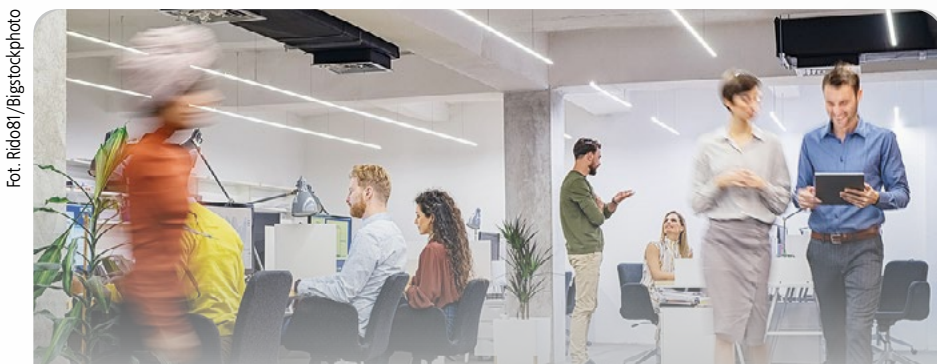


Wpływ dźwięku maskującego na zrozumiałość niepożądanych dźwięków mowy w biurach typu *open space* – wyniki badań własnych



Fot. Rido81/Bigstockphoto

W artykule przedstawiono wyniki badania obliczeniowego, wpływu zastosowania dźwięków maskujących na zrozumiałość mowy na stanowiskach pracy w typowym pomieszczeniu biurowym *open space*. Jako dźwięki maskujące uwzględniono dźwięki o czterech charakterach widm częstotliwości i o poziomach dźwięku A z zakresu 25-45 dB. Kryteria oceny akustycznej biurowych pomieszczeń *open space* przyjęto wg PN-EN ISO 3382-3:2012 i PN-B-02151-4:2015 (właściwości akustyczne pomieszczenia) oraz PN-B-02151-2:2018 (poziom tła akustycznego, w tym i dźwięku maskującego). Wykazano, że jest możliwe uzyskanie odpowiednich warunków środowiska pracy (w tym własności akustycznych pomieszczenia) przy poziomie dźwięku A dźwięku maskującego z zakresu 31-37 dB (w zależności od rozpatrywanego jednego z czterech typów charakteru widma dźwięku maskującego).

Słowa kluczowe: akustyka pomieszczeń, czas pogłosu, chłonność akustyczna, wskaźnik transmisji mowy STI, dźwięki maskujące, biura open space

The impact of sounds masking speech intelligibility on acoustic environment in open plan offices

The article presents computational research results of the impact of the use of sounds masking speech intelligibility at workplaces located in typical open plan office areas. Four types of masking sounds at frequency spectrum and A-weighted sound pressure levels within the range of 25-45 dB were used. The criteria for the acoustic evaluation of open plan office rooms were adopted according to the EN ISO 3382-3: 2012 and the Polish standards: PN-B-02151-4: 2015 (room acoustic properties) and PN-B-02151-2: 2018 (background level, including masking sound). It has been shown that it is possible to obtain appropriate work environment conditions (including room acoustic properties) at the A-weighted sound pressure level of masking sound in the range of 31-37 dB (depending on the one of the four types of masking frequency spectrum considered).

Keywords: room acoustics, reverberation time, sound absorption, speech transmission index STI, masking sounds, open plan offices

Wstęp

Hałas jest czynnikiem środowiska pracy negatywnie oddziałującym na pracowników. W pomieszczeniach biurowych typu *open space* nie zagraża on jednak ich słuchowi, ponieważ mierzony w nich równoważny poziom dźwięku A hałasu zawiera się zazwyczaj w zakresie 45-53 dB (na podstawie [1]), a poziom dopuszczalny ze względu na ochronę słuchu wynosi 85 dB (wg rozporządzenia Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 12 czerwca 2018 r. [2]). Występujący hałas zazwyczaj nie przekracza również dopuszczalnego poziomu dźwięku A ze względu na możliwość realizacji podstawowych zadań pracy, tj. 55 dB (wg PN-N-01307: 1994 [3]).

Negatywne oddziaływanie hałasu w biurach typu *open space* wynika z tego, że rozmowy jednych pracowników absorbują uwagę drugich – tych, którzy nie biorą w nich udziału. Dlatego charakteryzując hałas występujący w takich miejscach, opisuje się go: 1 – poziomem dźwięku oraz 2 – identyfikowalnymi bodźcami dźwiękowymi (w tym głównie treściami słownymi), które, poprzez niezamierzoną percepcję słuchową niepotrzebnych sygnałów, absorbują pracownika. Wpływ pierwszej cechy hałasu można w prosty sposób określić i ocenić za pomocą wielkości fizycznej poziomu dźwięku A na stanowiskach pracy wg ww. kryteriów [1-3] i średniego poziomu dźwięku w pomieszczeniu pracy wg PN-B-02151-02:1987 i PN-B-02151-2:2018 [4, 5]. Wpływ drugiej cechy scharakteryzować znacznie trudniej, co wynika nie tylko z cech fizycznych hałasu, ale także percepcji słuchowej człowieka. Ogólnie można przyjąć, że uwzględniając drugą cechę, należy dążyć do minimalizowania dźwięków niepożądanych lub maskowania ich zrozumiałości.

Wprowadzenie do środowiska pracy dźwięku maskującego dźwięki niepożądane powoduje pewien opór pracodawców i pracowników, gdyż obawiają się oni zwiększonego narażenia

na hałas, wynikającego z podwyższenia poziomu dźwięku A hałasu. Dlatego konieczne jest zastosowanie takich dźwięków maskujących, które będą maskowały dźwięki niepożądane, nie powodując istotnego podwyższenia poziomu dźwięku A na stanowiskach pracy [3] oraz średnich poziomów dźwięku w pomieszczeniach [4,5].

