

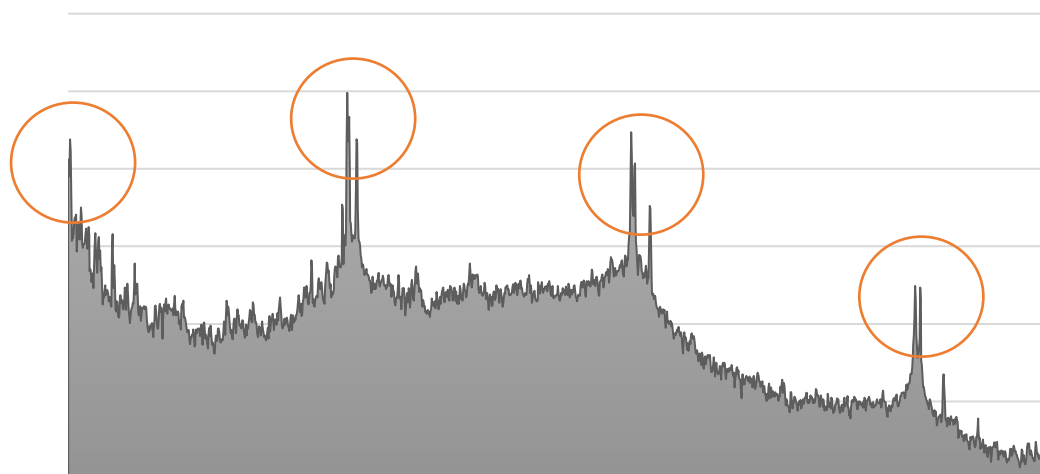
# **MATERIAŁY INFORMACYJNE DOT. UCIAŹLIWOŚCI HAŁASU TONALNEGO ZE WZGLĘDU NA MOŻLIWOŚĆ REALIZACJI PRZEZ PRACOWNIKA JEGO PODSTAWOWYCH ZADAŃ**

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

dr inż. JAN RADOSZ

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych NA



## Spis treści

1. Wstęp .....	3
2. Wartości dopuszczalne hałasu w środowisku pracy .....	3
3. Czynniki wpływające na odczuwaną uciążliwość hałasu .....	4
4. Parametry akustyczne do oceny hałasu tonalnego .....	5
5. Wpływ hałasu na realizację zadań przez pracownika .....	11
6. Analiza statystyczna wyników badań .....	20
7. Podsumowanie .....	23

## 1. Wstęp

Hałas to każdy niepożądany dźwięk, który może być albo uciążliwy, albo szkodliwy dla zdrowia lub zwiększać ryzyko wypadku przy pracy [1]. Hałas, poza oddziaływaniem na narząd słuchu, jako stresor może przyczyniać się do rozwoju różnego typu chorób, powodować rozproszenie uwagi, utrudniać pracę i zmniejszać jej wydajność [2]. Zgodnie z definicją ISO/TS 15666 [3] uciążliwość wynikająca z ekspozycji na hałas, jest indywidualną, niekorzystną reakcją osoby, wpływającą na niezadowolenie, niepokój, zirytowanie, zakłócenie spokoju. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) wiąże uciążliwość hałasu z niekorzystnym wpływem na zdrowie i definiuje ją jako doświadczenie wielu różnych reakcji, takich jak gniew, rozczarowanie, niezadowolenie, wycofanie, bezradność, depresja, lęki, rozproszenie uwagi, wyczerpanie [4]. Najistotniej powiązaną z percepcją uciążliwości charakterystyką hałasu jest głośność. Do jej oceny powszechnie stosuje się parametry związane z poziomem ciśnienia akustycznego, niemniej jednak liczne badania wskazują, że za pomocą tych parametrów – ze względu na inne charakterystyki akustyczne oraz czynniki pozaakustyczne – można przewidzieć jedynie niewielką część percepcji uciążliwości [5]. Inne dane literaturowe jednoznacznie wskazują, że tonalność hałasu jest jedną z ważniejszych pozostałych charakterystyk hałasu, które należy rozpatrywać oceniając uciążliwość [6].

Hałas tonalny można zdefiniować jako taki, w którego widmie występują tonalne składowe częstotliwościowe. W środowisku pracy dźwięki tonalne mogą emitować urządzenia biurowe – komputery, drukarki, sprzęt telekomunikacyjny oraz elementy wyposażenia technicznego budynku (wentylacja, klimatyzacja) [8]. Na rynku krajowym, urządzenia te występują powszechnie na kilkuset tysiącach stanowisk pracy: w pomieszczeniach administracyjnych, biurach projektowych, czy w pracy związanej z opracowywaniem danych itp. Hałas tonalny może również występować na stanowiskach pracy w obiektach znajdujących się w pobliżu elektrowni wiatrowych [9].

## 2. Wartości dopuszczalne hałasu w środowisku pracy

Niezależnie od charakteru hałasu 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 [10] hałas w środowisku pracy określa się przez: poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego lub tygodniowego wymiaru czasu pracy, maksymalny poziom dźwięku A oraz szczytowy poziom dźwięku C. W celu uwzględnienia pozasłuchowych skutków oddziaływania hałasu i wynikającej

z nich uciążliwości, należy odnieść się do dopuszczalnych wartości hałasu ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań, podanych w PN-N-01307:1994 [11] (Tabela 1). Niemniej jednak przedstawione powyżej wartości dopuszczalne odnoszą się jedynie do poziomów ciśnienia akustycznego i nie obejmują innych charakterystyk dźwięku, w tym tonalności.

Tabela 1. Dopuszczalne wartości hałasu ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań wg PN-N-01307:1994 [11]

L.p.	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

### 3. Czynniki wpływające na odczuwaną uciążliwość hałasu

Charakterystykę dźwięku uzyskujemy poprzez fizyczny pomiar określonego parametru. W badaniach uciążliwości 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* [12]). Wykazano jednak, że charakterystyka ta, stosowana samodzielnie, przewiduje jedynie niewielką część percepcji uciążliwości – najwyżej 30% [5]. Na odczuwanie uciążliwości hałasu mają również wpływ przede wszystkim tonalność i impulsowość dźwięku. W licznych badaniach wykazano, że te dwie dodatkowe charakterystyki należy uwzględniać w ocenie uciążliwości hałasu [13, 14, 15]. W szczególności zwrócono uwagę na tonalność w obszarze wyposażenia biurowego,

urządzeń wentylacji i klimatyzacji oraz turbin wiatrowych [16, 17]. Niektóre wyniki badań wskazują również na potrzebę uwzględniania w ocenie uciążliwości składowych harmonicznym [18, 19]. Nie zaproponowano jednak sposobu parametryzacji tych składowych oraz metody uwzględniania ich w ocenie.

Istnieje wiele czynników wpływających na odczuwaną uciążliwość hałasu nie związanych z charakterystyką dźwięku. Można je podzielić na dwie grupy: kontekst badań uciążliwości hałasu oraz cechy osobiste osób uczestniczących w tych badaniach. Pendersen do pierwszej grupy zaklasyfikował porę dnia, miejsce badań oraz wykonywania zadania podczas badania [20]. Wskazał również, że wyniki badań laboratoryjnych nie będą identyczne z wynikami badań w warunkach rzeczywistych ze względu na kontrolowane środowisko badawcze. Kroesen natomiast wykazał, że na wyniki w badaniach uciążliwości może mieć wpływ kontekst ankiety – na ocenę uciążliwości źródła hałasu miały wpływ poprzednie pytania zawarte w ankiecie [21]. 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, doświadczenia dnia codziennego. Spośród tych czynników w badaniach uciążliwości najczęściej uwagi przywiązuje się do wrażliwości na hałas [22], dla której opracowano kilka skala oceny w tym m.in. skalę Shuttea [23].

## **4. Parametry akustyczne do oceny hałasu tonalnego**

### Widmo w pasmach 1/3 oktawowych

Jedną z najprostszych metod zaproponowanych do określania tonalności hałasu polega na pomiarze poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3 oktawowych wg ISO 1996-2:2017 (metoda orientacyjna). Obecność tonów w hałasie jest określana poprzez porównanie poziomów ciśnienia akustycznego z sąsiadującymi pasmami 1/3 oktawowych. Kryteria decydujące o tonalności są następujące: 15 dB różnicy poziomów dla niskich częstotliwości (od 25 Hz do 125 Hz), 8 dB dla częstotliwości w zakresie od 160 Hz do 400 Hz i 5 dB dla częstotliwości od 500 Hz do 10 000 Hz. Metoda ta może jednak nie wykrywać składowych tonalnych, zwłaszcza gdy są one zlokalizowane przy częstotliwościach granicznych filtrów.

W normie PN-ISO 9612:2004 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 tabeli 1. Jednak nie przedstawiono metody wyznaczania poprawki. Podano jedynie, że w praktyce tylko w niektórych przypadkach można wykryć dominujące tony stosując analizę 1/3 oktawową i 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 dB do 6 dB. Jeżeli składowe tonalne są wyczuwalne dla obserwatora i/lub wykrywalne z zastosowaniem analizy wąskopasmowej, właściwa wartość poprawki wynosi od 2 dB do 3 dB. Aby uzupełnić braki w ww. podejściach, do określania tonalności opracowano kilka innych metod określania tonalności, które omówiono poniżej.

