

Pomiar i ocena wielkości charakteryzujących hałas w środowisku - ocena ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na hałas

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 stosuje się w celu określania wielkości charakteryzujących emisję hałasu maszyn, rozpatrywanych jako oddzielne źródła hałasu w ustalonych warunkach doświadczalnych i eksploatacyjnych. Zgodnie z dyrektywami europejskimi wielkościami tymi są: poziom mocy akustycznej lub poziom ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy maszyny lub w innych określonych miejscach. Wybór wielkości zależy od wartości emisji hałasu. Poziom mocy akustycznej powinien być podany, gdy uśredniony poziom ciśnienia akustycznego emisji skorygowany charakterystyką częstotliwościową A (zwany równoważnym poziomem dźwięku A) na stanowisku pracy maszyny przekracza 85 dB.

Metody pomiarów i oceny hałasu w miejscach przebywania ludzi stosuje się w celu ustalenia stanu narażenia na hałas 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.

Metoda pomiaru wielkości charakteryzujących hałas w środowisku pracy są określane w normach: PN-EN ISO 9612:2009, PN-N-01307:1994 i PN-ISO 1999:2000.

Do pomiaru wielkości charakteryzujących wszystkie rodzaje hałasu (ustalonego, nieustalonego i impulsowego) powinny być stosowane dozymetry hałasu lub całkujące mierniki poziomu dźwięku klasy dokładności 1 lub 2, spełniającej wymagania normy PN-IEC EN 61672-1:2005 i PN-EN IEC 61252:2000).

Pomiary wielkości charakteryzujących hałas mogą być wykonywane w ciągu dnia roboczego w wybranych okresach typowej ekspozycji (metodą próbkowania) lub podczas wykonywania określonych zadań i czynności.

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

Ocenę narażenia na hałas i ocenę ryzyka zawodowego związanego z tym narażeniem przeprowadza się

na podstawie porównania wyników pomiarów wielkości charakteryzujących hałas z wartościami najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) i wartościami progów działania, przy których pracodawca jest zobowiązany podjąć określone działania prewencyjne.

Wartości dopuszczalne hałasu w środowisku pracy (wartości NDN), ustalone ze względu na ochronę słuchu, określa rozporządzenie ministra pracy i polityki społecznej.

Wartości te wynoszą:

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ($L_{EX,8h}$) nie powinien przekraczać 85 dB, a odpowiadająca mu ekspozycja dzienna nie powinna przekraczać $3,64 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$; lub - wyjątkowo w przypadku hałasu oddziałującego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu - poziom ekspozycji na hałas odniesiony do przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu 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.

Wartości progów działania określa rozporządzenie ministra gospodarki i pracy w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażaniem na hałas lub drgania mechaniczne. Wartości te wynoszą:

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub poziomu ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy - 80 dB;
- szczytowy poziom dźwięku C - 135 dB.

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 - $L_{EX,8h} = 65 \text{ dB}$).

Stan narażenia i źródła hałasu w środowisku pracy

Według danych GUS blisko 40% pracowników zatrudnionych w Polsce w warunkach zagrożenia czynnikami szkodliwymi i uciążliwymi pracuje w hałasie ponadnormatywnym - o poziomie ekspozycji powyżej 85 dB (dane te nie są pełne, gdyż badania GUS obejmują w przedsiębiorstwach o liczbie zatrudnionych powyżej 9).

Najbardziej narażeni są pracownicy zatrudnieni w zakładach zajmujących się następującymi rodzajami działalności (określonymi według Europejskiej Klasyfikacji Działalności); działalnością produkcyjną

(zwłaszcza produkcją metali, drewna i wyrobów z metali), górnictwem , 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:

- 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), skręćarki (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)

Wpływ hałasu na organizm człowieka i jego skutki

Ujemne oddziaływanie hałasu na organizm człowieka w warunkach narażenia zawodowego można podzielić na dwa rodzaje:

- wpływ hałasu na narząd słuchu
- pozasłuchowe działanie hałasu na organizm (w tym na podstawowe układy i narządy oraz zmysły człowieka).

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

Tabela - Ryzyko utraty słuchu w zależności od równoważnego poziomu dźwięku A i czasu narażenia (ISO 1999:1975)

Równoważny poziom dźwięku A, dB	Ryzyko utraty słuchu, %							
	Czas narażenia, lata							
	5	10	15	20	25	30	35	40
mniejsze od 80	0	0	0	0	0	0	0	0
85	1	3	5	6	7	8	9	10
90	4	10	14	16	16	18	20	21
95	7	17	24	28	29	31	32	29
100	12	29	37	42	43	44	44	41
105	18	42	53	58	60	62	61	54
110	26	55	71	78	78	77	72	62
115	36	71	83	87	84	81	75	64

- długi czas działania hałasu; skutki działania hałasu kumulują się w czasie; zależą one od dawki energii akustycznej, przekazanej do organizmu w określonym przedziale czasu,
- 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 wnikanii 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.