Celem artykułu jest prezentacja wyników badań własnych, dotyczących zastosowania dźwięku maskującego (o różnych poziomach i różnych charakterach widma akustycznego) w pomieszczeniach biurowych typu *open space*, który nie spowoduje przekroczeń dopuszczalnych wartości hałasu, a jednocześnie umożliwi uzyskanie wymaganych przepisami i zaleceniami właściwości środowiska akustycznego (w tym właściwości akustycznych pomieszczenia, które kształtują to środowisko).

Metoda badań i kryteria oceny

Badania dotyczą określania wpływu różnych dźwięków maskujących (o różnym poziomie i różnym charakterze widma akustycznego) na warunki środowiska akustycznego w pomieszczeniu biurowym typu *open space*. Kryterialne warunki tego środowiska, poza poziomami dopuszczalnymi hałasu ze względu na ochronę słuchu [2] oraz poziomami dopuszczalnymi ze względu na możliwość realizacji podstawowych zadań pracy [3], a także dopuszczalnymi średnimi poziomami dźwięku w pomieszczeniu pochodzącymi od wyposażenia technicznego budynku [4,5], określono kryterialnymi własnościami akustycznymi pomieszczenia (podanymi niżej). Badania autor przeprowadził w 2020 r. metodą obliczeniową, wykorzystując narzędzie obliczeniowe w postaci komputerowego programu ODEON, przeznaczonego do symulacji pola akustycznego w pomieszczeniach [6] (jego przydatność do opisywanego badania zweryfikowano wcześniej [7-9]).

Wymagania akustyczne na stanowiskach pracy w pomieszczeniach biurowych typu *open space* odnoszą się do zapewnienia odpowiednio małych poziomów dźwięku (rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 12 czerwca 2018 r., PN-N-01307:1994 [2, 3]).

Ponadto w pomieszczeniach biurowych typu *open space* należy zapewnić odpowiednio niski poziom tła akustycznego (zgodnie z PN-B-02151-02:1987 i PN-B-02151-2:2018 [4, 5]) oraz separację akustyczną stanowisk pracy. Separacja ta oznacza minimalizację zrozumiałości mowy (zapewnienie jak najmniejszych wartości wskaźnika transmisji mowy STI [10]). Wielkościami fizycznymi pośrednio ją charakteryzującymi są: chłonność akustyczna pomieszczenia (zgodnie z PN-B-02151-4:2015 [11]); szybkość obniżenia poziomu dźwięku A w funkcji odległości od źródła dźwięku mowy (poziom dźwięku A w odległości 4 m od wzorcowego źródła dźwięku mowy $L_{p,A,S,4m}$; spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości od wzorcowego źródła dźwięku mowy $D_{2,5}$ – zgodnie z PN-EN ISO 3382-3:2012 [12]); szybkość obniżenia wskaźnika transmisji mowy

STI w funkcji odległości od źródła dźwięku mowy (promień rozproszenia r_D i promień prywatności r_p – zgodnie z PN-EN ISO 3382-3:2012 [12]).

Kryteria akustyczne dotyczące poziomów dopuszczalnych hałasu na stanowiskach pracy w pomieszczeniach biurowych typu *open space* [2, 3] zostały spełnione, więc dalej nie będą omawiane.

Pomieszczenie biurowe typu *open space* powinno także spełniać następujące kryteria:

- wg PN-B-02151-4:2015 [11]:
 - wartość chłonności akustycznej pomieszczenia (oznaczona literą A), w m^2 , w oktawowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 500, 1000 i 2000 Hz (w skrócie „w zakresie częstotliwości 500-2000 Hz”) nie może być mniejsza niż 1,1 razy wartość pola powierzchni rzutu pomieszczenia w m^2 ; w rozpatrywanym pomieszczeniu opisanym niżej pole powierzchni rzutu pomieszczenia wynosi 220 m^2 ; w odniesieniu do tego pomieszczenia maksymalny dopuszczalny czas pogłosu musi spełnić kryterium:

$$T_{x,dop} \leq (0,161 \cdot V) / A_{min} = (0,161 \cdot V) / (1,1 \cdot S_p) = 0,146 \cdot H = 0,51 \text{ s} \quad (1)$$

gdzie:

A_{min} – minimalna chłonność akustyczna pomieszczenia, m^2 ,
 V – kubatura pomieszczenia, w m^3 (obliczona wartość jest zależna od pomieszczenia i przyjęto ją dla pomieszczenia rozpatrywanego w artykule),
 S_p – pole powierzchni rzutu pomieszczenia (podłogi), w m^2 ,
 H – wysokość pomieszczenia, w m (w rozpatrywanym pomieszczeniu opisanym niżej $H = 3,5$ m).

- wg PN EN ISO 3382-3:2012 [12]:
 - poziom dźwięku A w odległości 4 m od wzorcowego źródła dźwięku mowy $L_{p,A,S,4m}$ (określany z linii logarytmicznej interpolującej wyniki pomiaru poziomu dźwięku A w funkcji odległości od wzorcowego źródła dźwięku mowy) powinien spełnić kryterium:

$$L_{p,A,S,4m} \leq 48 \text{ dB} \quad (2)$$

– spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości od wzorcowego źródła dźwięku mowy, $D_{2,5}$ (określony z linii logarytmicznej interpolującej wyniki pomiaru poziomu dźwięku A w funkcji odległości od wzorcowego źródła dźwięku mowy) powinien spełnić kryterium:

$$D_{2,5} = L_{p,A,S,1m} - L_{p,A,S,2m} \geq 7 \text{ dB} \quad (3)$$

– promień rozproszenia r_D (odległość od wzorcowego źródła dźwięku mowy, w której wartość wskaźnika transmisji mowy $STI = 0,5$ (określany z linii prostej interpolującej wyniki pomiaru wskaźnika transmisji mowy STI w funkcji odległości od wzorcowego źródła dźwięku mowy; rys. 1.) powinien spełnić kryterium:

$$r_D \leq 5 \text{ m} \quad (4)$$

– promień prywatności r_p (odległość od wzorcowego źródła dźwięku mowy, w której wartość wskaźnika transmisji mowy $STI = 0,2$, określana z linii prostej interpolującej wyniki pomiaru wskaźnika transmisji mowy STI w funkcji odległości od wzorcowego źródła dźwięku mowy; rys. 1.):

$$r_p \approx a \cdot r_D \quad (5)$$

gdzie:

a – stała, która będzie określona, jako wynik badań podanych niżej, na podstawie wcześniejszych badań autora [7,8] można ją oszacować na $a \approx 2,1$.

Uwagi:

Kryterium nr 1 odnoszące się do czasu pogłosu zależy od wymiarów pomieszczenia.

Kryteria podane na podstawie zależności nr 2-4 wg PN EN ISO 3382-3:2012, określone tam są jako „dla dobrych właściwości akustycznych pomieszczeń”.

Norma PN-B-02151-4:2015 [11] została przywołana w odpowiednim rozporządzeniu [11], więc ma status obligatoryjny.

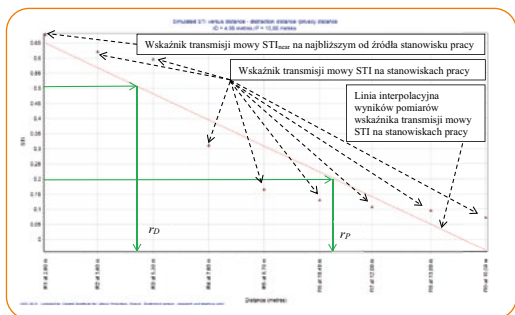
Z danych literaturowych [12-15] oraz z wcześniejszych badań autora artykułu [7-8] wynika, że spełnienie wymagań zawartych w PN-B-02151-4:2015 [11] oraz PN EN ISO 3382-3:2012 [12] jest bardzo trudne, ale możliwe. Konieczne jest zastosowanie adaptacji akustycznej pomieszczenia obejmującej: dźwiękochłonny sufit podwieszany, dźwiękochłonną wykładzinę dywanową, materiały/wyroby dźwiękochłonne na ścianach pomieszczenia oraz zastosowanie wysokich ($h > 1,5$ m) ekranów akustycznych. Mimo to elementy te nie umożliwiają uzyskania odpowiednich warunków środowiska akustycznego w biurowych pomieszczeniach typu *open space* w przypadku, gdy w pomieszczeniu jest bardzo niski poziom dźwięku A tła akustycznego. W celu spełnienia wymagań (głównie dotyczących promieni: rozproszenia r_D i prywatności r_p) konieczne jest zapewnienie odpowiedniego tła akustycznego, przede wszystkim przez zastosowanie dźwięków maskujących. Ich zastosowanie jest natomiast możliwe wtedy, gdy wypadkowy (nowy) poziom dźwięku A tła akustycznego (zawierający sygnał maskujący) nie przekroczy wartości dopuszczalnej hałasu w pomieszczeniu, określonej w PN-B-02151-2:2018 [5].

Dopuszczalną wartość maksymalnego równoważnego poziomu dźwięku A tła akustycznego w pomieszczeniu biurowym typu *open space* $L_{p,A,eq,dop}$, w dB, określa się na podstawie PN-B-02151-2:2018 [5] (po uwzględnieniu czasu pogłosu pomieszczenia), ze wzoru:

$$L_{p,A,eq,dop} = L_{p,A,eq,NT} + 10 \cdot \log \frac{T_{500-2000\text{Hz}}}{T_{500-2000\text{Hz,max,dop}}} = 40 + 10 \cdot \log (0,21/0,51) = 40 - 2,9 = 37,1 \text{ dB} \quad (6)$$

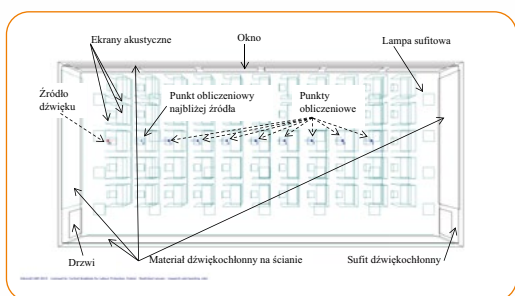
gdzie:

$L_{p,A,eq,NT}$ – wzorcowy maksymalny (najwyższy dopuszczalny) poziom dźwięku A, wg PN-B-02151-2:2018 „Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach” [5]; w stosunku do „biur



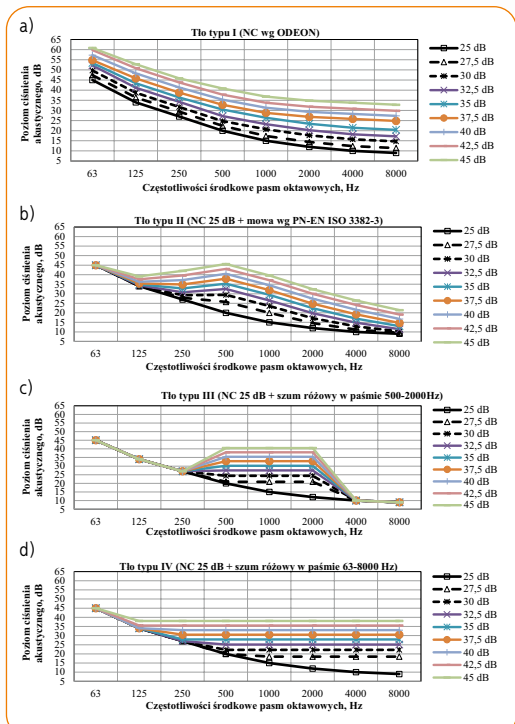
Rys. 1. Wskaźnik transmisji mowy STI na stanowiskach pracy (oznaczonych R1-R9). Ilustracja metody określania wartości promienia rozproszenia, promienia prywatności oraz wskaźnika transmisji mowy na najbliższym od źródła stanowisku pracy STI_{near} (rys. częściowo wygenerowany przez program ODEON [6])

