

Parametry i metody ich pomiaru charakteryzujące propagację dźwięku i warunki akustyczne w pomieszczeniach do pracy wymagającej koncentracji uwagi

dr inż. Witold Mikulski, mgr inż. Izabela Warmiak (wimik@ciop.pl)

2015 r.

Streszczenie: Materiał zawiera parametry i metody ich pomiaru charakteryzujące propagację dźwięku i warunki akustyczne w pomieszczeniach do pracy wymagającej koncentracji uwagi. Scharakteryzowano w nim pomieszczenia pracy, dla których określono dalej wymagania akustyczne ze względu na konieczność zapewnienia koncentracji uwagi. Określono parametry charakteryzujące pomieszczenia pracy. Podano metody pomiaru parametrów charakteryzujące pomieszczenia pracy (czasu pogłosu, chłonności akustycznej pomieszczenia, wskaźnika transmisji mowy STI, odległości rozproszenia i odległości prywatności, spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości oraz poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego, tła akustycznego, izolacyjności akustycznej oraz innych). Podano również bibliografię. Rok wydania 2015. Opracowano w ramach projektów: II.B.04 i II.P.13

Pomieszczenia pracy, w których określono wymagania akustyczne ze względu na konieczność zapewnienia koncentracji uwagi

Niżej rozpatruje się te pomieszczenia pracy, w których na stanowiskach pracy wymagana jest szczególna koncentracja uwagi (tym, w których hałas może utrudniać wykonywanie pracy). Uwzględnia się więc:

- pomieszczenia wykładowe (sale wykładowe, w tym audytoria), sale lekcyjne (w tym klasy i pracownie szkolne),
- pomieszczenia biurowe o małych wymiarach (kubatura do 70 m³, liczba pracujących w nich pracowników 1-5 osób), m.in. sale biurowe i administracyjne, sale obsługi informatycznej serwerowni, biura projektowe, pomieszczenia do prac teoretycznych, opracowania danych, pracy umysłowej wymagającej silnej koncentracji uwagi oraz pomieszczenia bibliotek (w tym czytelnia),
- pomieszczenia biurowe open space (wielkopowierzchniowe),
- pomieszczenia open space konsultantów telefonicznych (wielkopowierzchniowe) oraz inne w tym: dyspozytorskie (w tym sterownia), laboratoryjne bez źródeł hałasu, recepcje, recepturowe w aptekach, obsługi klienta, sale operacyjne banków i urzędów, pomieszczenia do wykonywania prac precyzyjnych,
- pomieszczenia laboratoryjne ze źródłami hałasu.

Parametry charakteryzujące pomieszczenia pracy

Parametrami charakteryzującymi pomieszczenia pracy są:

- czas pogłosu,
- chłonność akustyczna pomieszczenia,
- wskaźnik transmisji mowy STI,
- odległość rozproszenia i odległość prywatności,
- spadek poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości i poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego,
- poziom hałasu tła akustycznego,
- izolacyjność akustyczna.

Metody pomiaru parametrów charakteryzujące pomieszczenia pracy

Metoda pomiaru czasu pogłosu

Najpowszechniej stosowanym parametrem charakteryzującym warunki akustyczne w pomieszczeniach jest czas pogłosu. Najczęściej określa się go dla częstotliwości 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz. W celu oceny jednowskaźnikowej w całym paśmie częstotliwości stosuje się jego wartość dla 1000 Hz lub wartość średnią z pasm 500, 1000 i 2000 Hz tzw. T_{mf} . Wyznacza się go metodami podanymi w normie PN-EN ISO 3382-2:2010 „Akustyka - Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń - Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach” [1].

W różnych pomieszczeniach pomiary wykonuje się metodami o różnej dokładności:

- metodą precyzyjną (dwa położenia źródła oraz po 6 położenia mikrofonu dla każdej pozycji źródła),
- metodą techniczną (dwa położenia źródła oraz po 3 położenia mikrofonu dla każdej pozycji źródła),
- metodą przybliżoną (jedno położenie źródła i 2 pozycje mikrofonu).

Wartości dla pomieszczenia określa się jako średnie ze zmierzonych w ww. położeniach mikrofonu.

Najczęściej stosuje się jedną z dwóch metod pomiaru: metodę szumu przerywanego (dla pomieszczeń, dla których wyznacza się tylko czas pogłosu) oraz metodą wyznaczania odpowiedzi impulsowej MLS (dla pomieszczeń, dla których wyznacza się również wskaźnik transmisji mowy STI). W obu przypadkach stosuje się źródło wszechkierunkowe, a wartości wyznacza się z tzw. spadku 30 dB tzw. T30.

Metoda *szumu przerywanego* (termin wg PN-EN ISO 3382-2:2010 [1]) polega na otrzymaniu krzywej zaniku dźwięku po wyłączeniu źródła dźwięku, które wcześniej wzbudza pomieszczenie. Źródłem dźwięku powinien być głośnik zasilany sygnałem elektrycznym będącym szerokopasmowym szumem losowym lub pseudo-losowym. Jeżeli używa się szumu pseudo-losowego, powinien być on przerywany losowo, nie tworząc powtarzalnej sekwencji. Źródło dźwięku powinno być wszechkierunkowe na tyle, na ile to możliwe. Czas trwania pobudzenia pomieszczenia powinien być wystarczający, by pole akustyczne osiągnęło stan ustalony, zanim rozpocznie się jego zanik, stąd jest istotne, aby szum był emitowany przez co najmniej $T/2$ sekund (T – spodziewany czas pogłosu). W dużych pomieszczeniach czas trwania pobudzenia winien wynosić przynajmniej kilka sekund.

