

Publikacja [A2] Młyński R., Kozłowski E., Usowski J., Jurkiewicz D. Evaluation of exposure to impulse noise at personnel occupied areas during military field exercises. Archives of Acoustics, 2018, 43(2), 197–205, DOI:10.24425/122367, będąca wynikiem prowadzenia badań wspólnie z Wojskowym Instytutem Medycznym – PIB (WIM – PIB), została zamieszczona w załączniku 4a_cz1, poz. A2.

Kolejne publikacje opracowane w ramach współpracy z WIM – PIB zamieszczono w tym załączniku: poz 1-4.

Pozostałe kopie publikacji w tym załączniku dotyczą współpracy z Instytutem Fizjologii i Patologii Słuchu (poz. 5-6) oraz z Głównym Urzędem Miar (poz. 7-8).

1. Kozłowski E., Młyński R., Usowski J., Jurkiewicz D. Hałas ustalony wytwarzany w kołowych i gąsiennicowych pojazdach bojowych. Lekarz Wojskowy 94(2), 159-164, 2016.
2. Kozłowski E., Młyński R., Usowski J., Jurkiewicz D. Ochronniki słuchu - nowe rozwiązania. Lekarz wojskowy, 92(4), 466-471, 2014.
3. Kantor I., Żera J., Młyński R., Kozłowski E., Wojdas A., Jurkiewicz D. Ocena narażenia na hałas impulsowy w trakcie służby wojskowej – problem nadal aktualny. Lekarz wojskowy, 88(2), 97-102, 2010.
4. Żera J., Młyński R., Kozłowski E., Kantor I. Sound levels of gunfire noise during military exercises and the effectiveness of hearing protectors. 39th International Congress on Noise Control Engineering 2010, Internoise 2010, 4, 3059, Lisbon, Portugal, 13-16 June 2010. Publikacja w materiałach konferencyjnych.
5. Żera J., Kochanek K., Piłka A., Młyński R. “Attenuation of hearing protectors assessed by auditory brainstem response”. Noise at Work 2007 – First European Forum on Effective Solutions for Managing Occupational Noise, Lille, France, 3-5 July 2007, abstrakt w materiałach konferencyjnych: 92, p. 112. Publikacja w materiałach konferencyjnych (1247-1251).
6. Żera J., Kochanek K., Piłka A., Młyński R. “Application of auditory brainstem response for predicting hearing protector attenuation”. 19th International Congress on Acoustics “Acoustics for the 21st Century”, 2-7 September 2007, Madrid, Spain, abstrakt w materiałach konferencyjnych: 249. Publikacja w materiałach konferencyjnych.
7. Pismo dotyczące współpracy z Głównym Urzędem Miar.
8. Pismo dotyczące kontynuacji współpracy z Głównym Urzędem Miar.

 **PODPIS ZAUFANY**
RAFAŁ
MŁYŃSKI
25.02.2025 21:08:19 [GMT+1]
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

.....
(podpis wnioskodawcy)

[poz. 1]

PRACE POGLĄDOWE

Hałas ustalony wytwarzany w kołowych i gąsiennicowych pojazdach bojowych

Continuous noise produced in wheeled and tracked fighting vehicles

Rafał Młyński¹, Emil Kozłowski¹, Jacek Usowski², Dariusz Jurkiewicz²

¹Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie; dyrektor: prof. dr hab. n. med. Danuta Koradecka

²Klinika Otolaryngologii CSK MON WIM w Warszawie; kierownik: plk prof. dr hab. n. med. Dariusz Jurkiewicz

Streszczenie. Narażenie żołnierzy na hałas w trakcie służby wojskowej związane jest nie tylko z ekspozycją na impulsy, ale również na hałas ustalony. Źródłem hałasu ustalonego jest przede wszystkim praca silnika oraz zespołu przeniesienia napędu pojazdów bojowych. Celem niniejszej pracy była ocena narażenia na hałas ustalony we wnętrzach przykładowych pojazdów bojowych użytkowanych przez Siły Zbrojne RP. W badaniach uwzględniono cztery pojazdy, w tym dwa z podwoziem kołowym i dwa z podwoziem gąsiennicowym. Przeprowadzone badania wskazały, że zwłaszcza we wnętrzach pojazdów gąsiennicowych występowały duże, sięgające 108 dB, wartości równoważnego poziomu dźwięku A. W takich warunkach czas ekspozycji członków załogi na hałas musi być istotnie ograniczony lub należy stosować skuteczne ochrony słuchu. Natomiast analiza przeprowadzona dla hałasu infradźwiękowego wykazała, że większe narażenie występuje w przypadku pojazdów o podwoziu kołowym.

Słowa kluczowe: hałas, hałas infradźwiękowy, pojazdy bojowe, ekspozycja na hałas

Abstract. Exposure of soldiers to noise during their military service is connected not only with exposure to impulses, but also to continuous noise. The main source of continuous noise is engine and transmission unit of fighting vehicles. The aim of this study was evaluation of exposure to continuous noise inside selected fighting vehicles used by the Polish Armed Forces. Four vehicles, two wheeled and two tracked, were included in the study. The study showed that, especially inside the tracked vehicles, the equivalent A-weighted sound pressure level was high, reaching 108 dB. In such circumstances, duration of vehicle crew exposure to noise must be significantly reduced or effective hearing protection must be used. On the other hand, the infrasound analysis showed greater exposure to noise in wheeled vehicles.

Key words: noise, infrasonic noise, fighting vehicles, noise exposure

Nadesłano: 28.01.2016. Przyjęto do druku: 16.03.2016

Nie zgłoszono sprzeczności interesów.

Lek. Wojsk., 2016; 94 (2): 159–164

Copyright by Wojskowy Instytut Medyczny

Adres do korespondencji

dr inż. Rafał Młyński
Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut
Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. +48 22 6 233 293
e-mail: rmlynski@ciop.pl

Wstęp

Niekorzystny wpływ hałasu na organizm człowieka może przede wszystkim skutkować powstaniem ubytków słuchu. Hałas może również ograniczać zdolność do wykonywania określonych czynności i mieć wpływ na zwiększenie ryzyka wypadku podczas pełnienia powierzonych zadań ze względu na pogorszenie możliwości odbioru dźwięków użytecznych. Tak więc w obecności hałasu mogą wystąpić trudności w postrzeganiu

sygnałów ostrzegawczych, określaniu kierunku nadejścia dźwięku lub w komunikacji werbalnej.

Narażenie żołnierzy na hałas w trakcie służby wojskowej związane jest nie tylko z ekspozycją na impulsy wytwarzane podczas wystrzałów z broni palnej lub eksplozji materiałów wybuchowych [1], ale również z przebywaniem w środowisku, w którym wytwarzany jest hałas ustalony. Sytuacja taka dotyczy przebywania żołnierzy we wnętrzach pojazdów bojowych, gdzie poza hałasem impulsowym są oni narażeni na hałas ustalony, w tym

PRACE POGLĄDOWE

także o dominujących składowych w zakresie niskich częstotliwości. Hałas, którego istotna część energii akustycznej zawarta jest w zakresie niskich częstotliwości, może wywoływać m.in. zaburzenia narządu równowagi czy wystąpienie rezonansu narządów wewnętrznych [2]. Hałas niskoczęstotliwościowy może również powodować stan nadmiernego zmęczenia, dyskomfortu, zwiększonej senności czy zmniejszonej zdolności psychomotorycznej [2,3].

W warunkach służby wojskowej hałas ustalony oddziałuje na żołnierzy głównie we wnętrzach wozów bojowych. Jego źródłem jest praca silnika oraz zespołu przeniesienia napędu. Nieliczne dane literaturowe na ten temat wskazują, że we wnętrzach pojazdów bojowych używanych w armiach kanadyjskiej i brytyjskiej równoważny poziom dźwięku A może przyjmować wartości z zakresu 96–115 dB [4,5].

Celem niniejszej pracy była ocena narażenia na hałas ustalony we wnętrzach przykładowych kołowych oraz gąsiennicowych pojazdów bojowych użytkowanych przez Siły Zbrojne RP.

Obiekt badań

W badaniach uwzględniono cztery wozy bojowe. Dwa z nich miały podwozie kołowe i były to: kołowy transporter opancerzony Rosomak oraz samobieżna armatohaubica Dana. Pozostałe dwa pojazdy – bojowy wóz piechoty BWP-1 i czołg mostowy BLG-67 – miały podwozia gąsiennicowe. Badania dotyczyły różnych stanowisk obsługi poszczególnych pojazdów, wymienionych w tabeli 1.

Zdjęcia pojazdów uwzględnionych w badaniach wraz ze wskazaniem miejsc przeprowadzania pomiarów w poszczególnych pojazdach przedstawiono na rycinach 1.–4.

Metodyka badań

Badania obejmowały pomiary parametrów hałasu ustalonego oraz ocenę narażenia na hałas przeprowadzoną na podstawie porównania wyznaczonych wartości parametrów tego hałasu z wartościami kryterialnymi. Ocenę narażenia obsługi badanych pojazdów na hałas (w zakresie częstotliwości słyszalnych) przeprowadzono na podstawie wartości dopuszczalnych (NDN) obowiązujących w Polsce, określonych w Rozporządzeniu 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 [6]. W przypadku narażenia na hałas w zakresie infradźwięków ocenę przeprowadzono na podstawie wartości stanowiących kryterium uciążliwości określone w normie PN-Z-01338:2010 [7]. Od 2009 r. w wykazie wartości dopuszczalnych hałasu (NDN) hałas infradźwiękowy

Tabela 1. Miejsca przeprowadzania pomiarów w poszczególnych wozach bojowych
Table 1. Particular fighting vehicles measurement settings

rodzaj pojazdu	miejsce pomiaru
kołowy transporter opancerzony Rosomak	komora dowódcy
	komora kierowcy
	przedział desantu
samobieżna armatohaubica Dana	kabina kierowcy – lewe siedzisko
	kabina kierowcy – prawe siedzisko
	kabina celowniczego stanowisko 1
	kabina celowniczego stanowisko 2
bojowy wóz piechoty BWP-1	komora dowódcy
	komora działonowego
	przedział desantu
czołg mostowy BLG-67	komora dowódcy
	komora kierowcy

nie jest uwzględniony, gdyż Międzyresortowa Komisja ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych w Środowisku Pracy uznała, że obowiązująca dotychczas wartość NDN hałasu infradźwiękowego (102 dB) stanowi jedynie próg percepcji słuchowej infradźwięków i kryteriów uciążliwości, a nie szkodliwości, nie ustalając jednocześnie kryterium szkodliwości [8]. Wartości dopuszczalne (NDN) hałasu określone w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej [6] wynoszą:

- 85 dB dla poziomu ekspozycji odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ($L_{EX,8h}$) – parametr ten wyznaczany jest na podstawie równoważnego poziomu dźwięku A (L_{Aeq}) i czasu ekspozycji na hałas,
 - 115 dB dla maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}),
 - 135 dB dla szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}).
- Kryterium uciążliwości hałasu infradźwiękowego wg PN-Z-01338:2010 [7] wynosi 102 dB dla równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową G, odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy ($L_{Geq,8h}$). Parametr ten wyznaczany jest na podstawie równoważnego poziomu dźwięku G (L_{Geq}) i czasu ekspozycji na hałas.

Przeprowadzenie oceny narażenia na hałas we wnętrzach pojazdów bojowych wymagało zatem pomiarów następujących parametrów charakteryzujących ten hałas:

- równoważnego poziomu dźwięku A (L_{Aeq}),
- maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}),
- szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}),
- równoważnego poziomu dźwięku G (L_{Geq}).

PRACE POGLĄDOWE



Rycina 1. Usytuowanie punktów pomiarowych w kolowym transporterze opancerzonym Rosomak: 1 – kabina kierowcy, 2 – kabina dowódcy, 3 – przedział desantu

Figure 1. Measurement settings inside Rosomak armored modular vehicle: 1 – driver's compartment, 2 – commander's compartment, 3 – infantry squad's compartment



Rycina 3. Usytuowanie punktów pomiarowych w bojowym wozie piechoty BWP-1: 1 – kabina dowódcy, 2 – kabina działonowego, 3 – przedział desantu

Figure 3. Measurement settings inside BWP-1 infantry fighting vehicle: 1 – commander's compartment, 2 – gunner's compartment, 3 – infantry's compartment



Rycina 2. Usytuowanie punktów pomiarowych w armatohaubicy Dana: 1 – kabina kierowcy, 2 – kabina celowniczego

Figure 2. Measurement settings inside Dana self-propelled gun howitzer: 1 – driver's compartment, 2 – gunner's compartment



Rycina 4. Usytuowanie punktów pomiarowych w czołgu mostowym BLG-67: 1 – kabina dowódcy, 2 – kabina kierowcy

Figure 4. Measurement settings inside BLG-67 armored vehicle – launched bridge: 1 – commander's compartment, 2 – driver's compartment

Dodatkowo określono rozkład składowych ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości dla hałasu w pojazdach. W tym celu przeprowadzono pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych.

Pomiary wymienionych wielkości przeprowadzono zgodnie z wymaganiami norm dotyczących pomiarów parametrów hałasu w miejscu pracy [7,9] w warunkach typowych dla danego stanowiska obsługi, podczas jazdy po poligonie po suchej nawierzchni gruntowej, przy typowych średnich prędkościach jazdy dla poszczególnych pojazdów.

Wposażenie pomiarowe

Pomiary parametrów hałasu przeprowadzono z użyciem mikrofonów Gras 40AN zainstalowanych jednocześnie w różnych miejscach każdego z pojazdów uwzględnionych w badaniach. Akwizycję danych pomiarowych przeprowadzono z użyciem kasety pomiarowej 3560-C Brüel & Kjær PULSE, sterowanej za pomocą komputera przenośnego z oprogramowaniem specjalistycznym Brüel & Kjær LabShop. Do wzorcowania torów pomiarowych zastosowano kalibrator Brüel & Kjær 4231.

PRACE POGLĄDOWE

Tabela 2. Wartości równoważnego poziomu dźwięku A (L_{Aeq}), maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}), szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}) oraz równoważnego poziomu dźwięku G (L_{Geq}) dla poszczególnych stanowisk obsługi
Table 2. Values of A-weighted equivalent sound pressure level (L_{Aeq}), A-weighted maximum sound pressure level (L_{Amax}), C-weighted peak sound pressure level (L_{Cpeak}) oraz G-weighted equivalent sound pressure level (L_{Geq}), for individual crew stations

warunki pomiaru		L_{Aeq}	L_{Amax}	L_{Cpeak}	L_{Geq}
rodzaj pojazdu	stanowisko obsługi	dB			
kołowy transporter opancerzony Rosomak	komora dowódcy	80,1	96,3	127,1	117,2
	komora kierowcy	85,5	91,6	133,1	127,2
	przedział desantu	82,7	90,3	131,7	125,1
samobieżna armatohaubica Dana	kabina kierowcy – lewe siedzisko	87,5	90,0	121,1	115,6
	kabina kierowcy – prawe siedzisko	84,1	87,2	122,6	116,6
	kabina celowniczego – stanowisko 1	83,0	90,3	121,0	108,2
	kabina celowniczego – stanowisko 2	82,1	89,6	120,2	108,6
bojowy wóz piechoty BWP-1	komora dowódcy	108,0	111,3	142,0	112,1
	komora działonowego	103,3	109,3	137,3	109,1
	przedział desantu	106,1	110,2	136,5	110,0
czołg mostowy BLG-67	komora dowódcy	101,3	105,7	129,9	111,8
	komora kierowcy	102,3	106,9	128,6	112,5

Wyniki badań

Uzyskane wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A (L_{Aeq}), maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}), szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}) oraz równoważnego poziomu dźwięku G (L_{Geq}) dla poszczególnych stanowisk obsługi zestawiono w tabeli 2. Na rycinie 5. przedstawiono natomiast poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych w zakresie częstotliwości 0,8–20 000 Hz zmierzone na tych stanowiskach.

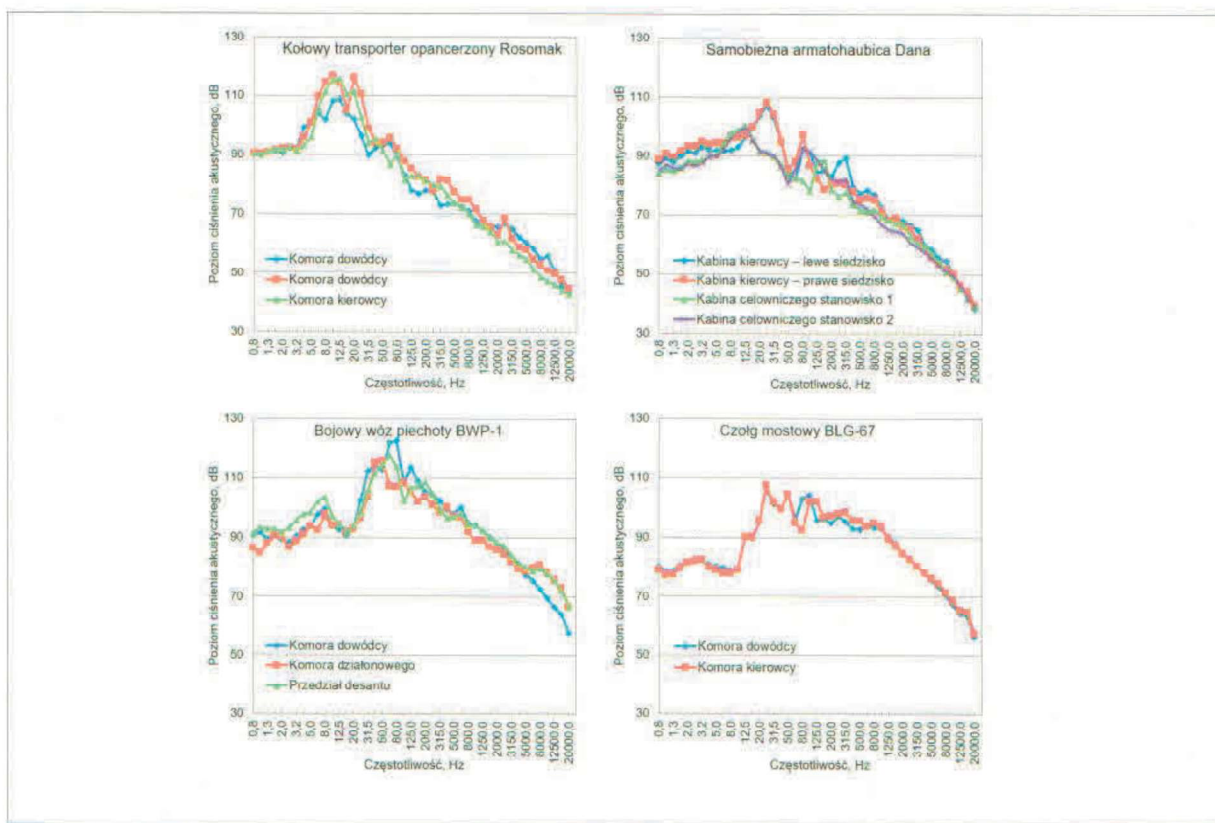
Na podstawie przedstawionych w tabeli 2. wartości parametrów hałasu można stwierdzić, że największe poziomy dźwięku podczas jazdy pojazdów występują w przypadku bojowego wozu piechoty BWP-1 i czołgu mostowego BLG-67. Równoważny poziom dźwięku A zmierzony na stanowiskach obsługi tych pojazdów przekracza 100 dB. Natomiast w przypadku kołowego transportera opancerzonego Rosomak i samobieżnej armatohaubicy Dana poziom ten nie przekracza 90 dB. Analizując dane zamieszczone w tabeli 2., należy zauważyć brak przekroczenia wartości dopuszczalnej maksymalnego poziomu dźwięku A (115 dB) na każdym z badanych stanowisk obsługi. Z kolei wartość dopuszczalna szczytowego poziomu dźwięku C (135 dB) została przekroczona we wnętrzu pojazdu BWP-1.

