

# **Metody pomiarów i kryteria oceny parametrów charakteryzujących środowisko akustyczne w wielkoprzestrzennych pomieszczeniach do pracy umysłowej**

Autor: dr inż. Witold Mikulski

2017 r.

Materiał opracowany na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

## **1. Metody pomiarów i kryteria oceny parametrów charakteryzujących środowisko akustyczne w wielkoprzestrzennych pomieszczeniach do pracy umysłowej**

### **1.1 Metoda oceny środowiska akustycznego w wielkoprzestrzennych pomieszczeniach do pracy umysłowej**

Metoda oceny środowiska akustycznego w wielkoprzestrzennych pomieszczeniach do pracy umysłowej polega na porównaniu wartości parametrów kryterialnych określonych w rozdziale 1 z ich wartościami dopuszczalnymi (minimalnymi lub maksymalnymi) określonymi w przepisach. Spełnienie kryterium (ocena pozytywna) jest wówczas, gdy spełnienie są wszystkie kryteria tzn., że wartości wszystkich ww. parametrów, dla których obowiązują wartości minimalne dopuszczalne (np. chłonność akustyczna pomieszczenia na 1m<sup>2</sup> rzutu pomieszczenia) przekraczają swoje wartości minimalne dopuszczalne oraz wartości parametrów, dla których obowiązują wartości maksymalne dopuszczalne (np. czas pogłosu pomieszczenia) nie przekraczają swoich wartości maksymalnych dopuszczalnych. Wartości dopuszczalne przyjęto wg. odpowiednich przepisów (rozporządzenia, normy) lub można je oszacować na podstawie wartości dopuszczalnych innych parametrów, które są z nimi

skorelowane (a ich wartości dopuszczalne podane są w odpowiednich przepisach; np. czas pogłosu z chłonnością akustyczną pomieszczenia) lub w przypadku, gdy dotychczas nie są znane ich wartości dopuszczalne, przyjęto je w ramach projektu (np. promień prywatności  $r_p$ , lub inna wielkość określająca separację akustyczną – maksymalna wartość wskaźnika transmisji mowy docierającej z sąsiedniego stanowiska pracy  $STI_{max}$ ).

## **1.2 Metoda pomiarów i kryteria oceny hałasu na stanowiskach pracy i miejscach pracy**

Metody pomiarów i kryteria oceny hałasu na stanowiskach pracy i miejscach pracy polegają na wyznaczeniu wartości parametrów charakteryzujących hałas w oparciu o pomiar poziomu dźwięku A i C (również poziomu dźwięku G) (w przypadku rozpatrywanych stanowisk pracy nie ma potrzeby uwzględniać zakresu częstotliwości 20000-40000Hz wchodzącego w zakres hałasu ultradźwiękowego).

### Metoda pomiaru i wartości dopuszczalne hałasu ze względu na ochronę słuchu

Do oceny hałasu ze względu na ochronę słuchu na stanowisku pracy wykorzystuje się następujące parametry:

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego ( $L_{EX,8h}$ ) lub przeciętnego tygodniowego ( $L_{EX,w}$ ), określonego w kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy,
- maksymalny poziom dźwięku A ( $L_{Amax}$ ),
- szczytowy poziom dźwięku C ( $L_{Cpeak}$ ).

Metody pomiarów tych parametrów określone są w normach PN ISO 9612:2011 oraz PN-N-01307:1994.

Wartości dopuszczalne tych parametrów ze względu na ochronę słuchu (kryterium szkodliwości) są niezależne od charakteru wykonywanych prac i określa je Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. (ze zmianami) w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Wynoszą one dla ogółu pracowników:

- $L_{EX,8h}, L_{EX,w} = 85$  dB,
- $L_{Amax} = 115$  dB,

- $L_{Cpeak} = 135$  dB.

Niższe wartości dopuszczalne ze względu na ochronę słuchu obowiązują na stanowiskach pracy kobiet w ciąży oraz na stanowiskach pracy młodocianych.

W rozpatrywanych pomieszczeniach praktycznie nie zachodzą przypadki przekroczenia wartości dopuszczalnych tych parametrów (nie można jednak pominąć tych parametrów z powodu ich zasadniczego znaczenia przy ocenie zagrożenia hałasem pracowników). Jednakże występuje tutaj jeden wyjątek. Dopuszczalny poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego ( $L_{EX,8h}$ ) lub przeciętnego tygodniowego ( $L_{EX,w}$ ) czasu pracy na stanowisku pracy na którym pracują kobiety w ciąży wynosi 65 dB (Rozporządzenie Rady Ministrów z 3 kwietnia 2017 Dz.U.2017 poz. 796 w sprawie prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią). Ta wartość kryterialna ( $L_{EX,8h}$ ,  $L_{EX,w} = 65$  dB) znajduje się w pobliżu występujących wartości hałasu, jednakże w praktyce jej przekroczenie również jest mało prawdopodobne.

#### Metoda pomiaru i wartości dopuszczalne hałasu na stanowiskach pracy od wszystkich źródeł hałasu łącznie (ze względu na możliwość realizowania podstawowych czynności pracy)

Do oceny hałasu na stanowiskach pracy ze względu na możliwość realizowania podstawowych czynności pracy wykorzystuje się parametr równoważny poziom dźwięku A określany w czasie pracy podczas którego charakter pracy tego wymaga (np. skupienie, łączność telefoniczna itp. – określone w PN-N-01307:1994). Dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A  $L_{Aeq,Te}$  wynosi dla rozpatrywanych pomieszczeń (praca umysłowa) 55 dB. Zarówno metoda pomiarów tego parametru jak i poziom dopuszczalny określone są w normie PN-N-01307:1994.

Przekroczenie tego poziomu dopuszczalnego (aż do poziomów ok 80 dB) nie powoduje negatywnych skutków w organizmie człowieka, a stanowi tylko pewną uciążliwość, utrudniając lub uniemożliwiając wykonywaną przez niego pracę.

Warto zaznaczyć, że pomiary równoważnego poziomu dźwięku A  $L_{Aeq,Te}$  wykonuje się na stanowisku pracy z wyłączeniem momentów, gdy osoba na tym stanowisku pracy mówi.

#### Metoda pomiaru i wartości dopuszczalne na stanowiskach pracy hałasu infradźwiękowego ze względu na uciążliwość

Wielkością stosowaną do oceny hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy ze względu na uciążliwość jest równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowanego

charakterystyką częstotliwościową G odniesioną do 8-godzinnego dnia pracy ( $L_{Geq,8h}$ ) lub tygodnia pracy ( $L_{Geq,w}$ ). Jego wartość dopuszczalna dla ogółu pracowników wynosi 102 dB (dla kobiet w ciąży 86 dB).

