

© Ecophon Group

## Nie słuchają czy nie słyszą?

Akustyka wewnątrz w szkołach



arch. Mikołaj Jarosz

**Ecophon**  
SAINT-GOBAIN  
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

### Wiedza i świadomość



Wszyscy wiemy, że polskie szkoły są bardzo głośne, są chyba najgłośniejszymi budynkami użyteczności publicznej. Odwiedzając różne szkoły, często mogę zaobserwować działania zmierzające do ograniczenia hałasu wytwarzanego przez uczniów. Są to różnego rodzaju akcje mające na celu uświadomienie zagrożeń związanych z hałasem a także zmianę zachowania samych uczniów. Tutaj przykład z Wrocławia.

## Wiedza i świadomość



**Ecophon**  
SAINT-GOBAIN  
A SOUND EFFECT ON PEOPLE


A tu z Gdańska.

© Ecophon Group

## Hałas

Legionowo:  $L_{Aeq} = 87,7$  dBA

Rębiechowo:  $L_{Amax} = 80,0$  dBA



**Ecophon**  
SAINT-GOBAIN  
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Jest głośno, ale jak głośno? W typowej szkole podstawowej, na korytarzu w czasie przerwy mamy ok. 85 dB(A). Przy czym nie mówimy tutaj o dźwiękach impulsowych, związanych np. z trzaskaniem drzwiami. Mówimy o tzw. równoważnym poziomie dźwięku ( $L_{Aeq}$ ), czyli o średnim energetycznie poziomie dźwięku mierzonym dla całego okresu przerwy.

Podobnie jest w stołówkach, świetlicach czy salach sportowych.

Są oczywiście szkoły gdzie jest wyjątkowo głośno. Na tym filmie mamy stołówkę w Zespole Szkół w Legionowie, w której równoważny poziom dźwięku mierzony dla 5 min okresu kiedy było na niej blisko 100 uczniów wynosił prawie 88 dB(A)!

Dla porównania, lądujący samolot pasażerski, tuż przy granicy lotniska wytwarza dźwięk o poziomie ok. 80 dB(A), i to tylko w ciągu tych 2-3 sekund, kiedy przelatuje nam nad głową. Jest to o 8 dB ciszej niż w przykładowej stołówce. Dla przeciętnego człowieka zwiększenie poziomu dźwięku o 8-10 dB jest subiektywnie odbierane jako dwukrotne zwiększenie poziomu dźwięku. Można więc powiedzieć, że w przykładowej stołówce było dwa razy głośniejsze niż na lotnisku. Do tego nawet najszybszym uczniom zjedzenie obiadu nie zajmuje 2-3 s.

© Ecophon Group

## Skutki hałasu

Zaburzenia słuchu u dzieci (IFiPS)

- Noworodki 2,6 / 1000
- Siedmiolatki 144,0 / 1000

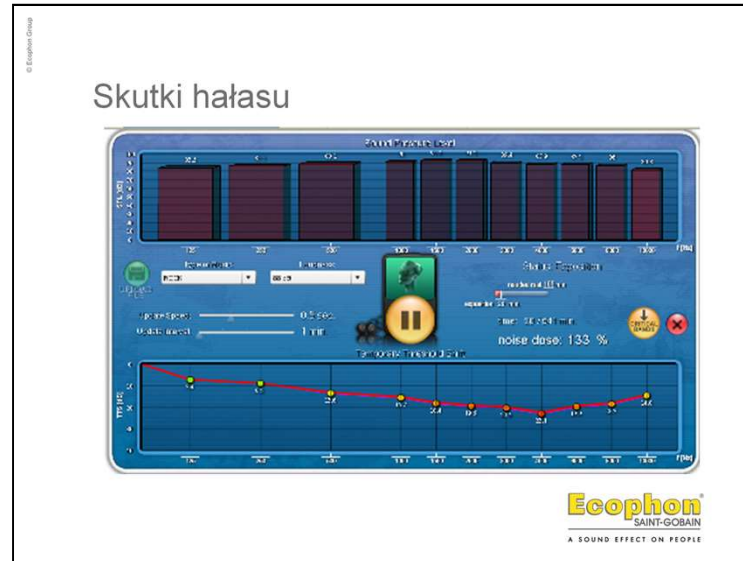
Choroby zawodowe 2007 (IMP)