Liczba położeń mikrofonu zależy od wymaganego pokrycia powierzchni punktami pomiarowymi. Aby osiągnąć wystarczającą powtarzalność konieczne jest uśrednianie kilku pomiarów w każdym położeniu mikrofonu ze względu na losowość sygnału pobudzającego. Dlatego należy wykonać przynajmniej trzy pomiary w każdej pozycji, a wynik uśrednić. Można to zrobić przez:

- wyznaczenie czasu pogłosu dla każdej krzywej zaniku i obliczenie wartości średniej,
- obliczenie uśrednionego po zbiorze zaniku kwadratu ciśnienia akustycznego i wyznaczeniu czasu pogłosu dla wynikowej krzywej.

W przypadku wykonywania pomiarów metodą przerywanego szumu, należy wyznaczyć krzywą zaniku w zakresie od 5 dB do 35 dB poniżej poziomu początkowego tzw. T30. W tym zakresie najmniejsze kwadraty dopasowujące linię powinny być obliczone dla krzywej, albo gdy krzywa zaniku jest bezpośrednio rysowana przez rejestrator poziomu, linia prosta powinna być dopasowana ręcznie możliwie jak najbliżej krzywej. Nachylenie linii prostej daje szybkość zaniku w decybelach na sekundę, z którego oblicza się czas pogłosu. Najniższy punkt zakresu pomiarowego powinien być wystarczająco powyżej poziomu tła szumów. Dla pomiarów T30 poziom szumu powinien być przynajmniej 45 dB poniżej poziomu

początkowego. Dla pomiarów z zakresu ponad 20 dB, poziom szumu winien być przynajmniej 35 dB poniżej poziomu początkowego.

Metoda wyznaczania odpowiedzi impulsowej MLS (tj. całkowania odpowiedzi impulsowej) jest to metoda otrzymania krzywej zaniku przez całkowanie w odwróconym czasie kwadratu odpowiedzi częstotliwościowej. Odpowiedź impulsowa może być bezpośrednio zmierzona przy użyciu źródła impulsu (jak strzał pistoletowy lub innego źródła, które wybrzmiewa bardzo krótko), jak długo jego widmo jest wystarczająco szerokie, aby spełnić wymagania. Źródło impulsowe powinno być zdolne do wytworzenia szczytowego poziomu ciśnienia akustycznego wystarczającego do uzyskania krzywej zaniku rozpoczynającej się przynajmniej 45 dB powyżej poziomu szumu tła w odpowiednim paśmie częstotliwości.

Przy pomiarach w pasmach oktawowych szerokość pasma sygnału powinna być większa niż jedna oktawa, a przy pomiarach w pasmach 1/3 oktawy szerokość pasma sygnału powinna być większa niż 1/3 oktawy. Widmo sygnału powinno być możliwie płaskie w paśmie mierzonej oktawy. Alternatywnie może być ukształtowane szerokopasmowe widmo szumu, aby zapewnić przybliżone różowe widmo stacjonarnego dźwięku pogłosowego w obszarze od 88 Hz do 5 657 Hz (tj. pasmo częstotliwości zawierające pasma tercjowe o częstotliwościach środkowych 100 Hz do 5000 Hz albo pasma oktawowe o częstotliwościach środkowych 125 Hz do 4000 Hz) z czasem pogłosu mierzonym równocześnie w różnych pasmach oktawowych lub 1/3 oktawowych.

Krzywą zaniku wyznacza się dla każdego pasma oktawowego poprzez całkowanie w czasie odwróconym kwadratu odpowiedzi impulsowej.

Powtarzalność pomiarów wykonanych metodą całkowania odpowiedzi impulsowej jest tego samego rzędu jak porównywalna powtarzalność przeciętnej z 10 pomiarów metodą przerywanego szumu. Zazwyczaj nie są konieczne dodatkowe uśrednianie dla zmniejszenia statystycznej niepewności pomiarowej. Jednakże, aby uniknąć błędów systematycznych, należy starannie wybrać właściwy punktu startu do całkowania w czasie odwróconym.

Metoda pomiaru chłonności akustycznej pomieszczenia

Chłonność akustyczna (oznaczona literą *A*) jest to miara całkowitej zdolności pomieszczenia do pochłaniania i tłumienia dźwięku. Chłonność akustyczna pomieszczenia wynika z chłonności akustycznej wszystkich powierzchni wewnętrznych (ograniczających

pomieszczenie), chłonności akustycznej znajdującego się w nim wyposażenia oraz chłonności akustycznej wynikająca z tłumienia dźwięku przez powietrze.

Określa się ją ze wzoru [2]:

$$A = A_{powierzchni} + A_{wyposazenie} + A_{air} = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i + \sum_{j=1}^o A_{obj,j} + 4mV \quad (1)$$

gdzie:

$A_{powierzchni}$ – chłonność akustyczna powierzchni ograniczających pomieszczenie, w m^2 ;

$A_{wyposazenie}$ - chłonność akustyczna elementów wyposażenia, w m^2 ;

A_{air} - chłonność akustyczna wynikająca z pochłaniania dźwięku w powietrzu, w m^2 ;

n - liczba powierzchni ograniczających pomieszczenie;

o - liczba elementów wyposażenia dla których określono chłonność akustyczną;

α_i - współczynnik pochłaniania dźwięku i-tej powierzchni ograniczającej pomieszczenie;

S_i - pole powierzchni i-tej powierzchni ograniczającej pomieszczenie, m^2 ;

$A_{obj,j}$ - chłonność akustyczna j-tego elementu wyposażenia, w m^2 ;

m - mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu, w neperach na metr (tabela 1.);

V - kubatura pomieszczenia, w m^3 .

Tabela 1. Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku, m [2]

Lp.	Temperatura/wilgotność względna powietrza	Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku, m , w powietrzu w pasmach oktaowych o środkowej częstotliwości, f		
		Np/m		
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
1	20°C / 30 - 50 %	0,0006	0,0010	0,0019
2	20°C / 50 - 70 %	0,0006	0,0010	0,0017

Współczynnik pochłaniania dźwięku α to parametr, za pomocą którego określa się właściwości dźwiękochłonne materiałów i wyrobów. Przyjmuje on wartość od 0 do 1, gdzie 1 oznacza, że energia dźwiękowa padająca na materiał, została w całości przez niego pochłonięta, natomiast wartość 0 oznacza, że powierzchnia w całości odbija padającą falę dźwiękową.

Ponieważ chłonność akustyczna pomieszczenia (tak, jak i współczynnik pochłaniania dźwięku materiałów) zależy od częstotliwości dźwięku, tak jak w wymaganiach dotyczących pomieszczeń oraz zgodnie z normą PN-B-02151-4:2015, określa się ją w pasmach oktaowych o częstotliwościach: 500, 1000 i 2000 Hz.

W metodzie pogłosowej chłonność akustyczną pomieszczenia, w m², wyznacza się na podstawie pomiaru czasu pogłosu pomieszczenia na podstawie wzoru:

$$A = 0,161 \left(\frac{V}{T} \right) \quad (2)$$

gdzie:

V – objętość (kubatura) pomieszczenia, w m³,

T – czas pogłosu w sekundach.

Do scharakteryzowania rozpatrywanych pomieszczeń stosuje się chłonność akustyczną pomieszczenia na 1 m² rzutu pomieszczenia dla częstotliwości środkowych pasm oktaowych z zakresu 500-2000 Hz.

Metoda pomiaru wskaźnika transmisji mowy STI

Parametrem stosowanym do określania zrozumiałości mowy jest wskaźnik transmisji mowy STI. Stosowany on jest w pomieszczeniach do komunikacji słownej (pomieszczenia wykładowe, sale lekcyjne, sale konferencyjne itp.), ale także w innych pomieszczeniach, w których wymagana jest zrozumiałość mowy lub przeciwnie zrozumiałość mowy jest niepożądana. W tabeli 2 podano zależność między wskaźnikiem transmisji mowy STI i zrozumiałością mowy wg PN-EN 60268-16:2011 [3]. Minimalna rozróżnialna słuchowo różnica zrozumiałości mowy odpowiada wartości 0,03 wskaźnika transmisji mowy STI (tzw. JND STI).

Tabela 2. Zależność między wskaźnikiem transmisji mowy STI i zrozumiałością mowy wg PN-EN 60268-16:2011 [3]

Zrozumiałość mowy	zła	niska	średnia	dobra	doskonała
Wskaźnik transmisji mowy STI	0-0,3	0,3-0,45	0,45-0,6	0,6-0,75	0,75-1

Metoda pomiarów wskaźnika transmisji mowy STI określona jest w normie PN-EN 60268-16:2011 „Urządzenia systemów elektroakustycznych - Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy” [3].

Wskaźnik transmisji mowy STI jest obiektywną miarą opartą na ważonym udziale pewnej liczby pasm zawartych w zakresie częstotliwości sygnałów mowy. Udziały te są ustalane przy efektywnym stosunku sygnału do szumu. Przy właściwym wyborze kształtu sygnału pomiarowego, ten efektywny stosunek sygnału do szumu można uwzględnić

łącznie jako zniekształcenia w dziedzinie czasu i nieliniowości, jak również hałas tła. Zniekształcenia w dziedzinie czasu (pogłos, echa i automatyczna regulacja wzmocnienia) mogą obniżyć fluktuację sygnału mowy i zmniejszyć zrozumiałość. W procedurze określania STI jest to modelowane przez wyznaczenie funkcji przenoszenia modulacji dla zakresu odpowiednich częstotliwości obecnych w obwiedni sygnałów mowy naturalnej. Odpowiedni zakres tych częstotliwości modulujących wynosi od 0,63 Hz do 115 Hz w 14-tu 1/3 oktaowych pasmach. Sygnał mowy, który przechodzi przez system z nieliniową funkcją przenoszenia (na przykład przy obcinaniu szczytów) uzyskuje składowe harmoniczne i intermodulacyjne w innych pasmach częstotliwości. Z tego względu zaleca się, aby sygnał testowy nie był jednocześnie modulowany z taką samą częstotliwością we wszystkich pasmach oktaowych, gdyż w tym przypadku nie można byłoby odróżnić składowych zniekształceń spowodowanych nieliniowością od zmodulowanego sygnału testowego w rozpatrywanym paśmie częstotliwości. Jednakże przy modulacji nieskorelowanymi sygnałami wszystkich innych pasm częstotliwości, z wyjątkiem tego badanego, składowe zniekształcenia są odbierane jako szum, zmniejszając efektywny stosunek sygnału do szumu, tak jak w przypadku zniekształceń liniowych (nierównomierność częstotliwościowej charakterystyki odtwarzania).

Maskowanie (obniżenie słuchowej czułości odbioru dźwięku spowodowane przez silniejszy dźwięk o niższej częstotliwości) i absolutny próg rozumienia uwzględniane są przez modelowanie szumu w odpowiedni sposób i dodawanie go, w celu dalszego obniżenia efektywnego stosunku sygnału do szumu i funkcję przenoszenia modulacji. Z tego powodu należy brać pod uwagę poziomy sygnału w każdym z pasm częstotliwości.