Fig. 1. Speech transmission index at workplaces (marked R1-R9). Illustration of the method for determining the value of the distraction distance r_d , privacy distance r_p , and speech transmission index at the workstation nearest to the source STI_{near} (partially generated by the ODEON software [6])



Rys. 2. Rzut pomieszczenia biurowego typu open space (wygenerowany w programie ODEON)

Fig. 2. View of the open plan office room (generated by the ODEON software)



Rys. 3. Poziomy ciśnienia akustycznego w oktaowych pasmach częstotliwości zastosowanych w badaniu tła akustycznych: a) tło typu I, b) tło typu II, c) tło typu III, d) tło typu IV

Fig. 3. Sound pressure levels in octave frequency bands used in the acoustic background test: a) background type I, b) background type II, c) background type III, d) background type IV

Tabela. Wielkości charakteryzujące właściwości akustyczne rozpatrywanego biurowego pomieszczenia open space oraz ich wartości dopuszczalne

Table. Parameters characterizing the acoustic properties of the considered open plan office and their permissible values

Wielkość charakteryzująca właściwości akustyczne pomieszczenia		Wymagania obligatoryjne	Wymagania dla tzw. dobrych właściwości akustycznych pomieszczenia wg PN-EN ISO 3382-3	Wyniki obliczeń
Czas pogłosu pomieszczenia T , s	500 Hz	0,51 Obliczony z PN-B-02151-4 (zależność nr 1)		0,2*
	1000 Hz			0,21*
	2000 Hz			0,22*
Poziomy dźwięku A w odległości 4 m od wzorcowego źródła dźwięku mowy $L_{pA,5,4m}$, dB			$L_{pA,5,4m} \leq 48$	38,2*
Spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości od wzorcowego źródła dźwięku mowy $D_{2,5}$, dB			$7 \leq D_{2,5}$	7,0*
Równoważny poziomy dźwięku A tła akustycznego $L_{pA,eq}$, dB		37,1 Obliczony z PN-B-02151-2 (zależność nr 6)		25
				35*
Promień rozproszenia r_d , m	$L_{A,10} = 25$ dB		$r_d \leq 5$	8,3
	$L_{A,10} = 35$ dB			3,3*
Promień prywatności r_p , m	$L_{A,10} = 25$ dB			13,6
	$L_{A,10} = 35$ dB			9,9
Wskaźnik transmisji mowy STI_{near} (w punkcie obliczeniowym najbliższym źródła dźwięku mowy, zob. rys. 1.; $d = 2$ m)	$L_{A,10} = 25$ dB			0,83
	$L_{A,10} = 35$ dB			0,60

Oznaczenia:

$L_{A,10}$ – poziom dźwięku A tła akustycznego (widmo typu I, zob. rys. 3a).

Ponieważ badanie przeprowadzono w pomieszczeniu opisanym także w [16], część danych charakteryzujących właściwości akustyczne pomieszczenia, oznaczonych tu *, jest zbieżna w obu publikacjach.

Kolor zielony w polu z wynikiem obliczeń tła akustycznego oznacza spełnienie kryteriów, natomiast kolor czerwony – niespełnienie kryteriów.

wielkoprzestrzennych oraz pokoi biurowych typu open space” wynosi 40 dB,

$T_{500-2000Hz}$ – średni, z oktaowych pasm częstotliwości o częstotliwościach środkowych 500, 1000, 2000 Hz, czas pogłosu pomieszczenia, w sekundach; w odniesieniu do rozpatrywanego pomieszczenia czas pogłosu przyjęto z tabeli, $T_{500-2000Hz,max,dop}$ – dopuszczalny średni czas pogłosu pomieszczenia z maksymalnych dopuszczalnych czasów pogłosu pomieszczenia $T_{500Hz,max,dop}$, $T_{1000Hz,max,dop}$ i $T_{2000Hz,max,dop}$ (zależność nr 1), w sekundach.

Uwaga:

Kryterium nr 6 określone jest na podstawie kryterium nr 1, więc jego wartość także zależy od wymiarów pomieszczenia (szczegółowe opisy kryteriów podano w dalszej części artykułu).

Metody określania wymienionych wielkości podane są w normach PN-EN ISO 3382-3:2012, PN-B-02151-4:2015 i PN-EN 60268-16:2011 [10-12] oraz w wielu publikacjach (w tym [1,7-9,16-18]). Ponieważ jednak artykuł przede wszystkim odnosi się do wielkości: wskaźnika transmisji mowy STI na stanowisku pracy oraz promienia rozproszenia r_d i promienia prywatności r_p na rys. 1. pokazano, w jaki sposób określa się te dwa promienie właśnie na podstawie wartości wspomnianego wskaźnika transmisji mowy STI na stanowiskach pracy w pomieszczeniu.