- Schorzenia narządu mowy 24,4%
- Ubytki słuchu (-45 dB) 7,7 %



**Ecophon**  
SAINT-GOBAIN  
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Najczęściej wskazywanym skutkiem ekspozycji na hałas są uszkodzenia słuchu. Aby się takich uszkodzeń nabawić trzeba być narażony na odpowiednio głośne dźwięki przez odpowiednio długi czas. Innymi słowy trzeba regularnie otrzymywać wysokie dobowe dawki energii akustycznej. Choć są w Polsce pojedyncze, ekstremalnie głośne szkoły, w których takie zagrożenie jest realne to na ogół w szkole nie da się ogłuchnąć. Trzeba jednak pamiętać że dawka hałasu jaką dzieci otrzymują w szkołach jest tylko częścią dawki dobowej. Dochodzi hałas uliczny w drodze do i ze szkoły, głośne słuchanie muzyki (zwłaszcza poprzez słuchawki douszne) itd. Według badań przesiewowych Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu ok. 15% siedmiolatków ma problemy ze słuchem.



Dużo powszechniejsze jest zjawisko czasowego podniesienia progu słyszenia, czyli czasowego niedosłuchu wywołanego ekspozycją na hałas. I tak na przykład uczeń narażony na hałas na poziomie 85 dB(A) przez 20 minut, będzie miał podniesiony próg słyszenia o ok. 5-6 dB. Czyli idąc na lekcję będzie gorzej słyszał i prawdopodobnie będzie się głośniejsz zachowywał. Na szczęście czułość słuchu wróci do normalnego poziomu ... po 50 minutach. W sam raz aby pójść na następną głośną przerwę.

## Skutki hałasu

- Zmęczenie i rozdrażnienie
- Stres
- Agresja
- Utrudniona komunikacja
- Niechęć do udziału w zajęciach
- Ograniczona zdolność zapamiętywania
- Niepokój, niepewność, zagubienie
- Zwiększony wysiłek głosowy

Wpływ hałasu nie ogranicza się do oddziaływania na aparat słuchu. Hałas jest stresorem, powodującym podobne skutki jak inne czynniki stresogenne. Dla nauczycieli zaś oznacza dodatkowo zwiększony wysiłek głosowy.



No więc o tym, że w szkołach jest za głośno nie trzeba nikogo przekonywać. Centralny Instytut Ochrony Pracy przeprowadził badania w kilku warszawskich podstawówkach. Wykonywano pomiary poziomu hałasu, pomiary czasu pogłosu i zrozumiałości mowy. Wykonano też badania ankietowe, w trakcie których pytano nauczycieli o fizyczne źródła uciążliwości ich pracy. Najczęściej wskazywano na hałas.





Wszyscy wiedzą kto w szkole hałasuje. „Mobilne źródła dźwięku” mają jednak swoich wcale nie cichych współników: pomieszczenia szkolne. Zwykle wykończone twardymi materiałami (tynk, szkło, twarde zmywalne posadzki) i często skromnie umeblowane silnie odbijają fale dźwiękowe wzmacniając hałas.



Warto sobie uzmysłwić, że twarde materiały wykończeniowe jak zwykły tynk, wykładzina PCW, szkło czy beton doskonale odbijają fale dźwiękowe. Na slajdzie widzą Państwo wartości współczynnika pochłaniania dźwięku dla zmywalnej wykładziny podłogowej, takiej jaką stosuje się w szkołach. Pochłaniane jest 2 do 4 % energii fal akustycznych padających na ten materiał. Reszta, 96-98% jest odbijana z powrotem do pomieszczenia.

