

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

Wyniki badań zmniejszenia natężenia głosu nauczycieli oraz zmniejszenia hałasu tła akustycznego w salach lekcyjnych po wykonaniu adaptacji akustycznej

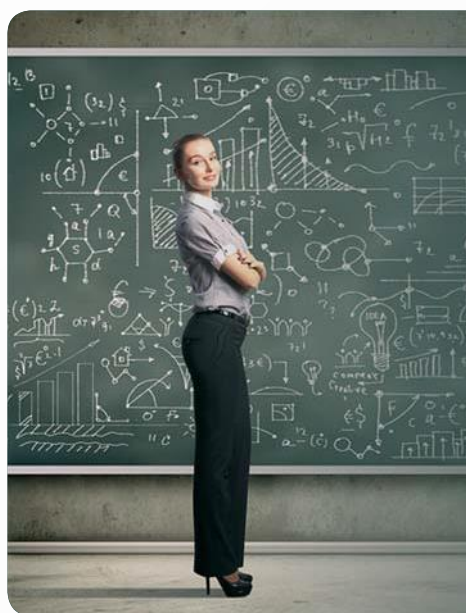
Właściwości akustyczne pomieszczeń do komunikacji werbalnej charakteryzuje się parametrami: czas pogłosu i wskaźnik transmisji mowy. Z punktu widzenia nauczyciela istotne jest także, jakie musi być jego natężenie głosu, aby zapewnić akceptowalny poziom komunikacji. W pomieszczeniach o krótszym czasie pogłosu zmniejsza się hałas tła akustycznego, co pozwala nauczycielowi zmniejszyć natężenie głosu, bez pogorszenia jakości komunikacji werbalnej. Wynika to z faktu, że mówiący podświadomie i bezwiednie, reguluje natężenie głosu w taki sposób, aby było ono wyższe o kilkanaście decybeli od poziomu dźwięku A tła akustycznego (tzw. efekt Lombarda).

W artykule przedstawiono wyniki badań, które umożliwiają określenie gęstości rozkładu poziomu dźwięku A podczas lekcji, z których wyznaczono poziom mowy głosu nauczycieli oraz poziom tła akustycznego.

Reducing the intensity of teachers voice and reduce background noise level in the classroom after the acoustic treatment

The acoustic properties of classrooms for verbal communication are characterized by reverberation time and the speech transmission index. From the teachers' point of view, it is also important what voice intensity is necessary to ensure an acceptable level of communication. In rooms with shorter reverberation time, background noise is reduced, which enables a reduction in the teacher's voice intensity, without a decrease in the quality of verbal communication. This is due to the fact that speakers unconsciously and without thinking adjust the volume of their voice, so that it is several decibels higher than the level of background noise (the so-called Lombard's effect). This article presents the results of research on determining the density distribution of sound pressure level in the classroom, from which the level of the teacher's voice and background noise are determined.

Fot. Sergey Nivens/Bigstockphoto



Wstęp

Wysiłek głosowy nauczyciela rośnie wraz ze wzrostem „natężenia” jego głosu. Przyjmuje się, że z „podniesionym” głosem (nadmiernym wysiłkiem głosowym) mamy do czynienia wtedy, gdy poziom dźwięku A w odległości 1 m od ust mówiącego przekracza 66 dB [1]. Ponieważ człowiek reguluje poziom natężenia swojego głosu, wydawać by się mogło, że sam decyduje o swoim wysiłku głosowym. W warunkach rzeczywistych tak nie jest. Wg Lombarda (tzw. efekt Lombarda) [2,3] osoba zawodowo używająca mowy (np. nauczyciel, wykładowca) podświadomie tak reguluje „natężenie głosu”, aby poziom dźwięku A jego głosu przewyższał poziom dźwięku A tła akustycznego o kilkanaście decybeli (przez tło akustyczne rozumie się wszystkie dźwięki poza mową nauczyciela). Stosuje się także inną definicję, zgodnie z którą „efekt Lombarda” lub „refleks Lombarda” jest niezamierzoną tendencją mówiącego do zwiększenia natężenia głosu