Charakterystyka pomieszczenia, w którym przeprowadzono badanie

Wymiary rozpatrywanego biurowego pomieszczenia open space (zobacz także [16], w którym przyjęto jeden typ widma tła dźwięku

maskującego o poziomie dźwięku A 35 dB) to $22 \times 10 \times 3,5$ m, kubatura 770 m³, pole powierzchni rzutu pomieszczenia (podłogi) 220 m² (zob. rys. 2.). W pomieszczeniu zainstalowany był sufit dźwiękochłonny (wysokość $h = 3,45$ m, pole powierzchni 207,4 m²), materiał dźwiękochłonny na czterech ścianach (łącznie pole powierzchni 147,7 m²) oraz 55 ekranów akustycznych o wysokości 1,7 m, okalających z trzech stron 55 stanowisk pracy (pole powierzchni po jednej stronie ekranu 5,4 m²).

Dane charakteryzujące właściwości akustyczne pomieszczenia podano w tabeli.

Czas pogłosu pomieszczenia zawiera się w zakresie 0,2-0,22 s, a maksymalny dopuszczalny to 0,51 s (kryterium zależność nr 1), więc kryterium wg PN-B-02151-4:2015 [11] jest spełnione. Poziomy dźwięku A mowy w odległości 4 m od wzorcowego źródła dźwięku mowy $L_{pA,5,4m}$ wynosi 38,2 dB, a maksymalny dopuszczalny poziom to 48 dB (kryterium zależność nr 2), więc kryterium wg PN EN ISO 3382-3:2012 [12] w odniesieniu do tej wielkości jest spełnione. Spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości od wzorcowego źródła dźwięku mowy $D_{2,5}$ wynosi 7 dB, a minimalny dopuszczalny poziom to 7 dB (kryterium zależność nr 3), więc kryterium wg PN EN ISO 3382-3:2012 [12] w stosunku do tej wielkości także jest spełnione. W przypadku tła akustycznego o widmie typu I i poziomie dźwięku A 35 dB (rys. 3a) promień rozproszenia r_d wynosi 3,3 m, a maksymalny dopuszczalny promień to 5 m (kryterium zależność nr 4), więc również kryterium wg PN EN ISO 3382-3:2012 [12] w stosunku do tej wielkości zostaje spełnione.

Jednakże w przypadku, gdy poziom dźwięku A tła akustycznego o tym samym typie widma (typ I) byłby równy 25 dB, promień rozproszenia r_D byłby równy 8,3 m (tabela oraz wyniki dalej przeprowadzonych obliczeń, rys. 4.). Wynika z tego, że *rozpatrywane pomieszczenie spełnia wszystkie wymagania* pod warunkiem zastosowania odpowiedniego tła akustycznego. Jeżeli w rozpatrywanym pomieszczeniu tło akustyczne będzie za małe, to kryterium w odniesieniu do promienia rozproszenia r_D (zależność nr 4) nie będzie spełnione (tj. subiektywnie zasięg zrozumiałej mowy względem źródła dźwięku mowy będzie za duży). Dlatego w biurowych pomieszczeniach typu *open space* o bardzo małym poziomie tła akustycznego należy stosować dźwięki maskujące rozmowy pracowników. Uzyskany w ten sposób nowy poziom tła akustycznego będzie wynikiem poziomu „naturalnego” tła akustycznego oraz poziomu dźwięku maskującego.

Tła akustyczne uwzględnione w badaniu

W badaniu uwzględniono cztery typy (nr I, II, III i IV) widm częstotliwości tła akustycznego (zawierające dźwięki maskujące i „naturalne” tło akustyczne). Każde z nich miało poziomy dźwięku A: 25; 27,5; 30; 32,5; 35; 37,5; 40; 42,5 i 45 dB (rys. 3 i 4.). (Należy jednak pamiętać, że zgodnie z kryterium zależność 6 poziom dźwięku A tła akustycznego w rozpatrywanym pomieszczeniu nie może przekroczyć 37,1 dB).

We wszystkich wariantach tła akustycznego jako poziom „naturalnego” tła akustycznego (bez dźwięku maskującego) przyjęto widmo typu I o poziomie dźwięku A 25 dB (rys. 3a).

Tło akustyczne typu I reprezentuje typowe tło akustyczne bez obecności ludzi (podane jako typu NC, pochodzące z bazy danych programu ODEON [6]) o poziomie dźwięku A tła akustycznego typu I z zakresu 25-45 dB (rys. 3a).

Tło akustyczne typu II reprezentuje hałas, którego składowymi są: dźwięk tła akustycznego typu I o poziomie dźwięku A 25 dB (rys. 3a) oraz dźwięk mowy (wg PN-EN ISO 3382-3:2012) o takim poziomie, aby łącznie wypadkowy poziom dźwięku A tła akustycznego typu II zawierał się w zakresie 25-45 dB (rys. 3b).

Tło akustyczne typu III reprezentuje hałas, którego składowymi są: dźwięk tła typu I o poziomie dźwięku A 25 dB (rys. 3a) oraz szum różowy obejmujący oktawy o częstotliwościach środkowych z zakresu 500-2000 Hz, o takim poziomie, aby łącznie wypadkowy poziom dźwięku A tła akustycznego typu III zawierał się w zakresie 25-45 dB (rys. 3c).

Tło akustyczne typu IV reprezentuje hałas, którego składowymi są: dźwięk tła typu I o poziomie dźwięku A 25 dB (rys. 3a) oraz szum różowy obejmujący oktawy o częstotliwościach środkowych z zakresu 63-8000 Hz o takim poziomie, aby łącznie wypadkowy poziom dźwięku A tła akustycznego typu IV zawierał się w zakresie 25-45 dB (rys. 3d).