#### Stosunek tonu od 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)  $\Delta L_T$  i wskaźnik wydatności (Prominence Ratio, PR)  $\Delta L_p$ . Parametry te umożliwiają identyfikację tonów pomiędzy 89,1 Hz 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.

TNR ( $\Delta L_T$ ) 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:

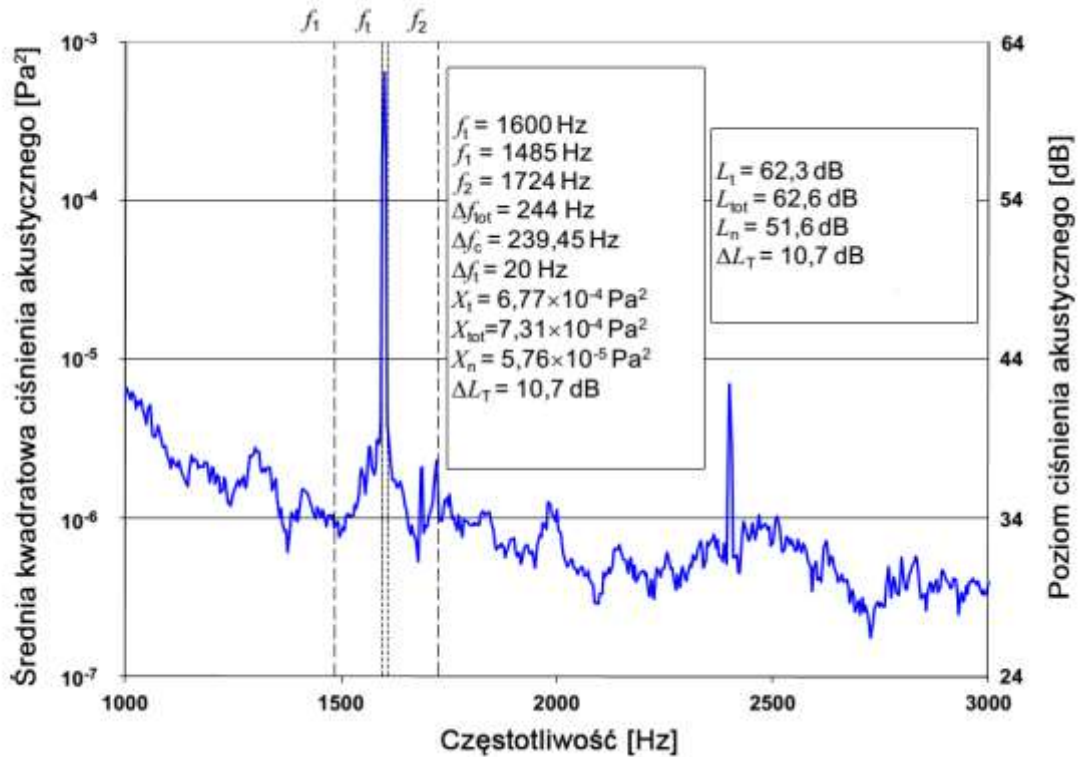
$$\Delta L_T = 10 \log \frac{X_t}{X_n} \quad (1)$$

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 stosunek tonu do szumu  $\Delta L_T$  przedstawiono na Rys. 4-1.



Rys. 4-1. Przykładowe widm hałasu tonalnego wraz z wyznaczonym parametrem stosunek tonu do szumu  $\Delta L_T$

Tony są uważane za znaczące, jeśli TNR jest większy niż 8 dB dla częstotliwości powyżej 1 kHz (Rys. 4-3). 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.

PR to różnica między poziomem ciśnienia akustycznego pasma krytycznego o częstotliwości środkowej danego tonu a uśrednionym poziomem ciśnienia akustycznego dwóch sąsiednich pasm krytycznych. Koncepcja PR jest zbliżona do analizy w pasmach 1/3 oktaowych (patrz 2.1), z tą różnicą, że pasma 1/3 oktaowe zastępowane są przez pasma krytyczne. 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:

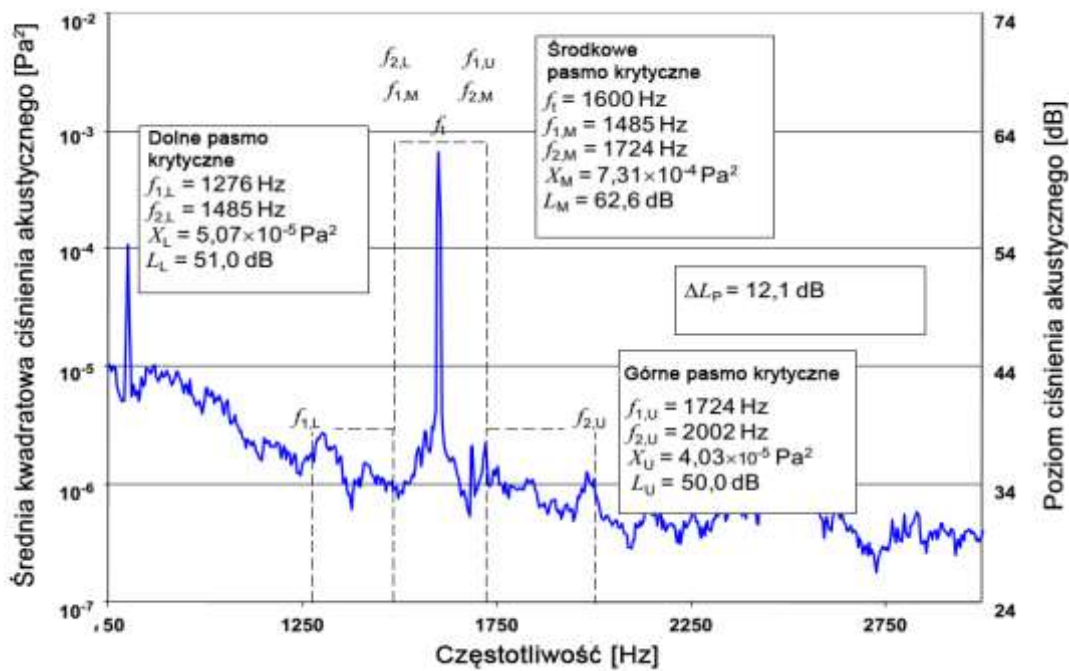
$X_M$  – średnia kwadratowa ciśnienia akustycznego dla pasma krytycznego o częstotliwości środkowej tonu,

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

$\Delta f_L$  – szerokość dolnego pasma częstotliwości,

$f_t$  – częstotliwość rozpatrywanego tonu.

Przykładowe widmo hałasu tonalnego wraz z wyznaczonym wskaźnikiem wydajności  $\Delta L_p$  przedstawiono na Rys. 4-2.



Rys. 4-2. Przykładowe widmo hałasu tonalnego wraz z wyznaczonym wskaźnikiem wydajności  $\Delta L_p$

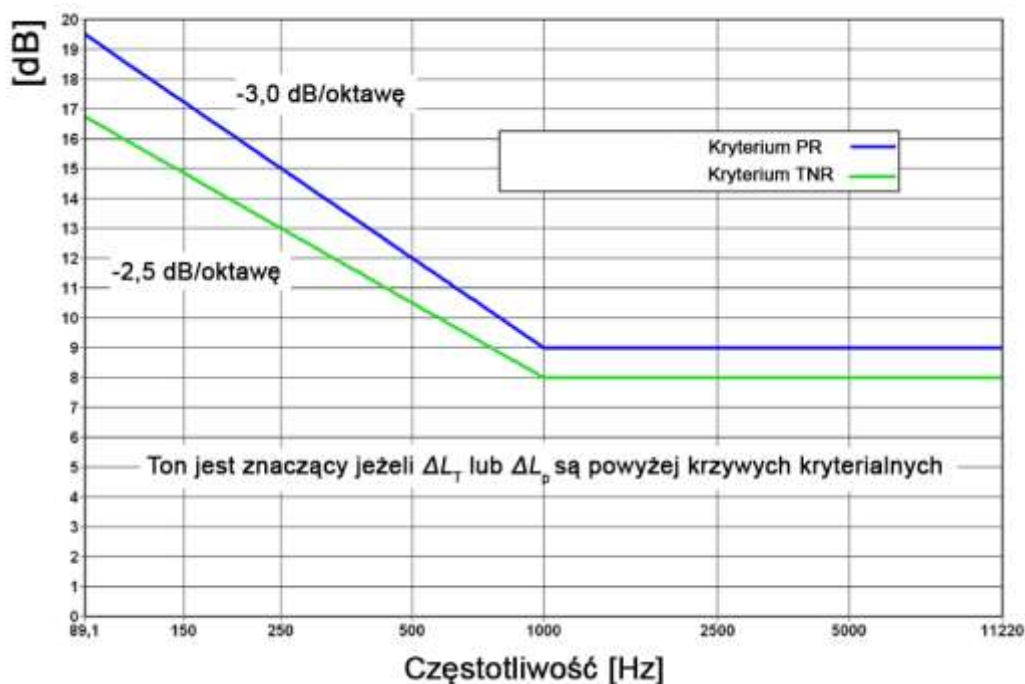
Tony można uznać za znaczące, jeśli PR jest większy niż 9 dB dla częstotliwości powyżej 1 kHz (Rys. 4-3). Dla niższych częstotliwości kryterium wskazujące, że tony można uznać za znaczące wyznacza się wg zależności:



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

gdzie:

$f_t$  – częstotliwość rozpatrywanego tonu.



