

dr inż. Witold Mikulski*

Wpływ zastosowania adaptacji akustycznej na wskaźnik transmisji mowy i czas pogłosu pomieszczenia

Pomieszczenia wykładowo-konferencyjne powinny się charakteryzować takimi właściwościami akustycznymi, aby zapewnić komunikację słowną na odpowiednim poziomie zrozumiałości mowy. Jednym z elementów mających istotny wpływ na zrozumiałość mowy, ale także na hałas tła oraz wysiłek głosowy mówiącego [1 + 3] jest stosunek dźwięków bezpośrednio docierających od mówiącego do dźwięków odbitych oraz wszystkich innych. W artykule rozpatrzony jest tylko jeden element wpływający na zrozumiałość mowy, tj. **wpływ środków technicznych** (różnych adaptacji akustycznych pomieszczenia).

Zapewnienie odpowiednich warunków akustycznych w pomieszczeniu do komunikacji werbalnej oceniano spełnieniem wymagań dotyczących czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy STI. **Czas pogłosu** charakteryzuje właściwości akustyczne pomieszczenia i ma zbliżoną wartość w całej jego objętości. Natomiast **wskaźnik transmisji mowy STI** charakteryzuje właściwości akustyczne pomieszczenia oraz właściwości pomieszczenia pod względem zrozumiałości mowy. Uwzględnia więc także poziom natężenia głosu mówiącego, właściwości kierunkowej emisji głosu, właściwości głosu, położenie mówiącego oraz słuchacza, hałas tła akustycznego itp. Wynikiem tego jest m.in. fakt, że zrozumiałość mowy zależy od wzajemnego położenia mówiącego i słuchacza, szczególnie w odległości słuchacza od mówiącego poniżej odległości granicznej pomieszczenia r_g .

W przedstawionych w artykule adaptacjach akustycznych pomieszczeń zastosowano dźwiękochłonny sufit podwieszany oraz wyroby dźwiękochłonne w postaci paneli

umieszczane na ścianach pomieszczenia. Badano wpływ wymienionych adaptacji na średnią wartość czasu pogłosu oraz średnią wartość i rozkład wskaźnika transmisji mowy STI w pomieszczeniu.

Wymagania akustyczne pomieszczeń o kubaturze do 500 m³ przeznaczonych do komunikacji słownej

Oceny akustycznej pomieszczeń, przeznaczonych do prezentacji słownych (niewyposażonych w aparaturę nagłaśniającą), dokonano uwzględniając wymagania określone w prPN-B-02151-4 [4]. Zbliżone wartości kryterialne oraz metody pomiaru parametrów kryterialnych podane są też w PN-EN 60268-16:2011 [5], PN-EN ISO 3382-2:2010 [6] oraz innych [7, 8, 9]. Wymagania podane w projekcie normy odnosi się do pomieszczeń wykończonych, umeblowanych w sposób typowy dla swojej funkcji, ale bez ludzi. Wartości dopuszczalne podano w tabeli 1. Ponieważ, jak wspomniano, czas pogłosu w całym pomieszczeniu nie wykazuje dużego zróżnicowania, kryterium podane w tabeli 1 odnosi się do wartości średniej czasu pogłosu T_{sr} . Natomiast przy ocenie wartości wskaźnika transmisji mowy STI, poza odniesieniem do uzyskanych wartości średnich w pomieszczeniu STI_{sr} , kryterium stosuje się do zmierzonych w pomieszczeniu wartości minimalnych STI_{min} , które w większości przypadków obserwuje się w pomieszczeniu w najdalszej odległości od mówiącego. Poza jedno-

znaczym określeniem spełnienia lub nie wymienionego kryterium, wartości tych parametrów zastosowano w artykule do różnicowania oceny rozwiązań zastosowanych adaptacji akustycznych.

Jako miarę minimalnej rozróżnialności zrozumiałości mowy przyjęto minimalną wartość wskaźnika transmisji mowy *JND STI (Just Noticeable Difference STI)* równą 0,03 [10]. Należy mieć na uwadze błąd pomiaru, który w rozpatrywanej metodzie wg [5], określony przez typowe odchylenie standardowe, przyjęto jako równy 0,02 dla sygnału pseudolosowego, czasu pomiaru 10 s, głośnika o zbliżonej charakterystyce kierunkowej do ust człowieka i poziomu dźwięku A 60 dB określonego w odległości 1 m od głośnika.

