

Wiesław Konopka<sup>1</sup>  
 Małgorzata Pawlaczyk-Łuszczynska<sup>2</sup>  
 Piotr Straszyński<sup>1</sup>  
 Mariola Sliwińska-Kowalska<sup>2</sup>

## STAN SŁUCHU I OCENA ŚRODOWISKA AKUSTYCZNEGO U TECHNIKÓW OBSŁUGI SAMOLOTÓW ODRZUTOWYCH\*

ASSESSMENT OF ACOUSTIC ENVIRONMENT AND ITS EFFECT ON HEARING IN JET ENGINE SERVICING PERSONNEL

<sup>1</sup> Z Zakładu Diagnostyki Audiologicznej i Elektrofizjologicznej

Katedry Chirurgii Głowy i Szyi

Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

<sup>2</sup> Z Zakładu Zagrożeń Fizycznych

Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

### STRESZCZENIE

**Wstęp.** Hałas emitowany przez silniki odrzutowe ze względu na wysokie poziomy ciśnienia akustycznego może być szkodliwy dla obsługi technicznej samolotów. Celem pracy była ocena słuchu u techników obsługujących silniki odrzutowe oraz badanie środowiska akustycznego. **Materiał i metody.** Pomiar hałasu przeprowadzono na 3 silnikach odrzutowych. Wyznaczano wartości równoważne, maksymalne i minimalne z czasu trwania testu. Analiza widmowa obejmowała częstotliwości od 10 Hz do 20 000 Hz. Ocenę słuchu przeprowadzono u 50 mężczyzn w wieku 24–51 (śr. 35,5 lat) w oparciu o audiometrię tonalną progową, audiometrię impedancyjną oraz wywołane emisje otoakustyczne DPOAE. Grupę porównawczą stanowiło 40 osób nienarażonych na hałas. **Wyniki.** Maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A przekraczały przyjęte normy i osiągały wartości rzędu 119,7–130,1 dB. Równoważny poziom dźwięku A, LA eq, Te, (za czas pojedynczej próby od 201 do 243 s) wynosił od 109,4 dB do 119,7 dB. Szczytowy poziom dźwięku C osiągał wartości od 132,8–141,9 dB. Ocena słuchu wykazała większe podwyższenie progu słuchu u osób narażonych na hałas średnio o 6,3 dB w uchu prawym i o 6,8 dB w lewym niż w grupie porównawczej. Rejestracja DPOAE wykazała znacznie mniejsze wartości emisji u techników w porównaniu z grupą osób nie narażonych na hałas. Redukcja DPOAE dotyczyła prawego i lewego ucha najczęściej dla 3, 4 i 6 kHz. **Wnioski.** Nawet w przypadku pojedynczej próby, personel techniczny narażony jest na hałas (słyszalny) znacznie przekraczający wartości dopuszczalne. Redukcja wartości emisji otoakustycznych DPOAE u osób narażonych na hałas silników odrzutowych była niewspółmiernie większa od zmian w audiometrii tonalnej progowej. Med. Pr. 2004, 55 (4): 329–335

**SŁOWA KLUCZOWE:** hałas, silniki odrzutowe, słuch, emisja otoakustyczna

### ABSTRACT

**Background:** Noise produced by jet engines may be harmful to aircraft servicing personnel because of high levels of acoustic pressure. The aim of the study was to assess the acoustic environment of persons exposed to jet engine noise and its effect on hearing. **Materials and Methods:** Noise measurements were performed on three jet engines. During the target practice, the following parameters were measured: equivalent noise, pressure level A, maximum sound pressure level A, and peak sound pressure level C. The spectroanalysis covering the range from 0.1 to 20 kHz was conducted. Hearing was assessed in 50 noise-exposed men, aged 24–51 years (mean age, 35.5 years), using PTA, tympanometry and DPOAE. The control group consisted of 40 non-exposed persons with good hearing condition. **Results:** Maximum levels of acoustic pressure exceeded Polish standards. Comparison between two groups showed that PTA was higher in the exposed persons by 6.3–6.8 dB on average and DPOAE was reduced in the group exposed to jet engine noise more than it could have been expected. **Conclusions:** Even during a single test, aircraft technical personnel was exposed to (audible) noise that significantly exceeded admissible values. The reduction in DPOAE values in persons exposed to noise of jet engines was incommensurably higher than changes in PTA. Med Pr 2004; 55 (4): 329–335

**KEY WORDS:** jet engine noise, noise measurements, hearing, OAE

Adres autorów: Żeromskiego 113, 90-549 Łódź, e-mail: konopka@achilles.wam.lodz.pl

Nadesłano: 16.01.2004

Zatwierdzono: 16.06.2004

© 2004, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

## WSTĘP

Wiele współczesnych urządzeń, w tym sprzęt i uzbrojenie wojskowe, mogą być źródłem hałasu, który jest trudny do przewidzenia, co do parametrów akustycznych oraz skutków oddziaływania na organizm ludzki. Równocześnie następuje stała poprawa możliwości monitorowania oraz klasyfikacji hałasu, jak również bardziej precyzyjnego określania jego szkodliwego wpływu na organizm ludzki.

