JAN RADOSZ

PROPOZYCJA ZMIAN WARTOŚCI DOPUSZCZALNYCH HAŁASU ULTRADŹWIĘKOWEGO W ŚRODOWISKU PRACY.

Materiały informacyjne

CIOP PIB 75 LAT

Zrealizowano w ramach VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Zadanie nr 3.ZS.01,

pt. Rewizja wartości dopuszczalnych hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy

Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Projekt okładki: Kamil Jach

Opracowanie redakcyjne: Kamil Jach

Opracowanie graficzne: Jolanta Maj, Cezary Szymański

DOI: 10.54215/Propozycja_zmian_wartosci_dopuszczalnych_halasu_ultradzwiekowego_w_srodowisku_pracy_Materialy_informacyjne_J_Radosz

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2025

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16,

00-701 Warszawa

tel. (22) 623 36 98,

www.ciop.pl

SPIS TREŚCI

DEFINICJE 4
WPROWADZENIE 4
Przemysłowe źródła hałasu ultradźwiękowego 7
Skutki oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka 12
Kryteria oceny szkodliwości hałasu ultradźwiękowego - wartości dopuszczalne 22
Pomiary hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy - podstawowe przyrządy pomiarowe 26
Ocena narażenia i ryzyka zawodowego 29
Metody ograniczania zagrożeń hałasem ultradźwiękowym 32
Propozycje nowych wartości dopuszczalnych hałasu ultradźwiękowego 36
Podsumowanie 38
BIBLIOGRAFIA 40

DEFINICJE

Hałas ultradźwiękowy – ultradźwięki rozprzestrzeniające się w powietrzu o częstotliwościach z zakresu 20–40 kHz, niewywołujące wrażenia słuchowego u człowieka, występujące wraz z dźwiękami o wysokich częstotliwościach słyszalnych; hałas, w którego widmie obecne są składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych i niskich częstotliwościach ultradźwiękowych (10–40 kHz).

Kawitacja – powstawanie i zapadanie się (implodowanie) pęcherzyków gazowych w cieczy pod wpływem ultradźwięków. Zjawisko to stanowi podstawę wielu technologicznych zastosowań ultradźwięków, m.in. oczyszczania ultradźwiękowego.

Ochrona człowieka przed hałasem ultradźwiękowym – ogół metod i środków ograniczających szkodliwe oddziaływanie hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka w środowisku pracy.

Przetwornik ultradźwiękowy – urządzenie generujące drgania ultradźwiękowe na zasadzie działania mechanicznego (np. gwizdki, piszczałki, syreny) lub poprzez przetwarzanie energii elektrycznej na energię mechaniczną (przetworniki magnetostrykcyjne, piezoelektryczne). Przetworniki magnetostrykcyjne i piezoelektryczne mogą pełnić funkcję zarówno generatorów, jak i odbiorników fal ultradźwiękowych.

Ultradźwięki – drgania akustyczne o częstotliwościach od 20 kHz do 10^{10} kHz, rozprzestrzeniające się w ośrodkach sprężystych (ciałach stałych, cieczach i gazach).

Źródło hałasu ultradźwiękowego – układ fizyczny emitujący do ośrodka (najczęściej powietrza) ultradźwięki oraz dźwięki o wysokich częstotliwościach słyszalnych, które mogą oddziaływać na organizm człowieka, zwykle drogą powietrzną.

WPROWADZENIE

Ultradźwięki, w efekcie ciągłego rozwoju nauki i techniki, są coraz szerzej wykorzystywane w różnych dziedzinach aktywności ludzkiej, a zatem coraz powszechniejsza jest ich obecność w otaczającym nas środowisku, w tym również w środowisku pracy [3].

Ultradźwięki, tak jak dźwięki słyszalne i infradźwięki, są drganiami akustycznymi cząstek ośrodka sprężystego wokół położenia równowagi. Fizyczny opis drgań ultradźwiękowych jest zatem taki sam, jak innych drgań akustycznych.

Stąd – wszystkie podstawowe pojęcia charakteryzujące drgania akustyczne i ich rozprzestrzenianie się w ośrodkach, takie jak m.in.: prędkość drgań, częstotliwość, prędkość rozchodzenia się fali, długość fali, ciśnienie akustyczne, poziom ciśnienia akustycznego, widmo akustyczne itp. odnoszą się także do ultradźwięków.

Jedną z cech odróżniających ultradźwięki od infradźwięków i dźwięków jest ich wyższa częstotliwość, a w następstwie tego – ich krótkofalowość, gdyż długość fali akustycznej jest określona zależnością:

$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad [dB]$$

gdzie: ***C*** – prędkość rozprzestrzeniania się fali akustycznej w danym ośrodku, w m/s

f – częstotliwość, w Hz

C, w określonych warunkach, jest wielkością stałą, dlatego też, im wyższa jest częstotliwość fali, tym mniejsza jej długość.

W tabeli 1. zestawiono przykładowe długości fal akustycznych o różnych częstotliwościach rozchodzących się w powietrzu przy temperaturze równej 20°C.

Tab. 1. Długości fal akustycznych λ w powietrzu w zależności od częstotliwości

Ośrodek	**λ przy częstotliwości f**					
	20 Hz	100 Hz	1000 Hz	10 kHz	20 kHz	40 kHz
Powietrze	17,0 m	3,4 m	0,34 m	0,034 m	0,017m	0,0085m

Z powyższego wynika, że w odniesieniu do częstotliwości 20 Hz długość fali w powietrzu wynosi 17 m, w odniesieniu do 1000 Hz wynosi już tylko 34 cm, w przypadku 10 kHz są to pojedyncze centymetry, zaś przy 100 kHz fala ma jedynie nieco powyżej 3 mm.

Krótkofalowość ultradźwięków i związane z tym kierunkowe promieniowanie fal ultradźwiękowych przez źródła, co z kolei umożliwia wytwarzanie dużych natężeń tego rodzaju fal, znalazły szerokie zastosowania praktyczne, m.in. w hydrolokacji i telekomunikacji podwodnej, w badaniach nieniszczących materiałów (defektoskopia

i betonoskopia ultradźwiękowa), diagnostyce i terapii medycznej, ultradźwiękowej obróbce materiałów (oczyszczanie, lutowanie, zgrzewanie, drążenie), przy wytwarzaniu emulsji, hydrozoli, aerozoli oraz w biologii, np. do nadźwiękowiania bakterii i wirusów, a także nasion i roślin, przy czym w pierwszym przypadku celem jest działanie niszczące, w drugim – pobudzające do wzrostu i rozwoju.

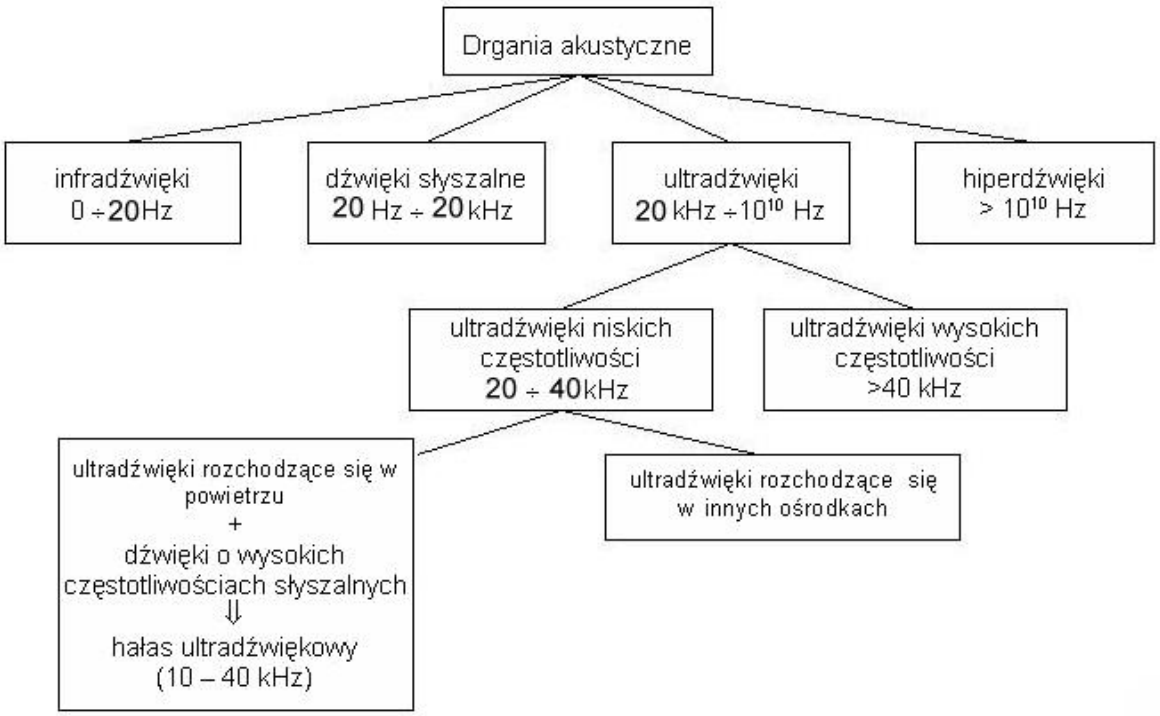
Stosowanym technikom ultradźwiękowym, korzystnym z punktu widzenia realizacji i przebiegu założonych działań czy procesów, towarzyszy zazwyczaj emisja ultradźwięków do powietrza, zaś ultradźwięki rozprzestrzeniające się w powietrzu stanowią podstawowe składowe tzw. hałasu ultradźwiękowego, który docierając do człowieka właśnie drogą powietrzną, może niekorzystnie wpływać na jego zdrowie [2, 7, 8].

W tym miejscu należy odnotować, że ultradźwięki można umownie podzielić na ultradźwięki wysokich częstotliwości oraz ultradźwięki niskich częstotliwości. Podział taki jest uzasadniony z wielu powodów, a między innymi tym, że:

- inne są sposoby wytwarzania ultradźwięków o niskich i wysokich częstotliwościach,
- inny jest ich sposób rozprzestrzeniania się (fale o niskich częstotliwościach rozprzestrzeniają się prawie wszechkierunkowo od źródła, fale o częstotliwościach wysokich rozchodzą się niemal prostoliniowo w postaci wiązek, jak np. światło),
- inne jest tłumienie fal o różnych częstotliwościach przez ośrodek, w którym się rozchodzą
  (ze wzrostem częstotliwości tłumienie rośnie; np. w powietrzu tłumienie ultradźwięków o częstotliwościach wysokich jest tak duże, że praktycznie ultradźwięki w powietrzu się nie rozchodzą),
- inne jest ich zastosowanie, ze względu na tak różne właściwości,
- inne jest oddziaływanie fal ultradźwiękowych o niskich i wysokich częstotliwościach na organizmy żywe, w tym również na organizm ludzki.

Ultradźwięki niskich częstotliwości mogą rozchodzić się w różnych ośrodkach, w tym również, jak już stwierdzono, w powietrzu. Te rozprzestrzeniające się w powietrzu wraz z dźwiękami o wysokich częstotliwościach słyszalnych przyjęto nazywać hałasem ultradźwiękowym. Hałas ultradźwiękowy jest to zatem hałas, w widmie którego występują składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych i niskich ultradźwiękowych (10 ÷ 40 kHz).

Podział drgań akustycznych zmierzający do zdefiniowania pojęcia hałasu ultradźwiękowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Umiejscowienie hałasu ultradźwiękowego w obszarze drgań akustycznych

Składowe hałasu ultradźwiękowego o częstotliwościach powyżej 20 kHz, ze względu na fizjologiczną budowę ucha ludzkiego, są dla człowieka niesłyszalne. Mimo to mogą one powodować zagrożenie dla słuchu oraz zagrożenia inne – poza słuchowe. Niekorzystny wpływ hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka jest od wielu lat przedmiotem obserwacji i badań. Celem tego opracowania jest scharakteryzowanie zagrożenia powodowanego hałasem ultradźwiękowym, przedstawienie potencjalnych źródeł hałasu ultradźwiękowego występujących w środowisku pracy, omówienie metod pomiaru i kryteriów oceny hałasu ultradźwiękowego oraz wskazanie metod i środków zmierzających do likwidacji lub ograniczania tego zagrożenia.

Przemysłowe źródła hałasu ultradźwiękowego

Analiza wyników pomiarów pola akustycznego w przestrzeniach roboczych maszyn i urządzeń stosowanych w przemyśle wykazała, że głównymi i stwarzającymi największe zagrożenie dla zdrowia pracowników źródłami hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy są tzw. technologiczne urządzenia ultradźwiękowe niskich częstotliwości.