Skutki wpływu hałasu na organ słuchu dzieli się na:

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

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

Obustronny trwały odbiorczy ubytek słuchu typu ślimakowego lub czuciowo-nerwowego spowodowany hałasem, wyrażony podwyższeniem progu słyszenia o wielkości co najmniej 45dB w uchu lepiej słyszącym, obliczony jako średnia arytmetyczna dla częstotliwości audiometrycznych 1, 2 i 3 kHz, stanowią kryterium rozpoznania i orzeczenia zawodowego uszkodzenia słuchu, jako choroby zawodowej. Obustronny trwały ubytek słuchu typu ślimakowego - trwałe, nie dające się rehabilitować inwalidztwo - znajduje się od lat na czołowym miejscu na liście chorób zawodowych.

Pozasłuchowe skutki działania hałasu nie są jeszcze w pełni rozpoznane. 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

Metody i środki ochrony przed hałasem

Zgodnie z przepisami europejskimi (dyrektywa 2003/10/WE) i krajowymi, pracodawca eliminuje u źródła ryzyko zawodowe związane z narażeniem na hałas albo organicza je do możliwie najniższego poziomu, uwzględniając dostępne rozwiązania techniczne oraz postęp naukowo-techniczny.

W przypadku osiągnięcia lub przekroczenia wartości NDN pracodawca sporządza i wprowadza w życie program działań organizacyjno-technicznych zmierzających do ograniczenia narażenia na hałas. Program powinien uwzględniać w szczególności:

- unikanie procesów lub metod pracy powodujących narażenie na hałas i zastępowanie ich innymi, stwarzającymi mniejsze narażenie
- dobieranie środków pracy o możliwie najmniejszym poziomie emisji hałasu
- ograniczanie narażenia na hałas takimi środkami technicznymi, jak: obudowy dźwiękoizolacyjne maszyn, kabiny dźwiękoszczelne dla personelu, tłumiki, ekrany i materiały dźwiękochłonne
- projektowanie miejsc pracy i rozmieszczanie stanowisk pracy w sposób umożliwiający izolację od źródeł hałasu oraz ograniczających jednocześnie oddziaływanie wielu źródeł na pracownika
- ograniczanie czasu i poziomu narażenia oraz liczby osób narażonych na hałas przez właściwą organizację pracy, w szczególności stosowanie skróconego czasu pracy lub przerw w pracy i rotacji na stanowiskach pracy.

Pracodawca oznacza znakami bezpieczeństwa miejsca pracy, w których wielkości charakteryzujące hałas przekraczają NDN oraz wydziela strefy z takimi miejscami i ogranicza do nich dostęp, jeśli jest to technicznie wykonalne.

Narażenie indywidualne pracownika (rzeczywiste narażenie po uwzględnieniu tłumienia uzyskanego w wyniku stosowania środków ochrony indywidualnej słuchu) nie może przekroczyć wartości NDN.

Gdy uniknięcie lub wyeliminowanie ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na hałas nie jest możliwe za pomocą wymienionych środków technicznych lub organizacyjnych, wówczas pracodawca udostępnia pracownikom środki ochrony indywidualnej (w przypadku przekroczenia wartości progów działania) oraz zobowiązuje pracowników do stosowania środków ochrony indywidualnej słuchu i nadzoruje prawidłowość ich stosowania (w przypadku osiągnięcia lub przekroczenia wartości NDN).

Pracodawca zapewnia pracownikom narażonym na działanie hałasu informacje i szkolenia w zakresie wyników oceny ryzyka zawodowego, potencjalnych jego skutków i środków niezbędnych do wyeliminowania lub ograniczenia tego ryzyka.

Pracownicy narażeni na działanie hałasu podlegają okresowym badaniom lekarskim. 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

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 jest jednym z najbardziej nowoczesnych, 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.

Konstruowanie i stosowanie cichobieżnych maszyn, urządzeń i narzędzi

Zmiany procesów technologicznych oraz wprowadzenie mechanizacji i automatyzacji wymagają dłuższych okresów realizacji i nie daje 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), można osiągnąć przez:

- redukcję wymuszenia (tj. minimalizację sił wzbudzających drgania oraz ograniczenie ich widma), np. przez dokładne wyrównowanie 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 produkcyjnych należy kierować się następującymi zasadami:

- 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 niestalonemu, 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.

