

6-3. Hałas. Hałas infradźwiękowy i hałas ultradźwiękowy

[B]

doc. dr inż. Danuta Augustyńska - Centralny Instytut Ochrony Pracy
 prof. dr hab. inż. Zbigniew Engel - AGH Kraków
 dr inż. Anna Kaczmarska-Kozłowska - Centralny Instytut Ochrony Pracy
 dr inż. Jolanta Koton - Centralny Instytut Ochrony Pracy
 mgr inż. Witold Mikulski - Centralny Instytut Ochrony Pracy



6-3.1. Hałas


6-3.1.1. Wprowadzenie




Hałasem przyjęto określać wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe, uciążliwe lub szkodliwe dźwięki oddziałujące na narząd słuchu i inne zmysły oraz części organizmu człowieka.

Z fizycznego punktu widzenia, dźwięki są to drgania mechaniczne ośrodka sprężystego (gazu, cieczy lub ośrodka stałego). Drgania te mogą być rozpatrywane jako oscylacyjny ruch cząstek ośrodka względem położenia równowagi, wywołujący zmianę ciśnienia ośrodka w stosunku do wartości ciśnienia statycznego (atmosferycznego).

Ta zmiana ciśnienia (czyli zaburzenie równowagi ośrodka) przenosi się w postaci następujących po sobie lokalnych zagęszczeń i rozrzedzeń cząstek ośrodka w przestrzeń otaczającą źródło drgań, tworząc falę akustyczną.

Różnica między chwilową wartością ciśnienia w ośrodku przy przejściu fali akustycznej a wartością ciśnienia statycznego (atmosferycznego) jest zwana ciśnieniem akustycznym p , wyrażanym w Pa ( [6-3.fol.2](#) animacja:  [6-3.anim.2](#)).

Ze względu na szeroki zakres zmian ciśnienia akustycznego - od $2 \cdot 10^{-5}$ do $2 \cdot 10^3$ Pa powszechnie stosuje się skalę logarytmiczną i w konsekwencji używa się pojęcia poziom ciśnienia akustycznego L , wyrażany w dB ( [\(6-3.fol.3\)](#)).

Wszystkie wielkości charakteryzujące ekspozycję (narażenie) na hałas w środowisku pracy, o których będzie mowa w dalszych częściach tego rozdziału, tj.: maksymalny poziom dźwięku A , szczytowy poziom dźwięku C , równoważny poziom dźwięku A , poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia lub tygodnia pracy, są wielkościami pochodnymi poziomu ciśnienia akustycznego (patrz 6-3.4. Załącznik), ( [6-3.fol.4](#),  [6-3.fol.5](#),  [6-3.fol.6](#)).

Z propagacją fali akustycznej w ośrodku jest związana transmisja energii zaburzenia. Energię fali akustycznej charakteryzują następujące wielkości:



- **moc akustyczna źródła** będąca miarą ilości energii wypromieniowanej przez źródło w jednostce czasu, wyrażana w W

- natężenie dźwięku, czyli wartość mocy akustycznej przepływającej przez jednostkową powierzchnię prostopadłą do kierunku rozchodzenia się fali akustycznej, wyrażane w W/m^2 .

Podobnie jak w przypadku ciśnienia akustycznego, ze względu na szeroki przedział zmienności wartości mocy akustycznej i natężenia dźwięku, stosuje się skalę logarytmiczną oraz pojęcia : poziom mocy akustycznej i poziom natężenia dźwięku, wyrażane w dB (patrz 6-3.4. Załącznik).

Poziom mocy akustycznej jest podstawową wielkością charakteryzującą emisję hałasu z jego źródła. Stąd też, jest stosowany do oceny hałasu maszyn. Wyznacza się go na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego lub natężenia dźwięku.

W uproszczeniu można powiedzieć, że hałas stanowi zbiór dźwięków o różnych częstotliwościach i różnych wartościach ciśnienia akustycznego. Rozkład dźwięków złożonych na sumę dźwięków prostych (tonów) nazywamy wyznaczaniem widma lub analizą widmową (częstotliwościową) hałasu.

Ze względu na zakres częstotliwości rozróżnia się ( [6-3.fol.7](#),  [6-3.fol.8](#)):


- **hałas infradźwiękowy**, w którego widmie występują składowe o częstotliwościach infradźwiękowych od 2 do 16 Hz i o częstotliwościach słyszalnych do 50 Hz (PN-N-01338:1986)
- **hałas słyszalny**, w którego widmie występują składowe o częstotliwościach słyszalnych od 16 do 16 000 Hz
- **hałas ultradźwiękowy**, w którego widmie występują składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych i niskich ultradźwiękowych - od 10 do 100 kHz [\[26\]](#).

Ze względu na przebieg w czasie, hałas określa się jako ustalony lub nieustalony (zmienny w czasie, przerywany). Rodzajem hałasu nieustalonego jest tzw. **hałas impulsowy**, składający się z jednego lub wielu zdarzeń dźwiękowych, każde o czasie trwania mniejszym niż 1 s [\[24\]](#).

Ze względu na charakter oddziaływania hałasu na organizm człowieka, wyróżnia się hałas uciążliwy nie wywołujący trwałych skutków w organizmie oraz hałas szkodliwy wywołujący trwałe skutki lub powodujący określone ryzyko ich wystąpienia.

Istnieją również inne podziały hałasu, np. podział uwzględniający przyczynę jego powstania i klasyfikację jego źródeł. Wyróżnia się, np.: hałas aerodynamiczny, powstający w wyniku przepływu powietrza lub innego gazu oraz hałas mechaniczny, powstający wskutek tarcia i zderzeń ciał stałych, w tym głównie części maszyn. Stosowany jest także podział ze względu na środowisko, w którym hałas występuje. Hałas w przemyśle, zwany jest hałasem przemysłowym, hałas w pomieszczeniach mieszkalnych, miejscach użyteczności publicznej i terenach wypoczynkowych - hałasem komunalnym, a w środkach komunikacji - hałasem komunikacyjnym.

6-3.1.2. Wpływ hałasu na organizm człowieka i jego skutki



Ujemne oddziaływanie hałasu na organizm człowieka w warunkach narażenia zawodowego można podzielić na dwa rodzaje ( [\(6-3.fol.9\)](#)):


- wpływ hałasu na narząd słuchu
- pozasłuchowe działanie hałasu na organizm (w tym na podstawowe układy i narządy

oraz zmysły człowieka).

Wpływ hałasu na narząd słuchu

Szkodliwy wpływ hałasu na narząd słuchu powodują następujące jego cechy i okoliczności narażenia:

- równoważny poziom dźwięku A (dla hałasu nieustalonego) lub poziom dźwięku A (dla hałasu ustalonego) przekraczający 80 dB; bodźce słabsze nie uszkadzają narządu słuchu nawet przy długotrwałym nieprzerwanym działaniu (tab.1),  [\(6-3.fol.10\)](#)
- długi czas działania hałasu; skutki działania hałasu kumulują się w czasie; zależą one od dawki energii akustycznej, przekazanej do organizmu w określonym przedziale czasu (tab.1),  [\(6-3.fol.10\)](#)
- ciągła ekspozycja na hałas jest bardziej szkodliwa niż przerywana; nawet krótkotrwałe przerwy umożliwiają bowiem procesy regeneracyjne słuchu
- hałas impulsowy jest szczególnie szkodliwy; charakteryzuje się on tak szybkim narastaniem ciśnienia akustycznego do dużych wartości, że mechanizmy obronne narządu słuchu zapobiegające wnikaniu energii akustycznej do ucha nie zdołają zadziałać
- widmo hałasu z przewagą składowych o częstotliwościach średnich i wysokich. Hałas o takim widmie jest dla słuchu bardziej niebezpieczny, niż hałas o widmie, w którym maksymalna energia zawarta jest w zakresie niskich częstotliwości; wynika to z charakterystyki czułości ucha ludzkiego, która jest największa w zakresie częstotliwości 3 ÷ 5 kHz
- szczególna, indywidualna podatność na uszkadzający wpływ działania hałasu; zależy ona od cech dziedzicznych oraz nabytych np. w wyniku przebytych chorób.