Zgodnie z koncepcją STI, stosunki sygnału do szumu w zakresie od -15 dB do +15 dB są liniowo zależne od zrozumiałości w zakresie od 0 do 1. Dlatego efektywny stosunek sygnału do szumu przekształca się w odpowiadający mu wskaźnik transmisji ($TI_{k,f}$) dla pasma oktaowego k i częstotliwości f . Ze względu na to, że sygnał testowy jest ograniczonym pasmowo szumem losowym lub pseudolosowym, przy powtarzaniu pomiarów zwykle nie uzyskuje się identycznych wyników, nawet w warunkach niezmiennych zakłóceń. Wyniki skupiają się wokół wartości średniej z pewnym odchyleniem standardowym. Między innymi zależy to od liczby dyskretnych pomiarów funkcji przenoszenia modulacji i czasu pomiaru. Typowe wartości odchylenia standardowego wynoszą około 0,02 przy czasie pomiaru 10 s dla każdego $m(F)$ i przy stacjonarnych zakłóceniach szumowych. Przy szumie zmiennym (na przykład szmer głosów) mogą występować większe odchylenia standardowe z błędem systematycznym. Można to sprawdzić przez pomiar po wyłączeniu sygnału testowego. Zaleca

się, aby resztkowa wartość STI była mniejsza niż 0,20. Zaleca się również oszacowanie odchylenia standardowego powtarzając pomiary przy najmniej ograniczonym zestawie warunków. Widma sygnału pomiarowego są określone wartościami średnimi poziomu w pasmach oktawowych (które chwilowo mogą przekroczyć o 3 dB modulowany sygnał pomiarowy). Poziomy w pasmach oktawowych są unormowane do ważonego krzywą A poziomu 0 dB. Pokrywają się one z nominalnym długotrwałym poziomem A. W sygnałach pomiarowych znajduje się siedem pasm oktawowych dla mowy męskiej i sześć pasm oktawowych dla mowy żeńskiej.

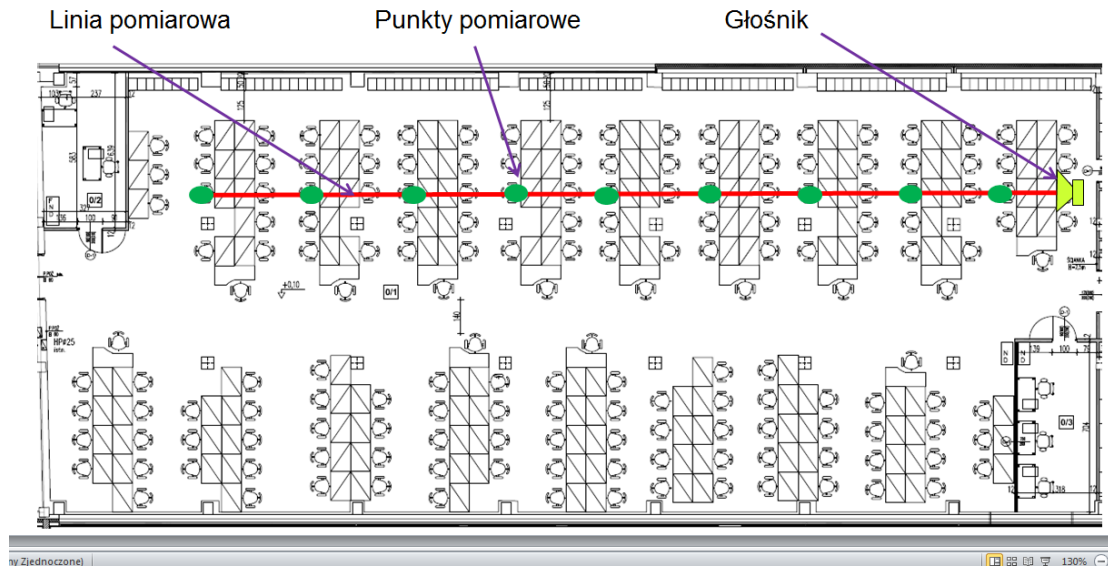
Metoda pomiaru odległości rozproszenia i odległości prywatności

Odległość rozproszenia i odległość prywatności są dwoma kolejnymi (obok wskaźnika transmisji mowy STI) parametrami charakteryzującymi właściwości pomieszczeń pod względem zapewnienia w nich odpowiedniej zrozumiałości mowy (stosowanymi do pomieszczeń biurowych open space PN-EN ISO 3382-3:2012 [4]). Określa się je na bazie wyznaczonych wartości wskaźników transmisji mowy STI.

Odległość rozproszenia r_D to taka odległość od mówiącego (pomiarowo wyznaczana od źródła dźwięku o widmie mowy tabela 3), w której wskaźnik transmisji mowy STI jest równy 0,5. W pomiarach konieczne jest kalibrowanie poziomu mocy źródła w taki sposób, aby poziom dźwięku A emisji był równy 59,5 dB dla źródła kierunkowego i 57,4 dB dla źródła wszechkierunkowego. Odległość rozproszenia r_D wyznacza się pomiarowo mierząc wskaźnik transmisji mowy STI w funkcji odległości od źródła, w kilku punktach pomiarowych (rys. 1.). Standardowa liczba punktów wynosi 6-10 (minimum 4; wg PN-EN ISO 3382-3:2012).

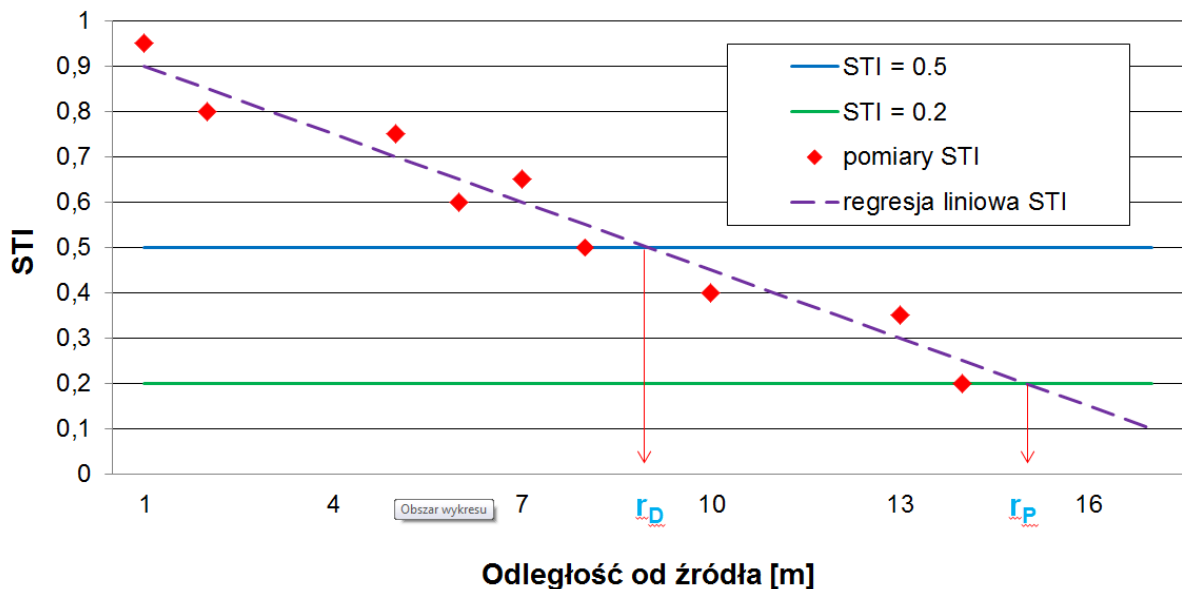
Tabela. 3. Poziom ciśnienia akustycznego emisji w odległości 1 m od źródła stosowanego jako źródło mowy (wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [4])