Hałas emitowany przez samoloty odrzutowe, ze względu na wysokie poziomy ciśnienia akustycznego, może być szkodliwy dla osób mających bezpośredni kontakt z samolotami, tj. pilotów i obsługi technicznej. Co więcej, może być uciążliwy dla otaczającego środowiska, w tym ludzi żyjących w okolicach lotnisk.

Na szkodliwe działanie hałasu szczególnie narażona jest obsługa techniczna, pracująca bezpośrednio przy silniku w czasie startu samolotów lub podczas prób technicznych w hamowni. Pracownicy ci narażeni są również na środki chemiczne, w tym paliwo lotnicze typu Jet-A-1 zawierające głównie węglowodory, siarkę i jej związki (merkaptany,

\* Praca wykonana w ramach zadania finansowanego przez Uniwersytet Medyczny w Łodzi. Praca nr 502-17-129 pt. „Badania narządu słuchu w uszkodzeniach typu odbiorczego o charakterze przewlekłego urazu akustycznego u lotniczego personelu technicznego obsługi samolotów nadźwiękowych”. Kierownik tematu: dr hab. med. W. Konopka.

wodorosiarczek, dwusiarczki, naftaleny, parafiny, olefiny), smar-Aviaplex zawierający głównie oleje mineralne, olej transformatorowy, olej rycynowy, stearynian mydła, fosforany i 2-fenylaminę. Toksyczne działanie ww. związków może potęgować uszkadzający wpływ hałasu na słuch.

Hałas emitowany przez silniki odrzutowe może być szczególnie niebezpieczny, ponieważ jego wysokie wartości mogą powodować trwałe uszkodzenie słuchu nawet po pojedynczej ekspozycji (1). Specyfiką wysokich wartości hałasu o stosunkowo krótkim czasie trwania jest również to, że wysokie poziomy natężenia dźwięku są na pograniczu odwracalnego i nieodwracalnego działania uszkadzającego na komórki słuchowe narządu Cortiego (2,3). Nawet stosowanie ochronników nie zmniejsza całkowicie ryzyka uszkodzenia słuchu.

Wiele publikacji (4,5) opisuje uszkodzenia częściowe czy całkowite komórek słuchowych po narażeniu na hałas. Wiadomym jest, że w pierwszej kolejności uszkodzeniu ulegają komórki słuchowe zewnętrzne. Badania doświadczalne, zarówno u ludzi, jak i u zwierząt (6–8), wykazały, że po krótkiej ekspozycji na hałas emisje otoakustyczne ulegają osłabieniu znacznie wcześniej niż zmiany w klasycznej audiometrii tonalnej progowej. Przy przewlekłej ekspozycji na hałas przemysłowy rejestracje TEOAE i DPOAE okazały się przydatne w monitorowaniu rozwoju pohałasowego uszkodzenia słuchu (9). Z kolei wg Oekena (10) w przebiegu ostrego urazu akustycznego emisje otoakustyczne wywołane typu DPOAE mogą być przydatne w monitorowaniu leczenia.

Celem pracy były:

- pomiary i ocena ekspozycji na hałas emitowany przez silnik odrzutowy,
- ocena stanu słuchu u osób bezpośrednio narażonych na jego oddziaływanie.

## MATERIAŁ I METODY

### Badana grupa

Badaniami objęto 50 mężczyzn w wieku 24–51 lat (średnia wieku 35,5) zatrudnionych bezpośrednio przy obsłudze samolotów i silników odrzutowych, ekspozowanych na hałas emitowany przez silniki odrzutowe zarówno podczas bezpośredniego zabezpieczania startów samolotów, jak i podczas prób silników na hamowni. Struktura wiekowa osób badanych przedstawiała się następująco: 30 osób było w wieku 24–30 lat, 15 w wieku 31–40, a 5 w wieku 41–52 lat. Stosowano wstępną selekcję. U wszystkich wykonano badanie podmiotowe, eliminując w wywiadzie osoby z chorobami uszu.

W badanej grupie zebrano wywiad środowiskowy, oceniając częstość ekspozycji na hałas silników odrzutowych, co stanowiło podstawę do oszacowania narażenia czasowego. Okres narażenia na badany hałas wynosił od 0,5 do 30 lat (średnio dla całej badanej grupy 13,5 lat).

Osoby badane stosowały indywidualne ochronniki słuchu i uczestniczyły średnio w 40–50 testach w ciągu roku.

Grupę porównawczą stanowiło 40 zdrowych otologicznie osób w podobnym przedziale wieku, u których nie

stwierdzono narażenia na hałas. Przedziały wiekowe grupy porównawczej obejmowały 22 osoby w wieku 23–30 lat, 15 w wieku 31–41 lat oraz 3 osoby w wieku 41–50 lat. Dla przedstawionych przedziałów wiekowych wykonano za pomocą Testu Ch<sup>2</sup> analizy statystyczne porównania struktury wiekowej dla grupy badanej i porównawczej. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic  $p = 0,658$ .

### Pomiary hałasu

W celu oceny narażenia na hałas techników obsługi samolotów odrzutowych przeprowadzono pomiary hałasu podczas testów sprawdzających pracę silników odrzutowych samolotów ISKRA. Badania wykonano na lotnisku, na pasie startowym, tuż przed odlotem samolotu. Objęto nimi 3 różne samoloty.