Ilustracją problemu zróżnicowanej osobniczej podatności na hałas jest tab.1  [\(6-3.fol.10\)](#), z której wynika, że przy równoważnym poziomie dźwięku A równym 90 dB w ciągu 40 lat pracy w tym środowisku ryzyko utraty słuchu wynosi 21%, co oznacza, że 21% narażonych może doznać uszkodzeń słuchu. Zmniejszenie poziomu do 85 dB zmniejsza grupę poszkodowanych do 10% całej populacji. W grupie tej znajdują się głównie osoby o szczególnej podatności na szkodliwy wpływ hałasu.

Skutki wpływu hałasu na organ słuchu dzieli się na:

- uszkodzenia struktur anatomicznych narządu słuchu (perforacje, ubytki błony bębenkowej), będące zwykle wynikiem jednorazowych i krótkotrwałych ekspozycji na hałas o szczytowych poziomach ciśnienia akustycznego powyżej 130 ÷ 140 dB
- upośledzenie sprawności słuchu w postaci podwyższenia progu słyszenia, w wyniku długotrwałego narażenia na hałas, o równoważnym poziomie dźwięku A przekraczającym 80 dB.


Podwyższenie progu może być odwracalne (tzw. czasowe przesunięcie progu) lub trwałe (trwały ubytek słuchu).

Badania audiometryczne ujawniają rozwój trwałego ubytku słuchu. Średni trwały ubytek słuchu wynoszący 30 dB przy częstotliwości 1000, 2000 i 4000 Hz po stronie ucha lepszego i po uwzględnieniu fizjologicznego ubytku związanego z wiekiem, stanowi tzw. ubytek krytyczny będący kryterium rozpoznania i orzeczenia zawodowego uszkodzenia słuchu jako

choroby zawodowej.

Zawodowe uszkodzenie słuchu (głuchota zawodowa) - trwałe, nie dające się rehabilitować inwalidztwo - znajduje się od lat na czołowym miejscu na liście chorób zawodowych. Wnosi ono do krajowej statystyki chorób zawodowych ok. 3000 nowych przypadków rocznie, co stanowi ok. 1/3 wszystkich rejestrowanych przypadków.

Pozasłuchowe skutki działania hałasu

Pozasłuchowe skutki działania hałasu nie są jeszcze w pełni rozpoznane  (6-3.fol.11). Anatomiczne połączenie nerwowej drogi słuchowej z korą mózgową umożliwia bodźcom słuchowym oddziaływanie na inne ośrodki w mózgowiu (zwłaszcza ośrodkowy układ nerwowy i układ gruczołów wydzielania wewnętrznego), a w konsekwencji na stan i funkcje wielu narządów wewnętrznych.

Doświadczalnie wykazano, że wyraźne zaburzenia funkcji fizjologicznych organizmu mogą występować po przekroczeniu poziomu ciśnienia akustycznego 75 dB. Słabsze bodźce akustyczne (o poziomie 55 ÷ 75 dB) mogą powodować rozproszenie uwagi, utrudniać pracę i zmniejszać jej wydajność.

Można stwierdzić, że pozasłuchowe skutki działania hałasu są uogólnioną odpowiedzią organizmu na działanie hałasu, jako stresora przyczyniającego się do rozwoju różnego typu chorób (np. choroba ciśnieniowa, choroba wrzodowa, nerwice i inne).

Wśród pozasłuchowych skutków działania hałasu, należy jeszcze wymienić jego wpływ na zrozumiałość i maskowanie mowy czy dźwiękowych sygnałów bezpieczeństwa. Utrudnione porozumiewanie się ustne w hałasie (o poziomie 80 ÷ 90 dB) i maskowanie sygnałów ostrzegawczych nie tylko zwiększa uciążliwość warunków pracy i zmniejsza jej wydajność, lecz może być również przyczyną wypadków przy pracy.

Kryterium zrozumiałości mowy stanowi jedno z ważniejszych kryteriów oceny hałasu w środowisku.

6-3.1.3. Pomiar i ocena wielkości charakteryzujących hałas w środowisku

Ze względu na cel (określenie emisji hałasu maszyn lub ocena narażenia ludzi) metody pomiarów hałasu dzieli się na:

- metody pomiarów hałasu maszyn
- metody pomiarów hałasu w miejscach przebywania ludzi (na stanowiskach pracy).

Metody pomiarów hałasu maszyn

Metody takie stosuje się w celu określania wielkości charakteryzujących emisję hałasu maszyn, rozpatrywanych jako oddzielne źródła hałasu w ustalonych warunkach doświadczalnych i eksploatacyjnych. Zgodnie z przepisami europejskimi (Dyrektywa 98/37/EC) wielkościami tymi są: poziom mocy akustycznej lub poziom ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy maszyny lub w innych określonych miejscach (patrz 6-3.4 Załącznik). Wybór wielkości zależy od wartości emisji hałasu. Poziom mocy akustycznej powinien być podany, gdy uśredniony poziom ciśnienia akustycznego emisji skorygowany wg charakterystyki częstotliwościowej A (zwany równoważnym poziomem dźwięku A) na stanowisku pracy maszyny przekracza 85 dB.

Metody wyznaczania poziomu mocy akustycznej na podstawie pomiarów poziomów ciśnienia akustycznego lub natężenia dźwięku, określają odpowiednie polskie normy (polskie wersje norm europejskich) serii PN-EN ISO 3740 i PN-EN ISO 9614 [27 ÷ 32], natomiast metody wyznaczania poziomu ciśnienia akustycznego emisji określają normy serii PN-EN ISO 11200 [32 ÷ 37].

Metody te różnią się przede wszystkim klasą dokładności, możliwą do uzyskania w różnych dostępnych środowiskach badawczych (specjalnie skonstruowane komory pogłosowe i bezehowe lub zwykłe pomieszczenia eksploatacyjne). Mogą być stosowane do akustycznych badań certyfikacyjnych maszyn, do wyznaczania i deklarowania emisji hałasu przez konstruktora /producenta oraz do sprawdzania przez użytkownika maszyn danych o emisji hałasu maszyn. Ponieważ metody pomiarów źródeł hałasu interesują ograniczoną liczbę użytkowników, nie będą one tu omawiane szerzej.

Metody pomiarów i oceny hałasu w miejscach przebywania ludzi

Metody te stosuje się w celu ustalenia wielkości narażenia ludzi na działanie hałasu na stanowiskach pracy i w określonych miejscach przebywania ludzi względem źródeł hałasu, niezależnie od ich rodzaju i liczby. Wyniki pomiarów hałasu służą przede wszystkim do porównania istniejących warunków akustycznych z warunkami określonymi przez normy i przepisy higieniczne, a także do oceny i wyboru planowanych lub realizowanych przedsięwzięć ograniczających hałas.

Metody pomiarów wielkości charakteryzujących hałas w środowisku pracy są określone w polskiej normie: PN-N-01307:1994 *Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.*

Do pomiaru wielkości wszystkich rodzajów hałasu (ustalonego, nieustalonego i impulsowego) powinny być stosowane dozymetry hałasu lub całkujące mierniki poziomu dźwięku klasy dokładności 2 lub lepszej, o zakresie impulsowym wynoszącym co najmniej 53 dB (spełniające wymagania IEC 804: 1985 i IEC 1252: 1993).

Pomiary przeprowadza się dwiema metodami: bezpośrednią i pośrednią.