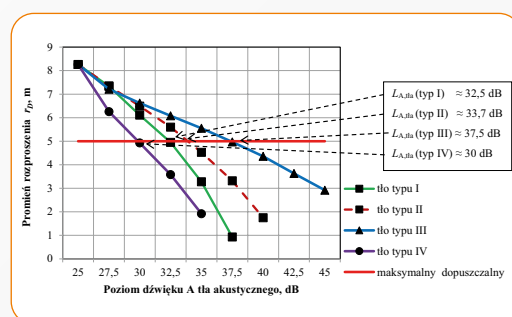
Wyniki badań

Na rys. 4. podano wyniki obliczeń promienia rozproszenia r_D . Nie podano wyników dla tej wielkości w odniesieniu do tła akustycznego: typu I w przypadku poziomów dźwięku z zakresu 40-45 dB, typu II w stosunku do poziomów dźwięku z zakresu 42,5-45 dB i typu IV w odniesieniu do poziomów dźwięku z zakresu 37,5-45 dB. Wynikało to z niemożności interpretacji fizycznej obliczonych wartości tej wielkości, ze względu na bardzo małe wartości wskaźnika transmisji mowy STI_{near} .

Wartość maksymalna dopuszczalna promienia rozproszenia r_D wynosi 5 m (kryterium zależność nr 4). Warunek ten będzie spełniony (co zagwarantuje odpowiednie akustyczne właściwości środowiska pracy w pomieszczeniu), gdy wypadkowy poziom dźwięku A tła akustycznego (w tym i dźwięku maskującego) typu I będzie nie mniejszy niż 32,5 dB (typ II – 33,7 dB; typ III – 37,5 dB; typ IV – 30 dB). Ponieważ maksymalny poziom dźwięku A tła akustycznego w rozpatrywanym pomieszczeniu wynosi 37,1 dB (kryterium zależność nr 6), trzy typy widm, z dźwiękiem maskującym o widmie tła naturalnego, o widmie mowy oraz o widmie szumu różowego w zakresie częstotliwości 63-8000 Hz, spełniają ten warunek, w przeciwieństwie do tła akustycznego z dźwiękiem maskującym o widmie szumu różowego w zakresie częstotliwości 500-2000 Hz. Wynika z tego, że z czterech badanych typów widm jako dźwięk maskujący zrozumiałość niepożądanego rozmów w biurach typu *open space* najlepiej sprawdzi się szum różowy w zakresie częstotliwości 63-8000 Hz. Maskowanie szumem korygowanym częstotliwościowo zgodnie z charakterem widma tła naturalnego lub widma mowy jest mniej skutecznym sposobem.

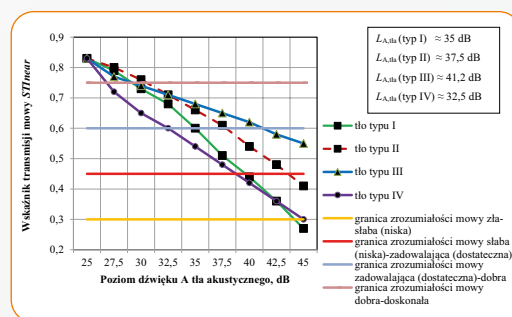
Na rys. 5. podano wyniki obliczeń wskaźnika transmisji mowy na stanowisku pracy najbliższym względem wzorcowego źródła dźwięku mowy STI_{near} (w punkcie znajdującym się najbliższym wzorcowego źródła dźwięku mowy; rys. 1 i 2.). Maksymalna dopuszczalna wartość tego wskaźnika nie została określona, niemniej z uwagi na to, że zrozumiałość mowy powinna być w opisywanym środowisku jak najmniejsza, w artykule przyjęto bardzo ostre kryterium i założono, że zrozumiałość mowy powinna być mniejsza od dobrej (tzn. wskaźnik transmisji mowy $STI < 0,6$ [10]). Warunek ten zostanie spełniony, gdy wypadkowy poziom dźwięku A tła akustycznego (w tym i dźwięku maskującego) typu I będzie nie mniejszy niż 35 dB (typ II – 37,5 dB; typ III – 41,2 dB i typ IV – 32,5 dB). Ponieważ maksymalny poziom dźwięku A tła akustycznego w rozpatrywanym pomieszczeniu wynosi 37,1 dB (kryterium zależność 6), warunek ten spełniają dwa typy widm z dźwiękiem maskującym (o widmie tła naturalnego oraz o widmie szumu różowego w zakresie częstotliwości 63-8000 Hz).

Na rys. 6. podano wyniki obliczeń promienia prywatności r_p . Maksymalna dopuszczalna



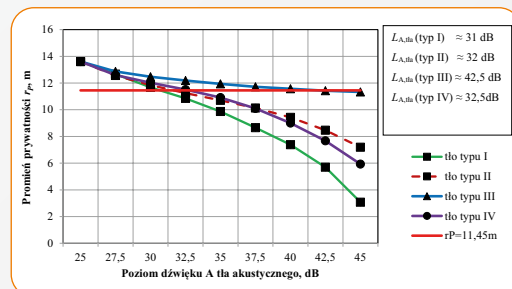
Rys. 4. Wyniki obliczeń promienia rozproszenia r_D dla tła akustycznych typu I, II, III i IV o poziomach dźwięku A z zakresu 25-45 dB (czarna linia jest graniczną wartością kryterium podanego w zależności 4)

Fig. 4. Results of the calculation of the distraction distance r_D for type I, II, III and IV acoustic backgrounds with A-weighted sound pressure levels in the range of 25-45 dB



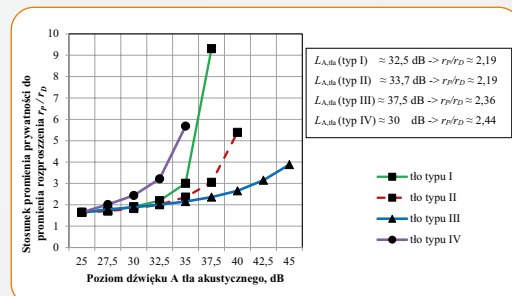
Rys. 5. Wyniki obliczeń wskaźnika transmisji mowy na stanowisku pracy najbliższym wzorcowego źródła mowy STI_{near} (rys. 2.), dla tła akustycznych typu I, II, III i IV o poziomach dźwięku A z zakresu 25-45 dB