Przeprowadzono bezpośrednie pomiary hałasu, obejmujące zakres częstotliwości słyszalnych i infradźwiękowych, przy uwzględnieniu zaleceń zawartych w normach: PN-N-01307:1993 i ISO 9612:1997 (11,12). Punkty pomiarowe lokalizowano w pobliżu osób biorących udział w testach silników, na wysokości ich głowy, w odległości około 0,5 m oraz 1–1,5 m od pracującego silnika. Wybór takiej odległości spowodowany był względami bezpieczeństwa.

Przeprowadzono pomiary poziomu ciśnienia akustycznego, skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A, C i G. Wyznaczano wartości równoważne, maksymalne i minimalne za czas trwania testu (tj. od momentu włączenia silnika do chwili opuszczenia stanowiska kontrolnego). Równolegle przeprowadzano analizę widmową w pasmach tercjowych, w przedziale częstotliwości od 10 Hz do 20 000 Hz.

Stosowano (równocześnie) 3 zestawy przyrządów pomiarowych:

- zestaw I – złożony z mikrofonu pomiarowego typu SV02 firmy SVANTEK (Polska), przedwzmacniacza mikrofonowego typu SV01 i analizatora dźwięku firmy SVANTEK (Polska) typu SVAN 912E – do pomiarów poziomu dźwięku A i C (hałas słyszalny);
- zestaw II – całkowity miernik poziomu dźwięku typu SON-50 firmy SONOPAN (Polska) – do pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową G (hałas infradźwiękowy);
- zestaw III – złożony z mikrofonu pomiarowego typu 4190 firmy Bruel & Kjaer (Dania), przedwzmacniacza mikrofonowego typu SV01 i analizatora dźwięku firmy SVANTEK (Polska) typu SVAN 912 – do analizy widmowej.

W celu oceny skuteczności ochronników słuchu, noszonych podczas testów silników samolotowych, obliczono spodziewane wartości poziomu dźwięku A pod ochronnikami. Wykorzystano do tego celu metodę HML doboru ochronników opisaną w normie PN EN 458:1999 (13).

### Badania narządu słuchu

Badanie przedmiotowe obejmowało badanie otolaryngologiczne, w tym otoskopię. Diagnostykę słuchu oparto na badaniu audiometrią tonalną progową, audiometrią impedancyjną oraz rejestracją emisji otoakustycznych wywołanych typu

TEOAE i DPOAE. Badania wykonano przy użyciu audiometru Madsen OB. 622, audiometru immitacyjnego Madsen ZO 174 oraz zestawu do rejestracji emisji otoakustycznych ILO Echoport 292. Otodynamics. Za pomocą testu prawdopodobieństwa porównania średnich wartości audiogramów zbadano, czy różnice w badaniach audiometrycznych grupy badanej i porównawczej są istotne statystycznie.

**WYNIKI**

**Ekspozycja na hałas**

Wyniki pomiarów hałasu zebrano w tabeli 1 i na ryc. 1. Badane silniki odrzutowe emitują hałas szerokopasmowy, w którego widmie dominują składowe z przedziału częstotliwości od 315 do 4000 Hz (pasma tercjowe).

Na ryc. 2 pokazano przebieg historii czasowej poziomu dźwięku A podczas pojedynczej próby. Jak widać, hałas w trakcie testów silników odrzutowych miał charakter nieustalony. Wahania wartości skutecznych poziomu dźwięku A (tj. mierzonych przy włączonej charakterystyce dynamicznej S), dochodziły do 47–50 dB.

Maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A osiągały wartości rzędu 119,7–130,1 dB. Równoważny poziom dźwięku A,  $L_{A,eq,T_e}$  (za czas pojedynczej próby od 201 do 243 s) wynosił od 109,4 dB do 119,7 dB, co w przeliczeniu na znormalizowany dzienny wymiar czasu pracy, odpowiada poziomowi ekspozycji na hałas odniesionemu do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy  $L_{EX,8h}$  rzędu 87,8–95,2 dB. Szczytowy poziom dźwięku C osiągał wartości od 132,8–141,9 dB.

**Tabela 1.** Zbiorcze zestawienie wyników pomiaru hałasu w trakcie testów silników odrzutowych  
**Table 1.** Summary results of noise measurements during testing of jet engines

