

Kształtowanie akustyki

przy użyciu dźwiękochłonnych paneli ściennych



Wstęp

Sufit podwieszany jest najczęściej stosowanym i w większości wypadków wystarczającym rozwiązaniem przy adaptacjach akustycznych. Zdarza się jednak, że sam sufit dźwiękochłonny nie zapewnia odpowiednich warunków akustycznych. Przyczyny mogą być różnorakie:

- Techniczne – jeśli na przykład, wykorzystuje się masę termiczną żelbetowego stropu do stabilizacji temperatury w budynku, nie można użyć pełnego sufitu podwieszanego na całej powierzchni pomieszczeń, ponieważ w ten sposób odizoluje się je od stropu.
- Estetyczne – jeśli na przykład, strop, ze względu na swoje wykończenie czy detale nie powinien być zakryty.
- Akustyczne – w pomieszczeniach, gdzie ze względu na sposób ich użytkowania wymagana jest zwiększona chłonność akustyczna, niemożliwa do zapewnienia tylko przez samą instalację sufitów podwieszanych

We wszystkich powyższych wypadkach dźwiękochłonne panele ściennie są rozwiązaniem zapewniającym odpowiednią akustykę wewnątrz.

Przykłady:

Obiekty oświatowe: Panele ściennie stosuje się w pomieszczeniach, gdzie wymagana jest zwiększona chłonność akustyczna. Takimi pomieszczeniami są sale nauczania początkowego (młodsze dzieci, praca w grupach, nauka przez zabawę) lub klasy, w których uczą się dzieci z wadami słuchu.

Biura na planie otwartym: Panele ściennie ograniczają niepożądaną w tych pomieszczeniach propagację dźwięku.

Hale przemysłowe i sportowe: W pomieszczeniach o dużej wysokości, uzupełnienie sufitu dźwiękochłonnego panelami ściennymi o podobnym działaniu wpływa na skrócenie czasu pogłosu, zmniejszenie hałasu i zwiększenie zrozumiałości mowy.

Obiekty służby zdrowia: Użycie materiałów dźwiękochłonnych jest tutaj wskazane dla stworzenia spokojnej, odprężającej atmosfery poprawiającej samopoczucie pacjentów i personelu medycznego.

Room Acoustic Comfort™

Room Acoustic Comfort™ (RAC™) to podejście do projektowania akustyki wnętrz polegające na jej optymalizacji zgodnie z przeznaczeniem pomieszczenia, jego formą oraz predyspozycjami użytkowników.

Percepcja dźwięku przez człowieka, fizyczne właściwości pomieszczenia oraz rodzaj aktywności, do której to pomieszczenie jest przeznaczone decydują o naszej ocenie jego jakości akustycznej. Interakcja pomiędzy tymi czynnikami musi być brana pod uwagę w trakcie projektowania akustycznego. W rezultacie dla pełnego opisu akustyki należy użyć kilku różnych parametrów odpowiadających różnym właściwościom akustycznym.

Dla zwykłych pomieszczeń są przynajmniej cztery ważne właściwości:

- Głośność
- Przejrzystość
- Zanik przestrzenny
- Pogłosowość

Właściwości i odpowiadające im parametry są przedstawione w tabeli 1.

W zależności od fizycznych właściwości pomieszczenia i jego funkcji, różne parametry akustyczne są najważniejsze. Na przykład w pomieszczeniach przeznaczonych do prezentacji słownych najistotniejsze są parametry związane ze zrozumiałością mowy, podczas gdy we wnętrzach o hałaśliwej funkcji najważniejsze są te związane z redukcją hałasu.

Table 1. Parametry akustyki wnętrz

Właściwość	Parametr	Jednostka	Definicja
Głośność	Wzmocnienie, G	dB	ISO 3382-1
Przejrzystość*	Przejrzystość mowy, C ₅₀	dB	ISO 3382-1
Zanik przestrzenny	DL ₂ , DL _f	dB	ISO 14257
Pogłosowość	Czas pogłosu T ₂₀	s	ISO 3382-1

* Przejrzystość mowy może być także wyrażona w procentach. Taki parametr nazywany jest Definition or Deutlichkeit I oznaczany jest literą D.

Definition można wyprowadzić z C₅₀ korzystając ze wzoru: $D = 1/(1 + 10^{-C_{50}/10})$

Idea RAC™ może być wykorzystywana na różnych etapach procesu inwestycyjnego w celu doboru właściwych dla danych wnętrz kryteriów oceny jakości akustycznej i odpowiednich rozwiązań technicznych. Więcej informacji o RAC na www.ecophon.com.

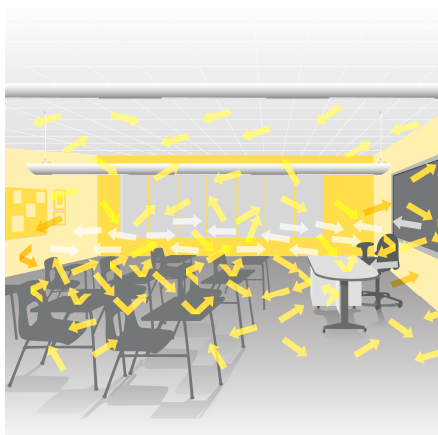


Rys 1. Room Acoustic Comfort™ (RAC™) to podejście do projektowania akustyki wnętrz uwzględniające przeznaczenie pomieszczenia, jego formę oraz użytkowników.

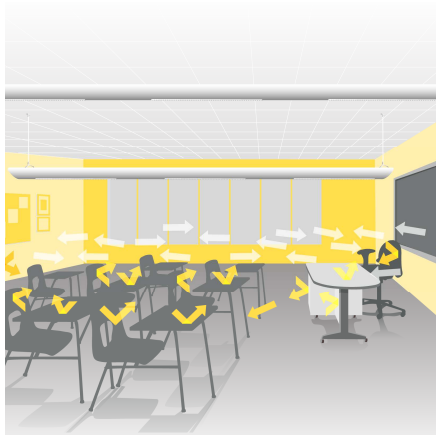
Pole akustyczne w pomieszczeniach z sufitami akustycznymi

Jeśli źródło dźwięku, takie jak głośnik, nieustannie emituje dźwięk w pomieszczeniu, pole akustyczne jest w nim rozproszone – nawet mimo zainstalowanego sufitu dźwiękochłonnego. Oznacza to, że fale dźwiękowe rozchodzą się w nim równomiernie we wszystkich kierunkach, a poziom ciśnienia akustycznego utrzymuje się na stałym poziomie. Pole akustyczne jest w stanie ustalonym. Poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu zależy od jego całkowitej chłonności akustycznej oraz od mocy akustycznej źródła. Zwykle chłonność akustyczna pomieszczenia jest zdeterminowana przez chłonność podwieszanego sufitu akustycznego. Tę ostatnią wylicza się mnożąc powierzchnię sufitu przez charakterystyczny dla niego współczynnik pochłaniania dźwięku. Rozproszone pole akustyczne w fazie ustalonej przedstawia rysunek 2.

Czas pogłosu w pomieszczeniu jest określony, jako czas potrzebny, aby poziom ciśnienia akustycznego w tym pomieszczeniu opadł o 60 dB po wyłączeniu źródła dźwięku. W miarę zaniku energii dźwiękowej, rozproszenie pola akustycznego we wnętrzu maleje. W fazie zaniku dźwięku, fale dźwiękowe padające na najsilniej pochłaniającą powierzchnię (w tym wypadku sufit) zanikną najszybciej, a fale docierające do twardych, odbijających powierzchni (w tym wypadku ścian) będą utrzymywać się dłużej. W rzeczywistości, w bardzo wielu wnętrzach z sufitami podwieszanymi, za długi czas pogłosu odpowiadają właśnie te rozchodzące się prawie równoległe do podłogi fale. Kiedy zwiększa się w pomieszczeniu ilość mebli i innych obiektów rozpraszających dźwięk pole akustyczne pozostaje rozproszone również w fazie zaniku dźwięku. To znaczy także, że w pomieszczeniach z sufitami dźwiękochłonnymi długość czasu pogłosu w dużej mierze zależy od sposobu umeblowania i wyposażenia. Pole akustyczne w fazie zaniku dźwięku pokazuje rysunek 3.



Rys 2. Rozproszone pole akustyczne w fazie ustalonej w pomieszczeniu z sufitem dźwiękochłonnym i elementami rozpraszającymi dźwięk.



Rys 3. Pole akustyczne w fazie zaniku dźwięku w pomieszczeniu z sufitem dźwiękochłonnym.

Podsumowując:

- Poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu z sufitem dźwiękochłonnym zależy od mocy źródła dźwięku oraz całkowitej chłonności akustycznej pomieszczenia.
- Czas pogłosu w takim pomieszczeniu zależy nie tylko od chłonności akustycznej sufitu podwieszanego, ale w dużym stopniu także od chłonności ścian oraz ilości i rodzaju mebli.

Wpływ dźwiękochłonnych paneli ściennych na akustykę pomieszczenia

- W przypadkach, kiedy powierzchnia paneli ściennych jest niewielka w porównaniu z innymi powierzchniami dźwiękochłonnymi we wnętrzu, ich wpływ zaznacza się w redukcji czasu pogłosu i zwiększeniu przejrzystości mowy. Natomiast wpływ paneli ściennych w takim przypadku na poziom dźwięku jest niewielki. Tak zwykle bywa we wnętrzach z silnie dźwiękochłonnym sufitem podwieszanym.
- Panele ścienne są skutecznym rozwiązaniem zapobiegającym wielokrotnym odbiciom dźwięku pomiędzy równoległymi ścianami (trzepoczące echo) a także tzw. późnym odbiciom dźwięku od ścian, zniekształcającym mowę.
- Generalnie zalecane jest ułożenie paneli ściennych jak najbliżej źródła niepożądanych dźwięków. W klasach lekcyjnych, czy biurach, zalecane jest utrzymanie dystansu ok. 1 m pomiędzy powierzchnią paneli ściennych a głową najbliższego użytkownika. Jeśli siedzi się zbyt blisko silnie dźwiękochłonnej powierzchni można mieć z tej strony uczucie niedosłuchu.
- W wysokich pomieszczeniach, takich jak hale sportowe czy przemysłowe, panele ścienne stanowią ważne uzupełnienie sufitów. Panele ścienne powinny być instalowane jak najbliżej źródeł dźwięku, jednakże mając na uwadze potencjalne uszkodzenia mechaniczne zaleca się instalację na pewnej wysokości od podłogi. W pierwszej kolejności panele ścienne powinny być instalowane na dwóch przylegających do siebie ścianach. Panele ścienne poprawiają zrozumiałość mowy i ograniczają czas pogłosu. Jeśli powierzchnia paneli ściennych jest porównywalna z powierzchnią sufitów, ich instalacja pomoże także w dalszej redukcji poziomu dźwięku.

Zalecane ilości paneli ściennych

- W salach lekcyjnych i pomieszczeniach o podobnym przeznaczeniu, optymalna jest instalacja paneli ściennych w ilości odpowiadającej ok. 10 do 25% powierzchni podłogi. Ilość paneli i ich rozmieszczenie zależy w dużym stopniu od umeblowania klasy.
- W biurach otwartych, pas paneli ściennych umieszczony na wysokości siedzącej osoby na ścianach wzdłuż stanowisk pracy ograniczy zasięg i poziom dźwięku.
- W niewielkich pomieszczeniach, takich jak pokoje spotkań, nawet mała ilość paneli ściennych (8 do 13% powierzchni podłogi) istotnie poprawi przejrzystość mowy i ograniczy pogłos.
- W halach przemysłowych i sportowych zaleca się wykorzystanie w celu instalacji paneli ściennych jak największą powierzchnię ścian. Głównym celem w tych pomieszczeniach jest ograniczenie poziomu dźwięku.

Przykłady

Pokój socjalny personelu w szpitalu w Landskronie w Szwecji.

Pomieszczenie używane jest przez personel medyczny oddziału ratunkowego do odpoczynku i spożywania posiłków. Jego kubatura wynosi 69 m³, a powierzchnia 25 m². Zarówno sufit jak i ściany wykończone są płytami kartonowo gipsowymi. Pokój przed adaptacją akustyczną pokazany jest na zdjęciu nr 4.



Zdjęcie 4. Pokój socjalny w szpitalu w Landskronie przed adaptacją.

Pracownicy narzekali na warunki akustyczne w tym pomieszczeniu. Parę opinii przytaczamy poniżej:

- *Pomieszczenie jest bardzo pogłosowe.*
- *Jeśli usiądziesz na środku pokoju nie możesz w ogóle uczestniczyć w rozmowach*
- *Spędzam tu tylko krótkie przerwy, staram się unikać wspólnych posiłków.*
- *Często trzeba prosić rozmówców o powtórzenie.*
- *Kiedy jest tutaj dużo ludzi, jest taki zgiełk, że nie można rozmawiać nawet z sąsiadem przy stole.*
- *Wychodzę stąd jak najszybciej.*

Przeprowadzono adaptację akustyczną. Sufit został pokryty panelami dźwiękochłonnymi o grubości 40 mm (Ecophon Master B) montowanymi bezpośrednio płyty kartonowo-gipsowej. Na jednej z podłużnych ścian zainstalowano dźwiękochłonne panele ściennie o grubości 40mm i formacie 2700 x 1200 mm (Ecophon Wall Panel Texona). Łączna powierzchnia zainstalowanych paneli ściennych równa się 13% powierzchni pomieszczenia. Pomieszczenie po adaptacji akustycznej pokazane jest na zdjęciach 5 i 6.

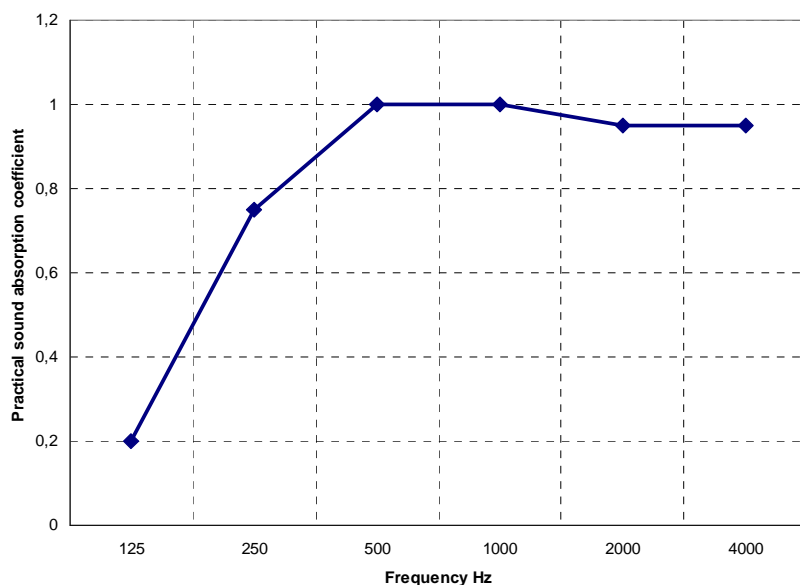


Zdj. 5. Panele sufitowe Ecophon Master B



Zdj. 6. Panele ścienne Ecophon Texona

Praktyczne współczynniki pochłaniania dla paneli sufitowych Ecophon Master B i paneli ściennych Ecophon Wall Panel Texona są takie same. Patrz rysunek 7.



Rys. 7. Praktyczne współczynniki pochłaniania dźwięku dla paneli użytych w pokoju socjalnym w szpitalu w Landskronie.

Pomiary akustyczne wykonano w trzech kolejnych krokach:

1. przed adaptacją
2. po instalacji samego sufitu
3. po instalacji paneli ściennych

Takie postępowanie dało możliwość sprawdzenia jak działa sam sufit dźwiękochłonny, a jak panele ścienne. Wyniki pomiarów znajdują się w poniższej tabeli.

Table 2. Wyniki pomiarów w szpitalu w Landskronie

Parametr	Przed adaptacją	Z sufitem	Z sufitemi panelami ściennymi
	średnia dla 500-1000 Hz	średnia dla 500-1000 Hz	średnia dla 500-1000 Hz
T20 [s]	0.76	0.37	0.27
ΔL [dB]*	-	-8	-8
C50 [dB]	1.8	8.6	12.0
D [%]	60	88	94
RASTI **	0.66	0.82	0.87

* * ΔL jest redukcją poziomu dźwięku po adaptacji w porównaniu do stanu przed adaptacją

**Room Acoustic Speech Transmission Index według PN-EN 60268-16

Komentarz:

Dźwiękochłonne panele sufitowe zdecydowanie obniżają pogłos i poziom dźwięku równocześnie zwiększając przejrzystość mowy. Dodanie paneli ściennych pozwala na dalej idącą redukcję czasu pogłosu i na dalsze zwiększenie przejrzystości mowy, ale nie ma już większego wpływu na poziom dźwięku w pomieszczeniu. Dzieje się tak, ponieważ redukcja poziomu dźwięku we wnętrzu zależy w największym stopniu od ogólnej chłonności akustycznej pomieszczenia. Ponieważ w omawianym przypadku panele ściennie odpowiadają jedynie za mały ułamek ogólnej chłonności akustycznej pomieszczenia (13% powierzchni podłogi) ich dodanie nie wpływa na poziom dźwięku. Za to na czas pogłosu i przejrzystość mowy wpływ ma lokalizacja elementów dźwiękochłonnych we wnętrzu. Te dwa parametry są zależne od "poziomego pola akustycznego", czyli fal rozchodzących się poziomo. Te fale są pochłaniane przez panele ściennie, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia czasu pogłosu i zwiększenia przejrzystości mowy.

Parę komentarzy od pracowników po adaptacji akustycznej:

- *Znacznie lepiej wytlumione wnętrze. Czuję się teraz tutaj bardziej odprężona.*
- *Łatwiej się rozmawia.*
- *Jest znacznie ciszej, nawet jeśli jest dużo osób..*
- *W pomieszczeniu jest mniejsze echo.*
- *Wiele osób może równocześnie rozmawiać w różnych częściach pomieszczenia.*

Zakład spożywczy w Landskronie, Szwecja.

Następnym przykładem jest zakład przemysłu spożywczego Oatly w Landskronie. W żaden sposób nie wytłumiona hala produkcyjna, w której źródłem hałasu była linia produkcyjna, była przez pracowników odbierana jako bardzo głośna. W celu obniżenia ogólnego poziomu hałasu zdecydowano się na instalację na całej powierzchni hali dźwiękochłonnych sufitów podwieszanych oraz użycie dźwiękochłonnych paneli ściennych wszędzie tam gdzie to możliwe. Na suficie użyto paneli Hygiene Performance 20 mm, a na ścianach Hygiene Performance 40 mm. Powierzchnia sufitów wyniosła 250 m² a powierzchnia ścian pokryta panelami ściennymi ok. 150 m². Panele ściennie zostały użyte na trzech ścianach. Pomieszczenie po adaptacji akustycznej zostało pokazane na zdjęciu nr 8.



Zdjęcie 8. Adaptacja akustyczna w zakładzie Oatly.

W celu ograniczenia hałasu w miejscach szczególnie na niego narażonych, panele ściennie były instalowane jak najbliżej jego źródeł. Takim miejscem był „korytarz” pomiędzy linią produkcyjną a ścianą (patrz: zdjęcie 9). Panele zostały tu zamontowane na poziomie głowy stojącej osoby.



Figure 9. Hygiene Advance Protection C3 na ścianie w sąsiedztwie hałaśliwej linii.

Wyniki pomiarów akustycznych przedstawione są w tablicy 3.

Tablica 3. Wyniki pomiarów przed i po adaptacji akustycznej w zakładzie Oatly.

	Wartości średnie dla częstotliwości 500-1000 Hz	
	Przed	Po
T20 [s]	2.4	0.62
ΔL [dB]	-	5
C_{50} [dB]	-2.9	3.7
D [%]	34	70
RASTI	0.47	0.70

* ΔL jest redukcją poziomu dźwięku po adaptacji w porównaniu do stanu przed adaptacją

**Room Acoustic Speech Transmission Index według PN-EN 60268-16

Komentarze:

Po adaptacji akustycznej ogólny poziom hałasu spadł o 5 dB. Według obliczeń udział paneli ściennych w tej redukcji wynosi 2 dB. Przed adaptacją poziom hałasu wahał się w granicach 81 do 84 dB(A). Po adaptacji poziom dźwięku spadł poniżej 80dB(A). W pobliżu linii produkcyjnej, z powodu dominującego pola bezpośredniego, poziom dźwięku wciąż przekracza 80 dB(A). Czas pogłosu został znacznie ograniczony a przejrzystość mowy zwiększona, co ułatwia komunikację na hali.

Komentarze załogi:

- *Łatwiej jest teraz usłyszeć, co się mówi.*
- *Łatwiej jest zlokalizować źródło dźwięku.*
- *Fajnie jest pracować bez stoperów w uszach.*
- *Kiedy idę do domu nie jestem tak zmęczony, a w nocy lepiej śpię.*



A SOUND EFFECT ON PEOPLE

Ecophon dates back to 1958, when the first sound absorbers from glass wool were produced in Sweden to improve the acoustic working environment. Today the company is a global supplier of acoustic systems that contribute to good room acoustics and a healthy indoor environment with the focus on offices, education, health care and industrial manufacturing premises. Ecophon is part of the Saint-Gobain Group and has sales units and distributors in many countries.

Ecophon's efforts are guided by a vision of earning global leadership in acoustic ceiling and wall absorber systems by providing superior end user value. Ecophon maintains an ongoing dialogue with government agencies, working environment organisations and research institutes, and is involved in formulating national standards in the field of room acoustics where Ecophon contributes to a better working environment wherever people work and communicate.

www.ecophon.com



www.ecophon.com