Metoda bezpośrednia polega na ciągłym pomiarze przez cały czas narażenia pracownika na hałas i odczycie wielkości określanych bezpośrednio z mierników, np. dozymetru hałasu lub całkującego miernika poziomu dźwięku. Umożliwia ona otrzymanie wyników, które dokładnie oddają narażenie pracownika na hałas.

Metoda pośrednia polega na pomiarze hałasu w czasie krótszym niż podlegający ocenie oraz zastosowaniu odpowiednich zależności matematycznych do wyznaczenia wymienionych wielkości.


Tryb i częstotliwość wykonywania pomiarów, sposób rejestrowania i przechowywania wyników oraz sposób ich udostępnienia pracownikom określa rozporządzenie ministra zdrowia i opieki społecznej.

Ocena narażenia zawodowego na hałas polega przede wszystkim na porównaniu zmierzonych lub wyznaczonych wartości hałasu z wartościami dopuszczalnymi (poziomu ekspozycji na hałas, maksymalnego poziomu dźwięku A i szczytowego poziomu dźwięku C), obowiązującymi jednocześnie. Wystarczy przekroczenie jednej z tych wartości, aby uznać przekroczenie wartości dopuszczalnej.

Wartości dopuszczalne hałasu w środowisku pracy

Wartości te są określone w rozporządzeniu ministra pracy i polityki socjalnej z dnia 17


czerwca 1998 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy oraz w PN-N-01307: 1994 [24].

Wartości hałasu dopuszczalne ze względu na ochronę słuchu, zgodnie z powyższym rozporządzeniem i normą obowiązującą jednocześnie i wynoszą  (6-3.fol.12):

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy ($L_{EX,8h}$) nie powinien przekraczać 85 dB, a odpowiadająca mu ekspozycja dzienna nie powinna przekraczać $3,64 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$; wyjątkowo w przypadku hałasu oddziałującego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu - poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy ($L_{EX,w}$) nie powinien przekraczać wartości 85 dB, a odpowiadająca mu ekspozycja tygodniowa nie powinna przekraczać wartości $18,2 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$;
- maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}) nie powinien przekraczać 115 dB;
- szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}) nie powinien przekraczać 135 dB.

Dwie ostatnie wielkości służą do oceny hałasów krótkotrwałych i impulsowych.

Podane wyżej wartości normatywne obowiązują, jeżeli inne szczegółowe przepisy nie określają wartości niższych (np. na stanowisku pracy młodocianego - $L_{EX,8h} = 80 \text{ dB}$, na stanowisku pracy kobiety w ciąży - $L_{EX,8h} = 65 \text{ dB}$).

Wartości hałasu dopuszczalne ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań (a więc uwzględniające pozasłuchowe skutki działania hałasu - kryterium uciążliwości), zgodnie z wymienioną normą PN-N-01307:1994 nie powinny być większe niż podane w tab. 2  (6-3.fol.13).

Uwaga: Wartości w tab. 2 nie należy odnosić do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy. Dotyczą dowolnego czasu T_e , w jakim pracownik przebywa na danym stanowisku pracy.

Stan narażenia i źródła hałasu w środowisku pracy

Według danych GUS ponad 30% pracowników zatrudnionych w warunkach narażenia na szkodliwe i uciążliwe czynniki środowiska pracy, pracuje w hałasie ponadnormatywnym (o poziomie ekspozycji powyżej 85 dB).

Najbardziej narażeni są pracownicy zatrudnieni w zakładach zajmujących się następującymi rodzajami działalności (określonymi według Europejskiej Klasyfikacji Działalności); działalnością produkcyjną (zwłaszcza produkcją tkanin, metali i drewna), górnictwem i kopalnictwem, budownictwem oraz transportem.

Przyjmując, że głównymi źródłami hałasu, które występują na stanowiskach pracy są maszyny, urządzenia lub procesy technologiczne, można wyróżnić następujące podstawowe grupy źródeł hałasu [5]:




- maszyny stanowiące źródło energii, np. silniki spalinowe (maksymalne poziomy dźwięku A do 125 dB), sprężarki (do 113 dB)
- narzędzia i silniki pneumatyczne, np. ręczne narzędzia pneumatyczne: młotki, przecinaki, szlifierki (do 134 dB)
- maszyny do rozdrabniania, kruszenia, przesiewania, przecinania, oczyszczania, np. młyny kulowe (do 120 dB), sita wibracyjne (do 119 dB), kruszarki (do 119 dB), kraty

wstrząsowe (do 115 dB), piły tarczowe do metalu (do 115 dB)


- maszyny do obróbki plastycznej, np. młoty mechaniczne (do 122 dB), prasy (do 115 dB)
- obrabiarki skrawające do metalu, np. szlifierki, automaty tokarskie, wiertarki (do 104 dB)
- obrabiarki skrawające do drewna, np. dłutownice (do 108 dB), strugarki (do 101 dB), frezarki (do 101 dB), piły tarczowe (do 99 dB)
- maszyny włókiennicze, np. przewijarki (do 114 dB), krosna (do 112 dB), przędzarki (do 110 dB), rozciągarki (do 104 dB), skręcarki (do 104 dB), zgrzeblarki (do 102 dB)
- urządzenia przepływowe, np. zawory (do 120 dB), wentylatory (do 114 dB)
- urządzenia transportu wewnątrzzakładowego, np. suwnice, przenośniki, przesypy, podajniki (do 112 dB).

6-3.1.4. Metody i środki ochrony przed hałasem

Zgodnie z przepisami europejskimi i krajowymi [12,13,15,38], pracodawca jest obowiązany zapewnić ochronę pracowników przed zagrożeniami związanymi z narażeniem na hałas, a w szczególności (rozporządzenie ministra pracy i polityki socjalnej z dnia 26 września 1997) zapewnić stosowanie:

- procesów technologicznych nie powodujących nadmiernego hałasu
- maszyn i innych urządzeń technicznych powodujących możliwie najmniejszy hałas, nie przekraczający dopuszczalnych wartości
- rozwiązań obniżających poziom hałasu w procesach pracy (z priorytetem środków redukcji hałasu u źródła jego powstawania), ( [6-3.fol.14](#),  [6-3.fol.15](#), animacja:  [6-3.anim.15](#)).

Na stanowiskach pracy, na których mimo zastosowania możliwych rozwiązań technicznych i organizacyjnych poziom hałasu przekracza dopuszczalne normy, pracodawca ma obowiązek zapewnić:

- ustalenie przyczyn przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu oraz opracowanie i zastosowanie programu działań technicznych i organizacyjnych, mających na celu najskuteczniejsze zmniejszenie narażenia pracowników na hałas
- zaopatrzenie pracowników w indywidualne ochrony słuchu, dobrane do wielkości charakteryzujących hałas i do cech indywidualnych pracowników oraz ich stosowanie
- ograniczenie czasu ekspozycji na hałas, w tym stosowanie przerw w pracy
- oznakowanie stref zagrożonych hałasem  ([6-3.fol.16](#)), a także, gdy jest to uzasadnione ze względu na stopień zagrożenia oraz możliwe, ograniczenie dostępu do tych stref poprzez ich odgródzenie.

Pracownikom zatrudnionym na wymienionych stanowiskach należy zapewnić informacje na temat:

- wyników pomiarów hałasu i zagrożenia dla zdrowia wynikającego z narażenia na hałas

- działań podjętych w związku z przekroczeniem dopuszczalnych wartości hałasu na określonych stanowiskach
- właściwego doboru i sposobu używania indywidualnych ochron słuchu.