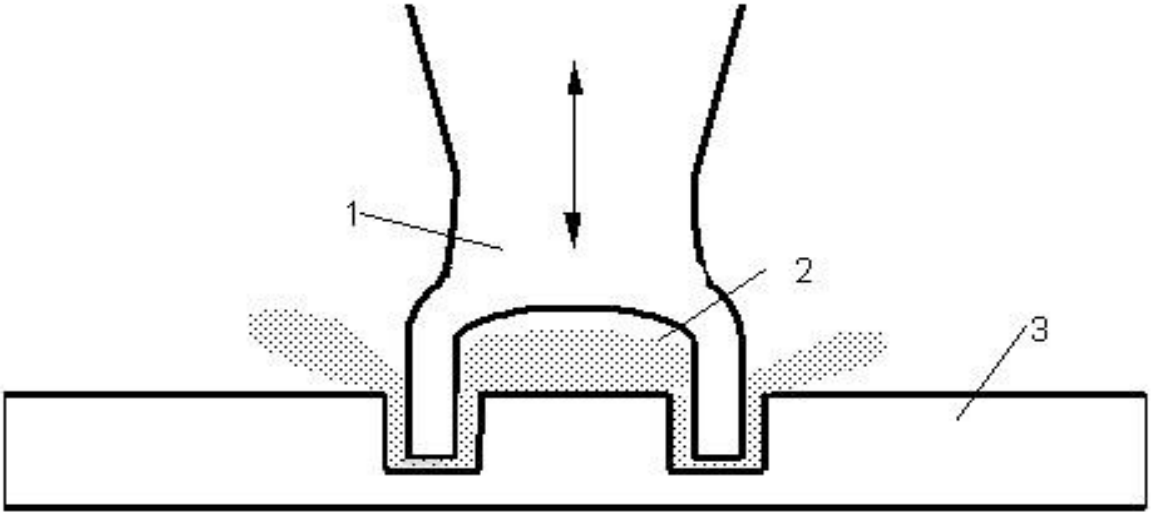
W urządzeniach tych drgania ultradźwiękowe generowane są w celu realizacji lub przyspieszenia czy usprawnienia założonych procesów technologicznych. Charakteryzują się one stosunkowo dużymi mocami, częstotliwość znamionowa ich pracy zawiera się najczęściej w zakresie 18 ÷ 40 kHz [3, 9].

Najszersze wykorzystanie znalazły płuczki (myjki) ultradźwiękowe. Stanowią one 2/3 wszystkich technologicznych urządzeń ultradźwiękowych pracujących w przemyśle. Są to wykonane ze specjalnej nierdzewnej i kwasoodpornej stali wanny wyposażone w przetworniki ultradźwiękowe, które są przymocowane do ich dna lub ścian bocznych lub zanurzone w myjącym medium. Liczba przetworników zależy od wielkości zbiornika.

Przetworniki, jako źródła pierwotne ultradźwięków—pobudzają do drgań ultradźwiękowych ciecz myjącą, wywołując w niej zjawisko kawitacji. W wyniku zachodzących procesów następuje odrywanie warstwy zanieczyszczeń z oczyszczanych elementów. Ten sposób czyszczenia jest dużo szybszy i dokładniejszy od tradycyjnego. Ponadto umożliwia czyszczenie elementów miniaturowych, z różnymi zagłębieniami, otworami itp. Stąd coraz szersze jego wykorzystanie.

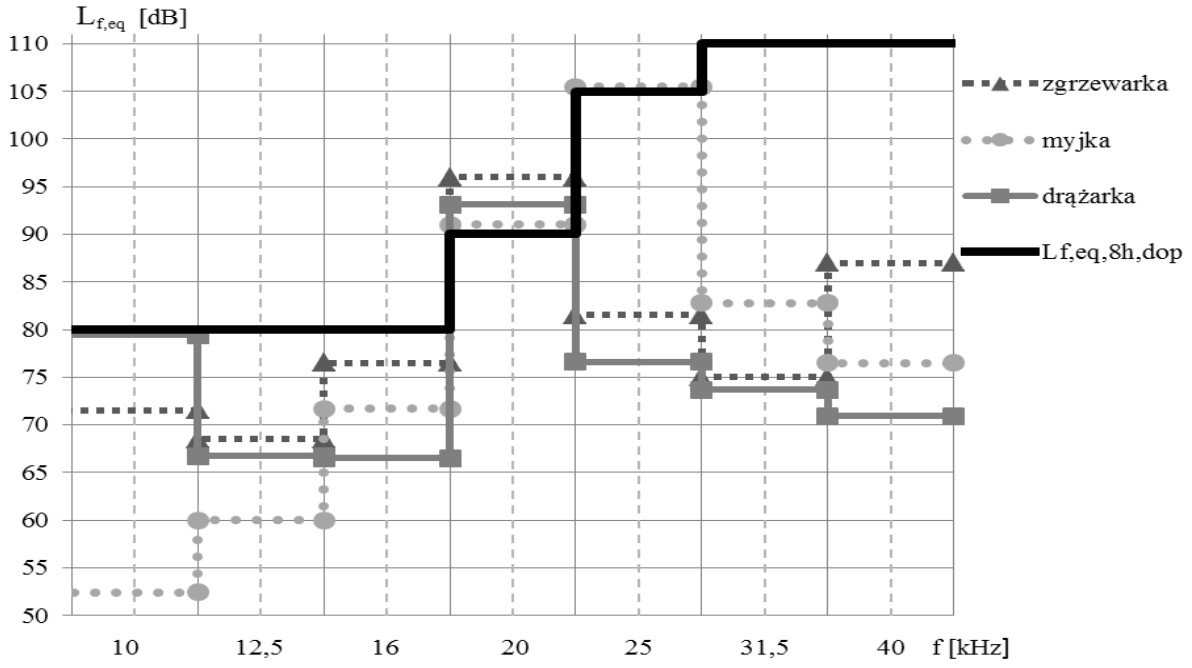
Drugą grupę technologicznych urządzeń ultradźwiękowych stanowią zgrzewarki ultradźwiękowe. Wykorzystuje się je głównie do zgrzewania metali, tworzyw sztucznych oraz materiałów niezgrzewalnych lub trudno zgrzewalnych metodami tradycyjnymi np. wszelkich mas plastycznych. Działanie zgrzewarek polega na wytworzeniu przez głowicę zwaną sonotrodą znacznej ilości ciepła w punkcie lub na linii złącza. Sonotroda wymusza drgania posuwisto-zwrotne jednego materiału po drugim, co powoduje wytwarzanie ciepła na skutek tarcia z dużą częstotliwością powierzchni zgrzewanych elementów w łączonych miejscach. Podstawowa częstotliwość pracy zgrzewarek zawiera się zazwyczaj w zakresie 18 ÷ 22 kHz.

Trzecią grupą technologicznych urządzeń ultradźwiękowych są drążarki ultradźwiękowe [9]. Drążenie ultradźwiękowe polega na współdziałaniu drgań ultradźwiękowych i środków erozyjnych w postaci proszków ściernych (rys. 2). Wprowadzenie proszków między drgające ultradźwiękowo narzędzie a obrabiany przedmiot, powoduje żłobienie materiału.



Rys. 2. Schemat obrazujący zasadę działania drążarki ultradźwiękowej: 1 – narzędzie, 2 – środek erozyjny, 3 – obrabiany element

Przykładowe widma hałasu występującego na stanowiskach technologicznych urządzeń ultradźwiękowych (zgrzewarki, myjki, drążarki) przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8 godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy $L_{feq,8h}$ na stanowiskach pracy technologicznych urządzeń ultradźwiękowych [10]

Jak widać na rys. 3., dominujące wartości poziomu ciśnienia akustycznego dotyczące tych urządzeń występują w zakresie częstotliwości powyżej 10 kHz. Największa wartość poziomu ciśnienia akustycznego na ogół występuje w paśmie o częstotliwości środkowej najbliższej znamionowej częstotliwości pracy urządzenia.

Do technologicznych urządzeń ultradźwiękowych niskich częstotliwości zalicza się także lutownice ręczne i wanny do cynowania różnych elementów maszyny i urządzenia do obróbki tkanin (dżetownice, koronkarki, pikowarki), gilotyny ultradźwiękowe, noże oraz kurtyny ultradźwiękowe. Eksploatowanie tych urządzeń w przemyśle jest jednak stosunkowo rzadkie.

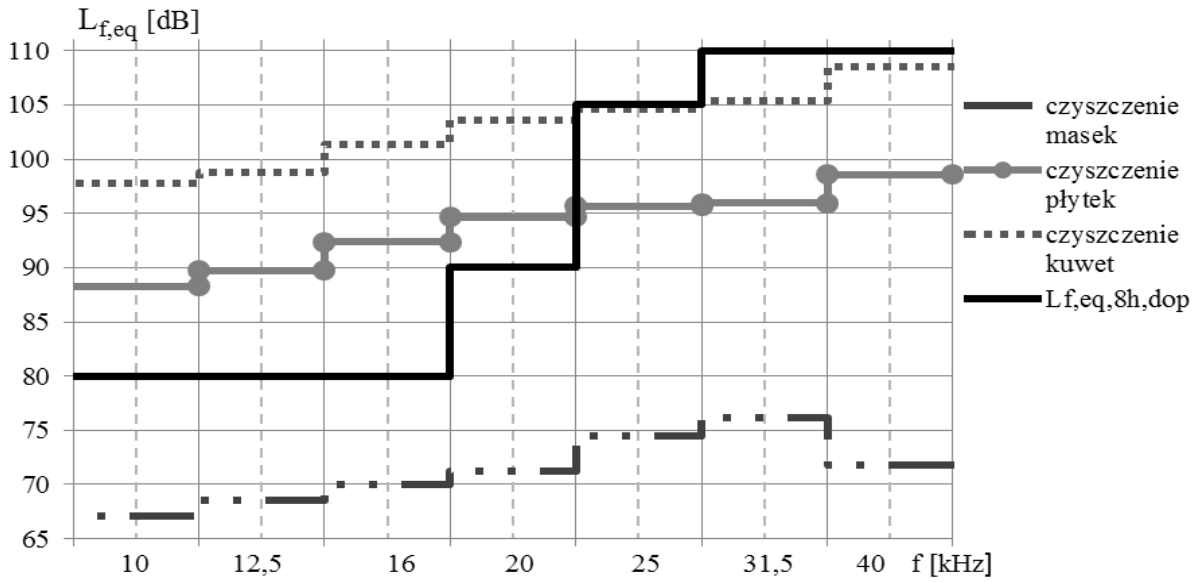
Ultradźwięki niskich częstotliwości znajdujące zastosowania czynne mogą wnikać do organizmu człowieka tzw. drogą kontaktową, tj. przez bezpośrednie sprzężenie rąk pracownika z drgającym ciałem stałym lub cieczą, np. z przetwornikiem ultradźwiękowym, z innymi drgającymi elementami urządzenia, z obrabianym przedmiotem lub z nadźwiękawianą kąpielą myjącą. Działanie ich ma z reguły charakter miejscowy, przy czym nie wyklucza się również oddziaływania ogólnego. Poza drogą kontaktową ultradźwięki przekazywane są do organizmu ludzkiego, jak już wiadomo, również drogą powietrzną. Możliwości przekazywania energii ultradźwiękowej do organizmu człowieka obsługującego najczęściej spotykane w przemyśle urządzenia ultradźwiękowe niskich częstotliwości zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Drogi przekazywania ultradźwięków do organizmu człowieka obsługującego technologiczne urządzenia ultradźwiękowe

Rodzaj urządzenia	**Drogi przekazywania energii ultradźwiękowej**		
	powietrze	**ciecze**	**ciała stałe**
Płuczki	istnieje	możliwe	mała możliwość
Zgrzewarki	zawsze istnieje	nie istnieje	duża możliwość
Drążarki	zawsze istnieje	nie istnieje	duża możliwość
Lutownice ręczne	zawsze istnieje	nie istnieje	duża możliwość
Wanny do cynowania	zawsze istnieje	nie istnieje	możliwe

Oprócz technologicznych urządzeń ultradźwiękowych, w których ultradźwięki są wytwarzane celowo jako czynnik niezbędny do realizacji procesów technologicznych, w przemyśle występuje duża grupa maszyn i urządzeń, przy eksploatacji których ultradźwięki powietrzne powstają jako niezamierzony, uboczny czynnik towarzyszący.

