

*Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej (zadanie nr 2.SP.05 pt. „Opracowanie źródła dźwięku maskującego hałas związany z komunikacją werbalną w biurowych pomieszczeniach wielkoprzestrzennych”). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*

## **Metody stosowania źródeł dźwięku maskującego dźwięki związane z komunikacją werbalną oraz pasywnych technicznych środków kształtowania środowiska pracy w biurowych pomieszczeniach wielkoprzestrzennych.**

Autor: dr hab. inż. Witold Mikulski, prof. Instytutu  
2022-12-19

### **Wstęp**

Na środowisko akustyczne w biurowych pomieszczeniach wielkoprzestrzennych (powszechnie określanymi jako biurowe open space) mają wpływ: źródła dźwięku oraz właściwości akustyczne pomieszczenia i wyposażenia. Charakter pracy w tych pomieszczeniach determinuje odpowiednie akustyczne właściwości tego środowiska. Aby uzyskać akceptowalne akustyczne właściwości tego środowiska, należy zastosować odpowiednie rozwiązania techniczne i organizacyjne. Uzyskanie akceptowalnych warunków środowiska akustycznego, można potwierdzić przez spełnienie kryteriów oceny akustycznej, określonych za pomocą parametrów charakteryzujących hałas w tych pomieszczeniach oraz parametrów charakteryzujących właściwości akustyczne tych pomieszczeń. W tym zakresie stosowanych jest wiele parametrów o różnym statusie obowiązywania (od obligatoryjnych, poprzez nieobligatoryjne/zalecenia/rekomendacje, aż do perspektywicznie (w przyszłości) obligatoryjnych/zalecanych). W tekście w skróty sposób zostaną omówione parametry charakteryzujące dopuszczalne poziomy hałasu w tych pomieszczeniach, natomiast szerzej zostaną omówione parametry charakteryzujące akustycznie: pomieszczenia, adaptację akustyczną w tych pomieszczeniach oraz wyposażenie pomieszczeń. W tym aspekcie przede wszystkim zostaną omówione techniczne metody i środki kształtowania środowiska akustycznego w tych pomieszczeniach. Wśród środków technicznych wyróżnia się środki adaptacji akustycznej pomieszczenia (zwane w środowisku pracy także środkami ochrony zbiorowej) tj. środki pasywne oraz środki aktywne. Te ostatnie, w pomieszczeniach biurowych, to systemy emitujące dźwięki, które maskując dźwięki niepożądanych rozmów, wpływają na wzrost komfortu pracy (przez zmniejszenie zrozumiałości mowy zakłócającej koncentrację uwagi pracowników). Systemy te nazywa się systemami/źródłami dźwięku maskującego. Poniżej uściłi się i scharakteryzuje biurowe pomieszczenia wielkoprzestrzenne, poda maksymalne poziomy hałasu w tych pomieszczeniach, poda minimalne warunki techniczne pomieszczeń określone odpowiednimi parametrami akustycznymi (pasywnych technicznych środków kształtowania środowiska pracy w biurowych pomieszczeniach wielkoprzestrzennych) oraz poda metody stosowania źródeł maskujących dźwięk.

## **Ogólna charakterystyka biurowych pomieszczeń wielkoprzestrzennych**

Biurowe pomieszczenia wielkoprzestrzenne (zwane także biurowymi open space) to pomieszczenia o przeznaczeniu do pracy biurowej (umysłowej), w których pracuje wielu pracowników. Nie jest zdefiniowana minimalna liczba stanowisk pracy w tych pomieszczeniach. Jednakże biorąc pod uwagę minimalne warunki, w których można wyznaczyć parametry akustyczne charakteryzujące te pomieszczenia (m.in. określone w dedykowanej dla tych pomieszczeń normie PN-EN ISO 3382-3:2012 [14], w Polsce norma o statusie dobrowolnym), to minimalna liczba stanowisk pracy to ok. 10 (typowo jednak w tych pomieszczeniach pracuje znacznie większa liczba pracowników, w niektórych skrajnych przypadkach nawet powyżej 100). Wysokość pomieszczeń wynika z wysokości kondygnacji budynku, a więc w przeważającej liczbie przypadków ok. 3-3,5 m (w nielicznych przypadkach jest to wysokość dwóch kondygnacji). Szerokość większości pomieszczeń wynika z możliwości uzyskania odpowiednich warunków oświetleniowych światłem naturalnym. Implikuje to 3-4 stanowiska pracy na prostopadłej do okna - z tego wynika szerokość pomieszczenia na ok. 6-10 m (sporadycznie wykorzystuje się pomieszczenia o większej szerokości stosując oświetlenie sztuczne lub mieszane). Długość pomieszczenia jest prawie we wszystkich przypadkach znacznie (czasem nawet 10 krotnie) większa niż jego szerokość. Ponieważ warunki akustyczne pomieszczenia wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [14] określa się z punktów na odcinku o długości 10÷16 m to minimalna kubatura rozpatrywanych pomieszczeń to ok. 200÷250 m<sup>3</sup>, a typowa to 600÷800 m<sup>3</sup>. W najnowszej normie ISO 22955:2021 [15] (również dedykowanej do rozpatrywanych pomieszczeń) uszczegółowiono podział pomieszczeń open space w budynkach biurowych na 5+1 typów oraz określono wymagania (minimalne warunki) akustyczne w tych typach pomieszczeń. Większość tych wymagań określono w kilku innych normach (m.in. PN-B-02151-2:2018 [12], PN-N-01307:1994 [11], PN-B-02151-4:2015 [13], PN-EN ISO 3382-3:2012 [14]). Podział biurowych pomieszczeń open space wg normy ISO 22955:2021 [15]:

0 – *pomieszczenie bez wyposażenia*; Pomieszczenie biurowe open space o nieznanym przeznaczeniu (tj. przed instalacją wyposażenia), ale już z adaptacją akustyczną w postaci sufitu dźwiękochłonnego (według ISO 22955:2021 [15] - *vacant floor room*); Pomieszczenie to po określeniu jego przeznaczenia, będzie można zaliczyć do jednego z 5 poniższych typów;

1 – *pomieszczenie konsultantów teległosowych*; Pomieszczenie telefonistów, konsultantów tele i wideo (według ISO 22955:2021 [15] - *contact centre room – activity mainly focusing on outside of the room communication by telephone/audio/video*);

2 – *pomieszczenie pracy grupowej lokalnej*; Pomieszczenie, w którym wykonywana jest wspólna (przeważnie) praca w małych grupach (według ISO 22955:2021 [15] - *collaborate work room – activity mainly based on collaboration between people at the nearest workstation*);

3 – *pomieszczenie pracy samodzielnej* (indywidualnej); Pomieszczenie, w którym wykonywana jest praca samodzielna (indywidualna), a rozmowy prowadzone są sporadyczne (według ISO 22955:2021 [15] - *individual work room – activity mainly based on a small amount of collaborative work*);

4 – *pomieszczenie recepcyjne i do rozmów*; Recepcje, obszary spotkań, w tym z osobami z zewnątrz (według ISO 22955:2021 [15] - *receiving the public room – activity that can involve receiving public*);

5 – *pomieszczenie pracy zróżnicowanej*; Pomieszczenie lub strefy pomieszczenia o różnej biurowej aktywności (według ISO 22955:2021 [15] - *combining activities room – mixed spaces, combining two or more activities in the same space*).

Niniejszy tekst dotyczy biurowych pomieszczeń open space (wielkoprzestrzennych) określanych w ww. normie jako *pomieszczenia do pracy samodzielnej* typ 3 (oraz także tych pomieszczeń na etapie ich budowania tj. *pomieszczeń bez wyposażenia* typ. 0).

## **Wymagania na środowisko akustyczne w biurowych pomieszczeniach wielkoprzestrzennych do pracy samodzielnej**

### **Zastosowany podział wymagań i zaleceń stosowanych w niniejszym tekście**

Wymagania i zalecenia dotyczące środowiska akustycznego w biurowych pomieszczeniach wielkoprzestrzennych do pracy samodzielnej dotyczą zapewnienia, aby pracownik nie był narażony na dźwięki, które mogą spowodować w jego organizmie negatywne skutki zdrowotne (w tym uszkodzenia słuchu), ale także uciążliwość wynikającą ze zmęczenia, irytacji, dekoncentracji itp. Jednocześnie należy zapewnić pracownikowi odpowiednią percepcję dźwięków istotnych/pożądanych (np. pożądanych dźwięków mowy, sygnałów bezpieczeństwa). Wymagania te odnoszą się bezpośrednio do poziomów hałasu i zrozumiałości mowy (wskaźnik transmisji mowy STI) oraz pośrednio do warunków propagacji dźwięków mowy i pogłosowości pomieszczenia określonymi właściwościami akustycznymi pomieszczenia. Z punktu widzenia obligatoryjności ich stosowania, wymagania można podzielić na obligatoryjne (podane w rozporządzeniach lub normach bezpośrednio powołanych w rozporządzeniach) oraz zalecane/dobrowolne/rekomendacje podane w innych normach. Z punktu widzenia prawodawstwa polskiego można je podzielić na normy polskie, polską wersję norm ISO, EN ISO lub EN oraz normy międzynarodowe EN i ISO. Istotny jest także rok wydania i obligatoryjności normy. Przykładem tu jest nowa norma ISO 22955:2021 [15], która nie tylko nie jest „jeszcze” obligatoryjna w Polsce, ale nawet nie ma wersji polskiej PN-ISO. Nie znaczy to jednak, że w chwili obecnej może być pominięta, gdyż określone w niej wymagania mimo iż dotyczą eksploatowanych pomieszczeń, należy uwzględnić już w czasie budowy nowych pomieszczeń, które będą eksploatowane przez wiele dziesiątków lat, a wówczas obecne nowe wymagania akustyczne prawdopodobnie będą wymaganiami obligatoryjnymi. Dlatego w niniejszym tekście omawia się je łącznie (jednocześnie podając ich obecny status).