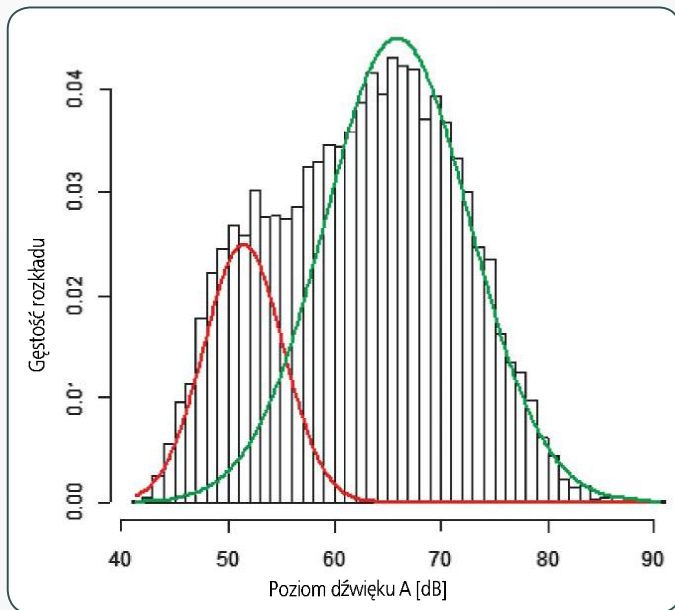
w celu poprawienia słyszalności przy mówieniu w głośnym otoczeniu [4].

Istnieje wiele publikacji na ten temat, w których wartość tej różnicy (dalej nazwanej różnicą Lombarda) zawiera się w zakresie od kilku do ponad 20 dB [3,5]. Rozpiętość wartości tego parametru spotykana w literaturze wynika z wielu przyczyn, z których podstawową jest fakt, iż niezwykle trudno w warunkach rzeczywistych określić poziom dźwięku A w odległości 1 m od ust nauczyciela (nauczyciel zmienia położenie względem mikrofonu), co powoduje istotne błędy pomiarowe. Wynika z tego, że poziom dźwięku A głosu nauczyciela określony jest w sposób przybliżony, natomiast poziom dźwięku A tła akustycznego można już określić znacznie dokładniej (w większości przypadków jest taki sam w całym pomieszczeniu). Upoważnia to do sformułowania zaskakującego wniosku, że wysiłek głosowy nauczyciela można (zakładając występowanie efektu Lombarda) określić poziomem dźwięku A głosu nauczyciela, ale także poziomem dźwięku

A tła akustycznego. W artykule zaprezentowano wyniki badań poświęconych temu zjawisku.

Przygotowania do pomiarów

Obecnie akustykę pomieszczeń do komunikacji werbalnej określa się za pomocą obiektywnie wyznaczonych (metodami pomiarowymi lub pomiarowo-obliczeniowymi z wykorzystaniem wzorcowego źródła dźwięku) parametrów: czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy [2,6-13]. Jednakże z punktu widzenia nauczyciela istotne jest także to, o ile adaptacja akustyczna pomieszczenia umożliwiła zmniejszenie poziomu tła akustycznego oraz umożliwiła zmniejszenie poziomu dźwięku A jego mowy (w konsekwencji jego wysiłku głosowego). Dlatego w artykule autorzy określili skuteczność wykonanej adaptacji akustycznej parametrami: czasem pogłosu pomieszczenia [6] i wskaźnikiem transmisji mowy [2] oraz wyznaczonymi w warunkach normalnie prowadzonych lekcji – poziomem natężenia



Rys. Gęstość rozkładu poziomu dźwięku A ($L_{A, biurko}$) podczas 7. lekcji w sali nr 1 bis
 Fig. Density distribution of the A-weighted sound pressure level ($L_{A, biurko}$) during the seventh lesson in classroom 1 bis

głosu (poziomem dźwięku A $L_{A, głos}$) nauczycieli i poziomem dźwięku A tła akustycznego.

Pomiary czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy przeprowadzono w pomieszczeniach przed i po wykonaniu adaptacji akustycznych (wyniki w [7,8]). Poniżej podano wyniki pomiarów poziomu dźwięku A $L_{A, głos}$ nauczyciela i poziomu dźwięku A tła akustycznego w salach lekcyjnych z uwzględnieniem i bez uwzględnienia adaptacji akustycznych. Ze względów technicznych nie było możliwości wykonania badań w rozpatrywanych pomieszczeniach (nr 1 i 2) przed wykonaniem adaptacji, dlatego wykonano tam tylko pomiary po wykonaniu adaptacji akustycznych. Jako dane odniesienia – porównawcze, które odpowiadają stanowi rozpatrywanych pomieszczeń (nr 1 i 2) przed wykonaniem adaptacji akustycznej zastosowano wyniki pomiarów pomieszczeń o podobnych właściwościach akustycznych (nr 1 bis i 2 bis).

