

Witold Mikulski

## WARUNKI AKUSTYCZNE W POMIESZCZENIACH BIUROWYCH; OPEN SPACE – WYNIKI BADAŃ PILOTAŻOWYCH

ACOUSTIC CONDITIONS IN OPEN PLAN OFFICES – PILOT TEST RESULTS

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Warszawa, Poland

Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych / Department of Vibroacoustic Hazards

### STRESZCZENIE

**Wstęp:** Głównym źródłem hałasu w pomieszczeniach biurowych open space są rozmowy pracowników. Standard pracy biurowej w tych pomieszczeniach osiąga się, stosując specjalnie rozbudowaną adaptację akustyczną. W artykule przedstawiono pilotażowe wyniki badań i oceny akustycznej takich pomieszczeń. **Materiał i metody:** Przedmiotem pilotażowych badań były właściwości akustyczne 6 pomieszczeń. Wykorzystane parametry oceny, metody ich pomiaru i wartości kryterialne odpowiadały normom: PN-EN ISO 3382-3:2012, PN-EN ISO 3382-2:2010, PN-B-02151-4:2015-06 i PN-B-02151-3:2015-10. **Wyniki:** Czas pogłosu zawierał się w przedziale 0,33–0,55 s (maksymalny dopuszczalny w pomieszczeniach biurowych – 0,6 s; wszystkie pomieszczenia spełniały kryterium), chłonność akustyczna (równoważna powierzchnia pochłaniająca pomieszczenia) odniesiona do 1 m<sup>2</sup> rzutu pomieszczenia zawierała się w przedziale 0,77–1,58 m<sup>2</sup> (minimalna dopuszczalna – 1,1 m<sup>2</sup>; 2 z 6 pomieszczeń spełniały kryterium), odległość rozproszenia zawierała się w przedziale 8,5–14 m (maksymalna dopuszczalna – 5 m; żadne pomieszczenie nie spełniało kryterium), poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m zawierał się w przedziale 43,8–54,7 dB (maksymalny dopuszczalny – 48 dB; kryterium spełnione w 2 pomieszczeniach na 6), spadek poziomu dźwięku mowy przy podwojeniu odległości zawierał się w przedziale 1,8–6,3 dB (minimalna dopuszczalna – 7 dB; żadne pomieszczenie nie spełniało kryterium). **Wnioski:** Standardowa adaptacja akustyczna w pomieszczeniach biurowych typu open space, polegająca na zastosowaniu dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego, materiałów dźwiękochłonnych na ścianach, wykładziny dywanowej oraz dźwiękochłonnych ekranów stanowiskowych, nie wystarcza do osiągnięcia zadowalających warunków akustycznych. Pomieszczenia te wymagają zaawansowanych rozwiązań akustycznych. Med. Pr. 2016;67(5):653–662

**Słowa kluczowe:** akustyka pomieszczeń, czas pogłosu, open space, wskaźnik transmisji mowy STI, pomieszczenia wielkoprzestrzenne, otwarte pomieszczenia do prac administracyjnych

### ABSTRACT

**Background:** The main source of noise in open plan office are conversations. Office work standards in such premises are attained by applying specific acoustic adaptation. This article presents the results of pilot tests and acoustic evaluation of open space rooms. **Material and Methods:** Acoustic properties of 6 open plan office rooms were the subject of the tests. Evaluation parameters, measurement methods and criterial values were adopted according to the following standards: PN-EN ISO 3382-3:2012, PN-EN ISO 3382-2:2010, PN-B-02151-4:2015-06 and PN-B-02151-3:2015-10. **Results:** The reverberation time was 0.33–0.55 s (maximum permissible value in offices – 0.6 s; the criterion was met), sound absorption coefficient in relation to 1 m<sup>2</sup> of the room's plan was 0.77–1.58 m<sup>2</sup> (minimum permissible value – 1.1 m<sup>2</sup>; 2 out of 6 rooms met the criterion), distraction distance was 8.5–14 m (maximum permissible value – 5 m; none of the rooms met the criterion), A-weighted sound pressure level of speech at a distance of 4 m was 43.8–54.7 dB (maximum permissible value – 48 dB; 2 out of 6 rooms met the criterion), spatial decay rate of the speech was 1.8–6.3 dB (minimum permissible value – 7 dB; none of the rooms met the criterion). **Conclusions:** Standard acoustic treatment, containing sound absorbing suspended ceiling, sound absorbing materials on the walls, carpet flooring and sound absorbing workplace barriers, is not sufficient. These rooms require specific advanced acoustic solutions. Med Pr 2016;67(5):653–662

**Key words:** acoustics of rooms, reverberation time, open space rooms, speech transmission index STI, open plan, open plan rooms for administrative work

Autor do korespondencji / Corresponding author: Witold Mikulski, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: wimik@ciop.pl  
Nadesłano: 22 grudnia 2015, zatwierdzono: 17 marca 2016

Finansowanie / Funding: publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, dofinansowywanego w latach 2014–2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. Temat „Badania propagacji dźwięku i metod kształtowania warunków akustycznych w pomieszczeniach do pracy wymagającej koncentracji uwagi”. Kierownik tematu: dr inż. Witold Mikulski.

## WSTĘP

W Polsce otwarte pomieszczenia do prac administracyjnych (nazewnictwo wg PN-B-02151-4:2015-06 [1]) lub pomieszczenia biurowe open space (nazewnictwo według PN-EN ISO 3382-3:2012 [2]) są wykorzystywane stosunkowo od niedawna. W każdym z nich znajduje się wiele stanowisk pracy biurowej. Wymagania pracy stawiane pracownikom pracującym w tych pomieszczeniach są takie same, a czasem nawet wyższe, niż pracującym na stanowiskach pracy w pomieszczeniach tradycyjnych, tj. o dużo mniejszej kubaturze. Specyfika otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych (duża kubatura i wielu pracowników) negatywnie wpływa na ich warunki akustyczne. Dlatego, żeby uzyskać w nich takie warunki akustyczne, jak w tradycyjnych pomieszczeniach biurowych, konieczne jest zastosowanie dużo większej ilości materiałów dźwiękochłonnych.