Przyczyną ich powstawania są zjawiska o charakterze aerodynamicznym (przepływ lub wypływ sprężonych gazów) lub mechanicznym (duże prędkości obrotowe elementów maszyn). Obecność składowych ultradźwiękowych o znacznych poziomach ciśnienia akustycznego stwierdzono np. w hałasie w otoczeniu sprężarek, palników, zaworów, pras wulkanizacyjnych, narzędzi pneumatycznych (np. ręcznych narzędzi pneumatycznych, kluczy czy szlifierek pneumatycznych), a także maszyn wysokoobrotowych, takich jak: strugarki, frezarki, szlifierki, piły tarczowe oraz niektórych maszyn włókienniczych (np. krosna, przędzarki, rozciągarki, skręcarki, przewijarki i zgrzeblarki) [10, 11, 14]. Ponadto znaczne poziomy ciśnienia akustycznego w zakresie hałasu ultradźwiękowego występują podczas procesu spawania i cięcia plazmą. Na rys. 4. zamieszczono przykładowe widma hałasu występującego na stanowiskach pracy czyszczenia detali z zastosowaniem sprężonego powietrza.



Rys. 4. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8 godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy $L_{feq,8h}$ na stanowiskach pracy czyszczenia detali z zastosowaniem sprężonego powietrza [10]

Największa ilość energii akustycznej emitowanej przez ww. maszyny do otoczenia zawiera się zazwyczaj w zakresie wysokich częstotliwości słyszalnych i niskich ultradźwiękowych (8 ÷ 25 kHz). Praca przy nich stanowi więc nie tylko ryzyko dla narządu słuchu, ale może być również uciążliwa, a wręcz szkodliwa ze względu na pozasłuchowe oddziaływanie ultradźwięków.

Skutki oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka

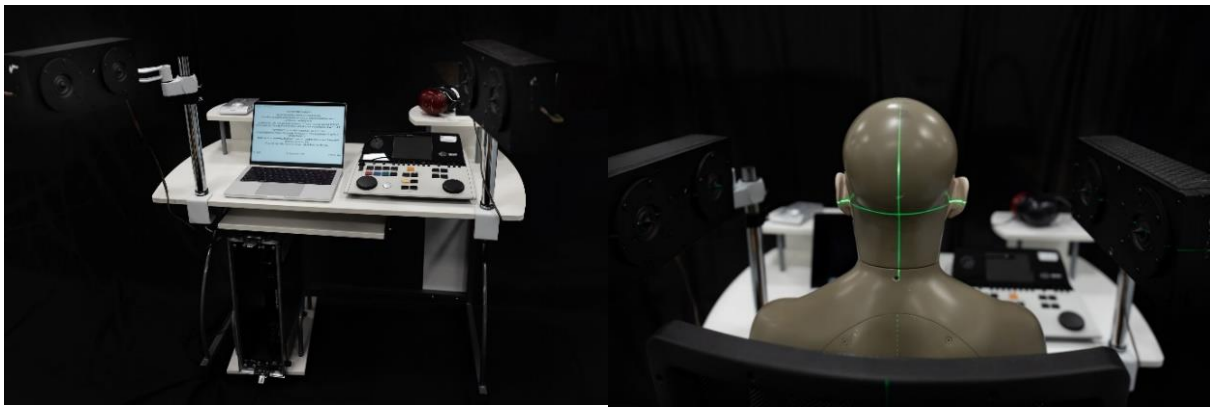
Na podstawie wielu badań przeprowadzonych zarówno w kraju, jak i za granicą wykazano, że ultradźwięki powietrzne mogą wnikać do organizmu przez narząd słuchu oraz przez całą powierzchnię ciała, mimo braku swoistych receptorów na skórze, podobnie jak promieniowanie elektromagnetyczne czy jonizujące. W związku z powyższym w oddziaływaniu hałasu ultradźwiękowego na człowieka rozróżniamy oddziaływanie na narząd słuchu oraz oddziaływania inne, tzw. pozasłuchowe [2, 7, 8].

Badania wpływu hałasu ultradźwiękowego na stan narządu słuchu w warunkach przemysłowych są utrudnione, ponieważ ultradźwiękom towarzyszy wtedy 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 częstszy jest pogląd, że na skutek zjawisk nieliniowych zachodzących w samym uchu, pod wpływem działania ultradźwięków powstają składowe subharmoniczne o poziomach ciśnienia akustycznego często niemal tego samego rzędu co podstawowa składowa ultradźwiękowa. W następstwie tego zjawiska dochodzi do ubytków słuchu właśnie dla częstotliwości subharmonicznych ultradźwięków.

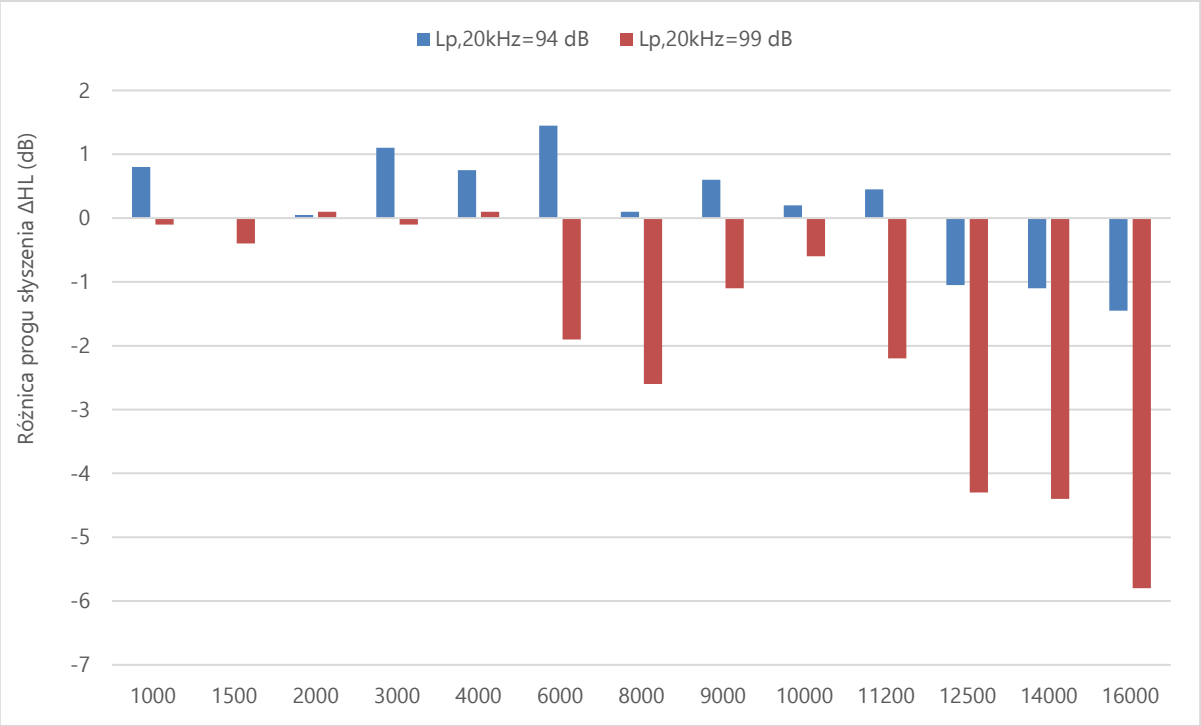
Ubytki słuchu u osób zawodowo narażonych na hałas może przyśpieszyć jednoczesne działanie środków ototoksycznych (rozpuszczalników organicznych, substancji duszących oraz metali ciężkich). Podczas pracy niektórych urządzeń ultradźwiękowych (np. podczas zgrzewania ultradźwiękowego) generowany hałas ma charakter zbliżony do impulsowego, co może mieć istotny wpływ na wielkość uszkodzenia słuchu.

Prowadzone badania ubytku słuchu u osób narażonych na działanie słyszalnego hałasu przemysłowego o poziomie powyżej 85 dB w ciągu 8 lat pracy w zakresie wysokich częstotliwości (powyżej 8 kHz) wykazały, że szybsze i większe zmiany podwyższenia progów słyszenia, w badanej grupie osób, występują w zakresie audiometrii wysokoczęstotliwościowej (8 ÷ 20 kHz) [8].

W badaniach laboratoryjnych realizowanych w CIOP-PIB (rys. 5.) podjęto próbę oszacowania wpływu hałasu ultradźwiękowego na narząd słuchu, wykorzystując najpowszechniej stosowaną metodę do oceny progu słyszenia – audiometrię tonalną (PTA). W realizowanych badaniach odfiltrowano „słyszalną" część widma hałasu pochodzącego od myjki i zgrzewarki ultradźwiękowej. W drugim etapie badań przeprowadzono ponowne pomiary przy poziomie ekspozycji obniżonym o 5 dB w stosunku do obowiązującej wartości dopuszczalnej dla pasma o częstotliwości środkowej 20 kHz (rys. 6.). Wyniki tych badań nie wykazały różnic istotnych statystycznie w progach słyszenia (obustronnie) w odniesieniu do sprawdzanych częstotliwości. Sugerują natomiast, że takie obniżenie poziomu ekspozycji może skutecznie zapobiegać wystąpieniu czasowego przesunięcia progu słyszenia (TTS) u pracowników obsługujących urządzenia ultradźwiękowe.



Rys. 5. Mobilne stanowisko do badań oddziaływania hałasu ultradźwiękowego „in situ".



Rys. 6. Różnice w progach słyszenia przed i po ekspozycji na ultradźwięki o różnych poziomach ciśnienia akustycznego

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 zakresie oddziaływań pozasłuchowych okazało się, 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 wegetatywno-naczyniowym [8].

Badania oddziaływań pozasłuchowych wykazały, że hałas ultradźwiękowy wywołuje zaburzenia w układzie krążenia [7]. Pod jego wpływem pogarsza się ukrwienie zarówno mięśnia sercowego, jak i tkanek obwodowych. Objawami tych zaburzeń są spadki ucieplenia skóry, nagłe 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.

Hałas ultradźwiękowy może też powodować 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.

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. Obserwuje się także trudności natury intelektualnej, wyrażające się osłabieniem pamięci, niemożnością koncentracji uwagi oraz małą chłonnością nowego materiału.

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 intensywności hałasu ultradźwiękowego i czasu jego działania.

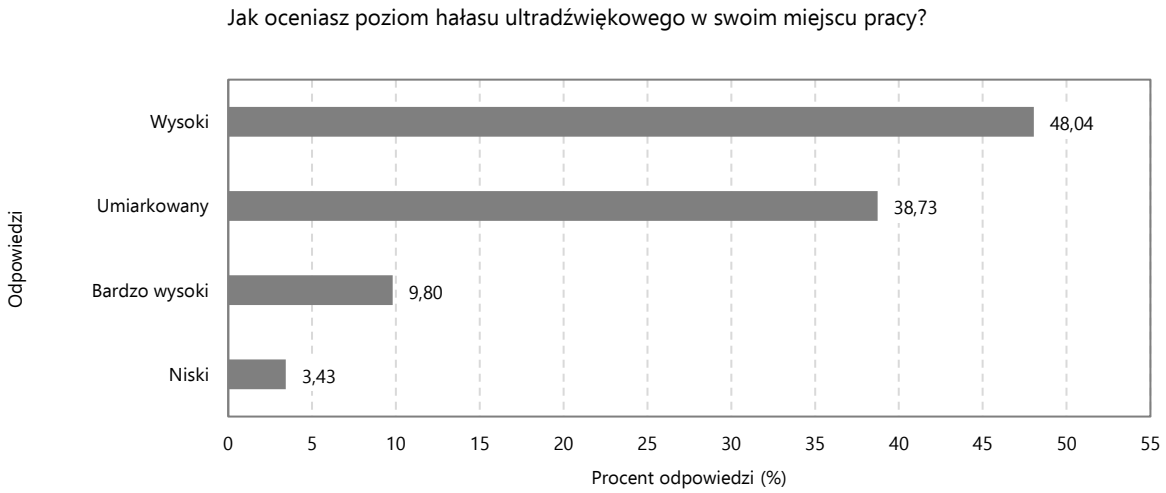
Na podstawie wyników badań ankietowych prowadzonych w Instytucie Medycyny Pracy im. J. Nofera oraz Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym dotyczących oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy stwierdzono niekorzystny poza słuchowy wpływ tego hałasu na pracowników. Ankietowani narzekali na: zmęczenie, ból i zawroty głowy, senność i kołatanie serca. Pracownicy stwierdzali, że występujący w środowisku pracy hałas ultradźwiękowy przeszkadza utrudnia porozumiewanie się i uniemożliwia koncentracje. Hałas był określany przez pracowników jako głośny, nierówny, ostry i nieprzyjemny, gwiżdżący i piskliwy, dokuczliwy, irytujący i zakłócający pracę.

Przeprowadzone w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym w warunkach laboratoryjnych badania wpływu hałasu ultradźwiękowego na funkcje poznawcze i sprawność psychofizyczną człowieka wykazały, że hałas zawierający niskie składowe ultradźwiękowe niekorzystnie wpływa na: ciągłość uwagi, wydajność pracy oraz koncentrację.

Możliwości szkodliwego wpływu ultradźwięków powietrznych na organizm ludzki są tak różnorodne i obejmują tak wiele układów, że hałas ultradźwiękowy został zaliczony do szkodliwych czynników fizycznych środowiska pracy. Dlatego też w odniesieniu do hałasu ultradźwiękowego są ustalane i wprowadzane normatywy higieniczne określające dopuszczalne, ze względu na ochronę zdrowia, jego wartości na stanowiskach pracy. Co więcej, pracodawca, w którego przedsiębiorstwie są eksploatowane urządzenia będące źródłami hałasu ultradźwiękowego, jest obowiązany do dokonywania pomiarów w celu oceny ryzyka zawodowego związanego z ekspozycją pracowników na ten rodzaj hałasu.

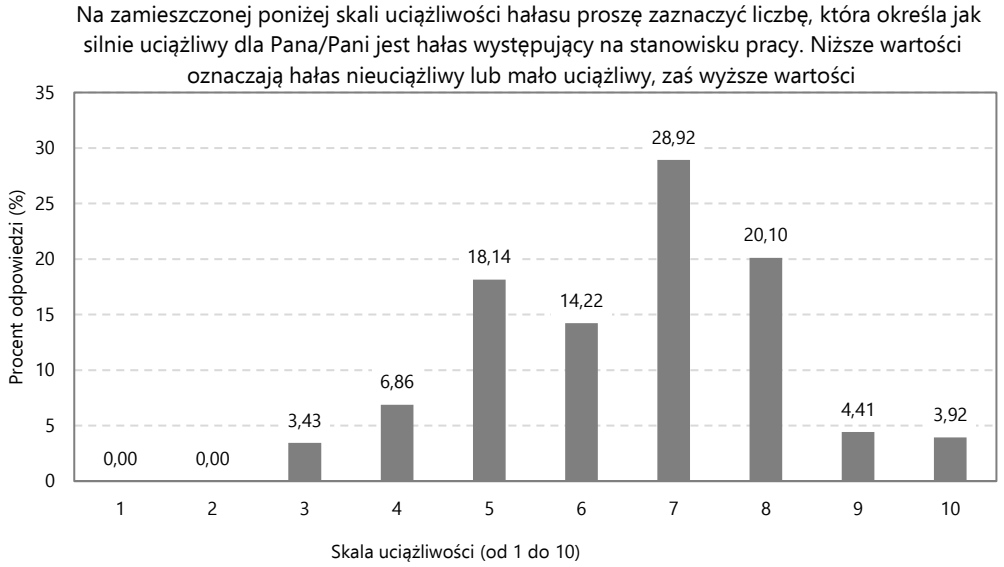
W ramach badań realizowanych w CIOP-PIB przeprowadzono ankiety wśród 204 pracowników narażonych w pracy na hałas ultradźwiękowy, obsługujących takie urządzenia, jak: zgrzewarka ultradźwiękowa, myjka ultradźwiękowa, drążarka ultradźwiękowa, gilotyny lub noże ultradźwiękowe. Badanie zrealizowane zostało według procedury *Mixed Mode Design*, która polega na uzyskiwaniu tych samych informacji (na podstawie tego samego kwestionariusza ankiety) od różnych osób, przy wykorzystaniu odmiennych technik badawczych.

Respondenci zostali poproszeni o ocenę poziomu hałasu w swoim miejscu pracy, który najczęściej określano jako „wysoki" (48,0%) lub „bardzo wysoki" (9,8%). Odpowiedzi wskazujące na umiarkowany poziom hałasu stanowiły 38,7%, a jedynie 3,4% określało hałas jako niski (Rys. 7).



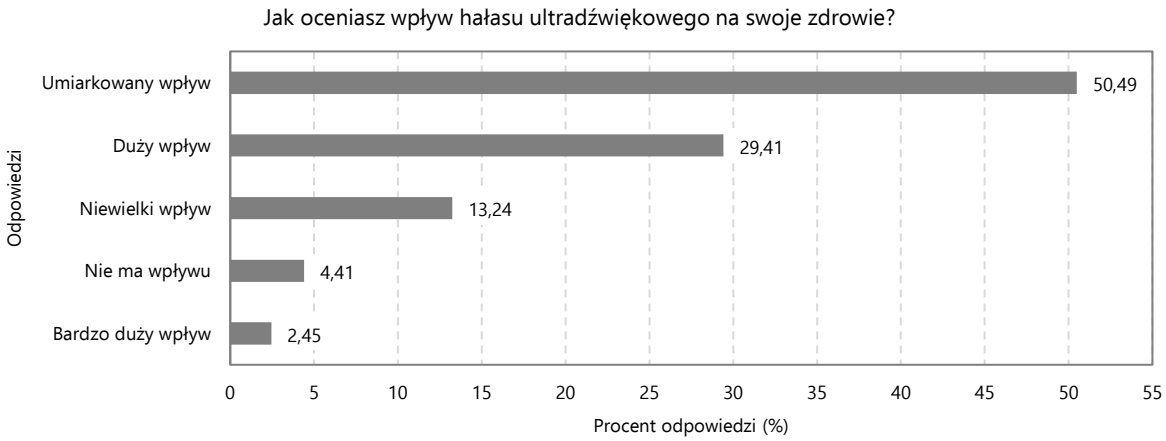
Rys. 7. Wyniki badań ankietowych dot. oceny poziomu hałasu ultradźwiękowego w swoim miejscu pracy

W skali liczbowej uciążliwość hałasu była oceniana średnio na wysokim poziomie, a łączna liczba ocen w przypadku wartości 7 i 8 wynosiła około 49% (Rys. 8).



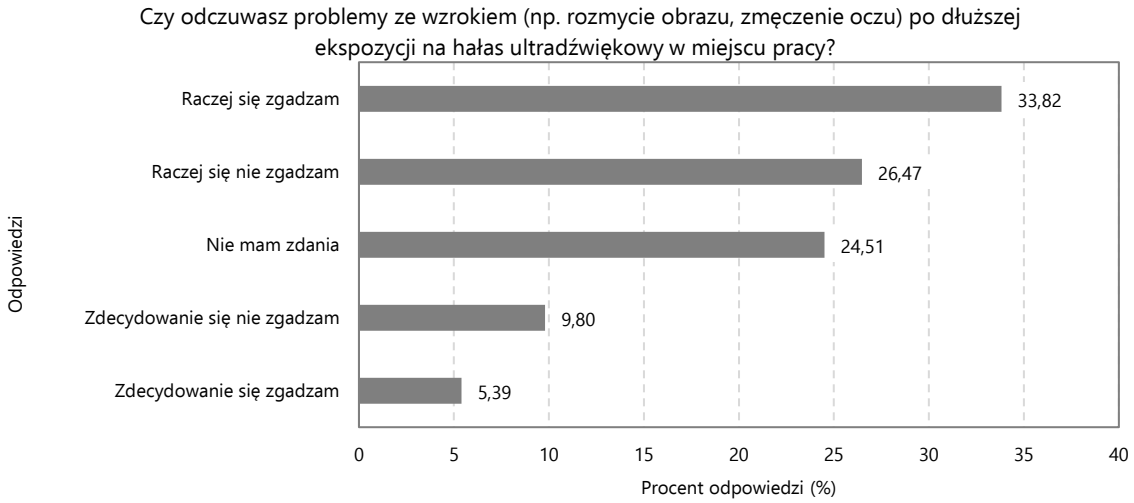
Rys. 8. Wyniki badań ankietowych dot. subiektywnej oceny uciążliwości hałasu (skala od 1 do 10).

W kontekście oceny wpływu hałasu ultradźwiękowego na zdrowie rozkład odpowiedzi wskazuje na przewagę ocen sygnalizujących co najmniej umiarkowany wpływ (Rys 9). Ponad połowa badanych deklarowała umiarkowany wpływ (50,49%), a kolejne 29,41% duży wpływ. Bardzo duży wpływ odnotowano u 2,45% respondentów. Łącznie oznacza to, że 82,35% ankietowanych dostrzega co najmniej umiarkowany wpływ narażenia na zdrowie, podczas gdy 17,65% ocenia ten wpływ jako brak lub niewielki (odpowiednio 4,41% i 13,24%). Taki rozkład danych sugeruje, że dolegliwości związane z ekspozycją na hałas ultradźwiękowy są powszechnie odczuwalne.



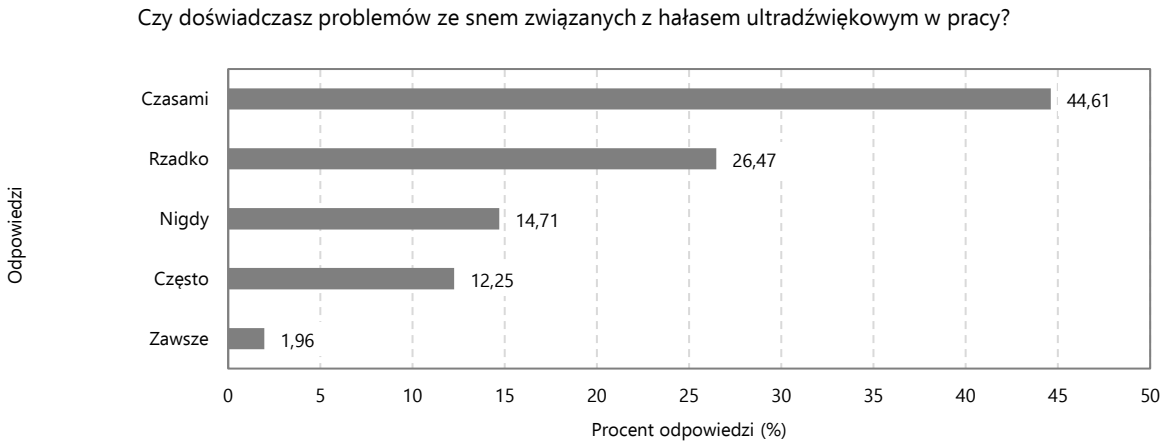
Rys. 9. Wyniki badań ankietowych dot. oceny wpływu hałasu ultradźwiękowego na zdrowie pracownika.

Zgłaszane skutki ekspozycji obejmowały również takie problemy związane ze wzrokiem, jak: rozmycie obrazu czy zmęczenie oczu po dłuższej ekspozycji na hałas. Zgłosiło je 39,2% respondentów, podczas gdy 36,3% zaprzeczyło takim objawom, a 24,5% było niezdecydowanych (Rys. 10).

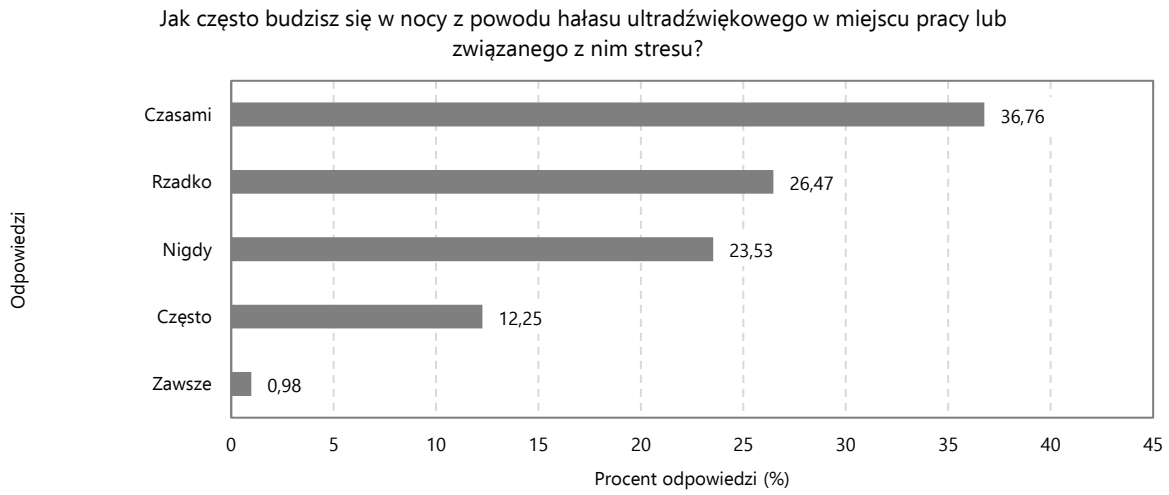


Rys. 10. Wyniki badań ankietowych dot. odczuwania problemów ze wzrokiem wskutek ekspozycji na hałas ultradźwiękowy.