Metoda badań

Opisywane w tekście badania przeprowadzono w 4 salach lekcyjnych w Szkole Podstawowej nr 212 im. Krystyny Kraheleskiej w Warszawie, z których w dwóch salach (nr 1 i 2) wykonano adaptacje akustyczne, a w dwóch adaptacji nie było (sala odniesienia – nr 1 bis: sala odniesienia w stosunku do sali nr 1; nr 2 bis: sala odniesienia w stosunku do sali nr 2). Pod względem akustycznym przed wykonaniem adaptacji akustycznej stwierdzono duże podobieństwo sali 1 i 1 bis oraz 2 i 2 bis (tabela 1.) Adaptacja akustyczna sal polegała na zastosowaniu: sufitów podwieszanych o polu powierzchni ok. 48 m² z wyrobem dźwiękochłonnym o ważnym współczynniku pochłaniania dźwięku

α_w 0,6, kasetonów na ścianie tylnej z wyrobem dźwiękochłonnym o ważnym współczynniku pochłaniania dźwięku α_w 0,95 w pomieszczenia nr 1 o polu powierzchni ok. 6,5 m², w pomieszczeniu nr 2 ok. 3 m² oraz kasetonów na ścianie bocznej z wyrobem dźwiękochłonnym o ważnym współczynniku pochłaniania dźwięku α_w 0,95 o polu powierzchni ok. 6,5 m². Szczegółowe wyniki pomiarów i zakres adaptacji obejmujący wykonanie dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych oraz materiałów dźwiękochłonnych na ścianach sal podano w publikacjach [7,8].

Zmniejszenie, po wykonaniu adaptacji akustycznej, poziomu dźwięku A $L_{A, głos}$ nauczyciela $\Delta L_{A, głos}$ w dB, określono ze wzoru:

$$\Delta L_{A, głos} = L_{A, głos, odn} - L_{A, głos, adapt} \quad (1)$$

gdzie:

$L_{A, głos, odn}$ – poziom dźwięku A $L_{A, głos}$ nauczyciela (1m od jego ust) w sali odniesienia (1 bis lub 2 bis), której właściwości akustyczne są analogiczne jak w sali przed wykonaniem adaptacji akustycznej (nr 1 lub 2), w dB

$L_{A, głos, adapt}$ – poziom dźwięku A $L_{A, głos}$ nauczyciela (1m od jego ust) w sali z adaptacją akustyczną (nr 1 lub 2), w dB.

Zmniejszenie, po wykonaniu adaptacji akustycznej, poziomu dźwięku A tła akustycznego $\Delta L_{A, tła}$ w dB, określono ze wzoru:

$$\Delta L_{A, tła} = L_{A, tła, odn} - L_{A, tła, adapt} \quad (2)$$

gdzie:

$L_{A, tła, odn}$ – poziom dźwięku A tła akustycznego w pomieszczeniu odniesienia (1 bis lub 2 bis), którego właściwości akustyczne są analogiczne jak w pomieszczeniu przed wykonaniem adaptacji akustycznej (nr 1 lub 2), w dB

Tabela 1. Średnie w salach lekcyjnych wartości czasu pogłosu dla częstotliwości 1000 Hz [7, 8]
 Table 1. Mean values of reverberation time in classrooms, for 1000 Hz [7, 8]

	Nr sali	Czas pogłosu dla 1000 Hz [s]	Nr sali	Czas pogłosu dla 1000 Hz [s]
Sala z adaptacją	1	0,38	2	0,44
Sala przed adaptacją	1	1,03	2	1,39
Sala bez adaptacji	1 bis	1,05	2 bis	1,19

Tabela 2. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku A w salach nr 1 i 1 bis: $L_{A, głos}$ nauczyciela $L_{A, głos}$ tła akustycznego $L_{A, tła}$ oraz różnicy Lombarda $\Delta L_{A, Lombard}$

Table 2. Results of measurements of the A-weighted sound pressure level in classrooms 1 and 1bis: teacher's voice $L_{A, głos}$, background noise $L_{A, tła}$ and Lombard's difference $\Delta L_{A, Lombard}$