Metoda badań

W badaniach zastosowano metodę empiryczną, gdyż spodziewano się niewielkich różnic określanych parametrów, a metody obliczeniowe nie zapewniają dostatecznej wiarygodności wyników. Pomiaru wykonano w dziewięciu punktach jednego pomieszczenia na wysokości 1,2 m. Wyniki dla częstotliwości środkowych pasm oktaowych z zakresu 125 – 8000 Hz podano jako średni w całym pomieszczeniu czas pogłosu T_{sr} oraz średnią z wartości w całym pomieszczeniu STI_{sr} i podano rozkład tego parametru w pomieszczeniu.

Badania przeprowadzono w jednym pomieszczeniu o wymiarach ok. 14 x 5 x 3 m ($V = 210 \text{ m}^3$, pole powierzchni całkowitej pomieszczenia $S_v = 254 \text{ m}^2$). Na ścianach i suficie pomieszczenia nie było miękkich elementów. Znajdowały

Tabela 1. Maksymalna wartość czasu pogłosu pomieszczenia T oraz minimalna wartość wskaźnika transmisji mowy STI w przypadku pomieszczeń o kubaturze do 500 m³ przeznaczonych do prezentacji słownej [4]

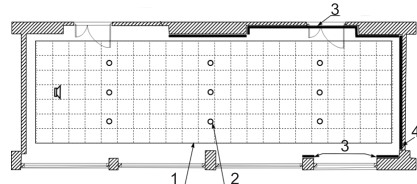
Maksymalna wartość czasu pogłosu pomieszczenia T [s], przy częstotliwości						Minimalna wartość wskaźnika transmisji mowy STI
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
≤ 1	≤ 0,8					≥ 0,6

* Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Pracownia Zwalczania Hałasu Zakładu Zagrożeń Wibroakustycznych

się w nim stoły, szafy oraz tapicerowane krzesła. Na fotografii pokazano widok pomieszczenia od strony wykładowcy, a na rysunku 1 rzut pomieszczenia z naniesionymi adaptacjami sufitu oraz ścian (bocznych i tylnej) i zaznaczono punkty pomiarowe.



Widok pomieszczenia po wykonaniu adaptacji akustycznej [Fot. Autor]

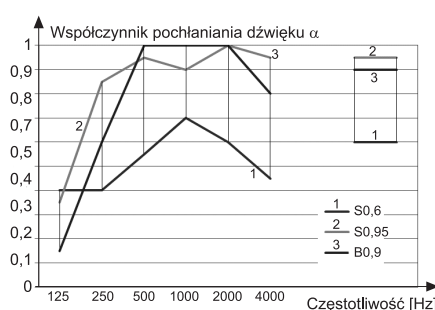


Rys. 1. Rzut pomieszczenia z naniesionymi punktami pomiarowymi i zaznaczonymi wyrobami dźwiękochłonnymi: 1 – dźwiękochłonny sufit podwieszany; 2 – punkt pomiarowy; 3 – panele na ścianach bocznych; 4 – panel na ścianie tylnej

Pomiary wskaźnika transmisji mowy STI wykonano metodą określoną w PN-EN 60268-16:2011 [5], z wykorzystaniem odpowiedzi impulsowej pomieszczenia i sygnału MLS. Czas pogłosu przy częstotliwości 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz określono metodą szumu przerywanego podaną w PN-EN ISO 3382-2:2010 [6]. Do pomiarów zastosowano kierunkowe źródło dźwięku – sztuczne usta (wskaźnik transmisji mowy STI) oraz źródło wszechkierunkowe (czas pogłosu).

W każdym punkcie pomiarowym pomiary przeprowadzono siedmiokrotnie. Dwa skrajne wyniki odrzucano. Jeżeli maksymalna różnica wartości z pozostałych pięciu wyników pomiarów była większa niż 0,03 w przypadku wskaźnika transmisji mowy oraz 10% w przypadku czasu pogłosu, pomiary powtarzano. W przeciwnym przypadku wynik uśredniano, a wartość zaokrąglano do dwóch cyfr po przecinku.