Rys. 4-3. Krzywe kryterialne dla TNR oraz PR

Za pomocą TNR i PR tony rozpatruje się niezależnie, jeżeli tony te w widmie hałasu nie są zbyt blisko siebie. Zgodnie z ANSI/ASA S12.10/Part 1, TNR może być bardziej odpowiedni dla wielu tonów znajdujących się w sąsiednich pasmach krytycznych, podczas gdy PR 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 obecne są harmoniczne.

### Słyszalność (audibility)

Słyszalność  $\Delta L$  jest parametrem do oceny tonalności hałasu w środowisku metodą techniczną (ISO 1996-2). 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 FFT). Rozdzielczość widma powinna znajdować w zakresie 1,9 Hz – 4 Hz. Przy analizie FFT konieczne jest stosowanie okna Hanninga. Słyszalność  $\Delta L$  wyznacza się z zależności:

$$\Delta L = L_T - L_G - a_v$$

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:

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

$f_c$  – częstotliwość środkowa pasma krytycznego.

Bazując na wyznaczonych wartościach słyszalności tonalnej przewidziano poprawkę  $K_T$  w zakresie od 0 dB do 6 dB (Tab. 4-1), stosowaną do zmierzonych równoważnych poziomów dźwięku A ( $L_{Aeq}$ ). Wymagana jest oddzielna analiza każdego tonu w hałasie z wieloma składowymi tonalnymi. Pasma krytyczne, które zawiera najbardziej dominujący ton lub tony (największe wartości  $\Delta L$ ), 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. 4-1. Wartości poprawki tonalnej  $K_T$  w zależności od wartości uśrednionej słyszalności  $\Delta L$

Uśredniona słyszalność $\Delta L$ [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.

## **5. Wpływ hałasu na realizację zadań przez pracownika**

W dotychczasowych badaniach ekspozycji człowieka na różne sygnały dźwiękowe wykorzystywano szeroki zakres zadań poznawczych: zapamiętywanie kolejności liczb, zapamiętywanie słów, krzyżówki, znajdowanie błędów w tekście, jednoczesne wykonywanie wielu zadań, kompleksowe zadania obejmujące pisanie, rozumienie tekstu oraz testy matematyczne [24, 25]. Mimo że część wyników badań wskazuje na wpływ tonalności hałasu na wykonywane zadania, uogólnienie wniosków jest mocno ograniczone, głównie ze względu na różne rodzaje źródeł hałasu i ich poziomy. Co więcej, wyniki badań na ww. temat bywają ze sobą sprzeczne. Laird wykazał np., że tony złożone zwiększają liczbę błędów w eksperymentach laboratoryjnych [26]. 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 2400 Hz – 4800 Hz [27]. Z kolei Ryherd i Wang, badając wpływ sześciu różnych hałasów tła w powiązaniu z odpowiednimi poziomami tonów, nie wykazali zależności istotnych statystycznie między poprawnością zadań a tonalnością hałasu [28]. Niemniej jednak, na podstawie obserwowanych tendencji, zalecali w przyszłych badaniach zwiększenie zakresu badanych sygnałów tonalnych.

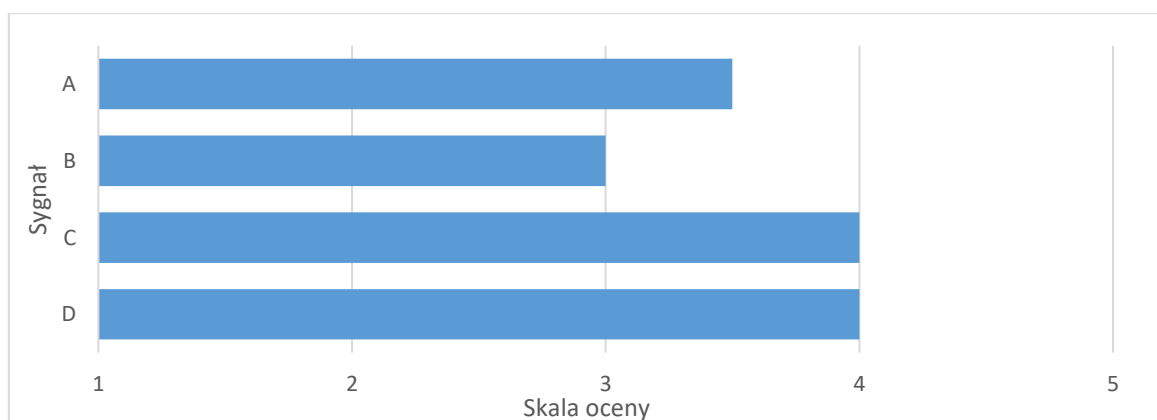
Podobne badania przeprowadzono w CIOP-PIB [29]. Składały się z części kwestionariuszowej oraz komputerowych testów psychologicznych. Osoby badane wykonywały określone zadania na komputerze (testy psychologiczne), a następnie dokonywali oceny sygnałów testowych za pomocą kwestionariusza zawierającego 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 wydajność pracy ALS. Na stanowisku badawczym skompletowano zestaw niezbędnej aparatury pomiarowej i diagnostycznej oraz opracowano cztery rodzaje generowanych sygnałów testowych (filtrowany szum – A, oraz trzy sygnały ze składowymi tonalnymi 125 Hz, 1600 Hz oraz 8000 Hz – B, C i D) o tym samym poziomie dźwięku A wynoszącym 55 dB<sup>1</sup>. W badaniach laboratoryjnych w doborze próby zastosowano metodę doboru nielosowego polegająca na ustaleniu z góry charakterystyk, jakim 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 lat.

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 pozostałe osoby o umiarkowanej wrażliwości na hałas – 64%).

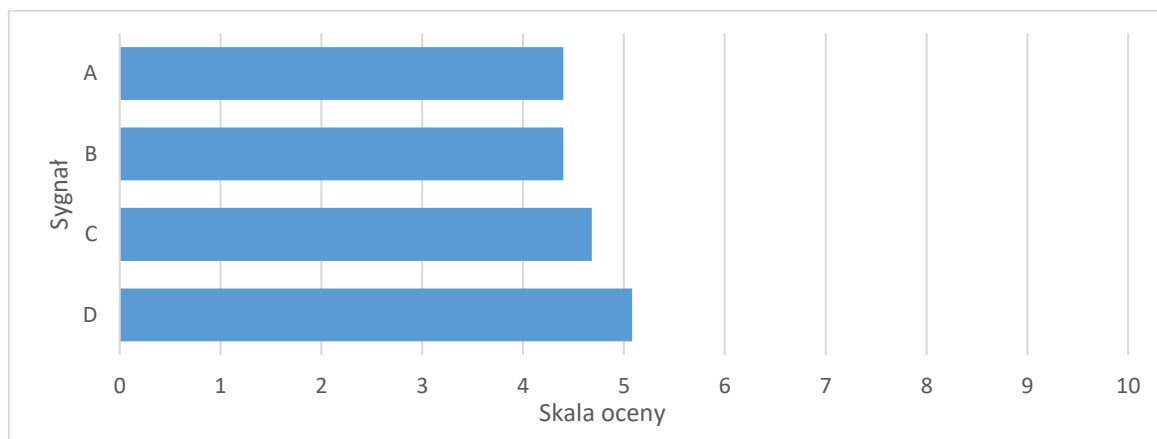
Wyniki subiektywnej oceny uciążliwości rozpatrywanych sygnałów przedstawiono na rys. 1. Badane sygnały były oceniane w zakresie od lekko uciążliwych do ekstremalnie uciążliwych. Przeciętnie, sygnały A i B były oceniane jako umiarkowanie uciążliwe, natomiast sygnały C i D jako bardzo uciążliwe.

Wyniki subiektywnej oceny, dotyczącej tego, jak bardzo wymagające były wykonywane zadania (rys. 2.) zawierały się 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.



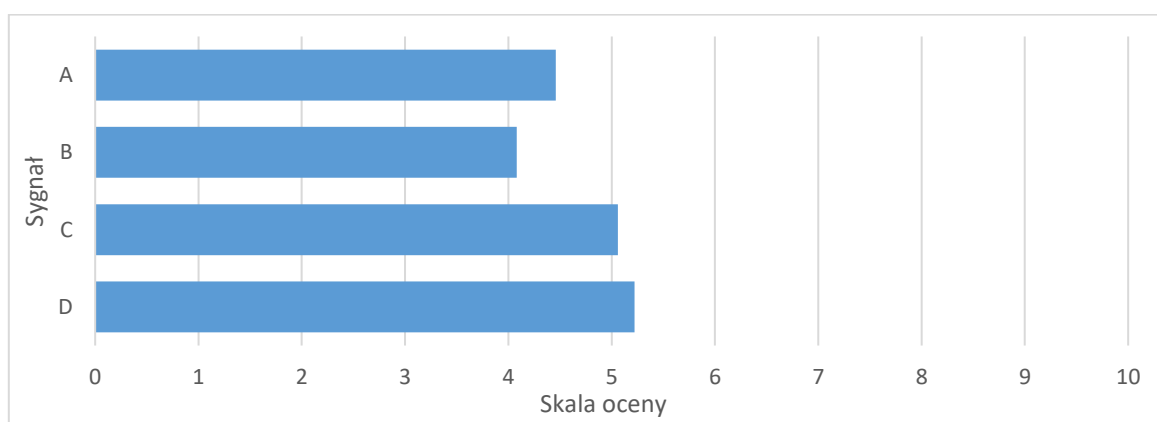
<sup>1</sup> Wartość dopuszczalna w pomieszczeniach administracyjnych, biur projektowych, do prac teoretycznych, opracowywania danych i innych o podobnym przeznaczeniu zgodnie z PN-N-01307:1994 [11].

