

Witold Mikulski

## WYNIKI BADAŃ WPŁYWU ADAPTACJI AKUSTYCZNYCH SAL LEKCYJNYCH NA JAKOŚĆ KOMUNIKACJI WERBALNEJ

### EFFECTS OF ACOUSTIC ADAPTATION OF CLASSROOMS ON THE QUALITY OF VERBAL COMMUNICATION

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

#### STRESZCZENIE

**Wstęp:** Choroby narządu głosu nauczycieli są wynikiem jego nadmiernego obciążenia. Jednym ze sposobów jego zmniejszenia jest obniżenie tła akustycznego podczas prowadzenia lekcji. Umożliwia to zwiększenie chłonności akustycznej pomieszczenia. Wpływa ona także na wzrost zrozumiałości mowy, którą określa się czasem pogłosu pomieszczenia i wskaźnikiem transmisji mowy STI. W artykule podano wyniki badań wpływu adaptacji akustycznych sal lekcyjnych na jakość komunikacji werbalnej. Celem adaptacji było uzyskanie zrozumiałości mowy na poziomie dobrym lub doskonałym. **Materiał i metody:** W artykule podano kryteria oceny sal lekcyjnych pod względem zrozumiałości mowy. Parametry te określono metodami pomiarowymi według PN-EN ISO 3382-2:2010 i PN-EN 60268-16:2011. Wykonano i oceniono adaptację akustyczną w 2 salach lekcyjnych. **Wyniki:** Po adaptacji akustycznej czas pogłosu dla częstotliwości 1 kHz zmniejszył się: w sali nr 1 z 1,45 s do 0,44 s, a w sali nr 2 – z 1,03 s do 0,37 s (maks. czas pogłosu: 0,65 s). Jednocześnie wskaźnik transmisji mowy zwiększył się: w sali nr 1 z 0,55 (zrozumiałość mowy zadowalająca) do 0,75 (zrozumiałość mowy dobra, bliska doskonałej), a w sali nr 2 z 0,63 (zrozumiałość mowy dobra) do 0,80 (zrozumiałość mowy doskonała). Można więc stwierdzić, że przed adaptacją akustyczną sala nr 1 nie spełniała, a sala nr 2 w małym stopniu spełniała kryterium (min. wskaźnik transmisji mowy: 0,62). Po adaptacji akustycznej obie sale spełniają ww. kryteria (zrozumiałość mowy: doskonała). **Wnioski:** Adaptacja akustyczna sal lekcyjnych umożliwia stworzenie minimalnych wymaganych warunków do uzyskania dobrej zrozumiałości mowy i w sposób pośredni przyczynia się do zmniejszenia nadmiernego wysiłku głosowego nauczycieli. Med. Pr. 2013;64(2):207–215

**Słowa kluczowe:** hałas, choroby zawodowe, szkoły, akustyka pomieszczeń, wskaźnik transmisji mowy, czas pogłosu

#### ABSTRACT

**Background:** Voice organ disorders among teachers are caused by excessive voice strain. One of the measures to reduce this strain is to decrease background noise when teaching. Increasing the acoustic absorption of the room is a technical measure for achieving this aim. The absorption level also improves speech intelligibility rated by the following parameters: room reverberation time and speech transmission index (STI). This article presents the effects of acoustic adaptation of classrooms on the quality of verbal communication, aimed at getting the speech intelligibility at the good or excellent level. **Material and Methods:** The article lists the criteria for evaluating classrooms in terms of the quality of verbal communication. The parameters were defined, using the measurement methods according to PN-EN ISO 3382-2:2010 and PN-EN 60268-16:2011. Acoustic adaptations were completed in two classrooms. **Results:** After completing acoustic adaptations the reverberation time for the frequency of 1 kHz was reduced: in room no. 1 from 1.45 s to 0.44 s and in room no. 2 from 1.03 s to 0.37 s (maximum 0.65 s). At the same time, the speech transmission index increased: in room no. 1 from 0.55 (satisfactory speech intelligibility) to 0.75 (speech intelligibility close to excellent); in room no. 2 from 0.63 (good speech intelligibility) to 0.80 (excellent speech intelligibility). Therefore, it can be stated that prior to completing acoustic adaptations room no. 1 did not comply and room no. 2 barely complied with the criterion (speech transmission index of 0.62). After completing acoustic adaptations both rooms meet the requirements. Med Pr 2013;64(2):207–215

**Key words:** noise, occupational diseases, schools, room acoustics, speech transmission index, reverberation time

Adres autora: Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: wimik@ciop.pl  
Nadesłano: 11 grudnia 2012, zatwierdzono: 22 lutego 2013

## WSTĘP

Najpowszechniejszymi chorobami zawodowymi u nauczycieli są choroby narządu głosu (ok. 98% wszystkich chorób zawodowych (1–3)). Powstają one w wyniku nadmiernego obciążenia głosu, które jest spowodowane hałasem w szkole i koniecznością mówienia przez nauczycieli głosem podniesionym (o większym natężeniu) (4–9).

