

Impulsowy hałas generowany podczas strzelania z broni palnej – poważne zagrożenie dla słuchu jej użytkowników i obserwatorów

Impulse noise generated when firing a firearm – a serious threat to the hearing of its users and observers

Ewa Skrodzka¹

Katedra Akustyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 2, 61-614 Poznań

STRESZCZENIE

Hałas impulsowy wytwarzany podczas strzelania na strzelnicach, poligonach wojskowych, w czasie polowań i zajęć sportowych stanowi zagrożenie dla słuchu użytkowników broni oraz osób towarzyszących, które nie są aktywnie zaangażowane w strzelanie zawodowe lub rekreacyjne. Hałas ten może spowodować natychmiastowe lub odroczone w czasie uszkodzenia słuchu. W artykule wykazano, że: (a) niezależnie od rodzaju broni i warunków pomiarowych, hałas generowany podczas wystrzałów przekracza dopuszczalne poziomy szczytowego poziomu ciśnienia akustycznego, (b) hałas pochodzący od broni palnej niesie ryzyko uszkodzenia słuchu u dorosłych osób postronnych i obserwatorów oddalonych o kilkadziesiąt metrów od strzelca, (c) osoby poniżej 18 roku życia powinny być szczególnie chronione przed hałasem pochodzącym od broni palnej ze względu na większą niż u osób dorosłych podatność na uszkodzenia słuchu dźwiękiem impulsowym.

Słowa kluczowe: hałas broni palnej, hałas impulsowy, odbiorczy ubytek słuchu, potencjalny ubytek słuchu

ABSTRACT

Impulse noise generated during shooting at shooting ranges, military training grounds, hunting and sports activities poses a threat to the hearing systems of gun users and accompanying persons who are not actively involved in professional or recreational shooting. This noise can cause immediate or delayed hearing damage. The article shows that: (a) regardless of the type of weapon and measurement conditions, the noise generated during the shots exceeds the permissible peak sound pressure levels, (b) the noise from firearms carries a risk of damage to the auditory system in adult bystanders and observers away by several dozen meters from the shooter, (c) people under 18 years of age should be particularly protected against noise from firearms due to the higher susceptibility to hearing damage by impulse sounds than in adults.

Key words: gunshot noise, impulse noise, sensorineural hearing loss; potential hearing loss

1. Wstęp

Lufowa broń palna została wynaleziona w Chinach ok. XIII w. n.e. Jest kwestią sporną, czy stamtąd przywędrowała do Europy, czy też na Starym Kontynencie została ponownie wynaleziona. Tak czy inaczej, broń palna towarzyszy człowiekowi od kilkuset lat. Broń taka, niezależnie od upływu czasu i udoskonalania konstrukcji wytwarza dźwięk impulsowy, czyli hałas pojedynczego wydarzenia akustycznego lub ciąg wydarzeń o czasie trwania znacznie krótszym od jednej sekundy i dużych szczytowych poziomach ciśnienia akustycznego (znacznie powyżej 130 dB SPL). W świetle obecnego stanu wiedzy wiadomo, że dźwięki impulsowe o parametrach

akustycznych porównywalnych z parametrami wystrzałów są niebezpieczne dla układu słuchowego, ponieważ mogą powodować natychmiastowe lub odroczone uszkodzenia struktur receptora dźwięku. Wśród użytkowników broni palnej świadomość negatywnego wpływu hałasu pochodzącego od wystrzałów na stan słuchu jest różna. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, podczas strzelania na strzelnicach, poligonach wojskowych i w czasie zajęć sportowych osoby strzelające muszą korzystać z indywidualnych ochronników słuchu. Obowiązek ten jest egzekwowany przez właścicieli lub administratorów strzelnic, obiektów wojskowych i sportowych. Obowiązek użytkownika indywidualnych ochronników słuchu nie ciąży na myśliwych, niektórych pracownikach służby leśnej oraz osobach towarzyszących, które nie są aktywnie zaangażowane w strzelanie zawodowe lub rekreacyjne.