| Parametr ekspozycji na hałas<br>Noise parameter  | Próba nr<br>Test no. |       |       | Wartość<br>średnia<br>Mean<br>value | Wartości<br>dopuszczalne<br>Admissible<br>levels |
|--|----------------------|-------|-------|-------------------------------------|--|
|  | 1                    | 2     | 3     |                                     |  |
| Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, $L_{EX,8h}$ (dB)<br>Noise exposure level adjusted to a nominal an 8-h working day, $L_{EX,8h}$ (dB)  | 95,2                 | 99,0  | 87,8  | 95,9*                               | 85**   |
| Równoważny poziom ciśnienia akustycznego, skorygowany charakterystyką częstotliwościową A, $L_{A,eq,T_e}$ (dB)<br>Equivalent continuous A-weighted sound pressure level, $L_{A,eq,T_e}$ (dB)   | 116,3                | 119,7 | 109,4 | 116,8*                              |  |
| Minimalny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A, $L_{A,min}$ (dB)<br>Minimum A-weighted sound pressure level, $L_{A,min}$ (dB)   | 80,8                 | 78,7  | 73,2  |                                     |  |
| Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A, $L_{A,max}$ (dB)<br>Maximum A-weighted sound pressure level, $L_{A,max}$ (dB)  | 126,8                | 130,1 | 119,7 |                                     | 115**  |
| Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową C, $L_{C,eq,T_e}$ (dB)<br>Equivalent continuous C-weighted sound pressure level, $L_{C,eq,T_e}$ (dB)  | 116,2                | 119,5 | 109,6 | 116,7*                              |  |
| Szczytowy poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową C, $L_{C,peak}$ (dB)<br>C-weighted peak sound pressure level, $L_{C,peak}$ (dB)  | 139,9                | 141,9 | 132,9 |                                     | 135**  |
| Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy $L_{G,eq,8h}$ (dB)<br>Equivalent continuous G-weighted sound pressure level normalized to a nominal 8 h working day, $L_{G,eq,8h}$ (dB) | 74,6                 | 73,9  | 73,0  | 73,9*                               | 102***   |
| Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G, $L_{G,eq,T_e}$ (dB)<br>Equivalent continuous G-weighted sound pressure level, $L_{G,eq,T_e}$ (dB)  | 95,7                 | 94,6  | 94,6  | 95,0*                               |  |
| Minimalny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G, $L_{G,min}$ (dB)<br>Minimum G-weighted sound pressure level, $L_{G,min}$ (dB)   | <85                  | 91,1  | 91,1  |                                     |  |
| Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G, $L_{G,max}$ (dB)<br>Maximum G-weighted sound pressure level, $L_{G,max}$ (dB)  | 109,7                | 107,1 | 107,1 |                                     |  |
| Szczytowy poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G, $L_{G,peak}$ (dB)<br>G-weighted peak sound pressure level, $L_{G,peak}$ (dB)  | 115,3                | 112,6 | 112,6 |                                     |  |
| Efektywny czas ekspozycji, $T_e$ (s)<br>Effective time of exposure, $T_e$ (s)  | 222                  | 243   | 201   | 222                                 |  |

\* Wartość średnia obliczana wg wzoru:  $L = 10 \lg(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i})$ ,

gdzie:  $L_i$  - równoważny poziom ciśnienia akustycznego, w dB, dla próbki  $i$ ,  $n$  - liczba próbek.

\* A mean value calculated using the equation  $L = 10 \lg(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i})$ ,

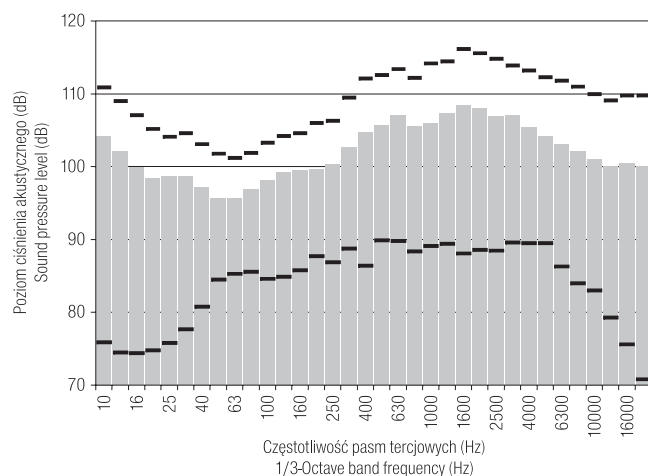
where:  $L_i$  - is the equivalent continuous sound pressure level, in dB, for sample  $i$ ,  $n$  - total number of samples.

\*\* Najwyższe dopuszczalne natężenia (NDN) hałasu w środowisku pracy (4).

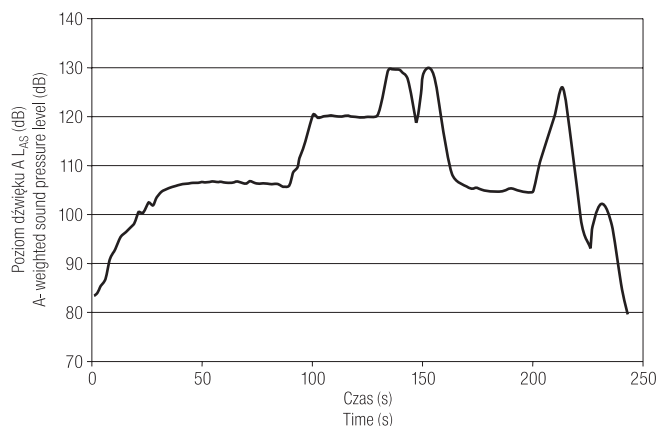
\*\* Maximum admissible intensity (MAI) values for noise in the work environment (4).

\*\*\* NDN hałasu infradźwiękowego w środowisku pracy (4).

\*\*\* MAI values for infrasonic noise in the work environment (4).



**Ryc. 1.** Uśrednione widmo hałasu obejmujące 3 próby testowania silników odrzutowych (słupkami oznaczono wartości równoważne poziomu ciśnienia akustycznego za czas trwania 3 testów  $L_{fi,eq,Te}$ ; liniami przerywanymi – zakres zmienności poziomów ciśnienia akustycznego).  
**Fig. 1.** Averaged noise spectrum over three attempts of testing of jet engines (bars specify equivalent continuous sound pressure levels over duration of three tests, dashed lines show the range of measured sound pressure levels).



**Ryc. 2.** Historia czasowa poziomu dźwięku A w czasie pojedynczej próby (pomiar przy włączonej charakterystyce dynamicznej S).  
**Fig. 2.** Time history of the A-weighted sound pressure level during a single test of jet engine (measurement with RMS „Slow” time constant).

**Tabela 2.** Ocena skuteczności stosowania ochronników słuchu podczas testów silników odrzutowych. Do obliczeń spodziewanego poziomu dźwięku A pod ochronnikiem wykorzystano metodę HML doboru ochronników słuchu wg PN-EN 458:1999 (13)

**Table 2.** Assessment of the effectiveness of hearing protectors used during tests of jet engines. Predicted sound pressure levels under hearing protectors, calculation based on the HML method for selecting of hearing protection according to PN-EN 485:1999 recommendation (13)

|  | Próba nr<br>Test no.            |      |      | Wartość średnia<br>Mean value |
|--|---------------------------------|------|------|-------------------------------|
|  | 1                               | 2    | 3    |                               |
| Przewidywany równoważny poziom dźwięku A pod ochronnikiem, $L'A_{eq,Te}$ (dB)<br>Predicted equivalent continuous A-weighted sound pressure level under hearing protector, $L'A_{eq,Te}$ (dB) | 84,6                            | 84,5 | 85,2 | 84,8                          |
| Skuteczność ochronnika słuchu,<br>$\Delta L = LA_{eq,Te} - L'A_{eq,Te}$ (dB)<br>Effectiveness of hearing protector,<br>$\Delta L = LA_{eq,Te} - L'A_{eq,Te}$ (dB)                            | 31,7                            | 35,3 | 24,3 | 32,1                          |
| Parametry tłumienne ochronnika słuchu<br>Attenuation parameters of hearing protector   | H = 35 dB, M = 28 dB, L = 19 dB |      |      |                               |

Stwierdzono więc przekroczenie wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu (słyszalnego) w środowisku pracy (14).

Oszacowano, że stosowanie ochronników słuchu powoduje obniżenie równoważnego poziomu dźwięku A pod ochronnikiem od 23,4 do 35,3 dB (tab. 2).

Mierzone wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego, skorygowanego charakterystyka częstotliwościową G, wynosiły od 94,6 do 95,7 dB, co w przeliczeniu na znormalizowany dzienny wymiar czasu pracy odpowiada poziomom rzędu 73,0–74,6 dB, a więc znacznie niższym niż wartości NDN hałasu infradźwiękowego w środowisku pracy (14).

### Ocena stanu słuchu

W obu grupach w badaniu audiometrią impedancyjną stwierdzono prawidłowe tympanogramy typu A oraz obecność odruchu z mięśnia strzemiączkowego o progu adekwatnym do progu słuchu.

Średnie wartości badania progu słuchu w audiometrii tonalnej progowej zawarte są w tabeli 3 dla grupy badanej oraz w tabeli 4 dla grupy porównawczej. Analiza statystyczna porównania średnich wartości audiogramów w grupie badanej i porównawczej wykazała w uszach prawych brak różnicy istotnej statystycznie  $P = 0,238$  tylko dla częstotliwości 2000 Hz. Dla pozostałych częstotliwości w uszach prawych oraz wszystkich w lewych zarejestrowano różnice istotne statystycznie  $P < 0,001$ .

Porównanie progu słuchu w audiometrii tonalnej progowej dla badanych częstotliwości pomiędzy grupą badaną a porównawczą wykazało większe podwyższenie progu słuchu u osób narażonych na hałas średnio o 6,3 dB w uchu prawym i o 6,8 dB w lewym.

Rejestracja wywołanych emisji otoakustycznych produktu zniekształceń nieliniowych DPOAE w grupie techników wykazała znacznie mniejsze wartości DPOAE w porównaniu z grupą porównawczą osób nienarażonych na hałas. Redukcja wartości emisji otoakustycznych dotyczyła prawego i lewego ucha najczęściej dla częstotliwości 3000, 4000 i 6000 Hz.

**Tabela 3.** Uśrednione wartości audiogramów dla grupy badanej – ucho prawe i lewe

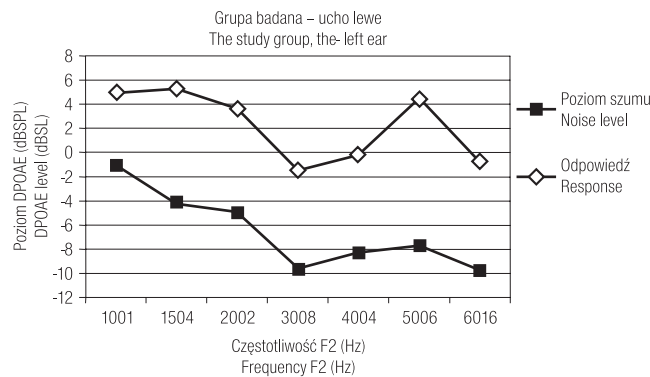
**Table 3.** Average pure tone audiogram (AP) for the study group; both ears, left and right

|                         |    | Częstotliwość<br>Frequency<br>Hz |     |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|----|----------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
|                         |    | 125                              | 250 | 500  | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 6000 | 8000 |
| Ucho prawe<br>Right ear | dB | 15                               | 20  | 19   | 19   | 16   | 20   | 25,5 | 30   | 12   |
| Ucho lewe<br>Left ear   | dB | 14                               | 15  | 17,5 | 15   | 15,5 | 21,5 | 27   | 30   | 21,5 |

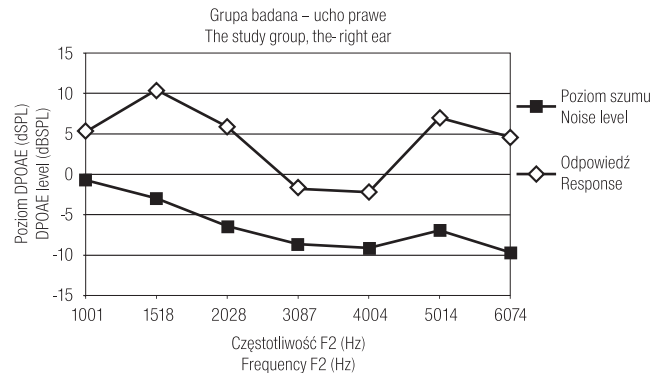
**Tabela 4.** Uśrednione wartości audiogramów dla grupy porównawczej – ucho prawe i lewe

**Table 4.** Average pure tone audiogram (APT) for the control group; both ears, left and right

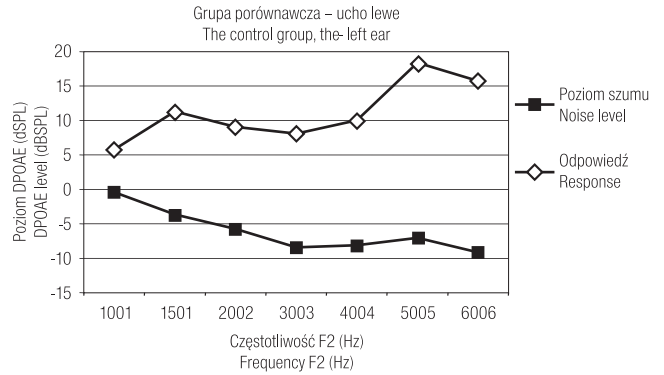
|                         |    | Częstotliwość<br>Frequency<br>Hz |     |     |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|----|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
|                         |    | 125                              | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 6000 | 8000 |
| Ucho prawe<br>Right ear | dB | 10                               | 14  | 12  | 14   | 15   | 15   | 15   | 20   | 15   |
| Ucho lewe<br>Left ear   | dB | 11                               | 10  | 11  | 12   | 11   | 11   | 12   | 13   | 14   |



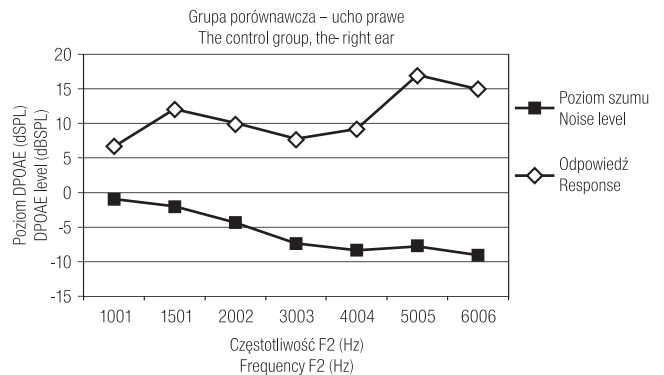
**Ryc. 3.** DPOAE grupa badana ucho lewe.  
**Fig. 3.** DPOAE – the study group, the left ear.



**Ryc. 4.** DPOAE grupa badana ucho prawe.  
**Fig. 4.** DPOAE – the study group, the right ear.



**Ryc. 5.** DPOAE grupa porównawcza ucho lewe.  
**Fig. 5.** DPOAE – the control group, the left ear.



**Ryc. 6.** DPOAE grupa porównawcza ucho prawe.  
**Fig. 6.** DPOAE – the control group, the right ear.

W uchu lewym emisje produktu zniekształceń nieliniowych były średnio o 9,5 dB SPL mniejsze niż w grupie porównawczej, przy czym dla częstotliwości 3000, 4000, 5000 i 6000 Hz redukcja amplitudy DPOAE wynosiła odpowiednio 9,5, 10,5, 12,5 i 17 dB SPL.

W prawym uchu zarejestrowano również mniejsze wartości poziomu DPOAE w porównaniu z grupą porównawczą. Były one średnio o 7,4 dB SPL mniejsze dla badanych częstotliwości. Największa redukcja w prawym uchu dotyczyła 3000, 4000, 5000 i 6000 Hz odpowiednio 11, 12,5, 10 i 10 dB SPL (ryc. 3-6).

**OMÓWIENIE**

Hałas jest jedną z głównych przyczyn odbiorczych uszkodzeń słuchu. Początkowo może być to odwracalne, przejściowe uszkodzenie w postaci tzw. czasowego przesunięcia progu (tzw. TTS z ang. temporary threshold shift) lub ubytku słuchu dla 4-6 kHz. Dalsze narażenie prowadzi do trwałego podwyższenia progu słuchu, tzw. PTS (z ang. permanent threshold shift). Na stopień i rodzaj niedosłuchu mają wpływ różne czynniki, jak charakterystyka uszkadzającego hałasu, czas jego trwania, przerwy między ekspozycjami, czy rodzaj stosowanych ochronników słuchu. Jednoczesne oddziaływanie na organizm środków chemicznych oraz hałasu potęguje

jego szkodliwy wpływ na narząd słuchu. Badana przez nas grupa narażona była okresowo na środki chemiczne stosowane przy obsłudze samolotów.

W profilaktyce pohałasowych uszkodzeń słuchu istotne jest wczesne wykrycie oraz określenie stopnia zmian w ślimaku.

Hałas z przewagą składowych o częstotliwościach średnich i wysokich jest bardziej niebezpieczny niż hałas o składowych niskoczęstotliwościowych, co wynika z czułości ucha, które jest największe w zakresie częstotliwości 3–5 kHz. W naszych badaniach największe wartości szczytowe hałasu dotyczyły częstotliwości od 250 do 630 i od 1000 do 6000 Hz. Skutki działania hałasu kumulują się w czasie. Ciągła ekspozycja jest bardziej szkodliwa niż przerywana, bo nawet krótkotrwałe przerwy umożliwiają powrót słuchu do stanu wyjściowego (15).

Szczególnie szkodliwy dla słuchu jest hałas o krótkim czasie trwania, gdyż mechanizmy ochronne narządu słuchu charakteryzują się pewną bezwładnością. Badania wskazują na to, że uszkodzenie słuchu w wyniku działania hałasu o krótkim czasie trwania jest zależne od poziomu szczytowego ciśnienia akustycznego (16–18).

W warunkach obsługi silników odrzutowych technicy narażeni są na działanie hałasu uszkadzającego słuch, który może mieć charakter stały lub impulsowy.

Uzyskane wyniki wskazują na to, że personel techniczny, biorący udział w testach silników odrzutowych, nawet w przypadku pojedynczej próby jest narażony na hałas (słyszalny) znacznie przekraczający wartości dopuszczalne ze względu na ochronę słuchu, tj. wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu w środowisku pracy (14). Stosowanie indywidualnych ochronników słuchu znacznie zmniejsza ilość energii akustycznej, docierającej do ucha, a co za tym idzie istotnie zmniejsza ryzyko uszkodzenia słuchu.

Rejestracja emisji otoakustycznej wprowadzona przez D. Kempa w 1978 r. do diagnostyki audiologicznej dała nam do dyspozycji bardzo czuły instrument, pozwalający na wcześniejsze niż w audiometrii tonalnej progowej wykrycie zmian w ślimaku.

W naszych badaniach zarejestrowano znacznie większe redukcje wartości emisji otoakustycznych w grupie osób narażonych na hałas silników odrzutowych w porównaniu z podwyższeniem u nich progu słuchu w audiometrii tonalnej progowej. Może to wskazywać na wcześniejsze zmiany w narządzie ślimakowym Cortiego niewykrywalne jeszcze w klasycznej audiometrii.

Precyzyjna ocena częstotliwościowa ślimaka pozwala na określenie, które miejsca są uszkodzone. Może dać to podstawę do lepszego indywidualnego zaprojektowania ochronników słuchu w zależności od charakterystyki widma hałasu, najczęściej uszkadzającego komórki zmysłowe ślimaka.

W badaniach nad wpływem hałasu na ślimak, przeprowadzonych na zwierzętach, stwierdzono dobrą korelację pomiędzy parametrami częstotliwościowymi stosowanego bodźca a lokalizacją uszkodzonego miejsca w ślimaku, po-

twierdzoną badaniami histologicznymi (19–21). Badania potwierdziły użyteczność DPOAE jako wysoce czułej metody do monitorowania funkcji komórek słuchowych zewnętrznych po narażeniu na hałas.

Na podstawie badań własnych oraz danych z piśmiennictwa można ocenić OAE jako metodę bardzo wartościową i czułą, szczególnie w ocenie bardzo wczesnych uszkodzeń ślimaka, niewykrywalnych często poprzez inne badania. Może stanowić szybką przesiewową metodę oceny przydatności do pracy w hałasie, a także do monitorowania funkcji ślimaka. Bardzo precyzyjne określenie miejsca uszkodzonego przez hałas w ślimaku czyni rejestracje emisji otoakustycznych ważną metodą w profilaktyce oraz leczeniu pohałasowych uszkodzeń słuchu, szczególnie gdy inne metody są za mało czułe.

## WNIOSKI

1. Wyniki pomiarów hałasu podczas testów silników odrzutowych wskazują na to, że nawet w przypadku pojedynczej próby personel techniczny narażony jest na hałas (słyszalny), znacznie przekraczający wartości dopuszczalne ze względu na ochronę słuchu, tj. wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu w środowisku pracy. Nie obserwuje się natomiast przekroczeń wartości dopuszczalnych (NDN) hałasu infradźwiękowego.

2. Stosowanie indywidualnych ochronników słuchu znacznie zmniejsza ilość energii akustycznej docierającej do ucha, a co za tym idzie zmniejsza ryzyko uszkodzenia słuchu.

3. Redukcja wartości emisji otoakustycznych DPOAE u osób narażonych na hałas silników odrzutowych była niewspółmiernie większa od zmian w audiometrii tonalnej progowej.

## PIŚMIENNICTWO

1. Kryter K., Garinther G.R.: Auditory effects of acoustic impulses from firearms. *Acta Otolaryngol. Suppl.* (Stockh) 1966; 211: 22–25.
2. Price G.R.: Hazard from weapon impulses: histological and electrophysical evidence. *J. Acoust. Soc. Am.* 1989; 85: 1245–1254.
3. Salmivani A.: Acoustic trauma in regular army personnel: clinical audiological study. *Acta Otolaryngol. Suppl.* (Stockh) 1967; 222: 85–87.
4. Hotz M.A., Probst R., Harris P.P., Hauser R.: Monitoring the effects of noise exposure using transiently evoked otoacoustic emissions. *Acta Otolaryngol.* (Stockh.) 1993; 113: 478–482.
5. Lonsbury-Martin B.L., McCoy M.J., Whitehead M.L., Martin G.K.: Clinical testing of distortion product otoacoustic emissions. *Ear Hear.* 1993; 1: 11–22.
6. Śliwińska-Kowalska M.: The role of evoked and distortion product otoacoustic emissions in diagnosis of occupational noise-induced hearing loss. *J. Audiol. Med.* 1998; 7: 29–45.
7. Śliwińska-Kowalska M., Kotyło P., Hendler B.: Comparing changes in transient-evoked otoacoustic emission and pure-tone audiometry following short exposure to industrial noise. *Noise Health* 1999; 2: 50–57.
8. Konopka W., Zalewski P., Pietkiewicz P.: Evaluation of the TEOAE and DPOAE before and after shooting. *Proceedings of the Xth International*

- Symposium on Audiological Medicine; 11–14 lipca 1999, Manchester, UK. The University of Manchester, Manchester 1999.
9. Śliwińska-Kowalska M., Kotyło P.: Czy emisja otoakustyczna może być przydatna w diagnostyce różnicowej zawodowych uszkodzeń słuchu? *Med. Pr.* 1997; 48: 613–620.
  10. Oeken J.: Distortion Product Otoacoustic Emissions in acute acoustic trauma. *Noise Health* 1998;1: 56–66.
  11. ISO 9612: 1997: Acoustics – Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in the working environment. International Standard Organization, Geneva 1997.
  12. PN-N-01307:1994: Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące przeprowadzania pomiarów. Polski Komitet Normalizacji, Warszawa 1994.
  13. PN-EN:458:1999: Ochronniki słuchu. Zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej. Dokument przewodni. Polski Komitet Normalizacji, Warszawa 1999.
  14. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *DzU* 2002, nr 217, poz. 1833.
  15. Zalewski P., Konopka W.: Hałas a narząd słuchu. *Nowa Med.* 1996; 3 (7): 27–31.
  16. Bruel P.: Induced hearing loss in industry. Proceedings Inter-Noise`93, 24–26 sierpnia 1993, Leuven, Belgium. Institute of Noise Control Engineering, Poughkeepsie, USA 1993.
  17. Konopka W., Zalewski P., Pietkiewicz P.: Otoacoustic emissions before and after shooting. Proceedings of the 7th International Audiology Symposium, 20-23 marca 1999, Zakopane. Uniwersytet Jagielloński, Kraków 1999.
  18. Pfander F., Bongartz H., Brinkman H., Kietz H.: Danger of auditory impairment from impulse noise: a comparative study of the CHABA damage risk criteria and those of Federal Republic of Germany. *J. Acoust. Soc. Am.* 1980; 67: 628–633.
  19. Zurek P.M., Clark W.W., Kim D.O.: The behavior of acoustic distortion products in the ear canals of chinchillas with normal or damaged ears. *J. Acoust. Soc. Am.* 1982; 72: 774–780.
  20. Dolan T.G., Abbas P.J.: Changes in the 2f1-f2 acoustic emission and whole-nerve response following sound exposure: long term effects. *J. Acoust. Soc. Am.* 1985; 77: 1475–1483.
  21. Subramanian M., Henderson D., Spongr. V.: The relationship among distortion-product otoacoustic emissions, evoked potential thresholds and outer hair cells following interrupted noise exposures. *Ear Hear.* 1994; 15: 299–309.