Kubatura pomieszczeń biurowych open space zwykle przekracza 250 m<sup>3</sup>, a w wielu przypadkach – 500 m<sup>3</sup>. Z punktu widzenia akustyki są to pomieszczenia wielokoprzestrzenne niskie (zwykle ich wysokość wynosi ok. 3 m). Liczba stanowisk pracy w tych pomieszczeniach bywa bardzo duża (od 20 do ponad 100). Pod względem aranżacji akustycznej i wyglądu te pomieszczenia są najbardziej zbliżone do pomieszczeń dla konsultantów telefonicznych (tzw. infolinii [3,4]), jednak występują między nimi istotne różnice. Stanowiska pracy telefonistów są znacznie mniejsze, bardziej od siebie odseparowane, a charakter wykonywanej na nich pracy wymusza ciągłą rozmowę przez telefon, bez potrzeby komunikacji werbalnej z osobami pracującymi

obok. Ta odmienność podyktowana jest przede wszystkim sposobem pracy. Cechą wspólną pracy w tych pomieszczeniach jest to, że podstawowym źródłem hałasu jest działalność bardzo wielu osób (w tym ich rozmowy). Tym, co odróżnia pracę w otwartych pomieszczeniach biurowych od pracy telefonistów, jest przede wszystkim konieczność zachowania wyższej koncentracji uwagi, a co z tym związane, wyższego standardu warunków akustycznych (m.in. poprzez przyjęcie niższych wartości dopuszczalnych poziomów hałasu tła akustycznego). Ponadto praca na stanowiskach pracy w tych pomieszczeniach wymaga komunikacji werbalnej z osobami na sąsiadujących stanowiskach pracy, przy jednoczesnym zapewnieniu, żeby na dalszych stanowiskach pracy rozmowy, które tam docierają, nie rozpraszały uwagi (tj. nie były słyszalne lub przynajmniej nie były zrozumiałe).

Reasumując, w celu zapewnienia standardu pracy biurowej w otwartych pomieszczeniach do prac administracyjnych należy w nich zastosować rozbudowaną adaptację akustyczną [5–7]. W artykule przedstawiono wyniki pilotażowych badań i oceny 6 otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych według metod i kryteriów określonych w normach PN-B-02151-4:2015-06 [1] i PN-EN ISO 3382-3:2012 [2].

## MATERIAŁ I METODY

### Obiekty badań

Przedmiotem badań pilotażowych były właściwości akustyczne otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych. Parametry pomieszczeń, w których wykonano badania pilotażowe (kubatura, pole powierzchni

**Tabela 1.** Parametry badanych pomieszczeń biurowych open space i elementy pomieszczeń wpływające na ich właściwości akustyczne  
**Table 1.** Parameters of the studied open plan offices and room elements affecting their acoustic properties

Pomieszczenie Room	V [m <sup>3</sup> ]	Sv [m <sup>2</sup> ]	Sp [m <sup>2</sup> ]	Wykładzina dywanowa Carpet flooring	Dźwiękochłonny sufit podwieszany Sound absorbing suspended ceiling	Materiał dźwiękochłonny na ścianie Sound absorbing material on the wall	Ekrany stanowiskowe Workplace barriers	Dodatkowe ekrany dźwiękochłonne Addition sound absorbing barriers
A	295	335	98	+	+	+	+	+
B	295	335	98	+	+	+	+	-
C	664	634	218	+	+	-	+	-
D	294	385	120	+	-	-	-	-
E	285	295	85	+	-	-	+	-
F	630	590	185	+	-	-	+	+

V – kubatura / cubage, Sv – pole powierzchni całkowitej / total surface area, Sp – pole powierzchni podłogi / floor surface area.

całkowitej i pole powierzchni podłogi), podano w tabeli 1. Pomieszczenie A to pomieszczenie B z dodatkową adaptacją akustyczną. Adaptacja ta polegała na instalacji ekranów dźwiękochłonnych o wysokości 1,8 m, pokrytych materiałem dźwiękochłonnym o łącznej (2 strony) powierzchni 35 m<sup>2</sup>.

### Zakres badań

Badania pilotażowe polegały na pomiarach i ocenie parametrów akustycznych charakteryzujących właściwości akustyczne 6 ww. otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych. Parametry akustyczne, metody i kryteria ich oceny podano niżej.

### Kryteria oceny

Wymagania akustyczne stawiane otwartym pomieszczeniom do prac administracyjnych określają następujące parametry:

- Czas pogłosu – w artykule określa się go w pasmach oktawowych z zakresu częstotliwości 125–8000 Hz oraz tzw.  $T_{mf}$  (czyli wartością średnią z czasów pogłosu w pasmach częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz). Maksymalna wartość dopuszczalna została przyjęta jak dla pokoi biurowych według normy PN-B-02151-4:2015-06 [1], dla których w zakresie częstotliwości 250–4000 Hz wynosi 0,6 s.
- Chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do 1 m<sup>2</sup> rzutu pomieszczenia (tj. podłogi, dla tego typu pomieszczeń) – minimalna wartość dopuszczalna została przyjęta według normy PN-B-02151-4:2015-06 [1] dla kategorii biura wielkoprzestrzenne, otwarte pomieszczenia do prac administracyjnych, tzw. open space, sale operacyjne banków i urzędów, biura obsługi klienta oraz inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu. Wynosi ona 1,1 m<sup>2</sup>, w paśmie częstotliwości 500–2000 Hz.
- Odległość rozproszenia ( $r_D$ ) – parametr określany z wartości wskaźnika transmisji mowy (speech transmission index – STI). Maksymalna wartość dopuszczalna tego parametru została przyjęta według PN-EN ISO 3382-3:2012 [2] dla pomieszczeń biurowych open space, równa się 5 m.
- Odległość prywatności ( $r_p$ ) – parametr określany z wartości wskaźnika transmisji mowy STI. W wyżej wymienionych normach nie została określona jego wartość dopuszczalna.
- Poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m (od mówiącego) ( $L_{p,A,S,4m}$ ) – parametr ten został określony w pomieszczeniu przy włączonym wzorcowym źródle mowy. Maksymalna wartość dopuszczalna

tego parametru, równa 48 dB, została przyjęta według PN-EN ISO 3382-3:2012 [2] dla pomieszczeń biurowych open space.

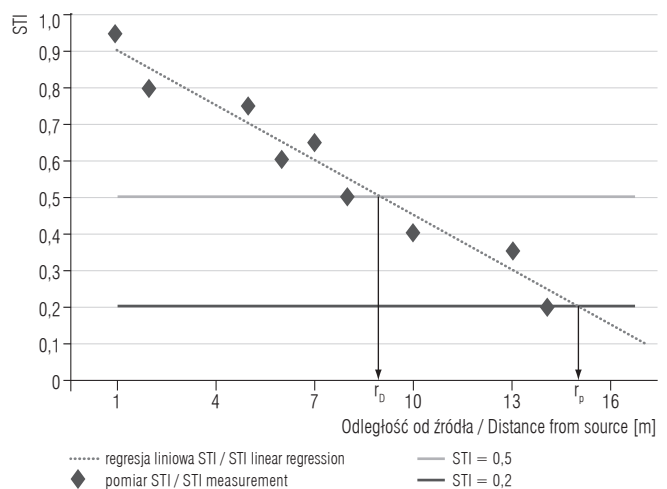
- Spadek poziomu dźwięku mowy przy podwojeniu odległości (od mówiącego) ( $D_{2,s}$ ) – parametr ten został określony w pomieszczeniu przy włączonym wzorcowym źródle mowy. Minimalną wartość dopuszczalną tego parametru, równą 7 dB, przyjęto zgodnie z normą PN-EN ISO 3382-3:2012 [2].