Rys. 1. Wyniki subiektywnej oceny uciążliwości sygnałów – mediany (1 - W ogóle nie uciążliwy; 2 - Lekko uciążliwy; 3 - Umiarkowanie uciążliwy; 4 – Bardzo uciążliwy; 5 - Ekstremalnie uciążliwy)



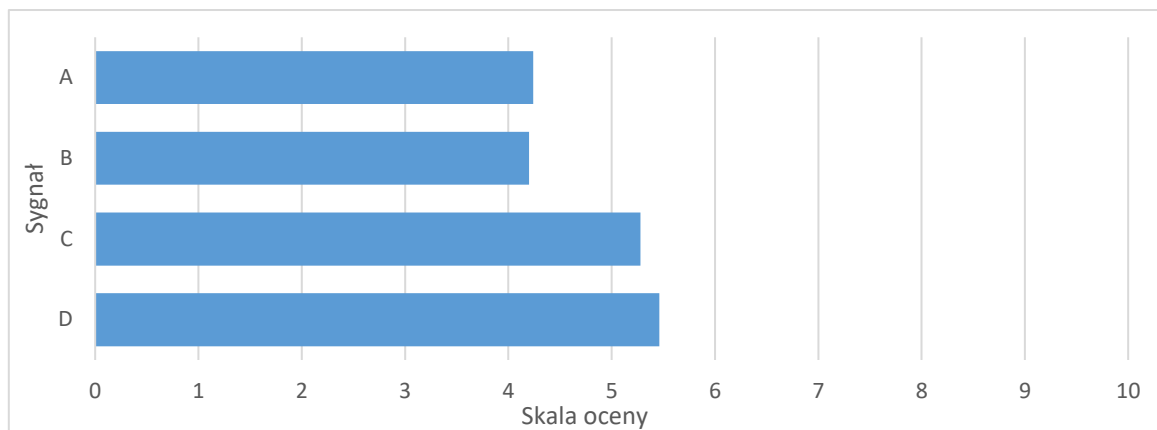
Rys. 2. Wyniki subiektywnej oceny jak bardzo wymagające były wykonywane zadania w badanych warunkach – wartości średnie

Wyniki subiektywnej oceny głośności sygnału przedstawiono na rys. 3. Zaobserwowano dużą rozpiętość poszczególnych ocen (od 0 do 10 na skali oceny). Przeciętne wartości oceny wskazują natomiast na umiarkowaną głośność badanych sygnałów.



Rys. 3. Subiektywna ocena głośności sygnału – wartości średnie

Wyniki subiektywnej oceny trudności wykonania zadania przedstawiono na rys. 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. Subiektywna ocena trudności wykonania zadania – wartości średnie

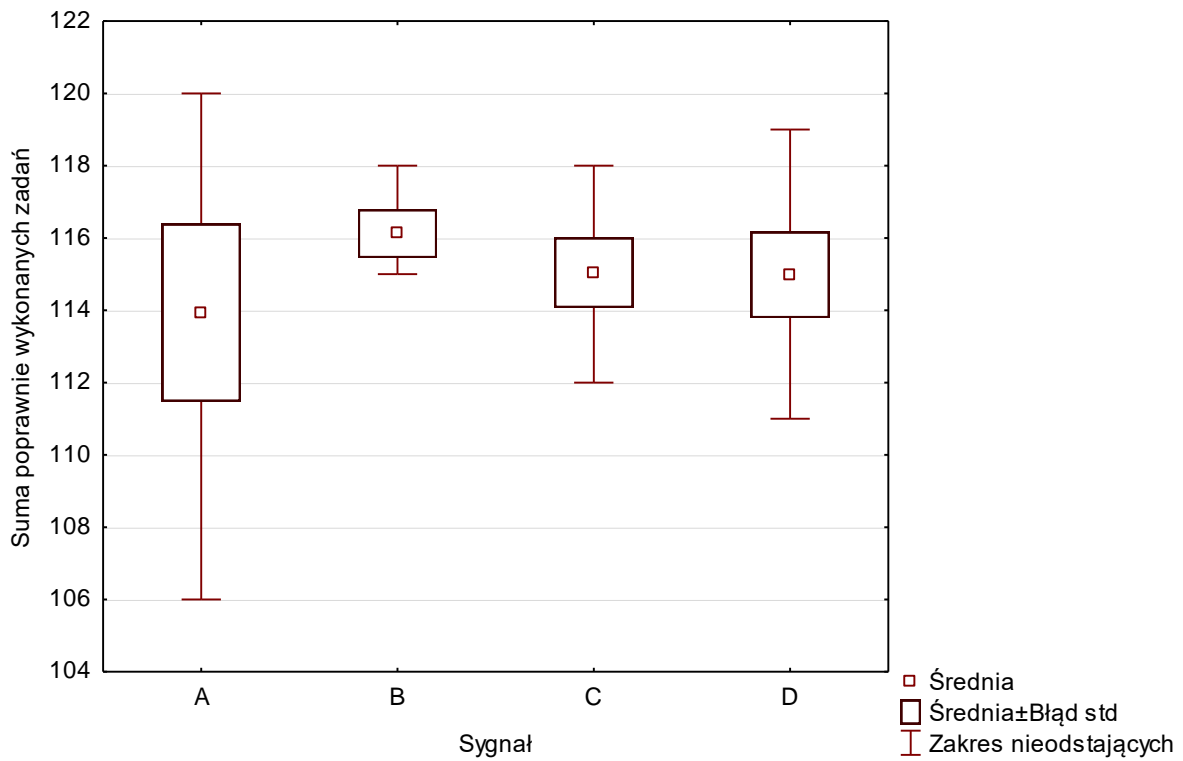
W dalszej kolejności omówiono wyniki testów psychologicznych DAUF, COG i ALS.

Dla testu DAUF omówiono wyniki sumy poprawnie i niepoprawnie wykonanych zadań oraz średni czas wykonania zadań.

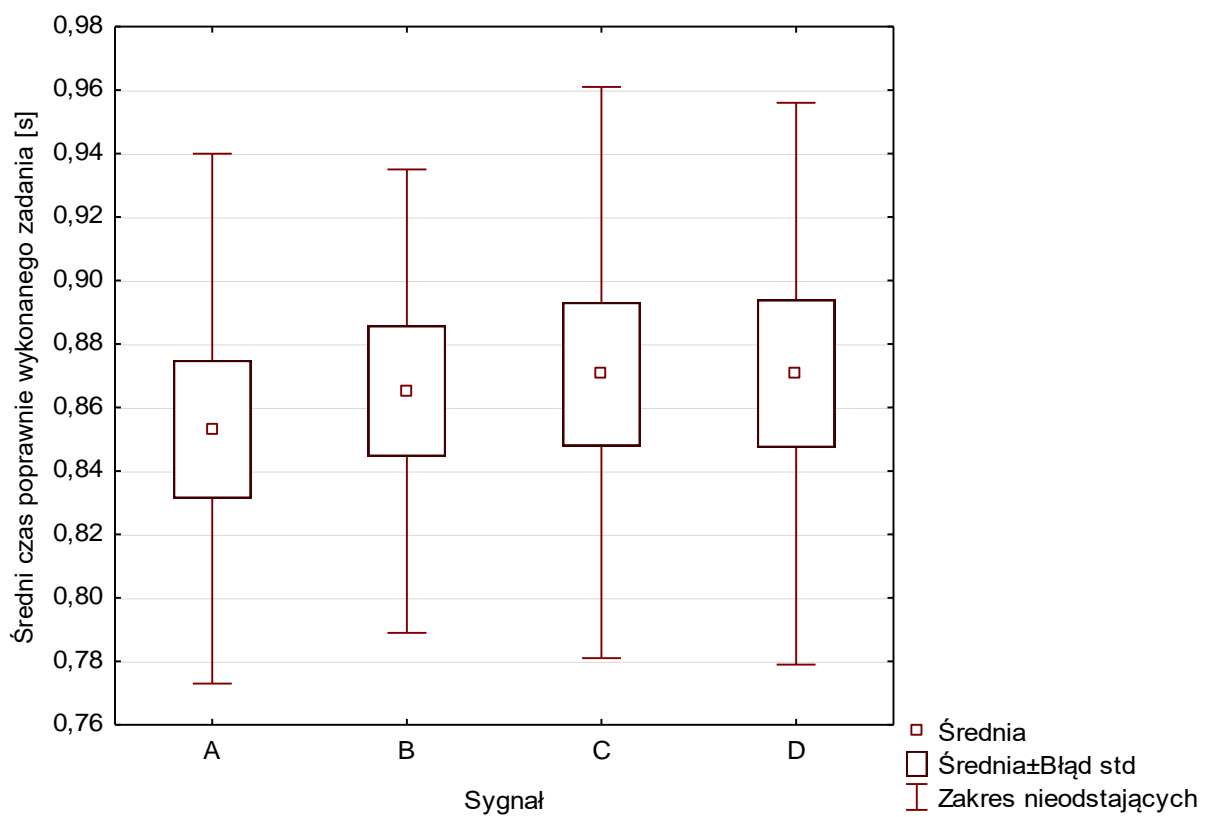
Na Rys. 5-1 przedstawiono wyniki sumy poprawnie wykonanych zadań w teście DAUF. Największą rozpiętość wyników zaobserwowano dla sygnału A (od 106 do 120 zadań). Średnie wartości dla poszczególnych sygnałów zawierały się w zakresie od 114 do 116 zadań.