Typ źródła	Poziom ciśnienia akustycznego emisji [dB]							
	Częstotliwość [Hz]							Ważony A
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Kierunkowe	51,2	57,2	59,8	53,5	48,8	43,8	38,6	59,5
Wszechkierunkowe	49,9	54,3	58,0	52,0	44,8	38,8	33,5	57,4



Rys. 1. Linia z punktami pomiarowymi, na rzucie pomieszczenia, do określania odległości rozproszenia i odległości prywatności oraz spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości oraz poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego

Następnie wykonuje się interpolację liniową wyników pomiarów, określając zależność wskaźnika transmisji mowy STI od odległości od źródła na linii pomiarowej (tj. $STI = f_1(r)$). Odległość rozproszenia r_D to taka odległość, dla której wartość tej funkcji jest równa 0,5 (tj. $0,5 = f_1(r_D)$); rys. 2).



Rys. 2. Interpolacja liniowa wyników pomiarów wskaźnika transmisji mowy STI w funkcji odległości od źródła na linii pomiarowej (rys. 1) oraz odległość rozproszenia r_D i odległość prywatności r_P

Odległość prywatności r_p wyznacza się podobnie jak odległość rozproszenia r_D , z tą różnicą, że dla wartości wskaźnika transmisji mowy STI równego 0,2 (tj. $0,2=f_1(r_p)$; np. rys. 2).

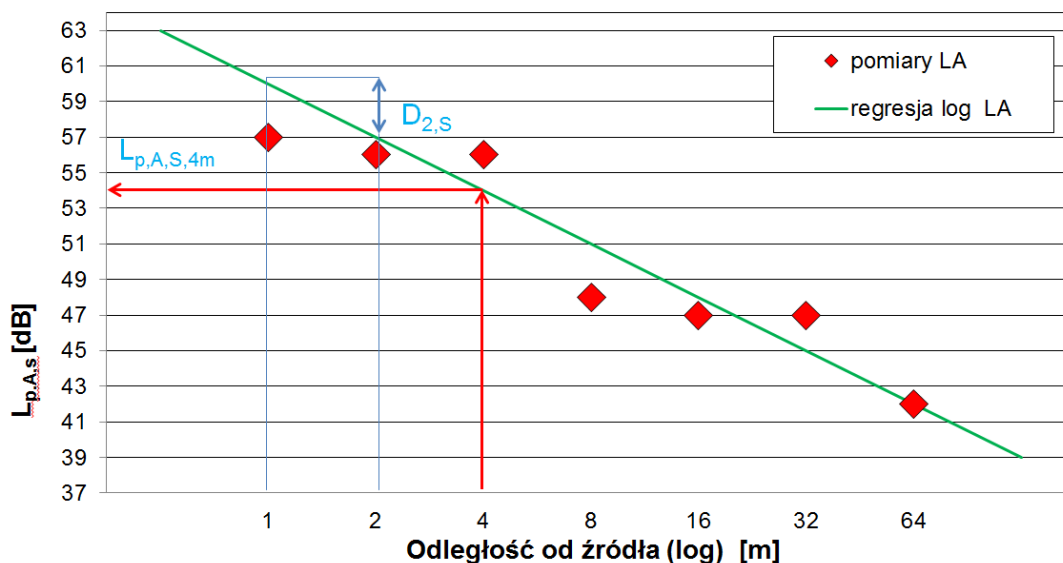
Oba te parametry określa się dla wybranych arbitralnie położen źródła dźwięku mowy i punktów obserwacji, z zastrzeżeniem, że znajdują się one w tych samych położeniach co stanowiska pracy.

Metoda pomiaru spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości oraz poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego

W wielu przypadkach występuje wyraźna propagacja dźwięku od źródła do np. stanowiska pracy. Właściwym parametrem wówczas jest rozkład poziomu dźwięku A (lub poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach częstotliwości) tzw. mapa hałasu. W pomieszczeniach typu open space wyznacza się także dwa inne parametry oceny: spadek poziomu dźwięku mowy na podwojenie odległości $D_{2,s}$ oraz poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego $L_{p,A,S,4m}$ (wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [4]). Te dwa parametry określa się dla mowy normalnej (tabela 3). Odpowiada jej poziom dźwięku A przy podanym tam widmie dla źródła kierunkowego 59,5 dB lub źródła wszechkierunkowego 57,4 dB.

Parametry te określa się na bazie wyznaczonych wartości poziomów dźwięku A mowy.

Na początku wyznacza się wartości poziomów dźwięku A mowy na linii rys. 1 od źródła akustycznego jak dla odległości rozproszenia r_D i odległości prywatności r_p . Następnie wykonuje się interpolację logarytmiczną wyników pomiarów określając zależność poziomu dźwięku A mowy od odległości od źródła na tej linii pomiarowej (rys. 2; tj. $L_{p,A,S} = f_2(r)$).



