



dr inż. JAN RADOSZ (ORCID: 0000-0001-8542-7799)  
 Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
 Kontakt: jarad@ciop.pl  
 DOI: 10.54215/BP.2022.06.14.Radosz

# Obiektywne parametry oceny jakości akustycznej pomieszczeń edukacyjnych

Fot. Luckybusiness/Bigstockphoto



Jakość akustyczna jest określeniem ogólnym, służącym do opisu właściwości akustycznych obiektu, które przyczyniają się do subiektywnego, pozytywnego wrażenia, odnoszonego przez człowieka. Jest ona szczególnie ważna w przypadku sal lekcyjnych, gdzie powinno się zapewnić – zarówno nauczycielom, jak i uczniom (z uwzględnieniem ich wieku) – odpowiednie warunki do przekazywania treści słownych. Jakość akustyczna jest ściśle związana z hałasem. Hałas w obiektach edukacyjnych jest jednym z najbardziej powszechnych i uciążliwych czynników fizycznych, mogących negatywnie wpływać na zdrowie uczniów i nauczycieli. Poziomy hałas występujący w obiektach edukacyjnych z reguły nie stanowi zagrożenia dla słuchu, niemniej jednak oddziaływanie hałasu nie ogranicza się tylko do narządu słuchu. Długotrwałe przebywanie w hałasie może powodować rozdrażnienie, utrudniać koncentrację oraz prowadzić do zmęczenia fizycznego. W artykule przedstawiono obiektywne parametry akustyczne w kontekście wymagań i zaleceń dotyczących zapewnienia dobrej jakości akustycznej pomieszczeń edukacyjnych.

*Słowa kluczowe: jakość akustyczna, pomieszczenia edukacyjne, hałas*

## Assessment of the acoustic quality of educational rooms – objective acoustic parameters

Acoustic quality is a general term used to describe the acoustic properties of an object contributing to a subjective, positive human impression. It is particularly important in educational rooms, where both teachers and students should be provided – taking into account their age – appropriate conditions for the transmission of verbal content. Acoustic quality is closely related to noise. Noise in educational facilities is one of the most common physical factors, and it can negatively affect the health of students and teachers. Noise levels in educational facilities are generally not harmful to hearing, but the impact of noise is not limited to the hearing. Long-term exposure to noise can cause irritability, hinder concentration and lead to physical fatigue. The article presents objective acoustic parameters in the context of the requirements and recommendations for ensuring good acoustic quality of educational rooms.

*Keywords: acoustic quality, educational rooms, noise*

## Wstęp

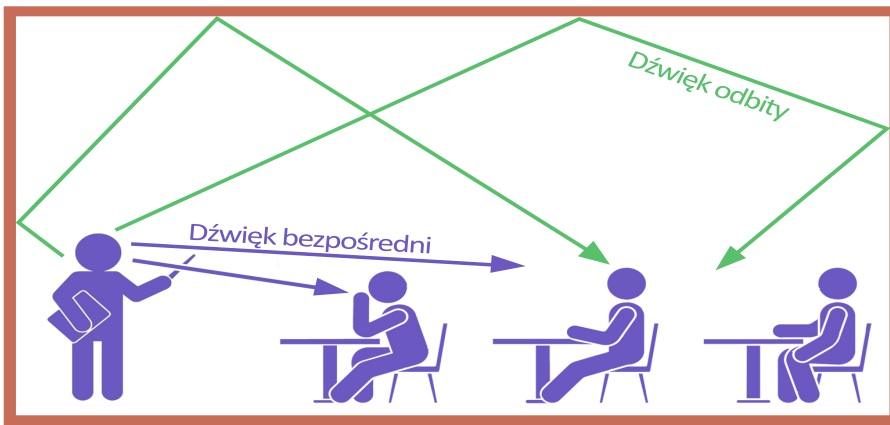
Mimo że problematyka akustyki pomieszczeń edukacyjnych jest od wielu lat dość często poruszana w literaturze naukowej, obecnie w wielu krajach – m.in. w Grecji, we Włoszech, w Anglii, Chinach i Brazylii [1-6] – wciąż są prowadzone badania w tym zakresie, co świadczy o aktualności tego zagadnienia. Dotyczą one głównie analizy parametrów akustycznych w istniejących obiektach, ale również rozwiązań technicznych umożliwiających poprawę tych parametrów oraz skuteczniejsze projektowanie nowych pomieszczeń.

Wyniki badań jednoznacznie wskazują, że akustyka sali lekcyjnej ma istotny wpływ na wysiłek głosowy [19], zmęczenie fizyczne nauczyciela, poziom tła akustycznego w czasie prowadzenia zajęć, zrozumiałość mowy oraz zapamiętywanie przez uczniów przekazywanych treści. Akustyka sali lekcyjnej i związany z nią tzw. hałas pogłosowy bezpośrednio oddziałują też na hałas tła w czasie prowadzenia zajęć (hałas z zewnątrz przenikający do pomieszczenia, aktywność uczniów itp.).

Zagadnienie akustyki pomieszczeń edukacyjnych jest powiązane z problemem chorób zawodowych występujących w Polsce głównie w sekcji edukacji. Na tendencję do mówienia podniesionym głosem przez nauczycieli wpływa m.in. pogłosowość pomieszczeń, która niekorzystnie oddziałuje na hałas tła akustycznego występujący w czasie prowadzenia zajęć. Biorąc pod uwagę efekt Lombarda<sup>1</sup>, prowadzi to nie tylko do zwiększonego wysiłku głosowego, lecz także do szybkiego narastania zmęczenia oraz ryzyka powstania choroby zawodowej narządu głosu. Ponadto sprawia, że nauczyciele negatywnie oceniają własny stan zdrowia.

Jednym ze sposobów na ograniczanie hałasu panującego w pomieszczeniach edukacyjnych oraz polepszanie warunków nauczania i uczenia się jest poprawa jakości akustycznej tych pomieszczeń.

<sup>1</sup> Efekt Lombarda lub refleks Lombarda – niezamierzona tendencja mówiącego do zwiększania natężenia głosu w celu poprawienia słyszalności podczas mówienia w głośnym otoczeniu [18].



Rys. 1. Dźwięki bezpośrednie i odbite w zamkniętym pomieszczeniu

Fig. 1. Direct and reflected sounds in a closed room

Celem artykułu jest przedstawienie obiektywnych parametrów akustycznych służących do oceny jakości akustycznej pomieszczeń edukacyjnych w kontekście spełniania przez nie obowiązujących wymagań i zaleceń.

### Jakość akustyczna pomieszczeń edukacyjnych

Jakość akustyczną pomieszczenia przeznaczonego głównie do komunikacji werbalnej (sali lekcyjnej, sali wykładowej, gabinetu logopedycznego itp.) można zdefiniować jako parametr służący do opisu jego właściwości akustycznych, związany z subiektywnym wrażeniem odnoszącym się m.in. do zrozumiałości mowy, hałasu zakłócającego przekaz werbalny czy wysiłku głosowego nauczyciela [10]. Jakość akustyczna pomieszczenia edukacyjnego stanowi również informację o spełnieniu przez nie warunków zapewniających m.in.:

- odpowiednią zrozumiałość mowy,
- niski poziom tła akustycznego w czasie prowadzenia zajęć,
- brak potrzeby mówienia podniesionym głosem,
- komfort nauczania i uczenia się.

Na jakość akustyczną tego rodzaju pomieszczeń wpływa wiele czynników, takich jak: kubatura, użyte materiały wykończeniowe, wyposażenie czy hałas docierający z zewnątrz.

Do wykończenia pomieszczeń edukacyjnych stosuje się zazwyczaj twarde materiały, np. tynk, szkło czy wykładzinę PVC. Każdy dźwięk wytwarzany w tych pomieszczeniach jest silnie wzmacniany przez wielokrotne odbicia fal dźwiękowych od stropu, podłogi i ścian (rys. 1). Skutkuje to m.in. długim czasem pogłosu i związanym z nim wyższym poziomem hałasu tła. Ograniczenie pogłosu i hałasu w pomieszczeniach edukacyjnych oraz polepszenie warunków komunikacji werbalnej jest możliwe poprzez poprawę akustyki tych pomieszczeń.