Na stanowiskach pracy do wykonywania prac koncepcyjnych wymagających szczególnej koncentracji uwagi, w czasie pobytu pracownika na stanowisku stosuje się parametr równoważny poziom dźwięku G ( $L_{Geq,Te}$ ). Jego wartość dopuszczalna wynosi 86 dB.

Na rozpatrywanych stanowiskach pracy tylko w wyjątkowych przypadkach mogą występować przekroczenia wartości dopuszczalnych hałasu infradźwiękowego (86 dB – równoważnego poziomu dźwięku G). Ich przyczyną może być wentylacja i/lub klimatyzacja. Metody pomiarów tych parametrów określone są w normie PN-Z-01338:2010 (w ostatnim czasie w metodzie pomiaru uwzględnia się dodatkowo metody pomiaru podane w PN ISO 9612:2011).

## Metoda pomiaru i wartości dopuszczalne hałasu od wyposażenia technicznego budynku

Parametrem określającym hałas w pomieszczeniu od wyposażenia technicznego budynku jest równoważny poziom dźwięku A. Wartości dopuszczalne podane są w normie PN-B-02151-02:1987 (przytoczono wybrane wartości w tabeli poniżej) i dla rozpatrywanych pomieszczeń można je przyjąć z zakresu 35-45 dB. W pomieszczeniu można określić rozkład przestrzenny poziomu dźwięku A tła akustycznego, jak również można określić go w wybranych punktach pomieszczenia np. na stanowiskach pracy (jest to ważne przy określaniu rozkładu wskaźnika transmisji mowy oraz w przypadkach zastosowania metod obliczeniowych, w których przy obliczeniach uwzględnia się tło akustyczne). W większości zastosowań, ze względu na rozproszony charakter pola akustycznego, podaje się wartość średnią tego parametru dla całego pomieszczenia obliczoną z 2-3 punktów.

Metoda pomiarów określona jest w normie PN-EN ISO 10052:2007.

Tabela 1.2-1. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku A tła akustycznego w pomieszczeniu wg PN-B-02151-2: 1987

Przeznaczenie pomieszczenia	Dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wszystkich źródeł hałasu łącznie $L_{Aeq}$ , dB		Dopuszczalny poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wyposażenia technicznego budynku oraz innych urządzeń w budynku i poza budynkiem			
			Średni poziom dźwięku A, ( $L_{Am}$ ) (przy hałasie ustalonym) lub równoważny poziom dźwięku A, ( $L_{Aeq}$ ) (przy hałasie nieustalonym), dB		Maksymalny poziom dźwięku A, ( $L_{Amax}$ ), przy hałasie nieustalonym, dB	
	w dzień	w nocy	w dzień	w nocy	w dzień	w nocy
Pomieszczenia do pracy umysłowej wymagającej silnej koncentracji uwagi	35	-	30	-	35	-
Pomieszczenia administracyjne bez wewnętrznych źródeł hałasu	40	-	35	-	40	-
Pomieszczenia administracyjne z wewnętrznymi źródłami hałasu, pomieszczenia administracyjne w obiektach tymczasowych	45	-	40	-	45	-

### 1.3 Metody określania i kryteria oceny chłonności akustycznej pomieszczenia A i chłonności akustycznej pomieszczenia odniesionej do 1m<sup>2</sup> rzutu pomieszczenia

Chłonność akustyczna pomieszczenia (oznaczona literą A) jest to miara całkowitej zdolności pomieszczenia do pochłaniania i tłumienia dźwięku. Chłonność akustyczna pomieszczenia wynika z chłonności akustycznej wszystkich powierzchni (w tym ograniczających pomieszczenie), chłonności akustycznej znajdującego się w nim wyposażenia oraz chłonności akustycznej wynikająca z tłumienia dźwięku przez powietrze.

Określa się ją ze wzoru:

$$A = A_{powierzchni} + A_{wyposazenie} + A_{air} = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i + \sum_{j=1}^o A_{wyp,j} + 4mV \quad (1.3-1)$$

gdzie:

$A_{powierzchni}$  – chłonność akustyczna powierzchni pomieszczenia (ścian, podłogi, stropu), w m<sup>2</sup>,

$A_{wyposazenie}$  - chłonność akustyczna elementów wyposażenia, w m<sup>2</sup>,

$A_{air}$  - chłonność akustyczna wynikająca z pochłaniania dźwięku w powietrzu, w m<sup>2</sup>,

$n$  - liczba powierzchni pomieszczenia,

$\alpha_i$  - współczynnik pochłaniania dźwięku i-tej powierzchni pomieszczenia,

$S_i$  - pole powierzchni i-tej powierzchni pomieszczenia, m<sup>2</sup>,

$o$  - liczba elementów wyposażenia, dla których określono chłonność akustyczną,

$A_{wyp,j}$  - chłonność akustyczna j-tego elementu wyposażenia, w m<sup>2</sup>,

$m$  - mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu, w neperach na metr (tabela poniżej),

$V$  - kubatura pomieszczenia, w m<sup>3</sup>.

Tabela 1.3-1. Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku,  $m$  wg PN-B-02151-4:2015.

p.	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
	20°C / 30 - 50 %	0,0006	0,0010	0,0019
	20°C / 50 - 70 %	0,0006	0,0010	0,0017

Współczynnik pochłaniania dźwięku  $\alpha$  to parametr, za pomocą, którego określa się właściwości dźwiękochłonne materiałów i wyrobów (dalej zwanych materiałami dźwiękochłonnymi). 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 materiał w całości odbija padającą energię 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 środkowych: 500, 1000 i 2000 Hz.

W metodzie pogłosowej chłonność akustyczną pomieszczenia, w  $m^2$ , wyznacza się na podstawie pomiaru czasu pogłosu pomieszczenia z wzoru:

$$A=0,161(V/T) \quad (1.3-2)$$

gdzie:

V – objętość (kubatura) pomieszczenia, w  $m^3$ ,

T – czas pogłosu w sekundach.

W rozpatrywanych pomieszczeniach pole pogłosowe nie występuje, jednakże w szacunkowych obliczeniach inżynierskich (przy projektowaniu pomieszczeń), przed dokładniejszymi obliczeniami w oparciu o programy do symulacji akustycznej wnętrza, powyższy wzór można wykorzystać do oszacowania chłonności akustycznej pomieszczenia z czasu pogłosu pomieszczenia lub odwrotnie.

Ponieważ chłonność akustyczna zależy od wielkości pomieszczenia dla lepszego scharakteryzowania właściwości akustycznych pomieszczeń stosuje się chłonność akustyczną odniesioną do  $1 m^2$  rzutu pomieszczenia:

$$A_{1m^2} = \frac{A}{S_{podłogi}} \quad (1.3-3)$$

gdzie:

A – chłonność akustyczną pomieszczenia, w  $m^2$ ,

$S_{podłogi}$  – pole powierzchni rzutu pomieszczenia (w większości przypadków podłogi), w  $m^2$ .

