

BADANIA OBLICZENIOWE ZROZUMIAŁOŚCI MOWY W POMIESZCZENIACH BIUROWYCH OPEN SPACE

COMPUTATIONAL STUDIES OF SPEECH INTELLIGIBILITY
IN OPEN-PLAN OFFICES

Witold Mikulski

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection – National Research Institute,
Warsaw, Poland
Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych / Department of Vibroacoustic Hazards

STRESZCZENIE

Wstęp: Hałas w pomieszczeniach biurowych open space, powodując niezamierzony odbiór rozmów i związaną z tym dekoncentrację, jest szczególnie uciążliwy dla pracowników. W artykule określono metodą obliczeniową zasięg zrozumiałości mowy w wybranym pomieszczeniu biurowym open space. **Materiał i metody:** Badano zrozumiałość mowy określoną wskaźnikiem transmisji mowy (*speech transmission index* – STI) w pomieszczeniu rzeczywistym o objętości 300 m³. Zainstalowano w nim dźwiękochłonny sufit podwieszany, ekrany oraz materiały dźwiękochłonne na ścianach. W badaniach wstępnych zweryfikowano przyjęty model obliczeniowy (w programie ODEON) oraz dane geometryczno-akustyczne opisujące pomieszczenie. Weryfikacja polegała na porównaniu wyników pomiarów i wyników obliczeń. W badaniach głównych obliczono zasięg zrozumiałości mowy dla kilku wariantów położenia źródła mowy, tj. obszarów, w których STI > 0,5. **Wyniki:** Uzyskano dużą zgodność wyników obliczeń i pomiarów wielkości fizycznych charakteryzujących właściwości akustyczne pomieszczenia biurowego open space (m.in. STI). Na kilku stanowiskach pracy określono zasięgi zrozumiałości mowy dla jej emisji. **Wnioski:** Stosowanie metod obliczeniowych do symulacji pola akustycznego w pomieszczeniach biurowych open space jest możliwe po wykonaniu kalibracji zastosowanego modelu geometryczno-akustycznego i danych opisujących pomieszczenie. Określenie zasięgu zrozumiałości mowy daje istotną informację o zasięgu negatywnego akustyczne wzajemnego oddziaływania stanowisk pracy. Zasięg ten może być wykorzystany przy określeniu wzajemnego oddziaływania stanowisk pracy lub oceny różnych rozwiązań technicznych, które mają na celu zmniejszenie tego oddziaływania. Med. Pr. 2019;70(3):327–342

Słowa kluczowe: czas pogłosu, STI, adaptacja akustyczna, pomieszczenia biurowe open space, zrozumiałość mowy, promień rozproszenia

ABSTRACT

Background: Noise in open-plan offices, connected with an unintentional hearing of conversations and related distraction of attention, causes annoyance of employees. The article presents the calculated range of speech intelligibility in a selected open-plan office room. **Material and Methods:** The speech transmission index (STI) was examined in a real room of 300 m³. The room was equipped with a sound absorbing suspended ceiling, acoustic screens and sound absorbing materials on the walls. Initial tests were conducted in order to verify the assumed computational model from ODEON software, as well as the geometrical and acoustic data describing the room. The verification process consisted of comparing the calculations and measurement results. In the main part of the study, the range of speech intelligibility was calculated for several locations of the speech source, i.e., areas in which the STI > 0.5. **Results:** The results of the calculations and the results of the measurements of physical quantities, characterizing the acoustic properties of the open-plan office room (including STI), showed good agreement. For speech emission, the ranges of speech intelligibility were determined on several work stations. **Conclusions:** The use of calculation methods to simulate the sound field in open-plan office rooms is possible when the calibration of the room model is initially performed. Determination of the speech intelligibility range provides important information about the distance of negative acoustic interactions between work stations. This range can be used to determine the interaction between work stations or to assess various technical solutions to reduce the negative interaction. Med Pr. 2019;70(3):327–42

Key words: reverberation time, STI, acoustic treatment, open-plan office rooms, speech intelligibility, distraction distance

Autor do korespondencji / Corresponding author: Witold Mikulski, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych, ul. Czerniakowska 16, 00-780 Warszawa, e-mail: wimik@ciop.pl
Nadesłano: 18 grudnia 2017, zatwierdzono: 10 grudnia 2018

Finansowanie / Funding: publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pt. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017–2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego / Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (projekt nr II.N.01 pt. „Badania oraz opracowanie metody kształtowania akustycznego środowiska pracy w wieloprzestrzennych pomieszczeniach do pracy umysłowej”, koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, główny wykonawca projektu: dr inż. Witold Mikulski).

WSTĘP

Środowisko pracy tworzone jest przez zespół czynników materialnych i społecznych, z którymi pracownik styka się podczas wykonywania obowiązków zawodowych. Przyjmuje się, że jednym z takich czynników są dźwięki, ale określa się je tylko w aspekcie szkodliwego lub uciążliwego oddziaływania. Na odpowiednie akustyczne warunki pracy składa się jednak nie tylko akceptowalnie niski poziom hałasu, ale również odpowiedni pogłos, możliwość zrozumiałości mowy oraz np. zapewnienie prywatności. Jest to szczególnie istotne na stanowiskach pracy wymagającej skupienia i zrozumiałej komunikacji słownej oraz na takich, na których rozmowy pracowników przeszkadzają w pracy innym. Ograniczenie się do minimalizacji hałasu w środowisku pracy znajduje odzwierciedlenie w przepisach, w których – jak dotąd – podaje się maksymalny poziom hałasu na stanowiskach pracy [1–4] oraz, w niektórych przypadkach, wskazuje ograniczenia hałasu w pomieszczeniach pracy [5]. Wynika to z tego, że zapewnienie ochrony słuchu i zdrowia człowieka jest ważniejsze od zagwarantowania komfortu pracy lub nawet warunków odpowiednich do realizowanych czynności zawodowych. Jednocześnie jest oczywiste, że na wielu stanowiskach pracy nie wystarczy jedynie ograniczyć hałas do akceptowalnego poziomu. Dlatego w 2015 r. powstała polska norma [6], obowiązująca od początku 2018 r., w której określono kryteria akustyczne właściwości akustycznych pomieszczeń. Dotyczą one warunków pogłosowych w pomieszczeniu, podając maksymalne wartości czasu pogłosu pomieszczenia lub zamiennie minimalną wartość chłonności akustycznej pomieszczenia. Polska norma określa również zrozumiałość mowy, wskazując wartości wskaźnika transmisji mowy (*speech transmission index* – STI). Niestety w odniesieniu do niektórych środowisk pracy (np. biur wieloprzestrzennych, otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych, tzw. biur open space lub biur otwartych) wymagania w niej podane nie są wystarczające. Dlatego w innej normie [7] zdefiniowano precyzyjniej warunki środowiska pracy w rozpatrywanych pomieszczeniach. Określono w niej właściwości akustyczne pomieszczeń pod względem zasięgu zrozumiałości mowy (wielkości fizyczne: promień rozproszenia i promień prywatności) oraz zasięgu poziomu dźwięku A mowy (wielkości fizyczne: spadek poziomu dźwięku A na podwojenie odległości od źródła mowy i poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m od tego źródła). W pomieszczeniach (dalej nazwanych biurowymi open space) tło akustyczne od wszystkich źródeł dźwięków, tak jak

w innych pomieszczeniach, nie może oczywiście przekraczać akceptowalnych poziomów [1–5]. Jednak tło akustyczne w pomieszczeniach biurowych maskuje niepożądane dźwięki mowy, więc nie może być zbyt niskie. Można więc mówić o pewnym optymalnym poziomie dźwięku tła akustycznego, które będzie pozytywnie wpływać na warunki środowiska pracy. Reasumując, w celu oceny akustycznego środowiska pracy konieczna jest kompleksowa wieloparametryczna ocena, ściśle uzależniona od charakteru pracy.

W niniejszym artykule skupiono się na jednym aspekcie akustycznego środowiska pracy w pomieszczeniach biurowych open space, tj. na zasięgu zrozumiałości mowy określanym za pomocą rozkładu wartości wskaźnika transmisji mowy STI w pomieszczeniu. W biurach open space rozumienie rozmów innych pracowników jest niepożądane, dlatego dąży się do uzyskania w nich jak najmniejszej zrozumiałości mowy, tj. jak najmniejszych wartości wskaźnika transmisji mowy STI. Jako narzędzie badawcze do określania wskaźnika transmisji mowy STI wykorzystano metodę obliczeniową stosowaną w predykcji akustycznej pola akustycznego w pomieszczeniach. Używane do predykcji modele matematyczne, ze względu na ich skomplikowanie matematyczne, zaimplementowano w programach obliczeniowych (komputerowych) – zarówno modele, jak i programy muszą być odpowiednio dobrane do przeprowadzenia analizy badanego środowiska akustycznego. Specyfika warunków środowiska akustycznego w pomieszczeniach open space warunkuje wykorzystanie modeli symulacyjnych bazujących na metodach geometrycznych, w większości przypadków na metodzie promieniowej.

W artykule przeprowadzono – modelem zaimplementowanym w programie komputerowym ODEON [8] – predykcję wskaźników transmisji mowy STI w wybranym biurze open space. Program ten powszechnie stosuje się do obliczeń w opisywanych w artykule pomieszczeniach. Poprawność danych badanego pomieszczenia zaimplementowanego w programie została potwierdzona poprzez porównanie wybranych wyników predykcji oraz pomiarów.

