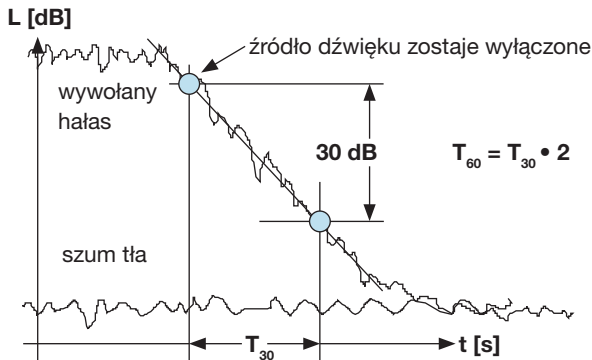


Akustyka wnętrz

Czas pogłosu

Czas pogłosu jest najstarszą i najbardziej znaną wielkością służącą do oceny akustyki pomieszczenia. Podawany jest w sekundach i definiowany jako okres czasu, w jakim, natężenie dźwięku, od momentu wyłączenia jego źródła, ulega redukcji o 60 dB..



Czas pogłosu i ekwiwalentna powierzchnia absorpcji dźwięku

$$T = 0,163 \cdot \frac{V}{A}$$

czas pogłosu = $0,163 \cdot$ $\frac{\text{objętość pomieszczenia}}{\text{ekwiwalentna powierzchnia absorpcji dźwięku}}$

$$A = \alpha_{\text{podłoga}} \cdot \text{powierzchnia}_{\text{podłoga}} + \alpha_{\text{ściany}} \cdot \text{powierzchnia}_{\text{ściany}} + \alpha_{\text{sufit}} \cdot \text{powierzchnia}_{\text{sufit}} + \text{absorpcja elem. wyposażenia}$$

A...ekwiwalentna powierzchnia absorpcji dźwięku A to całkowita absorpcja dźwięku danego pomieszczenia

Już w 1920 roku opublikowano artykuł autorstwa W.C. Sabine o fundamentalnym związku pomiędzy czasem pogłosu, objętością pomieszczenia i absorpcją dźwięku. Mimo, że w międzyczasie powstały kompleksowe programy do symulacji zjawisk akustycznych, w praktyce, planując pomieszczenia pod względem akustycznym, nadal stosuje się to proste równanie.

Równanie:

Podstawę stanowi rozproszone pole akustyczne, tzn. równomiernie rozłożona absorpcja dźwięku w pomieszczeniu zbliżonym do sześcianu o objętości mniejszej niż 2000 m³.

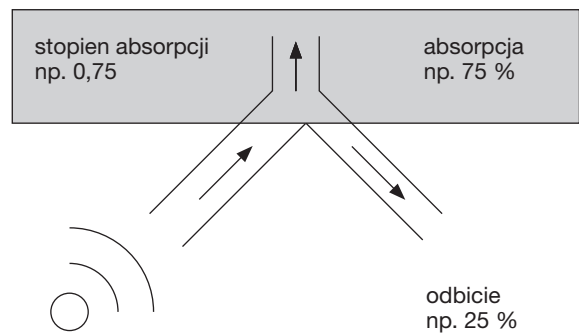
Absorpcja dźwięku

Absorpcja dźwięku opisuje redukcję energii dźwięku. Tak zwany stopień absorpcji dźwięku definiuje stosunek odbijanej i absorbowanej energii dźwięku. Wartość 0 odpowiada tutaj pełnemu odbiciu dźwięku – wartość 1 oznacza natomiast pełną absorpcję. Jeśli pomnożymy stopień absorpcji dźwięku przez 100, otrzymamy wówczas absorpcję dźwięku w procentach.

$\alpha = 0,65$ oznacza

$\alpha = 0,65 \times 100 \% = 65 \%$ absorpcja dźwięku

(pozostałe 35% stanowi odbicie dźwięku)



Stopień absorpcji dźwięku α_s

Stopień absorpcji dźwięku α_s określa właściwości absorpcyjne danego materiału. Określenie stopnia absorpcji dźwięku odbywa się w tzw. komorze pogłosowej, zgodnie z EN ISO 354. Na zakończenie pomiarów dla 18 różnych częstotliwości między 100 Hz a 5000 Hz otrzymuje się jedną liczbę między 1 (całkowita absorpcja) a 0 (brak absorpcji lub całkowite odbicie). Przy obliczeniach akustycznych stosuje się jednak najczęściej tylko stopnie absorpcji dla 6 wartości oktaw (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz i 4000 Hz).

2. Stosowanie danej jednolicezbowej absorpcji dźwięku

Stosowanie danej jednolicezbowej (np. $\alpha_w=0,70$) daje następujące korzyści:

1. ułatwienie porównania produktów i wyboru produktów o podobnych właściwościach
2. możliwość zaklasyfikowania produktów do określonych klas absorpcji dźwięku

Postępowanie się daną jednolicezbową niesie z sobą jednak również pewne minusy:

1. Mimo że w pomiarze laboratoryjnym uzyskuje się 18 wartości absorpcji, przy wyborze zdajemy się na daną jednolicezbową absorpcji dźwięku, np. α_w .
2. W poszukiwaniu określonego rozwiązania produktowego bardzo często szuka się produktów o najwyższych wartościach absorpcji dźwięku (np. klasa absorpcji A) nie uwzględniając faktu, że może to spowodować akustyczne przetłumienie danego pomieszczenia. Próby przeprowadzane w praktyce wykazują, że produkt, posiadający wartość absorpcji 0,90, pozwala uzyskać niewiele lepszy czas pogłosu niż produkt o absorpcji równej $\alpha_w = 0,70$!

Poniżej przedstawimy dwie najbardziej znane i powszechne wartości liczbowe:

2.1 Szacowany stopień absorpcji dźwięku α_w

Międzynarodowa norma ISO 354 nie podaje danej jednolicezbowej na podstawie 18 poszczególnych częstotliwości. Dla uzyskania danej jednolicezbowej stosowana jest norma EN 11654. Szacowany stopień absorpcji dźwięku α_w uzyskiwany jest zgodnie ze ściśle określoną procedurą szacunkową i odpowiada wartości przesuniętej krzywej odniesienia dla 500Hz

Załącznik B normy EN 11654 zawiera dodatkowo przyporządkowanie danych jednolicezbowych α_w do poszczególnych klas absorpcji.

Klasa absorpcji	α_w -Wartość [-]
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,15; 0,20; 0,25
nie klasyfikowane	0,00; 0,05; 0,10

2.2 Noise Reduction Coefficient NRC

Amerykańska norma ASTM C 423 zawiera jednak dodatkowo określenie danej jednolicezbowej. Wartość jednolicezbowa NRC uzyskiwana jest tutaj w następujący sposób:

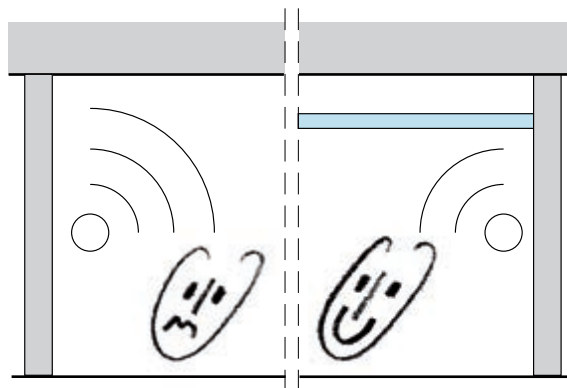
$$NRC = \frac{\alpha_{250\text{Hz}} + \alpha_{500\text{Hz}} + \alpha_{1000\text{Hz}} + \alpha_{2000\text{Hz}}}{4}$$

Końcowy wynik zaokrąglany jest do 0,05.

Przykład:

$$NRC = \frac{0,39 + 0,58 + 0,73 + 0,61}{4} = 0,58 \rightarrow NRC = 0,60$$

Redukcja hałasu (hale produkcyjne, warsztaty)

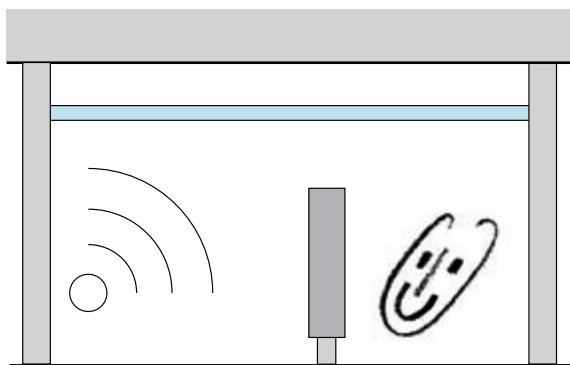


Średni poziom hałasu w pomieszczeniu zależy od źródła hałasu i absorpcji danego pomieszczenia. Zwiększenie absorpcji powoduje zmniejszenie poziomu hałasu – w praktyce o ok. 3 do 10 dB.

Pomoc może tylko podwojenie absorpcji

Tylko podwojenie istniejącej absorpcji prowadzi do wyraźnie odczuwalnej poprawy (-3dB). Poprawa z 20% na 40% czy z 40% na 80% jest więc sensowna, podczas gdy poprawa z 70% na 80% niewiele daje.