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 paśmie 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.

Ekran dźwiękochłonno-izolacyjny

Ekran dźwiękochłonno-izolacyjny stosuje się jako osłonę 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 ustrojami

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.

Materiały i ustroje dźwiękochłonne

Materiały i ustroje dźwiękochłonne stosowane na ścianach i stropie pomieszczenia zwiększają jego chłonność akustyczną. 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 ustroju dźwiękochłonnego należy dokonać tak, aby maksymalne współczynniki pochłaniania dźwięku wypadały 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), 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. Spełniają one swoje zadanie ochrony narządu słuchu przed nadmiernym hałasem, jeżeli równoważny poziom dźwięku A pod ochronnikiem nie przekracza 85 dB.

Ze względu na konstrukcję, dzieli się je na: wkładki przeciwhałasowe (jednorazowego lub wielokrotnego użytku), nauszники przeciwhałasowe (z nagłówną sprężyną dociskową lub nahełmowe), 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 oktaowych pasmach częstotliwości lub poziomów dźwięku A i C oraz parametrów ochronnych ochronników słuchu.

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 redukcja hałasu dźwiękami z dodatkowych, zewnętrznych źródeł energii.

Ogólna zasada aktywnej kompensacji parametrów pola akustycznego jest następująca:

- źródło pierwotne wytwarza falę akustyczną nazywaną falą pierwotną
- źródło wtórne wytwarza falę wtórną.

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

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

Stosowane w praktyce układy aktywnej redukcji hałasu (wyłącznie w postaci indywidualnych rozwiązań dopasowanych do konkretnych zastosowań), to aktywne tłumiki hałasu maszyn przepływowych i silników spalinowych (osiągane tłumienie wynosi $15 \div 30$ dB dla częstotliwości do 600 Hz). Inne zastosowania to aktywne ochronniki słuchu. Układ aktywny umożliwia poprawę skuteczności tłumienia hałasu przez ochronniki o $10 \div 20$ dB w zakresie częstotliwości poniżej 50 Hz

Hałas infradźwiękowy

Hałasem infradźwiękowym przyjęto nazywać hałas, w którego widmie występują składowe o częstotliwościach infradźwiękowych od 2 do 20 Hz. Obecnie w literaturze coraz powszechniej używa się pojęcia hałas niskoczęstotliwościowy, które obejmuje zakres częstotliwości od około 10 Hz do 250 Hz.

Infradźwięki 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 infradźwięków, szczególnie dla najniższych częstotliwości. Progi słyszenia infradźwięków są tym wyższe, im niższa jest ich częstotliwość i wynoszą na przykład: dla częstotliwości $6 \div 8$ Hz około 100 dB, a dla częstotliwości $12 \div 16$ Hz około 90 dB.

Poza specyficzną drogą słuchową infradźwięki są odbierane przez receptory czucia wibracji. Progi tej percepcji znajdują się o $20 \div 30$ dB wyżej niż progi słyszenia.

Gdy poziom ciśnienia akustycznego przekracza wartość 140 - 150 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 kierowców 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), środki transportu, a ostatnio także elektrownie wiatrowe. Źródła hałasu infradźwiękowego występują również w środowisku pracy biurowej (urządzenia systemu klimatyzacji i wentylacji, dźwigi, urządzenia sieci informatycznej, hałas docierający z zewnątrz - głównie pochodzący od ruchu komunikacyjnego).

Zgodnie z PN-N-01338 hałas infradźwiękowy na stanowiskach pracy jest charakteryzowany przez:

- **równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G odniesiony do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego tygodniowego, określonego w kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy (wyjątkowo w przypadku oddziaływania hałasu infradźwiękowego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu)**
- **równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G w czasie pobytu pracownika na stanowisku pracy.**

Tabela - Wartości dopuszczalne hałasu infradźwiękowego stanowiące kryterium uciążliwości wg PN-N-01338, podane są w tabeli

Oceniana wielkość	Wartość dopuszczalna
Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G odniesiony do 8-godzinnego, dobowego lub do przeciętnego tygodniowego, określonego w kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy, dB	102
Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G w czasie pobytu pracownika na stanowisku do wykonywania prac koncepcyjnych, dB	86

W przypadku **stanowisk pracy młodocianych i kobiet w ciąży** obowiązują inne wartości

dopuszczalne. Zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i rozporządzeniem Rady Ministrów w sprawie wykazu prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet, nie wolno zatrudniać kobiet w ciąży w warunkach narażenia na hałas infradźwiękowy, którego równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G, odniesiony do 8-godzinnego dobowego, określonego w kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy przekracza wartość **86 dB**.

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 (17 - 340 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:

- 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).