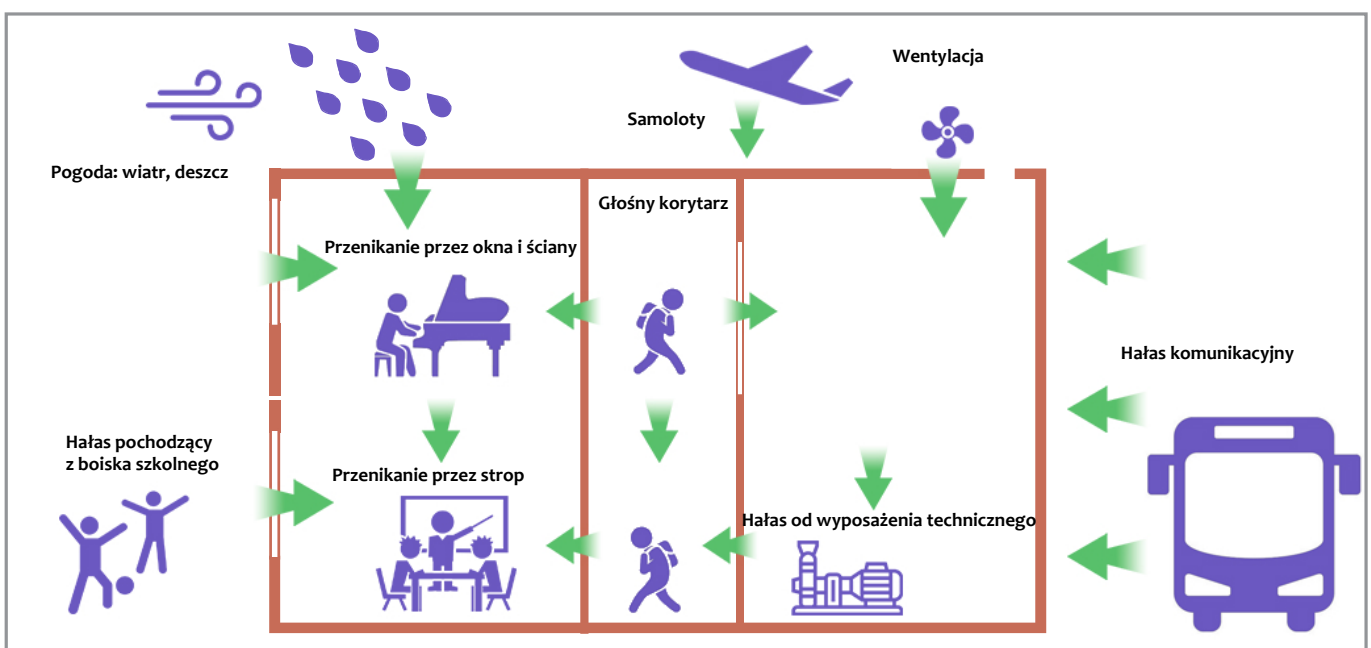
Ocenę jakości akustycznej pomieszczeń w ogólnym ujęciu można przeprowadzić na podstawie parametrów obiektywnych i subiektywnych. Parametry obiektywne są zdefiniowane, co oznacza, że przyjmują konkretne wartości liczbowe i są wyznaczane na drodze pomiarowej. Z kolei parametry subiektywne bazują na subiektywnej ocenie właściwości akustycznych pomieszczenia i są wyrażane przez określenie, będące słowną interpretacją parametru charakteryzującego daną właściwość akustyczną. Parametry subiektywne dotyczą pomieszczeń wykorzystywanych do grania i słuchania muzyki (sal koncertowych i operowych), więc nie mają zastosowania w ocenie akustycznej pomieszczeń edukacyjnych, w których dominuje przekaz werbalny.

### Obiektywne parametry akustyczne pomieszczeń edukacyjnych

Do parametrów obiektywnych można zaliczyć m.in. poziom dźwięku przenikającego do pomieszczenia (rys. 2), czas pogłosu ( $T_{20}$ ,  $T_{mf}$ ) oraz parametry zrozumiałości mowy: wskaźnik transmisji mowy *STI* (sound transmission index) czy wskaźnik wyrazistości  $C_{50}$  (clarity index).

Czas pogłosu to czas, w jakim energia akustyczna zmniejsza się ze stanu ustalonego o 60 dB po wyłączeniu źródła dźwięku. W praktyce czas pogłosu wyznacza się z zaniku energii akustycznej o 20 dB (czas pogłosu  $T_{20}$ ) lub 30 dB (czas pogłosu  $T_{30}$ ). Ze względu na silną korelację z wrażeniami słuchowymi czas pogłosu jest jednym z najważniejszych kryteriów oceny akustyki pomieszczenia. Metody pomiaru czasu pogłosu można znaleźć w PN-EN ISO 3382-1:2009 [20] oraz PN-EN ISO 18233:2006 [21].

Parametry zrozumiałości mowy są związane z poziomem sygnału mowy, odpowiedzią



Rys. 2. Hałas przenikający do pomieszczeń edukacyjnych

Fig. 2. Noise transmitted into educational rooms

częstotliwościową kanału komunikacji słownej, ze zniekształceniami nieliniowymi, z poziomem hałasu tła akustycznego (hałasu przenikającego do pomieszczenia oraz hałasu bytowego, pochodzącego od aktywności osób znajdujących się w pomieszczeniu), czasem pogłosu oraz maskowaniem dźwięku. Metody pomiaru parametrów zrozumiałości mowy są określone w PN-EN IEC 60268-16:2021 [22] i PN-EN ISO 18233:2006 [23].

W zakresie akustyki pomieszczeń powstało wiele dokumentów (norm, wytycznych, przepisów budowlanych) dotyczących kryteriów (stosowanych w różnych krajach) oceny parametrów akustycznych pomieszczeń. W Europie są to np. wytyczne Building Bulletin 93 (Wielka Brytania [7]), norma DIN 18041:2016 (Niemcy [8]), norma SFS 5907:2006 (Finlandia [9]). Polskie wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach są zawarte w PN-B-02151-4:2015 [16]. W dokumentach normatywnych dotyczących akustyki budowlanej nie uwzględnia się wszystkich istotnych (z punktu widzenia jakości akustycznej pomieszczeń) parametrów akustycznych, a większość z nich ogranicza się jedynie do podania wymaganych wartości czasu pogłosu, dopuszczalnych poziomów dźwięku w pomieszczeniu oraz wymaganej izolacyjności

przegród w budynku, co niejednokrotnie utrudnia jednoznaczny ocenę akustyczną danego obiektu czy pomieszczenia.

### Wymagania i zalecenia dotyczące obiektywnych parametrów akustycznych pomieszczeń edukacyjnych

#### Dopuszczalny poziom dźwięku

Wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) [11] określają zalecaną wartość poziomu dźwięku – wyrażoną przez wartość równoważnego poziomu dźwięku *A* przenikającego do pomieszczenia – jako 35 dB (od wszystkich źródeł hałasu łącznie). Ta wartość zalecana jest również m.in. w Stanach Zjednoczonych (ANSI S12.60-2002 [12]). W większości krajów Unii Europejskiej dopuszczalne poziomy dźwięku w pomieszczeniach (wyrażone przez wartość równoważnego poziomu dźwięku *A* przenikającego do pomieszczenia) mieszczą się w zakresie 35-40 dB. W Polsce dopuszczalne poziomy dźwięku w pomieszczeniach, pochodzącego od wyposażenia technicznego budynku, podano w PN-B-02151-2:2018 [17]. Najwyższy dopuszczalny poziom dźwięku *A* w salach lekcyjnych, salach

wykładowych, audytoriach i salach konferencyjnych wynosi 35 dB. W przypadku pomieszczeń do zajęć wychowania fizycznego, sal do zajęć muzycznych oraz pracowni technicznych dopuszczalny poziom dźwięku *A* wynosi 40 dB.

#### Czas pogłosu i zrozumiałość mowy

Dopuszczalne wartości czasu pogłosu stosowane w różnych krajach zawierają się w przedziale 0,6-0,8 s – w zależności od przeznaczenia i kubatury pomieszczenia oraz badanej częstotliwości (zob. tabelę). Dodatkowo zaleca się, aby w pomieszczeniach przeznaczonych dla osób z ubytkami słuchu lub innymi problemami z komunikacją słowną maksymalny czas pogłosu nie był dłuższy niż 0,4 s.

Większość wymagań lub zaleceń dotyczących akustyki obiektów edukacyjnych koncentruje się jedynie na czasie pogłosu, izolacyjności przegród oraz dopuszczalnych wartościach poziomu dźwięku w pomieszczeniach, natomiast niewiele jest wymagań odnoszących się do zrozumiałości mowy. Zrozumiałość mowy można ocenić m.in. za pomocą obiektywnych parametrów, takich jak wskaźnik transmisji mowy *STI* czy wskaźnik wyrazistości *C<sub>50</sub>*. Zrozumiałość mowy zależy zarówno od chłonności akustycznej pomieszczenia, jak i ogólnego poziomu dźwięku w pomieszczeniu. W brytyjskich wytycznych BB93 [7] minimalna wartość wskaźnika *STI* w przypadku sal lekcyjnych to 0,6. Według fińskich wytycznych, ujętych w normie SFS 5907:2006 [9], minimalna wartość wskaźnika *STI* jest równa 0,8, natomiast zgodnie z PN-B-02151-4:2015 [16] – 0,6. Jeśli chodzi o wskaźnik wyrazistości *C<sub>50</sub>*, w przypadku pomieszczeń związanych z przekazem słownym Bradley [2] jako zalecaną minimalną wartość zaproponował 1 dB przy częstotliwości *f* = 1 kHz.

#### Podsumowanie

W artykule przedstawiono obiektywne parametry akustyczne, wpływające na jakość akustyczną pomieszczeń edukacyjnych. Jak można zauważyć, bardzo istotną rolę w kontekście tej jakości odgrywają dwie kwestie – pogłosowość oraz zrozumiałość mowy. Dzieje się tak, ponieważ waż pogłosowość pomieszczenia jest szybkością, z jaką energia dźwięku zanika w nim po ustaniu sygnału pierwotnego. Pogłos utrudnia odbiór sygnałów werbalnych przez zniekształcenia wynikające z odbić dźwięku – do słuchacza dociera, oprócz dźwięku bezpośredniego od źródła, duża ilość dźwięków wielokrotnie odbitych od powierzchni ograniczających dane pomieszczenie. Poszczególne odbicia, szybko występujące po sobie, łączą się w jeden zanikający dźwięk, który maskuje i zniekształca kolejne dźwięki emitowane przez źródło, np. mowę nauczyciela. Jednocześnie pogłos wpływa na zwiększenie poziomu dźwięku w pomieszczeniu. Zrozumiałość mowy zależy nie tylko od czasu pogłosu, lecz także od poziomu tła akustycznego. Hałas w pomieszczeniach edukacyjnych może pochodzić z wielu źródeł, np. z miejsc znajdujących się poza salą lekcyjną

Tabela. Dopuszczalne wartości czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy *STI* w pomieszczeniach edukacyjnych w wybranych krajach  
Table. Acceptable values of reverberation time and *STI* speech transmission index in educational rooms in selected countries

Kraj	Normy i wytyczne odniesienia	Wymagany czas pogłosu [s]	Wymagany <i>STI</i>
Dania	BR2018 [13]	$T \leq 0,6$ (125-4000 Hz)	–
Finlandia	SFS 5907:2006 [9]	0,6-0,8 (dla 250-4000 Hz) o 50% wyższy dla 125 Hz	$\geq 0,8$ (dla zdefiniowanych w normie klas pomieszczeń A i B)
Francja	Conseil National du Bruit [14]	$0,4 \leq T_{mf} \leq 0,8$ (dla $V < 250 \text{ m}^3$ ) $0,6 \leq T_{mf} \leq 1,2$ (dla $V < 250 \text{ m}^3$ )	–
Niemcy	DIN 18041:2016 [8]	$T_{opt} = 0,32 \lg V - 0,17$ kategoria A3 (komunikacja/edukacja)	–
Hiszpania	CTE DB-HR [15]	$T_{mf} \leq 0,5$ (dla $V < 350 \text{ m}^3$ )	–
USA	ANSI S.12.60-2002 [12]	$T_{mf} < 0,6$ (dla $V < 283 \text{ m}^3$ ) $T_{mf} < 0,7$ (dla $V > 283 \text{ m}^3$ i $V \leq 566 \text{ m}^3$ )	–
Wielka Brytania	Building Bulletin 93 [7]	$T_{mf} < 0,6$ dla szkół podstawowych $T_{mf} < 0,8$ dla szkół średnich	$\geq 0,6$
Polska	PN-B-02151-4:2015 [16]	$\leq 0,6$	$\geq 0,6$

*V* – kubatura pomieszczenia [ $\text{m}^3$ ]  
*T<sub>opt</sub>* – optymalna wartość czasu pogłosu [s]  
*T<sub>mf</sub>* – uśredniona wartość czasu pogłosu z trzech pasm oktawowych o częstotliwościach środkowych 500, 1000 i 2000 Hz [s]



(z sąsiednich pomieszczeń, z ulicy – np. hałas komunikacyjny), od wyposażenia technicznego budynku (klimatyzacji, wentylacji, oświetlenia), od sprzętu IT (komputerów, rzutników) czy od aktywności użytkowników tych pomieszczeń.

Krótki czas pogłosu oraz odpowiednia zrozumiałość mowy ułatwiają niezakłóconą koncentrację w czasie zajęć, a jednocześnie ograniczają stres i zmęczenie – zarówno uczniów, jak i nauczycieli. Zapewnienie odpowiedniego czasu pogłosu oraz zrozumiałości mowy przyczynia się do obniżenia wysiłku głosowego nauczyciela, co w konsekwencji zmniejsza ryzyko wystąpienia chorób zawodowych narządu głosu.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] PIECHOWICZ, J. Global index of the acoustic climate. Archives of Acoustics. 2004, 29(3): 411-425.
- [2] BRADLEY, J.S. Predictors of speech intelligibility in rooms. Journal of the Acoustical Society of America. 1986, 80(3): 837-845.
- [3] AUGUSTYŃSKA, D., KACZMARSKA, A., MIKULSKI, W., RADOSZ, J. Assessment of teachers' exposure to noise in selected primary schools. Archives of Acoustics. 2010, 35(4): 521-542.
- [4] CRANDELL, C., SMALDINO, J. Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. Language, Speech and Hearing Services in Schools. 2000, 31(4): 362-370.
- [5] HODGSON, M., REMPEL, R., KENNEDY, S. Measurement and prediction of typical speech and background-noise levels in university classrooms during lectures. The Journal of the Acoustical Society of America. 1999, 105(1): 226-233.
- [6] KOTUS, J., SZCZODRAK, M., CZYŻEWSKI, A., KOSTEK, B. Long-term comparative evaluation of acoustic climate in selected schools before and after acoustic treatment. Archives of Acoustics. 2010, 35(4): 551-564.
- [7] EFA. Acoustic design of schools: performance standards – Building bulletin 93, 2015, <https://www.gov.uk/government/publications/bb93-acoustic-design-of-schools-performance-standards>.
- [8] DIN 18041:2016. Acoustic quality in rooms – specifications and instructions for the room acoustic design [Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen].
- [9] SFS 5907:en. Acoustics classification of spaces in buildings.
- [10] RADOSZ, J. Global index of the acoustic quality of classrooms. Archives of Acoustics. 2013, 38(2): 159-168.
- [11] WHO. Guidelines for Community Noise, 1999.
- [12] ANSI S12.60-2002. American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools.
- [13] BR2018 Executive order on building regulations 2018 (BR18), Ministry of Transport, Building and Housing, Copenhagen, 2018.
- [14] Guide du CNB Reglementations acoustiques de batiments (NBC Guide Acoustic Regulations for Buildings). Le Conseil national du bruit (National Noise Council). Paris, France, 2017.
- [15] Ministry of infrastructure, Documento Básico DB HR Protección frente al Ruido. Código Técnico de la Edificación. (DB HR Protection against noise. Spanish Building Code). 2009. Madrid, Spain.
- [16] PN-B-02151-4:2015. Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 4:

Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań.

- [17] PN-B-02151-2:2018. Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
- [18] LANE, H., TRANEL, B. The Lombard sign and the role of hearing in speech. Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 1971, 14: 677-709.
- [19] RADOSZ, J. Wpływ właściwości akustycznych sal lekcyjnych na poziom ciśnienia akustycznego mowy nauczycieli. Medycyna Pracy. 2012, 63(4): 409-417.
- [20] PN-EN ISO 3382-1:2009. Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: Pomieszczenia specjalne.
- [21] PN-EN ISO 18233:2006. Akustyka – Zastosowanie nowych metod pomiarowych w akustyce budynku i pomieszczeń.
- [22] PN-EN 60268-16:2021. Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy.

*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 Wzwyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*



**Hałas ultradźwiękowy w inżynierii środowiska pracy**  
D. Pleban, B. Smagowska,  
J. Radosz



**Hałas przy produkcji opakowań – zagrożenia i ograniczanie**  
B. Smagowska, D. Pleban

# POLECAMY



**Użytkowanie ochronników słuchu z regulowanym tłumieniem w warunkach występowania hałasu impulsowego**  
R. Młyński, E. Kozłowski

<https://www.ciop.pl> → Oferta → Książki, broszury...