Na Rys. 5-2 przedstawiono średni czas poprawnie wykonanego zadania w teście DAUF. Średnie czasy poprawnie wykonanego zadania wynosiły od ok. 0,6 s do ok. 1,3 s. Przeciętne wartości mieściły się w przedziale od 0,8-0,9 s dla poszczególnych sygnałów.

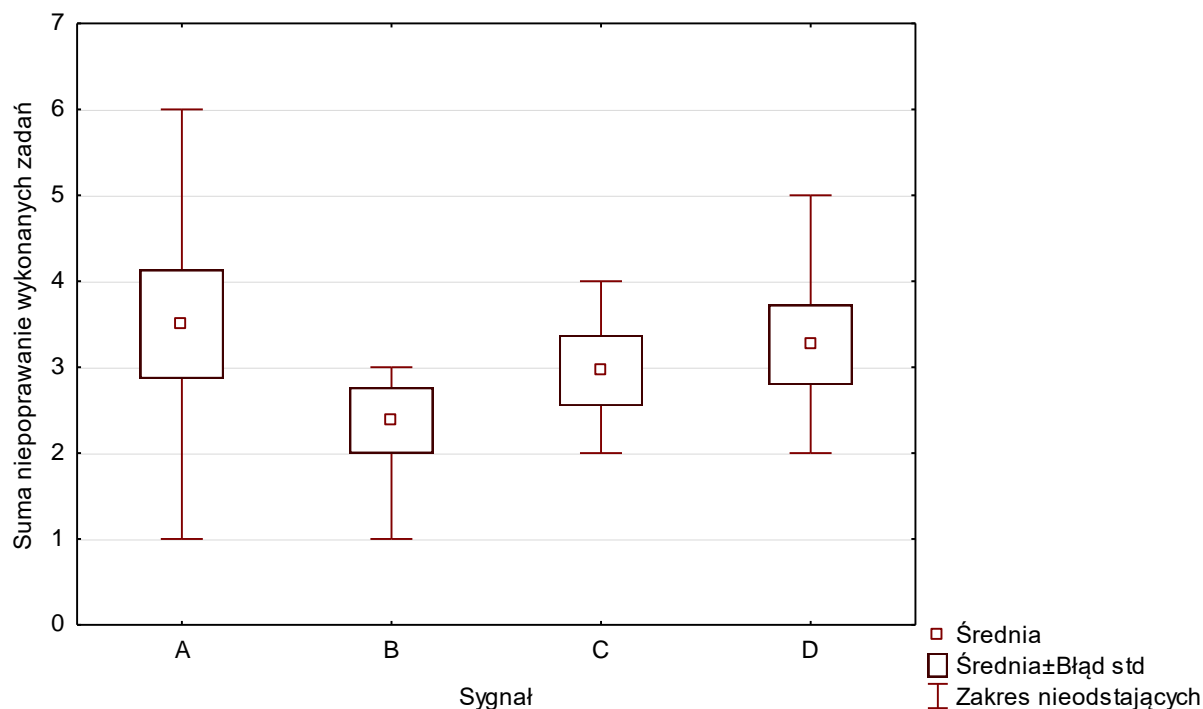
Na Rys. 5-3 przedstawiono wyniki sumy niepoprawnie wykonanych zadań w teście DAUF. Największą rozpiętość wyników zaobserwowano dla sygnału A (od 1 do 6 zadań). Średnie wartości dla poszczególnych sygnałów zawierały się w zakresie od 2 do 4 zadań.



Rys. 5-1 Wyniki testu ciągłości uwagi DAUF - suma poprawnie wykonanych zadań



Rys. 5-2 Wyniki testu ciągłości uwagi DAUF – średni czas poprawnie wykonanego zadania



Rys. 5-3 Wyniki testu ciągłości uwagi DAUF - suma niepoprawnie wykonanych zadań

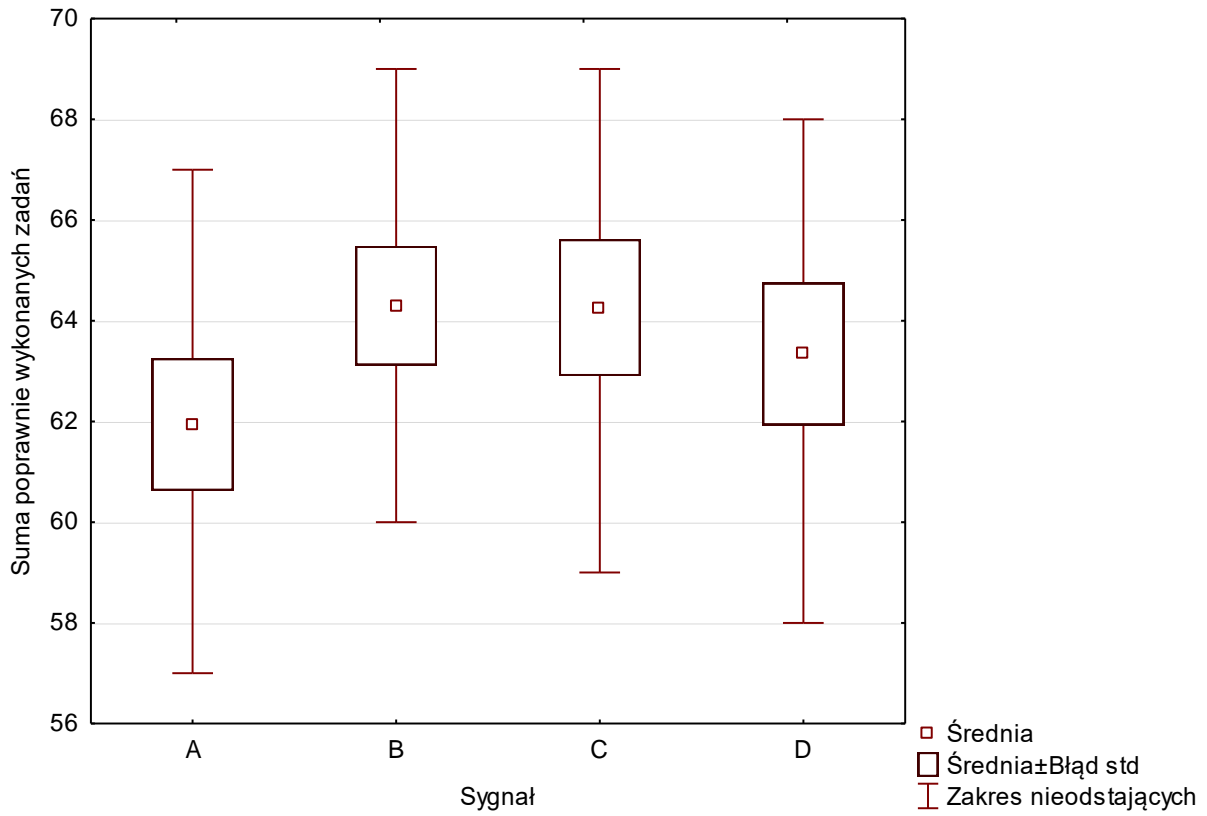
Dla testu koncentracji i uwagi COG omówiono wyniki sumy poprawnie i niepoprawnie wykonanych zadań oraz średni czas poprawnie odrzuconych figur.

Na Rys. 5-4 przedstawiono wyniki sumy poprawnie wykonanych zadań w teście COG. Średnie wartości dla poszczególnych sygnałów zawierały się w zakresie od 57 do 69 zadań.