Fig. 5. Results of the speech transmission index at the workstation nearest to the source STI_{near} calculations (Fig. 2), for type I, II, III and IV acoustic backgrounds with A-weighted sound pressure levels in the range of 25-45 dB



Rys. 6. Wyniki obliczeń promienia prywatności r_p dla tła akustycznych typu I, II, III i IV o poziomach dźwięku A z zakresu 25-45 dB

Fig. 6. Results of the privacy distance r_p for type I, II, III and IV acoustic backgrounds with A-weighted sound pressure levels in the range of 25-45 dB



Rys. 7. Stosunek promienia prywatności do promienia rozproszenia r_p / r_D dla tła akustycznych typu I, II, III i IV o poziomach dźwięku A z zakresu 25-45 dB

Fig. 7. The ratio of the privacy distance r_p to the distraction distance r_D for type I, II, III and IV acoustic backgrounds with A-weighted sound pressure levels in the range of 25-45 dB

wartość tej wielkości nie została określona w normach. Z uwagi jednak na to, że powinna być jak najmniejsza, jako dźwięki maskujące zrozumiałość niepożądanych rozmów w pomieszczeniach biurowych *open space* najlepiej jest wykorzystywać szum korygowany częstotliwościowo zgodnie z charakterem widma tła naturalnego. Maskowanie innymi dźwiękami będzie znacznie mniej skuteczne.

Na rys. 7. podano wyniki obliczeń stosunku promienia prywatności r_p do promienia rozproszenia r_D . Wartość tej wielkości zawiera się w zakresie 1,65-9,31. Najistotniejsze jest jednak to, jakie są wartości tego stosunku w przypadku, gdy spełniony jest warunek dotyczący promienia rozproszenia (tj. $r_D \leq 5$ m), tzn. w odniesieniu do tła akustycznego, przy którym warunki środowiska pracy są odpowiednie. Dla tła typu I sytuacja taka zachodzi wtedy, gdy wartość tego stosunku wyniesie ok. 2,19 (typ II – 2,19; typ III – 2,36; typ IV 2,44). Średnia wartość tego stosunku to ok. 2,29. Wyniki te nie odbiegają od wcześniejszych szacunkowych wyników badań (zależność 5), jednakże uściślają tę zależność.

Przy założeniu, że stosunek ten wynosi 2,29, dopuszczalny promień prywatności r_p będzie w przybliżeniu równy $r_p \approx 11,45$ m. Jeżeli potraktujemy tę wartość jako kryterium maksymalnego promienia prywatności r_p , to warunek dotyczący promienia prywatności r_p zostanie spełniony (rys. 6), gdy wypadkowy poziom dźwięku A tła akustycznego (w tym i dźwięku maskującego) typu I będzie nie mniejszy niż 31 dB (typ II – 32 dB; typ III – 42,5 dB; typ IV – 32,5 dB). Ponieważ maksymalny poziom dźwięku A tła akustycznego w rozpatrywanym pomieszczeniu wynosi 37,1 dB (kryterium zależność 6), to warunek ten spełniają trzy typy widm z dźwiękiem maskującym (tła naturalnego, mowy oraz szumu różowego w zakresie częstotliwości 63-8000 Hz).

Przedstawione wyniki badań wskazują, że jako dźwięki maskujące zrozumiałość rozmów i niepożądanych dźwięków w biurach typu *open space* można zastosować dźwięki o widmie szumu różowego (w zakresie częstotliwości 63-8000 Hz). Mniej skutecznym sposobem jest zastosowanie jako dźwięków maskujących szumu korygowanego częstotliwościowo zgodnie z charakterem widma naturalnego tła akustycznego oraz widma mowy. Istotne jest przy tym, że zastosowanie dźwięku maskującego nie spowoduje przekroczeń poziomów dopuszczalnych hałasu w pomieszczeniu [4,5] (37,1 dB; zależność nr 5) i na stanowiskach pracy (85 i 55 dB; [2,3]).

Podsumowanie

Przeprowadzone badanie wykazało duży wpływ poziomu dźwięku i widma częstotliwościowego tła akustycznego na zmniejszenie zrozumiałości niepożądanych dźwięków mowy (rozmów), a więc poprawę warunków pracy w pomieszczeniu biurowym *open space*.

Poziom dźwięku A tła akustycznego powyżej 30 dB (widmo dźwięku maskującego szum różowy w zakresie częstotliwości 63-8000 Hz) lub

32,5 dB (widmo dźwięku maskującego: naturalne i mowy) spełnia warunek akustyczny dotyczący promienia rozproszenia. Zastosowanie dźwięku maskującego o poziomie 32,5 dB i widmie szumu różowego w zakresie częstotliwości 63-8000 Hz pozwala już na sąsiednim stanowisku pracy (tj. w odległości 2 m od źródła dźwięku) uzyskać zmniejszenie zrozumiałości mowy do poziomu poniżej „dobrej” (wskaźnik transmisji mowy STI < 0,6 wg PN-EN 60268-16:2011 [10]). W rozpatrywanym przykładzie, w celu uzyskania zbliżonej oceny właściwości akustycznych rozpatrywanych pomieszczeń wielkościami promień rozproszenia i promień prywatności (w odniesieniu do czterech rozpatrywanych typów widma tła akustycznego o poziomach dźwięku A umożliwiających spełnienie warunku na promień rozproszenia $r_D \leq 5$ m), można oszacować, że wartość promienia prywatności r_p jest ok. 2,29 razy większa od wartości promienia rozproszenia r_D . Wynika z tego, że maksymalna dopuszczalna wartość promienia prywatności r_p powinna wynosić ok. 11,45 m.