W tekście wprowadzono nazewnictwo:

- A. wymagania obligatoryjne – podane w rozporządzeniach (w tym obwieszczanych; w szczególności w Rozporządzeniu dotyczącym NDN hałasu [9]) lub normach przywołanych bezpośrednio w rozporządzeniu/obwieszczeniu (Obwieszczenie...w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki [10]) tj. normy PN-B-02151-2:2018 [12] i PN-B-02151-4:2015 [13]), lub pośrednio w normie PN-N-01307:1994 [11], którą można powiązać z zapisami podanymi w rozporządzeniu dotyczącym NDN hałasu [9]),
- B. zalecenia w normach nie przywołanych w rozporządzeniach (podane przed 2020r; norma PN-EN ISO 3382-3:2012[14]),
- C. nowe ogólne kierunki działań dotyczących środowiska akustycznego (podane w normie ISO 22955:2021 [15])
- D. nowe rekomendacje, prawdopodobnie w przyszłości wymagania (podane w normie ISO 22955:2021 [15])
- E. nowe wytyczne, prawdopodobnie w przyszłości zalecenia (podane w normie ISO 22955:2021 [15]).

Dla punktów A, B, D i E określono kryteria w postaci podania wartości dopuszczalnych parametrów kryterialnych. Dla punktu C podano opisowo warunki środowiska lub właściwości pomieszczenia, które powinny być w rozpatrywanych pomieszczeniach.

## Nowe ogólne kierunki działań dotyczących środowiska akustycznego w biurowych pomieszczeniach wieloprzestrzennych (*open space*) do pracy samodzielnej oraz ogólna koncepcja ich uzyskania według ISO 22955

Nowe ogólne kierunki dotyczące środowiska akustycznego w pomieszczeniach biurowych *open space* oraz ogólną koncepcję ich uzyskania według ISO 22955:2021 [15] podano w tabeli 1.

Przy ich podaniu rozpatruje się je w 3 kategoriach oddziaływania akustycznego:

- 1 – *na stanowiskach pracy*, tj. lokalnie na rozpatrywanym stanowisku pracy,
- 2 - *między stanowiskami pracy*, tj. uwzględniając oddziaływanie akustyczne między stanowiskami pracy
- 3 – *w obszarze pracy*, tj. w całym pomieszczeniu.

Tabela 1. Nowe ogólne kierunki dotyczące warunków akustycznych w biurowych pomieszczeniach *open space* do pracy samodzielnej według ISO 22955:2021 [15]

Zakres oddziaływania	Wymagania opisowo, cel	Działania, środki, wskazówki i ogólne kryteria
Na stanowiskach pracy	Najwyższa zrozumiałość mowy (wskaźnik transmisji mowy <i>STI</i> maksymalny).	Uzyskanie niskiego poziomu tła akustycznego. Uzyskanie dobrej do doskonałej zrozumiałości mowy przy normalnym poziomie dźwięku głosu (wskaźnik transmisji mowy <i>STI</i> $\geq 0,6$ , a nawet $\geq 0,75$ ).
Między stanowiskami pracy	Wymagana dyskrecja między sąsiednimi stanowiskami pracy (obniżenie poziomu głosu). Średnia zrozumiałość mowy między sąsiednimi stanowiskami pracy.	Najwyższe tłumienie dźwięku.
W obszarze pracy	Redukcja przeszkadzania od rozmów innych osób.	Zmniejszenie nieodłącznego wpływu wzmocnienia hałasu w pomieszczeniu przez maksymalnie możliwą redukcję pogłosu (redukcja hałasu pogłosowego). Zwiększenie spadku poziomu dźwięku na podwojenie odległości od źródła mowy.

## Wielkości fizyczne (parametry) stosowane do oceny środowiska akustycznego oraz oceny akustycznej biurowych pomieszczeń wieloprzestrzennych do pracy samodzielnej

Do oceny środowiska akustycznego oraz oceny akustycznej biurowych pomieszczeń wieloprzestrzennych (*open space*) do pracy samodzielnej stosuje się kryteria, w których określone są dopuszczalne wartości parametrów oceny:

- do oceny środowiska akustycznego:
  - *poziom ekspozycji na hałas*  $L_{EX,8h}$  odniesiony do 8-mio godzinnej ekspozycji (poziom dopuszczalny ze względu na ochronę słuchu wg rozporządzenia o NDN [9]; jego wartość 85 dB nie jest przekroczona w rozpatrywanych pomieszczeniach);
  - *maksymalny poziom dźwięku A*  $L_{Amax}$  (poziom dopuszczalny ze względu na ochronę słuchu wg rozporządzenia o NDN [9]; jego wartość 115 dB nie jest przekroczenia w rozpatrywanych pomieszczeniach);
  - *szczytowy poziom dźwięku C*  $L_{Cpeak}$  (poziom dopuszczalny ze względu na ochronę słuchu wg rozporządzenia o NDN [9]; jego wartość 135 dB nie jest przekroczenia w rozpatrywanych pomieszczeniach);
  - *równoważny poziom dźwięku A w czasie pracy*  $L_{p,Aeq,T}$  na stanowiskach pracy (wg ISO 22955:2021

[15] i PN-N-01307 [11]), w dB;

- do oceny akustycznej pomieszczeń:

- $A_f/S_p$  - jednostkowa chłonność akustyczna pomieszczenia (dla częstotliwości  $f = 0,5; 1$  i  $2$  kHz), tj. chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do jednostkowej powierzchni podłogi (wg ISO 22955:2021 [15]; wielkość związana ze stosowaną w PN-B-02151-4 [13] chłonnością akustyczną pomieszczenia), w  $m^2$ ;
- $T_r$  – czas pogłosu pomieszczenia (wg ISO 22955:2021 [15]  $T_{r,0,25-4kHz}$  – wartość średnia arytmetyczna z oktawowych pasmach częstotliwości z zakresu  $0,25 \div 4$  kHz;  $T_{r,0,125Hz}$  – wartość dla oktawowego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej  $0,125$  kHz; wielkość ta jest silnie skorelowana z jednostkową chłonnością akustyczną pomieszczenia; szacunkowo zależność między nimi opisuje wzór Sabine'a), w sekundach;
- $L_{p,Aeq,T,w<z}$  - równoważny poziom dźwięku A (wewnątrz pomieszczenia) od źródeł zewnętrznych (wg ISO 22955:2021 [15]; dla wentylacji wyłączonej), w dB;
- $L_{p,Aeq,T,tech}$  - równoważny poziom dźwięku A od wyposażenia (technicznego) budynku (w tym wentylacji, wind itp.), (wg ISO 22955:2021 [15] i PN-B-02151-2 [12]), w dB;
- $D_{A,S}$  – różnica poziomów dźwięku A w odległości  $1m$  (w przestrzeni otwartej) i w rozpatrywanym punkcie obserwacji (w pomieszczeniu; wg ISO 22955:2021 [15]), w dB;
- $D_{2,S}$  – spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości od wzorcowego źródła mowy (wg ISO 22955:2021 [15] i PN-EN ISO 3382-3:2012 [14]; stosuje się także nazwę różnica poziomu dźwięku A w odległości  $1$  i  $2$  m od wzorcowego źródła mowy), w dB;
- $L_{p,A,S,4m}$  - poziom dźwięku A w odległości  $4$  m od wzorcowego źródła mowy (wg ISO 22955:2021 [15] i PN-EN ISO 3382-3:2012 [14]), w dB;
- $r_D$  i  $r_P$  - promień rozproszenia (dyfuzyjności) i promień prywatności (wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [14]), w metrach ( $r_D$  - to odległość od wzorcowego źródła mowy, w której wskaźnik transmisji mowy  $STI = 0,5$ ).

## **Kryteria oceny środowiska akustycznego oraz oceny akustycznej biurowych pomieszczeń wielkoprzestrzennych**

Wartości dopuszczalne ww. parametrów, zastosowanych w kryteriach oceny biurowych pomieszczeń wielkoprzestrzennych (*open space*) do pracy samodzielnej (*individual work room* – według ISO 22955:2021 [15]), podano w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie kryteriów dotyczących biurowych pomieszczeń wieloprzestrzennych do pracy samodzielnej

Parametry kryterialne		Rozporządzenie lub norma						
		Wymagania obligatoryjne			Zalecenia	Nowe rekomendacje	Nowe wytyczne	
		Rozporządzenie dotyczące NDN [9]	PN-N-01307 [11]	PN-B-02151-4 [13]	PN-B-02151-2 [12]	PN-EN ISO 3382-3 [14]	ISO 22955 [15]	
Dopuszczalny poziom dźwięku	$L_{EX,8h}$	85 dB						
	$L_{Amax}$	115 dB						
	$L_{Cpeak}$	135 dB						
	$L_{p,Aeq,T}$		$\leq 55$ dB				$\leq 48$ dB	
	$L_{p,Aeq,T,W<z}$						$\leq 35$ dB	
	$L_{p,Aeq,T,tech}$				$\leq 40 + 10\log(T_r/0,5) \sim 37,5$ dB			40 dB (pomieszczenie puste z sufitem dźwiękochłonnym)
Właściwości pogłosowe pomieszczenia	$A_f/S_p$			$\geq 1,1$ m <sup>2</sup> ( $f = 0,5, 1$ i $2$ kHz)				$\geq 0,9$ m <sup>2</sup> (pomieszczenie puste z sufitem dźwiękochłonnym)
	$T_r$			(obliczony z $A_f/S_p$ ) $\leq 0,146 \cdot H \sim 0,5$ s ( $f = 0,5, 1$ i $2$ kHz)			$\leq 0,5$ s (średni z $0,25$ - $4$ kHz) $\leq 0,8$ s ( $0,125$ Hz)	
Separacja akustyczna stanowisk	$D_{A,S}$						$\geq 6$ dB	
Zmniejszenie poziomu dźwięku w funkcji odległości	$D_{2,S}$					$\geq 7$ dB	$\geq 7$ dB	
	$L_{p,A,S,4m}$					$\leq 48$ dB	$\leq 47$ dB	
Zmniejszenie zrozumiałości mowy w funkcji odległości	$r_D$					$\leq 5$ m		
	$r_P$					$\leq \sim 2,1 \cdot r_D$ (nieokreślono, podano wg [2,3])		
Oznaczenia:								
$L_{EX,8h}$ – poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-mio godzinowego dnia pracy, na stanowisku pracy, $L_{Amax}$ – maksymalny poziom dźwięku A, na stanowisku pracy, $L_{Cpeak}$ – szczytowy poziom dźwięku C, na stanowisku pracy, $L_{p,Aeq,T}$ – dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A w czasie pracy, na stanowisku pracy, $L_{p,Aeq,T,W<z}$ – dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A od źródeł zewnętrznych (bez wentylacji), w pomieszczeniu, $L_{p,Aeq,T,tech}$ – dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A od wyposażenia (z włączoną wentylacją), w pomieszczeniu,				$A_f/S_p$ – jednostkowa chłonność akustyczna pomieszczenia dla częstotliwości $f$ , $T_r$ – czas pogłosu pomieszczenia, $D_{A,S}$ – różnica poziomów dźwięku A w odległości 1 m (w przestrzeni otwartej) w punkcie obserwacji, $D_{2,S}$ – spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości, $L_{p,A,S,4m}$ – poziom dźwięku A w odległości 4 m, $r_D$ – promień rozproszenia, $r_P$ – promień prywatności, $H$ – wysokość pomieszczenia, w metrach.				

Dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A w pomieszczeniu  $L_{p,A,eq,T,tech}$  zależy od wzorcowego maksymalnego (najwyższego dopuszczalnego) poziomu dźwięku A tła  $L_{p,A,eq,nT}$  (podanego w PN-B-02151-2:2018 [12]) oraz zależy od czasu pogłosu pomieszczenia ze wzoru:

$$L_{p,A,eq,T,tech} = L_{p,A,eq,nT} + 10 \log \left( \frac{T_{r,0,5-2kHz}}{T_{r,0,5-2kHz,dop}} \right) = 40 + 10 \log \left( \frac{T_{r,0,5-2kHz}}{0,146 \cdot H} \right) = 10 \log \left( \frac{T_{r,0,5-2kHz}}{H} \right) + 48,4 \text{ dB} \quad (1)$$

gdzie

$L_{p,A,eq,T,tech}$  – dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A tła akustycznego, w dB,

$L_{p,A,eq,nT}$  – wzorcowy maksymalny (najwyższy dopuszczalny) poziom dźwięku A, tła akustycznego, w dB; (wg PN-B-02151-2:2018 [12], dla biur wielkoprzestrzennych oraz pokoi biurowych typu open space wynosi on 40 dB),

$T_{r,0,5-2kHz}$  – średni czas pogłosu rozpatrywanego pomieszczenia, określane z czasów pogłosu w oktaowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 0,5, 1 i 2 kHz, w sekundach (obliczony lub zmierzony; np. [1,6-8]),

$T_{r,0,5-2kHz,dop}$  – średni czas pogłosu pomieszczenia z maksymalnych dopuszczalnych czasów pogłosu w oktaowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 0,5, 1 i 2 kHz, w sekundach, określony ze wzoru Sabine'a przy założeniu minimalnej chłonności akustycznej wg. PN-B-02151-4 [13] ( $1,1 \text{ m}^2$ ) oraz wysokości pomieszczenia H, w metrach.

Porównując wymagania podane w tabeli 2 można stwierdzić, że :

- zakres wymagań/zaleceń nowej normy ISO 22955:2021 [15] i norm PN-N-01307 [11], PN-B-02151-2 [12], PN-B-02151-4 [13] i PN-EN ISO 3382-3:2012 [14] z trzema wyjątkami jest podobny:
  - w ISO 22955:2021 [15] nie podano wymagań na *promienie rozproszenia i prywatności* (w PN-EN ISO 3382-3:2012 [14] podano); Są to istotne parametry charakteryzujące pomieszczenie, a w konsekwencji, charakteryzujące komfort pracy i jakość akustyczną pomieszczenia; (Należy jednakże zaznaczyć, że w praktyce spełnienie kryterium określonego tymi parametrami jest bardzo trudne, niemożliwe bez zastosowania systemów maskowania dźwięków [4,5]);
  - w ISO 22955:2021 [15] podano dotychczas niestosowane kryterium na *różnicę poziomów dźwięku A w odległości 1m (w przestrzeni otwartej) i w (zadany) punkcie obserwacji  $D_{A,S}$*  (tj. separacji akustycznej od mowy przenikającej między stanowiskami pracy); Biorąc pod uwagę, że *spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości  $D_{2,S}$*  określa się w odległości 1 i 2 m od źródła (wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [14]) oraz to, że wartości kryterialne tych parametrów wynoszą odpowiednio 6 i 7 dB (tabela 2), stosowanie obu tych parametrów kryterialnych ma uzasadnienie tylko w przypadku, gdy odległość między stanowiskami pracy jest mniejsza niż 2 m; Dotyczy więc sąsiednich stanowisk pracy; Wynika z tego, że spełnienie tych kryteriów jest możliwe dopiero po zastosowaniu między każdymi stanowiskami pracy ekranów akustycznych;
  - w ISO 22955:2021 [15] podano wymagania na przenikanie hałasu do pomieszczenia z zewnątrz (bez uwzględnienia wentylacji); Jest to bardzo istotne z punktu widzenia przenikania hałasu z zewnątrz pomieszczenia i budynku, gdyż do chwili obecnej te warunki nie zostały określone;
- w normie ISO 22955:2021 [15] zaleca się wymóg znacznie mniejszego hałasu niż w normie PN-N-01307 [11] (*równoważny poziom dźwięku A w czasie pracy* odpowiednio 48 dB i 55 dB); Jednakże wymaganie to będzie stosunkowo łatwe do spełnienia ponieważ w obecnie eksploatowanych pomieszczeniach biurowych pracownicy pracują samodzielnie (indywidualnie), sporadycznie tylko porozumiewając się ze sobą bezpośrednio lub przez środki łączności; Prawdopodobnie będzie jednak wymagało ok. dwukrotnego zwiększenia chłonności akustycznej pomieszczenia niż obecnie wymagana wg PN-B-02151-4 [13] (patrz niżej);
- w ISO 22955:2021 [15] podano wymagania na hałas od wyposażenia technicznego budynku dla pomieszczenia jeszcze bez wyposażenia biurowego (*równoważny poziom dźwięku A od wyposażenia technicznego* 40 dB), natomiast w PN-B-02151-2 [12] z wyposażeniem obliczony (patrz wzór powyżej) ok 37,5 dB; wymagania te są więc zbliżone;

- w ISO 22955:2021 [15] podano wymaganie, że w pomieszczeniu bez wyposażenia jednostkowa chłonność akustyczna pomieszczenia powinna być nie mniejsza niż  $0,9 \text{ m}^2$ ; Ze specyfikacji rozpatrywanych pomieszczeń wynika więc, że wartość sumy współczynników pochłaniania dźwięku podłogi i stropu lub sufitu (podwieszanego) powinna przekraczać 0,9; Ponieważ trudno jest zapewnić dużą wartość współczynnika pochłaniania podłogi, to z tego wynika, że w rozpatrywanych pomieszczeniach konieczne jest instalowanie dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych o współczynniku pochłaniania dźwięku nie mniejszym niż ok. 0,8; W pomieszczeniu z wyposażeniem, wg PN-B-02151-4 [13], jednostkowa chłonność akustyczna pomieszczenia nie powinna być mniejsza od  $1,1 \text{ m}^2$  (w zakresie częstotliwości  $0,5 \div 2 \text{ Hz}$ ); Stosując ww. dźwiękochłonny sufit podwieszany oraz ekrany akustyczne wynikające z ww. wymagań (m.in. na *spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości*), zalecenie to nie powinno być trudne do spełnienia; Wymagany w tych pomieszczeniach czas pogłosu (obliczony ze wzoru Sabine'a, z minimalnej chłonności akustycznej podanej w PN-B-02151-4 [13]) wynosi ok. 0,5 s i jest taki sam jak w podany w ISO 22955:2021 [15]; Jednakże norma PN-B-02151-4 [13] określa warunki akustyczne tylko dla zakresu częstotliwości 0,5-2 kHz, natomiast norma ISO 22955:2021 [15] dla zakresu częstotliwości 0,125-4 kHz, więc ta druga nowa norma w swoich wymaganiach jest znacznie bardziej rygorystyczna; Mimo to obie te normy, zdaniem autora ([1-7]), określają wymagania na czas pogłosu i jednostkową chłonność akustyczną na zbyt małym poziomie, ponieważ dla uzyskania spełnienia wszystkich kryteriów wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [14] (w szczególności na *spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości*) czas pogłosu w rozpatrywanych pomieszczeniach musi być znacznie krótszy tj. poniżej ok.  $0,3 \div 0,4 \text{ s}$ ;
- różnica wartości dopuszczalnych *poziomu dźwięku A w odległości 4m* wg ISO 22955:2021 [15] i PN-EN ISO 3382-3:2012 [14] wynosząca 1 dB nie ma znaczenia praktycznego, ponieważ kryterium to znacznie łatwiej jest spełnić niż inne kryteria np. na *spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości  $D_{2,s}$*  wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [14].

