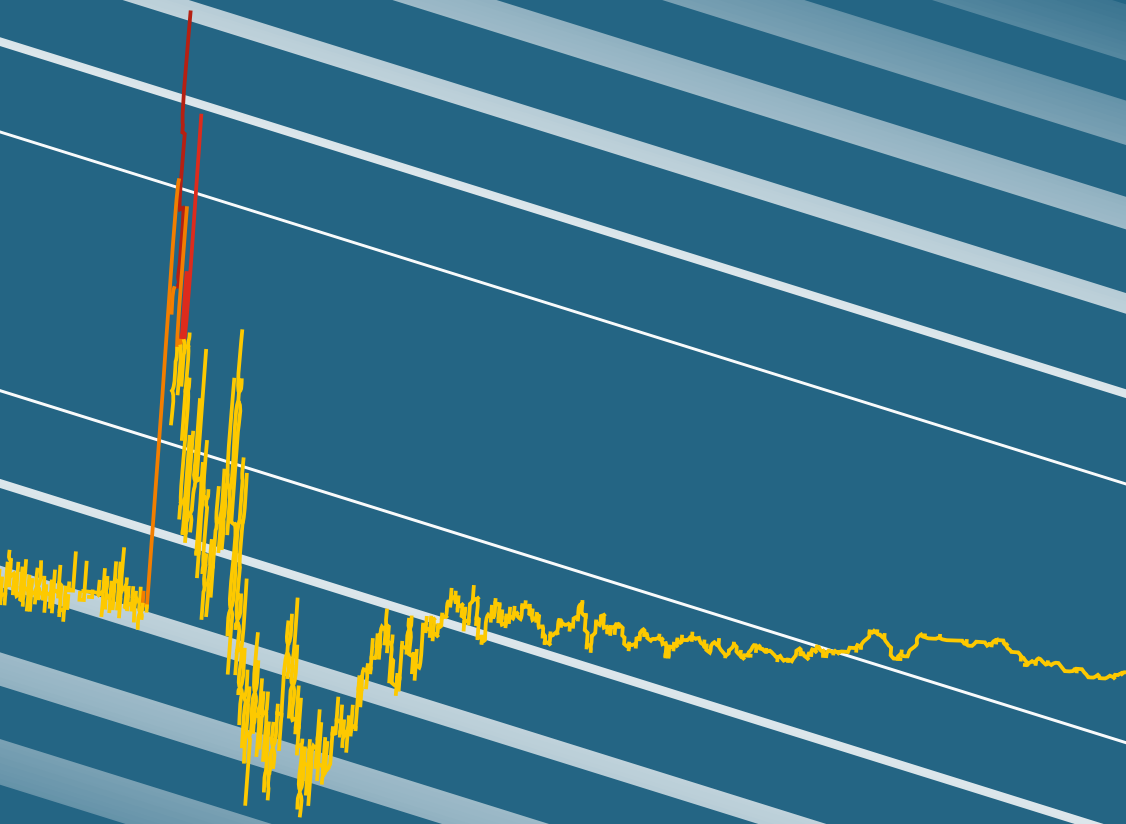
Rafał Młyński

HAŁAS IMPULSOWY

Stosowanie ochronników słuchu



CIOP PIB

Rafał Młyński

HAŁAS IMPULSOWY
STOSOWANIE OCHRONNIKÓW SŁUCHU

CIOP PIB

Warszawa 2013

Opracowano i wydano w ramach II etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2011-2013) finansowanego w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autor
dr inż. Rafał Młyński – Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych CIOP-PIB

Projekt okładki
Jolanta Maj

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2013

ISBN 978-83-7373-137-0

CIOP PIB

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (22) 623 36 98, fax (22) 623 36 93, 623 36 95, www.ciop.pl

Spis treści

1. Hałas impulsowy – podstawowe pojęcia 5

2. Ocena narażenia na hałas impulsowy 7

3. Szczytowy poziom dźwięku C hałasu impulsowego wytwarzanego przez różne źródła 9

4. Pomiary parametrów hałasu impulsowego 11

5. Określanie skuteczności ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu na potrzeby ich doboru 12
   5.1. Szacowanie tłumienia szczytowego poziomu dźwięku C metodą obliczeniową 14
   5.2. Pomiarowe wyznaczanie tłumienia szczytowego poziomu dźwięku C 16

6. Stosowanie ochronników słuchu 17
   6.1. Prawidłowe zakładanie ochronników słuchu 17
   6.2. Konieczność nieprzerwanego stosowania ochronników słuchu 18
   6.3. Jednoczesne stosowanie wkładek i nauszników przeciwhałasowych 19

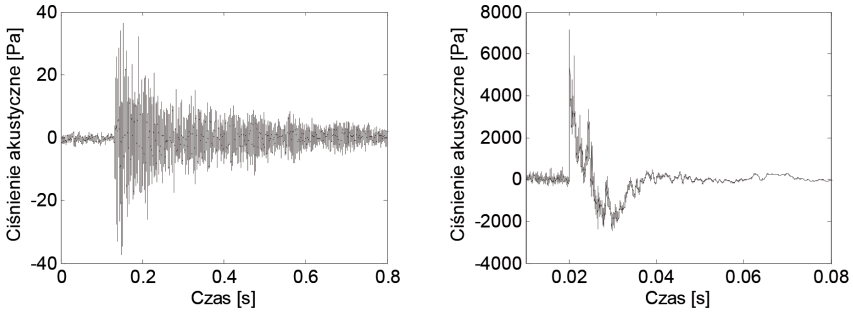
7. Kryteria ryzyka uszkodzenia słuchu 20

Literatura 22

1. Hałas impulsowy - podstawowe pojęcia

Termin *hałas impulsowy* oznacza jedno bądź wiele zdarzeń akustycznych, każde o krótkim czasie trwania, mniejszym niż 1 s [18] i jednocześnie o dużym poziomie ciśnienia akustycznego. Ze względu na sposób powstawania rozróżnia się impulsy o charakterze oscylacyjnym powstające w wyniku zderzeń obiektów oraz impulsy o dominującej fali nadciśnienia będące skutkami eksplozji. Hałas impulsowy można charakteryzować za pomocą parametrów amplitudowych, takich jak szczytowy poziom dźwięku C, parametrów czasowych, określających np. czas trwania impulsu, oraz innych, np. współczynnika szczytu.