### Metody pomiarów

Metoda pomiarów czasu pogłosu została określona w normie PN-EN ISO 3382-2:2010 [8]. Pomiary wykonywano metodą techniczną (2 położenia źródła i po 3 położenia mikrofonu dla każdej pozycji źródła). Czas pogłosu określono z odpowiedzi impulsowej pomieszczenia (maximum length sequence – MLS), z wykorzystaniem do pomiarów źródła wszechkierunkowego.

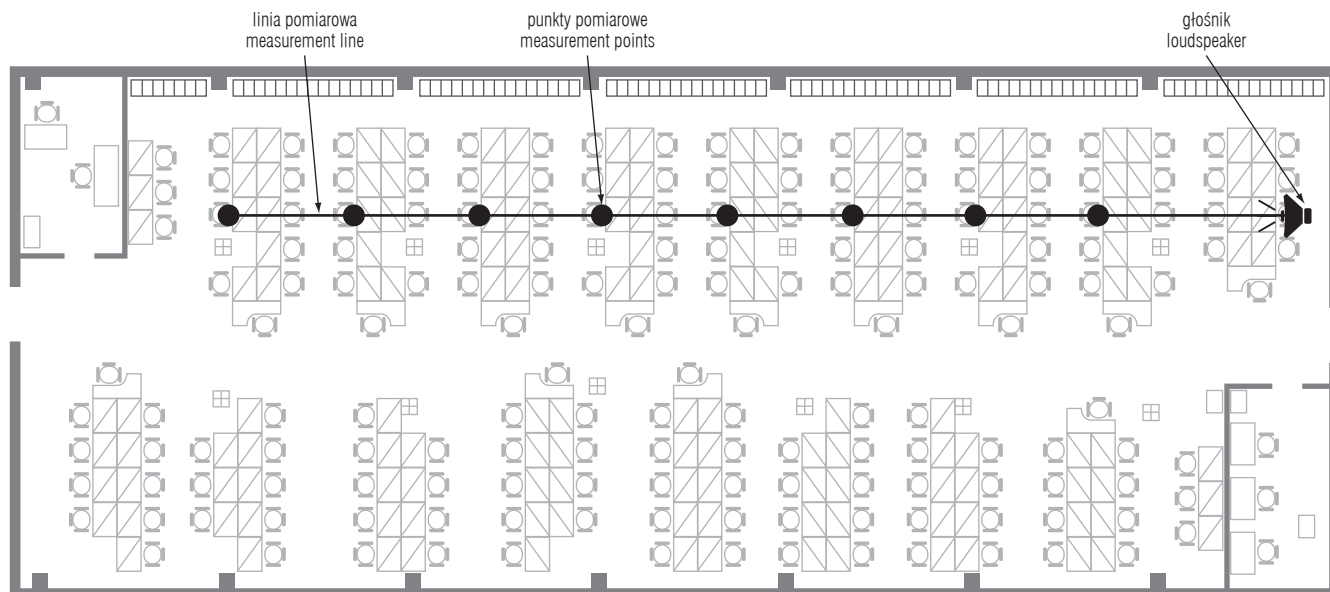
Chłonność akustyczną pomieszczenia obliczono z ww. czasu pogłosu ze wzoru Sabine'a zgodnie z normą PN-B-02151-3:2015-10 [9].

Odległość rozproszenia ( $r_D$ ) to taka odległość od mówiącego (pomiarowo wyznaczana od źródła dźwięku o widmie mowy określonego w PN-EN ISO 3382-3:2012 [2]), której wskaźnik transmisji mowy STI jest równy 0,5. Wyznaczono ją z interpolacji liniowej wyników pomiarów wskaźnika transmisji mowy STI w funkcji odległości od źródła mowy (ryc. 1). Wartości



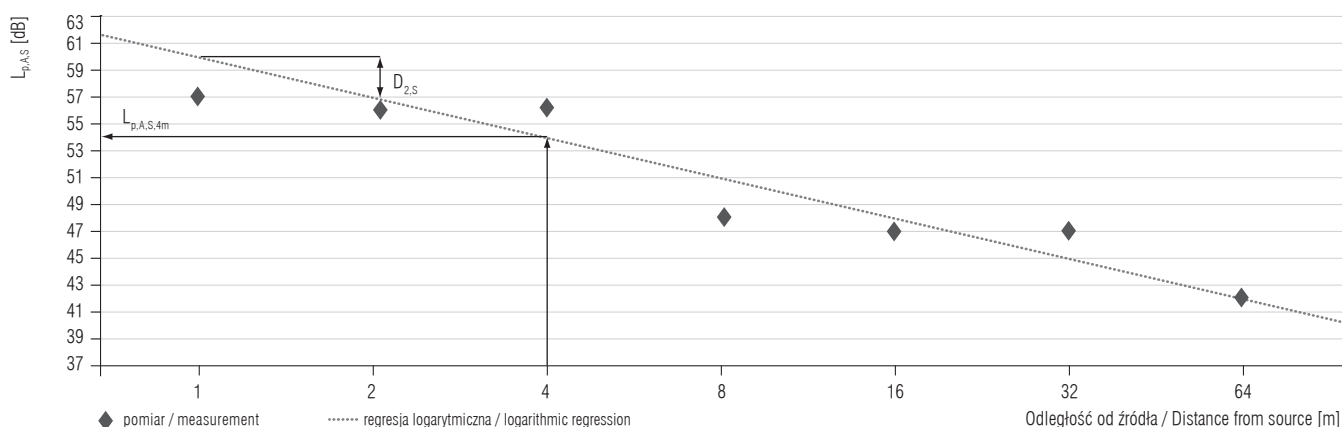
Ryc. 1. Przykład określania interpolacji liniowej wyników pomiaru wskaźnika transmisji mowy (STI) na linii pomiarowej w pomieszczeniu biurowym open space (ryc. 2) oraz odległości rozproszenia ( $r_D$ ) i odległości prywatności ( $r_p$ )

Fig. 1. An example of determining the linear interpolation of the speech transmission index (STI) measurements on the measurement line in open plan office (Figure 2) and distraction distance ( $r_D$ ) and privacy distance ( $r_p$ )