Gdy na stanowiskach pracy poziom hałasu przekracza dopuszczalne normy pracownicy podlegają okresowym badaniom lekarskim. Tryb i zakres oraz częstotliwość badań określa rozporządzenie ministra zdrowia i opieki społecznej z dnia 30 maja 1996 r. [20]. W przypadku narażenia na hałas badania ogólne wykonuje się co 4 lata, a badania otolaryngologiczne i audiometryczne: przez pierwsze trzy lata pracy w hałasie - co rok, następnie co 3 lata. W razie ujawnienia w okresowym badaniu audiometrycznym ubytków słuchu charakteryzujących się znaczną dynamiką rozwoju, częstotliwość badań audiometrycznych należy zwiększyć, skracając przerwę między kolejnymi testami do 1 roku lub 6 miesięcy. W razie narażenia na hałas impulsowy albo na hałas, którego równoważny poziom dźwięku A przekracza stale lub często 110 dB, badanie audiometryczne należy przeprowadzać nie rzadziej niż raz na rok.

Techniczne środki ograniczania hałasu

Zmiana hałaśliwego procesu technologicznego na mniej hałaśliwy [38]


Najgłośniejsze procesy produkcyjne można zastąpić cichszymi, np. kucie młotem można zastąpić walcowaniem i tłoczeniem, natomiast obróbkę za pomocą ręcznych narzędzi - obróbką elektryczną i chemiczną oraz narzędziami zmechanizowanymi.

Mechanizacja i automatyzacja procesów technologicznych

Mechanizacja i automatyzacja procesów technologicznych w powiązaniu z kabinami sterowniczymi (dźwiękoizolacyjnymi) dla obsługi  (6-3.fol.15) jest jednym z najbardziej nowoczesnych, przyszłościowych, a zarazem najbardziej skutecznych sposobów eliminacji zagrożenia hałasem, wibracją i innymi czynnikami szkodliwymi (np. zapyleniem, wysoką temperaturą, urazami). Większość stosowanych w przemyśle kabin zapewnia redukcję hałasu rzędu 20÷50 dB w zakresie częstotliwości powyżej 500 Hz [5].

Konstruowanie i stosowanie cichobieżnych maszyn, urządzeń i narzędzi

Zmiany procesów technologicznych oraz wprowadzenie mechanizacji i automatyzacji wymagają dłuższych okresów realizacji i nie dają się stosować przy produkcji małoseryjnej lub nietypowej. Bardzo skuteczne wyciszenie źródeł hałasu można osiągnąć przez zmniejszenie hałaśliwości urządzeń i narzędzi.

Wyciszenie źródeł hałasu w maszynie (ograniczenie emisji dźwięku), [3,38] można osiągnąć przez  (6-3.fol.17):

- redukcję wymuszenia (tj. minimalizację sił wzbudzających drgania oraz ograniczenie ich widma), np. przez dokładne wyrównoważenie elementów maszyn, zmianę sztywności i struktury układu, zmianę oporów tarcia
- zmianę warunków aerodynamicznych i hydrodynamicznych (np. przez zmianę geometrii wlotu i wylotu mediów energetycznych i zmianę prędkości ich przepływu)
- redukcję współczynnika sprawności promieniowania (np. przez zmianę wymiarów elementów promieniujących energię wibroakustyczną, zmianę materiałów,

odizolowanie płyt w układzie).



Poprawne pod względem akustycznym rozplanowanie zakładu i zagospodarowanie pomieszczeń

Przy projektowaniu budynków zakładów przemysłowych należy kierować się następującymi zasadami [38]:

- budynki i pomieszczenia, w których jest wymagana cisza (np. laboratoria, biura konstrukcyjne, pomieszczenia pracy koncepcyjnej) powinny być oddzielone od budynków i pomieszczeń, w których odbywają się hałaśliwe procesy produkcyjne
- maszyny i urządzenia powinny być grupowane, o ile to jest możliwe w oddzielnych pomieszczeniach według stopnia ich hałaśliwości.

Hałas w danym pomieszczeniu może być potęgowany przez niewłaściwe zagospodarowanie pomieszczeń, w tym zbyt gęste rozmieszczenie maszyn. Najmniejsza zalecana odległość między maszynami powinna wynosić $2 \div 3$ m.

Tłumiki akustyczne

Zmniejszenie hałasu w przewodach, w których odbywa się przepływ powietrza lub gazu (instalacje wentylacyjne, układy wlotowe i wylotowe maszyn przepływowych, np. sprężarek, dmuchaw, turbin, silników spalinowych), można uzyskać przez zastosowanie tłumików akustycznych. Nowoczesne konstrukcje tłumików akustycznych nie powodują strat mocy maszyny. Polegają one na stworzeniu dużego oporu przepływowemu nieustalonym, powodującemu dużą hałaśliwość, przy równoczesnym przepuszczaniu bez dławienia strumieni ustalonych, dzięki którym odbywa się transport powietrza lub gazu. Do znanych tłumików tego typu należą tłumiki refleksyjne - czyli akustyczne filtry falowe oraz tłumiki absorpcyjne zawierające materiał dźwiękochłonny ( [6-3.fol.18](#) animacja:  [6-3.anim.18](#)), [1].

Tłumiki refleksyjne działają na zasadzie odbicia i interferencji fal akustycznych i odznaczają się dobrymi właściwościami tłumiącymi w zakresie małych i średnich częstotliwości. Stosowane są tam, gdzie występują duże prędkości przepływu i wysokie temperatury, a więc w silnikach spalinowych, dmuchawach, sprężarkach, niekiedy w wentylatorach.

Tłumiki absorpcyjne przeciwdziałają przenoszeniu energii akustycznej wzdłuż przewodu, przez pochłanianie znacznej jej części głównie przez materiał dźwiękochłonny. Tłumią przede wszystkim średnie i wysokie częstotliwości i znajdują szerokie zastosowanie w przewodach wentylacyjnych. W praktyce zachodzi często potrzeba stosowania tych dwóch typów tłumików łącznie, gdyż wiele przemysłowych źródeł hałasu emituje energię w szerokim pasmie częstotliwości obejmującym zakres infradźwiękowy i słyszalny.

Odrębną grupę tłumików, w stosunku do tłumików refleksyjnych i absorpcyjnych, zwanych często tłumikami reaktywnymi, stanowią tzw. tłumiki aktywne (omówione dalej).

Obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne

Wyciszenie źródła hałasu można osiągnąć przez obudowanie całości lub części hałaśliwej maszyny. Obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne maszyn powinny możliwie najskuteczniej tłumić fale dźwiękowe emitowane przez źródło hałasu, przy czym nie powinny one stanowić przeszkody w normalnej pracy i obsłudze zamkniętych w niej maszyn.

Typowe, najczęściej stosowane obudowy mają ścianki dźwiękochłonno-izolacyjne

wykonane z blachy stalowej wyłożonej od wewnątrz masami tłumiącymi lub materiałami dźwiękochłonnymi. Stosowane bywają również obudowy o ściankach wielowarstwowych.



Prawidłowo wykonane obudowy mogą zmniejszać poziom dźwięku A o $10 \div 25$ dB. W przypadku obudowy częściowej, jej skuteczność jest znacznie mniejsza i wynosi ok. 5 dB.

Zastosowanie otworów wentylacyjnych i innych otworów, koniecznych ze względów technologicznych, zmniejsza skuteczność obudowy. Konieczne jest wtedy zastosowanie w otworze wentylacyjnym odpowiedniego tłumika akustycznego, np. w postaci kanału wyłożonego materiałem dźwiękochłonnym [38].

Ekran dźwiękochłonna-izolacyjny

Ekran dźwiękochłonna-izolacyjny stosuje się jako osłony danego stanowiska pracy, w celu tłumienia hałasu emitowanego na to stanowisko przez inne maszyny i z danego stanowiska na zewnątrz. W celu uzyskania maksymalnej skuteczności, ekran należy umieszczać jak najbliżej źródła hałasu lub miejsca pracy.

