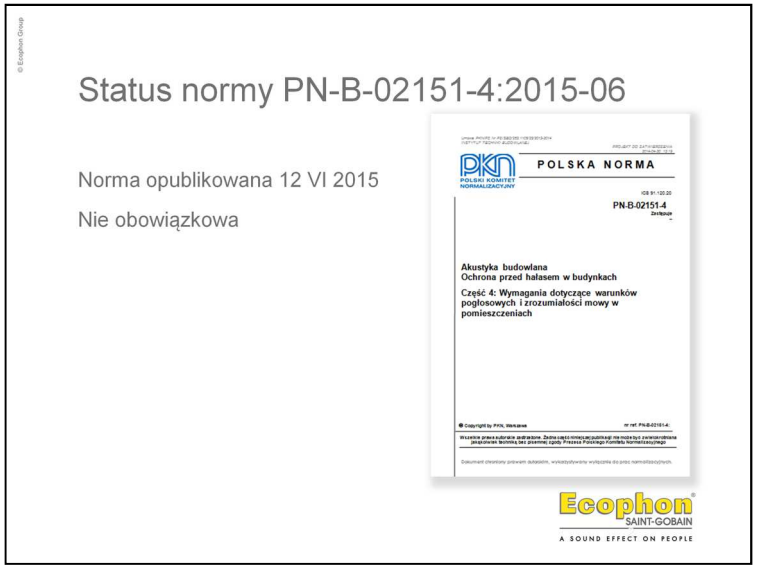
Polska Norma PN-B-02151-4 „Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań” jest pierwszą normą w Polsce określającą wymagania w stosunku do akustyki wnętrz budynków użyteczności publicznej. Podobne normy funkcjonują od lat w innych krajach europejskich.



Norma została opublikowana 12 lipca 2015 roku. Zgodnie z ustawą o normalizacji z dnia 12 września 2002 r. norma ta, jak i inne polskie normy nie jest obowiązkowa. W przyszłości będzie ona prawdopodobnie powołana w kolejnej nowelizacji rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tak samo jak funkcjonujące od dawna dwie inne części tej samej normy: PN-B-02151-2 i PN-B-02151-3). Status polskich norm powołanych w rozporządzeniach (obowiązkowe czy nie) jest przedmiotem kontrowersji i mógłby być tematem osobnego szkolenia.

Dla zainteresowanych ciekawy artykuł w Gazecie Prawnej:
http://prawo.gazetaprawna.pl/artykuly/700875,czy_polskie_normy_sa_obowiazkowe_i_tak_i_nie.html

© Ecophon Group

Cel normy

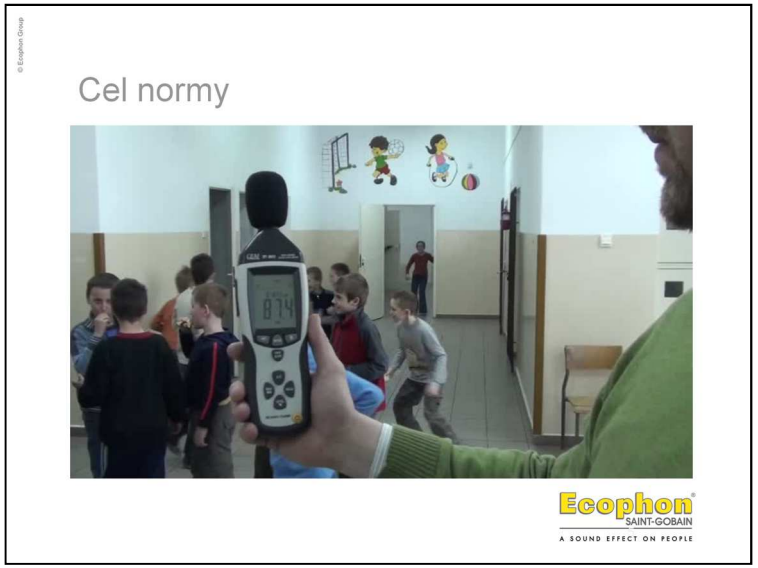
Stosowanie wymagań normy w odniesieniu do określonych pomieszczeń ma na celu:

- zmniejszenie hałasu w pomieszczeniu poprzez ograniczenie jego składowej, jaką jest hałas pogłosowy,

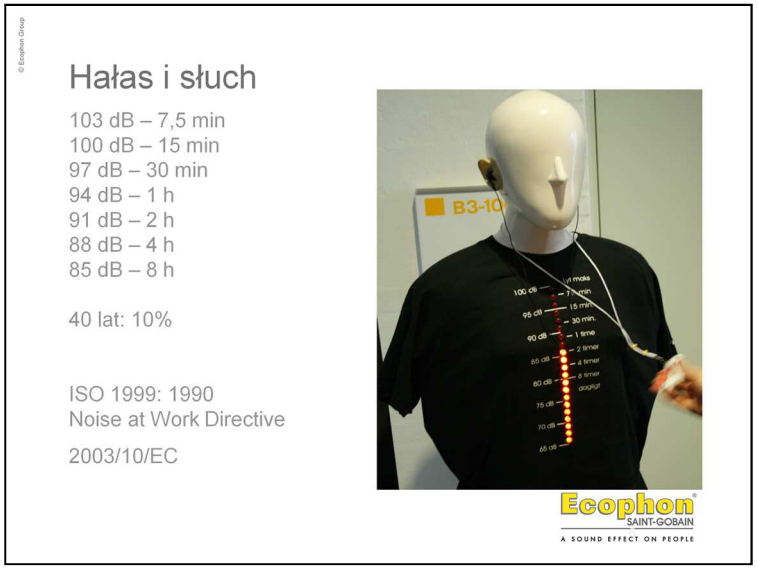
- zapewnienie zrozumiałości mowy umożliwiające właściwe użytkowanie pomieszczeń przeznaczonych do komunikacji słownej.

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Norma nie dotyczy pomieszczeń o akustyce kwalifikowanej, jak sale teatralne czy koncertowe. Dotyczy zwykłych pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej, w których akustyka wnętrz może mieć jednak istotny wpływ na ich funkcjonalność. Przykładem może być ta bardzo pogłosowa sala gimnastyczna używana jako sala szkoleniowa. Nagranie wykonane zostało w odległości ok. 3-4 m od najbliższego głośnika lecz mimo to zrozumiałość mowy jest praktycznie zerowa. Oczywiście tego typu pomieszczenie równie źle sprawowałoby się w trakcie szkolnych akademii, apeli czy zwykłych lekcji WF.

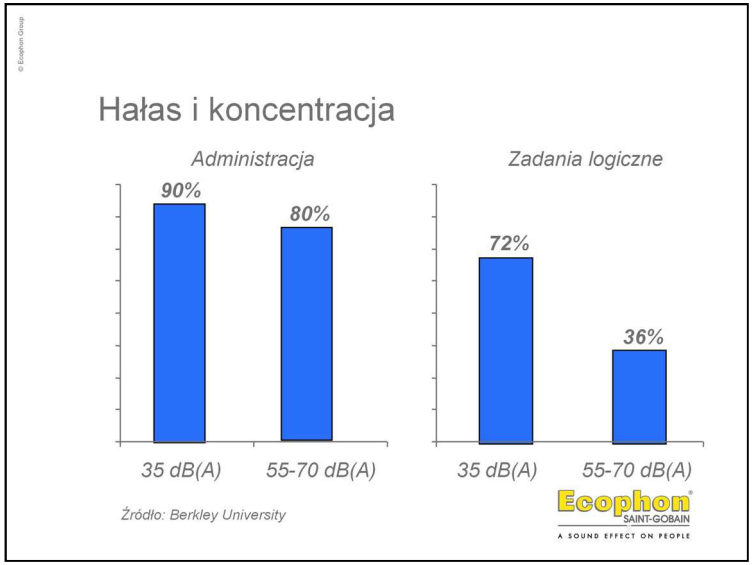


Inny przykład. Zwykły korytarza w zwykłej małej podstawówce w czasie przerwy. Poziom dźwięku oscyluje w granicach 85-90 dB(A). W dużym stopniu za tak wysoki poziom hałasu odpowiada wykończenie tego korytarza.



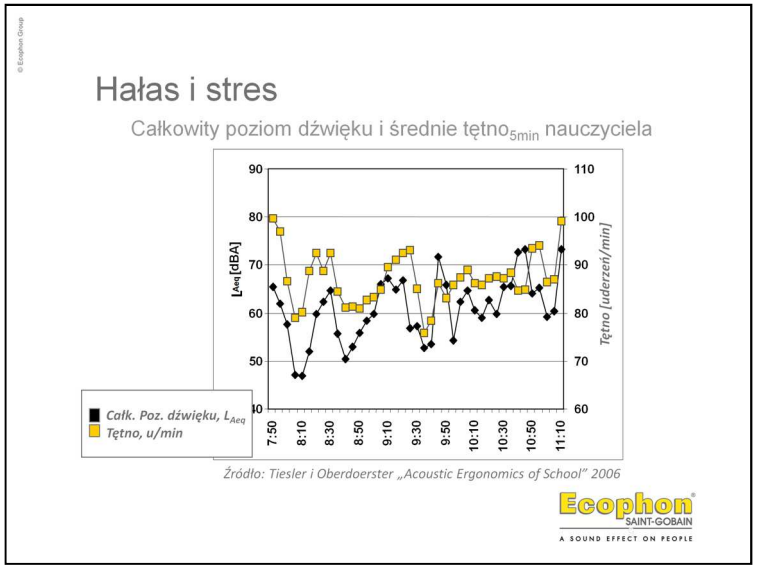
Poziomy dźwięku na takim korytarzu mogłyby być już niebezpieczne dla słuchu, ale na szczęście dzienny czas ekspozycji nie przekracza zwykle 60-70 min. Na tym slajdzie możemy zobaczyć bezpieczne dla słuchu czasy ekspozycji na dźwięk o różnym poziomie. Dźwięk na poziomie 90 dB byłby groźny gdyby łączny dzienny czas ekspozycji przekraczałby 120 min. Trzeba jednak pamiętać, że dzieci narażone są na hałas w różnych miejscach i różnych sytuacjach (np. szczególnie groźne mogą być urządzenia ze słuchawkami dousznymi) i hałas szkolny składa się na dzienną dawkę hałasu.

Hałas utrudnia także komunikację. To zdjęcie wykonano w miejscu gdzie poziom dźwięku wynosił ok 65-70 dB(A). Naturalnym odruchem przy rozmowie telefonicznej naturalnym odruchem jest zatykanie drugiego ucha. Przy poziomie 85 dB(A) rozmowa przestaje być możliwa – pozostaje wykrzykiwanie prostych komunikatów „wzmacnianych gestami”.

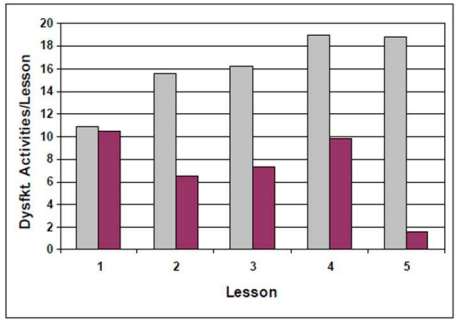


Hałas, zwłaszcza niosący przekaz informacyjny, bardzo utrudnia koncentrację uwagi. Zjawisko to potwierdzają badania przeprowadzone w latach 70-tych na Berkley University. Uczestnikom testu polecono wykonywać proste zadania administracyjne oraz skomplikowane zadania logiczne wymagające skupionej uwagi. Zadania były wykonywane w ciszy (poziom tła akustycznego = 35 dB A) a następnie zakłócone rozmowami odtwarzanymi na poziomie 55-70 dB A. Wyniki pokazują, że rozwiązywanie zadań logicznych, wymagających koncentracji jest znacznie utrudnione w takich warunkach.

© Ecophon Group



Inne badania dotyczyły zależność między poziomem dźwięku w sali lekcyjnej a poziomem stresu u nauczyciela (mierzonego poziomem jego tętna).