Ryc. 2. Przykładowe pomieszczenie biurowe open space z punktami pomiarowymi zaznaczonymi na linii pomiarowej do określania: odległości rozproszenia i odległości prywatności oraz poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m i spadku poziomu dźwięku A mowy przy podwojeniu odległości od źródła

Fig. 2. An example of open plan office with marked measurement points on the measurement line to determine: distraction distance, privacy distance, A-weighted sound pressure level of speech at a distance of 4 m and spatial decay rate of the speech



Ryc. 3. Interpolacja logarytmiczna wyników pomiarów poziomu dźwięku A mowy na linii pomiarowej w pomieszczeniu biurowym open space (ryc. 2) oraz poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m ( $L_{p,A,S,4m}$ ) i spadek poziomu dźwięku mowy przy podwojeniu odległości ( $D_{2,S}$ )

Fig. 3. Logarithmic interpolation of the A-weighted sound pressure speech level measurements on the measurement line in open plan office (Figure 2), A-weighted sound pressure level of speech at a distance of 4 m ( $L_{p,A,S,4m}$ ) and spatial decay rate of the speech ( $D_{2,S}$ )

Tabela 2. Poziom ciśnienia akustycznego w odległości 1 m od źródła mowy (zgodnie z PN-EN ISO 3382-3:2012 [2])

Table 2. Sound pressure level at the distance of 1 m from the source of speech (according to PN-EN ISO 3382-3:2012 [2])

Typ źródła Type of the source	Ciśnienie akustyczne emisji w różnych częstotliwościach Sound pressure in different frequencies [dB]							korygowany A A-weighted
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	8 000 Hz	
Kierunkowe / Directional	51,2	57,2	59,8	53,5	48,8	43,8	38,6	59,5

wskaźnika transmisji mowy STI w funkcji odległości od źródła określono na linii prostej w pomieszczeniu (ryc. 2), przechodzącej przez punkt, w którym znajdowało się źródło dźwięku. Pomiaru wskaźnika transmisji mowy STI wykonano metodą podaną w normie PN-EN 60268-16:2011 [10] z wykorzystaniem metody MLS i źródła o kierunkowej emisji dźwięku (tzw. sztuczne usta).

Odległość prywatności ( $r_p$ ) wyznacza się podobnie jak odległość rozproszenia ( $r_D$ ), z tą różnicą, że dla wartości wskaźnika transmisji mowy STI równego 0,2 (ryc. 1).

Poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m ( $L_{p,A,S,4m}$ ) również wyznaczono z interpolacji wyników pomiarów, ale parametru poziomu dźwięku A mowy. W odniesieniu do tego parametru stosuje się interpolację logarytmiczną (ryc. 3). Poziom ciśnienia akustycznego emisji źródła mowy o charakterystyce kierunkowej (tzw. sztuczne usta) skalibrowano w odległości 1 m na osi głównej źródła. Jego wartości przedstawiono w tabeli 2.

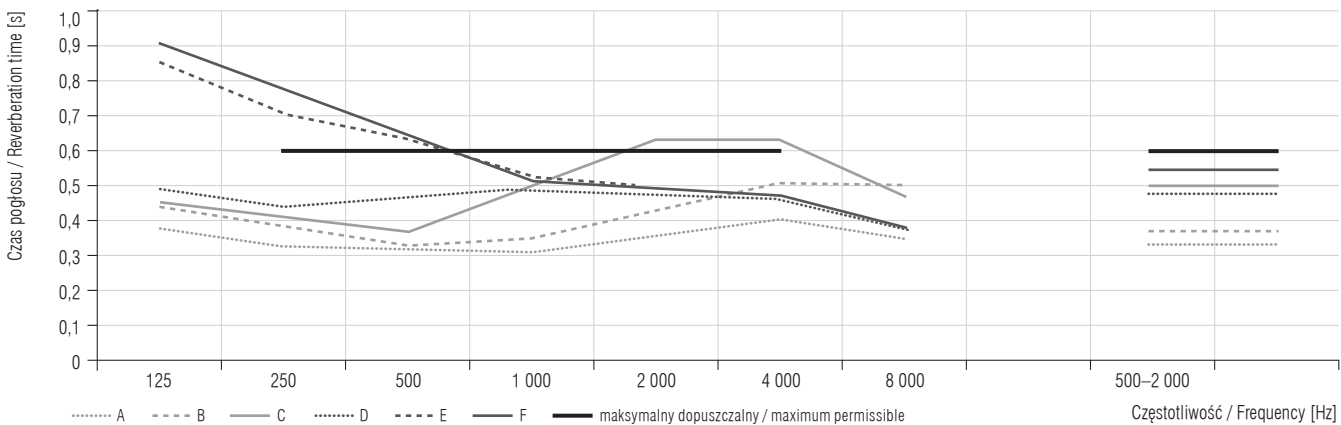
Spadek poziomu dźwięku A mowy przy podwojeniu odległości ( $D_{2,S}$ ) także wyznaczono z linii interpolacyjnej wyników pomiarów poziomu dźwięku A mowy (jak poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m). Został określony jako różnica poziomu dźwięku A w odległości od źródła dźwięku wynoszącej 1 m i 2 m (ryc. 3).

**WYNIKI**

Na rycinie 4. przedstawiono wyniki pomiarów czasu pogłosu w rozpatrywanych pomieszczeniach.

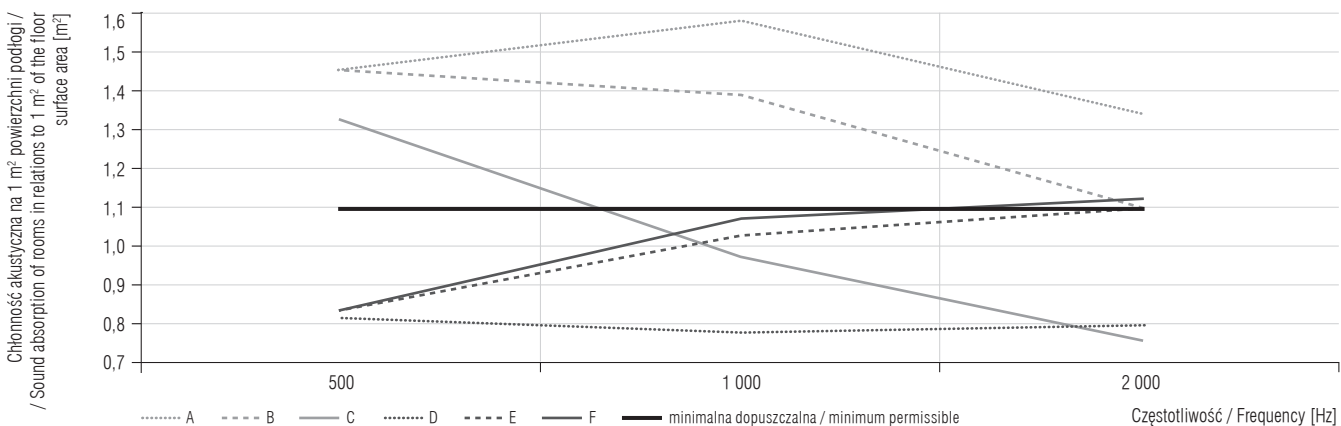
Na rycinie 5. podano wyniki pomiarów chłonności akustycznej pomieszczenia odniesionej do 1 m<sup>2</sup> powierzchni podłogi w rozpatrywanych pomieszczeniach.

W tabeli 3. zebrano wyniki pomiarów odległości rozproszenia ( $r_D$ ), odległości prywatności ( $r_p$ ), poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m ( $L_{p,A,S,4m}$ ), spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości ( $D_{2,S}$ ) w rozpatrywanych pomieszczeniach.



Ryc. 4. Czas pogłosu w badanych pomieszczeniach biurowych open space (A–F)

Fig. 4. Reverberation time in the studied open plan offices (A–F)



Ryc. 5. Chłonność akustyczna pomieszczeń odniesiona do 1 m<sup>2</sup> pola powierzchni podłogi w pomieszczeniach biurowych open space (A–F)

Fig. 5. Sound absorption of rooms in relation to 1 m<sup>2</sup> of the floor surface area in open plan offices (A–F)

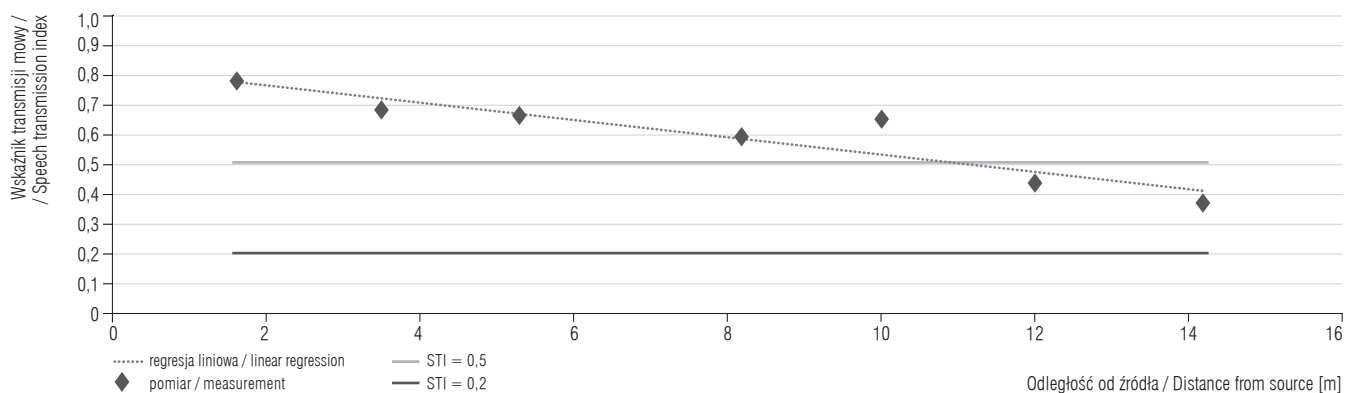
**Tabela 3.** Wyniki pomiarów parametrów charakteryzujących właściwości akustyczne w badanych pomieszczeniach biurowych open space (A–F)

**Table 3.** Measurements of parameters characterizing the acoustic properties of the studied open plan offices (A–F)

Parametr Parameter	$T_{mf}$ [s]	$r_D$ [m]	$r_p$ [m]	$L_{p,A,S,4m}$ [dB]	$D_{2,S}$ [dB]
Wartości parametrów ocenianych / / Values of parameters evaluated					
dopuszczalne na podstawie / / permissible according to PN-EN ISO 3382-3:2012 [2], Mikulski i Warmiak [5]	< 0,6	< 5	–	≤ 48	≥ 7
typowe / typical	–	> 9–10 (na podstawie / / according to: PN-EN ISO 3382-3:2012 [2], Rindel i Christensen [7], Rindel [12], Keränen [13])	> 20 (na podstawie / / according to: Rindel i Christensen [7], Keränen [13])	> 49–50 (na podstawie / / according to: PN-EN ISO 3382-3:2012 [2], Rindel i Christensen [7], Keränen [13])	< 5–6 (na podstawie / / according to: PN-EN ISO 3382-3:2012 [2], Rindel i Christensen [7], Keränen [13])
Pomieszczenie / Room					
A	0,33	10,6–11,4*	21,4–24,6*	45,8–45,9*	5,3–6,3*
B	0,37	11,4–12,6	23,0–26,8	43,8–46,5	4,4–6,1
C	0,5	10,4–12,2	20,4–21,5	50,3–50,8	4,6–5,7
D	0,48	11,0–14,0	21,4–26,7	51,5–54,7	3,2–4,4
E	0,55	8,5–11,1	25,4–28,8	53,4–54,5	1,8–3,0
F	0,55	10,1–10,3	20,8–21,1	50,8–51,1	3,3–3,9

$T_{mf}$  – czas pogłosu / reverberation time,  $r_D$  – odległość rozproszenia / distraction distance,  $r_p$  – odległość prywatności / privacy distance,  $L_{p,A,S,4m}$  – poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m / A-weighted sound pressure level of speech at a distance of 4 m,  $D_{2,S}$  – spadek poziomu dźwięku mowy przy podwojeniu odległości / spatial decay rate of the speech.

\* Niektóre z wyników pomiarów w pomieszczeniu A opublikowano wcześniej w: / Some of the measurements in room A were previously published in: Mikulski W., Warmiak I.: Obiektywne kryteria oceny właściwości akustycznych otwartych pomieszczeń biurowych [5].



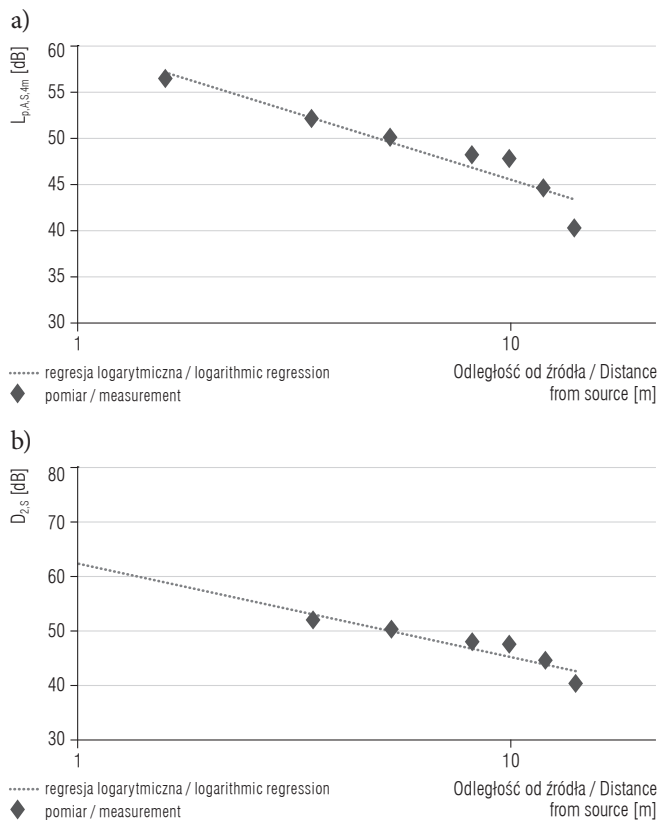
Parametry określa się z regresji liniowej metodą pokazaną na ryc. 1 / Parameters are determined by linear regression using the method shown in Figure 1.

**Ryc. 6.** Przykładowe wyniki pomiarów wskaźnika transmisji mowy (STI) w pomieszczeniu biurowym open space D do określania odległości rozproszenia ( $r_D$ ) i odległości prywatności ( $r_p$ )

**Fig. 6.** Examples of the speech transmission index (STI) measurements in open plan office D to determine distraction distance ( $r_D$ ) and privacy distance ( $r_p$ )

Na rycinie 6. i 7. przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów dla pomieszczenia D – wskaźnika transmisji mowy STI w funkcji odległości od źródła (do określania odległości rozproszenia ( $r_D$ ) i odległości prywat-

ności ( $r_p$ )) i poziomu dźwięku A mowy w funkcji odległości od źródła mowy (do określania poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m ( $L_{p,A,S,4m}$ ) i spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojeniu odległości ( $D_{2,S}$ )).



Parametry określa się z regresji logarytmicznej metodą pokazaną na ryc. 2 / Parameters are determined by logarithmic regression using the method shown in Figure 2.

**Ryc. 7.** Przykładowe wyniki pomiarów poziomu dźwięku A mowy w pomieszczeniu biurowym open space D w punktach pomiarowych na linii pomiarowej nr 1 do określania: a) poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m ( $L_{p,A,S,4m}$ ) i b) spadku poziomu dźwięku A mowy przy podwojeniu odległości ( $D_{2,S}$ )

**Fig. 7.** Examples of measurements of A-weighted sound pressure level of speech in open plan office D at the measurement points on the measurement line No. 1 to determine: a) A-weighted sound pressure level of speech at a distance of 4 m ( $L_{p,A,S,4m}$ ) and b) spatial decay rate of the speech ( $D_{2,S}$ )

## OMÓWIENIE

Z danych literaturowych zebranych metodami ankietowymi wśród 23 450 pracowników w 142 pomieszczeniach biurowych wynika, że głównym czynnikiem utrudniającym wykonywanie pracy jest nieodpowiednia akustyka pomieszczeń [11]. Wskazuje to na potrzebę poprawy właściwości akustycznych biur, ponieważ słabe warunki akustyczne powodują niezadowolenie pracowników. Wynika z nich także potrzeba ochrony prywatności mowy oraz zmniejszenia hałasu w celu poprawy samopoczucia pracowników.

Badaniami pilotażowymi omówionymi w niniejszym artykule objęto 6 otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych (pomieszczeń biurowych open space) o kubaturze 285–664 m<sup>3</sup>.

Czas pogłosu pomieszczeń  $T_{mf}$  zawierał się w zakresie 0,33–0,55 s (maksymalny dopuszczalny dla pomieszczeń biurowych 0,6 s według PN-B-02151-4:2015-6 [1]) (tab. 3). Wynika z tego, że we wszystkich pomieszczeniach czas pogłosu  $T_{mf}$  był odpowiedni, tj. krótszy od maksymalnego dopuszczalnego. Rozpatrując wyniki czasu pogłosu w całym zakresie częstotliwości, w którym zostały określone wartości dopuszczalne (250–4000 Hz) (ryc. 4), w 3 pomieszczeniach (A, B i D) na 6 pomieszczeń czas pogłosu spełniał kryterium określone w ww. normie (w pomieszczeniu C dla częstotliwości 2000 Hz i 4000 Hz minimalnie je przekraczał – 0,63 s vs 0,6 s).

Wartość chłonności akustycznej pomieszczenia odniesionej do 1 m<sup>2</sup> podłogi rozpatrywanych pomieszczeń w 3 pasmach częstotliwości (500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz) (ryc. 5), w których została określona jej minimalna wartość równa 1,1 m<sup>2</sup> (według PN-B-02151-4:2015-6 [1]), tylko w 2 pomieszczeniach (A i B) na 6 rozpatrywanych była odpowiednia (zawierała się w zakresie 1,11–1,58 m<sup>2</sup>). W następnych 2 pomieszczeniach (E i F) była odpowiednia tylko w paśmie o częstotliwości 2000 Hz (1,11–1,13 m<sup>2</sup>), a w 1 pomieszczeniu (C) – tylko w paśmie o częstotliwości 500 Hz (1,31 m<sup>2</sup>).

Wyniki pomiarów potwierdzają ogólnie znaną tezę, że czas pogłosu pomieszczenia w dużo większym stopniu zależy od adaptacji akustycznej i wyposażenia (tab. 1) niż od kubatury (np. brak różnicy w wynikach pomiarów czasu pogłosu między pomieszczeniami E i F oraz C i D przy różnych objętościach pomieszczeń).

Warunki akustyczne w pomieszczeniu z rozbudowaną adaptacją akustyczną (pomieszczenie A – dźwiękochłonny sufit podwieszany, materiał dźwiękochłonny na ścianach, wykładzina dywanowa, ekrany stanowiskowe z pleksi i materiałem dźwiękochłonnym oraz dodatkowymi wysokimi ekranami dźwiękochłonnymi) są lepsze (krótszy czas pogłosu) niż w pomieszczeniu z mniej zaawansowaną adaptacją (pomieszczenie B – dźwiękochłonny sufit podwieszany, materiał dźwiękochłonny na ścianach, wykładzina dywanowa, ekrany stanowiskowe z pleksi i materiałem dźwiękochłonnym). Pomieszczenie B ma z kolei lepsze warunki akustyczne niż pomieszczenie C z jeszcze skromniejszą adaptacją (z dźwiękochłonnym sufitem podwieszonym, wykładziną dywanową i ekranami dźwiękochłonnymi). Warunki akustyczne w pomieszczeniu C były lepsze niż w pomieszczeniach D i E z jeszcze bardziej ograniczoną adaptacją (wykładzina dywanowa i ekrany dźwiękochłonne). Dowodzi to, że w otwartych pomieszczeniach do pracy administracyjnej zawsze

konieczna jest rozbudowana adaptacja akustyczna, która znacznie zwiększy chłonność akustyczną pomieszczeń. Czas pogłosu w pomieszczeniach E i F jest wyraźnie większy od czasu pogłosu w pomieszczeniach A, B, C i D. Przyczyną jest brak w tych pomieszczeniach sufitu podwieszanego. Wynika z tego, że minimalna konfiguracja adaptacji akustycznej z punktu widzenia uzyskania odpowiedniego czasu składa się z dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego oraz innych elementów: materiałów dźwiękochłonnych na ścianach, wykładziny dywanowej i dźwiękochłonnych ekranów rozdzielających stanowiska pracy.

Nawet ww. rozbudowana adaptacja akustyczna nie jest jednak wystarczająca, ponieważ żadne z 6 pomieszczeń nie spełniało kryteriów opartych na parametrach oceny przeznaczonych do tego typu pomieszczeń podanych w PN-EN ISO 3382-3:2012 [2] (tab. 3). Odległości rozproszenia ( $r_D$ ) w rozpatrywanych przypadkach zawierały się w zakresie 8,5–14 m, a powinny być mniejsze od 5 m. Z doniesień literaturowych [2,7,12,13] wiadomo, że typowe wartości tego parametru w tego typu pomieszczeniach są większe od 9–10 m, a więc w 3 pomieszczeniach (A, E i F) z 6 wartość tego parametru jest typowa (zawiera się w zakresie 8,5–11,4 m) (tab. 4). Nie zmienia to negatywnej oceny pomieszczenia (wynikającej z kryterium opartego na tym parametrze), ale

nieco ją łagodzi. Reasumując, z pomiarów tego parametru wynika, że w rozpatrywanych pomieszczeniach biurowych konieczne jest wykonanie większej adaptacji akustycznej niż zapewniająca wymagane wartości czasu pogłosu i chłonności akustycznej pomieszczenia.

W 2 pomieszczeniach (A i B) z 6 spełnione zostało kryterium oparte na poziomie dźwięku A mowy w odległości 4 m ( $L_{p,A,S,4m}$ ) (wartości zawierają się w zakresie 43,8–46,5 dB, a więc są mniejsze niż maksymalna dopuszczalna 48 dB). Jednocześnie z doniesień literaturowych [2,7,13] wynika, że typowe wartości tego parametru są większe od 49–50 m, a więc parametr ten w 2 następujących pomieszczeniach (C i F) z 6 ma wartość typową. Wyniki oceny pomieszczeń na podstawie wartości tego parametru potwierdzają wyniki uzyskane na podstawie wartości odległości rozproszenia ( $r_D$ ).

Żadne z 6 badanych pomieszczeń nie spełnia kryterium opartego na spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości (w rozpatrywanych przypadkach zawierają się one w zakresie 1,8–6,3 dB, a powinny być większe niż 7 dB). Jednocześnie z doniesień literaturowych [2,7,13] wynika, że typowe wartości tego parametru są mniejsze od 5–6 dB, a więc ten parametr w 3 pomieszczeniach (A, B i C) z 6 ma wartość typową. Z pomiarów tego parametru wynika także, że w rozpatrywanych pomieszczeniach biurowych konieczne

**Tabela 4.** Jakościowa ocena parametrów oceny badanych pomieszczeń biurowych open space  
**Table 4.** Qualitative assessment of the evaluation parameters for studied open plan offices

Pomieszczenie Room	Czas pogłosu Reverberation time [s]		Chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do 1 m <sup>2</sup> podłogi Sound absorption of a room in relation to 1 m <sup>2</sup> of the floor surface area [m <sup>2</sup> ]	Odległość rozproszenia Distraction distance ( $r_D$ ) [m]	Odległość prywatności Privacy distance ( $r_p$ ) [m]	Poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m A-weighted sound pressure level of speech at a distance of 4 m ( $L_{p,A,S,4m}$ ) [dB]	Spadek poziomu dźwięku A mowy przy podwojeniu odległości Spatial decay rate of the speech ( $D_{2,S}$ ) [dB]
	$T_{mf}$	$T_{250-4000\text{ Hz}}$					
A	+	+	+	0	0	+	0
B	+	+	+	-	-	+	0
C	+	+	-	-	0	0	0
D	+	+	-	-	0	-	-
E	+	-	-	0	-	-	-
F	+	-	-	0	0	0	-

$T_{250-4000\text{ Hz}}$  – czas pogłosu T w zakresie częstotliwości 250–4 000 Hz / reverberation time in a frequency band of 250–4 000 Hz.

$T_{mf}$  – średnia wartość czasu pogłosu T z pasm częstotliwości 500 Hz, 1 000 Hz i 2 000 Hz / average value of the reverberation time T of the frequency bands of 500 Hz, 1 000 Hz and 2 000 Hz

„+” – spełnia kryterium / meets the criterion.

„0” – nie spełnia kryterium, ale wartości są typowe dla pomieszczeń tego typu / fails to meet the criterion, yet the values are typical of this type of rooms.

„-” – nie spełnia kryterium i wartości tego parametru znacznie odbiegają od wartości typowych dla pomieszczeń tego typu / fails to meet the criterion and the values of this parameter significantly differ from the values typical for this type of rooms.

Inne objaśnienia jak w tabeli 3 / Other abbreviations as in Table 3.



jest wykonanie dużo większych adaptacji akustycznych niż obecne. Przy czym wartości tego parametru różnią się dla pomieszczeń A, B i C (ok. 5–6 dB) od D, E i F (ok. 3–4 dB), co wynika z tego, że pierwsze 3 były wyposażone w dźwiękochłonny sufit podwieszany.

W tabeli 4. przedstawiono jakościową ocenę parametrów oceny rozpatrywanych pomieszczeń. Przyjęto, że spełnienie warunku określonego danym parametrem określa się znakiem „+”, niespełnienie kryterium, ale jednocześnie osiągnięcie typowych wartości dla tego typu pomieszczeń znakiem „0”, a niespełnienie warunku określonego danym parametrem i wartościami parametru znacznie odbiegającymi od typowych znakiem „-”.