W odniesieniu do hałasu infradźwiękowego we wszystkich przypadkach stanowisk obsługi obserwuje się duże wartości równoważnego poziomu dźwięku G; duże poziomy (przekraczające 127 dB) wystąpiły zwłaszcza podczas jazdy kołowego transportera opancerzonego Rosomak.

W związku ze stwierdzonym występowaniem dużych wartości równoważnego poziomu dźwięku A i G wyznaczono taki maksymalny czas ekspozycji na poszczególnych stanowiskach obsługi pojazdów, aby odpowiednie kryterium (NDN i uciążliwości) nie było przekroczone. Wyznaczone wartości maksymalnego czasu ekspozycji podano w tabeli 3. Analizując uzyskane dane, można zauważyć, że przekroczenie wartości dopuszczalnej poziomu ekspozycji odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ($L_{EX,8h}$) w przypadku załogi jeżdżącej pojazdem BWP-1 występuje po czasie ekspozycji wynoszącym zaledwie 2–7 minut. Podobnie krótko, tak aby nie została przekroczona wartość dopuszczalna, może jeździć bez ochrony słuchu obsługa czołgu mostowego BLG-67 (maksymalny czas ekspozycji 9–11 minut). Znacznie niższe poziomy równoważnego poziomu dźwięku A obserwuje się na stanowiskach obsługi podczas jazdy kołowego transportera opancerzonego Rosomak i samobieżnej armatohaubicy Dana. Skutkuje to tym, że w większości przypadków stanowisk obsługi pomimo jazdy przez 8 godzin nie zostanie przekroczona wartość dopuszczalna $L_{EX,8h}$, z wyjątkiem dowódcy pojazdu Rosomak (maksymalny czas ekspozycji 428 minut) i kabiny kierowcy armatohaubicy Dana (maksymalny czas ekspozycji 270 minut).

Z danych przedstawionych w tabeli 3. wynika również, że aby nie nastąpiło przekroczenie kryterium uciążliwości odnoszącego się do hałasu infradźwiękowego, członkowie załogi kołowego transportera opancerzonego Rosomak, w zależności od zajmowanego stanowiska, mogą obsługiwać pojazd jedynie przez 1–14 minut. W przypadku bojowego wozu piechoty BWP-1 czas ekspozycji może być dłuższy i wynosić w zależności od stanowiska 47–94 minut. W zależności od miejsca położenia

PRACE POGLĄDOWE



Rycina 5. Poziom ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych zmierzony we wnętrzach jadących pojazdów

Figure 5. 1/3 octave bands sound pressure level measured inside vehicles in motion

stanowiska w pojeździe Dana załoga może jeździć tym pojazdem przez maksymalnie 21 minut (kabina kierowcy) i 115 minut (kabina celowniczego). W przypadku jazdy czołgiem mostowym BLG-67 czas ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy nie powinien przekraczać 43–50 minut.

Analizując wartości poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych zmierzone na stanowiskach obsługi pojazdów (ryc. 5.), można zauważyć, że widmo hałasu w przypadku bojowego wozu piechoty BWP-1 charakteryzuje się największymi wartościami (ok. 100–110 dB) – w zakresie 31,5–125 Hz. Podobne wartości poziomu ciśnienia akustycznego, ale w jeszcze mniejszym zakresie częstotliwości (6,3–25 Hz), obserwuje się podczas jazdy kołowego transportera opancerzonego Rosomak. Ten zakres częstotliwości istotnie wpływa na wartość równoważnego poziomu dźwięku G, co można zauważyć w wartościach tego parametru podanych w tabeli 2. (117,2–127,2 dB). Także w podobnym małym zakresie częstotliwości (5–25 Hz) obserwuje się najwyższe poziomy w pasmach 1/3-oktawowych na stanowisku celowniczym podczas jazdy samobieżnej armatohaubicy Dana, wynoszące około 90–100 dB. Natomiast

w kabinie kierowcy maksimum poziomu przesuwają się w większy zakres częstotliwości (16–31,5 Hz). Widmo hałasu zmierzone w komorach dowódcy i kierowcy podczas jazdy czołgu mostowego BLG-67 charakteryzuje się wysokimi poziomami (90–110 dB) w szerokim zakresie częstotliwości 12,5–1000 Hz.

Podsumowanie

Przeprowadzone we wnętrzach pojazdów bojowych badania wykazały, że aby nie wystąpiło przekroczenie wartości dopuszczalnej związanej z narażeniem na hałas w zakresie częstotliwości słyszalnych, w przypadku pojazdów z podwoziem gąsiennicowym czas ekspozycji członków załogi na ten hałas musi być istotnie ograniczony. W przypadku hałasu infradźwiękowego obserwuje się odwrotną tendencję, gdyż większe narażenie występuje w przypadku pojazdów o podwoziu kołowym. Na przykład czas ekspozycji na hałas załogi kołowego transportera opancerzonego Rosomak powinien być ograniczony do pojedynczych minut, aby nie nastąpiło przekroczenie kryterium uciążliwości.

PRACE POGLĄDOWE

Tabela 3. Maksymalny czas ekspozycji bez przekroczenia kryterium NDN lub kryterium uciążliwości. Znak „–” oznacza, że w przypadku oceny ze względu na wartość parametru $L_{EX,8h}$ dopuszczalna jest ekspozycja na hałas obecny na stanowisku obsługi trwająca 8 godzin

Table 3. Maximum exposure time with neither Exposure Limit Value nor annoyance criterion exceeded. “–” means that if assessed according to $L_{EX,8h}$ parameter value, 8-hour duration of exposure in station is allowed

warunki pomiaru		kryterium $L_{EX,8h}$	kryterium $L_{Geq,8h}$
maksymalny czas ekspozycji			
rodzaj pojazdu	stanowisko obsługi	min	
kolowy transporter opancerzony Rosomak	komora dowódcy	–	14
	komora kierowcy	428	1
	przedział desantu	–	2
samobieżna armatohaubica Dana	kabina kierowcy – lewe siedzisko	270	21
	kabina kierowcy – prawe siedzisko	–	17
	kabina celowniczego – stanowisko 1	–	115
	kabina celowniczego – stanowisko 2	–	105
	komora dowódcy	2	47
bojowy wóz piechoty BWP-1	komora działonowego	7	94
	przedział desantu	4	76
	komora dowódcy	11	50
czołg mostowy BLG-67	komora kierowcy	9	43

Należy również mieć na względzie, że w warunkach działań poligonowych narażenie załóg pojazdów bojowych może być również związane z ekspozycją na hałas impulsowy wytwarzany podczas wystrzałów z broni palnej. Będzie się to wiązało przede wszystkim ze znacznymi wyższymi poziomami parametrów hałasu związanych z chwilową wartością ciśnienia akustycznego impulsów – L_{Amax} i L_{Cpeak} – niż zostało to przedstawione w niniejszej pracy.

Istotne jest również, że o ile hałas w zakresie częstotliwości słyszalnych może być ograniczany dzięki hełmom lub ochronnikom słuchu, to nie ograniczają one hałasu w zakresie najmniejszych częstotliwości, dlatego stosowanie tego rodzaju ochron nie będzie skutecznym środkiem ograniczania ekspozycji na hałas infradźwiękowy. Należy zatem poszukiwać innych sposobów ograniczania narażenia na hałas w pojazdach bojowych, takich jak stosowanie wibroizolacji czy mat wygłuszających.

Podziękowania

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011–2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, oraz w ramach realizacji projektu MON: 15/WNII/2007 – (129/IWSZ/2007) „Doskonalenie metod diagnostyczno-leczniczych i profilaktycznych w uszkodzeniach narządu słuchu i równowagi”.

Piśmiennictwo

- Młyński R, Żera J, Kozłowski E. Zagrożenie hałasem impulsowym wytwarzanym w przemyśle oraz podczas strzałów i eksplozji. *Bezpiecz Pr*, 2012; 3: 22–25
- Pawlas K, Boroń M, Pawlas N. Hałas z udziałem hałasu niskoczęstotliwościowego. Broszura informacyjna dla pracodawców. Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu, 2013
- Pawlas K, Pawlas N, Boroń M, et al. Przegląd kryteriów oceny infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego w środowisku zawodowym i pozazawodowym. *Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine*, 2013; 16 (1): 82–89
- Cain PA. Update-noise induced hearing loss and the military environment. *JR Army Med Corps*, 1998; 144 (2): 97–101
- Nakashima AM, Borland MJ, Abel SM. Measurement of noise and vibration in Canadian forces armoured vehicles. *Ind Health*, 2007; 45 (2): 318–327
- 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
- PN-Z-01338 Akustyka. Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy
- Augustyńska D. Wartości graniczne ekspozycji na infradźwięki – przegląd piśmiennictwa. *PiMOŚP*, 2009; 2 (60): 5–15
- PN-EN ISO 9612:2011 Akustyka. Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas. Metoda techniczna

[poz. 2]

PRACE POGLĄDOWE

Ochronniki słuchu – nowe rozwiązania

Hearing protectors – new solutions

Emil Kozłowski¹, Rafał Młyński¹, Jacek Usowski², Dariusz Jurkiewicz²¹ Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie;
dyrektor: prof. dr hab. n. med. Danuta Koradecka² Klinika Otolaryngologii Centralnego Szpitala Klinicznego Ministerstwa Obrony Narodowej Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie; kierownik: plk prof. dr hab. n. med. Dariusz Jurkiewicz

Streszczenie. Żołnierze w trakcie służby wojskowej są wielokrotnie ekspozowani na hałas, w tym szczególnie niebezpieczny dla zdrowia hałas impulsowy wytwarzany podczas wystrzałów. Stosowane przez żołnierzy standardowe ochronniki słuchu pozwalają na obniżenie poziomu niebezpiecznych dźwięków, ale jednocześnie pogarszają słyszenie i rozumienie dźwięków użytecznych, np. komend wydawanych podczas ćwiczeń. W takich sytuacjach rozwiązaniem jest stosowanie ochronników słuchu zawierających układy elektroniczne, wspomagające m.in. komunikację słowną, lub specjalne filtry akustyczne przenoszące dźwięki mowy. W pracy przedstawiono opis nowych rozwiązań takich ochronników z wyróżnieniem konkretnych modeli różnych producentów.

Słowa kluczowe: ochronniki słuchu, hałas

Abstract. Soldiers during military service are repeatedly exposed to noise, especially dangerous to the health impulsive noise produced during firing. Standard hearing protectors used by the soldiers allow the reduce the level of dangerous sounds, however, these protectors can also degrade hearing and understanding useful sounds, like commands issued during practice. In such situations, the solution is the use of hearing protectors containing electronic circuits i.a. supporting oral communication or special acoustic filters transmitting speech sounds. The paper presents a description of new solutions of such protectors specifying particular models from different manufacturers.

Key words: hearing protectors, noise

Nadesłano: 8.07.2014. Przyjęto do druku: 13.10.2014

Nie zgłoszono sprzeczności interesów.

Lek. Wojsk., 2014; 92 (4): 466–471

Copyright by Wojskowy Instytut Medyczny

Adres do korespondencji:

mgr inż. Emil Kozłowski

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut

Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

tel. +48 22 623 32 93

e-mail: emkoz@ciop.pl

Wstęp

Hałas jest jednym z czynników stwarzających zagrożenie dla zdrowia żołnierzy. Jest on wytwarzany między innymi przez pojazdy używane podczas zadań bojowych. Jednakże najczęściej spotykanym hałasem podczas służby wojskowej jest hałas impulsowy, wytwarzany podczas wystrzałów z różnego rodzaju broni palnej. Szczytowy poziom dźwięku C hałasu występującego podczas ćwiczeń może przekraczać nawet 170 dB [1]. Tego rodzaju hałas jest szczególnie niebezpieczny, gdyż może doprowadzić do ubytków słuchu u człowieka nawet po krótkotrwałej ekspozycji, np. na jeden wystrzał. Bardzo często jedyną możliwością ochrony żołnierzy przed negatywnym wpływem hałasu jest stosowanie ochronników słuchu. Badania wskazują, że w przypadku strzałów z broni małego kalibru (np. pistoletów

lub karabinów) ochronniki słuchu są w stanie dostatecznie ograniczyć ekspozycję na hałas impulsowy [2]. Niestety standardowe – najczęściej stosowane – ochronniki słuchu oprócz tego, że tłumią hałas, jednocześnie pogarszają słyszalność mowy i sygnałów ostrzegawczych, co w przypadku żołnierzy, którzy powinni słyszeć komendy dowódcy i na nie reagować, jest bardzo istotne. Aby umożliwić ochronę słuchu i równoczesne słyszenie mowy oraz sygnałów ostrzegawczych, producenci ciągle udoskonalają i wprowadzają na rynek nowe rozwiązania ochronników słuchu.

Rodzaje ochronników słuchu

Ochronniki słuchu można podzielić na wkładki przeciwhałasowe oraz nauszniki przeciwhałasowe. Kolejna

PRACE POGLĄDOWE

klasyfikacja dzieli ochronniki na pasywne, a więc bez układów elektronicznych, i ochronniki wyposażone w układy elektroniczne. Rozwój w dziedzinie ochronników słuchu dotyczy obu wymienionych grup. Do nowych rozwiązań zaliczyć bowiem należy zarówno pasywne wkładki przeciwhałasowe wyposażone w filtry akustyczne, jak i nauszники przeciwhałasowe wyposażone w różne rodzaje układów elektronicznych.

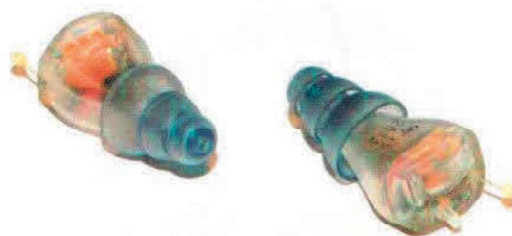
Ochronniki słuchu z układami elektronicznymi

Stosowanie ochronników słuchu redukuje hałas, który jest niepożądany, ale jednocześnie ogranicza docieranie sygnałów użytecznych, takich jak sygnał mowy. Zapewnienie możliwości słownego komunikowania się przy stosowaniu ochronników słuchu jest na przykład zadaniem układów elektronicznych, w które te ochronniki mogą być wyposażone. Układy elektroniczne mogą wspomagać również tłumienie hałasu w zakresie niskich częstotliwości.

Jednym z rozwiązań wykorzystywanych w ochronnikach słuchu jest transmitowanie dźwięku pod te ochronniki poprzez tor składający się z mikrofonu (umieszczonego na zewnątrz ochronnika), wzmacniacza i głośnika znajdującego się wewnątrz ochronnika słuchu [3]. Wzmocnienie transmitowanych dźwięków w torze elektronicznym zależy od poziomu hałasu otoczenia, co prowadzi w efekcie do uzyskania charakterystyki tłumienia ochronnika słuchu rosnącej wraz ze zwiększaniem się hałasu na zewnątrz ochronnika. Ochronniki wykorzystujące tego typu rozwiązanie nazywane są ochronnikami z regulowanym tłumieniem i stosowane są najczęściej podczas przebywania w hałasie impulsowym, np. podczas strzelania z broni palnej. Ochronniki gwarantują wówczas ochronę słuchu w trakcie strzału, a podczas ciszy użytkownik ma zapewnioną komunikację z otoczeniem. Na rynku dostępne są m.in. następujące modele nauszników z regulowanym tłumieniem: Elvex Impulse Com-655 [4], Bilsom/Howard Leight Impact Sport [5], Walker Alpha Muffs [6], MSA Suprime Pro-X [7] oraz Radians Hunters Ears [8], a także modele wkładek, np. Variphone AEP-1 [9] i przedstawione na rycinie 1. Etymotic Research BlastPLG EB-15 [10].

Kolejnym rodzajem ochronników słuchu z układami elektronicznymi są ochronniki z komunikacją radiową [3]. W ochronnikach tego typu wykorzystuje się transmisję radiową do komunikacji między sobą kilku ich użytkowników. Może być to realizowane poprzez dodatkowe zewnętrzne radio, do którego podłącza się ochronnik, albo radio wbudowane w czasie nauszników. Komunikację taką stosuje się m.in. w nausznikach Peltor Lite-Com [11], przedstawionych na rycinie 2.