Analogicznie jak chłonność akustyczna pomieszczenia, chłonność akustyczną odniesioną do  $1 m^2$  rzutu pomieszczenia określa się dla częstotliwości środkowych pasm oktaowych z zakresu 500-2000 Hz.

W tabeli poniżej podano minimalną wartość chłonności akustycznej odniesionej do 1 m<sup>2</sup> rzutu pomieszczenia (tj. podłogi)  $A_{1m^2}$  w wybranych typach pomieszczeń wg PN-B-02151-4:2015.

Tabela 1.3-2 Minimalna wartość chłonności akustycznej pomieszczenia A odniesiona do 1 m<sup>2</sup> rzutu pomieszczenia (w paśmie częstotliwości 500-2000 Hz), wybranych pomieszczeń wg PN-B-02151-4:2015.

Pomieszczenie	$A_{1m^2}$ , w m <sup>2</sup>
Biura wielkoprzestrzenne, otwarte pomieszczenia do prac administracyjnych tzw. „open space”, sale operacyjne banków i urzędów, biura obsługi klienta oraz inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu	1,1
Centra obsługi telefonicznej	1,3

## 1.4 Metody pomiaru i kryterium oceny czasu pogłosu pomieszczenia

Najpowszechniej stosowanym parametrem charakteryzującym właściwości akustyczne pomieszczeń (a więc i warunki akustyczne w pomieszczeniach) jest czas pogłosu. Wynika to z faktu, że dobrze on charakteryzuje akustycznie pomieszczenie, a jednocześnie stosunkowo łatwo parametr ten jest zmierzyć. 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.  $T_{mf}$ . W pomieszczeniach wielkoprzestrzennych przez analogię do chłonności akustycznej najbardziej istotne znaczenie ma określenie go w pasmach częstotliwości 500, 1000 i 2000 Hz (rozdział poprzedni). Wyznacza się go metodami podanymi w normie PN-EN ISO 3382-2:2010.

Można go określać z różną dokładnością:

- 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 (zazwyczaj dla pomieszczeń, dla których wyznacza się tylko czas pogłosu) oraz metodą wyznaczania odpowiedzi impulsowej MLS (dla pomieszczeń, dla których wyznacza się również inne parametry np. wskaźnik transmisji mowy STI). W obu przypadkach stosuje się źródło wszechkierunkowe, a wartości wyznacza się z tzw. spadku 30 dB tzw.  $T_{30}$  (rzadziej spadku 20 dB tzw.  $T_{20}$ ).

Metoda szumu przerywanego (termin wg PN-EN ISO 3382-2:2010) polega na wyznaczeniu 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.  $T_{30}$ . 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  $T_{30}$  poziom szumu powinien być przynajmniej 45 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. pasma 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 (lub tercjowego) 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 punkt startu do całkowania w czasie odwróconym.

W tabeli poniżej podano maksymalny dopuszczalny czas pogłosu  $T$  w wybranych pomieszczeniach do komunikacji słownej wg PN-B-02151-4:2015.

Tabela 1.4-1 Maksymalne wartości czasu pogłosu T w wybranych pomieszczeniach do komunikacji słownej w paśmie częstotliwości 250-8000 Hz (dla 125 Hz jest 30 % większy) wg PN-B-02151-4:2015.

Rodzaj pomieszczenia	Objętość lub wysokość maksymalna pomieszczenia	Czas pogłosu, T [s]	Zakres częstotliwości [Hz]
Sale i pracownie szkolne, sale audytoryjne, wykładowe w szkołach podstawowych, średnich i wyższych i inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu	do 120 m <sup>3</sup>	0,6	125 – 8000
	120-250 m <sup>3</sup>	0,6	
	250-500 m <sup>3</sup>	0,8	
	500-2000 m <sup>3</sup>	1,0	
Czytelnie, wypożyczalnie oraz pomieszczenia księgozbiorów z wolnym dostępem w bibliotekach	≤ 4,0 m	0,6	250 – 4000
	> 4,0 m	0,8	
Pokoje biurowe i inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu	-	0,6	

Jak można zauważyć z tabeli powyżej dla rozpatrywanych wewnątrz pomieszczeń wieloprzestrzennych do pracy umysłowej nie ma określonego maksymalnego czasu pogłosu. Dlatego w przybliżeniu, jak podano w poprzednim rozdziale, dla konkretnego pomieszczenia o objętości V można go obliczyć po przekształceniu wzoru 1.3-2 przyjmując minimalną dopuszczalną chłonność akustyczną odniesioną do rzutu pomieszczenia np. dla pomieszczeń biurowych open space równą 1,1m<sup>2</sup> (tabela 1.3-2) tzn.:

$$T_{max,dop} = \frac{0,161 \cdot V}{A_{min,dop}} = \frac{0,161 \cdot V}{S_{podłogi} \cdot A_{min,dop,1m^2}} = \frac{0,161 \cdot V}{S_{podłogi} \cdot 1,1} = 0,146 \cdot H \quad (1.4-1)$$

gdzie:

V – objętość pomieszczenia, m<sup>3</sup>,

A<sub>min,dop</sub> – minimalna dopuszczalna chłonność pomieszczenia, w m<sup>2</sup>,

A<sub>min,dop,1/1m2</sub> – minimalna dopuszczalna chłonność pomieszczenia na 1 m<sup>2</sup> rzutu pomieszczenia (podłogi), w m<sup>2</sup>,

S<sub>podłogi</sub> – pole powierzchni podłogi, w m<sup>2</sup>,

H – wysokość pomieszczenia, w metrach.

W rozpatrywanych pomieszczeniach, znajduje się dużo nierównomiernie rozmieszczonego wyposażenia, a jednocześnie często pomieszczenie podzielone jest na mniejsze fragmenty, dlatego czas pogłosu w różnych częściach pomieszczenia może być różny. Wówczas poza średnim czasem pogłosu pomieszczenia może być konieczne określenie czasu pogłosu w różnych częściach pomieszczenia, a w skrajnych przypadkach rozkładu tego parametru w pomieszczeniu.

Informacyjnie i dla porównania podaje się, że w normie PN-EN ISO 11064-6:2005 określono zalecenia dotyczące czasu pogłosu w centrach sterowania. Czas pogłosu w zakresie średnich częstotliwości 500-2000 Hz nie powinien w nich przekraczać 0,75 s, przy czym zaleca się, aby był zbliżony do 0,4 s.

