

mgr inż. BOŻENA SMAGOWSKA
 dr inż. WITOLD MIKULSKI
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy

Badania laboratoryjne wpływu hałasu ultradźwiękowego na funkcje poznawcze i sprawność psychomotoryczną człowieka

Fot. Bram Janssens/Bigstockphoto



W artykule przedstawiono metodę i wyniki badań wpływu hałasu ultradźwiękowego na funkcje poznawcze i sprawność psychomotoryczną człowieka w warunkach laboratoryjnych. Podstawą metody była zmiana sprawności człowieka ekspozowanego na hałas ultradźwiękowy w zakresie takich funkcji, jak refleks, spostrzegawczość, uwaga i wydajność pracy umysłowej oraz zmiana subiektywnych odczuć osób badanych. Funkcje te oceniano wskaźnikami testów psychologicznych oraz na podstawie ankiet. Sformułowano propozycję wstępnego kryterium uciążliwości hałasu ultradźwiękowego (dla pasma częstotliwości 31,5 kHz).

Lab research on the influence of ultrasonic noise on human cognitive skills and psychomotor capability

This paper presents the method and results of laboratory tests conducted to determine the influence of ultrasonic noise on cognitive skills and the psychomotor capability of the human body. The method was based on the change in mental capacity of subjects exposed to ultrasonic noise in such function as reflexes, observation skills, attention and work output, subjective estimation of mood and tiredness of the subjects. Those functions were assessed with indicators from psychological tests and the basis of questionnaires. A preliminary criterion of annoyance of ultrasonic noise was developed (in the third band 31.5 kHz).

Wstęp

Hałasem ultradźwiękowym przyjęto nazywać rozchodzące się w powietrzu ultradźwięki niskich częstotliwościach z zakresu 20 – 40 kHz oraz dźwięki o wysokich częstotliwościach słyszalnych z zakresu 10 – 20 kHz [1, 2]. Głównym źródłem hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy są technologiczne urządzenia ultradźwiękowe, takie jak: płuczki, zgrzewarki, drążarki, w których

ultradźwięki są wytwarzane celowo jako czynnik niezbędny przy realizacji procesu technologicznego [2, 3, 4]. Urządzenia te są coraz powszechniej stosowane, m.in. w warsztatach mechanicznych i samochodowych, zakładach elektronicznych i optycznych, zakładach produkujących wyroby z tworzyw sztucznych, pracowniach zegarmistrzowskich i jubilerskich, gabinetach stomatologicznych, laboratoriach i ambulatoriach.

Hałas ultradźwiękowy emitowany przez technologiczne urządzenia ultradźwiękowe może stwarzać zagrożenie zdrowia (głównie narządu słuchu) pracowników obsługujących te urządzenia [1, 2, 4, 5]. Może również stanowić czynnik uciążliwy, utrudniający wykonywanie pracy wymagającej szczególnie koncentracji uwagi.

Wyniki dotychczasowych badań nad wpływem hałasu ultradźwiękowego na pracowników pozwoliły na sformułowanie kryteriów szkodliwości tego hałasu (w Polsce – wartości NDN), [6, 7, 8]. Brak jest jednak kryterium uciążliwości hałasu ultradźwiękowego, aczkolwiek badania w tym zakresie były i są podejmowane [6, 7].

W niniejszym artykule przedstawiono metodę i wyniki badań wpływu hałasu ultradźwiękowego na funkcje poznawcze i sprawność psychomotoryczną człowieka w warunkach laboratoryjnych. Podstawą metody była zmiana sprawności człowieka ekspozowanego na hałas ultradźwiękowy w zakresie takich funkcji, jak refleks, spostrzegawczość, uwaga i wydajność pracy umysłowej oraz zmiana subiektywnych odczuć osób badanych. Funkcje te oceniano wskaźnikami testów psychologicznych oraz na podstawie ankiet.

Grupa badana

Do badań wpływu hałasu ultradźwiękowego na zdolność koncentracji i możliwość utrzymania długotrwałej uwagi selektywnej wybrano (spośród 70 ochotników) grupę 20 mężczyzn w wieku 20-30 lat. Osoby wytypowane do badania charakteryzowały się dobrym stanem zdrowia, prawidłowym słuchem oraz podobnymi cechami układu nerwowego.