¹e-mail: afa@amu.edu.pl

Osoby te często nie mają świadomości zagrożenia hałasem pochodzącym od wystrzałów, podobnie jak sylwestrowo-noworoczni entuzjaści wszelkiego rodzaju petard, sztucznych ogni i rac a także rodzice obdarowujący dzieci „strzelającymi” zabawkami i innymi urządzeniami generującymi hałas [1].

W Polsce brak jest odpowiednich aktów prawnych, chroniących osoby narażone na hałas impulsowy pochodzący od broni palnej. Jedynymi aktami prawnymi, które odnoszą się do hałasu impulsowego w miejscu pracy, czyli dotyczą osób dorosłych, są:

- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2014 poz. 817) [2],
- PN-N-01307:1994: Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów [3].

Zgodnie z ww. Rozporządzeniem dopuszczalne wartości na stanowisku pracy określa się w oparciu o następujące wielkości:

- $L_{EX,8h}$ – poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy [dB], dopuszczalna wartość wynosi 85 dB,
- L_{Cpeak} – szczytowy poziom dźwięku C [dB], dopuszczalna wartość wynosi 135 dB,
- L_{Amax} – maksymalny poziom dźwięku A [dB], dopuszczalna wartość wynosi 115 dB.

Zgodnie z ww. aktami prawnymi, aby stwierdzić, że poziom hałasu na stanowisku pracy nie przekracza wartości dopuszczalnych, wszystkie z podanych powyżej dopuszczalnych wartości powinny być zachowane. Jeśli choć jedna z tych wartości nie jest zachowana to uważa się, że poziom hałasu na stanowisku pracy jest przekroczony. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy $L_{EX,8h}$ w odniesieniu do hałasu generowanego podczas wystrzału z broni palnej jest wielkością nieodpowiednią do opisu hałasu pochodzącego od broni palnej. Jest to wielkość, która uśrednia poziom hałasu w długim czasie w porze dnia. Dwie z pozostałych wielkości, tj. L_{Cpeak} oraz L_{Amax} są bardziej odpowiednie do opisu narażenia na hałas pochodzący od wystrzałów z broni palnej. W literaturze przedmiotu często używaną miarą hałasu impulsowego generowanego przez broń ręczną jest szczytowy poziom L_{peak} [dB SPL] [4-7].

Jedynie zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) odnoszą się do zagadnienia ochrony osób w wieku poniżej osiemnastu lat przed hałasem impulsowym. W przypadku dzieci, zgodnie z wytycznymi WHO, szczytowe poziomy hałasu impulsowego nie powinny przekraczać 120 dB SPL. Limit ten ma szczególne znaczenie dla nastolatków strzelających z rekreacyjnej broni palnej do celu lub młodych sportowców znajdujących się w pobliżu pistoletu startowego na stadionie. Wszystkie opisane powyżej ograniczenia dotyczą strzelców, osób postronnych i widzów [4, 5]. Z danych Polskiego Związku Łowieckiego za 2016 r. wynika, że w Polsce było ok. 120 tys. myśliwych, a liczba zarejestrowanych egzemplarzy broni

myśliwskiej przekraczała 272 tys. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe zatrudniało w 2018 roku ok. 26 tys. pracowników.

2. Przykłady wartości parametrów akustycznych hałasu impulsowego generowanego podczas wystrzałów z broni palnej

Pomiary i analiza hałasu broni strzeleckiej są przedmiotem badań od wielu lat. Jednak danych eksperymentalnych nie można łatwo porównać z kilku powodów:

- (a) Większość autorów badała hałas generowany w wyniku strzelania z broni różniącej się ze względu na producenta, typ, model, długości lufy, kaliber i użytą amunicję, takiej jak: pistolety, rewolwery, karabiny, strzelby [4]. Inni ograniczyli badania do pojedynczego karabinu, np. „indywidualnej broni” używanej przez Brytyjskie Siły Zbrojne [9] lub pistoletów [8].
- (b) Warunki pomiaru - na przykład odległość i azymut między bronią a mikrofonem pomiarowym - nie zostały zunifikowane, tzn. pomiary wykonywano w różnej odległości od strzelca i pod różnymi kątami do linii strzału, w przestrzeni otwartej lub w zamkniętych strzelnicach, w przestrzeniach pokrytych materiałami o różnym współczynniku pochłaniania dźwięku.
- (c) Szczytowe poziomy ciśnienia akustycznego hałasu impulsowego generowane przez broń często przekraczają zakres pomiarowy typowych mierników poziomu ciśnienia akustycznego. Dlatego, aby chronić dane eksperymentalne przed przeciężeniem, konieczne jest stosowanie mikrofonów o małej średnicy membrany, małej czułości, szerokim paśmie przenoszenia i dużych zakresach dynamicznych. Ponadto, rzeczywiste sygnały wystrzału są krótkie, rzędu milisekund, co wymusza stosowanie dużych częstotliwości próbkowania, rzędu kilkuset kiloherców.

Pomimo wymienionych powyżej różnic, aby przybliżyć czytelnikowi zakres generowanych podczas strzelania wartości szczytowych ciśnienia akustycznego, zmierzonych przez różnych autorów, zebrano je w Tab. 1-2. Wartości szczytowe wybrano do porównania ponieważ posługuje się nimi większość badaczy (z pewnymi wyjątkami, gdy dane ważono krzywą C, co oznaczono w Tab. 1-2). Aby umożliwić porównanie wartości, postanowiono przedstawić dane zmierzone przy uchu strzelca. Informacje o kalibrze i amunicji podano za autorami cytowanych pozycji, bez żadnych zmian. Z danych zebranych w Tab. 1-2 wynika, że szczytowe poziomy generowane podczas wystrzałów przy uchu strzelca przekraczają dopuszczalne przepisami 135 dB.

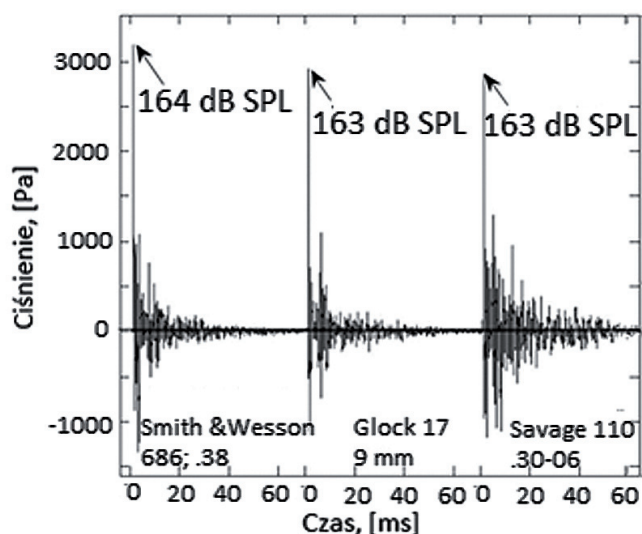
Tab. 1. Przykłady szczytowych wartości poziomów ciśnienia dźwięku L_{peak} dla broni krótkiej, wyznaczone przy uchu strzelca. Kaliber amunicji podany za autorami

Broń krótka; amunicja	L_{peak} [dB SPL]
Ruger GP 100; .357 Magnum	164.7 ^[5]
Colt Anaconda; .44	165.7 ^[5]
Smith&Wesson 686; .38	164 ^[6]
Glock 17; 9 mm	158 ^[7]
P83 Makarov; 9 mm	151.8 ważony krzywą C ^[8]
CZ(VIS); 9 mm	153.7 ważony krzywą C ^[8]
Parabellum, patt.94; 9 mm	155.7 ważony krzywą C ^[8]
Pistolet sygnałowy, 26 mm	156.5 ważony krzywą C ^[8]