Rys. 3. Interpolacja logarytmiczna wyników pomiarów poziomu dźwięku A mowy w funkcji odległości od źródła na linii pomiarowej (rys. 1) oraz spadek poziomu dźwięku mowy na podwojenie odległości $D_{2,S}$ i poziom dźwięku A mowy w odległości 4m od mówiącego $L_{p,A,S,4m}$

Poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m $L_{p,A,s,4m}$ ma wartość poziomu dźwięku A mowy funkcji interpolacyjnej dla odległości 4 m ($L_{p,A,s,4m} = f_2(4m)$).

Spadek poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości od mówiącego $D_{2,S}$ wyznacza się z logarytmicznej linii interpolacyjnej wyników pomiarów poziomu dźwięku A mowy (podobnie jak poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego; tj. $L_{p,A,s} = f_2(r)$). Określa się go jako różnicę poziomu dźwięku A na linii interpolacyjnej dla odległości od źródła dźwięku 1 m i 2 m (tj. $D_{2,S} = L_{p,A,s,1m} - L_{p,A,s,2m} = f_2(1\text{ m}) - f_2(2\text{ m})$).

Metoda pomiaru tła akustycznego i hałasu na stanowiskach pracy

Nie można podać jednoznacznej definicji tła akustycznego. Na wypadkowy hałas w pomieszczeniu mają wpływ:

- głosy ludzi,
- hałas od działalności ludzi,
- hałas od wyposażenia technicznego budynku,
- hałas od źródeł spoza budynku.

W przypadku, gdy komunikacja słowna nie jest związana z wykonywaną pracą, wówczas ww. elementy są źródłami tła akustycznego powodującego hałas. W przypadku komunikacji słownej lub prezentacji słownej, tłem akustycznym będą dźwięki od wszystkich źródeł poza mówiącym (wykładowcą/nauczycielem). W pomieszczeniu np. open space, z

punktu widzenia każdego pracownika, tło akustyczne tworzą także wszyscy mówiący z wyłączeniem bezpośrednio mówiącego do tego pracownika. Parametrem określającym tło akustyczne jest równoważny poziom dźwięku A oraz poziomy ciśnienia akustycznego w oktaowych lub tercjowych pasmach częstotliwości z zakresu częstotliwości 20-20000 Hz. Metody pomiarów określone są w normach PN-N-01307:1994, PN ISO 9612:2011, PN-Z-01338:2010 i PN-EN ISO 10052:2007 [5,6,7,8] oraz innych. Jak podano wyżej jednym ze źródeł tła akustycznego jest wyposażenie techniczne budynku. Wartości dopuszczalne równoważnego poziomu dźwięku A od tych źródeł są podane w normie PN-B-02151-02:1987 [9]. Wartości dopuszczalne tam podane są zróżnicowane pod względem przeznaczenia pomieszczenia, a więc i charakteru wykonywanej w nich pracy. W pomieszczeniu można określić rozkład przestrzenny tego parametru, jak również można określić go w wybranych punktach pomieszczenia. W większości zastosowań, ze względu na rozproszony charakter pola akustycznego, podaje się wartość średnią tego parametru dla całego pomieszczenia obliczoną z 1 - 3 punktów.

Metoda pomiaru poziomu hałasu na stanowiskach pracy

Na stanowiskach pracy, na których wymagana jest większa (szczególna) koncentracja uwagi (praca umysłowa), niż na stanowiskach pracy fizycznej, stosuje się dwa parametry oceny. Parametrami tymi są: równoważny poziom dźwięku A od wszystkich źródeł hałasu łącznie (dla hałasu w zakresie słyszalnym) $L_{Aeq,Te}$ oraz równoważny poziom dźwięku G (dla hałasu infradźwiękowego) $L_{Geq,Te}$. Metody ich pomiaru z punktu widzenia oceny rozpatrywanych pomieszczeń mają drugorzędne znaczenie. Ponadto są powszechnie znane (wg PN-N-01307:1994, PN-Z-01338:2010 oraz PN ISO 9612:2011), dlatego nie będą tutaj szczegółowo omawiane.

Metoda pomiaru poziomu tła akustycznego (od wszystkich źródeł)

Metoda ta umożliwia pomiar poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych z zakresu częstotliwości 125-8000 Hz $L_{p,B}$ oraz poziomu dźwięku A $L_{p,A,B}$, od wszystkich źródeł hałasu łącznie (zewnętrznych np. komunikacji, wewnętrznych - wentylacja, ale bez działalności człowieka). Pomiar wykonuje się w godzinach pracy podczas, gdy pracowników nie ma w pomieszczeniu. W przypadku pomieszczeń biurowych open space podczas pomiarów powinny być włączone tzw. urządzenia maskujące sygnały mowy (zagłuszające).

Pomiar wykonuje się: na stanowiskach pracy (tj. na wysokości 1,2 m lub 1,5 m w zależności od pozycji pracy pracowników). Przy tak przyjętych warunkach metodę pomiaru

należy przyjąć z norm PN-N-01307:1994 i PN-Z-01338:2010 (dla pomieszczeń biurowych open space z PN-EN ISO 3382-3:2012).

Metoda pomiaru izolacyjności akustycznej

Metoda pomiaru parametrów określających izolacyjność akustyczną określona jest w normie PN-EN ISO 10052:2007 „Akustyka -- Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych oraz hałasu od urządzeń wyposażenia technicznego -- Metoda uproszczona” [8]. Metodę oceny oraz poziomy dopuszczane określono w normach PN-EN ISO 717-1:2013 „Akustyka -- Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych” [10], w normie PN-EN ISO 717-2:2013-08 – „Akustyka -- Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Część 2: Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych” [11] oraz w normie PN-B-02151-3:2015 „Akustyka budowlana Ochrona przed hałasem w budynkach Część 3: Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania” [12].