MATERIAŁ I METODY

Charakterystyka rozpatrywanego obiektu badań

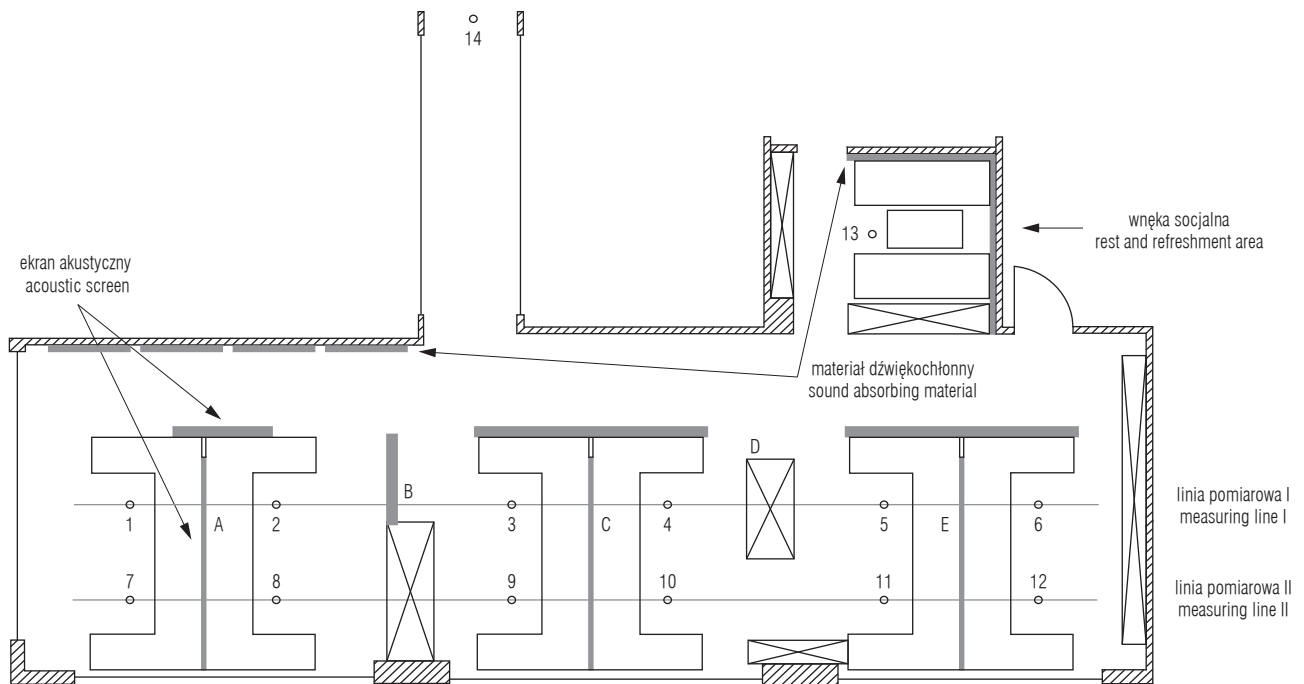
Pomieszczenia open space to pomieszczenia o kubaturze 200–1000 m³, rzucie w kształcie zbliżonym do prostokąta i stosunkowo niewielkiej wysokości (3–3,5 m). Znajduje się w nich od kilkunastu do prawie 200 stanowisk – w biurach przeznaczonych dla pracowników, od

których wymaga się pracy silnie koncepcyjnej, jest ich zwykle znacznie mniej, tj. 8–30. Biura te wyposaża się w wykładziny dywanowe oraz dźwiękochłonne sufity. W wielu pomieszczeniach open space przy stanowiskach pracy zainstalowane są ekrany akustyczne, tj. elementy, których głównym zadaniem jest ekranowanie dźwięków (zwykle dodatkowo także pochłanianie odbijających się od nich dźwięków). Z punktu widzenia predykcji akustycznej pomieszczenia te są wnętrzem (tj. obszarem ograniczonym) o kształcie zbliżonym do prostopadłościanu o nieproporcjonalnie małej wysokości, co jest bardzo istotne dla rozprzestrzeniania się dźwięku. We wnętrzu znajduje się zwykle wiele elementów, od których odbijają i uginają się fale akustyczne. Strop charakteryzuje się silnymi właściwościami pochłaniającymi dźwięki (współczynnik pochłaniania dźwięku w zakresie częstotliwości środkowych dźwięków słyszalnych wynosi 0,6–0,95, tj. klasa dźwiękochłonności materiałów A, B lub C), natomiast podłoga – średnimi (współczynnik pochłaniania dźwięku w zakresie częstotliwości środkowych dźwięków słyszalnych mieści się w zakresie 0,1–0,3). Dlatego opisywane pomieszczenia charakteryzują się bardzo dużą chłonnością akustyczną, a bezpośrednio/bieżące fale akustyczne rozchodzą się tylko w bardzo bliskiej odległości od źródeł dźwięku, co

powoduje powstanie specyficznych warunków akustycznych w biurach tego rodzaju. Z jednej strony duża chłonność akustyczna pomieszczenia sprawia, że pole akustyczne powinno być zbliżone do swobodnego. Jednak duża liczba przeszkód w rozprzestrzenianiu się dźwięku powoduje, że w pomieszczeniu powinno powstać dyfuzyjne (rozproszone) pole akustyczne. Wywołuje to akustyczną specyfikę tych pomieszczeń odmienną od akustyki wszystkich innych pomieszczeń przeznaczonych do pracy.

Obiektem, w którym przeprowadzono badania, było typowe pomieszczenie biurowe open space o kształcie zbliżonym do prostopadłościanu, o wymiarach ok. 17,8×5,5×3 m, objętości 293,7 m³, polu powierzchni całkowitej 335,6 m² i polu powierzchni podłogi 97,9 m². Wybrano je z grupy kilkunastu pomieszczeń, w których autor przeprowadził badania. Jako kryterium wyboru przyjęto największe podobieństwo właściwości akustycznych pomieszczenia do określonych przepisami [6,7,9]. Na właściwości akustyczne pomieszczenia wpływały otwarty korytarz do sąsiedniego pomieszczenia oraz wnęka socjalna (rycina 1). Ważone współczynniki pochłaniania dźwięku materiałów wynosiły:

- podłogi – 0,3 (klasa dźwiękochłonności D),
- sufitu podwieszanego – 0,9 (klasa dźwiękochłonności A),



1–14 – punkty pomiarowe, stanowiska pracy / measurement test points, work stations, A–E – ekrany akustyczne / acoustic screens.

Rycina 1. Szkic rozpatrywanego pomieszczenia biurowego open space
Figure 1. Outline of the open-plan office room

- ekranów akustycznych – 0,5 (klasa dźwiękochłonności D),
- materiałów dźwiękochłonnych na ścianach – 0,9 (klasa dźwiękochłonności A).

Kryteria oceny akustycznej środowiska pracy pomieszczeń biurowych open space

Wielkości fizyczne stosowane do oceny środowiska akustycznego w pomieszczeniach można ogólnie podzielić na:

1. Maksymalne poziomy hałasu na stanowiskach pracy ze względu na ochronę słuchu [1–3] oraz ze względu na możliwość realizacji podstawowych zadań pracy [4] (nierozpatrywane w artykule).
2. Maksymalny poziom hałasu tła akustycznego $L_{Aeq,tlo}$ (wartość maksymalna 35–45 dB [5]; mimo że nie rozpatruje się oceny hałasu, to konieczne jest uwzględnienie tej wielkości w predykcji m.in. wskaźnika transmisji mowy STI) w pomieszczeniach.
3. Wielkości ograniczające warunki pogłosowe (uwzględniane w badaniach wstępnych w weryfikacji danych zastosowanego modelu):
 - minimalna chłonność akustyczna pomieszczenia A_{min} dla częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz (ponieważ ta wielkość i czas pogłosu są ze sobą silnie związane, w predykcji uwzględniono tę drugą),
 - maksymalny czas pogłosu T_{max} dla częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz; maksymalny czas pogłosu obliczono z minimalnej wartości chłonności akustycznej pomieszczenia równej polu powierzchni rzutu pomieszczenia pomnożonego przez 1,1 [6]; wynosi on ok. 0,4 s (obliczony za pomocą wzoru Sabina – 0,44 s, wzoru Eyringa – 0,36 s).
4. Wielkości (zalecane normą nieobligatoryjną [7]) ograniczające rozchodzenie się dźwięków mowy (uwzględniane w badaniach wstępnych w weryfikacji danych zastosowanego modelu):
 - wielkości ograniczające zrozumiałość mowy:
 - promień rozproszenia (r_D) – zalecana wartość maksymalna 5 m [7],
 - promień prywatności (r_p) – w przepisach nie określono zalecanej maksymalnej wartości, autor przyjął roboczo i arbitralnie na potrzeby niniejszego artykułu wartość dwukrotnie większą niż promień rozproszenia r_D , tj. wartość 10 m,
 - wielkości ograniczające poziom dźwięku A mowy:

- poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego (źródła mowy) $L_{p,A,S,4m}$ – zalecana maksymalna wartość 48 dB [7],
- spadek poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości od mówiącego (źródła mowy), tj. różnica poziomów dźwięku A dla punktów w odległości 1 m i 2 m $D_{2,S}$ – zalecana minimalna wartość 7 dB [7].

Metody pomiarów ww. wielkości zostały określone w normach PN-N-01307:1994 [4], PN-EN ISO 3382-3:2012 [7], PN-EN ISO 3382-2:2010 [9], PN ISO 9612:2011 [10] oraz innych publikacjach [11–15].

W badaniach zasadniczych jako wielkość oceny stosuje się wskaźnik transmisji mowy STI. Maksymalną wartość wskaźnika transmisji mowy STI przyjęto równą 0,5 (tj. taką, jaką przyjmuje się przy określaniu promienia rozproszenia r_D [7]). Inne wartości wskaźnika transmisji mowy STI, istotne z punktu widzenia oceny separacji akustycznej stanowisk pracy w pomieszczeniach biurowych open space, są następujące: 0,2, 0,3, 0,45, 0,5, 0,6, 0,75. Ich związek z subiektywnym odbiorem zrozumiałości mowy przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Subiektywnie określana zrozumiałość mowy a wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) z uwzględnieniem wartości kryterialnych podanych w normie PN-EN 60268-16:2011 [16]
Table 1. Subjectively assessed speech intelligibility and the values of the speech transmission index (STI), taking into account the criteria specified in PN-EN 60268-16:2011 [16]

STI	Subiektywnie określana zrozumiałość mowy Subjectively assessed speech intelligibility
0–0,19	
0,2–0,29	zła / bad
0,3–0,44	niska / poor
0,45–0,49	
0,5–0,59	dostateczna / fair
0,6–0,74	dobra / good
0,75–1	doskonała / excellent

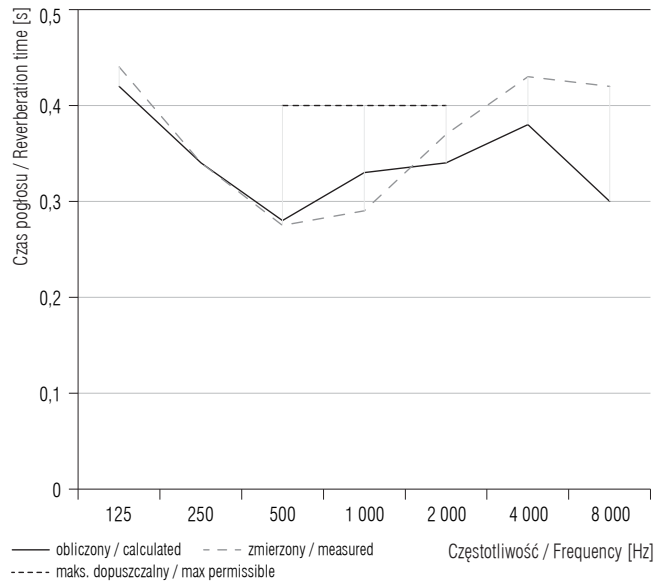
Metoda badań

Wykonano następujące badania:

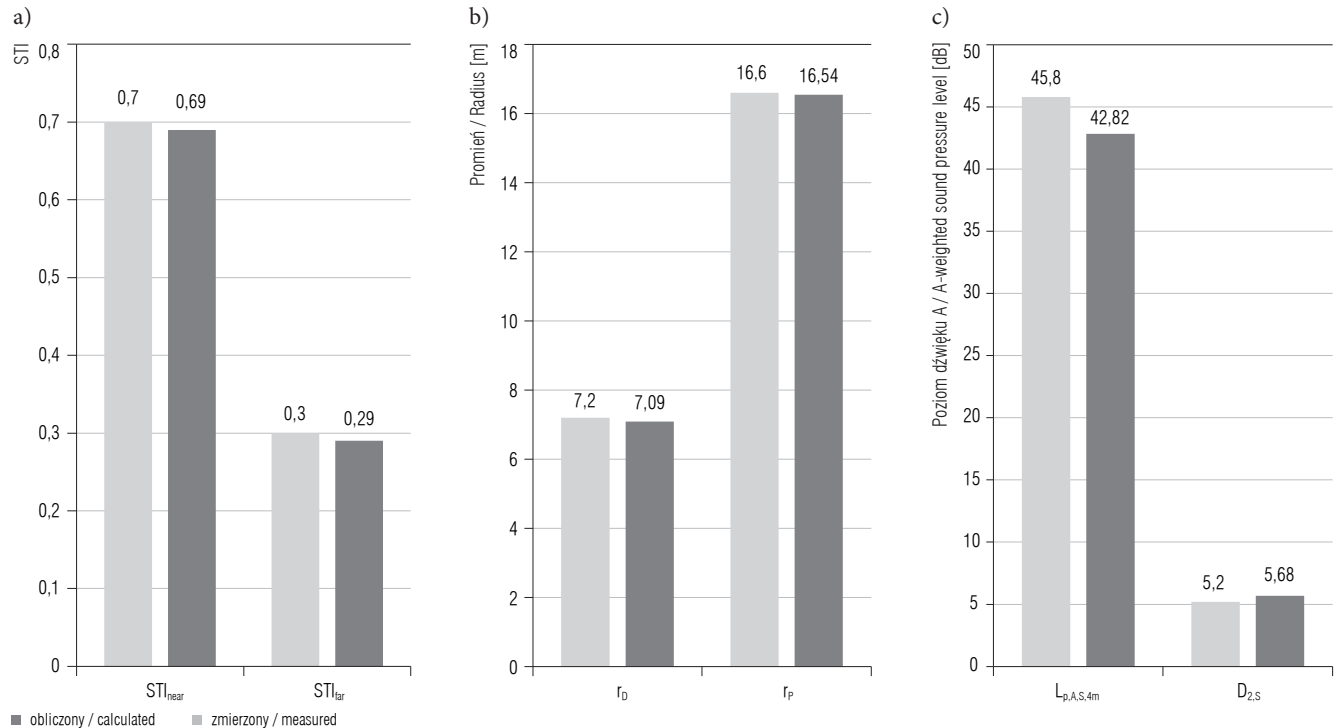
1. Badania wstępne – weryfikacja danych zaimplementowanego w programie ODEON pomieszczenia przez porównanie wyników obliczeń (wielkości podanych wyżej w kryteriach oceny, w pkt 3 i 4) uzyskanych metodami obliczeniowymi z wynikami pomiarów (wyniki pomiarów zaczerpnięto z badań własnych [15]).

2. Badania zasadnicze – określenie metodami obliczeniowymi zasięgu zrozumiałości mowy określonej jako obszaru, w którym wartości wskaźnika transmisji mowy $STI > 0,5$ oraz określenie izolinii dla wartości tej wielkości równej 0,2, 0,3, 0,45, 0,5, 0,6 i 0,75 dla różnych położenia źródła akustycznego.

W badaniach zasadniczych zastosowano metodę obliczeniową zaimplementowaną w powszechnie stosowanym w akustyce architektonicznej programie komputerowym ODEON [8]. Poprawność zaimplementowanych w programie danych, opisujących właściwości rozpatrywanego pomieszczenia, potwierdzają wyniki badań wstępnych (pomiarowych i obliczeniowych) (ryciny 2–4). W pomiarach czasu pogłosu zastosowano standardową techniczną metodę określoną w normie PN-EN ISO 3382-2:2010 [9] – 2 położenia źródła oraz 3 pozycje mikrofonu, z wykorzystaniem odpowiedzi impulsowej pomieszczenia uzyskanej za pomocą cyfrowego sygnału pseudolosowego MLS (*maximum length sequence*). Pozostałe wielkości mierzone w bada-

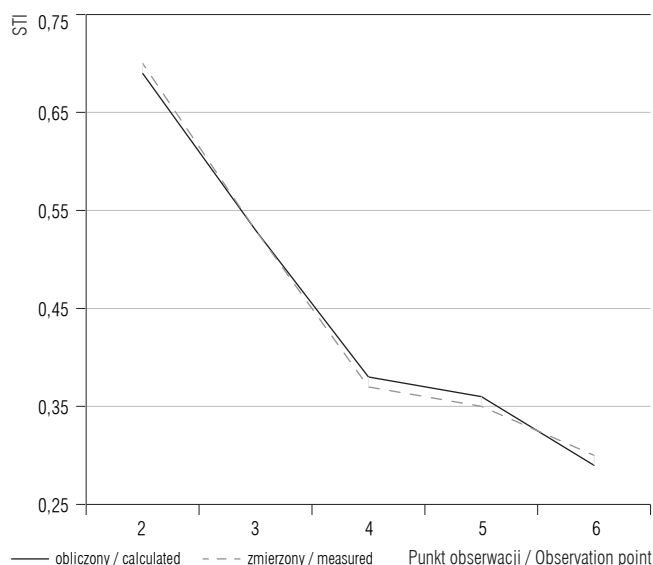


Rycina 2. Obliczenia i pomiar czasu pogłosu w rozpatrywanym pomieszczeniu biurowym open space
 Figure 2. Calculation and measurement of reverberation time in the open-plan office room under consideration



Badania dla punktów pomiarowych I przy położeniu źródła mowy w punkcie 1 na rycinie 1 / Measurement test points are shown on measurement line I when the speech source is located in point 1 of Figure 1.

Rycina 3. Wielkości charakteryzujące właściwości akustyczne rozpatrywanego pomieszczenia open space: a) wskaźnik transmisji mowy w pobliżu źródła mowy (STI_{near}) i w jak największej odległości od źródła mowy (STI_{far}), b) promień rozproszenia (r_D) i promień prywatności (r_p), c) poziom dźwięku A mowy w odległości 4 m ($L_{p,A,S,4m}$) i spadek poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości ($D_{2,S}$)
 Figure 3. Values establishing the acoustic properties of the open-plan room being studied: a) Speech Transmission Index near (STI_{near}) and far from the source (STI_{far}), b) distraction distance (r_D) and privacy distance (r_p), c) A-weighted sound pressure level of speech at distance of 4 m ($L_{p,A,S,4m}$) and spatial decay rate of speech ($D_{2,S}$)



Rycina 4. Obliczenia i pomiar wskaźnika transmisji mowy (STI) w punktach pomiarowych na linii pomiarowej I przy położeniu źródła mowy w punkcie 1 (rycina 1)

Figure 4. Calculation and measurement of the speech transmission index (STI) values at measurement points on measurement line I when the speech source is located at point 1 (Figure 1)

niach wstępnych wykonano metodą określoną w normie PN-EN ISO 3382-3:2012 [7] oraz: pomiary wskaźnika transmisji mowy STI – metodą podaną w normie PN-EN 60268-16:2011 [16] (z wykorzystaniem metody MLS), a poziomu ciśnienia akustycznego – z wykorzystaniem źródła szumu różowego. W pomiarach zastosowano: oprogramowanie WINMLS, interfejs Alesis IO2, mikrofon B&K 4939, przedwzmacniacz mikrofonowy B&K NEXUS, wzmacniacz mocy B&K 2716, źródło dźwięku B&K 4296 oraz miernik poziomu dźwięku SVAN 945.

WYNIKI

Wyniki badań wstępnych

Na rycinie 2 pokazano wyniki obliczeń i pomiarów czasu pogłosu w rozpatrywanym pomieszczeniu biurowym open space. Wartości czasu pogłosu w zakresie częstotliwości 500–2000 Hz (tj. w zakresie, w którym określone są minimalne wartości chłonności akustycznej [6]) to 0,28–0,37 s i są one mniejsze od maksymalnej wartości 0,4 s (rycina 2). Różnice wartości czasu pogłosu pomiędzy wartościami obliczonymi i zmierzonymi w 3 zakresach częstotliwości wynoszą odpowiednio 0,05 s, 0,04 s oraz 0,03 s. Różnice te można zaakceptować (w artykule przyjęto, że średnie wartości z 3 pasm dla wyników pomiarów i obliczeń nie powinny się róż-

nić więcej niż o 10% przez analogię do PN-EN ISO 3382-2:2010 [9]).

Na rycinie 3 podano wyniki obliczeń i pomiarów na linii pomiarowej I (rycina 1, źródło w pkt 1): wskaźnika transmisji mowy STI w punkcie najbliższym STI_{near} (procentowa różnica pomiędzy wartością z pomiarów i obliczeń – 1,4%) i najdalszym od źródła STI_{far} (3,4%) (rycina 1, pozycje pkt obserwacji 2 i 6), promienia rozproszenia r_D (1,6%), promienia prywatności r_p (0,4%), poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m od mówiącego $L_{p,A,S,4m}$ (7%) oraz spadku poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości $D_{2,S}$ (8,5%).

Różnice wartości wyników pomiarów i obliczeń są małe, co jest szczególnie ważne w odniesieniu wielkości, które dalej się stosuje w badaniach, tj. wskaźnik transmisji mowy STI (ryciny 3a i 3b).

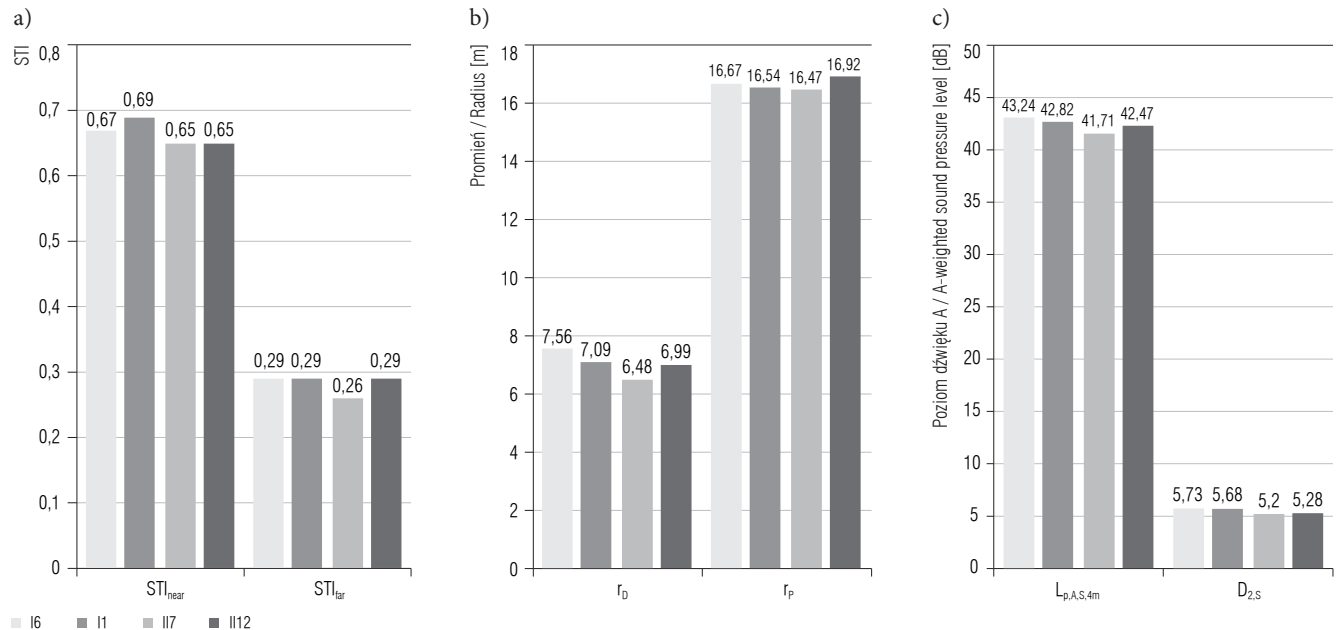
Różnice wartości pomiędzy wartościami obliczonymi i zmierzonymi wskaźnika transmisji mowy STI w pkt 3, 4 i 5 (rycina 1, źródło w pkt 1) są również znikome i wynoszą 0–0,01 (rycina 4).

Wyniki obliczeń i pomiarów promienia rozproszenia r_D wynoszą 7,09 m i 7,2 m, a promienia prywatności r_p – 16,54–16,6 m (rycina 3b) i przekraczają zalecane i przyjęte zalecane maksymalne wartości równe, odpowiednio, 5 m [7] i 10 m, jednak wartości te są na poziomie wartości typowych dla pomieszczeń open space (wśród pomieszczeń, w których nie zastosowano systemów maskujących dźwięki – praktycznie wszystkie pomieszczenia).

Z powyższych danych wynika duża zbieżność wyników pomiarów i obliczeń rozpatrywanego w artykule wskaźnika transmisji mowy STI i jego pochodnych (promienia rozproszenia i promienia prywatności), co dowodzi poprawności danych zaimplementowanego pomieszczenia w zastosowanym programie – wewnątrz to można zastosować w badaniach zasadniczych.

Wyniki badań zasadniczych

Badania zasadnicze dotyczą zasięgu zrozumiałości mowy określanego wskaźnikiem transmisji mowy STI. Na rycinie 5a przedstawiono wyniki obliczeń wskaźnika transmisji mowy STI w punktach najbliższym STI_{near} i najdalszym STI_{far} w pomieszczeniu od źródła mowy (rycina 1, pkt 1 i 6 na linii pomiarowej I oraz pkt 7 i 12 na linii pomiarowej II). Dodatkowo wyniki obliczeń promieni rozproszenia r_D i prywatności r_p przedstawiono na rycinie 5b. Potwierdzają one dużą zgodność wyników obliczeń dla różnych położenia źródeł. Można jednak stwierdzić, że większe różnice wartości poszczególnych wielkości występują dla wyników uzyskanych na



Rycina / Figure: Jerzy Kozłowski i Witold Mikulski.

I6 – źródło w pozycji 6, obliczenia na linii pomiarowej I, rycina 1 / source at position 6, measurement on line I, Figure 1, I7 – źródło w pozycji 7, obliczenia na linii pomiarowej I, rycina 1 / source at position 7, measurement on line I, Figure 1, II7 – źródło w pozycji 7, obliczenia na linii pomiarowej II, rycina 1 / source at position 7, measurement on line II, Figure 1, II12 – źródło w pozycji 12, obliczenia na linii pomiarowej II, rycina 1 / source at position 12, measurement on line II, Figure 1.

Skróty jak na rycinie 3 / Abbreviations as in Figure 3.

Rycina 5. Wielkości charakteryzujące właściwości akustyczne rozpatrywanego pomieszczenia open space na 2 liniach pomiarowych i 4 pozycjach źródeł mowy

Figure 5. Values establishing the acoustic properties of the open-plan room under consideration on 2 measurement lines and at 4 positions of the speech sources

różnych liniach pomiarowych (tj. linia I1 i I6 w stosunku do linii II7 i II12) niż na tej samej linii pomiarowej i różnych pozycjach źródeł (tj. linia I1 w stosunku do I6 oraz linii II7 w stosunku do II12). Różnice te wynikają z niejednorodności akustycznej pomieszczenia. Dowodzi to, że przy określaniu średnich wartości wielkości charakteryzujących pomieszczenie konieczne jest wykonanie badań na kilku liniach pomiarowych i uśrednienie wyników (co jest zgodne z metodą określoną w normie [7]). Ponieważ jednak wniosek wyciągnięty z pojedynczego badania, wymaga on potwierdzenia na większej liczbie przypadków.

W tabeli 2 podano wyniki obliczeń wskaźnika transmisji mowy STI we wszystkich punktach obserwacji dla wszystkich położenia źródła.

Na rycinie 6 pokazano (izolinie) zasięg zrozumiałości mowy (obszar, w którym wartościami wskaźnika transmisji mowy $STI \geq 0,5$) dla źródła mowy położonego we wnęce socjalnej (rycina 1, pkt 13). Na rycinie 7 podano wartości wskaźnika transmisji mowy STI dla rozprzestrzeniania się dźwięku między punktem we wnęce socjalnej (rycina 1, pkt 13), a punktami w pomieszczeniu (rycina 1, pkt 4–6 i 10–12).

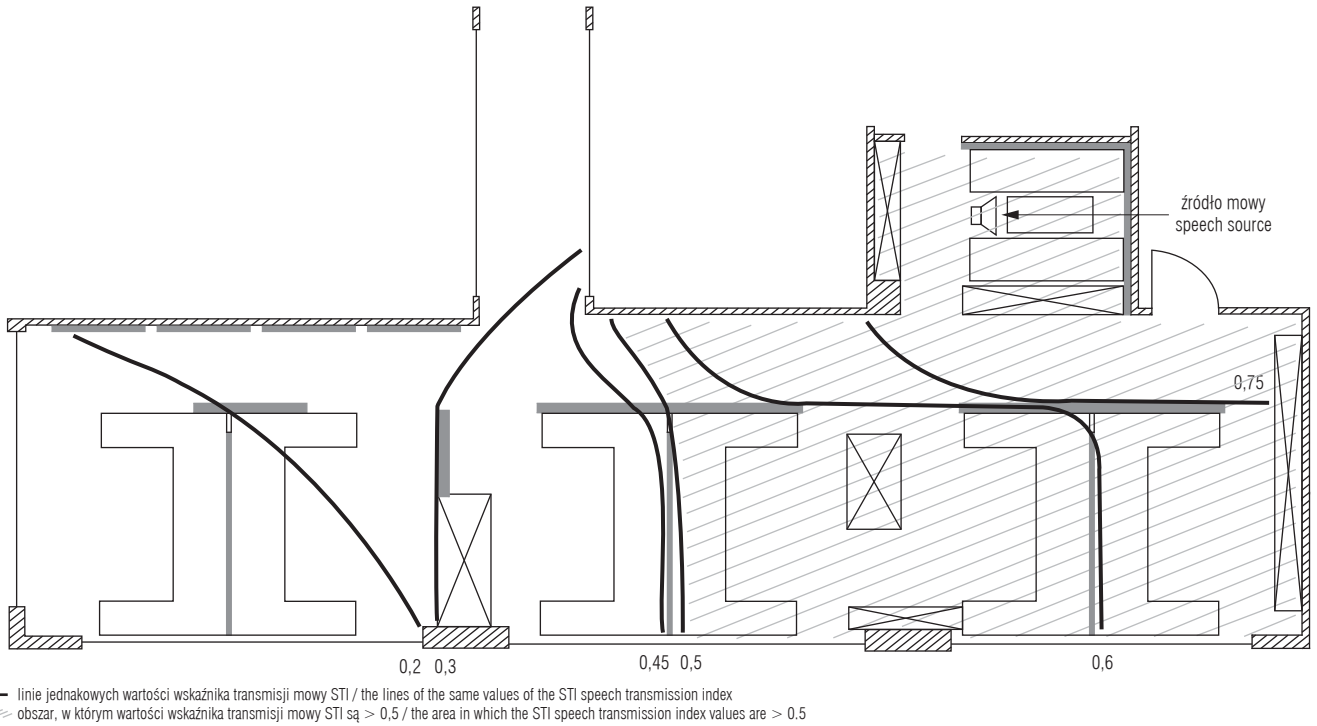
Wyniki obliczeń podane na rycinie 7 pozwalają stwierdzić, że w większości przypadków występuje inwersja, tzn. wartości wskaźnika transmisji mowy STI przy propagacji dźwięku w obu kierunkach między 2 punktami: pierwszy w rozpatrywanym pomieszczeniu, drugi we wnęce socjalnej, są takie same (różnice wartości tego wskaźnika nie przekraczają 0,01). Tylko w jednym przypadku różnica wartości wskaźnika transmisji mowy wynosi 0,04. Zastosowanie wydzielonej części pomieszczenia (wnęki socjalnej) jako obszaru do rozmów w rozpatrywanym przypadku nie zapewnia wystarczającej separacji akustycznej (wskaźnik transmisji mowy STI na stanowiskach pracy dla źródła we wnęce socjalnej ma zakres 0,51–0,62, i przekraczał przyjętą wartość maksymalną 0,5).

Analogiczne na rycinie 8 pokazano zasięg zrozumiałości mowy (obszar, w którym wartościami wskaźnika transmisji mowy $STI \geq 0,5$) dla źródła położonego w wejściu do sąsiedniego pomieszczenia (rycina 1, pkt 14). Na rycinie 9 podano także wartości wskaźnika transmisji mowy STI dla rozprzestrzeniania się dźwięku między punktem w wejściu do sąsiedniego pomieszczenia (rycina 1, pkt 14), a punktem w pomieszczeniu (rycina 1, pkt 2, 3, 8, 9).

Tabela 2. Wyniki obliczeń wskaźnika transmisji mowy (STI) w rozpatrywanym pomieszczeniu biurowym open space
Table 2. Speech transmission index (STI) calculation results of the open-plan office room

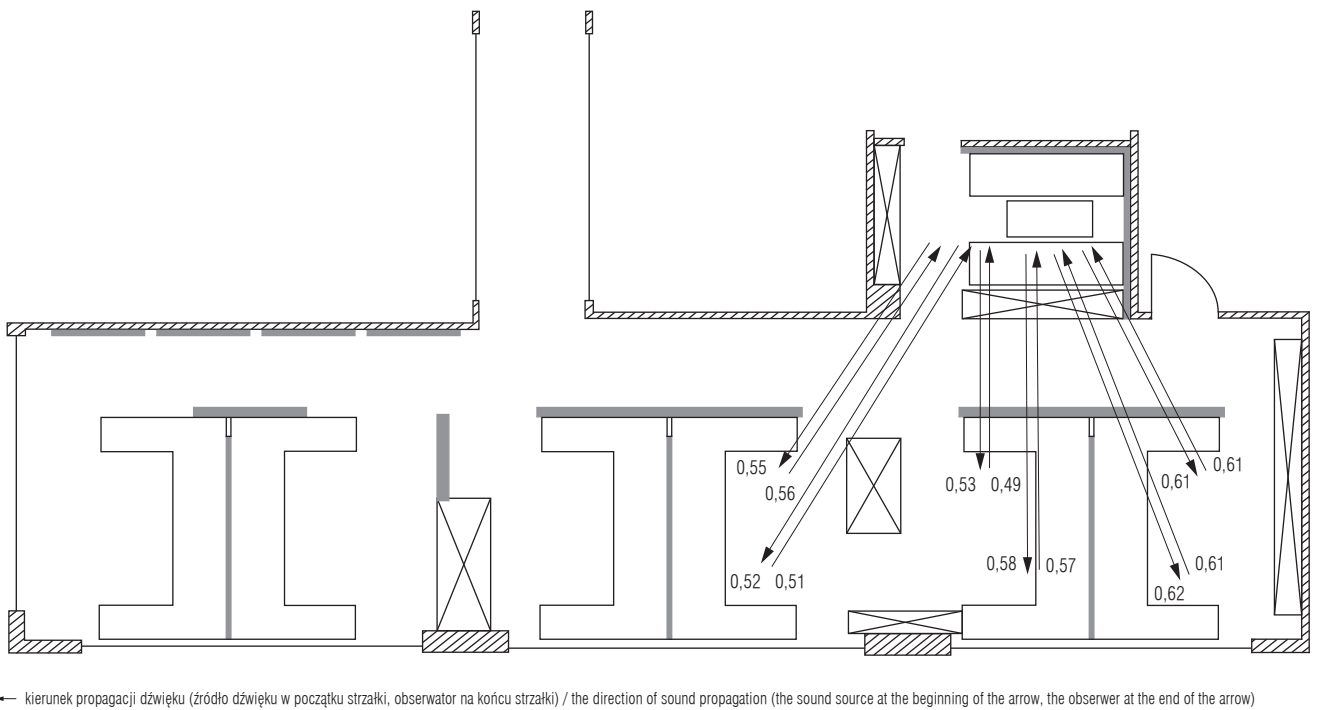
Położenie źródła* Location of the source*	Położenie punktów obliczeniowych* Location of the calculation points*													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-	0,69	0,53	0,38	0,36	0,29	0,86	0,66	0,52	0,39	0,37	0,28	0,21	0,33
2	0,66	-	0,54	0,44	0,45	0,36	0,63	0,87	0,60	0,48	0,47	0,35	0,22	0,58
3	0,56	0,62	-	0,68	0,52	0,46	0,59	0,56	0,89	0,65	0,52	0,44	0,34	0,56
4	0,42	0,43	0,68	-	0,70	0,61	0,39	0,44	0,61	0,89	0,68	0,59	0,56	0,38
5	0,42	0,47	0,55	0,70	-	0,66	0,42	0,48	0,55	0,68	0,88	0,65	0,49	0,47
6	0,29	0,34	0,41	0,57	0,67	-	0,27	0,33	0,43	0,56	0,68	0,87	0,61	0,29
7	0,86	0,65	0,55	0,37	0,34	0,25	-	0,65	0,51	0,39	0,35	0,26	0,15	0,40
8	0,65	0,87	0,56	0,46	0,47	0,34	0,64	-	0,56	0,45	0,46	0,34	0,24	0,55
9	0,54	0,61	0,89	0,62	0,53	0,43	0,54	0,57	-	0,72	0,50	0,42	0,35	0,59
10	0,39	0,49	0,66	0,89	0,68	0,56	0,39	0,44	0,72	-	0,81	0,54	0,51	0,44
11	0,38	0,45	0,52	0,68	0,88	0,68	0,39	0,45	0,51	0,81	-	0,65	0,57	0,39
12	0,25	0,32	0,41	0,56	0,64	0,87	0,29	0,34	0,42	0,53	0,65	-	0,61	0,28
13	0,14	0,20	0,33	0,55	0,53	0,61	0,15	0,19	0,35	0,52	0,58	0,62	-	0,23
14	0,32	0,48	0,59	0,37	0,35	0,21	0,34	0,50	0,62	0,41	0,33	0,23	0,14	-

* Według ryciny 1 / According to Figure 1.



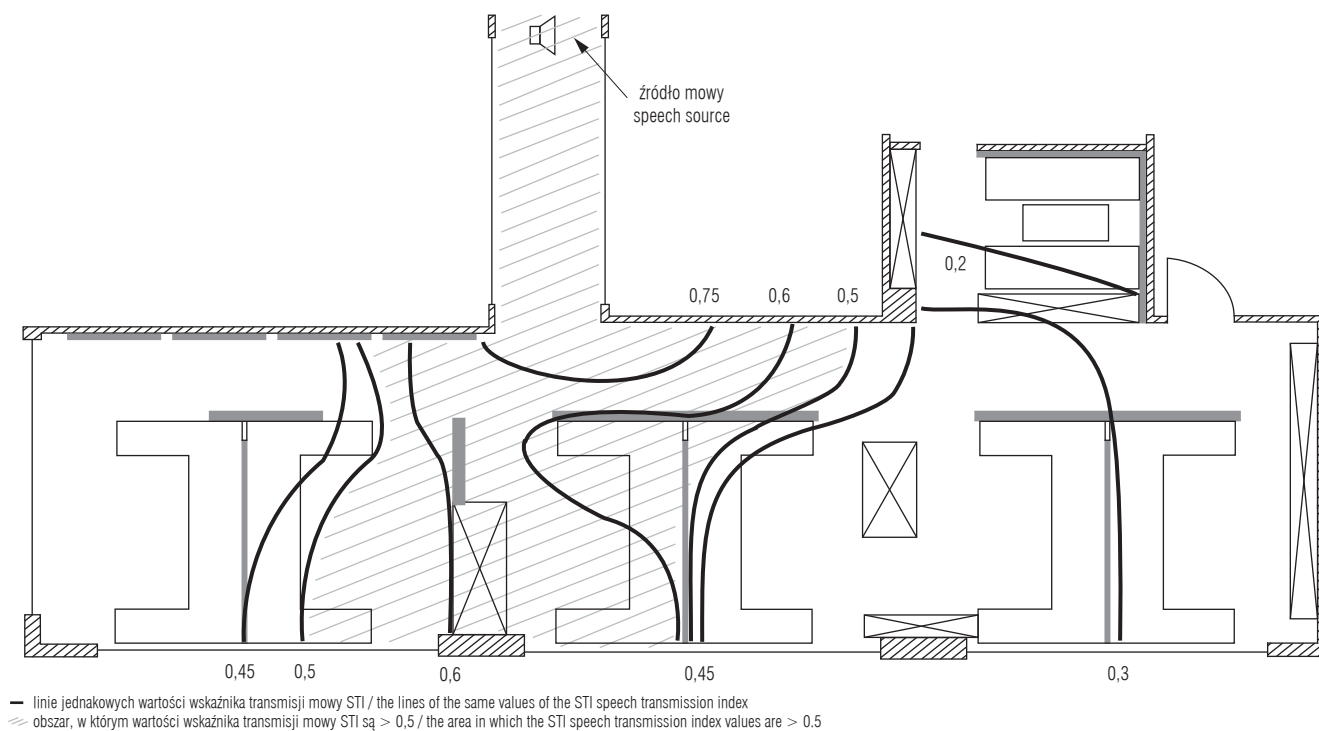
Rycina / Figure: Jerzy Kozłowski i Witold Mikulski.

Rycina 6. Linie jednakowych wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) dla źródła mowy w punkcie 13 na rycinie 1 (wnęka socjalna)
Figure 6. Uniform values of the speech transmission index (STI) lines according to the speech source at point 13 in Figure 1 (the rest and refreshment area)



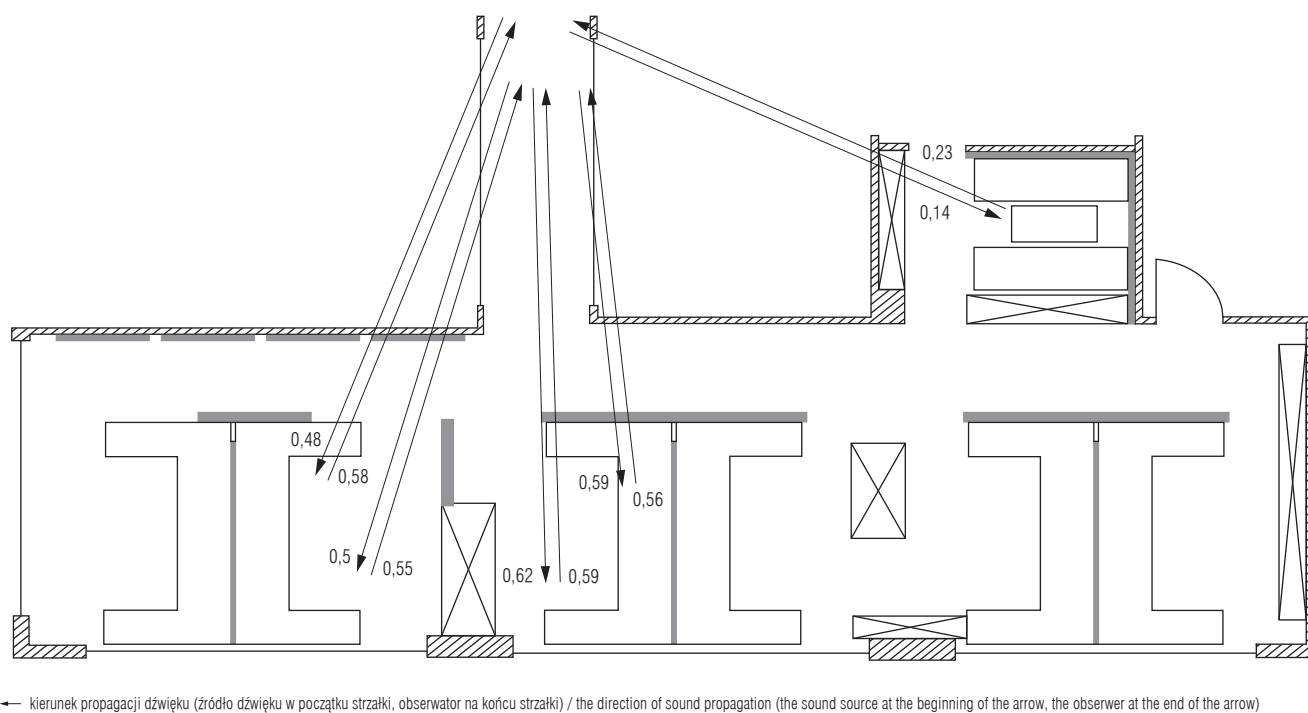
Rycina / Figure: Jerzy Kozłowski i Witold Mikulski.

Rycina 7. Wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) dla propagacji dźwięku mowy z wnęki socjalnej, punkt 13 do punktów 4–6 i 10–12 (rycina 1) i propagacji w kierunku przeciwnym
Figure 7. The speech transmission index (STI) values for speech sounds propagation from the rest and refreshment area, point 13 to points 4–6 and 10–12 (Figure 1) and propagation in the opposite direction



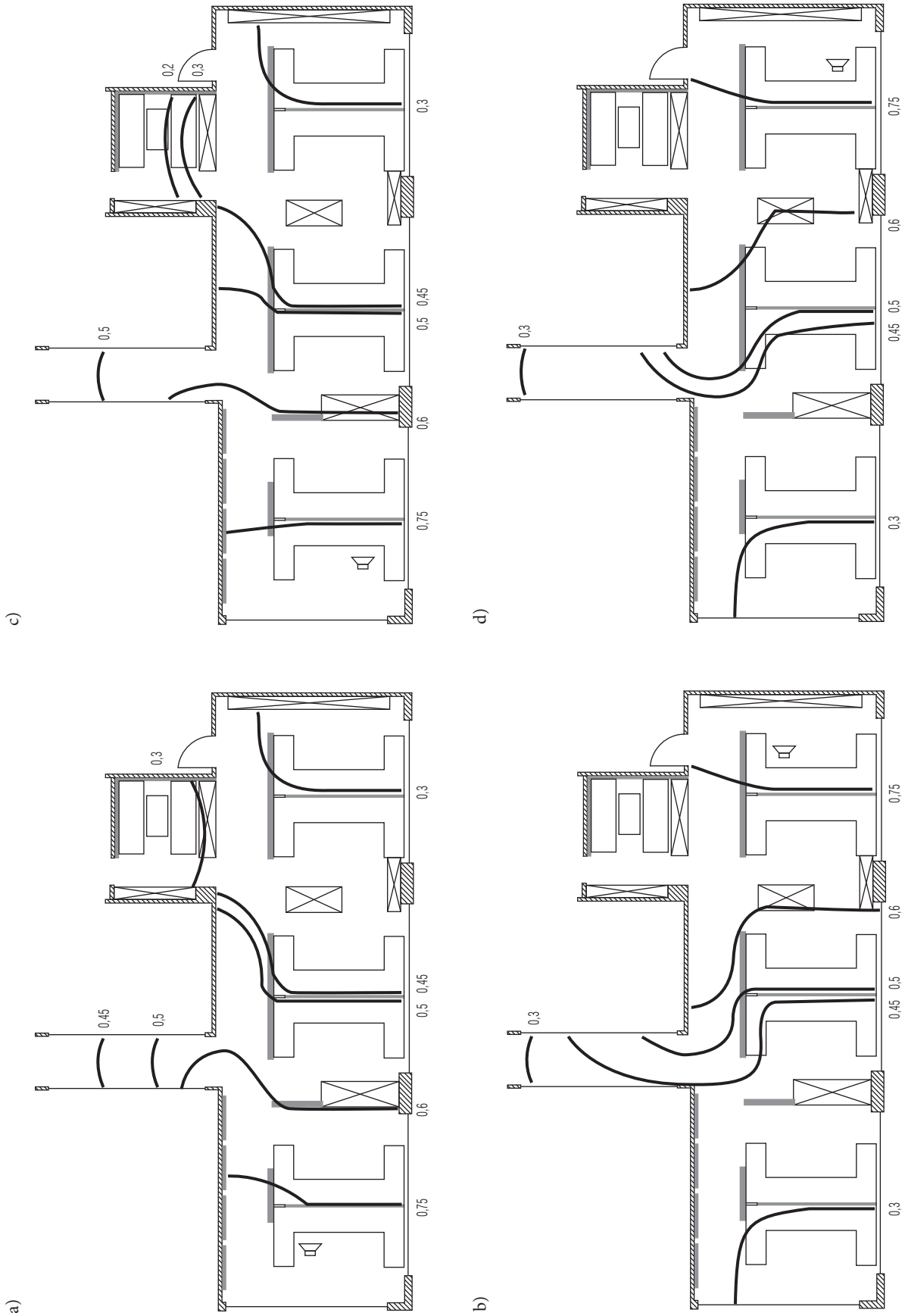
Rycina / Figure: Jerzy Kozłowski i Witold Mikulski.

Rycina 8. Linie jednakowych wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) dla źródła w punkcie 14 na rycinie 1 (tj. od sąsiedniego pomieszczenia)
Figure 8. Uniform values of the speech transmission index (STI) lines for the speech source at point in 14 Figure 1 (from the adjacent room)



Rycina / Figure: Jerzy Kozłowski i Witold Mikulski.

Rycina 9. Wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) dla propagacji dźwięków mowy od sąsiedniego pomieszczenia, punkt 14 do punktów 2, 3, 8, 9 (rycina 1) i propagacji w kierunku przeciwnym
Figure 9. The speech transmission index (STI) values for speech sounds propagation from the rest and refreshment area, point 14 to points 2, 3, 8, 9 (Figure 1) and propagation in the opposite direction



— linie jednakowych wartości wskaźnika transmisji mowy STI / the lines of the same values of the STI speech transmission index

Rycina 10. Wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) dla propagacji dźwięków mowy w pomieszczeniu (rycina 1) dla źródeł: a) w punkcie 1, b) w punkcie 6, c) w punkcie 7, d) w punkcie 12

Figure 10. The speech transmission index (STI) values for speech sounds propagation in the room (Figure 1) for sources: a) at point 1, b) at point 6, c) at point 7, d) at point 12

Traktując sąsiednie pomieszczenie w ten sam sposób jak wnękę socjalną (rycina 1, pkt 14 i pkt 2, 3, 8, 9), nie można stwierdzić, że występuje w nim inwersja. Różnice wartości tego wskaźnika przy rozprzestrzenianiu się mowy w obu kierunkach w odniesieniu do 4 stanowisk wynoszą 0,03–0,10 [próg zauważenia zmiany (*just noticeable difference* – JND) STI = 0,03]. Wartości wskaźnika transmisji mowy STI na stanowiskach pracy dla źródła w sąsiednim pomieszczeniu wynosiły 0,48–0,62, co oznacza, że rozmowy prowadzone w sąsiednim pomieszczeniu będą zbyt dobrze zrozumiałe na tych stanowiskach pracy.

Żeby określić, czy zachodzi inwersja zrozumiałości mowy w przypadku umieszczenia głośników na końcach linii pomiarowych (rycina 1) w pomieszczeniu, przedstawiono wyniki obliczeń wskaźnika transmisji mowy STI na rycinie 10. Rozkłady (izolinie) wartości wskaźnika transmisji mowy STI są podobne, co pozwala wstępnie przyjąć, że inwersja występuje. W celu dokładniejszej analizy przeprowadzono obliczenia wartości wskaźnika transmisji mowy STI we wszystkich punktach pomieszczenia i dla wszystkich położenia źródła (rycina 1, pkt 1–12). Wyniki podano w tabeli 2.

Inwersja między wszystkimi punktami implikuje stwierdzenie, że jest możliwych 91 ich kombinacji (66 wewnątrz pomieszczenia, tzn. pkt 1–12). Różnica wartości wskaźnika transmisji mowy między 2 punktami wynosi 0–0,08. Przyjmując, że inwersja zachodzi dla maksymalnej różnicy 0,03, można stwierdzić, że występuje ona w 80,2% przypadków (87,9 wewnątrz pomieszczenia, tzn. pkt 1–12). Reasumując, w badanym przypadku pomieszczenia biurowego open space w większości przypadków zachodzi inwersja.

Jak wspomniano, należy dążyć do separacji akustycznej między stanowiskami pracy, co oznacza, że wartość wskaźnika transmisji mowy STI nie powinna być większa niż 0,5. Wartość tego wskaźnika zależy od wielu elementów – najistotniejszymi są odległość źródła od punktu obserwacji, zjawisko ugięcia się fali na krawędziach ekranów oraz poziom tła akustycznego. Analizę przeprowadza się przy takim samym poziomie dźwięku tła akustycznego, dlatego czynnik ten nie zostaje omówiony w dalszej części. Dwa pierwsze elementy są zależne, gdyż liczba ekranów (stanowiskowych) wiąże się ze wzrostem odległości między stanowiskami pracy, ale już nie odwrotnie. Dlatego podano wyniki obliczeń dla źródła w punkcie na jednym stanowisku pracy oraz wyniki na różnych stanowiskach pracy dla rozpatrywanego pomieszczenia (różna odległość źródło–stanowisko oraz różna liczba ekranów akustycznych pomiędzy nimi).

W tabeli 3 zestawiono wyniki obliczeń wskaźnika transmisji mowy STI dla różnych kombinacji źródeł mowy w pkt 1–12 (rycina 1) oraz punktów obserwacji w odległości ok. 1,9 m od źródeł (między źródłami i punktami obserwacji nie ma ekranu). Średnia wartość wskaźnika transmisji mowy STI w tej odległości od źródła wynosi 0,877 (SD = 0,0115).

W tabeli 4 zestawiono wyniki obliczeń różnicy wartości wskaźnika transmisji mowy STI dla różnych kombinacji punktów obserwacji w odległości 2,7 m od źródeł mowy, które były oddzielone pojedynczym ekranem akustycznym. Średnia wartość różnicy wskaźnika transmisji mowy STI, wynikająca z większej odległości oraz z ugięcia się fali akustycznej na jednym ekranie akustycznym, wynosi 0,203 (SD = 0,0175).

W tabeli 5 zestawiono wyniki obliczeń różnicy wartości wskaźnika transmisji mowy STI dla różnych kombinacji punktów obserwacji w odległości 6,2 m od źródeł mowy, które były oddzielone 2 ekranami akustycznymi (szafkę traktowano także jako ekran akustyczny). Średnia wartość różnicy wskaźnika transmisji mowy STI, wynikającej z większej odległości oraz z ugięcia się fali akustycznej na 2 ekranach akustycznych, wynosi 0,365 (SD = 0,0695).

W tabeli 6 zestawiono wyniki obliczeń różnicy wartości wskaźnika transmisji mowy STI dla różnych kombinacji punktów obserwacji w odległości 8,8 m od

Tabela 3. Wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) w odległości 1,9 m od źródła mowy

Table 3. Speech transmission index (STI) values at a distance of 1.9 m from the speech source

Położenie źródła* Location of the source*	Położenie obserwatora Location of the observer*	STI (M±SD = = 0,877±0,0115)
1	7	0,86
2	8	0,87
3	9	0,89
4	10	0,89
5	11	0,88
6	12	0,87
7	1	0,86
8	2	0,87
9	3	0,89
10	4	0,89
11	5	0,88
12	6	0,87

* Według ryciny 1 / According to Figure 1.

źródeł mowy, które były oddzielone 3 ekranami akustycznymi. Średnia wartość różnicy wskaźnika transmisji mowy STI, wynikającej z większej odległości oraz ugięcia się fali akustycznej na 3 ekranach akustycznych i większej odległości, wynosi 0,46 (SD = 0,0216).

W celu określenia tylko wpływu liczby ekranów bez uwzględnienia odległości rozpatrzono przypadki umieszczenia źródła w pkt 1 (rycina 1) oraz przy uwzględnieniu 1 ekranu (A), 2 ekranów (A, B), 3 ekranów (A–C), 4 ekranów (A–D) i 5 ekranów (A–E) (rycina 1). Wyniki podano w tabeli 7.

OMÓWIENIE

Wyniki obliczeń pozwalają stwierdzić, że stosowanie ekranowania akustycznego w pomieszczeniach open space, polegającego na oddzieleniu od siebie stanowisk pracy, jest działaniem koniecznym, lecz – w większości przypadków – niewystarczającym. Pojedynczy ekran

Tabela 4. Różnica wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) przy zwiększeniu odległości obserwatora z 1,9 m do 2,7 m i ekranowaniu pojedynczym ekranem akustycznym
Table 4. Difference in the speech transmission index (STI) values on increasing the observer's distance from 1.9 m to 2.7 m, and screening with 1 acoustic screen

Położenie źródła* Location of the source*	Położenie obserwatora* Location of the observer*	STI (M±SD = 0,203±0,0175)
1	2	0,17
3	4	0,21
5	6	0,22
2	1	0,21
4	3	0,21
6	5	0,20

* Według ryciny 1 / According to Figure 1.

Tabela 5. Różnica wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) przy zwiększeniu odległości obserwatora z 1,9 m do 6,2 m i ekranowaniu 2 ekranami akustycznymi
Table 5. Difference in the speech transmission index (STI) values on increasing the observer's distance from 1.9 m to 6.2 m, and screening with 2 acoustic screens

Położenie źródła* Location of the source*	Położenie obserwatora* Location of the observer*	STI (M±SD = 0,365±0,0695)
1	3	0,33
3	5	0,37
4	2	0,46
6	4	0,30

* Według ryciny 1 / According to Figure 1.

Tabela 6. Różnica wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) przy zwiększeniu odległości obserwatora z 1,9 m do 8,8 m i ekranowaniu 3 ekranami akustycznymi
Table 6. Difference in the speech transmission index (STI) values on increasing the observer's distance from 1.9 m to 8.8 m, and screening with three acoustic screens

Położenie źródła* Location of the source*	Położenie obserwatora* Location of the observer*	STI (M±SD = 0,46±0,0216)
1	4	0,48
3	6	0,43
4	1	0,47
6	3	0,46

* Według ryciny 1 / According to Figure 1.

Tabela 7. Oszacowanie wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) przy ekranowaniu ekranami 1–5 w punktach obserwacji^a
Table 7. Estimated values of the speech transmission index (STI) when screening with 1–5 acoustic screens at observation points^a

Uwzględnione ekrany akustyczne* Acoustic screens included*	Położenie obserwatora* Location of the observer*				
	2	3	4	5	6
Bez / Without	0,81	0,62	0,58	0,54	0,55
A	0,72	0,53	0,48	0,41	0,34
A, B	0,72	0,49	0,48	0,4	0,33
A, B, C	0,72	0,53	0,34	0,39	0,32
A, B, C, D	0,72	0,53	0,38	0,34	0,31
A, B, C, D, E	0,69	0,53	0,38	0,36	0,29

^a Rycina 1, źródło w pkt 1 / Figure 1, source No. 1.

* Według ryciny 1 / According to Figure 1.

akustyczny zapewnia zmniejszenie zrozumiałości mowy o ok. 0,2 (tabela 4), zespół 2 ekranów wraz z łącznym oddziaływaniem zwiększonej odległości od źródła zmniejsza wskaźnik transmisji mowy STI o 0,37 (tabela 5), a zespół 3 ekranów wraz z łącznym oddziaływaniem zwiększonej odległości od źródła – o 0,46 (tabela 6).

Na podstawie obliczeń wpływu liczby ekranów bez uwzględnienia odległości (tabela 7) można stwierdzić, że bez ekranów wartości wskaźnika transmisji mowy wynoszą: w punkcie najbliższym źródła – 0,81 (rycina 1, źródło w pkt 1, punkt obserwacji nr 2), a w punkcie najdalszym od źródła – 0,55 (rycina 1, punkt obserwacji nr 6). Jak widać, w badanym pomieszczeniu bez ekranów nawet na jego końcu zrozumiałość mowy jest za duża. Po zastosowaniu ekranu A (tj. ekranu przy źródle) (rycina 1), w najbliższym punkcie za ekranem (pkt 2) wartość wskaźnika transmisji mowy wynosi 0,72 (tj. zmniejszyła się o 0,09), a na końcu pomieszczenia (pkt 6) wynosi 0,34 (tj. zmniejszyła się o 0,21). W pozostałych punktach zmniejszyła się w zakresie 0,09–0,13. Wartość poniżej 0,5 występuje w pkt 4 (rycina 1). Po zastosowaniu 2 ekranów (A i B) wartość wskaźnika transmisji mowy STI zmniejszyła się w punkcie za ekranem (tj. pkt 3) o 0,04 (w stosunku do zastosowania tylko ekranu A), w pozostałych punktach zmiany nie były większe od 0,01. Po zastosowaniu 3 ekranów (A, B i C) wartość wskaźnika transmisji mowy za nim (tj. pkt 4) zmniejszyła się o 0,14 (w stosunku do zastosowania ekranów A i B), natomiast przed tym ekranem (tj. pkt 3) wzrosła o 0,04 (prawdopodobnie jest to efekt wzrostu poziomu dźwięku od fali odbitej od tego ekranu). W pozostałych punktach różnice nie przekraczają 0,01. Po zastosowaniu 4 ekranów (A, B, C i D) efekt jest podobny, tzn. za ekranem (pkt 5) wskaźnik transmisji mowy STI się zmniejsza o 0,05 (w stosunku do zastosowania ekranów A, B i C), a przed nim (pkt 4) rośnie o 0,04. Po zastosowaniu 5 ekranów (A, B, C, D i E) efekt, choć minimalny, jest podobny, tj. za ekranem (pkt 6) wskaźnik transmisji mowy STI się zmniejsza o 0,02 (w stosunku do zastosowania ekranów A, B, C i D), a przed nim (pkt 5) rośnie o 0,02.

Reasumując, zastosowanie ekranu akustycznego przy źródle jest najbardziej efektywne: wskaźnik transmisji mowy za ekranem zmniejsza się 0,09, a na końcu pomieszczenia – o 0,21. Uwzględnienie następnego ekranu, z punktu widzenia efektywności, należy oceniać tylko lokalnie – jako efekt na stanowisku za tym ekranem. Wartość wskaźnika transmisji mowy STI zmniejsza się tam o ok. 0,04 – wartość ta świadczy jednak o wyraźnie subiektywnym odczuciu tego efektu, ponie-

waż próg zauważenia zmiany JND STI wynosi 0,03. Interesujący jest fakt zwiększenia się wartości wskaźnika transmisji mowy STI w punkcie przed ekranem, tj. gdy punkt obserwacji znajduje się między źródłem a ekranem. Wynika z tego, że ze względu na efektywność zastosowania ekranu należy użytkować tylko osłonę przy źródle i ewentualnie przy stanowisku pracy, ponieważ inne dodatkowe ekrany nie mają istotnego wpływu na wartość wskaźnika transmisji mowy STI. Jednak w pomieszczeniach biurowych open space każde stanowisko pracy jest okresowo jednocześnie źródłem i odbiorcą hałasu, dlatego wszystkie powinny być wyposażone w ekrany akustyczne. Z punktu widzenia technicznego – ze względu na to, że ekrany stosuje się w większości przypadków jako ekrany stanowiskowe – należy zawsze oceniać łączny wpływ wzajemnej odległości stanowisk pracy i ekranów akustycznych. Porównując w rozpatrywanym przypadku wpływ odległości na wartość wskaźnika transmisji mowy STI oraz wpływ ekranowania na wartość wskaźnika transmisji mowy STI, można stwierdzić, że większy wpływ na wartość wskaźnika transmisji mowy STI ma odległość. Jednak bez uwzględnienia obu tych elementów nie osiągnie się koniecznego dużego spadku wartości wskaźnika transmisji mowy STI w funkcji odległości od źródła.

WNIOSKI

Badania dotyczyły zasięgu zrozumiałości mowy w pomieszczeniu biurowym open space. Zrozumiałość mowy w takim miejscu jest czynnikiem negatywnie wpływającym na pracowników. Do badań wytypowano rzeczywiste typowe pomieszczenie biurowe o stosunkowo dobrych właściwościach akustycznych: wartości czasu pogłosu (w zakresie częstotliwości 500–2000 Hz) oraz poziomu dźwięku A mowy w odległości 4 m od źródła mowy mieszczą się w zakresie wartości dopuszczalnych. W badanym pomieszczeniu wartość promienia rozproszenia przekracza zalecaną wartość maksymalną, jednak w stosunku do innych wnętrz tego typu mieści się w grupie pomieszczeń o dobrych warunkach akustycznych. Spadek poziomu dźwięku A mowy na podwojenie odległości od źródła ma za małą wartość w stosunku do zalecanej wartości minimalnej, ale jest on również na poziomie wartości typowych dla pomieszczeń biurowych open space.

Badania przeprowadzono metodami obliczeniowymi z wykorzystaniem programu ODEON. Przedstawione wyniki badań zastosowanych wielkości fizycznych charakteryzujących właściwości akustyczne rozpatry-

wanego pomieszczenia, będących pochodnymi wskaźnika transmisji mowy STI, wykazują małe różnice wyników obliczeń i pomiarów, co dowodzi poprawności danych zaimplementowanego pomieszczenia w programie symulacyjnym ODEON.

W pomieszczeniu open space w badaniach zasadniczych badano zrozumiałość mowy wskaźnikiem transmisji mowy STI. Wyniki obliczeń zrozumiałości mowy pozwalają stwierdzić, że w większości przypadków (ok. 88%) występuje inwersja, tzn. zrozumiałość mowy po zamianie miejscami źródła i punktu obserwacji jest podobna (nie zachodziła tu m.in. między punktami w rozpatrywanym a sąsiednim pomieszczeniem). Zastosowanie wydzielonej części pomieszczenia jako obszaru przeznaczonego do rozmów (pomieszczenie socjalne) jest celowe, jednak w rozpatrywanym przypadku jego skuteczność nie była wystarczająca (rozmowy prowadzone we wnęce socjalnej mogą być zbyt dobrze słyszalne na stanowiskach pracy). Analogicznie istnieje za duże przenikanie mowy (za duża zrozumiałość) do i z pomieszczenia sąsiedniego, co dowodzi zbyt małej separacji akustycznej między rozpatrywanym a sąsiednim pomieszczeniem. Ekranowanie akustyczne, polegające na oddzieleniu akustycznym od siebie stanowisk pracy w pomieszczeniach open space, jest działaniem koniecznym, lecz w większości przypadków nie jest wystarczające. Z przeprowadzonych badań wynika, że bez uwzględnienia ekranów akustycznych w całym pomieszczeniu zrozumiałość mowy jest za duża (wartości wskaźnika transmisji mowy na stanowiskach pracy wynoszą 0,55–0,81 przy przyjętej wartości maksymalnej 0,5). Zastosowanie pojedynczego ekranu akustycznego (przy źródle) zapewnia zmniejszenie wartości wskaźnika transmisji mowy STI o ok. 0,2, tj. wartości wskaźnika transmisji mowy w pomieszczeniu wynoszą 0,34–0,72 – zatem w części pomieszczenia uzyska się wymaganie niską zrozumiałość mowy. W przypadku jednoczesnego zastosowania ekranu przy źródle (pierwsze stanowisko) i kolejnego przy drugim stanowisku (stanowisko odbiorcze) ten drugi ekran zmniejszy wartość wskaźnika transmisji mowy o dalsze 0,04 (co jest identyfikowalne słuchowo, gdyż próg zauważalnej różnicy JND STI wynosi 0,03). Ponieważ każde stanowisko pracy jest potencjalnym źródłem i jednocześnie odbiorcą hałasu, musi być ekranowane stanowiskowo.

Otrzymane wyniki skłaniają do dalszych badań w zakresie uzyskania odpowiednich warunków pracy w pomieszczeniach biur otwartych (open space). Wynika z nich także, że dotychczasowe kryteria oceny, bazujące na wartościach dopuszczalnych i zalecanych oraz przy-

jętych przez autora, nie pozwalają pozytywnie ocenić właściwości akustycznych w istniejących pomieszczeniach biurowych. To także powinno skłaniać do stosowania w nich jeszcze większej adaptacji akustycznej niż dotychczasowa.

PODZIĘKOWANIA

Autor dziękuje Mikołajowi Jaroszowi za udostępnienie do badań pomieszczenia biurowego open space w firmie Eco-phon, Janowi Radoszowi oraz Małgorzacie Rejman za pomoc w wykonaniu pomiarów, które zostały wykorzystane do weryfikacji modelu obliczeniowego, oraz Jerzemu Kozłowskiemu za pomoc w opracowaniu rycin 5–9.

PIŚMIENNICTWO

1. 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. DzU z 2018 r., poz. 1286, zał. 2, pkt A
2. Rozporządzenie Rady Ministrów z 3 kwietnia w sprawie uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią 2017. DzU z 2017 r., poz. 796
3. Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 29 sierpnia 2016 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym. DzU z 2016 r., poz. 1509
4. PN-N-01307:1994. Hałas. Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1994
5. PN-B-02151-02:1987. Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1987
6. PN-B-02151-4:2015. Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2015
7. PN-EN ISO 3382-3:2012. Akustyka. Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 3: Pomieszczenia biurowe typu „open space”. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2012
8. Room Acoustics Simulation Software ODEON [Internet]. Odeon, Kongens Lyngby 2017 [cytowany 16 listopada 2018]. Adres: <https://www.odeon.dk>
9. PN-EN ISO 3382-2:2010. Akustyka. Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 2: Czas pogłosu w zwykłych pomieszczeniach. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010

10. PN EN ISO 9612:2011. Akustyka. Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas. Metoda techniczna. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2011
11. Rindel J.H., Christensen C.L.: Acoustical simulation of open-plan offices according to ISO 3382-3. Proceedings of the Euronoise. Praga 2012 [Internet]. European Acoustics Association [cytowany 16 listopada 2018]. Adres: <https://euracoustics.org/events/events-2012/euronoise-2012>
12. Keränen J.: Measurement and Prediction of the Spatial Decay of Speech in Open-Plan Offices. Aalto University publication series Doctoral Dissertations, Espoo, Finlandia 2015
13. Mikulski W.: Warunki akustyczne w otwartych pomieszczeniach do prac administracyjnych – wyniki pilotażowych badań własnych. Med. Pr. 2016;67(5):653–662, <https://doi.org/10.13075/mp.5893/2016/00425>
14. Mikulski W.: Warunki akustyczne w pomieszczeniach biurowych open space – zastosowanie metod obliczeniowych do projektowania środków technicznych w typowym pomieszczeniu. Med. Pr. 2018;69(2):153–165, <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00574>
15. Mikulski W., Rejman M.: Zrozumiałość mowy w pomieszczeniach biurowych open space – wymagania akustyczne i wyniki pomiarów w przykładowym pomieszczeniu. W: Nowe trendy w bezpieczeństwie pracy, środowisku i zarządzaniu. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach, Katowice 2018
16. PN-EN 60268-16:2011. Urządzenia systemów elektroakustycznych. Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2011