## **Wytyczne dotyczące metod stosowania pasywnych technicznych środków kształtowania środowiska pracy w biurowych pomieszczeniach wieloprzestrzennych**

### **Schemat postępowania przy stosowaniu pasywnych technicznych środków kształtowania środowiska pracy w biurowych pomieszczeniach wieloprzestrzennych.**

Uzyskanie akceptowalnych warunków środowiska pracy w biurowych pomieszczeniach wieloprzestrzennych stwarza konieczność zastosowania technicznych środków kształtowania środowiska pracy. Potwierdzeniem uzyskania akceptowalnych warunków środowiska pracy jest spełnienie kryteriów oceny podanych wyżej (tabela 2). Kryteria te należy ocenić jako dosyć wysokie, możliwe do spełnienia po zastosowaniu dość dużej liczby/ilości i skuteczności akustycznej środków adaptacji akustycznej oraz zastosowania źródeł maskujących dźwięk. Zastosowanie ich wymaga wykonania, a wcześniej zaplanowania i zaprojektowania uwzględnienia tych środków.

Z punktu widzenia organizacyjnego, należy uwzględnić zastosowanie tych elementów technicznych (adaptacji akustycznej oraz systemów maskujących), a następnie kryteriami opisanymi wyżej weryfikować zaproponowane rozwiązanie. Czynności te należy powtarzać (iteracyjnie), aż do momentu uzyskania spełnienia wszystkich kryteriów. Jest oczywiste, że proces powyższy powinien być prowadzony na etapie



projektowania. Natomiast po wybudowaniu obiektu, pomiarowo należy zweryfikować ocenę projektową, a w przypadkach niespełnienia kryteriów, dokonać korekty projektu i wprowadzić odpowiednie zmiany w pomieszczeniu. Z powodu dużej złożoności procesu wyznaczania parametrów stosowanych w kryteriach ocena akustycznej, projekt powinien być realizowany z wykorzystaniem odpowiednich komputerowych programów narzędziowych. Jednakże niektóre z tych parametrów, np. określenie jednostkowej chłonności akustycznej, można łatwo wykonać metodami prostych obliczeń (wg. PN-B-02151-4 [13]). Przykład taki podano dalej.

Z punktu widzenia akustycznego, ale i organizacyjnego, korzystnie jest uwzględniać ww. środki techniczne w kolejności wynikającej z ich efektywności akustycznej w spełnieniu ww. kryteriów. Proponuje się następującą kolejność uwzględniania tych środków:

- Spełnienie kryterium na chłonność akustyczną pomieszczenia bez wyposażenia, (tj. przed instalacją wyposażenia) - przede wszystkim zastosowanie dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego oraz wykładziny dywanowej; Należy uzyskać jednostkową chłonność akustyczną pomieszczenia minimum  $0,9 \text{ m}^2$ ; Uwzględniając specyfikę rozpatrywanych pomieszczeń (bliskość podłogi i sufitu, co akustycznie odpowiada układowi dwóch równoległych powierzchni odbijających (decydujących o właściwościach pogłosowych pomieszczenia), wartość sumy współczynników pochłaniania dźwięku podłogi i stropu (przynajmniej w zakresie częstotliwości  $0,5\text{-}2 \text{ kHz}$ ) powinna przekraczać  $0,9$ . Ponieważ trudno jest zapewnić dużą wartość współczynnika pochłaniania dźwięku podłogi, dlatego w omawianych pomieszczeniach należy instalować dźwiękochłonne sufity podwieszane o współczynniku pochłaniania dźwięku nie mniejszym niż ok.  $0,8$  (przynajmniej w zakresie częstotliwości  $0,5\text{-}2 \text{ kHz}$ ); Norma PN-B-02151-4 [13] definiuje warunki akustyczne tylko dla zakresu częstotliwości  $0,5\text{-}2 \text{ kHz}$ , a norma ISO 22955:2021 [15] dla szerszego zakresu częstotliwości  $0,125\text{-}4 \text{ kHz}$ , więc jest znacznie bardziej rygorystyczna. Podanie w niej stosunkowo wysokie wymagania dla zakresu częstotliwości  $0,125\text{-}0,25 \text{ kHz}$  implikuje konieczność instalacji ww. dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego w odległości od stropu ok.  $0,7 \text{ m}$  (minimum  $0,35 \text{ m}$ ).
- Spełnienie kryterium na odpowiednią chłonność akustyczną pomieszczenia z wyposażeniem tj. oddanego do eksploatacji (tj. jednostkowej chłonności akustycznej pomieszczenia minimum  $1,1 \text{ m}^2$ ), wymaga zastosowania dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego oraz wykładziny dywanowej (opisane w punkcie poprzednim), uwzględnienia wyposażenia oraz zastosowania ekranów akustycznych/dźwiękochłonnych; W projekcie konieczne jest uwzględnienie ekranów o minimalnej wysokości  $1,5 \text{ m}$ ; W niektórych przypadkach, konieczne będzie zwiększenie chłonności akustycznej pomieszczenia poprzez pokrycie ścian pomieszczenia materiałami dźwiękochłonnymi (ponieważ możliwa do pokrycia materiałami dźwiękochłonnymi powierzchnia na ścianach będzie relatywnie mała, należy stosować materiały o jak największym współczynniku pochłaniania dźwięku, tj. nie mniejszym niż  $0,9$ ); Wymagany w tych pomieszczeniach czas pogłosu, obliczony ze wzoru Sabine'a na podstawie chłonności akustycznej podanej w PN-B-02151-4 [13], wynosi ok.  $0,5 \text{ s}$  i jest taki sam jak określony w ISO 22955:2021 [15]. Mimo to podane w tych normach wymagania dotyczące czasu pogłosu i jednostkowej chłonności akustycznej są na zbyt niskim poziomie, ponieważ do spełnienia wszystkich kryteriów według PN-EN ISO 3382-3:2012 [14], czas pogłosu w rozpatrywanych pomieszczeniach musi być znacznie krótszy, tj. poniżej ok.  $0,3\text{-}0,4 \text{ s}$ .
- Spełnienie kryterium na *spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości od wzorcowego źródła mowy minimum  $7 \text{ dB}$  (również separacji akustycznej stanowisk – tj. różnicy między poziomami dźwięku A w odległości  $1 \text{ m}$  i w punkcie obserwacji)* wymaga zastosowania ekranów akustycznych; Ekrany te należy umieścić między każdymi stanowiskami pracy oraz dodatkowo oddzielić akustycznie stanowiska

pracy od korytarza komunikacyjnego w tym pomieszczeniu; Wysokość ekranów należy określić obliczeniowo, typowo to ok. 1,5 m, ale w niektórych przypadkach może być konieczne zastosowanie ekranów o wysokości 1,8 m.

- Spełnienie kryterium na poziom dźwięku A w odległości 4 m nie będzie problemem po uwzględnieniu ww. środków adaptacji akustycznej.
- Spełnienie kryterium na *promień rozproszenia* i *promień prywatności* może wymagać dalszego zwiększenia chłonności akustycznej pomieszczenia (np. zastosowania dodatkowych pochłaniaczy przestrzennych dźwięku) i/lub modyfikacji ekranów akustycznych/dźwiękochłonnych (ich właściwości dźwiękochłonnych oraz ich wymiarów i usytuowania w pomieszczeniu). Jednakże w przypadku małych poziomów dźwięku A tła akustycznego w pomieszczeniu (tj. poniżej ok. 35 dB) może się okazać niewystarczające i/lub nieefektywne. Wówczas jedynym skutecznym sposobem będzie zastosowanie systemów maskujących dźwięki.

**Przykład postępowania przy projektowaniu adaptacji akustycznej w biurowym pomieszczeniu wieloprzestrzennym umożliwiającym spełnienie kryterium na jednostkową chłonność akustyczną pomieszczenia**

Chłonność akustyczną pomieszczenia  $A_{pom}$  można określić metodą podaną w normie PN-B-02151-4:2015 [13] ze wzoru:

$$A_{pom} = A_{pow} + A_{wyp} + A_{air} = \sum_{i=0}^n \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=0}^o A_{wyp,j} + 4mV \tag{2}$$

gdzie:

$A_{pow}$  – chłonność akustyczna powierzchni pomieszczenia (ścian, podłogi, stropu itp.), w  $m^2$ ,

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

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

$n$  - liczba powierzchni pomieszczenia,

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

$S_i$  - pole powierzchni  $i$ -tej powierzchni pomieszczenia,  $m^2$ ,

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

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

$m$  - mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu, w neperach na metr (tabela 3),

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

Tabela 3. Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku,  $m$  wg PN-B-02151-4:2015 [13].

Temperatura/wilgotność względna powietrza	Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku, $m$ , w powietrzu w pasmach oktaowych o środkowej częstotliwości, $f$ , Np/m		
	0,5 kHz	1kHz	2kHz
20°C / 30 - 50 %	0,0006	0,0010	0,0019
20°C / 50 - 70 %	0,0006	0,0010	0,0017

Współczynnik pochłaniania dźwięku powierzchni (np. ściany, stropu, podłogi)  $\alpha$  to wielkość, za pomocą, której określa się właściwości dźwiękochłonne materiałów i wyrobów dźwiękochłonnych (zwanymi także materiałami dźwiękochłonnymi). Jego wartość zawiera się w zakresie 0÷1. Wartość 1 oznacza, że energia dźwiękowa padająca na materiał, została w całości przez niego pochłonięta (materiały dźwiękochłonne o ekstremalnie silnych właściwościach pochłaniania dźwięku), natomiast wartość 0 oznacza, że materiał w całości odbija padającą na niego energię dźwiękową (np. beton  $\alpha \approx 0,03$ ). Wartość

współczynnika pochłaniania dźwięku zależy od częstotliwości. Wg PN-B-02151-4:2015 [13] należy uwzględnić właściwości akustyczne w trzech oktawowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 0,5; 1 i 2 kHz.

Wymiary pomieszczenia uwzględnionego w obliczeniach 20x12x3,5 m, objętość pomieszczenia 840 m<sup>3</sup>, pole powierzchni rzutu pomieszczenia (podłogi)  $S_p = 240 \text{ m}^2$ . W pomieszczeniu znajduje się 50 stanowisk pracy.

W projekcie adaptacji akustycznej uwzględniono dźwiękochłonny sufit podwieszany, materiały dźwiękochłonne na czterech ścianach oraz 50 ekranów akustycznych o wysokości od podłogi 1,5 m. Uwzględniono pokrycie podłogi wykładziną dywanową. Współczynniki pochłaniania dźwięku podano w tabeli 4.

Dane pomieszczenia zastosowane w obliczeniach:

- pole powierzchni podłogi (rzutu pomieszczenia)  $S_p = 240 \text{ m}^2$  (wykładzina dywanowa),
- pole powierzchni sufitu pomieszczenia  $S_s = 240 \text{ m}^2$  (w tym: część otynkowana – 126 m<sup>2</sup>; materiał dźwiękochłonny 100 m<sup>2</sup>; lampy 14 m<sup>2</sup>),
- pole powierzchni ściany dłuższej bez okien  $S_3 = 70 \text{ m}^2$  (w tym: część otynkowana 52 m<sup>2</sup>; materiał dźwiękochłonny 18 m<sup>2</sup>),
- pole powierzchni ściany dłuższej z oknami  $S_1 = 70 \text{ m}^2$  (w tym: część otynkowana 43 m<sup>2</sup>; okna 27 m<sup>2</sup>),
- pole powierzchni ścian krótszych  $S_2 = S_4 = 42 \text{ m}^2$  (w tym: część otynkowana 29 i 32 m<sup>2</sup>; drzwi 3,0 m<sup>2</sup>, materiał dźwiękochłonny na każdej 10 m<sup>2</sup>),
- liczba stanowisk pracy 50 (biurko, siedzisko, ekran akustyczny),
- *współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu* podano w tabeli 6.

Dane wejściowe i wyniki obliczeń podano:

- w tabeli 4 – do obliczenia chłonności akustycznej powierzchni pomieszczenia  $A_{pow}$ ,
- w tabeli 5 - do obliczenia chłonności akustycznej wyposażenia  $A_{wyp}$ ,
- w tabeli 6 - do obliczenia chłonności akustycznej wynikającej z pochłaniania dźwięku w powietrzu  $A_{air}$ .

Tabela. 4. Dane akustyczne elementów pomieszczenia. Współczynnik pochłaniania dźwięku  $\alpha_i$  oraz chłonność akustyczna powierzchni elementu  $A_{pow,i}$  elementu  $i$  ( $S_i$  - pole powierzchni nr  $i$ , w  $m^2$ ).

Typ materiału	$\alpha_i, m^2$			$S_i, m^2$	$A_{pow,i}, m^2$		
	0,5kHz	1kHz	2kHz		0,5kHz	1kHz	2kHz
Sufit otynkowany część niezakryta materiałem dźwiękochłonnym i lampami	0,03	0,04	0,05	126	3,78	5,04	6,3
Sufit pokryty materiałem dźwiękochłonnym (bez obszaru lamp)	0,55	0,7	0,6	100	55	70	60
Lampy sufitowe	0,06	0,08	0,1	14	0,84	1,12	1,4
Ściana długa bez okien, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	52	1,56	2,08	2,6
Ściana długa bez okien, pokryta materiałem dźwiękochłonnym	0,8	0,9	0,9	18	14,4	16,2	16,2
Ściana długa z okami, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	43	1,29	1,72	2,15
Ściana długa z okami, część przeszklona	0,03	0,03	0,02	27	0,81	0,81	0,54
Ściana krótka lewa, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	29	0,87	1,16	1,45
Ściana krótka lewa, część z drzwiami	0,06	0,08	0,1	3	0,18	0,24	0,3
Ściana krótka lewa, część pokryta materiałem dźwiękochłonnym	0,8	0,9	0,9	10	8	9	9
Ściana krótka prawa, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	32	0,96	1,28	1,6
Ściana krótka prawa, część pokryta materiałem dźwiękochłonnym	0,8	0,9	0,9	10	8	9	9
Podłoga, pokryta wykładziną dywanową	0,21	0,26	0,27	240	50,4	62,4	64,8
Chłonność akustyczna powierzchni $A_{pow}, m^2$					146,09	180,05	175,34

Tabela. 5. Chłoność akustyczna wyposażenia: pojedynczy element typu  $j A_{wyp,j}$ , elementów typu  $j A_{wyp}$ .

Typ	$A_{wyp,j}, m^2$			Liczba elementów	$A_{wyp,i}, m^2$		
	0,5kHz	1kHz	2kHz		0,5kHz	1kHz	2kHz
Siedziska z materiałem	0,55	0,64	0,59	50	27,5	32	29,5
Biurka	0,22	0,36	0,43	50	11	18	21,5
Ekrany akustyczne	1,9	2,7	2,5	50	95	135	125
Chłoność akustyczna elementów wyposażenia $A_{wyp}, m^2$					133,5	185	176

Tabela. 6. Chłoność akustyczna wynikająca z pochłaniania dźwięku w powietrzu  $A_{air}$

Temperatura/wilgotność względna powietrza	Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku, $m$ , w powietrzu w pasmach oktaowych o środkowej częstotliwości, $f$ , Np/m			Objętość pomieszczenia, $m^3$	Chłoność akustyczna wynikająca z pochłaniania dźwięku w powietrzu $A_{air}, m^2$		
	0,5 kHz	1 kHz	2 kHz		0,5 kHz	1 kHz	2 kHz
20°C / 30 - 50 %	0,0006	0,0010	0,0019	840	2,016	3,36	6,384

Chłoność akustyczna pomieszczenia wynosi:

$$A_f = A_{pow,f} + A_{wyp,f} + A_{air,f} = \begin{cases} 146,09 + 133,5 + 2,016m^2 = 281,61m^2 & \text{dla } 0,5kHz \\ 180,05 + 185 + 3,360m^2 = 368,41m^2 & \text{dla } 1 \text{ kHz} \\ 175,34 + 176 + 6,384m^2 = 357,72m^2 & \text{dla } 2 \text{ kHz} \end{cases} \quad (3)$$

gdzie:

$A_{pow,f}$  - chłoność akustyczna powierzchni ograniczających pomieszczenia obliczona w tabeli 4, w  $m^2$ ,

$A_{wyp,f}$  - chłoność akustyczna wyposażenia obliczona w tabeli 5, w  $m^2$ ,

$A_{air,f}$  - chłoność akustyczna wynikająca tłumienia dźwięku w powietrzu obliczona w tabeli 6, w  $m^2$ .

Jednostkowa chłoność akustyczna pomieszczenia (powierzchnia podłogi  $S_p = 240 m^2$ ) wynosi:

$$A_f/S_p = \begin{cases} 281,61/240 = 1,17m^2 & \text{dla } 0,5kHz \\ 368,41/240 = 1,53m^2 & \text{dla } 1 \text{ kHz} \\ 357,72/240 = 1,49m^2 & \text{dla } 2 \text{ kHz} \end{cases} \quad (4)$$

Ponieważ wymagana minimalna jednostkowa chłoność akustyczna rozpatrywanego pomieszczenia  $A_f/S_p$  wg PN-B-02151-4:2015 [13] wynosi  $1,1 m^2$ , to zaprojektowana adaptacja akustyczna ma chłoność akustyczną pomieszczenia o 6,7% większą od wymaganej, tzn. projektowane pomieszczenie ma wymaganą obligatoryjnie przez tą normę chłoność akustyczną.

## Metody stosowania źródeł dźwięku, maskujących dźwięki związane z komunikacją werbalną

Zastosowanie dużej adaptacji akustycznej (materiałów dźwiękochłonnych o dużej chłonności akustycznej na stropie, podłodze i ścianach, zastosowanie wysokich dźwiękochłonnych ekranów akustycznych), w większości przypadków nie umożliwia uzyskanie odpowiednich warunków środowiska akustycznego w biurowych pomieszczeniach wieloprzestrzennych open space (określonych m.in. w PN-EN ISO 3382-3:2012 [14] oraz ISO 22955:2021 [15]) [3,4,5]. Dotyczy to w szczególności uzyskania odpowiednio małego zasięgu zrozumiałej mowy. Określa się go *promieniami rozproszenia*  $r_D$  i *prywatności*  $r_P$  wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [14] (ale także wskaźnikiem transmisji mowy STI wg ISO 22955:2021 [15] tabela 1). Dlatego w dużej liczbie (jeżeli nie we wszystkich) pomieszczeniach rozpatrywanego typu konieczne jest, stosowanie maskowania hałasu (dźwięków mowy) utrudniającego pracę pracownikom.