Rozpatrywanymi parametrami określającymi właściwości izolacyjne przegród są:

- od dźwięków powietrznych (rozpatrywany zakres częstotliwości tercjowych pasm częstotliwości wg PN-EN ISO 717-1:2013 [10] 100-3150 Hz (oktawowych 125-2000 Hz), wg PN-EN ISO 10052:2007 [8] w pasmach oktawowych 125-2000 Hz):
 - dla wewnętrznych w budynku ścian i stropu pomieszczenia:
 - wzorcowa różnica poziomów D_{nT} , (w zakresie częstotliwości oraz wskaźnik jednoliczbowy - wskaźnik ważony wzorcowej różnicy poziomów $D_{nT,w}$),
 - wskaźnik oceny wzorcowej różnicy poziomów $D_{nT,A1}$,
 - znormalizowana różnica poziomów D_n (w zakresie częstotliwości oraz wskaźnik jednoliczbowy - wskaźnik ważony znormalizowanej różnicy poziomów $D_{n,w}$),
 - przybliżona izolacyjność akustyczna właściwa R' (w zakresie częstotliwości oraz wskaźnik jednoliczbowy – wskaźnik ważony przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej R'_w),
 - widmowy wskaźnik adaptacyjny C ,
 - wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej R'_{A1} ,

- dla ścian zewnętrznych:
 - wzorcowa różnica poziomów $D_{Is,2m,nT}$ (lub $D_{tr,2m,nT}$) (w zakresie częstotliwości oraz wskaźnik jednoliczbowy – wskaźnik ważony wzorcowej różnicy poziomów $D_{Is,2m,nT,w}$ (lub $D_{tr,2m,nT,w}$)),
 - znormalizowana różnica poziomów $D_{Is,2m,n}$ (w zakresie częstotliwości oraz wskaźnik jednoliczbowy wskaźnik ważony znormalizowanej różnicy poziomów $D_{Is,2m,n,w}$),
 - przybliżona izolacyjność akustyczna właściwa R'_{45° (lub R'_{tr}) (w zakresie częstotliwości oraz wskaźnik jednoliczbowy – wskaźnik ważony przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{45^\circ,w}$ (lub $R'_{tr,w}$),
 - widmowe wskaźniki adaptacyjne C, C_{tr} ,
 - wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej R'_{A1} (lub R'_{A2}),
- od dźwięków uderzeniowych (tylko dla stropu) :
 - przybliżony poziom uderzeniowy wzorcowy L'_{nT} (w zakresie częstotliwości oraz wskaźnik jednoliczbowy wskaźnik ważony przybliżonego poziomu uderzeniowego wzorcowego $L'_{nT,w}$),
 - widmowy wskaźnik adaptacyjny C_I ,
 - przybliżony poziom uderzeniowy znormalizowany L'_n (w zakresie częstotliwości oraz wskaźnik jednoliczbowy wskaźnik ważony przybliżonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L'_{n,w}$).

Inne obecne stosowane kryteria oceny pomieszczeń pracy, które zostaną uwzględnione w projekcie przy określeniu jednorodnych (pod względem wymagań warunków akustycznych) grup pracowników są następujące:

- minimalna izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych określaną parametrem R'_{A1} oraz izolacyjność akustyczna od dźwięków uderzeniowych określaną parametrem $L'_{n,w}$ na podstawie projektu normy PN-B-02151-3:2015 [12].

Metody ich pomiaru określono są w odpowiednich normach.

Parametry subiektywne charakteryzujące pomieszczenia pracy

Parametry subiektywne charakteryzujące warunki akustyczne w pomieszczeniach [13,14,15] związane są z subiektywną oceną ekspertów, wykonawców i słuchaczy. Dla danego pomieszczenia mogą się różnić między sobą w zależności od indywidualnych preferencji osoby dokonującej oceny i jej chwilowego samopoczucia. Na ocenę subiektywną mają także wpływ inne czynniki poza akustyczne. Dlatego też subiektywna ocena warunków akustycznych może mieć wartość jedynie wówczas, gdy jest dokonywana przez tę samą, reprezentatywną grupę osób. Zazwyczaj dany parametr subiektywnej oceny wiąże się z parametrem obiektywnej oceny.

Dlatego konieczne jest ze zbioru parametrów obiektywnych wybranie tych, które mają zasadniczy wpływ na ocenę subiektywną.

Subiektywnymi parametrami oceny akustycznej sal [15] są:

- intymność,
- żywość,
- przestrzenność,
- klarowność,
- ciepłość,
- dyfuzyjność,
- echo,
- hałas,
- zakłócenia dźwiękowe,
- nierównomierność nagłośnienia.

Intymność – parametr związany z wrażeniem wielkości wnętrza. Wartość tego parametru nie ma bezpośredniego przełożenia na kubaturę wnętrza: duże pomieszczenie o odpowiedniej akustyce może charakteryzować się większą intymnością, niż mniejsze pomieszczenie. Parametr ten wiąże się z różnicą czasu dotarcia dźwięku bezpośredniego i odbitego, a więc z obiektywnym parametrem początkowe opóźnienie (ITDG). Wpływ na subiektywne odczucie intymności dźwięku w pomieszczeniu ma też poziom głośności dźwięku, a więc wartość obiektywnego parametru.

Żywość – parametr określany również jako pogłosowość. Jest on ściśle związany z czasem pogłosu. Pomieszczenie jest żywe, jeśli czas pogłosu jest wystarczająco duży. Parametr ten

ma wielkie znaczenie w przypadku muzyki, która w pomieszczeniu martwym będzie brzmiała sucho, mało dynamicznie.

Przeźrzenność – parametr ten ma sens wrażenia przestrzenności dźwięku generowanego w pomieszczeniu. Na wrażenie przestrzenności składa się kilka parametrów: pozorna szerokość źródła dźwięku ASW, obwiednia słuchacza LEV, współczynnik odbić bocznych LEF. Parametr ASW dotyczy dźwięku wczesnego, a więc bezpośredniego i wczesnych odbić, natomiast parametr LEV jest określony przez dźwięk pogłosowy.