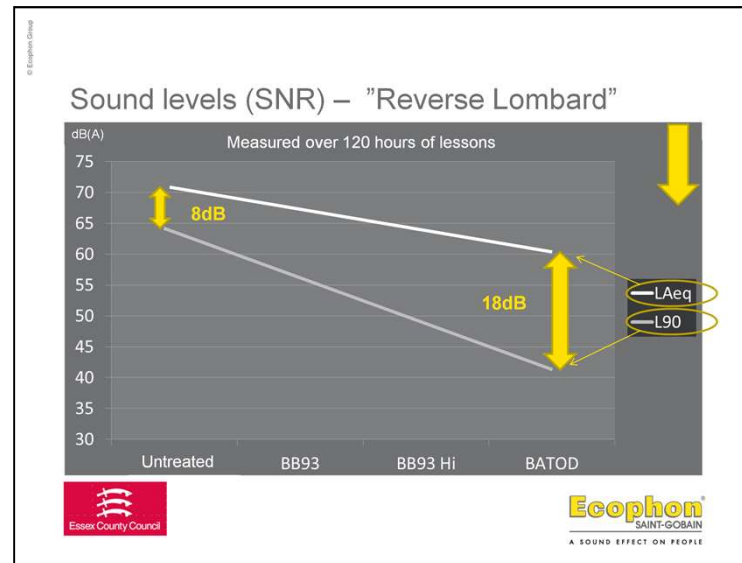


Z drugiej strony mamy materiały dźwiękochłonne stosowane do wytłumiania pomieszczeń. W tym wypadku proporcje są odwrotne. W wysokich częstotliwościach nawet 100% energii fal akustycznych jest pochłaniane.



Przykład sali sportowej, w której zainstalowano sufit dźwiękochłonny tuż pod dźwigarami dachu. Na ścianach szczytowych zainstalowano też panele ściennie (szary pas powyżej tablicy do koszykówki). Chociaż sposób montażu paneli ściennych nie jest poprawny to i tak uzyskano zadawalający efekt.

Sala stała się znacznie cichsza, a zwiększony zasięg zrozumiałości mowy pozwala nauczycielowi komunikować się z uczniami na drugim końcu sali.



Przykład dotyczący sal lekcyjnych. Na slajdzie widzimy wyniki badań prowadzonych w Wielkiej Brytanii. Badania były prowadzone w czterech klasach lekcyjnych o różnej akustyce, od klasy zwykłej (untreated) do mocno wytłumionej (BATOD) i miały pokazać, które z tych środowisk jest najlepsze do nauki.

**LAeq**, dB(A) oznacza równoważny poziom dźwięku mierzony dla całej lekcji. Na jego poziom wpływa głównie głos nauczyciela.

**LA90**, dB(A) oznacza w przybliżeniu szum wytwarzany przez uczniów.

Na wykresie zebrano uśrednione dane z pomiarów przeprowadzonych w tych czterech klasach lekcyjnych w trakcie 120 godzin lekcyjnych. Obie wielkości mierzono w tylnej części klas lekcyjnych. Widzimy jak w miarę coraz mocniejszego wytłumienia pomieszczeń spada poziom głosu nauczyciela. Spada też, i to znacznie mocniej poziom dźwięku wytwarzanego przez uczniów. Dzięki temu udaje się osiągnąć znacznie lepszy tzw. odstęp sygnału od szumu, warunkujący dobrą zrozumiałość mowy.

> Im bardziej wytłumione były pomieszczenia (mniej pogłosowe), uczniowie wytwarzali mniej hałasu, co należy wiązać z lepszą koncentracją uwagi i wynikającym z niej lepszym zachowaniem.

> Pozwala to nauczycielowi na obniżenie poziomu głosu, ograniczając wysiłek głosowy.

© Ecophon Group

## Zrozumiałość mowy

S/N: sygnał/szum  
S/N > 10-15 dB A  
Niedosłuch + 10 dB  
< 15 lat + 5 dB  
> 55 lat + 5 dB  
Język obcy + 5dB

Wyraźnie Niewyraźnie

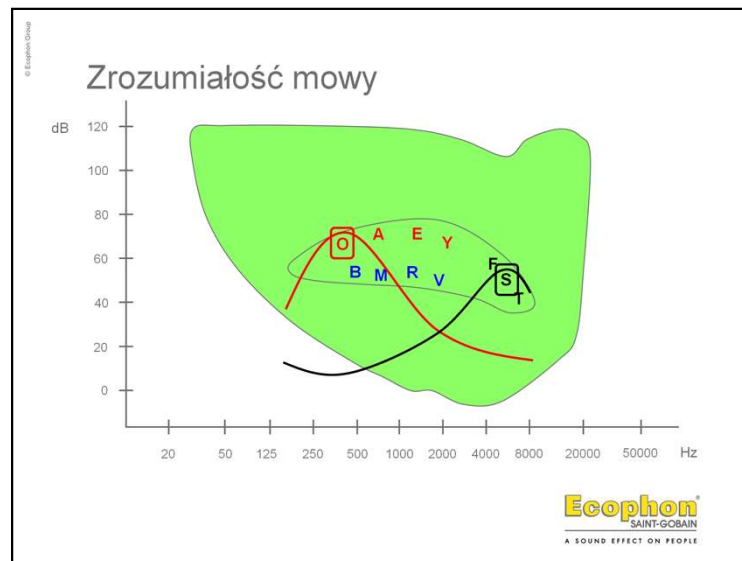


**Ecophon**  
SAINT-GOBAIN  
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Zrozumiałość mowy (jako sygnału akustycznego) zależy od tzw. odstęp sygnału od szumu (S/N). To znaczy od różnicy pomiędzy poziomem dźwięku mowy mówcy a poziomem dźwięku tła akustycznego (szum wentylacji, szum wytwarzany przez słuchaczy itp). W przypadku osób dorosłych, normalnie słyszających, słuchających komunikatów w ich rodzimym języku, odstęp sygnału od szumu na poziomie 15 dB gwarantuje doskonałą zrozumiałość mowy. W przypadku osób używających aparatów słuchowych, osób starszych, dzieci a także osób dla których język wykładowy nie jest pierwszym językiem odstęp S/N powinien być nieco większy. Zrozumiałość mowy może być ograniczona nie tylko hałasem wytwarzanym w wnętrzu lub przenoszącym się z sąsiednich pomieszczeń. Problemem może być także pogłos.

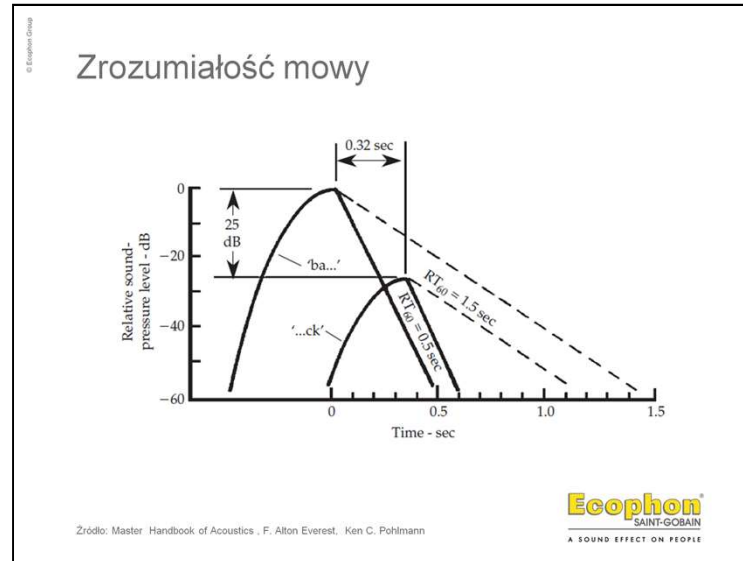


Przykład przyszkolnej sali sportowej adaptowanej na salę szkoleniową. Zdjęto drabinki gimnastyczne i tablice do koszykówki, reszta pozostała bez zmian. Akustyka też. Proszę posłuchać nagrania wykonanego w odległości ok 3-4 m od najbliższego głośnika. Najlepsi są w stanie zrozumieć (a może odgadnąć) nawet 5 wyrazów z tego 20-sekundowego tekstu.



Kiedy porusza się temat zrozumiałości mowy warto zdać sobie sprawę, że zależy ona głównie od zrozumiałości spółgłosek. Spółgłoski odpowiadają za zrozumiałość a samogłoski za głośność. Głoskę "o" można wypowiedzieć na poziomie 40-45 dB(A) a można wykrzyknąć na poziomie 90 dB(A). Głoskę „s” można wysyczeć tylko na jednym poziomie.





Jeżeli wyobrazimy sobie pogłos jako rodzaj „akustycznego cienia” dźwięku w pomieszczeniu, to graficzny obraz angielskiego wyrazu „back” (bæk) będzie wyglądał tak. Głośnie „bæ” i ciche „k”. Tylko to ciche „k” nadaje sens temu wyrazowi. Jeśli pogłos w pomieszczeniu będzie długi, np. 1,5 s, to długo wybrzmiewające „bæ” zagłuszy pojawiające się po nim ciche „k”. I nic tu nie pomoże podnoszenie głosu, bo w ten sposób głośniej wypowiadamy tylko głoskę „æ”. Są trzy sposoby poprawy zrozumiałości mowy w takim przypadku:

- Zbliżenie się do mówcy na odległość w której dźwięk bezpośredni będzie dominował nad dźwiękami odbitymi
- Nakłonienie mówcy do bardzo wolnego wymawiania wyrazów.
- Redukcja pogłosu

Test logatomowy

	1	2	3
Zestaw 1	py	ster	ku
Zestaw 2	miast	rop	kie
Zestaw 3	cza	spo	sło
Zestaw 4	go	ze	ży
Zestaw 5	re	o	koś
Zestaw 6	czą	wpus	king
Zestaw 7	blat	tym	chwi
Zestaw 8	masz	jak	by
Zestaw 9	lo	sia	u
Zestaw 10	pra	cze	wne

Zrozumiałość mowy w pomieszczeniu możemy mierzyć metodami obiektywnymi (sprzętowo) lub subiektywnymi. Te drugie polegają na sprawdzaniu przydatności pomieszczeń do komunikacji słownej poprzez wykonanie w nich serii specjalnych dyktand. Teksty do takich testów są specjalnie przygotowywane przez specjalistów i mogą mieć formę list zdaniowych, słownych lub logatomowych. Te ostatnie składają się ze specjalnie zaprojektowanych sztucznych wyrazów (logatomów), które tworzone są w oparciu o badania statystyczne występowania poszczególnych głosek w danym języku. Takie pozbawione kontekstu słowa są tworzone po to, aby badany nie wspomagał się znajomością języka w procesie rozumienia mowy (aby po prostu nie zgadywał głosek, których nie dosłyszał). Powoduje to, iż wyniki testów są bardziej obiektywne. Przeprowadzimy teraz taki test.



Chciałbym teraz pokazać jak mogą się zmienić wyniki testu logatomowego w wyniku zmiany akustyki pomieszczenia. Za przykład niech posłuży klasa do j. niemieckiego w Zespole Szkół nr 12 w Gdańsku. Jest to klasa, która wygrała tegoroczną edycję konkursu Deutsch hat Klasse.



W klasie zainstalowano dźwiękochłonny sufit podwieszany, oraz dźwiękochłonne panele ścienne na tylnej ścianie.