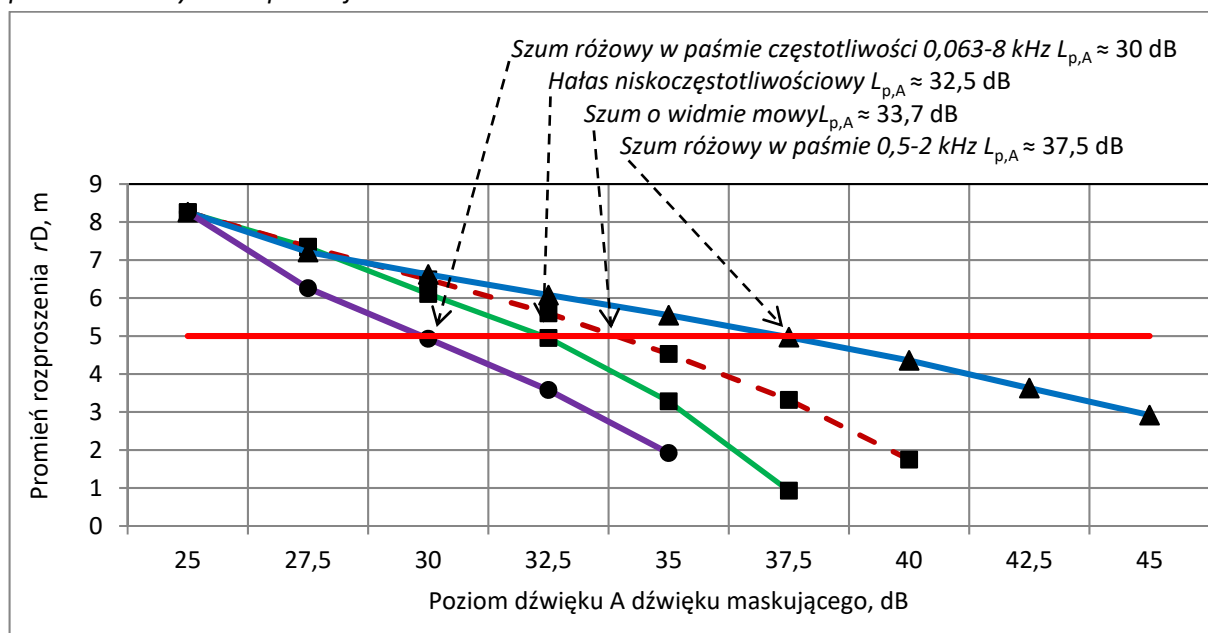
Maskowanie dźwięku polega na wprowadzeniu do środowiska akustycznego sztucznie wytwarzanego dźwięku maskującego, który powiększając, w niewielkim stopniu, wypadkowy poziom hałasu, powoduje zmniejszenie jego uciążliwości. W środowisku akustycznym w rozpatrywanym typie pomieszczeń występujący hałas ma poziomy dźwięku A znacznie mniejsze od 80 dB, nie jest więc czynnikiem szkodliwym (nie występuje zagrożenie słuchu), w takim przypadku na uciążliwość hałasu poziom dźwięku A ma znacznie mniejszy wpływ niż to, że dźwięk niosąc niepożądaną informację dekoncentruje pracowników. Dlatego, w biurowych pomieszczeniach wieloprzestrzennych, w pierwszej kolejności, należy zminimalizować zrozumiałość mowy i identyfikację źródeł dźwięku (w tym rozpoznawalność i kierunek dochodzenia dźwięku ze źródeł), a dopiero w następnej kolejności dążyć do ograniczenia poziomu dźwięku A. Stąd wynika możliwość i potrzeba wprowadzenia do środowiska akustycznego, dodatkowego dźwięku maskującego dźwięki nieporządane. Dźwięk maskujący musi mieć takie właściwości, że wypadkowa uciążliwość hałasu z powodu zmniejszenia niepożądanego zrozumiałości mowy, znacznie się zmniejsza, mimo iż w niewielkim stopniu, wzrośnie wypadkowy poziom dźwięku w pomieszczeniu.

Konkludując, chodzi więc o zastosowanie rozwiązania technicznego, polegającego na wykorzystaniu źródła dźwięku maskującego istniejący hałas w środowisku akustycznym biurowego pomieszczenia wieloprzestrzennego, w celu zmniejszenia uciążliwości hałasu, wynikającej z nieporządnej percepcji rozmów w tych pomieszczeniach.

W środowisku akustycznym biurowych pomieszczeń wieloprzestrzennych istniejącym „naturalnym” dźwiękiem maskującym zrozumiałość mowy pracowników jest tła akustyczne (m.in. od urządzeń technicznych i hałasu spoza rozpatrywanego pomieszczenia). Jednakże efektywność maskowania dźwięków mowy tym tłem akustycznym jest mała, a wynika z dwóch przyczyn. Pierwsza przyczyna to charakter widma tła akustycznego. Jest on niskoczęstotliwościowy (zmniejszenie się poziomu ciśnienia ze wzrostem częstotliwości), natomiast na zrozumiałość mowy mają największy wpływ oktawa pasma częstotliwości 2kHz oraz 0,5; 1 i 4 kHz [3]. Druga przyczyna to zbyt mały poziom dźwięku A tła akustycznego (typowo to 25-30 dB), a z badań wynika, że dopiero poziomy dźwięku A tła akustycznego (lub dźwięku maskującego) większe od ok. 30-32 dB [3] będą wystarczające do efektywnego maskowania dźwięków mowy. Dlatego do efektywnego maskowania dźwięków mowy konieczne jest zastosowanie źródeł maskujących, które wytworzą dźwięki o większych poziomach niż występujące tła akustyczne.

## Wyniki badań własnych CIOP-PIB w ramach projektu dotyczącego określenia poziomu i widma skutecznego dźwięku maskującego

Źródła maskujące powinny zapewniać odpowiedni poziom i widmo amplitudowe poziomu ciśnienia akustycznego dźwięku maskującego na stanowiskach pracy (właściwie w całym obszarze pracy) w pomieszczeniu. W badaniach [3] uwzględniono 4 typy charakterów widm dźwięków maskujących na stanowiskach pracy: widma o charakterze naturalnego tła akustycznego (niskoczęstotliwościowe), widma o charakterze dźwięku mowy, widma o charakterze szumu różowego w trzyoktawowym paśmie częstotliwości 0,5-2 kHz oraz widma o charakterze szumu różowego w ośmiooktawowym paśmie częstotliwości 0,063-8 kHz. W badaniu uwzględniano także naturalne tło akustyczne. Badanie przeprowadzono w pomieszczeniu biurowym o kubaturze 770 m<sup>3</sup>. Pomieszczenie to poza warunkami na promień rozproszenia i promień prywatności (zależnymi od tła akustycznego) spełniało wymagania akustyczne wg PN-B-02151-4:2015 [13] i PN-EN ISO 3382-3:2012 [14]. Badanie przeprowadzono metodami obliczeniowymi, przez symulację pola akustycznego w pomieszczeniach programem ODEON. Wyniki promienia rozproszenia  $r_D$  (kryterium  $r_D \leq 5$  m) pokazano na rysunku poniżej.



Rys. 1. Zależność promienia rozproszenia od poziomu dźwięku A dźwięku maskującego o czterech typach widma [3]

Poziomy dźwięku A dźwięku maskującego powyżej 30 dB (widmo dźwięku maskującego - szum różowy w zakresie częstotliwości 0,63-8 kHz) lub 32,5 dB (widmo hałasu tła tj. niskoczęstotliwościowe) spełniają warunek akustyczny na promień rozproszenia ( $r_D \leq 5$  m). Wartość tego poziomu dźwięku A jest znacznie poniżej dopuszczalnego poziomu dźwięku A tła akustycznego od wyposażenia technicznego budynku wg PN-B-02151-2:2018 [12] (tj. 37,5 dB (wartość podana [12] skorygowana o poprawkę wynikającą z czasu pogłosu pomieszczenia) oraz także mniejsza od poziomów dopuszczalnych na stanowiskach pracy [9, 11]).

Wynik badania wskazuje na spełnienie kryteriów na zrozumiałość mowy w tym pomieszczeniu (określanej pośrednio promieniem rozproszenia), już przy zastosowaniu dźwięku maskującego o poziomie dźwięku A ok 30-32 dB (w zależności i od charakteru widma dźwięku maskującego). Wynika z tego, że na wszystkich stanowiskach pracy dźwięk maskujący o widmie szumu różowego w zakresie częstotliwości 0,63-8 kHz, musi się zawierać w zakresie poziomu dźwięku A 30-37,5 dB. Znaczy to, że rozpatrywanych

*pomieszczeniach konieczne jest uzyskanie równomiernego nagłośnienia określanego maksymalną różnicą poziomu dźwięku A dźwięku maskującego równą ok. 7dB.*

Pod względem lokalizacji źródeł maskujących dźwięk, w biurowym pomieszczeniu wieloprzestrzennym, źródła maskujące można umieścić:

- na stanowiskach pracy (źródła lokalnie, spersonalizowane, z reguły na blatach biurów),
- na ścianach (główna wiązka promieniowania źródeł skierowana na stanowiska pracy lub skierowana na sufit dźwiękochłonny (jedno odbicie od sufitu) lub na ścianę i sufit (dwa odbicia sygnału maskującego od ściany i sufitu)),
- w podłodze podniesionej (źródła maskujące bezpośrednio promieniujące dźwięki w kierunku stanowisk pracy lub pod podłogą podniesioną i dźwięki przenikające przez nią),
- w suficie podwieszanym (źródła maskujące bezpośrednio promieniujące dźwięki w kierunku stanowisk pracy lub skierowane pionowo w dół lub promieniujące na płaszczyznę górną sufitu podwieszanego lub promieniujące w kierunku stropu i po odbiciu przenikające przez dźwiękochłonny sufit podwieszany).

W zależności od przyjętej koncepcji zastosowania źródła maskującego przyjęte są różne ich realizacje elektroakustyczne.