Hałas impulsowy o charakterze oscylacyjnym, o naprzemiennie dodatnich i ujemnych wartościach ciśnienia akustycznego, wytwarzany jest najczęściej podczas obróbki metalu przez źródła takie jak: prasy, zakuwarki, znakowniki, nożyce gilotynowe oraz młoty kuźnicze. Szczytowy poziom dźwięku C impulsów wytwarzanych na stanowiskach pracy w przemyśle może przyjmować wartość do około 150 dB. Są to impulsy o względnie długim czasie trwania, który może wynosić do kilkuset milisekund. Przykład przebiegu czasowego hałasu impulsowego o charakterze oscylacyjnym – wytwarzanego podczas uderzenia prasy mimośrodowej pokazano na rysunku 1a.



Rys. 1. Przebiegi czasowe hałasu impulsowego: a) wytwarzanego podczas uderzenia prasy mimośrodowej; b) wytwarzanego podczas strzału z moździerza

Impulsy charakteryzujące się dominującą falą nadciśnienia są wytwarzane podczas eksplozji materiałów wybuchowych oraz podczas

wystrzałów z broni palnej, np. pistoletów, karabinów, armat, ręcznych granatników przeciwpancernych lub moździerzy. Przykładowy przebieg czasowy hałasu impulsowego wytwarzanego podczas strzału z moździerza przedstawiono na rysunku 1b. Analizując rysunki 1a i 1b można zauważyć, że przebieg czasowy impulsu, który powstał na skutek wystrzału, ma zupełnie inny charakter niż impuls oscylacyjny wytworzony podczas uderzenia prasy. Ponadto, impuls wytworzony przez prasę ma wielokrotnie dłuższy czas trwania niż impuls będący następstwem wystrzału.

Na oddziaływanie hałasu impulsowego wytwarzanego przez broń palną oraz powstającego podczas eksplozji materiałów wybuchowych narażeni są przede wszystkim:

- osoby pełniące funkcje w siłach zbrojnych (żołnierze) i Żandarmerii Wojskowej
- pracownicy innych służb mundurowych, takich jak Policja, Straż Graniczna, Służba Więzienna, Biuro Ochrony Rządu
- pracownicy przeprowadzający testy broni (przemysł zbrojeniowy)
- pracownicy (cywilni) zajmujący się obsługą techniczną broni i strzelań
- pracownicy testujący właściwości materiałów wybuchowych
- pracownicy strzelnic (trenerzy strzelań)
- zawodnicy, trenerzy i sędziowie sportów strzeleckich, działający np. w ramach Polskiego Związku Strzelectwa Sportowego
- myśliwi
- pracownicy kamieniołomów
- pracownicy ekip wyburzających.

Szczytowy poziom dźwięku C impulsów wytwarzanych podczas wystrzałów z broni palnej najczęściej przekracza 150 dB i może sięgać ponad 180 dB. Czas trwania impulsów wydłuża się wraz ze wzrostem kalibru broni i wynosi od dziesiątych części milisekundy do kilku milisekund.

2. Ocena narażenia na hałas impulsowy

Najważniejszym wskaźnikiem impulsowego charakteru hałasu jest szczytowy poziom ciśnienia akustycznego lub, w przypadku stosowania korekcji częstotliwościowej C, szczytowy poziom dźwięku C. Oprócz wielkości określających wartością szczytową, w ocenie narażenia na hałas impulsowy konieczne jest także odzwierciedlenie właściwości energetycznych tego rodzaju hałasu. Możliwe jest bowiem, że zarówno w sytuacji, gdy szczytowy poziom dźwięku C hałasu impulsowego przekracza wartość dopuszczalną, jak i jest od niej niższy, przekroczona może być dopuszczalna wartość poziomu ekspozycji odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne [11] pracodawca powinien oceniać ryzyko zawodowe związane z narażeniem pracowników na hałas, wynikające z cech miejsca pracy oraz ze stosowanych w konkretnych warunkach środków lub procesów pracy, ze szczególnym uwzględnieniem poziomu i rodzaju narażenia, włącznie z narażeniem na hałas impulsowy. Pracodawca powinien przeprowadzać porównania wartości parametrów hałasu z wartościami dopuszczalnymi – najwyższymi dopuszczalnymi natężeniami (NDN) oraz wartościami progów działania. Wartości NDN określono w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [12]. Wartości progów działania dla wielkości charakteryzujących hałas zamieszczono w załączniku do Rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy [11]. Parametry, wg których powinna być przeprowadzana ocena narażenia na hałas impulsowy, wartości NDN oraz wartości progów działania podano w tabeli 1.

Po osiągnięciu lub przekroczeniu wartości NDN przez którykolwiek z parametrów hałasu wymienionych w tabeli 1. pracodawca sporządza i wprowadza w życie program działań organizacyjno-technicznych zmierzających do ograniczenia narażenia na hałas [11]. W przypadku impulsowego charakteru hałasu bardzo często nie da się dostatecznie ograniczyć narażenia na hałas z użyciem środków ochrony zbiorowej. W takiej sytuacji, gdy parametry hałasu przekraczają wartości progów działania,

pracodawca obowiązany jest udostępnić środki ochrony indywidualnej słuchu. Natomiast, jeżeli wielkości charakteryzujące hałas osiągają lub przekraczają wartości NDN, pracodawca nie tylko udostępnia środki ochrony indywidualnej słuchu, ale także nadzoruje ich stosowanie.