Zasadniczymi elementami ekranu są: warstwa izolacyjna w środku (najczęściej blacha o odpowiedniej grubości) oraz zewnętrzne warstwy dźwiękochłonne (płyty z wełny mineralnej lub szklanej osłonięte blachą perforowaną).

Stosując ekran w pomieszczeniu zamkniętym, należy wkomponować go w cały układ akustyczny, aby współdziałał z innymi elementami wytłumiania energii fal odbitych (materiałami i urządzeniami dźwiękochłonnymi). Skuteczność poprawnie zastosowanych ekranów dźwiękochłonna-izolacyjnych ocenia się na $5 \div 15$ dB w odległości ok. 1,5 m za ekranem na osi prostopadłej do jego powierzchni ( [6-3.fol.19](#),  [6-3.fol.20](#))


(animacje:  [6-3.anim.19a](#),  [6-3.anim.19b](#),  [6-3.anim.19c](#),  [6-3.anim.19d](#)).

Materiały i urządzenia dźwiękochłonne

Materiały i urządzenia dźwiękochłonne stosowane na ścianach i stropie pomieszczenia zwiększają jego chłonność akustyczną [38]. W ten sposób uzyskuje się zmniejszenie poziomu dźwięku fal odbitych, co prowadzi do zmniejszenia ogólnego poziomu hałasu panującego w danym pomieszczeniu.

Najczęściej stosowanymi materiałami dźwiękochłonnymi są materiały porowate, do których zalicza się: materiały tekstylne, wełny i maty z wełny mineralnej i szklanej, płyty i wyprawy porowate ścian, płyty i maty porowate z tworzyw sztucznych, tworzywa natryskiwane pod ciśnieniem.

Wyboru materiału lub urządzenia dźwiękochłonnego należy dokonać tak, aby maksymalne współczynniki pochłaniania dźwięku wypadły w takich zakresach częstotliwości, w których występują maksymalne składowe widma hałasu.

Jak wykazuje praktyka, dobre efekty wytłumienia (zmniejszenie poziomu hałasu o $3 \div 7$ dB),  ([6-3.fol.21](#)) można uzyskać jedynie w pomieszczeniach, w których pierwotne pochłanianie jest niewielkie.


Obecnie na rynku dostępne są gotowe układy dźwiękochłonne, takie jak: sufity oraz ścianki działowe, panelowe i osłonowe, produkcji krajowej i zagranicznej.

Ochronniki słuchu

Stosowanie ochronników słuchu jest koniecznym, uzupełniającym środkiem redukcji hałasu tam, gdzie narażenia na hałas nie można wyeliminować innymi środkami technicznymi (z priorytetem środków redukcji hałasu u źródła).

Ochronniki słuchu stosuje się również wówczas, kiedy dany hałas występuje rzadko lub też pracownik obsługujący hałaśliwe urządzenie musi jedynie okresowo wchodzić do pomieszczenia, w którym się ono znajduje.

Ochronniki słuchu spełniają swoje zadanie ochrony narządu słuchu przed nadmiernym hałasem, jeżeli równoważny poziom dźwięku A pod ochronnikiem osiągnie wartość mniejszą od wartości dopuszczalnej (85 dB).

Ze względu na konstrukcję, ochronniki słuchu dzieli się na: wkładki przeciwhałasowe (jednorazowego lub wielokrotnego użytku), nauszники przeciwhałasowe (z nagłówną sprężyną dociskową lub nahałmowe),  (6-3.fol.22) oraz hełmy przeciwhałasowe.

Przy doborze ochronników do konkretnych warunków akustycznych, trzeba ocenić czy rozpatrywany ochronnik będzie w tym przypadku właściwie chronić narząd słuchu. Dobór ochronników słuchu dla określonych stanowisk pracy, przeprowadza się na podstawie pomiarów poziomów ciśnienia akustycznego w oktawowych pasmach częstotliwości lub poziomów dźwięku A i C oraz parametrów ochronnych ochronników słuchu, mających certyfikat upoważniający do oznaczania znakiem bezpieczeństwa B.

Aktywne metody ograniczania hałasu

Hałasem szczególnie trudnym do ograniczania jest hałas niskoczęstotliwościowy. Znane i od lat stosowane tradycyjne (pasywne) metody redukcji hałasu w zakresie częstotliwości poniżej 500 Hz, są mało skuteczne i bardzo kosztowne. W ostatnich latach coraz częściej stosuje się tzw. metody aktywne (czynne), które odgrywają coraz większą rolę wśród technicznych sposobów ograniczania hałasu. Cechą charakterystyczną tych metod jest kompensowanie hałasu dźwiękami z dodatkowych, zewnętrznych źródeł energii.

Ogólna zasada aktywnej kompensacji parametrów pola akustycznego jest następująca:

- źródło pierwotne, zwane źródłem kompensowanym, wytwarza falę akustyczną nazywaną falą pierwotną lub kompensowaną
- źródło wtórne, zwane źródłem kompensującym, wytwarza falę wtórną - kompensującą.


W określonym punkcie przestrzeni, w którym obserwujemy efekt aktywnej kompensacji dźwięku, następuje destrukcyjna interferencja obu fal.

W idealnym przypadku pełna redukcja fali kompensowanej w punkcie obserwacji wystąpi wówczas, gdy fala kompensująca będzie stanowiła idealne odwrócenie fali kompensowanej.


Najczęściej stosowane w praktyce układy aktywnej redukcji hałasu, to aktywne tłumiki hałasu maszyn przepływowych i silników spalinowych (osiągane tłumienie wynosi $15 \div 30$ dB dla częstotliwości do 600 Hz). Liczną grupę zastosowań stanowią również aktywne ochronniki słuchu. Układ aktywny umożliwia poprawę skuteczności tłumienia hałasu przez ochronniki o $10 \div 15$ dB w zakresie częstotliwości 50 do 300 Hz [\[1\]](#).

6-3.2. Hałas infradźwiękowy



6-3.2.1. Charakterystyka czynnika

Jak już powiedziano hałasem infradźwiękowym przyjęto nazywać hałas, w którego widmie występują składowe o częstotliwościach infradźwiękowych od 2 do 16 Hz i o częstotliwościach słyszalnych do 50 Hz  (6-3.fol.23). Obecnie w literaturze coraz powszechniej używa się pojęcia hałas niskoczęstotliwościowy, które obejmuje zakres częstotliwości od około 10 Hz do 250 Hz.


Infradźwięki wchodzące w skład hałasu infradźwiękowego, wbrew powszechnemu mniemaniu o ich niesłyszalności, są odbierane w organizmie specyficzną drogą słuchową (głównie przez narząd słuchu). Słyszalność ich zależy od poziomu ciśnienia akustycznego. Stwierdzono jednak dużą zmienność osobniczą w zakresie percepcji słuchowej, szczególnie dla najniższych częstotliwości. Progi słyszenia infradźwięków są tym wyższe, im niższa jest ich częstotliwość i wynoszą na przykład: dla częstotliwości 6 ÷ 8 Hz około 100 dB, a dla częstotliwości 12 ÷ 16 Hz około 90 dB.


Poza specyficzną drogą słuchową infradźwięki są odbierane przez receptory czucia wibracji  (6-3.fol.24). Progi tej percepcji znajdują się o 20 ÷ 30 dB wyżej niż progi słyszenia.

Gdy poziom ciśnienia akustycznego przekracza wartość 140 dB, infradźwięki mogą powodować trwałe, szkodliwe zmiany w organizmie. Możliwe jest występowanie zjawiska rezonansu struktur i narządów wewnętrznych organizmu, subiektywnie odczuwane już od 100 dB jako nieprzyjemne uczucie wewnętrznego wibrowania. Jest to obok ucisku w uszach jeden z najbardziej typowych objawów stwierdzonych przez osoby narażone na infradźwięki. Jednak dominującym efektem wpływu infradźwięków na organizm w ekspozycji zawodowej, jest ich działanie uciążliwe, występujące już przy niewielkich przekroczeniach progu słyszenia. Działanie to charakteryzuje się subiektywnie określonymi stanami nadmiernego zmęczenia, dyskomfortu, senności, zaburzeniami równowagi, sprawności psychomotorycznej oraz zaburzeniami funkcji fizjologicznych. Obiektywnym potwierdzeniem tych stanów są zmiany w ośrodkowym układzie nerwowym, charakterystyczne dla obniżenia stanu czuwania (co jest szczególnie niebezpieczne np. u operatorów maszyn i pojazdów).


Głównym źródłem hałasu infradźwiękowego w środowisku pracy są: maszyny przepływowe niskoobrotowe (sprężarki, wentylatory, silniki), urządzenia energetyczne (młyny, kotły, kominy), piece hutnicze (zwłaszcza piece elektryczne łukowe) oraz urządzenia odlewnicze (formierki, kraty wstrząsowe),  6-3.fol.25,  6-3.fol.26).

6-3.2.2. Wartości dopuszczalne i metody pomiaru

Według rozporządzenia MPiPS w sprawie NDS i NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [16], hałas infradźwiękowy na stanowiskach pracy jest charakteryzowany przez poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych o częstotliwościach środkowych 8, 16 i 31,5 Hz. Ze względu na ochronę zdrowia pracowników poziomy te nie mogą przekraczać wartości podanych w tabeli 3  (6-3.fol.27a).

W przypadku stanowisk pracy młodocianych i kobiet w ciąży obowiązują niższe wartości dopuszczalne podane w tabeli 4  (6-3.fol.27b).

Ze względu na możliwość wykonywania przez pracownika podstawowych zadań (kryterium uciążliwości hałasu infradźwiękowego) zgodnie z PN-N-01338:1986 [25]

poziomy ciśnienia akustycznego w oktaowych pasmach częstotliwości nie mogą przekraczać wartości podanych w tabeli 5  (6-3.fol.28).

Metody pomiaru wielkości charakteryzujących hałas infradźwiękowy są określone w PN-N-01338:1986. Pomiar można wykonywać metodą bezpośrednią (z zastosowaniem przenośnego analizatora częstotliwości) lub metodą pośrednią (polegającą na zarejestrowaniu hałasu w warunkach przemysłowych i dokonaniu analizy częstotliwościowej w laboratorium).

Obecnie, zgodnie z normą międzynarodową ISO 7196:1995 [40], zaleca się również wykonywanie pomiarów poziomu dźwięku G, tj. poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego wg charakterystyki częstotliwościowej G. Charakterystyka G odpowiada w przybliżeniu progowi percepcji słuchowej infradźwięków i - jak wykazują badania doświadczalne - dobrze koreluje z subiektywną oceną uciążliwości infradźwięków.

W świetle zaleceń międzynarodowych zawartych w normach ISO 7196:1995, ISO 9612:1997 i propozycji American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) oraz stosownie do postępu wiedzy w zakresie oddziaływania hałasu infradźwiękowego na organizm człowieka i rozwoju technik pomiarowych, prowadzone są obecnie prace nad weryfikacją ustalonych w kraju wartości NDN hałasu infradźwiękowego oraz metod ich pomiaru.

6-3.2.3. Metody ograniczania narażenia

W profilaktyce szkodliwego działania hałasu infradźwiękowego obowiązują takie same wymagania i zasady, jak w przypadku hałasu. Jednakże ochrona przed infradźwiękami jest skomplikowana ze względu na znaczne długości fal infradźwiękowych (20 ÷ 170 m), dla których tradycyjne ściany, przegrody, ekrany i pochłaniacze akustyczne są mało skuteczne. W niektórych przypadkach fale infradźwiękowe są wzmacniane na skutek rezonansu pomieszczeń, elementów konstrukcyjnych budynków lub całych obiektów.

Najlepszą ochronę przed szkodliwym działaniem infradźwięków stanowi ich zwalczanie u źródła powstawania, a więc w maszynach i urządzeniach.

Do innych rozwiązań zaliczyć można  (6-3.fol.29):


- stosowanie tłumików hałasu na wlotach i wylotach powietrza (lub gazu) maszyn przepływowych
- właściwe fundamentowanie (z wibroizolacją) maszyn i urządzeń
- usztywnianie konstrukcji ścian i budynków w przypadku ich rezonansów
- stosowanie dźwiękoszczelnych kabin o ciężkiej konstrukcji (murowanych) dla operatorów maszyn i urządzeń
- stosowanie aktywnych metod redukcji hałasu (związanych z aktywnym pochłanianiem i kompensacją dźwięku).

6-3.3. Hałas ultradźwiękowy

6-3.3.1. Charakterystyka czynnika



Hałasem ultradźwiękowym przyjęto nazywać hałas, w którego widmie występują składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych i niskich ultradźwiękowych - od 10

do 100 kHz ( [6-3.fol.30](#),  [6-3.fol.31](#)).

Ultradźwięki wchodzące w skład hałasu ultradźwiękowego mogą wnikać do organizmu przez narząd słuchu oraz przez całą powierzchnię ciała  ([6-3.fol.32](#)). Badania wpływu hałasu ultradźwiękowego na stan narządu słuchu są utrudnione, ponieważ w warunkach przemysłowych ultradźwiękom towarzyszy zazwyczaj hałas słyszalny i trudno jest określić, czy zmiany słuchu osób badanych występują na skutek oddziaływania tylko składowych słyszalnych lub tylko ultradźwiękowych, czy też na skutek jednoczesnego działania obu tych składników. Niemniej jednak, coraz szerzej rozpowszechniony jest pogląd, że na skutek zjawisk nieliniowych zachodzących w samym uchu, pod wpływem działania ultradźwięków powstają składowe subharmoniczne o poziomach ciśnienia akustycznego często tego samego rzędu, co podstawowa składowa ultradźwiękowa. W następstwie tego zjawiska dochodzi do ubytków słuchu właśnie dla częstotliwości subharmonicznych ultradźwięków.

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.


Badania oddziaływań pozasłuchowych wykazały, że ekspozycja zawodowa na hałas ultradźwiękowy o poziomach ponad 80 dB w zakresie wysokich częstotliwości słyszalnych i ponad 100 dB w zakresie niskich częstotliwości ultradźwiękowych, wywołuje zmiany o charakterze wegetatywno-naczyniowym.


Głównymi źródłami hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy są tzw. technologiczne urządzenia ultradźwiękowe niskich częstotliwości, w których ultradźwięki są wytwarzane celowo jako czynnik niezbędny do realizacji określonych procesów technologicznych  ([6-3.fol.33](#)). Do urządzeń tych zalicza się myjki ultradźwiękowe, zgrzewarki ultradźwiękowe, a także drążarki i lutownice ultradźwiękowe. Spośród wymienionych urządzeń najpowszechniej stosowane są myjki, gdyż proces oczyszczania ultradźwiękowego jest znacznie dokładniejszy i szybszy niż proces mycia tradycyjnego  ([6-3.fol.34](#)).

Hałas ultradźwiękowy mogą również emitować do otoczenia maszyny wysokoobrotowe, takie jak: obrabiarki do metalu, niektóre maszyny włókiennicze, a także urządzenia pneumatyczne, w których główną przyczyną generacji hałasu ultradźwiękowego jest wpływ sprężonych gazów.

6-3.3.2. Wartości dopuszczalne i metody pomiaru

Według rozporządzenia MPiPS w sprawie NDS i NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy jest charakteryzowany przez poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercyjnych o częstotliwościach środkowych od 10 do 100 kHz.

Wartości dopuszczalne ustalone ze względu na ochronę zdrowia pracowników nie mogą przekraczać wartości podanych w tab. 6  ([6-3.fol.35a](#))

Na stanowiskach pracy młodocianych i kobiet w ciąży obowiązują niższe wartości dopuszczalne, podane w tab. 7  ([6-3.fol.35b](#)).

Metody pomiaru hałasu ultradźwiękowego są określone w PN-N-01321:1986 [\[26\]](#). Pomiar należy wykonywać za pomocą analizatora częstotliwości wyposażonego w



filtry tercjowe o częstotliwościach środkowych od 10 do 100 kHz. Mając na uwadze aktualne zalecenia międzynarodowe (norma ISO 9612: 1997 i propozycja ACGIH), podjęto w kraju prace nad weryfikacją ustalonych wartości NDN hałasu ultradźwiękowego oraz metod ich pomiaru.

6-3.3.3. Metody ograniczania narażenia

W profilaktyce szkodliwego działania hałasu ultradźwiękowego obowiązują takie same wymagania i zasady, jak w przypadku hałasu. Przy narażeniu na hałas ultradźwiękowy należy jednak zwiększyć częstotliwość badań lekarskich, tzn. wykonywać je co 2 lata.

Ze względu na krótkofalowość ultradźwięków rozchodzących się w powietrzu (długości fal od 3 mm do 2 cm), stosunkowo łatwo jest ograniczyć ich szkodliwe oddziaływanie na człowieka, np. przez hermetyzację i obudowanie źródeł oraz stosowanie środków ochrony indywidualnej skutecznych dla hałasu wysokoczęstotliwościowego.

6-3.4. Załącznik

Podstawowe pojęcia i wielkości opisujące hałas - definicje ( [6-3.fol.4](#),  [6-3.fol.5](#))

1. **Poziom ciśnienia akustycznego** L , w dB, jest określany wzorem:

$$L = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2}$$

gdzie:

p - ciśnienie akustyczne, w Pa,

p_0 - progowe ciśnienie akustyczne zwane ciśnieniem odniesienia i równe $20 \mu\text{Pa}$; jest to wartość umowna odpowiadająca ciśnieniu akustycznemu dla tonu (drżania sinusoidalnego) o częstotliwości 1000 Hz, przy którym powstaje wrażenie słuchowe tzw. próg słyszenia dla tonu o częstotliwości 1000 Hz.

Poziom ciśnienia akustycznego powinien być mierzony za pomocą znormalizowanego miernika poziomu dźwięku. Powinna być podana charakterystyka częstotliwościowa (A lub C) lub szerokość zastosowanego pasma częstotliwości oraz charakterystyka dynamiczna (czasowa) miernika (S, F, I lub peak).

2. **Poziom dźwięku A** L_A , w dB - poziom ciśnienia akustycznego, skorygowany według charakterystyki częstotliwościowej A.
3. **Poziom dźwięku C** L_C , w dB - poziom ciśnienia akustycznego skorygowany według charakterystyki częstotliwościowej C.
4. **Maksymalny poziom dźwięku A** L_{Amax} , w dB - maksymalna wartość skuteczna poziomu dźwięku A, występująca w czasie obserwacji.
5. **Szczytowy poziom dźwięku C** L_{Cpeak} , w dB - maksymalna wartość chwilowa poziomu dźwięku C, występująca w czasie obserwacji.
6. **Równoważny (uśredniony w czasie) poziom dźwięku A** (wielkość stosowana do scharakteryzowania hałasu zmieniającego się w czasie lub zmiennej ekspozycji na hałas), L_{Aeq}, T_e , w dB - średnia wartość poziomu dźwięku A zmiennego w czasie, przy

której reakcja narządu słuchu jest taka sama jak reakcja na działanie hałasu o stałym poziomie, w równoważnym przedziale czasu. Jest on określany wzorem:

$$L_{Aeq,Te} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right]$$

gdzie:

T_e - czas ekspozycji, w s,
 p_A - wartość chwilowa ciśnienia akustycznego, skorygowana wg charakterystyki częstotliwościowej A, w Pa

7. **Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy** $L_{EX,8h}$, w dB - równoważny poziom dźwięku A wyznaczony dla czasu ekspozycji na hałas równego znormalizowanemu czasowi pracy, 8h.

Jest on określany wzorem:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,Te} + 10 \lg \frac{T_e}{T_0}$$

gdzie:

$L_{Aeq,Te}$ - równoważny poziom dźwięku A wyznaczony dla czasu ekspozycji T_e , w dB
 T_e - czas ekspozycji, w s,
 T_0 - czas odniesienia = 8h = 28800 s.

8. **Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy**, (wielkość wyznaczana w przypadku hałasu oddziałującego na organizm człowieka w sposób nierównomierny, w poszczególnych dniach w tygodniu) $L_{EX,w}$, w dB - równoważny poziom dźwięku A wyznaczony dla tygodnia pracy i określany wzorem:

$$L_{EX,w} = 10 \lg \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{EX,i})} \right]$$

gdzie:

i - kolejny dzień roboczy w rozważanym tygodniu,
 n - liczba dni roboczych w rozważanym tygodniu (może być różna od 5).

9. **Ekspozycja na hałas** (wielkość charakteryzująca całkowity hałas dochodzący do ucha pracownika w określonym czasie), $E_{A,Te}$, w $\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$, jest określana wzorem:

$$E_{A,Te} = \int_0^{T_e} p_A^2(t) dt$$

gdzie:

p_A - wartość chwilowa ciśnienia akustycznego, skorygowana wg charakterystyki częstotliwościowej A, w Pa,
 T_e - czas ekspozycji, w s, w ciągu dnia roboczego lub określonego dłuższego okresu, np. tygodnia pracy.

Jeśli czas ekspozycji T_e jest równy 8h, $E_{A,Te} = E_{A,8h}$

Zależność między ekspozycją na hałas $E_{A,Te}$, a poziomem ekspozycji $L_{EX,8h}$ (odniesionym do 8-godzinnego dnia pracy), jest określana wzorem :

$$E_{A,Te} = 1.15 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,1 L_{EX,8h}}$$

10. **Tygodniowa ekspozycja na hałas** $E_{A,W}$, w $\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$, jest określana wzorem:

$$E_{A,W} = \sum_{i=1}^n (E_{A,Te})_i$$

gdzie:

i - kolejny dzień roboczy w rozważanym tygodniu,
 n - liczba dni roboczych w rozważanym tygodniu (może być różna od 5).

11. **Hałas ustalony** - hałas, którego poziom dźwięku A w określonym miejscu, mierzony przy włączonej charakterystyce dynamicznej (czasowej) S miernika poziomu dźwięku, zmienia się podczas obserwacji nie więcej niż o 5 dB.
12. **Hałas nieustalony** - hałas, którego poziom dźwięku A w określonym miejscu, mierzony przy włączonej charakterystyce dynamicznej (czasowej) S miernika poziomu dźwięku, zmienia się podczas obserwacji więcej niż o 5 dB.
13. **Hałas impulsowy** - hałas składający się z jednego lub wielu zdarzeń dźwiękowych każde o czasie trwania mniejszym niż 1 s.
14. **Poziom mocy akustycznej** L_W , w dB jest określany wzorem:

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0}$$

gdzie:

W - moc akustyczna promieniowana przez źródło hałasu, w watach
 W_0 - moc akustyczna odniesienia = 1 pW (10^{-12} W)

Poziom mocy akustycznej wyznacza się na podstawie pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego lub natężenia dźwięku. Powinna być podana charakterystyka częstotliwościowa (A) lub szerokość, zastosowanego pasma częstotliwości.

UWAGA: Na przykład poziom mocy akustycznej skorygowany wg charakterystyki częstotliwościowej A oznacza się L_{WA} .

15. **Poziom natężenia dźwięku** L_i , w dB, jest określany wzorem:

$$L_i = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

gdzie:

I - natężenie dźwięku, w W/m^2
 I_0 - natężenie dźwięku odniesienia = 10^{-12} W/m^2

Między natężeniem dźwięku I , w W/m^2 , a ciśnieniem akustycznym p (w polu swobodnym tj. bez odbić dźwięku, w dostatecznie dużej odległości od źródła) istnieje następujący związek:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c},$$

gdzie:

ρ - gęstość ośrodka, w kg/m^3

c - prędkość dźwięku, w m/s (w powietrzu o temperaturze 20°C i przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym prędkość ta wynosi 340 m/s).

16. **Poziom ciśnienia akustycznego emisji** L_p , w dB - poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy lub w innych określonych miejscach pochodzącego z badanego źródła dźwięku. Stanowi on dodatkową wielkość opisującą emisję dźwięku ze źródła (patrz normy serii PN EN ISO 11200) [32 ÷ 36]. Powinna być podana charakterystyka częstotliwościowa i/lub charakterystyka czasowa lub szerokość zastosowanego pasma częstotliwości.

UWAGI: Na przykład szczytowy poziom ciśnienia akustycznego emisji, skorygowany wg charakterystyki częstotliwościowej C oznacza się $L_{pC, \text{peak}}$.

Poziom ciśnienia akustycznego emisji, skorygowany wg charakterystyki częstotliwościowej A, często jest uśredniony w czasie pracy źródła; oznacza się go L_{pA} .

6-3.5. Literatura

1. Augustyńska D., Engel Z., Makarewicz G., Zawieska M.: *Hałas*. W: Bezpieczeństwo pracy i ergonomia. Red. D. Koradecka, T.1. Warszawa, CIOP 1999, s. 373-400.
2. *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy - wartości dopuszczalne*. Red. D. Augustyńska i M. Pośniak. Warszawa, CIOP 1999.
3. Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. Warszawa, Wyd. Nauk. PWN 1993.
4. Grzesik J.: *Lekarska profilaktyka zawodowych uszkodzeń słuchu*. Sosnowiec, Wyd. IMPiZŚ 1994.
5. Kaczmarska A., Augustyńska D.: *Ograniczanie hałasu niskoczęstotliwościowego w kabinach przemysłowych*. Warszawa, CIOP 1999.
6. Kotarbińska E., Trynkowska D.: *Środki ochrony indywidualnej*. W: *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*. Red. D. Koradecka T.2. Warszawa, CIOP 1999, s. 1096-1105.
7. Lipowczan A.: *Hałas a środowisko*. T.VIII. Biblioteka Fundacji Ekologicznej. Katowice, Silesia 1995.
8. Makarewicz R.: *Hałas w środowisku*. Poznań, Ośrodek Wydawnictw Naukowych 1996.
9. *Ochrona przed hałasem i drganiami w środowisku pracy*. Red. D. Augustyńska i W. M. Zawieska. Warszawa, CIOP 1999.
10. *Ocena ryzyka zawodowego na stanowiskach pracy*. Red. W. M. Zawieska. Warszawa, CIOP 1999.
11. *Wytyczne projektowania ochrony przeciwhałasowej stanowisk pracy w halach przemysłowych*. Warszawa, CIOP 1993.
12. Dyrektywa 86/188/EWG z dnia 11 maja 1986 r. dotycząca ochrony pracowników przed zagrożeniami związanymi z narażeniem na hałas w środowisku pracy. W: Dyrektywy Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej dotyczące ochrony pracy. T1. Warszawa, CIOP 1992.
13. Directive 98/37/EC of the European Parliament and of the Council of 22 June 1998 on the approximation of the laws of the Member States relating to machinery, Official Journal of the European Communities, L 207, 23.07.1998.
14. Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 - Kodeks pracy (tekst jedn. Dz. U. 1998 nr 21, poz. 94).

15. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. nr 129, poz.844).
16. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 17 czerwca 1998 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. (Dz. U. nr 79, poz. 513).
17. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 1 grudnia 1990 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym. (Dz. U. nr 85, poz. 500; Dz. U. 1991, nr 1, poz.1, Dz. U. 1998, nr 105 poz. 658).
18. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. (Dz. U. nr 114, poz. 545).
19. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 9 lipca 1996 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. (Dz. U. nr 86 poz. 394).
20. 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. nr 69, poz. 332).
21. Zarządzenie Dyrektora Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji z dnia 28 marca 1997 r., zmieniające zarządzenie w sprawie ustalenia wykazu wyrobów podlegających obowiązkowi zgłaszania do certyfikacji na znak bezpieczeństwa i oznaczania tym znakiem (M. Pol. nr 22, poz. 216).
22. *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents*. ACGIH, 1998.
23. *Wytyczne metrologiczne w sprawie rozpoznawania chorób zawodowych*. MZiOS, Departament Inspekcji Sanitarnej. Warszawa, PZWL 1987.
24. PN-N-01307:1994. *Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.*
25. PN-N-01338:1986 (PN-86/N-01338) *Hałas infradźwiękowy. Dopuszczalne wartości poziomów ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.*
26. PN-N-01321:1986 (PN-86/N-01321) *Hałas ultradźwiękowy. Dopuszczalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.*
27. PN-EN ISO 3743-1:1998 *Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu - Metody dotyczące małych, przenośnych źródeł w polach pogłosowych - Metoda porównawcza w pomieszczeniach pomiarowych o ścianach odbijających dźwięk.*
28. PN-EN ISO 3743-2:1998 *Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie ciśnienia akustycznego - Metody techniczne dotyczące małych, przenośnych źródeł w polach pogłosowych - Metody w specjalnych pomieszczeniach pogłosowych.*
29. PN-EN ISO 3744:1999 *Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego - Metoda techniczna w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk.*
30. PN-EN ISO 3746:1999 *Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego - Metoda orientacyjna z zastosowaniem otaczającej powierzchni pomiarowej nad płaszczyzną odbijającą dźwięk.*
31. PN-EN ISO 9614-1:1999 *Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie natężenia dźwięku - Metoda stałych punktów pomiarowych.*
32. PN-EN ISO 9614-2:2000 *Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie natężenia dźwięku - Metoda skanowania.*
33. PN-EN ISO 11200:1999 *Akustyka - Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia - Wytyczne stosowania podstawowych norm dotyczących wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych określonych miejscach.*
34. PN-EN ISO 11201:1999 *Akustyka - Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia - Pomiar poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych*

określonych miejscach metodą techniczną w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk.

35. PN-EN ISO11202:1999 *Akustyka - Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia - Pomiar poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych określonych miejscach, metodą orientacyjną w warunkach in situ.*
36. PN-EN ISO11203:1999 *Akustyka - Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia - Wyznaczanie poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych określonych miejscach na podstawie poziomu mocy akustycznej.*
37. PN-EN ISO11204:1999 *Akustyka - Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia - Pomiar poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowiskach pracy i w innych określonych miejscach, metodą wymagającą poprawek środowiskowych.*
38. PN-EN ISO 116900-1,2:2000 *Akustyka - Zalecany sposób postępowania przy projektowaniu miejsc pracy o ograniczonym hałasie, wyposażonych w maszyny.*
39. ISO 1999:1975 (first edition), 1990 (second edition) *Acoustics - Determination of occupational noise exposure and estimation of noise - induced hearing impairment.*
40. ISO 7196:1995 *Acoustics - Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements.*
41. ISO 9612:1997 *Acoustics - Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment.*
42. IEC 804:1985 *Integrating - averaging sound level meters.*
43. IEC 1252:1993 *Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters.*