Lp.	Sala	$L_{A, głos}$ [dB]	$L_{A, tła}$ [dB]	$\Delta L_{A, Lombard}$ [dB]	Sala	$L_{A, głos}$ [dB]	$L_{A, tła}$ [dB]	$\Delta L_{A, Lombard}$ [dB]
1	1	59	44	15	1 bis	63	48	15
2	1	64	49	15	1 bis	65	50	15
3	1	59	43	16	1 bis	65	50	15
4	1	55	39	16	1 bis	67	52	15
5	1	64	48	16	1 bis	64	49	15
6	1	58	44	14	1 bis	64	49	15
7	1	62	48	14	1 bis	67	52	15
8	1	57	42	15	1 bis	65	52	13
9	1	61	48	13	1 bis	68	53	15
Średnia	1	59,9	45,0	14,9	1 bis	65,3	50,6	14,8

$L_{A, tła, adapt}$ – poziom dźwięku A tła akustycznego (1 m od jego ust) w pomieszczeniu z adaptacją akustyczną (nr 1 lub 2), w dB.

Badania przeprowadzono podczas normalnych lekcji. Pomiary wykonano podczas 9 lekcji w każdej z 4 klas (łącznie pomiarami objęto 36 lekcji). Ze względu na poruszanie się nauczyciela względem mikrofonu, punkt pomiarowy (odniesienia) zlokalizowano w odległości 1 m od jego biurka. W punkcie tym zmierzono poziom dźwięku A w funkcji czasu $L_{A, biurko}(t)$. Na jego podstawie określono rozkład gęstości wartości poziomów dźwięku A w czasie każdej lekcji w tym punkcie pomiarowym (częstość występowania poszczególnych wartości poziomu dźwięku A), za pomocą programu komputerowego R do analizy statystycznej wyników pomiarów. Przykładowy rozkład pokazano na rysunku.

Rozkłady te są dwumodalne. Mod nr 1 (kolor czerwony na rys.) odnoszący się do mniejszych wartości poziomu dźwięku A odpowiada poziomowi dźwięku A w czasie, gdy nauczyciel milczał, i w związku z tym reprezentuje poziom dźwięku A tła akustycznego $L_{A, tła}$. Mod nr 2 (kolor zielony na rys.) odnoszący się do większych wartości poziomu dźwięku A – reprezentuje największe wartości poziomu dźwięku A w czasie i wynika z poziomu dźwięku A $L_{A, głos}$ nauczyciela określonego w punkcie odniesienia przy biurku ($L_{A, biurko}$). Ponieważ poziom dźwięku A $L_{A, głos}$ nauczyciela powinno się określić w odległości 1 m od jego ust, wprowadzono poprawkę $\Delta L_{A, głos, biurko}$: wówczas poziom dźwięku A $L_{A, głos}$ nauczyciela określono, w dB, ze wzoru:

$$L_{A, głos} = L_{A, głos, biurko} + \Delta L_{A, głos, biurko} \quad (3)$$

Poprawkę $\Delta L_{A, głos, biurko}$ wyznaczono pomiarowo we wszystkich pomieszczeniach, na podstawie jednoczesnego pomiaru 5-minutowego równo-

Tabela 3. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku A w salach nr 2 i 2 bis: głosu nauczyciela $L_{A, \text{głosu}}$, tła akustycznego $L_{A, \text{tła}}$ oraz różnicy Lombarda $\Delta L_{A, \text{Lombard}}$

Table 3. Results of measurements of the A-weighted sound pressure level in classrooms 2 and 2 bis: teacher's voice $L_{A, \text{głosu}}$, background noise $L_{A, \text{tła}}$ and Lombard's difference $\Delta L_{A, \text{Lombard}}$

Lp.	Sala	$L_{A, \text{głosu}}$ [dB]	$L_{A, \text{tła}}$ [dB]	$\Delta L_{A, \text{Lombard}}$ [dB]	Sala	$L_{A, \text{głosu}}$ [dB]	$L_{A, \text{tła}}$ [dB]	$\Delta L_{A, \text{Lombard}}$ [dB]
1	2	58	43	15	2 bis	71	57	14
2	2	60	45	15	2 bis	70	56	14
3	2	58	43	15	2 bis	65	51	14
4	2	59	43	16	2 bis	70	56	14
5	2	58	44	14	2 bis	68	55	13
6	2	56	45	11	2 bis	66	52	14
7	2	60	48	12	2 bis	69	54	15
8	2	56	43	13	2 bis	70	55	15
9	2	56	43	13	2 bis	69	53	16
średnia	2	57,9	44,1	13,8	2 bis	68,7	54,3	14,3

Tabela 4. Różnice przed i po wykonaniu adaptacji akustycznej: poziomu dźwięku A głosu nauczyciela ($\Delta L_{A, \text{głosu}}$), poziomu dźwięku A tła akustycznego ($\Delta L_{A, \text{tła}}$) oraz różnicy Lombarda ($\Delta \Delta L_{A, \text{Lombard}}$)

Table 4. Differences before and after acoustic treatment: A-weighted sound pressure level of teacher's voice ($\Delta L_{A, \text{głosu}}$), A-weighted sound pressure level of background noise ($\Delta L_{A, \text{tła}}$) and Lombard's difference ($\Delta \Delta L_{A, \text{Lombard}}$)

Lp.	Sala	Czas pogłosu dla częstotliwości 1000 Hz, $T_{1000\text{Hz}}$ przed adaptacją / po adaptacji [s]	$\Delta L_{A, \text{głosu}}$ [dB]	$\Delta L_{A, \text{tła}}$ [dB]	$\Delta \Delta L_{A, \text{Lombard}}$ [dB]
1	1	1,05/0,38	5,4	5,6	0,1
2	2	1,19/0,44	10,8	10,2	0,5

ważnego poziomu dźwięku A w punkcie odniesienia przy biurze oraz w obszarze, gdzie znajduje się nauczyciel. Wynosi ona: w sali 1 – 3 dB, w sali 2 – 2 dB, w sali 1 bis – 1 dB, w sali 2 bis – 1 dB.

Nie było potrzeby korygowania wyników poziomu dźwięku A tła akustycznego $L_{A, \text{tła}}$ (mimo iż określono go w tym samym punkcie), ponieważ we wnętrzu poziom dźwięku A tła był w przybliżeniu taki sam.

Efekt Lombarda (różnicę Lombarda) określano ze wzoru:

$$\Delta L_{A, \text{Lombard}} = L_{A, \text{głosu}} - L_{A, \text{tła}} \quad (4)$$

Badania (rozkłady) wykonano w każdym pomieszczeniu dla każdej z 9 lekcji. Wyniki podano w tabeli 2. (sala 1 – z adaptacją akustyczną, sala 1 bis – sala odniesienia dla sali 1.) oraz w tabeli 3. (sala 2 – z adaptacją akustyczną, sala 2 bis – sala odniesienia dla sali 2.).

W tabeli 4. podano, o ile zmniejszyły się wartości poziomu dźwięku A głosu nauczyciela ($L_{A, \text{głosu}}$) oraz poziomu dźwięku A tła akustycznego $L_{A, \text{tła}}$ po wykonaniu adaptacji akustycznej w salach nr 1 i 2. W ostatniej kolumnie tabeli podano, o ile zmieniła się różnica Lombarda ($\Delta L_{A, \text{Lombard}}$) przed i po wykonaniu adaptacji akustycznej w salach 1 i 2.

Wyniki pomiarów potwierdzają efekt Lombarda, którego skutkiem było zarejestrowanie poziomu dźwięku A głosu nauczyciela o 14,3-14,8 dB większego od poziomu dźwięku A tła zarówno przed, jak i po wykonaniu adaptacji akustycznej.

Poziomy dźwięku A tła akustycznego podczas lekcji w salach lekcyjnych z adaptacją akustyczną były o 5,6-10,2 dB niższe niż w salach bez adaptacji akustycznej. Analogicznie poziom dźwięku A głosu nauczyciela („natężenie jego głosu”) w salach z adaptacją akustyczną był

mniejsze o 5,4-10,8 dB niż w salach bez adaptacji. Jest to dowód na istotne zmniejszenie natężenia głosu nauczyciela w przypadku adaptacji akustycznej sal lekcyjnych (w rozpatrywanym przypadku o 5-11 dB).

Reasumując, przed wykonaniem adaptacji akustycznej sal lekcyjnych natężenie głosu nauczycieli podczas lekcji było w większości przypadków nadmierne (poziom dźwięku A głosu 65-69 dB przekraczał poziom uznawany jako graniczny dla mowy niepodniesionym głosem, tj. 66 dB [1]), a po wykonaniu adaptacji akustycznej nauczyciele zmniejszyli natężenie głosu o 7-9 dB i mówili już głosem niepodniesionym (58-60 dB). Mówiąc ciszej w adaptowanych salach lekcyjnych nauczyciele zmniejszyli wysiłek głosowy, co przyczyni się do ograniczenia ich chorób narządu głosu.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów „natężenia głosu” (poziomu dźwięku A głosu w odległości 1 m od ust) nauczyciela oraz tła akustycznego (nauczyciel nie mówi) w salach lekcyjnych z i bez adaptacji akustycznych. Poziomu dźwięku A głosu nauczyciela oraz poziomu dźwięku A tła akustycznego określono z przebiegów w czasie poziomu dźwięku A metodą analizy statystycznej. Otrzymane dla każdej lekcji rozkłady gęstości poziomu dźwięku A są dwumodalne, przy czym mody charakteryzują: tło akustyczne oraz głos nauczycieli. Różnica wartości między tymi poziomami dla każdej lekcji wynosiła 14-15 dB i potwierdziła tzw. efekt Lombarda.

W wyniku wykonania adaptacji akustycznej w pomieszczeniach zmniejszyły się: poziom dźwięku A głosu nauczycieli o 5-11 dB oraz poziom dźwięku A tła akustycznego o 6-10 dB. Poziom

dźwięku A głosu nauczycieli przed wykonaniem adaptacji akustycznej wynosił 65-69 dB, a po wykonaniu adaptacji akustycznej 58-60 dB. Przyjmując, że człowiek mówi podniesionym głosem, gdy wartość tego parametru przekracza 66 dB (nadmierny wysiłek głosowy) można stwierdzić, że w badanych salach bez wykonanej adaptacji głos nauczycieli był nadmiernie obciążony, a w salach z adaptacją – nie.

Wynika z tego, że można za pomocą adaptacji akustycznej pomieszczeń, wpłynąć na obniżenie natężenia głosu nauczycieli, co prowadzi do zmniejszenia wysiłku głosowego nauczycieli, a tym samym przyczyni się do ograniczenia liczby chorób narządu głosu nauczycieli.

PIŚMIENICTWO

[1] PN-EN ISO 9921:2005 Ergonomia – Ocena porozumiewania się mówiący
 [2] PN-EN 60268-16:2011 Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy.
 [3] Lane H., Tranel B. The Lombard sign and the role of hearing in speech. "J. Speech Hear. Res." 1971;14:677-709
 [4] http://pl.wikipedia.org/wiki/Efekt_Lombarda
 [5] Radosz J. Wpływ właściwości akustycznych sal lekcyjnych na poziom ciśnienia akustycznego mowy nauczycieli. „Medycyna Pracy” 2012, 63,4:409-417
 [6] PN-EN ISO 3382-2:2010 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach
 [7] Mikulski W. Schemat postępowania przy projektowaniu adaptacji akustycznej pomieszczeń edukacyjnych. „Bezpieczeństwo Pracy”, 2013, 498,3:20-23
 [8] Mikulski W. Wyniki badań wpływu przykładowych adaptacji akustycznych sal lekcyjnych na jakość komunikacji werbalnej. „Medycyna Pracy” 2013, 64,2:207-215
 [9] Radosz J., Mikulski W. Ocena właściwości akustycznych pomieszczeń pracy nauczycieli na przykładzie wybranych szkół podstawowych. „Bezpieczeństwo Pracy”, 2012, 489,6:16-19
 [10] 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" 2011,36,4:777-794
 [11] Wróblewska D. Acoustical Standards Used in Design of School Spaces. "Acta Physica Polonica A" 2010,118,1:186-189
 [12] Bradley J.S., Bistařa S.R. Relating speech intelligibility to useful-to-detrimental sound ratios. "Journal of the Acoustical Society of America" 2002,112,1:27-29
 [13] Sato H., Bradley J.S. Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school classrooms. "Journal of the Acoustical Society of America" 2008 123,4:2064-2077

Autorzy dziękują mgr Ewie Rozwadowskiej – kierownicze Szkoły Podstawowej nr 212 im. Krystyny Krahejskiej w Warszawie za udostępnienie pomieszczeń do badań.

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego 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.