Komfort akustyczny (biura, sklepy, lokale)



O komforcie akustycznym można mówić wówczas, gdy odgłosy z otoczenia zostaną maksymalnie zredukowane, a mowa będzie przy niewielkiej odległości optymalnie zrozumiała. Stan taki można osiągnąć tylko przy odpowiedniej regulacji hałasu i pogłosu.

Stanowiska biurowe wydzielone ściankami działowymi do połowy wysokości pomieszczenia

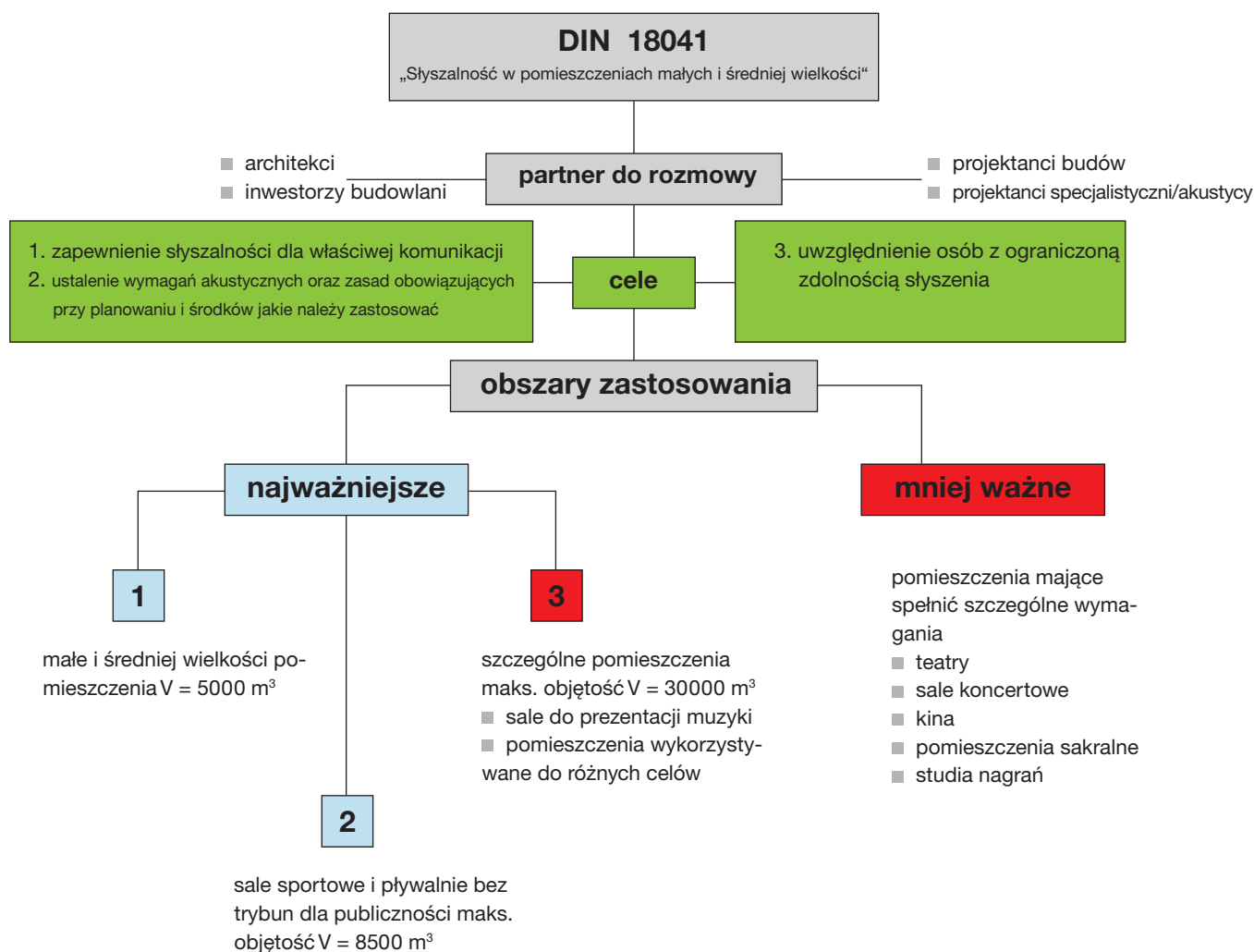
Jeśli tego typu ścianki zastosujemy w połączeniu z sufitem odbijającym dźwięk, to rozwiązanie takie pod względem akustycznym będzie nieefektywne, uzyskamy jedynie przegrodę optyczną. Natomiast zastosowanie sufitu pochłaniającego dźwięk będzie uzupełnieniem przegród i pozwoli odseparować stanowiska pod względem akustycznym.

Planowanie pomieszczeń pod względem akustyki z pomocą normy DIN 18041:

Jako pomoc przy planowaniu pomieszczeń pod względem akustyki służy od maja 2004 odpowiednio zmodyfikowana norma DIN 18041 „Słyszalność w pomieszczeniach małych i średniej wielkości”.

Poniższe kompaktowe zestawienie służy lepszemu zrozumieniu struktury normy DIN 18041. Norma ta odnosi się w głównej mierze do pomieszczeń wymienionych pod hasłem „najważniejsze” w „punkcie 1” i „punkcie 2”.

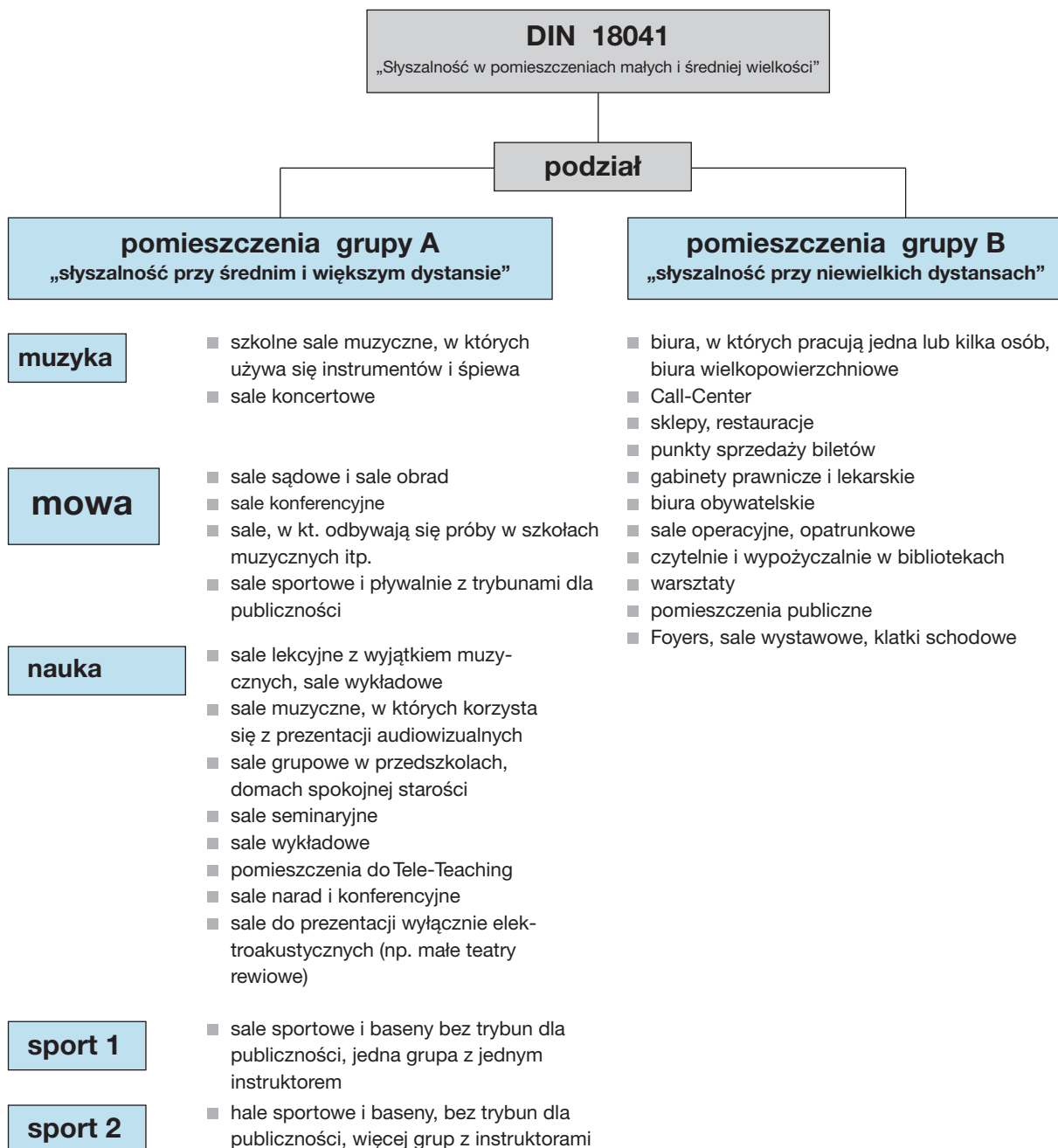
Zestawienie kompaktowe



Akustyka wętrz

Najważniejsze pomieszczenia dzieli się ostatecznie w następującý spósób:

Zestawienia kompaktowe



Czym różnią się te dwie grupy pomieszczeń?

Pomieszczenia grupy A

W przypadku tych pomieszczeń mamy do czynienia z konkretnymi wymaganiami

Pomieszczenia grupy B

W przypadku tych pomieszczeń określone są tylko zalecenia

Pomieszczenia grupy A

Pomieszczenia grupy A zostały podzielone według sposobu ich wykorzystania (muzyka, mowa, sport 1 i sport 2). Znając objętość pomieszczenia można dla każdego typu pomieszczenia grupy A określić jego akustyczne wymagania w formie wymaganego czasu pogłosu T_{soll} .

Ten wymagany czas pogłosu musi zostać zapewniony poprzez zastosowanie odpowiedniej koncepcji akustycznej dla tego pomieszczenia.

Muzyka: $T_{soll} = [0,45 \cdot \lg(V) + 0,07] \text{ s}$

Mowa: $T_{soll} = [0,37 \cdot \lg(V) - 0,14] \text{ s}$

Nauka: $T_{soll} = [0,32 \cdot \lg(V) - 0,17] \text{ s}$

Podane wymagane czasy pogłosu obowiązują dla pełnych pomieszczeń (wyposażenie+osoby). W momencie, gdy pomieszczenia te są puste czas pogłosu powinien być na poziomie nie wyższym niż 0,2 s powyżej wartości wymaganej!

Dla hal sportowych $2000 \text{ m}^3 \leq V \leq 8500 \text{ m}^3$ obowiązuje zasada:

Sport 1: $T_{soll} = [1,27 \cdot \lg(V) - 2,49] \text{ s}$

Hale sportowe i baseny bez trybun dla publiczności o typowym przeznaczeniu i/lub przeznaczone do prowadzenia zajęć lekcyjnych – jedna grupa z jednym instruktorem (jednorodny komunikat słowny).

Sport 2: $T_{soll} = [0,95 \cdot \lg(V) - 1,74] \text{ s}$

Hale sportowe i baseny bez trybun dla publiczności o typowym przeznaczeniu i/lub przeznaczone do prowadzenia zajęć dla kilku grup równocześnie (różne komunikaty słowne)

Przykład:

Chcemy obliczyć wymagany czas pogłosu T_{soll} dla pomieszczenia o objętości 180 m^3 , które należy do grupy przeznaczenia „nauka”:

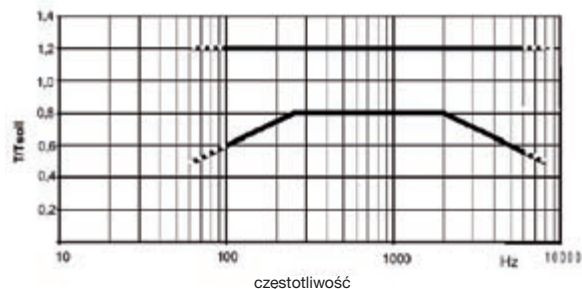
Nauka: $T_{soll} = [0,32 \cdot \lg(V) - 0,17] \text{ s}$

$T_{soll} = [0,32 \cdot \lg(180 \text{ m}^3) - 0,17] \text{ s}$

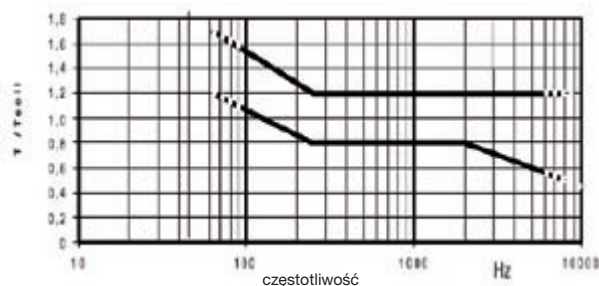
$T_{soll} = 0,55 \text{ s}$

W praktyce dopuszczalne są pewne odchylenia od wartości wymaganego czasu pogłosu. W zakresie częstotliwości od 250 Hz do 2000 Hz dopuszczalne jest odchylenie 20%.

Czas pogłosu jest wielkością zależną od częstotliwości. W związku z tym norma DIN 18041 dla typów przeznaczenia „mowa” i „muzyka” podaje zakresy tolerancji, do osiągnięcia których należy dążyć.

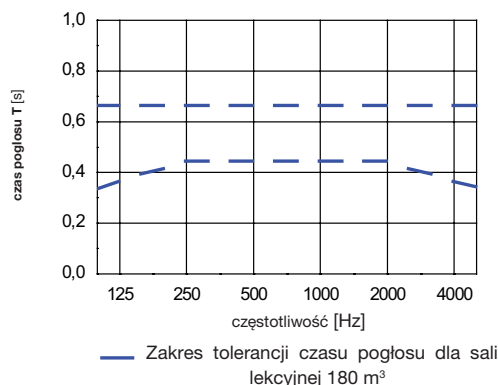


Zakres tolerancji czasu pogłosu dla mowy w odniesieniu do częstotliwości



Zakres tolerancji dla muzyki w odniesieniu do częstotliwości

Zakres tolerancji dla sali lekcyjnej o objętości $V=180 \text{ m}^3$.



Częstotliwość [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
$T_{soll, \text{ górne}}$	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
$T_{soll, \text{ dolne}}$	0,33	0,36	0,39	0,41	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,41	0,39	0,36	0,33

Pomieszczenia grupy B

Dla pomieszczeń grupy B norma DIN 18041 określa tylko zalecenia, które powinny umożliwić dopasowaną do pomieszczenia właściwą komunikację słowną na niewielkim dystansie

Zastosowanie odpowiednich rozwiązań z zakresu absorpcji dźwięku pozwoli obniżyć poziom hałasu i czas pogłosu w pomieszczeniu. Utrzymanie wymaganego czasu pogłosu nie jest jednak tutaj, zgodnie z normą DIN 18041, wymagane!

Poniższa tabela powinna pomóc projektantom pomieszczeń z grupy B w określeniu środków, jakie należy podjąć dla poprawy akustyki tych pomieszczeń.

Jeśli znane jest nam pomieszczenie, którego akustykę chcemy zoptymalizować, wówczas możemy z tabeli, odpowiednio do szacowanego stopnia absorpcji dźwięku odczytać wskaźnik liczbowy, który pozwoli określić procentowo, jaka część sufitu, czy ścian powinna zostać wypełniona produktami absorbującymi dźwięk.

Typ pomieszczenia	Orientacyjne dane dotyczące powierzchni sufitu i ścian, jaką należy pokryć absorberami jako iloczyn powierzchni podłogi pomieszczenia i typowej wysokości pomieszczenia 2,50 m przy zastosowaniu absorberów o α_w														
	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	
Call-Center lub podobne o dużym natężeniu komunikacyjnym, fabryki, punkty sprzedaży biletów i obsługi klientów w bankach	0,90	0,90	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	-	-	
Biura dla jednej, kilku osób lub duże biura wyposażone w urządzenia biurowe, gabinety lekarskie i adwokackie, sale operacyjne	0,70	0,70	0,80	0,80	0,90	0,90	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	
Restauracje, jadalnie o powierzchni powyżej 50m ²	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,80	0,80	0,90	1,0	1,1	1,3	1,4	
Klatki schodowe, hole wejściowe, sale wystawowe, korytarze i korytarze o silnym natężeniu ruchu	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	0,50	0,60	

Przykłady:

Typ pomieszczenia: duże biuro (kolumna 1, wiersz 2)

propozycja 1: chcemy zastosować produkt o stopniu absorpcji dźwięku $\alpha_w = 0,50$ ew. (50 %)

ocena 1: z tabeli odczytujemy wskaźnik liczbowy $\Rightarrow 1,4$
W przypadku produktu, dla którego $\alpha_w = 0,50$ należy ok. 140 % powierzchni sufitów i ścian wyłożyć elementami absorbującymi dźwięk

➔ przykład nierealny

Typ pomieszczenia: duże biuro (kolumna 1, wiersz 2)

propozycja 2: chcemy zastosować produkt o stopniu absorpcji dźwięku $\alpha_w = 0,70$ ew. (70 %)

ocena 2: z tabeli odczytujemy wskaźnik liczbowy $\Rightarrow 1,0$
W przypadku produktu, dla którego $\alpha_w = 0,70$ należy ok. 100% powierzchni sufitów i ścian wyłożyć elementami absorbującymi dźwięk

➔ przykład realny

Akustyka budynków

Akustyka budowlana to jedna z dziedzin akustyki. Bada ona, jak istniejące warunki budowlane wpływają na przenoszenie się dźwięku między poszczególnymi pomieszczeniami budynku.

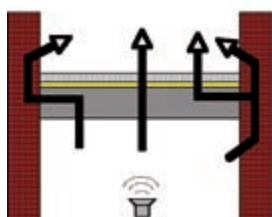
Zadania stawiane sufitom OWAacoustic® w zakresie poprawy warunków akustycznych w budynku:

- poprawa izolacyjności akustycznej R_w [dB]
 - stropów masywnych
 - stropów na belkach drewnianych
 - lekkich konstrukcji dachowych
- poprawa izolacyjności akustycznej $D_{n,c,w}$ [dB] między sąsiednimi pomieszczeniami
- redukcja odgłosów dochodzących z przestrzeni międzystropowej

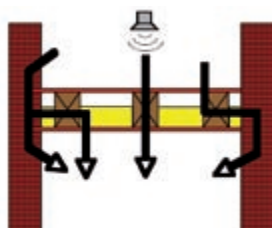
Dźwięk ma tę właściwość, że szuka zawsze najłatwiejszej drogi przedostania się z punktu A do punktu B. Najczęściej jest to ta droga, która stawia mu najmniejszy opór. Z tego powodu także w akustyce budynku należy spojrzeć globalnie na zadania, które mają spełnić poszczególne elementy budynku, w przeciwnym razie nie ma pewności, że podjęte działania przyniosą żądany efekt optymalizacji.

Boczne drogi przedostawania się dźwięku i różne typy stropów

stropy masywne



stropy na belkach drewnianych



Izolacyjność akustyczna sufitów


Chodzi tutaj przede wszystkim o to, aby energia dźwięku z jednego pomieszczenia nie przedostawała się do pomieszczeń położonych powyżej lub poniżej.

Rozprzestrzeniający się w pomieszczeniu dźwięk szuka zawsze możliwości przedostawania się bocznymi drogami (ściany, sufity, podłogi i drzwi), przy czym właściwości izolacyjne elementów budowlanych pozwalają na to w większym lub mniejszym stopniu.



Jeśli chcemy poprawić izolacyjność akustyczną stropu (strop żelbetowy, strop na belkach drewnianych itd.) możemy to zrobić, stosując sufit podwieszany OWAacoustic®. Strop podwieszany działa jako dodatkowa bariera pod stropem.

Badania laboratoryjne przeprowadzone w Instytucie Fizyki Budowlanej Fraunhofer w Stuttgarcie (IBP) wykazały, przy różnych drogach przedostawania się dźwięku, w połączeniu ze stropem żelbetowym o gr. 140mm następującą poprawę w zakresie przenoszenia się dźwięku przy zastosowaniu różnych typów sufitów OWAacoustic® ΔR_w [dB].


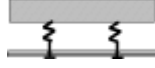
Sytuacja wyjściowa

Warianty badania	Oszacowana izolacyjność akustyczna R_w [dB]	Oszacowany zgodnie z normą poziom hałasu wywołanego przez kroki $L_{n,w}$ [dB]
pomieszczenie, w którym generowano dźwięk  pomieszczenie odbierające dźwięk strop żelbetowy o gr. 140mm bez sufitu podwieszanego. W tym laboratorium przenoszenie dźwięku odbywa się przez sufit, ponieważ przedostawanie się dźwięku przez ściany zostało zablokowane poprzez zastosowanie przegrody z płyt gips.kart.	56 dB	78 dB

Warianty badania

Warianty badania	Oszacowana izolacyjność akustyczna R_w [dB]	Oszacowany zgodnie z normą poziom hałasu wywołanego przez kroki $L_{n,w}$ [dB]
 <p>System z konstrukcją widoczną S3, wym. 625x625mm, gr. 15mm OWAoustic premium wzór Sternbild wysokość podwiesz. H=300mm wieszaki nr 12/3/2 bez dodatk. warstwy wełny mineralnej</p>	65 dB	62 dB
 <p>System z konstrukcją widoczną S3, wym. 625x625mm, gr. 15mm OWAoustic premium wzór Sternbild wysokość podwiesz. H=300mm wieszaki nr 12/3/2 z dodatk. warstwą wełny miner. gr. 80mm</p>	68 dB	61 dB

Warianty badania

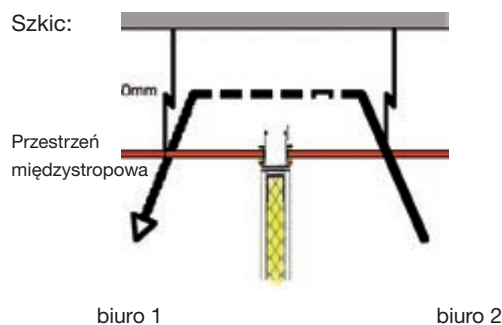
Warianty badania	Oszacowana izolacyjność akustyczna R_w [dB]	Oszacowany zgodnie z normą poziom hałasu wywołanego przez kroki $L_{n,w}$ [dB]
 <p>System z konstrukcją widoczną S3, wym. 625x625mm, gr. 33mm OWAoustic janus wzór Sternbild wysokość podwiesz. H=300mm wieszaki sprężynowe firmy Kimmel z dodatk. warstwą wełny miner. gr. 80mm</p>	70 dB	- dB
 <p>System z konstrukcją widoczną S3, wym. 625x625mm, gr. 33mm OWAoustic janus, wzór Sternbild wysokość podwiesz. H=300mm wieszaki sprężynowe firmy Kimmel, bez dodatk. warstwy wełny mineralnej</p>	65 dB	- dB

Izolacyjność akustyczna między sąsiadującymi pomieszczeniami

W wielu budynkach ściany działowe między sąsiadującymi pomieszczeniami nie sięgają do stropu zasadniczego, lecz do poziomu sufitu podwieszanego. Takie rozwiązanie pozwala w razie potrzeby w prosty sposób, poprzez przestawienie ścian działowych, zmienić układ pomieszczeń, dostosowując je do nowego przeznaczenia.

Przy takiej konstrukcji pomieszczeń należy szczególną uwagę zwrócić na przenoszenie dźwięku przez przestrzeń międzystropową. Jeśli nie zaprojektujemy odpowiednio, pełniącego akustyczną funkcję, sufitu podwieszanego, wówczas w krótkim czasie może dojść do „akustycznego spięcia” pomiędzy sąsiadującymi ze sobą pomieszczeniami.

Szkic:



Izolacyjność akustyczna między pomieszczeniami określana jest przez wszystkie, biorące udział w przenoszeniu dźwięku, elementy budowlane. Wymienić tu należy ściany i sufity jako oddzielające elementy budowlane, jak również boczne drogi przedostawiania się dźwięku przez szyby, kanały wentylacyjne, czy fugi dylatacyjne. Jeśli sufit podwieszany ma tutaj właściwie spełniać swoją funkcję musi posiadać dobre właściwości izolacyjności akustycznej.

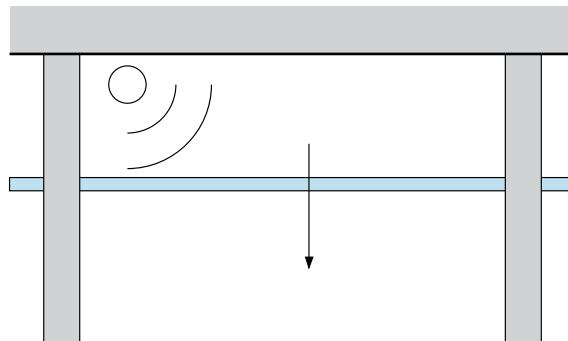
Wartość izolacyjności akustycznej sufitów podwieszanych zależy od kilku parametrów $D_{n,c,w}$ [dB]

- grubość płyty, np. płyta gr. 15mm i płyta Janus gr. 33mm
- wzór płyty, np. Harmony ($D_{n,c,w} = 31$ dB) i Schlicht ($D_{n,c,w} = 35$ dB)
- typ konstrukcji, np. system S3 z konstrukcją widoczną i system S1 system z konstrukcją krytą
- wysokość podwieszenia H
- warstwa wełny mineralnej – na całej powierzchni lub jej części
Całopowierzchniowa powłoka z wełny mineralnej pozwala poprawić izolacyjność akustyczną o 2 dB na cm. Stosowana powłoka z wełny mineralnej powinna stanowić materiał izolacyjny zgodny z normą DIN 18165 część 1 i posiadać uzależniony od długości opór przepływu na poziomie 5 kNs/m⁴.
- częściowa powłoka z wełny mineralnej w okolicy ścian działowych
- dodatkowe pokrycie farbą strony odwrotnej
- przegroda absorpcyjna nad ścianą działową
- klasa budowlana materiału płyty

Porównanie różnych rozwiązań dla systemu S3

Nr.	OWAcoustic® wzór premium	Elementy dodatkowe	System	Wys. podwieszenia H [mm]	Izolacyjność akustyczna $D_{n,c,w}$ (dB)
1	15 mm Futura	–	S 3	710	31 dB
2	15 mm Sternbild	–	S 3	710	31 dB
3	15 mm Futura	wełna miner. 25 mm	S 3	710	37 dB
4	15 mm Futura	płyta Schlicht gr.15 mm podwójna	S 3	710	40 dB
5	33 mm Cosmos 68/N	–	S 3	750	47 dB
6	15 mm Futura	wełna miner. gr.25 mm i płyta Schlicht gr. 15 mm	S 3	710	49 dB

Odgłosy z przestrzeni międzystropowej



Odgłosy z rur, z wentylacji, klimatyzacji i wszelkiego rodzaju instalacji, dobiegające z przestrzeni międzystropowej, mogą zostać w znaczny sposób zredukowane poprzez zastosowanie sufitów OWA. Izolacyjność akustyczna płyt OWAcoustic, zależnie od typu, wynosi 18 do 36 dB.

Montaż elementów dodatkowych:

Montaż lamp, elementów wentylacyjnych i innych może w znacznym stopniu pogorszyć izolacyjność akustyczną sufitu podwieszanego. Należy pamiętać, aby przy montażu tych elementów wszystkie powstałe otwory, odpowiednio uszczelnić.