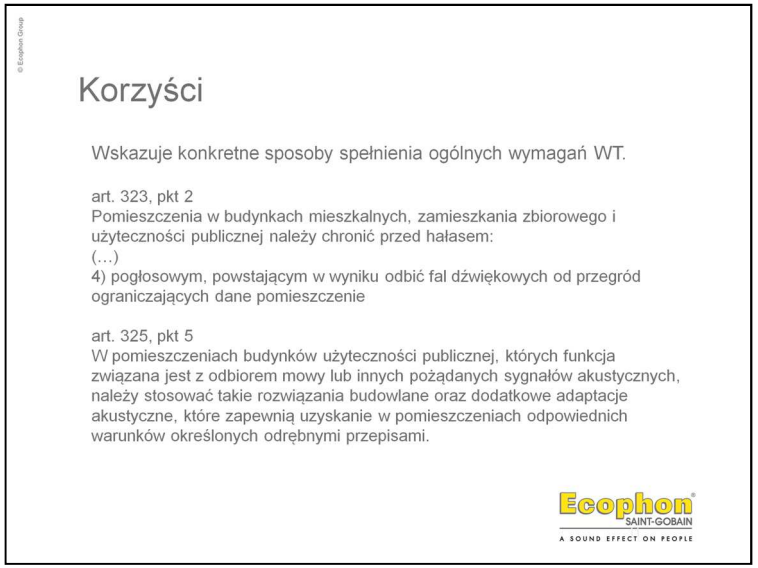


Źródło: Tiesler i Oberdoerster „Acoustic Ergonomics of School" 2006

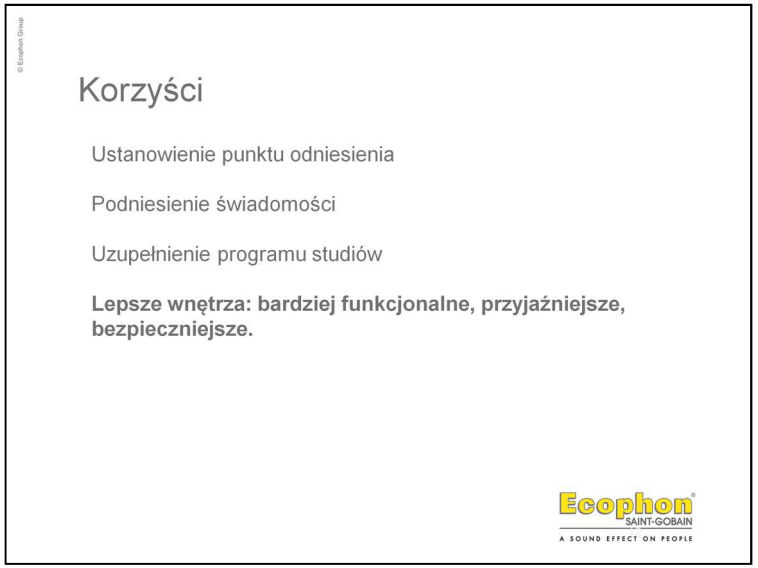
Ecophon SAINT-GOBAIN A SOUND EFFECT ON PEOPLE

W trakcie tej samej serii badań sprawdzano jak akustyka sal lekcyjnych wpływa na zachowanie uczniów. W czasie lekcji liczono ilość „zachowań dysfunkcyjnych" (zachowania uczniów zakłócające przebieg lekcji). W pomieszczeniach o słabej akustyce (pogłosowych – szare słupki) liczba taki zdarrzeń była wyraźnie większa i do tego rosła z lekcji na lekcję. Wynika to najprawdopodobniej z szybszego zmęczenia uczniów i coraz większych problemów z koncentracją.

© Ecophon Group



Norma uzupełnia pewne luki w Warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. W rozporządzeniu tym zawarte są ogólne postulaty dotyczące akustyki wnętrz natomiast brak jest szczegółowych kryteriów oceny.



Norma stanowi doskonały dokument odniesienia w kontaktach projektant – inwestor. Dla inwestora będzie zbiorem wymagań dających rękojmię zapewnienia poprawnej akustyki wnętrz - powołując się na normę (np. w specyfikacji istotnych warunków zamówienia) może jednym zdaniem sprawić, że dostanie projekt uwzględniający zagadnienia akustyki wnętrz i zawierający odpowiednie rozwiązania techniczne. W konsekwencji otrzyma budynek z wnętrzami wolnymi od błędów w zakresie akustyki wnętrz. Projektant otrzymuje zaś spójny, jasny zbiór wymagań i zaleceń poręczniejszy w stosowaniu niż rozproszona literatura. Jego stosowanie nie sprawi, że wszystkie projektowane pomieszczenia będą się charakteryzowały idealną akustyką ale będą przynajmniej pod tym względem poprawne. Projektant stosujący PN-B-02151-4 będzie mógł z całą odpowiedzialnością twierdzić, że dołożył wszelkich starań aby również pod względem akustyki wnętrz budynek był bez zarzutu.

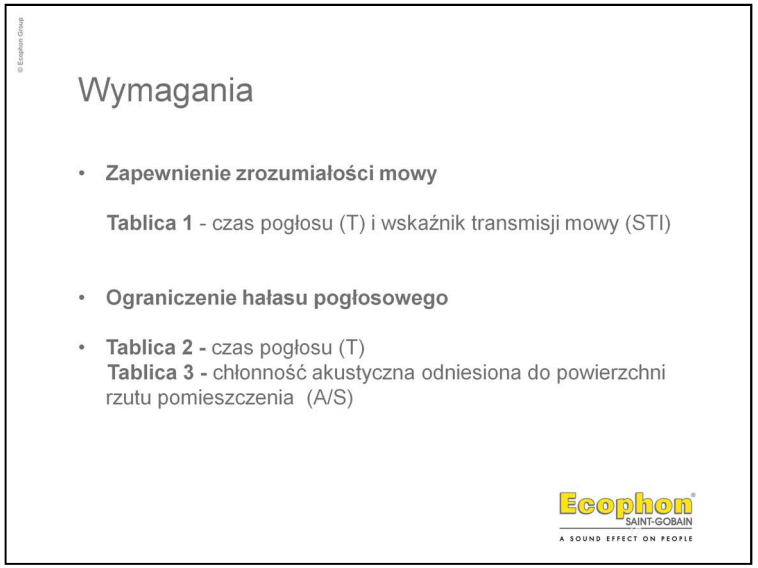
Pojawienie się PN dotyczącej akustyki wnętrz podniesie, ogólnie niski obecnie, poziom świadomości w tym zakresie. Nie tylko wśród projektantów, ale także wśród inwestorów i użytkowników budynków. Prawdopodobnie sprawi także, że tematyka ta będzie uwzględniona (tam gdzie to jeszcze nie nastąpiło) w programach studiów na wydziałach architektury czy architektury wnętrz.

Lecz największą korzyścią z wprowadzenia i stosowania normy będą lepszej jakości wnętrza budynków użyteczności publicznej: bardziej funkcjonalne, bardziej przyjazne i bezpieczniejsze.

Jako przykład pomieszczenia, które mogłoby być znacznie bardziej funkcjonalne i przyjazne gdyby przy jego wykończeniu uwzględniono zapisy normy może służyć ta stołówka w jednej ze szkół w Legionowie. Zdjęcie pochodzi ze strony szkoły i przedstawia radosne dzieci, chociaż wtedy kiedy było wykonane w stołówce wcale wesoło nie było. Twarde wykończenie pomieszczenia (polerowany gres, szkło, szpachlowane i szlifowane tynki, sufity gipsowo-kartonowe) oraz duża liczba użytkowników (ok. 100 miejsc) sprawiało, że pomieszczenie było ekstremalnie głośne. Równoważny poziom dźwięku L_{Aeq}(rodzaj średniej) dla 10 minutowego okresu kiedy stołówka jest pełna (wszyscy weszli a jeszcze nikt nie wyszedł) wyniósł 87,8 dB A. Tak wysoki poziom hałasu nie tylko uniemożliwia rozmowę ale zwiększa stres, rozdrażnienie i zmęczenie, a u wrażliwszych dzieci może powodować bóle głowy. Nic dziwnego, że zdarzały się z tego powodu przypadki rezygnacji rodziców z posyłania dzieci na szkolne obiady.

Jak przyjrzymy się sufitowi w tym pomieszczeniu to zauważymy, że nie jest to po prostu tynkowany strop, tylko sufit podwieszany wykonany ze szpachlowanych płyt gipsowo-kartonowych. Gdyby ktoś projektujący to pomieszczenie miał świadomość jak jego wykończenie wpłynie na poziom hałasu (albo po prostu miał wtedy do dyspozycji przedmiotową normę), mógłby zaprojektować w miejsce twardego sufitu GK sufit dźwiękochłonny i tym samym, przy tych samych kosztach, udałoby się stworzyć wnętrze, które byłoby o kilkanaście decybeli cichsze.

Kolejny przykład to ta hala sportowa. Problem z akustyką zauważono już przy uroczystym otwarciu obiektu. Silny pogłos uniemożliwiał komunikację słowną nawet przy użyciu nagłośnienia. Dodatkowy koszt elementów dźwiękochłonnych łatwo by było zmieścić w budżecie całej inwestycji dofinansowanej ze środków zewnętrznych. Gdyby się wiedziało, że są one niezbędne dla zapewnienia jej funkcjonalności. Teraz trudno znaleźć pieniądze w bieżącym budżecie gminy.



Wymagania są sformułowane w różny sposób w stosunku do różnych typów pomieszczeń.

W przypadku pomieszczeń przeznaczonych do komunikacji słownej (w których głównym problemem jest zapewnienie odpowiedniej zrozumiałości mowy) określone są maksymalne wartości dla czasu pogłosu (T) oraz minimalne dla wskaźnika zrozumiałości mowy (STI) (oba wymagania muszą być spełnione łącznie).

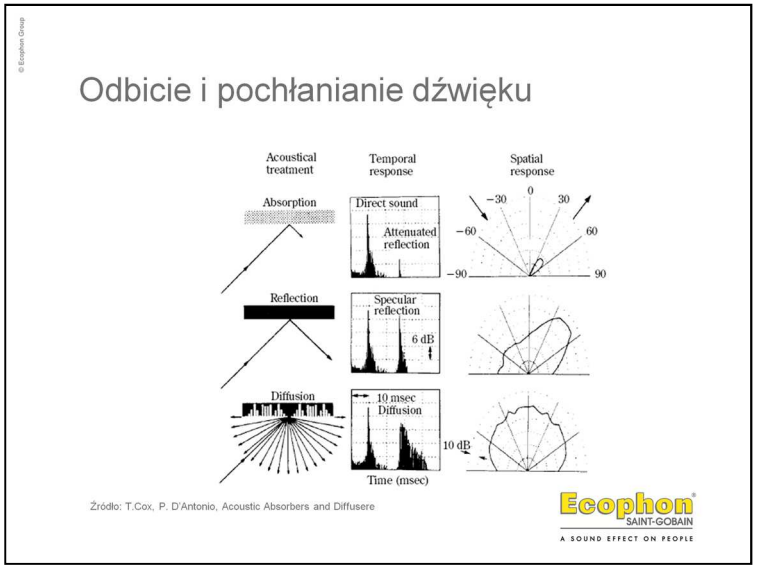
W przypadku pozostałych pomieszczeń (w których głównym problemem jest poziom hałasu i jego zasięg) określone są maksymalne wartości dla czasu pogłosu lub minimalne dla chłonności akustycznej.

© Ecophon Group

Wymaganie: chłonność akustyczna

Wymaganie formułowane względem pomieszczeń, w których głównym problemem jest wysoki poziom hałasu i jego zasięg.

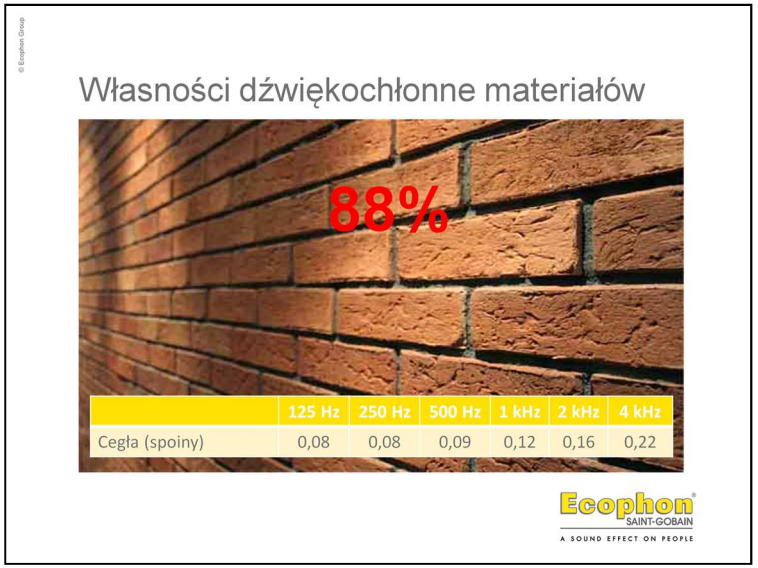
Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE



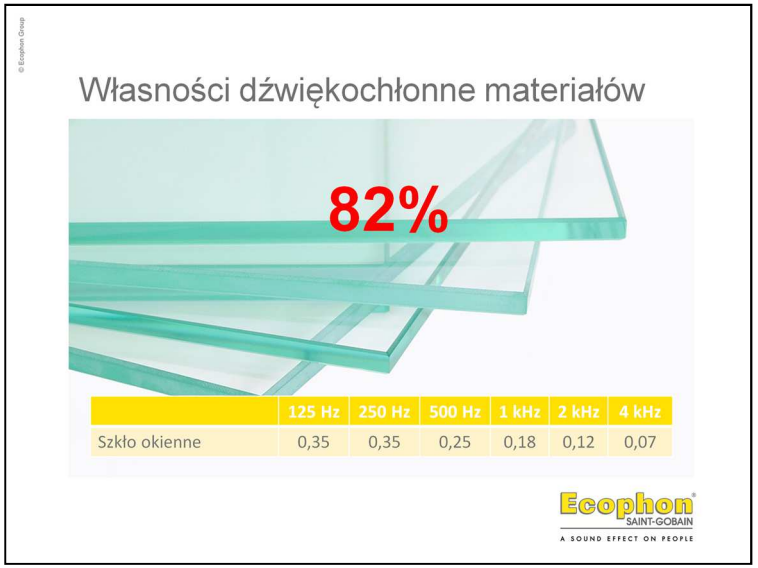
Od wykończenia powierzchni zależy co się stanie z padającą na nią falą akustyczną. Jeśli powierzchnia jest twarda i nierówna, fala dźwiękowa zostanie odbita we wszystkich kierunkach (rozproszona): dolny rysunek. Jeśli powierzchnia będzie twarda i gładka fala dźwiękowa zostanie odbita lustrzanie (kąt padania równy katowi odbicia): środkowy rysunek. Jeśli zaś powierzchnia będzie miękka, porowata, fala dźwiękowa wniknie w materiał i tylko niewielka jej część zostanie odbita z powrotem do pomieszczenia.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Granit polerowany	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02