Próg słyszenia dla grupy słuchaczy wyznaczono na podstawie badań audiometrycznych dla obydwu uszu słuchacza w dwóch zakresach częstotliwości: niskim (125 Hz – 800 Hz) i wysokim (10 kHz – 16 kHz), [9]. Wybrane do badań osoby miały ubytek słuchu mniejszy od 25 dB w niskim zakresie częstotliwości oraz mniejszy od 35 dB w wysokim zakresie częstotliwości.



Fot. Stanowisko badawcze
Photo. Test stand

Do badań wybrane zostały osoby o podobnej psychicznej wrażliwości na bodźce akustyczne. Za wskaźnik tej wrażliwości przyjęto średni poziom reaktywności (od 44 do 52 pkt.), określane na podstawie wyników jednej ze skal kwestionariusza temperamentu STI-R (*Strelau Temperament Inventory-Revised*), [10].

Metoda badań

Wybrana grupa ochotników uczestniczyła w eksperymencie, który polegał na wykonywaniu komputerowych testów psychologicznych badających sprawność w zakresie wykonywania zadań umysłowych – test wydajności pracy ALS oraz sprawność procesów poznawczych: ciągłości uwagi – DAUF przez uczestników badań podczas ekspozycji na hałas ultradźwiękowy [11, 12]. Osoby badane przebywały w wydzielonym pomieszczeniu badawczym (kabina dźwiękoizolacyjna), w którym znajdowało się źródło hałasu ultradźwiękowego (fot.).

Hałas ultradźwiękowy wytworzono generatorem szumu (typ 3560C firmy B&K), wzmacniaczem mocy (Yamaha 797) oraz kolumną głośnikową (konstrukcja własna) z przetwornikiem elektroakustycznym (typ R2904-7000 firmy ScanSpeak), [15]. Podczas badań kolumnę głośnikową ustawiono powyżej monitora komputera w odległości 90 cm od głowy badanej osoby.

Przed i po eksperymencie u osób badanych kontrolowano sprawność w zakresie refleksu (test refleksu) oraz uwagi i spostrzegawczości (test TUS), [13]. Ponadto uczestnicy określali aktualny nastrój i stan samopoczucia (skala Grandjeana), [14]. Czas trwania każdego wariantu eksperymentu wynosił około 90 minut. Jako sygnał testowy w badaniach zastosowano sygnał o widmie zbliżonym do „szumu różowego” w 3 pasmach częstotliwości z zakresu hałasu ultradźwiękowego o częstotliwościach środkowych: 25 kHz, 31,5 kHz oraz 40 kHz.

Każdy eksperyment przeprowadzono w 4 wariantach:

- bez ekspozycji na hałas ultradźwiękowy (B)
- z hałasem o niskim poziomie¹ – 97 dB – zwany dalej (L)

- z hałasem o średnim poziomie² – 103 dB – zwany dalej (M), (rys. 1.)
- z hałasem o wysokim poziomie³ – 108 dB – zwany dalej (H).

Kolejność uczestniczenia w poszczególnych eksperymentach była jednakowa dla wszystkich uczestników. Badania odbywały się nie częściej niż raz w tygodniu, o tej samej porze. W badaniach jako miarę subiektywnej oceny uciążliwości hałasu ultradźwiękowego podczas wykonywania prac wymagających koncentracji uwagi zastosowano 100-punktową skalę uciążliwości (której skrajne punkty określały hałas jako nieuciążliwy i bardzo uciążliwy – ocena ilościowa) oraz ankietę odczuć i dolegliwości subiektywnie związanych z ekspozycją na hałas (ocena jakościowa).

Analiza statystyczna wyników

Podstawowym celem analizy statystycznej było sprawdzenie hipotezy o istnieniu wpływu uwzględnionych w eksperymencie 3 poziomów hałasu ultradźwiękowego na obiektywną i subiektywną ocenę sprawności psychomotorycznej i sprawności w zakresie pracy umysłowej osób badanych oraz na ich subiektywną ocenę uciążliwości poszczególnych poziomów hałasu.

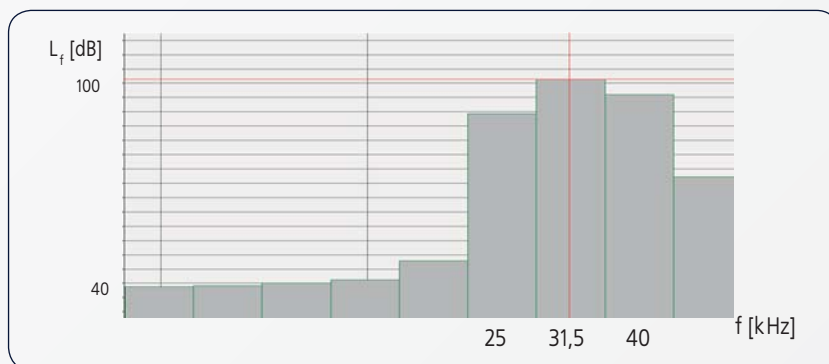
Analiza obejmowała porównanie wyników zebranych PRZED przystąpieniem do kolejnych wariantów eksperymentu i PO ich zakończeniu. W przypadku wyników uzyskanych z testów wykonywanych przez osoby badane jeden raz w trakcie każdego eksperymentu (testy: ALS i DAUF, skala uciążliwości hałasu oraz ankietę odczuć i dolegliwości) analiza statystyczna dotyczyła porównania wyników uzyskanych w poszczególnych wariantach eksperymentu.

Do obliczeń statystycznych wykorzystano następujące metody:

- testy normalności rozkładów: Shapiro-Wilka oraz Andersona-Darlinga
- test znaków rangowych Wilcozona
 - do porównania par zmiennych PRZED i PO eksperymencie
 - do porównania poziomów zmiennej w różnych eksperymentach

² Poziom ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej 31,5 kHz – 104 dB.

³ Poziom ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej 31,5 kHz – 108 dB.



Rys. 1. Widmo hałasu o średnim poziomie (M)
Fig. 1. Spectrum of medium SPL (M)

- do porównania różnic (PRZED i PO eksperymencie) między eksperymentami.

Wyniki badań

Na podstawie uzyskanych wyników testów określono: samopoczucie psychiczne (w zakresie nastroju i uczucia zmęczenia) i sprawność (w zakresie refleksu, spostrzegawczości, ciągłości uwagi oraz wydajności pracy umysłowej) osób badanych eksponowanych na hałas ultradźwiękowy o niskim, średnim i wysokim poziomie.

Analiza wyników skali obciążenia psychicznego (skala Grandjeana) wykazała, że po zakończeniu poszczególnych wariantów eksperymentów osoby badane czuły się bardziej zmęczone, ospałe i wyczerpane niż przed przystąpieniem do kolejnych badań. Udział w eksperymencie z hałasem o wysokim poziomie spowodował istotnie większą zmianę w zakresie pogorszenia nastroju oraz uczucia senności w porównaniu z badaniami bez hałasu.

Analiza wyników badań w zakresie testu refleksu wykazała, że:

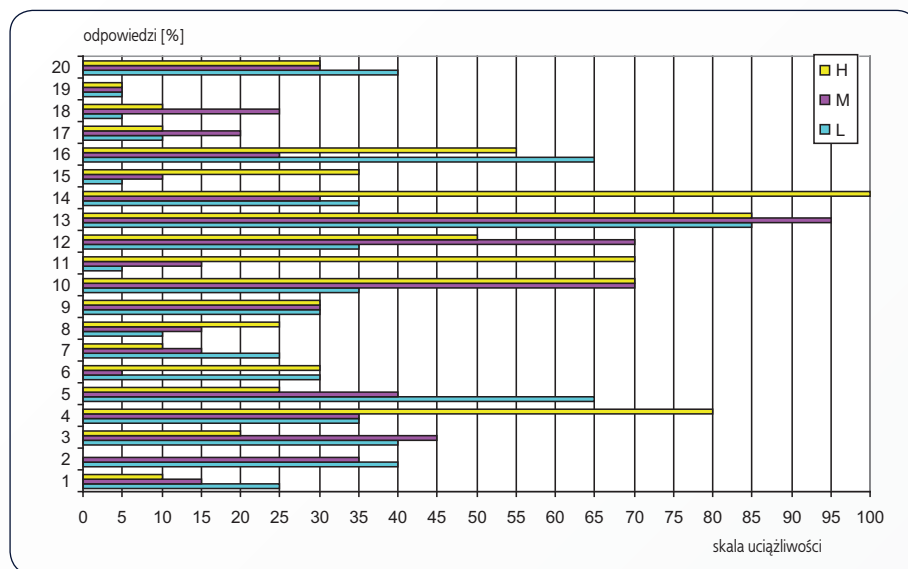
- średni czas reakcji wydłużył się (istotnie statystycznie) po ekspozycji na hałas ultradźwiękowy o średnim (M) i wysokim poziomie hałasu (H)
- liczba poprawnych reakcji – po ekspozycji na hałas ultradźwiękowy o niskim poziomie (L) – była większa w porównaniu z ekspozycją na hałas o średnim poziomie (M) i wysokim poziomie (H)
- liczba błędów (liczba opuszczeń) – wzrosła (istotnie statystycznie) po ekspozycji na hałas o średnim poziomie (M) w porównaniu z pozostałymi warunkami eksperymentu (L i H).

Na podstawie analizy wyników badań wskaźników w zakresie testu ciągłości uwagi (DAUF) stwierdzono, że:

- liczba odpowiedzi nieprawidłowych była większa (istotnie statystycznie) po ekspozycji na hałas ultradźwiękowy, w porównaniu z warunkami bez ekspozycji na hałas
- średni czas reakcji – był największy po ekspozycji na hałas ultradźwiękowy o średnim poziomie (M).

Z przeprowadzonej analizy wskaźników testu wydajności pracy (ALS) wynika, że w zakresie liczby poprawnie rozwiązanych zadań wyniki były gorsze (istotnie statystycznie) w eksperymencie z ekspozycją na hałas (L, M i H) w porównaniu z wynikami po ekspozycji bez hałasu ultradźwiękowego (B).

¹ Poziom ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości o częstotliwości środkowej 31,5 kHz – 97 dB.



Rys. 2. Subiektywna ocena uciążliwości hałasu ultradźwiękowego w różnych wariantach eksperymentu: z hałasem o niskim poziomie (L), z hałasem o średnim poziomie (M) i z hałasem o wysokim poziomie (H)

Fig. 2. Subjective assessment of annoyance of ultrasonic noise in different variants of the experiment: low SPL (L), medium SPL (M) and high SPL (H)

Na podstawie wyników badań wskaźników testu uwagi i spostrzegawczości (TUS) można stwierdzić, że:

- szybkość pracy zwiększała się (istotnie statystycznie) w kolejnych eksperymentach zarówno przed jak i po badaniu
- po ekspozycji na hałas o średnim poziomie (M) liczba błędów i liczba opuszczonych wzrosła (istotnie statystycznie) w porównaniu do pozostałych eksperymentów (L i H).

W zakresie subiektywnych badań (ankietowych) po zastosowaniu ekspozycji na hałas ultradźwiękowy o wysokim poziomie (H) stwierdzono, że zwiększyła się liczba osób skarżących się na: ucisk w głowie, dyskomfort i napięcie układu nerwowego w zakresie odczuć oraz senność, rozdrażnienie i problemy z koncentracją w zakresie dolegliwości.

Na rys. 2. zamieszczono subiektywną ocenę uciążliwości hałasu (w skali 100-punktowej) dla różnych wariantów eksperymentu. Występujący hałas ultradźwiękowy w różnych wariantach eksperymentu był postrzegany jako czynnik „co najmniej uciążliwy”, odpowiednio przez około: 50% (L), 65% (M) i 70% (H) badanych osób (> 25 punktów na 100-punktowej skali). Zastosowanie hałasu ultradźwiękowego o wysokim poziomie (H) wyraźnie zwiększyło liczbę odpowiedzi o uciążliwości czynnika. W subiektywnej ocenie stosowanych poziomów hałasu wysoki poziom (H) określono jako męczący.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników wskaźników testów psychologicznych oraz wyników badań subiektywnych badanej grupy ekspozowanej na hałas ultradźwiękowy określony poziomami: L, M i H należy stwierdzić, że granica uciążliwości hałasu może zawierać się między poziomem hałasu 97 dB i 103 dB dla tercjowego pasma częstotliwości 31,5 kHz. Wstępnie, jako kryterium uciążliwości hałasu ultradźwiękowego

ze względu na wykonywanie prac wymagających koncentracji uwagi dla tego pasma częstotliwości, proponuje się przyjąć wartość średnią, tj. 100 dB.

Podsumowanie

Wyniki badań laboratoryjnych nad wpływem hałasu ultradźwiękowego na funkcje poznawcze i sprawność psychomotoryczną wykazały, że już przy niskich poziomach hałasu (L, 97 dB) zwiększa się liczba odpowiedzi nieprawidłowych (test ciągłości uwagi – DAUF) i zmniejsza się liczba rozwiązanych zadań (test wydajności pracy – ALS).

Z kolei wyniki badań dla eksperymentu ze średnim poziomem hałasu (M, 103 dB) w porównaniu do eksperymentu bez hałasu (B) i eksperymentu z niskim poziomem hałasu (L), wykazały, że występują istotne statystycznie różnice w zakresie następujących wskaźników:

- dłuższy średni czas reakcji złożonej oraz większa liczba błędów w teście refleksu
- większa liczba błędów i opuszczonych odpowiedzi w teście uwagi i spostrzegawczości (TUS)
- większa liczba odpowiedzi nieprawidłowych w teście ciągłości uwagi (DAUF).

W zakresie badań subiektywnych po zastosowaniu ekspozycji na hałas ultradźwiękowy o wysokim poziomie (H, 108 dB) zwiększyła się liczba osób skarżących się w zakresie odczuć na: ucisk w głowie, dyskomfort i napięcie układu nerwowego oraz w zakresie dolegliwości na: senność, rozdrażnienie i problemy z koncentracją. Zastosowanie hałasu ultradźwiękowego o wysokim poziomie (H) wyraźnie zwiększyło liczbę odpowiedzi uczestników badań o uciążliwości czynnika. W subiektywnej ocenie stosowanych poziomów hałasów wysoki poziom hałasu (H) określono jako męczący.

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie wstępnej propozycji kryterium uciąż-

liwości hałasu ultradźwiękowego ze względu na wykonywanie prac wymagających koncentracji uwagi, dla tercjowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej 31,5 kHz (100 dB).

Wskazane jest kontynuowanie badań nad kryterium uciążliwości hałasu ultradźwiękowego w zakresie częstotliwości od 10 do 40 kHz m.in. przy zastosowaniu innych sygnałów testowych (inne pasma częstotliwości i inne poziomy hałasu oraz inne grupy badanych osób w tym kobiety). Ponadto celowe też jest przeprowadzenie badań w warunkach rzeczywistych.

PIŚMIENNICTWO

[1] M. Pawlaczyk-Łuszczczyńska, J. Koton, M. Śliwińska-Kowalska, D. Augustyńska, M. Kameduła *Hałas ultradźwiękowy. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy”* 2 (28) 2001, s. 55-88

[2] W. Mikulski, B. Smagowska *Metody oceny ryzyka zawodowego związanego z hałasem ultradźwiękowym. „Bezpieczeństwo Pracy”* 3 (426)2007

[3] B. Smagowska, W. Mikulski *Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy drążarek ultradźwiękowych – ocena ryzyka zawodowego. „Bezpieczeństwo Pracy”* 10 (445)2008

[4] M. Pawlaczyk-Łuszczczyńska, A. Dudarewicz, M. Śliwińska-Kowalska *Źródła ekspozycji zawodowej na hałas ultradźwiękowy – ocena wybranych urządzeń. „Medycyna Pracy”* 58 (2) 2007

[5] R. Przeklasa, E. Reroń, M. Wiatr, J. Składzień *Rola audiometrii wysokich częstotliwości w ocenie ubytku słuchu u osób narażonych na działanie hałasu przemysłowego. „Otorynolaryngologia”* 7 (4)2008

[6] C. Q. Howard., C. H. Hansen, A. C. Zander *A review of current ultrasound exposure limits. University of Adelaide, South Australia* 2004

[7] J. Chatillon *Infrasonic and ultrasonic noise exposure limits – a bibliographical study. INRS* 2006

[8] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *Dz.U* 2002, nr 217, poz. 1833; zm. *Dz.U* 2005, nr 212, poz. 1769

[9] PN-EN ISO 8253-1:2005 Akustyka – Metodyka pomiarów audiometrycznych – Część 1: Audiometria tonowa dla przewodnictwa powietrznego i kostnego

[10] J. Strelaw, B. Zawadzki, A. Angleitner *Kwestionariusz Temperamentu PTS: próba psychologicznej interpretacji podstawowych cech układu nerwowego według Pawłowa. „Studia Psychologiczne”* 33/1995

[11] W. Neuwirth, M. Benesch *Work Performance Series. Release 22.10. Mödling, 2002*

[12] G. Schuhfried *Test ciągłości uwagi. Wersja 3.00. Mödling, 1996*

[13] A. Ciechanowicz, J. Stańczak *TUS. Test uwagi i spostrzegawczości. Warszawa 2006, Pracownia Testów Psychologicznych*

[14] P. Baschera, E. P. Grandjean *Effect of repetitive task with different degrees of difficulty on critical fusion frequency (CFF) and subjective state. „Ergonomics”* 22/1979

Autorzy dziękują dr Annie Łuczak za pomoc w badaniach psychologicznych.

Publikacja opracowana na podstawie wyników I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2008-2010 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.