Do adaptacji akustycznej pomieszczeń zastosowano wyroby dźwiękochłonne, których współczynnik pochłaniania dźwięku α pokazano na rysunku 2. Pole powierzchni zastosowanych wyrobów



Rys. 2. Współczynnik pochłaniania dźwięku α wyrobów dźwiękochłonnych zastosowanych w dźwiękochłonnym suficie podwieszanym i w dźwiękochłonnych panelach ściennych: S0,6 – panel w suficie podwieszanym o współczynniku pochłaniania dźwięku 0,6; S0,95 – panel w suficie podwieszanym o współczynniku pochłaniania dźwięku 0,95; B0,9 – panel ścienny o współczynniku pochłaniania dźwięku 0,9 (wg Ecophon)

dźwiękochłonnych wynosiło: w suficie – 48 m², w ścianie tylnej – 6,5 m²; w ścianach bocznych (łącznie) – 6,5 m².

Wyniki badań

W tabeli 2 podano wyniki pomiarów wskaźnika transmisji mowy STI (wartości średniej arytmetycznej w pomieszczeniu STI_{sr} , wartości minimalnej w pomieszczeniu STI_{min} i wartości maksymalnej w pomieszczeniu STI_{max}) oraz wartości średniej czasu pogłosu pomieszczenia T_{sr} (przy częstotliwościach: 125, 250 i 1000 Hz – $T_{sr,125\text{ Hz}}$, $T_{sr,250\text{ Hz}}$ i $T_{sr,1000\text{ Hz}}$), dla różnych wariantów adaptacji akustycznej. Na rysunkach 3 i 5 podano rozkłady wskaźnika transmisji mowy STI w pomieszczeniu, a na rysunkach 4 i 6 średnich wartości czasu pogłosu T_{sr} w funkcji częstotliwości.

Tabela 2. Średnie z pomiarów wskaźnika transmisji mowy i czasu pogłosu przy częstotliwości 125, 250, 1000 Hz dla różnych wariantów adaptacji akustycznej

Sufit dźwiękochłonny o współczynniku pochłaniania dźwięku α	Adaptacja ściany tylnej	Adaptacja ścian bocznych (rys. 1)	Wypośażenie pomieszczenia (szafy, stoliki, fotele itd.)	Średni wskaźnik transmisji mowy w pomieszczeniu STI_{sr}	Minimalny wskaźnik transmisji mowy w pomieszczeniu STI_{min}	Maksymalny wskaźnik transmisji mowy w pomieszczeniu STI_{max}	Średni czas pogłosu w pomieszczeniu $T_{sr,125\text{ Hz}}$ [s]	Średni czas pogłosu w pomieszczeniu $T_{sr,250\text{ Hz}}$ [s]	Średni czas pogłosu w pomieszczeniu $T_{sr,1000\text{ Hz}}$ [s]
–	–	–	+	0,63	0,60	0,69	1,83	1,4	0,79
–	–	–	–	0,52	0,48	0,58	3,19	2,6	1,42
–	+	+	–	0,60	0,56	0,67	2,35	1,7	0,92
0,6	–	–	–	0,67	0,62	0,74	1,77	0,8	0,73
0,6	+	+	–	0,72	0,68	0,78	1,66	0,7	0,47
0,95	+	–	–	0,69	0,61	0,79	1,08	0,5	0,59
0,95	–	+	–	0,70	0,62	0,80	1,05	0,4	0,64
0,95	+	+	–	0,73	0,67	0,81	1,12	0,4	0,47
0,95	+	+	+	0,76	0,72	0,85	0,64	0,4	0,41

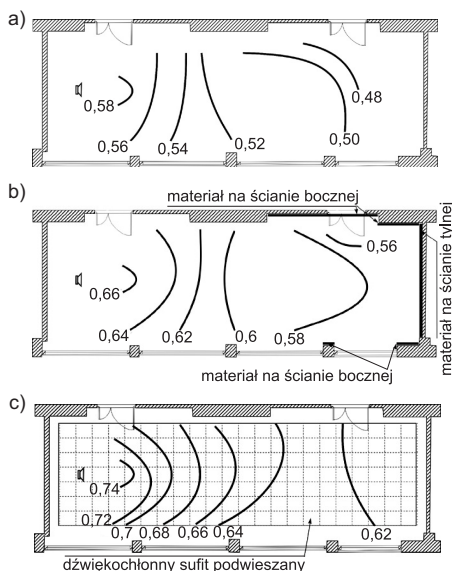
Oznaczenia: „+” – zastosowano; „–” – nie zastosowano

Wpływ wyposażenia w pomieszczeniu bez adaptacji akustycznej.

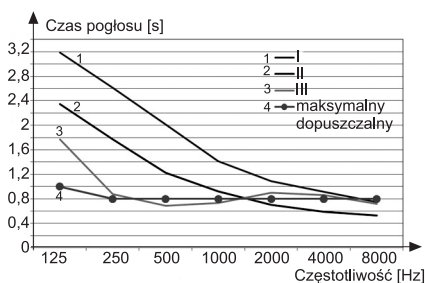
W pomieszczeniu bez adaptacji i bez wyposażenia średni wskaźnik transmisji mowy STI_{sr} był równy 0,52 (minimalny 0,48), a z wyposażeniem (szafami, stołami, fotelami itp.) – równy 0,63 (minimalny 0,60). Średni czas pogłosu pomieszczenia bez wyposażenia przy częstotliwości 125, 250 i 1000 Hz wynosił 3,19 s, 2,61 s, 1,42 s, a z wyposażeniem 1,83 s, 1,44 s, 0,79 s. Oznacza to, że w pomieszczeniu bez adaptacji (z wyposażeniem) warunki akustyczne są nieco poniżej przyjętych wartości kryterialnych (szczególnie dotyczy to czasu pogłosu w zakresie częstotliwości poniżej 1000 Hz). Ponadto można zauważyć, że wyposażenie pomieszczenia bez adaptacji znacznie poprawia warunki akustyczne pod względem komunikacji słownej (średni wskaźnik transmisji mowy jest o 0,11 większy w pomieszczeniu z wyposażeniem, a średni czas pogłosu dla częstotliwości 1000 Hz jest mniejszy o 0,63 s).

Wpływ wyposażenia w pomieszczeniu z adaptacją akustyczną.

W pomieszczeniu z adaptacją sufitu S0,95 oraz ścian bocznych i tylnej: bez wyposażenia średni wskaźnik transmisji mowy STI_{sr} wynosił 0,73 (minimalny w pomieszczeniu 0,67), a z wyposażeniem – 0,76 (minimalny 0,72). Średni czas pogłosu pomieszczenia bez wyposażenia przy częstotliwości 125, 250 i 1000 Hz to 1,12 s, 0,46 s, 0,47 s, a z wyposażeniem 0,64 s, 0,43 s, 0,41 s. Przyjmując wartości podane w tabeli 1, pomieszczenie bez wyposażenia z adaptacją akustyczną nie



Rys. 3. Wpływ zastosowania paneli dźwiękochłonnych w suficie podwieszonym lub ścianach tylnej i bocznych na rozkład wskaźnika transmisji mowy w pomieszczeniu bez wyposażenia: a – bez adaptacji akustycznej ($STI_{sr} = 0,52$); b – z adaptacją ścian bocznych i tylnej ($STI_{sr} = 0,60$); c – z adaptacją sufitu S0.6 ($STI_{sr} = 0,67$)



Rys. 4. Wpływ zastosowania paneli dźwiękochłonnych na suficie lub ścianach tylnej i bocznych w pomieszczeniu bez wyposażenia na czas pogłosu przy różnej częstotliwości: I – bez adaptacji akustycznej; II – z adaptacją ścian bocznych i tylnej; III – z adaptacją sufitu S0.6

spełnia kryterium dotyczącego czasu pogłosu tylko przy częstotliwości 125 Hz (przekroczenie wartości o 10%), natomiast kryterium dotyczące wskaźnika transmisji mowy spełnia, a nawet je znacznie przekracza. W pomieszczeniu z wyposażeniem i adaptacją akustyczną wszystkie kryteria są spełnione, a uzyskane wartości wskaźnika transmisji mowy (STI_{sr} (średnia 0,76, minimalna 0,72, a maksymalna 0,85) wg normy [5] pozwalają akustykę do komunikacji słownej określić jako wysmienią.

Wpływ adaptacji akustycznej na suficie lub ścianach bocznych w pomieszczeniu bez wyposażenia. Na rysunkach 3 i 4 podano wyniki pomia-

rów w przypadku pomieszczenia bez wyposażenia:

- bez adaptacji;
- z adaptacją ścian (bocznych i tylnej);
- z adaptacją sufitu S0.6 (współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha = 0,6$).

Średnie wartości wskaźnika transmisji mowy wynosiły odpowiednio 0,52, 0,60, 0,67, a wartości minimalne w pomieszczeniu odpowiednio 0,48, 0,56 i 0,62. Wynika z tego, że biorąc pod uwagę średni wskaźnik transmisji mowy STI_{sr} pomieszczenie spełnia kryterium (nawet bez wyposażenia). Jednak po adaptacji samych ścian średnia wartość wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} jest na granicy kryterium, tj. 0,60, natomiast jego wartość minimalna wynosi 0,56. W prezentowanym przypadku na 9 punktów, w których wykonano badania, w trzech kryterium było spełnione, w dwóch było na granicy dopuszczalnego, a w czterech – poniżej dopuszczalnego. Rozpatrując czas pogłosu, tylko przy adaptacji akustycznej ścian lub tylko sufitu (S0,6), w obu przypadkach jego wartość przekraczała wartości dopuszczalne w szerokim zakresie częstotliwości. Trzeba jednak zaznaczyć, że zastosowanie dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego o współczynniku pochłaniania dźwięku 0,6 nie spełnia kryterium dotyczącego czasu pogłosu przy częstotliwości 250, 2000 i 4000 Hz tylko o 10%, a przy częstotliwości 125 Hz – o 80%. Po zastosowaniu wyposażenia we wnętrzu (w tabeli 1 podane są wartości dopuszczalne z uwzględnieniem wyposażenia), w przypadku sufitu o współczynniku pochłaniania dźwięku 0,6, kryterium dotyczące czasu pogłosu prawdopodobnie będzie spełnione poza częstotliwością 125 Hz. Przy tym zakresie częstotliwości poprawę chłonności akustycznej pomieszczenia można uzyskać, zwiększając odległość sufitu podwieszanego od stropu (w badaniach wynosiła tylko 15 cm).

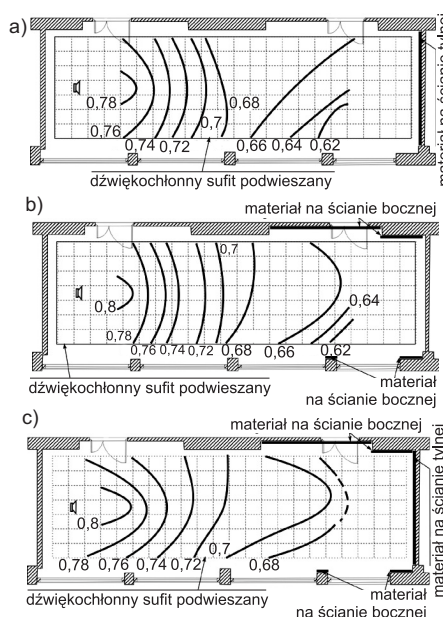
Sama adaptacja akustyczna ścian pomieszczenia (współczynnik pochłaniania dźwięku wyrobów 0,9 o powierzchni 13 m²) nie pozwoliła więc uzyskać odpowiednich warunków akustycznych, natomiast zastosowanie dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego o polu powierzchni 48 m² i współczynniku pochłaniania dźwięku 0,6, po uwzględnieniu wyposażenia i zastosowaniu większej odległości sufitu od stropu, w większości przypadków umożliwi osiągnięcie zadowalających wyników.

Wpływ adaptacji akustycznej w postaci różnych sufitów podwieszanych w pomieszczeniu bez wyposażenia oraz ze ścianą boczną i tylną pokrytą panelami dźwiękochłonnymi. Dokonano pomiarów w pomieszczeniu bez wyposażenia z adaptacją akustyczną ścian i zastosowaniu dwóch dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych o współczynnikach pochłaniania dźwięku: S0.6 równym $\alpha = 0,6$ oraz S0.95 równym $\alpha = 0,95$. Można więc stwierdzić, że w przypadku stosowania wyrobów dźwiękochłonnych jednocześnie na suficie i ścianach nie ma istotnej różnicy między stosowaniem na sufitach wyrobów o współczynniku $\alpha = 0,6$ czy 0,9.

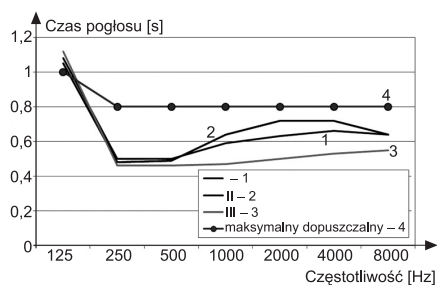
Wpływ adaptacji akustycznej sufitu oraz różnych ścian pomieszczenia bez wyposażenia. Na rysunkach 5 oraz 6 przedstawiono wyniki pomiarów w przypadku trzech wariantów pomieszczenia bez wyposażenia z adaptacją sufitu (sufit dźwiękochłonny S0.95 – 48 m² o współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha = 0,95$) oraz:

- adaptacja ściany tylnej (6,5 m²);
- adaptacja ścian bocznych (6,5 m²);
- adaptacja ścian bocznych (6,5 m²) i tylnej (6,5 m²).

Jak już wspomniano, adaptacja sufitu znacznie poprawia warunki akustyczne



Rys. 5. Wpływ zastosowania różnych adaptacji ścian w pomieszczeniu z sufitem podwieszonym S0.95 na rozkład wskaźnika transmisji mowy w pomieszczeniu: a) adaptacja akustyczna ściany tylnej ($STI_{sr} = 0,69$); b) adaptacja akustyczna ściany bocznej ($STI_{sr} = 0,70$); c) adaptacja akustyczna ściany bocznej i tylnej ($STI_{sr} = 0,73$)



Rys. 6. Wpływ różnych adaptacji ścian w pomieszczeniu z sufitem podwieszanym S0.95 na czas pogłosu pomieszczenia: I – adaptacja akustyczna ściany tylnej, II – adaptacja akustyczna ściany bocznej, III – adaptacja akustyczna ściany bocznej i tylnej

pomieszczenia. Badania wpływu położenia paneli dźwiękochłonnych o powierzchni 6,5 m² na ścianie tylnej lub ścianach bocznych nie wykazały istotnych różnic (średnia i minimalna wartość wskaźnika transmisji mowy STI różni się o ok. 0,01, a minimalna identyfikowalna wartość różnicy tego wskaźnika to 0,03). Dopiero jednoczesne zastosowanie adaptacji akustycznej na ścianie tylnej i bocznych, tj. zastosowanie łącznie 13 m² wyrobów dźwiękochłonnych na obu ścianach przy już zamontowanym suficie dźwiękochłonnym S0.95, poprawiło średnią wartość wskaźnika transmisji mowy w pomieszczeniu o 0,04. Podobny wynik można zaobserwować w czasach pogłosu.

Podsumowanie

Standardowe wyposażenie umieszczone w pustym nieadaptowanym akustycznie pomieszczeniu powoduje wzrost średniej wartości wskaźnika transmisji mowy z 0,52 do 0,63 oraz zmniejszenie czasu pogłosu przy 1000 Hz z 1,42 s do 0,79 s. Powoduje to znaczną poprawę komfortu akustycznego w pomieszczeniu pod względem zrozumiałości mowy. Mimo iż w pomieszczeniu z wyposażeniem średnia wartość wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} jest większa od przyjętego kryterium (0,6), to z rozkładu tego wskaźnika wynika, że tylko w pobliżu mówiącego wartość tego wskaźnika wyraźnie (tj. więcej niż 0,03) przekracza wartość minimalną podaną w normie jako kryterium. Ponadto czas pogłosu przy częstotliwościach 125, 250 i 500 Hz nie spełnia kryterium, dlatego też pomieszczenie należy adaptować akustycznie.

W przypadku pomieszczenia, w którym zamontowano dźwiękochłonny sufit podwieszany oraz dźwiękochłonne panele na ok. 30% wolnej powierzchni

ściany tylnej i jednej bocznej (o współczynniku pochłaniania dźwięku 0,9) uzyskano wysoki komfort akustyczny (średni w pomieszczeniu wskaźnik transmisji mowy większy lub równy 0,76, a czasy pogłosów spełniają kryterium). Wstawienie wyposażenia powoduje wzrost średniej wartości wskaźnika transmisji mowy z 0,73 do 0,76. Wzrost ten jest na granicy zidentyfikowania go słuchowo przez przeciętnego słuchacza. Z rozkładu w pomieszczeniu wskaźnika transmisji mowy widać, że nawet w dużej odległości od mówiącego przekracza on wartość 0,70, a więc zapewnia bardzo dobre warunki akustyczne.

Adaptacja akustyczna pomieszczenia powinna w pierwszej kolejności obejmować zastosowanie dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego (nawet sufitu dźwiękochłonnego o przeciętnych właściwościach akustycznych, tj. o współczynniku pochłaniania dźwięku α ok. 0,6). Następuje wówczas wzrost średniego wskaźnika transmisji mowy w pomieszczeniu z 0,52 do 0,67, natomiast po adaptowaniu tylko obu ścian pomieszczenia (nawet materiałem o bardzo dobrych właściwościach akustycznych – współczynniku pochłaniania dźwięku α 0,9) wartość tego wskaźnika zwiększa się tylko z 0,52 do 0,60. Adaptacja akustyczna samych ścian nie pozwala uzyskać również wartości czasu pogłosu poniżej przyjętego kryterium. Dźwiękochłonny sufit podwieszany daje jeszcze lepsze efekty w dużej odległości od mówiącego. Wartości wskaźnika transmisji mowy STI po adaptacji wynoszą odpowiednio: adaptacja sufitu – 0,62; adaptacja ścian 0,56 (względem 0,48 przed adaptacją akustyczną). Można również zauważyć, że adaptacja tylko obu ścian (co prawda bez wyposażenia) nie pozwala uzyskać wartości powyżej kryterium (0,6) nawet w środku pomieszczenia.

Wyniki badań dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych, jeden o α 0,6, a drugi – 0,95, o powierzchni 48 m², zamontowanych w pomieszczeniu, w którym znajduje się 13 m² wyrobów dźwiękochłonnych na ścianach, nie dają podstaw do stwierdzenia, w którym przypadku uzyskano lepszą zrozumiałość mowy. Zaleca się jednak używanie materiałów dźwiękochłonnych o współczynniku pochłaniania dźwięku 0,95. Należy też dodać, że w badaniach nie stwierdzono istotnej różnicy właściwości akustycznych pomieszczenia w przypadku, gdy ten

sam materiał dźwiękochłonny umieszczano na ścianie tylnej lub ścianach bocznych. Dopiero jednoczesne zastosowanie materiałów dźwiękochłonnych o powierzchni 13 m² spowodowało zauważalne polepszenie warunków akustycznych pomieszczenia, w którym był już zamontowany dźwiękochłonny sufit podwieszany o powierzchni 48 m².

Publikacja została opracowana na podstawie wyników II i III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011–2013 oraz 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. Autor dziękuje Panu Jerzemu Kozłowskiemu i Pani Izabeli Jakubowskiej za pomoc w wykonaniu pomiarów oraz Panu Mikołajowi Jaroszowi za pomoc w doborze materiałów do wykonania adaptacji akustycznej.

Literatura

- [1] Augustyńska D., Mikulski W., Radosz J., Ocena narażenia na hałas nauczycieli na przykładzie 3 szkół podstawowych w Warszawie, Bezpieczeństwo Pracy, 2011,
- [2] Mikulski W., Radosz J., Kozłowski J., Projekt II.B.04. Badania parametrów akustycznych charakteryzujących pomieszczenia przeznaczone do komunikacji słownej w aspekcie poprawy warunków pracy na stanowiskach pracy, Etap I i II, w ramach II etapu programu wieloletniego *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy*, CIOP-PIB, 2011-2013.
- [3] Mikulski W., Radosz J., Acoustics of classrooms in primary schools – result of the reverberation time and the speech transmission index assessments in selected buildings, Archives of Acoustics, 36, 4, 777-794, 2011.
- [4] prPN-B-02151-4 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach.
- [5] PN-EN 60268-16: 2011 Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy.
- [6] PN-EN ISO 3382-2: 2010 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach.
- [7] Szudrowicz B.; Normowanie wartości czasu pogłosu w pomieszczeniach – założenia do normy. Materiały Budowlane 8/2009; str. 9 – 12.
- [8] Szudrowicz B., Nowica E.; Nowelizacja krajowych norm dotyczących akustyki budowlanej. Izolacje 5/2014; str. 28 – 33.
- [9] Szudrowicz B., Niemas M.; Wpływ sufitów podwieszanych na kształtowanie warunków akustycznych w pomieszczeniach. Materiały Budowlane 3/2006; str. 51 – 55.
- [10] Sato H., Bradley J. S., Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school classrooms, Journal of the Acoustical Society of America, 123 (4), 2064 – 2077, 2008.