Klarowność – określa możliwość rozróżnienia następujących po sobie dźwięków. Wiąże się on z wieloma parametrami obiektywnymi: czasem pogłosu T_{60} , współczynnikiem klarowności C, odstępem pogłosu H czy też z wyrazistością D.

Ciepłość – parametr związany jest z zawartością dźwięków o niskich częstotliwościach — z zakresu 75-350 Hz, w charakterystyce pogłosowej pomieszczenia. Odpowiednio duża ciepłość jest niezbędna do osiągnięcia wrażenia pełnego brzmienia. Zbyt duża ciepłość wnętrza zmniejsza natomiast klarowność i jasność jego akustyki. Z parametrem tym wiąże się obiektywny parametr: stosunek basów BR.

Dyfuzyjność – określa równomierność rozproszenia energii akustycznej w pomieszczeniu. Jeżeli wnętrze oznacza się dużą dyfuzyjnością, to znaczy, że energia akustyczna jest równomiernie rozproszona w całym pomieszczeniu.

Przy ocenie subiektywnej sal powszechnie wykorzystuje się dwie metody [15]: Beranka i Ando. W obu tych metodach ocenia się salę w skali 0-100 gdzie 0 oznacza najgorszą, a 100 najlepszą. W każdej z tych metod wykorzystuje się określoną liczbę parametrów obiektywnych, które waliduje się między sobą pod względem wagi. Ekspert ocenia każdy parametr cyfrowo w skali dla tego parametru (każdy parametr subiektywny powiązany jest z parametrem obiektywnym).

Parametry subiektywne związane są z parametrami obiektywnymi.

Innymi parametrami subiektywnymi są:

- Żywotność - parametr powiązany z parametrem obiektywnym, średnim czasem pogłosu w paśmie częstotliwości 500-1000 Hz oznaczonym $T_{500-1000}$,
- Ciepło brzmienia – parametr powiązany z parametrem obiektywnym określającym stosunek $((T_{125}+T_{250})/(T_{500}+T_{1000}))$ oznaczony $T_{125-250/500-1000}$; Im wartość danego parametru jest większa, tym zrozumiałość mowy mniejsza, co jest negatywne w salach do prezentacji słownych, a pozytywne w salach gdzie mowa niosąca przekaz słowny jest hałasem,

- Głośność dźwięku bezpośredniego – parametr powiązany z parametrem obiektywnym określającym odległość od mówiącego, oznaczony $r_{\text{sluchacza}}$; W pomieszczeniu im mniejsza jest ta odległość to zrozumiałość mowy jest większa,
- Głośność dźwięku pogłosowego – parametr powiązany z czasem pogłosu relacją $(T_{500}+T_{1000})/(2V)$ oznaczony $T_{500-1000}/V$,
- Echo - parametr powiązany z objętością i czasem pogłosu,
- Strefa kontaktu osobistego – obszar z którego można porozumiewać się bezpośrednio,
- Strefa publiczna - odległość prywatności r_p (privacy distance),
- Głuchota,
- Pogłosowość,
- Zmienność hałasu.

Biorąc pod uwagę rozpatrywane pomieszczenia oraz obecny stan wiedzy i praktyki (w tym projektantów pomieszczeń), nie mają one zastosowania w rozpatrywanych pomieszczeniach.

Bibliografia

1. PN-EN ISO 3382-2:2010 „Akustyka - Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń - Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach”.
2. PN-B-02151-4:2015 „Akustyka budowlana Ochrona przed hałasem w budynkach Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach”.
3. PN-EN 60268-16:2011 „Urządzenia systemów elektroakustycznych - Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy”.
4. PN-EN ISO 3382-3:2012 „Akustyka - Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń - Część 3: Pomieszczenia biurowe typu open space”.
5. PN-N-01307:1994 „Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonania pomiarów”.
6. PN ISO 9612:2011 „Akustyka - Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas - Metoda techniczna”.
7. PN-Z-01338:2010 „Akustyka - Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy”.

8. PN-EN ISO 10052:2007 „Akustyka - Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych oraz hałasu od urządzeń wyposażenia technicznego - Metoda uproszczona”.
9. PN-B-02151-02:1987 „Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach”.
10. PN-EN ISO 717-1:2013-08 „Akustyka - Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych”.
11. PN-EN ISO 717-2:2013-08 „Akustyka - Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Część 2: Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych”.
12. PN-B-02151-3:2015 „Akustyka budowlana Ochrona przed hałasem w budynkach Część 3: Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania”.
13. Ando Y.: Concert hall acoustic. Berlin: Springer-Verlag 1985.
14. Beranek L. L.: Concert Hall Acoustic – 1992. J. Acoust. Soc. Am., 1992, vol. 92, No. 1, 1992, s. 1-39.
15. Kulowski A.: Akustyka sal. Zalecenia projektowe dla architektów. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2011.
16. Mikulski W., Warmiak I.: Wymagania akustyczne jakie powinno spełniać środowisko pracy dotyczące hałasu pod względem możliwości wykonywania prac wymagających koncentracji uwagi. Czynniki zagrożeń zawodowych – hałas i drgania - materiały internetowe www.ciop.pl
17. Mikulski W., Warmiak I.: Wytyczne techniczne modyfikacji akustycznej pomieszczeń, w których na stanowiskach pracy konieczne jest zapewnienie warunków akustycznych do pracy wymagającej koncentracji uwagi oraz wytyczne organizacyjne ograniczenia hałasu oddziaływującego na pracowników. Czynniki zagrożeń zawodowych – hałas i drgania - materiały internetowe www.ciop.pl

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, dofinansowywanego w latach 2014-2016 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. Projekt badawczy nr II.P.13 pn. „Badania propagacji dźwięku i metod kształtowania warunków akustycznych w pomieszczeniach do pracy wymagającej koncentracji uwagi”