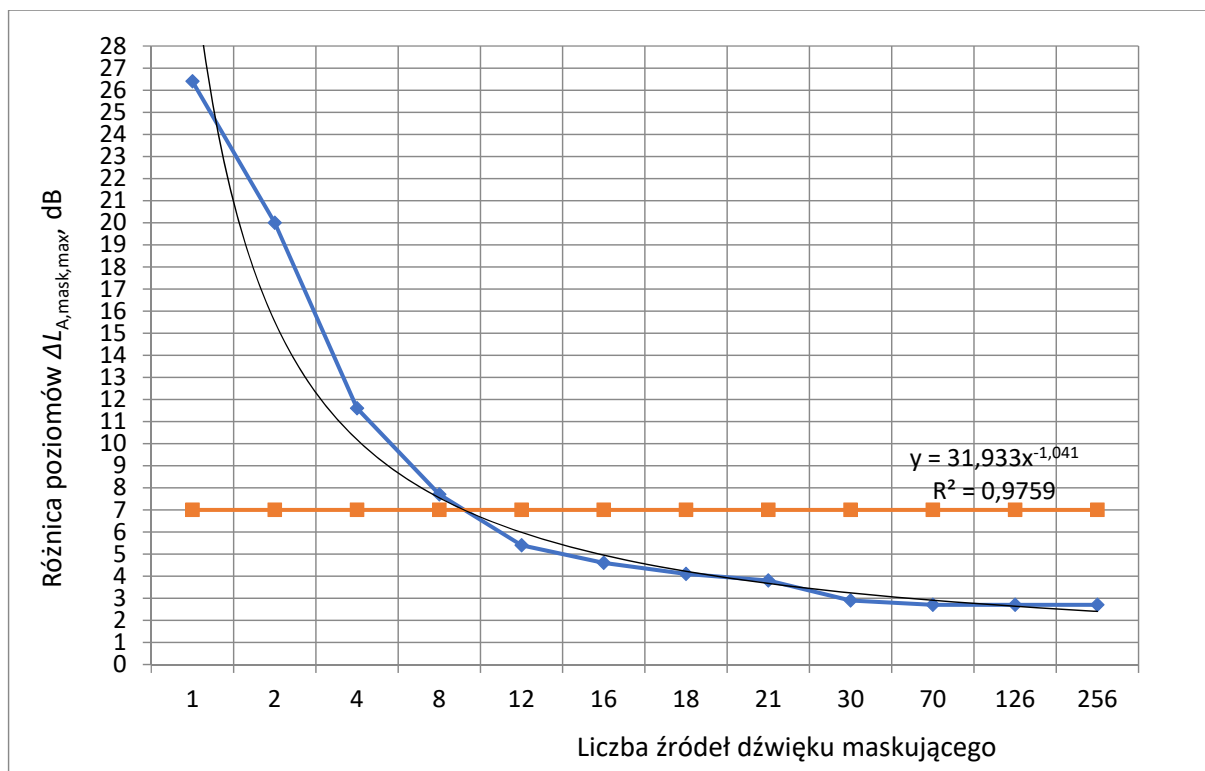
Z analizy literaturowej można określić ogólne wymagania i koncepcję realizacji technicznej źródła maskującego do zastosowania w biurowych pomieszczeniach wieloprzestrzennych. W wieloprzestrzennych pomieszczeniach biurowych w analizie przypadków zastosowania źródeł maskujących w pomieszczeniach powszechnie przyjmuje się, że na pracownika przypada ok. 15 m<sup>2</sup> powierzchni podłogi i wówczas na pracownika w pomieszczeniu szacuje się, że przypada 0,78 głośnika maskującego. Wynika z tego że jedno źródło maskujące powinno przypadać na ok 12 m<sup>2</sup> powierzchni podłogi pomieszczenia. Oczywistym jest, że gęstość rozmieszczenia źródeł zależy także od wielu różnych innych czynników np. wysokości pomieszczenia, chłonności akustycznej, wysokości ekranów akustycznych. Powyższe implikuje podjęcie działań optymalizacyjnych, które bezpośrednio wpływają na niezbędną realizację techniczną źródła, a właściwie systemu maskującego. Wiele doniesień literaturowych wskazuje, że zastosowanie wielu elementów promieniujących dźwięk maskujący, nawet przy stosowaniu sygnału szumu, może powodować nierównomierność przestrzenną poziomu maskującego. Dlatego powszechnie proponuje się zastosowanie macierzy przestrzennej elementów promieniujących dźwięk maskujący, w której powinny one rozmieszczone być na wzór pól w szachownicy.

### ***Wynik badania własnego CIOP-PIB w ramach projektu dotyczącego określenia liczby i rozmieszczenia źródeł maskujących***

*Przyjmując najpowszechniej stosowany system maskujący dźwięki, w którym źródła dźwięku maskującego umieszczone są w dźwiękochłonnym suficie podwieszanym, obliczeniowo ustalono ilość i sposób rozmieszczenia źródeł maskujących w taki sposób, że w obszarze pracy uzyskano wyżej określoną równomierność nagłośnienia.*

*Badania przeprowadzono dla pomieszczenia o kubaturze 416 m<sup>3</sup> (18 x 6,6 x 3,5 m). Czas pogłosu pomieszczenia (w zakresie częstotliwości 0,5-2 kHz) wynosił 0,15-0,2 s. System maskujący składał się z wielu (od 1 do 256) głośników umieszczonych w dźwiękochłonnym suficie, osiami głównymi głośników skierowanymi pionowo w dół. Maksymalną różnicę (rozstęp) poziomu dźwięku A w obszarze pracy  $\Delta L_{A,mask,max}$  określono na wysokości 1,2 m od podłogi pomieszczenia (rys. 2)*



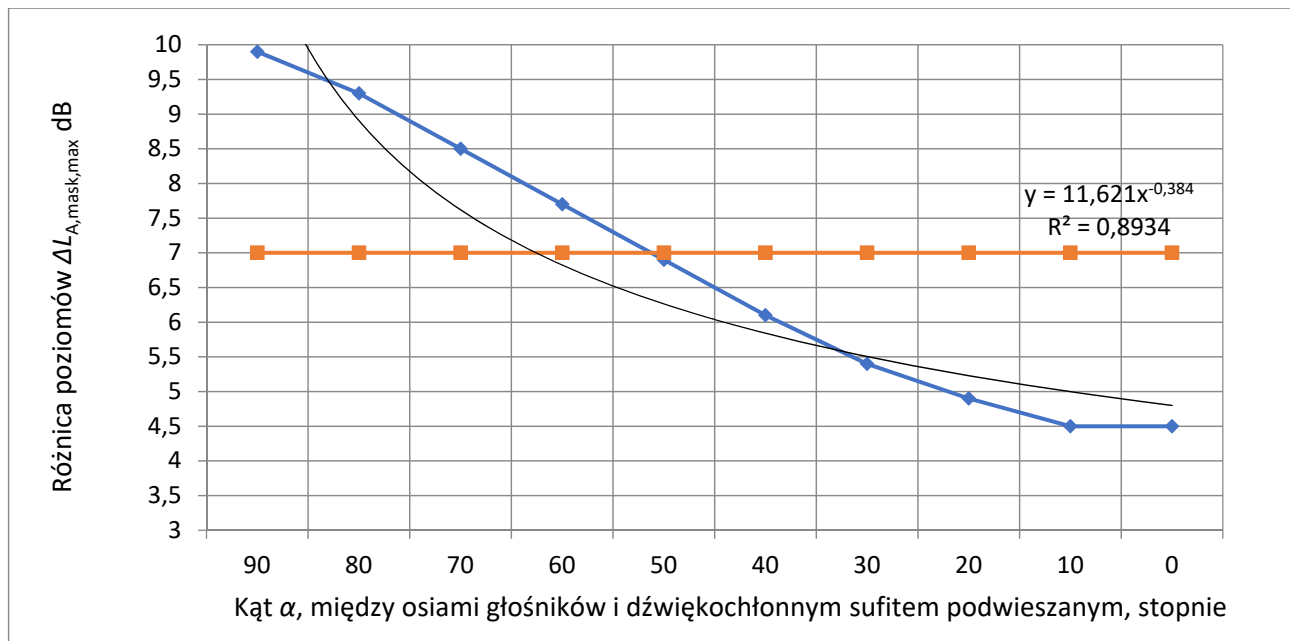


Rys. 2. Wyniki obliczeń maksymalnej różnicy poziomu dźwięku A w obszarze pracy  $\Delta L_{A,mask,max}$ , dla różnej liczby źródeł dźwięku maskującego.

Minimalna liczba źródeł dźwięku maskującego w tym pomieszczeniu wynosi 9-10 źródeł. Można stwierdzić, że jedno źródło dźwięku maskującego zapewnia równomierność nagłośnienia na powierzchni 12-13m<sup>2</sup> (dla głośników osi główną skierowanych pionowo w dół, zainstalowanych na wysokości 3m). Wyniki te potwierdzają wyniki z literatury.

Gdyby zamiast pojedynczych głośników zastosować kolumny (zestawy) czterogłośnikowe o kształcie piramidy, to wówczas można byłoby zmieniać charakterystykę kierunkową takiego źródła-kolumny przez co przy mniejszej liczbie instalacji źródeł maskujących (źródło-kolumna) wpływać na równomierność nagłośnienia.

W tym samym pomieszczeniu wykonano badanie wpływu kąta  $\alpha$  między osiami głośników umieszczonych na ściankach bocznych w kolumnach dźwiękowych, a płaszczyzną dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego (kąt płaszczyzn bocznych piramidy do podstawy jest wówczas równy  $\varphi = 90^\circ - \alpha$ ). W badaniach uwzględniono 4 kolumny głośnikowe o kształcie piramidy (każda piramida ma 4 głośniki, po jednym na każdej ścianie bocznej) na równomierność nagłośnienia dźwiękiem maskującym w obszarze pracy. Wyniki podano na rys. 3.

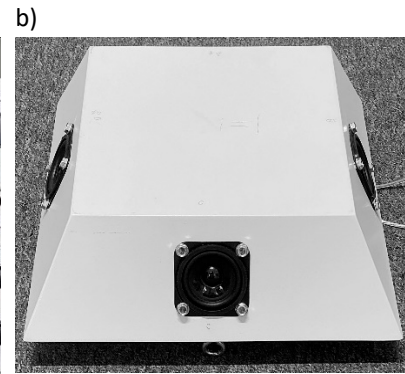


Rys. 3. Wyniki obliczeń maksymalnej różnicy (rozstępu) wartości poziomu dźwięku A w obszarze pracy  $\Delta L_{A,mask,max}$  dla 4 kolumn czterogłośnikowych w kształcie piramid, o różnych kątach  $\alpha$  między osią główną głośników i płaszczyzną dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego.

Przyjmując, że równomierne nagłośnienie dźwiękiem maskującym jest wówczas, gdy maksymalna różnica poziomu dźwięku A nie przekracza 7 dB, wówczas kąt między osią głośników, a płaszczyzną dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego  $\alpha$  nie powinien przekraczać ok  $45^\circ$ . Wynika z tego, że kąt  $\alpha$  między osią głośników, a podstawą piramidy powinien zawierać się w zakresie  $10-45^\circ$ , wówczas kąt między ścianami bocznymi kolumny dźwiękowej w kształcie piramidy i jej podstawą  $\varphi$  powinien mieścić się w zakresie  $45-80^\circ$ . Tak duże nachylenie ścianek bocznych kolumny dźwiękowej skłania do tego, aby jako kształt kolumny przyjąć piramidę ze ściętym wierzchołkiem.