## **1.5 Metody pomiaru i kryteria oceny rozkładu wskaźnika transmisji mowy STI oraz wskaźnika transmisji mowy STI w funkcji odległości (od źródła mowy)**

Parametrem stosowanym do określania zrozumiałości mowy jest wskaźnik transmisji mowy STI. Stosowany on jest do określania zrozumiałości mowy, ale pośrednio także do charakteryzowania właściwości akustycznych pomieszczeń (przy zadanym poziomie tła akustycznego): w pomieszczeniach do komunikacji słownej (pomieszczenia wykładowe, sale lekcyjne, sale konferencyjne itp.) oraz w innych pomieszczeniach, w których wymagana jest zrozumiałość mowy lub przeciwnie zrozumiałość mowy jest niepożądana.

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 oktawowych 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 oktawowych, 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 przez 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 ( $T_{ik,f}$ ) dla pasma oktawowego  $k$  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 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 oktawowych pasmach częstotliwości, które chwilowo mogą przekroczyć o 3 dB modulowany sygnał pomiarowy. Poziomy w pasmach oktawowych są unormowane do ważonego krzywą dźwięku 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.

W tabeli poniżej podano zależność między wskaźnikiem transmisji mowy STI i zrozumiałością mowy wg PN-EN 60268-16:2011. Minimalna rozróżnialna słuchowo różnica zrozumiałości mowy (tzw. JND STI) odpowiada wartości 0,03 wskaźnika transmisji mowy STI.

Tabela 1.5-1. Zależność między wskaźnikiem transmisji mowy STI i zrozumiałością mowy wg PN-EN 60268-16:2011.

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.

W tabeli poniżej podano minimalną wartość wskaźnika transmisji mowy STI w wybranych pomieszczeniach do komunikacji słownej wg PN-B-02151-4:2015.

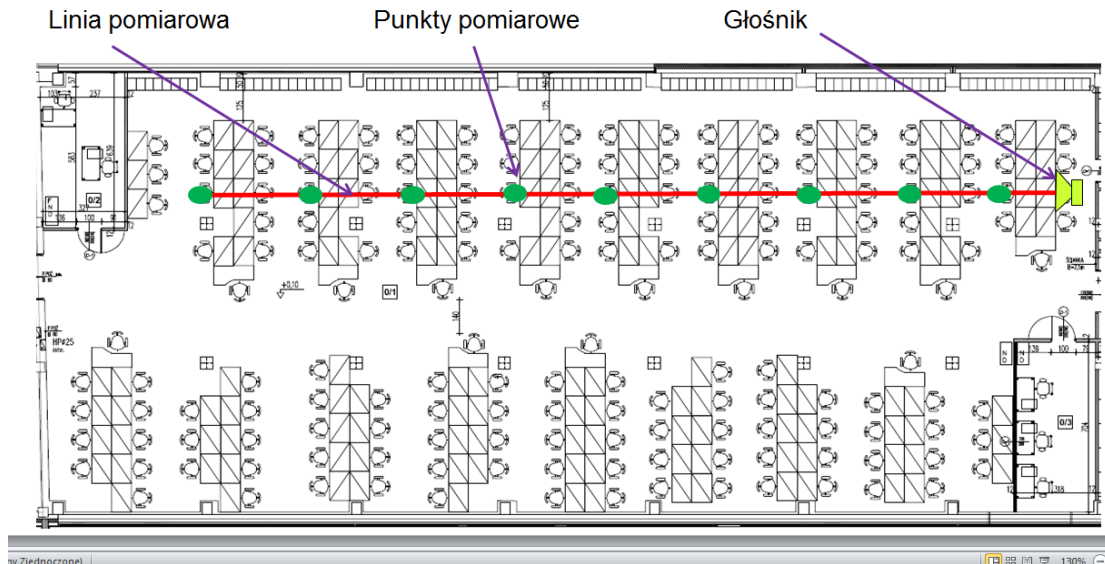
Tabela 1.5-2 Minimalna wartość wskaźnika transmisji mowy STI w wybranych pomieszczeniach do komunikacji słownej wg PN-B-02151-4:2015.

Pomieszczenie	Kubatura [m <sup>3</sup> ]	Wskaźnik transmisji mowy STI
Sale lekcyjne, audytoria, wykładowe, w wszystkich typach szkół	do 120	--
	120-250	0,6
	250-500	
	500-2000	
Inne do komunikacji słownej	do 500	0,6
	500-2000	

Dla sal, w których należy zapewnić zrozumiałość mowy (dobrą) przyjęto minimalną wartość wskaźnika transmisji mowy STI równą 0,6. W większości przypadków w pomieszczeniu występuje zróżnicowanie wartości wskaźnika transmisji mowy, dlatego określa się rozkład przestrzenny tego parametru, określa się także wartość średnią tego parametru dla całego pomieszczenia oraz określa się wartość tego parametru w istotnych punktach pomieszczenia np. stanowiskach pracy. Dla wartości średniej oraz w istotnych punktach pomieszczenia stosuje się ww. kryterium.

W rozpatrywanych pomieszczeniach należy dążyć do tego, aby rozmowy prowadzone na stanowiskach pracy nie powodowały dekoncentracji pracowników niebiorących w nich udziału. Należy więc zapewnić małą zrozumiałość mowy między stanowiskami pracy. Na potrzeby określania innych parametrów charakteryzujących właściwości akustyczne pomieszczeń (rozdział następny) określa się wskaźnik transmisji mowy STI na stanowiskach pracy

znajdujących się na półprostej o początku również na stanowisku pracy (rys. poniżej), w którym umieszcza się wzorcowe źródło mowy (patrz tabela poniżej).



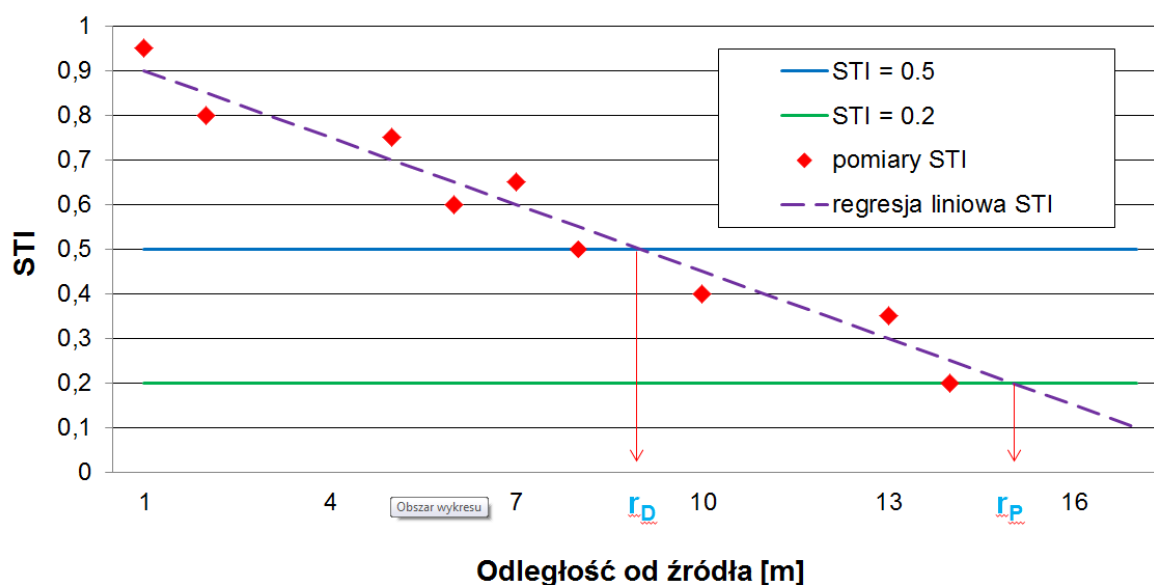
Rys. 1.5-1. Linia (półprosta) z punktami pomiarowymi, na rzucie pomieszczenia, do określania odległości rozproszenia i odległości prywatności oraz spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości oraz poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m (od mówiącego).

Tabela. 1.5-3. Poziom ciśnienia akustycznego emisji w odległości 1 m od źródła stosowanego jako wzorcowe źródło mowy (wg PN-EN ISO 3382-3:2012)

Typ źródła	Poziom ciśnienia akustycznego emisji, w dB							
	Częstotliwość, w 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
Wszekierunkowe	49,9	54,3	58,0	52,0	44,8	38,8	33,5	57,4

## 1.6 Metody pomiaru i kryteria oceny promienia rozproszenia $r_D$ i promienia prywatności $r_P$

Promień rozproszenia  $r_D$  i promień prywatności  $r_P$  są dwoma kolejnymi (obok wskaźnika transmisji mowy STI) parametrami charakteryzującymi właściwości pomieszczeń pod względem zapewnienia w nich odpowiedniej zrozumiałości mowy (stosowanymi głównie do pomieszczeń biurowych open space PN-EN ISO 3382-3:2012. Określa się je na bazie wyznaczonych wartości wskaźników transmisji mowy STI na półprostych (rozdział poprzedni). 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. Definicyjnie promień rozproszenia  $r_D$  to taka odległość od mówiącego (pomiarowo wyznaczana od źródła dźwięku o widmie mowy podanych w tabeli 1.5-3), w której wskaźnik transmisji mowy STI jest równy 0,5, a promień rozproszenia  $r_P$  odpowiednio 0,2. Ponieważ pomiary wykonuje się w skończonej liczbie punktów pomiarowych (ich zalecana liczba wynosi 6-10; linia pomiarowa na rys. 1.5-1) oba parametry wyznacza się z interpolacji liniowej wyników pomiarów wskaźnika transmisji mowy STI w funkcji odległości od źródła (tj.  $STI = f_1(r)$ ; interpolacja liniowa wyników pomiarów na rys. poniżej). Promień rozproszenia  $r_D$  to taka odległość, dla której wartość tej funkcji jest równa 0,5 (tj.  $0,5=f_1(r_D)$ ; rys. poniżej), a promień prywatności  $r_P$  to taka odległość, dla której wartość tej funkcji jest równa 0,2 (tj.  $0,2=f_1(r_P)$ ; rys. poniżej).



Rys. 1.6-1. Interpolacja liniowa wyników pomiarów wskaźnika transmisji mowy STI w funkcji odległości od źródła na linii pomiarowej (rys. 1.5-1) oraz promień rozproszenia  $r_D$  i promień prywatności  $r_P$ .



Oba te parametry określa się dla wybranych arbitralnie położenia źródła dźwięku mowy i punktów obserwacji, z zastrzeżeniem, że znajdują się one w tych samych położeniach co stanowiska pracy. Metoda wyznaczania tych parametrów określona jest w PN-EN ISO 3382-3:2012.

Jako kryterium dobrych właściwości akustycznych w pomieszczeniach biurowych open space, wartość promienia rozproszenia  $r_D$  powinna być nie większa niż 5 metrów (wg PN-EN ISO 3382-3:2012).

W normie PN-EN ISO 3382-3:2012 nie określono wartości kryterialnej promienia prywatności  $r_P$ . Dlatego w chwili obecnej nie można ocenić właściwości akustycznych pomieszczenia tym parametrem, natomiast wartości tego parametru można wykorzystać do porównywania pomieszczeń między sobą. Typowe wartości tych parametrów w rozpatrywanych pomieszczeniach wg PN-EN ISO 3382-3:2012 są: promień rozproszenia  $r_D$  większe niż 9-10 m, promień prywatności  $r_P$  większe niż 20 m.

Na podstawie tych danych oraz badań własnych wykonanych w CIOP-PIB przyjęto, że maksymalna dopuszczalna wartość promienia prywatności  $r_{P,max}$ , jest dwukrotnie większa od maksymalnej dopuszczalnej wartości promienia rozproszenia  $r_{D,max}$ , tj.:

$$r_{P,max} = 2 \cdot r_{D,max} = 2 \cdot 5m = 10m \quad (1.6-1)$$

gdzie:

$r_{D,max}$  - maksymalny dopuszczalny promień rozproszenia, w metrach (5m wg PN-EN ISO 3382-3:2012),

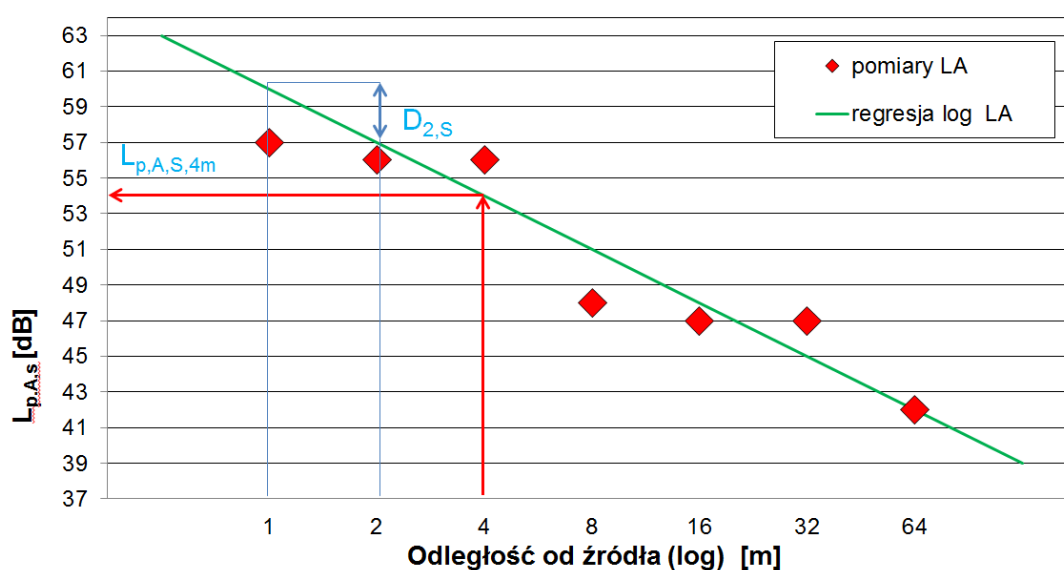
$r_{P,max}$  - maksymalny dopuszczalny promień prywatności, w metrach.

## **1.7 Metody pomiaru i kryteria oceny rozkładu poziomego dźwięku mowy i poziomego dźwięku mowy w funkcji odległości od źródła mowy**

Na potrzeby określenia propagacji dźwięku oraz oceny właściwości akustycznych pomieszczenia w rozpatrywanych pomieszczeniach określa się rozkład poziomego dźwięku A (lub rzadziej poziomego ciśnienia akustycznego w oktaowych pasmach częstotliwości z zakresu 125-8000Hz) oraz poziom dźwięku A (lub poziom ciśnienia akustycznego w oktaowych pasmach częstotliwości jw.) na półprostych analogicznie jak w rozdziałach 1.5 i 1.6 przy pomiarach wskaźnika transmisji mowy STI). Stosuje się tu również takie jak tam wzorcowe źródło mowy. Metodę pomiaru podano w PN-EN ISO 3382-3:2012.

## 1.8 Metody pomiaru i kryteria oceny poziom dźwięku A mowy w odległości 4m (od źródła mowy) oraz spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości $D_{2,S}$

Z wyników pomiarów poziomu dźwięku A zmierzonych na liniach pomiarowych (rys. 1.5-1) określa się funkcję  $f_2$  poziomu dźwięku A w funkcji odległości od źródła jako interpolację logarytmiczną wyników pomiarów (rys. 1.8-1).



Rys. 1.8-1. Interpolacja logarytmiczna wyników pomiarów poziomu dźwięku A mowy w funkcji odległości od źródła na linii pomiarowej (rys. 1.5-1)  $L_{p,A,S} = f_2(r)$  oraz spadek poziomu dźwięku mowy na podwojenie odległości  $D_{2,S}$  i poziom dźwięku A mowy w odległości 4m (od mówiącego)  $L_{p,A,S,4m}$ .

Z funkcji tej wyznacza się dwa parametry. Pierwszy parametr - spadek poziomu dźwięku mowy na podwojenie odległości  $D_{2,S}$  wyznacza się ze wzoru:

$$D_{2,S} = L_{p,A,S,1m} - L_{p,A,S,2m} \quad (1.8-1)$$

gdzie:

$L_{p,A,S,1m}$  i  $L_{p,A,S,2m}$  – poziom dźwięku A mowy dla logarytmicznej linii interpolacyjnej wyników pomiarów odpowiednio dla odległości 1m i 2m, w dB.

Drugi parametr - poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego  $L_{p,A,S,4m}$  ma wartość logarytmicznej linii interpolacyjnej dla odległości od źródła równej 4m (rys. 1.8-1; tj.  $L_{p,A,S,4m} = f_2(4m)$ ).

Metoda wyznaczania tych parametrów określona jest w PN-EN ISO 3382-3:2012.

Pomieszczenia biurowe typu open space, a więc rozpatrywane pomieszczenia mają dobre właściwości akustyczne, gdy wartości spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości od mówiącego  $D_{2,s}$  są większe lub równe 7 dB, a wartości poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m  $L_{p,A,S,4m}$  są mniejsze lub równe 48 dB (wg PN-EN ISO 3382-3:2012). Wartości te są wartościami dopuszczalnymi tych parametrów stosowanymi w kryteriach oceny pomieszczeń.

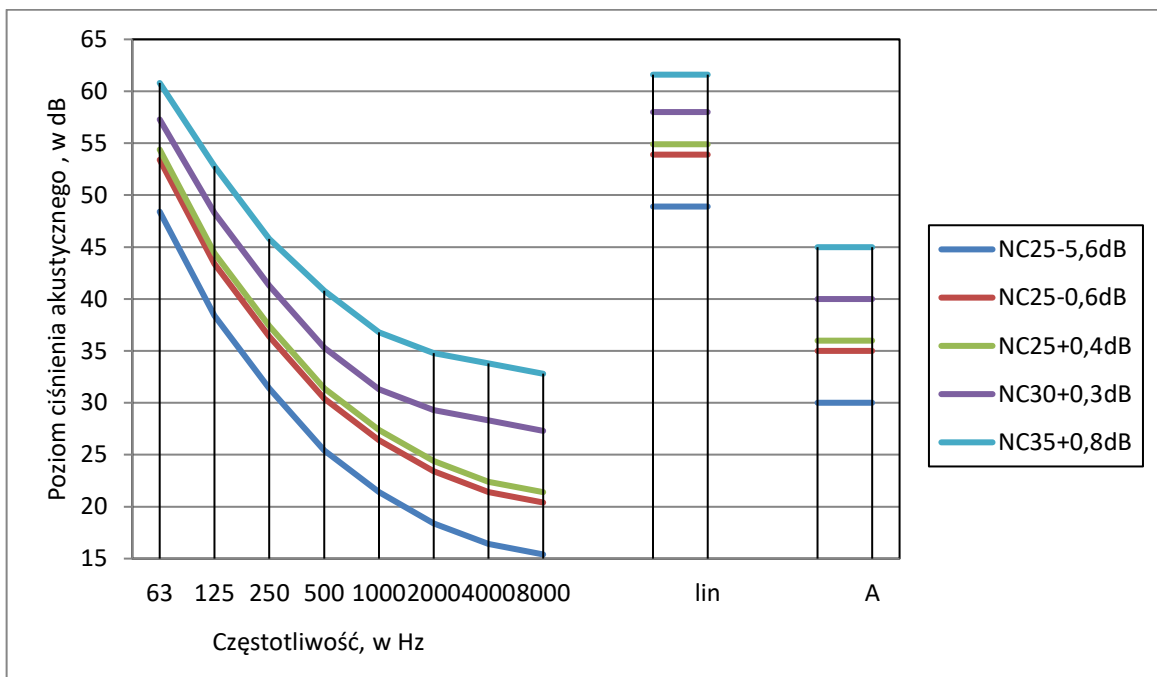
Typowymi wartościami tych parametrów w rozpatrywanych pomieszczeniach wg PN-EN ISO 3382-3:2012 są: spadki poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości (od mówiącego)  $D_{2,s}$  są mniejsze od 5-6 dB, a poziomy dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego  $L_{p,A,S,4m}$  są większe od 49-50 dB.

## **1.9 Metoda pomiaru i kryterium oceny tła akustycznego (zawierającego sygnał maskujący dźwięki niepożądane)**

Na wszystkie ww. parametry (poza czasem pogłosu i chłonnością akustyczną pomieszczenia) ma wpływ istniejący w pomieszczeniu poziom tła akustycznego. Poziom dźwięku A tła akustycznego (oraz poziomy ciśnienia akustycznego tła w oktawowych pasmach częstotliwości) jest wynikiem wszystkich źródeł (z wyłączeniem działalności ludzi) w tym również dźwięków specjalnie wytwarzanych w celu maskowania sygnału mowy. Wg normy PN-EN ISO 3382-3:2012 oznacza się go jako  $L_{p,A,B}$  (lub  $L_{p,f,B}$  w pasmach częstotliwości z zakresu 125-8000Hz). Poziom tła akustycznego ma szczególnie duży wpływ na zrozumiałość mowy, a więc także na parametry pochodne wskaźnikowi transmisji mowy STI (w szczególności promień rozproszenia  $r_D$  i promień prywatności  $r_P$ ). Poziom dźwięku A tła akustycznego wyznacza się metodą podaną w PN-EN ISO 3382-3:2012 jako średni w pomieszczeniu. Można wyznaczyć także jego rozkład w pomieszczeniu. Szczególnie duże znaczenie ma jego rozkład w przypadku, gdy pozostałe parametry (np. promień rozproszenia  $r_D$  i promień prywatności  $r_P$ ) wyznacza się metodami obliczeniowymi. Wówczas konieczne jest określenie poziomu dźwięku A i/lub poziomu ciśnienia akustycznego (w ww. pasmach częstotliwości) tła akustycznego w każdym punkcie obliczeniowym. Pomiary tła akustycznego wykonuje się na stanowiskach pracy (tj. na wysokości 1,2 m lub 1,5 m w zależności od pozycji pracy pracowników). Przy projektowaniu odpowiednich warunków akustycznych w pomieszczeniu uwzględnia się tło akustyczne, jako wypadkowe od istniejącego hałasu oraz od proponowanego sygnału maskującego. Jest jednak oczywiste, że wypadkowy poziom tła

akustycznego nie może przekroczyć wartości określonej w rozdziale 1.2 zarówno tzw. „ze względu możliwości realizacji podstawowych funkcji pracy” (55 dB), jak także nie powinien przekroczyć wartości dopuszczalnych hałasu od wyposażenia technicznego budynku (35-45 dB).

Podczas projektowania można uwzględnić różne rodzaje sygnałów maskujących. Jednakże ze względów technicznych i psychologicznych najlepiej stosować sygnały szumowe o widmach NC (rys. poniżej).



Rys. 1.9-1. Widmo poziomu ciśnienia akustycznego sygnałów maskujących sygnał mowy o poziomach dźwięku A 30, 35, 36, 44 i 45 dB (wg danych programu ODEON).

## Literatura

1. Bradley J.S., Predictors of speech intelligibility in rooms, *Journal of the Acoustical Society of America*, 80(3), 837-845, 1986.
2. Ciesielka W., Gołaś A.: Active sound control in open space, 58th Open Seminar on Acoustics joined with 2nd Polish-German Structured Conference on Acoustics: 13–16 September 2011, Jurata.
3. Davidsson F., Hodsman P.: Speech propagation in open-plan office: a cross over designed field study. The 24th International Congress on Sound and Vibration. London. 2017.
4. Ebissou A., Parizet E., Chevret P.: Use of the speech transmission index for the assessment of sound annoyance in open-plan offices. *Applied Acoustics* 88. 2015. 90-95.
5. Edgington C., Stevens M.: Practical considerations and experiences with sound masking's latest technology. The 24th International Congress on Sound and Vibration. London. 2017.
6. Evans G.W., Johnson D.: Stress and open-office noise. *J. Appl. Psychol.*, 2000; 85(5): 779-783, <http://dx.doi.org/10.1037/0021-9010.85.5.779>.
7. Gołaś A.: *Metody komputerowe w akustyce wewnątrz i środowiska*. Kraków, AGH, 1995.
8. Haapakangas A., Hongisto V., Hyönä J., Kokko J., Keränen J.: Effects of unattended speech on performance and subjective distraction: The role of acoustic design in open-plan offices. *Applied Acoustics*. 2014. Vol. 86, pp. 1-16. Elsevier
9. Harvie-Clark J., Larrieu F., Dobinson N.: Comparison of open plan office design implications of different national standards. The 24th International Congress on Sound and Vibration. London. 2017.
10. Hongisto V, Keränen J.: Prediction of spatial decay of speech in open-plan offices applying ISO 3382-3 principles. 2015.
11. Jabłoński M., Kruczek A.: Problemy związane z jakością akustyczną pomieszczeń typu „open space”. *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*. 2015. Vol. 7(3), pp. 23-28.
12. Jarosz M., *Opracowanie materiałów informacyjnych dotyczących obecnie stosowanych rozwiązań technicznych przy kształtowaniu akustyki pomieszczeń przeznaczonych do komunikacji werbalnej*, Materiały Saint-Gobain Construction Products Polska Sp. z o.o., 2011.
13. Keränen S. J.: *Measurement and Prediction of the Spatial Decay of Speech in Open-Plan Offices*, Aalto University publication series Doctoral Dissertations 23/2015, Finland 2015.
14. Kłosak A. K.: *Kształtowanie akustyki w budynkach – poprawne rozwiązania w projektowaniu i wykonawstwie*, Izolacje, 2013, 6, 28-35.
15. Kostallari K., Parizet E., Chevret P., Amato J.-N., Galy E.: Irrelevant speech effect in open plan offices : a laboratory study. The 24th International Congress on Sound and Vibration. London. 2017.
16. Kurt T.T, Demirel F., Kandemir M.H.: *An Investigation Into The Acoustic Conditions Of An Open Plan Office Located In Ankara*. 2016.
17. Mikulski W., Schemat postępowania przy projektowaniu adaptacji akustycznej pomieszczeń edukacyjnych, *Bezpieczeństwo Pracy - Nauka i Praktyka*, 03/2013, 20-23.
18. Mikulski W.: Wpływ dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych na właściwości akustyczne sal lekcyjnych. *Bezpieczeństwo Pracy - Nauka i Praktyka*, 2014, 3:22-24.
19. Mikulski W.: Wpływ zastosowania adaptacji akustycznej na wskaźnik transmisji mowy i czas pogłosu pomieszczenia. *Materiały Budowlane*, 2014, 8 (nr 504) :25-28.