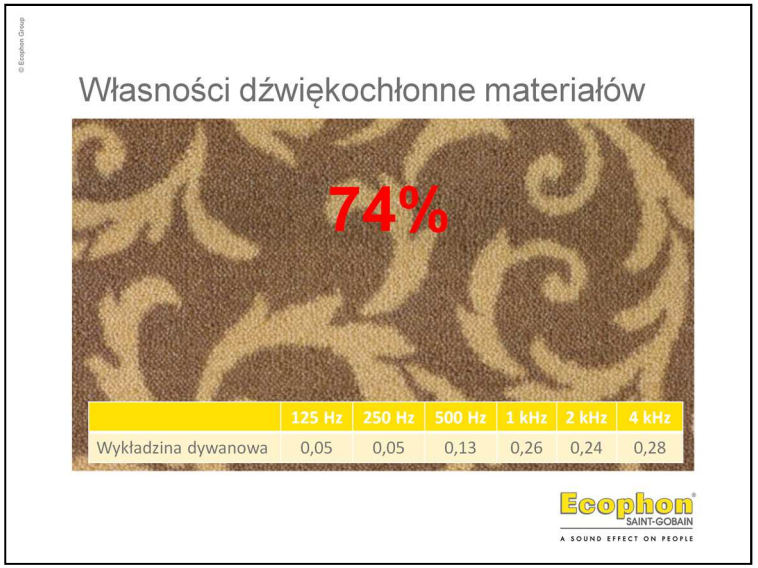
Materiały twarde, gładkie, masywne – np. płyty polerowanego granitu klejone do betonu mają bardzo słabe własności dźwiękochłonne. Wartości współczynnika pochłaniania dźwięku na poziomie 0,01 – 0,02 oznaczają, że tylko 1-2% energii fali dźwiękowej padającej na taką powierzchnię jest przez nią pochłonięta a 98-99% odbita.



Porowata powierzchnia cegieł oraz niewypełnione fugi sprawiają, że chłonność akustyczna takiego muru jest znacznie większa niż gładkiej powierzchni betonowej.



Materiały twarde, gładkie ale cienkie potrafią mieć stosunkowo wysokie własności dźwiękochłonne w niskich częstotliwościach, ponieważ fale dźwiękowe w tych pasmach są w stanie wprawić je w drgania. Istotne są proporcje: stosunek grubości tafli/płyty do jej mniejszego wymiaru. Im większa rozpiętość np. tafli szkła, przy tej samej jej grubości, tym większych wartości współczynników pochłaniania dźwięku można się spodziewać. Oczywiście w niskich częstotliwościach.

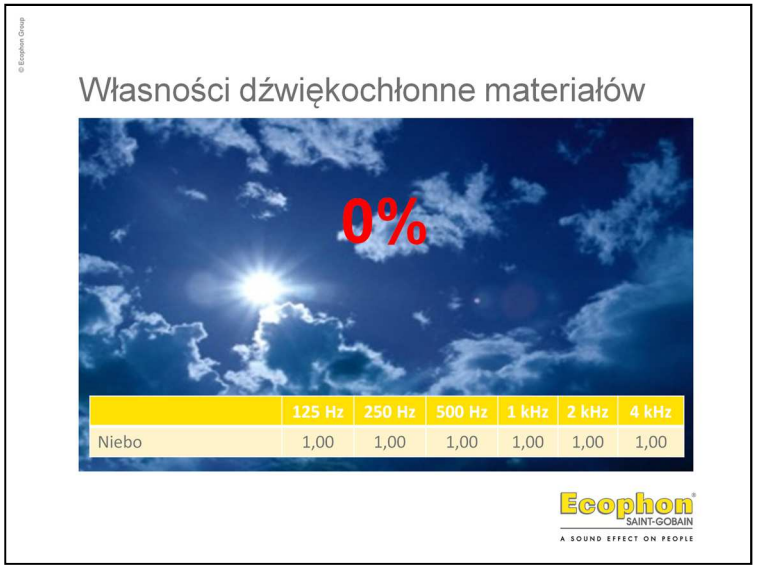


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Wykładzina dywanowa	0,05	0,05	0,13	0,26	0,24	0,28

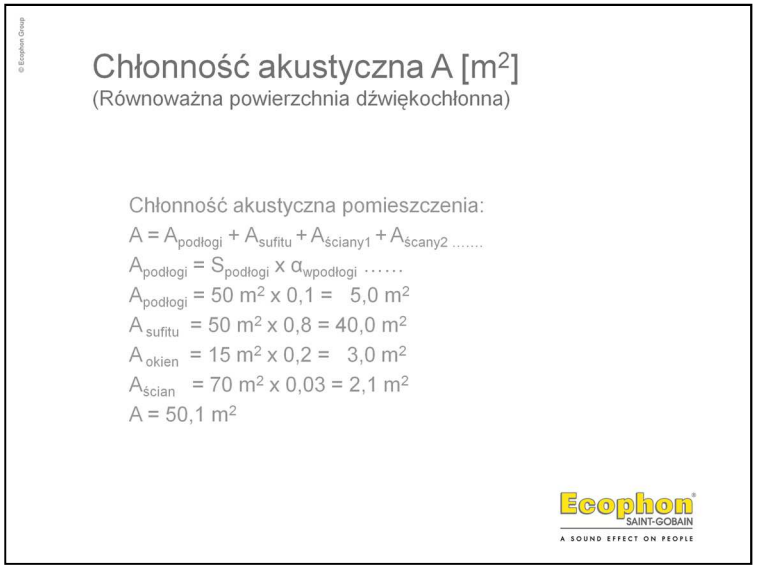
W przypadku wykładzin dywanowych (czyli miękkiego materiału o małej grubości kładzionego na twardą powierzchnię) wzrasta pochłanianie w średnich i wysokich częstotliwościach. Pochłanianie w niskich częstotliwościach jest słabe ze względu na małą grubość materiału.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Płyta z wełny szklanej	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00

Materiały specjalnie produkowane jako dźwiękochłonne (zwykle z wełny szklanej lub kamiennej) charakteryzują się wysokim pochłanianiem dźwięku w średnich i wysokich częstotliwościach (zwykle ponad 90%). Dużo ciężej osiągnąć tak dobre wyniki w paśmie 125 Hz.



Idealnym absorberem dźwięku jest otwarta przestrzeń.



Chłonność akustyczna pomieszczenia jest sumą chłonności akustycznej powierzchni ograniczających to pomieszczenie oraz obiektów się w nim znajdujących. Im większa kubatura pomieszczenia tym coraz większe znaczenie ma także chłonność akustyczna powietrza w nim zawartego.

Chłonność akustyczną danej powierzchni (np. podłogi) obliczamy mnożąc pole jej powierzchni przez współczynnik pochłaniania dźwięku właściwy dla materiału jakim jest wykończona. Jeśli ta przykładowa podłoga wykończona jest dwoma materiałami (np. parkiet częściowo pokryty dywanem), musimy osobno policzyć chłonność akustyczną części pokrytej dywanem i części pokrytej samym parkietem.

Jeśli w pomieszczeniu znajdują się jakieś obiekty posiadające istotne dla bilansu całego pomieszczenia własności dźwiękochłonne (np. tapicerowane krzesła) można obliczyć ich chłonność mnożąc chłonność pojedynczego obiektu (podaną przez jego producenta lub zaczerpniętą z literatury) przez ich ilość. Uwaga: w przypadku obiektów, które są zestawiane we wnętrzu w zwarte grupy/powierzchnie (np. fotele w sali kinowej) zazwyczaj mierzy się w laboratorium chłonność akustyczną całego układu. W takim przypadku podawane są współczynniki pochłaniania dźwięku, a chłonność akustyczną np. widowni wylicza się mnożąc te współczynniki przez jej powierzchnię.

Jeśli całkowitą chłonność akustyczną pomieszczenia (A) podzielimy przez pole powierzchni jego rzutu (S) to otrzymamy wskaźnik A/S. Wskaźnik ten pozwala na łatwe porównywanie chłonności akustycznej pomieszczeń o różnej wielkości.

Wymaganie: chłonność akustyczna

Lp.	Pomieszczenie	A/1 m^2
1	Biura wielkoprzestrzenne, otwarte pomieszczenia do prac administracyjnych (tzw. „open space"), sale operacyjne banków i urzędów, biura obsługi klienta oraz inne pomieszczenia o zbliżonej funkcji	≥ 1,1 [a,b]
2	Centra obsługi telefonicznej	≥ 1,3 [a,b]
3	Szatnie w szkołach i przedszkolach (dotyczy tylko pomieszczeń, w których ubrania zamknięte są w szafkach z pełnymi drzwiami)	≥ 0,6
4	Pracownie do zajęć technicznych i warsztaty szkolne	≥ 0,6
5	Sale chorych na oddziałach intensywnej opieki medycznej	≥ 0,8

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Wymagania w formie minimalnej chłonności akustycznej są sformułowane względem 10 grup pomieszczeń. W tablicy nr 3 podane są dla tych pomieszczeń minimalne wartości chłonności akustycznej przypadającej na 1 metr kwadratowy rzutu pomieszczenia (czyli wskaźnika A/S).

Wymagania dotyczą:

- pomieszczeń wykończonych, lecz nieumeblowanych (wyjątkiem są pozycje 1 i 2 w których przypadku należy uwzględnić chłonność akustyczną umeblowania i wyposażenia).
- każdego z pasm oktawowych o środkowej częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz
- pomieszczeń o wysokości w świetle wykończenia do 4 metrów

Wymagania nie dotyczą:

- zamkniętych klatek schodowych przeznaczonych wyłącznie do ewakuacji lub do celów technologicznych

© Ecophon Group

Wymaganie: chłonność akustyczna

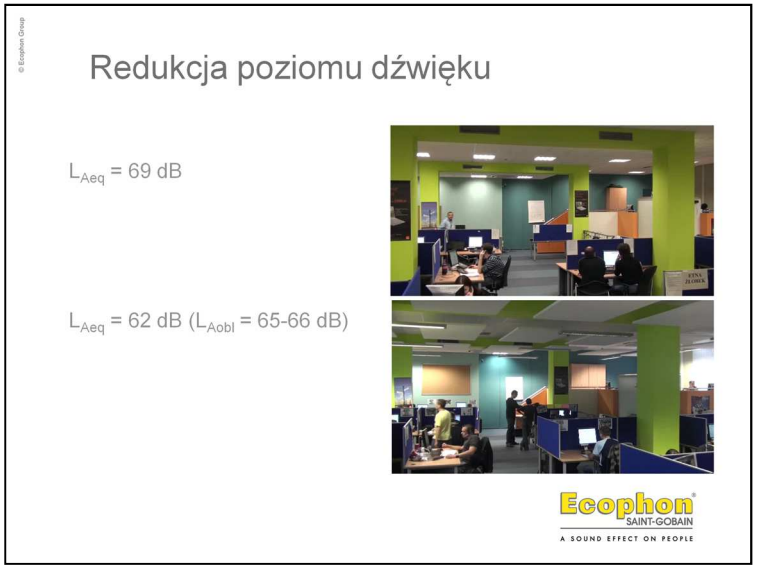
Lp.	Pomieszczenie	A/1 m^2
6	Poczekalnie i punkty przyjęć w szpitalach i przychodniach lekarskich	≥ 0,8
7	Korytarze w przedszkolach, szkołach podstawowych i szkołach średnich (gimnazjach i szkołach ponadgimnazjalnych)	≥ 1,0
8	Korytarze w hotelach, szpitalach i przychodniach lekarskich	≥ 0,6
9	Klatki schodowe w przedszkolach, szkołach, obiektach służby zdrowia i administracji publicznej	≥ 0,4[c,d]
10	Kuchnie i pomieszczenia zaplecza gastronomicznego (z wyjątkiem magazynów)	≥ 0,4

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Dlaczego chłonność akustyczna pomieszczenia jest tak ważna dla jego akustyki? Dobrym przykładem będą dwa zbliżone do siebie pod względem formy i wymiarów pomieszczenia. Pierwszym z nich jest żelbetowy tunel, którego wszystkie powierzchnie doskonale odbijają fale dźwiękowe. Charakteryzuje się on skrajnie małą chłonnością akustyczną. Każdy dźwięk wytworzony w tym pomieszczeniu będzie silnie wzmocniony ponieważ do słuchacza będzie docierał nie tylko sygnał bezpośredni (fale dźwiękowe biegnące bezpośrednio od źródła) ale także dziesiątki i setki odbić fal dźwiękowych od powierzchni ograniczających pomieszczenie - a więc słuchacz będzie słyszał nie tylko źródło rzeczywiste ale także dziesiątki i setki głośniejszych i cichszych źródeł pozornych. Ponadto, niemalże bezstratne odbicia dźwięku spowodują, że będzie on miał duży zasięg przestrzenny. W takim środowisku prowadzona normalnym głosem rozmowa może być słyszalna (co nie znaczy, że zrozumiana) z odległości kilkuset metrów.