Kolejną technologią stosowaną w ochronnikach słuchu wyposażonych w układy elektroniczne jest aktywna redukcja hałasu [3]. Podstawą jej działania jest



Rycina 1. Wkładki przeciwhałasowe z regulowanym tłumieniem Etymotic Research BlastPLG EB-15

Figure 1. Etymotic Research BlastPLG EB-15 level-dependent ear-plugs



Rycina 2. Nauszniki przeciwhałasowe z komunikacją radiową Peltor Lite-Com

Figure 2. Peltor Lite-Com ear-muffs with electrical radio input

wzajemna kompensacja fal dźwiękowych przesuniętych w fazie o 180 stopni. Układ elektroniczny umieszczony w ochronniku generuje sygnał, który jest w przeciwfazie względem sygnału hałasu i w wyniku nałożenia się tych sygnałów następuje ograniczenie hałasu. Takie rozwiązanie jest efektywne w zakresie niskich częstotliwości, zatem może być z powodzeniem stosowane do ochrony na przykład pilotów śmigłowców. Na rynku dostępne są m.in. nauszники przeciwhałasowe z aktywną redukcją hałasu, francuskiego producenta TechnoFirst NoiseMaster [12], oraz amerykańskie wkładki przeciwhałasowe Aegisound DANR T3E [13]. Technologia aktywnej redukcji hałasu również stosowana jest w słuchawkach, które w odróżnieniu od ochronników mają niski poziom tłumienia pasywnego. Rozwiązanie to można stosować również w sytuacjach, w których występuje typowy hałas

PRACE POGLĄDOWE



Rycina 3. Słuchawki z aktywną redukcją hałasu Bose QuietComfort 15
Figure 3. Bose QuietComfort 15 active noise reduction headphones



Rycina 4. Nauszniki przeciwhałasowe z komunikacją radiową i regulowanym tłumieniem Peltor ComTac XP
Figure 4. Peltor ComTac XP level-dependent ear-muffs with electrical radio input

niskoczęstotliwościowy. Na rynku dostępne są na przykład słuchawki Bose QuietComfort 15 (ryc. 3.) [14].

W ochronnikach słuchu wykorzystuje się także dwie lub nawet trzy opisane powyżej technologie jednocześnie. Zarówno komunikację radiową, jak i regulowane tłumienie posiadają: nausznik Peltor ComTac XP (ryc. 4.) [15] i wkładki TEA Invisio X50 Digital Ears [16]. Komunikację radiową i aktywne tłumienie hałasu wykorzystuje system Silynx Maximus [17], wyposażony we wkładki przeciwhałasowe, oraz Racal Acoustics RA5000 RAPTOR HEADSET [18], wyposażony w nauszники przeciwhałasowe. Rozwiązaniem, które łączy wszystkie trzy opisane powyżej technologie, jest system QuietPro (ryc. 5.) [19]. Dodatkowo system ten ostrzega, że wkładki są źle założone, co wymusza ponowne ich założenie. Komunikacja radiowa z innym użytkownikiem systemu QuietPro zrealizowana jest nietypowo, sygnał mowy pochodzący od użytkownika systemu zbierany jest bowiem z zewnętrznego przewodu słuchowego mikrofonem umieszczonym wewnątrz wkładki, a nie mikrofonem umiejscowionym przy ustach osoby mówiącej. Dzięki temu rozwiązaniu sygnał mowy użytkownika jest w znacznie mniejszym stopniu maskowany przez hałas otoczenia i staje się bardziej zrozumiały dla odbiorcy informacji słownej. System standardowo wyposażony jest w we wkładki piankowe, prowadzono jednak również prace nad użyciem wkładek formowanych indywidualnie dla użytkownika [20].

Pasywne ochronniki słuchu

Funkcja poprawy jakości komunikacji słownej nie zawsze uzyskiwana jest z użyciem układów elektronicznych.



Rycina 5. System QuietPro
Figure 5. QuietPro system

Alternatywnym rozwiązaniem jest stosowanie różnego rodzaju filtrów akustycznych w pasywnych ochronnikach słuchu (bez układów elektronicznych), co może zwiększać możliwości komunikacji w trakcie używania ochronników. Najczęściej filtry akustyczne wprowadza się do wkładek przeciwhałasowych formowanych indywidualnie [21]. Producenci takich wkładek udostępniają

PRACE POGLĄDOWE



Rycina 6. Wkładki przeciwhałasowe z filtrem akustycznym Etymotic Research ER-20

Figure 6. Etymotic Research ER-20 ear-plugs with acoustic filter



Rycina 7. Wkładki przeciwhałasowe z filtrem akustycznym EAR Combat Arms

Figure 7. EAR Combat Arms ear-plugs with acoustic filter

filtry o różnych tłumieniach, które w zależności od występującego poziomu dźwięku mogą być umieszczane w stosowanych wkładkach. Takie rozwiązanie jest dostępne we wkładkach Variphone [22], Sonomax [23] czy dB Blocker [24]. Rozwinięciem poprzedniego rozwiązania są ochronniki z filtrem o płaskiej charakterystyce tłumienia, gdyż standardowo ochronniki słuchu charakteryzują się mniejszymi wartościami tłumienia dźwięku dla częstotliwości 125–1000 Hz niż w paśmie 2000–8000 Hz. Dzięki zastosowaniu filtra o płaskiej charakterystyce tłumienia barwa dźwięku docierającego do użytkownika wkładek nie jest zniekształcona. Na rynku można spotkać następujące modele wkładek



Rycina 8. Nauszniki przeciwhałasowe z filtrem akustycznym 3M Ultra 9000

Figure 8. 3M Ultra 9000 ear-muffs with acoustic filter

o płaskiej charakterystyce tłumienia: Etymotic Research ER-9, ER-15, ER-25 [25] i przedstawione na rycinie 6. ER-20 [26].

Kolejnym typem ochronników pasywnych z filtrem akustycznym są wkładki i nauszniki z regulowanym tłumieniem [21]. Zastosowanie filtra sprawia, że ochronniki w przypadku niskiego poziomu dźwięku tłumią go słabo, a gdy poziom się podnosi, zwiększa się także ich tłumienie. Pasywne wkładki z regulowanym tłumieniem często używane są w zastosowaniach militarnych do tłumienia hałasu impulsowego, np. EAR Combat Arms (ryc. 7.) [27] i Variphone Stopgun [28]. Cywilnym odpowiednikiem wkładek EAR Combat Arms są wkładki EAR Arc. Na rynku dostępny jest także pasywny nausznik przeciwhałasowy z regulowanym tłumieniem 3M Ultra 9000 (ryc. 8.) [29], w którym filtry akustyczne umieszczone są w czaszkach.

Innym nowym rozwiązaniem wykorzystywanym w pasywnych ochronnikach słuchu są wkładki przeciwhałasowe montowane na sprężynie dociskowej, która jest jednocześnie komorą rezonansową. Przykładem tego rozwiązania są wkładki SensGard ZEM [30]. Zastosowanie komory rezonansowej, której impedancja jest mniejsza niż przewodu słuchowego użytkownika, sprawia, że większość energii akustycznej sygnału zewnętrznego zostaje przekazana do komory, a nie do przewodu słuchowego.

Badania nad ochronnikami słuchu

Pomimo zaawansowanych rozwiązań zastosowanych w ochronnikach słuchu stale prowadzone są prace nad

PRACE POGLĄDOWE

ich udoskonalaniem. Jednym z głównych kierunków w tym obszarze jest poprawa stopnia ograniczenia narażenia na hałas przy jednoczesnej poprawie jakości odbieranego sygnału mowy lub sygnału alarmowego w kanale komunikacyjnym, w tym poprzez opracowanie nowych algorytmów sterowania. Przykładem opracowania zwiększającego możliwości komunikacji jest struktura układu sterującego wykorzystująca adaptacyjny układ aktywnej redukcji hałasu [31]. W rozwiązaniu tym sterowanie układem adaptacyjnym odbywa się z podziałem na pasma oktawowo w zakresie od 125 Hz do 8 kHz, co wpływa na znaczącą poprawę zrozumiałości mowy.

Kolejnym rozwiązaniem jest algorytm umożliwiający poprawienie słyszalności sygnałów ostrzegawczych w trakcie stosowania ochronników słuchu [32]. Układ ten wykrywa i następnie „przepuszcza” dźwięk sygnału alarmowego.

Jeszcze innym przykładem rozwiązania wspomagającego odbiór pożądanego dźwięku z hałaśliwego otoczenia jest prototyp zestawu słuchawkowego wyposażonego w układ cyfrowego przetwarzania sygnału DSP (*digital signal processing*), zaprojektowany tak, by mógł zarówno tłumić hałas, jak i wykrywać sygnały mowy występujące na tle hałasu przemysłowego [33].

Innym prototypowym rozwiązaniem ochronników słuchu z układami elektronicznymi są wkładki przeciwhałasowe z aktywną redukcją hałasu, zrealizowaną z wykorzystaniem systemu adaptacyjnego dostosowującego się (zmieniającego swoje parametry pracy) do zmian hałasu otoczenia [34].

Trwają również badania nad zastosowaniem algorytmów genetycznych w nausznikach przeciwhałasowych z aktywną redukcją hałasu [35]. Algorytmy genetyczne umożliwiają w tym przypadku dostosowanie częstotliwości pracy filtrów NOTCH, które redukują hałas w wybranych pasmach częstotliwości.

Do nowych rozwiązań zaliczyć należy także wykorzystanie transmisji bezprzewodowej do przekazywania sygnału mowy podczas stosowania wkładek przeciwhałasowych. W tym celu w prototypowej wkładce przeciwhałasowej zastosowano mikrofon umieszczony w zewnętrznym przewodzie słuchowym użytkownika i moduł *wireless*, który przesyła sygnał zbierany tym mikrofonem do drugiego użytkownika wkładek [36].

Częstym problemem podczas stosowania wkładek przeciwhałasowych jest ich poprawne umieszczenie w zewnętrznym przewodzie słuchowym. Wkładki nie są dostatecznie głęboko wsuwane, gdyż materiał, z którego są wykonane, szybko się rozpręża. Propozycją rozwiązania tego problemu jest prototyp wkładek z pompowaną końcówką, zwiększającą swoją objętość w przewodzie słuchowym, dzięki czemu uzyskuje się lepsze dopasowanie wkładek do kształtu przewodu słuchowego [21].

Podsumowanie

Nowe rozwiązania w zakresie ochronników słuchu umożliwiają ochronę słuchu przed szkodliwym działaniem hałasu i pozwalają na komunikowanie się z innymi osobami bez konieczności zdejmowania ochronników. Jest to szczególnie istotne podczas zajęć na poligonie, gdzie żołnierz musi słyszeć komendy lub inne użyteczne sygnały. Wdrożenie tego typu ochrony słuchu do stosowania przez żołnierzy Wojska Polskiego może poprawić stan ich zdrowia i bezpieczeństwo podczas pełnienia służby wojskowej.

Podziękowania

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011–2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej, koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, oraz w ramach realizacji projektu Ministerstwa Obrony Narodowej: 15/WNII/2007 – (129/IWSZ/2007) „Dokształcanie metod diagnostyczno-leczniczych i profilaktycznych w uszkodzeniach narządu słuchu i równowagi”.

Piśmiennictwo

1. Młyński R., Żera J., Kozłowski E. Zagrożenie hałasem impulsowym wytwarzanym w przemyśle oraz podczas strzałów i eksplozji. *Bezpiecz. Pr.* 2012; 3: 22–25.
2. Młyński R. Ocena i ograniczanie narażenia trenera strzelania na hałas impulsowy. *PAK*. 2013; 11: 1210–1213.
3. Casali J.G. Powered electronic augmentations in hearing protection technology circa 2010 including active noise reduction, electronically-modulated sound transmission, and tactical communications devices: Review of design, testing, and research (review). *Int J Acoust Vib*. 2010; 15(4): 168–186.
4. <http://www.elvex.com/Com-655.htm>
5. <http://www.howardleight.com/ear-muffs/impact-sport>
6. <http://www.gsmoutdoors.com/shopping/walkers/electronic-muffs/al-pha-muffs.aspx>
7. <http://pl.msasafety.com/Ochronniki-s%C5%82uchu/Nauszniki-elektroniczne/Ochronniki-s%C5%82uchu-Supreme%C2%AE-Pro-X-/p/000090007600001028>
8. <http://www.radians.com/radsite/index.php/products/radians-sport-ing-goods/hearing-protection/item/radians-hunters-ears-electronic-earmuff>
9. <http://www.variphone.com/en/aep-1-0>
10. <http://www.etymotic.com/hp/eb15le.html>
11. http://catalogue.3m.eu/pl-PL/PL-PPE/Rozwi%C4%85zania_komunikacyjne_Peltor%26trade%3B/Lite-Com%26trade%3B/Peltor%E2%84%A2-Lite-Com%E2%84%A2-Basic-Headset-nocode
12. <http://www.technofirst.com/plaquettes/NoiseMaster.pdf>
13. http://www.aegisound.com/products/product_detail.php?p=7
14. http://www.bose.com/controller?url=/shop_online/headphones/noise_cancelling_headphones/quietcomfort_15/index.jsp
15. http://catalogue.3m.eu/pl-PL/PL-PPE/Rozwi%C4%85zania_komunikacyjne_Peltor%26trade%3B/Rozwi%C4%85zania_z_serii_Tactical/Peltor%E2%84%A2-ComTac%E2%84%A2-XP-nocode/Peltor%E2%84%A2-ComTac%E2%84%A2-Nauszniki-MT17H682FB-69#

PRACE POGLĄDOWE

16. <http://soldiersystems.net/2011/08/24/tea-invisio-x50-multicom-headset/>
17. http://silynx.com/silynx_product/maximus/
18. <http://www.esterline.com/Portals/21/Brochures/Racal%20Brochures/RA5000%20Raptor%20Headset%20Brochure%20new.pdf>
19. http://www.honeywellsafety.com/Products/Hearing/Intelligent_Hearing_Protection/QUIETPRO_QP400.aspx?site=/americas
20. Kvaløy O, Berg T, Henriksen V. A comparison study of foam versus custom silicone earplugs used as part of an intelligent electronic hearing protector system. *Int J Acoust Vib*, 2010; 15: 151–155
21. Casali JG. Passive augmentations in hearing protection technology circa 2010 including flat-attenuation, passive level-dependent, passive wave resonance, passive adjustable attenuation, and adjustable-fit devices: Review of design, testing, and research (review). *Int J Acoust Vib*, 2010; 15: 187–195
22. <http://www.variphone.com/en/variphone-0>
23. <http://www.sonomaxuk.com/hearing-protection-options.aspx>
24. <http://www.protectear.com/products/db-blocker/>
25. <http://www.etymotic.com/hp/erme.html>
26. <http://www.etymotic.com/hp/er20.html>
27. http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Marine/Home/Products/Catalog/?PC_Z7_RJH9U5230GE3E02LECIE20S4K7000000_nid=DTYRQP81P0beLDL9MLP7QVgl
28. <http://www.variphone.com/en/stopgun>
29. http://multimedia.3m.com/mws/media/webserver?mwsld=SSSSufSevTsZxtUoYtG5Y_SevUqevTSevTSeSSSSS&fn=Hearing%20Catalogue.pdf
30. <http://www.sensgard.com/>
31. Brammer AJ, Yu G, Bernstein ER, et al. Improving speech intelligibility in active hearing protectors and communication headsets with subband processing. *Proceedings of Meetings on Acoustics*. 21st International Congress on Acoustics, ICA 2013 – 165th Meeting of the Acoustical Society of America, Montreal, Canada, June 2–7, 2013
32. Carboneau M-A, Lezzoum N, Voix J, Gagnon G. Detection of alarms and warning signals on an digital in-ear device. *Int J Ind Ergonom*, 2013; 43: 503–511
33. Prashanth KVM, Sridhar V. Design of a headset prototype for speech detection and noise reduction. *Proceedings of 17th International Congress on Sound and Vibration (ICSV17)*. Cairo, Egypt, July 18–22, 2010
34. Pawelczyk M, Latos M. Earplug actuator selection for a miniature personal active hearing protection system. *Arch Acoust*, 2010; 35: 213–222
35. Górski P. Model of active hearing protector controlled by NOTCH filters. *Proceedings of 20th International Congress on Sound and Vibration (ICSV20)*. Bangkok, Thailand, July 7–11, 2013
36. Serhal REB, Falk TH, Voix J. Integration of a distance sensitive wireless communication protocol to hearing protectors equipped with in-ear microphones. *Proceedings of Meetings on Acoustics*. 21st International Congress on Acoustics, ICA 2013 – 165th Meeting of the Acoustical Society of America, Montreal, Canada, June 2–7, 2013

[poz. 3]

PRACE ORYGINALNE

Ocena narażenia na hałas impulsowy w trakcie służby wojskowej – problem nadal aktualny

Exposure to noise during military service still a challenge

Ireneusz Kantor¹, Jan Żera², Rafał Młyński², Emil Kozłowski², Andrzej Wojdas¹, Dariusz Jurkiewicz¹

¹ Klinika Otolaryngologii Centralnego Szpitala Klinicznego Ministerstwa Obrony Narodowej Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie; kierownik: prof. dr hab. n. med. Dariusz Jurkiewicz

² Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie; dyrektor Instytutu: prof. dr hab. n. med. Danuta Koradecka

Streszczenie. Wstęp: W ocenie szkodliwości hałasu oraz podejmowaniu działania zapobiegającego uszkodzeniom narządu słuchu, istotne jest, aby mierzyć oddziaływanie hałasu na człowieka w warunkach rzeczywistych. Dotyczy to zwłaszcza hałasu impulsowego powstałego podczas strzelania. Cel pracy: Celem pracy jest przedstawienie wyników badań poziomu hałasu na strzelniczy garnizonowej oraz w trakcie szkolenia ogniowego na poligonie. Materiał i metody: Wykonano pomiary podstawowych parametrów hałasu zarówno dla pojedynczego wystrzału, jak i dla strzelania „serią”, tak aby zachowane były warunki rzeczywiste. Wyniki: Stwierdzono znaczne przekroczenie obowiązujących, dopuszczalnych norm natężenia hałasu. Na przykład poziom hałasu w trakcie strzelania na poligonie z kbs wz. 96 „Beryl” osiągał wartość szczytową $L_{Cpeak} = 151,8$ dB (C). Jest to szczególnie ważne ze względu na fakt, iż badano hałas wytwarzany przez sprzęt aktualnie wykorzystywany w wojsku, używany również przez żołnierzy na zagranicznych misjach. Wnioski: Potwierdzono konieczność stosowania zarówno czynnej, jak i biernej ochrony narządu słuchu.

Słowa kluczowe: hałas impulsowy, służba wojskowa

Abstract. Introduction: When we attempt to evaluate the risk of noise and prevent hearing organ damage, it is particularly important to evaluate the influence of noise on humans in real-life situations. It concerns especially impulsive noise that occurs during shooting. Aim: The aim of the study was to describe the results of examinations of noise levels on firing ground and on tactical area during shooting exercises. Material and methods: We measured basic parameters of noise both for a single shot and series of shots, while preserving real-life conditions. Results: We observed that accepted norms of hearing levels were exceeded. For example, the noise during exercises on tactical area from kbs wz. 96 “Beryl” achieved $L_{Cpeak} = 151,8$ dB (C). It is significant in that we measured the noise generated by the equipment currently used by the army during foreign military missions. Conclusions: We confirmed that it is necessary to use both active and passive hearing protectors during shooting.

Key words: impulsive noise, military service

Nadesłano: 27.01.2010. Przyjęto do druku: 11.03.2010.
Nie zgłoszono sprzeczności interesów.
Lek. Wojsk., 2010; 88 (2): 97–102
Copyright by Wojskowy Instytut Medyczny

Adres do korespondencji: dr hab. n. med. Ireneusz Kantor
Klinika Otolaryngologiczna CSK MON WIM
ul. Szaserów 128, 04-141 Warszawa 44, tel. +48 22 6816 471,
e-mail: ikantor@wim.mil.pl

Wstęp

Stały i praktycznie nieograniczony rozwój myśli technicznej nie pozostaje bez wpływu na życie człowieka – zarówno w odniesieniu do jego stanu fizycznego, jak i psychicznego. Działanie silnych, długotrwałych, o znacznym natężeniu i w zakresie różnych częstotliwości bodźców akustycznych, wywiera zdecydowanie ujemny wpływ nie tylko na narząd słuchu czy równowagi, ale i na cały

ustrój człowieka. Nawet nieznacznie przekraczający dopuszczalne normy hałas może spowodować powstanie urazu akustycznego. Dotyczy to przede wszystkim hałasu impulsowego, najczęściej spotykanego w trakcie szkolenia wojskowego. Również zmiana struktury wojska oraz uzbrojenia powoduje wzrost liczby osób narażonych na hałas znacznie przekraczający dopuszczalne normy.

Działania zapobiegające ryzyku lub ograniczające uszkodzeniu narządu słuchu polegają na jednoczasowym

PRACE ORYGINALNE

opracowaniu i stosowaniu administracyjno-prawnych oraz technicznych metod ochrony.

Metody administracyjno-prawne polegają na wprowadzeniu do codziennego stosowania odpowiednich przepisów prawa (w tym norm prawnych) regulujących przedsięwzięcia konieczne do ograniczenia hałasu i walki z jego skutkami. Zalicza się do nich stosowanie przerw i ograniczenie czasu pracy, wprowadzenie obowiązkowych badań lekarskich czy zmianę stanowiska pracy u osób z nadwrażliwością na hałas. Metody te narzucają konieczność stosowania tzw. technicznych metod postępowania, do których przede wszystkim zalicza się eliminację źródeł hałasu.

Warunki jakie występują w trakcie służby wojskowej albo uniemożliwiają, albo w znacznym stopniu ograniczają wykorzystanie zarówno metod administracyjno-prawnych, jak i technicznych. Dlatego tak ważna jest profilaktyka i czynne przeciwdziałanie nadmiernemu oddziaływaniu hałasu na organizm żołnierza.

Podstawowym elementem zapobiegania powstaniu urazu akustycznego jest zakaz przebywania w środowisku, w którym równoważny poziom dźwięku A przekracza 85 dB (poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnej dnia pracy $L_{EX,8h}$), L_{Amax} (maksymalny poziom dźwięku A) przekracza 115 dB, a L_{Cpeak} (szczytowy poziom dźwięku C) przekracza 135 dB.

Obecnie obowiązującymi dokumentami regulującymi problem narażenia na hałas jest wydania 2.02.2000 roku przez Dowództwo Wojsk Lądowych „Instrukcja o ochronie słuchu na strzelnicach wojskowych” oraz wydany 7.08.2001 roku, wspólny dla państw członkowskich NATO, program ochrony narządu słuchu „Protection of hearing” przyjęty jako STANAG 2899. Określono również sposób oznaczania stref zagrożenia hałasem, tzn. miejsc, w których przebywanie skutkowałoby narażeniem na hałas przekraczający dopuszczalne wartości. Mimo że jak wielokrotnie stwierdzono, groźniejszy dla organizmu jest hałas impulsowy o wysokim poziomie ciśnienia akustycznego w obu tych zarządzeniach przyjęto tylko jedną wartość hałasu jako zagrażającego zdrowiu żołnierzy – ekwiwalentnego (dziennego) poziomu narażenia na hałas na poziomie 85 dB (A). Skutkuje to niedocenianiem przez wielu żołnierzy, a przede wszystkim osoby nadzorujące lub prowadzące zajęcia związane z hałasem, problemu narażenia na hałas impulsowy.

Cel pracy

Celem pracy było dokonanie oceny stopnia narażenia na hałas przez analizę poziomu ciśnienia akustycznego hałasu impulsowego różnego rodzaju, powstającego podczas szkolenia ogniowego oraz wytwarzanego przez sprzęt bojowy podczas ćwiczeń na pasie taktycznym.

Materiał i metody

Dokonano oceny narażenia na hałas impulsowy występujący podczas szkolenia ogniowego oraz hałas wytworzony w czasie ćwiczeń na pasie taktycznym.

Poziom hałasu impulsowego, pojedynczych wystrzałów, podczas strzelania z broni osobistej na otwartej strzelnicy garnizonowej mierzono w miarę możliwości wielokrotnie (min. 3 razy). Mikrofon umieszczono około 10 cm od ucha osoby strzelającej.

Dla karabinu kbk AK 7,62 mm, pistoletu maszynowego „Glauberyt” wz. 1984 (pm-84P), karabinu maszynowego PK 7,62 mm oraz karabinu wyborowego SWD 7,62 mm dodatkowo oznaczono parametry hałasu, umieszczając urządzenia pomiarowe na linii wyjścia, rubieży oczekiwania oraz w miejscach, w których najczęściej przebywają żołnierze nieuczestniczący bezpośrednio w strzelaniu (punkt wydawania amunicji, wieża obserwacyjna, miejsce rozlokowania punktu sanitarnego itp.).

Dokonano również oceny narażenia na hałas podczas szkolenia na pasach taktycznych. W tym czasie żołnierze narażeni są na hałas impulsowy wywołany strzelaniem z broni osobistej, broni strzeleckiej stanowiącej wyposażenie sprzętu wojskowego oraz hałas związany z eksploatacją tego sprzętu.

W przypadku pomiarów poziomu dźwięku z innych rodzajów uzbrojenia, aby zachowane były „warunki rzeczywiste” mikrofon umieszczano na stanowiskach obsługi lub w bezpośredniej bliskości.

Pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego hałasu dokonywano, używając przenośnego analizatora dźwięku SVAN 912AE firmy SVANTEK wyposażonego w 1/2 calowy mikrofon pojemnościowy G.R.A.S i przedwzmacniacz mikrofonowy SV01A oraz niezależnie za pomocą systemu pomiarowego Brüel & Kjær PULSE z mikrofonem Brüel & Kjær 4941, zdolnego do rejestracji poziomu ciśnienia akustycznego w zakresie do 184 dB. W pracy mierzono i poddano analizie następujące parametry hałasu:

- maksymalny poziom dźwięku A , L_{Amax} w dB;
- szczytowy poziom ciśnienia akustycznego L_{peak} w dB;
- szczytowy poziom dźwięku C , L_{Cpeak} w dB;
- równoważny poziom dźwięku A , $L_{EX,8h}$ w dB;
- rozkład widma poziomu dźwięku w pasmach 1/3-oktawowych.

Dla wartości szczytowego poziomu dźwięku C , dla pojedynczego impulsu, obliczono poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnej dnia pracy $L_{EX,8h}$ oraz dopuszczalną krotność narażenia na hałas. Wszystkich pomiarów dokonano zgodnie z polskimi normami.

PRACE ORYGINALNE

Wyniki

Uzyskane wartości maksymalnego poziomu dźwięku A ($L_{A,max}$), szczytowego poziomu dźwięku C ($L_{C,peak}$) oraz równoważnego poziomu dźwięku A ($L_{EX,8h}$) w zależności od miejsca umieszczenia punktów pomiarowych przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Rozkład przebiegu czasowego hałasu, w pasmach 1/3-oktawowych, poziomu dźwięku dla pojedynczego strzału na stanowisku strzeleckim w zależności od rodzaju broni przedstawiono na rycinach 1 i 2.

Stwierdzono, że czas trwania 1 impulsu powstałego podczas strzelania z kbk AK na strzelnicy otwartej wynosi około 0,03 125 s (dla wartości >85 dB), natomiast czas

Tabela 1. Poziomy dźwięku hałasu różnego rodzaju broni osobistej (w dB) w zależności od umiejscowienia punktów pomiarowych, dla pojedynczego wystrzału na strzelnicy otwartej

Table 1. Noise levels of different types of personal weapon depending on the measurement points for a single shot at an open rifle range

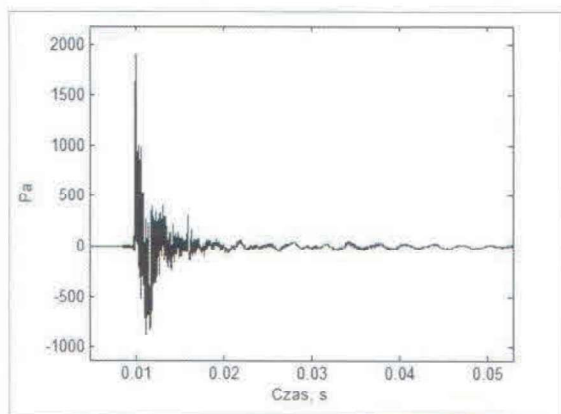
	przy uchu			linia wyjścia			rubież oczekiwania		
	$L_{C,peak}$	$L_{A,max}$	$L_{EX,8h}$	$L_{C,peak}$	$L_{A,max}$	$L_{EX,8h}$	$L_{C,peak}$	$L_{A,max}$	$L_{EX,8h}$
kbk AK	144,6	121,6	79,2	134,8	110,8	65,4	126,2	106,0	60,1
km PK	144,2	125,3	83,0	137,7	113,7	71,4	81,1	59,5	30,5
pm „Glauberyt”	142,0	118,5	75,0	130,6	106,0	63,7	119,9	94,9	52,4
kbw SWD	142,1	114,4	70,0	134,1	104,6	60,7	123,8	94,1	49,2

Tabela 2. Poziom dźwięku hałasu różnego rodzaju broni wykorzystywanej podczas ćwiczeń na pasie taktycznym – część I

Table 2. Noise levels of different types of weapon used during military exercises on tactical area – part I

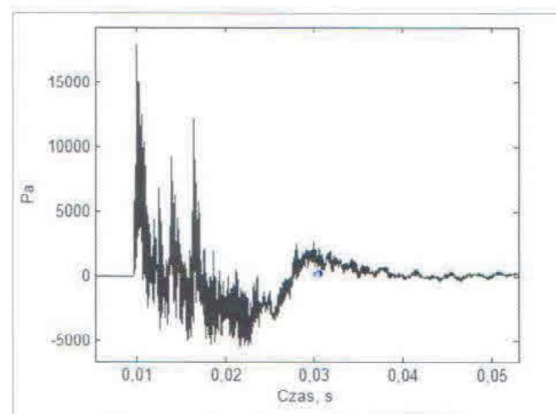
	L_{peak}	$L_{C,peak}$	$L_{EX,8h}$	Krotność*
kbs wz. 1996 „Beryl” 5,56 (pojedynczy wystrzał, mikrofon 10 cm od ucha strzelającego)	158,5	151,8	72,43	18,84
granatnik RPG – 7 (w odległości 1 m od strzelającego)	179,1	176,5	95,8	0,1
granatnik RPG – 7 (w odległości 5 m od strzelającego)	173,4	170,3	86,3	0,7
KTO „Rosomak” – 2 m w bok z przodu pojazdu	166,1	161,6	80	3,2
KTO „Rosomak” – 5 m za pojazdem	155,8	149,9	68,8	42
haubica 2S1 122 „Goździk” – 4 m w bok od przodu pojazdu	172,96	169,5	90,8	0,26

* dopuszczalna liczba powtórzeń określonego impulsu, gdyby brać pod uwagę tylko poziom ekspozycji odniesiony do 8-godzinnej doby pracy



Rycina 1. Przebieg czasowy impulsu akustycznego wytwarzanego przez karabin szturmowy wzór 96 „Beryl” 5,65

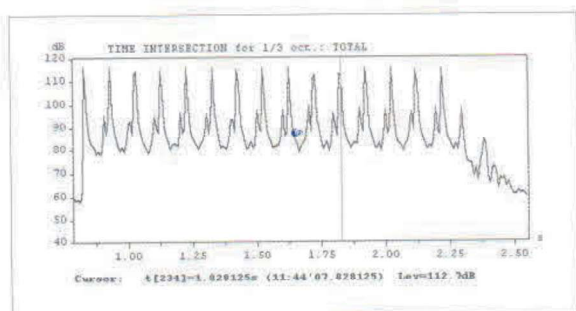
Figure 1. Time course of the acoustic impulse generated by a rifle cal. 5.65 wz. 96 „Beryl”



Rycina 2. Przebieg czasowy impulsu akustycznego wytwarzanego przez granatnik RPG-7

Figure 2. Time course of the acoustic impulse generated by a howitzer RPG-7

PRACE ORYGINALNE



Rycina 3. Przebieg czasowy poziomu dźwięku w dB dla serii wystrzałów – marker ustawiony na czas 1 s od czasu pojawienia się pierwszego impulsu (strzału)

Figure 3. Time course of noise for a series of gunshots (measured 10 cm from the shooter's ear) – marker put on time 1 s from the appearance of the first impulse (shot)

narastania od początku impulsu do maksimum (144,6 dB [C]) wynosi 0,0078 s, czas trwania „serii” 15 strzałów – 1,3906 s (ryc. 3).

Analizując rozkład czasowy „serii” strzałów z kbk AK, można stwierdzić, że w czasie 1 sekundy strzelania „serią” żołnierz był narażony na 11 impulsów akustycznych (strzałów) przekraczających dopuszczalne normy.

Wykorzystując jednoczesowe pomiary poziomu dźwięku, używając miernika typu SVAN, dokonano oceny szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}) oraz maksymalnego poziomu dźwięku A (L_{Amax}) w różnych „sytuacjach bojowych” – tabela 3.

Dokonano również rejestracji hałasu powstałego podczas szkolenia ogniowego z uwzględnieniem stosowanych ochronników słuchu typu nausznikowego w czasie wykorzystanym przez prowadzącego szkolenie do wykonania „zadania bojowego”. Szacunkowo indywidualna sesja treningowa obejmowała 22–23 strzały oddawane w ciągu 90 sekund. W czasie 30 sekund pomiarów zarejestrowano 11 impulsów. Wyniki rejestracji hałasu przedstawiono w tabeli 4.

Omówienie

Istotnym elementem ćwiczeń pododdziałów wojskowych są takie, które pozorują warunki rzeczywiste. Użycie ostrej amunicji w połączeniu z hałasem impulsowym, powstałym w wyniku strzelania z broni osobistej, broni pokładowej (armaty, karabiny maszynowe) oraz hałasem wytwarzanym przez pojazdy czy środki pozoracji pola walki sprzyja powstaniu różnego rodzaju urazów, w tym urazu akustycznego. Niestety jedynym elementem pozwalającym ochronić narząd słuchu są indywidualne ochronniki słuchu mające odpowiednie właściwości akustyczne w połączeniu z możliwością komunikacji między poszczególnymi żołnierzami (np. odbiór

Tabela 3. Poziomy hałas różnego rodzaju broni wykorzystywanej podczas ćwiczeń na pasie taktycznym – część 2

Table 3. Noise levels of different types of weapon used during military exercises on tactical area – part 2

	L_{Cpeak} (dB)	L_{Amax} (dB)
strzelanie z kbs wz. 1996 „Beryl” 5,56	136,9	121,5
– obserwator prowadzący strzelanie (przy pulpicie)		
– ok. 5 m od strzelającego		
we wnętrzu haubicy 2S1 122 „Goździk”	>144,8*	135,4
– w trakcie strzelania		
punkt obserwacyjny: moździerz 60 mm	141,0	128,3
– ok. 5 m od moździerza		
we wnętrzu KTO „Rosomak”	143,0*	126,1
– w trakcie strzelania		

* Uwaga: zaznaczone pozycje tabeli zawierają wartość L_{Cpeak} wynikającą z granicznych możliwości stosowanego mikrofonu pomiarowego. Wartość rzeczywista L_{Cpeak} mogła być większa.

Tabela 4. Rejestracja poziomu hałasu z uwzględnieniem wykorzystania indywidualnych ochronników słuchu

Table 4. Record of noise level when using individual hearing protectors

Kbs wz. 1996 „Beryl” 5,56

L_{peak} na zewnątrz ochronnika	158,3 dB
L_{Cpeak} na zewnątrz ochronnika	151,7 dB
$L_{EX,8h}$ na zewnątrz ochronnika	82,8 dB
dopuszczalna krotność według ekspozycji na zewnątrz ochronnika	1,68
L_{Cpeak} pod ochronnikiem	121,2 dB
$L_{EX,8h}$ pod ochronnikiem	52,9 dB
dopuszczalna krotność według ekspozycji pod ochronnikiem	1604

rozkazów dowódcy). Ważnym elementem jest również stosowanie szeroko rozumianej profilaktyki lekarskiej – badań okresowych czy oceny narządu słuchu w przypadku narażenia na hałas impulsowy przekraczający dopuszczalny poziom ciśnienia akustycznego lub pojawienia się pierwszych symptomów urazu akustycznego (szumu w uszach). Stosowanie indywidualnych ochronników słuchu mających odpowiednie właściwości akustyczne w połączeniu z możliwością komunikacji między poszczególnymi żołnierzami (np. odbiór rozkazów dowódcy) jest znacznie utrudnione w warunkach bojowych. Dlatego tak istotna jest ochrona narządu słuchu w trakcie szkolenia ogniowego.

Praktycznie wszystkie osoby biorące bezpośrednie udział w szkoleniu ogniowym na strzelnicach

PRACE ORYGINALNE

garnizonowych lub uczestniczące w ćwiczeniach na pasach taktycznych narażone są na hałas impulsowy przekraczający dopuszczalne normy szczytowego poziomu dźwięku C (L_{Cpeak}). Według Balatsourasa i wsp. szczytowy poziom dźwięku podczas strzelania z kbk G-3 osiągał 159 dB (C), przy maksymalnym zakresie 1000–2000 Hz (szczyt – 1,6 kHz) [1]. Price ocenił, że hałas impulsowy wytwarzany podczas strzelania serią (25–50 impulsów) z M-14 7,62 mm osiąga wartości 155–158 dB (C), hałas zaś impulsowy powstający podczas strzelania z przeciwpancernej działy bezodrzutowej osiąga wartości 180–195 dB (C) [2,3]. Według Ylikoski hałas powstający podczas strzelania z broni ręcznej typu kbk AK osiąga poziom 160 dB [4,5]. Według Humes i wsp. szczytowy poziom hałasu podczas strzelania z pistoletu M9 9 mm wynosi 157 dB, z karabinu M16A2 5,56 mm – 157 dB, z karabinu M60 7,62 mm – 155 dB [6]. Pfander stwierdził, że szczytowy poziom dźwięku C hałasu występującego podczas zajęć szkolenia ogniowego wewnątrz czołgu MTB Leopard dochodził do $L_{Cpeak} = 165,5$ dB (C) [7].

Zbliżone do prezentowanych w badaniach własnych pomiary dźwięku szczytowego poziomu ciśnienia akustycznego hałasu powstałego podczas strzelania na strzelnicy wojskowej przedstawił w swojej pracy Konopka [8]. Szczytowy poziom dźwięku C podczas oddawania pojedynczego strzału z kb „Beryl” 5,56 mm (nabój ostry) dochodził do 154,3 dB (C), z kbk AK 7,62 mm (nabój ostry) – 154,7 dB (C), z kbw SWD 7,62 mm – 153 dB (C) oraz z km PKT 7,62 mm – 154,4 dB (C).

Uzyskane przez cytowanych autorów wyniki zbliżone są do prezentowanych w pracy, a niewielkie różnice poziomów dźwięku C hałasu L_{Cpeak} były spowodowane prawdopodobnie innymi warunkami akustycznymi panującymi podczas strzelania.

Porównując parametry hałasu powstałego podczas strzelania, należy wziąć pod uwagę również jego analizę widmową, liczbę impulsów oraz czas ich narastania [9].

Podczas strzelania serią, żołnierze narażeni są na niespotykaną w przemyśle wielokrotność szybko narastającego dźwięku o charakterze impulsu. Według Nakashima i wsp. czas trwania pojedynczego impulsu wytwarzanego podczas strzelania może osiągnąć poziom 150 dB (A) w czasie 0,5 ms [10]. Według Price’a przy poziomie hałasu 140 dB impuls trwa 0,435 ms, przy poziomie 145 dB – 0,295 ms [11].

W trakcie 30-sekundowej rejestracji poziomu dźwięku podczas ćwiczeń na pasie taktycznym, w warunkach najbardziej zbliżonych do rzeczywistych żołnierze strzelali do ukazujących się kolejno celów według zaplanowanego wcześniej schematu. W tym czasie oddawali 11 wystrzałów. Gdyby brać pod tylko uwagę tylko $L_{EX,8h}$ wykonanych pomiarów, to przy braku ochronnika słuchu osoba nie mogłaby być narażona na 2 takie serie, czyli w praktyce nie może brać udziału w szkoleniu ogniowym, w trakcie którego oddaje 22 strzały w ciągu doby. Przy

Tabela 5. Procentowe odniesienie poziomu dźwięku oraz krotność przekroczenia normy w stosunku do 85 dB
Table 5. Percentage reference of noise level and multiplicity of exceeding the norm relating to 85 dB

Poziom dźwięku w dB „odniesiony” do 8-godzinnego dnia pracy	Procentowe „odniesienie” poziomu dźwięku (85 dB = 100%)	Krotność przekroczenia normy (85 dB = 1) $k = 10^{0,1(L_{EX,8h} - 85)}$
85	100	1
95	1 000	10
105	10 000	100
125	1 000 000	
134	8 000 000	

stosowaniu ochronników słuchu liczba możliwych ekspozycji wyrażałaby się w kilkunastu setkach razy. Oczywiście trzeba tu mieć na uwadze fakt przekraczania wartości szczytowego poziomu dźwięku C . Przekroczenie szczytowego poziomu dźwięku C dyktuje konieczność stosowania ochronników słuchu.

W celu lepszego uwidocznienia oddziaływania hałasu na organizm człowieka przyjęto, zgodnie z obowiązującymi normami jako punkt odniesienia, równoważny poziom dźwięku A wynoszący 85 dB w ciągu 8-godzinne-go dnia pracy. Wartość ta obowiązuje w wojsku również obecnie. Porównując dźwięk, należy wykorzystać albo procentowe odniesienie poziomu dźwięku, albo krotność przekraczania normy w stosunku do przyjętego poziomu. Zależności te przedstawiono w tabeli 5. Na przykład, w przypadku narażenia na hałas w ciągu 8-godzinne-go dnia pracy o poziomie 105 dB, narażenie na dźwięk wzrasta o 10 000%, co stanowi 100-krotne przekroczenie normy [12].

Przekroczenie dopuszczalnych norm istotne jest zwłaszcza w przypadku narażenia na hałas o wysokim szczytowym poziomie ciśnienia akustycznego, szczególnie takich jak granatnik RPG-7. Należy zauważyć, że przyjęta odległość 5 m od strzelającego w linii ognia związana była z ustawionym przez obsługę strzelnicy ograniczeniem w postaci kolorowej taśmy. Szczytowy poziom hałasu mierzony w osi strzału byłby wielokrotnie większy. Nawet poziom dźwięku powstałego podczas strzelania wewnątrz KTO „Rosomak” lub moździerza 60 mm, uważanego powszechnie w wojsku za „cichy”, przekroczył dopuszczalną normę.

Wnioski

1. Poziom narażenia na hałas impulsowy, występujący w trakcie szkolenia ogniowego na strzelnicach garnizonowych oraz podczas szkolenia taktycznego, przekracza dopuszczalne normy.

PRACE ORYGINALNE

2. Konieczne jest w miarę możliwości ograniczenie narażenia na hałas impulsowy przez systematyczne stosowanie indywidualnych ochronników słuchu.

Podziękowania

Praca w części finansowana w ramach grantów Ministerstwa Pracy i Polityki Socjalnej nr 3.S.02 i 3.S.03 oraz Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 3.R.01.

Piśmiennictwo

1. Balatsouras D.G., Homsiglou E., Danielidis V.: Extended high-frequency audiometry in patients with acoustic trauma. *Clin. Otolaryngol.*, 2005; 30 (3): 249–254
2. Price G.R.: Firing recoilless weapons from enclosures. *Scand. Audiol. Suppl.*, 1991; 34: 39–48
3. Price G.R.: Impulse Noise and the Cat Cochlea. U.S. Army Research Laboratory, Human Research and Engineering Directorate, Aberdeen Proving Ground, MD 21 005–5425. www.arl.army.mil/main/ahaah/html_docs/impulsenoiseandthecatcochlea.htm. Ostatnia aktualizacja 26 lutego 2007
4. Ylikoski J., Pääkkönen J., Starck J.: The efficiency of earmuffs against impulsive noise from firearms. *Scand. Audiol.*, 1987; 16: 85–88
5. Ylikoski M.E., Ylikoski J.S.: Hearing loss and handicap of professional soldiers exposed to gunfire noise. *Scand. J. Work Environ. Health*, 1994; 20 (2): 93–100
6. Humes L.E., Joellenbeck L.M., Durch J.S.: Noise and military service. Implications for hearing loss and tinnitus. Committee on Noise-Induced Loss and Tinnitus Associated with Military Service from World War II to the Present. Institute of Medicine of the National Academies. The National Academies Press. Washington D.C. 2005
7. Pfander F.: Preliminary experience with the impulse noise simulator to identify individuals particularly sensitive to sound. *Scand. Audiol. Suppl.*, 1991; 34: 87–99
8. Konopka W.: Ocena i analiza hałasu impulsowego oraz badanie jego wpływu na narząd słuchu z wykorzystaniem emisji otoakustycznych. Rozprawa na stopień doktora habilitowanego nauk medycznych. Wojskowa Akademia Medyczna w Łodzi, Łódź 2001
9. Dancer A., Buck K., Parmentier G., Hamery P.: The specific problems of noise in military life. *Scand. Audiol. Suppl.*, 1998; 48: 123–130
10. Nakashima A., Buck K., Hamery P. i wsp.: Impulse Noise: measurement techniques and hearing projector performance. Defence Research and Development Canada – Toronto, Technical Memorandum 2006–231. October 2006
11. Price G.R.: Weapon noise exposure of the human ear analyzed with the AHAH model. U.S. Army Research Laboratory, Human Research and Engineering Directorate, Aberdeen Proving Ground, MD 21 005–5425. www.arl.army.mil/main/ahaah/html_docs/humanexposure_ahaah.htm. Ostatnia aktualizacja 26 lutego 2007
12. Criteria for recommended standard. Occupational Noise Exposure, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health 1998

[poz. 4]



SOUND LEVELS OF GUNFIRE NOISE DURING MILITARY EXERCISES AND THE EFFECTIVENESS OF HEARING PROTECTORS

Jan Zera^{1,2}; Rafał Młyński¹; Emil Kozłowski¹; Ireneusz Kantor³

Affiliation: ¹Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Czerniakowska 16, 00-701 Warsaw, Poland; ²Faculty of Electronics and Information Technology, Warsaw University of Technology, Nowowiejska 15/19, 00-665 Warsaw, Poland; ³Klinika Otolaryngologii, Wojskowy Instytut Medyczny, Szaserów 128, 04-404 Warsaw, Poland;
e-mail: jazer@ciop.pl; ramly@ciop.pl; emkoz@ciop.pl; ikantor@wim.mil.pl

Abstract

The purpose of the study was to assess the hearing hazard caused by impulse noise produced by gun firings during military exercises. Peak SPL and effective duration of impulses produced by cannon and rifle firings were measured from various distances in open space and under hearing protectors. Potential hearing hazard was assessed according to the limit values set by Directive 2003/10/EC, by Polish regulations, and according to hearing damage risk criteria for impulsive noise developed by CHABA as well as those proposed by Pfander and Smoorenburg. Results show that over 80% of firings recorded in open space were hazardous to hearing as the sound levels reached nearly 180 dB for firings of large caliber cannon. The data also show that only hearing protectors with a high single number rating (SNR) value provide sufficient attenuation of impulsive noise in conditions encountered during military exercises, allowing for a larger number of exposures to firings per day.

Keywords: impulse noise, hearing protectors, hearing damage.

1 Introduction

In this study, the performance of various models of earmuffs and one earplug in impulsive noise occurring during firings of different weapons was studied. The criteria by CHABA [1], Pfander [2] and Smoorenburg [3] were used to assess the risk of hearing damage outside and under the hearing protectors. These criteria were also compared with the requirements of the Directive 2003/10/CE [4] and of Polish regulations [5,6] and standard [7] for industrial workplaces as well as with other criteria applicable to military exercises [8,9]. The measurements were carried out at two military sites. At site one, the firings of 57-mm and 23-

mm caliber cannons were studied. The measurements were made at distances from 15 to 100 m from the firing cannons. A total of 11 earmuffs made by major manufacturers were tested at this site. At site two, impulses resulting from firings of four weapons were measured. Attenuation of three earmuffs and one earplug was examined.

2 Measurement setup

Acoustic impulses produced during firings were captured by a Brüel&Kjaer 4941 microphone (linear range up to 184 dB SPL). Hearing protectors were mounted on an artificial test fixture (ATF) built according to the ISO 4869-3 standard [10]. The ATF was equipped with a Brüel&Kjaer 4192 pressure microphone. Signals from both microphones were passed through a Brüel&Kjaer 2669 preamplifier and recorded by a Brüel&Kjaer PULSE measurement system, controlled from a remote computer through a 70-m Ethernet cable. Hearing protector attenuation was determined by a transmission loss method.

The Pulse system with a programming module 'Time Capture' was used to record the time waveforms of impulses simultaneously outside and under the hearing protectors, with a sampling rate of 262144 Hz. Further analysis was conducted in Matlab programming environment with procedures written in the laboratory.

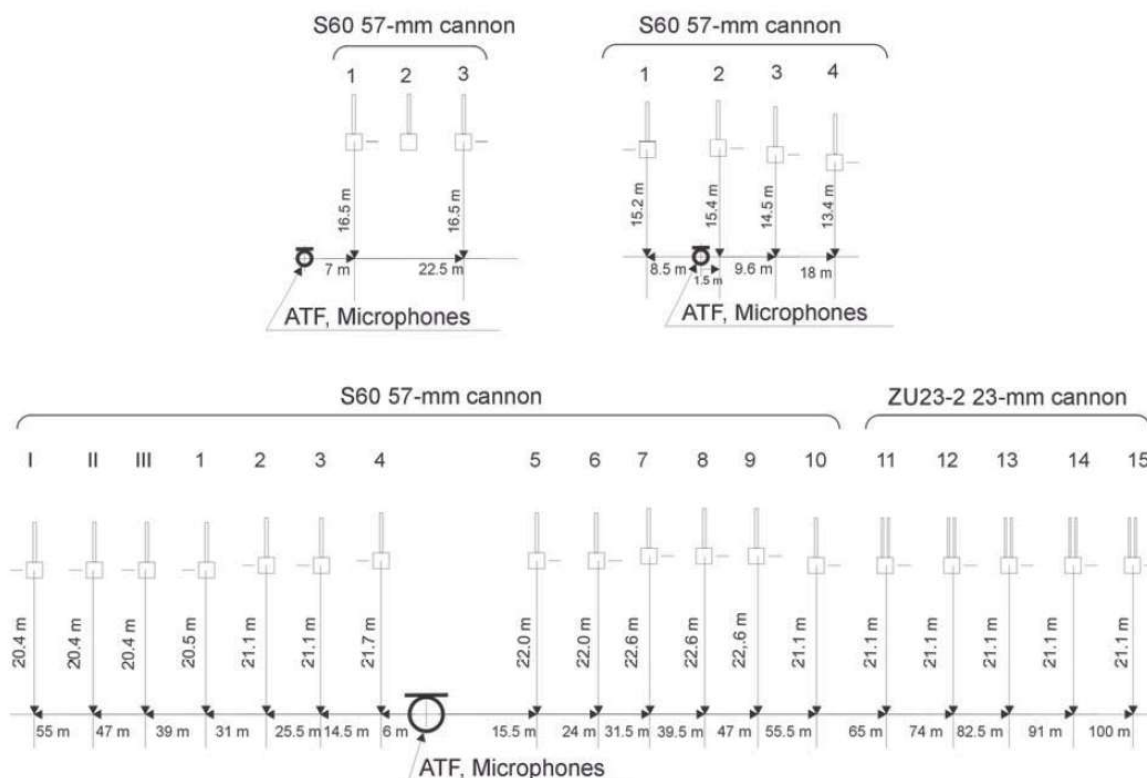


Figure 1 – Position of measurement microphone and the ATF among the firing cannons in three measurement sessions at site one.

3 Measurement sites

Measurements were conducted at two sites on training grounds used by the army. In site one, there were two types of anti-aircraft cannons used during the firings: a S60 57-mm cannon, and a ZU23-2 23-mm cannon. Position of the measurement microphone and the ATF in the firing line during three measurement sessions is shown in Figure 1.

As seen in Figure 1, the distance of the measurement setup from the cannons ranged from about 15 m to about 40 m for 57-mm cannons, and from 40 to 100 m for 23-mm cannons. The cannons were fired according to a schedule fitted to the specific soldier training. Thus, a single recording included impulses resulting from firings performed at different distance from the measurement setup. For this reason, the data analysis shown in Figures 3 and 5 is related to ranges of distances.

In location two, impulses were generated by four kinds of weapons: a 5.56-mm rifle, a 40-mm cannon, a 122-mm howitzer, and a bazooka type weapon. The firings were recorded during military exercises, at distances from 2 to 5 m for 5.56 rifle, at 3-4 m from howitzer and 40-mm cannon, and at about 2 m from bazooka. The results of this part of measurements is shown in Figures 4 and 6.

4 Hearing damage risk and performance of earmuffs in impulsive noise

4.1 Assessment by criteria used for military exercises

Classical criteria used in the army to assess the hearing damage risk imposed by impulse noise are those developed by CHABA [1], Pfander [2], and Smoorenburg [3]. These criteria link the peak SPL and the impulse duration determined according to arbitrarily predefined characteristics of the impulse's time waveform, shown in Figure 2.

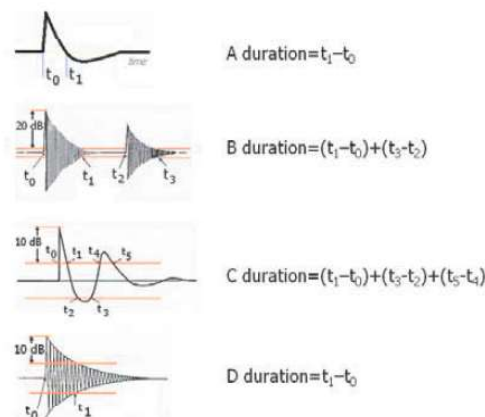


Figure 2 – Definitions of A and B duration (CHABA [1]), C duration (Pfander [2]), and D duration (Smoorenburg [3]) used in the impulsive noise damage risk criteria (after ISO 10843:1997 [11]).

All listed criteria set a limit for the peak SPL for impulse duration cumulated over a single day of exposure to impulses. The CHABA criterion requires a decrease in peak SPL by 6.7 dB for each tenfold increase in A or B duration. Accordingly, Pfander and Smoorenburg criteria

require a decrease in peak SPL by 10 dB for each tenfold increase in the cumulated C duration. These relations are reflected by the slope of the criteria lines given in Figures 3 and 4.

Left column in Figure 3 presents peak SPL plotted against the B, C, or D duration of impulses recorded in the open space (outside the earmuffs) in site one. Each point represents a single cannon firing. Data for impulses recorded outside the earmuffs at different distances from the cannons are shown by different colors in Figures 3 and 5.

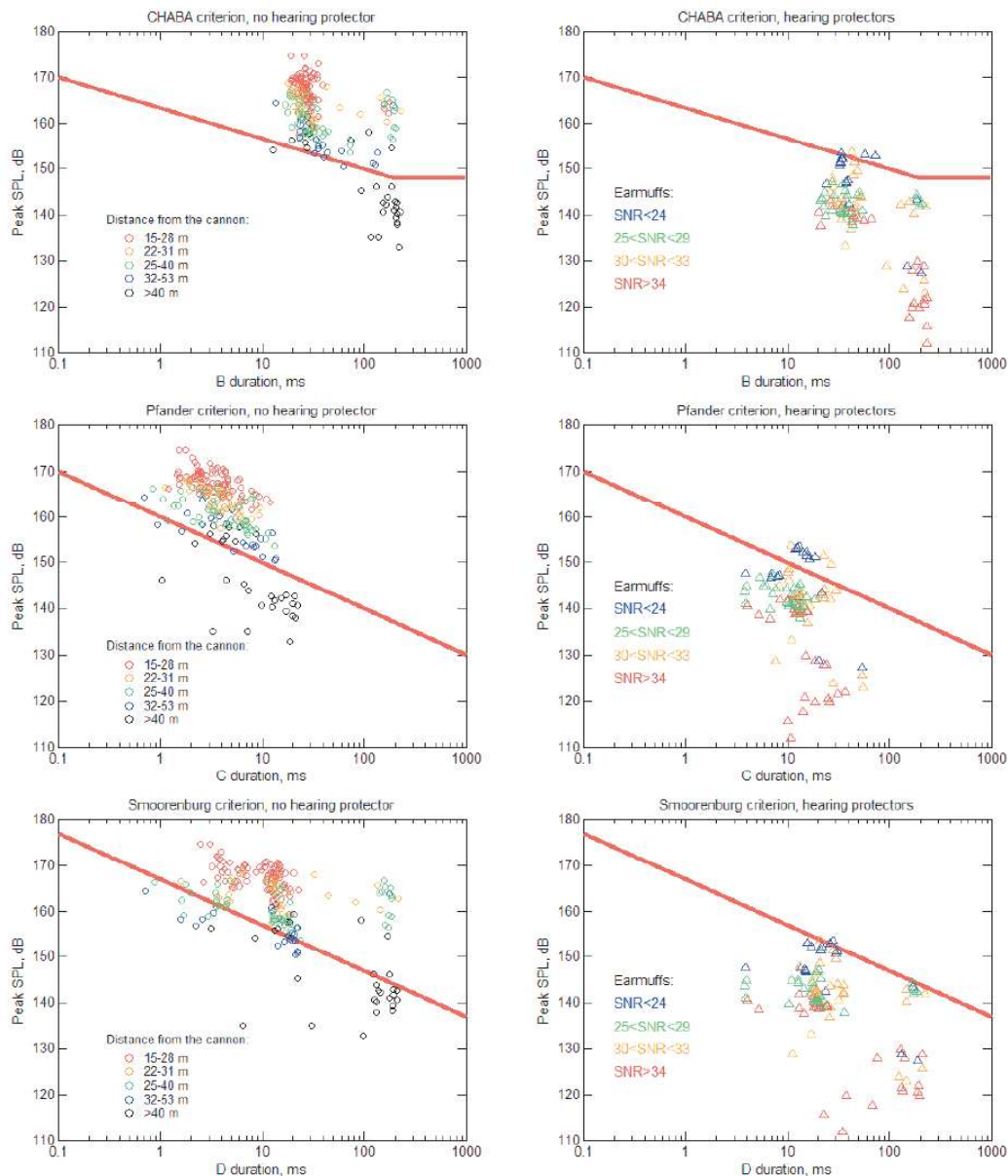


Figure 3 – Peak SPL and B, C, and D durations of acoustic impulses resulting from cannon firings at various distances, and with the use of different earmuffs. Each point represents a single firing. Left column: impulses recorded at distances from 15 to over 40 m from the cannon, outside the hearing protector (232 firings). Right column: impulses recorded under earmuffs varying in the SNR value from 21 to 35 dB (107 firings).

The data for condition with no hearing protector (Figure 3) reveal that over 90% of single impulses are above the CHABA criterion, whereas over 89% and 83% impulses may be dangerous according to Pfander and Smoorenburg criteria, respectively. If we assume 20 exposures per day, these values increase to over 95% for CHABA criterion, and more than 98% for Pfander and Smoorenburg criteria.

Right column in Figure 3 presents peak SPL plotted against the B, C, or D duration of impulses recorded under the tested earmuffs in site one. It is important to note, that both peak SPLs and B, C, and D durations shown in the right column in Figure 3 were calculated directly from the time waveforms under the earmuffs. This is why the points representing recordings under the earmuffs are shifted to the right along the abscissa as compared to the points representing recordings outside the earmuff (in the left column of Figure 3).

Eleven different earmuffs were tested under cannon firings conditions. The earmuff brands and types were as follows: Sonico 85 by Unico Graber; SE 1350 by Pan Tajwan Enterprise; models 1430, 1435, and 1440 by 3M; models Optime I, II, and III, by Peltor; and models Lightning L1, L2, and L3 manufactured by Bilsom. The earmuffs were selected in such a way as to cover a wide range of SNR values, from 21 to 35 dB. Therefore, in the graphs shown in the right column of Figure 3, different colors denote four categories of SNR values, ranging from less than 24 dB, to over 34 dB (subdivision is arbitrary) but not the individual earmuffs.

Data shown in the panels of the right column indicate that almost all earmuffs (except those with the lowest SNR values denoted by blue symbols) provide sufficient protection when there is only one cannon firing, at a distance larger than 15 m. Under condition of multiple, that is 10 or 100 firings during the day, CHABA criterion (upper panel) has to be shifted downwards by 5 and 10 dB, respectively. The C and D durations (middle and lower panel) have to be multiplied by the number of firings, which corresponds to shifting all points by one or two decades towards longer impulse durations. In such cases, most of the points shown in Figure 3 for impulses recorded under the earmuff would be located above the damage risk criteria. This imposes that it is desirable to use best attenuating earmuffs corresponding to red symbols in Figure 3. Only earmuffs with best attenuation offer sufficient protection in conditions when there are as many as 100 exposures to impulsive noise during a day. In the case of 20 firings, only earmuffs of with SNR of 25 dB and above guarantee effective protection in 85% of firings.

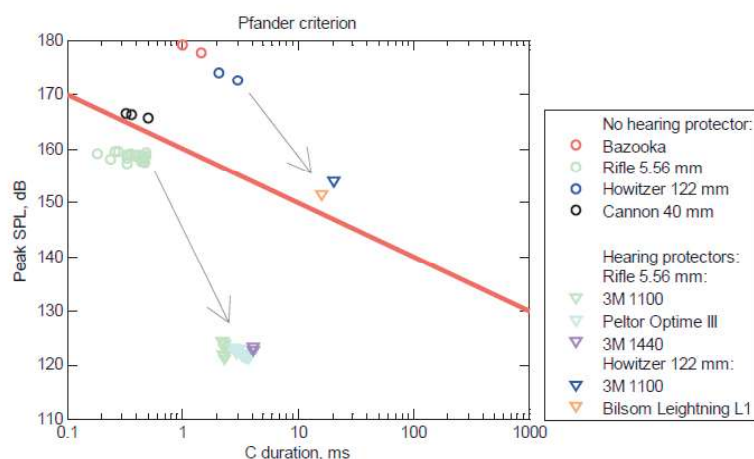


Figure 4 – Peak SPL and C duration of impulses resulting from firings at site two. Each circle represents a single firing from the weapon denoted in the figure legend. Symbol of triangle represents measurements under 3M 1440, Peltor Optime III, and Bilsom Lightning earmuffs and a 3M 1100 earplug. Arrows denote shift of data after the hearing protectors are used.

Results of measurements made in site two are shown in Figure 4, in which peak SPL is plotted against the C duration of impulses. Impulses recorded in the open space (outside the earmuffs) are shown with circles. The highest peak levels, reaching 180 dB were observed for the two bazooka firings (red circles, 177.8 and 179.1 dB), and next for howitzer firings (blue circles, 172.7 and 171.7 dB). The peak levels of 40-mm cannon were about 165 dB, and for the 5.56-mm rifles were close to 160 dB. The C duration of 5.56-mm rifle shots and the 40-mm cannon firings ranged from about 0.3 to 0.5 ms. The largest C duration, of 1-4 ms, was measured for bazooka and howitzer firings.

Peak SPL plotted against the C duration of impulses recorded under the three tested earmuffs and the 3M1100 earplug are shown with triangles in Figure 4. Peak SPLs and C durations were calculated from the time waveforms under the earmuffs and the earplug which occurred in response to either the rifle shots or howitzer firings, which is depicted by arrows in Figure 4. The peak C level attenuation of three hearing protectors tested with 5.56-mm rifle shots was about 35 dB. For larger C-duration howitzer firings, the peak SPL was attenuated only by about 20 dB.

For impulses recorded under hearing protectors, the C duration is large as compared to impulses recorded outside the hearing protectors. For 5.56-mm rifle shots the C duration values were in the range from 2 to 5 ms. For howitzer firings the C duration of impulses recorded under 3M1100 earplug and Bilsom Lightning 1 earmuff are larger than 10 ms. For howitzer firings, hearing protectors do not provide sufficient protection as the corresponding points in Figure 4 lay above the criterion line. It is worth to note, that such result is an effect of enlarged C duration under hearing protector. If we considered only 20 dB peak level attenuation and disregarded the change in C duration as it was suggested by Pfander [2], the shift down by 20 dB would move the points below the criterion line and incorrectly recommend the use of tested hearing protectors as providing sufficient protection to hearing.

4.2 Assessment by criteria used for civilian workplaces

The C-weighted peak SPLs of impulses recorded outside the earmuffs and under the earmuffs in site one are shown in Figure 5. For unprotected ear (left panel in Figure 5), peak SPL for a 57-mm cannon reaches 160-170 dBC at a distance of 15-28 m, and decreases to 148-158 dBC at a distance of 32-53 m. These levels exceed by 13-35 dB the limit value of 135 dBC (set by Polish regulations [5,6] and standard [7]) or 140 dBC (set by Directive 2003/10/EC [4]). Peak SPL for a 23-mm cannon is within the range of 132-145 dBC at a distance of 40-100 m from the cannon (Figure 5, triangles in green, left panel), exceeding the limit by about 10 dB.

The data shown in the right panel of Figure 5 indicate that only under the best attenuating ear-muffs (SNR > 34 dB), the C-weighted peak SPL is decreased to levels that are close to the limits accepted for workplace by the Directive 2003/10/EC and by Polish regulations. Lighter earmuffs do not provide sufficient protection except for lower peak levels at longer distance from the cannon.

The data shown in Figure 6 refer to measurements performed in site two and correspond to results presented earlier in Figure 4. The C weighting introduces only a small change in determined peak levels, and larger for short than for long C-duration impulses. The difference between the peak levels and C-weighted peak levels is about 3-4 dB for bazooka and howitzer firings, and it is 5-6 dB for 5.56-mm rifle and 40-mm cannon firings. The C-weighted peak levels are about the same as the peak levels for impulses recorded under hearing protectors. This results in difference in measured hearing protector attenuation. For C-weighted levels, the attenuation calculated for 5.56-mm rifle shots as the difference between peak levels measured outside and under the hearing protector is smaller by about 5 dB than calculated for unweighted levels. For howitzer firings this difference is about 2 dB.

INTERNOISE 2010 | JUNE 13-16 | LISBON | PORTUGAL

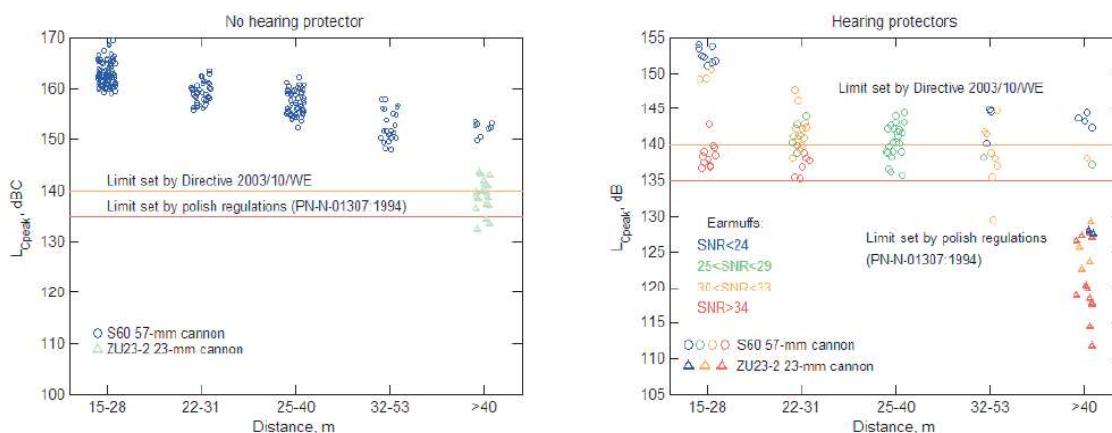


Figure 5 – Peak C-weighted SPL recorded outside the earmuff at various distances from firing cannon (left graph, 232 firings), and under the earmuffs, SNR values ranging from 21 to 35 dB (right graph, 107 firings).

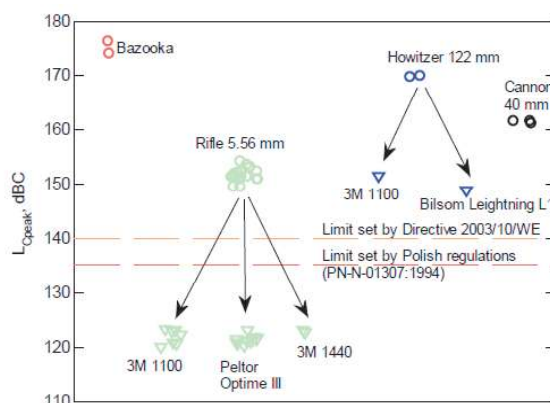


Figure 6 – Peak C-weighted SPL recorded at measurement site two. Circles represent levels measured in open space. Triangles represent levels recorded under 3M 1440 and Bilsom Leightning earmuffs and a 3M 1100 earplug.

It is worth to note, that differences between in calculated C-weighted and unweighted attenuation values do not mean any improvement in decrease in protection provided by the hearing protectors, as this difference is only due to the change in values measured for impulses outside the hearing protectors. It can be also noted in Figure 6, that only for 5.56-mm rifle shots, the hearing protectors under test provided decrease in level sufficient to satisfy the criteria set by the Directive 2003/10/CE [4] and Polish regulations for workplaces [5,6,7].

5 A comparison to other criteria

Interestingly, certain other impulsive noise damage risk criteria lead to somewhat contradictory result. Dancer's L_{Aeq} criterion [8] was not presented in details in this study as it applies to impulses of peak SPL below 140 dB. Thus it can be applied here only to impulses recorded under the earmuffs. This criterion when applied to the impulses recorded under the earmuffs indicates that the highest L_{Aeq} value does not exceed 70 dB even for the weakest earmuffs tested and for the closest distance of 15 m from the firing site. Therefore, according to this criterion, with any of earmuffs tested there is allowable five firings producing impulses of the highest recorded peak SPL during the day.

It has to be also noted that recent work by the HFM-022 RTO-NATO [9] group suggest using a criterion based upon the SELA value, and according to this criterion impulses observed in our study are not as much dangerous for hearing as it is shown by classical criteria of CHABA [1], Pfander [2], and Smoorenburg [3].

6 Summary

Results obtained in site one show that according to the three impulse noise hearing damage risk criteria used in Figure 3 of the eleven earmuffs tested only those of high SNR value (possibly greater than 25 dB) are suitable to protect hearing at distances 15 m and larger from the firing cannon. It is important to note that the same firing conditions when assessed by the criteria used for the industrial workplaces indicate much higher risk of hearing damage which is shown by data collected in Figure 5. Peak C-weighted SPLs observed under the tested earmuffs exceed the limit values in the case of most recorded impulses. The L_{Aeq} criterion by Dancer and SEL based criteria indicate that exposure to impulsive noise recorded from cannon firings is less hazardous. Results obtained in site two shown in Figures 4 and 6 confirm earlier studies that the decrease in peak SPL attenuation by hearing protectors is related to enlarged duration of outside impulses.

Acknowledgments

This work was supported by the Polish Ministry of Labour and Social Policy, grants No. 3.S.02 and 3.S.03, and by the Polish Ministry of Science and Higher Education, grant No. 3.R.01.

References

- [1] Ward, W. D. Proposed damage-risk criterion for impulse noise (gunfire), Report of Working Group 57, National Academy of Science – National Research Council, Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics (CHABA), 1968.
- [2] Pfander, F. *Das Knalltrauma*, Springer-Verlag, Berlin. 1995.
- [3] Smoorenburg, G. F. Damage risk criteria for impulse noise, In: *New perspectives on noise*, Eds.: Hamernik, R. P.; Henderson, D.; Salvi, R. Raven Press, New York, 1982, pp. 471-490.
- [4] Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise).

- [5] Ministry of Labour and Social Policy Order of November 29 2002; DzU nr 217, item 1833 (Change in DzU 2005, nr 212, item 1769 and DzU 2007, nr 161, item 1142, in Polish).
- [6] Ministry of Economy and Labour Order of 5 August 2005; Dz. U. Nr 157, item 1318 (in Polish).
- [7] PN-N-01307:1994. Hałas -- Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy -- Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów (in Polish).
- [8] Dancer, A.; Franke, R. Hearing hazard from impulse noise: a comparative study of two classical criteria for weapon noises (Pfander criterion and Smoorenburg criterion) and the LAeq8 method, *Acustica - Acta Acustica*, Vol 3, 1995, pp. 539-547.
- [9] RTO Technical Report TR-017, Reconsideration of the Effects of impulse noise, 2003.
- [10] ISO 4869-3:2007, Acoustics – Hearing protectors – Part 3: Measurement of insertion loss of ear-muff type protectors using an acoustic test fixture.
- [11] ISO 10843:1997 Acoustics – Methods for the description and physical measurement of single impulses or series of impulses.

[poz. 5]

First European Forum on Efficient Solutions for Managing Occupational Noise Risks - 3-5 July 2007 NOISEATWORK2007

ATTENUATION OF HEARING PROTECTORS ASSESSED BY AUDITORY BRAINSTEM RESPONSE

Jan ZERA^{1,2}, Krzysztof KOCHANIEK³, Adam PILKA³, Rafał MLYNSKI¹,¹*Central Institute for Labour Protection – National Research Institute,
Czerniakowska 16, 00-701 Warsaw, POLAND*²*Faculty of Electronics and Information Technology, Warsaw University of
Technology, Nowowiejska 15/19, 00-665 Warsaw, POLAND*³*The Institute of Physiology and Pathology of Hearing, Pstrowskiego 1,
01-943 Warsaw, POLAND*

SUMMARY

In this study, auditory brainstem responses (ABR) were used to assess the attenuation of hearing protective devices. The change in the ABR was used as a measure of the decrease in the physiological load imposed on the hearing system by external noise after a hearing protector was donned. Attenuation was determined either as the difference in click levels, or the difference in masker levels, which corresponded to the same wave V latency values. The hearing protector attenuation assessed by the ABR was compared with the standardized SNR attenuation parameter.

INTRODUCTION

Hearing protection devices (HPDs) represent a broad variety of designs of earmuffs and earplugs used for personal protection against noise. Attenuation provided by HPDs is commonly assessed on human subjects, with the use of the real ear at threshold (REAT) method standardized by either international (ISO 4869 [1]), European (EN 24869 [2]), or national e.g. American (ANSI S12.6 [3]) standards. The REAT method is a commonly accepted basic method used to label HPDs present on the market. Its advantage is that it accounts all signal paths of sound reaching the cochlea such as bone conduction path bypassing the HPD. One of criticisms of the REAT method is that measurements at the threshold of hearing are actually taken at levels which are significantly lower than the levels present during normal use of the HPD. Nevertheless, as it is not easy to prove existence of a non-linear HPD's response up to levels of about 140 dB the attenuation of the HPD measured with the REAT method is considered valid for a broad range of noise levels.

In certain cases, however, the REAT based attenuation measure is a poor descriptor of attenuation provided by a hearing protector. Example of such situation is the impulsive noise. It is known that attenuation of high-level impulsive noise occurring after explosion by a hearing protector depends on the impulse's duration. The HPD's attenuation decreases from about 30 dB down to about 5-7 dB for an impulse duration (measured as A duration) increasing from 0.3 to 1 or 3 ms [4]. This means that the same hearing protector attenuates the impulses generated by various sources such as a pistol, rifle, or mortar to a different and decreasing extent.

This variety of noise conditions suggests that measures based on the physiological load on the auditory system can be appropriate for an assessment of hearing protectors. Physiological measures, such as the temporary threshold shift, were used to determine noise induced damage risk contours [5] or impulse noise damage risk criteria [6]. More recently, there is a number of studies that

employ the auditory brain stem responses (ABR) or otoemission to assess physiological load by various kinds of sounds under variety of conditions [7].

AIMS

In this study, auditory brain stem responses (ABR) were used to measure the release of physiological load imposed by noise on the hearing system after a hearing protectors are used; to assess the possibility of application of the ABR method to measurement of hearing protector attenuation for impulse and continuous noise.

Change in the auditory brainstem responses (ABR) was employed to assess the effective HPD's attenuation of noise. Latency wave V of the ABR was measured for clicks or masking noise of various levels for conditions with and without the hearing protector. The difference in signal level producing identical wave V latency was used to determine the attenuation of the HPD. The HPD's attenuation assessed in such a way was compared with the results obtained by the standardized REAT method.

This study should be considered as an one more attempt to determine the feasibility of the ABRs in the assessment of hearing protector. Experimental work in this field is limited only few studies [8, 9].

MEASUREMENT METHODS

Two testing procedures, named ABR1 and ABR2, were used to evaluate the hearing protector attenuation. In the ABR1 procedure, protector attenuation was determined using pulse signals (clicks). In the ABR2, procedure continuous wide-band noise was used. In both procedures attenuation of hearing protectors was evaluated by either the difference of click levels (procedure 1), or the difference in masker levels (procedure 2), which corresponded to the same wave V latency values. In procedure ABR1, protector attenuation was also determined by measuring the difference of wave V thresholds in responses registered with and without hearing protectors.

In both methods, the stimuli were presented with alternative polarization at repetition rate of 31/s. The amplifier bandwidth was 200–2000 Hz. The tests were carried out with the use of the Nicolet SPIRIT electrophysiological system. The click stimulus and the noise were presented by means of a wide-band loudspeaker placed at 1 m distance on the axis of the examined ear. In the ABR2 procedure tone-pip was delivered by ER-3A earphones. The examined group consisted of 13 persons, 9 women and 4 men. Average age was 27.3 ± 5.4 years.

RESULTS

Results of procedure ABR 1 are shown in Fig. 1. The upper part of the figure shows the ABR recordings for conditions without the hearing protector and with the hearing protector worn. The mark "V" shows the position of wave V on the consecutive recordings made for various click train levels. The lower part of the graph shows the latency – intensity function calculated based on the ABR recordings. The intensity – latency function clearly shows the shift that may be used to assess the level difference providing comparable fifth-wave latency in the ABR recording. This latency function shows decrease in latency for increasing level of the click train stimulus.

In Fig. 2, results of procedure ABR 2 are shown. As in Fig.1, the upper part of the figure shows the ABR recordings for conditions without and with the hearing protector. The lower part of the graph shows the latency – intensity function calculated at six noise level values for each condition. The intensity – latency function of ABR in response to tone-pip stimulus shows growth of the latency at increasing masking noise levels.

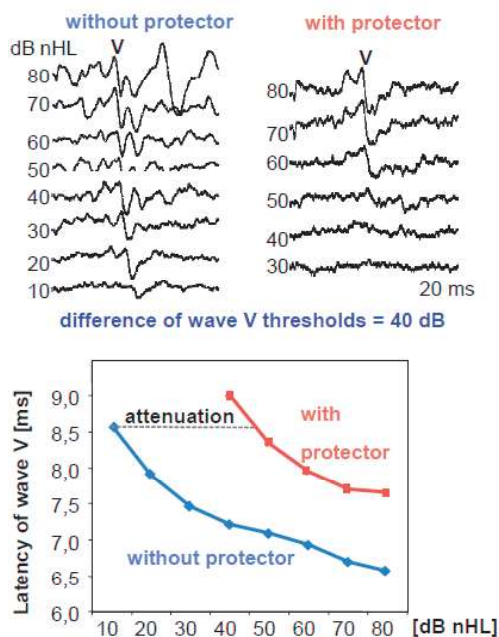


Fig. 1. Example of ABR recordings and mean value of latency of wave V for click trains obtained with and without hearing protectors

The overall result of the measurements by the two procedures showed that the mean earmuff's attenuation determined in procedure ABR1, in which click trains of different levels were used, was about 42 dB. In the same ABR1 procedure, results obtained based upon measuring the wave V thresholds yielded the average sound attenuation of 32 ± 3 dB, the value about 10 dB lower. Mean earmuff's effective attenuation determined from difference in wave V latency in the ABR2 procedure, in which tone-pip signal was masked and this masking was decreased by the use of the hearing protector was 26 ± 5 dB. Earmuff's SNR parameter value was 28 dB. It is worth noted, that both ABR procedures estimated attenuation, which was in a nonlinear relation to the level of click stimulus or noise masker level. The estimated attenuation decreased with the decrease of stimulus or masker intensity.

DISCUSSION

The purpose of this work was to verify the possibility of using the ABR to determine hearing protector attenuation. It was found that protector attenuation determined by means of procedure ABR1 and wave V threshold, as well as attenuation estimated by the ABR2 procedure was in good agreement with the hearing protector attenuation described by the SNR parameter derived from the REAT threshold measurements, used to label the earmuff. Attenuation determined by means of procedure ABR1 and wave V latency differences, was 15 dB greater than that measured in procedure ABR2 or by wave V threshold.

The large overestimated value of attenuation determined in click-train procedure ABR1 is most likely a result of large difference in click time waveforms (Fig.3) and, in a consequence, spectra observed under and outside the hearing protector. Signal waveform under the protector is low-pass filtered. The latency of wave V strongly depends not only on the stimulus intensity but also on the onset time. Therefore, the increase of wave V latency observed for condition of hearing protector worn may be a combined effect of change in stimulus level and the rise time.

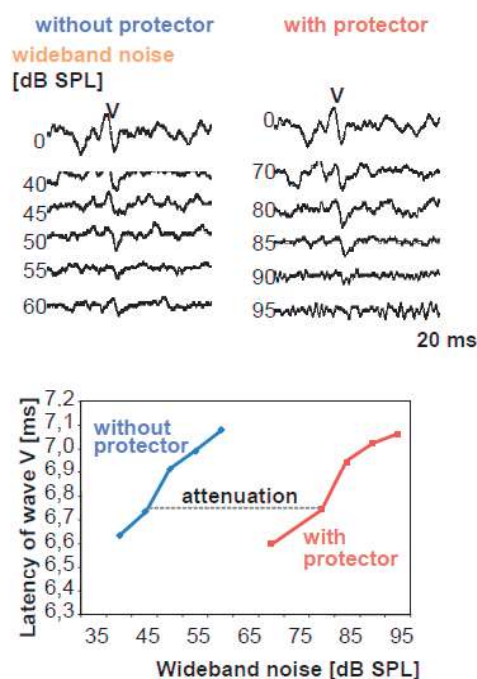


Fig. 2. Example of ABR recordings and mean value of latency of wave V for tone pip obtained with and without hearing protectors

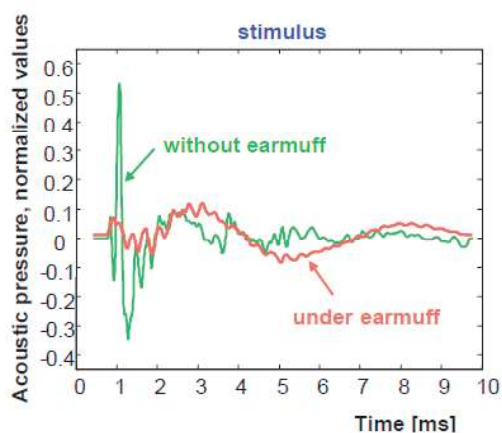


Fig. 3. Time waveforms and acoustic spectrum of the click without and under earmuff.

CONCLUSIONS

Hearing protector attenuation as determined by the auditory brain stem responses specifically depends on the type of the procedure used. Estimated attenuation was significantly greater in procedure ABR1, than in procedure ABR1 when threshold of the wave V was considered or in

procedure ABR2. Attenuation values determined in procedure ABR2 or using wave V threshold criterion were close to the attenuation measured by the REAT method.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Polish Ministry of Science and Higher Education, grant T07B00428.

BIBLIOGRAPHY

- [1] **ISO 4869-1** – Acoustics – *Hearing protectors - Part 1: Subjective method for the measurement of sound attenuation*, **1990**
- [2] **EN 24869-1** – Acoustics – *Hearing protectors. Subjective method for the measurement of sound attenuation*, **1992**
- [3] **ANSI S12.6** – *Methods for Measurement the Real -Ear Attenuation of Hearing Protectors*, **1997**
- [4] **M. Ylikoski, J. Pekkarinen, J. Starck, R. Pääkkönen, J. Ylikoski** – *A Physical characteristics of gunfire impulse noise and attenuation by hearing protectors*. Scand. Audiol. 24, 3-11, **1995**
- [5] **K. D. Kryter, W.D. Ward, J.D. Miller, D. H. Eldredge** – *Hazardous exposure to intermittent and steady-state noise*. J. Acoust. Soc. Am. 39, 451-464, **1966**
- [6] **F. Pfander, H. Bongartz, H. Brinkmann, H. Kietz** – *Danger from auditory impairment from impulse noise: a comparative study of the CHABA damage-risk criteria and those of the Federal Republic of Germany*. J. Acoust. Soc. Am. 67, 628-633, **1980**
- [7] **D. Knaus, A. Dietz, F. Musiek** – *An Objective Method for Measuring the Attenuation of Hearing Protection Devices Using Otoacoustic Emissions*. J. Acoust. Soc. Am. 116(4), Pt. 2, p. 2596, **2004**
- [8] **G. L. Wilde, L. E. Humes** – *Measurement of the Attenuation Characteristics of Nonlinear Hearing Protective Devices Using the Auditory Brain Stem Response*. J. Acoust. Soc. Am. 81, 730-733, **1987**
- [9] **D. R. Moore, M. E. Hutchings, A. J. King, N. E. Kowalchuk** – *Auditory Brain Stem of the Ferret: Some Effects of Rearing with a Unilateral Ear Plug on the Cochlea, Cochlear Nucleus, and Projections to the Inferior Colliculus*. J. Neuroscience 9(4), 1213-1222, **1989**

[poz. 6]

**19th INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS
MADRID, 2-7 SEPTEMBER 2007****APPLICATION OF AUDITORY BRAINSTEM RESPONSE FOR PREDICTING
HEARING PROTECTOR ATTENUATION**

PACS: 43.66.Vt

Zera, Jan^{1,2}; Kochanek, Krzysztof³; Pilka, Adam³; Młyński, Rafał¹¹Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Czerniakowska 16, 00-701 Warsaw, POLAND; jazer@ciop.pl; rmlynski@ciop.pl²Faculty of Electronics and Information Technology, Warsaw University of Technology, Nowowiejska 15/19, 00-665 Warsaw, Poland;³The Institute of Physiology and Pathology of Hearing, Pstrowskiego 1, 01-943 Warsaw, Poland; k.kochanek@ifps.org.pl; a.pilka@ichs.pl**ABSTRACT**

The aim of this study was to test whether it was possible to determine hearing protector attenuation by means of auditory brainstem responses (ABR). Auditory brainstem responses (ABR) were measured in conditions of noise exposure with an unoccluded ear and with the use of hearing protective devices (HPDs). Two ABR testing stimuli were used. One employed pulse signals (clicks) and the other 4000-Hz tone pips masked by wide-band continuous noise. The HPD attenuation was predicted from the difference in click levels or masker levels that corresponded to the same wave V latency, and based upon the level that produced just noticeable wave V in the ABR recording. The HPD's attenuation predicted from ABR was generally higher than the HPDs' SNR values.

INTRODUCTION

Sound attenuation of hearing protective devices (HPDs) is commonly assessed on human subjects, with the use of audiometric measurements. This method, called the real ear at threshold (REAT) method, has been adopted as international (ISO 4869 [1]), European (EN 24869 [2]), or national (e.g. American ANSI S12.6 [3]) standards. The REAT method is used to label HPDs present on the market.

The variety of noise conditions encountered in real-life conditions suggests that effects of the physiological load on the auditory system can be appropriate for the assessment of noise as well as of hearing protectors. Many physiological measures, such as the temporary threshold shift, have already been used to determine noise induced damage risk contours [4] or impulse noise damage risk criteria [5]. Recently, certain studies have employed the auditory brainstem responses (ABR) or otoacoustic emission to assess the physiological load by various kinds of sounds under a variety of conditions [6, 7, 8].

AIMS

The purpose was to evaluate the HPD's attenuation by means of the observed changes in the ABR recordings. Latency wave V of the ABR was measured for clicks or masking noise at various levels in conditions with the HPD donned and doffed. The difference in signal level producing identical wave V latencies in the ABR recordings was used to determine the equivalent attenuation of the HPD.

MEASUREMENT METHODS

Three methods were used to evaluate the effect of a hearing protector on the ABR wave V latency and to determine the hearing protector attenuation. In the click-train averaging procedure and the click-train threshold procedure, pulse signals (click trains) of SPLs covering a range of 20 -100 dB nHL in 10-dB steps were used. In the masking procedure, a series of 4000-Hz tone pips (Gaussian envelope) was masked by a broadband noise. The change in the wave V latency in the ABR was measured either for various click-train levels or masking noise levels

both for the HPD donned and doffed. In addition to the ABR measurements, the HPD attenuation was also determined by an audiometric measurement (calculated as a difference in thresholds) similarly to the REAT method, but using the ABR click train as a test signal.

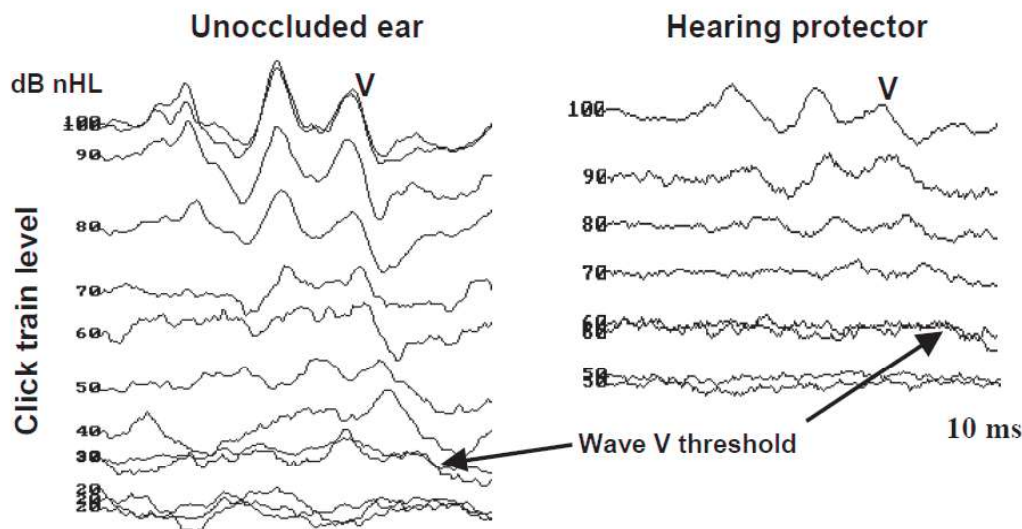


Fig. 1.-Example of the ABR recordings for click-train stimuli. The "V" symbol denotes the position of the wave V; arrows point to levels, at which the wave V is just noticeable (thresholds)

Click-train averaging procedure

The ABR recordings made in two click-train procedures in conditions with an unoccluded ear, and an ear protected by a HPD, are shown in the left and right panels of Fig. 1, respectively. For decreasing signal level, the increasing of wave V latency is seen in both series of recordings shown in Fig. 1. In the click-train averaging procedure, the delay versus level functions were determined such as shown in Fig. 3. The HPD attenuation was estimated as an average difference in levels producing similar wave V latency for unoccluded ear and with HPD donned, calculated across all click-train levels in 10-dB steps.

Click-train threshold procedure

In the click-train threshold procedure, the same ABR recordings were applied as in the click-train averaging procedure except that a different criterion was used. In Fig.1, thresholds of occurrence of wave V are shown by arrows at levels of about 30 dB for unoccluded ear, and of about 60 dB for ear covered by a HPD. Note that these just noticeable wave V occurs at an approximately similar latency in both cases. The difference between these threshold levels was used as estimate of the hearing protector attenuation.

Masking procedure

In the masking procedure, in which the ABR response was evoked by a tone pip masked by a broadband noise, the wave V latency increased with the masker level. (Fig. 2). The hearing protector attenuation was estimated as an average difference in masker levels producing similar wave V latency for unoccluded and occluded ear, calculated across all masker levels.

Apparatus and subjects

In both methods, the stimuli were presented with alternating polarization at repetition rate of 31/s. The amplifier bandwidth was 200–2000 Hz. The tests were carried out with the use of a Nicolet SPIRIT electrophysiological system. The click stimulus and noise were presented by means of a wideband loudspeaker placed at 1-m distance on the axis of the examined ear. In the masking procedure the tone pip was delivered by ER-3A earphones. The examined group consisted of 13 persons, 9 women and 4 men. Average age was 27.3 years with a standard deviation of 5.4 dB.

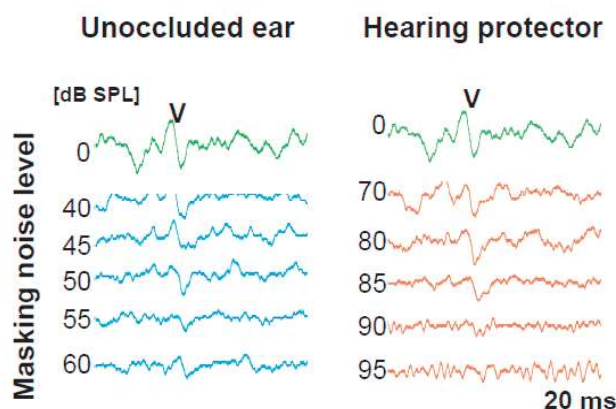


Fig. 2.-Example of ABR recordings for a 4000-Hz tone pip masked by broadband noise. The "V" symbol denotes position of the wave V

HEARING PROTECTORS TESTED

Three earmuffs were tested: the Sonico 85, Bilsom Lightning L1, and Peltor Optime III. These earmuffs were selected from a large set of earmuffs as characterised by low, medium and high attenuation values both for continuous and impulsive noise [9]. The earmuffs respective SNR and H parameters are given in the Figure 5 legend.

RESULTS

Click-train averaging and click-train threshold procedures

Results of the click-train averaging procedure are shown in Fig. 3. The stimulus nHL level is shown in the abscissa and the wave V latency on the ordinate of Fig.3. Decrease in latency from about 10 to 7 ms is seen for an unoccluded ear for click level increased from 10 to 80 dB nHL. When HPDs are used, the largest wave V latency of 10-11ms is seen at stimulus level of about 40 dB nHL, which clearly shows the protective effect of wearing of the earmuff. Moreover, wave V latency decreases only to about 8.2 ms for earmuffs, which is most likely related to the HPDs' low-pass frequency response resulting in an increased click stimuli rise time. If the decrease of the wave V latency is a measure of physiological load imposed on the hearing system a smaller change in the latency than observed for an unoccluded ear can be considered as an additional protective effect of the hearing protector.

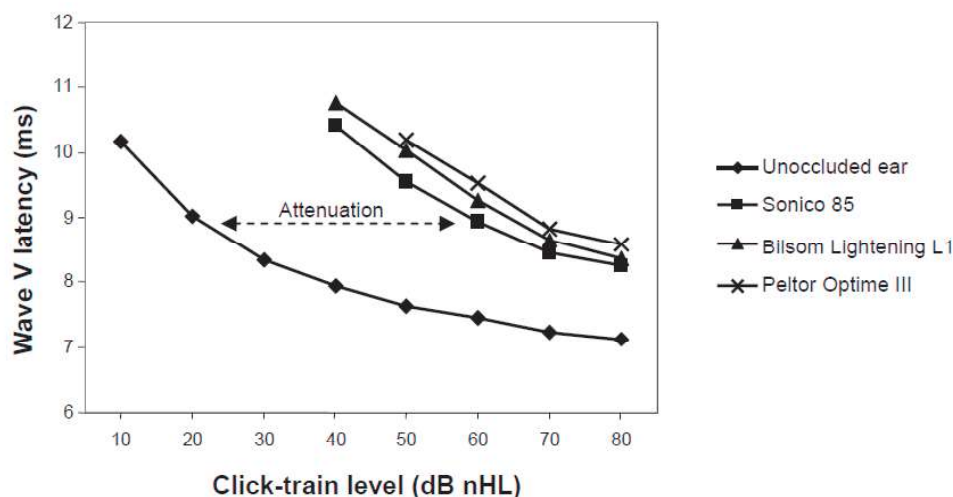


Fig. 3.-Wave V latency evoked by click trains of various level for unprotected ear and with the use of three HPDs. Average standard deviation is 0.4 and 0.7 ms for unoccluded ear and donned HPD, respectively

Figure 4 combines the estimates of HPDs' attenuation obtained by the click-train averaging and click-train threshold methods. For comparison, shown are the results of audiometric measurements. The data indicate that the click train averaging method provided highest attenuation estimates ranging from 46 to 51 dB. The click train threshold method estimates attenuation as 30-37 dB. Both attenuation measures based upon the ABR responses provided attenuation values higher by 4-7.5 dB than the audiometric thresholds. The click-train averaging method estimated the attenuation as 18-23 dB higher than the click-train wave V threshold method. Estimates by click-train averaging method are higher than the HPD's SNR parameter by 16-25 dB, and larger by 11-25 dB than the HPD's H parameter. For the wave V threshold method, estimated attenuation is larger than the SNR by about 2-9 dB, and comparable to values of H parameter.

The differences in HPDs' attenuation estimated by the ABR responses were smaller than differences among the protectors' SNR and H parameters. The ABR procedure provided differences of 2-5 dB among tested HPDs, with a total range of 7 dB. The SNR and H parameters of these HPDs differ by as much as 6, 7 or 8 dB (total range of 14 dB). Audiometric measurements performed with the use of the same click train stimuli as in the ABR recordings, also led to smaller differences between the HPDs (of 4-5.5 dB) than the differences determined for the SNR and H parameters.

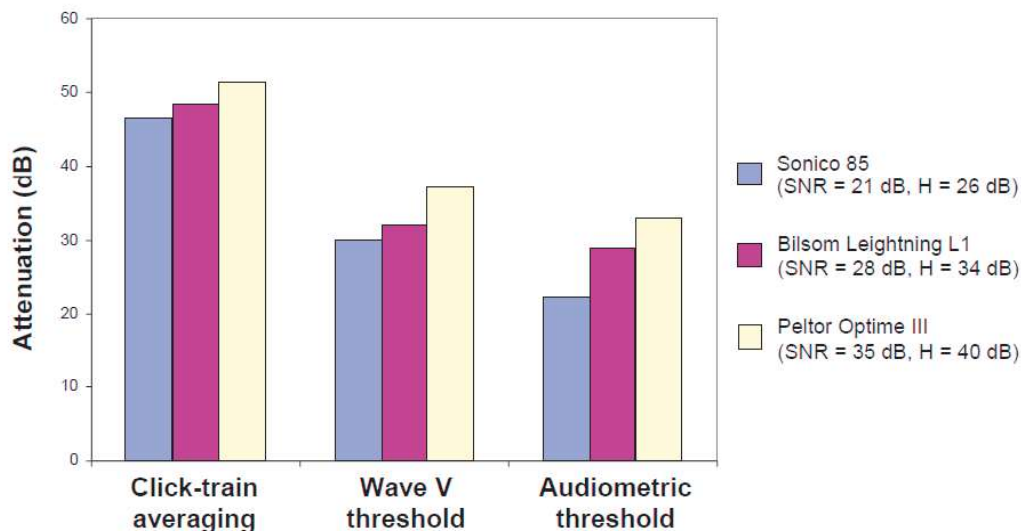


Fig. 4.-Attenuation of HPDs estimated by the click-train averaging procedure, the click-train threshold procedure and from audiometric thresholds of click stimulus

Masking procedure

The measurements with the use of masking procedure (see Fig. 5) were performed for only one hearing protector (Bilsom Leightning L1). Estimated attenuation averaged over all subjects was 26 (standard deviation of 3 dB). This value is in agreement with attenuation estimated by the click-train wave V threshold procedure.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The ABR measurements yielded different results depending on the procedure used. All procedures differentiated among the three earmuffs used to a lesser degree than differences seen in the standard earmuffs parameters.

Attenuation of HPDs obtained by the click-train averaging procedure was by about 20 dB higher than that determined with the use of the other two methods. This difference may be related to a nonlinear wave V latency versus level functions seen in Fig. 1. Another cause is that in the click-train procedure a substantial difference in click time waveforms can be observed under and outside the HPD. This is due to the low-pass frequency filtering of the signal by the HPD and

results in long onset time of the stimuli under the HPD. The latency of wave V strongly depends both on the stimulus intensity and also on the onset time. Therefore, the wave V latency seen for the ear occluded by the HPD is a combined effect of a change in the stimulus level and the stimulus rise time. The estimated attenuation can be considered as an “effective index” combining the changes in the waveform attenuated by the HPD, related both to the level and temporal characteristics of the signal.

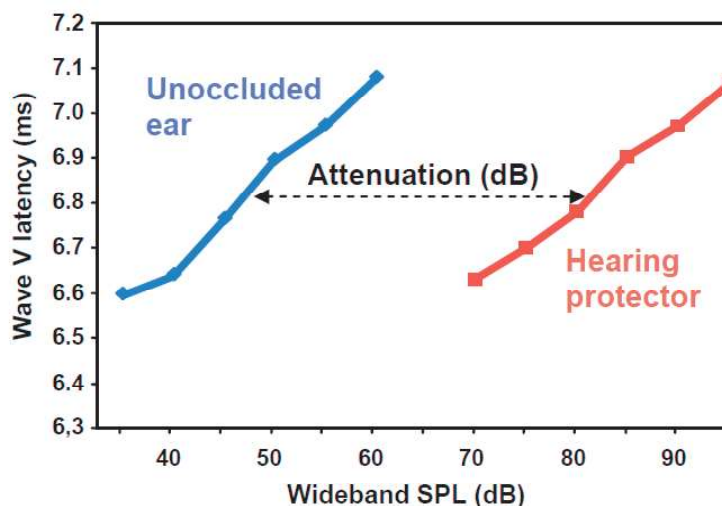


Fig. 5.-Attenuation of HPD (Bilsom Lightning L1) estimated by the masking procedure

In our data, the attenuation derived from the ABR measurements was either close to the values measured using the standardised REAT method, or was higher. If one assumes that REAT method provides reference values, then the ABR click-train threshold and masking procedures are suitable whereas click-train averaging procedure to a large extent overestimates the HPD's attenuation. Results of the ABR measurements were never lower than the HPD's SNR of H parameters. Therefore, if one assumes that change in the wave V latency is a proper measure for the physiological load on the hearing system then the actual effectiveness in protecting from noise by HPDs is higher than it can be judged based upon the HPDs' standard acoustical parameters.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Polish Ministry of Science and Higher Education, grant T07B00428.

References [1] ISO 4869-1 Acoustics–Hearing protectors - Part 1: Subjective method for the measurement of sound attenuation (1990)

[2] EN 24869-1 Acoustics–Hearing protectors. Subjective method for the measurement of sound attenuation (1992)

[3] ANSI S12.6 Methods for Measurement the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors (1997)

[4] K. D. Kryter, W.D. Ward, J.D. Miller, D. H. Eldredge: Hazardous exposure to intermittent and steady-state noise. *J. Acoust. Soc. Am.* **39**, (1966) 451-464

[5] F. Pfander, H. Bongartz, H. Brinkmann, H. Kietz: Danger from auditory impairment from impulse noise: a comparative study of the CHABA damage-risk criteria and those of the Federal Republic of Germany. *J. Acoust. Soc. Am.* **67**, (1980) 628-633

[6] D. Knaus, A. Dietz, F. Musiek: An Objective Method for Measuring the Attenuation of Hearing Protection Devices Using Otoacoustic Emissions. *J. Acoust. Soc. Am.* **116**, No.4, Pt. 2, (2004) 2596

[7] G. L. Wilde, L. E. Humes: Measurement of the Attenuation Characteristics of Nonlinear Hearing Protective Devices Using the Auditory Brain Stem Response. *J. Acoust. Soc. Am.* **81** (1987) 730-733

[8] D. R. Moore, M. E. Hutchings, A. J. King, N. E. Kowalchuk: Auditory Brain Stem of the Ferret: Some Effects of Rearing with a Unilateral Ear Plug on the Cochlea, Cochlear Nucleus, and Projections to the Inferior Colliculus. *J. Neuroscience* **9**, No. 4 (1989) 1213-1222

[9] J. Zera, R. Mlynski: Applicability of impulse noise hearing damage risk criteria (DRCs) of hearing protectors. *J. Acoust. Soc. Am.* **120**, No. 5, Pt. 2 (2006) 3162

[poz. 7]



09.03.2016 r.

NA/6/953/16

Pan

mgr inż. Łukasz Litwiniuk

Dyrektor Zakładu Promieniowania i Drgań

Główny Urząd Miar

ul. Elektoralna 2

00-950 Warszawa

Szanowny Panie Dyrektorze

W nawiązaniu do Państwa pisma nr M2-M24.071.1.2016 z dnia 7 marca 2016 r. pragnę poinformować, że wyrażam zgodę na udostępnienie do badań w GUM tympanometru będącego na wyposażeniu naszego Laboratorium Tech-Safe-Bio.

W sprawie uzgodnienia dalszych szczegółów współpracy w wymienionym zakresie proszę kontaktować się bezpośrednio z Panem dr inż. Rafałem Młyńskim, Pracownikiem Zakładu Zagrożeń Wibroakustycznych naszego Instytutu (tel. 22 623 32 93, e-mail: rmlynski@ciop.pl).

Z poważaniem

Z-ca DYREKTORA
ds. TECHNIKI I WDROŻEŃ
[Signature]
dr hab. inż. Wiktor Marek Jawieska
prof. nadzw. CIOP-PIB

[poz. 8]

CIOP PIBCentralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy**PRIORYTET**

Warszawa, 24.05.2023 r.

POLECONY

NA.060.5.2023

CENTRALNY INSTYTUT OCHRONY PRACY
– PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
WYSLANO

Data

29.05.2023

Podpis

Szanowny Pan
prof. dr hab. Jacek Semaniak
Prezes Głównego Urzędu Miar

W nawiązaniu do porozumienia o współpracy zawartego 24 marca 2011 r. pomiędzy Głównym Urzędem Miar a Centralnym Instytutem Ochrony Pracy – Państwowym Instytutem Badawczym, a także biorąc pod uwagę dotychczasową współpracę pomiędzy obiema instytucjami, proponujemy rozszerzenie jej zakresu. Proponujemy, aby dotychczasową wymianę wiedzy i doświadczeń, obejmującą przede wszystkim opracowywanie w Laboratorium Akustyki w Zakładzie Mechaniki i Akustyki GUM procedury sprawdzania urządzeń wykorzystywanych w pomiarach audiometrii impedancyjnej zgodnie z normą PN-EN 60645-5, rozszerzyć o współpracę w zakresie opracowywanej w CIOP-PIB metody pomiaru hałasu wytwarzanego przez źródło znajdujące blisko ucha pracownika.

Ustalenia dokonane w ramach współpracy pracowników Instytutu oraz Zakładu Mechaniki i Akustyki GUM, dotyczące wymienionej metody pomiaru hałasu byłyby podstawą do opracowania procedury przeprowadzania takich pomiarów, a także ustalenia elementów niezbędnych podczas sprawdzania aparatury pomiarowej służącej do przeprowadzania pomiarów.

W przypadku wyrażenia zgody przez Pana Prezesa na wymienione rozszerzenie zakresu współpracy, w celu jej realizacji, osobami odpowiedzialnymi ze strony Instytutu będą Rafał Młyński (tel. 22 623 3673, e-mail: rmlynski@ciop.pl), Emil Kozłowski (tel. 22 623 3294, e-mail: emkoz@ciop.pl) oraz Jan Radosz (tel. 22 623 3299, e-mail: jarad@ciop.pl).

dr hab. inż. WIKTOR MAREK ZAWIESKA,
prof. InstytutuDyrektor
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy