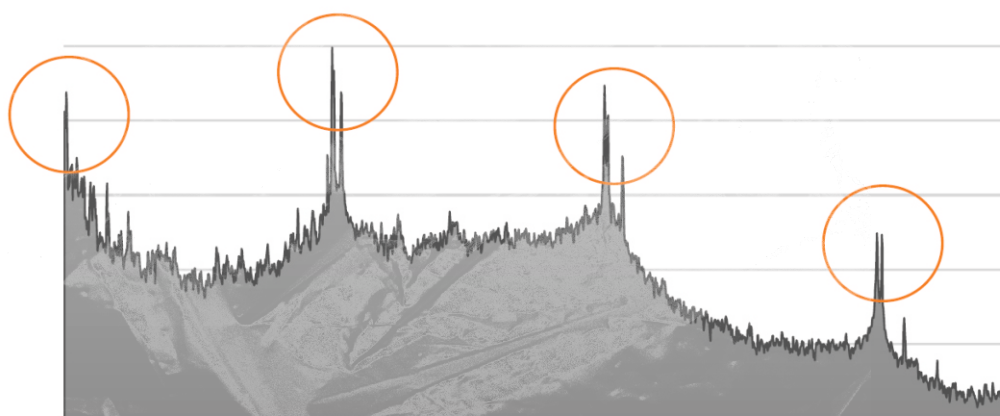


JAN RADOSZ

UCIĄŻLIWOŚĆ HAŁASU TONALNEGO ZE WZGLĘDU NA MOŻLIWOŚĆ REALIZACJI PRZEZ PRACOWNIKA JEGO PODSTAWOWYCH ZADAŃ



Materiały informacyjne CIOP-PIB

Uciążliwość hałasu tonalnego ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Zadanie 1.G.06. Badania i ocena uciążliwości hałasu tonalnego ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań

Autor:

dr inż. Jan Radosz – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy,
Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych, Pracownia Zwalczania Hałasu

Rysunek na okładce: Jan Radosz

© Copyright by

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2019

CIOP  **PIB**

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

Wstęp

Hałas to każdy niepożądany dźwięk, który może być albo uciążliwy, albo szkodliwy dla zdrowia, jak również może zwiększać ryzyko wystąpienia wypadku przy pracy [22]. Nie tylko oddziałuje on na narząd słuchu, ale także jako stresor może się przyczyniać do rozwoju różnego typu chorób, jak również rozpraszać uwagę, utrudniać pracę i zmniejszać jej wydajność [28]. Zgodnie z definicją ISO/TS 15666:2003 [6] uciążliwość wynikająca z ekspozycji na hałas jest indywidualną, niekorzystną reakcją osoby, wpływającą na niezadowolenie, odczuwanie niepokoju i irytacji, a także zakłócającą spokój. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) dostrzega niekorzystny wpływ uciążliwości hałasu na zdrowie i definiuje ją jako doświadczenie wielu różnych reakcji, takich jak: gniew, rozczarowanie, niezadowolenie, wycofanie, bezradność, depresja, lęki, rozproszenie uwagi oraz wyczerpanie [30]. Na percepcję uciążliwości hałasu w największym stopniu wpływa głośność. Do jej oceny powszechnie stosuje się parametry związane z poziomem ciśnienia akustycznego. Niemniej jednak wyniki licznych badań wskazują, że za pomocą tych parametrów – ze względu na inne charakterystyki akustyczne oraz czynniki pozaakustyczne – jedynie w niewielkim stopniu można określić percepcję uciążliwości [2]. Inne dane literaturowe jednoznacznie wskazują na to, że tonalność hałasu jest jedną z ważniejszych pozostałych charakterystyk hałasu, które należy rozpatrywać, oceniając jego uciążliwość [11].

Hałas tonalny można zdefiniować jako taki, w którego widmie występują tonalne składowe częstotliwościowe. W środowisku pracy dźwięki tonalne mogą być emitowane przez urządzenia biurowe – komputery, drukarki, sprzęt telekomunikacyjny – oraz elementy wyposażenia technicznego budynku (wentylacja, klimatyzacja) [29]. Urządzenia te są nagminnie używane na stanowiskach pracy: w pomieszczeniach administracyjnych, biurach projektowych czy w miejscach, w których jest wykonywana praca związana z opracowywaniem danych itp. Hałas tonalny może również występować na stanowiskach pracy znajdujących się w obiektach zlokalizowanych w pobliżu elektrowni wiatrowych [16].

1. Wartości dopuszczalne hałasu w środowisku pracy

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [23] hałas w środowisku pracy, niezależnie od jego charakteru, określa się, odwołując

się do poziomu ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego lub tygodniowego wymiaru czasu pracy, maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C. By móc określić pozasłuchowe skutki oddziaływania hałasu i wynikające z nich uciążliwości, należy się odnieść do dopuszczalnych wartości hałasu ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań, podanych w PN-N-01307:1994 [18], które przedstawiono w tab. 1. Niemniej jednak odnoszą się one jedynie do poziomów ciśnienia akustycznego i nie obejmują innych charakterystyk dźwięku, w tym tonalności.

Tab. 1. Dopuszczalne wartości hałasu ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań wg PN-N-01307:1994 [18]

Lp.	Stanowisko pracy	Równoważny poziom dźwięku A w czasie pobytu pracownika na stanowisku pracy, $L_{Aeq,Te}$
1.	W kabinach bezpośredniego sterowania bez łączności telefonicznej, w laboratoriach ze źródłami hałasu, w pomieszczeniach z maszynami i urządzeniami liczącymi, maszynami do pisania, dalekopisami i w innych pomieszczeniach o podobnym przeznaczeniu.	75 dB
2.	W kabinach dyspozytorskich, obserwacyjnych i zdalnego sterowania z łącznością telefoniczną używaną w procesie sterowania, w pomieszczeniach do wykonywania prac precyzyjnych i w innych pomieszczeniach o podobnym przeznaczeniu.	65 dB
3.	W pomieszczeniach administracyjnych, biur projektowych, do prac teoretycznych, opracowywania danych i innych o podobnym przeznaczeniu.	55 dB

2. Czynniki wpływające na odczuwaną uciążliwość hałasu

Charakterystykę dźwięku uzyskujemy dzięki fizycznemu pomiarowi określonego parametru. W badaniach nad uciążliwością hałasu często przyjmuje się, że podstawową charakterystyką określającą dźwięk w kontekście uciążliwości jest poziom dźwięku A, poziom głośności (ang. *loudness*) czy nawet odczuwany poziom głośności (ang. *perceived noise level* [8]). Wykazano jednak, że charakterystyka ta, stosowana samodzielnie, uwzględnia jedynie niewielką część percepcji uciążliwości – najwyżej 30% [2]. Na odczuwanie uciążliwości hałasu wpływają również tonalność i impulsowość dźwięku, co potwierdzają wyniki licznych badań. Dlatego też w ocenie uciążliwości hałasu należy wziąć pod uwagę te dwie dodatkowe charakterystyki [14, 17, 20, 26]. W szczególności zwrócono

uwagę na tonalność w odniesieniu do wyposażenia biurowego, wentylacji i klimatyzacji oraz turbin wiatrowych [12, 15]. Wyniki niektórych badań wskazują również na potrzebę uwzględniania w ocenie uciążliwości składowych harmonicznym [13, 31]. Nie zaproponowano jednak sposobu parametryzacji tych składowych oraz metody ich uwzględniania w ocenie.

Istnieje wiele czynników wpływających na odczuwaną uciążliwość hałasu, niezwiązanych z charakterystyką dźwięku. Można je podzielić na dwie grupy: kontekst badań uciążliwości hałasu oraz cechy osobiste osób uczestniczących w tych badaniach.

Pedersen do pierwszej grupy zaklasyfikował: porę dnia, miejsce badań oraz wykonywania zadania podczas badania [17]. Wskazał również, że wyniki badań laboratoryjnych nie będą identyczne z wynikami badań, które przeprowadzono w warunkach rzeczywistych, ze względu na kontrolowane środowisko badawcze. Kroesen natomiast wykazał, że na wyniki badań nad uciążliwością może wpływać kontekst ankiety – ocenę uciążliwości źródła hałasu determinowały poprzednie pytania zawarte w ankiecie [9]. Wskazywana przez badanych uciążliwość hałasu lotniczego w kontekście innych źródeł była wyższa niż w przypadku odrębnej oceny tego hałasu.

Do drugiej grupy można zaliczyć m.in.: wrażliwość na hałas, subiektywny stosunek do określonego źródła dźwięku, wiek, płeć, percepcję otoczenia, uwarunkowania kulturowe, czas spędzany w domu i doświadczenia dnia codziennego. Spośród tych czynników w badaniach nad uciążliwością hałasu największą uwagę przywiązuje się do wrażliwości na hałas [7], dla której opracowano kilka skali oceny, w tym m.in. skalę Schutte'a [27].

3. Parametry akustyczne do oceny hałasu tonalnego

Widmo w pasmach 1/3 oktawowych

Jedną z najprostszych zaproponowanych metod określania tonalności hałasu polega na pomiarze poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3 oktawowych wg ISO 1996-2:2017 [5] (metoda orientacyjna). Obecność tonów w hałasie określa się, porównując poziomy ciśnienia akustycznego z sąsiadującymi pasmami 1/3 oktawowych. Kryteria decydujące o tonalności to: 15 dB różnicy poziomów dla niskich częstotliwości (od 25 do 125 Hz), 8 dB dla częstotliwości w zakresie od 160 do 400 Hz i 5 dB dla częstotliwości od 500 do 10 000 Hz. Metoda ta może jednak nie pozwalać na wykrywanie

składowych tonalnych, zwłaszcza gdy są one zlokalizowane przy częstotliwościach granicznych filtrów.

W normie PN-ISO 9612:2004 [19] wprowadzono zagadnienie poprawki tonalnej, K_T , dodawanej do wyniku pomiaru równoważnego poziomu dźwięku A, np. w celu porównania zmierzonych wartości z wartościami dopuszczalnymi, podanymi w tab. 1, ale nie przedstawiono metody jej wyznaczania. Podano jedynie, że w praktyce, stosując analizę 1/3 oktawową, tylko w niektórych przypadkach można wykryć dominujące tony i dlatego należy zastosować dokładną analizę wąskopasmową. Przyjęto, że, jeżeli tony są wyraźnie słyszalne i ich obecność jest wykrywalna z zastosowaniem analizy 1/3 oktawowej, poprawka tonalna wynosi od 5 do 6 dB. Jeżeli składowe tonalne są wyczuwalne dla obserwatora i/lub wykrywalne z zastosowaniem analizy wąskopasmowej, właściwa wartość poprawki wynosi od 2 do 3 dB. Aby uzupełnić braki w ww. podejściach, opracowano kilka innych metod określania tonalności, które omówiono poniżej.

Stosunek tonu do szumu (*Tone-to-Noise Ratio*) i wskaźnik wydatności (*Prominence Ratio*)

Najpowszechniej stosowanymi parametrami do określania tonalności są stosunek tonu do szumu (*Tone-to-Noise Ratio*, TNR), ΔL_T , i wskaźnik wydatności (*Prominence Ratio*, PR), ΔL_p . Parametry te umożliwiają identyfikację tonów pomiędzy 89,1 a 11 220 Hz.

Do obliczania TNR i PR wykorzystuje się analizę widmową FFT z oknem czasowym Hanninga i uśrednianiem liniowym bez korygowania charakterystykami częstotliwościowymi.

Stosunek tonu do szumu, ΔL_T , jest różnicą poziomów energii hałasu tonalnego i energii hałasu maskującego w paśmie krytycznym, którego częstotliwość środkowa pokrywa się z częstotliwością tonu. Wyznacza się go wg wzoru:

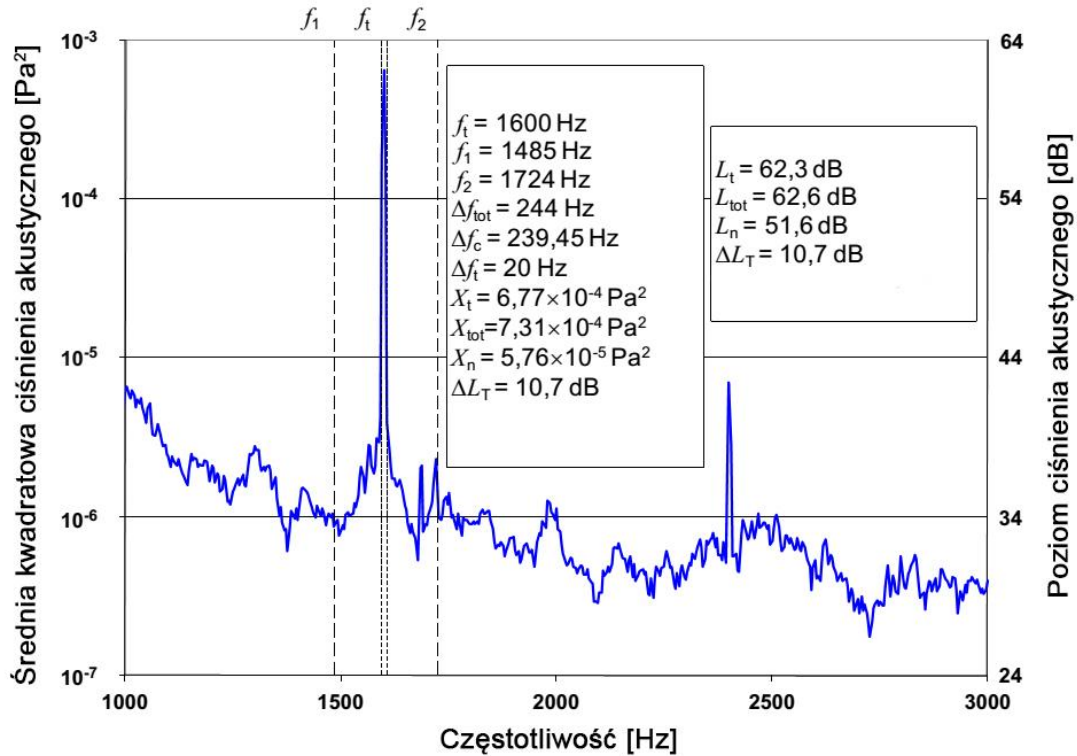
$$\Delta L_T = 10 \log \frac{X_t}{X_n} \quad (1)$$

gdzie:

X_t – średnia kwadratowa ciśnienia akustycznego tonu,

X_n – średnia kwadratowa ciśnienia akustycznego hałasu maskującego, czyli średnia kwadratowa całkowitego ciśnienia akustycznego w paśmie krytycznym bez części tonalnej.

Rozdzielczość FFT powinna być tak dobrana, aby szerokość pasma do wyznaczenia X_t była mniejsza niż 15% szerokości pasma krytycznego o częstotliwości środkowej tonu. Przykładowe widmo hałasu tonalnego wraz z wyznaczonym stosunkiem TNR, ΔL_T , przedstawiono na rys. 3.1.



Rys. 3.1. Przykładowe widmo hałasu tonalnego wraz z wyznaczonym parametrem TNR, ΔL_T , źródło: ANSI/ASA S12.10/Part 1 [1]

Tony są uważane za znaczące, jeśli TNR, ΔL_T , jest większy niż 8 dB dla częstotliwości powyżej 1 kHz, co przedstawiono na rys. 3.3. Dla niższych częstotliwości kryterium wyznacza się wg zależności:

$$\Delta L_T \geq 8,0 + 8,33 \log \left(\frac{1000}{f_t} \right) \text{ dB dla } f_t < 1000 \text{ Hz} \quad (2)$$

gdzie:

f_t – częstotliwość rozpatrywanego tonu.

Różnica między poziomem ciśnienia akustycznego pasma krytycznego o częstotliwości środkowej danego tonu a uśrednionym poziomem ciśnienia akustycznego 2 sąsiednich pasm krytycznych to PR, ΔL_p . Koncepcja PR jest zbliżona do analizy w pasmach 1/3 oktawowych, z tą różnicą że pasma 1/3 oktawowe są zastępowane przez pasma krytyczne, a PR wyznacza się wg wzoru:

$$\Delta L_p \geq 10 \log \frac{X_M}{(X_L + X_U) \times 0,5} \text{ dla } f_t > 171,4 \text{ Hz}$$

$$\Delta L_p \geq 10 \log \frac{X_M}{\left[X_L \times \left(\frac{100}{\Delta f_L} \right) + X_U \right] \times 0,5} \text{ dla } f_t \leq 171,4 \text{ Hz} \quad (3)$$

gdzie:

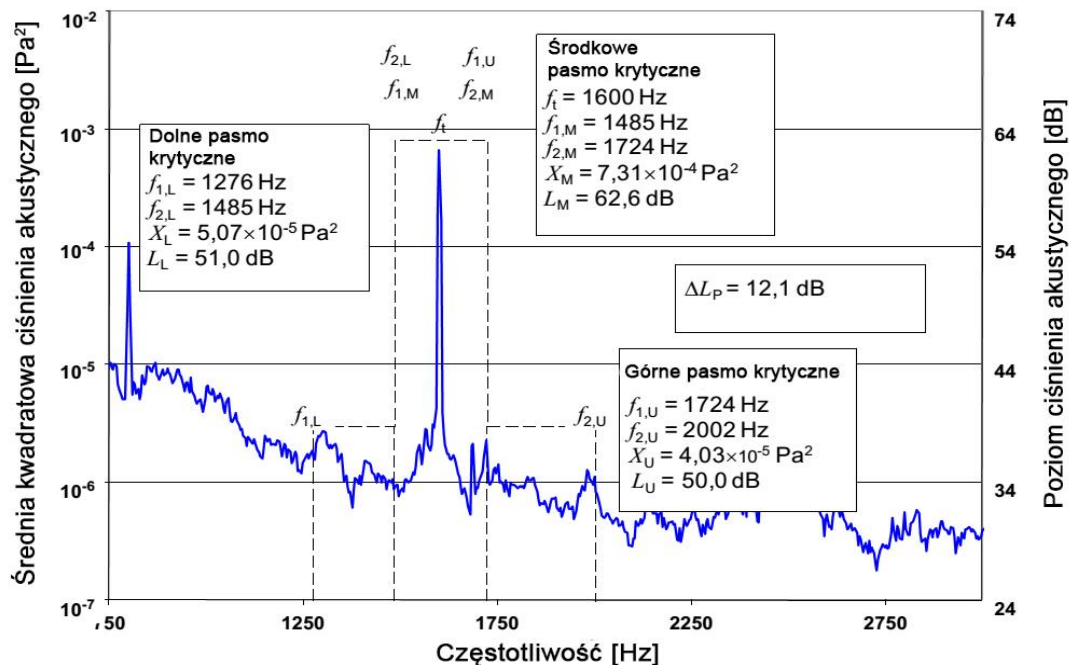
X_M – średnia kwadratowa ciśnienia akustycznego dla pasma krytycznego o częstotliwości środkowej tonu,

X_L, X_U – średnia kwadratowa ciśnienia akustycznego dolnego i górnego pasma krytycznego,

Δf_L – szerokość dolnego pasma częstotliwości,

f_t – częstotliwość rozpatrywanego tonu.

Przykładowe widmo hałasu tonalnego wraz z wyznaczonym PR, ΔL_p , przedstawiono na rys. 3.2.



Rys. 3.2. Przykładowe widmo hałasu tonalnego wraz z wyznaczonym PR, ΔL_p , źródło: ANSI/ASA S12.10/Part 1 [1]

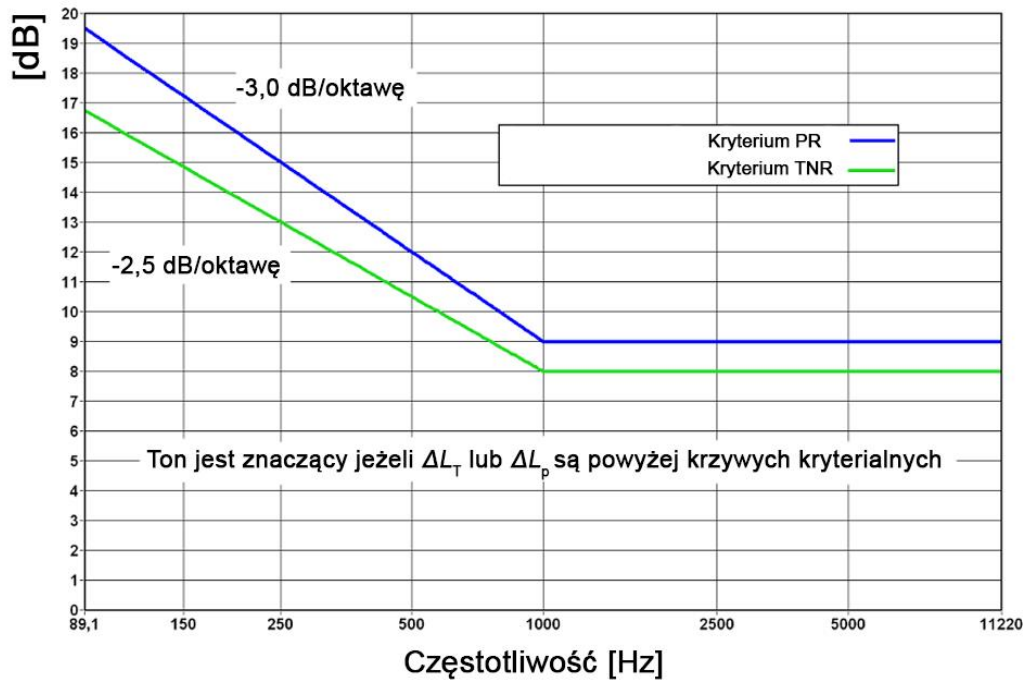
Tony można uznać za znaczące, jeśli PR, ΔL_p , jest większy niż 9 dB dla częstotliwości powyżej 1 kHz, co przedstawiono na rys. 3.3. Dla niższych częstotliwości kryterium wskazujące na to, że tony można uznać za znaczące, wyznacza się wg zależności:

$$L_{pr} \geq 9,0 + 10 \log \left(\frac{1000}{f_t} \right) \text{ dB dla } f_t < 1000 \text{ Hz} \quad (4)$$

gdzie:

L_{pr} – poziom tonu wyznaczony dla PR,

f_t – częstotliwość rozpatrywanego tonu.



Rys. 3.3. Krzywe kryterialne dla TNR, ΔL_T , oraz PR, ΔL_p , źródło: ANSI/ASA S12.10/Part 1 [1]

Za pomocą TNR, ΔL_T , i PR, ΔL_p , tony rozpatruje się niezależnie, jeżeli w widmie hałasu nie są zbyt blisko siebie. Zgodnie z ANSI/ASA S12.10/Part 1 [1] TNR, ΔL_T , może być bardziej odpowiedni dla wielu tonów znajdujących się w sąsiednich pasmach krytycznych, podczas gdy PR, ΔL_p , jest bardziej dokładny dla wielu tonów znajdujących się w obrębie tego samego pasma krytycznego. Niemniej jednak niektóre wyniki badań wskazują, że żaden z powyższych parametrów nie koreluje z subiektywną percepcją, gdy w hałasie występuje wiele tonów lub gdy są obecne harmoniczne.

Słyszalność (audibility)

Słyszalność, ΔL , jest parametrem do oceny tonalności hałasu w środowisku metodą techniczną, ISO 1996-2:2017 [5]. Definiuje się go jako różnicę między poziomem tonu L_T a progiem maskującym L'_T . Analizy składowych częstotliwościowych dokonuje się za pomocą analizatora z zastosowaniem charakterystyki częstotliwościowej A (zalecana analiza widmowa FFT). Rozdzielczość widma FFT powinna się znajdować w zakresie od 1,9 do 4 Hz. Przy analizie FFT jest konieczne stosowanie okna Hanninga. Słyszalność, ΔL , wyznacza się z zależności:

$$\Delta L = L_T - L_G - a_v \quad (5)$$

gdzie:

L_T – poziom ciśnienia akustycznego tonu, w dB,

L_G – poziom ciśnienia akustycznego szumu maskującego w paśmie krytycznym, w dB,

a_v – wskaźnik maskowania, który wyznacza się z zależności:

$$a_v = -2\text{dB} - \log \left[1 + \left(\frac{f_c}{502} \right)^{2.5} \right] \quad (6)$$

f_c – częstotliwość środkowa pasma krytycznego.

Bazując na wyznaczonych wartościach słyszalności, ΔL , przewidziano poprawkę K_T w zakresie od 0 do 6 dB, co przedstawiono w tab. 3.1, stosowaną do zmierzonych równoważnych poziomów dźwięku A (L_{Aeq}). Wymaga się oddzielnej analizy każdego tonu w hałasie z wieloma składowymi tonalnymi. Pasma krytyczne, które zawiera najbardziej dominujący ton lub tony (największe wartości słyszalności, ΔL), jest nadrzędne dla wyznaczanej poprawki K_T . Powyższa metoda ma zastosowanie zarówno dla tonów o charakterze ustalonym, jak i zmiennym. Można ją również stosować dla wąskopasmowego szumu oraz tonów o niskich częstotliwościach.

Tab.3.1. Wartości poprawki tonalnej K_T w zależności od wartości uśrednionej słyszalności, ΔL

Uśredniona słyszalność, ΔL [dB]	Poprawka tonalna K_T [dB]
$\Delta L \leq 0$	0
$0 < \Delta L \leq 2$	1
$2 < \Delta L \leq 4$	2
$4 < \Delta L \leq 6$	3
$6 < \Delta L \leq 9$	4
$9 < \Delta L \leq 12$	5
$12 < \Delta L$	6

Inne parametry

Poza omówionymi powyżej parametrami, które są obecnie powszechnie stosowane w różnych zagadnieniach akustyki (np. badania emisji hałasu maszyn i urządzeń, hałas środowiskowy), można wyróżnić m.in. kontrast widmowy (*Spectral Contrast*), stosunek szumu do harmonicznym (*Noise-to-Harmonic Ratio*) czy model tonalności Auresa (metryka tonalności uwzględniająca częstotliwość, szerokość pasma i poziomy wszystkich elementów tonalnych występujących w hałasie). Niemniej

jednak nie zostały one dostatecznie zweryfikowane i zaadaptowane do szerszego zastosowania przez środowisko akustyczne przy badaniach hałasu tonalnego.

4. Wpływ hałasu na realizację zadań przez pracownika

W dotychczasowych badaniach ekspozycji człowieka na różne sygnały dźwiękowe wykorzystywano szeroki zakres zadań poznawczych: zapamiętywanie kolejności liczb i słów, rozwiązywanie krzyżówek, znajdowanie błędów w tekście, jednoczesne wykonywanie wielu zadań i kompleksowych zadań obejmujących pisanie i rozumienie tekstu oraz rozwiązywanie testów matematycznych [3, 25]. Mimo że część wyników badań wskazuje na wpływ tonalności hałasu na wykonywanie zadania, nie ma możliwości wyciągnięcia uogólnionych wniosków, głównie ze względu na różne rodzaje źródeł hałasu i ich poziomy. Co więcej, wyniki badań na ww. temat bywają sprzeczne. Laird wykazał np., że tony złożone zwiększają liczbę błędów w eksperymentach laboratoryjnych [10]. Sugerował, że tony powyżej 512 Hz mają większy wpływ na poprawność wykonywanych zadań niż tony niskoczęstotliwościowe. Do podobnych wniosków doszedł Grimaldi, badając tony z zakresu od 2400 do 4800 Hz [4]. Z kolei na podstawie wyników badań przeprowadzonych przez Ryherda i Wanga nad wpływem 6 różnych hałasów tła w powiązaniu z odpowiednimi poziomami tonów nie wykazano zależności istotnych statystycznie między poprawnością zadań a tonalnością hałasu [24]. Niemniej jednak na podstawie obserwowanych tendencji zalecali, by w trakcie przeprowadzanych w przyszłości badań zwiększać zakres badanych sygnałów tonalnych.

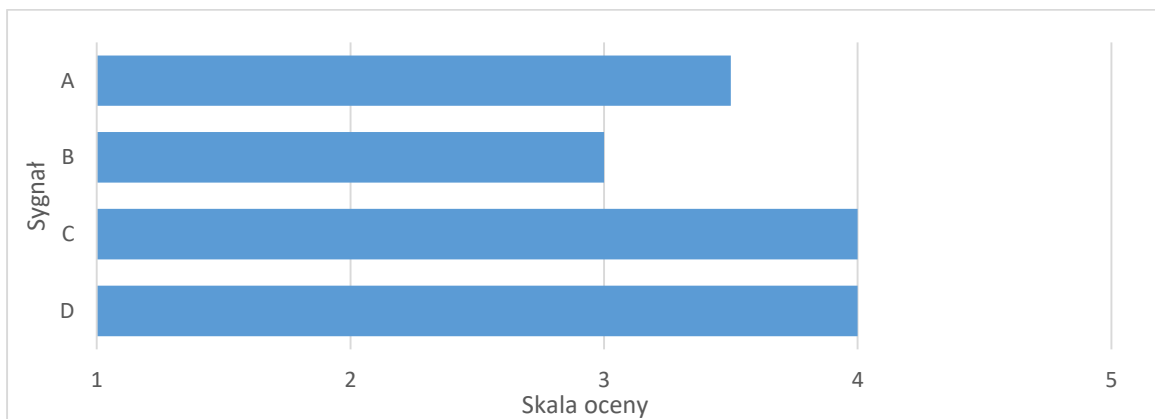
Podobne badania przeprowadzono w CIOP-PIB [21]. Składały się one z części kwestionariuszowej oraz komputerowych testów psychologicznych. Osoby badane wykonywały określone zadania na komputerze (testy psychologiczne), a następnie oceniały sygnały testowe za pomocą kwestionariusza zawierającego ocenę uciążliwości generowanego sygnału, ocenę głośności sygnału oraz ocenę trudności i obciążenia w czasie wykonywania zadań. Do badań zastosowano Wiedeński System Testów oraz wybrano 3 rodzaje testów psychologicznych do oceny wydajności badanych osób w warunkach ekspozycji na generowane sygnały testowe: test uwagi i koncentracji COG, test rozpiętości pamięci CORSI oraz test wydajności pracy ALS. Na stanowisku badawczym skompletowano zestaw niezbędnej aparatury pomiarowej i diagnostycznej oraz opracowano 4 rodzaje generowanych sygnałów testowych (filtrowany szum – A, oraz 3 sygnały ze składowymi tonalnymi 125, 1600 oraz

8000 Hz – B, C i D) o tym samym poziomie dźwięku A wynoszącym 55 dB¹. W badaniach laboratoryjnych w doborze próby zastosowano metodę doboru nielosowego, polegającą na ustaleniu z góry charakterystyk, którym mają odpowiadać poszczególne osoby w próbie (wiek poniżej 50 lat oraz kwalifikacja audiometryczna). Strukturę próby w tym przypadku formowano w sposób arbitralny. W badaniach wzięło udział 50 osób (25 mężczyzn oraz 25 kobiet). Średnia wieku wynosiła 30,4 roku.

Na podstawie wyników kwestionariusza wrażliwości na hałas wykazano, że grupa badanych osób była zróżnicowana pod względem wrażliwości na hałas (18% wrażliwych na hałas, 18% niewrażliwych na hałas oraz pozostały odsetek osób o umiarkowanej wrażliwości na hałas – 64%).

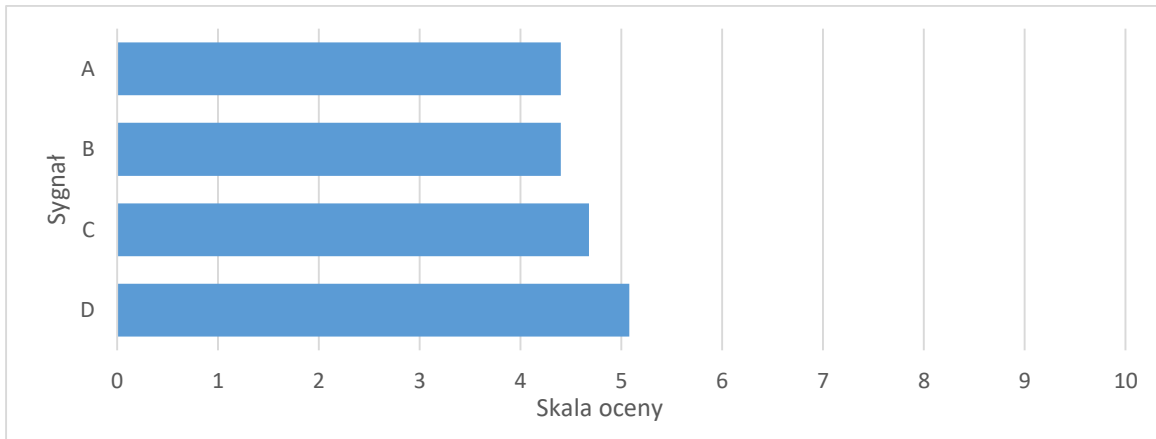
Wyniki subiektywnej oceny uciążliwości rozpatrywanych sygnałów przedstawiono na rys. 4.1. Badane sygnały były oceniane w zakresie od lekko uciążliwych do ekstremalnie uciążliwych. Przeciętnie sygnały A i B oceniano jako umiarkowanie uciążliwe, natomiast sygnały C i D jako bardzo uciążliwe.

Wyniki subiektywnej oceny tego, jak bardzo wykonywane zadania były wymagające, przedstawiono na rys. 4.2. Zawierały się one w zakresie od 1 do 9 (na skali oceny od 0 do 10). Mimo dużej rozpiętości ocen przeciętne wartości kształtowały się na podobnym poziomie dla wszystkich sygnałów (od 4 do 5). Ogólnie rzecz biorąc, można uznać, że dla badanych osób zadania były umiarkowanie wymagające.



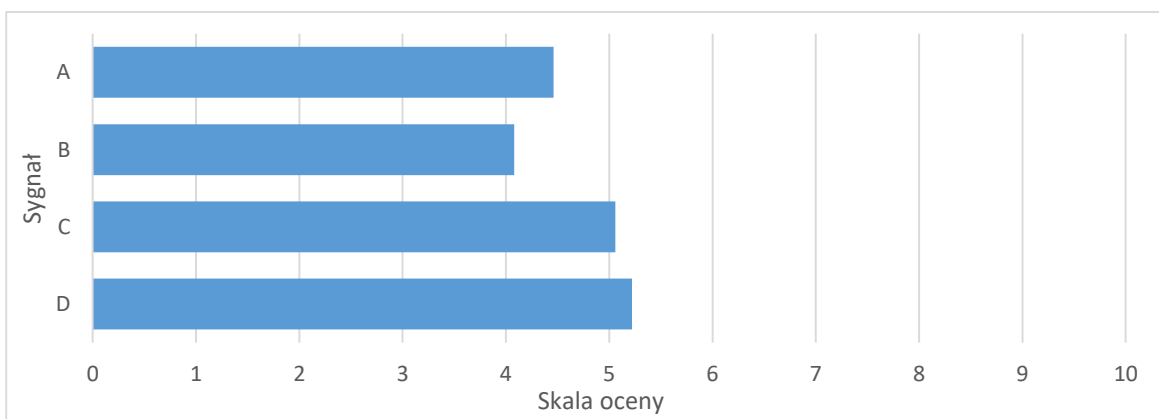
Rys. 4.1. Wyniki subiektywnej oceny uciążliwości sygnałów – mediany (1 – W ogóle nieuciążliwy; 2 – Lekko uciążliwy; 3 – Umiarkowanie uciążliwy; 4 – Bardzo uciążliwy; 5 – Ekstremalnie uciążliwy), źródło: badania własne

¹ Wartość dopuszczalna w pomieszczeniach administracyjnych, biur projektowych, do prac teoretycznych, opracowywania danych i innych o podobnym przeznaczeniu zgodnie z PN-N-01307:1994 [18].



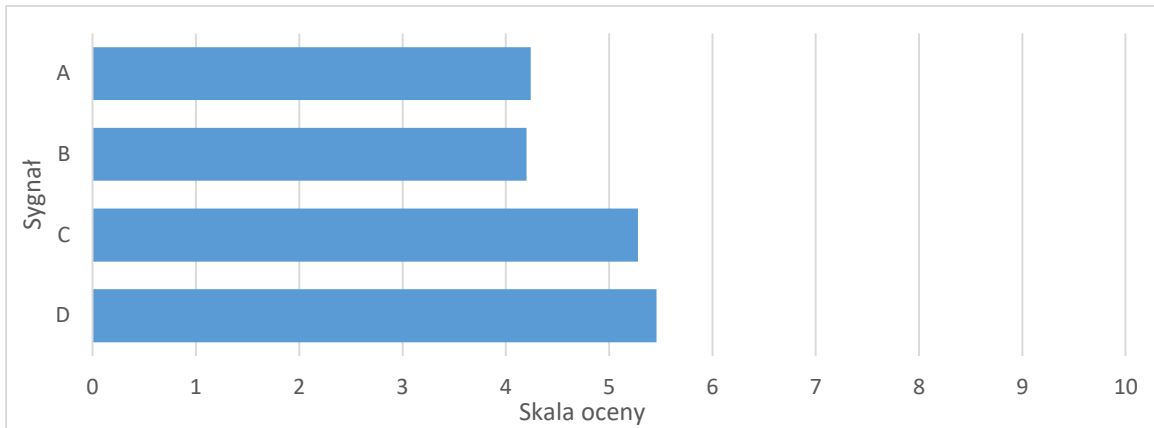
Rys. 4.2. Wyniki subiektywnej oceny jak bardzo wykonywane zadania były wymagające w badanych warunkach – wartości średnie, źródło: badania własne

Wyniki subiektywnej oceny głośności sygnału przedstawiono na rys. 4.3. Zaobserwowano dużą rozpiętość poszczególnych ocen (od 0 do 10 na skali oceny). Przeciętne wartości oceny wskazują natomiast na umiarkowaną głośność badanych sygnałów.



Rys. 4.3. Subiektywna ocena głośności sygnału – wartości średnie, źródło: badania własne

Wyniki subiektywnej oceny trudności wykonania zadania przedstawiono na rys. 4.4. Podobnie jak w przypadku oceny głośności sygnałów zaobserwowano dużą rozpiętość poszczególnych ocen (od 0 do 9 na skali oceny). Przeciętne wartości oceny wskazują natomiast na umiarkowaną trudność wykonania zadań.



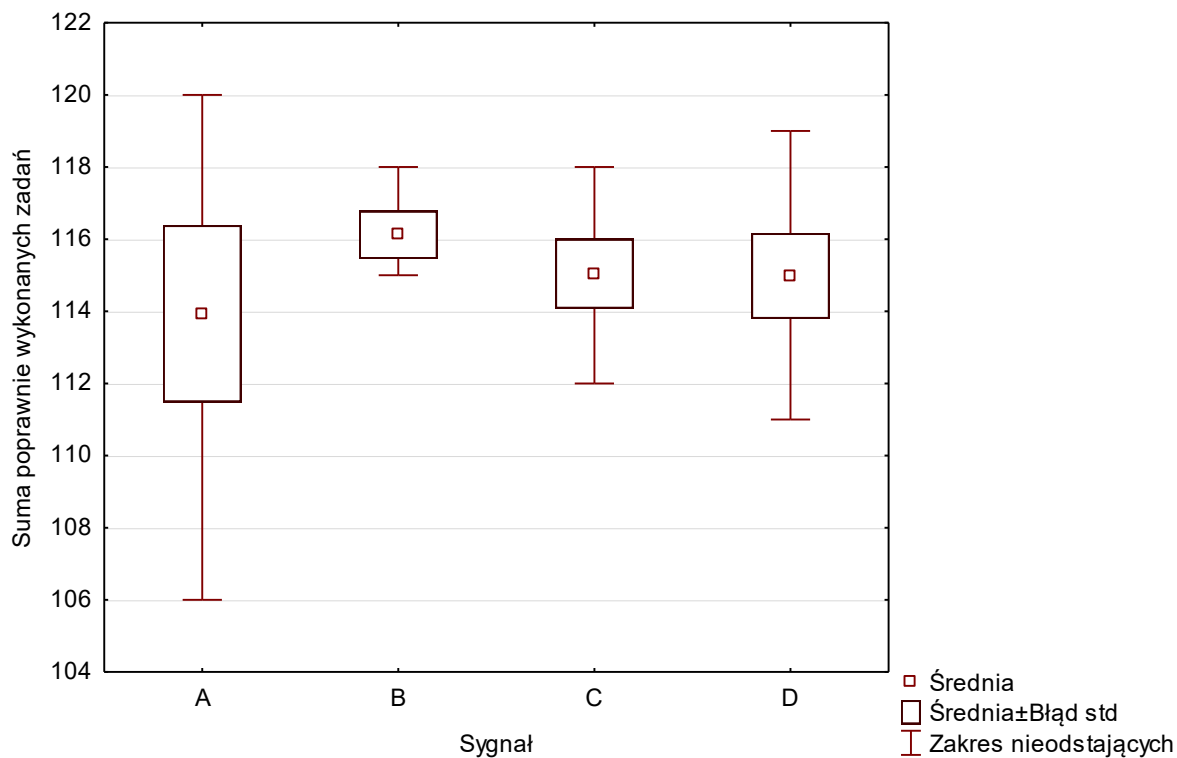
Rys. 4.4. Subiektywna ocena trudności wykonania zadania – wartości średnie, źródło: badania własne

W odniesieniu do testu DAUF omówiono wyniki sumy poprawnie i niepoprawnie wykonanych zadań oraz średni czas wykonania zadań.

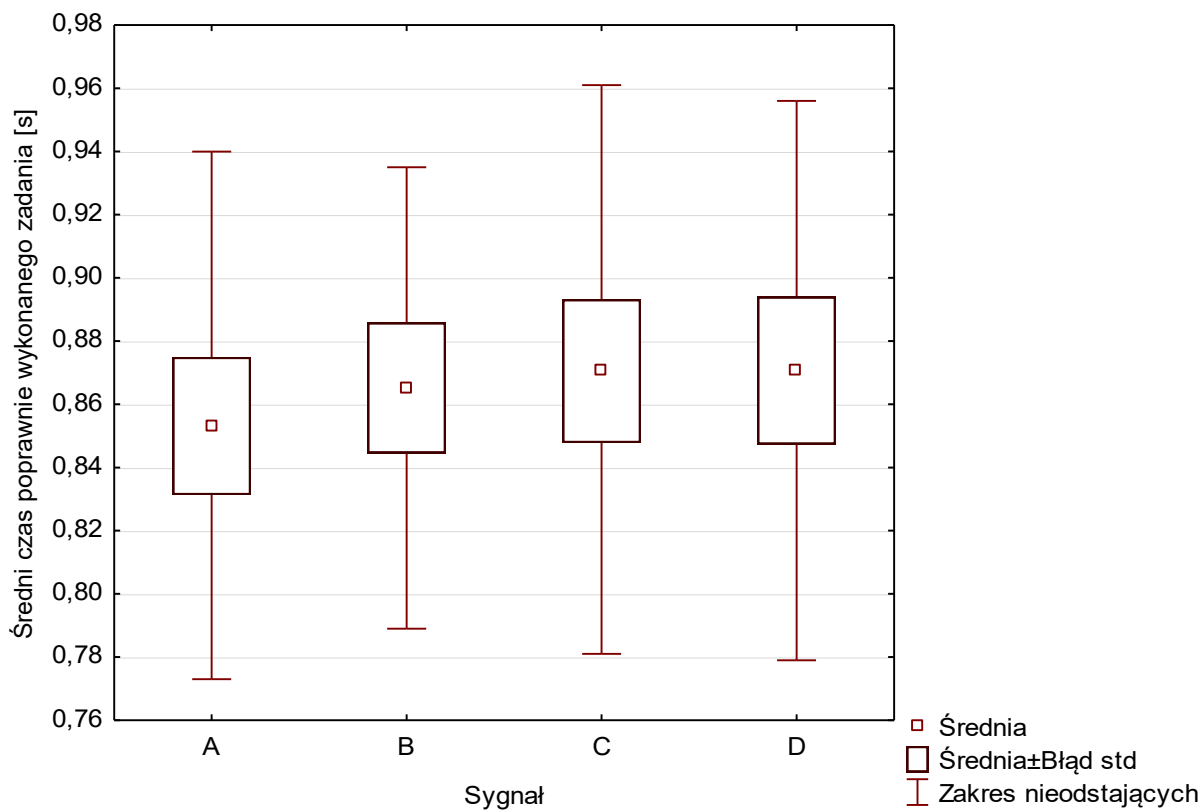
Wyniki sumy poprawnie wykonanych zadań w teście DAUF przedstawiono na rys. 4.5. Największą rozpiętość wyników zaobserwowano dla sygnału A (od 106 do 120 zadań). Średnie wartości dla poszczególnych sygnałów zawierały się w zakresie od 114 do 116 zadań.

Średni czas poprawnego wykonywania zadania w teście DAUF, który wynosił od ok. 0,6 do ok. 1,3 s, przedstawiono na rys. 4.6. Przeciętne wartości mieściły się w przedziale od 0,8 do 0,9 s dla poszczególnych sygnałów.

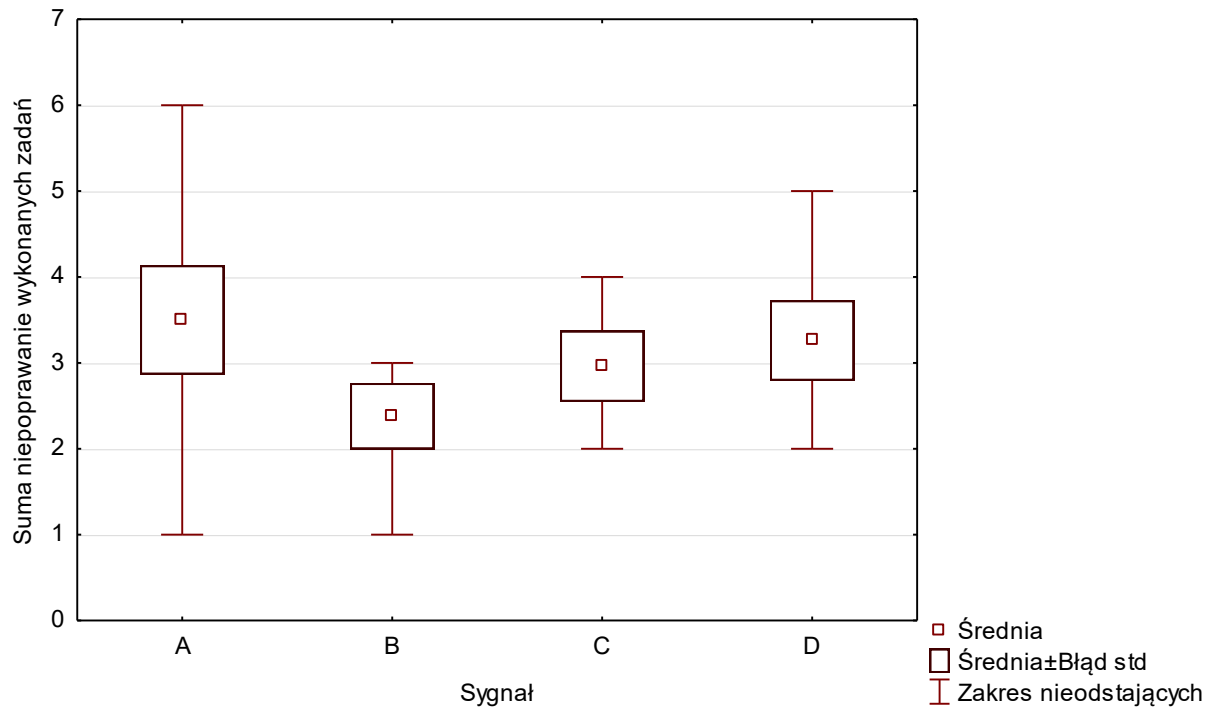
Wyniki sumy niepoprawnie wykonanych zadań w teście DAUF przedstawiono na rys. 4.7. Największą rozpiętość wyników zaobserwowano dla sygnału A (od 1 do 6 zadań). Średnie wartości dla poszczególnych sygnałów zawierały się w zakresie od 2 do 4 zadań.



Rys. 4.5. Wyniki testu ciągłości uwagi DAUF – suma poprawnie wykonanych zadań, źródło: badania własne



Rys. 4.6. Wyniki testu ciągłości uwagi DAUF – średni czas poprawnego wykonania zadania, źródło: badania własne



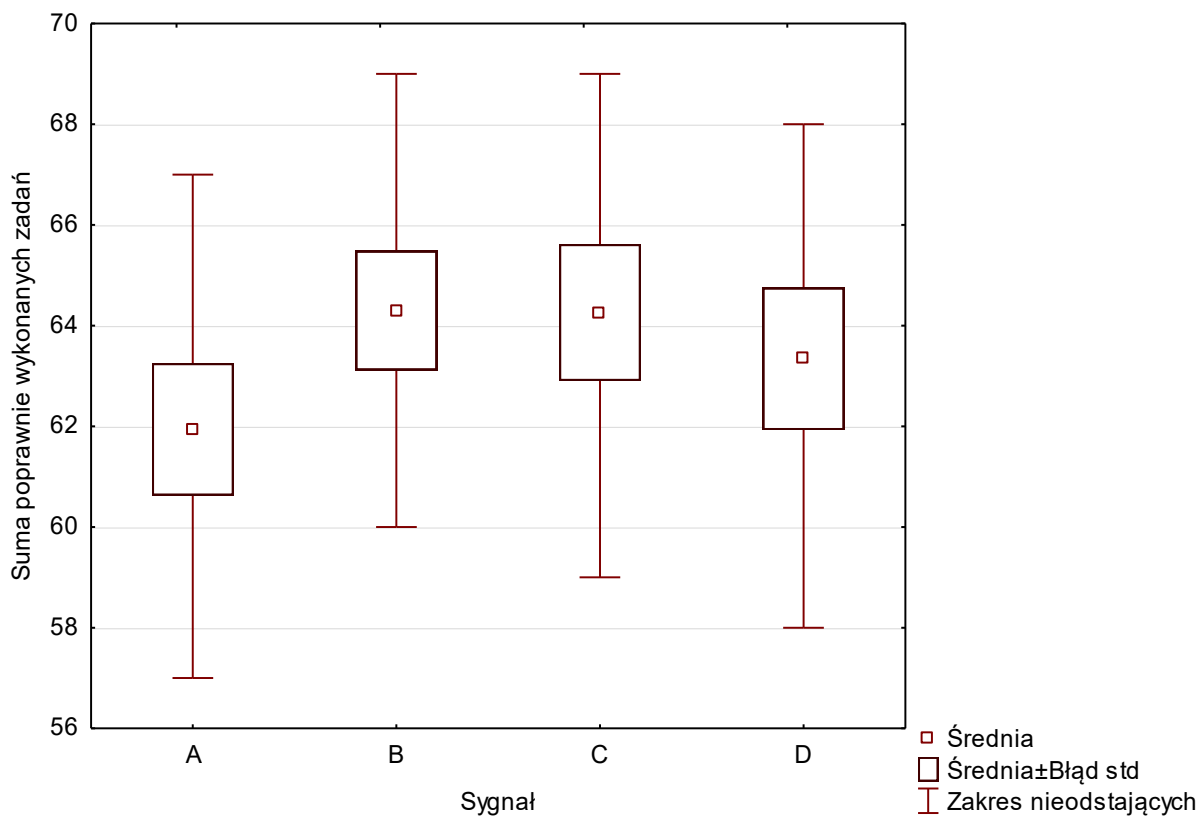
Rys. 4.7. Wyniki testu ciągłości uwagi DAUF – suma niepoprawnie wykonanych zadań, źródło: badania własne

Odnośnie do testu koncentracji i uwagi COG omówiono wyniki sumy poprawnie i niepoprawnie wykonanych zadań oraz średni czas poprawnie odrzuconych figur.

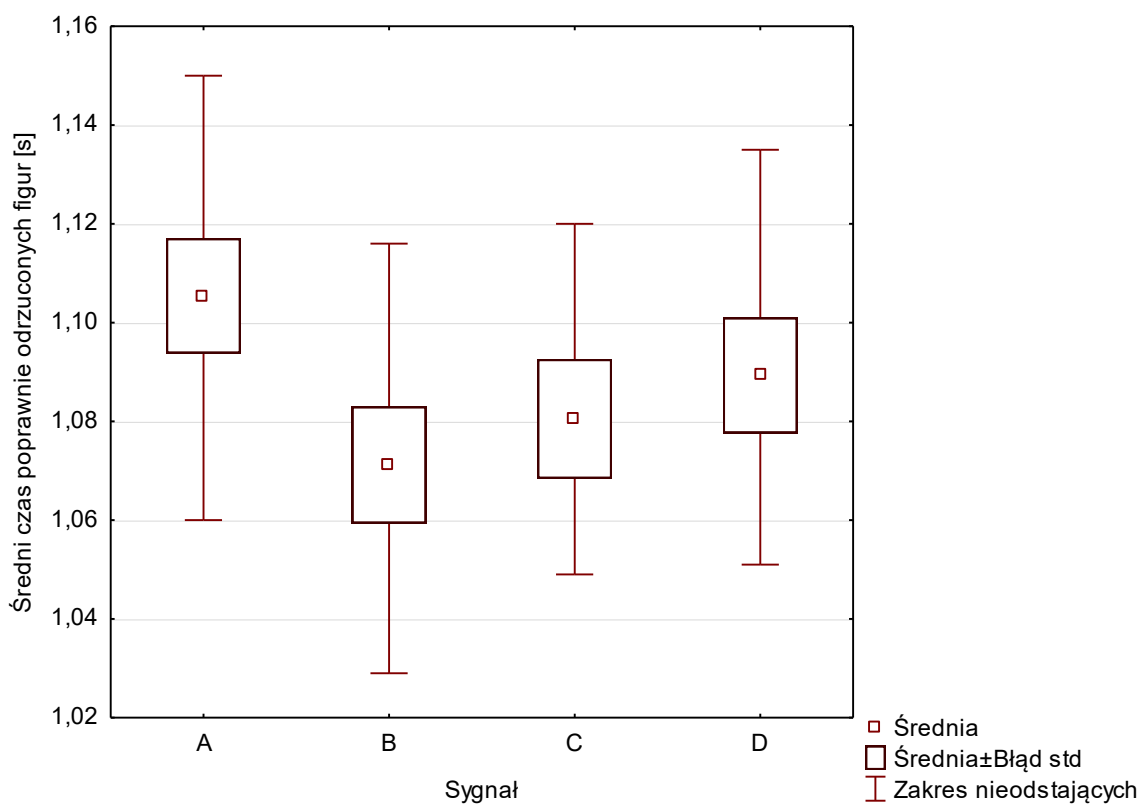
Wyniki sumy poprawnie wykonanych zadań w teście COG przedstawiono na rys. 4.8. Średnie wartości dla poszczególnych sygnałów zawierały się w zakresie od 57 do 69 zadań.

Średni czas poprawnego odrzucania figur w teście COG przedstawiono na rys. 4.9. Zakres uzyskiwanych średnich czasów wynosił od 1,03 do 1,15 s. Wartości średnie mieściły się w przedziale od 1,07 do 1,11 s dla poszczególnych sygnałów.

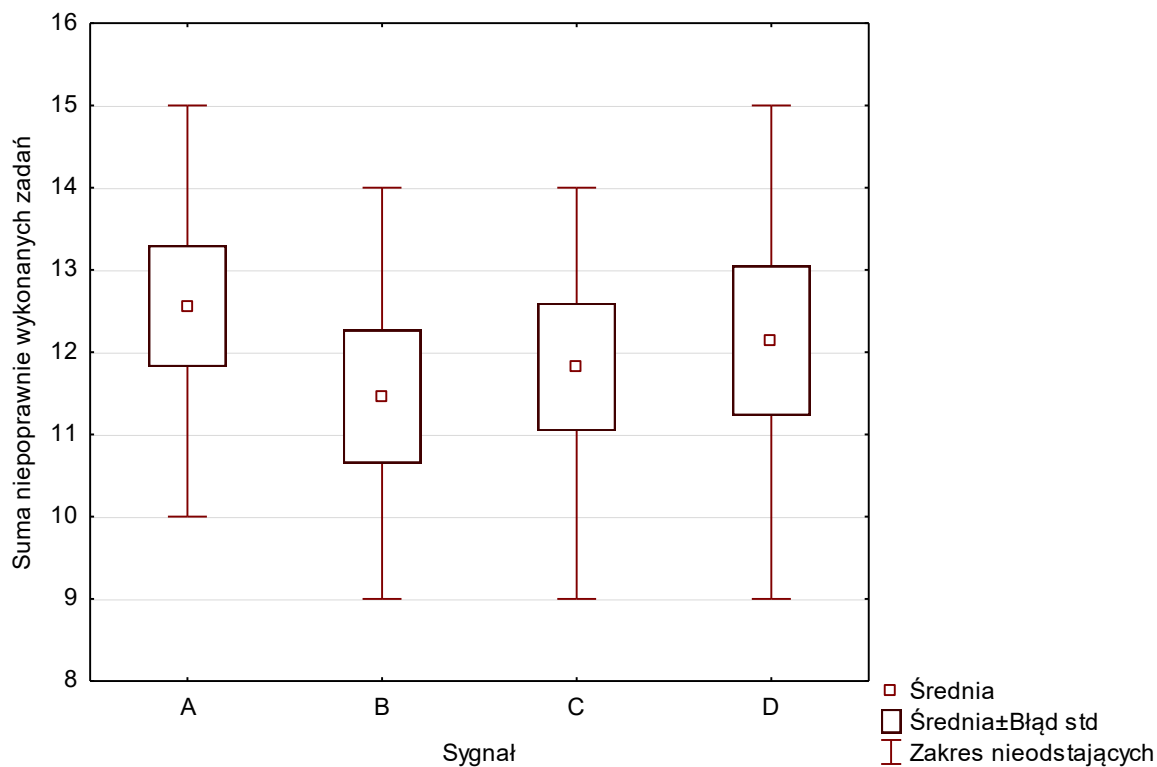
Wyniki sumy niepoprawnie wykonanych zadań w teście COG przedstawiono na rys. 4.10. Największą rozpiętość wyników zaobserwowano dla sygnału D (od 9 do 15 zadań). Wartości średnie dla poszczególnych sygnałów zawierały się w zakresie od 11 do 13 zadań.



Rys. 4.8. Wyniki testu uwagi i koncentracji COG – suma poprawnie wykonanych zadań, źródło: badania własne



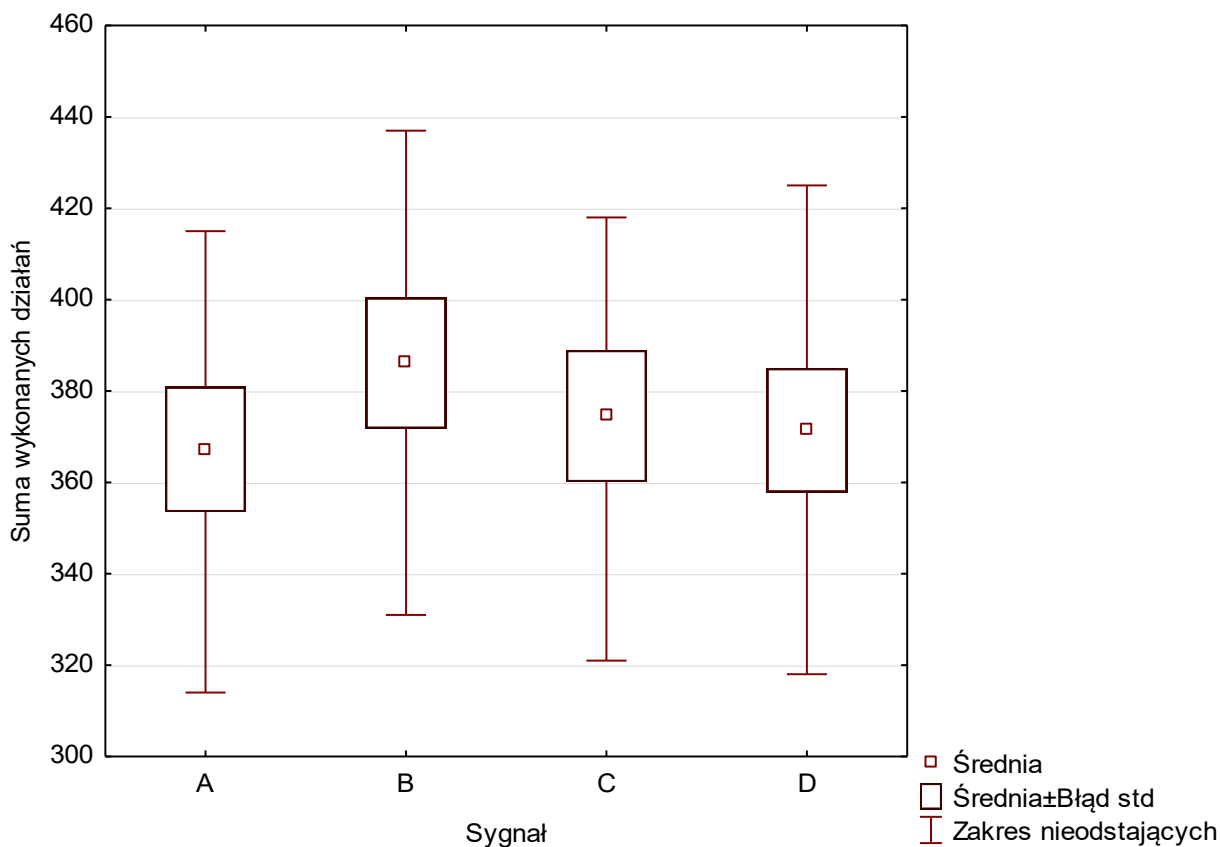
Rys. 4.9. Wyniki testu uwagi i koncentracji COG – średni czas poprawnie odrzuconych figur, źródło: badania własne



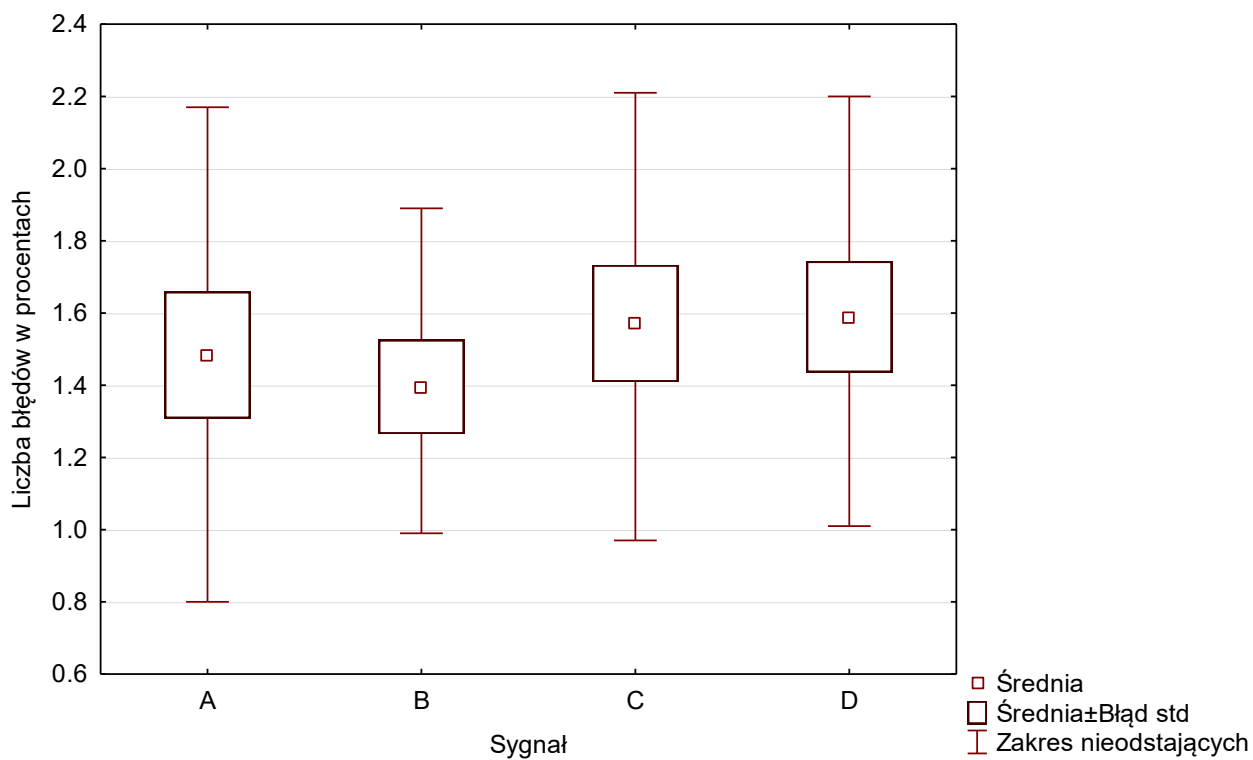
Rys. 4.10. Wyniki testu uwagi i koncentracji COG – suma niepoprawnie wykonanych zadań, źródło: badania własne

Wyniki testu wydajności pracy ALS przedstawiono na rys. 4.11 i 4.12. Zakres sumy wykonanych działań w teście ALS dla wszystkich sygnałów wynosił od 314 do 437. Przeciętne sumy kształtowały się na poziomie od 353 do 395 dla poszczególnych sygnałów.

Zakres liczby popełnionych błędów w teście dla wszystkich sygnałów wynosił od 0,8 do 2,2%. Przeciętna liczba błędów kształtowała się na poziomie od 1,4 do 1,6%.



Rys. 4.11. Wyniki testu wydajność pracy ALS – suma wykonanych działań, źródło: badania własne



Rys. 4.12. Wyniki testu wydajność pracy ALS – liczba błędów w procentach źródło: badania własne

5. Analiza statystyczna wyników badań

Przy wyborze testów statystycznych należy uwzględnić: charakter pomiarów, liczbę grup porównawczych, skalę pomiarową, założenia towarzyszące testom oraz liczebność próby. Do analizy wyników badań wykorzystano następujące testy statystyczne: test Shapiro-Wilka do oceny normalności rozkładu zmiennej, test Mauchly'a do sprawdzenia założenia sferyczności, test ANOVA dla grup zależnych (zmienne w skali interwałowej), jednoczynnikowa MANOVA (zmienne w skali interwałowej przy braku spełnionego założenia o sferyczności przedstawiono w tab. 5.1), oraz test ANOVA Friedmana (zmienne w skali porządkowej oraz zmienne przy braku spełnionego założenia o normalności rozkładu przedstawiono w tab. 5.2). Do analizy wykorzystano oprogramowanie Statistica 13 oraz PQStat 1.6.8. W analizie statystycznej przyjęto poziom istotności równy 0,05.

Tab. 5.1. Jednoczynnikowa MANOVA dla grup zależnych

Test	F	p
ALS Liczba wykonanych obliczeń	5,3	0,03

Wyniki analizy wariancji nie wykazały istotnego statystycznie zróżnicowania pomiędzy poszczególnymi sygnałami we wszystkich rozpatrywanych testach psychologicznych.

Tab. 5.2. Wyniki testu ANOVA Friedmana

Kwestionariusz/Test	Statystyka T1 Friedmana	p
Ocena uciążliwości sygnału (od 1 do 5)	20,85	0,0001
Ocena tego, jak bardzo wymagające były wykonywane zadania (od 0 do 10)	12,58	0,006
Ocena głośności sygnału (od 0 do 10)	21,97	0,00007
Ocena trudności wykonania zadania (od 0 do 10)	20,85	0,0001
ALS Procent błędów	3,94	0,27
COG Liczba poprawnych reakcji	6,52	0,09
COG Liczba błędnych reakcji	2,35	0,50
DAUF Liczba poprawnych reakcji	6,34	0,09
DAUF Liczba błędnych reakcji	6,89	0,07
DAUF Średni czas poprawnych reakcji (w sekundach)	4,92	0,18

*różnice istotne statystycznie z $p < 0,05$

Wyniki testu ANOVA Friedmana wykazały różnice istotne statystycznie pomiędzy poszczególnymi sygnałami dla wszystkich badań kwestionariuszowych. Analiza *post-hoc* Dunn-Bonferroni wykazała:

- różnice istotne statystycznie pomiędzy sygnałami A i D, B i C oraz C i D przy ocenie uciążliwości sygnałów;
- różnice istotne statystycznie pomiędzy sygnałami A i D, B i C oraz B i D przy ocenie głośności sygnału;
- różnice istotne statystycznie pomiędzy sygnałami A i C, A i D, B i C oraz B i D przy ocenie trudności wykonania zadania.

Wyniki badań poddano również analizie korelacyjnej. W trakcie jej przeprowadzania zbadano zależność między globalną wynikową wartością kwestionariusza wrażliwości na hałas a badaniami kwestionariuszowymi oraz testami psychologicznymi. Wyniki analizy wykazały zależności istotne statystycznie dla oceny uciążliwości sygnału (sygnały C i D), oceny głośności sygnału (sygnały A, C, i D) oraz oceny trudności wykonywanego zadania (sygnał C), co przedstawiono w tab. 5.3.

Tab. 5.3. Korelacje wewnątrzgrupowe wyników testów względem globalnej wynikowej wartości kwestionariusza wrażliwości na hałas

Test	Współczynnik korelacji			
	Sygnał A	Sygnał B	Sygnał C	Sygnał D
Ocena uciążliwości sygnału*	-0,21	-0,13	-0,29*	-0,33*
Ocena tego, jak bardzo wymagające były wykonywane zadania*	-0,04	-0,09	-0,10	-0,06
Ocena głośności sygnału*	-0,29*	-0,20	-0,46*	-0,37*
Ocena trudności wykonania* zadania	-0,27	-0,27	-0,36*	-0,27
ALS – suma wykonanych działań	0,11	0,11	0,21	0,22
ALS – liczba błędów wyrażona w procentach	0,07	-0,12	-0,17	0,05
COG – suma poprawnie wykonanych zadań	-0,19	-0,11	-0,23	-0,11
COG – suma niepoprawnie wykonanych zadań	-0,12	-0,08	-0,06	-0,05
COG – średni czas poprawnego odrzucenia figur	0,35*	0,27	-0,06	0,15
DAUF – suma poprawnie wykonanych zadań	0,13	-0,04	-0,16	-0,12
DAUF – średni czas poprawnego wykonania zadania	-0,03	-0,04	-0,13	0,06
DAUF – suma niepoprawnie wykonanych zadań	0,06	-0,01	-0,11	0,16

*Oznaczone współczynniki korelacji są istotne z $p < 0,05$

W trakcie przeprowadzania analizy zbadano również zależność między subiektywną oceną uciążliwości sygnałów a wynikami testów psychologicznych. Wyniki analizy wykazały zależności istotne statystycznie dla sumy wykonanych działań w teście ALS (sygnał C), liczby błędów wyrażonych w procentach w teście ALS (sygnał C), sumy poprawnie wykonanych zadań w teście COG (sygnał A i D), sumy niepoprawnie wykonanych zadań w teście COG (sygnał D) oraz sumy niepoprawnie wykonanych zadań w teście DAUF (sygnał D), co przedstawiono w tab. 5.4.

Tab. 5.4. Korelacje wewnątrzgrupowe wyników testów względem subiektywnej oceny uciążliwości sygnałów

Test	Współczynnik korelacji			
	Sygnał A	Sygnał B	Sygnał C	Sygnał D
ALS – suma wykonanych działań	0,06	-0,15	-0,29*	-0,11
ALS – liczba błędów wyrażona w procentach	0,04	-0,20	0,42*	-0,14
COG – suma poprawnie wykonanych zadań	0,29*	0,06	0,13	0,38*
COG – suma niepoprawnie wykonanych zadań	0,16	0,10	-0,14	-0,38*
COG – średni czas poprawnego odrzucenia figur	-0,01	-0,08	-0,11	-0,20
DAUF – suma poprawnie wykonanych zadań	0,11	0,08	-0,01	0,00
DAUF – średni czas poprawnego wykonania zadania	-0,01	0,20	0,11	-0,14
DAUF – suma niepoprawnie wykonanych zadań	-0,24	-0,01	-0,02	-0,38*

*Oznaczone współczynniki korelacji są istotne z $p < 0,05$

Ponadto zbadano zależność między subiektywną głośnością sygnałów a wynikami testów psychologicznych. Wyniki analizy wykazały zależności istotne statystycznie dla sumy wykonanych działań w teście ALS (sygnał C) oraz liczby błędów wyrażonych w procentach w teście ALS (sygnał C), co przedstawiono w tab. 5.5.

Tab. 5.5. Korelacje wewnątrzgrupowe wyników testów względem subiektywnej oceny głośności sygnałów

Test	Współczynnik korelacji			
	Sygnał A	Sygnał B	Sygnał C	Sygnał D
ALS – suma wykonanych działań	0,17	-0,14	-0,29*	-0,10
ALS – liczba błędów wyrażona w procentach	-0,15	-0,12	0,38*	0,00
COG – suma poprawnie wykonanych zadań	0,17	0,10	0,22	0,20
COG – suma niepoprawnie wykonanych zadań	0,08	-0,01	0,00	-0,16

COG – średni czas poprawnego odrzucenia figur	-0,13	-0,09	-0,13	-0,09
DAUF – suma poprawnie wykonanych zadań	0,02	0,02	-0,02	-0,04
DAUF – średni czas poprawnego wykonania zadania	0,13	0,07	0,18	-0,10
DAUF – suma niepoprawnie wykonanych zadań	0,00	-0,04	0,00	-0,25

*Oznaczone współczynniki korelacji są istotne z $p < 0,05$

Zbadano również zależność między subiektywną trudnością wykonywania zadania a wynikami testów psychologicznych. Wyniki analizy wykazały zależności istotne statystycznie dla sumy wykonanych działań w teście ALS (sygnał C) oraz liczby błędów wyrażonych w procentach w teście ALS (sygnał C), co przedstawiono w tab. 5.6.

Tab. 5.6. Korelacje wewnątrzgrupowe wyników testów względem subiektywnej trudności wykonywanego zadania

Test	Współczynnik korelacji			
	Sygnał A	Sygnał B	Sygnał C	Sygnał D
ALS – suma wykonanych działań	0,00	-0,16	-0,33*	-0,20
ALS – liczba błędów wyrażona w procentach	0,07	-0,01	0,49*	0,09
COG – suma poprawnie wykonanych zadań	0,12	0,06	0,11	0,10
COG – suma niepoprawnie wykonanych zadań	0,14	0,20	0,13	-0,09
COG – średni czas poprawnego odrzucenia figur	0,01	-0,14	-0,20	-0,02
DAUF – suma poprawnie wykonanych zadań	-0,02	0,14	-0,01	-0,06
DAUF – średni czas poprawnego wykonania zadania	0,25	0,16	0,22	-0,01
DAUF – suma niepoprawnie wykonanych zadań	0,00	0,08	0,09	-0,01

*Oznaczone współczynniki korelacji są istotne z $p < 0,05$

Podsumowanie

W przeprowadzonych w CIOP-PIB badaniach laboratoryjnych dotyczących uciążliwości hałasu tonalnego uczestniczyło 50 osób (25 mężczyzn oraz 25 kobiet) spełniających audiometryczne kryteria kwalifikacyjne ($HL < 20$ dB). Badana grupa różniła się pod względem wrażliwości na hałas, przy czym zdecydowana większość badanych to osoby umiarkowanie wrażliwe na hałas. Badane sygnały były oceniane w zakresie od lekko uciążliwych do ekstremalnie uciążliwych. Przeciętnie sygnały A i B

określano jako umiarkowanie uciążliwe, natomiast sygnały C i D jako bardzo uciążliwe. W przypadku pozostałych badań kwestionariuszowych na podstawie wartości median wskazano na umiarkowaną głośność sygnałów testowych oraz umiarkowaną trudność wykonania zadań. Wyniki badań wykazały, że najmniej uciążliwy był sygnał B, a najbardziej uciążliwe sygnały to C i D, co koreluje z wynikami innych badań nad uciążliwością hałasu tonalnego.

W teście ciągłości uwagi DAUF średnie wartości dla poszczególnych sygnałów zawierały się w zakresie od 114 do 116 poprawnie wykonanych zadań. Najwięcej poprawnie wykonanych zadań obserwowano dla sygnału B (ocenianego jako najmniej uciążliwy). Średni czas poprawnego wykonania zadania był najdłuższy dla sygnałów C i D (ocenianych jako najbardziej uciążliwe).

W teście uwagi i koncentracji COG średnie sumy wykonanych zadań dla poszczególnych sygnałów mieściły się w zakresie od 62 do 65. Najkrótszy średni czas poprawnego odrzucenia par figur zaobserwowano dla sygnału B (ocenianego jako najmniej uciążliwy). Również suma niepoprawnie wykonanych działań była najmniejsza dla sygnału B.

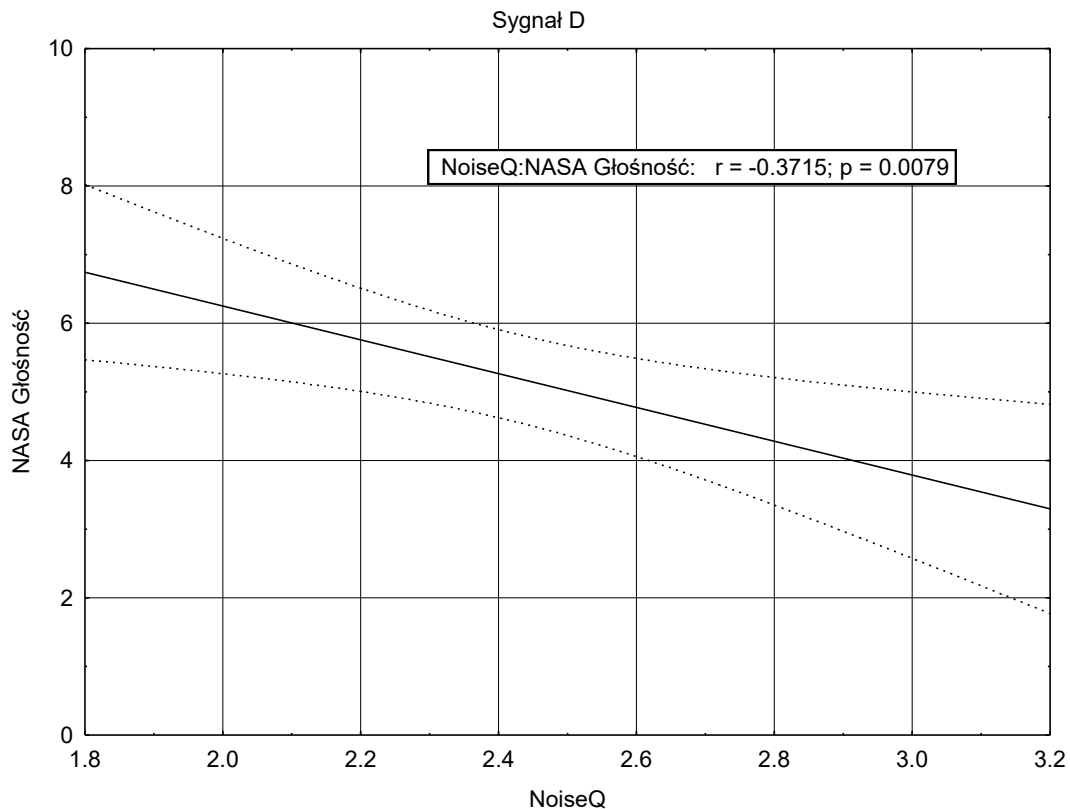
W teście wydajności pracy ALS różnice średnich liczb wykonanych działań między poszczególnymi sygnałami nie przekraczały 11%. Największą liczbę wykonanych zadań zaobserwowano dla sygnału B (ocenianego jako najmniej uciążliwy), a najmniejszą liczbę błędów popełnionych w teście ALS również zaobserwowano dla sygnału B.

Wyniki analizy statystycznej testów psychologicznych nie wykazały zróżnicowania istotnego statystycznie pomiędzy poszczególnymi sygnałami we wszystkich rozpatrywanych testach psychologicznych. A wyniki analizy statystycznej badań kwestionariuszowych wskazały na różnice istotne statystycznie pomiędzy poszczególnymi sygnałami dla wszystkich badań kwestionariuszowych.

Wyniki badań poddano również analizie korelacyjnej, która wykazała zależności istotne statystycznie dla sumy wykonanych działań w teście ALS (sygnał C), procentowej liczby błędów w teście ALS (sygnał C) oraz sumy poprawnie wykonanych zadań w teście COG (sygnał D).

Im bardziej sygnał C był uciążliwy dla badanych osób, tym mniej działań wykonywały oraz popełniały więcej błędów w teście ALS. Wyniki analizy wykazały zależności istotne statystycznie dla sumy wykonanych działań w teście ALS (sygnał C), procentowej liczby błędów w teście ALS (sygnał C). Im bardziej sygnał C był uciążliwy dla badanych osób, tym mniej działań wykonywały oraz popełniały więcej błędów w teście ALS. Podobne zależności zaobserwowano dla badań kwestionariuszowych oceniających głośność sygnałów oraz trudność wykonywanego zadania.

Z jednej strony wyniki badań wskazują na znaczną subiektywną uciążliwość badanych sygnałów, z drugiej strony wyniki obiektywnych testów psychologicznych nie świadczą jednoznacznie o pogorszeniu się wydajności pracy. Subiektywne wyniki dotyczące uciążliwości, w szczególności średnio- i wysokoczęstotliwościowych składowych tonalnych, są skorelowane z globalną wynikową wartością kwestionariusza wrażliwości na hałas, co przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wyniki testu wydajność pracy ALS – suma wykonanych działań, źródło: opracowanie własne

Jedną z możliwości ustanowienia kryterium uciążliwości ze względu na hałas tonalny jest wprowadzenie poprawek do zmierzonych poziomów ciśnienia akustycznego. Zgodnie z przepisami obowiązującymi w Niemczech do zmierzonego poziomu dźwięku A dodaje się poprawkę zależną od subiektywnego odczucia pracownika dotyczącego uciążliwości hałasu. Przepisy te jednak są dość ogólne i nie precyzują sposobu przeprowadzenia subiektywnej oceny. Poprawkę dotyczącą uciążliwości ze względu na hałas tonalny można uzależnić od wynikowej globalnej wartości kwestionariusza wrażliwości na hałas, co może zostać potraktowane jako dodatkowe narzędzie do oceny stanowiska pracy.

Aby obiektywnie ocenić, czy hałas tonalny występuje w środowisku pracy, należy przeprowadzić dodatkowe pomiary:

- a) widma hałasu w pasmach 1/3 oktawowych (metoda orientacyjna) – obecność tonów w hałasie jest określana przez porównanie poziomów ciśnienia akustycznego z sąsiadujących pasm 1/3 oktawowych. Kryteria decydujące o tonalności są następujące: 15 dB różnicy poziomów dla niskich częstotliwości (od 25 do 125 Hz), 8 dB dla częstotliwości w zakresie od 160 do 400 Hz i 5 dB dla częstotliwości od 500 do 10 000 Hz;
- b) przeprowadzić analizę FFT (metoda techniczna) zgodnie z ISO/PAS 20065 (parametr ΔL) lub ECMA-74 (parametry TNR i PR) – jest wymagana oddzielna analiza każdego tonu w hałasie z wieloma składowymi tonalnymi. Pasma krytyczne, które zawiera najbardziej dominujący ton lub tony, jest nadrzędne. Powyższa metoda ma zastosowanie zarówno dla tonów o charakterze ustalonym, jak i zmiennym. Można ją również stosować dla wąskopasmowego szumu oraz tonów o niskich częstotliwościach.

Wyniki badań, przeprowadzonych w ramach zadania, wskazują, że różnice w odczuwaniu uciążliwości w kontekście pracy umysłowej między hałasem szerokopasmowym a hałasem tonalnym nie są aż tak duże, aby było uzasadnione stosowanie poprawki określonej np. w ISO 1996-2:2017 [5]. Poprawka ta w zależności od parametru tonalności może sięgać nawet 6 dB. Ze względu na odczuwane zmiany głośności hałasu oraz przedstawione w sprawozdaniu wyniki badań proponuje się przyjąć maksymalną poprawkę wynoszącą 3 dB, przy założeniu że tony są znaczące w widmie (np. parametr ΔL (*audibility*) > 2 dB).

Bibliografia

1. ANSI/ASA S12.10 PART 1 AMERICAN NATIONAL STANDARD Acoustics – Measurement of Airborne Noise Emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment – Part 1: Determination of Sound Power Level and Emission Sound Pressure Level.
2. BROCOLINI, L. et al., Prediction and explanation of sound quality indicators by multiple linear regressions and artificial neural networks, Acoustics 2012 Nantes. Nantes, France: (2012): 2127–2132.
3. EBISOU, A., CHEVRET P., PARIZET E., Work performance and mental workload in multiple talker environments. International Congress on Acoustics 2013, 2013, Montréal, Canada. 4pNSa8, 2013.

4. GRJMALDI, J.V., Sensori-Motor Performance under Varying Noise Conditions, *Ergonomics*, 2.1 (1958): 34–43.
5. ISO, ISO 1996-2:2017 Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of sound pressure levels, 2017.
6. ISO, ISO/TS 15666:2003 Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys, 2003.
7. JOB SOAMES, R.F., Noise Sensitivity as a factor influencing human reaction to noise, *Noise & Health*, 1.3 (1999): 57–68.
8. KHAN, M.S., JOHANSSON Ö., SUNDBÄCK U., Evaluation of annoyance response to engine sounds using different rating methods, International Congress on Noise Control Engineering, St Albans: Institute of Acoustics, 1996, 2517–2520.
9. KROESEN, M., Molin E.J.E., Measuring subjective response to aircraft noise: the effects of survey context, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133.1 (2013): 238–46.
10. LAIRD, D.A., The influence of noise on production and fatigue, as related to pitch, sensation level, and steadiness of the noise, *Journal of Applied Psychology*, 17.3 (1933): 320–330.
11. LEE, J., The effects of tones in noise on human annoyance and performance, *Architectural Engineering – Dissertations and Student Research*, 39 (2016).
12. LEE, K.H., DAVIES, P., SURPRENANT, A.M., Quantification of the tonal prominence of complex tones in machinery noise, INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, NoiseCon04, Baltimore MD: Institute of Noise Control Engineering, 2004, 169–174.
13. LEE, K.H., DAVIES, P., SURPRENANT, A.M., Tonal strength of harmonic complex tones in machinery noise, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 118.3 (2005): 1921–1921.
14. MARQUIS-FAVRE C., PREMAT E., AUBRÉE D., Noise and its effects – a review on qualitative aspects of sound. Part II: Noise and annoyance, *Acta Acustica United with Acustica*, 91.4 (2005): 626–642.
15. MORE, S., DAVIES, P., Human responses to the tonalness of aircraft noise, *Noise Control Engineering Journal*, 58.4 (2010): 420–440.
16. PALMER, K.G., Wind turbine annoyance – a clue from acoustic room modes, <http://wndfo.net/D4196> [dostęp: 25.07.2018].
17. PEDERSEN, T.H., The „Genlyd” noise annoyance model. Dose-response relationships modelled by logistic functions, Journal No. AV 1102/07, DELTA Danish Electronics, Light & Acoustics, Hørsholm, Denmark, 2007.
18. PKN, PN-N-01307:1994 Hałas – Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów, 1994.
19. PKN, PN-ISO 9612:2004 Akustyka – Wytyczne do pomiarów i oceny ekspozycji na hałas w środowisku pracy, 2004.
20. PLEBAN, D., Definition and measure of the sound quality of the machine, *Archives of Acoustics*, 39.1 (2014): 17–23.

21. RADOSZ J., Pilot study on the influence of tonal noise annoyance on work performance, Proceedings of 25th International Congress on Sound and Vibration, 8–12 July, Hiroshima, Japan.
22. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne (Dz.U. 2005 nr 157, poz. 1318).
23. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286).
24. RYHERD, E.E., WANG, L.M, Implications of human performance and perception under tonal noise conditions on indoor noise criteria, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124.1 (2008): 218–226.
25. SAEKI, T. et al., Effects of acoustical noise on annoyance, performance and fatigue during mental memory task, *Applied Acoustics*, 65.9 (2004): 913–921.
26. SAILER, U., HASSENZAHN M., Assessing noise annoyance. An improvement-oriented approach, *Ergonomics*, 43.11 (2000): 1920–1938.
27. SCHUTTE, M. et al., The development of the noise sensitivity questionnaire, *Noise and Health*, 9.34 (2007): 15–24.
28. SMAGOWSKA, B., PAWLACZYK-ŁUSZCZYŃSKA, M., Effects of action of ultrasonic noise on the human body – a bibliographic review, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, 19.2 (2013): 195–202.
29. SOTTEK, R., Progress in calculating tonality of technical sounds, INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Vol. 249. No. 4, Melbourne: Institute of Noise Control Engineering, 2014.
30. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe, 2011.
31. YANAGISAWA, HIDEYOSHI, SHUNSUKE YOKOO, and TAMOTSU MURAKAMI. Effect of Tonal Harmonic Feature in Product Noise on Emotional Quality. Improving Complex Systems Today. London: Springer, (2011): 469–476.