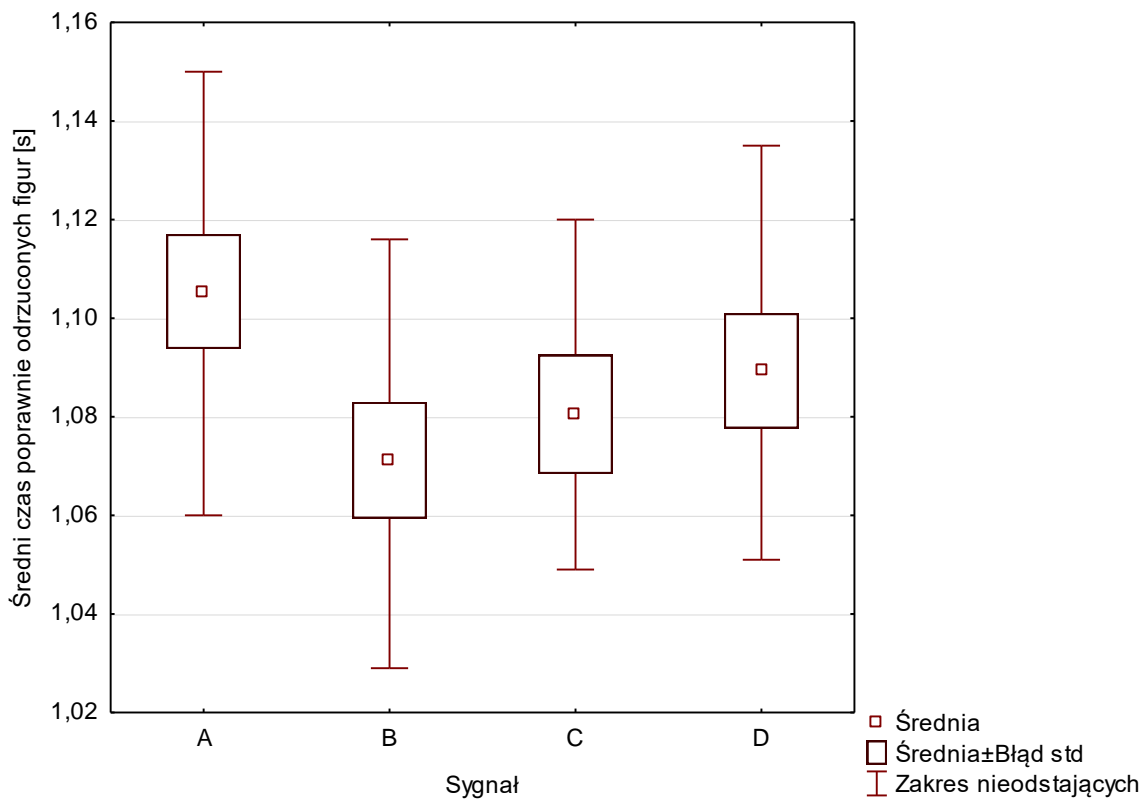
Na Rys. 5-5 przedstawiono średni czas poprawnie odrzuconych figur w teście COG. Zakres uzyskiwanych średnich czasów wynosił od 1,03 s do 1,15 s. Wartości średnie mieściły się w przedziale od 1,07-1,11 s dla poszczególnych sygnałów.

Na Rys. 5-6 przedstawiono wyniki sumy niepoprawnie wykonanych zadań w teście COG. 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.

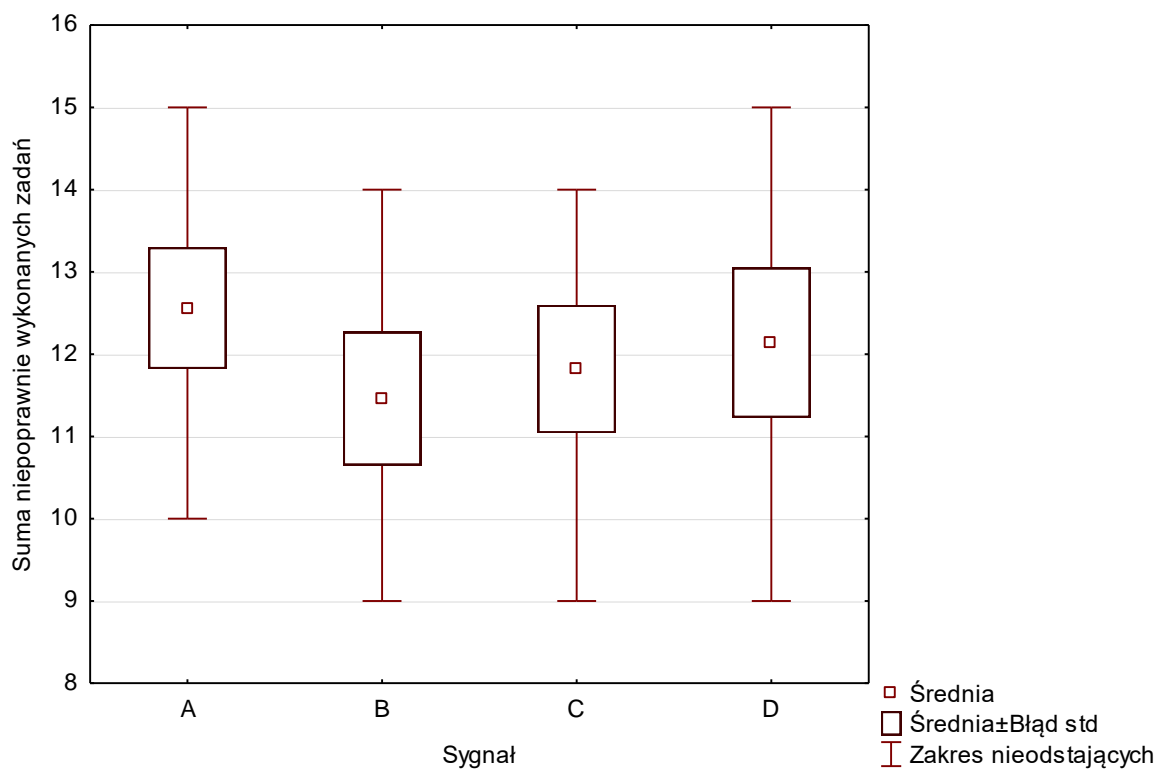




Rys. 5-4 Wyniki testu uwagi i koncentracji COG – suma poprawnie wykonanych zadań



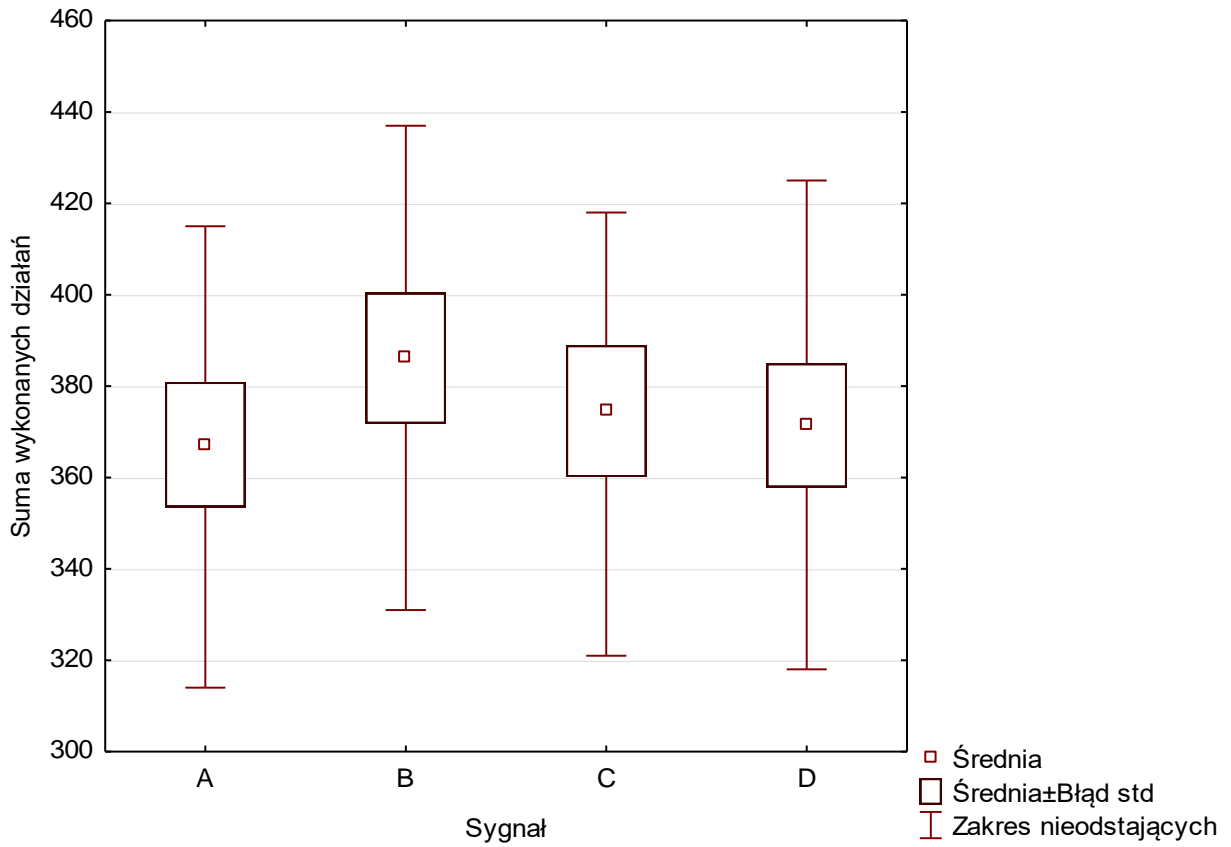
Rys. 5-5 Wyniki testu uwagi i koncentracji COG – średni czas poprawnie odrzuconych figur



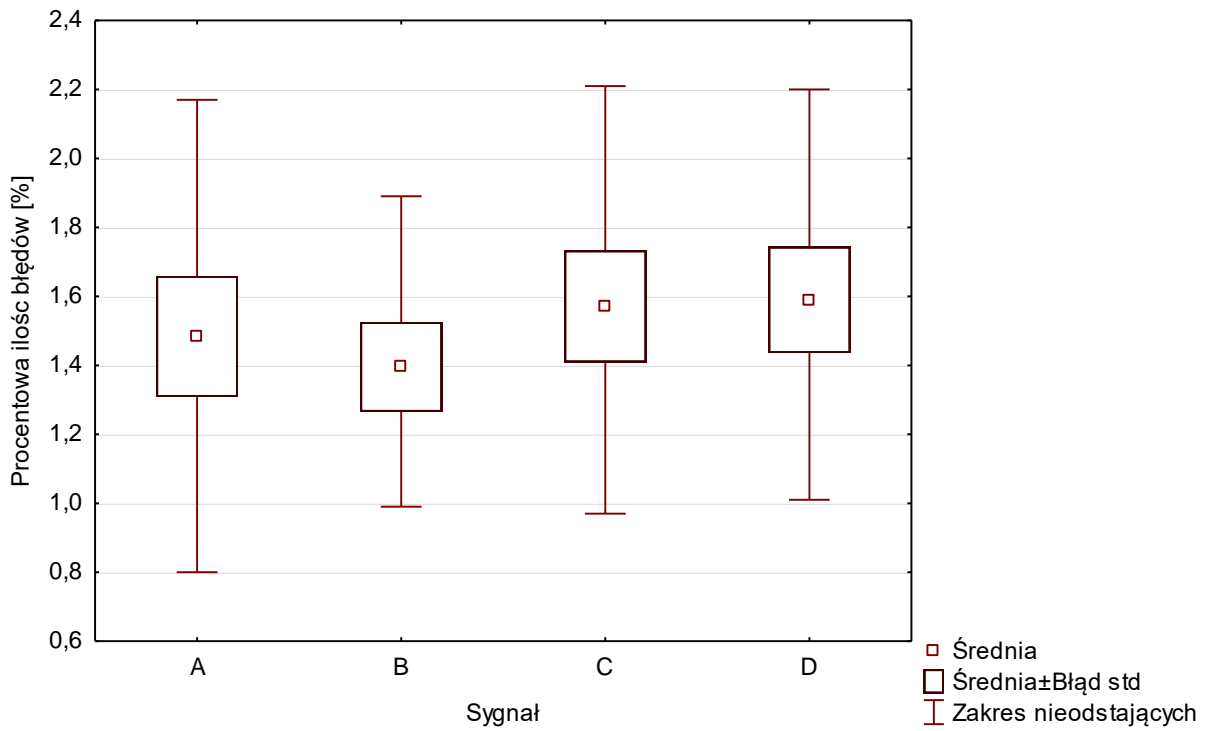
Rys. 5-6 Wyniki testu uwagi i koncentracji COG – suma niepoprawnie wykonanych zadań

Wyniki testu wydajności pracy ALS przedstawiono na Rys. 5-7 i Rys. 5-8. 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 ilości popełnionych błędów w teście dla wszystkich sygnałów wynosił od 0,8% do 2,2%. Przeciętne ilości błędów kształtowały się na poziomie od 1,4% do 1,6%.



Rys. 5-7 Wyniki testu wydajność pracy ALS - suma wykonanych działań



Rys. 5-8 Wyniki testu wydajność pracy ALS – procentowa ilość błędów

## 6. 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 Browna-Forsythe'a do oceny równości wariancji, test analizy wariancji do oceny istotności zróżnicowania (zmienna ilościowa, Tab. 6-1) oraz test Friedmana do oceny istotności zróżnicowania (zmienna porządkowa, Tab. 6-2). Do analizy wykorzystano oprogramowanie Statistica 10 oraz PQStat. Przyjęto poziom istotności równy 0,05.

Tab. 6-1 Wyniki analizy wariancji

<i>Test</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>DAUF - suma poprawnie wykonanych zadań</i>	0,36	0,781
<i>DAUF – średni czas poprawnie wykonanego zadania</i>	0,14	0,937
<i>DAUF - suma niepoprawnie wykonanych zadań</i>	1,00	0,396
<i>COG – suma poprawnie wykonanych zadań</i>	0,70	0,551
<i>COG – średni czas poprawnie odrzuconych figur</i>	1,52	0,210
<i>COG – suma niepoprawnie wykonanych zadań</i>	0,33	0,801
<i>ALS - suma wykonanych działań</i>	0,34	0,800
<i>ALS – procentowa ilość błędów</i>	0,33	0,806

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

Tab. 6-2 Wyniki testu ANOVA Friedmana

<i>Kwestionariusz</i>	<i>Statystyka TI Friedman</i>	<i>p</i>
<i>Ocena uciążliwości sygnału*</i>	20,85	0,00011
<i>Ocena jak bardzo wymagające były wykonywane zadania*</i>	12,58	0,00563
<i>Ocena głośności sygnału*</i>	21,97	0,00007
<i>Ocena trudności wykonania* zadania</i>	29,04	0,000002

\*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-Bonferroniego (Załącznik nr 3) 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 analizie zbadano zależność między globalną wynikową wartością kwestionariusza wrażliwości na hałas a badaniami kwestionariuszowymi oraz testami psychologicznymi (Tab. 7-3). 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).

Tab. 6-3. Korelacje wewnątrzgrupowe wyników testów względem globalnej wynikowej wartości kwestionariusza wrażliwości na hałas

<i>Test</i>	<i>Współczynnik korelacji</i>			
	Sygnal A	Sygnal B	Sygnal C	Sygnal D
<i>Ocena uciążliwości sygnału*</i>	-0,21	-0,13	-0,29*	-0,33*
<i>Ocena jak bardzo wymagające były wykonywane zadania*</i>	-0,04	-0,09	-0,10	-0,06
<i>Ocena głośności sygnału*</i>	-0,29*	-0,20	-0,46*	-0,37*
<i>Ocena trudności wykonania* zadania</i>	-0,27	-0,27	-0,36*	-0,27
<i>ALS - suma wykonanych działań</i>	0,11	0,11	0,21	0,22
<i>ALS – procentowa ilość błędów</i>	0,07	-0,12	-0,17	0,05
<i>COG – suma poprawnie wykonanych zadań</i>	-0,19	-0,11	-0,23	-0,11
<i>COG – suma niepoprawnie wykonanych zadań</i>	-0,12	-0,08	-0,06	-0,05
<i>COG – średni czas poprawnie odrzuconych figur</i>	0,35*	0,27	-0,06	0,15
<i>DAUF - suma poprawnie wykonanych zadań</i>	0,13	-0,04	-0,16	-0,12
<i>DAUF – średni czas poprawnie wykonanego zadania</i>	-0,03	-0,04	-0,13	0,06
<i>DAUF - suma niepoprawnie wykonanych zadań</i>	0,06	-0,01	-0,11	0,16

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

W analizie zbadano również zależność między subiektywną oceną uciążliwości sygnałów a wynikami testów psychologicznych (Tab. 7-4). Wyniki analizy wykazały zależności istotne statystycznie dla sumy wykonanych działań w teście ALS (sygnał C), procentowej ilości błędów 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).

Tab. 6-4. Korelacje wewnątrzgrupowe wyników testów względem subiektywnej oceny uciążliwości sygnałów

Test	Współczynnik korelacji			
	Sygnal A	Sygnal B	Sygnal C	Sygnal D
ALS - suma wykonanych działań	0,06	-0,15	-0,29*	-0,11
ALS – procentowa ilość błędów	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 poprawnie odrzuconych 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 poprawnie wykonanego 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 (Tab. 7-5). Wyniki analizy wykazały zależności istotne statystycznie dla sumy wykonanych działań w teście ALS (sygnal C) oraz procentowej ilości błędów w teście ALS (sygnal C).

Tab. 6-5. Korelacje wewnątrzgrupowe wyników testów względem subiektywnej oceny głośności sygnałów

Test	Współczynnik korelacji			
	Sygnal A	Sygnal B	Sygnal C	Sygnal D
ALS - suma wykonanych działań	0,17	-0,14	-0,29*	-0,10
ALS – procentowa ilość błędów	-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 poprawnie odrzuconych 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 poprawnie wykonanego 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 (Tab. 7-6). Wyniki analizy wykazały zależności istotne statystycznie dla sumy wykonanych działań w teście ALS (sygnal C) oraz procentowej ilości błędów w teście ALS (sygnal C).

Tab. 6-6. Korelacje wewnątrzgrupowe wyników testów względem subiektywnej trudności wykonywanego zadania

Test	Współczynnik korelacji			
	Sygnal A	Sygnal B	Sygnal C	Sygnal D
ALS - suma wykonanych działań	0,00	-0,16	-0,33*	-0,20
ALS – procentowa ilość błędów	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 poprawnie odrzuconych 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 poprawnie wykonanego 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  $p < 0,05$

## 7. Podsumowanie

W badaniach laboratoryjnych przeprowadzonych w CIOP-PIB dotyczących uciążliwości hałasu tonalnego uczestniczyło 50 osób (25 mężczyzn oraz 25 kobiet) spełniających audiometryczne kryteria kwalifikacyjne ( $HL < 20$  dB). Grupa badanych osób była zróżnicowana pod względem wrażliwości na hałas, przy czym zdecydowana większość badanych osób była umiarkowanie wrażliwa na hałas. Badane sygnały były oceniane w zakresie od lekko uciążliwych do ekstremalnie uciążliwych. Przeciętnie, sygnały A i B były oceniane jako umiarkowanie uciążliwe, natomiast sygnały C i D jako bardzo uciążliwe. W pozostałych badaniach kwestionariuszowych wartości median wskazywały na umiarkowaną głośność sygnałów testowych oraz umiarkowaną trudność wykonywanych zadań. Wyniki badań wykazały, że najmniej uciążliwy był sygnał B, a najbardziej uciążliwe sygnały C i D, co koreluje z wynikami innych prac poświęconych tematyce uciążliwości 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 poprawnie wykonanego 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 zawierały się w zakresie od 62 do 65. Najkrótszy średni czas

poprawnie odrzuconych par figur obserwowano dla sygnału B (ocenianego jako najmniej uciążliwy). Suma niepoprawnie wykonanych działań była najmniejsza również dla sygnału B.

W teście wydajności pracy ALS różnice przeciętnych ilości wykonanych działań między poszczególnymi sygnałami nie przekraczały 11%. Największą ilość wykonanych zadań zaobserwowano dla sygnału B (ocenianego jako najmniej uciążliwy). Najmniejszą ilość błędów popełnionych w teście ALS zaobserwowano również dla sygnału B.

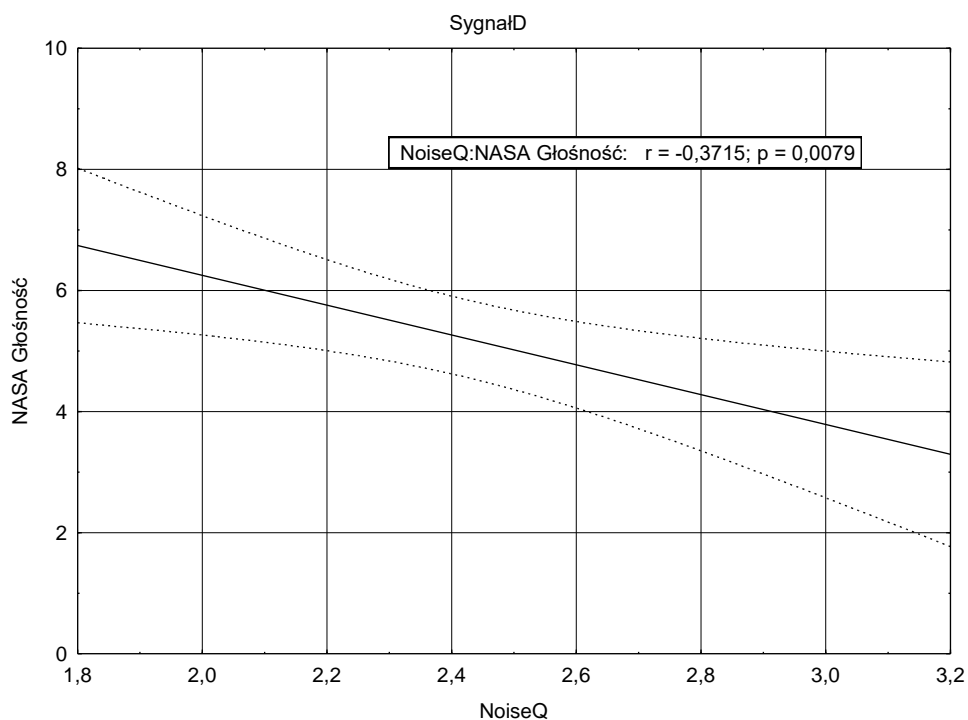
Wyniki analizy statystycznej testów psychologicznych nie wykazały zróżnicowania istotnego statystycznie pomiędzy poszczególnymi sygnałami we wszystkich rozpatrywanych testach psychologicznych. Wyniki analizy statystycznej badań kwestionariuszowych wykazały różnice istotne statystycznie pomiędzy poszczególnymi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

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

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

Wynik badań z jednej strony wskazują na znaczną subiektywną uciążliwość badanych sygnałów, z drugiej strony wyniki obiektywnych testów psychologicznych nie wskazują jednoznacznie na pogorszenie wydajności pracy. Subiektywne wyniki dotyczące uciążliwości, w szczególności średnio i wysokoczęstotliwościowych składowych tonalnych, są skorelowane z globalną wynikową wartością kwestionariusza wrażliwości na hałas (Rys. 7-1).





Rys. 7-1 Wyniki testu wydajność pracy ALS - suma wykonanych działań

Jedną z możliwości ustanowienia kryterium uciążliwości ze względu na hałas tonalny jest wprowadzenie poprawek do zmierzonych poziomów ciśnienia akustycznego. W przepisach niemieckich do zmierzonego poziomu dźwięku A dodaje się poprawkę zależną od subiektywnego odczucia pracownika dot. uciążliwości hałasu. Przepisy te jednak są dość ogólne i precyzują sposobu subiektywnej oceny. Poprawkę dotyczącą uciążliwości ze względu na hałas tonalny można uzależnić od wynikowej globalnej wartości kwestionariusza wrażliwości na hałas, co można potraktować 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 poprzez porównanie poziomów ciśnienia akustycznego z sąsiadującymi pasmami 1/3 oktawowych. Kryteria decydujące o tonalności są następujące: 15 dB różnicy poziomów dla niskich częstotliwości (od 25 Hz do 125 Hz), 8 dB dla częstotliwości w zakresie od 160 Hz do 400 Hz i 5 dB dla częstotliwości od 500 Hz do 10 000 Hz
- b) przeprowadzić analizę FFT (metoda techniczna) zgodnie z ISO/PAS 20065 (parametr  $\Delta L$ ) lub ECMA-74 (parametry TNR i PR) – Wymagana jest oddzielna analiza każdego tonu w hałasie z wieloma składowymi tonalnymi. Pasmo 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 przeprowadzonych badań wskazują na niewielkie różnice w odczuwanej uciążliwości w kontekście pracy umysłowej między hałasem szerokopasmowym a hałasem tonalnym wobec czego poprawki proponowane m.in. w ISO 1996-2 sięgające nawet 6 dB wydają się być nieadekwatne. Ze względu na odczuwane zmiany głośności hałasu proponuje się przyjąć maksymalną poprawkę wynoszącą 3 dB, przy założeniu że tony są znaczące w widmie (np. parametr  $\Delta L$  (audibility)  $> 2$  dB)

*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 Program: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*

## **BIBLIOGRAFIA**

1. 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.2005.157.1318)
2. 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), Vol.19, No.2, 2013, 195-202
3. ISO, ISO/TS 15666:2003 Acoustics - Assessment of Noise Annoyance by Means of Social and Socio-Acoustic Surveys, 2003
4. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe, 2011
5. 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
6. LEE, J., "The Effects of Tones in Noise on Human Annoyance and Performance", Architectural Engineering – Dissertations and Student Research. Paper 39, 2016.
7. PLEBAN D., Definition and Measure of the Sound Quality of the Machine, Archives of Acoustics, 39 (1), 2014, 17-23
8. SOTTEK R., Progress in calculating tonality of technical sounds, INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Vol. 249. No. 4. Institute of Noise Control Engineering, 2014
9. PALMER K.G., Wind Turbine Annoyance – a clue from acoustic room modes [dostęp: 25.07.2018], Dostępny w Internecie: <http://wndfo.net/D4196>
10. 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)
11. PKN, PN-N-01307:1994 Hałas - Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy - Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów, 1994
12. KHAN, M. S., JOHANSSON O., SUNDBACK U., Evaluation of Annoyance Response to Engine Sounds Using Different Rating Methods, International Congress on Noise Control Engineering, 1996, 2517–2520
13. 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

14. PEDERSEN, T.H., The "Genlyd" Noise Annoyance Model: Dose-Response Relationships Modelled by Logistic Functions, DELTA Acoustics & Electronics: Hørsholm, Denmark, 2007
15. SAILER U., AND HASSENZAHN M., Assessing Noise Annoyance: An Improvement-Oriented Approach, Ergonomics 43.11, 2000, 1920–38
16. LEE, KYOUNG HOON, P DAVIES, and A. M SURPRENANT. "Quantification of the Tonal Prominence of Complex Tones in Machinery Noise." Noise-Con 04. The National Conference on Noise Control Engineering. 2004. L
17. MORE, SHASHIKANT, and PATRICIA DAVIES. "Human Responses to the Tonalness of Aircraft Noise." Noise Control Engineering Journal 58.4 (2010): 420–440.
18. LEE, KYOUNG HOON, PATRICIA DAVIES, and AIMEE M. SURPRENANT. "Tonal Strength of Harmonic Complex Tones in Machinery Noise." The Journal of the Acoustical Society of America 118.3 (2005): 1921–1921
19. 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.
20. PEDERSEN, T.H., The "Genlyd" Noise Annoyance Model: Dose-Response Relationships Modelled by Logistic Functions, DELTA Acoustics & Electronics: Hørsholm, Denmark, 2007
21. KROESEN, MAARTEN et al. "Measuring Subjective Response to Aircraft Noise: The Effects of Survey Context." The Journal of the Acoustical Society of America 133.1 (2013):238–46.
22. JOB, R.F. SOAMES. "Noise Sensitivity as a Factor Influencing Human Reaction to Noise." Noise & health 1.3 (1999): 57–68.
23. SCHUTTE, MARTIN et al. "The Development of the Noise Sensitivity Questionnaire." Noise and Health 9.34 (2007): 15. Seattle. Seattle Municipal Code Chapter 25.08 Noise Control. 2007.
24. EBISSOU, ANGE, PATRICK CHEVRET, AND ETIENNE PARIZET. "Work Performance and Mental Workload in Multiple Talker Environments." Proceedings of Meetings on Acoustics. Vol. 19. Acoustical Society of America, 2013.
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. LAIRD, D. "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. 113
27. GRJMALDI, J.V., Sensori-Motor Performance under Varying Noise Conditions, Ergonomics 2.1 1958, 34–43
28. 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, 218–26
29. RADOSZ J., Pilot study on the influence of tonal noise annoyance on work performance, Proceedings of 25<sup>th</sup> International Congress on Sound and Vibration, 8-12 July, Hiroshima, Japan
30. ISO 1996-2:2017, Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of sound pressure levels, 2017

*Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*