Tab. 2. Przykłady szczytowych wartości poziomów ciśnienia dźwięku L_{peak} dla broni długiej, wyznaczone przy uchu strzelca. Kaliber amunicji podany za autorami

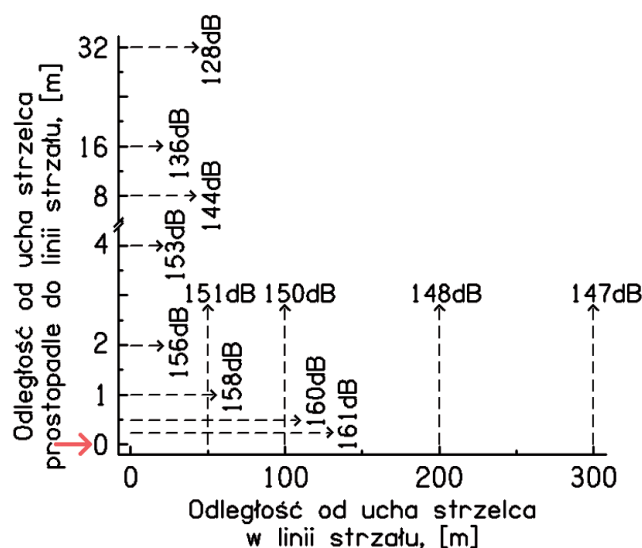
Broń długa, amunicja	L_{peak} [dB SPL]
Mossberg 184KE; .410	151.8 ^[5]
New England SBI; .410	157.5 ^[5]
Remington 870; 12 ga	161.0 ^[5]
Marlin 60; .22	151 ^[6]
Beretta 319	161 ^[6]
Marlin 12/76	160 ^[7]

W przypadku analizy dźwięków impulsowych generowanych podczas wystrzałów należy zwracać uwagę nie tylko na szczytowe wartości poziomów ciśnienia akustycznego ale również na bardzo krótki czas trwania impulsów, jak to przedstawiono na Rys. 1. Zatem hałas impulsowy pochodzący od broni palnej jest niebezpieczny dla ludzkiego układu słuchowego ze względu na dużą energię akustyczną uwalnianą do środowiska w bardzo krótkim czasie. Omówiono już poziomy i czasy trwania impulsów generowanych podczas strzelania przy uchu strzelca. Interesujące są również dane dotyczące zależności między szczytowym poziomem ciśnienia akustycznego ważonego krzywą C, L_{peak} i odległością od strzelca w linii strzału oraz odległością od strzelca w linii prostopadłej do linii strzału (z boku strzelca). Badania takie przeprowadzono z wykorzystaniem karabinu SA80 i boku [9], Rys.2.



Rys. 1. Przykładowe przebiegi czasowe hałasów impulsowych generowanych podczas wystrzałów z broni, zarejestrowane przy uchu strzelca; strzałki wskazują szczytowy poziom ciśnienia akustycznego L_{Cpeak} wg [6]

Z Rys. 2 wynika, że wartości L_{Cpeak} mierzone w linii strzału w odległościach od 50 m do 300 m zmieniły się odpowiednio z 151 dB na 147 dB. Wartości L_{Cpeak} zmierzone z boku karabinu w odległościach 0.3 m, 0.5m, 1m, 2 m, 4 m, 8 m, 16 m oraz 32 m wynosiły odpowiednio 161 dB, 160 dB, 158 dB, 156 dB, 153 dB, 144 dB, 136 dB i 128 dB. Szczytowe poziomy ciśnienia akustycznego generowane przez typy broni wymienione w Tabelach 1-2 są porównywalne z poziomem 161 dB, generowanym przez karabin SA 80 w odległości 0.3 m przy uchu strzelca. W odniesieniu do limitu określonego w polskich przepisach (135 dB C), oznacza to, że maksymalna dopuszczalna wartość została przekroczona dla odległości 300 m i większej, oraz jeśli odległość od boku strzelca była mniejsza niż 16 metrów. Zatem każda osoba stojąca w promieniu 16 metrów od strzelającego karabinu SA80 lub innej broni strzeleckiej lub myśliwskiej wytwarzającej porównywalny hałas jest narażona na ryzyko uszkodzenia układu słuchowego. W przypadku dzieci i młodzieży w wieku poniżej 18 lat, dla których dopuszczalny limit (zgodnie z zaleceniami WHO) wynosi maksymalnie 120 dB SPL w szczycie, promień „koła ryzyka uszkodzenia słuchu” jest znacznie większy od 100 m.



