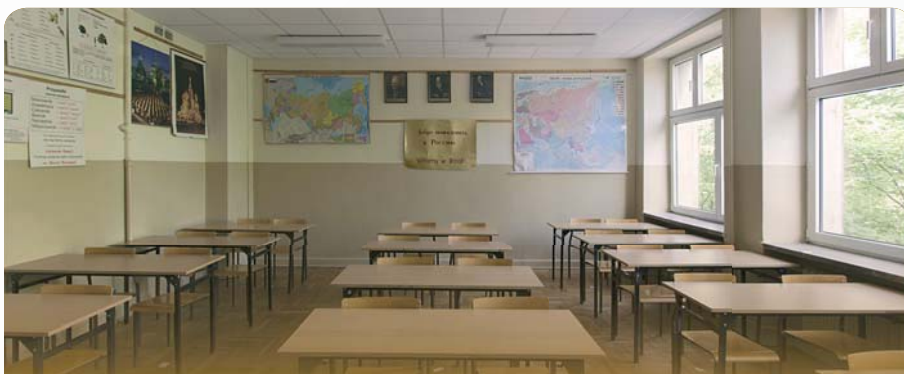


dr inż. WITOLD MIKULSKI
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: wimik@ciop.pl

Wpływ dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych na właściwości akustyczne sal lekcyjnych

Fot. Autor



W artykule podano wyniki pomiarów czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy w 8 typowych salach lekcyjnych szkół, przed i po zainstalowaniu w nich dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych. Przed zastosowaniem tych sufitów sale nie spełniały warunków akustycznych, tzn. był w nich zbyt długi czas pogłosu, przy jednoczesnej minimalnej zrozumiałości mowy (i to tylko w 2 z 8). Wynika z tego, że przed zastosowaniem dźwiękochłonnych sufitów warunki akustyczne w salach nie zapewniały dobrych warunków do nauki. Po zastosowaniu dźwiękochłonnych sufitów właściwości akustyczne sal diametralnie się poprawiły, co znalazło odzwierciedlenie w zmierzonych wartościach czasów pogłosu oraz wskaźnikach transmisji mowy STI, które już spełniały zadane kryteria. Ponadto właściwości akustyczne sal tak bardzo się poprawiły, że można w 4 salach zrozumiałość mowy uznać za doskonałą, a w pozostałych 4 za dobrą, bliską doskonałej.

Słowa kluczowe: akustyka sal lekcyjnych, dźwiękochłonność, transmisja mowy

Work-related sick absence management in Polish enterprises in the light of European research

This article presents the results of measurements of reverberation time and speech transmission index STI in eight typical school classrooms before and after suspended ceilings have been installed. Without those ceiling, the rooms did not fulfil acoustic conditions, i.e., reverberation time was too long and, at the same time, only two classrooms had minimum speech intelligibility. It follows that before acoustic treatment, the classrooms did not provide good learning conditions. After acoustic treatment, the acoustic conditions radically improved, as the measured values of reverberation time and speech transmission index STI showed; they now satisfied the specified criteria. Moreover, the acoustic properties of the classrooms improved so much that four classrooms had excellent intelligibility and the other four good, near-excellent intelligibility.

Keywords: classroom acoustics, sound absorption, speech transmission

Wstęp

Nauczyciele to jedna z najliczniejszych grup zawodowych w Polsce. W środowisku ich pracy nie tylko nie powinny występować zagrożenia i nieakceptowalne uciążliwości, ale musi ono także umożliwiać podstawową funkcję ich pracy, to jest możliwość nauczania. Najczęstszą metodą nauczania jest przekazywanie wiedzy drogą werbalną. Nauczyciel przekazuje treści poprzez mowę – informacja, którą chce przekazać, jest przetwarzana i emitowana w postaci

dźwięków przez jego narząd głosu. Dźwięki te rozprzestrzeniają się, docierając m.in. do odbiorcy (ucznia), a następnie są odbierane przez jego narząd słuchu i przetwarzane na informację. Na każdym etapie tego procesu przekaz ulega zniekształceniu, zwykle nie na tyle dużemu, aby uniemożliwić jego zrozumienie.