Jednym ze sposobów zmniejszenia wysiłku głosowego nauczycieli jest obniżenie hałasu podczas lekcji (10,11). Źródło hałasu w salach lekcyjnych znajduje się wewnątrz pomieszczenia (są nim np. rozmawiające dzieci) oraz na zewnątrz (hałas z innych sal, korytarza, instalacji technicznych budynku, z zewnątrz budynku, np. komunikacji miejskiej). Na hałas wypadkowy (całkowity poziom hałasu) mają wpływ moc akustyczna źródeł hałasu i właściwości akustyczne sali lekcyjnej (12,13). Właściwości akustyczne pomieszczenia to:

- zdolność ścian i stropu pomieszczenia do tłumienia energii akustycznej przenikającej z zewnątrz do wnętrza pomieszczenia – tzw. izolacyjność akustyczna,
- właściwości akustyczne wnętrza pomieszczenia do pochłaniania energii akustycznej odbijającej się od powierzchni ograniczających pomieszczenie – chłonność pomieszczenia, czas pogłosu i wskaźnik transmisji mowy.

Te ostatnie w zakresie minimalizowania hałasu oraz maksymalnego zwiększenia komfortu przekazywania treści drogą werbalną są przedmiotem niniejszego artykułu. Właściwości akustyczne wnętrza pomieszczenia zależą od geometrii pomieszczenia, współczynników pochłaniania dźwięku jego ścian, stropu i podłogi, chłonności akustycznej wyposażenia oraz liczby przebywających w nim osób. Właściwości te wpływają na wypadkową zdolność pomieszczenia do pochłaniania znajdującej się w nim energii akustycznej, tzn. wpływają na wypadkowy poziom hałasu w sali oraz na zrozumiałość mowy. W związku z powyższym celem niniejszej pracy była analiza wpływu adaptacji akustycznej sal lekcyjnych na jakość komunikacji werbalnej na podstawie oceny czasu pogłosu pomieszczeń i wskaźnika transmisji mowy (speech transmission index – STI).

## MATERIAŁ I METODY

### Kryteria oceny właściwości akustycznych sal lekcyjnych

Podstawowym przeznaczeniem sal lekcyjnych jest prowadzenie zajęć szkolnych i w ich ramach przekazywanie wiedzy m.in. drogą werbalną, a więc poprzez mowę.

Właściwości akustyczne sal lekcyjnych pod względem jakości przekazywania mowy można określić 3 parametrami: wskaźnikiem transmisji mowy, czasem pogłosu i poziomem dźwięków zakłócających (tła akustycznego). Czas pogłosu oraz wskaźnik transmisji mowy są parametrami zależnymi od pomieszczenia. Wpływają one na trzeci parametr, od którego zgodnie z prawem Lombarda zależy wysiłek głosowy nauczyciela (wraz ze wzrostem poziomu tła akustycznego mówiący zwiększa natężenie głosu) (4).

W Polsce wartość optymalnego czasu pogłosu w salach lekcyjnych określona jest w „Warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” (14) i można ją obliczyć ze wzoru:

$$T_{\text{opt}} = 0,32 \times \log(V) - 0,17 \quad [1]$$

gdzie:

$T_{\text{opt}}$  – optymalny czas pogłosu [s],  
 $V$  – objętość sali [ $\text{m}^3$ ].

Podane w warunkach technicznych (14) tolerancje optymalnego czasu pogłosu określają minimalne i maksymalne wartości czasu pogłosu sal:

$$T_{\text{min,dop}} = \begin{cases} 0,65 \times T_{\text{opt}} & \text{dla częstotliwości 125 Hz i 4000 Hz} \\ 0,80 \times T_{\text{opt}} & \text{dla częstotliwości 250–2000 Hz} \end{cases} \quad [2]$$

oraz:

$$T_{\text{max,dop}} = 1,2 \times T_{\text{opt}} \quad [3]$$

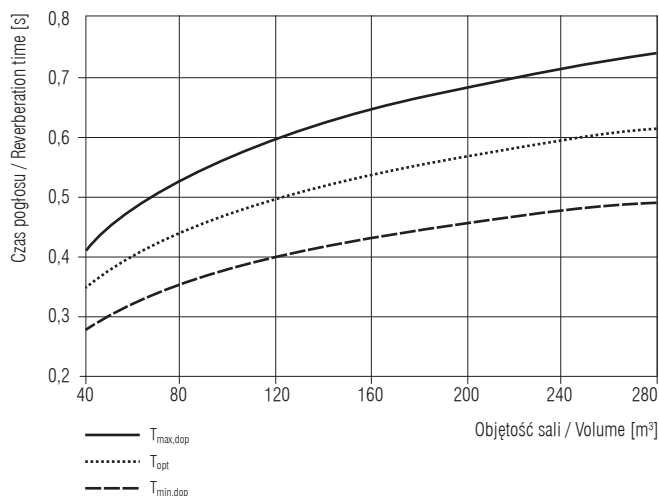
gdzie:

$T_{\text{min,dop}}$  – minimalny czas pogłosu [s],  
 $T_{\text{max,dop}}$  – maksymalny czas pogłosu [s].

Zależą one również od objętości pomieszczenia (ryc. 1).

Dla rozpatrywanych sal lekcyjnych (objętość ok.  $160 \text{ m}^3$ ) optymalny czas pogłosu (wyliczony z powyższych wzorów) jest równy 0,54 s i czas pogłosu dla częstotliwości 125 Hz i 4000 Hz powinien się zawierać w przedziale 0,35–0,65 s, a dla częstotliwości 250–2000 Hz – 0,43–0,65 s.

Wartość STI dla dobrej zrozumiałości mowy określona jest w „PN-EN 60268-16:2011. Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy” (15) (tab. 1) i wynosi 0,60. Jednocześnie w załączniku informacyjnym G do ww. normy podano, że



**Ryc. 1.** Optymalny ( $T_{opt}$ ), minimalny ( $T_{min,dop}$ ) i maksymalny ( $T_{max,dop}$ ) czas pogłosu sal lekcyjnych (w zależności od objętości sal) obliczone ze wzorów 1–3  
**Fig. 1.** The optimum ( $T_{opt}$ ), minimum ( $T_{min,dop}$ ) and maximum ( $T_{max,dop}$ ) reverberation time of classrooms (depending on the volume of rooms) calculated from formulas 1–3

dla uzyskania dobrej zrozumiałości mowy należy przyjmować wartość wskaźnika transmisji mowy nie mniejszą niż 0,66 w audytoriach i 0,62 w salach lekcyjnych. W niektórych krajach (np. w normie „SFS 5907:EN. Acoustics classification of spaces in buildings” (16)) dla sal lekcyjnych przyjmuje się wartości wyższe – 0,8. Autor niniejszego artykułu jako minimalną wartość kryterialną STI przyjmuje 0,62.

**Tabela 1.** Wartość wskaźnika transmisji mowy (speech transmission index – STI), skorelowanego z subiektywną oceną zrozumiałości mowy według PN-EN 60268-16:2011 (15)  
**Table 1.** The value of speech transmission index (STI), correlated with the subjective evaluation of speech intelligibility by IEC 60268-16:2011 (15)

Jakość dźwięku według PN-EN 60268-16:2011 Quality according to IEC 60268-16:2011	Wskaźnik transmisji mowy Speech transmission index
Zła / Bad	0–0,30
Słaba / Poor	0,30–0,45
Zadowalająca (średnia) / Fair	0,45–0,60
Dobra / Good	0,60–0,75
Doskonała / Excellent	0,75–1,00

**Charakterystyka badanych sal lekcyjnych**

Badania przeprowadzono w 2 salach lekcyjnych (fot. 1 i 2) o wymiarach 8,7×5,8×3,2 m i objętości ok. 160 m<sup>3</sup>. Pole powierzchni ściany bocznej wynosi ok. 28 m<sup>2</sup>, a ściany tylnej (przeciwległa do ściany, na której jest zawieszona tablica) – ok. 19 m<sup>2</sup>.

**Projekt adaptacji akustycznych sal lekcyjnych**

Adaptacja akustyczna sal lekcyjnych polegała na zwiększeniu chłonności akustycznej pomieszczeń przez wprowadzenie do wnętrza 3 elementów: dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego, materiału dźwiękochłonnego



**Fot. 1.** Sala lekcyjna nr 1 po adaptacji akustycznej  
**Photo 1.** Classroom no. 1 after acoustic adaptation



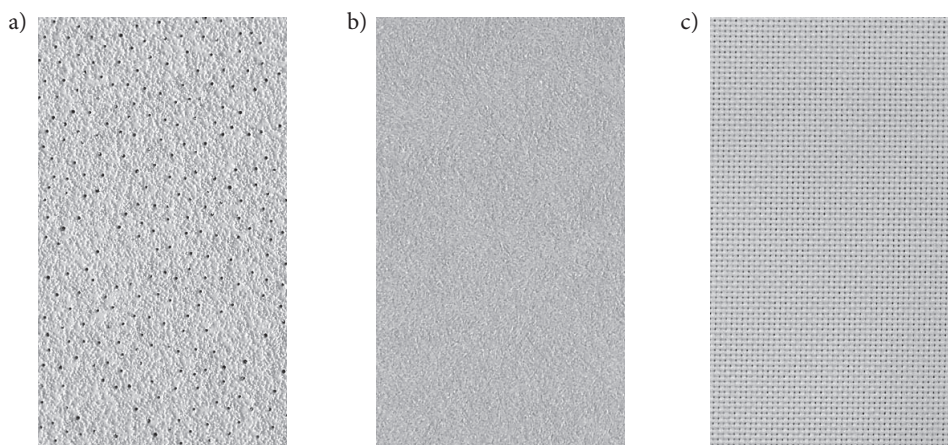


**Fot. 2.** Sala lekcyjna nr 2 po adaptacji akustycznej  
**Photo 2.** Classroom no. 2 after acoustic adaptation

w postaci panelu na części tylnej ściany sali (przeciwnie do ściany z tablicą) oraz materiału dźwiękochłonnego w postaci panelu na części ściany bocznej (przeciwnie do okien). W obu salach lekcyjnych sufity podwieszane wykonano pod całym stropem pomieszczeń, przy czym w każdej z sal zastosowano materiał o innych właściwościach akustycznych. Na ścianach bocznych w obu salach lekcyjnych zastosowano taką samą ilość takiego samego materiału pochłaniającego dźwięk o współczynniku pochłaniania 0,9. Wyposażenie sal lekcyjnych przy ścianach tylnych było różne w obu salach, co w przypadku sali

nr 1 spowodowało konieczność zastosowania mniejszej ilości materiału dźwiękochłonnego na ścianie tylnej. Na ścianach tylnych i bocznych użyto takich samych materiałów. Zastosowane materiały pokazano na fotografii 3.

W tabeli 2. podano pole powierzchni, współczynnik pochłaniania dźwięku oraz chłonność akustyczną zastosowanego materiału w obu salach lekcyjnych. Koszt materiałów i wykonania 1 m<sup>2</sup> dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego lub materiału na ścianie można szacować na 50–200 zł w zależności od zastosowanej konstrukcji i użytego materiału.



Współczynnik pochłaniania / Sound absorption coefficient: a) sufit podwieszany / ceiling – 0,6; b) sufit podwieszany / ceiling – 0,9; c) materiał zastosowany na ścianach / material used on the walls – 0,9.

**Fot. 3.** Faktura materiałów dźwiękochłonnych (próbka: 10×30 cm) zastosowanych w salach lekcyjnych  
**Photo. 3.** Texture of sound-absorbing materials (sample: 10×30 cm) used in classrooms

**Tabela 2.** Charakterystyka materiałów dźwiękochłonnych zastosowanych w salach lekcyjnych  
**Table 2.** Characteristics of sound absorbing materials used in classrooms

Numer sali Room no	Materiały dźwiękochłonne Absorbing materials									A (razem / total) [m <sup>2</sup> ]
	sufit ceiling			ściana boczna side wall			ściana tylna rear wall			
	S [m <sup>2</sup> ]	$\alpha$	A [m <sup>2</sup> ]	S [m <sup>2</sup> ]	$\alpha$	A [m <sup>2</sup> ]	S [m <sup>2</sup> ]	$\alpha$	A [m <sup>2</sup> ]	
1	47	0,6	28,2	6,5	0,9	5,9	3,2	0,9	2,9	37,0
2	47	0,9	42,3	6,5	0,9	5,9	6,5	0,9	5,9	54,1

S – pole powierzchni materiału dźwiękochłonnego / surface area of absorbing materials.

$\alpha$  – współczynnik pochłaniania dźwięku materiału dźwiękochłonnego / sound absorption coefficient of absorbing materials.

A – chłonność akustyczna materiału dźwiękochłonnego / sound absorption of absorbing materials.

### Metoda pomiarów i oceny właściwości akustycznych rozpatrywanych sal lekcyjnych

W obu omawianych salach lekcyjnych wykonano pomiary czasu pogłosu w oktawowych pasmach częstotliwości w zakresie częstotliwości 125–8000 Hz oraz STI. Pomiary wykonano metodą z wykorzystaniem odpowiedzi impulsowej pomieszczenia i sygnału MLS (maximum length sequence – cyfrowy sygnał pseudolosowy stosowany w pomiarach akustycznych): czas pogłosu pomieszczenia T według metody precyzyjnej PN-EN ISO 3382-2:2010 (17) (w szczególności  $T_{30}$ ; dodatkowo określono czas pogłosu dla częstotliwości 8kHz) oraz STI według PN-EN 60268-16:2011 (15).

Pomiary wykonano przed adaptacją akustyczną sal lekcyjnych i po adaptacji.

Oceniano spełnienie kryteriów dla czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy oraz o ile poprawiają się właściwości akustyczne sal lekcyjnych po adaptacji aku-

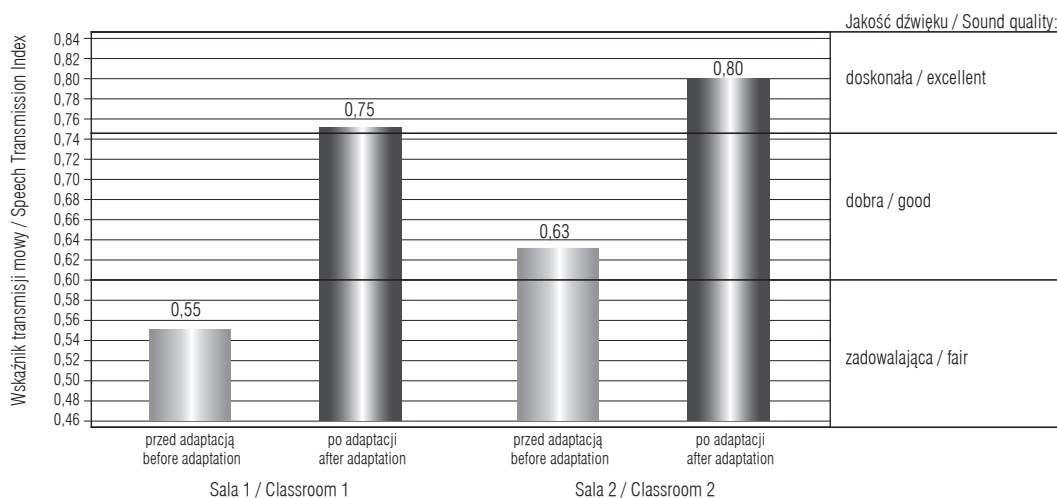
stycznej, przy czym do oceny poprawy właściwości akustycznych zastosowano różnicę wartości czasu pogłosu oraz różnicę wartości wskaźnika transmisji mowy.

### WYNIKI BADAŃ

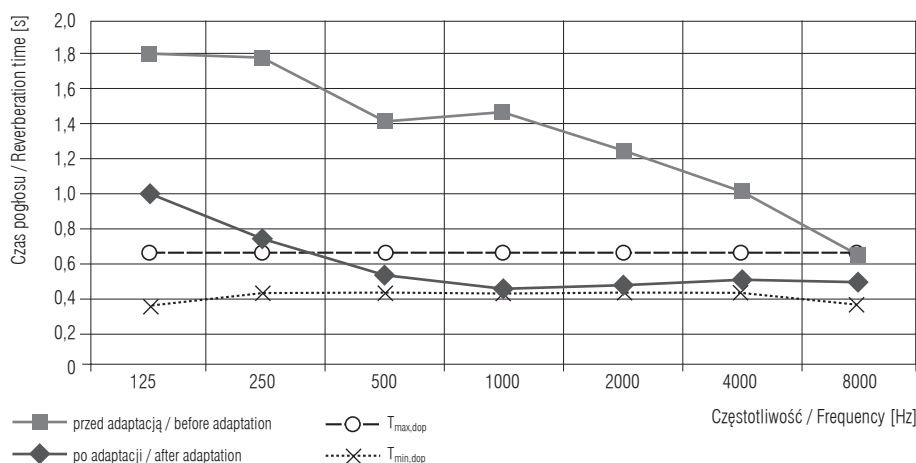
Wyniki przeprowadzonych pomiarów przed adaptacją akustyczną sal lekcyjnych i po niej zaprezentowano na rycinach 2–4.

Przy ocenie sal lekcyjnych uwzględniono następujące kryteria:

- wartość STI – jej minimalna wartość jest równa 0,62 (ocena jakości według skali w tabeli 1. z modyfikacją jednej wartości granicznej STI, tj. zamiast 0,60 zastosowanie 0,62),
- wartości czasu pogłosu pomieszczenia – powinny mieścić się w przedziale 0,35–0,65 s dla częstotliwości 125 Hz i 4000 Hz oraz w przedziale 0,43–0,65 s dla częstotliwości 250–2000 Hz.



**Ryc. 2.** Wyniki pomiarów wskaźnika transmisji mowy w salach lekcyjnych przed ich adaptacją akustyczną i po adaptacji  
**Fig. 2.** The results of measurements of speech transmission index in classrooms before and after acoustic adaptation

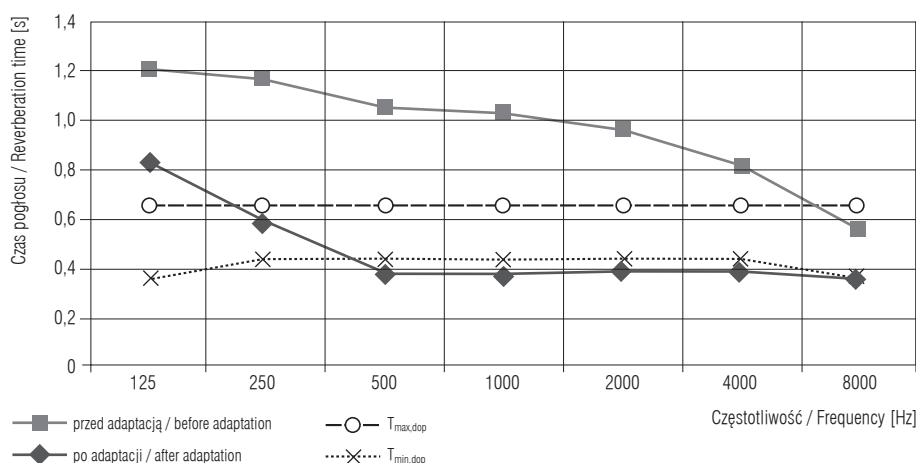


$T_{max,dop}$  – maksymalna wartość czasu pogłosu / maximum limit values of reverberation time.

$T_{min,dop}$  – minimalna wartość czasu pogłosu / minimum limit values of reverberation time.

Ryc. 3. Wyniki pomiarów czasu pogłosu w sali lekcyjnej nr 1 przed adaptacją akustyczną i po adaptacji

Fig. 3. The results of measurements of reverberation time in classroom 1 before and after acoustic adaptation



Ryc. 4. Wyniki pomiarów czasu pogłosu w sali lekcyjnej nr 2 przed adaptacją akustyczną i po adaptacji

Fig. 4. The results of measurements of reverberation time in classroom 2: before and after acoustic adaptation

Pomiarów wartości STI uzyskanych w salach lekcyjnych bez adaptacji akustycznej nie można uznać za odpowiednie. W sali lekcyjnej nr 1 wartość wskaźnika transmisji mowy nie spełnia założonego kryterium ( $STI > 0,62$ ), a w sali nr 2 przekracza on przyjętą wartość kryterialną o 0,01.

Czasy pogłosu w obu salach lekcyjnych bez adaptacji akustycznej we wszystkich pasmach częstotliwości znacznie przekraczają wartość dopuszczalną (0,65 s), a więc sale te nie spełniają również kryterium dla czasu pogłosu. Można stwierdzić, że omawiane sale bez adaptacji akustycznej nie spełniają kryteriów odpowiednich warunków dla komunikacji werbalnej.

Inaczej jest w salach lekcyjnych po wykonaniu adaptacji akustycznej. Wskaźnik transmisji mowy jest w nich nie mniejszy od 0,75, a więc nie tylko spełnia założone kryterium ( $STI > 0,62$ ), ale na podstawie danych z tabeli 1. zrozumiałość mowy (jakość dźwięku) można określić jako doskonałą.

Ocena sal lekcyjnych przy zastosowaniu kryterium opartym na czasie pogłosu nie jest jednoznaczna. W sali lekcyjnej nr 1 na 6 pasm częstotliwości (w których określono kryterium, tj. wartości minimalne i maksymalne czasu pogłosu) kryterium to jest spełnione w 4 pasmach. W paśmie częstotliwości 250 Hz wynik znajduje się blisko wartości wymaganej, natomiast w paśmie czę-

stotliwości 125 Hz wartość czasu pogłosu jest znacząco większa od maksymalnej wartości kryterialnej. Można więc stwierdzić, że kryterium oparte na czasie pogłosu (poza pasmem częstotliwości 125 Hz) w sali lekcyjnej nr 1 z adaptacją akustyczną jest spełnione.

W sali lekcyjnej nr 2, w której na suficie zastosowano materiał o większej chłonności akustycznej, wyniki pomiarów czasu pogłosu są podobne. W paśmie częstotliwości 125 Hz wartość czasu pogłosu jest większa od maksymalnej wartości kryterialnej. W pasmach o częstotliwościach 250 Hz i 4000 Hz kryterium jest spełnione, natomiast dla częstotliwości 500–2000 Hz wartości czasu pogłosu są minimalnie mniejsze od założonego kryterium. Można więc stwierdzić, że kryterium oparte na czasie pogłosu (poza pasmem częstotliwości 125 Hz) w sali lekcyjnej nr 2 z adaptacją akustyczną jest spełnione (szerzej ten przypadek omówiono niżej).

Reasumując, sale lekcyjne bez adaptacji akustycznej nie spełniają kryteriów odpowiednich warunków do komunikacji werbalnej, natomiast sale z adaptacją akustyczną je spełniają, czyli przyczyniają się do zmniejszenia nadmiernego obciążania narządu głosu u nauczycieli.

Dzięki zaproponowanej adaptacji akustycznej sal lekcyjnych:

- zwiększyła się wartość STI:
  - w sali nr 1 z 0,55 do 0,75 – tj. z dostatecznej zrozumiałości mowy do granicy zrozumiałości doskonałej i dobrej (zwiększenie wskaźnika transmisji mowy o 0,20; przeciętny człowiek jest w stanie rozróżnić zmianę akustyki pomieszczenia określaną zmianą wskaźnika transmisji mowy o 0,03),
  - w sali nr 2 z 0,63 do 0,80 – tj. z dobrej zrozumiałości mowy do doskonałej (zwiększenie wskaźnika transmisji mowy o 0,17),
- zmniejszył się czas pogłosu – np. dla 1000 Hz 3-krotnie:
  - w sali nr 1 z 1,45 s, do 0,44 s,
  - w sali nr 2 z 1,03 s, do 0,37 s.

## OMÓWIENIE

Na podstawie wcześniejszych badań autora niniejszej publikacji (12,13) można stwierdzić, że większość sal lekcyjnych w szkołach podstawowych nie ma wystarczająco dobrych właściwości akustycznych do komunikacji werbalnej. Według danych z tabeli 1. jakość dźwięku w nich jest zadowalająca (dostateczna) lub w minimalnym stopniu dobra, co przyczynia się do nadmiernego wysiłku głosowego nauczycieli.

Z tego powodu w 2 typowych salach lekcyjnych (do nauki w klasach 1–3 i 4–6) wykonano adaptację akustyczną w postaci dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego oraz pokryciu materiałem dźwiękochłonnym części ściany bocznej (przeciwległej do ściany z oknami) oraz tylnej (przeciwległej do ściany z tablicą). Pomiary powykonawcze wykazały: zwiększenie wartości STI o 0,17–0,20 (przeciętny człowiek rozróżnia zmianę akustyki pomieszczenia już o różnicę wartości STI = 0,03) oraz zmniejszenie czasu pogłosu, np. dla częstotliwości 1000 Hz o 0,66–1,01 s. Wyniki te pozwalają stwierdzić, że po adaptacji akustycznej jakość pomieszczeń dla komunikacji werbalnej (zrozumiałości mowy) jest doskonała.

Szczegółowo oceniając akustykę pomieszczeń, można zwrócić uwagę na standardowy efekt. Obie sale były podobne, ale salę nr 2 adaptowano akustycznie w znacznie większym stopniu (chłonność akustyczna zastosowanych materiałów w sali nr 1 – 37 m<sup>2</sup>, w sali nr 2 – 54 m<sup>2</sup>). Większy jest więc także efekt akustyczny (większa wartość wskaźnika transmisji mowy o 0,05, krótszy czas pogłosu, np. dla częstotliwości 1000 Hz – 0,07 s). W tym drugim przypadku czas pogłosu w stosunku do przyjętego kryterium jest minimalnie za krótki (ryc. 4). Nie jest to jednak problemem w małych pomieszczeniach, gdzie spadek poziomu dźwięku w funkcji odległości od źródła dźwięku (nauczyciela) nie jest na tyle duży, żeby powodował spadek zrozumiałości mowy.

Jednocześnie obserwując czas pogłosu w paśmie częstotliwości 125 Hz, można zauważyć, że zastosowanie materiałów akustycznych o lepszych właściwościach akustycznych (sala nr 2 vs sala nr 1) w dużo mniejszym stopniu wpływa na właściwości akustyczne pomieszczeń w zakresie małych częstotliwości niż częstotliwości wyższych. W celu poprawy właściwości akustycznych pomieszczenia w zakresie częstotliwości ok. 125 Hz nie można więc zwiększać ilości materiałów dźwiękochłonnych, ponieważ poprawie właściwości pomieszczenia w zakresie niskich częstotliwości będzie towarzyszyło pogorszenie właściwości w zakresie częstotliwości powyżej 250 Hz. Sala stanie się bardzo „głucha” – będzie miała za krótki czas pogłosu.

Istnieją jednak proste sposoby rozwiązania tego problemu. Pierwszym jest użycie dodatkowych specjalnych materiałów o dużym tłumieniu akustycznym w zakresie niskich częstotliwości. W niniejszym badaniu nie zastosowano takiego rozwiązania ze względu na jego duże koszty (niewspółmierne do efektu akustycznego). Drugim rozwiązaniem jest oddalenie dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego od stropu pomieszczenia. Powoduje to wzrost skuteczności tłumienia dźwięku w zakre-



sie niskich częstotliwości. Właśnie to rozwiązanie zastosowano w omawianych w niniejszej pracy przypadkach – dźwiękochłonny sufit podwieszany oddalono od stropu sali o ok. 20 cm. Wszystkie podane wyniki po adaptacji uwzględniają już taką aranżację sufitu. Jak widać, odległość ta nie jest w pełni satysfakcjonująca, ale z powodów pozaakustycznych (brak zgody użytkownika obiektu) nie było możliwe jej zwiększenie.

Otrzymane rezultaty zastosowanej adaptacji akustycznej pozwalają zakwalifikować ten sposób dostosowania pomieszczenia do potrzeb komunikacji werbalnej jako dobrą praktykę. Pozwala ona na podniesienie komfortu pracy nauczyciela, przyczynia się do zwiększenia zrozumiałości treści przekazywanych drogą werbalną, ale przede wszystkim w sposób pośredni zmniejsza częstość występowania zaburzeń głosu u nauczycieli.

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że w salach lekcyjnych bez adaptacji akustycznej nie ma zadowalających (tj. dobrych) warunków do komunikacji werbalnej. Dodatkowo zbyt duży czas pogłosu pomieszczenia negatywnie wpływa na zwiększenie hałasu tła, co prowadzi do tzw. efektu Lombarda, czyli niekontrolowanego zwiększenia natężenia głosu przez mówiącego. Przyczynia się to do nadmiernego obciążenia narządu głosu. Technicznym sposobem zapobieżenia tym negatywnym efektom jest zwiększenie chłonności akustycznej pomieszczenia.

Z badań wynika, że po zastosowaniu dźwiękochłonego sufitu podwieszanego w odległości 20 cm od stropu sal i pokryciu ich 2 ścian (ok. 25% powierzchni ściany bocznej i tylnej) materiałem dźwiękochłonnym można uzyskać zalecany dla sal lekcyjnych czas pogłosu oraz wskaźnik transmisji mowy pozwalający ocenić zrozumiałość mowy na poziomie doskonałym.

## PODZIĘKOWANIA

Autor dziękuje Panu Mikołajowi Jaroszowi za pomoc w wykonaniu adaptacji akustycznej.

## PIŚMIENNICTWO

1. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2009 r. w sprawie chorób zawodowych. DzU z 2009 r. nr 105, poz. 869
2. Szeszenia-Dąbrowska N.: Choroby zawodowe w Polsce w 2010 r. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2011
3. Koszarny Z.: Ocena hałasu szkolnego przez nauczycieli oraz jego wpływu na stan zdrowia i samopoczucie. Roczn. Państw. Zakł. Hig. 1992;XLIII(2):125–132
4. Lane H., Tranel B.: The Lombard sign and the role of hearing in speech. J. Speech Hear. Res. 1971;14:677–709
5. Radosz J.: Wpływ właściwości akustycznych sal lekcyjnych na poziom ciśnienia akustycznego mowy nauczycieli. Med. Pr. 2012;63(4):409–417
6. Gębska M., Wojciechowska A., Żyżniewska-Banaszak E.: Zasady i metody rehabilitacji chorych z zawodowymi zaburzeniami głosu. Ann. Acad. Med. Stetin. 2011;57(2): 78–84
7. Śliwińska-Kowalska M., Niebudek-Bogusz E., Fiszer M., Łoś-Spychalska T., Szurowska-Przygocka B., Kotyło P. i wsp.: The prevalence and risk factors for occupational voice disorders in teachers. Folia Phoniatr. Logop. 2006;58(2):85–101
8. 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
9. De Jong F.I.C.R.S.: An introduction to the teacher's voice in a biopsychosocial perspective. Folia Phoniatr. Logop. 2010;62(1–2):5–8
10. Augustyńska D., Kaczmarek A., Mikulski W., Radosz J.: Assessment of teachers' exposure to noise in selected primary schools. Arch. Acoust. 2010;35(4):521–542
11. Augustyńska D., Kaczmarek A., Mikulski W., Radosz J.: Ocena narażenia na hałas nauczycieli na przykładzie 3 szkół podstawowych w Warszawie. Bezpiecz. Pr. 2012;2:16–19
12. Radosz J., Mikulski W.: Ocena właściwości akustycznych pomieszczeń pracy nauczycieli na przykładzie wybranych szkół podstawowych. Bezpiecz. Pr. 2012;6:16–19
13. 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
14. Instytut Techniki Budowlanej: Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie – Tekst ujednolicony po nowelizacji z komentarzem. ITB, Warszawa 2009
15. PN-EN 60268-16:2011. Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2011
16. SFS 5907:EN. Acoustics classification of spaces in buildings. Su Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 2004 omen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 2004 Finnish Standard



17. PN-EN ISO 3382-2:2010. Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010
18. Astolfi A., Corrado V., Griginis A.: Comparison between measured and calculated parameters for the acoustical characterization of small classrooms. *Appl. Acoust.* 2008;69:966–976
19. Bradley J. S., Sato H.: The intelligibility of speech in elementary school classrooms. *J. Acoust. Soc. Am.* 2008; 123(4):2078–2086
20. Zannin P.H., Marcon C.R.: Objective and subjective evaluation of the acoustic comfort in classrooms. *Appl. Ergon.* 2008;38:675–680
21. Shield B., Gremland E., Dockrell J.: Noise in open plan classrooms in primary schools: A review. *Noise Health* 2010;12(49):225–234