20. Mikulski W.: Warunki akustyczne w otwartych pomieszczeniach do prac administracyjnych – wyniki pilotażowych badań własnych”, *Medycyna Pracy* 2016, 67,5: 653-662, DOI 10.13075/mp.5893.00425.
21. Mikulski W.: Warunki akustyczne w pomieszczeniach biurowych open space – zastosowanie metod obliczeniowych do projektowania środków technicznych w typowym pomieszczeniu. Case study, *Medycyna Pracy* 2018; 69(2): DOI 10.13075/mp.5893.00574.
22. Mikulski W., Radosz J., *Acoustics of Classrooms in Primary Schools – Results of Reverberation Time and Speech Transmission Index Assessment in Selected Buildings*, *Archives of Acoustics*, 0, 2011, 36, 4, 777-794.
23. Mikulski W., Warmiak I.: Kryteria oceny właściwości akustycznych wieloprzestrzennych pomieszczeń biurowych, *Bezpieczeństwo Pracy Nuka i Praktyka*, 11/2015.
24. Mikulski W., Warmiak I.: Obiektywne kryteria oceny właściwości akustycznych otwartych pomieszczeń biurowych. *Bezpieczeństwo Pracy Nuka i Praktyka*, 2015, 11: 18-21.
25. Niemas M., Obecnie stosowane parametry charakteryzujące właściwości akustyczne pomieszczeń oraz określenie niepewności pomiarów metod ich wyznaczania, *Materiały informacyjne AKU-KONSULT MAREK NIEMAS*, 2011.
26. Nowicka E.: Klasyfikacja metod i parametrów oceny akustycznej pomieszczeń. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej*, 2006, 35, 3-15.
27. Radosz J., Global index of the acoustic quality of classrooms, *Archives of Acoustics* 38 (2): 159-168, 2013.
28. Rindel J.H.: Prediction of acoustical parameters for open plan offices according to ISO 3382-3. *Konferencja Acoustics*. 2012.
29. Rindel J.H., Christensen C.L.: Acoustical simulation of open-plan offices according to ISO 3382-3, *Konferencja Euronoise 2012*, Czechy.
30. Rindel J.H.: Prediction of acoustical parameters for open plan offices according to ISO 3382-3, *Konferencja Acoustics 2012*, Chiny.
31. Rindel J. H., Christensen C. L., Acoustical simulation of open-plan offices according to ISO 3382-3. *Seminarium: Projekty akustyczne nowoczesnych biur typu open space - norma PN-EN ISO 3382-3 w praktyce, materiały szkoleniowe*, Warszawa, 2016.
32. Sadowski J.: *Akustyka architektoniczna*. Warszawa, PWN, 1976.
33. Smith V.: Using acoustical modeling software to predict speech privacy in open-plan offices. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2017. Vol. 141(5), pp. 3598-3598. ASA.
34. Szubert M.: *Akustyka biur w nowej polskiej normie*. Technika w architekturze, Zawód architekt 2016.
35. Vellenga-Persoon S., Hongens T., Bouwhuis T.: Proposed method for measuring liveliness in open plan offices. *The 24th International Congress on Sound and Vibration*. London. 2017
36. Virjonen, P., Keränen, J., Hongisto, V.: Determination of acoustical conditions in open-plan offices: proposal for new measurement method and target values. . *Acta. Acust. United Ac.*, 2009; 95: 279-290.
37. Yadav M., Kim J., Cabrera D., De Dear R.: Auditory distraction in open-plan office environments: The effect of multi-talker acoustics. *Applied Acoustics*. 2017 Vol. 126, pp. 68-80. Elsevier.
38. Projekt Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa z 14 listopada 2017r zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (opublikowanego w Dz.U. z 2016 r. poz. 290).

Załącznik 1. Wykaz polskich norm powołanych w tym rozporządzeniu paragraf 323 ust.2.

39. Obwieszczenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 7 czerwca 2017 r. (Dz.U. 2017 poz. 1348 z 7 lipca 2017) w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.
40. Rozporządzenie Rady Ministrów z 3 kwietnia 2017 w sprawie uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią (Dz.U.2017 poz. 796)
41. PN – EN ISO 18233:2006 „Akustyka – Zastosowanie nowych metod pomiarowych w akustyce budynku i pomieszczeń”.
42. PN-N-01307:1994 „Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonania pomiarów”.
43. PN-B-02151-02:1987 „Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach”.
44. 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”.
45. PN-B-02151-4:2015 „Akustyka budowlana Ochrona przed hałasem w budynkach Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach”.
46. PN-B-02153:2002 „Akustyka budowlana. Terminologia, symbole literowe i jednostki”.
47. PN-Z-01338:2010 „Akustyka - Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy”.
48. PN-EN 60268-16:2011 „Urządzenia systemów elektroakustycznych - Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy”.
49. PN-EN ISO 3382-1:2009 „Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: Pomieszczenia specjalne”.
50. PN-EN ISO 3382-2:2010 „Akustyka - Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń - Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach”.
51. PN-EN ISO 3382-3:2012 „Akustyka - Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń - Część 3: Pomieszczenia biurowe typu open space”.
52. PN-EN ISO 10052:2007 „Akustyka - Pomiar terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych oraz hałasu od urządzeń wyposażenia technicznego - Metoda uproszczona”.
53. PN-EN ISO 11654:1999 „Akustyka. Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie. Wskaźnik pochłaniania dźwięku”.
54. PN-EN ISO 11690-1:2000 „Akustyka -- Zalecany sposób postępowania przy projektowaniu miejsc pracy o ograniczonym hałasie, wyposażonych w maszyny -- Wytyczne redukcji hałasu”.
55. PN-EN ISO 11690-2:2000 „Akustyka -- Zalecany sposób postępowania przy projektowaniu miejsc pracy o ograniczonym hałasie, wyposażonych w maszyny -- Środki redukcji hałasu”.
56. PN-EN ISO 11690-3:2002 „Akustyka -- Zalecany sposób postępowania przy projektowaniu miejsc pracy o ograniczonym hałasie, wyposażonych w maszyny -- Część 3: Propagacja dźwięku i prognozowanie hałasu w pomieszczeniach pracy”.
57. PN-EN ISO 17624:2008 „Akustyka -- Wytyczne dotyczące ograniczania hałasu w biurach i pomieszczeniach pracy za pomocą ekranów akustycznych”.
58. PN-EN ISO 16032:2006 „Akustyka -- Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego od urządzeń wyposażenia technicznego w budynkach -- Metoda dokładna”.

59. PN-EN ISO 11821:2005 „Akustyka -- Pomiar tłumienia dźwięku przez przestawny ekran w warunkach terenowych”.
60. PN-EN ISO 9921:2005 „Ergonomia - Ocena porozumiewania się mową”.
61. PN-ISO 9613-2:2002 „Akustyka - Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej -- Ogólna metoda obliczania”.
62. PN ISO 9612:2011 „Akustyka - Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas - Metoda techniczna”.
63. Materiały katalogowe Isover Saint-Gobain, Warszawa 2015.
64. <http://ecophon.com/acousticweb>.
65. [www.rockfon.com.pl](http://www.rockfon.com.pl).