W tym „pomieszczeniu” odbicia dźwięku są możliwe praktycznie od tylko powierzchni jezdni. Fale dźwiękowe rozchodzące się w innych kierunkach ulegają rozproszeniu w przestrzeni otwartej działającej jak idealny materiał dźwiękochłonny. Chłonność akustyczna pomieszczenia jest skrajnie duża. W takim otoczeniu do słuchacza dochodzi tylko dźwięk bezpośredni i ewentualnie pojedyncze odbicie od jezdni. Ten sam dźwięk będzie dla niego o kilkanaście decybeli cichszy niż w pokazanym na poprzednim slajdzie tunelu (wyjąwszy sytuacje kiedy słuchacz znajduje się bardzo blisko źródła dźwięku). Zmniejszy się także zasięg dźwięku. Rozmowa prowadzona normalnym głosem może być słyszalna co najwyżej z odległości kilkudziesięciu metrów.

Nietrudno się domyślić, że akustyka wnętrz np. korytarza szkolnego powinna być bardziej zbliżona do tego pomieszczenia niż to tunelu z poprzedniego slajdu. Niestety w praktyce jest zwykle na odwrót.



Przykład z praktyki. Pomieszczenie centrum telefonicznej obsługi klienta jednego z polskich operatorów telefonii komórkowej. W godzinach szczytu praktycznie wszystkie stanowiska pracy są zajęte, a 70-80% obecnych pracowników prowadzi rozmowy telefoniczne. W tym czasie poziom dźwięku, w zależności od miejsca pomiaru, wahał się od 67,3 do 70,7 dB A. Wprowadzenie dodatkowych absorberów (widocznych na dolnym zdjęciu jako podwieszone pod istniejącym sufitem ekrany) pozwoliło zwiększyć chłonność akustyczną dwukrotnie (w paśmie 1000 Hz). Wynikająca ze zwiększonej chłonności akustycznej redukcja poziomu dźwięku była wyliczona na ok. 5 dB. W rzeczywistości poziomy dźwięku (mierzonego o tej samej porze dnia przy podobnej ilości pracowników) spadły do 59,4 – 63,2 dB A. Redukcja poziomu dźwięku wyniosła 6,2 – 7,9 dB (w zależności od miejsca pomiaru).

Warto tu zaznaczyć, że pomieszczenie przed adaptacją miało już znaczną chłonność akustyczną (wykładziny dywanowa, sufit akustyczny, tapicerowane fotele oraz ekrany międzystanowiskowe oraz sami pracownicy). Interwencja wykonywana w pomieszczeniu wykończonym wyłącznie twardymi materiałami (jak to ma miejsce np. w typowych korytarzach szkolnych) może skutkować redukcją poziomu dźwięku rzędu kilkunastu dB.

© Ecophon Group

Wymaganie: chłonność akustyczna

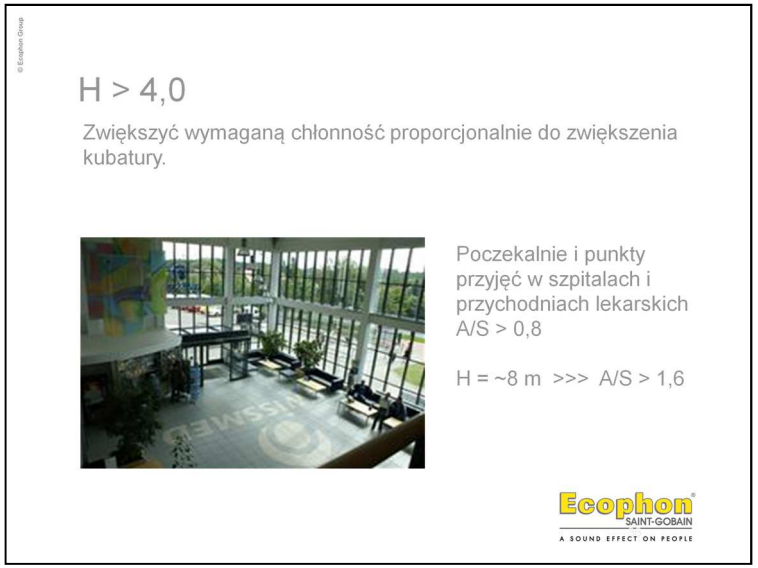
Dotyczy:

- **Każdego z pasm oktawowych o środkowej częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz.**
- **Pomieszczeń wykończonych lecz nieumeblowanych** (z wyjątkiem poz. 1 i 2)
- **Pomieszczeń o wysokości w świetle wykończenia 4 m.** Dla pomieszczeń o wysokości przekraczającej 4 m, należy indywidualnie określić minimalną chłonność akustyczną ekstrapolując podane wartości proporcjonalnie do zwiększonej kubatury.

Nie dotyczy:

- **zamkniętych klatek schodowych służących wyłącznie do ewakuacji lub do celów technologicznych**.

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE



W przypadku pomieszczeń wymienionych w tablicy 3, ale o wysokości w świetle wykończenia przekraczającej 4 m, wartość A/S podaną w tablicy należy zwiększyć proporcjonalnie do wzrostu wysokości.

Przykład

Hall wejściowy do szpitala.

Minimalna chłonność akustyczna dla „poczekalni i punktów przyjęć w szpitalach i przychodniach lekarskich" określona wskaźnikiem A/S wynosi 0,8. Wymaganie dotyczy pomieszczeń o wysokości maksymalnej $H_{max} \leq 4{,}0$ m.

Przedmiotowe pomieszczenie ma wysokość w świetle wykończenia H = 8,0 m.

Minimalną chłonność akustyczną (wskaźnik A/S) wyliczamy ze wzoru:

A/S = H/Hmax x 0,8

A/S = 2 x 0,8 = 1,6

Przykładowe obliczenia sprawdzające spełnienie wymagań normy odnoszących się do minimalnej chłonności akustycznej wykonano dla tego niewielkiego biura otwartego. Pomieszczenie o powierzchni 100 m2, w którym zaaranżowano 12 stanowisk pracy. Pomieszczenie posiada także aneks wypoczynkowy (częściowo widoczny w głębi zdjęcia po lewej stronie). Pomieszczenie wyposażone jest w dźwiękochłonne sufity podwieszane, dźwiękochłonne panele ścienne (poza kadrem), dźwiękochłonne ekrany międzystanowiskowe oraz w wykładzinę dywanową.

Wymaganie: chłonność akustyczna

Lp.	Pomieszczenie	A/1 m^2
1	Biura wielkoprzestrzenne, otwarte pomieszczenia do prac administracyjnych (tzw. „open space”), sale operacyjne banków i urzędów, biura obsługi klienta oraz inne pomieszczenia o zbliżonej funkcji	≥ 1,1 [a,b]
2	Centra obsługi telefonicznej	≥ 1,3 [a,b]
3	Szatnie w szkołach i przedszkolach (dotyczy tylko pomieszczeń, w których ubrania zamknięte są w szafkach z pełnymi drzwiami)	≥ 0,6
4	Pracownie do zajęć technicznych i warsztaty szkolne	≥ 0,6
5	Sale chorych na oddziałach intensywnej opieki medycznej	≥ 0,8

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Z tablicy 3 odczytujemy wymaganie:

Minimalna chłonność akustyczna biura typu open space wyrażona krotnością powierzchni jego rzutu (wskaźnik A/S) wynosi 1,1.

Wymaganie odnosi się do pomieszczenia „wykończonego, umeblowanego i wyposażonego w sposób typowy dla przeznaczenia ale bez obecności ludzi” i musi być spełnione w każdym z pasm oktawowych o środkowej częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz.

© Ecophon Group

Open space A/S > 1,1

Powierzchnia 100 m² ➡ A > 110 m²

Pokrycie sufitu 85%	m²	500 Hz	1 kHz	2 kHz
Wykładzina dywanowa (Desso Lines)	100	7,0	17,0	25,0
Szyby	90	7,2	2,7	1,8
Drzwi masywne drewniane	10	1,0	0,6	0,8
Tynk cementowo – wapienny	80	1,6	2,4	3,2
Ścianka GK 2 x 12,5	20	2,0	1,2	0,8
Oprawy	10	2,5	2,0	1,0
Kratki wentylacyjne	5	3,0	3,0	3,0
Biurka (szt)	12	5,4	5,4	7,2
Fotele (szt)	12	1,8	1,8	2,2
Panele ścienne Texona	13	13,0	13,0	13,0
Ekrany Akusto Screen (szt.)	10	15,0	24,0	27,0
Sufit Focus Dg, cwk 200,	85	72,3	72,3	85,0
Razem		131,8	145,4	170,0

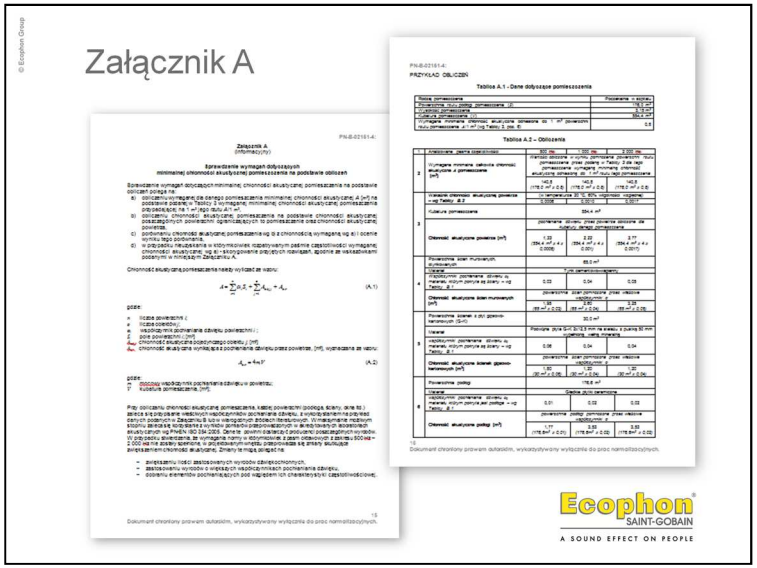
Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Mnożymy wskaźnik A/S przez pole powierzchni biura i otrzymujemy bezwzględną wartość minimalnej chłonności akustycznej tego pomieszczenia: 110 m2.

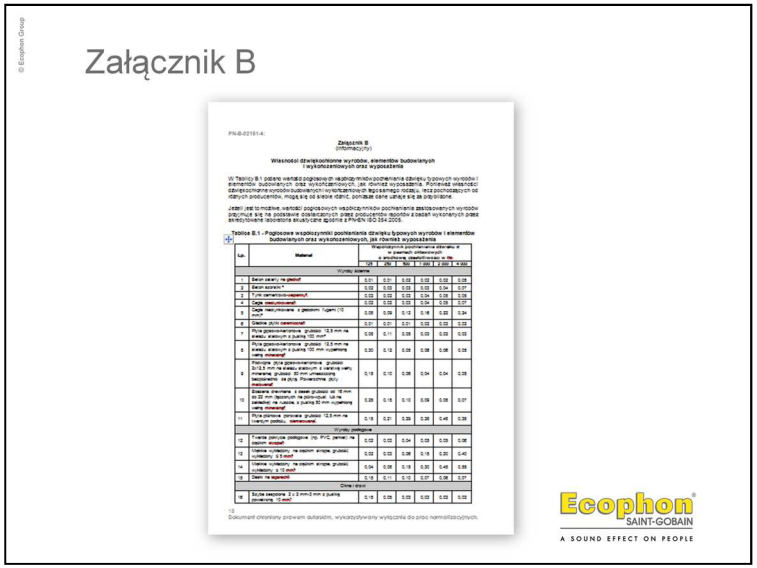
Mnożąc pole powierzchni poszczególnych materiałów przez właściwe im współczynniki pochłaniania dźwięku obliczamy cząstkowe chłonności akustyczne (osobno dla pasm 500, 1000 i 2000 Hz).

W przypadku biurek, foteli i ekranów Akusto Screen mnożymy ilości tych obiektów przez chłonność pojedynczej sztuki.

Cząstkowe chłonności sumujemy osobno w trzech pasmach. W każdym z trzech pasm wynik nie może być niższy od 110 m2.



W załączniku informacyjnym A do normy opisano sposób obliczania chłonności akustycznej uwzględniający także pochłanianie dźwięku przez powietrze zawarte w pomieszczeniu.



Załącznik B zawiera tablicę ze współczynnikami pochłaniania dźwięku przykładowych wyrobów, elementów budowlanych i wykończeniowych oraz wyposażenia.

© Ecophon Group

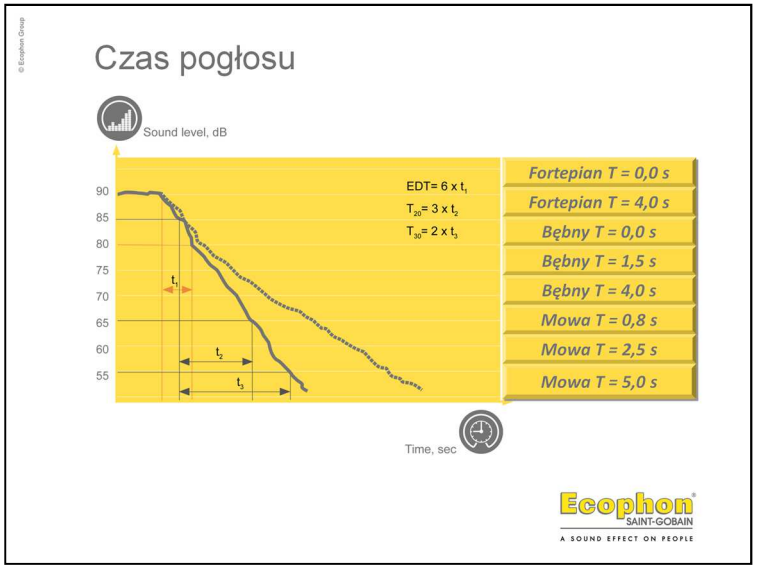
Wymaganie: czas pogłosu

Wymaganie formułowane względem pomieszczeń, w których głównym problemem jest wysoki poziom hałasu i jego zasięg, a których zróżnicowane formy i wielkość sprawiają, że użycie kryterium minimalnej chłonności akustycznej jest niepraktyczne.

Dotyczy także pomieszczeń, w których oprócz hałasu mogą wystąpić problemy ze zrozumiałością mowy, chociaż komunikacja słowna nie jest główną ich funkcją.

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Pogłos jest zjawiskiem występującym w pomieszczeniach (chociaż może także się pojawiać we wnętrzach urbanistycznych czy obiektach otwartych, jak np. stadiony) a wywołanym przez odbicia fal dźwiękowych od powierzchni je ograniczających. O pogłosie możemy mówić wtedy, kiedy do słuchacza oprócz sygnału bezpośredniego docierają także odbite fale akustyczne a odstęp czasowy pomiędzy kolejnymi odbiciami jest na tyle mały (<50ms), że ucho ludzkie nie jest w stanie ich od siebie oddzielić. W takich warunkach każdy impuls dźwiękowy nie kończy nagle tylko stopniowo zanika (wybrzmiewa). Pogłosowość pomieszczenia zależy więc od szybkości z jaką energia dźwiękowa zanika w nim po ustaniu sygnału pierwotnego.



Pogłos mierzymy wielkości zwaną Czas Pogłosu [s]. W uproszczeniu jest to czas potrzebny na to, aby w danym pomieszczeniu impuls dźwiękowy zanikł o 60 dB, przy czym przy pomiarze pomija się pierwsze 5 dB zaniku. Jak widać na załączonym obrazku, krzywa zaniku dźwięku może być stroma (krótki pogłos) lub łagodna (długi pogłos). Czas pogłosu jest jednym z ważniejszych parametrów określających charakter akustyczny pomieszczenia, zależy on od wielu czynników.

Czas pogłosu zależy od kubatury. Im większe pomieszczenie tym zasadniczo dłuższy czas pogłosu.

Czas pogłosu zależy także od chłonności akustycznej pomieszczenia. Im większa jest chłonność (tzn. im „miększe” akustycznie jest pomieszczenie) tym krótszy jest czas pogłosu.

W przypadku pomieszczeń, w których materiał dźwiękochłonny jest skoncentrowany tylko na jednej jego powierzchni na czas pogłosu istotny wpływ ma obecność materiałów rozpraszających dźwięk. Na zdjęciach widzimy dwie bardzo podobne hale sportowe, z materiałem dźwiękochłonnym umieszczonym pomiędzy elementami konstrukcyjnymi dachu. Ściany szczytowe hali po prawej stronie są płaskie i twardo wykończone (cegła) – fale dźwiękowe rozchodzące się prostopadle do nich będę się odbijają się miedzy nimi, aż do całkowitego zaniku. Hala po lewej stronie wyposażona jest w ściankę wspinaczkową, która dzięki swojej nieregularnej powierzchni rozprasza dźwięk. Prostopadle padająca fala akustyczna zostanie odbita w wielu kierunkach co zwiększy efektywność zainstalowanych w hali materiałów dźwiękochłonnych.

Czas pogłosu zależy także od geometrii pomieszczenia.

Czas pogłosu zależy w końcu także od rozmieszczenia materiałów dźwiękochłonnych w pomieszczeniu. W przypadku pomieszczenia po prawej stronie materiały dźwiękochłonne ulokowane są jedynie na suficie pomieszczenia. Fale dźwiękowe rozchodzące się poziomo będą odbijały się od ścian aż do całkowitego zaniku nie napotykając na powierzchnie dźwiękochłonne. Nieco lepsza jest sytuacja w pomieszczeniu po lewej stronie: materiały dźwiękochłonne rozmieszczone są także na ścianach.

Wymaganie: czas pogłosu

Lp.	Pomieszczenie	Wysokość lub kubatura	Czas pogłosu T [s]
1	2	3	4
1.1	Sale gimnastyczne, hale sportowe i inne pomieszczenia o zbliżonej funkcji	≤ 5000 m^3	≤ 1,5
1.2		> 5000 m^3	≤ 1,8
2.1	Kryte pływalnie, parki wodne i inne obiekty o zbliżonej funkcji	≤ 5000 m^3	≤ 1,8
2.2		> 5000 m^3	≤ 2,2
3	Sale dla dzieci w żłobkach i przedszkolach	-	≤ 0,4 [a]
4	Świetlice szkolne	-	≤ 0,6 [a]
5	Stołówki szkolne	-	≤ 0,6 [a]
6.1	Biblioteki i czytelnie	≤ 4,0 m	≤ 0,6 [a]
6.2		> 4,0 m	≤ 0,8 [a]

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Wymagania w formie maksymalnego czasu pogłosu są sformułowane względem 12 grup pomieszczeń. W tablicy nr 2 podane są dla tych pomieszczeń maksymalne wartości czasu pogłosu oraz ew. ograniczenia dotyczące kubatury lub wysokości.

Wymagania dotyczą:

- pomieszczeń wykończonych, z trwale zamocowanymi elementami umeblowania i wyposażenia ale bez obecności ludzi (wyjątkiem są pozycje 3, 4, 5 i 6 w których przypadku należy uwzględnić chłonność akustyczną ruchomego umeblowania i wyposażenia).
- każdego z pasm oktawowych o środkowej częstotliwości 250Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz i 4000 Hz.

© Ecophon Group

Wymaganie: czas pogłosu

Lp.	Pomieszczenie	Wysokość lub kubatura	Czas pogłosu T [s]
1	2	3	4
7.1	Atria, hole, foyer i inne pomieszczenia o zbliżonej funkcji w budynkach użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego; wielokondygnacyjne strefy komunikacji ogólnej w centrach handlowych	≤ 4,0 m	≤ 1,2
7.2		4,0 m ~ 16,0 m	≤ 1,5
7.3		> 16,0 m	≤ 1,8
8.1	Galerie wystawowe, sale ekspozycyjne w muzeach i inne pomieszczenia o zbliżonej funkcji	≤ 4,0 m	≤ 1,5[b]
8.2		4,0 m ~ 16,0 m	≤ 2,0[b]
8.3		> 16,0 m	≤ 2,5[b]

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

© Ecophon Group

Wymaganie: czas pogłosu

Lp.	Pomieszczenie	Wysokość lub kubatura	Czas pogłosu T [s]
1	2	3	4
9.1	Terminale pasażerskie portów lotniczych, dworce kolejowe i autobusowe: obszary komunikacji ogólnej, strefy odpraw pasażerów, odbioru bagażu, kas i informacji, poczekalnie	≤ 4,0 m	≤ 1,2
9.2		4,0 m ~ 16,0 m	≤ 1,5
9.3		> 16,0 m	≤ 1,8
10	Gabinety lekarskie i zabiegowe oraz inne pomieszczenia o zbliżonej funkcji	-	≤ 0,8
11	Pokoje biurowe i inne pomieszczenia o zbliżonej funkcji	-	≤ 0,6

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

© Ecophon Group

Wymaganie: czas pogłosu

Lp.	Pomieszczenie	Wysokość lub kubatura	Czas pogłosu T [s]
1	2	3	4
12	Pokoje nauczycielskie, socjalne i inne pomieszczenia o zbliżonej funkcji w szkołach i przedszkolach	-	≤ 0,6
13	Sale konsumpcyjne w restauracjach	Należy określić indywidualnie	
14	Pomieszczenia sakralne (kościoły, kaplice)	Należy określić indywidualnie	
15	Połączone pomieszczenia o rożnej objętości i/lub różnej funkcji spośród wymienionych w niniejszej tablicy	Należy określić indywidualnie w zakresie podanych wartości	

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

© Ecophon Group

Wymaganie: czas pogłosu

Wymagania dotyczą:

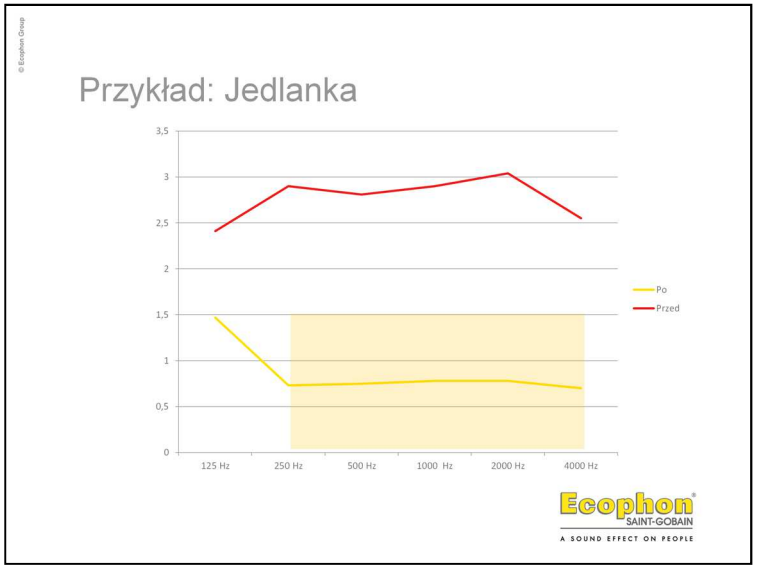
- Każdego z pasm oktawowych o środkowej częstotliwości 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz i 4000 Hz.

- Pomieszczeń wykończonych, z trwale zamocowanymi elementami umeblowania i wyposażenia, bez ludzi.
(z wyjątkiem poz. 3, 4, 5 i 6)

- W przepadku pomieszczeń z punktu 8 (galerie wystawowe) jeżeli będą one przeznaczone do komunikacji słownej lub instalacji dźwiękowych, należy zapewnić możliwość okresowego zmniejszenia czasu pogłosu, *T*, o 0,5 sekundy.

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Za przykład poprawnej adaptacji akustycznej może służyć ta niewielka (ok. 70 m2) salka gimnastyczna. Jest ona wykorzystywana do gimnastyki korekcyjnej, zajęć tanecznych, zajęć teatralnych a także po wprowadzeniu rozkładanych krzesełek do organizowania spotkań z rodzicami itp.

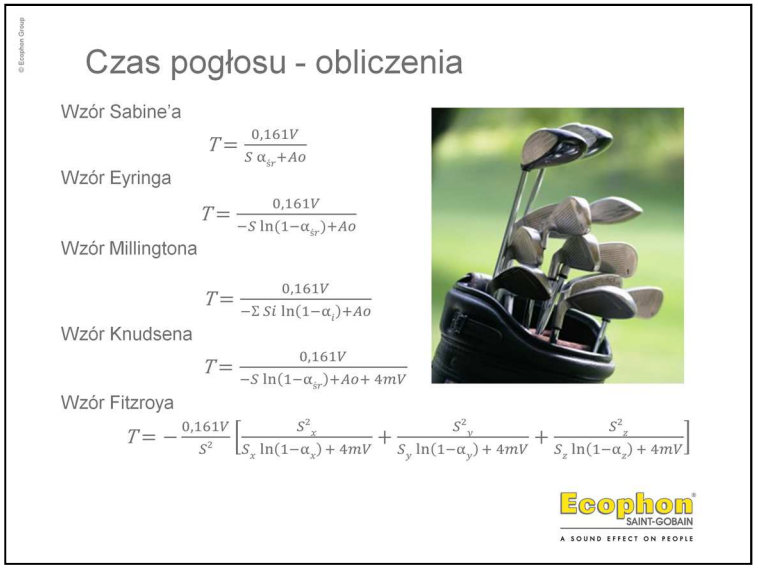


Pomieszczenie wykończone twardymi materiałami (podłoga sportowa, tynk, szkło) było bardzo pogłosowe: czas pogłosu sięgał 3 s. Tak silny pogłos utrudniał prowadzenie zajęć głównie poprzez zacieranie zrozumiałości mowy ale także przez zniekształcenie odtwarzanej muzyki.

Na suficie i jednej ze ścian podłużnych przyklejono płyty dźwiękochłonne pokrywające łącznie ok. 62% powierzchni sufitu i 7,5% łącznej powierzchni ścian. Czas pogłosu został obniżony do ok. 0,75 s. Redukcja czasu pogłosu w pasmie 125 Hz jest znacznie mniejsza ze względu na specyfikę użytych materiałów. Płyty dźwiękochłonne montowane bezpośrednio do twardej powierzchni (bez pustki powietrznej) z reguły charakteryzują się dużo niższą dźwiękochłonnością w tym paśmie.