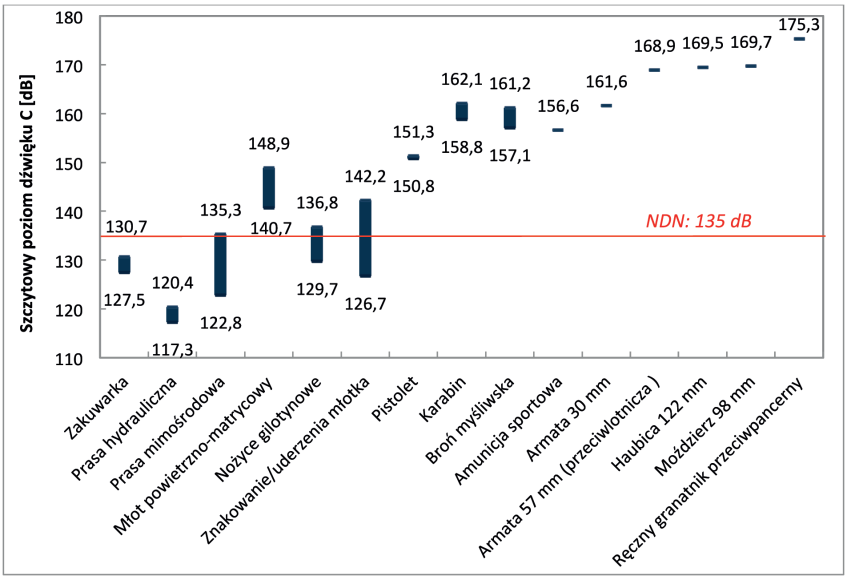
Tabela 1. Parametry stosowane do oceny narażenia na hałas oraz odpowiadające im wartości NDN i wartości progów działania [11, 12]

Parametr hałasu	Wartość NDN [dB]	Wartość progu działania [dB]
Szczytowy poziom dźwięku C L_{Cpeak}	135	135
Maksymalny poziom dźwięku A L_{Amax}	115	-
Poziom ekspozycji odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy $L_{EX,8h}$	85	80

Użytkowane środki ochrony indywidualnej słuchu powinny być odpowiednio dobrane, tzn. m.in. tak, aby wyeliminować ryzyko uszkodzenia słuchu [11]. Oznacza to, że w przypadku ekspozycji osoby na hałas impulsowy, ochronniki słuchu powinny zapewnić ograniczenie szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}) i maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}) do wartości poniżej NDN (tab. 1.). W przypadku poziomu ekspozycji odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ($L_{EX,8h}$) należy zapewnić nieprzekraczanie wartości 80 dB, co wynika z analizy oczekiwanego trwałego przesunięcia progu słyszenia wskutek ekspozycji na hałas, zgodnie z informacjami zamieszczonymi w normie PN-ISO 1999:2000 [17].

3. Szczytowy poziom dźwięku C hałasu impulsowego wytwarzanego przez różne źródła

Najważniejszym parametrem, którego wartość wskazuje na impulsowy charakter hałasu wytwarzanego przez określone źródło, jest szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}). Na rysunku 2. podano wartości tego parametru zmierzone dla różnych źródeł hałasu impulsowego wykorzystywanych w procesach obróbki metalu oraz zmierzone podczas wystrzałów z różnych rodzajów broni palnej. Przykładowe źródła hałasu impulsowego charakterystycznego dla przemysłu przedstawiono na rysunku 3., a przykłady broni palnej pokazano na rysunku 4.



Rys. 2. Szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}) hałasu impulsowego wytwarzanego przez różne źródła

Analizując dane zamieszczone na rysunku 2., należy zauważyć dużą rozpiętość wartości szczytowego poziomu dźwięku C w zależności od rodzaju źródła hałasu impulsowego. Najniższe wartości parametru L_{Cpeak} od-

noszą się do impulsów wytwarzanych przez prasy hydrauliczne i w zależności od modelu prasy są to poziomy z zakresu 117,3 ÷ 120,4 dB. Z kolei ręczny granatnik przeciwpancerny wytwarza impulsy, które charakteryzują się szczytowym poziomem dźwięku C większym aż o 54,9–58,0 dB. Należy przy tym mieć na uwadze, że szczytowy poziom dźwięku C nie jest jedynym parametrem, którego wartość ma wpływ na skuteczność ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu. Stopień ograniczenia hałasu impulsowego przez określony ochronnik słuchu jest istotnie uzależniony od parametrów czasowych wytwarzanych impulsów akustycznych.

a) b) c)

Rys. 3. Przykłady źródeł hałasu impulsowego stosowanych do obróbki metalu: a) zakuwarka; b) prasa mimośrodowa; c) młot powietrzno-matrycowy

a) b)

Rys. 4. Przykłady źródeł hałasu impulsowego – broń palna: a) moździerz 98 mm; b) haubica 122 mm

4. Pomiary parametrów hałasu impulsowego

Sprzęt pomiarowy stosowany do badań parametrów hałasu na stanowisku pracy powinien spełniać wymagania dotyczące mierników poziomu dźwięku [14]. Górna granica zakresu pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego przez mierniki poziomu dźwięku (rys. 5.) jest na ogół ograniczona do wartości 140–145 dB. Wiele spośród źródeł hałasu impulsowego wytwarza impulsy akustyczne, których poziom ciśnienia akustycznego przekracza wymienioną wartość. Miernik poziomu dźwięku wskaże wtedy liczbę wynikającą z osiągnięcia górnej granicy zakresu pomiarowego. Taki sposób scharakteryzowania właściwości amplitudowych hałasu impulsowego jest niewystarczający wobec konieczności dysponowania poprawnie zmierzonymi wartościami parametrów tego hałasu na potrzeby prawidłowego doboru ochronników słuchu.