Rys. 2. Szczytowe wartości poziomu ciśnienia akustycznego ważonego krzywą C, L_{Cpeak} , generowane przez karabin SA80 w kierunku strzału (oś pozioma) oraz prostopadłe do kierunku strzału (oś pionowa) w zależności od odległości od ucha strzelca. Czerwoną strzałką wskazano kierunek strzału; na podstawie [9]

Z przedstawionego opisu jasno wynika, że hałas impulsowy generowany z broni palnej jest bardzo głośny nie tylko w bezpośredniej bliskości strzelca. Ponadto w widmowej zawartości dźwięku wystrzału dominują średnie i wysokie częstotliwości, niezależnie od rodzaju i kalibru broni [6, 8, 9]. Ochronniki słuchu są rutynowo używane przez osoby strzelające lub nadzorujące szkolenie strzelania z broni palnej. Jednak w Polsce istnieje duża grupa użytkowników broni,

którzy nie są zobowiązani żadnymi przepisami do ochrony swojego układu słuchowego przed hałasem impulsowym. Są to myśliwi i łowczy. Podczas indywidualnych polowań w Polsce prawo często wymaga obecności łowczego, który towarzyszy myśliwemu i monitoruje jego działania. Łowczy może być pracownikiem PGL Lasy Państwowe lub członkiem Polskiego Związku Łowieckiego. Zatem, zarówno myśliwy, jak i łowczy są narażeni na hałas impulsowy od broni myśliwskiej. Ten stan rzeczy jest szczególnie niebezpieczny dla łowczych, którzy często w ciągu tygodnia pracy nadzorują kilku myśliwych oddających kilka strzałów. Zgodnie z obowiązującymi przepisami PGL Lasy Państwowe nie ma obowiązku wyposażania łowczych w indywidualne ochronniki słuchu i nie robi tego, ale musi wyposażać w nie innych swoich pracowników, np. pilarzy, co należy uznać za istotne niedopatrzenie prawne.

3. Możliwe skutki działania hałasu generowanego podczas wystrzałów z broni palnej na organizm człowieka

Długotrwałe narażenie na hałas pochodzący od wystrzałów może prowadzić do odbiorczych ubytków słuchu, szczególnie w częstotliwościach powyżej 3 kHz [10]. Niszczycielski wpływ hałasu impulsowego na zewnętrzne i wewnętrzne komórki słuchowe oraz włókna nerwu słuchowego może spowodować ich tymczasowe lub trwale uszkodzenie [11] oraz inne krótkoterminowe i długoterminowe konsekwencje słuchowe. We wczesnych stadiach ubytku słuchu problem jest zwykle niewykrywalny w standardowym audiogramie tonalnym. Nazywa się go „ukrytym ubytkiem słuchu”, neuropatią ślimakową lub synaptopatią ponieważ uszkodzenie do 80% wewnętrznych komórek słuchowych może nie spowodować zmiany progów słyszalności tonu [12]. Istnieje kilka pośrednich dowodów na możliwość występowania neuropatii/synaptopatii u ludzi:

a) Wykazano, że utrata słuchowych włókien nerwowych, które są odpowiedzialne za przenoszenie sygnałów o dużym i średnim poziomie ciśnienia akustycznego na wyższe piętra drogi słuchowej, może wpływać na synchroniczność fazową, która jest jednym z najważniejszych sposobów reprezentowania i przetwarzania sygnałów audio w układzie nerwowym [13]. Synchroniczność fazowa jest szczególnie ważna w zadaniach dotyczących lokalizacji źródła dźwięku, percepcji wysokości dźwięku i zrozumiałości mowy w hałasie [14]. Możliwość wystąpienia synaptopatii indukowanej hałasem wynika również z badań nad wpływem hałasu na wyniki osiągane w złożonych zadaniach dyskryminacyjnych przez osoby narażone w przeszłości na hałas, z prawidłowymi audiogramami tonalnymi oraz z badań nad zaburzeniami synchroniczności fazowej neuronów nerwu słuchowego indukowanymi hałasem.

b) Wykazano, że u osób z prawidłowymi audiogramami, ciepących z powodu szumów usznych, powstawanie tych szumów było związane z uszkodzeniem nerwu słuchowego [15]. Dowodem był nieprawidłowy przebieg amplitudy fali I słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu, ABR, (odzwierciedlającej funkcjonowanie unerwienia ślimaka). Przebieg fali I ABR był podobny do przebiegu obserwowanego u myszy narażonych na hałas. Ponadto u słuchaczy z prawidłowymi audiogramami i podejrzeniem neuropatii/ synaptopatii ślimakowej odnotowano zmniejszenie poziomów DPOAE (produktów zniekształceń nieliniowych otoemisji akustycznej), co sugeruje dysfunkcje zewnętrznych komórek słuchowych [16].

Gdy strzelec jest aktywny przez długi czas, może dojść do rozwoju upośledzenia słuchu, nawet jeśli na początku był to „ukryty ubytek słuchu”. Ponadto związany z wiekiem ubytek słuchu pokrywa się z mikrouszkodzeniami powodowanymi przez hałas impulsowy generowany przez broń [11]. Ubytek słuchu zwykle uwidacznia się na audiogramie w zakresie 3-6 kHz. Częstotliwości powyżej 3 kHz mają wpływ na zrozumiałość mowy u osób z słuchem prawidłowym [10]. Wysokie częstotliwości są szczególnie ważne dla zrozumiałości języka polskiego, który ma wiele głosek zwartych, trących z zwarto-trących [17].

Wysokoczęstotliwościowe ubytki słuchu prowadzą również do pogorszenia lokalizacji źródła dźwięku. Za lokalizację dźwięku odpowiedzialne są odbicia sygnału akustycznego od ucha zewnętrznego. Odbicia te zmieniają widmo dźwięku docierającego do błony bębenkowej. Zmiany w widmie są najbardziej widoczne dla częstotliwości powyżej 3 kHz [18]. Ubytek słuchu zlokalizowany w wysokich częstotliwościach jest zwykle związany ze zmniejszoną selektywnością częstotliwości. Dlatego osoby z ubytkiem słuchu wywołanym hałasem o wysokiej częstotliwości mogą mieć trudności z rozróżnieniem kierunku dźwięku przód-tył zwłaszcza, gdy jest to krótki dźwięk lub gdy występuje w hałaśliwym otoczeniu. Oczywiście jest, że podwyższone progi audiometryczne mogą powodować trudności w rozumieniu mowy o dużej zawartości składowych wysokoczęstotliwościowych (jak u dzieci lub kobiet), a także zakłócać słyszenie mowy szeptanej i cichych dźwięków natury, takich jak śpiew ptaków lub szmer potoku. Wreszcie ubytek słuchu w stopniu od umiarkowanego do głębokiego może powodować trudności w funkcjonowaniu w społeczeństwie (np. jako adwokat, ksiądz) lub w rodzinie (np. jako dziadek) i może prowadzić do wykluczenia społecznego i samowykluczenia.

4. Podsumowanie

Z przedstawionych rozważań wynika, że:

1. Bez względu na rodzaj broni lub warunki pomiarowe, hałas generowany podczas strzelania przekracza dopuszczalne poziomy L_{Cpeak} i może powodować trwałą utratę słuchu, jeśli strzelający nie używa ochronników słuchu.

2. Impulsowy hałas pochodzący od broni palnej stanowi ryzyko uszkodzenia układu słuchowego dorosłych osób postronnych i obserwatorów znajdujących się w odległości kilkudziesięciu metrów od strzelającej broni palnej.
3. Osoby w wieku poniżej 18 lat powinny być szczególnie chronione przed hałasem z broni palnej.
4. W odniesieniu do łowczych, myśliwych oraz innych uczestników polowań (w tym dzieci) istnieje potrzeba dostosowania obowiązujących w Polsce przepisów prawnych dotyczących ochrony przed hałasem impulsowym pochodzącym od broni palnej.

Bibliografia

1. Buszkiewicz M., Pastusiak A., 2020, Hałas zabawek, a zdrowy słuch dzieci, *Protetyka Słuchu*, 2(1), 7-11.
2. Dz.U.2014, 2014, Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.
3. PN-N-01307,1994, Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.
4. Skrodzka E., Wicher A., Gońbiewski R., 2019, A review of gunshot noise as factor in hearing disorders, *Acta Acustica united with Acustica* 105(6), 904-911.
5. Meinke D.K., Murphy W.J., Finan D.S., Lankford J.E., Flamme G.A., Stewart M., Soendergaard J., Jerome T.W., 2014, Auditory risk estimates for youth target shooting, *International Journal of Audiology* 53, S16-S25.
6. Flamme G.A., Wong A., Liebe K., Lynd J., 2009, Estimates of auditory risk from outdoor impulse noise II: Civilian firearms, *Noise & Health* 11, 231-242.
7. Paakkonen R., Jussila J., 2011, A suppressor for indoor shooting sites, *Applied Acoustics* 72, 684-687.
8. Konopka W., Pawlaczyk-Łuszczynska M., Zalewski P., Miłośki J., 2002, Ocena i analiza środowiska akustycznego u żołnierzy narażonych na hałas impulsowy, *Medycyna Pracy* 53, 391-396.
9. Paddan G.S., Lower M.C., 2016, Factors affecting sound exposure from firing an SA80 high-velocity rifle, *Applied Acoustics* 109, 61-68.
10. Moore B.C., 2016, A review of the perceptual effects of hearing loss for frequencies above 3 kHz, *International Journal of Audiology* 55, 707-714.
11. Plack C.J., Barker D., Prendergast G., 2014, Perceptual Consequences of "Hidden" Hearing Loss, *Trends in Hearing* 18, 2331-2165.
12. Kujawa S.G., Liberman M.C., 2009, Adding Insult to Injury: Cochlear Nerve Degeneration after "Temporary" Noise-Induced Hearing Loss, *Journal of Neuroscience* 29, 14077-14085.
13. Fullgrabe C., Moore B.C.J., Stone M.A., 2015, Age-group differences in speech identification despite matched audiometrically normal hearing: contributions from auditory temporal processing and cognition, *Frontiers in Aging Neuroscience* 6.
14. Moore B.C.J., 2008, The Role of Temporal Fine Structure Processing in Pitch Perception, Masking, and Speech Perception for Normal-Hearing and Hearing-Impaired People, *Jaro-Journal of the Association for Research in Otolaryngology* 9, 399-406.
15. Schaette R., McAlpine D., 2011, Tinnitus with a Normal Audiogram: Physiological Evidence for Hidden Hearing Loss and Computational Model, *Journal of Neuroscience* 31, 13452-13457.
16. Zhao F., Stephens D., 2006, Distortion product otoacoustic emissions in patients with King-Kopetzky syndrome, *International Journal of Audiology* 45, 34-39.
17. Ozimek E., Kutzner D., Sęk A., Wicher A., 2009, Polish sentence tests for measuring the intelligibility of speech in interfering noise, *International Journal of Audiology* 48, 433-443.
18. Best V., Carlile S., Jin C., van Schaik A., 2005, The role of high frequencies in speech localization, *Journal of the Acoustical Society of America* 118, 353-363.