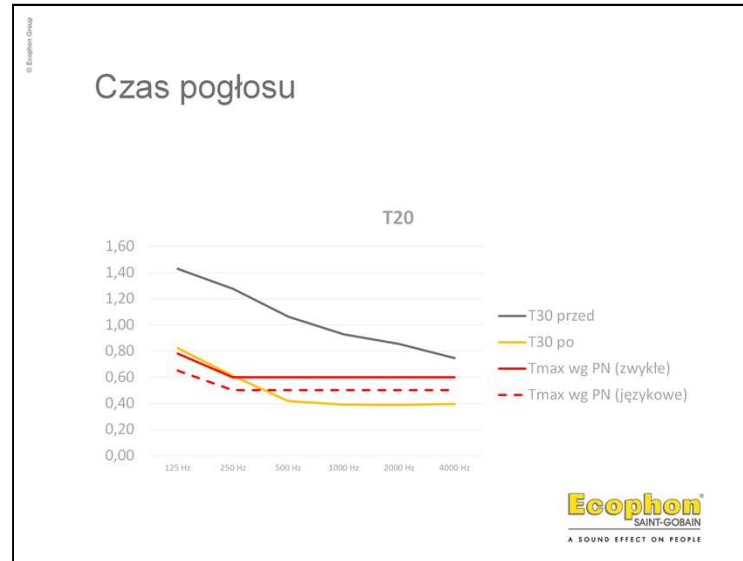
© Ecophon Group

## Wrażenia ogólne

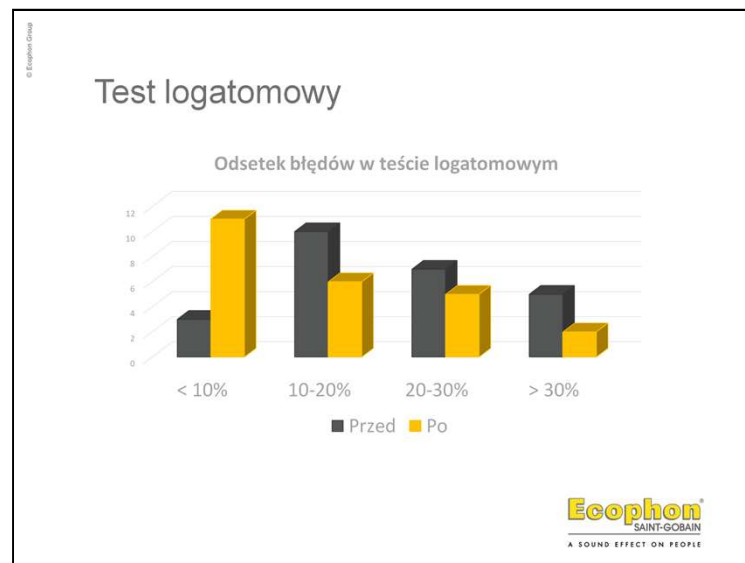


**Ecophon**  
SAINT-GOBAIN  
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Sala zrobiła się cichsza, a zrozumiałość mowy „na ucho” się poprawiła, co możemy usłyszeć na tych filmach.



Wynika to z redukcji czasu pogłosu który spadł z ok. 1,0 s do ok. 0,45 s, a więc z grubsza do poziomu maksymalnego określonego dla sal językowych w polskiej normie PN-B-02151-4:2015-06



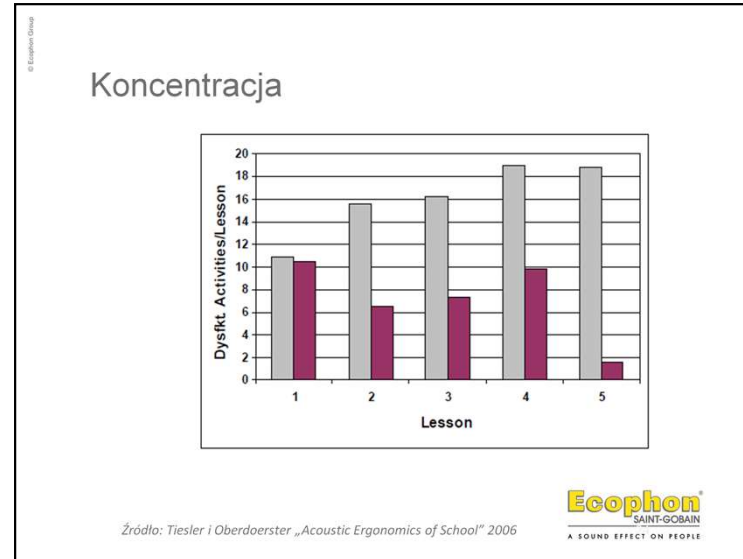
Ciekawa jest analiza liczby popełnianych błędów w teście logatomowym. Test pisała dwukrotnie ta sama klasa (25 uczniów), zarówno przed adaptacją akustyczną (czerwiec 2018) jak i po niej (wrzesień 2018). Test był podobny, ale nie identyczny – listy logatomowe były inne. Ogólna, średnia dla całej klasy liczba błędów spadła z 21% do 15%, ale dużo ciekawszy był rozkład tych błędów w całej klasie, co pokazuje wykres na slajdzie. Uczniów podzielono na cztery grupy: tych, którym udało się poprawnie zapisać ponad 90 % wyrazów oraz tych, którzy mieli odpowiednio 80-90%, 70-80% oraz mniej niż 70% poprawnych odpowiedzi. Szczególnie interesujące są dwie skrajne grupy. Uczniowie, którym udało się poprawnie zapisać ponad 90% wyrazów doskonale sobie radzą ze zrozumieniem mowy nauczyciela. Istotnie lepszy wynik udałoby się osiągnąć jedynie przy użyciu słuchawek. Z kolei grupa uczniów, którzy nie są w stanie poprawnie zapisać więcej niż 70% wyrazów ma problem. W przypadku bardzo prostych treści wypowiedzianych w języku polskim z pewnością sobie poradzą, bo niedosłyszane głoski łatwo będzie im odgadnąć z kontekstu wyrazu lub całego zdania. Jeśli jednak tekst stanie się bardziej skomplikowany, naszpikowany nowym słownictwem, nie będą w stanie uzupełnić tych braków. Problem jeszcze bardziej się pogłębia jeśli mamy do czynienia z nauczaniem językowym.

Na wykresie widać, że ilość uczniów cieszących się doskonałą zrozumiałością mowy wzrosła z 3 do 11 (z 12% do 44% ogółu), a tych, którzy mieli z nią poważny problem spadła z 5 do 2 (z 20% do 8% ogółu).

Zmiana ogromna, ale trzeba zauważyć, że stan wyjściowy nie był najgorszy: długość tzw. czasu pogłosu w klasie przed adaptacją akustyczną była nieco większa niż 1,0 s, a zdarzają się przecież takie sale gdzie osiąga 2,0 s. W tego typu pomieszczeniach

poprawa warunków do nauki byłaby jeszcze większa.  
Niemiecki ma klasę ... z najlepszą akustyką w całej szkole.



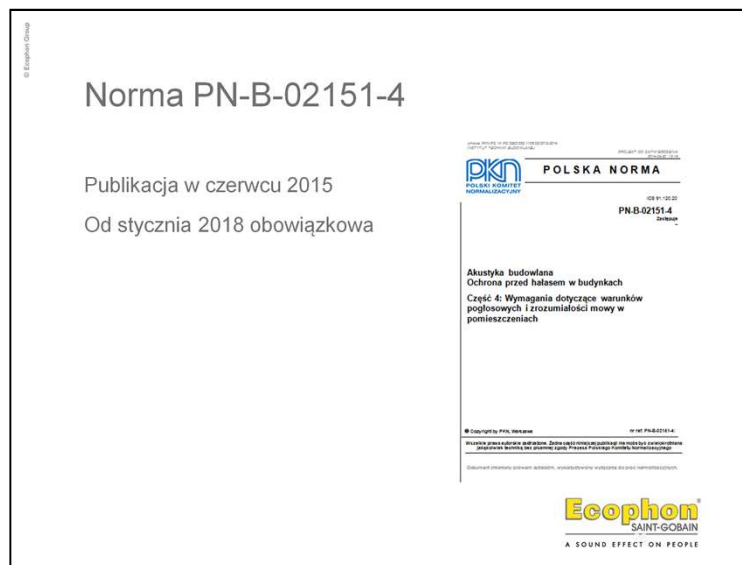


Przykład wpływu akustyki klasy lekcyjnej na zachowanie uczniów. Wyniki badań prowadzonych 10 lat temu w Niemczech. Badania dotyczyły wpływu akustyki klas lekcyjnych na zachowanie uczniów. W klasach lekcyjnych liczone m.in. liczbę tzw. zachowań dysfunkcyjnych w trakcie pojedynczej lekcji. Były to niepożądane zachowania zakłócające bieg lekcji: zaczepki w stosunku do innych uczniów czy nauczyciela, rzucanie przedmiotami, głośne śmiechy czy rozmowy itp. Szare słupki odpowiadają typowym klasom lekcyjnym (dosyć pogłosowym) a słupki fioletowe salom wytłumionym o krótkim czasie pogłosu. Mniejsza ilość zachowań dysfunkcyjnych w salach wytłumionych jest tłumaczona większą koncentracją uczniów na temacie lekcji (skutek lepszej zrozumiałości mowy).



Nawet jeśli zrozumiałość mowy jest przyzwoita i wydaje się nam, że wszystko rozumiemy w lot, to może niekoniecznie tak być. Jeśli sygnał akustyczny (mowa) jest zakłócony niepożądanymi dźwiękami (np. pogłosem) to mózg musi wykonać pewną pracę interpretacyjną, oddzielając „szum” od „sygnału”. To zadanie absorbuje część ograniczonych zasobów pamięci krótkotrwałej, co spowalnia pracę a także utrudnia zapamiętywanie informacji. Można to sprawdzić prostym testem pamięciowym. Ośmiolatki w poprawionej akustycznie klasie lekcyjnej (krótszy czas pogłosu) miały o 25% lepsze wyniki w teście pamięciowym

Poprawa akustyki klas lekcyjnych może sprawić, że uczniowie rozumieją 25% więcej treści wypowiedzi nauczyciel, a do tego, z tego co rozumieją, zapamiętują nawet 25% więcej. W lepszych warunkach akustycznych dzieci będą szybciej rozwijały swoje kompetencje językowe, łatwiej będzie im przychodziła nauka czytania i będą w stanie dłużej utrzymywać stan koncentracji uwagi. To wszystko nie może nie przełożyć się pozytywnie na wyniki w nauce.



Ostatnimi czasy sporo się zmienia jeśli chodzi o akustykę wewnątrz w szkołach. W 2015 roku została opublikowana pierwsza Polska Norma dotycząca akustyki wewnątrz w budynkach użyteczności publicznej. Zapisy normy w ok. 1/3 dotyczą pomieszczeń szkolnych. W styczniu tego roku została ona dopisana do wykazu norm przywołanych w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 w warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Tym samym jej stosowanie stało się obligatoryjne przy projektowaniu i wznoszeniu nowych obiektów, oraz przy modernizacji, rozbudowie lub zmianie sposobu użytkowanie istniejących.

Na naszych oczach norma zmienia świadomość projektantów oraz odpowiedzialnych za inwestycje urzędników i inwestorów prywatnych (przynajmniej tych, którzy o tej normie wiedzą) i zaczynają powstawać szkoły, które będą akustycznie bardziej funkcjonalne, przyjazne i bezpieczne.



Oczywiście pozostanie problem istniejących budynków. Tutaj dobra informacja, akustykę wewnątrz da się dosyć łatwo poprawić, ponieważ zależy ona w dużym stopniu od zastosowanych materiałów wykończeniowych. Ważna jest tylko świadomość tego faktu wśród użytkowników budynków szkolnych, rodziców i odpowiedzialnych za szkoły urzędników.

Dobrym przykładem jest ta szkoła podstawowa na Ursynowie. W sensie budowlanym jest szkołą jak inne, różni ją tylko wielkość – uczy się w niej 1200 dzieci. Z tego powodu była wyjątkowo głośna: np. równoważne poziomy dźwięku mierzone w korytarzach (w czasie przerw oczywiście) osiągały prawie 93,0 dB(A). Bardzo głośno było też na stołówce, w świetlicach i w sali sportowej.

Rada rodziców dostrzegając zaostrzający się z powodu wzrostu liczby uczniów problem, zaczęła głośno o nim mówić, próbując zainteresować urząd dzielnicy Ursynów, radę miasta oraz media. Szkoła w tym czasie była wielokrotnie odwiedzana przez dziennikarzy, którzy czasami mieli kłopoty z rejestracją materiału o hałasie ze względu na ... zbyt wysoki hałas.

Kilkuletnie starania przyniosły w końcu efekt i rada m. st. Warszawy znalazła środki na przeprowadzenie w szkole adaptacji akustycznej. W wyniku prowadzonych od lutego do sierpnia tego roku prac, nowego brzmienia nabrały korytarze, świetlice, sale lekcyjne, hala sportowa i salki gimnastyczne oraz stołówka. Celem projektantów było takie przeprojektowanie akustyki tych pomieszczeń aby spełniały one wymagania nowej polskiej normy akustycznej PN-B-02151-4:2015-06. Był to pierwszy tak kompleksowy projekt sanacji akustycznej budynku szkolnego w Polsce. W miarę postępu prac (prowadzonych w ferie, weekendy a często nocami) oczywistym dla wszystkich stawał się sukces projektu, słyszalny „gołym uchem”. Zachęcony tym doświadczeniem ratusz, nie czekając na zakończenie prac i pomiary powykonawcze, zdecydował się na przeprowadzenie

szerszego programu pilotażowego obejmującego 9 szkół podstawowych w różnych dzielnicach miasta. Program ten oprócz poprawy akustyki w tych obiektach ma przynieść doświadczenia, które zostaną wykorzystane w ogólnowarszawskim programie walki z hałasem w szkołach, który docelowo obejmie wszystkie szkoły samorządowe w stolicy. Może podobne programy ruszą i w innych miastach.



**Mikolaj Jarosz**

Concept Developer  
[mikolaj.jarosz@saint-gobain.com](mailto:mikolaj.jarosz@saint-gobain.com)  
+48 602 421 104