Rys. 5. Pomiar parametrów amplitudowych hałasu impulsowego przeprowadzany z użyciem miernika poziomu dźwięku

W przypadku hałasu impulsowego, którego parametrów nie można poprawnie scharakteryzować z użyciem miernika poziomu dźwięku, mogą być stosowane systemy pomiarowe (rys. 6.) wyposażone w mikrofon umożliwiający pomiary dużych wartości poziomu ciśnienia akustycznego (przekraczających 180 dB), w odróżnieniu od mikrofonów stosowanych w miernikach poziomu dźwięku. Kolejną zaletą stosowania systemów pomiarowych przeznaczonych do badań parametrów hałasu impulsowego jest możliwość wyznaczenia nie tylko parametrów amplitudowych tego hałasu, charakteryzowanych przez mierniki poziomu dźwięku, ale także

parametrów czasowych hałasu impulsowego, które są istotne w ocenie skuteczności ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu.

a) b) c)

Rys. 6. System do pomiarów parametrów amplitudowych i czasowych hałasu impulsowego, składający się z: a) mikrofonu z przedwzmacniaczem, umożliwiającego pomiar dużych wartości poziomu ciśnienia akustycznego (przekraczających 180 dB); b) modułu pomiarowego zawierającego przetworniki analogowo-cyfrowe; c) komputera sterującego pracą systemu pomiarowego oraz wykorzystywanego do akwizycji i analizy danych pomiarowych

5. Określanie skuteczności ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu na potrzeby ich doboru

Dobierając ochronniki słuchu, należy sprawdzić, czy zastosowanie określonego ochronnika spowoduje dostateczne obniżenie wartości parametrów hałasu docierającego do osoby. Wyznaczanie wartości parametrów hałasu pod ochronnikami słuchu i ocena tych wartości jest elementem doboru ochronników słuchu.

Skuteczność ograniczania hałasu impulsowego przez określony ochronnik słuchu jest uzależniona zarówno od charakterystyk tłumienia przez ochronnik słuchu sygnałów o różnych częstotliwościach, jak rów-

nież od właściwości widmowych hałasu impulsowego. Właściwości widmowe impulsu akustycznego są ściśle powiązane z parametrami czasowymi takimi jak czas narastania i czas trwania tego impulsu [2]. Tak więc, tłumienie impulsu akustycznego przez ochronnik słuchu zależy od właściwości akustycznych tego ochronnika oraz od parametrów czasowych impulsu [10].

Wpływ czasu trwania impulsu na skuteczność ograniczania hałasu impulsowego przez określony ochronnik słuchu sprawia, że np. tłumienie szczytowego poziomu ciśnienia akustycznego może być większe o około 15 dB w przypadku impulsów wytwarzanych podczas strzałów z karabinu (czas trwania impulsu: 0,3 ms), niż dla impulsów powstających podczas wystrzałów z działa dużego kalibru (czas trwania impulsu: kilka ms).

W związku z istotnym wpływem właściwości czasowych impulsu akustycznego na skuteczność ograniczania tego impulsu przez ochronnik słuchu, w przypadku narażenia na hałas impulsowy nie można określonemu ochronnikowi przypisać jednej liczby wyrażającej wartość ograniczenia poziomu dźwięku hałasu impulsowego.

Z kolei, zamieszczane w informacji dla użytkownika ochronnika słuchu (instrukcji użytkowania) dane odnoszą się do skuteczności tłumienia hałasu ustalonego przez ten ochronnik i nie są dostępne informacje na temat ograniczania hałasu impulsowego. Dane liczbowe służące do doboru ochronników słuchu, pozwalające na ocenę, czy określony ochronnik słuchu będzie zabezpieczał w dostateczny sposób słuch przed hałasem impulsowym, często są uzyskiwane na podstawie pomiarów przeprowadzanych w obecności tego hałasu. W przypadku wybranych parametrów hałasu skuteczność ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu może być także szacowana z użyciem metod obliczeniowych.

Równoważny poziom dźwięku A oraz związany z nim poziom ekspozycji odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy pod ochronnikiem słuchu mogą być obliczone metodami znormalizowanymi: metodą pasm oktawowych lub metodą SNR [13]. Natomiast w przypadku hałasu impulsowego nie ma znormalizowanej, uniwersalnej metody doboru ochronników słuchu uwzględniającej wartości szczytowe i maksymalne poziomu dźwięku i dlatego:

- w odniesieniu do szczytowego poziomu dźwięku C hałasu docierającego do użytkownika ochronników słuchu (L_{Cpeak}) jedynym możliwym do zastosowania rozwiązaniem umożliwiającym obliczeniowe określanie skuteczności ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu jest *metoda szacowania tłumienia dźwięku ochronników słuchu w przypadku hałasów im-*

pulsowych zamieszczona w załączniku informacyjnym do normy PN-EN 458 [13]

- nie ma możliwości obliczeniowego określenia wartości maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}) hałasu impulsowego docierającego pod ochronnik słuchu w przypadku, gdy ze względu na przekroczenie dopuszczalnej wartości tego parametru zachodzi konieczność sprawdzenia, czy określony ochronnik słuchu zapewni dostateczne ograniczenie wartości maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}).

5.1. Szacowanie tłumienia szczytowego poziomu dźwięku C metodą obliczeniową

Metoda szacowania tłumienia dźwięku ochronników słuchu w przypadku hałasów impulsowych, zamieszczona w załączniku informacyjnym do normy PN-EN 458 [13], umożliwia wyznaczenie skuteczności ograniczania szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}) przez ochronniki słuchu: pasywne oraz z układami elektronicznymi. W obecności wysokich poziomów ciśnienia akustycznego ochronniki słuchu z układami elektronicznymi (np. z regulowanym tłumieniem, z aktywną redukcją hałasu) należy rozpatrywać jako ochronniki działające w trybie pasywnym.

Zgodnie z założeniami metody obliczeniowej skuteczność ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu jest określana za pomocą parametrów ochronników słuchu wyznaczonych w odniesieniu do hałasu ustalonego, których wartości są zamieszczane w informacjach dla użytkownika. Wymagane jest, aby został użyty jeden z parametrów tłumienia ochronnika słuchu: *H* – wysokoczęstotliwościowy, *M* – średnioczęstotliwościowy lub *L* – niskoczęstotliwościowy. Wymienione parametry ochronników słuchu dotyczą pasywnego trybu działania tych ochronników.

Szacowanie wartości szczytowego poziomu dźwięku C hałasu impulsowego docierającego do ucha osoby stosującej ochronnik słuchu ($L_{Cpeak,\ pod\ ochronnikiem\ słuchu}$) wymaga pomiaru szczytowego poziomu dźwięku C hałasu na stanowisku pracy ($L_{Cpeak,\ zmierzony\ na\ stanowisku\ pracy}$). Oprócz tego, w metodzie obliczeniowej powinien być uwzględniony czas trwania impulsu, ponieważ tłumienie hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu jest powiązane z czasem trwania, a co za tym idzie – z widmem impulsu akustycznego. Uproszczenie dokonane w metodzie obliczeniowej polega między innymi na tym, że nie jest w niej wykorzystywany czas

trwania impulsu, ale właściwości czasowe impulsu zostały uwzględnione poprzez przyporządkowanie źródła wytwarzającego hałas impulsowy do jednego z trzech typów hałasu.

Na potrzeby metody obliczeniowej w następujący sposób zdefiniowano typy hałasu:

- typ 1.: w przypadku gdy większa część energii akustycznej hałasu zawiera się w zakresie niskich częstotliwości. Źródła zaliczone do typu 1. hałasu: dziurkarka, formierka kombinowana, materiał wybuchowy (1 kg, 8 kg)
- typ 2.: w przypadku hałasu, dla którego większa część energii akustycznej zawiera się w zakresie średnich i wysokich częstotliwości. Źródła charakteryzujące się hałasem o właściwościach opisywanych typem 2. to: gwoździarka, młot uderzający w płytę, gwoździarka automatyczna, młot (stalowy), młot (aluminiowy), karabin, strzał próbny
- typ 3.: hałas o charakterze wysokoczęstotliwościowym. Charakterystycznymi źródłami zaliczonymi do typu 3. hałasu są pistolety.

Tłumienie szczytowego poziomu dźwięku C (ΔL_{Cpeak}) hałasu oblicza się jako:

- wartość parametru *L* pomniejszoną o 5 dB, w przypadku gdy skuteczność ograniczania hałasu impulsowego szacowana jest dla źródła zaliczanego do typu 1. hałasu
- wartość parametru *M* pomniejszoną o 5 dB, w przypadku źródła zaliczanego do typu 2. hałasu
- wartość parametru *H*, w przypadku źródła przynależnego do typu 3. hałasu.

Obliczenie szczytowego poziomu dźwięku C pod ochronnikiem słuchu ($L_{Cpeak,\ pod\ ochronnikiem\ słuchu}$) polega na odjęciu wyznaczonej wartości tłumienia szczytowego poziomu dźwięku C (ΔL_{Cpeak}) od wartości tego parametru zmierzonej na stanowisku pracy:

$$L_{Cpeak,\ pod\ ochronnikiem\ słuchu} = L_{Cpeak,\ zmierzony\ na\ stanowisku\ pracy} - \Delta L_{Cpeak} \quad [\mathrm{dB}]$$

Ochronnik słuchu, w obecności rozpatrywanego hałasu impulsowego, uznawany jest za odpowiedni ze względu na oszacowaną wartość szczytowego poziomu dźwięku C pod ochronnikiem słuchu ($L_{Cpeak,\ pod\ ochronnikiem\ słuchu}$), gdy jest ona mniejsza niż wartość NDN (135 dB).

Należy mieć na uwadze, że *metoda szacowania tłumienia dźwięku ochronników słuchu w przypadku hałasów impulsowych* jest rozwiązaniem uproszczonym. Wyniki szacowania uzyskane tą metodą mogą

być rozbieżne względem poziomów dźwięku hałasu mierzonego w zewnętrznym przewodzie słuchowym osoby stosującej ochronniki słuchu i są ponadto obarczone istotną niepewnością uzyskanych poziomów [10]. W sytuacji dostępności innych, dokładniejszych sposobów określania tłumienia hałasu impulsowego, takich jak np. metody bazujące na pomiarach parametrów hałasu, zalecane jest korzystanie z rozwiązań dokładniejszych niż szacowanie omawianą metodą obliczeniową.

