

dr inż. Witold Mikulski, inż. Izabela Jakubowska

wimik@ciop.pl, izjak@ciop.pl

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy



Program edukacyjny i materiały szkoleniowe w zakresie:

KSZTAŁTOWANIA WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNYCH POMIESZCZEŃ SZKOLNYCH

Opracowano w ramach Projektu II.B.04.pn. „Badania parametrów akustycznych charakteryzujących pomieszczenia przeznaczone do komunikacji słownej w aspekcie poprawy warunków pracy na stanowiskach pracy”, realizowanego w II etapie 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.

Zakres programu

Celem programu *Kształtowania właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych* jest poprawa właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych (w szczególności sal lekcyjnych) pod względem uzyskania w nich: odpowiedniej zrozumiałości mowy, zapewnienia zmniejszenia nadmiernego wysiłku głosowego nauczycieli oraz zmniejszenia hałasu tła akustycznego. Program zawiera: poradnik wykładowcy, slajdy do wykładów oraz tekst materiałów szkoleniowych.

I. Poradnik metodyczny wykładowcy

WSKAZÓWKI METODYCZNE DLA WYKŁADOWCY

Zadaniem wykładowcy jest przekazanie wiedzy w zakresie właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych pod względem uzyskania w nich: odpowiedniej zrozumiałości mowy, zapewnienia zmniejszenia nadmiernego wysiłku głosowego nauczycieli oraz zmniejszenia hałasu tła akustycznego.

Wiedzę tą należy przekazać w oparciu o załączone slajdy w rozdziale II i tekst materiałów szkoleniowych podanych w rozdziale III. Wiedza ta powinna dotyczyć: wymagań akustycznych stawianych pomieszczeniom do prowadzenia lekcji (szkoły), parametrów akustycznych i ich wielkości kryterialnych jakie muszą spełniać sale lekcyjne, metod technicznych wykonania adaptacji akustycznej pomieszczeń oraz metod organizacyjnych tak, aby pomieszczenia spełniły ww. kryteria.

Przekazywanie wiedzy teoretycznej powinno być realizowane metodą wykładu i dyskusji.

Wykładowca powinien posiadać wiadomości podstawowe w zakresie akustyki pomieszczeń przeznaczonych do przekazywania mowy (ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z: czasem pogłosu pomieszczenia, wskaźnikiem transmisji mowy, współczynnikami pochłaniania materiałów oraz natężenia głosu wykładowców).

Wykładowca powinien kontrolować stopień przyswajania wiedzy i zdobywania umiejętności drogą zadawania pytań i sterowania dyskusją między uczestnikami.

MATERIAŁ PRZEZNACZONY JEST DLA specjalistów bhp, projektantów zabezpieczeń przeciwhałasowych, pracowników szkół (w tym nauczycieli i wykładowców).

CZAS REALIZACJI 2x45 min

POZIOM WIEDZY POCZĄTKOWEJ wykształcenie średnie techniczne (w części informacyjnej średnie)

CELE MODUŁU po zapoznaniu się z problematyką zawartą w module, uczestnik wykładu powinien:

- wiedzieć co to jest akustyka pomieszczeń,
- wiedzieć jakimi parametrami charakteryzuje się akustykę pomieszczeń,
- wiedzieć jakie są przyczyny, objawy i skutki nadmiernego obciążania narządu głosu,
- znać miejsca w szkołach, gdzie występuje największy hałas,

- wiedzieć jakimi metodami technicznymi można poprawić właściwości akustyczne pomieszczeń,
- znać kryteria i wartości kryterialne parametrów charakteryzujących sale lekcyjne,
- wiedzieć jakimi metodami organizacyjnymi można poprawić właściwości akustyczne sal lekcyjnych,
- umieć wybrać, na podstawie wartości współczynnika pochłaniania dźwięku, materiały dźwiękochłonne do stosowania w sufitach podwieszanych oraz w kasetonach na ścianach pomieszczenia.



Treści	Wskazówki	Metoda	Czas (w min)	Środki dydaktyczne	Metody kontroli
Zakres szkolenia	<ul style="list-style-type: none"> • Zapoznaj uczestników z celami 	wykład	2		
Choroby zawodowe wywołane nadmiernym hałasem	<ul style="list-style-type: none"> • Omów choroby zawodowe wywołane nadmiernym hałasem w szkołach 	wykład	5	foliogramy	dyskusja na temat
Stan zagrożenia hałasem pracowników	<ul style="list-style-type: none"> • Omów stan zagrożenia hałasem pracowników z uwzględnieniem nauczycieli 	wykład	3	foliogramy	pytania zadawane słuchaczom
Klimat akustyczny w szkole	<ul style="list-style-type: none"> • Omów ogólnie klimat akustyczny w szkole 	wykład	2	foliogramy	pytania zadawane słuchaczom
Zagrożenia hałasem nauczycieli ze względu na ochronę słuchu	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw kryteria oceny i omów wyniki badań zagrożenia hałasem nauczycieli ze względu na ochronę słuchu 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Hałas przenikający do sal lekcyjnych od wyposażenia technicznego	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw kryteria oceny i omów wyniki badań hałasu przenikającego do sal lekcyjnych od wyposażenia technicznego budynku 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Hałas tła akustycznego podczas lekcji	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw kryteria oceny i omów wyniki badań hałasu tła akustycznego w salach lekcyjnych podczas lekcji 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Natężenie głosu nauczycieli	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw kryteria oceny i omów wyniki badań natężenia głosu nauczycieli w salach lekcyjnych podczas lekcji • Zdefiniuj i wyjaśnij Efekt Lombarda 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Zrozumiałość mowy w salach lekcyjnych	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw kryteria oceny i omów wyniki badań zrozumiałości mowy w salach lekcyjnych podczas lekcji 	wykład	5	foliogramy	dyskusja

Czas pogłosu w salach lekcyjnych	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw kryteria oceny i omów wyniki badań czasu pogłosu w salach lekcyjnych 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Wielkości określające klimat akustyczny w szkole	<ul style="list-style-type: none"> • Omów elementy wpływające na klimat akustyczny w szkole oraz wielkości stosowane w kryteriach oceny sal lekcyjnych 	wykład	3	foliogramy	dyskusja
Adaptacja akustyczna – techniczna metoda poprawy klimatu akustycznego	<ul style="list-style-type: none"> • Omów ogólne wytyczne wykonania adaptacji akustycznej 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Przykład adaptacji akustycznej sali wykładowej i 2 sal lekcyjnych	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw sale w których przeprowadzono adaptacje akustyczne • Omów wpływ adaptacji akustycznej na zrozumiałość mowy i czas pogłosu w tych salach • Zdefiniuj współczynnik pochłaniania materiału • Przedstaw i omów materiały dźwiękochłonne zastosowane w adaptacji akustycznej 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Adaptacja akustyczna – schemat postępowania	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw schemat postępowania przy wykonywaniu adaptacji akustycznej 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Wpływ adaptacji na poziom tła akustycznego od wyposażenia technicznego budynku	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw i omów wpływ adaptacji akustycznej na poziom dźwięku A tła akustycznego od wyposażenia technicznego budynku na przykładzie 8 sal lekcyjnych 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Wpływ adaptacji na czas pogłosu	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw i omów wpływ adaptacji na czas pogłosu na przykładzie 8 sal lekcyjnych 	wykład	5	foliogramy	dyskusja

pomieszczeń					
Wpływ adaptacji na poziom natężenia głosu nauczycieli	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw i omów wpływ adaptacji na poziom natężenia głosu nauczycieli 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Wpływ adaptacji na zrozumiałość mowy	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw i omów wpływ adaptacji na zrozumiałość mowy na przykładzie 8 sal lekcyjnych 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Wpływ wyposażenia na zrozumiałość mowy i czas pogłosu sal lekcyjnych	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw i omów wpływ wyposażenia na zrozumiałość mowy i czas pogłosu sal lekcyjnych 	wykład	5	foliogramy	dyskusja
Zalecenia dotyczące uzyskania odpowiednich warunków akustycznych w salach lekcyjnych	<ul style="list-style-type: none"> • Przedstaw i omów zalecenia dotyczące uzyskania odpowiednich warunków akustycznych w salach lekcyjnych 	wykład	5	foliogramy	dyskusja


II. Slajdy do wykładów pn. *Kształtowanie właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych pod względem uzyskania odpowiedniej zrozumiałości mowy i zmniejszenia nadmiernego wysiłku głosowego nauczycieli*

**Wytyczne w zakresie kształtowania
właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych
pod względem uzyskania odpowiedniej zrozumiałości mowy
i zmniejszenia nadmiernego wysiłku głosowego nauczycieli**



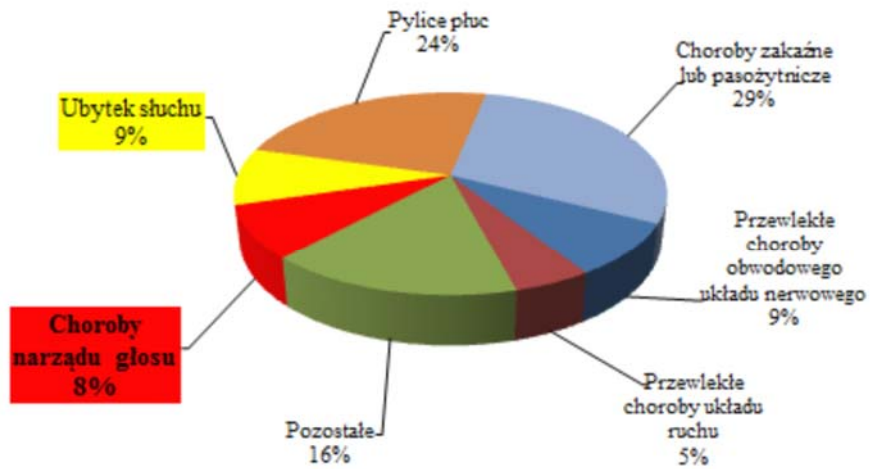
Witold Mikulski
*Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy*

Projekt II.B.04. Badania parametrów akustycznych charakteryzujących pomieszczenia przeznaczone do komunikacji słownej w aspekcie poprawy warunków pracy na stanowiskach pracy.
Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2015 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.
Witold Mikulski
Jan Radars
Izabela Jakubowska
Jerzy Kasłowaki

CIOP  **PIB** Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Rys. 1

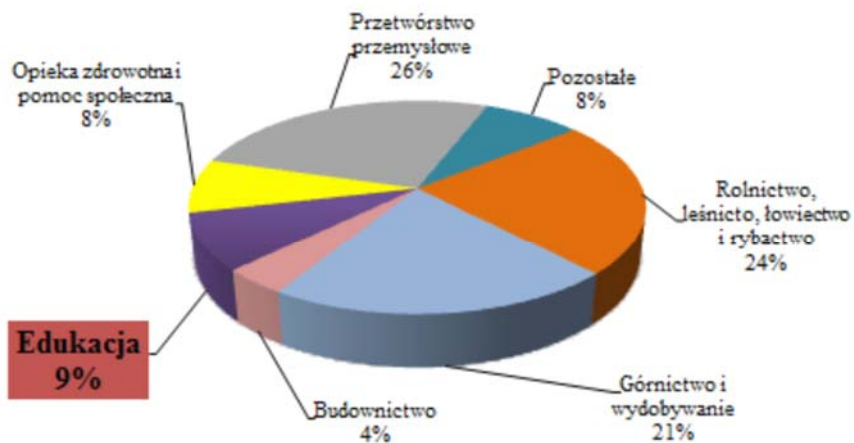
Choroby zawodowe w Polsce



Rys. Choroby zawodowe w Polsce w 2012 r (wg ILO 2402 osób)

Rys. 2

Choroby zawodowe według Polskiej Klasyfikacji Działalności



Rys. Choroby zawodowe w 2012 r wg Polskiej Klasyfikacji Działalności

Rys. 3

Dźwięki pożyteczne i niepożądane w szkole

Właściwy klimat akustyczny w szkole – odpowiednie dźwięki pożyteczne i minimalizacja dźwięków niepożądanych

Pożyteczne źródła:

- głos nauczyciela
- filmy, nagrania
- dzwonek



Skutki:

- przekaz werbalny
- efektywne nauczanie
- lepsze warunki pracy
- sygnały informacyjne

Niepożądane źródła:

- hałas uliczny
- hałas instalacyjny
- hałas bytowy
- dzwonek



Skutki:

- uszkodzenie narządu słuchu
- uszkodzenie narządu mowy
- uciążliwość
- zmniejszenie zrozumiałości mowy
- stres, zdenerwowanie, rozdrażnienie

Rys. 4

Właściwy klimat akustyczny w szkole – odpowiednie dźwięki pożyteczne i minimalizacja dźwięków niepożądanych

Minimalizacja dźwięków niepożądanych

Odpowiednie warunki akustyczne

Ochrona
słuchu

A
 $L_{EK, 5s} = 85\text{dB}$
 $L_{Amax} = 115\text{dB}$
 $L_{Cpeak} = 135\text{dB}$

Wyposażenie
techniczne

B
 $L_{Aeq} = 40\text{dB}$

Źródła
hałasu tła

C
 $L_{Aeq, Tc} = 55\text{dB}$

D
 Poziom natężenia głosu
 min 60 max 65 dB

Zapewnienie zrozumiałości mowy

E
 Wskaźnik
 zrozumiałości
 mowy
 $STI \geq 0,62$

F
 Czas pogłosu
 $T_p < 0,65\text{s}$

Rys. 5

A. Poziomy dopuszczalne na stanowiskach pracy ze względu na ochronę słuchu


Tabela. Poziomy dopuszczalne na stanowiskach pracy ze względu na ochronę słuchu (Załącznik 2 Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy)

Wielkość charakteryzująca hałas		Wartość dopuszczalna [dB]
Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy	$L_{EX, 8h}$ $L_{EX, w}$	85
Maksymalny poziom dźwięku A	L_{Amax}	115
Szczytowy poziom dźwięku C	L_{Cpeak}	135

Rys. 6

A. Hałas w szkołach

Sytuacja	Uwagi	(55dB/8h)	(110dB)	(130dB)
		L_{Aeq} [dB]	L_{Amax} [dB]	L_{Cpeak} [dB]
praca nauczyciela	hałas oddziałujący na nauczyciela	70-75	96	113
Sytuacja	Uwagi	L_{Aeq} [dB]	L_{Amax} [dB]	L_{Cpeak} [dB]
lekcja w klasie	tylko głos nauczyciela	57-72	85	110
lekcja sportowa	na sali gimnastycznej	79-82	95	111
	na boisku szkolnym (przy trasie)	63	71	86
przerwa	dzieci na korytarzu	78-85	93	108
w stołówce	obiad	74-81	95	111
wyjście dzieci klatką schodową	samodzielnie	87	89	108
	pod kontrolą nauczyciela	75	81	98
pokój nauczycielski		47-74	83	102

Ocena ze względu na ochronę słuchu  zgodnie z warunkami

Rys. 7

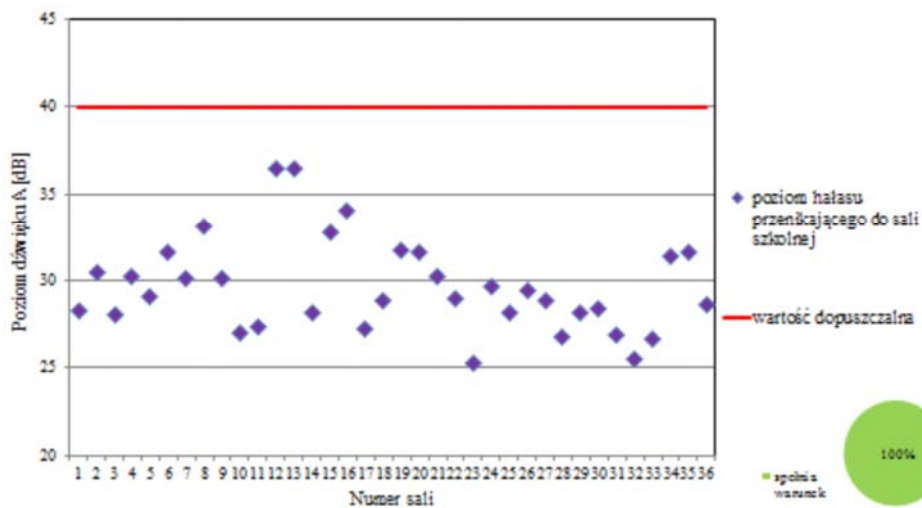
B. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczeń w budynkach od wyposażenia technicznego

Tab. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach PN-B-02151.02:1987

Przeznaczenie pomieszczenia	Poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wszystkich źródeł hałasu łącznie L_{Aeq} [dB]		Dopuszczalny poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wyposażenia technicznego budynku oraz innych urządzeń w budynku i poza budynkiem			
			Średni poziom dźwięku A, (L_{Aeq}) (przy hałasie ustalonym) lub równoważny poziom dźwięku A, (L_{Aeq}) (przy hałasie niestalonym), [dB]		Maksymalny poziom dźwięku A, (L_{Amax}) (przy hałasie niestalonym), [dB]	
	w dzień	w nocy	w dzień	w nocy	w dzień	w nocy
Klasy i pracownie szkolne (za wyjątkiem pracowni zajęć technicznych), sale wykładowe, audytoria	40	-	35	-	40	-

Rys. 8

B. Wartości poziomu dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wszystkich źródeł hałasu łącznie w klasach szkolnych bez adaptacji



Rys. 9

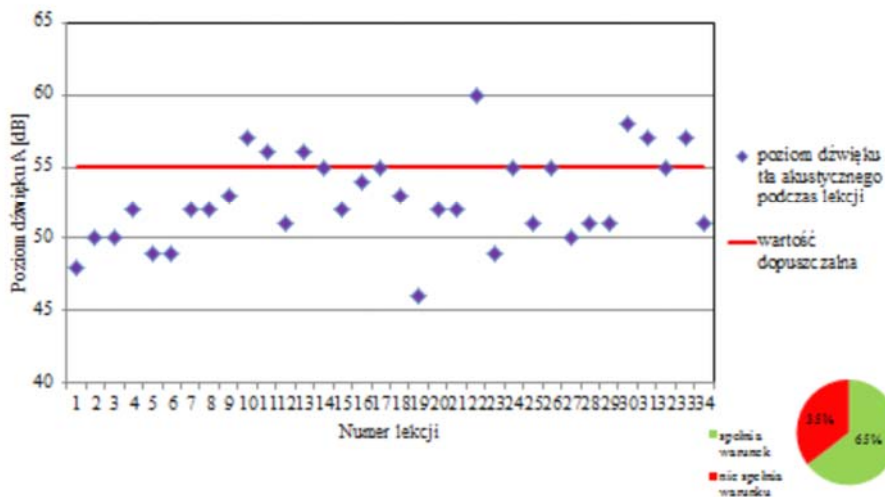
C. Dopuszczalne wartości NDN hałasu w środowisku pracy ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań

Tab. Dopuszczalne wartości NDN hałasu w środowisku pracy ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań (wg PN-N-01307:1994)

Stanowisko pracy	Równoważny poziom dźwięku $A L_{A,eq,T,2}$ [dB]
W pomieszczeniach: administracyjnych, biur projektowych, do prac teoretycznych, opracowania danych i innych, o podobnym przeznaczeniu	55

Rys. 10

C. Wartości poziomu dźwięku A tła akustycznego od wszystkich źródeł hałasu łącznie w szkołach podczas prowadzonych zajęć lekcyjnych bez adaptacji



Rys. 11

D. Poziom natężenia głosu nauczyciela w komunikacji werbalnej

Według normy PN-EN ISO 9921:2005 *Ergonomia - Ocena porozumiewania się mową* przyjmuje się, że człowiek mówi podniesionym głosem (nadmierny wysiłek głosowy), gdy poziom dźwięku A głosu w odległości 1 m od ust mówiącego (potoczny termin poziom natężenia głosu) jest większy lub równy 66dB.

Wysiłek głosowy	Poziom dźwięku A głosu w odległości 1 m
Mowa bardzo głośna	78 dB
Mowa głośna	72 dB
Głos podniesiony	66 dB
Mowa normalna	60 dB

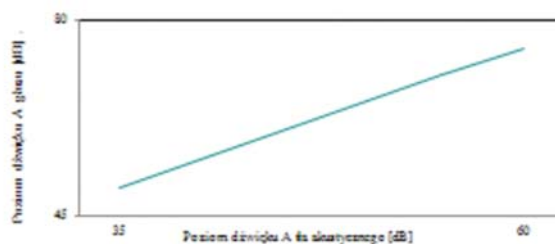
Rys. 12

Efekt Étienne Lombarda

Osoba zawodowo używająca mowy (np. nauczyciel, wykładowca) podświadomie tak reguluje *poziom natężenia głosu*, aby poziom dźwięku A jej głosu przewyższał poziom dźwięku A tła akustycznego o kilkanaście decybeli (*różnica Lombarda*).



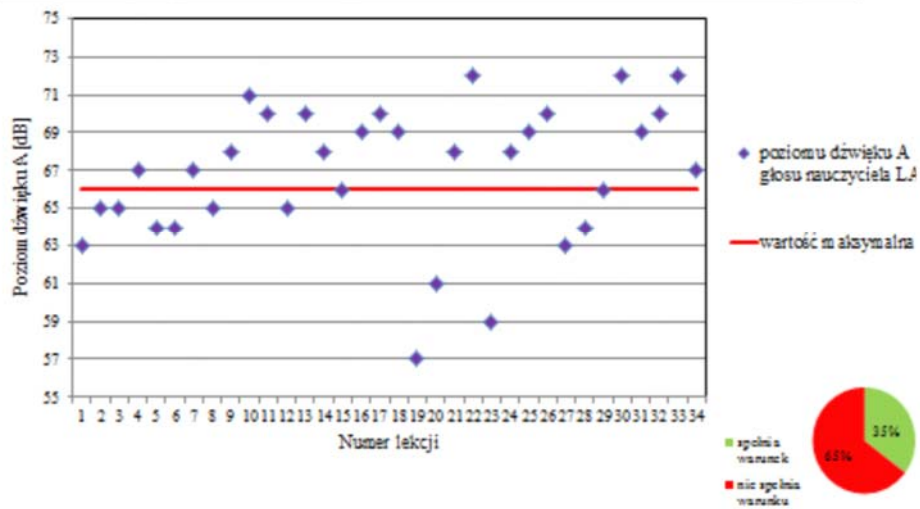
$$\Delta L_{A,Lombard} = L_{A,głosu} - L_{A,tła}$$



Rys. Zależność poziomu dźwięku A głosu mówiącego od poziomu dźwięku A tła akustycznego

Rys. 13

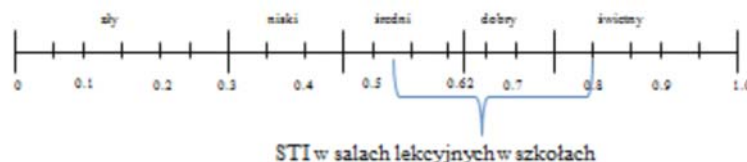
D. Wartości poziomu dźwięku A głosu nauczyciela podczas prowadzenia lekcji w szkole bez adaptacji



Rys. 14

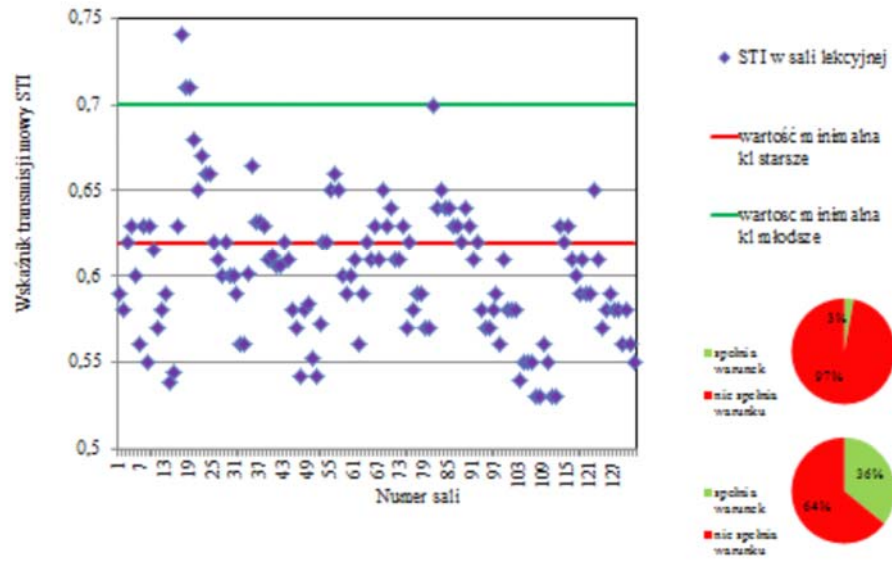
E. Wskaźnik zrozumiałości mowy STI

Wskaźnik transmisji mowy STI (Speech Transmission Index) jest miarą jakości transmisji mowy stosowanej do obiektywnej oceny zrozumiałości mowy w salach lekcyjnych. Mimo iż możliwy zakres wartości wskaźnika transmisji mowy STI jest od 0 do 1 to w rzeczywistych pomieszczeniach jego wartości zawierają się w zakresie od ok. 0,35 (pomieszczenia całkowicie puste) do ok. 0,9 (pomieszczenia z doskonałą akustyką, obszar znajdujący się bardzo blisko osoby mówiącej). W salach szkolnych wartość wskaźnika transmisji mowy STI powinna być $\geq 0,62$ w klasach starszych oraz 0,7 w klasach młodszych. STI uwzględnia m.in.: poziom sygnału mowy, poziom tła akustycznego, czas pogłosu, echa oraz maskowanie dźwięku.



Rys. 15

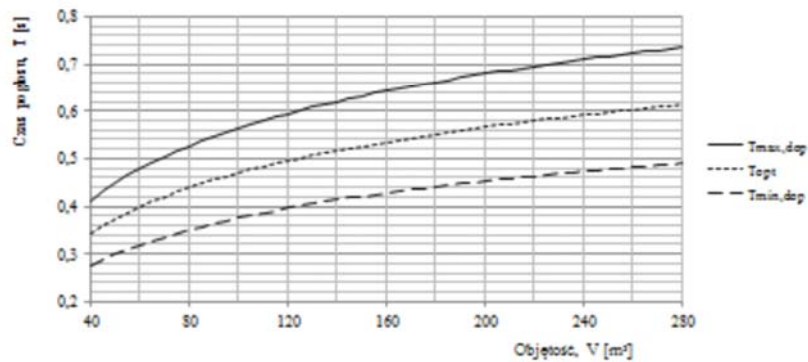
E. Wskaźnik zrozumiałości mowy STI w salach szkolnych bez adaptacji



Rys. 16

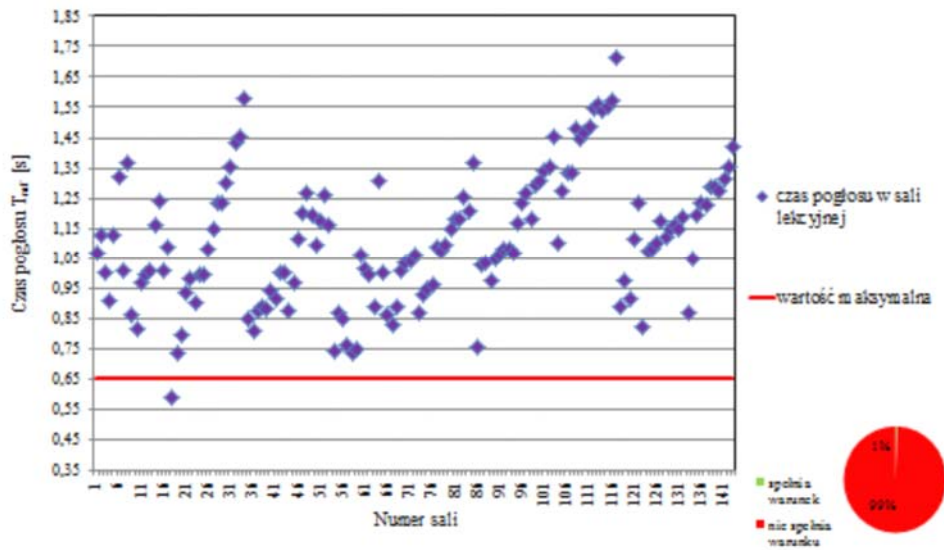
F. Czas pogłosu (pogłos)

Parametr, który określa czas zanikania dźwięku w pomieszczeniu. W salach lekcyjnych obowiązuje zasada: jeżeli czas pogłosu < 0.65 , tym większy komfort akustyczny pomieszczenia. Czas pogłosu liczony jest w sekundach: T_p [s].



Rys. 17

F. Wartości czasu pogłosu w salach szkolnych bez adaptacji

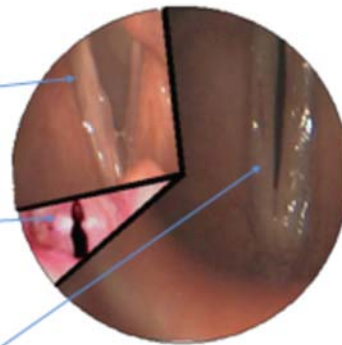


Rys. 18

Choroby narządu głosu nauczycieli

Przewlekła choroba narządu głosu, trwająca co najmniej 15 lat, jest główną chorobą zawodową występującą w zawodzie nauczycielskim. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2009 r. w sprawie chorób zawodowych wyróżnia choroby narządu głosu takie jak:

- wtórne zmiany przerostowe fałdów głosowych
- guzki głosowe twarde
- niedowład mięśni wewnętrznych krtani
wrzecionowatą niedomykalnością fonacyjną głosni trwałą dysfonią



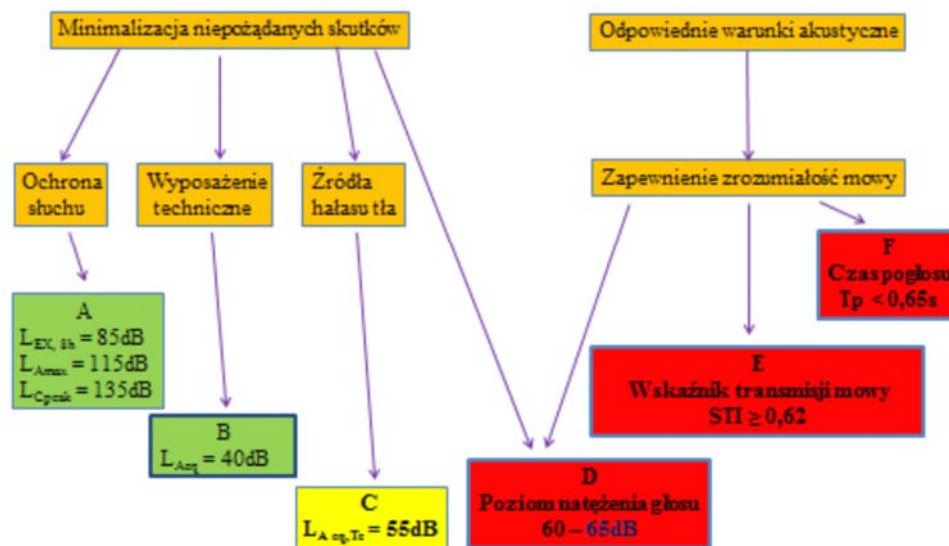
Rys. 19

Profilaktyka chorób zawodowych nauczycieli

- zapewnienie obowiązkowego kształcenia w zakresie emisji głosu (na studiach i cyklicznie w trakcie kariery zawodowej)
- zapewnienie regularnych konsultacji foniatrycznych
- ograniczenie liczebności klas
- zapewnienie prawidłowej organizacji pracy, uwzględniającej przerwy w wysiłku głosowym
- wyposażenie klas w mikrofony i sprzęt nagłaśniający
- zapewnienie komfortu pracy głosem (prawidłowy mikroklimat i jakość powietrza)
- wczesna identyfikacja wśród kandydatów na studentów wydziałów pedagogicznych osób z predyspozycjami do chorób narządu głosu
- zwiększenie świadomości wśród nauczycieli o innych zachowaniach prozdrowotnych (np. niepalenie papierosów)

Rys. 20

Właściwy klimat akustyczny w szkole → minimalizacja niepożądanych i warunki odpowiednie



Rys. 21

Korelacja wskaźnika transmisji mowy STI z oceną subiektywną oraz zrozumiałością sylab, słów i zdań.

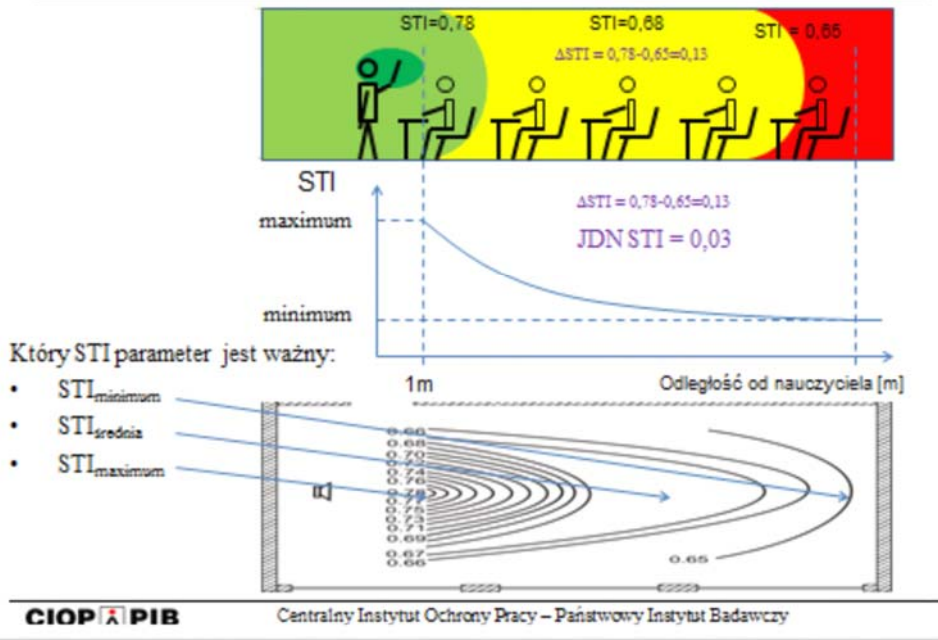
Zrozumiałość mowy	STI	Zrozumiałość sylab, %	Zrozumiałość słów, %	Zrozumiałość zdań, %
Zła	0 – 0,3	0 - 34	0 - 67	0 - 89
Niska	0,3 – 0,45	34 - 48	67 - 78	89 - 92
Średnia (zadowalająca)	0,45 – 0,6	48 - 67	78 - 87	92 - 95
Dobra	0,6 – 0,75	67 - 90	87 - 94	95 - 96
Doskonała	0,75 - 1	90 - 96	94 - 96	96 - 100



Zalecany STI sale lekcyjne $\geq 0,62-0,70$
 Zalecany $T < 0,65$

Rys. 22

Wpływ adaptacji akustycznej na zrozumiałość mowy – wyniki badań



Rys. 23

Wpływ adaptacji akustycznej na zrozumiałość mowy – wyniki badań



- Wymiary 14 x 5 x 3m
- Objętości V= 210m³
- Proporcje pomieszczenia pustego 4,7 x 1,7 x 1

- Wymiary 8,8 x 5,8 x 3,2m
- Objętości V=160m³
- Proporcje pomieszczenia pustego 2,7 x 1,8 x 1



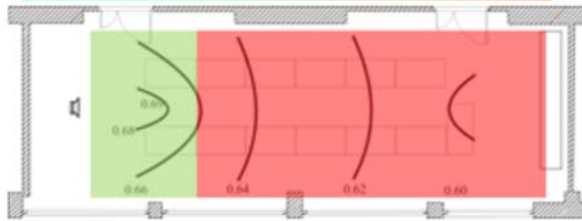
Rys. 24

Wpływ adaptacji akustycznej na zrozumiałość mowy w sali nr 1

Kryterium STI $\geq 0,66$

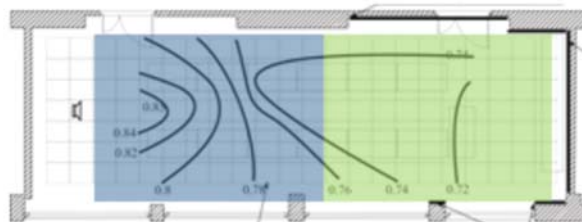


Przed adaptacją: STI_r = 0,63 nie spełnia kryterium



STI (zakres)	
0,75-1	Doskonale
0,6	Dobry
0,45	Dostateczny
0,3	Niski
0-0,29	Zły

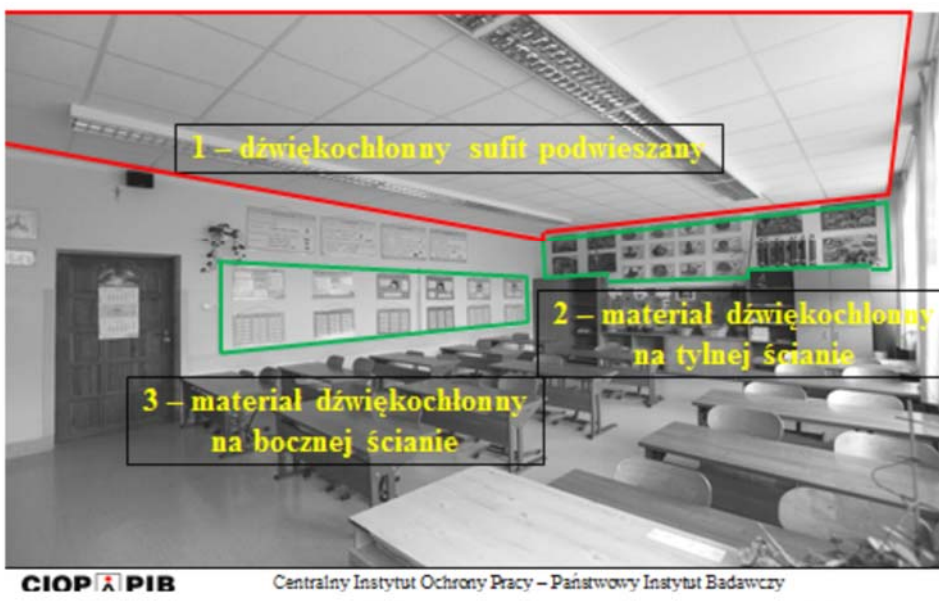
JDN STI = 0,03



Po adaptacji STI_r = 0,76 Doskonala, spełnia kryterium

Rys. 25

Adaptacja sal szkolnych



Rys. 26

Rys.27

Właściwości akustyczne zastosowanych wyrobów (materiałów)



- Rys. Zastosowane wyroby dźwiękochłonne (materiały):
- a) sufit podwieszany A o współczynniku pochłaniania 0,6
 - b) sufit podwieszany B o współczynniku pochłaniania 0,9
 - c) sufit podwieszany C o współczynniku pochłaniania 0,95
 - d) sufit podwieszany D o współczynniku pochłaniania 0,35
 - e) materiał zastosowany na ścianach 0,9E o współczynniku pochłaniania 0,9

Ecoophon
SANT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

CIOP **PIB**

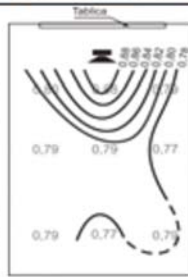
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Rys. 27

Wpływ adaptacji akustycznej na zrozumiałość mowy w sali nr 2 i 3

Kryterium $STI \geq 0,62$ 0,7

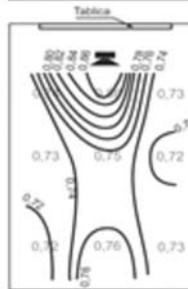
Sala nr 2



Przed adaptacją $STI_{av} = 0,63$ Dobra
Po adaptacji $STI_{av} = 0,8$ Doskonała

STI (jakość)	
0,75-1	Doskonała
0,6	Dobra
0,45	Dostateczna
0,3	Ważna
0-0,29	Zła

Sala nr 3



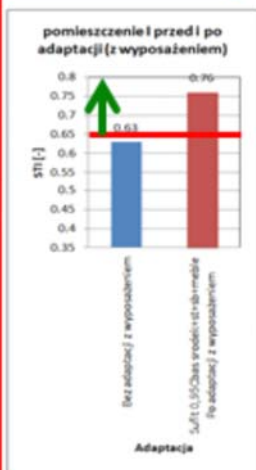
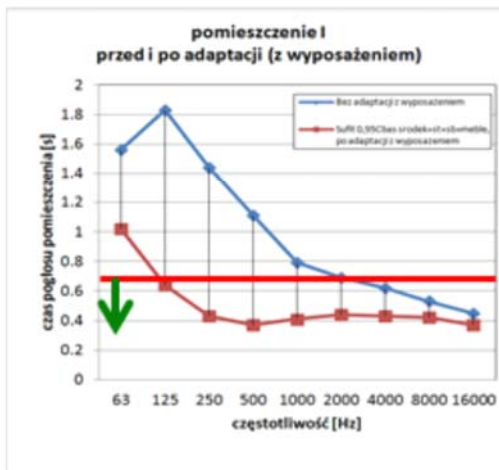
Przed adaptacją $STI_{av} = 0,55$
Dostateczna, ale niespełnia kryterium ($< 0,62$)
Po adaptacji $STI_{av} = 0,75$ Doskonała

Rys. 28

Rys.30

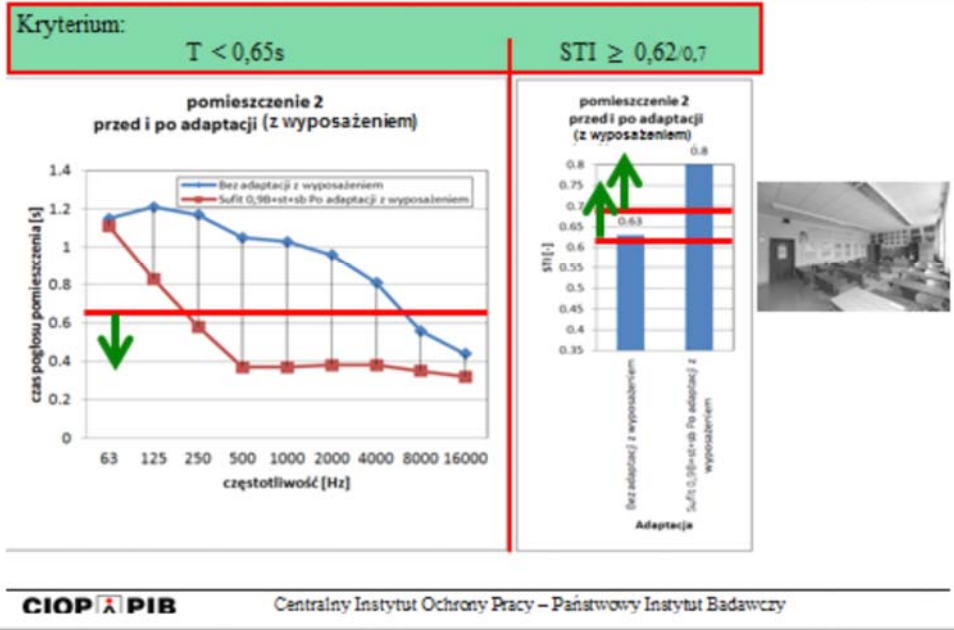
Wpływ adaptacji akustycznej na zrozumiałość mowy w sali wykładowej nr 1

Kryterium: $T < 0,65s$ $STI \geq 0,66$



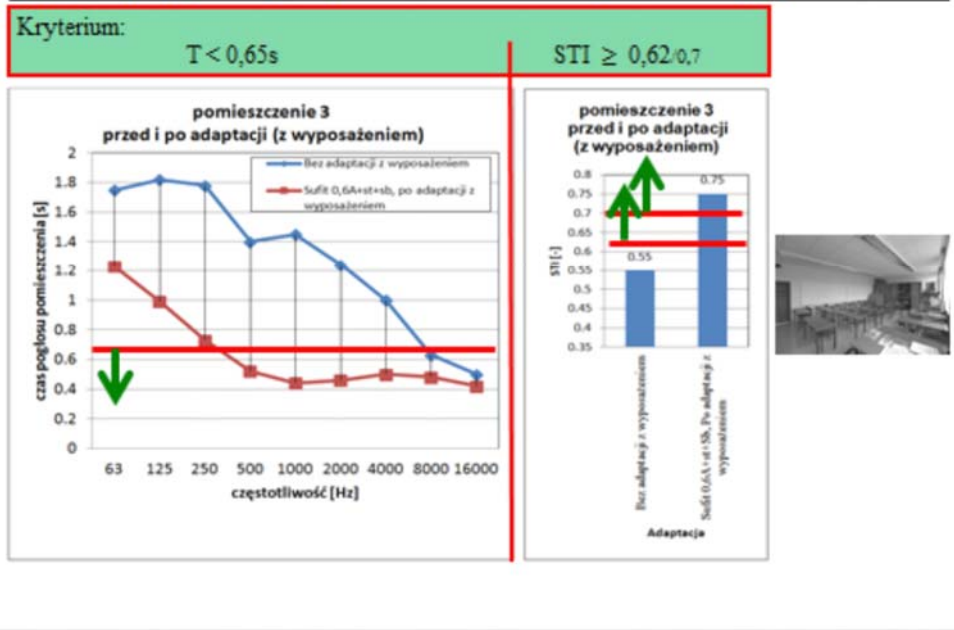
Rys. 29

Wpływ adaptacji akustycznej na zrozumiałość mowy w sali lekcyjnej nr 2



Rys. 30

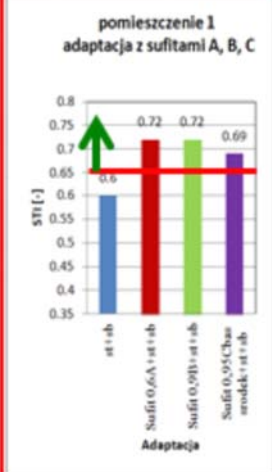
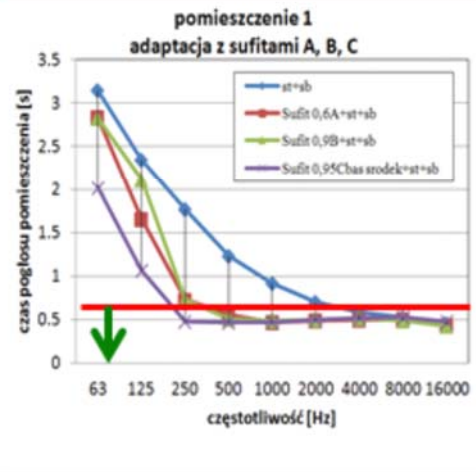
Wpływ adaptacji akustycznej na zrozumiałość mowy w sali lekcyjnej nr 3



Rys. 31

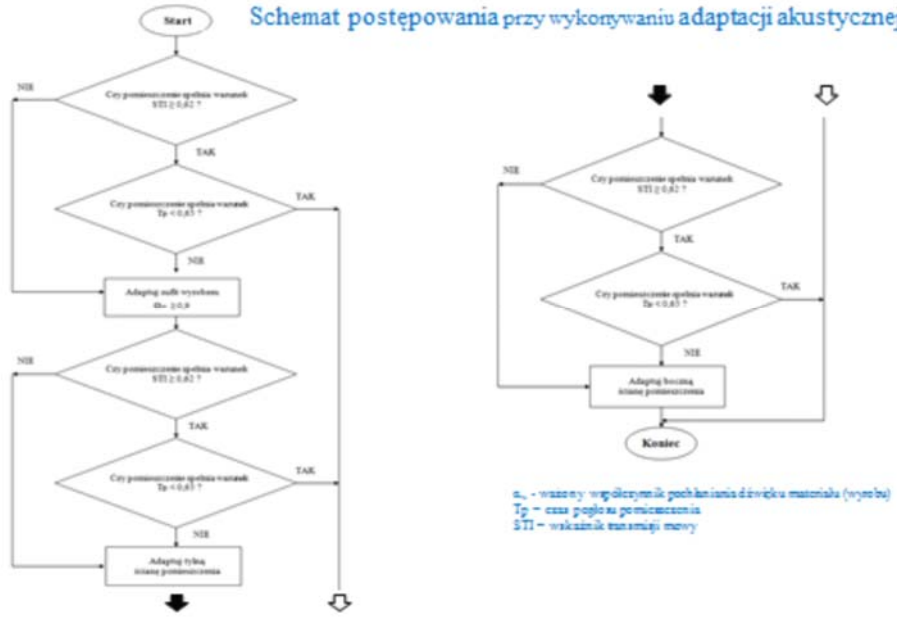
Wpływ różnych dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych

Kryterium: $T < 0,65s$ $STI \geq 0,66$



Rys. 32

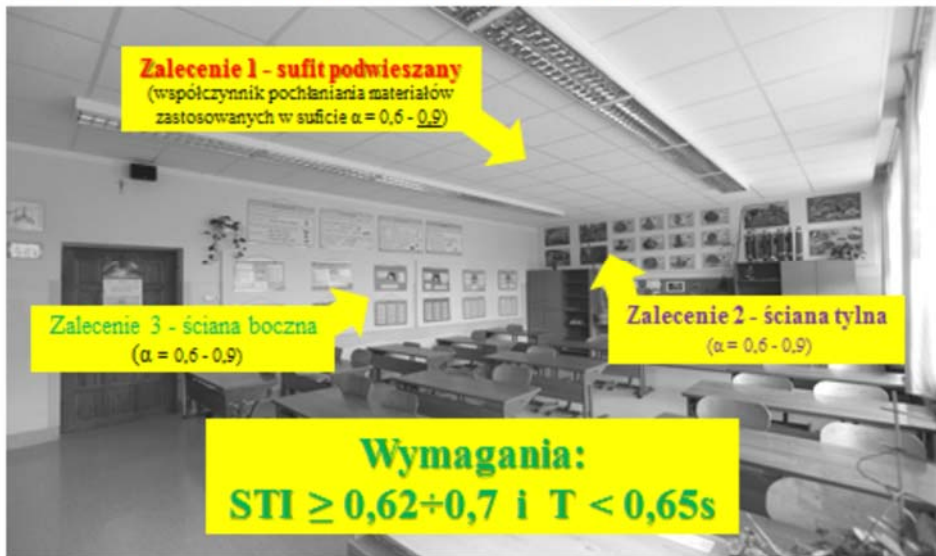
Schemat postępowania przy wykonywaniu adaptacji akustycznej



α_w - wartości współczynników pochłaniania dźwięku materiałów (ryzytu b);
 T_p - czas pogłosu pomieszczenia;
 STI - wskaźnik transmisji mowy

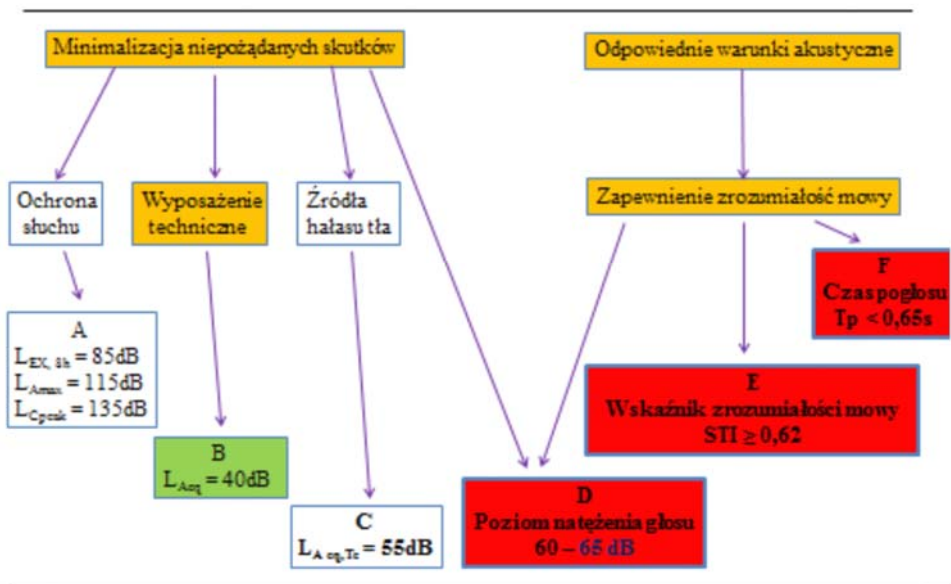
Rys. 33

Wytczne techniczne adaptacji akustycznej sal lekcyjnych



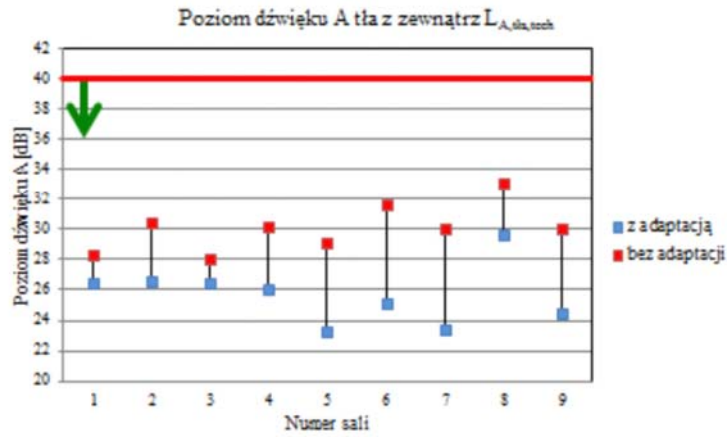
Rys. 34

Właściwy klimat akustyczny w szkole → adaptacja akustyczna



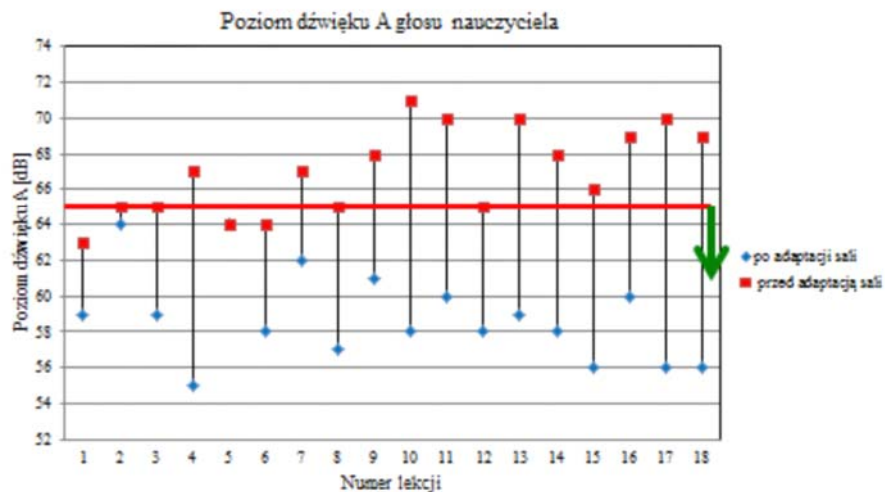
Rys. 35

B. Wpływ adaptacji akustycznej na poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wszystkich źródeł hałasu spoza pomieszczenia łącznie



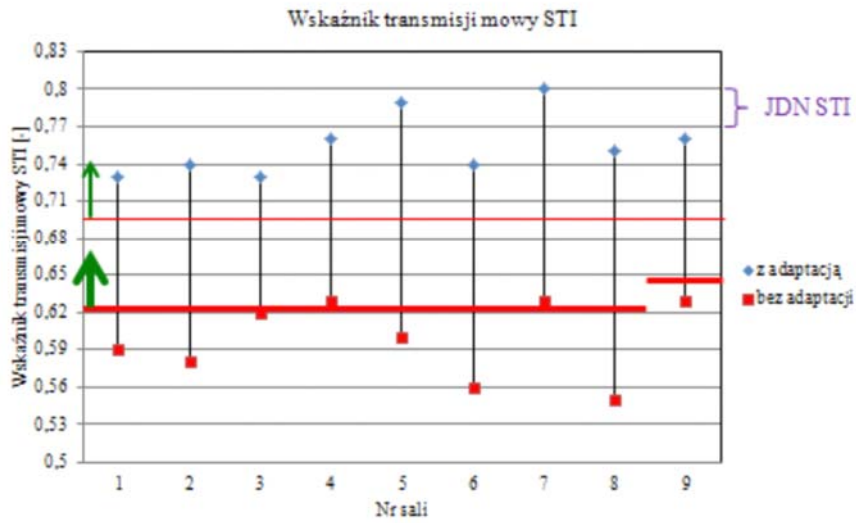
Rys. 36

D. Wpływ adaptacji akustycznej na poziom dźwięku A głosu nauczyciela



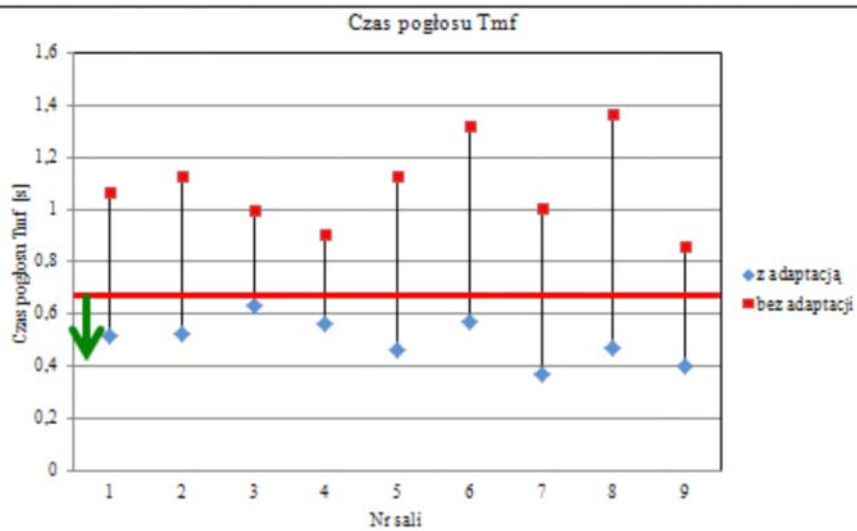
Rys. 37

E. Wpływ adaptacji akustycznej na zrozumiałość mowy w salach lekcyjnych STI



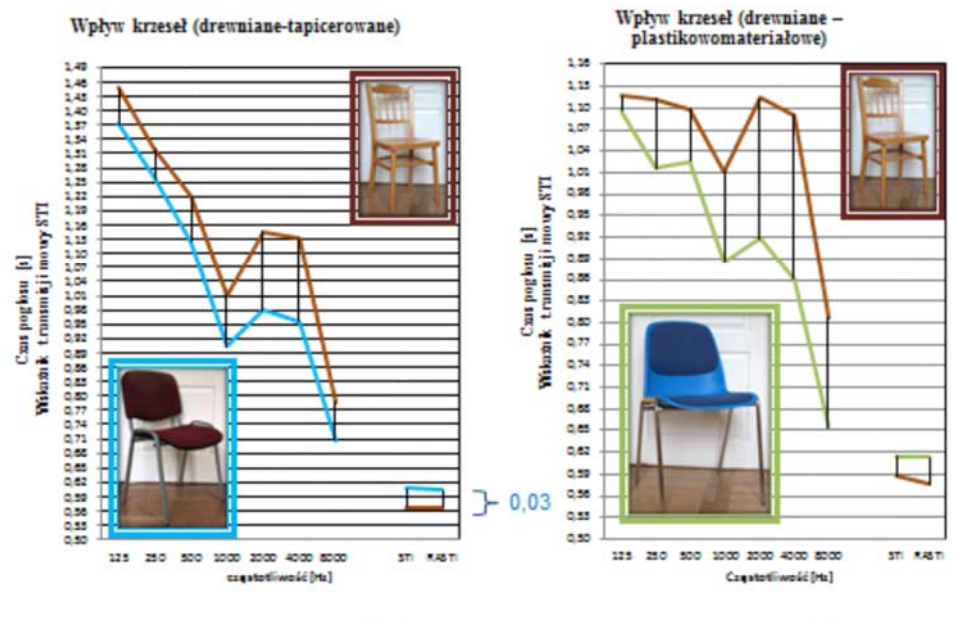
Rys. 38

F. Wpływ adaptacji akustycznej na czas pogłosu T_{mf} w salach lekcyjnych



Rys. 39

Wpływ wyposażenia (krzesel) na czas pogłosu i zrozumiałość mowy – „case study”



Rys. 40

Zalecenia dotyczące uzyskania odpowiednich warunków akustycznych

- w każdej sali powinien znajdować się **dźwiękochłonny sufit podwieszany** (współczynnik pochłaniania dźwięku materiałów zastosowanych w suficie powinien być równy ok. 0,9),
- część **ściany tyłnej** na wysokości od 1m do ok. 2m powinno się pokryć wyrobami dźwiękochłonnymi (współczynnik pochłaniania dźwięku ok.0,9),
- **ścianę boczną** sali na wysokości od 1m do ok. 2m na długości ok. 4m powinno się pokryć wyrobem dźwiękochłonnym (współczynnik pochłaniania ok.0,9),
- w sali powinno być jak najwięcej wyposażenia w tym elementów z materiału: krzesła tapicerowane, firanki, zasłony, rolety (unikając załuzji),
- okna sali powinny być **szczelne**, o nowoczesnej konstrukcji (izolacyjność akustyczna na poziomie ok. 30dB),
- drzwi powinny **szczelnie przylegać do ramy**, a na dole powinna być listwa ograniczająca szparę pod drzwiami (w przypadku prowadzenia zajęć lekcyjnych na korytarzach izolacyjność drzwi powinna być podwyższona).

Rys. 41

III. Materiały szkoleniowe pn. *Kształtowania właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych*

Wstęp

Szkoły są zarówno środowiskiem pracy jak i miejscem nauki. W większości przypadków zarówno nauczyciele jak i uczniowie nie są narażeni na hałas powodujący trwałe ubytki słuchu. Podstawową funkcją szkół jest przekazywanie wiedzy, co jest wykonywane przez komunikację werbalną (przekazywanie mowy). Jakość przekazywania mowy, mająca istotny wpływ na szybkość i jakość przekazywania wiedzy, określa się zrozumiałością mowy na drodze osoba mówiąca (nauczyciel) – słuchacz (uczeń). Na zrozumiałość mowy poza nauczycielem i poziomem dźwięków zakłócających (hałasem tła), mają wpływ właściwości akustyczne pomieszczenia (sali lekcyjnej).

Wykonanie adaptacji akustycznej sal lekcyjnych umożliwia metodą techniczną obniżenie tła akustycznego i obniżenie „natężenia głosu” nauczycieli, co w konsekwencji przyczynia się do ograniczenia nadmiernego obciążenia narządu głosu nauczycieli – głównej przyczyny najpowszechniej występującej choroby zawodowej w tej grupie pracowników.

Słowniczek

Czas pogłosu

Parametr, który określa czas zanikania dźwięku w pomieszczeniu po wyłączeniu źródła. W standardowych salach lekcyjnych obowiązuje zasada – im czas pogłosu jest mniejszy tym komfort akustyczny pomieszczenia jest większy. Czas pogłosu T_p liczony jest w sekundach [s].

STI –Wskaźnik transmisji mowy

Wskaźnik transmisji mowy jest parametrem określającym zrozumiałość mowy. Mimo iż możliwy zakres wartości wskaźnika transmisji mowy STI jest od 0 do 1 to w rzeczywistych pomieszczeniach jego wartości zawierają się w zakresie od ok. 0,35 (pomieszczenia całkowicie puste) do ok. 0,9 (pomieszczenia z doskonałą akustyką, obszar znajdujący się bardzo blisko osoby mówiącej). Skala wartości wskaźnika transmisji mowy jest tak skonstruowana, że najmniejsza rozróżnialna subiektywnie zrozumiałość mowy to 0,03. Znaczy to, że człowiek subiektywnie i słuchowo potrafi rozróżnić różną jakość zrozumiałości mowy dwóch pomieszczeń, gdy wskaźniki transmisji mowy w tych pomieszczeniach będą miały wartości różniące się przynajmniej o 0,03.

Tabela. 1. Korelacja wartości wskaźnika transmisji mowy STI z oceną subiektywną i innymi wskaźnikami dotyczącymi zrozumiałości mowy

Zrozumiałość mowy	STI	Zrozumiałość sylab [%]	Zrozumiałość słów [%]	Zrozumiałość zdań [%]
zła	0 - 0.3	0 - 34	0 - 67	0 - 89
niska	0.3 - 0.45	34 - 48	67 - 78	89 - 92
średnia (zadawalająca)	0.45 - 0.6	48 - 67	78 - 87	92 - 95
dobra	0.6 - 0.75	67 - 90	87 - 94	95 - 96
doskonała	0.75 - 1	90 - 96	94 - 96	96 - 100

Zalecane wartości parametrów charakteryzujących właściwości akustyczne sal lekcyjnych

Zaleca się, aby w salach lekcyjnych o typowej objętości (ok. 150-210m³):

- czas pogłosu w zakresie częstotliwości 125-4000Hz zawierał się w zakresie od 0,35÷0,45s do 0,65s,
- średni w pomieszczeniu transmisji wskaźnik mowy STI był większy od 0,7 w salach do nauki dzieci młodszych i do nauki języków obcych oraz większy lub równy 0,62 w salach do nauki dzieci starszych. Należy dążyć do tego, aby we wszystkich obszarach sal w których są uczniowie kryteria te były spełnione.

Ogólne wytyczne adaptacji akustycznej sal lekcyjnych

Na podstawie wytycznych dotyczących pomieszczeń do przekazywania mowy oraz przede wszystkim na podstawie badań CIOP-PIB sformułowano następujące wytyczne:

- Minimalne właściwości pomieszczeń (poziom minimalny) zapewniające odpowiednią zrozumiałość mowy oraz minimalizujące nadmierny wysiłek narządu głosu nauczycieli są określone za pomocą zalecanych wartości parametrów określonych wyżej.
- W celu osiągnięcia ww. poziomu należy:
 - w każdej sali powinien znajdować się dźwiękochłonny sufit podwieszany (współczynnik pochłaniania dźwięku materiałów zastosowanych w suficie powinien być równy ok. 0,9),
 - w przypadku niezyskania ww. wymaganych właściwości akustycznych sal lekcyjnych część ściany tylnej na wysokości od 1m do ok. 2m (minimum 25% powierzchni ściany) powinno się pokryć wyrobami dźwiękochłonnymi (współczynnik pochłaniania dźwięku powinien się równać ok.0,9); wyrób ten powinien tworzyć, a nawet być częścią aranżacji wnętrza (np. w postaci tablicy informacyjnej); w przypadku istnienia przy tej ścianie szaf, wyrób dźwiękochłonny należy umieścić powyżej szaf,
 - w przypadku niezyskania ww. wymaganych właściwości akustycznych sal lekcyjnych należy pokryć ścianę boczną sali na wysokości od 1m do ok. 2m na długości ok. 4m wyrobem dźwiękochłonnym (współczynnik pochłaniania powinien się równać ok.0,9); wyrób ten powinien tworzyć (a nawet być częścią) aranżacji wnętrza,

- okna sali powinny być szczelne, o nowoczesnej konstrukcji zapewniające izolacyjność akustyczną na poziomie ok. 30 dB,
- drzwi powinny szczelnie przylegać do ramy, a na dole powinna być listwa ograniczająca szparę pod drzwiami (w przypadku prowadzenia zajęć lekcyjnych na korytarzach, izolacyjność drzwi powinna być podwyższona),
- zastosowanie okien i drzwi o zwiększonej izolacyjności będzie się wiązało z koniecznością zapewnienia odpowiedniej wymiany powietrza,
- w salach powinno być jak najwięcej elementów pochłaniających dźwięki (miękkich): firanki, zasłony, rolety (unikając żaluzji), szafy z książkami, dywany, krzesła z elementami z materiału lub skaju itp.

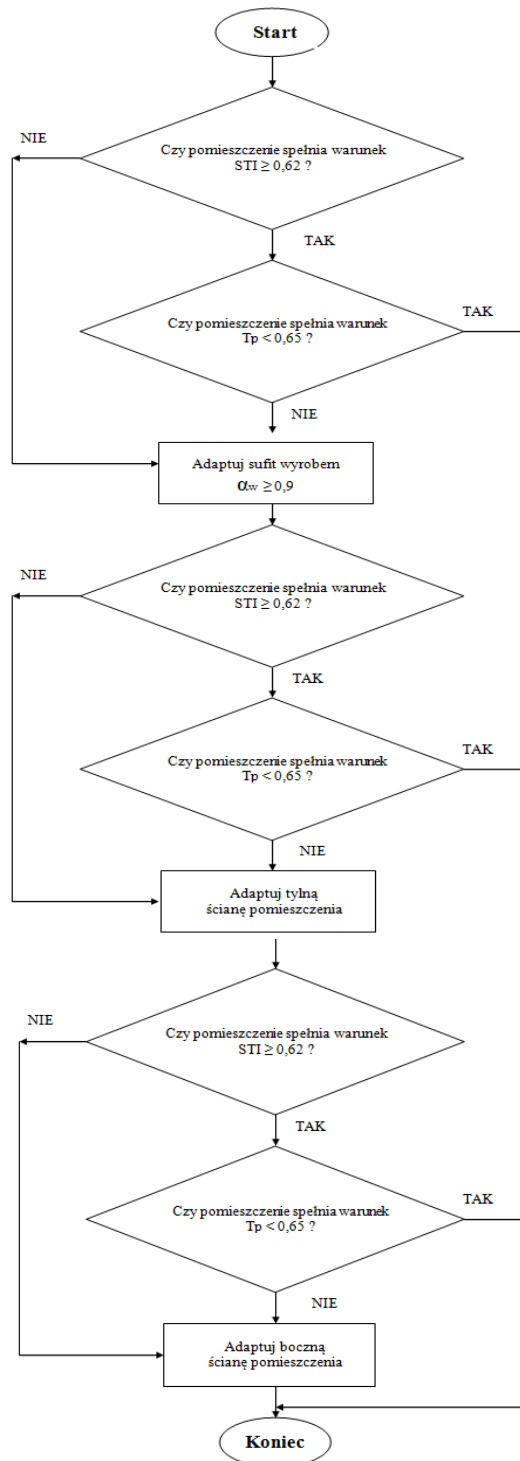
Wytyczne szczegółowe adaptacji akustycznej sal lekcyjnych

Wytyczne opracowano na podstawie ogólnych zaleceń dotyczących adaptacji wnętrz m.in. przeznaczonych do komunikacji werbalnej oraz w oparciu o analizę wyników badań CIOP-PIB. Są one następujące (schemat na rys. 42):

- w pomieszczeniach edukacyjnych (w szczególności w salach lekcyjnych) wskaźnik transmisji mowy STI w całym obszarze gdzie znajdują się słuchacze (uczniowie) powinien być większy od 0,7 (szczególnie jest to ważne w salach do nauki dzieci młodszych). Istnieją również inne wymagania dotyczące sal lekcyjnych np. czasu pogłosu, który dla sal o objętości 150-210m³ w zakresie częstotliwości 125-4000Hz powinien zawierać się w zakresie od 0,35-0,45s do 0,65s,
- jeżeli warunek poprzedni nie jest spełniony, to należy kolejno wykonywać zaproponowane niżej czynności, aż do momentu gdy powyższy warunek będzie spełniony (rys. 1):
 - w pomieszczeniu powinno się zainstalować dźwiękochłonny sufit podwieszany w odległości 16-64cm poniżej stropu (im dalej tym lepiej) (ważony współczynnik pochłaniania wyrobów dźwiękochłonnych zastosowanych w suficie powinien wynosić min. 0,9),
 - mimo istnienia powszechnego poglądu o konieczności umieszczenia w przedniej części pomieszczenia (nad nauczycielem) powierzchni odbijających dźwięk, w rozpatrywanych pomieszczeniach (objętość 150-210m³) wyniki badań nie

potwierdzają tego stwierdzenia, w związku z tym nie należy stosować elementów o małym współczynniku pochłaniania,

- w przypadku niezyskania ww. wymaganych właściwości akustycznych pomieszczenia, na części ściany tylnej (25-30% powierzchni) na wysokości od ok. 1m do ok. 2m (obszar na wysokości głów uczniów) powinno się zainstalować wyrób dźwiękochłonny (ważony współczynnik pochłaniania wyrobu dźwiękochłonnego powinien być równy ok. 0,9); Wyrób ten powinien tworzyć (a nawet być częścią) aranżacji wnętrza (np. stanowić tablicę informacyjną); W przypadku istnienia przy ścianie mebli wyrób należy umieścić powyżej mebli,
- w przypadku, gdy nadal nie uzyskuje się ww. wymaganych właściwości akustycznych pomieszczenia, należy na ścianie bocznej pomieszczenia (przeciwległej do okien) zainstalować wyrób dźwiękochłonny (analogicznie jak na ścianie tylnej),
- należy zastosować w pomieszczeniach jak najwięcej wyposażenia (patrz: *Ogólne wytyczne adaptacji akustycznej sal lekcyjnych*).

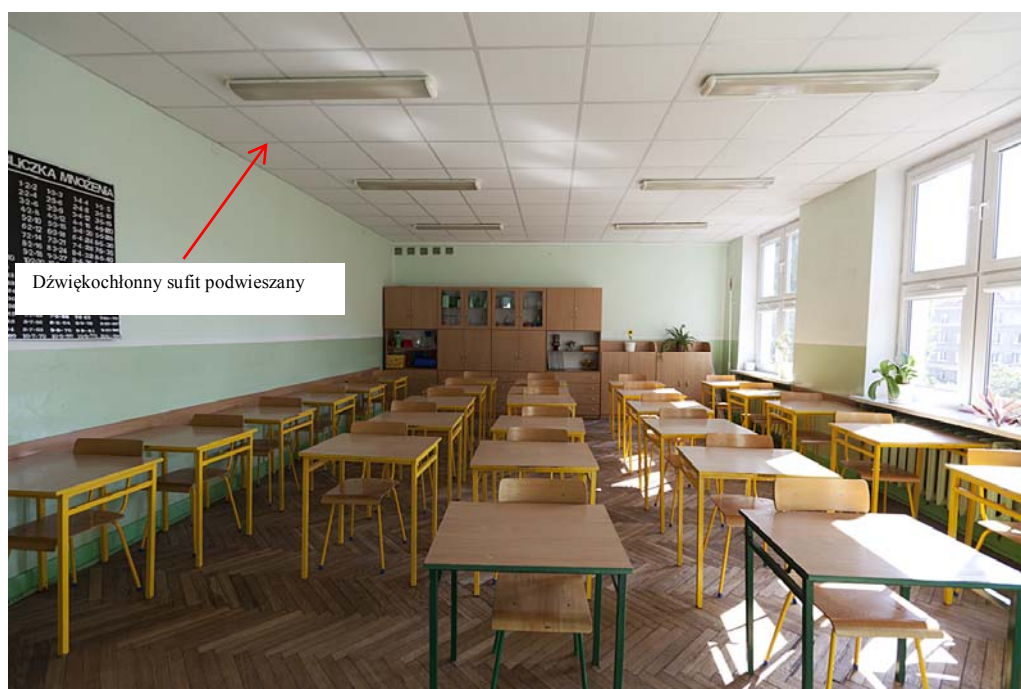


α_w - współczynnik pochłaniania dźwięku
 T_p - czas pogłosu pomieszczenia
 STI - wskaźnik transmisji mowy

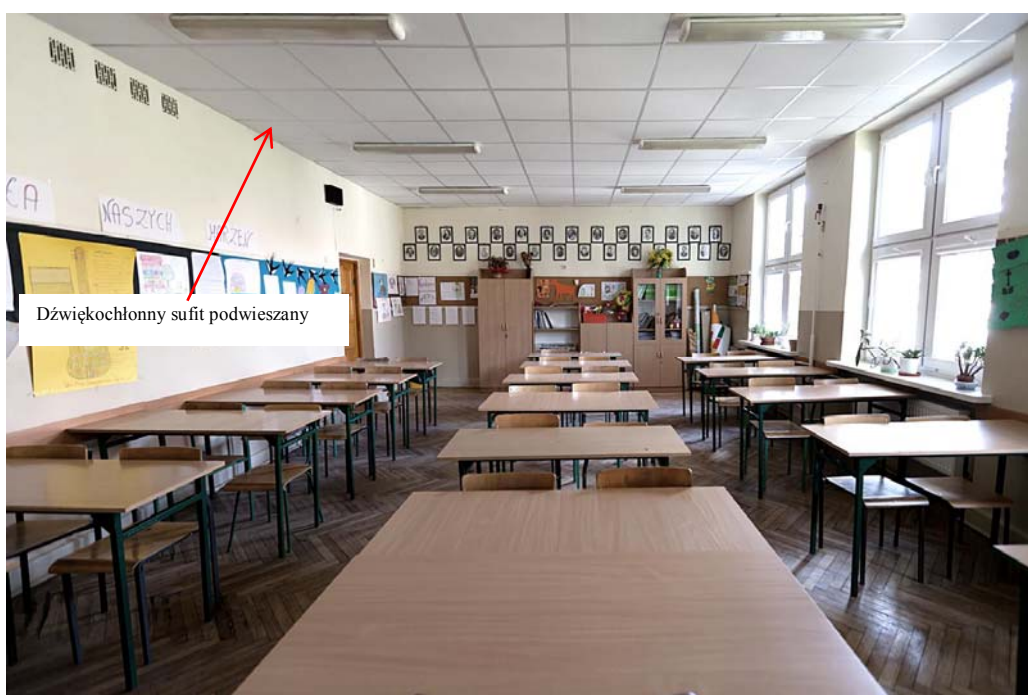
Rys. 42. Schemat postępowania przy wykonywaniu adaptacji akustycznej

Przykłady adaptacji akustycznej dwóch sal lekcyjnych w szkole podstawowej

W celu zilustrowania stosowania zaleceń podanych wyżej przedstawia się wyniki badań adaptacji akustycznych dwóch sal lekcyjnych. Adaptowane pomieszczenia to sale lekcyjne do nauki klas 4-6 o wymiarach 8,7x5,8x3,15m, objętości pomieszczenia $V=158\text{m}^3$ i polu powierzchni całkowitej pomieszczenia $S_v=192\text{m}^2$ (fot. 1÷2).

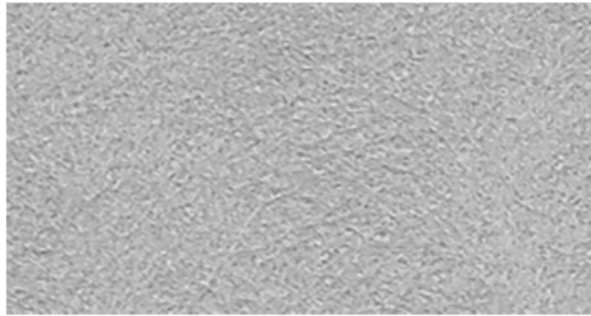


Fot. 1 Widok pomieszczenia A po wykonaniu adaptacji akustycznej



Fot. 2 Widok pomieszczenia B po wykonaniu adaptacji akustycznej

Do adaptacji zastosowano dźwiękochłonny sufit podwieszany o współczynniku pochłaniania dźwięku 0,9 (fakturę sufitu pokazano na fotografii 3).



Fot. 3. Zastosowany wyrób dźwiękochłonny (materiał) w panelu dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego

W tabeli 2 podano średnie w pomieszczeniach wartości wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} dla pomieszczeń: z i bez adaptacji akustycznych (w pomieszczeniach znajdowało się standardowe wyposażenie, w pomieszczeniu podczas pomiarów nie było ludzi).

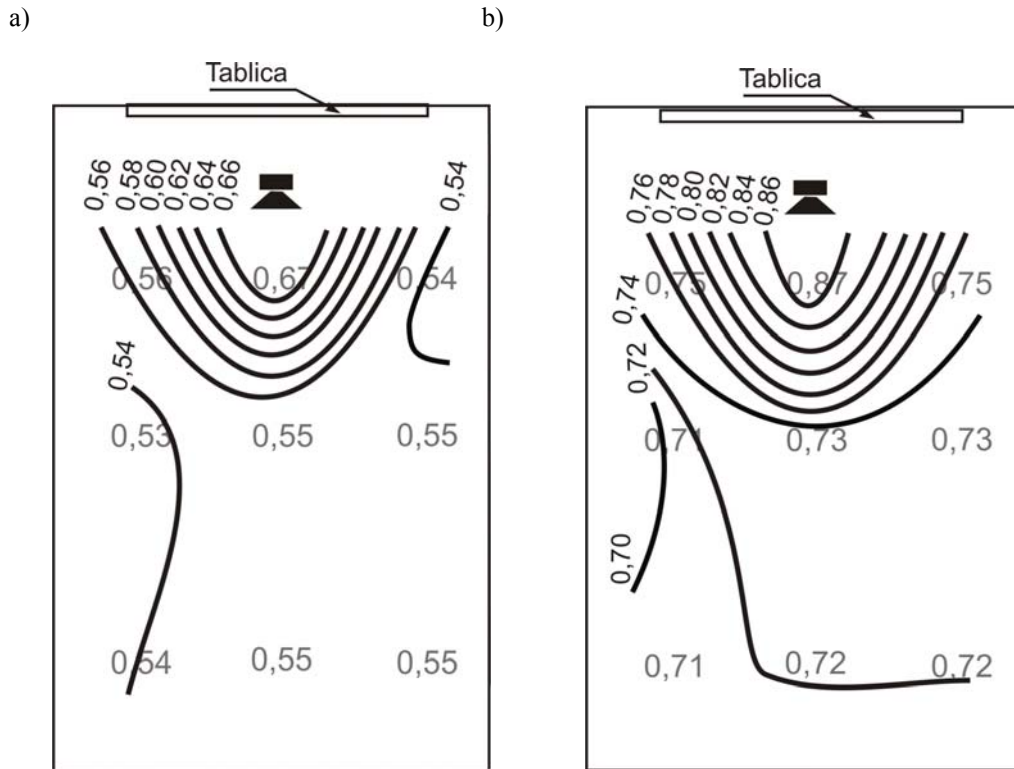
Tabela 2. Średnie w pomieszczeniach wartości wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} przed i po wykonaniu adaptacji akustycznych (pomieszczenia ze standardowym wyposażeniem, w pomieszczeniu podczas pomiarów nie było ludzi)

Zastosowane elementy adaptacji akustycznej	Pomieszczenie	
	A	B
Bez adaptacji	0,56	0,60
Dźwiękochłonny sufit podwieszany z wyrobem dźwiękochłonnym o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku α_w 0,9	0,74	0,79

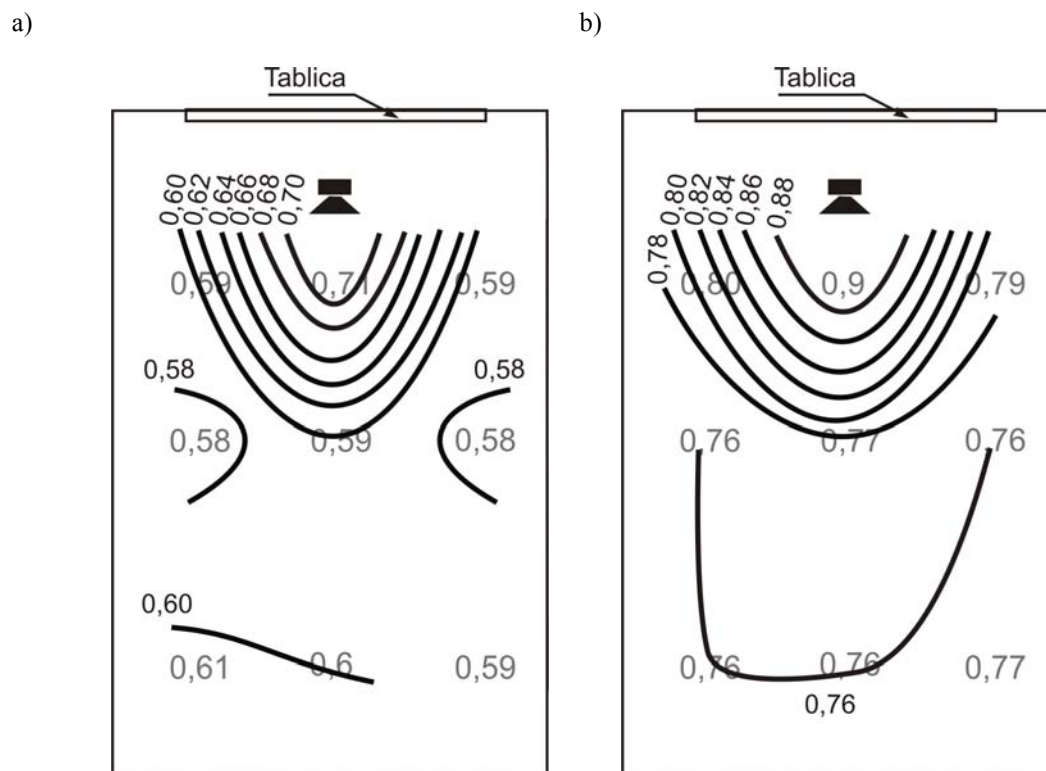
Na podstawie wyników średniej wartości wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} w pomieszczeniach można sformułować następujące wnioski:

- przed wykonaniem adaptacji akustycznej średnie w pomieszczeniach wartości wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} (0,56 i 0,6) są mniejsze od wartości kryterialnej podanej wyżej tj. 0,62. Rozkłady w pomieszczeniu wskaźnika transmisji mowy STI pokazano na rys. 2a i 3a. Można zauważyć, że większość uczniów będzie w strefie, gdzie wartości tego wskaźnika są równe 0,55 i 0,58. Dlatego w rozpatrywanych pomieszczeniach konieczne było wykonanie adaptacji akustycznej,
- po wykonaniu adaptacji akustycznej w postaci dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego (o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku równym 0,9), średnie w pomieszczeniach wartości wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} wynosiły 0,74 i 0,79, a więc znajdowały się powyżej wartości kryterialnej podanej wyżej tj. 0,62. Rozkłady w pomieszczeniu wskaźnika transmisji mowy STI pokazano na rys. 2b i 3b. Można zauważyć, że w większość uczniów będzie w strefie, gdzie wartości tego wskaźnika są równe 0,72 i 0,76, a najmniejsza wartość tego wskaźnika to 0,71. Zgodnie z diagramem na rys. 42 nie było konieczne wykonanie adaptacji akustycznej ścian pomieszczeń.

Oceniając pomieszczenie pod względem przekazywania mowy (w skali niedostateczna-dostateczna-dobra-doskonała [PN-EN 60268-16:2011]), można stwierdzić, że przed wykonaniem adaptacji akustyka sal była na granicy dostatecznej, a po jej wykonaniu jest doskonała.



Rys. 2. Rozkład wartości wskaźnika transmisji mowy STI w pomieszczeniu A (a- przed adaptacją akustyczną, b – po adaptacji akustycznej)



Rys. 3. Rozkład wartości wskaźnika transmisji mowy STI w pomieszczeniu B (a- przed adaptacją akustyczną, b – po adaptacji akustycznej)

Literatura:

- Mikulski W., Jakubowska I.: „Wyniki badań zmniejszenia natężenia głosu nauczycieli oraz zmniejszenia hałasu tła akustycznego w salach lekcyjnych po wykonaniu adaptacji akustycznej”, *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*;6:10–12 (2013).
- Mikulski W.: „Wyniki badań wpływu adaptacji akustycznych sal lekcyjnych na jakość komunikacji werbalnej”, *Medycyna Pracy*; 64(2):207-215 (2013).
- Mikulski W.: „Schemat postępowania przy projektowaniu adaptacji akustycznej pomieszczeń edukacyjnych”, *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*;3:20–23 (2013).
- Mikulski W., Radosz J.: “Acoustics of classrooms in primary schools – results of the reverberation time and the speech transmission index assessments in selected buildings”, *Archives of Acoustics*;36(4):777–794 (2011).
- Radosz J.: „Wpływ właściwości akustycznych sal lekcyjnych na poziom ciśnienia akustycznego mowy nauczycieli”, *Medycyna Pracy*; 63, 4, 409–417, 2012.
- Radosz J.: “Global index of the acoustic quality of classrooms”, *Archives of Acoustics*; 38, 2, 159-168 (2013).
- Radosz. J.: „Ocena akustyczna pomieszczeń edukacyjnych”, materiały z konferencji „Bezpieczna praca i nauka w szkole”, 12 kwietnia 2013 r., Nowe Miasto Lubawskie.
- Mikulski W.: „Kształtowanie właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych”, materiały z konferencji „Bezpieczna praca i nauka w szkole”, 12 kwietnia 2013 r., Nowe Miasto Lubawskie.
- Mikulski W.: „Wytyczne w zakresie kształtowania właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych pod względem uzyskania odpowiedniej zrozumiałości mowy i zmniejszenia nadmiernego wysiłku głosowego nauczycieli”, materiały z konferencji „Bezpieczna praca i nauka w szkole”, 25 wrzesień 2013 r., Działdowo.
- Jakubowska I.: „Zagrożenie Hałasem w szkole”, materiały z konferencji „Bezpieczna praca i nauka w szkole”, 25 wrzesień 2013 r., Działdowo.