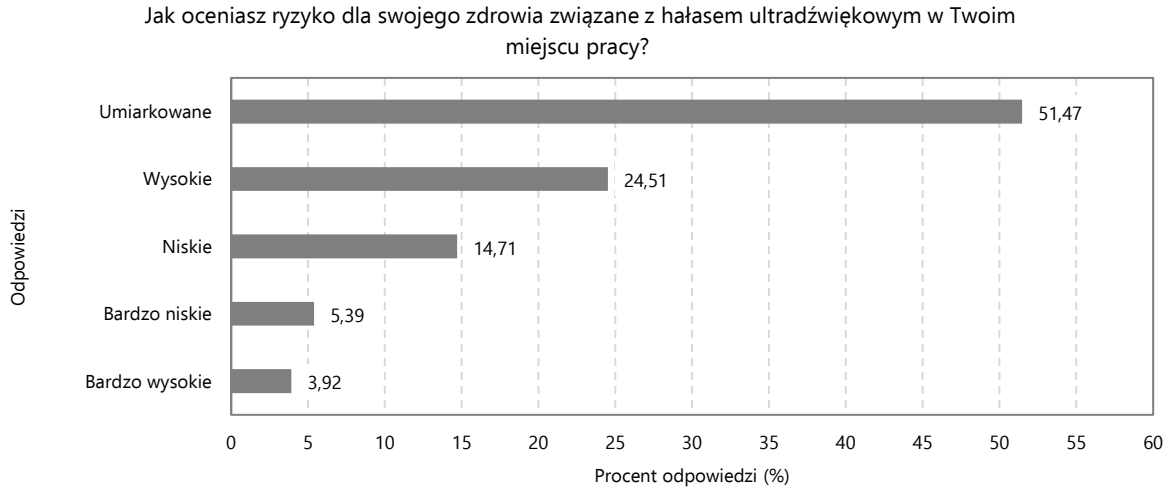
Wpływ hałasu na sen i samopoczucie psychiczne również znalazł odzwierciedlenie w odpowiedziach ankietowanych. Część z nich zgłaszała trudności ze snem: 44,6% doświadczało takich problemów czasami, 26,5% – rzadko, a 14,71% – nigdy (Rys. 11). Budzenie się w nocy z powodu hałasu lub związanego z nim stresu występowało czasami (36,8%), rzadko (26,5%), a w 23,5% przypadków – nigdy (rys. 12.)



Rys. 11. Wyniki badań ankietowych dot. problemów ze snem związanych z hałasem ultradźwiękowym w pracy.



Rys. 12. Wyniki badań ankietowych dot. budzenia się w nocy związanego z hałasem ultradźwiękowym w pracy.

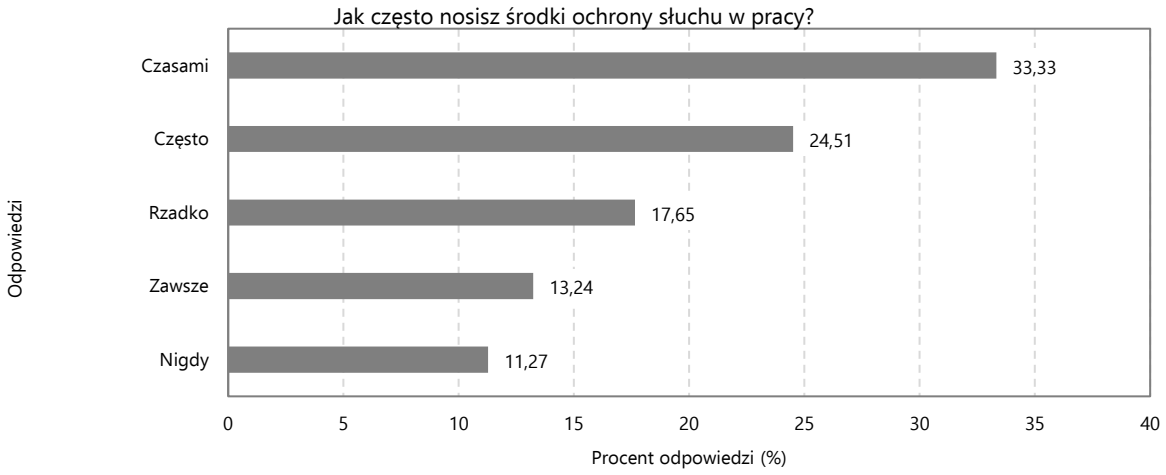


Rys. 13. Wyniki badań ankietowych dot. oceny ryzyka dla zdrowia związanego z hałasem ultradźwiękowym w miejscu pracy

Większość ankietowanych oceniała ryzyko dla ich zdrowia związane z hałasem ultradźwiękowym w miejscu pracy jako umiarkowane (51,5%), natomiast 24,5% z nich określiła je jako wysokie (Rys. 13).

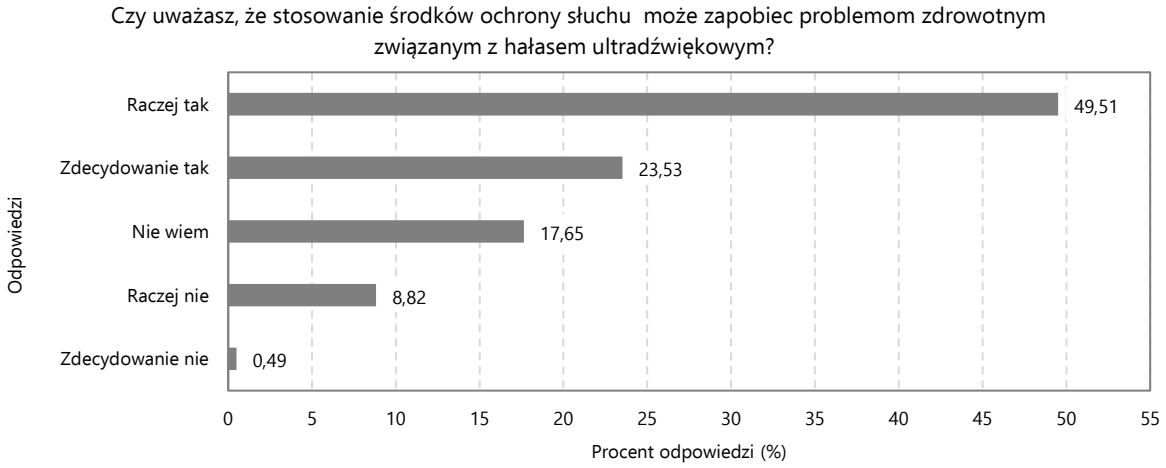
Stosowanie takich środków ochrony słuchu, jak wkładki przeciwhałasowe, było przedmiotem kolejnych pytań. Respondenci deklarowali różną częstość ich noszenia – zawsze używało ich jedynie 13,2%, czasami – 33,3%, rzadko – 17,6%, a 11,3% – nigdy(Rys. 14). Główne przeszkody w ich stosowaniu obejmowały dyskomfort podczas noszenia (43,1%) czy brak dostępu(17,2%) (Rys. 15). Opinie na temat tego, czy środki ochrony słuchu mogą skutecznie zapobiegać problemom zdrowotnym, były podzielone – „zdecydowanie

tak” lub „raczej tak” wskazało 73% badanych, podczas gdy 17,6% było niezdecydowanych, a 9,3% stwierdziło, że „raczej nie” lub „nie” (Rys. 16).



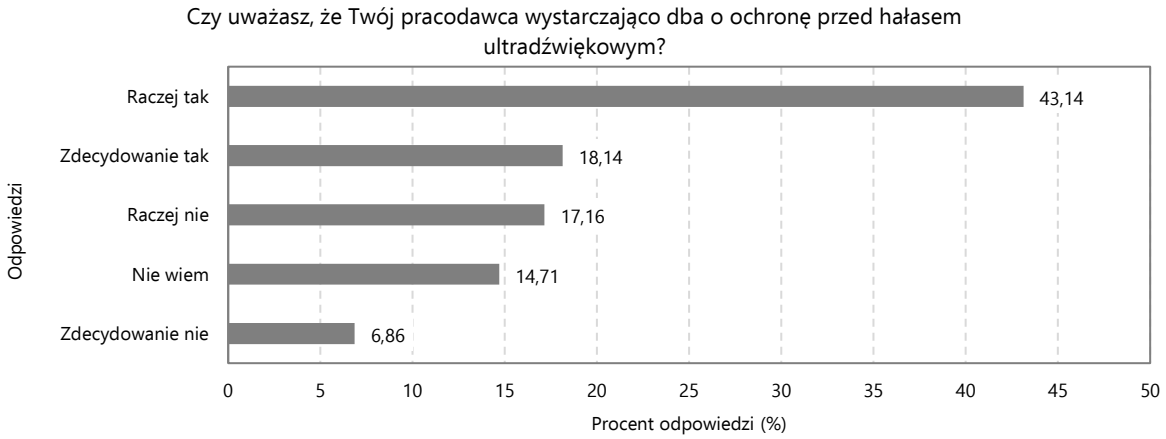
Rys. 14. Wyniki badań ankietowych dot. używania środków ochrony słuchu.

Rys. 15. Wyniki badań ankietowych dot. przeszkód w stosowaniu ochronników słuchu..

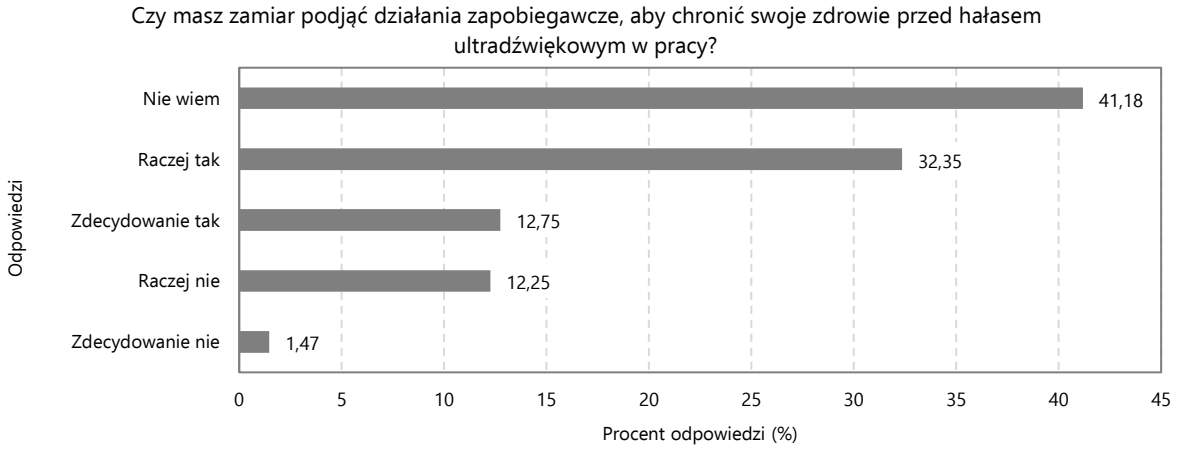


Rys. 16. Wyniki badań ankietowych dot. opinii na temat tego, czy środki ochrony słuchu mogą skutecznie zapobiegać problemom zdrowotnym

Kolejnym istotnym aspektem ankiety była ocena polityki ochrony przed hałasem ultradźwiękowym w miejscach pracy. Około 61% respondentów uważało, że pracodawca dba o ochronę przed hałasem w wystarczającym stopniu, 24% miało przeciwne zdanie, a 14,7% nie było w stanie ocenić tej kwestii (Rys. 17). Ankietowani wskazywali na potrzebę zwiększenia świadomości wśród pracodawców i pracowników na temat skutków ekspozycji na hałas ultradźwiękowy oraz na konieczność zapewnienia lepszej dostępności środków ochrony słuchu. Na koniec ankiety sprawdzano skłonność respondentów do podejmowania działań zapobiegawczych w celu ochrony swojego zdrowia. „Zdecydowanie tak" lub „raczej tak" odpowiedziało 45,1% osób, podczas gdy 13,7% nie zamierzało podejmować żadnych działań, a 41,2% było niezdecydowanych (Rys. 18).



Rys. 17. Wyniki badań ankietowych dot. ochrony przed hałasem ultradźwiękowym zapewnianej przez pracodawcę.



Rys. 18. Wyniki badań ankietowych dot. podjęcia działań zapobiegawczych, aby chronić zdrowie przed hałasem ultradźwiękowym w środowisku pracy.

Wyniki przeprowadzonych badań ankietowych sugerują, że hałas ultradźwiękowy w miejscu pracy ma istotny wpływ na zdrowie pracowników, zarówno w sferze fizycznej, jak i psychicznej. Wielu pracowników zgłaszało takie objawy jak: zmęczenie, bóle głowy, trudności z koncentracją, a także zaburzenia snu, co potwierdza wcześniejsze doniesienia naukowe. Obserwowane były również problemy związane z wzrokiem, takie jak zmęczenie oczu czy rozmycie obrazu. Te objawy wskazują na konieczność dokładniejszego zbadania pozasłuchowych skutków ekspozycji na hałas ultradźwiękowy. Pracownicy narażeni na hałas ultradźwiękowy często opisują go jako szczególnie uciążliwy. Subiektywne odczucia związane z ekspozycją na ten rodzaj hałasu wskazują na jego negatywny wpływ na komfort pracy, co może prowadzić do obniżenia efektywności oraz większego stresu w miejscu pracy. Chociaż środki ochrony słuchu z reguły są dostępne, ich stosowanie wciąż pozostawia miejsce do poprawy. Pracownicy wskazywali na takie bariery, jak: dyskomfort podczas noszenia ochronników czy brak dostępu do odpowiednich ochronników słuchu. Niektórzy pracownicy nie widzieli potrzeby ich stosowania, co może wynikać z niedostatecznej edukacji i braku szkoleń bhp na temat zagrożeń związanych z eskpozycją na hałas ultradźwiękowy. Trzeba również zaznaczyć, że według ankietowanych pracowników nie wszyscy pracodawcy zapewniają wystarczające środki ochrony przed hałasem ultradźwiękowym. Gotowość pracowników do podejmowania działań zapobiegawczych jest zróżnicowana. Część deklaruje chęć ochrony swojego zdrowia poprzez stosowanie dostępnych środków ochronnych słuchu, podczas gdy inni pozostają niezdecydowani lub nieświadomi skutków narażenia na hałas ultradźwiękowy.

Kryteria oceny szkodliwości hałasu ultradźwiękowego - wartości dopuszczalne

Ustalenie bezpiecznych wartości granicznych w odniesieniu do powietrznych drgań ultradźwiękowych na stanowiskach pracy przy urządzeniach emitujących hałas ultradźwiękowy jest problemem złożonym. Wynika to z faktu, że skutki oddziaływania ultradźwięków powietrznych na organizm ludzki zależą od wielu czynników, zarówno akustycznych jak i poza akustycznych. Dlatego też kryteria oceny szkodliwości hałasu ultradźwiękowego stosowane w różnych krajach nieco się od siebie różnią.

W większości krajów (np. w Anglii, Danii, Francji, Norwegii, Szwecji, USA, Rosji, a także Polsce) normalizowanymi parametrami związanymi z oceną hałasu ultradźwiękowego są:

- zakres częstotliwości, w którym dokonuje się pomiarów,
- intensywność hałasu ultradźwiękowego,
- czas narażenia pracowników na ten hałas w ciągu doby.

W kryteriach tych kontrolowany zakres częstotliwości, zarówno w odniesieniu do jego górnej, jak i dolnej granicy, jest różny. W niektórych z tych kryteriów za górną granicę kontrolowanego zakresu częstotliwości przyjmuje się 100 kHz, w innych – 40 kHz, co uzasadnia się tym, że znamionowa częstotliwość pracy przemysłowych urządzeń ultradźwiękowych zawiera się zazwyczaj w przedziale 18 ÷ 40 kHz i właśnie w tym zakresie są rejestrowane najwyższe poziomy ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy. Również dolna granica ocenianego zakresu częstotliwości jest różnie określana. W niektórych kryteriach przyjmuje się, że jest nią 10 kHz, w innych – wyłącza się z oceny wysokie częstotliwości słyszalne i za dolną granicę przyjmuje się 20 kHz. Istnieje natomiast duża zbieżność poglądów, co do szerokości pasm, w których dokonywana jest ocena. W większości kryteriów hałas ultradźwiękowy jest oceniany na podstawie pomiarów w pasmach tercjowych.

Nie ma też rozbieżności co do przyjętej miary intensywności hałasu ultradźwiękowego, we wszystkich kryteriach uznaje się, że są nią wartości poziomu ciśnienia akustycznego, przy czym określa się je, jak już zaznaczono, w tercjowych pasmach częstotliwości. W stosunku do poszczególnych pasm tercjowych ustala się dopuszczalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego, odnosząc je do określonego czasu narażenia. Powiązanie wartości dopuszczalnych z czasem narażenia na czynnik wynika z faktu, że w wielu procesach biologicznych obowiązuje tzw. prawo dozowania. Polega ono na tym, że dawka danego czynnika jest proporcjonalna do iloczynu jego intensywności i czasu jego działania ($D = I \times t$). Np. przy naświetlaniu promieniami rentgenowskimi o małej intensywności można przy długim czasie działania osiągnąć podobny skutek jak przy naświetlaniu promieniami o dużej intensywności, lecz przy krótkim czasie ekspozycji.

Również przy oddziaływaniu hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka istnieje zależność między występującymi zaburzeniami w organizmie a intensywnością tego hałasu i czasem narażenia na jego działanie. Dlatego też wartości dopuszczalne poziomu ciśnienia akustycznego, ustalane ze względu na ochronę zdrowia, są odnoszone do zdefiniowanego czasu, najczęściej do ośmiogodzinnego dnia pracy. W wielu kryteriach podaje się również maksymalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego, które nie powinny być przekraczane w żadnej sytuacji, niezależnie od czasu narażenia.

W Polsce oceny szkodliwości hałasu ultradźwiękowego dokonuje się na podstawie rozporządzenia Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286, z późniejszymi zmianami) [18]. W rozporządzeniu tym są podane dopuszczalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy, ustalone w odniesieniu do poszczególnych pasm tercjowych z zakresu częstotliwości 10 ÷ 40 kHz, przy czym podano je w postaci:

- dopuszczalnego, w stosunku do każdego pasma tercjowego, poziomu ciśnienia akustycznego odniesionego do 8. godzinnego dnia pracy lub tygodnia pracy ($L_{dop,8h}$lub $L_{dop,w}$),
- dopuszczalnego, w stosunku do każdego pasma tercjowego, maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego ($L_{dop,max}$).

Ustanowione wartości dopuszczalne przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego, ustalone ze względu na ochronę zdrowia pracowników

Częstotliwość środkowa pasm tercjowych, kHz	**Dopuszczalny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8. godzinnego dnia pracy lub tygodnia pracy$L_{dop,8h}$lub $L_{dop,w}$, dB**	**Dopuszczalny maksymalny poziom ciśnienia akustycznego $L_{dop,}$max, dB**
10; 12,5; 16	80	100
20	90	110
25	105	125
31,5; 40,	110	130

W odniesieniu do prac wzbronionych kobietom i młodocianym obowiązują: 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, z późniejszymi zmianami) oraz rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 19 czerwca 2023 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac (Dz.U. 2023 poz. 1240) [19, 20] Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego, w przypadku narażenia zawodowego kobiet w ciąży, przedstawiono w tabeli 4., a w przypadku osób młodocianych – w tabeli 5.

Tab. 4. Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego w odniesieniu do kobiet w ciąży

Częstotliwość środkowa pasm tercjowych, kHz	**Dopuszczalny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8. godzinnego dnia pracy lub tygodnia pracy $L_{dop,8h}$lub $L_{dop,w}$, dB**	**Dopuszczalny maksymalny poziom ciśnienia akustycznego $L_{dop,}$max, dB**
10; 12,5; 16	75	95
20	85	105
25	100	120
31,5; 40,	105	125

Tab. 5. Wartości dopuszczalne hałasu ultradźwiękowego w odniesieniu do osób młodocianych

Częstotliwość środkowa pasm tercjowych, kHz	**Dopuszczalny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy lub tygodnia pracy$L_{dop,8h}$lub $L_{dop,w}$, dB**	**Dopuszczalny maksymalny poziom ciśnienia akustycznego $L_{dop,}$max, dB**
10; 12,5; 16	75	100
20	85	110
25	100	125
31,5; 40,	105	130

Pomiary hałasu ultradźwiękowego na stanowiskach pracy - podstawowe przyrządy pomiarowe

Pomiary hałasu ultradźwiękowego, prowadzone w celu oceny narażenia pracownika na danym stanowisku pracy, przeprowadza się w typowych w odniesieniu do tego stanowiska miejscach przebywania pracownika, uwzględniając wszystkie wykonywane przez niego czynności w narażeniu na hałas ultradźwiękowy oraz standardowe warunki eksploatacji narzędzia, maszyny czy urządzenia będącego źródłem tego hałasu.
Wielkościami mierzonymi są:

- równoważny, w odniesieniu do czasu trwania danej czynności, poziom ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości w zakresie 10 ÷ 40 kHz,
- maksymalny poziom ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości w zakresie 10 ÷ 40 kHz.

W kontrolowanym zakresie częstotliwości 10 ÷ 40 kHz znajduje się 7 pasm tercjowych o częstotliwościach środkowych 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40 kHz. Zatem, w wyniku pomiarów przeprowadzonych przy wykonywaniu danej czynności w narażeniu na hałas ultradźwiękowy uzyskujemy 7 równoważnych, w odniesieniu do czasu trwania tej czynności, wartości poziomu ciśnienia akustycznego, z których każda charakteryzuje dane pasmo i analogicznie – 7 wartości maksymalnego poziom ciśnienia akustycznego.

Jeżeli pracownik w ciągu dnia pracy jest narażony na hałas ultradźwiękowy o różnych intensywnościach podczas wykonywania *n* różnych czynności w narażeniu na hałas ultradźwiękowy, to pomiary wskazanych wielkości należy oczywiście przeprowadzać przy każdej wykonywanej czynności oddzielnie. Otrzymane z pomiarów wyniki są podstawą do wyznaczenia, w stosunku do każdego kontrolowanego pasma, równoważnego dla 8. godzin poziomu ciśnienia akustycznego oraz wskazania, spośród zmierzonych w danym paśmie przy kolejnych czynnościach maksymalnych poziomów ciśnienia akustycznego, tego o największej wartości.

Równoważny dla 8. godzin poziom ciśnienia akustycznego na danym stanowisku pracy wyznacza się ze wzoru:

$$L_{eq,8h} = 10\lg\left[\frac{1}{T}\sum_{j=1}^{n} t_j \cdot 10^{0,1 \cdot L_{eq,t_j}}\right] \quad [dB]$$

w którym:

$L_{eq,8h}$ – równoważna dla 8 godzin wartość poziomu ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości, pochodząca od n czynności, w dB,

$L_{eq,tj}$ – wartość poziomu ciśnienia akustycznego zmierzona w paśmie częstotliwości przy wykonywaniu j-tej czynności, w dB,

t_j – czas trwania j-tej czynności w narażeniu na hałas ultradźwiękowy, w min.,

T – czas odniesienia = 8h = 480 min = 28800 s,

n – liczba czynności wykonywanych przez pracownika w narażeniu na hałas ultradźwiękowy.

Wskazania, spośród maksymalnych poziomów ciśnienia akustycznego zmierzonych w danym paśmie przy każdej *j-tej* czynności, poziomu o największej wartości, należy dokonać zgodnie z zapisem:

$$L_{max} = \max\{L_{max,t_j}\} \quad [dB]$$

gdzie: L_{max} – największa w danym paśmie wartość zmierzona maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego spośród wszystkich wartości maksymalnych zmierzonych w tym pasmie przy poszczególnych czynnościach, w dB,

$L_{max,tj}$ – maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego zmierzone w danym pasmie przy poszczególnych czynnościach wykonywanych przez pracownika w narażeniu na hałas ultradźwiękowy, w dB.

W sporadycznych przypadkach, tj. wówczas gdy hałas ultradźwiękowy działa na organizm pracownika w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach tygodnia, wyniki pomiarów służą do wyznaczenia, w stosunku do każdego kontrolowanego pasma, równoważnego dla tygodnia pracy poziomu ciśnienia akustycznego. Równoważny dla tygodnia pracy poziom ciśnienia akustycznego wyznacza się ze wzoru:

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

gdzie: *k* – kolejny dzień roboczy w rozważanym tygodniu,

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

Ostatecznie zatem hałas ultradźwiękowy występujący na kontrolowanym stanowisku pracy jest charakteryzowany przez:

- wyznaczone w odniesieniu do tego stanowiska, w poszczególnych pasmach tercjowych, równoważne dla 8. godzin lub równoważne dla tygodnia pracy poziomy ciśnienia akustycznego ($L_{eq,8h}$ lub $L_{eq,w}$),
- największe, spośród zmierzonych w poszczególnych pasmach tercjowych przy kolejnych czynnościach, wartości maksymalnego poziom ciśnienia akustycznego (L_{max}).

Określenie tych wartości jest niezbędne do oceny wielkości narażenia pracowników na hałas ultradźwiękowy i do oceny ryzyka zawodowego, gdyż jak zaznaczono wcześniej, wartości dopuszczalne dla tego hałasu, ustalone ze względu na ochronę zdrowia, są również podane w dwóch postaciach, a mianowicie:

- w postaci dopuszczalnego, w stosunku do każdego pasma tercjowego, poziomu ciśnienia akustycznego odniesionego do 8. godzinnego dnia pracy lub tygodnia pracy ($L_{dop,8h}$lub $L_{dop,w}$),
- w postaci dopuszczalnego, w stosunku do każdego pasma tercjowego, maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego ($L_{dop,max}$).

Pomiary hałasu ultradźwiękowego wykonywane w celu oceny narażenia pracownika na stanowisku pracy, przeprowadza się w typowych warunkach pracy, wybierając jedną ze strategii: wg czynności, stanowisk lub na podstawie pomiarów całodziennych (dozymetrycznych).

Pomiary wg czynności wymagają analizy pracy w trakcie dnia i wyodrębnieniu reprezentatywnych czynności, dla których przeprowadzane są oddzielne pomiary wielkości charakteryzujących hałas. Należy uwzględnić wszystkie wykonywane przez pracownika czynności oraz typowe warunki eksploatacji maszyny czy urządzenia.

Pomiary stanowiskowe wymagają: identyfikacji stanowisk pracy i utworzenia grup o podobnej ekspozycji na hałas, wyznaczenia minimalnego łącznego czasu trwania pomiaru dla określonej grupy oraz czasu trwania i liczby próbek (co najmniej 5) oraz pomiary próbek rozdzielonych losowo wśród członków grupy oraz w czasie dnia pracy. Podstawą tej strategii pomiarowej jest to, że losowe próbki ekspozycji na hałas ultradźwiękowy są wyznaczane w czasie pomiarów przeprowadzanych podczas wykonywania czynności zidentyfikowanych w trakcie analizy pracy.

Do pomiarów hałasu ultradźwiękowego powinny być stosowane układy pomiarowe umożliwiające analizę widmową. Mierniki realizujące powyższą analizę powinny być klasy dokładności 1 wg wymagań PN-EN 61672-1: 2005 [21], z filtrami tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 kHz do 40 kHz wg PN-EN 61260:2000 [22] i charakterystyce częstotliwościowej LIN w zakresie częstotliwości filtrów analizujących. Przyrządy pomiarowe powinny być sprawdzone na zgodność z wymaganiami ww. norm, co najmniej raz na dwa lata i sprawdzane przed i po zakończeniu pomiarów za pomocą kalibratora akustycznego [23].

Szczegółowa procedurę pomiarów hałasu ultradźwiękowego podano w PN-Z-01339:2020-12 [6].

Ocena narażenia i ryzyka zawodowego

Ocena narażenia na hałas ultradźwiękowy polega zwykle na porównaniu wyznaczonego, w poszczególnych pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5 i 40 kHz:

- równoważnego dla 8. godzin poziomu ciśnienia akustycznego $L_{eq,8h}$ z dopuszczalną wartością poziomu ciśnienia akustycznego odniesioną do 8. godzin $L_{dop,8h}$ ustaloną w stosunku do danego pasma,
- maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego L_{max} z dopuszczalną wartością maksymalną poziomu ciśnienia akustycznego, ustaloną w stosunku do danego pasma L_{dop},max.

Ryzyko zawodowe, będące następstwem narażenia na hałas ultradźwiękowy na danym stanowisku pracy, określa się na podstawie wyznaczonych w odniesieniu do 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 $L_{eq,8h}$ względem $L_{dop,8h}$ określa się ze wzoru:

$$K_{eq,8h} = 10^{(L_{eq,8h} - L_{dop,8h})/10} \quad \text{[dB]}$$

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

$$K_{max} = 10^{(L_{max} - L_{dop,max})/20} \quad \text{[dB]}$$

W przypadkach, 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:

$$K_{eq,w} = 10^{(L_{eq,w} - L_{dop,w})/10} \quad \text{[dB]}$$

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 kroku otrzymuje się dwie krotności, z których znowu wybieramy największą. Ta wybrana finalnie krotność stanowi podstawę do określenia wielkości ryzyka zawodowego będącego następstwem narażenia na hałas ultradźwiękowy.

Przyjmuje się, że:

- jeżeli wyznaczona w odniesieniu do stanowiska pracy krotność jest mniejsza od 0,5 ($K \leq 0,5$), to ryzyko wystąpienia niekorzystnych dla zdrowia pracowników następstw ekspozycji na hałas ultradźwiękowy na tym stanowisku jest małe (M),
- jeżeli wyznaczona w odniesieniu do stanowiska pracy krotność jest równa lub większa od 0,5, ale nie przekracza 1 ($0,5 < K \leq 1$), to ryzyko zawodowe związane z ekspozycją na hałas ultradźwiękowy jest akceptowalne (średnie, Ś),
- jeżeli wyznaczona w odniesieniu do stanowiska pracy krotność jest większa od 1 ($K > 1$), to ryzyko związane z narażeniem na ten hałas jest nieakceptowalne (duże, D).

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 wykonania następnych badań hałasu ultradźwiękowego na kontrolowanym stanowisku pracy. Częstotliwość wykonywania badań tak jak w przypadku hałasu słyszalnego, w rozporządzeniu Ministra Zdrowia dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2011 nr 33 poz. 166, z późniejszymi zmianami) [16].

W przypadku stwierdzenia na danym stanowisku pracy ryzyka 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 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.

Należy podkreślić, że wielkość ryzyka zawodowego stwierdzona na danym stanowisku pracy może być różna w zależności od stanu osoby zatrudnionej na tym stanowisku. 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 nie będącą w ciąży, zawodowe ryzyko utraty zdrowia jest na poziomie średnim lub nawet małym.

Metody ograniczania zagrożeń hałasem ultradźwiękowym

Przeprowadzone dotychczas badania i pomiary umożliwiają formułowanie ogólnych zaleceń ochrony człowieka przed szkodliwym działaniem hałasu ultradźwiękowego [2, 4, 12, 13]. Zalecenia te dotyczą w głównej mierze ograniczenia zagrożeń metodami pośrednimi, takimi jak:

1. wprowadzanie racjonalnego systemu pracy przez podejmowanie różnego rodzaju przedsięwzięć organizacyjnych,
2. minimalizowanie wyemitowanego hałasu ultradźwiękowego na drodze źródło – człowiek,
3. stosowanie środków ochrony indywidualnej (wkładki i nauszniki przeciwhałasowe, okulary, hełmy, rękawice, odzież) i zbiorowej (obudowy, ekrany),
4. sprawowanie kontroli i opieki lekarskiej nad pracownikami,
5. automatyzacja i zdalne sterowanie procesami technologicznymi.

Przedsięwzięcia o charakterze organizacyjnym to przede wszystkim:

- organizowanie pracy ––ze zmianami przy wykonywaniu specjalnie uciążliwych czynności przy urządzeniach ultradźwiękowych,
- skracanie do minimum czasu pracy na jednej zmianie w zasięgu pól ultradźwiękowych,
- skracanie czasu trwania procesu ultradźwiękowego,
- stosowanie przerw w pracy (np. przez okresowe wyłączanie głównych źródeł hałasu ultradźwiękowego),
- wydzielanie specjalnych pomieszczeń do odpoczynku,
- eksploatowanie urządzeń ultradźwiękowych na drugiej i trzeciej zmianie, aby w ten sposób możliwie mniejsza liczba osób znajdujących się w danym pomieszczeniu była narażona na szkodliwe działanie ultradźwięków,
- grupowanie urządzeń ultradźwiękowych w celu zmniejszenia zasięgu pola ultradźwiękowego,

- przesuwanie do pracy na innych stanowiskach osób szczególnie wrażliwych na działanie ultradźwięków,
- konserwowanie środków pracy, urządzeń i układów izolujących i tłumiących hałas,
- szkolenie pracowników nt. bezpiecznego i poprawnego posługiwania się środkami pracy,
- szkolenie pracowników nt. zagrożenia hałasem ultradźwiękowym i prawidłowym stosowaniem środków ochrony indywidualnej(w tym szczególnie ochronników słuchu).

Obniżanie poziomu hałasu na drodze źródło – człowiek polega na stworzeniu jak największej liczby przeszkód dla rozchodzących się fal ultradźwiękowych. Cel ten jest realizowany przez stosowanie obudów zamkniętych lub częściowych dla źródeł hałasu czy też ekranów z materiałów charakteryzujących się dobrą izolacyjnością akustyczną i dobrymi właściwościami pochłaniającymi, stawianych między źródłem a człowiekiem.

Do konstruowania obudów wykorzystuje się takie materiały jak: blacha stalowa, duraluminium, genitaks, tekstolit, guma, pleksiglas, płyty pilśniowe twarde i miękkie, pianka poliuretanowa lub lateksowa itp. W celu osiągnięcia dużej skuteczności ściany obudów wykonuje się na ogół wielowarstwowo. Jak wykazała praktyka, umieszczanie urządzeń ultradźwiękowych w obudowach zamkniętych, skonstruowanych ze ścianek wielowarstwowych o dużej izolacyjności akustycznej, przy zastosowaniu wewnątrz obudów materiałów pochłaniających i zapewnieniu szczelności, daje możliwość zmniejszenia poziomu emitowanego hałasu ultradźwiękowego o 40 do 60 dB – w zależności od pasma częstotliwości. Efekt taki jest nie do osiągnięcia w przypadku hałasu słyszalnego, a wynika to z faktu, że ultradźwięki są silniej tłumione niż dźwięki słyszalne nie tylko w powietrzu ale również w innych ośrodkach; tłumienie jest tym większe im wyższa jest częstotliwość drgań akustycznych.

Stosowanie środków ochrony indywidualnej w przypadku zagrożenia hałasem ultradźwiękowym ma za zadanie ochronę całej powierzchni ciała.

Jednakże szczególnie ważne jest chronienie głowy ze względu na możliwość uszkodzeń nie tylko narządu słuchu, ale także tkanki mózgowej i oczu. Dlatego też zalecane jest stosowanie wkładek dousznych lub nauszników przeciwhałasowych, hełmów ochronnych, a nawet ochron w postaci przyłbic zaopatrzonych w przezroczyste ekrany (np. ze szkła lub pleksiglasu) osłaniających całą twarz.

W celu zabezpieczenia powierzchni ciała zalecane jest noszenie odzieży ochronnej lub kilkuwarstwowego ubrania. Przyjmuje się, że każda warstwa odzieży osłabia natężenie ultradźwięków o około 4 dB, w związku czym ten sposób ubierania wskazany jest nawet w pomieszczeniach o ciepłym mikroklimacie, gdyż zapobiega on bezpośredniemu oddziaływaniu drgań ultradźwiękowych na całą powierzchnię ciała.

Wszelkie środki ochrony indywidualnej, mimo że nieraz bardzo skuteczne, stosowane są przez pracowników niechętnie. Spowodowane jest to pewnymi niedogodnościami przy ich używaniu, a mianowicie: ograniczaniem swobody ruchów (odzież ochronna) czy czucia (rękawice w przypadku kontaktu ze źródłem), uciskiem na uszy i na głowę (nauszniki, hełmy), szybszym przegrzewaniem ciała itp. Warto zatem dążyć do ograniczania zagrożeń ultradźwiękowych wykorzystując przede wszystkim inne sposoby, a ŚOI stosować w przypadkach bezwzględnie koniecznych i czas ich używania skracać do niezbędnego minimum.

Czwarta z wymienionych metod pośrednich ograniczania zagrożeń hałasem ultradźwiękowym – profilaktyka lekarska ma przede wszystkim na celu:

- eliminowanie przy zatrudnianiu na stanowiska operatorów urządzeń ultradźwiękowych osób, których stan czynnościowy organizmu odbiega od normy, gdyż odchylenia te pod wpływem działania hałasu ultradźwiękowego mogą ulegać pogłębieniu,
- prowadzenie badań okresowych w stosunku do osób już pracujących w zasięgu pól ultradźwiękowych w celu kontroli ich stanu zdrowia.

Lekarska działalność profilaktyczna może przyczynić się w dużym stopniu do ograniczenia omawianych zagrożeń w środowisku pracy. Obejmuje ona badania wstępne i okresowe [15]. Badania wstępne obejmują badanie lekarskie, badanie otoskopowe, czy audiometrię tonalną (badanie przewodnictwa powietrznego w odniesieniu do częstotliwości 0,5–8 kHz). Badania okresowe powinny być przeprowadzane nie rzadziej niż co 3 lata w zakresie takim, jaki obowiązuje przy badaniach wstępnych. W przypadku stwierdzenia odchyleń od normalnego stanu zdrowia w wyniku ekspozycji na hałas ultradźwiękowy badania należy rozszerzyć o badania specjalistyczne np. EEG, EKG i inne.