5.2. Pomiarowe wyznaczanie tłumienia szczytowego poziomu dźwięku C

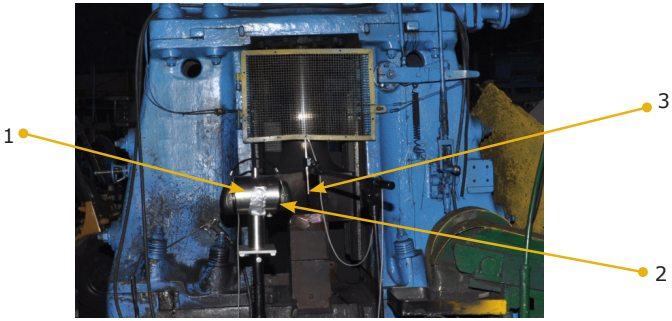
Skuteczność ograniczenia hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu może, a często musi być weryfikowana z użyciem metod pomiarowych. Przykładowo, w przypadku stwierdzenia przekroczenia wartości NDN odnoszącej się do maksymalnego poziomu dźwięku A, nie ma możliwości obliczeniowego sprawdzenia, czy określony ochronnik słuchu dostatecznie ograniczy wartość tego parametru.

Określanie skuteczności ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu może być przeprowadzane na przykład z zastosowaniem tzw. metody MIRE (*microphone in real ear*), w której pomiar pod ochronnikiem słuchu jest przeprowadzany za pomocą miniaturowego mikrofonu umieszczonego w uchu osoby. W wielu sytuacjach nie ma jednak możliwości przeprowadzenia pomiarów parametrów hałasu impulsowego pod ochronnikami słuchu z udziałem osób. Pomiary tłumienia hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu przeprowadzane są często metodą, w której stosowany jest tester akustyczny [3] ze względu na konieczność uniknięcia zbędnego narażenia osób na wysokie poziomy ciśnienia akustycznego. Należy jednak mieć świadomość, że ze względu na ograniczone możliwości testerów w wiernym odzwierciedlaniu cech osób, wyniki pomiarów uzyskiwane z użyciem testerów akustycznych mogą odbiegać od tłumienia hałasu przez ochronniki użytkowane przez osoby [1]. Przybliżenie wyników uzyskiwanych z użyciem urządzeń odzwierciedlających cechy osób do wyników otrzymywanych, gdy ochronniki słuchu są używane przez osoby, można osiągnąć poprzez stosowanie danych korekcyjnych. Testery akustyczne wykorzystywane do pomiarów hałasu impulsowego pod ochronnikami słuchu muszą ponadto spełniać określone wymagania, np. związane z zapewnieniem odpowiedniej izolacyjności akustycznej [15].

Ocena narażenia na hałas w przypadku stosowania ochronników słuchu możliwa jest po przetworzeniu poziomu zmierzonego mikrofonem

testera akustycznego pod ochronnikiem słuchu na poziom w miejscu ekspozycji osoby [16].

Badania ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu mogą być przeprowadzane po uzupełnieniu układu pomiarowego pokazanego na rysunku 6. o drugi tor pomiarowy, w którym umieszczony będzie tester akustyczny. Przykład zastosowania układu do pomiaru ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Układ do pomiaru parametrów hałasu impulsowego pod ochronnikami słuchu w obecności impulsów wytwarzanych przez młot powietrzno-matrycowy: *1* – tester akustyczny, *2* – badane nauszniki przeciwhałasowe, *3* – mikrofon odniesienia

6. Stosowanie ochronników słuchu

6.1. Prawidłowe zakładanie ochronników słuchu

Szczególnie szkodliwy ze względu na swoją natychmiastowość mechanizm oddziaływania hałasu impulsowego wymaga, aby stosowane ochronniki słuchu były założone w sposób gwarantujący pełną możliwą do uzyskania z ich użyciem ochronę słuchu. Sposób założenia zarówno wkładek, jak i nauszników przeciwhałasowych musi zapewniać właściwą szczelność ich przylegania do ciała użytkownika, blokując możliwość transmisji dźwięku pod wkładki lub nauszniki przeciwhałasowe drogą powietrzną. Należy unikać nieszczelności w przyleganiu nauszników związanych np. z jednoczesnym użytkowaniem okularów itp.

Stosowanie wkładek przeciwhałasowych wymaga bardzo starannego – głębokiego – ich umieszczania w zewnętrznym przewodzie słu-

chowym. Praktyka pokazuje, że o ile prawidłowe zakładanie nauszników przeciwhałasowych nie sprawia trudności, to dużym problemem jest prawidłowe umieszczanie w zewnętrznym przewodzie słuchowym wkładek przeciwhałasowych. Założenie wkładki tak, aby odpowiednio zablokować ścieżkę powietrzną docierania dźwięku do błony bębenkowej, wymaga treningu i przyzwyczajenia. Należy stosować zasadę, że w zewnętrznym przewodzie słuchowym powinno zostać umieszczone co najmniej 3/4 długości wkładki piankowej, a w przypadku wkładek skrzydełkowych wielokrotnego użytku – skrzydełko o największej średnicy powinno blokować zewnętrzny przewód słuchowy.

Wiele osób charakteryzuje się wąskim i/lub mocno nieregularnym kształtem zewnętrznego przewodu słuchowego, co wpływa na trudności w takim założeniu wkładek przeciwhałasowych, które będzie skutkowało uzyskaniem zakładanego dla określonych wkładek stopnia ochrony. Szczególnie w przypadku hałasu impulsowego, osoby, których zewnętrzny przewód słuchowy jest mocno nieregularny, mogą mieć duże problemy z właściwym założeniem wkładek przeciwhałasowych wielokrotnego użytku – tzw. wkładek skrzydełkowych. Kształt przewodu słuchowego może uniemożliwiać dopasowanie stosunkowo sztywnej struktury wkładki skrzydełkowej (gumowy trzpień) w taki sposób, aby wkładka szczelnie przylegała do ścian zewnętrznego przewodu słuchowego. O tym ograniczeniu w stosowaniu wkładek przeciwhałasowych wielokrotnego użytku w odniesieniu do wybranych osób narażonych na hałas impulsowy, należy pamiętać, dobierając ochronniki słuchu.

6.2. Konieczność nieprzerwanego stosowania ochronników słuchu

W przypadku ekspozycji na hałas ustalony, nawet krótkie przerwy w stosowaniu ochronników słuchu powodują znaczny spadek skuteczności ochrony przez nie zapewnianej [13]. W obecności hałasu impulsowego przerwa w stosowaniu ochronników słuchu nigdy nie powinna mieć miejsca. Niestosowanie ochronników słuchu w przypadku ekspozycji na hałas impulsowy może mieć poważne konsekwencje. Mechanizm oddziaływania hałasu impulsowego na słuch jest odmienny niż ma to miejsce w przypadku hałasu ustalonego i wystąpienie ubytku słuchu u osoby narażonej na hałas impulsowy nie musi być związane z wieloletnią ekspozycją na hałas, ale w skrajnym przypadku może mieć miejsce nawet po jednej ekspozycji na silny impuls akustyczny.

Stosowanie odpowiednio dobranego ochronnika słuchu pozwala na przykład zmniejszyć wartość szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}) hałasu impulsowego wytwarzanego podczas strzałów z karabinu do wartości około 130 dB, a więc niższych od wartości NDN. Brak ochrony słuchu w takim przypadku powodowałby narażenie strzelca na hałas, którego szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}) sięga 160 dB, a więc istotnie przekracza wartość NDN. Ponadto, nieprzerwane stosowanie odpowiedniej ochrony słuchu skutkuje takim zmniejszeniem poziomu ekspozycji odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ($L_{EX,8h}$), że dopuszczalna może być ekspozycja nawet na kilka tysięcy strzałów dziennie.

6.3. Jednoczesne stosowanie wkładek i nauszników przeciwhałasowych

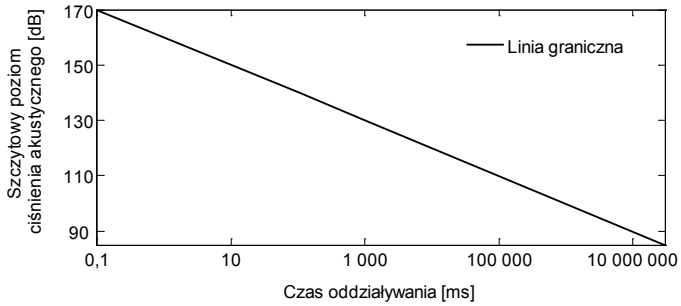
Stosowanie nawet najsilniej tłumiących hałas wkładek przeciwhałasowych, podobnie jak nauszników przeciwhałasowych, może okazać się niewystarczające do prawidłowej ochrony słuchu w przypadku hałasu o dużym poziomie ciśnienia akustycznego. Możliwe jest jednak, że wystarczające wtedy będzie jednoczesne stosowanie wkładek i nauszników przeciwhałasowych (tzw. podwójnej ochrony). Podwójne zabezpieczanie słuchu jest wymagane na przykład przez Program Ochrony Słuchu armii USA [5] między innymi wtedy, gdy szczytowy poziom ciśnienia akustycznego (L_{peak}) przekroczy 165 dB.

Należy zaznaczyć, że tłumienie hałasu przez zestaw składający się z wkładek przeciwhałasowych i nauszników przeciwhałasowych nie jest sumą tłumienia indywidualnego wkładki i tłumienia nausznika. Tłumienie zestawu jest mniejsze niż tłumienie obu rodzaju ochronników słuchu, a w niektórych sytuacjach może być nawet mniejsze niż tłumienie indywidualnie stosowanego ochronnika. Fakty te należy mieć na uwadze podczas doboru ochronników słuchu i, zgodnie z zaleceniami zawartymi w normie PN-EN 458:2006 [13], fachowych rad na temat tłumienia hałasu przez zestaw wkładek z nausznikami przeciwhałasowymi należy szukać u producentów ochronników słuchu. Ponadto, zgodnie z wymienioną normą, pierwszeństwo stosowania powinny mieć takie zestawy wkładek z nausznikami przeciwhałasowymi, dla których znane jest tłumienie hałasu w przypadku ich łącznego stosowania.

7. Kryteria ryzyka uszkodzenia słuchu

W przepisach określających wartości NDN dla hałasu zdefiniowano wartości odnoszące się do parametrów amplitudowych hałasu (tab. 1.). Tak więc wartość dopuszczalna szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}), który jest szczególnie istotnym parametrem w przypadku obecności hałasu impulsowego, została określona niezależnie od czasu trwania impulsu. W rzeczywistości przebieg czasowy ciśnienia akustycznego hałasu impulsowego, łącznie z uwzględnieniem częstotliwości powtarzania się impulsów, również ma wpływ na skutki oddziaływania hałasu impulsowego na słuch [4].

Przykładem ujęcia zarówno wielkości amplitudowych, jak i czasowych hałasu impulsowego w skutkach oddziaływania na słuch są badania, które były prowadzone od lat sześćdziesiątych do dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku i doprowadziły do opracowania na rzecz armii tzw. kryteriów ryzyka uszkodzenia słuchu [6, 8, 9]. Kryteria te zostały opracowane na podstawie obserwacji czasowego przesunięcia progu słyszenia występującego u żołnierzy eksponowanych na hałas impulsowy. W przypadku każdego z kryteriów wyznaczono linię graniczną na płaszczyźnie określonej przez szczytowy poziom ciśnienia akustycznego i czas oddziaływania impulsu. Linia ta rozdziela obszar impulsów niebezpiecznych dla określonej części populacji osób narażonych (powyżej linii) i obszar impulsów bezpiecznych (pod linią). Czas oddziaływania oznacza łączny czas trwania wszystkich impulsów akustycznych, na które narażona jest osoba w ciągu doby. Przykład kryterium ryzyka uszkodzenia słuchu – kryterium Pfandera – przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Kryterium Pfandera ryzyka uszkodzenia słuchu, narysowane na podstawie danych z pracy Pfandera [6]. Czas oddziaływania równy jest iloczynowi liczby impulsów i czasu trwania pojedynczego impulsu, określonego zgodnie z definicją przyjętą w kryterium

Charakterystyczne jest to, że przy odpowiednio krótkim czasie oddziaływania (rys. 8.), szczytowy poziom ciśnienia akustycznego uznawany za bezpieczny dla słuchu znacznie przewyższa wartość NDN określoną w przypadku szczytowego poziomu dźwięku C (135 dB). Z drugiej strony, długi czas oddziaływania hałasu impulsowego powoduje znaczne obniżenie szczytowego poziomu ciśnienia akustycznego uznawanego za bezpieczny. Najdłuższy czas oddziaływania przedstawiony na rysunku 8. przekracza 2,5 godziny, a uznawany wtedy za bezpieczny szczytowy poziom ciśnienia akustycznego przyjmuje wartość 90 dB. Jest to poziom znacznie niższy niż wartość NDN ustanowiona dla parametru bezpośrednio związanego z impulsowym charakterem hałasu – szczytowego poziomu dźwięku C (135 dB). W takich sytuacjach, w ocenie narażenia na hałas impulsowy istotne jest uzupełnienie tej oceny o parametr ujmujący właściwości energetyczne sygnału: poziom ekspozycji odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy L_{EX8h} (tab. 1.).

Stosowanie ochronników słuchu w obecności hałasu impulsowego oznacza zmianę wielkości amplitudowych sygnału oraz zmianę czasu narastania i czasu trwania impulsu akustycznego docierającego pod ten ochronnik [10]. Stąd, kryteria ryzyka uszkodzenia słuchu mają zastosowanie także do sytuacji, w których hałas impulsowy ograniczany jest z użyciem indywidualnej ochrony słuchu. Wiąże się to wtedy z potrzebą określenia parametrów amplitudowych i czasowych hałasu impulsowego docierającego pod ochronniki słuchu.

Literatura

1. Berger E.H., Kieper R.W., Stergar M.E.: *Performance of New Acoustical Test Fixtures Complying with ANSI S12.42-2010, With Particular Attention to the Specification of Self Insertion Loss*. Inter-Noise 2012, (in12_145), August 19-22, New York City, USA, 2012.

2. Hamernik Roger P., Hsueh Keng D.: *Impulse noise: Some definitions, physical acoustics and other considerations.* J. Acoust. Soc. Am. 1991, 90(1), 189-196.

3. Lenzuni P., Sangiorgi T., Cerini L.: *Attenuation of peak sound pressure levels of shooting noise by hearing protective earmuffs*. Noise&Health 2012, 14, 91-99.

4. Lwow F., Józków P., Mędraś M.: *Occupational Exposure to Impulse Noise Associated With Shooting.* International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) 2011, 17(1), 69-77.

5. *Medical Services. Hearing Conservation Program*. Department of the Army, Pamphlet 40–501. Washington, DC. [10 grudnia 1998. Źródło dokumentu aktualne na dzień 8 lipca 2013:] http://armypubs.army.mil/epubs/pdf/p40_501.pdf.

6. Pfander F. (editor) *Das Schalltrauma* [*Acoustic trauma*]. (Schriftenreihe Präventivmedizin [Preventive medicine series] PM 1). Bonn, Germany, Ministry of Defence, 1994.

7. Smoorenburg G. F.: *Assessment of hearing protector performance in impulsive noise. Final report*. TNO report TM-96-C042, Netherlands, 1996.

8. Smoorenburg G.F.: *Damage risk criteria for impulse noise*. [In:] Hamernik R.P., Henderson D., Salvi R. (editors): New perspectives on noise. New York, NY, USA: Raven Press, 1982, p. 471–90.

9. Ward W.D. (editor): *Proposed damage-risk criterion for impulse noise (gunfire). Report of Working Group 57.* [Washington, DC, USA]: National Academy of Sciences – National Research Council, Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics (CHABA), 1968.

10. Zera J., Mlynski R.: *Attenuation of high-level impulses by earmuffs*. J. Acoust. Soc. Am. 2007, 122(4), 2082-2096.

11. *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.* DzU nr 157, poz. 1318.

12. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*. DzU nr 217, poz. 1833; zmiany: 2005, nr 212, poz. 1769; 2007, nr 161, poz. 1142.

13. PN-EN 458:2006P *Ochronniki słuchu – Zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej – Dokument przewodni*.

14. PN-EN 61672-1:2005P. *Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku –* Cz. 1.: *Wymagania*.

15. PN-EN ISO 4869-3:2009P *Akustyka – Ochronniki słuchu* – Cz. 3.: *Pomiary tłumienia wtrącenia nauszników przeciwhałasowych wykonywane z użyciem testera akustycznego*.

16. PN-EN ISO 11904-2:2009P. *Akustyka – Wyznaczanie imisji* dźwięku od źródeł umieszczonych bezpośrednio przy uchu – Cz. 2.: *Technika z zastosowaniem manekina akustycznego*.

17. PN-ISO 1999:2000 *Akustyka – Wyznaczanie ekspozycji zawodowej na hałas i szacowanie uszkodzenia słuchu wywołanego hałasem*.

18. PN-N-01307:1994 *Hałas – Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.*