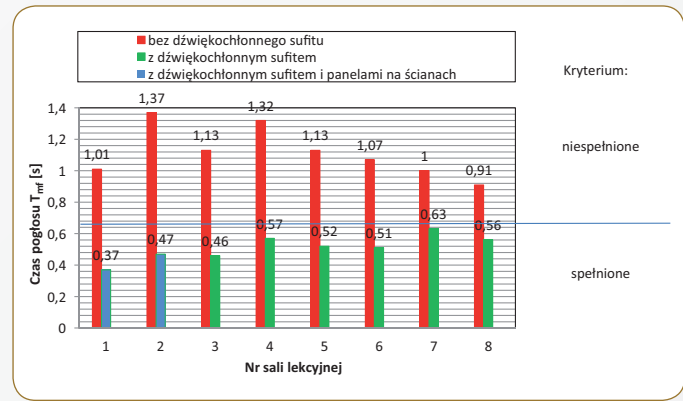
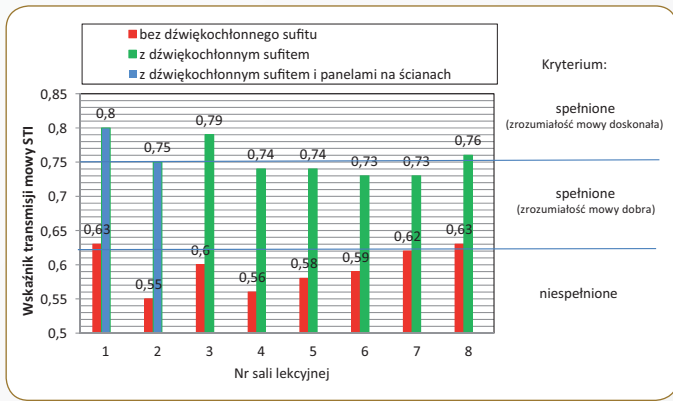
Ten bardzo uproszczony schemat przekazywania treści drogą słowną nie obejmuje bardzo skomplikowanego i mającego ogromne znaczenie procesu psychoakustycznego. W artykule

rozpatrywany jest aspekt związany z propagacją w powietrzu dźwięku (zawierającego treść słowną) między mówiącym (nauczyciel) i słuchaczem (uczeń). W czasie tego procesu (zwykle w pomieszczeniu) dźwięk dochodzi do słuchacza bezpośrednio praktycznie niezniekształcony, a tylko nieco słabszy (mniejszy poziom), po odbiciu się od ścian pomieszczenia. Dźwięki odbite (przez to zniekształcone m.in. częstotliwościowo) dochodzą do odbiorcy po dłuższym czasie (wywołując u niego wrażenie pogłosu pomieszczenia). Zbyt duża liczba dźwięków odbitych w stosunku do dźwięku bezpośredniego wpływa na znaczne zniekształcenie przekazywanej treści.

Wynika z tego, że w pomieszczeniach, w których przekazywana jest mowa, takich jak sale lekcyjne, powinno się zapewnić skuteczne tłumienie dźwięków odbitych. Można to osiągnąć za pomocą dużego pochłaniania dźwięków odbitych od ścian, sufitów i podłóg pomieszczeń. Jednakże trzeba brać także pod uwagę fakt, iż zbyt duże tłumienie dźwięków odbitych może doprowadzić w dużych pomieszczeniach do tego, że w ich tylnej części będzie za cicho, co spowoduje zmniejszenie zrozumiałości mowy. Ten efekt w artykule nie jest rozpatrywany, ponieważ typowe sale lekcyjne mają objętość ok. 150 m³ i są zbyt małe, aby zjawisko to wystąpiło.

Parametrami stosowanymi do akustycznej oceny i kwalifikacji pomieszczenia pod względem zapewnienia w nim wystarczających warunków do zawodowego nauczania (przy wykorzystaniu komunikacji słownej) są [1]: wskaźnik transmisji mowy STI [2] i czas pogłosu pomieszczenia [3].

W artykule przedstawione zostały wyniki oceny akustycznej 8 typowych sal lekcyjnych, przed i po instalacji w nich dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych (w dwóch salach także paneli dźwiękochłonnych na ścianach). Ocenę przeprowadzono porównując średnie wartości i rozkłady w pomieszczeniu wartości czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy STI z ich wartościami dopuszczalnymi określonymi w normach i wytycznych technicznych pomieszczeń.



Rys. 1. Średnie wskaźniki transmisji mowy STI w salach lekcyjnych, bez i z dźwiękochłonnymi sufitami podwieszanymi (w salach nr 1 i 2 także z panelami dźwiękochłonnymi na ścianach)
 Fig. 1. Mean values of speak transmission index STI in classrooms, before and after acoustic treatment (suspended ceiling, as well as soundproof panels on the walls of classroom no. 1 and 2.)

Rys. 2. Średnie w salach lekcyjnych czasy pogłosu T_{mf} bez i z dźwiękochłonnymi sufitami podwieszanymi (w salach nr 1 i 2 także panelami dźwiękochłonnymi na ścianach)
 Fig. 2. Mean values of reverberation time T_{mf} in classrooms, before and after acoustic treatment (suspended ceiling, as well as soundproof panels on the walls of classroom no. 1 and 2.)

Kryterium oceny i kwalifikacji akustycznej sal pod względem zapewnienia w nich wystarczających warunków akustycznych do komunikacji słownej

Kryterium oceny i kwalifikacji akustycznej sal, pod względem zapewnienia w nich wystarczających warunków do zawodowego nauczania metodą komunikacji słownej, oparte jest na dwóch parametrach akustycznych wyznaczanych pomiarowo: wskaźniku transmisji mowy STI [2] i czasie pogłosu (ten ostatni w oktawowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych z zakresu 125-4000 Hz), [3].

Zalecana wartość wskaźnika transmisji mowy STI sal lekcyjnych powinna być równa lub większa od 0,62 [2]. W niektórych źródłach [4] podaje się, że zrozumiałość mowy jest mniejsza, gdy odbiorca nie zna słów. Dlatego dla dzieci młodszych uczących się w klasach 1-3 oraz dla osób uczących się języków obcych, powinno się przyjmować wyższą wartość wskaźnika transmisji mowy STI (autor proponuje przyjęć wartość kryterialną 0,70), [5]. Porównując wartość zmierzoną w sali z wartością kryterialną kwalifikuje się salę pozytywnie lub negatywnie. Dodatkowo, w normie podano związek między zrozumiałością mowy i wartością wskaźnika transmisji mowy [2]. W zakresie, w którym sala spełnia ww. wymogi (ocena pozytywna zrozumiałości mowy), zrozumiałość mowy ocenia się jako *dobrą* (dla wartości wskaźnika transmisji mowy STI z zakresu 0,62-0,75), lub *doskonale* (w zakresie wartości wskaźnika transmisji mowy STI 0,75-1).

Wartość czasu pogłosu w paśmie częstotliwości od 125 Hz do 4000 Hz (w tym tzw. T_{mf} , tzn. średnia wartość czasu pogłosu z oktawowych pasm częstotliwości o częstotliwościach środkowych 500, 1000, 2000 Hz) w sekundach, powinna wg [6] być nie większa niż 0,65 s.

W dalszej części tekstu dla wyznaczanych wielkości podano średnie wartości: czasu pogłosu T_{mf} i wskaźnika transmisji mowy STI.

Metoda badań

Pomiary wskaźnika transmisji mowy STI wykonano metodą określoną w PN-EN 60268-16:2011 [2]. Do pomiarów zastosowano źródło kierunkowe – sztuczne usta.

Pomiary czasu pogłosu pomieszczenia T_{mf} wykonano metodą określoną w PN-EN ISO 3382-2:2010 [3]. Mierzono czas pogłosu w oktawowych pasmach częstotliwości tzw. $T_{p,30}$ (z którego obliczano czas pogłosu T_{mf}). Do pomiarów zastosowano źródło wszechkierunkowe.

W przypadkach obu parametrów zastosowano metodę impulsową z wykorzystaniem sygnału MLS (Maximum Length Sequence – cyfrowy sygnał pseudolosowy, składający się z sekwencji kolejnych próbek przełączanych pseudolosowo pomiędzy dwoma wartościami, który brzmi jak szum).

Pomiary wykonano przy jednym położeniu źródła akustycznego (w którym najczęściej przebywa nauczyciel), a 9 punktów pomiarowych rozmieszczono równomiernie w obszarze, w którym zwykle znajdują się uczniowie. Dziewięć wartości rozpatrywanych parametrów zastosowano do określenia: średniej (arytmetycznej) w pomieszczeniu wartości czasu pogłosu T_{mf} i średniej (arytmetycznej) w pomieszczeniu wartości wskaźnika transmisji mowy STI oraz rozkładu w sali wartości wskaźnika transmisji mowy STI.

Pomiary wykonano bez obecności ludzi. Wykonano je przed i po wykonaniu dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego (w salach nr 1 i 2 także paneli dźwiękochłonych o (ważnym) współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,90$ na ścianach i o polu powierzchni: sala nr 1 – 13 m², sala nr 2 – 10 m²) [5]. W sufitach podwieszanych znajdowały się panele z materiału dźwiękochłonnego o współczynniku

pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,90$, o łącznej powierzchni w każdej sali ok. 47 m².

Celem badań było określenie skuteczności takiego rozwiązania technicznego [7, 8].

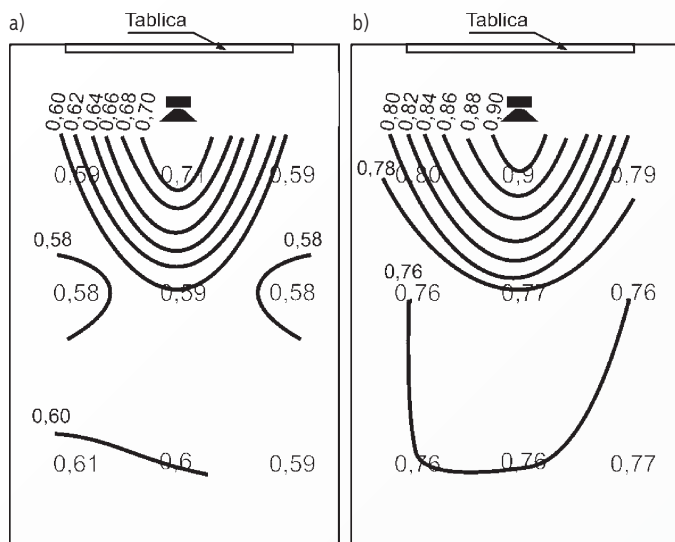
Wyniki badań

Wyniki pomiarów wartości średnich w salach wskaźnika transmisji mowy STI przed i po wykonaniu dźwiękochłonych sufitów podwieszanych (w salach nr 1 i 2 także paneli dźwiękochłonych na ścianach) pokazano na rys. 1. Natomiast na rys. 2. przedstawiono wyniki pomiarów wartości średnich w salach czasu pogłosu T_{mf} przed i po wykonaniu dźwiękochłonych sufitów podwieszanych (w salach nr 1 i 2 także paneli dźwiękochłonych na ścianach).

Przykład rozkładu w sali nr 3 wskaźnika transmisji mowy STI bez i z dźwiękochłonnym sufitem podwieszanym zaprezentowano na rys. 3.; sala lekcyjna z dźwiękochłonnym sufitem podwieszanym jest widoczna na zdjęciu.

Wnioski z badań

Przed wykonaniem dźwiękochłonych sufitów podwieszanych (w salach nr 1 i 2 także paneli dźwiękochłonych na ścianach) średnie w salach wartości wskaźnika transmisji mowy STI zawierały się w zakresie 0,55÷0,63. W 5 na 8 przypadkach ich wartości są mniejsze, jedna jest na granicy, w 2 minimalnie powyżej kryterialnej wartości minimalnej (0,62). Z przykładowego typowego rozkładu w sali wartości wskaźnika transmisji mowy STI (sala nr 3, rys. 3a), można zauważyć, że większość uczniów (poza znajdującymi się w odległości mniejszej niż ok. 2 m od nauczyciela) jest w obszarze, gdzie wartości tego wskaźnika są mniejsze od kryterialnego (0,62), w szczególności ok. 0,58. Średnie w salach wartości czasów pogłosu T_{mf} przed wykonaniem dźwiękochłonych sufitów podwieszanych (w salach nr 1 i 2 także paneli dźwiękochłonych na ścianach),



Rys. 3. Wyniki pomiarów rozkładów w sali lekcyjnej 3 wartości wskaźnika transmisji mowy STI: a) bez, b) z dźwiękochłonnym sufitem podwieszanym
 Fig. 3. The distribution of speech transmission index (STI) in classroom 3: a) before, and b) after acoustic treatment (suspended ceiling)



Fot. Sala lekcyjna nr 3 z zainstalowanym dźwiękochłonnym sufitem podwieszanym (fot. autora)
 Photo. Classroom 3 with suspended ceiling

zawierały się w zakresie 0,91÷1,37 s i przekraczały kryterialną wartość maksymalną (0,65 s). Dlatego w rozpatrywanych salach konieczne było wykonanie dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych.

Po instalacji dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych średnie w salach wartości wskaźnika transmisji mowy STI zawierają się w zakresie 0,73÷0,79 (w salach nr 1 i 2 także z panelami dźwiękochłonnymi na ścianach 0,75÷0,8). Spełniają więc przyjęte kryterium (mają większą wartość niż minimalna 0,62). Można także stwierdzić, że zrozumiałość mowy w 4 salach (nr: 1, 2, 3, 8) jest doskonała (STI ≥ 0,75), w pozostałych 4 jest dobra i bliska doskonałej (STI – 0,75). Przykładowy typowy rozkład w sali wartości wskaźnika transmisji mowy STI pokazano w sali nr 3 na rys. 3b. Można tam zauważyć, że w sali tej wszyscy uczniowie znajdują się w obszarze, gdzie wartości tego wskaźnika nie tylko spełniają kryterium (są większe od 0,62), ale także zrozumiałość mowy jest doskonała (przekracza wartość 0,75). Średnie w salach wartości czasów pogłosu T_{int} po wykonaniu dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych, zawierają się w zakresie 0,46÷0,63 s (w salach nr 1 i 2 także panelami dźwiękochłonnymi na ścianach 0,37÷0,47) i są mniejsze od kryterialnej wartości maksymalnej (0,65 s).

Podsumowanie

Salę lekcyjne w szkołach powinny mieć odpowiednie właściwości akustyczne, umożliwiające przekazywanie w nich wiedzy metodą komunikacji słownej z zadowalającą zrozumiałością mowy. W tym celu powinny spełniać warunki techniczne określone dwoma parametrami: czasem pogłosu i wskaźnikiem transmisji mowy STI.

Zastosowanie dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych diametralnie poprawiło

warunki akustyczne w rozpatrywanych salach. Po adaptacji w żadnej sali czas pogłosu nie przekroczył dopuszczalnego (0,65 s), a jednocześnie we wszystkich salach wskaźnik transmisji mowy STI był znacznie większy od minimalnego dopuszczalnego (0,62). W szczególności wartości średnie w salach wskaźnika transmisji mowy STI zawierały się w zakresie 0,73÷0,80, co pozwala ocenić zrozumiałość mowy w 4 salach jako doskonałą, a pozostałych 4 jako dobrą blisko doskonałą.

Trzeba mieć na uwadze, że poprawa właściwości akustycznych poza wspomnianym pozytywnym wpływem, ma jeszcze jeden bardzo istotny skutek: wpływa na zmniejszenie natężenia głosu nauczycieli, przyczyniając się tym samym w sposób pośredni do obniżenia zagrożenia wystąpienia chorób narządu głosu nauczycieli [7-13].

Podsumowując opisane wyniki badań można stwierdzić, że zastosowanie dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych we wszystkich rozpatrywanych salach lekcyjnych w znaczny sposób poprawiło warunki akustyczne w salach, w których są prowadzone lekcje, co daje podstawę do rekomendacji takiego rozwiązania technicznego.

Autor dziękuje p. Izabeli Jakubowskiej i p. Jerzemu Kozłowskiemu za pomoc w wykonaniu pomiarów oraz p. Mikołajowi Jaroszowi za pomoc w wykonaniu adaptacji akustycznej w salach nr 1 i 2.

PIŚMIENNICTWO

[1] Mikulski W., Radosz J. *Acoustics of classrooms in primary schools – results of the reverberation time and the speech transmission index assessments in selected buildings.* "Arch. Acoust." 2011,36(4):777-794
 [2] PN-EN 60268-16:2011 Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy
 [3] PN-EN ISO 3382-2:2010. Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 2: Czas

pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010

[4] SFS 5907:EN Acoustics classification of spaces in buildings
 [5] Mikulski W. *Schemat postępowania przy projektowaniu adaptacji akustycznej pomieszczeń edukacyjnych.* „Bezpieczeństwo Pracy” 2013,507,3:20-23
 [6] Instytut Techniki Budowlanej: Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie – Tekst ujednolicony po nowelizacji z komentarzem. ITB, Warszawa 2009
 [7] Mikulski W. *Wyniki badań wpływu adaptacji akustycznych sal lekcyjnych na jakość komunikacji werbalnej.* „Medycyna Pracy” 2013,64,2:207-215
 [8] Mikulski W., Jakubowska I. *Wyniki badań zmniejszenia natężenia głosu nauczycieli oraz zmniejszenia hałasu tła akustycznego w salach lekcyjnych po wykonaniu adaptacji akustycznej.* „Bezpieczeństwo Pracy” 2013,501,6:10-12
 [9] Niebudek-Bogusz E., Woźnicka E., Zamysłowska-Szmytka E., Śliwińska-Kowalska M. *Correlation between acoustic parameters and Voice Handicap Index.* „Folia Phoniatr. Logop.” 2010, 62,1-2:55-60
 [10] Gębska M., Wojciechowska A., Weber-Nowakowska K., Żyżniewska-Banaszak E. *Podstawy higieny narządu głosu w pracy nauczycieli i wykładowców.* „Bezpieczeństwo Pracy” 2013,497,2:18-21
 [11] Śliwińska-Kowalska M., Niebudek, Bogusz E., Pawlaczyk-Łuszczczyńska M., Zamysłowska-Szmytka E., Kotyło P., Dudarewicz A., Woźnicka E., Zamojska M. *Zasady orzekania o predyspozycjach zawodowych do pracy w narażeniu na hałas lub nadmierny wysiłek głosowy oraz diagnostyka i profilaktyka chorób narządu słuchu i narządu głosu.* Wyd. Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego. Warszawa 2011
 [12] Pelegrin-García I. D., Lyberg-Åhlander V., Rydell R., Brunskog J., Lofqvist A. *Influence of Classroom Acoustics on the Voice Levels of Teachers With and Without Voice Problems: A Field Study.* "Proceedings of Meetings on Acoustics" 2010, 11(060001)
 [13] Radosz J. *Wpływ właściwości akustycznych sal lekcyjnych na poziom ciśnienia akustycznego mowy nauczycieli.* „Medycyna Pracy” 2012,63,4:409-417

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2011-2013 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.