Skutecznym sposobem ograniczania zagrożeń hałasem ultradźwiękowym jest, także coraz częściej stosowane w praktyce, zdalne sterowanie procesami technologicznymi. Znane są obecnie rozwiązania krajowe, w których np. ultradźwięki wykorzystywane w procesie oczyszczania detali włączane są przez pracownika generatorem ustawionym w pewnej odległości od wanny ultradźwiękowej, a wyłączane są automatycznie po zaprogramowanym czasie czyszczenia. W tym przypadku czas przebywania operatora bezpośrednio przy wannie z cieczą myjącą, będącej źródłem hałasu ultradźwiękowego (czas ekspozycji na ten hałas), jest w praktyce ograniczony do minimum.

Wszystkie przedstawione powyżej i zalecane dotąd metody, mimo że zabezpieczają częściowo człowieka przed szkodliwym działaniem hałasu ultradźwiękowego, dotyczą jedynie likwidacji skutków występowania omawianego czynnika w środowisku pracy, nie zaś likwidacji przyczyn jego powstawania.

Metodą niewątpliwie najlepszą jest usunięcie przyczyny zagrożenia, czyli walka z hałasem ultradźwiękowym u źródła jego emisji np. na drodze zmian konstrukcyjnych urządzeń, zasad eksploatacji, modyfikacji procesu technologicznego czy wprowadzenia nowych materiałów do budowy urządzeń. Podjęcie takich przedsięwzięć wymaga lokalizacji i identyfikacji głównych źródeł hałasu w obrębie urządzeń, rozpoznania dróg jego transmisji do otoczenia oraz powiązania ilościowego emitowanego hałasu z parametrami konstrukcyjno-eksploatacyjnymi urządzeń.

Propozycje nowych wartości dopuszczalnych hałasu ultradźwiękowego

Mając na uwadze wyniki dotychczasowych badań i analiz własnych, doniesienia literatury przedmiotu oraz uwzględniając możliwości techniczne realizacji pomiarów, proponuje się:

- utrzymanie jako podstawy oceny narażenia na hałas ultradźwiękowy równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego odniesionych do 8-godzinnego dnia pracy lub tygodnia pracy i maksymalnych poziomów ciśnienia akustycznego, określonych w pasmach tercjowych (10-40 kHz);
- utrzymanie metody oceny narażenia na hałas ultradźwiękowy zgodnie z PN-Z-01339:2020;
- zmianę dotychczasowych wartości dopuszczalnych, ze względu na ochronę zdrowia (NDN) (pasmo 1/3 oktawowe o częstotliwości środkowej 20 kHz) (tab. 6.);
- wprowadzenie progów działania analogicznie do zakresu słyszalnego (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)
- zmianę przepisów dotyczących profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami (rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 12 listopada 2020 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy) – rozszerzenie zakresu audiometrii tonalnej o zakres 8-16 kHz.
- utrzymanie wartości dopuszczalnych ujętych w rozporządzeniu 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 oraz rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 19 czerwca 2023 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac.

Tab. 6. Propozycja nowych wartości NDN i progów działania w odniesieniu do hałasu ultradźwiękowego

Częstotliwość środkowa pasma 1/3-okt. (kHz)	**Nowy NDN ($L_{f,eq,8h}$, dB)**	**Próg działania (dB)**	**Dotychczasowy NDN (dB)**
10; 12,5; 16	**80**	75	80
20	**85**	80	90
25	**105**	100	105
31,5; 40	**110**	105	110

Powyższą propozycję uzasadniają zarówno wyniki eksperymentów laboratoryjnych (rozdział 3), jak i dane z badań w przemyśle [25-28] potwierdzające, że pasmo tercjowe o częstotliwości środkowej 20 kHz stanowi pasmo o najwyższym ryzyku przekroczeń i wystąpienia skutków słuchowych. W przeprowadzonym eksperymencie laboratoryjnym, odwzorowującym rzeczywiste warunki pracy operatorów urządzeń ultradźwiękowych, wykazano, że ekspozycja na poziomie odpowiadającym obecnemu limitowi ($L_{20kHz,eq,8h}$ = 90 dB) powodowała istotne statystycznie czasowe przesunięcia progu słyszenia (TTS). Obniżenie poziomu ekspozycji o 5 dB eliminowało zmiany progów słyszenia w badanym zakresie (1-16 kHz). Dodatkowo odnotowano pogorszenie wyników w testach czasu reakcji, co wskazuje, że ekspozycja na hałas ultradźwiękowy o obecnie dopuszczalnym poziomie wpływa również na funkcje psychomotoryczne. Równolegle, dane środowiskowe z szeroko zakrojonych badań terenowych prowadzonych w zakładach przemysłowych wykazały, że pasmo 20 kHz jest dominujące w emisji hałasu ultradźwiękowego i najczęściej odpowiedzialne za przekroczenia wartości dopuszczalnych. W pomiarach przeprowadzonych na 233 stanowiskach pracy stwierdzono, że najwyższe poziomy równoważne i maksymalne występują właśnie w tercjach 10-25 kHz, ze szczególnym udziałem źródeł pracujących w okolicach 20 kHz – zwłaszcza zgrzewarek ultradźwiękowych i maszyn do obróbki tkanin. Badania stanu słuchu osób narażonych na hałas ultradźwiękowy potwierdzają z kolei, że przy poziomach ekspozycji zbliżonych do obecnych wartości NDN dochodzi do istotnych zmian audiometrycznych. U operatorów urządzeń ultradźwiękowych obserwowano istotnie gorsze progi słuchu w zakresie wysokich częstotliwości (4-14 kHz) względem grup kontrolnych, pomimo podobnych poziomów hałasu A-ważonego. W kontekście pomiarów środowiskowych, które wskazują

na częste przekroczenia wartości dopuszczalnych w pasmach 10–25 kHz, zwłaszcza przy 20 kHz, taki profil wyników potwierdza niedostateczną skuteczność obowiązującej wartości dopuszczalnej.

Podsumowanie

Badania i pomiary prowadzone od lat w różnych zakładach i przedsiębiorstwach na terenie kraju wykazały, że w wielu z nich hałas ultradźwiękowy występuje jako zjawisko dość częste i że narażonych na jego oddziaływania jest coraz więcej osób.

Ze względu na ciągle rosnącą rzeszę osób przebywających w polach ultradźwiękowych niskich częstotliwości koniecznym stało się podejmowanie działań zmierzających do likwidacji hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy lub jego ograniczania. Powinny one uwzględniać wyniki oceny narażenia na ten czynnik pracownika na danym stanowisku pracy oraz wyniki badań medycznych (szczególnie w przypadku łącznego działania kilku czynników szkodliwych).

Przyjmując za fakt występowanie hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy i potrzebę jego zwalczania, koniecznym staje się:

- szybkie rozpoznawanie tego zagrożenia w przedsiębiorstwie - lokalizowanie stanowisk pracy, na których może występować hałas ultradźwiękowy,
- kontrolowanie tych stanowisk przez wykonanie pomiarów hałasu ultradźwiękowego zgodnie z ustaloną procedurą,
- analizowanie uzyskanych z pomiarów wyników i ocenianie stanu zagrożenia i ryzyka zawodowego,
- podejmowanie na bieżąco przedsięwzięć zmierzających do ograniczania zagrożeń hałasem ultradźwiękowym,
- opracowywanie programów poprawy bezpieczeństwa pracy m.in. w zakresie ograniczania zagrożeń hałasem ultradźwiękowym,

- realizowanie opracowanych programów,
- prowadzenie wstępnej i okresowej kontroli lekarskiej pracowników,
- organizowanie szkoleń na temat prawidłowego stosowania środków ochrony indywidualnej
- organizowanie szkoleń w celu podwyższenia wśród pracowników poziomu wiedzy o występujących w przedsiębiorstwie zagrożeniach, w tym o zagrożeniu hałasem ultradźwiękowym oraz w zakresie prawidłowej, bezpiecznej obsługi maszyn, urządzeń i narzędzi, które są źródłami hałasu ultradźwiękowego.

BIBLIOGRAFIA

1. Engel Z. Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Warszawa: PWN; 2001.
2. Konarska M. Biologiczne oddziaływanie ultradźwięków niskich częstotliwości. Bezpieczeństwo Pracy. 1973;10.
3. Koton J. Ultradźwięki. Warszawa: Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych; 1986.
4. Koton J. Metody ochrony przed hałasem ultradźwiękowym. In: Augustyńska D, Zawieska WM, red. Ochrona przed hałasem i drganiami w środowisku pracy. Warszawa: CIOP; 1999.
5. Koton J. Hałas ultradźwiękowy. In: Zawieska WM, red. Ocena ryzyka zawodowego. T. 1. Podstawy metodyczne. 2. wyd. Warszawa: CIOP; 2001.
6. PN-Z-01339:2020-12 Hałas ultradźwiękowy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów w środowisku pracy. Warszawa: PKN; 2020.
7. Pawlaczyk-Łuszczyńska M, Koton J, Śliwińska-Kowalska M, Augustyńska D, Kameduła M. Hałas ultradźwiękowy. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. Podstawy Metody Oceny Środowiska Pracy. 2001;2.
8. Przeklasa R, Reron E, Wiatr M, Składzień J. Rola audiometrii wysokich częstotliwości w ocenie ubytku słuchu u osób narażonych na działanie hałasu przemysłowego. Otolaryngologia. 2008;7(4).
9. Smagowska B, Mikulski W. Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy drążarek ultradźwiękowych – ocena ryzyka zawodowego. Bezpieczeństwo Pracy. 2008;10.
10. Smagowska B. Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach maszyn i urządzeń ze sprężonym powietrzem. Bezpieczeństwo Pracy. 2011;7–8.
11. Smagowska B. Hałas ultradźwiękowy na wybranych stanowiskach pracy maszyn włókienniczych – ocena ryzyka zawodowego. Przegl Włókienniczy – Włókno Odzież Skóra. 2012;2.

12. Smagowska B. Profilaktyka narażenia na hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy. Podstawy Metody Oceny Środowiska Pracy. 2012;2.
13. Smagowska B, Mikulski W, Jakubowska I. Materiały dźwiękochłonne do stosowania w ochronach zbiorowych w zakresie hałasu ultradźwiękowego – wyniki badań własnych. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka. 2014;5:24–26.
14. Smagowska B. Hałas ultradźwiękowy na wybranych stanowiskach pracy w hucie stali. Hutnik. Wiad Hutnicze. 2014;6:397–401.
15. 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. 1996 nr 69 poz. 332, z późn. zm.).
16. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2011 nr 33 poz. 166, z późn. zm.).
17. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz.U. 1997 nr 129 poz. 844, z późn. zm.).
18. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286, z późn. zm.).
19. 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, z późn. zm.).
20. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 19 czerwca 2023 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac (Dz.U. 2023 poz. 1240).

21. PN-EN 61672-1:2014-03 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 1: Wymagania.
22. PN-EN 61260-1:2015-01 Elektroakustyka – Filtry pasmowe o szerokości oktawy i części oktawy – Część 1: Wymagania.
23. PN-EN IEC 60942:2018-06 Elektroakustyka – Kalibratory akustyczne.
24. Mikulski W. Obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne urządzeń ultradźwiękowych ograniczające poziom hałasu przenikającego do środowiska. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka. 2021;9:22–28.
25. Macca I, Scapellato ML, Carrieri M, Maso S, Trevisan A, Bartolucci GB. High-frequency hearing thresholds: effects of age, occupational ultrasound and noise exposure. Int Arch Occup Environ Health. 2015;88(2):197–211. doi:10.1007/s00420-014-0951-8.
26. Pawlaczyk-Łuszczyńska M, Dudarewicz A, Śliwińska-Kowalska M. Źródła ekspozycji zawodowej na hałas ultradźwiękowy – ocena wybranych urządzeń. Med Pr. 2007;58(2):105–116.
27. Pawlaczyk-Łuszczyńska M, Dudarewicz A. Impact of very high-frequency sound and low-frequency ultrasound on people – the current state of the art. Int J Occup Med Environ Health. 2020;33(4):389–408. doi:10.13075/ijomeh.1896.01586.
28. Pawlaczyk-Łuszczyńska 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. J Occup Saf Ergon. 2007;13(4):409–418. doi:10.1080/10803548.2007.11105098.