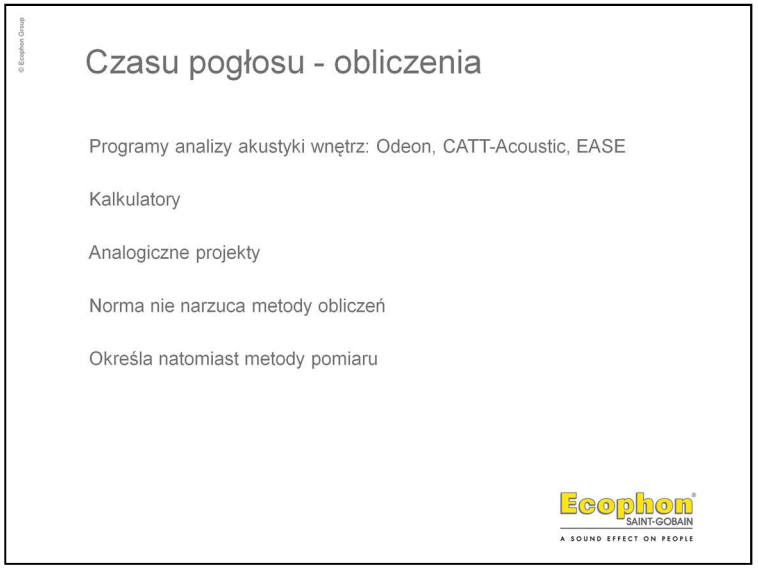
Uzyskany czas pogłosu jest znacznie niższy od zalecanego przez normę dla sal gimnastycznych o kubaturze mniejszej niż 5000 m3 maksymalnego poziomu 1,5 s. Wynika to z daleko niższej kubatury przedmiotowej sali (ok. 230 m3). Przyjęcie dla pomieszczenia o tak niewielkiej objętości czasu pogłosu na poziomie 1,5 s, byłoby co prawda zgodne z normą, ale błędne.

Redukcja pogłosu z 3 s do 0,75 s radykalnie zmieniła akustykę sali. Stała się ona znacznie cichsza a zrozumiałość mowy polepszyła się na tyle, że sala gimnastyczna jest przez nauczycieli odbierana jako lepsza do prowadzenia zajęć niż zwykłe klasy lekcyjne w tej szkole.



Czas pogłosu w pomieszczeniu można obliczyć stosując rozmaite wzory. Najprostszym, najstarszym i jednocześnie najlepiej znanym jest wzór Sabine'a. Trzeba jednak pamiętać, że każdy wzór ma swoje ograniczenia. Wzór Sabine'a sprawdza się w pomieszczeniach pogłosowych, słabo wytłumionych (o niskiej chłonności akustycznej), w których poszczególne powierzchnie ograniczające to pomieszczenie mają zbliżone własności dźwiękochłonne. Wzór Eyringa można stosować dla obliczania czasu pogłosu w pomieszczeniach o różnym stopniu wytłumienia jednak wciąż istotne jest równomierny rozkład chłonności akustycznej na wszystkich powierzchniach ograniczających pomieszczenie. Oba wymienione wzory nie uwzględniają zjawiska pochłaniania dźwięku w powietrzu i z tego powodu w przypadku pomieszczeń o dużej kubaturze (np. sale sportowe) wyniki dla wysokich częstotliwości będą niedokładne. Wzór Knudsena pozbawiony jest tej wady ale tak jak poprzednie wzory daje poprawne wyniki tylko wtedy kiedy współczynniki pochłaniania dźwięku charakterystyczne dla materiałów użytych w pomieszczeniu są do siebie zbliżone. Wzór Fiztroya jako jedyny w tym zestawie umożliwia obliczenie czasu pogłosu dla pomieszczeń o nierównomiernym rozkładzie materiałów dźwiękochłonnych. Niestety dotyczy wyłącznie pomieszczeń prostopadłościennych.

Wzory są proste ale jak widzimy trzeba pewnej wiedzy i doświadczenia, żeby móc się nimi posługiwać. Trzeba wiedzieć, który dla danego wnętrza jest właściwszy i czy wynik będzie raczej zawyżony czy też może zaniżony. Nie ma mowy o mechanicznym liczeniu wszystkiego według jednego wzoru.



Czas pogłosu może być obliczony dzięki programom do analizy akustyki wnętrz. W programach tych wykonuje się model 3D pomieszczenia a poszczególnym powierzchniom przypisuje się konkretne materiały z załączonej bazy materiałów. W tak powstałym wirtualnym wnętrzu dokonuje się symulacji jego akustyki otrzymując szereg parametrów akustycznych, w tym czas pogłosu. Metoda dokładna, jednak o ograniczonym zastosowaniu ze względu na koszt oprogramowania.

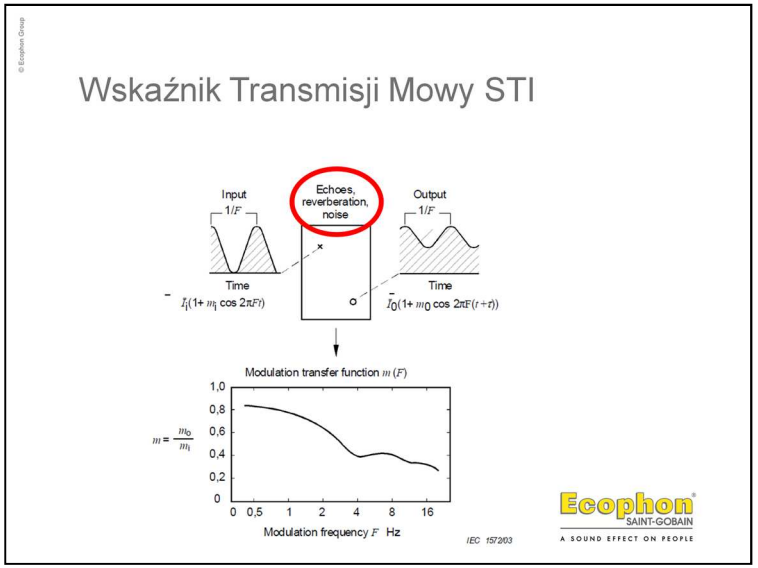
W sieci można znaleźć wiele kalkulatorów akustycznych umożliwiających szybkie przeliczenie czasu pogłosu. Zwykle brak jest informacji jaki algorytm wykorzystują. Sądząc po wynikach, zwykle jest to wzór Sabine'a lub Eyringa/Knudsena. Korzystanie z kalkulatorów przyspiesza obliczenia, jednak sprawia, że wszystkie przypadki liczymy tylko według jednego wzoru. Prowadzi to bardzo często to niewiarygodnych wyników, zwłaszcza w przypadku bardzo często spotykanych w praktyce pomieszczeń z dźwiękochłonnym sufitem i twardymi odbijającymi dźwięk ścianami.

Pewną pomocą przy projektowaniu mogą być przykłady pomieszczeń już zrealizowanych, których parametry akustyczne zostały profesjonalnie zmierzone. Jeśli projektowane pomieszczenie jest zbliżone pod względem wymiarów, formy i zastosowanych materiałów do pomieszczenia przykładowego można uznać, ze zastosowanie takich samych rozwiązań akustycznych przyniesie

podobne wyniki.

Norma nie narzuca metody obliczeń czasu pogłosu. Określa natomiast metody jego pomiaru.

W stosunku do pomieszczeń przeznaczonych komunikacji słownej stawia się dwa wymagania: maksymalną wartość czasu pogłosu i minimalną wartość współczynnika transmisji mowy STI. Oba te wymagania muszą być spełnione łącznie.



Wskaźnik transmisji mowy (Speech Transmission Index) STI pozwala określić jakość transmisji sygnału mowy od mówcy do słuchacza. Wartość STI może być policzona dla danego wnętrza lub w nim zmierzona. W przypadku zastosowania tej metody do oceny zrozumiałości mowy w pomieszczeniu (niewzmocnionej elektroakustycznie) ocenia się zakłócający wpływ tła akustycznego oraz zniekształceń sygnału (mowy) wynikających z wad akustycznych pomieszczenia (pogłos, echo).

Pomiar STI polega na umieszczeniu w miejscu „mówcy” głośnika kierunkowego (o kierunkowości zbliżonej do ludzkich ust), z którego emitowany jest szum odpowiadający głosowi ludzkiemu pod względem widma słyszalnego (zakres częstotliwościowy dźwięku mowy) i widma modulacyjnego (częstotliwość fonemów – określająca tempo wypowiedzi). Sygnał emitowany jest na poziomie 60 dB co odpowiada normalnemu poziomowi głosu ludzkiego. W miejscu „słuchacza” rejestruje się sygnał wraz z zakłóceniami charakterystycznymi dla badanego pomieszczenia. Od różnicy obu sygnałów – wyemitowanego i zarejestrowanego zależy wartość STI. Jeśli oba sygnały byłyby identyczne STI przyjął by wartość maksymalną: 1.

© Ecophon Group

Test logatomowy

	1	2	3
Zestaw 1	py	ster	ku
Zestaw 2	miast	rop	kie
Zestaw 3	cza	spo	slo
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

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Przejrzystość dźwięku (mowy) warunkuje jakość przekazu słownego. W pogłosowym wnętrzu z wysokim poziomem tła akustycznego (background noise) słuchacze mogą mieć duże trudności ze zrozumieniem mówiącego.

© Ecophon Group

Wskaźnik Transmisji Mowy STI

Zrozumiałość mowy	Test zdaniowy [%]	Test wyrazowy [%]	Test logatomowy [%]	STI	SIL [dB]
Doskonała	100	> 98	> 81	> 0,75	> 21
Dobra	100	93 - 98	70 - 81	0,60 – 0,75	15 - 21
Dostateczna	100	80 - 93	53 - 70	0,45 – 0,60	10 - 15
Słaba	70-100	60 - 80	31 - 53	0,30 – 0,45	3 - 10
Zła	< 70	< 60	< 31	< 0,30	< 3

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Przyjmuje się że wartości STI powyżej 0,75 oznaczają idealną zrozumiałość mowy te poniżej 0,30 całkowity jej brak. Wymaganie ustanowione na poziomie 0,6 oznacza, że w pomieszczeniach przeznaczonych do komunikacji słownej zrozumiałość mowy musi być co najmniej dobra.

Wymaganie: czas pogłosu + STI

Lp.	Pomieszczenie		Wymaganie	
	Rodzaj pomieszczenia	Kubatura [m³]	Czas pogłosu T [s]	Wskaźnik transmisji mowy STI
1	2	3	4	5
1	Sale i pracownie szkolne, sale audytoryjne, wykładowe i inne pomieszczenia o zbliżonej funkcji w szkołach podstawowych, średnich i wyższych [b]	≤ 120	≤ 0,6[a)]	-
		> 120 do ≤ 250	≤ 0,6[a]	≥ 0,60
		> 250 do ≤ 500	≤ 0,8	
		> 500 do ≤ 2 000	≤ 1,0	
		> 2000	Określić indywidualnie	Określić indywidualnie

W stosunku do pomieszczeń przeznaczonych do komunikacji słownej wymagania są podzielone na zakresy kubatur. W przypadku pierwszego zakresu (≤ 120 m3) nie stawia się wymagania odnośnie STI, ponieważ w tak małym pomieszczeniu o tak krótkim czasie pogłosu zrozumiałość mowy z pewnością będzie dobra. W przypadku większych kubatur podane są większe wartości maksymalnego czasu pogłosu, ale jednakowe wartości minimalne STI. Wynika to z tego, że w pewnych przypadkach, w dużych pomieszczeniach, w których odległość mówca-słuchacz może wynosić kilkanaście metrów może nastąpić przetłumienie pomieszczenia – wynikające ze zbyt dużej chłonności akustycznej pomieszczenia lub ze złego rozmieszczenia materiałów dźwiękochłonnych. Głos mówcy może zanikać w takim pomieszczeniu podobnie jak w przestrzeni otwartej i w konsekwencji w tylnej części sali będzie wyraźny ale zbyt cichy aby być zrozumiałym. Ustawienie wymagania STI na niezbyt wygórowanym poziomie 0,6 jest swojego rodzaju zabezpieczeniem sprawiającym, że nawet w najgorszych miejscach sali zrozumiałość mowy będzie co najmniej dobra.

© Ecophon Group

Wymaganie: czas pogłosu + STI

Lp.	Pomieszczenie		Wymaganie	
	Rodzaj pomieszczenia	Kubatura [m^3]	Czas pogłosu T [s]	Wskaźnik transmisji mowy STI
1	2	3	4	5
2	Pozostałe sale (w tym sale rozpraw sądowych, sale konferencyjne), audytoria i inne pomieszczenia do prezentacji słownych [c]	≤ 500	≤ 0,8	≥ 0,60 [d]
		> 500 do ≤ 2 000	≤ 1,0	
		> 2 000	Określić indywidualnie	Określić indywidualnie [e]

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

© Ecophon Group

Wymaganie: czas pogłosu + STI

[a] W pomieszczeniach, w których funkcją wiodącą jest prowadzenie zajęć dla osób z ubytkami słuchu i/lub innymi problemami z komunikacją słowną maksymalny czas pogłosu powinien być nie większy niż 0,4 s. W pomieszczeniach, w których funkcją wiodącą jest prowadzenie zajęć w ramach nauczania początkowego (dzieci w wieku około 6-10 lat) lub nauczania języków obcych zaleca się zmniejszyć czas pogłosu o 0,1 s w stosunku do wartości podanych w Tablicy 1.

[b] Wymagania dotyczące czasu pogłosu oraz wskaźnika transmisji mowy należy spełnić przy komunikacji słownej bezpośredniej (bez wykorzystania systemu nagłośnienia) także w pomieszczeniach, w których jest zainstalowany system nagłaśniający lub jest przewidziane jego zainstalowanie.

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

© Ecophon Group

Wymaganie: czas pogłosu + STI

Wymagania dotyczą:

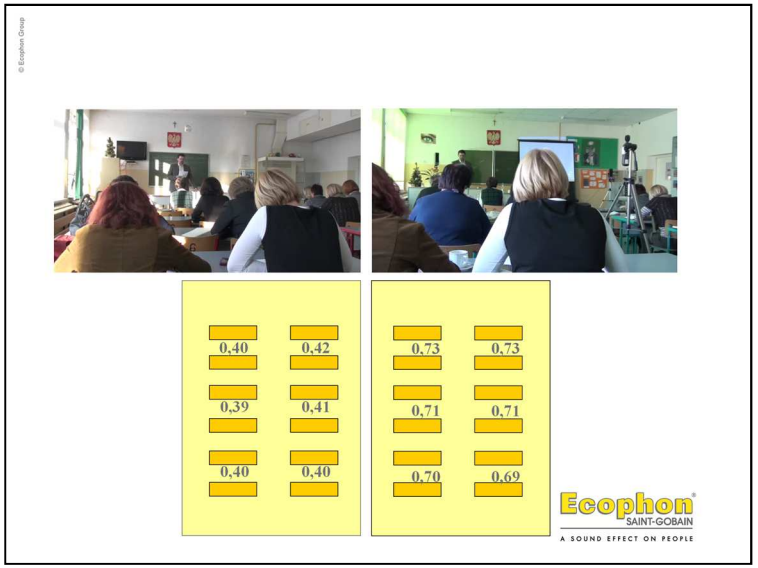
- pomieszczeń wykończonych, umeblowanych w sposób typowy dla swojego przeznaczenia, bez obecności ludzi.

Wymaganie dot. maksymalnego czasu pogłosu dotyczy:

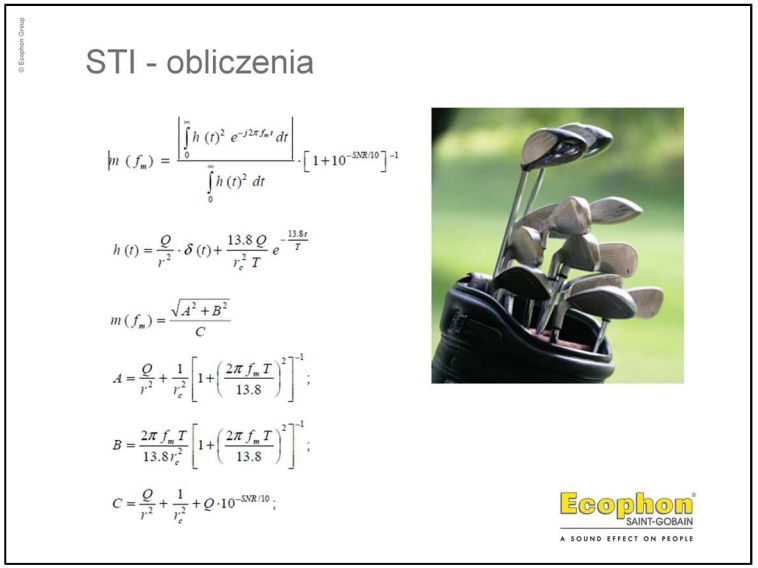
- każdego z pasm oktawowych o środkowej częstotliwości 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz i 8000 Hz.

- w paśmie oktawowym o środkowej częstotliwości 125 Hz maksymalna wartość T może być o 30% wyższa.

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE



Przykład sali lekcyjnej poddanej adaptacji akustycznej polegającej na instalacji podwieszanego sufitu dźwiękochłonnego oraz dźwiękochłonnych paneli ściennych. Dzięki niej czas pogłosu w pomieszczeniu został skrócony z przeszło 2 sekund do ok. 0,6 s. Wartości STI wzrosły z ok. 0,4 do 0,7.

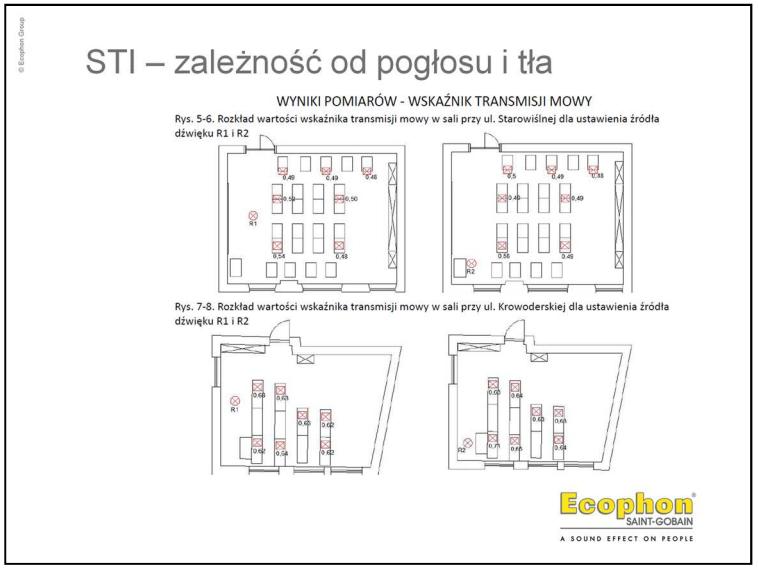


Wartość wskaźnika transmisji mowy można obliczyć ale jest to dosyć żmudne zadanie.

STI można wyznaczyć stosując programy do analizy akustyki wnętrz – te same, o których była mowa przy okazji czasu pogłosu.

Podobnie jak w przypadku czasu pogłosu, także tutaj przydatne mogą być przykłady już wykonanych pomieszczeń, w których dokonano pomiarów STI.

Tak jak w przypadku czasu pogłosu norma nie narzuca metody obliczeń tylko metody pomiarów.

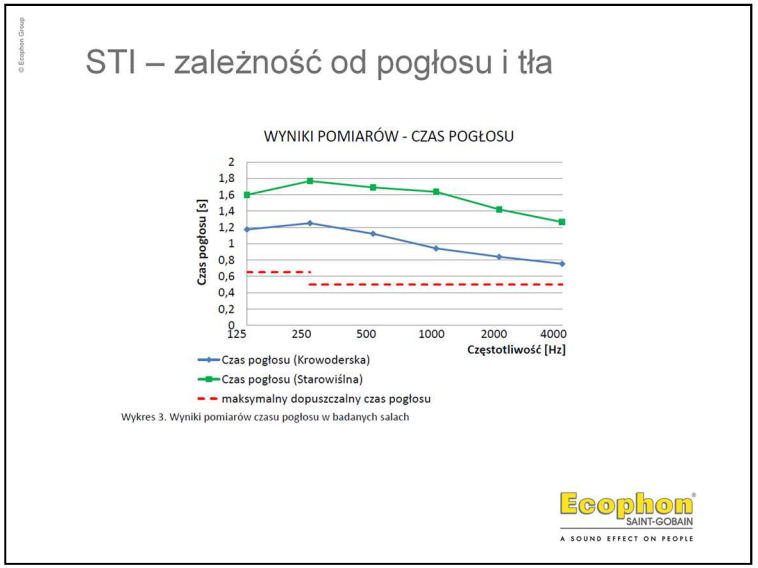


Ciekawych spostrzeżeń dostarcza praca inżynierska p. Dominiki Sowińskiej obroniona na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej (promotor: dr inż. Arch. Andrzej Kłosak).

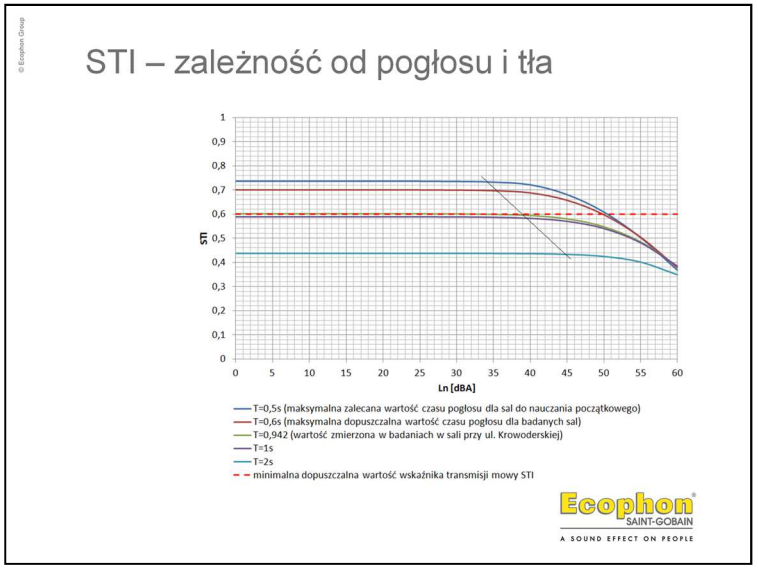
W dwóch krakowskich szkołach podstawowych przeprowadzono pomiary w dwóch klasach lekcyjnych mierząc czas pogłosu, STI i poziom tła akustycznego w pustych pomieszczeniach (tzn. bez obecności uczniów).

W klasie przy ul. Starowiślnej wartości STI wahały się od 0,48 do 0,54 w zależności od miejsca pomiaru a poziom tła akustycznego wynosił ok. 40 dB A.

W mniejszej klasie przy ul. Krowoderskiej wartości STI zawierały się w granicach 0,62 – 0,68 a poziom tła akustycznego wynosił ok. 30 dB A.



Większa i głośniejsza klasa na ul. Starowiślnej charakteryzowała się także dłuższym czasem pogłosu (zielona linia). Czas pogłosu w sali na Krowoderskiej był znacznie krótszy (niebieska linia), ale i tak znacznie dłuższy niż zalecane przez normę 0,5 s (sale lekcyjne przeznaczone do nauczania początkowego).



Dla obu klas przeprowadzono symulacje obliczeniowe sprawdzające jak na wartości STI wpłyną zmiany tła akustycznego i czasu pogłosu. Na slajdzie widzimy wyniki dla klasy lekcyjnej na ul. Krowoderskiej. Jeśli w tym pomieszczeniu, poprzez odpowiednią adaptację akustyczną, czas pogłosu zostałby obniżony do 0,5 s to wartości STI wzrosłyby do ok. 0,74. Jeśli w tej sytuacji poziom tła akustycznego przekroczyłby granicę 34 dB A wartości STI zaczęły by spadać ale osiągnęłyby wymaganą przez normę wartość minimalną (0,6) dopiero przy poziomie 51 dB A.

Z powyższego wynika, że jeśli w niewielkim pomieszczeniu jakim jest klasa lekcyjna (V < 250 m3) zapewniony zostanie poziom czasu pogłosu wymagany przez normę (0,5 lub 0,6 sekundy w zależności od sposobu wykorzystania), a tło akustyczne w pustym pomieszczeniu będzie się utrzymywało w granicach 40 dB A, to w takim przypadku nie ma co się martwić o uzyskanie wartości STI na wymaganym poziomie 0,6 ponieważ na pewno będzie ona większa.

© Ecophon Group

Wymaganie: czas pogłosu + STI

Lp.	Pomieszczenie		Wymaganie	
	Rodzaj pomieszczenia	Kubatura [m³]	Czas pogłosu T [s]	Wskaźnik transmisji mowy STI
1	2	3	4	5
1	Sale i pracownie szkolne, sale audytoryjne, wykładowe i inne pomieszczenia o zbliżonej funkcji w szkołach podstawowych, średnich i wyższych [b]	≤ 120	≤ 0,6[a)]	-
		> 120 do ≤ 250	≤ 0,6[a]	≥ 0,60
		> 250 do ≤ 500	≤ 0,8	
		> 500 do ≤ 2 000	≤ 1,0	
		> 2000	Określić indywidualnie	Określić indywidualnie

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

© Ecophon Group

Podsumowanie

Chłonność akustyczna A/S

Prosta metoda. Najważniejsza jest rzetelna baza danych i dobranie właściwych współczynników pochłaniania dźwięku.

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

© Ecophon Group

Podsumowanie

Czas poglosu T

Proste obliczenia mogą dać niewiarygodne wyniki. Problem wynika głównie z nierównomiernego rozłożenia materiałów dźwiękochłonnych i niedostatecznego rozproszenia dźwięku. Potrzebna wiedza i doświadczenie aby dobrać metodę obliczeniową i zinterpretować wyniki.

Dobre wyniki dają symulacje akustyczne

Przydatne przykłady – zwłaszcza typowych pomieszczeń.

Istotna jest nie tylko ilość i skuteczność materiałów dźwiękochłonnych ale także ich rozmieszczenie.

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

© Ecophon Group

Podsumowanie

Wskaźnik Transmisji Mowy STI

Obliczenie STI jest kłopotliwe może też dać niewiarygodny wynik jeśli w obliczeniach użyjemy wartości czasu pogłosu wyliczone metodami statystycznymi.
Dobre wyniki dają symulacje akustyczne

Przydatne przykłady – zwłaszcza typowych pomieszczeń.

Istotna jest nie tylko czas pogłosu pomieszczenia, ale także poziom tła akustycznego i odległość mówca-słuchacz.

W przypadku małych pomieszczeń (w których odległość mówca słuchacz nie przekracza 9-10 m), i w których poziom tła nie przekracza 40 dB a czas pogłosu 0,6 s – STI będzie większe niż 0,6.

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

W celu ułatwienia pracy z normą PN-B-02151-4:2015-06 przygotowaliśmy specjalną broszurę zawierająca wskazówki w jaki sposób można spełnić jej wymagania.

© Ecophon Group

Obiekty oświatowe

Rodzaj pomieszczenia	Zalecenia akustyczne	Wymagania normowe			Wskazówki projektowe
Sale i pracownie szkolne, sale audytoryjne, wykładowe w szkołach podstawowych, średnich i wyższych i inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu [1,6]	Funkcja tych pomieszczeń opiera się na komunikacji słownej bezpośredniej (bez wykorzystania nagłośnienia) a czasem i również pośredniej (poprzez nagłośnienie). Najważniejsze jest więc zapewnienie dobrej zrozumiałości mowy w obu tych sytuacjach. W tym celu należy zadbać o ograniczenie czasu pogłosu oraz poziomu tła akustycznego w pustym pomieszczeniu (< 35-40 dBA). Czas pogłosu powinien być w miarę poziomu zbliżony we wszystkich oktawowych pasmach częstotliwości 125 Hz - 4 kHz. Można to osiągnąć poprzez rozmieszczenie w pomieszczeniu materiałów dźwiękochłonnych o działaniu szerokopasmowym. W przypadku większych pomieszczeń (odległość mówca-słuchacz > 8 m) należy zapewnić właściwą propagację dźwięku (poprzez odpowiednie rozmieszczenie powierzchni odbijających dźwięk), która powinna zapewnić dostateczny dla zrozumiałości mowy poziom głosu mówcy w tylnej części sali. Należy pamiętać, że w pomieszczeniu, w którym zapewniono dobre warunki akustyczne do komunikacji słownej bezpośredniej będą także odpowiednie warunki do komunikacji słownej pośredniej (z nagłośnieniem), natomiast nie zawsze zachodzi odwrotna zależność.	≤ 120 m³	T ≤ 0,6 s [1,4]		Małe pomieszczenia o długości do 9-10 m. Na całej powierzchni sufitu materiały dźwiękochłonne o $\alpha_w \geq 0,95$. Preferowane sufity podwieszane ze względu na większą niż w przypadku innych rozwiązań chłonność akustyczną w niskich częstotliwościach (125 - 250 Hz). Dla zapewnienie możliwie płaskiej charakterystyki czasu pogłosu zalecane jest ułożenie na suficie podwieszanym dodatkowej warstwy płyt dźwiękochłonnych zwiększających pochłanianie w niskich częstotliwościach. Na tylnej ścianie od wysokości ok. 100 cm do 220 cm umieszczone dźwiękochłonne panele ścienne o $\alpha_w \geq 0,9$. Takie same panele ścienne mogą być umieszczone na jednej ze ścian bocznych od wysokości ok. 120 cm do 240 cm. Zabieg ten nie jest konieczny, jeśli przy tych ścianach stoją wysokie regały, szafy itp.
		> 120 m³ ≤ 250 m³	T ≤ 0,6 s [1,4]	STI ≥ 0,6	
		> 250 m³ ≤ 500 m³	T ≤ 0,8 s [4]	STI ≥ 0,6	Większe pomieszczenia o długości ponad 9-10 m i wysokości do 4 m. Na 60-70% powierzchni sufitu materiały dźwiękochłonne o $\alpha_w \geq 0,95$. Preferowane sufity podwieszane ze względu na większą niż w przypadku innych rozwiązań chłonność akustyczną w niskich częstotliwościach (125 - 250 Hz). Dla zapewnienie możliwie płaskiej charakterystyki czasu pogłosu zalecane jest ułożenie na suficie podwieszanym dodatkowej warstwy płyt dźwiękochłonnych zwiększających pochłanianie w niskich częstotliwościach. Na pozostałych 30-40% (przednia część sali z wyłączeniem marginesów wzdłuż ścian bocznych) materiał charakteryzujący się wciąż stosunkowo dobrym pochłanianiem w paśmie 125 Hz ($\alpha_p \geq 0,5$) i możliwie odbijający ($\alpha_p < 0,5$) w pozostałych pasmach. Na tylnej ścianie od wysokości ok. 100 cm do 220 cm umieszczone dźwiękochłonne panele ścienne o $\alpha_w \geq 0,9$. Takie same panele ścienne mogą być umieszczone na jednej ze ścian bocznych od wysokości ok. 120 cm do 240 cm. Zabieg ten nie jest konieczny, jeśli przy tych ścianach stoją wysokie regały, szafy itp. W audytoriach obowiązuje podobna zasada: przednie partie sufitu mają odbijać dźwięk w kierunku tylnej części widowni, tylne zaś powinny być dźwiękochłonne. Istotny jest kształt i nachylenie odbijających partii sufitu. Dźwiękochłonne panele ścienne na tylnej ścianie oraz tylnych partiach ścian bocznych.
		> 500 m³ ≤ 2000 m³	T ≤ 1,0 s [4]	STI ≥ 0,6	
		> 2000 m³	Określić indywid.	Określić indywid.	
Sale w żłobkach i przedszkolach [6]	Problemem jest wysoki poziom hałasu wytwarzanego przez dzieci w czasie zajęć i zabawy i dodatkowo wzmacnianego przez pomieszczenie. Poziom ten przekracza tu często 80 dBA. Zwiększenie chłonności akustycznej tych pomieszczeń poprzez zastosowanie odpowiedniego wykończenia, wyposażenia i umeblowania przyczyni się do mniejszego wzmocnienia dźwięku a tym samym obniżenia jego poziomu nawet o ponad 10 dB. Równoczesne ograniczenie czasu pogłosu pozwala na zwiększenie zrozumiałości mowy.	T ≤ 0,4 s			Na całej powierzchni sufitu materiały dźwiękochłonne o $\alpha_w \geq 0,95$. Preferowane sufity podwieszane ze względu na większą niż w przypadku innych rozwiązań chłonność akustyczną w niskich częstotliwościach (125 - 250 Hz). Dla zapewnienie możliwie płaskiej charakterystyki czasu pogłosu zalecane jest ułożenie na suficie podwieszanym dodatkowej warstwy płyt dźwiękochłonnych zwiększających pochłanianie w niskich częstotliwościach. Na dwóch przylegających do siebie ścianach od wysokości ok. 100 cm do 220 cm umieszczone dźwiękochłonne panele ścienne o $\alpha_w \geq 0,9$. Można dobierać panele, które mogą służyć za gazetki ścienne. Zabieg ten nie jest konieczny, jeśli przy tych ścianach stoją wysokie regały, szafy itp.
Świetlice szkolne [6]		T ≤ 0,6 s			
Sale konsumpcyjne w stołówkach szkolnych [6]	Problemem jest wysoki poziom hałasu wytwarzanego przez uczniów w czasie posiłków i dodatkowo wzmacnianego przez pomieszczenie. Poziom ten przekracza tu często 80 dBA. Zwiększenie chłonności akustycznej tych pomieszczeń poprzez ich odpowiednie wykończenie przyczyni się do mniejszego wzmocnienia dźwięku a tym samym obniżenia jego poziomu nawet o ponad 10 dB. Pozwoli także na zmniejszenie pogłosu i tym samym zwiększenie zrozumiałości mowy. Jest to istotne, ponieważ stołówki szkolne są także często wykorzystywane jako sale konferencyjne.	T ≤ 0,6 s			Na całej powierzchni sufitu materiały dźwiękochłonne o $\alpha_w \geq 0,9$. Sufity podwieszane lub panele montowane bezpośrednio do stropu. Ze względu na z reguły bardzo skromne umeblowanie tych pomieszczeń (gołe ściany) zalecane jest użycie na dwóch przylegających do siebie ścianach od wysokości ok. 120 cm do 240 cm dźwiękochłonnych paneli ściennych o $\alpha_w \geq 0,9$.
Pokoje nauczycielskie, socjalne i inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu w szkołach i przedszkolach	Pomieszczenia powinny zapewniać nauczycielom możliwość wypoczynku pomiędzy lekcjami. Niestety w tym czasie są to też miejsca bardzo ruchliwe, gdzie rozmawia równocześnie wiele osób. Należy zapewnić odpowiednią chłonność akustyczną pomieszczeń.	T ≤ 0,6 s			Na całej powierzchni sufitu materiały dźwiękochłonne o $\alpha_w \geq 0,9$. Sufity podwieszane lub panele montowane bezpośrednio do stropu. Na wolnych partiach ścian (nie zasłoniętych meblami), od wysokości o. 120 cm do 240 cm dźwiękochłonne panele ścienne o $\alpha_w \geq 0,9$.
Pracownie do zajęć technicznych i warsztaty szkolne	Źródłem hałasu są głównie elektronarzędzia i maszyny. Jeśli pomieszczenie jest twardo wykończone hałas jest wzmacniany co utrudnia komunikację i koncentrację oraz przyspiesza zmęczenie. W celu utrzymania hałasu na możliwie niskim poziomie należy zapewnić odpowiednią chłonność akustyczną pomieszczenia.	A ≥ 0,6 x S			Materiały dźwiękochłonne instalowane na suficie jako sufity podwieszane lub panele montowane bezpośrednio do stropu. Stosując produkty o $\alpha_w \geq 0,9$ wystarczy pokryć ok 70% powierzchni sufitu aby spełnić wymagania normy. Można rozważyć montaż dźwiękochłonnych paneli ściennych (o zwiększonej odporności mechanicznej) w miejscach sąsiadujących z najbardziej hałaśliwymi stanowiskami.
Szatnie w szkołach i przedszkolach, w których ubrania zamknięte są w szafkach z pełnymi drzwiami.	Pomieszczenia spełniające głównie funkcje komunikacyjne, ale także będące miejscem odpoczynku uczniów pomiędzy lekcjami. Największą uciążliwością jest wysoki poziom hałasu wytwarzanego przez użytkowników, który w czasie przerw osiąga zwykle 80-90 dBA (szkoły podstawowe). Powoduje on rozdrażnienie, zmęczenie i utrudnia koncentrację. Problemem jest też zwykle duży zasięg przestrzenny dźwięku, który sprawia, że "niesie się" on po całym budynku. W celu ograniczenia wzmocnienia dźwięku oraz jego zasięgu przestrzennego w tych pomieszczeniach należy zapewnić odpowiednią chłonność akustyczną.	A ≥ 0,6 x S			Materiały dźwiękochłonne instalowane na suficie jako sufity podwieszane lub panele montowane bezpośrednio do stropu. Stosując produkty o $\alpha_w \geq 0,9$ wystarczy pokryć ok 70% powierzchni sufitu aby spełnić wymagania normy. Montowanie materiałów dźwiękochłonnych na ścianach zwykle nie jest wskazane ze względu na możliwość dewastacji.
Korytarze w przedszkolach, szkołach podstawowych, gimnazjach i szkołach ponadgimnazjalnych		A ≥ 1,0 x S			Materiały dźwiękochłonne instalowane na suficie jako sufity podwieszane lub panele montowane bezpośrednio do stropu. W celu spełnienia wymagania normy należy pokryć 100% powierzchni sufitu materiałem o $\alpha_w = 1,0$. Jeśli nie jest to możliwe, można dodatkowo wykorzystać górne partie ścian (powyżej 200 cm) do instalacji
Klatki schodowe w przedszkolach, szkołach, obiektach służby zdrowia i administracji publicznej [5,6]		A ≥ 0,4 x S			Materiały dźwiękochłonne instalowane pod spocznikami i podestami. Najlepiej użyć panele montowane bezpośrednio do stropu. W przypadku użycia paneli o $\alpha_w \geq 0,9$ należy pokryć całą powierzchnię spoczników i podestów.
Czytelnie, wypożyczalnie oraz pomieszczenia księgozbiorów z wolnym dostępem w bibliotekach [6]	Czytelnie są pomieszczeniami wymagającymi ciszy i skupienia, a ponieważ często są połączone przestrzennie z otwartymi księgozbiorami i wypożyczalnią należy zadbać o ograniczenie zasięgu przestrzennego dźwięku.	H ≤ 4 m	T ≤ 0,6 s		W czytelniach i wypożyczalniach na całej powierzchni sufitu materiały dźwiękochłonne o $\alpha_w \geq 0,9$. Sufity podwieszane lub panele montowane bezpośrednio do stropu. Mogą też być wolnowiszące panele dźwiękochłonne. W rejonie otwartych księgozbiorów można zredukować pokrycie stropu materiałami dźwiękochłonnymi do 50 %. Rolę absorberów ściennych spełniają regały z książkami.
		H > 4 m	T ≤ 0,8 s		

A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Przygotowywany jest także przewodnik on-line, który zawiera ogólne wskazówki, przykłady ale także kalkulator umożliwiający proste obliczenie chłonności akustycznej pomieszczenia i odniesienie wyników to wymagań normy. Kalkulator jest na stronie www.ecophon.pl/PN

Mamy nadzieję, że te narzędzia ułatwią stosowanie normy PN-B-02151-4 praktyce. Jesteśmy natomiast pewni, że wnętrza projektowane zgodnie z tą normą będą bardziej funkcjonalne i bardziej przyjazne dla ich użytkowników.

© Ecophon Group

Mikołaj Jarosz

Concept Developer
mikolaj.jarosz@saint-gobain.com
+48 602 421 104

Ecophon SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE