

Rafał Młyński
Emil Kozłowski

**UŻYTKOWANIE
OCHRONNIKÓW SŁUCHU
Z REGULOWANYM
TŁUMIENIEM
W WARUNKACH
WYSTĘPOWANIA
HAŁASU IMPULSOWEGO**

MATERIAŁY INFORMACYJNE

Rafał Młyński, Emil Kozłowski

Użytkowanie ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem w warunkach występowania hałasu impulsowego

Materiały informacyjne

CIOP  **PIB**

Warszawa 2019

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, a wydano w ramach realizacji zadań służb państwowych sfinansowanych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorzy:

dr inż. Rafał Młyński, dr inż. Emil Kozłowski – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Źródło zamieszczonych w tekście rysunków: CIOP-PIB

Opracowanie redakcyjne

Michalina Kondej-Matarewicz

Opracowanie graficzne

Anna Borkowska

Projekt okładki

Anna Antoniszewska

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2019

ISBN 978-83-7373-339-8



Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (48-22) 623 36 98, www.ciop.pl

Spis treści

1. Wprowadzenie	5
2. Ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem.....	7
3. Ograniczanie hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem	10
3.1. Ocena ograniczania hałasu impulsowego przeprowadzana z wykorzystaniem metod pomiarowych	10
3.2. Sposoby doboru ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem ..	15
3.3. Przykład doboru ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem do hałasu impulsowego	18
3.4. Przykład stosowania metody doboru ochronników słuchu z wykorzystaniem poziomów granicznych H, M, L	24
4. Ocena percepcji sygnałów ostrzegawczych pojazdów przez osoby stosujące ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem w warunkach występowania hałasu impulsowego	26
5. Percepcja dźwięków mowy przez osoby stosujące ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem w obecności hałasu impulsowego.....	30
Bibliografia	36

Wprowadzenie

Hałas impulsowy, ze względu na swój szybkozmienny charakter, tj. przy znacznych zmianach poziomu ciśnienia akustycznego zachodzących w krótkim czasie, jest szczególnie niebezpieczny dla słuchu. Pojedyncza ekspozycja na hałas wytwarzany podczas strzału artyleryjskiego może prowadzić do czasowego przesunięcia progu słyszenia¹, natomiast powtarzająca się ekspozycja na hałas związany z wystrzałami z broni palnej może skutkować trwałymi ubytkami słuchu [1]. Występowanie tego rodzaju hałasu bardzo często wiąże się z brakiem możliwości zastosowania technicznych lub organizacyjnych metod jego ograniczania. Dotyczy to m.in. osób przebywających na strzelnicach, gdzie źródło dźwięku znajduje się w bezpośredniej bliskości osób. W odróżnieniu od wybranych źródeł hałasu impulsowego w przemyśle, na strzelnicy nie ma możliwości zastąpienia osób urządzeniami.

Jedyna znana metoda techniczna ograniczania hałasu impulsowego wytwarzanego podczas strzałów z broni palnej polega na stosowaniu tłumików [2]. Stwierdzano co prawda, że skuteczność tłumików może istotnie przewyższać ograniczanie hałasu przez ochronniki słuchu [3], jednak skuteczność ta, na poziomie sięgającym 20-28 dB, oceniana była również jako nie zawsze dostateczna [2]. W jednej z prac stwierdzono, że tłumiki istotnie obniżają wprowadzie szczytowy poziom ciśnienia akustycznego wytwarzanego podczas strzałów np. z karabinu AR-15, jednak w większości przypadków jego wartość przekracza 140 dB [4].

W związku z tym, że wartości parametrów hałasu wytwarzanego podczas strzałów najczęściej przekraczają te, które mogą być szkodliwe dla słuchu, niezbędne staje się stosowanie ostatniego z możliwych rozwiązań², czyli ochronników słuchu. Konieczność stosowania ochronników słuchu jest podkreślana w kontekście

¹ Czasowe przesunięcie progu słyszenia (ang. TTS – *temporary threshold shift*) to osłabienie słuchu, po którym powrót do normalnego stanu słuchu jest możliwy. Może być skutkiem np. kilkugodzinnego przebywania w hali maszyn emitujących hałas, udziału w koncercie muzycznym czy ekspozycji na hałas impulsowy.

² Zgodnie z zapisami rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne, w celu ograniczenia narażenia na hałas, wymagane jest stosowanie w pierwszej kolejności środków ochrony zbiorowej lub organizacji pracy, a dopiero po wyczerpaniu takich możliwości zastosowanie znajdują środki ochrony indywidualnej słuchu [10].

negatywnych skutków braku takiego zabezpieczenia podczas ekspozycji personelu wojskowego na hałas związany z wystrzałami np. z karabinu [5]. Średnie przesunięcie progu słyszenia u żołnierzy eksponowanych na hałas wytwarzany podczas strzałów z karabinu wynosiło ponad 21 dB [5].

Zalecenie stosowania ochronników słuchu było formułowane również we wnioskach po badaniach przeprowadzonych wśród personelu wojskowego, gdzie stwierdzono, że nawet narażenie na niższe niż dopuszczalne poziomy ciśnienia akustycznego hałasu impulsowego może prowadzić do urazu akustycznego [6]. Zalecano, żeby użytkownicy broni palnej zawsze nosili ochronniki słuchu podczas strzelania lub polowania, niezależnie od stosowania tłumików, których skuteczność może być niedostateczna [2]. Edukacja uświadamiająca wielkie znaczenie prawidłowej ochrony słuchu była również następstwem badań, w których stwierdzono m.in., że ryzyko wystąpienia wysokoczęstotliwościowych ubytków słuchu np. u mężczyzn uczestniczących w polowaniach wzrasta o 7% na każde 5 lat udziału w nich [7].

Potrzeba prowadzenia komunikacji w obecności hałasu, w kontekście stosowania ochronników słuchu, w wielu miejscach pracy staje się coraz bardziej powszechna [8]. W przypadku hałasu, którego poziom ciśnienia akustycznego zmienia się w czasie, wygodne jest stosowanie ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem. Funkcja regulowanego tłumienia realizowana jest za pomocą układów elektronicznych. W momentach względnej ciszy, funkcja ta wspomaga prowadzenie komunikacji werbalnej i ewentualnie słyszenie innych niż mowa istotnych dźwięków. Nie powoduje to konieczności zdejmowania ochronników słuchu, co jest z jednej strony wygodne, a z drugiej zabezpiecza przed przypadkowo mogącymi pojawić się dźwiękami. Funkcjonalność taka jest szczególnie cenna w sytuacjach związanych z oddawaniem strzałów z broni palnej, np. na strzelnicy. Osoba, która przez cały czas przebywania na strzelnicy ma założone ochronniki słuchu, nie jest narażona na oddziaływanie przypadkowego impulsu akustycznego związanego z wystrzałem z broni palnej.

Niezależnie od wspomnianej funkcjonalności ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem, polegającej na wsparciu w postrzeganiu dźwięków z otoczenia, sprzęt ten powinien ograniczać narażenie na hałas w taki sposób, aby słuch użytkowników

go osób był bezpieczny. Niezbędny jest zatem prawidłowy dobór ochronników słuchu ze względu na wartości parametrów hałasu występującego w miejscu, w którym przebywa użytkownik.

Ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem mają dwa ważne aspekty funkcjonalne: odpowiednią ochronę słuchu i możliwość odbioru istotnych dźwięków otoczenia. Należy zaznaczyć, że uwzględnienie różnych zagadnień związanych ze stosowaniem ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem może przyczynić się do:

- zwiększenia komfortu wykonywania pracy,
- zmniejszenia liczby pracowników narażonych na oddziaływanie hałasu, co będzie prowadziło do zmniejszenia liczby przypadków ubytków słuchu spowodowanych hałasem,
- wzrostu poziomu bezpieczeństwa i w konsekwencji zmniejszenia liczby wypadków przy pracy.

2. Ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem

Ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem są coraz powszechniej stosowane w miejscach pracy w przemyśle, ale również tam, gdzie występuje narażenie na impulsy akustyczne wytwarzane przez broń palną. Ochronniki te wpływają na kształtowanie dźwięku docierającego do ich użytkownika. Dzieje się to za sprawą układu elektronicznego, wyposażonego w mikrofony zamocowane na zewnątrz ochronnika słuchu oraz głośniki, które odtwarzają dźwięk pod ochronnikiem słuchu. Układ ten, przy braku hałasu, poprawia odbiór dźwięków użytecznych (mowa, sygnały ostrzegawcze). Istnieje też potencjalne niebezpieczeństwo, że przy dużym wzmocnieniu w układzie odtwarzania sygnału akustycznego, dźwięk docierający do osoby może być przyczyną zwiększonego narażenia na hałas. Stosowanie ochronników słuchu musi jednak odpowiednio zabezpieczać słuch ich użytkowników [10].

Ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem można przedstawić jako układ, złożony z bariery ograniczającej w sposób pasywny przenoszenie dźwięku pod te ochronniki, oraz ze ścieżki przepuszczającej dźwięk w określonych sytuacjach. Wspomniana ścieżka przenoszenia dźwięku realizowana jest za pomocą układu elektronicznego, którego zadaniem jest odtwarzanie – za pomocą głośnika umieszczonego pod ochronnikiem słuchu – dźwięku obecnego w środowisku przebywania użytkownika sprzętu. Układ elektroniczny musi być przy tym tak skonstruowany, aby wzmocnienie w torze przekazywania dźwięku zmniejszało się wraz ze wzrostem poziomu ciśnienia akustycznego sygnału obecnego na zewnątrz ochronników słuchu. Przenoszenie dźwięku pod ochronniki słuchu musi bowiem odbywać się w sposób zapewniający bezpieczne pod względem ekspozycji na hałas warunki ich używania. Ochronniki muszą pod tym względem spełniać wymagania określone w odnośnych normach, zarówno w przypadku nauszników przeciwhałasowych [11], jak i wkładek przeciwhałasowych [12].

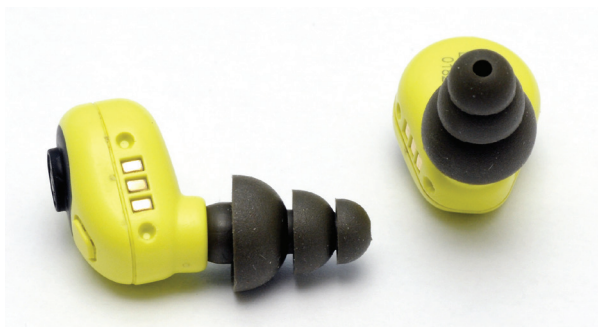
W ofercie rynkowej można spotkać ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem kilku różnych producentów. Można je różnicować na podstawie właściwości ochronnych, ale pewien wpływ na wybór określonego rozwiązania mogą mieć również praktyczne aspekty, takie jak sposób obsługi ochronnika słuchu. W zależności od modelu występują różne sposoby regulacji wzmocnienia w układzie regulowanego tłumienia. Regulacja ta może się odbywać płynnie lub skokowo (przy różnej liczbie dostępnych stopni regulacji); może być przeprowadzana za pomocą gałki potencjometru (płynnie) lub jednego przycisku (skokowo), dwóch przycisków (płynnie lub skokowo) albo przełącznika (skokowo).

Należy przy tym zauważyć, że wyposażenie ochronnika słuchu w regulację wzmocnienia za pomocą przycisków nie zawsze jest równoznaczne z wprowadzeniem skokowego sposobu dokonywania zmian, ponieważ w takiej sytuacji regulacja może odbywać się w sposób płynny. W rozwiązaniu takim, im dłuższy jest czas wcisnięcia przycisku, tym bardziej zmienia się wzmocnienie w układzie regulowanego tłumienia. W dostępnych ochronnikach słuchu stosuje się różne sposoby włączania/wyłączania funkcji regulowanego tłumienia (np. niezależny przycisk, gałka potencjometru) oraz różne sposoby zasilania układu elektronicznego każdego z ochronników słuchu, tj. akumulatorowe lub bateryjne. Stosowane rozwiązania ochronników słuchu obejmują zarówno powszechnie używane baterie typu AA bądź AAA, jak i tzw. baterie pastylkowe.

Na rysunkach 1. i 2. przedstawiono dostępne na rynku nauszniki i wkładki przeciwhałasowe.



Rys. 1. Przykładowe rozwiązania nauszników przeciwhałasowych z regulowanym tłumieniem



Rys. 2. Przykładowe rozwiązania wkładek przeciwhałasowych z regulowanym tłumieniem

W większości przypadków dostępne na rynku ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem wyposażone są w dwa mikrofony (po jednym na każdej z czasz). Przybliżona cena nauszników przeciwhałasowych z regulowanym tłumieniem w zależności od zaawansowania zastosowanych układów mieści się w zakresie od 200 do ponad 2000 zł. Koszt wkładek przeciwhałasowych może dochodzić do 1500 zł.

3. Ograniczanie hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem

3.1. Ocena ograniczania hałasu impulsowego przeprowadzana z wykorzystaniem metod pomiarowych

Do przeprowadzenia prawidłowego doboru ochronników słuchu wymagane są zarówno informacje o parametrach hałasu w miejscu przebywania użytkownika tego sprzętu, jak również informacje o tym, jak określony ochronnik ogranicza hałas. Informacje o ograniczaniu hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu, w tym ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem nie są standardowo zawarte w instrukcji przeznaczonej dla użytkownika. Ponadto ograniczanie hałasu impulsowego wytwarzanego przez określone źródła impulsów jest różne i zależy od parametrów hałasu wytwarzanego przez to źródło oraz od właściwości akustycznych ochronników słuchu. Zagadnienia związane z doбором ochronników słuchu nie są często podejmowane w literaturze i np. ograniczają się do przedstawienia podstawowych zasad takiego doboru lub omówienia głównych problemów z nim związanych [8].

Tak jak wspomniano, aby stwierdzić, czy ochronnik słuchu zapewnia odpowiednie ograniczenie hałasu, należy znać parametry hałasu występującego w miejscu przebywania danej osoby oraz mieć informacje o skuteczności tłumienia hałasu przez ten sprzęt. Metody określenia skuteczności tłumienia hałasu przez ochronniki słuchu dzielą się na dwie kategorie: subiektywne (reakcja osoby – metoda REAT, ang. Real Ear At Threshold) i obiektywne (pomiar z użyciem mikrofonu). Z uwagi na względnie duże wartości szczytowego poziomu ciśnienia akustycznego hałasu impulsowego oraz szybkozmienny charakter tego rodzaju hałasu, nie można zastosować bezpośrednio metody subiektywnej (REAT) [13, 14, 15] do oceny skuteczności ograniczania hałasu przez ochronniki słuchu w przypadku impulsów akustycznych [16]. Możliwe jest jednak wykorzystanie danych uzyskanych tą metodą z zastosowaniem specjalnych procedur obliczeniowych [28].

Możliwości techniczne pomiarów tłumienia hałasu impulsowego wnoszonego przez ochronniki słuchu dają także metody obiektywne, które oparte są na pomiarach poziomu dźwięku mikrofonem miniaturowym umieszczonym w uchu osoby pod założonym ochronnikiem słuchu (metoda MIRE) [17] lub dokonywanych za pomocą testerów akustycznych [18]. Przeprowadzanie badań ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki wiąże się jednakże ze stosowaniem sygnałów testowych, które ze względu na swój charakter są niebezpieczne: pomimo stosowania ochronników słuchu, ekspozycja na hałas impulsowy może być groźna dla słuchu [19]. Stąd lepszym, bezpieczniejszym rozwiązaniem jest posługiwanie się urządzeniami odwzorowującymi cechy ludzi – ich zastosowanie zastępuje fizyczny udział osób w badaniach [20, 21]. Urządzenia te nazywane są testerami akustycznymi (rys. 3). Tester akustyczny jest zatem często wykorzystywany w badaniach tam, gdzie występuje hałas impulsowy, charakteryzujący się wysokimi wartościami szczytowego poziomu ciśnienia akustycznego [22, 23, 24].

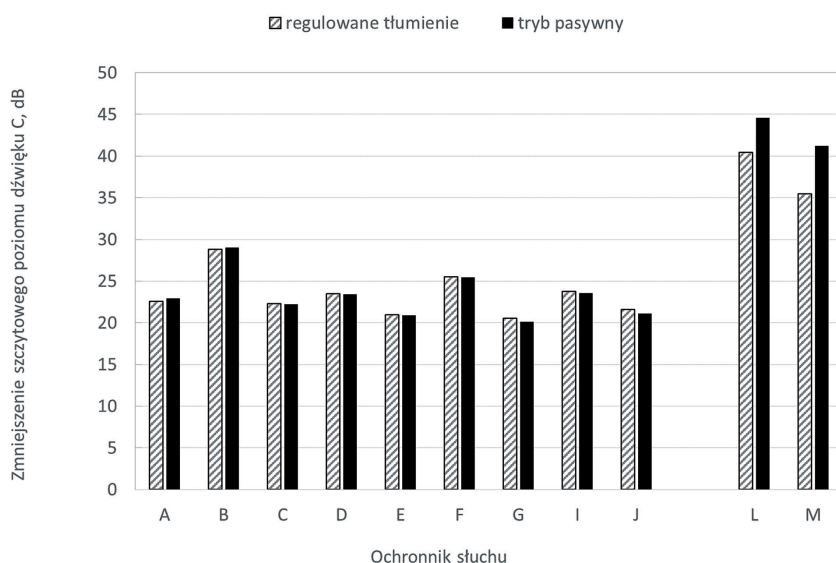
Dobór ochronników słuchu może być więc przeprowadzony zarówno za pomocą metod obliczeniowych, w których podstawą są dane tłumienia dźwięku (z metody REAT) lub z wykorzystaniem danych uzyskanych bezpośrednio z układu pomiarowego, którego elementem jest tester akustyczny.



Rys. 3. Układ pomiarowy przeznaczony do pomiaru właściwości akustycznych ochronników słuchu: na pierwszym planie – przetwornik pomiarowy umożliwiający wyznaczenie niezbędnych poprawek, po prawej stronie – tester akustyczny wyposażony m.in. w symulatory uszu, układ podgrzewania oraz elementy wykonane z materiału symulującego właściwości skóry

Jak już nadmieniono, niezależnie od wybranej metody do przeprowadzenia doboru ochronników słuchu konieczna jest znajomość parametrów hałasu obecnego w miejscu pracy. Ze względu na duże wartości poziomu ciśnienia akustycznego hałasu impulsowego, przekraczające górne granice zakresu pomiarowego standardowych mierników poziomu dźwięku, pomiary parametrów hałasu muszą być przeprowadzane z użyciem odpowiedniego wyposażenia. Niezbędne jest również doświadczenie personelu przeprowadzającego badania, aby właściwie określić reprezentatywne cykle zdarzeń podczas wyznaczania parametrów hałasu, czego wymaga metodyka przeprowadzania takich badań [9].

W przypadku, gdy na stanowisku pracy występuje jedynie hałas impulsowy o względnie wysokim poziomie ciśnienia akustycznego (np. L_{Cpeak} przekraczające 135 dB), nauszniki przeciwhałasowe z regulowanym tłumieniem można rozpatrywać jako pasywne. Świadczą o tym wyniki badań szczytowego poziomu dźwięku C pod nausznikami przeciwhałasowymi przeprowadzone z użyciem testera akustycznego w obecności hałasu impulsowego wytwarzanego przez źródło impulsów akustycznych o szczytowym poziomie dźwięku C wynoszącym średnio 148,2 dB. Zmiana trybu użytkowania nauszników nie wpływała na wartość szczytowego poziomu dźwięku C pod określonym nauszniakiem przeciwhałasowym (rys. 4.).



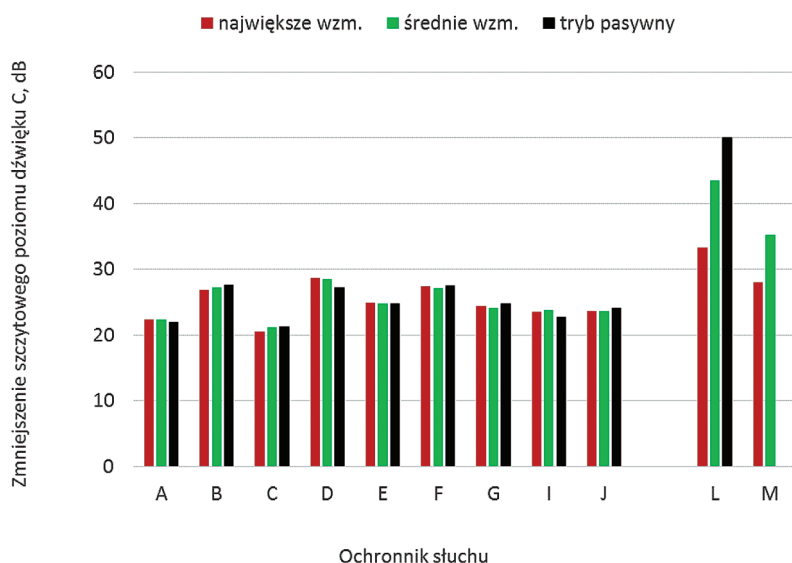
Rys. 4. Zmniejszenie szczytowego poziomu dźwięku C przez nauszniki przeciwhałasowe z regulowanym tłumieniem (A, B, C, D, E, F, G, I, J) oraz przez wkładki przeciwhałasowe z regulowanym tłumieniem (L i M)

Natomiast w przypadku wkładek przeciwhałasowych z włączonym trybem regulowanego tłumienia, zmniejszenie szczytowego poziomu dźwięku C było mniejsze o około 5 dB w porównaniu z trybem pasywnym.

Podobne obserwacje poczyniono, przeprowadzając pomiary parametrów hałasu (rys. 5.) wytwarzanego podczas obróbki metalu w kuźni, z użyciem testera akustycznego, gdzie na tle hałasu ustalonego wytwarzane były impulsy akustyczne związane z uderzeniami metalowych obiektów. W przypadku nauszników przeciwhałasowych, niezależnie od tego, czy użytkowane one były w trybie pasywnym czy też w trybie regulowanego tłumienia, szczytowy poziom dźwięku C pod określonym nausznikiem przeciwhałasowym nie różnił się istotnie ze względu na trybu pracy nauszniaka (rys. 6.). Stwierdzony pomijalny wpływ obecności układu regulowanego tłumienia na wartości zmniejszenia parametru L_{Cpeak} w przypadku nauszników przeciwhałasowych stanowił przeciwieństwo sytuacji dotyczącej wkładek przeciwhałasowych.



Rys. 5. Układ pomiarowy wykorzystywany w trakcie badań ograniczania przez ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem hałasu impulsowego, wytwarzanego podczas obróbki metalu: 1 – młot parowo-matrycowy (źródło hałasu), 2 – przetwornik do pomiaru właściwości impulsów akustycznych, 3 – tester akustyczny do pomiaru właściwości akustycznych ochronników słuchu, 4 – nauszniki przeciwhałasowe z regulowanym tłumieniem



Rys. 6. Zmniejszenie szczytowego poziomu dźwięku C w przypadku ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem, stosowanych w obecności hałasu wytwarzanego podczas obróbki metalu w kuźni: A, B, C, D, E, F, G, I, J – nauszniki przeciwhałasowe; L, M – wkładki przeciwhałasowe

W przypadku nauszników przeciwhałasowych największa różnica wartości zmniejszenia L_{Cpeak} pomiędzy pomiarem z włączonym układem regulowanego tłumienia (największe wzmocnienie) a pomiarem w trybie pasywnym wyniosła jedynie 1,4 dB. W przypadku jednej z wkładek przeciwhałasowych było to natomiast aż 16,8 dB. Pokazane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że założenie z dodatku informacyjnego normy PN-EN 458:2016 [28], mówiące o traktowaniu ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem, przy określaniu skuteczności ograniczania hałasu impulsowego (parametr L_{Cpeak}) tak, jakby pracowały w trybie pasywnym, jest pewnym uproszczeniem. Dokładniej rzecz ujmując, w odniesieniu do nauszników przeciwhałasowych twierdzenie to jest uzasadnione – natomiast nie jest prawdziwe w stosunku do wkładek przeciwhałasowych.

Należy jednocześnie zaznaczyć, że obserwacje odnoszące się do szczytowego poziomu dźwięku C w różnych trybach użytkowania ochronników słuchu różnią się od sytuacji, jaka ma miejsce w przypadku równoważnego poziomu dźwięku A. O ile w przypadku hałasu impulsowego występującego samodzielnie zmiana trybu pracy nauszników przeciwhałasowych nie wpływa istotnie na

wartość L_{Aeq} , podobnie jak ma to miejsce w przypadku parametru L_{Cpeak} , to użytkowanie nauszników w obecności hałasu o charakterze mieszanym (hałas impulsowy wytwarzany na tle hałasu ustalonego) sprawia, że wartości L_{Aeq} pod nauszniakiem przeciwhałasowym są różne w obu trybach ich pracy. W takiej sytuacji należy zweryfikować skuteczność ochrony tworzonej przez nauszniki przeciwhałasowe z regulowanym tłumieniem, korzystając z zapisów podanych w załączniku C normy PN-EN 458:2016 dotyczącej ochronników słuchu [28].

3.2. Sposoby doboru ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem

Dobór ochronników słuchu polega na wyznaczeniu określonych wartości parametrów hałasu docierających do użytkownika ochronników słuchu (tj. w sytuacji ich użytkowania) i porównania uzyskanych wartości z wartościami kryterialnymi. Ze względu na to, że w przypadku narażenia na hałas impulsowy, w tym hałas impulsowy wytwarzany na tle hałasu ustalonego (hałas mieszany), występują przekroczenia wartości dopuszczalnych odnoszące się do szczytowego poziomu dźwięku C, w doborze ochronników słuchu uwzględniony musi być nie tylko standardowo rozpatrywany parametr L_{Aeq} (równoważny poziom dźwięku A), ale również wspomniany parametr L_{Cpeak} (szczytowy poziom dźwięku C) [34, 35]. W przypadku szczytowego poziomu dźwięku C wartość kryterialna wynosi 135 dB. Odpowiada ona wartości dopuszczalnej (NDN) ustanowionej w rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej [29] i jednocześnie progowi działania określonemu w rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy [10]. W przypadku równoważnego poziomu dźwięku A wartością kryterialną jest 80 dB. Potrzeba nieprzekraczania tej wartości wynika z danych dotyczących oczekiwanego trwałego przesunięcia progu słyszenia, zamieszczonych w normie odnoszącej się do szacowania uszkodzenia słuchu wywołanego hałasem [30].

W przypadku hałasu ustalonego, dobór ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem przeprowadzany może być z wykorzystaniem poziomów granicznych H, M, L³ (ang. H, M and L *criterion levels*) wg metody opisanej w załączniku

³ Poziomów granicznych H, M, L nie należy mylić z wysoko-, średnio- i niskoczęstotliwościowymi parametrami tłumienia, które są oznaczane tymi samymi literami, tj. H, M, L.

informacyjnym C normy PN-EN 458:2016 [28]. W przypadku ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem metoda ta znajduje zastosowanie, w miejsce standardowych metod doboru ochronników słuchu dotyczących pasywnego trybu ich użytkowania, ze względu na obecność układu elektronicznego. Układ elektroniczny, tak jak już powiedziano, kształtuje bowiem dźwięk docierający do użytkownika ochronników słuchu. Sposoby postępowania, wynikające z wniosków sformułowanych w wyniku przeprowadzenia prac badawczych, zalecane w doborze ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem do ich użytkowania w obecności hałasu impulsowego, przedstawiono w tabeli 1.

Zalecenie dopasowania sposobu doboru ochronników słuchu do określonej sytuacji wynika przede wszystkim z zasady funkcjonowania określonego rodzaju ochronników w obecności danego rodzaju hałasu. Tak więc, w przypadku stosowania nauszników przeciwhałasowych z regulowanym tłumieniem w obecności hałasu impulsowego występującego samodzielnie, np. wytwarzanego podczas wystrzałów z broni palnej na strzelnicy, równoważny poziom dźwięku A wyznaczać można wykorzystując standardowe metody doboru ochronników słuchu (np. metodą pasm oktaowych). Wynika to z tego, że w obecności impulsów o względnie dużej wartości szczytowego poziomu ciśnienia akustycznego wyłączają się układy elektroniczne regulowanego tłumienia wbudowane w nauszники przeciwhałasowe. Tym samym nauszники przeciwhałasowe można rozpatrywać wtedy tak, jakby były użytkowane w trybie pasywnym. Stosowanie metody doboru z dodatku informacyjnego C normy PN-EN 458:2016 [28], w której obliczenia przeprowadzane są z wykorzystaniem poziomów granicznych H, M, L, nie ma wtedy uzasadnienia. Układy elektroniczne, w które wyposażone są nauszники przeciwhałasowe nie zwiększają bowiem w takiej sytuacji poziomu ciśnienia akustycznego sygnału docierającego pod te nauszники. Należy również mieć na uwadze, że możliwość zwiększania poziomu ciśnienia akustycznego sygnału odtwarzanego z użyciem układów elektronicznych ma swoje ograniczenia i charakterystyka przenoszenia sygnału przez te układy ulega tzw. nasyceniu. Wiąże się z tym ograniczenia w stosowaniu metody doboru z dodatku informacyjnego C normy PN-EN 458:2016 [28].

Tabela 1. Sposoby doboru ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem użytkowanych w obecności hałasu impulsowego oraz hałasu impulsowego wytwarzanego na tle hałasu ustalonego, na etapie wyznaczania parametrów hałasu pod ochronnikami słuchu: równoważny poziom dźwięku A, szczytowy poziom dźwięku C

Rodzaj hałasu	równoważny poziom dźwięku A (L'_A)*	szczytowy poziom dźwięku C (L'_{Cpeak})
hałas impulsowy wytwarzany na tle hałasu ustalonego (hałas mieszany) np. podczas obróbki metalu w przemyśle	a) nauszniki i wkładki przeciwhałasowe – wg dodatku informacyjnego C normy PN-EN 458:2016 [28] z wykorzystaniem poziomów granicznych H, M, L	b) nauszniki przeciwhałasowe – wg dodatku informacyjnego B normy PN-EN 458:2016 [28] z wykorzystaniem parametrów H, M, L** c) wkładki przeciwhałasowe – dodatkowo zastosować należy poprawkę wynikającą z różnicy w ograniczaniu hałasu impulsowego w trybie pasywnym i w trybie regulowanego tłumienia; poprawka może być wyznaczona w pomiarze z wykorzystaniem testera akustycznego
hałas impulsowy np. impulsy wytwarzane podczas ćwiczeń ze strzelania	a) nauszniki przeciwhałasowe – wg standardowych metod doboru ochronników słuchu (dodatek A normy PN-EN 458:2016 [28]): metoda pasm oktaowych, metoda HML, metoda SNR, przy czym preferowana jest metoda pasm oktaowych b) wkładki przeciwhałasowe – wg dodatku informacyjnego C normy PN-EN 458:2016 [28] z wykorzystaniem poziomów granicznych H, M, L	

* Wyniki wyznaczania parametrów hałasu pod ochronnikami słuchu przyjęło się oznaczać symbolami zawierającymi znak „'”. W przypadku równoważnego poziomu dźwięku A oznakowanie będzie miało postać „ L'_A ”, natomiast w przypadku szczytowego poziomu dźwięku C będzie to „ L'_{Cpeak} ”.

** Chodzi w tym przypadku o wysoko-, średnio- i niskoczęstotliwościowy parametr tłumienia. Nie należy mylić parametrów H, M, L z poziomami granicznymi H, M, L.

Podsumowując informacje zamieszczone w tabeli 1. trzeba stwierdzić, że dobór ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem przeprowadzany może być, w zależności od sytuacji, metodą wybraną spośród następujących trzech:

- metodą pasm oktaowych⁴ (dodatek A normy PN-EN 458:2016 [28]),
- metodą z wykorzystaniem parametrów H, M, L⁵ (dodatek informacyjny B normy PN-EN 458:2016 [28]),
- metodą z wykorzystaniem poziomów granicznych H, M, L⁶ (dodatek informacyjny C normy PN-EN 458:2016 [28]).

⁴ Octave band method.

⁵ Method for assessing the sound attenuation of a hearing protector for impulsive noise.

⁶ Selection method for sound-restoration level-dependent hearing protectors using HML-data.

Zasady stosowania metody pasm oktaowych oraz metody z wykorzystaniem parametrów H, M, L omówiono szczegółowo podczas prezentacji przykładu obliczeniowego w punkcie 3.3. Przykładowy sposób przeprowadzania obliczeń przy użyciu metody z wykorzystaniem poziomów granicznych H, M, L przedstawiono w punkcie 3.4.

3.3. Przykład doboru ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem do hałasu impulsowego

Poniżej przedstawiono przykład doboru nauszników przeciwhałasowych z regulowanym tłumieniem, który dotyczy stanowiska trenera strzelania na strzelnicy, w obecności hałasu impulsowego.

Ćwiczenia, które prowadził trener, odbywały w dwóch wariantach: 6 strzelców jednocześnie oddających strzały z pistoletu Glock i 6 strzelców jednocześnie oddających strzały ze strzelby Mosseberg. Czas trwania jednego cyklu strzelań wynosił 420 s. Czas trwania jednego cyklu strzelań oznacza pełen reprezentatywny cykl zdarzeń, określony zgodnie z zasadami przeprowadzania pomiarów parametrów hałasu na stanowisku pracy, określonymi w normie EN ISO 9612 [9]. Na strzelnicy cykl obejmuje czynności poprzedzające strzelanie tj. instruktaż, załadowanie broni i inne przygotowania; strzelanie, a następnie czynności po strzelaniu związane z rozładowaniem broni, sprawdzeniem jej stanu itp. Zmierzone w trakcie jednego cyklu strzelań wartości szczytowego poziomu dźwięku C wynosiły 153,3 dB podczas strzelania z pistoletu Glock i 158,1 dB podczas strzałów ze strzelby Mossberg. Są to wartości przewyższające wartość NDN wynoszącą 135 dB, zatem na takim stanowisku pracy niezbędne jest stosowanie ochronników słuchu.

Ze względu na to, że na strzelnicy wytwarzany jest hałas o charakterze impulsowym, dobór wymaga obliczenia wartości szczytowego poziomu dźwięku C (L'_{Cpeak}) i równoważnego poziomu dźwięku A (L'_A), a następnie porównania uzyskanych wartości z wartościami kryterialnymi. W związku z tym, że hałas impulsowy na strzelnicy występuje samodzielnie (nie jest wytwarzany na tle hałasu ustalonego), nauszniki przeciwhałasowe dobiera się metodami, które są zbieżne z użytkowaniem tych nauszników w trybie pasywnym. Zgodnie z zasadami zamieszczonymi w tabeli 1., w przypadku równoważnego poziomu dźwięku A

można zastosować standardowe metody doboru przedstawione w normie PN-EN 458:2016 [28]: metodę pasm oktaowych, metodę HML lub metodę SNR. Wyniki metody pasm oktaowych uznawane są za najdokładniejsze [28]. W związku z tym, w przedstawionym przykładzie skupiono się na obliczeniach z zastosowaniem tej metody. W przypadku parametru L'_{Cpeak} stosuje się metodykę oceny ograniczania hałasu impulsowego zamieszczoną w dodatku informacyjnym B wspomnianej normy PN-EN 458:2016 [28].

W metodzie pasm oktaowych obliczenia do doboru ochronników słuchu przeprowadzane są z wykorzystaniem danych tłumienia dźwięku ochronników słuchu w 7 pasmach częstotliwości, z zakresu od 125 Hz do 8000 Hz. Metoda HML bazuje na mniejszej liczbie danych tj. 3 parametrach ochronnika słuchu oznaczanych jako H, M i L. W metodzie SNR wykorzystywany jest tylko 1 parametr (SNR), charakteryzujący właściwości ochronnika słuchu. W tabeli 2. przedstawiono wartości omówionych parametrów w przypadku doboru 5 naszników przeciwhałasowych.

Tabela 2. Dane tłumienia dźwięku naszników przeciwhałasowych z regulowanym tłumieniem: m_f – wartość średnia tłumienia dźwięku%, s_f – odchylenie standardowe tłumienia dźwięku, H – wysokoczęstotliwościowy parametr tłumienia#, M – średniczęstotliwościowy parametr tłumienia, L – niskoczęstotliwościowy parametr tłumienia, SNR – jednolicebowa ocena tłumienia

Nausznik przeciwhałasowy	m_f/s_f	Częstotliwość [Hz]							H [dB]	M [dB]	L [dB]	SNR [dB]
		125	250	500	1000	2000	4000	8000				
A	m_f [dB]	11,5	17,9	27,8	30	32,1	36,2	40,3	31 ^s	25	16	28
	s_f [dB]	2,5	2,7	1,8	2,3	3,0	2,0	3,1				
B	m_f [dB]	13,8	21,5	30,9	36,6	35,9	35,5	39	32	29	20	31
	s_f [dB]	1,8	0,9	1,3	1,5	5,5	3,1	2,3				
C	m_f [dB]	21,1	17,9	27	26,8	30,5	38,3	36,4	29	23	16	26
	s_f [dB]	4,3	3,1	3,8	3,0	3,0	3,7	5,4				
D	m_f [dB]	17	24	29,5	36,9	37,3	39,3	35,4	34	29	22	32
	s_f [dB]	3,2	2,0	2,6	3,3	4,9	3,2	3,9				
E	m_f [dB]	13,3	17,4	22,3	28	30,8	37,6	37	29	23	17	26
	s_f [dB]	3,2	1,8	2,3	3,2	3,4	2,8	4,8				

% – definicje m_f i s_f podano w EN 4869-1 [13]

– definicje parametrów H, M, L i SNR zdefiniowano w ISO 4869-2 [31]

^s – wartości parametrów H, M, L podawane są po zaokrągleniu do liczb całkowitych

Szacowanie wartości parametru L'_{Cpeak} przeprowadza się, stosując metodę określaną jako „Method for assessing the sound attenuation of a hearing protector for impulsive noise” (dodatek informacyjny B normy PN-EN 458:2016 [28]). Instrukcja dla użytkownika ochronników słuchu nie zawiera danych odnoszących się w bezpośredni sposób do hałasu impulsowego. Stąd, w omawianej metodzie obliczeniowej należy korzystać z odpowiednio skorygowanych danych ochronnika słuchu, tj. wymienionych wcześniej parametrów H, M lub L.

W związku z tym, że dany ochronnik słuchu w różnym stopniu ogranicza impulsy akustyczne wytwarzane przez różne źródła, źródła te podzielono na 3 grupy, tzw. typy hałasu (typ 1, 2 i 3) i sposób przeprowadzania obliczeń uzależniono od tego, do którego typu zalicza się rozpatrywane źródło. Przypisanie źródła hałasu do typu hałasu związane jest z tym, w jakim zakresie częstotliwości znajdują się dominujące składowe widmowe energii sygnału wytwarzanego przez rozpatrywane źródło. Hałas impulsowy wytwarzany podczas strzałów z pistoletu Glock, ze względu na dominującą zawartość składowych sygnału przypadających na zakres wysokich częstotliwości zalicza się do typu hałasu 3. Wtedy wartość parametru L'_{Cpeak} pod ochronnikiem słuchu obliczana jest z zależności (1). Z kolei strzały ze strzelby Mossberg stanowią źródło hałasu zaliczane do typu hałasu 2 (w sygnale dominują składowe z zakresu średnich oraz wysokich częstotliwości) i stosowana jest wtedy zależność (2). W przypadku typu hałasu 1 (dominują składowe przypadające na zakres niskich częstotliwości) używana jest zależność analogiczna do (2) z tą różnicą, że parametr M należy zastąpić parametrem L.

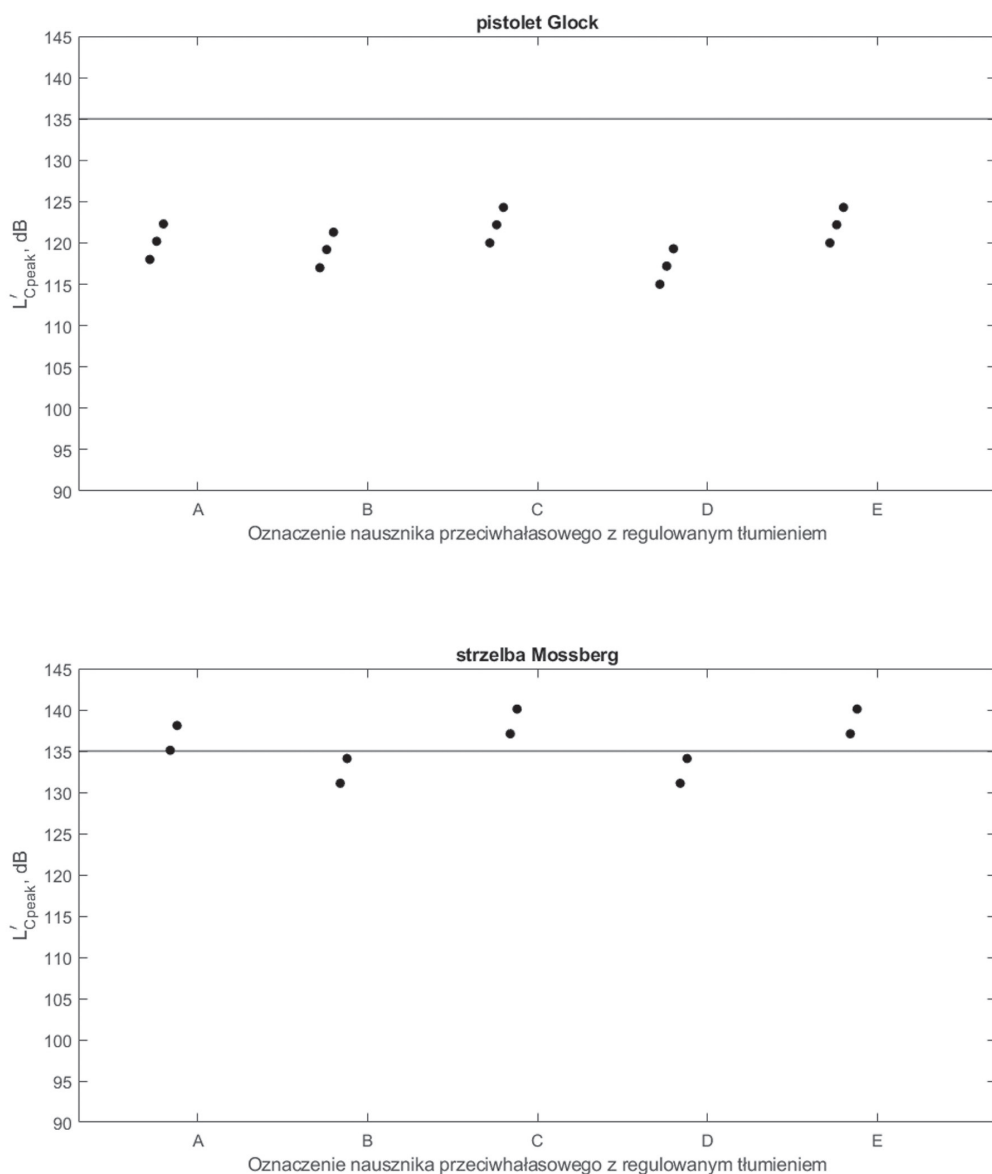
$$L'_{Cpeak} = L_{Cpeak} - H \quad [dB] \quad (1)$$

$$L'_{Cpeak} = L_{Cpeak} - (M-5) \quad [dB] \quad (2)$$

gdzie:

L_{Cpeak} wynosi 153,3 dB (strzały z pistoletu Glock) lub 158,1 dB (strzały ze strzelby Mossberg).

Na rys. 7. przedstawiono wyniki wyznaczania wartości L'_{Cpeak} pod nausznikami przeciwhałasowymi, charakteryzującymi się parametrami przedstawionymi w tabeli 2., z wykorzystaniem zależności (1) i (2).



Rys. 7. Szczytowy poziom dźwięku C wyznaczony pod nausznikami przeciwhałasowymi z regulowanym tłumieniem

W celu wyznaczenia poziomu dźwięku A L'_A pod ochronnikami słuchu (nausznikami przeciwhałasowymi) w omawianym przykładzie zastosowano metodę pasm oktaowych. Metoda ta wymaga znajomości zmierzonych wartości poziomu

ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych w zakresie 125–8000 Hz hałasu na stanowisku pracy (tabela 4.) oraz wartości średniego tłumienia dźwięku i odchylenia standardowego tego tłumienia.

Poziom dźwięku A pod ochronnikiem słuchu L'_A oblicza się zgodnie ze wzorem (3):

$$L'_A = 10 \log \sum_{f=125}^{8000} 10^{0,1(L_f + K_{Af} - (m_f - s_f))} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

gdzie:

L_f – poziom ciśnienia akustycznego hałasu w paśmie oktaowym o częstotliwości środkowej f , dB

K_{Af} – wartość poprawki według krzywej korekcji A (tabela 3), dB

m_f – średnie tłumienie dźwięku ochronnika słuchu, dB

s_f – odchylenie standardowe tłumienia dźwięku, dB

f – częstotliwość środkowa pasma oktaowego z zakresu 125–8000 Hz.

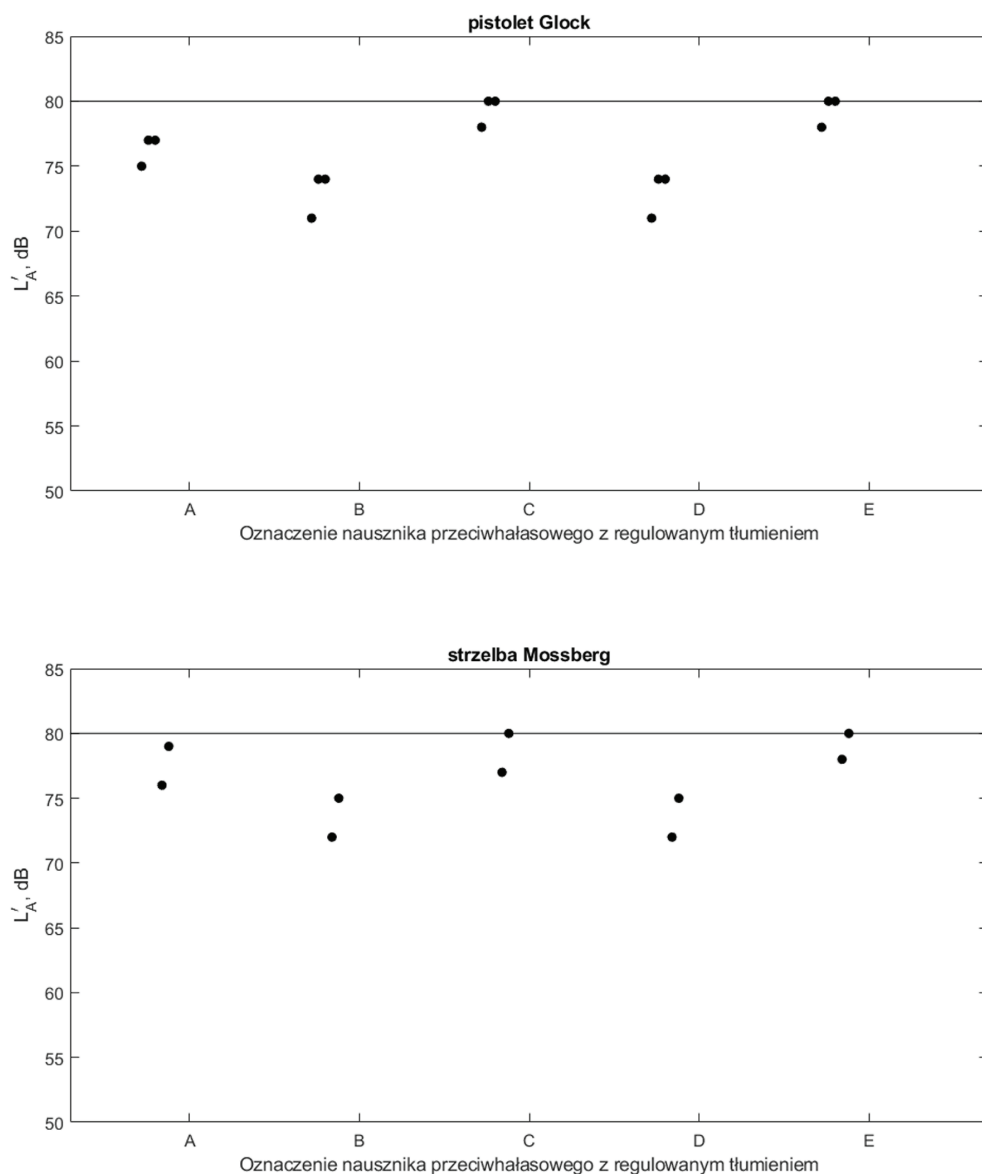
Tabela 3. Wartość poprawki według krzywej korekcji A

Częstotliwość środkowa pasma oktaowego f , Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
K_{Af} , dB	-16,2	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1	-1,1

Tabela 4. Wartości poziomów ciśnienia akustycznego (wyrażone w decybelach) w pasmach oktaowych

	Częstotliwość środkowa pasma oktaowego f , Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pistolet Glock	83,6	93,7	98,2	100	97,1	97,3	95,3
Strzelba Mossberg	94,2	98,7	97,7	95	95,8	95,6	93,9

Podstawiając do zależności 3 dane z tabeli 2. (tłumienie dźwięku i odchylenie standardowe tłumienia ochronników), tabeli 3. (poprawka według krzywej korekcji A) i tabeli 4. (poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych hałasu) obliczono wartości równoważnego poziomu dźwięku A pod nausznikami przeciwhałasowymi (rys. 8.).



Rys. 8. Równoważny poziom dźwięku A wyznaczony pod nausznikami przeciwhałasowymi z regulowanym tłumieniem

Wyniki przedstawione na rys. 7. i 8. wskazują na to, że w przypadku strzałów z pistoletu Glock odpowiednie zabezpieczenie narządu słuchu instruktora strzelania gwarantują wszystkie uwzględnione w obliczeniach nauszniki przeciwhałasowe. Wartość szczytowego poziomu dźwięku C pod nausznikami A, B, C, D, E

jest poniżej bezpiecznej wartości 135 dB i jednocześnie nie została przekroczona wartość 80 dB w przypadku równoważnego poziomu dźwięku A. W przypadku strzelby Mossberg jedynie nauszники przeciwhałasowe B i D spełniają oba kryteria doboru w przypadku hałasu impulsowego.

3.4. Przykład stosowania metody doboru ochronników słuchu z wykorzystaniem poziomów granicznych H, M, L

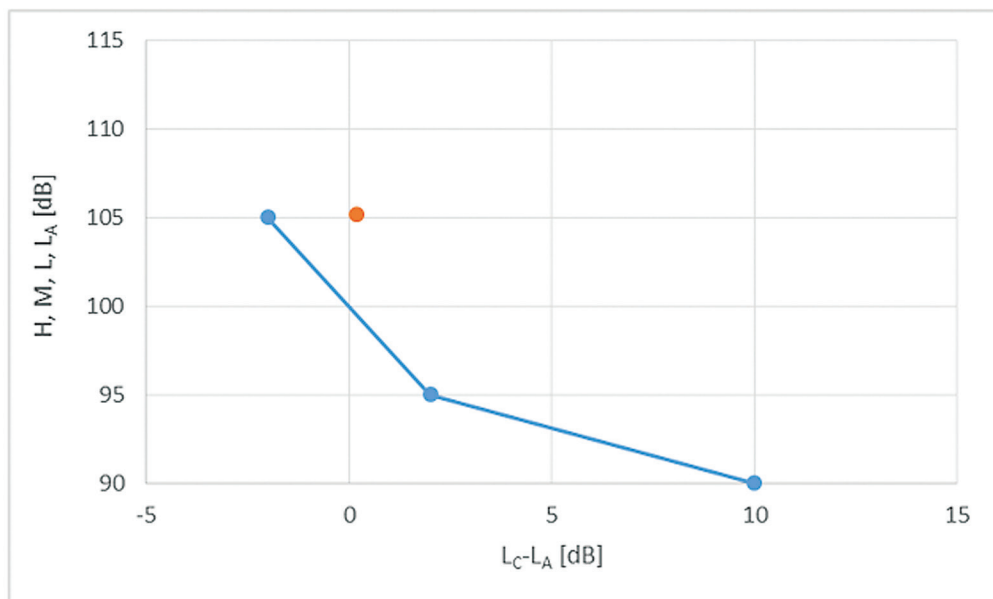
Poziomy graniczne H, M, L można wykorzystać do doboru ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem w przypadku równoważnego poziomu dźwięku A, sprawdzając, czy parametry hałasu L_{Ceq} (równoważny poziom dźwięku C) i L_{Aeq} (równoważny poziom dźwięku A), w którego obecności użytkowane są te ochronniki, prowadzą do spełnienia przyjętego kryterium: założono, że równoważny poziom dźwięku A, w przypadku stosowania analizowanych ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem, jest mniejszy niż 85 dB⁷, w przypadku gdy punkt danych reprezentujący parametry hałasu, naniesiony na przeznaczony do tego celu wykres znajdzie się poniżej linii kryterialnej.

Należy przygotować wykres, którego oś pozioma służy do zaznaczania wartości różnic L_{Ceq} i L_{Aeq} . W charakterystycznych punktach osi poziomej tj. -2, 2 oraz 10 dB należy odpowiednio zaznaczyć wartości poziomów granicznych H, M i L. Połączenie tych punktów wyznacza linię kryterialną. Na wykres należy nanieść wspomniany punkt danych reprezentujący parametry hałasu tak, że jego wartość na osi poziomej ustanowiona jest różnicą wartości L_{Ceq} i L_{Aeq} charakteryzujących hałas. Wartość tego punktu na osi pionowej określona jest wartością L_{Aeq} .

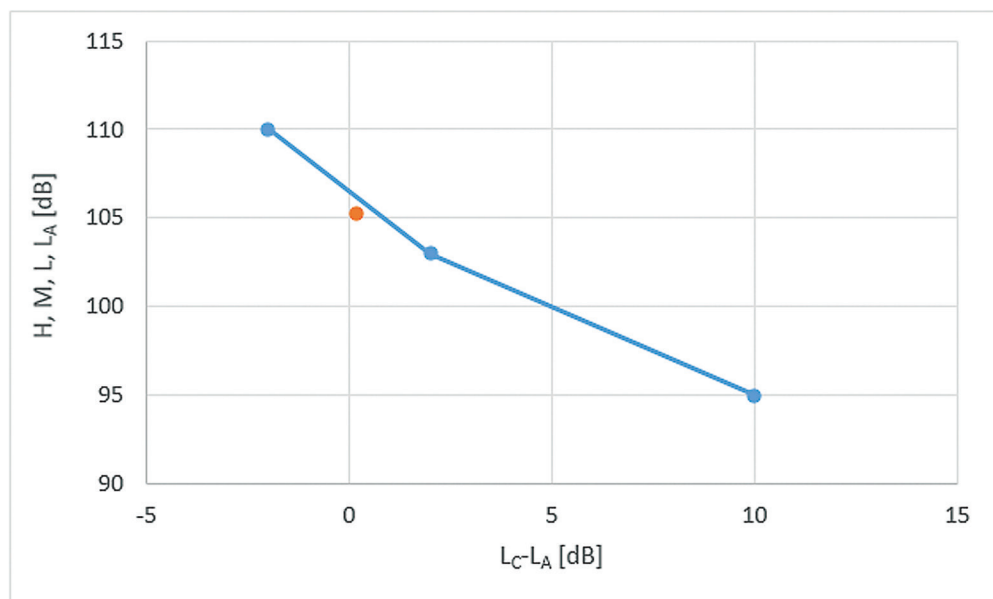
Wykresy przedstawiające zasadę doboru ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem, z wykorzystaniem poziomów granicznych H, M, L, charakteryzujących właściwości dwóch przykładowych ochronników słuchu, zamieszczono na rys. 9. Zauważyć można, że ochronnik słuchu, którego dane umieszczono na rys. 9 a, nie jest odpowiedni do zabezpieczania słuchu jego użytkownika – punkt danych charakteryzujących hałas znalazł się bowiem powyżej linii kryterialnej. Natomiast ochronnik słuchu z rys. 9 b jest odpowiedni do zabezpieczania słuchu: punkt danych charakteryzujących hałas znajduje się bowiem poniżej linii kryterialnej.

⁷ Wartość tu wymieniona, zgodnie z zaleceniami zamieszczonymi w załączniku informacyjnym C normy PN-EN 458:2016 [28], różni się od wartości kryterialnej 80 dB wymienionej w punkcie 3.2.

a)



b)



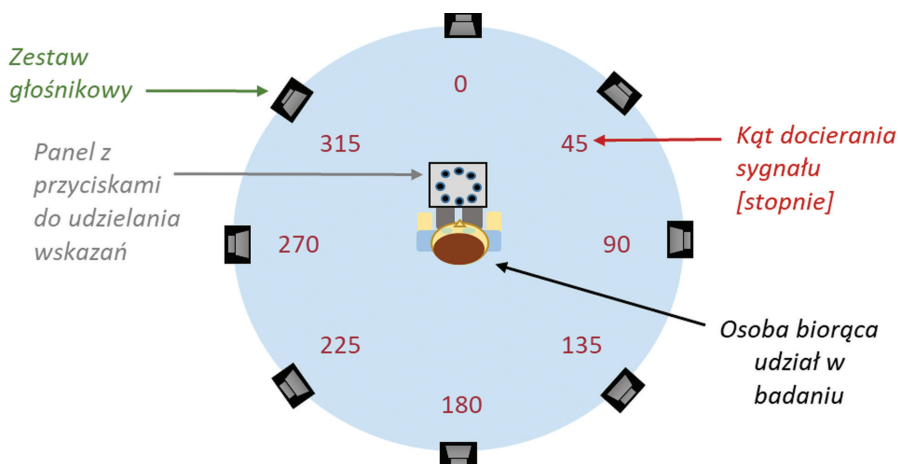
Rys. 9. Zasada doboru ochronników słuchu w przypadku hałasu, którego L_{Aeq} wynosi 105,2 dB, L_{Ceq} wynosi 105,4 dB ($L_C - L_A = 0,2$ dB). Podane wartości parametrów hałasu są podstawą do określenia położenia na wykresie punktu danych koloru pomarańczowego. Poziome graniczne H , M , L charakteryzujące ochronnik słuchu, wykorzystane do narysowania linii kryterialnych (kolor niebieski), wynoszą: a) $H = 105$, $M = 95$, $L = 90$; b) $H = 110$, $M = 103$, $L = 95$

4. Ocena percepcji sygnałów ostrzegawczych pojazdów przez osoby stosujące ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem w warunkach występowania hałasu impulsowego

W warunkach przemysłowych hałas o charakterze impulsowym najczęściej występuje na tle hałasu ustalonego. Niektóre czynności, np. związane z obróbką metalu, wymagają ręcznej obsługi procesu realizowanego w pobliżu źródła hałasu, w taki sposób, że nie istnieje możliwość fizycznego odseparowania miejsca przebywania pracownika od źródła hałasu. Możliwości ograniczania hałasu z użyciem środków technicznych są zatem często ograniczone [25]. Podobnie jak w przypadku oddawania strzałów z broni palnej, również w wielu miejscach pracy w przemyśle niezbędne staje się wdrożenie ostatecznego rozwiązania, choć często jedyne możliwe, tj. stosowania ochronników słuchu. Zaletą ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem, w porównaniu z klasycznymi, pasywnymi ochronnikami słuchu jest to, że nie ograniczają one tak silnie względnie cichych dźwięków, jak dźwięków o dużym poziomie ciśnienia akustycznego [26]. Sprzyja to percepcji istotnych dla użytkownika ochronników słuchu dźwięków o niskim poziomie ciśnienia akustycznego [27].

Jednym z aspektów funkcjonalności ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem jest percepcja sygnałów ostrzegawczych przez osoby stosujące te ochronniki w warunkach występowania hałasu impulsowego. Ocenę percepcji przeprowadzono na przykładzie sygnałów ostrzegawczych pojazdów z uwzględnieniem impulsowego charakteru hałasu wytwarzanego w przemyśle, który występował na tle hałasu ustalonego. Pomiar percepcji sygnałów ostrzegawczych pojazdów w przypadku każdego z ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem uwzględnionego w badaniach przeprowadzano w trzech różnych trybach ich użytkowania: w trybie pasywnym (wyłączony układ regulowanego tłumienia), przy największym wzmocnieniu (włączony układ regulowanego tłumienia i ustawione największe możliwe wzmocnienie) oraz przy średnim wzmocnieniu (włączony układ regulowanego tłumienia i ustawione średnie wzmocnienie).

Podczas badań odzwierciedlano warunki występowania hałasu impulsowego wytwarzanego w przemyśle, odtwarzając, z wykorzystaniem techniki ambisonicznej, hałas tła. Na tle tego hałasu, według losowo określonych sekwencji, emitowano sygnał ostrzegający o jeździe wstecz pojazdu. W trakcie badań zadaniem osoby biorącej w nich udział było wsłuchiwanie się w dochodzące do niej dźwięki i wskazywanie, poprzez wciśnięcie odpowiedniego przycisku na panelu ustawionym z przodu, z którego kierunku docierał według niej sygnał ostrzegający o jeździe wstecz pojazdu. Schemat układu pomiarowego pokazano na rys. 10.



Rys. 10. Schemat układu pomiarowego wykorzystywanego do badań oceny percepcji sygnałów ostrzegawczych

Podczas analizy wyników wyznaczano wskaźnik rozpoznawania kierunku (WRK) docierania sygnału ostrzegającego o jeździe wstecz pojazdu, który w mierze procentowej wyrażał, ile poprawnych odpowiedzi przypadało na wszystkie sygnały odtworzone w trakcie rozpatrywanej sytuacji pomiarowej. Wartość tego wskaźnika (tabela 5.), wyznaczona na podstawie wszystkich danych pomiarowych uzyskanych w przypadku wkładek przeciwhałasowych (56%), przewyższała każdą z wartości uzyskanych w odniesieniu do któregośkolwiek spośród trzech naszników przeciwhałasowych. Wartości wskaźnika wyznaczone z podziałem na poszczególne tryby użytkowania ochronników słuchu (rys. 11.) doprowadziły do wniosku, że niezależnie od tego, w jakim trybie użytkowane są ochronniki, poprawne rozpoznawanie kierunków docierania sygnału ostrzegającego o jeździe wstecz pojazdu możliwe jest w znacznie większej liczbie przypadków wtedy, gdy

użytkowane są wkładki przeciwhałasowe z regulowanym tłumieniem niż wówczas, gdy stosowane są nauszники przeciwhałasowe z regulowanym tłumieniem.

Średnia wartość wskaźnika wyznaczonego w przypadku wkładki przeciwhałasowej (z uwzględnieniem wszystkich trzech trybów jej pracy) przekracza o 13 punktów procentowych wartość uśrednioną odnoszącą się do 3 nauszników i wszystkich trybów ich pracy.

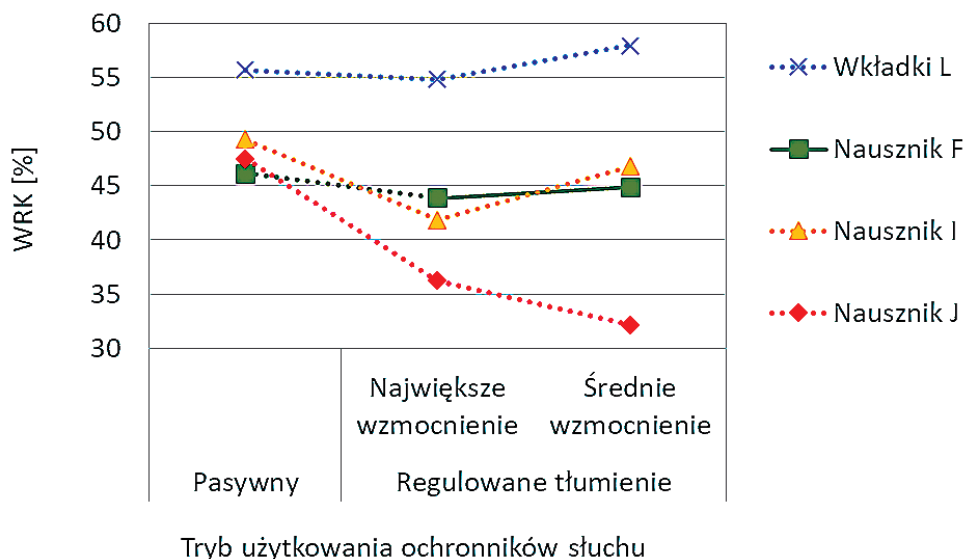
Tabela 5. Wartości wskaźnika rozpoznawania kierunków (WRK) wyznaczone na podstawie wszystkich danych pomiarowych uzyskanych w przypadku każdego z ochronników słuchu

Ochronnik słuchu	WRK [%]
Nausznik przeciwhałasowy F	45
Nausznik przeciwhałasowy I	46
Nausznik przeciwhałasowy J	39
Wkładki przeciwhałasowe L	56

Rozpiętość wartości wskaźnika rozpoznawania kierunku pomiędzy poszczególnymi trybami użytkowania ochronników słuchu (rys. 11.) przyjmowała stosunkowo niewielkie wartości (2-3 punkty procentowe) w przypadku nauszników przeciwhałasowych F oraz wkładki przeciwhałasowej L. Nieco większe różnice wartości wskaźnika rozpoznawania kierunku pomiędzy trybami wystąpiły w przypadku nauszника I (7 punktów procentowych). Największa rozpiętość, o wartości przekraczającej 15 punktów procentowych, wystąpiła w przypadku nauszника J. Taka globalna analiza wyników wskazała zatem, że wśród ochronników słuchu można znaleźć takie (nausznik przeciwhałasowy F i wkładki przeciwhałasowe L), w przypadku których tryb ich użytkowania ma niewielki wpływ na możliwość rozpoznawania kierunku docierania sygnału ostrzegającego o jeździe wstecz pojazdu.

Tryb stosowania ochronników słuchu może też w pewnym stopniu wpływać na możliwość rozpoznawania kierunku. Było tak w przypadku nauszника J: jego używanie w trybie regulowanego tłumienia skutkowało zauważalnym pogorszeniem możliwości określania kierunku, z którego dociera sygnał ostrzegający o jeździe wstecz pojazdu. Pogorszenie to miało miejsce zarówno przy największym, jak i średnim wzmocnieniu w układzie regulowanego tłumienia nauszника J i przyjmowało wartości przekraczające 11 oraz 15 punktów procentowych.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazały ponadto, że użytkownicy ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem mają najmniej problemów z poprawnym wskazywaniem kierunku docierania sygnału ostrzegającego o jeździe wstecz pojazdu, gdy jest on odtwarzany z boku osoby (kąty 90 ° oraz 270 °). Mniejsze możliwości poprawnego określania kierunku występują w przypadku, gdy dźwięk odtwarzany jest z tyłu badanego, a najmniejsze, gdy dociera on z kierunku zlokalizowanego na wprost przed nim [33].



Rys. 11. Wartości wskaźnika rozpoznawania kierunków (WRK) wyznaczone na podstawie wszystkich danych pomiarowych uzyskanych w przypadku każdego z ochronników słuchu, z podziałem na tryby pracy ochronników słuchu

Podsumowując należy przypomnieć, że stosowanie wkładek przeciwhałasowych z regulowanym tłumieniem wiąże się z większymi możliwościami poprawnego rozpoznawania kierunku docierania dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa niż ma to miejsce w przypadku nauszników przeciwhałasowych. Tryb użytkowania wkładek przeciwhałasowych nie ma przy tym istotnego wpływu na rozpatrywane możliwości percepcji kierunku docierania sygnałów ostrzegawczych. Ocena nauszników przeciwhałasowych świadczy natomiast o tym, że w zależności od modelu wpływ włączenia trybu regulowanego tłumienia może być niewielki lub wręcz skutkować znaczącym pogorszeniem możliwości rozpoznawania kierunku docierania dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa.

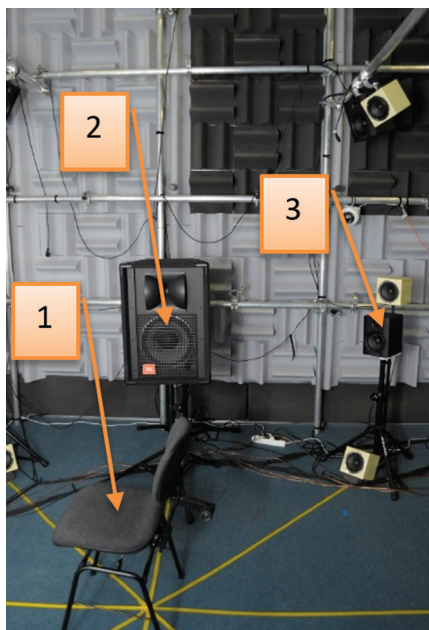
Wyniki badań wskazują więc, że to, w który model ochronnika słuchu z regulowanym tłumieniem zostanie wyposażony pracownik, będzie miało znaczenie ze względu na możliwość określania przez niego kierunku docierania sygnału ostrzegającego o jeździe wstecz pojazdu. Zatem w miejscach pracy, gdzie ze względów bezpieczeństwa pracownika istotne jest prawidłowe określanie kierunku docierania dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa, wybór modelu ochronników ma znaczenie. W przypadku większości ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem włączenie trybu regulowanego tłumienia, w miejsce użytkowania ochronników słuchu w trybie pasywnym, nie wpływa w znaczący sposób na możliwość rozpoznawania kierunków docierania dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w środowisku pracy, w którym obecny jest hałas impulsowy (na tle hałasu ustalonego). Wśród ochronników słuchu mogą jednak znaleźć się takie (nausznik J), które w istotnym stopniu będą wpływały na pogorszenie możliwości określania kierunku docierania dźwięku po zmianie trybu ich pracy z pasywnego na tryb regulowanego tłumienia.

5. Percepcja dźwięków mowy przez osoby stosujące ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem w obecności hałasu impulsowego

Ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem umożliwiają sprawną komunikację werbalną w momentach względnej ciszy, bez potrzeby ich zdejmowania. W przypadku narażenia na hałas impulsowy, ze względu na nagły i szczególnie niebezpieczny charakter tego hałasu, ochronniki słuchu powinny być założone przez cały czas, kiedy potencjalnie może wystąpić impuls akustyczny. W takiej sytuacji istotna jest analiza, w jaki sposób włączony układ regulowanego tłumienia wpłynie na możliwość rozumienia dźwięków mowy przez użytkownika ochronników słuchu, w obecności mogących się pojawić impulsów akustycznych.

Sprawdzenie takiego przypadku przeprowadzono odzwierciedlając w warunkach laboratoryjnych typową sytuację, mogącą mieć miejsce podczas ćwiczeń ze

strzelania odbywających się na strzelnicy. Przykładowo, do osoby, która komunikuje się werbalnie z trenerem strzelectwa, dociera impuls akustyczny związany ze strzałem oddanym przez innego strzelającego. Na stanowisku badawczym wykorzystano hałas impulsowy zarejestrowany uprzednio w warunkach rzeczywistych, wytwarzany w trakcie oddawania strzałów z pistoletu maszynowego Glauberyta (kaliber 9×19 mm Parabellum). W celu odwzorowania sytuacji rzeczywistej, polegającej na percepcji dźwięków mowy wypowiedzianych przez instruktora strzelectwa, z tyłu osoby biorącej udział w badaniu ustawiono zestaw głośnikowy przeznaczony do odtwarzania dźwięków mowy (z prawej jej strony, odchylony horyzontalnie od osi przód-tył osoby o kąt 45°) (rys. 12.). Drugi zestaw głośnikowy, przeznaczony do odtwarzania hałasu impulsowego, ustawiono z prawej strony. Zlokalizowanie tego zestawu głośnikowego z boku osoby było powiązane z odzwierciedlaniem rzeczywistej sytuacji nadchodzenia impulsów wytwarzanych na jednym ze stanowisk strzeleckich oddalonych od potencjalnego miejsca przebywania osoby użytkującej rozpatrywany ochronnik słuchu z regulowanym tłumieniem. Sygnałem testowym przeznaczonym do rozpoznawania były elementy testu wyrazowego. Na tle hałasu impulsowego odtwarzano dźwięki mowy w taki sposób, że występowała zbieżność czasowa odtwarzanych impulsów akustycznych i słów przeznaczonych do rozpoznawania.



Rys. 12. Usytuowanie zestawów głośnikowych na stanowisku badawczym przeznaczonym do oceny percepcji dźwięków mowy przez osoby stosujące ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem w obecności hałasu impulsowego: 1 – siedzisko przeznaczone dla osoby biorącej udział w badaniach, 2 – zestaw głośnikowy przeznaczony do odtwarzania hałasu impulsowego, 3 – zestaw głośnikowy przeznaczony do odtwarzania dźwięków mowy

Zadaniem każdej z osób biorących udział w badaniach było wsłuchiwanie się w dźwięki mowy do niej dochodzące i zapisywanie ich treści na przygotowanych do tego celu formularzach. Uzyskane dane pomiarowe wykorzystano do wyznaczenia zrozumiałości mowy, której miarą jest wyrażony procentowo iloraz liczby prawidłowo zrozumianych słów w trakcie określonego, elementarnego pomiaru do liczby wszystkich słów odtworzonych podczas tego pomiaru (definicja na podstawie [36]).

Tryb regulowanego tłumienia umożliwia komfortowe prowadzenie komunikacji werbalnej w momentach względnej ciszy. Ze względu na to, że ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem znajdują również zastosowanie w zabezpieczaniu słuchu przed hałasem impulsowym, uzyskane dane pomiarowe wykorzystano do sprawdzenia dwóch zagadnień. Po pierwsze, sprawdzano, jakie skutki niesie potencjalna zmiana pasywnych ochronników słuchu na ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem. Po wtóre, badano, czy możliwe jest rozróżnienie ochronników słuchu pod względem zrozumiałości mowy podczas ich używania w trybie regulowanego tłumienia, w obecności hałasu impulsowego.

W tabeli 6. zamieszczono wartości zrozumiałości w obu trybach użytkowania ochronników słuchu oraz różnice wartości zrozumiałości mowy, wynikające ze zmiany trybu użytkowania ochronników z pasywnego na tryb regulowanego tłumienia. Zauważyć można, że istotnie statystycznie skutki włączenia trybu regulowanego tłumienia, w porównaniu z trybem pasywnego użytkowania, miały miejsce w przypadku dwóch spośród 10 ochronników i oznaczały wzrost średniej wartości zrozumiałości mowy o blisko 10 punktów procentowych.

Tabela 6. Zestawienie wartości zrozumiałości w obu trybach użytkowania ochronników słuchu oraz różnica zrozumiałości mowy wynikająca ze zmiany trybu użytkowania ochronników z pasywnego na tryb regulowanego tłumienia. Różnice zakwalifikowane jako istotne statystycznie zaznaczono pogrubioną czcionką w podświetlonych komórkach tabeli (pp – punkty procentowe)

Ochronnik słuchu	Tryb pasywny	Tryb regulowanego tłumienia	Różnica: zmiana z trybu pasywnego na tryb regulowanego tłumienia
	%	%	pp
A	50,8	49,2	-1,6
B	40,8	48,6	7,8
C	47,6	56,8	9,2
D	38,4	48,6	10,2
F	41,8	46,6	4,8
G	51,2	48,0	-3,2
H	55,4	55,0	-0,4
I	41,8	46,6	4,8
J	45,6	52,0	6,4
L	52,2	51,0	-1,2

W tabeli 7. zamieszczono wartości bezwzględne różnic zrozumiałości mowy pomiędzy sytuacjami używania różnych ochronników słuchu w trybie regulowanego tłumienia. Wyniki podano w sytuacjach, które mogą być uznane za istotne statystycznie. W 8 sytuacjach porównań ochronników słuchu różnice w zmierzonych wartościach zrozumiałości mowy (podczas używania tych ochronników w trybie regulowanego tłumienia) okazały się istotne statystycznie. Wszystkich możliwych przypadków, które można porównywać, tzn. porównywać wyniki zrozumiałości mowy zmierzone podczas używania uwzględnionych w badaniach ochronników słuchu, jest 45. Oznacza to, że istotne statystycznie rozróżnienie pomiędzy ochronnikami słuchu występuje w 18 % przypadków. Średnie wartości zrozumiałości mowy rozróżniające stosowanie poszczególnych ochronników słuchu, w sytuacjach uznanych za istotne statystycznie, zawierają się w zakresie od 7,6 do 10,2 punktów procentowych.

Tabela 7. Wartości bezwzględne różnic zrozumiałości mowy pomiędzy sytuacjami używania różnych ochronników słuchu w trybie regulowanego tłumienia. Elementy zestawienia należy odczytywać, wybierając wynik znajdujący się na przecięciu kolumny i wiersza opisanych symbolami dwóch określonych (różnych) ochronników słuchu. W tabeli zamieszczono tylko wartości dotyczące sytuacji uznanych za statystycznie istotne (wartości wyrażono w punktach procentowych)

		Ochronnik słuchu								
		B	C	D	F	G	H	I	J	L
Ochronnik słuchu	A		7,6							
	B		8,2							
	C			8,2	10,2	8,8		10,2		
	D									
	F						8,4			
	G									
	H							8,4		
	I									
	J									

Wobec wspomnianych niewątpliwych zalet stosowania ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem, czyli możliwości ich nieprzerwanego użytkowania bez utraty kontaktu z otoczeniem w warunkach względnej ciszy i tym samym ciągłej ochrony słuchu, za oczekiwany pozytywny efekt badań zrozumiałości mowy w obecności impulsów akustycznych, należałoby przyjąć brak ujemnego wpływu włączenia układu regulowanego tłumienia na możliwość percepcji dźwięków mowy.

Oczekiwanie to znajduje potwierdzenie w obserwowanej rzeczywistości, ponieważ wyniki badań nie wskazały na istotne statystycznie pogorszenie zrozumiałości mowy związane ze zmianą trybu używania ochronników słuchu z pasywnego na regulowane tłumienie. Oznacza to, że użytkownicy ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem, którzy wybierają je ze względu na ich podstawową funkcjonalność, czyli możliwość przekazywania dźwięków mowy pod te ochronniki słuchu w momentach względnej ciszy, mogą stosować je również w obecności impulsów akustycznych, bez obaw o pogorszenie możliwości rozumienia słów (w porównaniu z pasywnymi ochronnikami słuchu).

Co więcej, wyniki wskazały, że wśród ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem znaleźć można również modele, które nie tylko nie pogarszają zrozumiałości mowy, ale ją wręcz poprawiają. Dwa spośród 10 modeli ochronników słuchu umożliwiają lepsze rozumienie mowy w przypadku włączonego układu elektronicznego, niż przy pasywnej ochronie słuchu, średnio o blisko 10 punktów procentowych.

Analiza zmierzonych wartości zrozumiałości mowy w sytuacjach użytkownika różnych ochronników słuchu w trybie regulowanego tłumienia, w obecności hałasu impulsowego wskazała ponadto, że istotne statystycznie rozróżnienie pomiędzy ochronnikami słuchu występuje w 18% przypadków. Różnice średnich wartości zrozumiałości mowy pomiędzy dwoma wybranymi ochronnikami słuchu, w sytuacjach uznanych za istotne statystycznie, zawierają się w zakresie od 7,6 do 10,2 punktów procentowych. Przykładowo, w jednym z najbardziej korzystnych przypadków, zastosowanie nausznika przeciwhałasowego C w miejsce nausznika F prowadziło do zmiany wartości średniej zrozumiałości mowy z 46,6% do 56,8%, czyli powodowało wzrost wynoszący 10,2 punktu procentowego.

Zmiana o 10 punktów procentowych, w określonych warunkach odbioru dźwięków mowy (przy określonym SNR – stosunek sygnału do szumu), może skutkować na tyle dużą zmianą jakości percepcji dźwięków mowy, że umożliwi odbiór informacji istotnych dla bezpieczeństwa użytkownika ochronników słuchu. Należy przy tym zauważyć, że w sytuacjach rzeczywistych, gdzie poziom ciśnienia akustycznego hałasu impulsowego docierającego do miejsca przebywania użytkownika ochronników słuchu nie może być zmniejszony (np. hałas podczas ćwiczeń na strzelnicy dociera od strzelca korzystającego z określonego toru), korzystna zmiana stosunku sygnału do szumu może być osiągnięta poprzez zmianę poziomu mowy, np. z podniesionego do głośnego (według klasyfikacji poziomu mowy zamieszczonej w normie dotyczącej oceny porozumiewania się mową [32]).

Podsumowując, można stwierdzić, że korzystanie z ochronników słuchu wyposażonych w układ regulowanego tłumienia nie wiąże się z ograniczeniami polegającymi na istotnym pogorszeniu możliwości percepcji dźwięków mowy w obecności hałasu impulsowego. Ponadto w sytuacjach krytycznych, gdzie wzrastają wymagania co do zrozumiałości przekazu słownego, wybór określonego ochronnika słuchu z regulowanym tłumieniem może okazać się korzystny.

Bibliografia

1. Hale M.E. Exposure to recreational/occupational shooting range noise vs. industrial impulsive noise. In Proceedings of the 24th National Conference on Noise Control Engineering 2010 (Noise-CON): held jointly with the 159th meeting of the Acoustical Society of America, Baltimore, Maryland, USA, 19-21 April 2010.
2. Murphy W.J., Flamme G.A., Campbell A.R., Zechmann E.L., Tasko S.M., Lankford J.E., Meinke D.K., Finan D.S., Stewart M. The reduction of gunshot noise and auditory risk through the use of firearm suppressors and low-velocity ammunition. *Int. J. Audiol.* 2018,57 (Suppl. 1): S28-S41. doi:10.1080/14992027.2017.1407459.
3. Branch M.P. Comparison of muzzle suppression and ear-level hearing protection in firearm use. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2011, 144: 950-953. doi:10.1177/0194599811398872.
4. Lobarinas E., Scott R., Spankovich C., Le Prell C.G. Differential effects of suppressors on hazardous sound pressure levels generated by AR-15 rifles: Considerations for recreational shooters, law enforcement, and the military. *Int. J. Audiol.* 2016, 55 (Suppl. 1): S59-S71. doi:10.3109/14992027.2015.1122241.
5. Moon I.S., Park S.-Y., Park H.J., Yang H.-S. Hong S.-J., Lee, W.S. Clinical characteristics of acoustic trauma caused by gunshot noise in mass rifle drills without ear protection. *J Occup Environ Hyg.* 2011, 8: 618–623. doi:10.1080/15459624.2011.609013.
6. Rezaee M., Mojtahed M., Ghasemi M., Saedi B. Assessment of impulse noise level and acoustic trauma in military personnel. *Trauma Mon.* 2011, 16: 182-187. doi:10.5812/kowsar.22517464.2674.
7. Nondahl D.M., Cruickshanks K.J., Wiley T.L., Klein R., Klein B.E., Tweed T.S. Recreational firearm use and hearing loss. *Arch Fam Med.* 2000, 9: 352-357.
8. Koskinen H., Toppila E., Mäkinen H. Selection of hearing protectors – How to ensure that the end user will get best possible protection? In Proceedings of the 9th European Conference on Noise Control, EURONOISE, Prague; Czech Republic; 10-13 June 2012.

9. EN ISO 9612:2009 Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Engineering method; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2009.
10. 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. Dz.U. 2005 nr 157 poz. 1318.
11. EN 352-4:2001 Hearing protectors. General requirements Part 4: Level-dependent ear-muffs.
12. EN 352-7:2002 Hearing protectors. General requirements Part 7: Level-dependent ear-plugs.
13. PN-EN ISO 4869-1:2018 Akustyka – Ochronniki słuchu – Część 1: Metoda subiektywna pomiaru tłumienia dźwięku.
14. PN-EN 13819-2:2005 Ochronniki słuchu – Badania – Część 2: Metody badań akustycznych.
15. ANSI/ASA S12.6-2016 Methods for Measuring the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors.
16. Canetto P. Hearing Protectors: Topicality and Research Needs. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)* 2009, 15(2): 141-153.
17. PN-EN ISO 11904-1:2008 Akustyka – Wyznaczanie imisji dźwięku od źródeł umieszczonych bezpośrednio przy uchu – Część 1: Technika z zastosowaniem mikrofonu umieszczonego w uchu (technika MIRE).
18. PN-EN ISO 11904-2:2009 Akustyka – Wyznaczanie imisji dźwięku od źródeł umieszczonych bezpośrednio przy uchu – Część 2: Technika z zastosowaniem manekina akustycznego.
19. Job A., Hamery P., De Mezzo S., Fialaire J.C., Roux A., Untereiner M., Cardinale F., Michel H., Klein C., Belcourt B. Rifle impulse noise affects middle-ear compliance in soldiers wearing protective earplugs. *Int J Audiol* 2016;55(1): 30-7.
20. Murphy W.J., Fackler C.J., Berger E.H., Shaw P.B., Stergar M. Measurement of impulse peak insertion loss from two acoustic test fixtures and four hearing

- protector conditions with an acoustic shock tube. *Noise and Health* 2015; 17(78): 364-373.
21. Zagadou B., Chan P., Ho K. An Interim LAeq8 Criterion for Impulse Noise Injury. *Military Medicine* 2016;181(5 Supl): 55-58.
 22. Żera J., Młyński R. Attenuation of high-level impulses by earmuffs. *The Journal of the Acoustical Society of America* 2007,122(4): 2082-2096.
 23. Żera J., Młyński R., Kozłowski E., Kantor I. Sound levels of gunfire noise during military exercises and the effectiveness of hearing protectors. *Proceedings of 39th International Congress on Noise Control Engineering 2010. Inter-Noise 2010, Lisbon, Portugal, 13-16 June 2010.*
 24. Lenzuni P., Sangiorgi T., Cerini L. Attenuation of peak sound pressure levels of shooting noise by hearing protective earmuffs. *Noise&Health* 2012, Vol. 14: 91-99.
 25. Młyński R., Kozłowski E., Adamczyk J. Assessment of impulse noise hazard and the use of hearing protection devices in workplaces where forging hammers are used. *Archives of Acoustics* 2014, 39 (1): 73-79.
 26. Tufts J.B., Hamilton M.A., Ucci A.J., Rubas J. Evaluation by industrial workers of passive and level-dependent hearing protection devices. *Noise Health* 2011 Jan-Feb 13(50): 26-36 doi: 10.4103/1463-1741.73998.
 27. McKinley R.L., Gallagher H.L., Theis M., Murphy W.J. Continuous and impulsive noise attenuation performance of passive level dependent earplugs. *J Acoust Soc Am* 2012 Sep 132(3)(Pt. 2): 2013 <http://dx.doi.org/10.1121/1.4755451>.
 28. PN-EN 458:2016 Ochronniki słuchu. Zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej. Dokument przewodni.
 29. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *Dz.U.* 2018 poz. 1286.
 30. PN-ISO 1999:2000 Akustyka – Wyznaczanie ekspozycji zawodowej na hałas i szacowanie uszkodzenia słuchu wywołanego hałasem.

31. PN-EN ISO 4869-2:2018 Akustyka – Ochronniki słuchu – Część 2: Szacowanie efektywnych poziomów dźwięku A pod ochronnikami słuchu.
32. PN-EN ISO 9921:2005 Ergonomia – Ocena porozumiewania się mową.
33. Młyński R., Kozłowski E. Localization of vehicle back-up alarms by users of level-dependent hearing protectors under industrial noise conditions generated at a forge. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2019,16(3): 394 doi:10.3390/ijerph16030394.
34. Młyński R., Kozłowski E. Noise reduction at the shooting range by means of level-dependent hearing protectors. *Medycyna Pracy* 2019,70(3): 265-273 <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00730>.
35. Młyński R., Kozłowski E. Selection of Level-Dependent Hearing Protectors for Use in An Indoor Shooting Range. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019,16(13): 2266 doi:10.3390/ijerph16132266.
36. Ozimek E. Dźwięk i jego percepcja. Aspekty fizyczne i psychoakustyczne. PWN. Wydanie II, rozszerzone. Warszawa, 2018.