Traktując te 6 parametrów (czas pogłosu  $T_{mf}$  i  $T_{250-4000}$  Hz uznano za 1 parametr) jako równie istotne, można stwierdzić, że:

- w żadnym pomieszczeniu nie zostały spełnione wszystkie kryteria,
- we wszystkich pomieszczeniach zostało spełnione kryterium na czas pogłosu  $T_{mf}$ ,
- w 4 pomieszczeniach (A, B, C i D) spełnione zostało kryterium na czas pogłosu  $T$  w całym ocenianym zakresie częstotliwości (250–4000 Hz),
- w 2 pomieszczeniach (A i B) spełnione zostały wymagania określone na chłonność akustyczną pomieszczenia odniesioną do 1 m<sup>2</sup> podłogi,
- w 2 pomieszczeniach (A i B) zostały spełnione wymagania określone według 3 parametrów,
- w 2 pomieszczeniach (C i D) spełnione zostało 1 wymaganie, a miało typową wartość 1 parametru lub 3 innych,
- w 1 pomieszczeniu (F) wartości 3 parametrów były typowe,
- w 1 pomieszczeniu (E) wartość 1 parametru była typowa.

Podsumowując wyniki pilotażowych badań akustycznych 6 otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych, można stwierdzić, że standardowa adaptacja akustyczna – polegająca na zastosowaniu dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego, materiałów dźwiękochłonnych na ścianach, wykładziny dywanowej i dźwiękochłonnych ekranów stanowiskowych – nie jest wystarczająca do osiągnięcia warunków akustycznych, które są określone jako minimalne dla tego typu pomieszczeń (norma PN-EN ISO 3382-3:2012 [2]). Wynika z tego, że otwarte pomieszczenia do prac administracyjnych wymagają stosowania specjalnych rozwiązań akustycznych, ponieważ w obecnie wykorzystywanych pomieszczeniach warunki odbiegają od oczekiwanych [14].

## WNIOSKI

Przedstawione wyniki pilotażowych badań akustycznych dotyczą 6 otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych (tzw. pomieszczeń biurowych typu open space). Ich liczba jest zbyt mała, żeby została potraktowana jako reprezentatywna. Biorąc pod uwagę zastosowane w nich adaptacje akustyczne, można stwierdzić, że są one typowe i dosyć zróżnicowane pod względem wyposażenia w elementy wpływające na jakość warunków akustycznych. To wyposażenie (dźwiękochłonny sufit podwieszany, materiał dźwiękochłonny na ścianach, wykładzina dywanowa i ekrany dźwiękochłonne) w żadnym z rozpatrywanych pomieszczeń nie umożliwiło uzyskania warunków akustycznych określanych jako minimalne w dotyczącej tego typu pomieszczeń normie PN-EN ISO 3382-3:2012 [2]. Niepokoi natomiast to, że czas pogłosu w tych pomieszczeniach był dostatecznie krótki, a właśnie na podstawie tego parametru w praktyce budowlanej przeprowadza się ocenę pomieszczeń.

## PODZIĘKOWANIA

Autor dziękuje Pani mgr inż. Izabeli Warmiak i Panu Jerzemu Kozłowskiemu za pomoc w wykonaniu pomiarów.

## PIŚMIENNICTWO

1. PN-B-02151-4:2015-06. Akustyka budowlana – ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4. Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2015
2. PN-EN ISO 3382-3:2012. Akustyka – pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 3. Pomieszczenia biurowe „open space”. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2012
3. Smagowska B., Mikulski W., Radosz J.: Ocena hałasu na wybranych stanowiskach pracy call center metodą pomiarów stanowiskowych oraz techniką MIRE. *Bezpiecz. Pr.* 2012;10:24–27
4. Smagowska B.: Noise at workplaces in the call center. *Arch. Acoustics* 2010;35(2):253–264, <http://dx.doi.org/10.2478/v10168-010-0024-2>
5. Mikulski W., Warmiak I.: Obiektywne kryteria oceny właściwości akustycznych otwartych pomieszczeń biurowych. *Bezpiecz. Pr.* 2015;11:18–21
6. Mikulski W., Warmiak I.: Metoda określania wskaźnika transmisji mowy STI i poziomu dźwięku A mowy

- w pomieszczeniach biurowych open space. W: Opieliński K.J. [red.]. *Postępy Akustyki 2015*. Polskie Towarzystwo Akustyczne Oddział we Wrocławiu, Wrocław 2015, ss. 509–522
7. Rindel J.H., Christensen C.L.: Acoustical simulation of open-plan offices according to ISO 3382-3. *Proceedings of the Euronoise; 2012. 10–13 czerwca 2012; Praga, Czechy* [Internet]: European Acoustic Association [cytowany 31 sierpnia 2016]. Adres: [https://www.researchgate.net/publication/276281022\\_Acoustical\\_simulation\\_of\\_open-plan\\_offices\\_according\\_to\\_ISO\\_3382-3](https://www.researchgate.net/publication/276281022_Acoustical_simulation_of_open-plan_offices_according_to_ISO_3382-3)
8. PN-EN ISO 3382-2:2010. Akustyka – pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 2. Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010
9. PN-B-02151-3:2015-10. Akustyka budowlana – ochrona przed hałasem w budynkach. Część 3. Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2015
10. PN-EN 60268-16:2011. Urządzenia systemów elektroakustycznych. Część 16. Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2011
11. Jensen K.L., Arens E., Zagreus L.: Acoustical quality in office workstations, as assessed by occupants surveys. W: Berkeley University of California. *Proceedings: Indoor Air 2005; 4–9 września 2005; Beijing, Chiny* [Internet]: University, Berkeley (California) 2005, ss. 2401–2405 [cytowany 25 lutego 2016]. Adres: <http://escholarship.org/uc/item/0zm2z3jg#page-5>
12. Rindel J.H.: Prediction of acoustical parameters for open plan offices according to ISO 3382-3. *Proceedings of the Acoustics 2012; 13–18 maja 2012; Hong Kong, Chiny* [Internet]: Acoustics, Hong Kong 2012 [cytowany 31 sierpnia 2016]. Adres: [http://www.odeon.dk/pdf/C115-ACOUSTIC\\_2012\\_paper\\_3aAA\\_Rindel.pdf](http://www.odeon.dk/pdf/C115-ACOUSTIC_2012_paper_3aAA_Rindel.pdf)
13. Keränen J.: Measurement and prediction of the spatial decay of speech in open-plan offices [praca doktorska]. Aalto University, Aalto 2015
14. Mikulski W.: Wpływ zastosowania adaptacji akustycznej na wskaźnik transmisji mowy i czas pogłosu pomieszczenia. *Materiały Budowlane 2014;8(504):25–28*