądka i dwunastnicy, niedokrwistość, przewlekłe organiczne schorzenia układu nerwowego, zaburzenia układu krążenia (niedokrwienie serca, zaburzenia rytmu serca), zaburzenia narządu przedsionkowego, choroby alergiczne skóry, zwapnienie naczyń, ostry gościec stawowy.

6. Podsumowanie

Należy podkreślić, że w odniesieniu do technologicznych źródeł hałasu ultradźwiękowego największe wartości wielkości charakteryzujących ten czynnik, występują najczęściej w pasmie częstotliwości roboczej urządzeń, natomiast w przypadku nietechnologicznych źródeł hałasu ultradźwiękowego w trzech pierwszych pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz; 12,5 kHz i 16 kHz. Ze względu na fakt, że są to pasma częstotliwości zachodzące wyraźnie na górny zakres częstotliwości dźwięków słyszalnych, więc i ryzyko powstania uszkodzenia słuchu ocenia się jako duże.

Podejmowanie przedsięwzięć ograniczania zagrożenia hałasem ultradźwiękowym, w celu ochrony pracowników przed tym rodzajem hałasu, powinno uwzględniać wyniki oceny ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na ten czynnik pracownika na danym stanowisku pracy oraz wyniki badań medycznych (szczególnie w przypadku łącznego działania kilku czynników szkodliwych). [37]

Piśmiennictwo

1. Indulski J. A. i In., Higiena Pracy, Instytut Medycyny Pracy, Tom III, s.161-163, 1999
2. Pawlaczyk-Łuszczczyńska M., Koton J., Śliwińska-Kowalska M., Hałas ultradźwiękowy – Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2 (28) 2001,
3. Śliwiński A.: Ultradźwięki i ich zastosowania. WNT. Warszawa 2001,
4. Pawlaczyk-Łuszczczyńska M., Koton J., Śliwińska-Kowalska M., Augustyńska D., Kameduła M., Hałas ultradźwiękowy; Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, R. 17, 2(28), s. 55-88; 2001

5. 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 nr 217, poz. 1833, ze zm.; DzU nr 212 poz. 1769 z 28 paźdz. 2005,
6. PN-N-18002:2011 Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy -- Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego.
7. PN-N-01321:1986 (PN-86/N-01321) Hałas ultradźwiękowy. Dopuszczalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.
8. R.Przeklasa, E.Reron, M.Wiatr, J.Składzień Rola audiometrii wysokich częstotliwości w ocenie ubytku słuchu u osób narażonych na działanie hałasu przemysłowego. *Otolaryngologia*, 7(4), 2008,
9. Grzesik J., Pluta E.: Próg słuchu dla częstotliwości 10-20 kHz. *Przegląd Lekarski*, 8, 38, 1981,
10. Grzesik J.: Pluta E.: Kryteria oceny oraz badania stanu zdrowia osób obsługujących urządzenia ultradźwiękowe. *Materiały do studiów i badań*, 43, 30-40, 1978.
11. Pawlaczyk-Łuszczynska M., Dudarewicz A., Śliwińska-Kowalska M., Theoretical Predictions and Actual Hearing Threshold Levels in Workers Exposed to Ultrasonic Noise of Impulsive Character- A Pilot Study. *JOSE No. 4, Vol.13*, 2007.
12. Smagowska B., Pawlaczyk-Łuszczynska M. Effects of action of ultrasonic noise on the human body – a bibliographic review, *JOSE, Vol.19, No.2*, 195-202, 2013
13. Mączewski-Rowiński B.: *Ultradźwięki w przemyśle*. Instytut Wydawniczy CRZZ, W-wa. 1977;
14. Suwalski R. Metoda pomiarów pól akustycznych o częstotliwościach w zakresie 3-40 kHz pochodzących od technologicznych urządzeń ultradźwiękowych. *Materiały do studiów i badań – CIOP*, 43, W-wa, str.14-30, 1978
15. Puzyna Cz.: Pasterczuk E.: Kryteria oceny oraz metodyka pomiarów hałasu w zakresie częstotliwości ultradźwiękowych, *Prace CIOP, zeszyt 112, WNT, W-wa, str 47-58*, 1982
16. Koton J.: *Przemysłowe źródła hałasu ultradźwiękowego*. *Bezpieczeństwo Pracy*, 10, 11-15, 1988;
17. Augustyńska D., Pleban D., Mikulski W., *Hałas maszyn – znormalizowane metody wyznaczania poziomu mocy akustycznej*, *Bezpieczeństwo Pracy*, 2,3/2000
18. Pawlaczyk-Łuszczynska M., Koton J., Augustyńska D.: *Hałas ultradźwiękowy – Procedura pomiarowa. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy nr 2 (28)*, 2001
19. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *Dz. U. 2002 nr 217, poz. 1833*.
20. Smagowska B. *Źródła hałasu ultradźwiękowego środowisku pracy*, *Materiały z VL Zimowej Szkoły Zwalczania Zagrożeń Wibroakustycznych*. Wydawnictwo Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej, Gliwice-Szczyrk 27.02-02.03, 2012,
21. Mikulski W., Smagowska B., *Hałas ultradźwiękowy na wybranych stanowiskach pracy*, *XXXIV Zimowa Szkoła Zwalczania Zagrożeń Wibroakustycznych*, Ustroń 27.02-03.03.2006,
22. Smagowska B., Mikulski *Badania laboratoryjne wpływu hałasu ultradźwiękowego na funkcje poznawcze i sprawność psychomotoryczną człowieka*. *Bezpieczeństwo Pracy*, 5, 24-26, 2012,
23. Pawlaczyk-Łuszczynska M., Dudarewicz A., Śliwińska-Kowalska M. *Źródła ekspozycji zawodowej na hałas ultradźwiękowy - ocena wybranych urządzeń*. *Med. Pr.*, 58(2), 105-16, 2007.
24. Smagowska B. *Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach maszyn i urządzeń ze sprężonym powietrzem*, *Bezpieczeństwo Pracy*, 7-8, str. 38 - 41, 2011.

25. Smagowska B. Hałas ultradźwiękowy na wybranych stanowiskach pracy maszyn włókienniczych – ocena ryzyka zawodowego, *Przegląd Włókienniczy – Włókno, Odzież i Skóra*, nr 2, str. 42-46, 2012
26. PN-ISO 9612: 2004 Akustyka. Wytyczne do pomiarów i oceny ekspozycji na hałas w środowisku pracy.
27. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2011, nr 33, poz. 166
28. Mikulski W., Smagowska B. "Metoda oceny ryzyka zawodowego związanego z hałasem ultradźwiękowym", *Bezpieczeństwo Pracy* 3, 2007,
29. Smagowska B., Mikulski W., Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy drążarek ultradźwiękowych – ocena ryzyka zawodowego, *Bezpieczeństwo Pracy* 10, 2008,
30. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet. DzU 1996, nr 114, poz. 545; zm. DzU 2002, nr 127, poz. 1092.
31. 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 2004, nr 200, poz. 2047., zm. DzU 2005, nr 136, poz. 1145.
32. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2011, nr 33, poz. 166.
33. Minimalizowanie ryzyka uszkodzenia słuchu w miejscu pracy. Poradnik dla pracowników BHP, PIS, PIP, pracodawców i pracowników. M. Pawlaczyk-Łuszczyńska (red.): Wyd. IMP im. prof. J. Nofera, Łódź:2010
34. Smagowska B. Profilaktyka narażenia na hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy. *PiMOŚ*, 2,5-7, 2012,
35. PN-EN 458:2006 Ochronniki słuchu – zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej – dokument przewodni. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006
36. 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 do celów przewidzianych w Kodeksie pracy (Dz.U. z 1996 r. nr 69, poz. 322 z póź. zm.).
37. Śliwińska-Kowalska M., Zamysłowska-Szmytka E., Kotyło P., Wesołowski W., Dudarewicz A., Fiszer M., Pawlaczyk-Łuszczyńska M., Politański P., Kucharska M., Bilski B., Ocena uszkodzeń słuchu u pracowników narażonych na mieszaniny rozpuszczalników organicznych w przemyśle farb i lakierów. *Med. Pr.* T. 51, nr 1, s. 1-10, 2000.