### **Wynik badania własnego CIOP-PIB dotyczące możliwości uzyskania równomiernego nagłośnienia dźwiękiem maskującym pomieszczenia opracowanym systemem maskującym**

W pomieszczeniu ok.  $200\text{ m}^3$  zastosowano system maskujący (rys. 4; opracowany przez CIOP-PIB i ECO-TECH) zawierający jako emiterzy dźwięku maskującego kolumny dźwiękowe w kształcie piramid o kącie między ścianami bocznymi piramidy i podstawą równym  $65^\circ$  (podstawa 19 cm). Kolumny umieszczono w jednym rzędzie w dźwiękochłonnym suficie podwieszanym równoległe do dłuższej ściany pomieszczenia. Wg badań symulacyjnych dla kąta między ścianami bocznymi kolumny dźwiękowej w kształcie piramidy i jej podstawą  $\varphi = 65^\circ$  maksymalna różnica poziomu dźwięku A w tym pomieszczeniu powinna być równa ok. 5,1 dB. Z badań pomiarowych różnica ta wyniosła 6,2 dB. Po zmodyfikowaniu kolumny dźwiękowej polegającym na zwiększeniu podstawy kolumny głośnikowej do 30 cm oraz zwiększeniu o ok 2dB poziomu mocy akustycznej dwóch skrajnych kolumn dźwiękowych) uzyskano pomiarowo maksymalną różnicę poziomu dźwięku A w pomieszczeniu równą 4,3 dB, przy odchyleniu standardowym 0,79 dB (dane z tabeli 7). Ponieważ poziom dźwięku A systemu maskującego można za pomocą wzmocnienia wzmacniacza (rys. 4) regulować, to wynika z tego, że w badanym przypadku (poziomy dźwięku A dźwięku maskującego zawierają się w zakresie 33,0-37,3 dB), można obniżyć poziomy dźwięku o 3 dB. Wówczas poziomy dźwięku A dźwięku maskującego będą się zawierały w zakresie 30,0-34,3 dB, co będzie wystarczające dla dźwięku maskującego o widmie szumu różowego.



Rys. 4 Prototyp systemu maskującego: a) widok generatora-wzmacniacza, b) widok kolumny dźwiękowej (od góry).

Tabela 7. Wartości poziomu dźwięku A dźwięku maskującego w tabeli (jak w mapie hałasu podane z formatowaniem warunkowym z obrazowaniem kolorowym; oczko siatki pomiarowej 0,6m).

	7	6	5	4	3	2	1
21	33,5	35,0	33,9	33,8	34,3	34,1	34,1
20	33,1	34,7	36,4	35,2	34,9	35,3	34,4
19	34,2	34,9	35,7	37,3	36,9	34,9	34,3
18	35,0	35,6	35,4	36,1	36,6	35,4	34,8
17	33,9	34,7	35,2	35,2	34,7	35,7	34,5
16	33,0	34,4	35,5	33,0	33,1	35,2	34,3
15	33,3	34,8	35,6	35,1	35,1	34,3	34,3
14	34,6	34,8	34,8	36,3	35,4	34,8	35,5
13	34,9	34,4	34,4	35,9	36,4	35,0	34,2
12	34,5	34,1	34,3	34,8	35,2	35,4	34,8
11	34,5	34,9	34,9	35,1	35,4	35,0	35,5
10	34,6	34,3	35,4	35,2	34,7	35,4	34,6
9	34,5	35,0	34,9	36,1	36,0	34,8	34,4
8	34,7	35,1	34,9	36,3	36,4	35,1	35,1
7	34,7	34,8	35,3	35,1	35,4	36,0	34,9
6	34,6	34,8	34,1	34,2	34,6	34,8	35,2
5	34,1	34,7	35,8	35,5	35,5	35,8	34,3
4	34,8	34,5	35,2	37,0	36,8	35,2	35,4
3	35,2	34,4	35,0	37,1	37,2	35,4	34,7
2	34,1	34,6	35,4	35,2	35,3	35,9	35,1
1	35,1	35,0	34,5	34,9	35,4	34,8	35,2
	7	6	5	4	3	2	1

Położenie kolumn dźwiękowych

## Wnioski

- W biurowych pomieszczeniach wieloprzestrzennych możliwe jest uzyskanie odpowiednich akustycznych warunków pracy i właściwości pomieszczeń określonych w PN-B-02151-2:2018, PN-N-01307:1994, PN-B-02151-4:2015, PN-EN ISO 3382-3:2012 oraz ISO 22955:2021. Do ich uzyskania konieczne jest zastosowanie wielu elementów adaptacji akustycznej (dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego, dźwiękochłonnej wykładziny podłogowej, zastosowanie dźwiękochłonnych materiałów/wyrobów na ścianach pomieszczenia, ekranów akustycznych przy stanowiskach pracy, ekranów oddzielających grupy stanowisk pracy), a także zastosowanie systemów maskowania dźwięków mowy.
- W celu uzyskania w biurowych pomieszczeniach wieloprzestrzennych spełnienia wymagań wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [14] (w szczególności uzyskania wartości promienia rozproszenia poniżej 5 m) w pomieszczeniach, w których poziom dźwięku A tła akustycznego jest mniejszy od ok. 30 dB, konieczne jest zastosowanie dźwięków maskujących dźwięki mowy.
- Niezbędny poziom dźwięku A dźwięku maskującego umożliwiającego uzyskanie odpowiednich akustycznych warunków pracy i właściwości pomieszczenia wg. przepisów i zaleceń (PN-B-02151-2:2018 i wg PN-EN ISO 3382-3:2012) wynosi ok. 32–37,5 dB. Dźwięk maskujący o tym poziomie nie spowoduje przekroczenia poziomów dopuszczanych hałasu w pomieszczeniu (od wyposażenia technicznego budynku PN-B-02151-2:2018 i ISO 22955:2021– 37÷40 dB) oraz na stanowiskach pracy (wg normy PN-N-01307: 1994 – 55 dB, wg ISO 22955:2021– 48 dB; wg Rozporządzenia Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy – 85 dB).
- Najbardziej skutecznym dźwiękiem maskującym jest dźwięk o widmie szumu różowego (w zakresie częstotliwości obejmującym oktawaowe pasma częstotliwości z zakresu od ok 0,63–0,125 do 8 kHz). Niezbędny poziom dźwięku A dźwięku o tym widmie wynosi ok. 30 dB.

*Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej (zadanie nr 2.SP.05 pt. „Opracowanie źródła dźwięku maskującego hałas związany z komunikacją werbalną w biurowych pomieszczeniach wieloprzestrzennych”). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*

## Literatura:

1. Mikulski W. Warunki akustyczne w pomieszczeniach biurowych open space – zastosowanie środków technicznych w typowym pomieszczeniu. *Medycyna Pracy*. 2018; 69(2): 153-165, doi: 10.13075/mp.5893.00574.
2. Mikulski W. Studies on acoustic properties of open-plan office rooms. [W:] D. Pleban (red.), *Occupational noise and workplace acoustics, Advances in Measurement and Assessment techniques*. Boca Raton, London, New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2021, s. 173-220, <https://www.routledge.com/Occupational-Noise-and-Workplace-Acoustics-Advances-in-Measurement-and/Pleban/p/book/9780367499259>. 21.09.2020.
3. Mikulski W. Wpływ dźwięku maskującego zrozumiałość mowy na środowisko akustyczne w biurach typu open space – wyniki badań własnych. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2020, 12: 22-26, doi: 10.5604/01.3001.0014.5757.
4. Mikulski W., Swidziński A. Masking sound distribution in open plan office room – case study base on simulation. 27th International Congress on Sound and Vibration ICSV27, Praga, 11-16 lipca 2021 r.
5. Mikulski W. Rozkład poziomy dźwięku maskującego w pomieszczeniu biurowym open space, *Postępy Akustyki*, Rozdział nr 2, Polskie Towarzystwo Akustyczne Oddział w Krakowie, 2021, ISBN: 978-83-61402-02-2, str. 15-23; [file:///C:/Users/User/Desktop/\\_2021%20main/publikacje%202021/osa%20postepy%20akustyki%20%202021/postepy\\_akustyki\\_2021.pdf](file:///C:/Users/User/Desktop/_2021%20main/publikacje%202021/osa%20postepy%20akustyki%20%202021/postepy_akustyki_2021.pdf)
6. Mikulski W. Zmniejszenie uciążliwości hałasu w biurowych pomieszczeniach open space przez maskowanie dźwięków niepożądanych kolumnami dźwiękowymi w kształcie piramid. Case study. *Medycyna Pracy* 2022, 73(3):229-240, <https://doi.org/10.13075/mp.5893.01244>
7. Mikulski W. Jakość akustyczna pomieszczeń biurowych open space wg nowej normy ISO 22955:2021, *Bezpieczeństwo Pracy - Nauka i Praktyka*, CIOP-PIB, w redakcji 2022.
8. Smagowska B., Mikulski W., Radosz J. Ocena hałasu na wybranych stanowiskach pracy call center metodą pomiarów stanowiskowych oraz techniką MIRE. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2010, 10: 24-27, [https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/70843/201407299643&BP10\\_2012\\_24\\_27.pdf](https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/70843/201407299643&BP10_2012_24_27.pdf).
9. Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18 lutego 2021 r. (Dz.U. 2021 poz. 325) zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (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. poz. 1286 oraz z 2020 r. poz. 61).
10. Obwieszczenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tj. Dz.U. 2022 poz. 1225 z 9 czerwca 2022r.).
11. PN-N-01307:1994. Hałas – Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.
12. PN-B-02151-2:2018. Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
13. PN-B-02151-4:2015. Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach.
14. PN-EN ISO 3382-3:2012. Akustyka. Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 3: Pomieszczenia biurowe typu „open space”.
15. ISO 22955:2021. Acoustics – Acoustic quality of open office spaces.