Przeprowadzone badanie potwierdziło tezę o dużym wpływie poziomu dźwięku A tła akustycznego na wartości promienia rozproszenia i promienia prywatności, stosowanymi w ocenie właściwości akustycznych pomieszczeń biurowych *open space*. W celu uniknięcia takiej niejednoznaczności należy rozważyć przyjęcie w metodach oceny biur typu *open space* tła standardowego (szczególnie na etapie projektowania akustycznego). Badanie dowodzi spełnienia kryteriów na zrozumiałość mowy w tym pomieszczeniu, już przy zastosowaniu dźwięku maskującego o poziomie dźwięku A ok. 30-33 dB. Poziom ten jest znacznie niższy niż maksymalny dopuszczalny poziom tła akustycznego, pochodzącego od wyposażenia technicznego budynku (wg PN-B-02151-2:2018 – ok. 37 dB), oraz niż poziom dopuszczalny na stanowiskach pracy ze względu na możliwość realizacji podstawowych zadań pracy (wg PN-N-01307:1994 – 55 dB). Można więc zaakceptować zastosowanie w pomieszczeniach biurowych *open space* zaproponowanych tu dźwięków maskujących, ponieważ nie będą one wpływały na podwyższenie poziomu dźwięku A hałasu w pomieszczeniu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] MIKULSKI, W. Wyniki badań hałasu w otwartym pomieszczeniu biurowym – case study w pomieszczeniu o dużej chłonności akustycznej. Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki 2019, Szczyrk, 25.02-1.3.2019. Materiały z konferencji, Oddział Górnośląski Polskiego Towarzystwa Akustycznego, Komitet Akustyki Polskiej Akademii Nauk, Gliwice-Szczyrk 2019, s. 7-17, ISBN: 978-83-931744-9-2 <https://www.researchgate.net/publication/337362951> Materiały XLVII Szkoły Zimowej Akustyki Środowiska i Wibroakustyki. 21.09.2020.
- [2] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 12 czerwca 2018 r. (Dz.U. 2018 poz. 1286 z 3 lipca 2018) w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (zał. 2 punkt A.).
- [3] PN-N-01307:1994. Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonania pomiarów.
- [4] PN-B-02151-02:1987. Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.

[5] PN-B-02151-2:2018. Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach.

[6] ODEON Computer software, <https://odeon.dk/>. 28.01.2020.

[7] MIKULSKI, W. Badania obliczeniowe zrozumiałości mowy w pomieszczeniach biurowych *open space*. [Computational research of speech intelligibility in open space office areas]. Medycyna Pracy 2019, 70 (3): 327-342. DOI:10.13075/mp.5893.00726.

[8] PLEBAN, D. (red.). Occupational noise and workplace acoustics, Advances in Measurement and Assessment techniques, Chapter 7 Studies on acoustic properties of open-plan office rooms, (autor rozdziału Mikulski W.), CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York, 2021, str. 173-220. <https://www.routledge.com/Occupational-Noise-and-Workplace-Acoustics-Advances-in-Measurement-and-Pleban/p/book/9780367499259>. 21.09.2020.

[9] MIKULSKI, W. Warunki akustyczne w pomieszczeniach biurowych *open space* – zastosowanie środków technicznych w typowym pomieszczeniu. [Acoustic conditions in open space office areas – the use of technical measures in a typical open space area]. Medycyna Pracy 2018, 69 (2): 153-165, DOI: <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00574>.

[10] PN-EN 60268-16:2011. Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy.

[11] PN-B-02151-4:2015. Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach. (podana w wykazie polskich norm powołanych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z 14 listopada 2017 (Lp. 60a, paragraf 323 ust. 2.). Dz.U. 2017 r. poz. 2285.

[12] PN-EN ISO 3382-3:2012. Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 3: Pomieszczenia biurowe typu *open space*.

[13] NURZYŃSKI, J. Warunki akustyczne w wielkoprzestrzennych pomieszczeniach biurowych. [Acoustic conditions in large space offices]. Materiały Budowlane 2018, 552 (8): 10-12. DOI: 10.15199/33.2018.08.02.

[14] NOWICKA, E. Ocena właściwości akustycznych pomieszczeń typu *open space*. [Evaluation of acoustic properties of open space office areas]. Materiały Budowlane, 2018, 552 (8): 16-18. DOI: 10.15199/33.2018.08.03.

[15] KŁOSAK, A.K. Wytyczne do projektowania pomieszczeń zgodnie z nową normą o akustyce wnętrz – PN-B-02151-4:2015-06. [Guidelines for room design in accordance to the new standard for interior acoustics – PN-B-02151-4:2015-06]. Materiały Budowlane 2017, (8): 143-146. DOI: 10.15199/33.2017.08.43.

[16] MIKULSKI, W. Projektowanie adaptacji akustycznej otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych. Część 2 – Projektowanie dodatkowe. [Design of acoustic adaptation of administrative rooms. Part 2 – additional design]. Materiały Budowlane 2019, (9): 82-85. DOI: 10.15199/33.2019.09.07.

[17] MIKULSKI, W. Wpływ zastosowania adaptacji akustycznej na wskaźnik transmisji mowy i czas pogłosu pomieszczenia [The impact of the use of acoustic design on the speech transmission index and room's reverberation time]. Materiały Budowlane 2014, 8 (504): 25-28. ISSN 0137-2971, <https://www.materiałybudowlane.info.pl/images/2014/08/s25-28.pdf>. 14.09.2020.

[18] MIKULSKI, W. Warunki akustyczne w pomieszczeniach biurowych *open space* – wyniki badań pilotażowych [Acoustic conditions in open space office areas – pilot research results]. Medycyna Pracy 2016, 67(5): 653-662. DOI 10.13075/mp.5893.00425.

Publikacja opracowana na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w 2020 roku w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy