

Właściwości akustyczne materiałów do produkcji mebli. KOMPENDIUM



Jak skutecznie poprawić akustykę
wnętrz, używając odpowiednich
komponentów meblarskich i ich układów.

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	4
2. SŁOWNIK AKUSTYCZNY	6
3. MATERIAŁY – WŁAŚCIWOŚCI	12
3.1. DREWNO – WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNE	15
3.2. TWORZYWA DRZEWNE – WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNE	17
3.3. WYBRANE MATERIAŁY TEKSTYLNE I PIANKOWE PRZYDATNE W PROJEKTOWANIU MEBLI TAPICEROWANYCH	19
3.4. KOMPOZYCJE MATERIAŁÓW AKUSTYCZNYCH O UZUPEŁNIAJĄCYCH SIĘ CHARAKTERYSTYKACH POCHŁANIANIA DŹWIĘKU W FUNKCJI CZĘSTOTLIWOŚCI	23
3.4.1. AKUSTYKA EKRANÓW BIUROWYCH SELVA	24
4. WPŁYW USYTUOWANIA MEBLI NA PARAMETRY AKUSTYCZNE WNĘTRZA	26

1 WSTĘP

Wyniki badań naukowych przekonują, że dźwięk na poziomie 55-60 dB zniechęca pracowników biurowych do rozpoczęcia trudnego zadania. Ważny jest nie tylko poziom dźwięku, ale także to, czy niesie on ze sobą komunikatywną treść. Zarówno poziom dźwięku, jak zrozumiałość mowy, można aranżować i kontrolować.¹

Zjawiska akustyczne we wnętrzach określają przedmiotowe normy. W Polsce są to:

1. PN-N-01307: 1994 - dopuszczalny równoważny poziom dźwięku w czasie pobytu pracownika na stanowisku pracy biurowej:

- 55 dB – w pomieszczeniach administracyjnych, biurowych i do prac koncepcyjnych
- 65 dB – w sekretariatach i biurach obsługi klienta
- 75 dB – w pomieszczeniach ze źródłami hałasu

2. PN-B-02151-02:1987 - dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach:

- 35 dB – w pomieszczeniach do pracy umysłowej wymagającej silnej koncentracji
- 40 dB – w pomieszczeniach administracyjnych bez wewnętrznych źródeł hałasu
- 45 dB – w pomieszczeniach administracyjnych z wewnętrznymi źródłami hałasu

3. PN-EN ISO 9241-6:2002 - dotyczy wymagań ergonomicznych dla stanowisk pracy z komputerami, w przypadku wykonywania trudnych i złożonych zadań równoważny poziom dźwięku nie powinien przekraczać 35-55 dB.

4. PN-B-02151-4:2015-06 - określa wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej. Wymagania wyrażone są za pomocą:

- **czasu pogłosu (T)** oraz **wskaźnika transmisji mowy (STI)** - w przypadku pomieszczeń, których główna funkcja polega na komunikacji werbalnej,
- **czasu pogłosu (T)** lub **chłonności akustycznej (A)** w przypadku pozostałych pomieszczeń.

W niniejszym kompendium zamieszczono podsumowanie badań naukowych nad materiałami konstrukcyjnymi, które z sukcesem mogą być używane w poprawie akustyki wnętrz.

¹ Szubert Akustyka biur w nowej polskiej normie, „Zawód: architekt– ogólnopolski magazyn izby architektów RP” 2015, nr 45 lipiec/sierpień, str. 68.

Znajdują się tu informacje nie tylko o tym, które materiały wybierać na etapie projektowania mebli, ale także jak je stosować, by były najskuteczniejsze w kształtowaniu przyjaznej akustyki wewnątrz.

Badania zostały przeprowadzone w ramach projektu naukowego „Pasywne akustycznie materiały do produkcji mebli” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, w którym uczestniczyli:

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Technologii Drewna – reprezentowany przez kierownika Katedry Meblarstwa – prof. dra hab. inż. Jerzego Smardzewskiego.

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki – reprezentowana przez dra hab. inż. Tadeusza Kamisińskiego prof. nadzw.

BEJOT Sp. z o.o. reprezentowane przez zespół kadry technicznej: mgr inż. Rafał Zalewski, mgr inż. Marcin Durzyński, mgr inż. Andrzej Piróg, mgr inż. Dariusz Wilk.

MARO Sp. z o.o. reprezentowane przez zespół technologów: mgr inż. Roman Błaszak, mgr inż. Piotr Kaleciński.

Z przeprowadzonych badań jednoznacznie wynika, że większa liczba elementów w pomieszczeniu poprawia parametry akustyczne i ich rozkład w obszarze odsłuchowym. Chłonność akustyczną pomieszczeń można zwiększyć, nie tylko przez zmianę materiałów wykładzinowych (podłogi i ściany), **ale także w drodze zastosowania mebli o zwiększonej dźwiękochłonności i uzupełnienie wnętrza o ekrany dźwiękochłonno-izolacyjne**. Aby zrobić to skutecznie - odpowiednio do naszych potrzeb - musimy znać kilka zagadnień z zakresu akustyki, a także być świadomi jakie materiały są stosowane w używanych przez nas meblach i ekranach akustycznych (jakie mają właściwości akustyczne).

Ważne jest także, aby znać zasady zachowania się dźwięku w przestrzeni zamkniętej oraz by rozumieć, jak dźwięk wpływa na ludzi, w jakich warunkach funkcjonują najlepiej i umieć określić rodzaj aktywności, która będzie przeważać w danej strefie czy pomieszczeniu. W pomieszczeniach biurowych istotne znaczenie ma zrozumiałość mowy. **Tang i Chan już w 1996 zwracali uwagę na problem obniżenia jakości pracy biurowej wraz ze wzrostem hałasu.**² Problem znacząco się nasilił, w momencie kiedy biura oraz stanowiska pracy pracowników zaczęto wyposażać w różnego rodzaju urządzenia, komputery, drukarki, faksy, telefony, klimatyzatory, a także kiedy zaczęto organizować przestrzeń biurową na planie otwartym.

Trzeba pamiętać, że w wielu przypadkach odczuwanie jakości dźwięku w otoczeniu zależy od subiektywnych doświadczeń użytkowników. Obiektywnie, jakość tą można wyrazić przez takie parametry jak: **czas pogłosu, wskaźnik transmisji mowy czy poziom dźwięku**.

Aby ułatwić zapoznanie się z tą tematyką, w dalszej części opracowania wyjaśniono kilka ważnych pojęć.

² „Tang S.K., Chan J.W.C (1996) Some characteristics of noise in air-conditioned landscaped offices. *Appl. Acoust.* 48(3): 249-267”

2 SŁOWNIK
AKUSTYCZNY

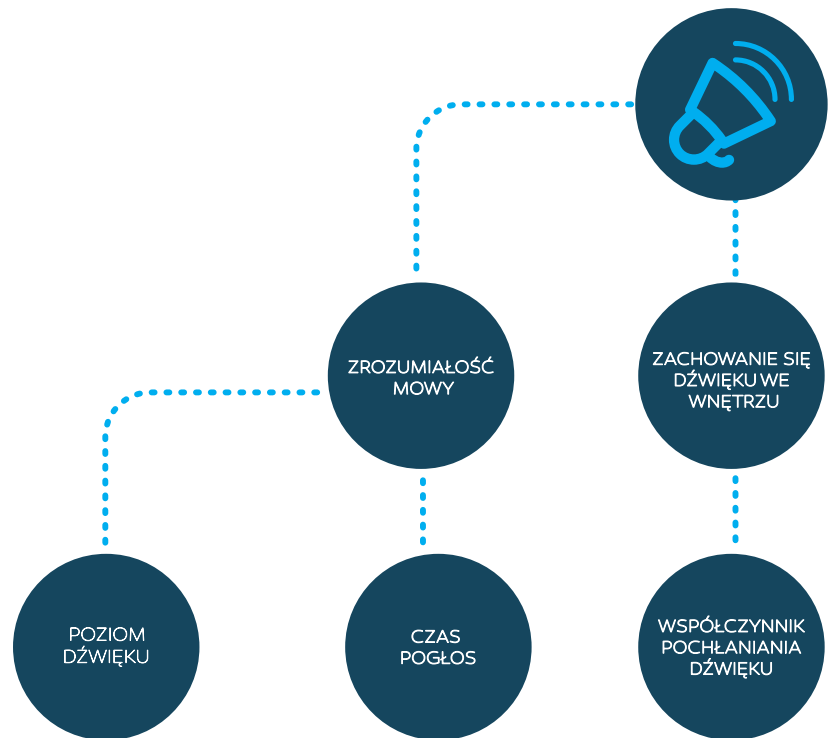


Akustyka – jest nauką obejmującą zjawiska związane z powstawaniem, propagacją i oddziaływaniem fal akustycznych.

Współcześnie postrzegana akustyka dzieli się na wiele działów, w tym:

- Akustyka środowiskowa
- Akustyka architektoniczna
- Akustyka muzyczna
- Akustyka mowy i słuchu
- Psychoakustyka
- Wibroakustyka
- Hydroakustyka
- Elektroakustyka

Ważne pojęcia w planowaniu optymalnych warunków akustycznych



rys. 1

Ciśnienie akustyczne p – zmienne w czasie odchylenie od średniej wartości ciśnienia statycznego panującego w ośrodku, występujące podczas rozchodzenia się w nim fali akustycznej. Jednostką ciśnienia akustycznego jest paskal (Pa).

Chłonność akustyczna pomieszczenia A wyrażana w (m^2) – wynika z pomnożenia współczynnika pochłaniania dźwięku materiału przez pole powierzchni tego materiału. Chłonność akustyczna pomieszczenia jest sumą chłonności poszczególnych elementów znajdujących się w pomieszczeniu takich jak ściany, meble oraz ludzie.

Czas pogłosu wnętrza T - zdefiniowany jest jako czas mierzony od momentu wyłączenia źródła dźwięku w pomieszczeniu, po którym poziom natężenia tego sygnału maleje o 60 dB w stosunku do poziomu wyjściowego.

Częstotliwość f – określa liczbę drgań na sekundę i jest wyrażana w hercach (Hz).

Decybel – jednostka skali logarytmicznej równa 0,1 bel (dB).

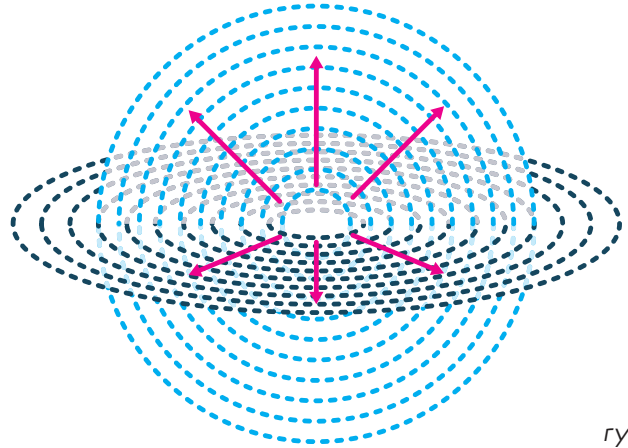
$X_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{X}{X_0} \right)$, gdzie X_{dB} – wartość wyrażana w decybelach,

X_0 – wartość odniesienia

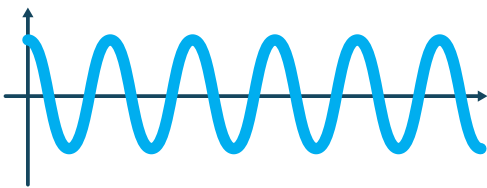
Dźwięk – jest to wrażenie słuchowe, spowodowane, rozchodzącą się w ciele stałym, cieczy, bądź gazie, falą akustyczną.

Jak dźwięk zachowuje się we wnętrzu?

Fala dźwięku rozchodzi się sferycznie.



rys. 2

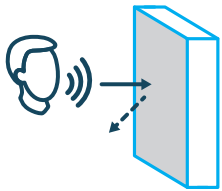


Dźwięk wysoki
(tysiące okresów drgań na sekundę)

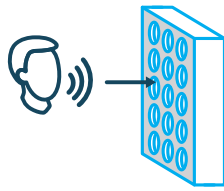


Dźwięk niski
(dziesiątki okresów drgań na sekundę)

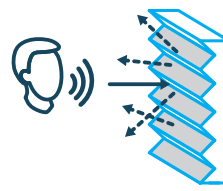
rys. 3



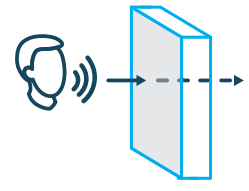
Odbicie



Pochłanianie



Rozpraszanie

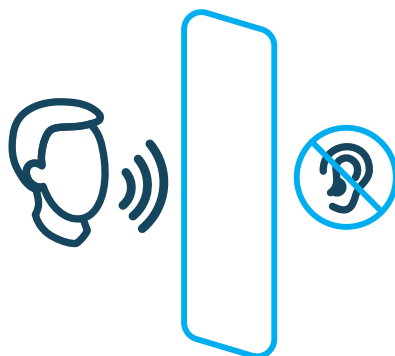


Przenikanie

rys. 4

Echo – słyszalne odbicie fali dźwiękowej, może być pojedyncze i wielokrotne. Echo wielokrotne powstaje, jeśli na drodze fali znajdzie się dwie lub więcej powierzchni odbijających, a słuchacz odbiera powtarzające się, zanikające sekwencje dźwięku.

Ekran akustyczny – jest przeszkodą na drodze fal dźwiękowych, ograniczającą jej propagację.



rys. 5

Filtr korekcyjny A – (krzywa korekcyjna A) – rodzaj filtra odpowiadający reakcji ucha ludzkiego na poziom dźwięków dla poszczególnych częstotliwości. Wartości korekcyjne filtra zawarto w poniższej tabeli.

Częstotliwość środkowa pasma 1/3 oktawowego [Hz]	Wartość poprawki [dB]	Częstotliwość środkowa pasma 1/3 oktawowego [Hz]	Wartość poprawki [dB]	Częstotliwość środkowa pasma 1/3 oktawowego [Hz]	Wartość poprawki [dB]
50	-30,2	400	-4,8	3150	+1,2
63	-26,2	500	-3,2	4000	+1,0
80	-22,5	630	-1,9	5000	+0,5
100	-19,1	800	-0,8	6300	-0,1
125	-13,1	1000	0	8000	-1,1
160	-13,4	1250	+0,6	10000	-2,5
200	-10,9	1600	+1,0	12500	-4,3
250	-8,6	2000	+1,2	16000	-6,6
315	-6,6	2500	+1,3	20000	-9,3

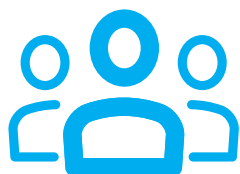
tab.1

Głośność – Odczuwalny przez człowieka poziom dźwięku wyrażany w fonach.

Hałas – Dźwięki odbierane przez człowieka o uciążliwym charakterze.



szum liści: 10 db



biuro: 55 db



ciężarówka: 90 db



odrzutowiec: 120 db

rys. 6

Impedancja akustyczna – określa opór stawiany fali akustycznej przez ośrodek, w którym ta fala się rozprzestrzenia.

Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych charakteryzuje zdolność przegrody do ograniczenia przenikania przez nią energii akustycznej wytwarzanej w powietrzu. Im wyższy wskaźnik izolacyjności akustycznej wyrażony w (dB), tym wyższa jest skuteczność przegrody.

Izolacyjność akustyczna od dźwięków uderzeniowych charakteryzuje zdolność przegrody do ograniczenia przenikania przez nią (drogą materiałową) energii wytwarzanej przez uderzenia w przegrodę. Im mniejszy jest wskaźnik poziomu uderzeniowego wyrażony w (dB), tym wyższa jest skuteczność przegrody.

Klasyfikacja wyrobów dźwiękochłonnych - klasyfikacji wyrobów dźwiękochłonnych dokonuje się w oparciu o wartość wskaźnika pochłaniania dźwięku α_w wg normy EN ISO 11654. Materiał można zaklasyfikować do **5 różnych klas** oznaczonych **od A do E**. Klasa A oznacza najwyższe własności dźwiękochłonne a klasa E najniższe. Materiały dla których $\alpha_w < 0,15$ nie są klasyfikowane.

Klasa pochłaniania dźwięku	α_w
A	0,9-1,00
B	0,8-0,85
C	0,6-0,75
D	0,3-0,55
E	0,15-0,25
Nie klasyfikowane	0,00-0,10

tab.2

Komora bezechowa – pomieszczenie badawcze, w którym panują warunki swobodnego pola akustycznego. Wnętrze komory wyłożone jest materiałem dźwiękochłonnym najczęściej w postaci klinów.

Komora pogłosowa - pomieszczenie badawcze, w którym panują warunki rozproszonego pola akustycznego. Najczęściej, wewnątrz komory stanowią gładkie i twarde ściany o geometrii pozbawionej równoległości płaszczyzn.

Oporność przepływu r - jest parametrem charakteryzującym materiały porowate. Straty energii akustycznej są wprost proporcjonalne do oporności przepływu powietrza przez materiał. Jednostką oporności przepływu jest $\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$

Poziom ciśnienia akustycznego L_p – to 20 logarytmów ze stosunku ciśnienia akustycznego zmierzonego p_1 do ciśnienia odniesienia $p_0=20\mu\text{Pa}$.

Poziom dźwięku – jest to poziom ciśnienia akustycznego skorygowany filtrem korekcyjnym A.

Poziom mocy akustycznej – to 10 logarytmów ze stosunku mocy akustycznej zmierzonej W_1 do mocy akustycznej odniesienia $W_0=10\text{pW}$. Moc akustyczna jest to ilość energii jaką wysyła źródło dźwięku w jednostce czasu. Wielkość ta jest niezależna od odległości od źródła.

Poziom natężenia dźwięku – to 10 logarytmów ze stosunku natężenia dźwięku zmierzonego I_1 do natężenia dźwięku odniesienia $I_0=10\text{pW}/\text{m}^2$. Natężenie dźwięku jest to ilość energii jaką przekazuje źródło dźwięku w jednostce czasu przez powierzchnię jednostkową.

Współczynnik pochłaniania dźwięku – wielkość opisująca właściwości dźwiękochłonne materiału. Współczynnik pochłaniania dźwięku przyjmuje wartości $0 \leq \alpha \leq 1$, gdzie wartość 0 oznacza, że fala dźwiękowa została w całości odbita od materiału, a 1 świadczy o całkowitym pochłonięciu energii dźwiękowej przez próbkę. Wielkość tę można zdefiniować jako iloraz energii pochłoniętej przez powierzchnię do całkowitej energii padającej na daną powierzchnię:

$$\alpha = E_a / E_i$$

E_a - energia akustyczna pochłonięta przez powierzchnię,

E_i - energia akustyczna padająca na powierzchnię,

Np. wartość 0,9 oznacza, że 90% energii fali akustycznej jest przez dany materiał pochłaniane.

Znajomość współczynnika pochłaniania dźwięku dla materiałów i ustrojów akustycznych jest obecnie kluczowa przy projektowaniu adaptacji akustycznej wszelkiego rodzaju wnętrz w tym także biur o dużych powierzchniach. Decydujący wpływ na jakość akustyczną takich wnętrz, posiada dźwiękochłonność dużych powierzchni jakim jest podłoga, a więc wykładziny, fotele audytoryjne czy stanowiska biurowe, a także ścianki dzielące stanowiska pracy.

α_s – **pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku**, wyznaczany w laboratorium wg normy PN-EN ISO 354 dla pasm 1/3 oktawy (tercjowych) z zakresu 100 Hz-5000 Hz.

α_p – **praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku**, obliczany wg normy PN-EN ISO 11654 dla pasm oktaowych (125 Hz – 4000 Hz), jako wartość średniej arytmetycznej współczynników pochłaniania dźwięku α_s dla pasm 1/3 oktawy znajdujących się w danej oktawie. Wartości średnie zaokrągla się z dokładnością do 0,05, natomiast wartości $\alpha_p > 1$ przyjmuje się jako $\alpha_p = 1$.

α_w – **wskaźnik pochłaniania dźwięku**, jednoliczbowy wskaźnik wyliczany wg PN-EN ISO 11654 z przesuniętej charakterystyki odniesienia, przy użyciu wartości α_p . Jeżeli różnica wartości pomiędzy praktycznym współczynnikiem pochłaniania dźwięku α_p a przesuniętą charakterystyką odniesienia będzie większa lub równa 0,25, wówczas do wartości α_w należy dopisać jeden lub więcej wyznaczników kształtu. Gdy przekroczenie występuje dla 250 Hz należy dopisać L. Przekroczenie dla 500 Hz lub 1000 Hz oznacza się przez M. Natomiast dla 2000 Hz lub 4000 Hz używa się oznaczenia H.

Współczynnik rozpraszania dźwięku s - wartość wyliczona ze wzoru: $s = 1 - \frac{E_{spec}}{E}$

Gdzie: E_{spec} - energia zwierciadlanie odbita od badanego materiału, E - całkowita energia odbita od materiału zmierzona w polu rozproszonym.

Zrozumiałość mowy – wyrażana przez wskaźnik transmisji mowy STI (ang. Speech Transmission Index). Bezwymiarowa wartość zawiera się w przedziale od 0 do 1, a oceniana jest wg poniższej tabeli:

Wartość STI	Ocena
0,75-1,00	Znakomita
0,60-0,75	Dobra
0,45-0,60	Zadowalająca
0,30-0,45	Słaba
0-0,30	Zła

3 MATERIAŁY WŁAŚCIWOŚCI



Aktualne tendencje w projektowaniu wnętrz (wnętrza typu open space; stosowanie materiałów odbijających dźwięk np. beton, kamień oraz szkło; duże skupiska ludzi) wpływają negatywnie na akustykę. Wybierając poprawnie materiały akustyczne można istotnie zmniejszyć poziom natężenia dźwięku w miejscu pracy, lub nauki, a co za tym idzie zwiększysz komfort użytkowników tych pomieszczeń.

Jakie materiały wybierać?

W projektowaniu mebli i ekranów wybierzmy materiały pochłaniające dźwięk.

Do najważniejszych parametrów dotyczących właściwości akustycznych materiałów, na które powinno się zwracać szczególną uwagę, należą: **pochłanianie dźwięku**, **izolacyjność akustyczna** oraz **rozpraszanie dźwięku**.

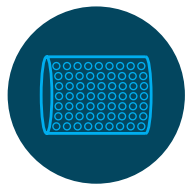
W trakcie prowadzonych konsultacji w środowisku architektonicznym zauważono, że często mylone są pojęcia **pochłaniania** i **izolacyjności akustycznej**. Materiał pochłaniający dźwięk najczęściej jest miękki i lekki – zasłony, poduszki itp. Materiał izolujący dźwięk zwykle jest twardy i masywny – (np. bunkier) - dźwięk nie przedostaje się do wnętrza.

	IZOLACYJNOŚĆ AKUSTYCZNA	POCHŁANIANIE DŹWIĘKU
Co ogranicza?	Przenoszenie dźwięków pomiędzy strefami w przestrzeni (pomiędzy pomieszczeniami)	Odbicie dźwięku wewnątrz pomieszczenia
Na co ma wpływ?	Poufność rozmów, szumy/ zakłócenia	Warunki tworzenia i odsłuchiwania dźwięku

Ważne różnice pomiędzy izolacyjnością akustyczną, a pochłanianiem dźwięku.

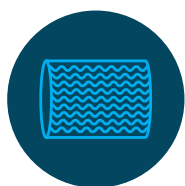
tab.4

Cechy akustyczne poszczególnych komponentów mebli (siedzisk, oprac, boków, drzwi itp.) oraz ścianek działowych zależne są od ich cech fizycznych. Główną rolę odgrywają tu **POROWATOŚĆ, WŁÓKNISTOŚĆ, GRUBOŚĆ, GĘSTOŚĆ**.



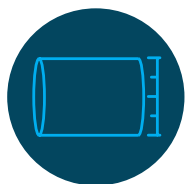
POROWATOŚĆ odgrywa dużą rolę w całym zakresie częstotliwości, dlatego materiały porowate mogą być skutecznie stosowane w układach ograniczających hałas.

Materiały porowate to takie, w przypadku których dźwięk wnika do siatki wzajemnie połączonych porów i powodują przekształcenie energii akustycznej w ciepło. Ciała porowate najlepiej pochłaniają dźwięk w średnich i wysokich częstotliwościach (powyżej 500 Hz). Wartość pochłaniania dźwięku zależy od struktury samego materiału, natomiast zakres częstotliwości, w których ustrój akustyczny jest skuteczny wynika z grubości, kształtu i położenia materiału.

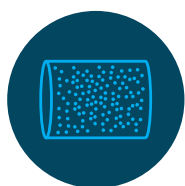


WŁÓKNISTOŚĆ - w przypadku **materiałów włóknistych (maty włókniste, tkaniny, filce)** następuje zamiana energii akustycznej na ciepło, w wyniku pobudzenia do drgań i tłumienia tychże drgań w skutek tarcia wewnętrznego w materiale.

Podstawową zaletą materiałów porowatych i włóknistych jest fakt, że pełnią one funkcje nie tylko akustyczną, ale także użytkową i dekoracyjną. Do tej grupy materiałów należą min. panele akustyczne, pianki, kurtyny, poduszki. W rozwiązaniach BEJOT przynajmniej jedną z warstw stanowi struktura włóknista, co zdecydowanie podwyższa wartości akustyczne produktów.



GRUBOŚĆ - wraz ze wzrostem grubości porowatych absorberów, rośnie pochłanianie dźwięku przy niższych częstotliwościach, jak i izolacyjność akustyczna.



GĘSTOŚĆ - wraz ze wzrostem gęstości poprawia się izolacyjność akustyczna materiału, lecz od pewnej wartości zmniejsza się jego zdolność do pochłaniania dźwięku.

Chcąc zwiększyć chłonność akustyczną w pomieszczeniu należy wybrać materiały porowate i włókniste o odpowiedniej grubości i gęstości. Badania parametrów akustycznych tych materiałów umożliwiają projektowanie akustyki wnętrza.

Aby być w zgodzie z trendami ekologicznymi i ekonomicznymi zdecydowanie preferuje się **MATERIAŁY NATURALNE**, lub inne innowacyjne rozwiązania przyjazne dla środowiska. Analiza badań nad potencjałem i możliwością wykorzystania naturalnych materiałów jako materiałów dźwiękochłonnych pozwala jednocześnie stwierdzić, że materiały na bazie włókien naturalnych mogą z powodzeniem zastąpić włókna syntetyczne w procesach redukcji hałasu.

3.1

DREWNO

WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNE



Właściwości akustyczne drewna decydują o możliwości jego zastosowania. Podobnie jak tworzywa drzewne mogą być dobrymi materiałami dźwiękochłonnymi wykorzystywanymi w projektowaniu mebli, drzwi, podłóg, ścian, sufitów, a także specjalnie skonstruowanych pochłaniaczy i dyfuzorów.

- Drewno wykazuje korzystne właściwości pochłaniania dźwięku, o ile użyto je z zachowaniem układu naturalnej porowatej struktury.
- Gładkie płyty wytworzone z drewna mają niskie współczynniki pochłaniania dźwięku, ale są dobrymi izolatorami. Natomiast tworzywa drzewne – płyty strukturalne i płyty o powierzchni porowatej wykazują wyższe właściwości pochłaniania dźwięku.
- Drewno w porównaniu z tkaninami, filcami czy piankami PU wykazuje niższe charakterystyki akustyczne, ale odpowiednio wybrane i bez wykończenia powłoką lakierniczą ma spore możliwości. Może stanowić ważny element w układzie tapicerskim pełniąc jednocześnie funkcję absorbera i izolatora dla dźwięku.

• RÓŻNE RODZAJE DREWNA MAJĄ RÓŻNE WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNE

Gatunek drewna	Częstotliwość [Hz]						Średni współczynnik pochłaniania dźwięku
	125	250	500	1000	2000	4000	
Sosna	0,01	0,02	0,03	0,11	0,19	0,17	0,09
Sapele	0,01	0,02	0,03	0,11	0,19	0,17	0,09
Wiąz	0,01	0,02	0,02	0,08	0,16	0,15	0,07
Dąb	0,01	0,01	0,02	0,06	0,17	0,14	0,07
Jesion	0,01	0,01	0,02	0,06	0,18	0,15	0,07
Meranti	0,01	0,01	0,02	0,07	0,12	0,14	0,06
Olcha	0,01	0,02	0,02	0,07	0,11	0,11	0,06
Topola	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,03

Wybrane rodzaje drewna i ich średni współczynnik pochłaniania dźwięku.

tab.4

Badania eksperymentalne dowodzą, że dla częstotliwości 2 000 Hz najwyższy współczynnik pochłaniania dźwięku wykazuje drewno: **Sosny** i **Sapele**, (wysoka gęstość, włóknistość i oporność przepływu) za to drewno **Topoli** ma najniższy współczynnik pochłaniania dźwięku na korzyść wysokiej izolacyjności akustycznej.

Przykładem korzystnego rozwiązania konstrukcyjnego jest zastosowanie w budowie ekranów Selva BEJOT drewna sosnowego. To optymalne rozwiązanie. Łączy dostępność surowca, niską cenę, wysoki współczynnik pochłaniania dźwięku wśród badanych gatunków drewna. Na wybór drewna sosny oprócz korzystnego parametru pochłaniania dźwięku wpłynęła również łatwość obróbki powierzchni zgodna z zachowaniem parametrów akustycznych.

3.2

TWORZYWA DRZEWNE

WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNE



Z zestawienia badań nad tworzywami drzewnymi wynika, że najwyższe zdolności pochłaniania dźwięku wykazują tworzywa drzewne o **niskiej gęstości warstw powierzchniowych i wysokiej porowatości**. Prawidłowość ta ma szczególne zastosowanie w przypadku częstotliwości od 125 Hz do 500 Hz.

Płyty komórkowe z papierowym rdzeniem lepiej absorbują dźwięk w zakresie częstotliwości od 1 000 Hz do 2 000 Hz.

Dla częstotliwości 4 000 Hz najkorzystniejsze właściwości akustyczne posiadają płyty o dużych nierównościach na powierzchni zewnętrznej. Dobre właściwości akustyczne wykazuje również płyta komórkowa z okładzinami z materiałów o wysokiej porowatości.

Potwierdza się prawidłowość, że **wysokie współczynniki pochłaniania dźwięku występują przy niskich gęstościach materiałów na powierzchni płyt i że ich wartość rośnie wraz ze wzrostem częstotliwości**.

Najlepszą chłonność akustyczną dla wszystkich częstotliwości wykazują płyty o budowie: okładzina HDF 3 mm, rdzeń – listwa topolowa o przekroju 4x10 mm, okładzina HDF 3 mm oraz płyty: okładzina sklejka topolowa 3 mm, rdzeń listwa sosnowa o przekroju 4x10 mm, okładzina sklejka topolowa 3 mm.

Bardzo obiecująco prezentują się także charakterystyki płyt listewkowych oraz płyt z falistym rdzeniem: okładzina HDF 3 mm, rdzeń falisty z HDF, okładzina HDF 3 mm.

Po odpowiednich ulepszeniach struktury powierzchni mogą one pełnić zarówno funkcje konstrukcyjne, jak i pochłaniające dźwięk.

3.3 WYBRANE MATERIAŁY TEKSTYLNE I PIANKOWE PRZYDATNE W PROJEKTOWANIU MEBLI TAPICEROWANYCH



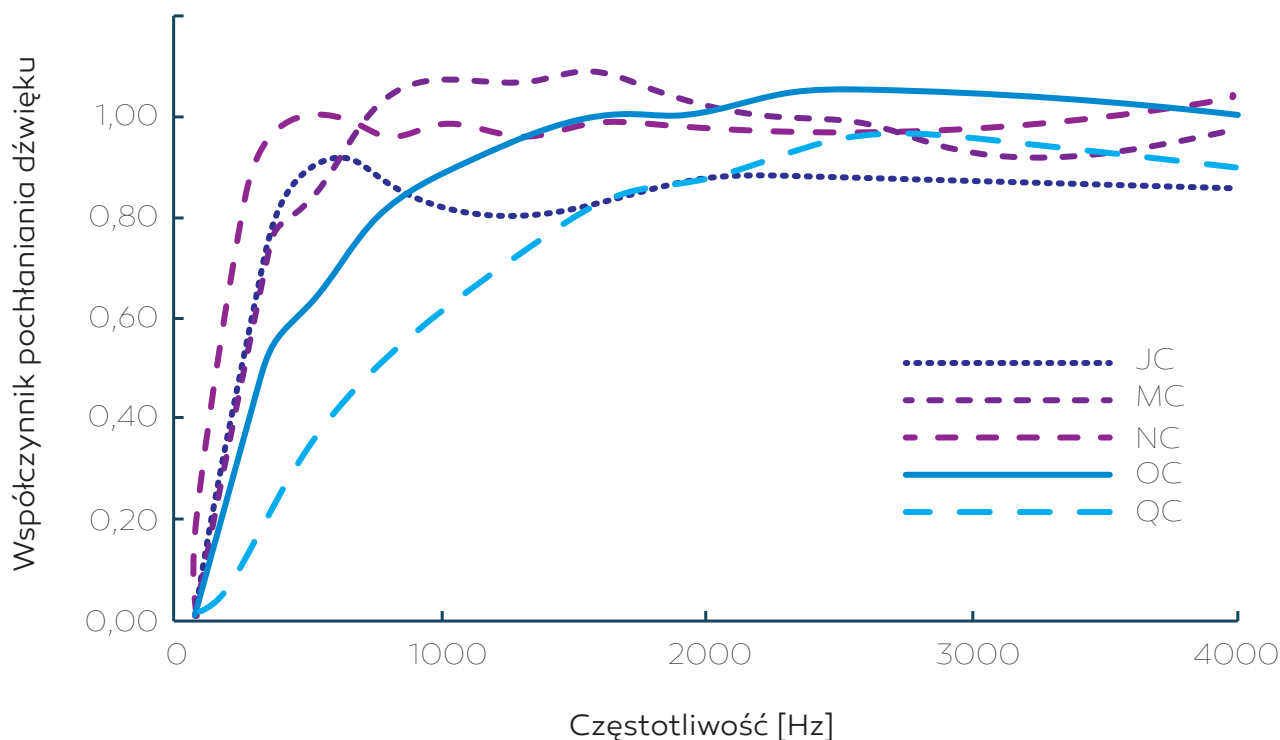
Wykorzystanie w produkcji **mebli tapicerowanych** materiałów o odpowiednich właściwościach akustycznych, korzystnie wpływa na akustykę pomieszczeń. Eksperymenty naukowe wykazują dużą przydatność materiałów miękkich do produkcji ekranów i mebli.

Z badań wynika, że wprowadzenie do pomieszczenia mebli tapicerowanych pozwala na istotne zmniejszenie czasu pogłosu.

Wraz ze zmianą gęstości poszczególnych warstw materiałów, zmienia się zdolność tego materiału do pochłaniania dźwięku. Im wyższa gęstość na powierzchni badanego materiału, tym niższa jego zdolność do pochłaniania. Na zdolność poszczególnych materiałów do pochłaniania dźwięków, oprócz gęstości, wpływają także inne, związane z gęstością właściwości materiałów m. in. **porowatość, włóknistość i opór przepływu.**

Wraz ze wzrostem gęstości, następuje spadek porowatości wzrost włóknistości i oporu przepływu powietrza. Ze względu na to, że dobre materiały pochłaniające powinny charakteryzować się niską gęstością i włóknistością, niewielkim oporem przepływu powietrza i wysoką porowatością, przyjąć należy, że to właśnie te materiały będą cechowały się wysokim współczynnikiem pochłaniania dźwięku. Analizując badania nad miękkimi materiałami używanymi do produkcji mebli i ścianek akustycznych zauważono, że dla pianek opór przepływu powietrza jest znacznie niższy niż dla pozostałych badanych materiałów.

Na podstawie wyników badań wykazano, że dla większości materiałów zauważalny jest wzrost wartości współczynnika pochłaniania wraz ze wzrostem częstotliwości. **Im wyższa częstotliwość tym wyższy współczynnik pochłaniania.**



Zależność współczynnika pochłaniania dźwięku w funkcji częstotliwości dla wybranych układów tapicerowanych. Pomiar w komorze pogłosowej.

Ozn.	Opis próbki	Wymiar próbki [mm]	Opis podłoża	Opis pianki
JC	Sklejka bukowa + pianka B45 + tkanina CUZ	1250 x 2000	Sklejka bukowa grubość 10 mm	B45 odlewana z formy (gęstość: 60 kg/m ³ , sztywność: 6,3 kPa) grubość 45mm
MC	Sklejka bukowa + pianka N40 + tkanina CUZ			N40 (gęstość: 40 kg/m ³ , sztywność: 6 kPa) grubość 40 mm
NC	Sklejka bukowa + pianka N25 + tkanina CUZ			N25 (gęstość: 40 kg/m ³ , sztywność: 6 kPa) grubość 25 mm
OC	Sklejka bukowa + pianka R10 + tkanina CUZ			R10 (gęstość: 90 kg/m ³ , sztywność: 12 kPa) grubość 10 mm
QC	Płyta wiórowa + pianka R70 + tkanina CUZ		Płyta wiórowa grubość 16 mm	R70 (gęstość: 50 kg/m ³ ; sztywność: 6 kPa) grubość 70 mm

Struktura układów tapicerowanych użytych do badań w komorze pogłosowej.
Objaśnienie skrótów z wykresu na stronie obok.

tab. 5

Uzasadnione jest także wykorzystywanie tkanin, włóknin i pianek akustycznych w projektach różnego rodzaju osłon i ścianek działowych. **Korzystne jest łączenie materiałów różnych grup, celem zwiększenia skuteczności pochłaniania dźwięku.** Zalecane jest łączenie ze sobą tkanin, pianek lub włókniny o najwyższych współczynnikach pochłaniania dźwięku.

Charakterystyki współczynnika pochłaniania dźwięku dla wybranych układów tapicerowanych wykonanych z opisanych powyżej materiałów przedstawiono na wykresie, na str. 20. Wynika z niej, że układ QC wykonany z płyty wiórowej, pianki poliuretanowej R70 z tkaniną CUZ (typowy układ konstrukcyjny dla foteli i sof) wykazuje najkorzystniejszy stały, począwszy od częstotliwości 500 Hz, współczynnik pochłaniania dźwięku wynoszący 1.0.

Interesujące są także właściwości akustyczne układów:

Oparć krzesel i foteli biurowych (układ NC):

sklejka bukowa + pianka PU 40 kg/m³ gr 25 mm + tkanina CUZ (typowy układ tapicerski oparcie krzesel i foteli biurowych i konferencyjnych)

Siedzisk krzesel i foteli biurowych (układ MC):

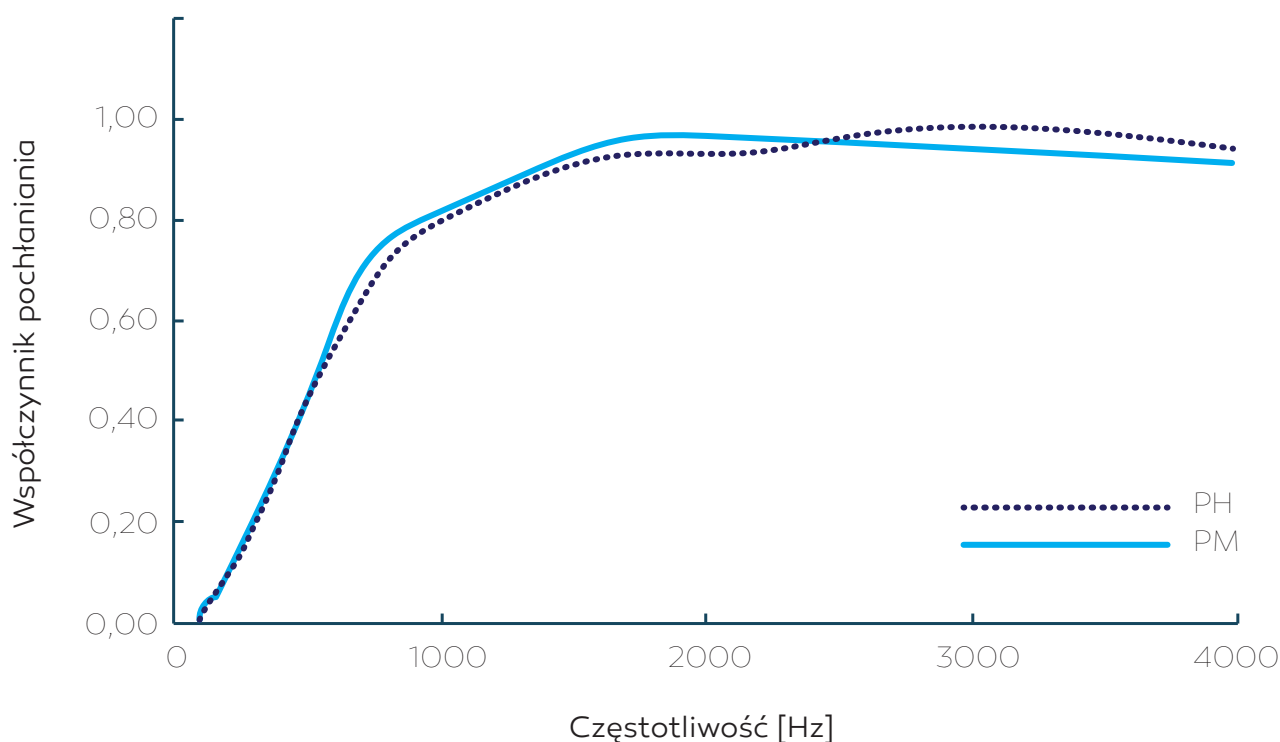
MC sklejka bukowa + pianka 40 kg/m³ gr 40 mm + tkanina CUZ (typowy układ siedzisk krzesel i foteli biurowych)

Dla tych układów wartość współczynnika pochłaniania dźwięku oscyluje w pobliżu najwyższej wartości **1.0**. Badania wykazały ponadto, że czynnikiem decydującym o ich właściwościach akustycznych jest rodzaj i grubość pianki poliuretanowej. Rodzaj tkaniny obiciowej nie wpływa istotnie na zmianę tych właściwości.

Panele akustyczne.

Panel z ramką metalową jak i panel z ramką wykonaną z sosny o strukturze warstwowej: twarda przegroda HDF + prasowana płyta o strukturze włóknistej + tkanina techniczna + tkanina obiciowa mają bardzo zbliżone i wysokie współczynniki pochłaniania dźwięku wynoszące 1,0, w zakresie częstotliwości dźwięku od 1 500 Hz wzwyż. Oznacza to, że taki układ ma wysokie możliwości dźwiękochłonne porównując do układów tapicerowanych mających w swojej konstrukcji pianki PU.

Należy przy tym zaznaczyć, że grubość prasowanej płyty o strukturze włóknistej była znacznie mniejsza od grubości pianek. Wynika z tego, że można zbudować układ tapicerski o podobnych parametrach akustycznych, o znacznie mniejszej grubości. Dobrym przykładem są przebadane laboratoryjnie ekrany akustyczne Selva BEJOT, które pomimo swojej niewielkiej grubości mają bardzo dobre parametry akustyczne. **Wykorzystanie prasowanej płyty o strukturze włóknistej zamiast pianki pozwoliło na budowę ekranu o niewielkiej grubości i dobrych właściwościach akustycznych.**



wyk. 2

Zależność współczynnika pochłaniania dźwięku w funkcji częstotliwości dla ekranów PH i PM.
Pomiar w komorze pogłosowej.

PH – panel wykonany z udziałem ramki metalowej.

PM – panel wykonany z udziałem płyty MDF.

3.4 KOMPOZYCJE MATERIAŁÓW
AKUSTYCZNYCH
O UZUPEŁNIAJĄCYCH SIĘ
CHARAKTERYSTYKACH
POCHŁANIANIA DŹWIĘKU
W FUNKCJI CZĘSTOTLIWOŚCI



Korzystnym rozwiązaniem dla opracowania skutecznej konstrukcji z materiałów akustycznych jest zastosowanie układów tapicerskich i płyt o dużej gęstości - jako rdzeni. Opisana struktura zapewnia bardzo korzystne pochłanianie / ekranowanie dźwięku. Jako przykłady, poniżej przedstawiono wybrane rozwiązania konstrukcyjne układów tapicerskich z różnymi rdzeniami.

3.4.1 AKUSTYKA EKRAŃÓW BIUROWYCH SELVA (POPRZEDNIA NOMENKLATURA CALMA) I QUADRA.

Celem badań było ustalenie i porównanie skuteczności akustycznej ekranu biurowego Calma/Selva i ekranu Quadra według PN-ISO 10053: 2001: 2005. Akustyka - Pomiar skuteczności akustycznej ekranu biurowego we wzorcowych warunkach laboratoryjnych, PN-EN ISO 3745:2012 - Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej i poziomów energii akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego - Metody dokładne w pomieszczeniach bezdechowych i w pomieszczeniach bezdechowych z odbijającą podłogą.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań wybrano prototypy ramy SELVA (Calma) i Quadra o konstrukcji z różnymi rdzeniami:

Płyta RIFLEX grubość 6 mm – płyta kartonowo-gipsowa gęstości: 1 000 kg/m³

Płyta CRM grubość 8 mm – płyta wiórowo-cementowa gęstość: 1 350 kg/m³

Płyta MDF grubość 6 mm –płyta z włókien drzewnych gęstość: 800 kg/m³

Przebadano następujące układy:

1. Rama SELVA (Calma): z wypełnieniem Riflex, grubość 6 mm bez pokrowca,
2. Rama SELVA (Calma): z wypełnieniem Riflex, grubość 6 mm oraz wełną mineralną o gęstości 125 kg/m³ z włóknami wzdłuż płyt o grubości 20 mm z obu stron w pokrowcu,
3. Rama SELVA (Calma): z wypełnieniem Riflex, grubość 6 mm oraz wełną mineralną o gęstości 30 kg/m³ z włóknami w poprzek płyt o grubości 20 mm z obu stron w pokrowcu,
4. Rama SELVA (Calma): z wypełnieniem Rifle, grubość 6 mm z filcem akustycznym o grubości 20 mm z obu stron w pokrowcu,
5. Rama SELVA (Calma) : z wypełnieniem MDF, grubość 6 mm bez pokrowca,
6. Rama SELVA (Calma) : z wypełnieniem MDF, grubość 6 mm oraz wełną mineralną o gęstości 125 kg/m³ z włóknami wzdłuż płyt o grubości 20 mm z obu stron w pokrowcu,
7. Rama SELVA (Calma): z wypełnieniem MDF, grubość 6 mm oraz wełną mineralną o gęstości 30 kg/m³ z włóknami w poprzek płyt o grubości 20 mm z obu stron w pokrowcu,
8. Rama SELVA (Calma): z wypełnieniem MDF gr. 6 mm z filcem akustycznym o grubości 20 mm z obu stron w pokrowcu,

9. Rama SELVA (Calma): z wypełnieniem CRM grubość 8 mm bez pokrowca,
 10. Rama Quadra 800: wypełnienie filcem akustycznym grubości 25 mm + HDF 3 mm,
 11. Rama Quadra 800: wypełnienie pianką S364MD,
 Pokrowiec wykonany z 100% polipropylen, gramatura 70 g/m².

Z poniższego zestawienia wynika, że sztywna przegroda w konstrukcji ekranu ma decydujące znaczenie o skuteczności ekranowania.

Nazwa Produktu	Przegroda sztywna Częstotliwość [Hz]	Wypełnienie akustyczne stron ekranu	Redukcja natężenia dźwięku po przejściu przez ekran db
SELVA /Calma	MDF włókno drzewne	brak	7
SELVA /Calma	RIFLEX płyta gipsowo-kartonowa	brak	8
SELVA /Calma	CRM płyta wiórowo-cementowa	brak	8
SELVA /Calma	MDF o dużej gęstości	prasowana płyta o strukturze włóknistej	8
SELVA /Calma	MDF o dużej gęstości	wełna mineralna cięta w poprzek 35 kg/m ³	8
SELVA /Calma	MDF o dużej gęstości	wełna mineralna cięta wzdłuż 120 kg/m ³	8
SELVA /Calma	RIFLEX płyta gipsowo-kartonowa	prasowana płyta o strukturze włóknistej	9
SELVA /Calma	RIFLEX płyta gipsowo-kartonowa	wełna mineralna cięta w poprzek 35 kg/m ³	9
SELVA /Calma	RIFLEX płyta gipsowo-kartonowa	wełna mineralna cięta wzdłuż 120 kg/m ³	9
Quadra	brak	prasowana płyta o strukturze włóknistej	5
Quadra	brak	płyta z ciętej pianki PU	3

tab. 6

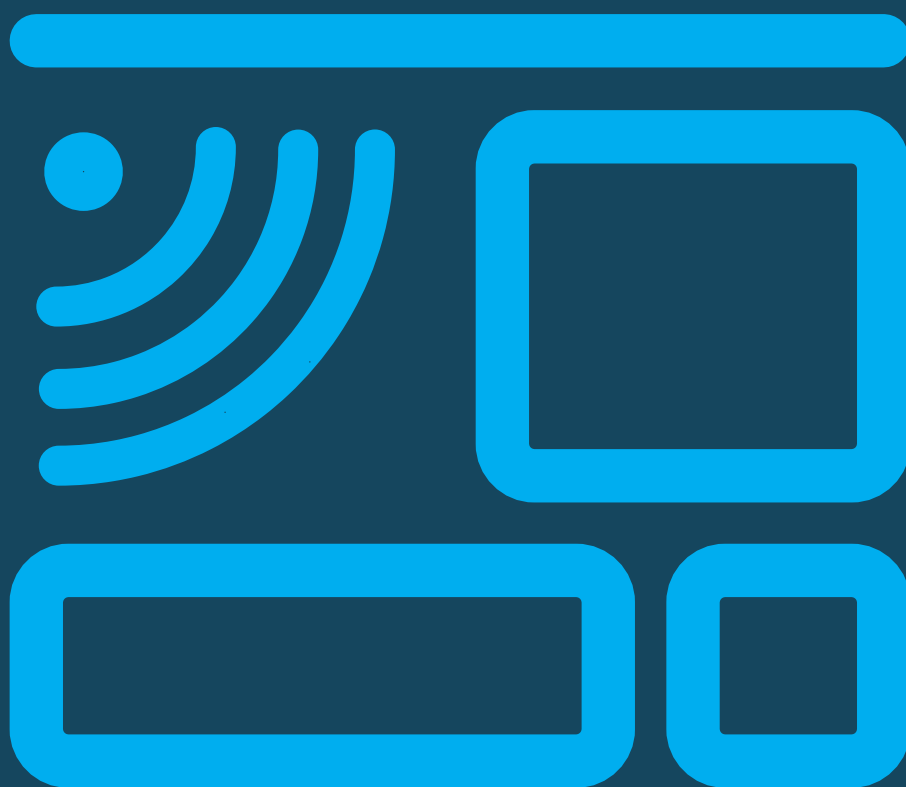
Zastosowanie wiedzy z badań nad poszczególnymi materiałami konstrukcyjnymi znalazło miejsce w ekranach akustycznych Selva BEJOT.

W konstrukcji ekranu wykorzystano ramę sosnową z twardym rdzeniem z płyty MDF i wypełnieniem dwustronnym - prasowaną płytą o strukturze włóknistej o wysokich właściwościach pochłaniania dźwięku (materiał włóknisty z naturalnych włókien bawełnianych i wełnianych z domieszką włókien syntetycznych impregnowanych substancjami niepalnymi) oraz tkaniną obiciową.

Jest to optymalne rozwiązanie pod względem funkcjonalnym, ekonomicznym i technologicznym.

Płyta MDF została wybrana jako optymalne rozwiązanie konstrukcyjne dla ekranów akustycznych Selva BEJOT, ze względu na znaczną różnicę jej wagi w porównaniu do wagi płyt CRM oraz RIFLEX (płyta MDF jest dużo lżejsza), a także ze względu na dostępność i łatwość w obróbce produkcyjnej.

4 WPŁYW USYTUOWANIA MEBLI NA PARAMETRY AKUSTYCZNE WNETRZA



ABY ZAPEWNIĆ OPTYMALNĄ AKUSTYKĘ W POMIESZCZENIU WYKORZYSTAJ EKRANY AKUSTYCZNE I MEBLE DŹWIĘKOCHŁONNE W ODPOWIEDNICH UKŁADACH.

Rezultatem przykładowych zastosowań materiałów dźwiękochłonnych we wnętrzach może być:

- **redukcja hałasu** w maszynowniach, pomieszczeniach produkcyjnych, biurach typu open space,
- **dostosowanie czasu pogłosu** pomieszczenia do jego funkcji (audytorium, sala koncertowa, sala teatralna),
- **ograniczenie wad akustycznych** w pomieszczeniach.

NAJPOWSZECHNIEJSZE WADY SPOTYKANE WE WNĘTRZACH

- **nadmierna pogłosowość**,
- **zbyt duży poziom tła akustycznego** pochodzącego ze źródeł zewnętrznych (hałas komunikacyjny, przemysłowy itp.) lub wewnętrznych (hałas wyposażenia technicznego lub sąsiednich stanowisk pracy),
- **echo**.

Konstrukcje mebli, których dźwiękochłonność jest przedmiotem badań naukowych, coraz częściej odgrywają znaczącą rolę w adaptacji akustycznej wnętrz spełniając wszystkie trzy podane wyżej funkcje.

Biura na planie otwartym

Coraz częstszym rozwiązaniem są otwarte przestrzenie biurowe, które wspierają naturalny przepływ informacji i wiedzy. Niestety pracownicy niepowiązani ze sobą zadaniami często przeszkadzają sobie nawzajem.

Przestrzeń nowoczesnego biura na planie otwartym charakteryzuje się użyciem dużych powierzchni betonowych, szklanych, tynkowanych stropów co wzmacnia odbijanie dźwięku, a tym samym zwiększają jego oddziaływanie we wnętrzu. **Aby ograniczyć propagację dźwięku, meble i ścianki działowe powinny mieć właściwości dźwiękochłonne, odpowiednio należy dobrać ich rozmiar i umiejscowienie.**

Celem dobrego planowania przestrzeni jest stworzenie takiego środowiska akustycznego, które będzie sprzyjać komunikacji między członkami tej samej grupy roboczej i zapobiegać przenoszeniu się odgłosów rozmów dalej, tak by nie przeszkadzały innym pracownikom.



PAMIĘTAJ! Zapewnienie dobrych właściwości akustycznych mebli oraz uniknięcie wad projektowych polega na prawidłowym doborze materiałów akustycznych i zamontowaniu ich w odpowiednich miejscach.

• Meble i ścianki wolnostojące wykonane z elementów dźwiękochłonnych mogą stanowić odpowiednie uzupełnienie planowanej lub istniejącej adaptacji akustycznej. Mogą też ją częściowo zastąpić w wielu pomieszczeniach.

• W odpowiednio zaaranżowanym wnętrzu zastosowanie ścianek i mebli o wysokiej chłonności akustycznej zapewnia znaczną poprawę parametrów akustycznych. Większa liczba elementów w pomieszczeniu poprawia charakterystyki częstotliwościowe i jednorodność rozkładu przestrzennego w obszarze odsłuchowym. **Czyli im więcej elementów dźwiękochłonnych, tym lepsza akustyka we wnętrzu.**

- Zwracaj uwagę na właściwości akustyczne komponentów z jakich zbudowane są produkty do kształtowania odpowiedniej akustyki we wnętrzu. Znaczna poprawa właściwości akustycznych wnętrza może nastąpić poprzez odpowiednie ustawienie mebli i ekranów akustycznych oraz właściwy dobór materiałów do ich budowy. Istotnymi czynnikami decydującymi o skuteczności pochłaniania dźwięku przez mebel są:

- **współczynnik pochłaniania dźwięku materiału, z którego wykonano bryłę mebla,**
- **ilość materiału dźwiękochłonnego zastosowanego w bryle mebla,**
- **usytuowanie powierzchni dźwiękochłonnych w bryle mebla.**

BEJOT Sp. z o.o. oraz Maro Sp. z o.o. w swoich konstrukcjach oparty wybór materiałów na podstawie wiedzy naukowej stawiając na optymalny zestaw komponentów i sprawdzoną konstrukcję ekranów akustycznych (rdzeń sosnowy, wypełnienie materiałem włóknistym - o wysokich parametrach pochłaniałości).

Spośród zbadanych komponentów meblarskich najwyższe współczynniki pochłaniania dźwięku mają elementy tapicerowane, dlatego właśnie na takie rozwiązania zdecydowała się BEJOT w swoich systemach akustycznych. Użycie drewna sosny jako twardego elementu konstrukcji także nie jest przypadkowe – sosna ma jedno z najlepszych parametrów akustycznych wśród drewna gatunków krajowych i odpowiednio wysokie właściwości konstrukcyjne.

- Skuteczniej pochłaniają dźwięk elementy wyeksponowane na bezpośrednie działanie fali akustycznej, takie jak fronty szafek oraz powierzchni boczne. Mniej skutecznie działają powierzchnie z ograniczonym dostępem dla dźwięku.

- W celu redukcji czasu pogłosu w pomieszczeniu, jednego z ważniejszych parametrów akustycznych we wnętrzu, korzystne jest:

- **ustawienie mebli w taki sposób aby jak największa ich powierzchnia dźwiękochłonna była dostępna dla dźwięku bezpośredniego,**
- **bliższe usytuowanie mebli względem źródła dźwięku pozwoli na pochłonięcie większej ilości energii.**

- Niezaleca się umieszczania mebli o wysokiej chłonności akustycznej za przegrodami. W takim przypadku mebel jest ekranowany i jego właściwości dźwiękochłonne nie są w pełni wykorzystane.

- Podczas projektowania akustyki w pomieszczeniach należy skorzystać z profesjonalnych programów komputerowych. Podstawę wykonania dobrego projektu (adaptacji) akustyki wnętrza stanowi wiedza na temat mechanizmów przewidywania i modyfikacji dźwięku w pomieszczeniu.

Na kolejnej stronie, w tabeli przedstawiono sposoby rozwiązania redukcji nadmiernego pogłosu we wnętrzach. Są to praktyczne wskazówki ułatwiające aranżację pomieszczeń z użyciem mebli i elementów wyposażenia wnętrz. Wybierz ten, który Cię interesuje i sprawdź jakie rozwiązanie zastosować.

1	Cel	Redukcja nadmiernego pogłosu we wnętrzu
	Funkcja pomieszczenia	Sale audytoryjne i konferencyjne, pokoje biurowe, biura wielkoprzestrzenne i typu open space, centra obsługi telefonicznej, sale szkolne, sale w żłobkach i przedszkolach, czytelnie w bibliotekach, pokoje nauczycielskie i socjalne.
	Zastosowane meble i elementy meblarskie	Meble tapicerowane, meble skrzyniowe, dźwiękochłonne tapicerowane ekrany biurowe.
	Rozwiązanie	Zastosowanie we wnętrzu mebli akustycznych jako niezależnej adaptacji akustycznej lub też jej uzupełnienie. Większa liczba mebli danego typu ustawionych we wnętrzu pozwala na większą redukcję czasu pogłosu. Korzystne jest: - pojedyncze ustawianie mebli tapicerowanych z dala od ścian, np. fotele, sofy itp., - umiejscowienie tapicerowanych ekranów w pobliżu stanowiska pracy. Uwaga: jeżeli w pomieszczeniu jest wykonana adaptacja akustyczna ścian, należy unikać jej zasłaniania meblami.
2	Cel	Poprawa zrozumiałości mowy
	Funkcja pomieszczenia	Sale audytoryjne i konferencyjne, sale szkolne.
	Zastosowane meble i elementy meblarskie	Meble tapicerowane, meble skrzyniowe.
	Rozwiązanie	Poprawę zrozumiałości mowy można uzyskać poprzez: - redukcję pogłosu we wnętrzu (patrz poz. 1), - ograniczenie hałasu we wnętrzu, - zapewnienie dobrej transmisji dźwięku pomiędzy mówcą i odbiorcą, - eliminację wad akustycznych (patrz poz. 4,5).
3	Cel	Zwiększenie prywatności na stanowisku pracy
	Funkcja pomieszczenia	Pokoje biurowe, biura wielkoprzestrzenne i typu „open space”, centra obsługi telefonicznej, czytelnie w bibliotekach, pokoje nauczycielskie i socjalne.
	Zastosowane meble i elementy meblarskie	Meble tapicerowane, meble skrzyniowe, dźwiękochłonne tapicerowane ekrany biurowe.
	Rozwiązanie	Zwiększenie prywatności na stanowisku pracy można uzyskać poprzez ograniczenie poziomu dźwięku dochodzącego z sąsiednich pomieszczeń lub stanowisk. Pokoje: Należy zapewnić odpowiednią izolacyjność akustyczną pomiędzy pokojami oraz zredukować pogłos w pomieszczeniu (patrz poz. 1). Stanowiska w pomieszczeniach wielkoprzestrzennych i open space: Należy ekranować stanowisko pracy przy wykorzystaniu dźwiękochłonnych ekranów biurowych lub mebli oraz zredukować pogłos w pomieszczeniu (patrz poz. 1). Ekran lub meble powinny mieć wysokość większą niż siedzący człowiek oraz zaczynać się przy podłodze. Istotne zwiększenie skuteczności działania przegrody z ekranów i mebli można osiągnąć poprzez: - zastosowanie elementów dźwiękochłonnych na suficie, w szczególności w obszarach nad ekranami, - zastosowanie elementów dźwiękochłonnych na ścianach przyległych do stanowiska.

4	Cel	Eliminacja echa wielokrotnego
	Funkcja pomieszczenia	Sale audytoryjne i konferencyjne, pokoje biurowe, biura wielkoprzestrzenne i typu „open space”, centra obsługi telefonicznej, sale szkolne, sale w żłobkach i przedszkolach, czytelnie w bibliotekach, pokoje nauczycielskie i socjalne.
	Zastosowane meble i elementy meblarskie	Meble tapicerowane, meble skrzyniowe, dźwiękochłonne tapicerowane ekrany biurowe.
	Rozwiązanie	Echo wielokrotne powstaje na skutek wielokrotnych odbić dźwięku pomiędzy dwoma równoległymi nie zaadaptowanymi akustycznie powierzchniami, najczęściej w pomieszczeniach z krótkim czasem pogłosu. W celu eliminacji tej wady korzystnie jest ustawienie, wzdłuż jednej z nieadaptowanych ścian, mebli akustycznych. W szczególności wysokich mebli tapicerowanych, szafek i regałów lub dźwiękochłonnych ekranów biurowych.
5	Cel	Eliminacja echa
	Funkcja pomieszczenia	Sale audytoryjne i konferencyjne, pokoje biurowe, biura wielkoprzestrzenne i typu „open space”, centra obsługi telefonicznej, sale szkolne, sale w żłobkach i przedszkolach, czytelnie w bibliotekach, pokoje nauczycielskie i socjalne.
	Zastosowane meble i elementy meblarskie	Meble tapicerowane, meble skrzyniowe, dźwiękochłonne tapicerowane ekrany biurowe.
	Rozwiązanie	Echo powstaje na skutek pojedynczego silnego odbicia dźwięku opóźnionego względem dźwięku docierającego bezpośrednio o ponad 80 ms. Występuje najczęściej w dużych pomieszczeniach z krótkim pogłosem w których nie zaadoptowano akustycznie jeden z powierzchni. W celu eliminacji tej wady korzystne jest ustawienie wzdłuż ściany która powoduje powstawanie odbicia dźwięku mebli akustycznych. W szczególności wysokich mebli tapicerowanych, szafek i regałów lub dźwiękochłonnych ekranów biurowych.

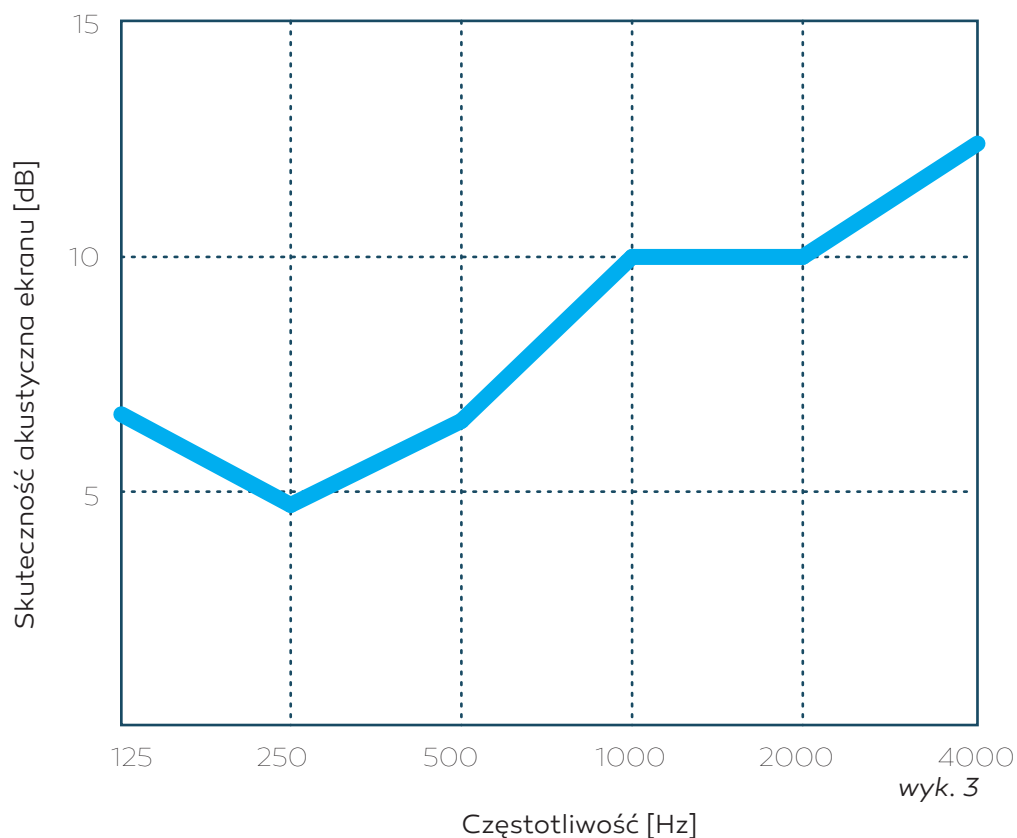
Rozwiązania redukujące wady akustyczne w pomieszczeniach.

tab. 7

Dobra akustyka to podstawa przyjemnej atmosfery w pracy. Tak samo jak temperatura czy odpowiednie oświetlenie w pomieszczeniu, akustyka jest odpowiedzialna za to czy pracownik czuje się w nim dobrze czy nie. Odpowiednia akustyka wpływa na wydajność, kreatywność i dobre samopoczucie ludzi, w miejscu w którym spędzają czas.

Przykładowe systemy Selva BEJOT i inne zbliżone rozwiązania akustyczne BEJOT pozwalają na znaczną redukcję poziomu dźwięków (badania wykazują średni spadek natężenia poziomu dźwięku o 8 dB). Mówiąc potocznie, odczuwanie hałasu przez użytkownika zmniejsza się ponad dwukrotnie (poniżej wyniki badań).


Pozytywne efekty testów zostały potwierdzone wynikami badań skuteczności akustycznej dla ekranów biurowych zgodnie z normą PN-ISO 10053:2001 Akustyka - Pomiar skuteczności akustycznej ekranu biurowego we wzorcowych warunkach laboratoryjnych - przeprowadzone przez Laboratorium Akustyki Technicznej w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki AGH w Krakowie.



ΔL_s – Skuteczność akustyczna ekranu w pasmach częstotliwościowych wg. PN-ISO 10053:2001

$\Delta L_s, \bar{s}_r$ – Jednoliczbowy wskaźnik oceny według załącznika B PN-ISO 10053:2001

$\Delta L_s, w$ – Ważona skuteczność akustyczna ekranu według załącznika B PN-ISO 10053:2001



Kompendium zawiera wybrane aspekty teoretyczne oraz wyniki badań eksperymentalnych uzyskane w ramach projektu naukowego „Pasywne akustyczne materiały do produkcji mebli” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju realizowanego przez konsorcjum w składzie:

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Technologii Drewna

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki

Wolontariuszami - partnerami projektu były fabryki mebli:

BEJOT Sp. z o.o.

MARO Sp. z o.o.