



# **GŁOŚNIKI**

## **P O D S T A W Y**

**Robert Harrak**

**Wersja 1.1**

**Copyright © 06.02.2006**

**[www.harrak.pl](http://www.harrak.pl)**

## Spis Treści

1. Wprowadzenie .....	3
2. Dźwięk .....	4
2.1 Co to takiego ? .....	4
2.2 Zakresy i natężenia .....	4
3. Rodzaje głośników .....	6
4. Głośnik magnetoelektryczny .....	7
4.1 Budowa .....	7
4.2 Zasada działania .....	8
4.3 Typy głośników magnetoelektrycznych .....	8
4.4 Membrany głośników .....	8
4.5 Odpowiedni dobór głośników .....	8
4.6 Ekranowanie magnetyczne .....	9
4.7 Parametry głośników .....	9
4.8 Charakterystyka częstotliwościowa .....	10
4.9 Impedancja .....	11
4.10 Wybór właściwej obudowy .....	11
5. Obudowa .....	12
5.1 Konstrukcja obudowy .....	12
5.2 Materiały na obudowę .....	12
5.3 Kształt obudowy .....	13
5.4 Grubości ścianek .....	13
5.5 Wzmocnienia wewnętrzne .....	13
5.6 Rodzaje obudów .....	14
5.7 Rozchodzenie się dźwięku wewnątrz obudowy .....	15
6. Wytlumienie .....	16
6.1 Materiały tłumiące .....	16
6.2 Jak i ile wytłumić .....	17
7. Zwrotnica .....	18
7.1 Przeznaczenie zwrotnicy .....	18
7.2 Elementy zwrotnicy .....	18
7.3 Zalety i wady poszczególnych filtrów .....	18
7.4 Filtry a impedancja głośnika .....	18
7.5 Rodzaje filtrów .....	19
7.6 Zgranie fazowe .....	20
7.7 Filtry teoretyczne a rzeczywiste .....	20
8. Okablowanie .....	21
9. Ustawienie zespołów głośnikowych .....	22

## 1. Wprowadzenie

Słuch jest jednym z najważniejszych zmysłów w świecie ludzi i zwierząt, dlatego też przywiązuje się dużą wagę do jakości dźwięku i z tego powodu ciągle dąży do poprawy jego zapisu oraz odtworzenia. Do odtworzenia muzyki są potrzebne 3 podstawowe elementy; źródło, wzmacniacz oraz głośnik. Elementem najprostszym do wykonania wszak pod warunkiem, że wie się jak, i zarazem mającym największy wpływ na dźwięk jest właśnie głośnik. Niemniej najprostszym nie oznacza, że każdy jest w stanie wykonać przetwornik czy zestaw głośnikowy prawidłowo. Można bowiem kupić najdroższe przetworniki i wykonać z ich pomocą marny zestaw, można również kupić średniej klasy przetworniki i wykonać zestaw wspaniały. Oczywiście celem jest odtworzenie muzyki takiej, jaką stworzył ją jej autor, ale niestety jest to ideał nieosiągalny.

Ta książka jest skierowana do miłośników muzyki chcących wykonać swoje własne zestawy głośnikowe dla zabawy czy hobby i takie, które by lepiej odtwarzały muzykę niż kupione w podobnej cenie zestawy gotowe. Jest to realne ze względu na możliwość zastosowania lepszych głośników i pozostałych komponentów oraz zastosowania lepszych rozwiązań technicznych obudowy, które są stosowane przez producentów w droższych modelach. Warunkiem jest jednak właściwe ich skonstruowanie, wykonanie i dostrojenie (najlepiej korzystając ze sprzętu pomiarowego lub gotowego projektu). Ponadto wykonując obudowę samemu można nadać jej niepowtarzalny kształt, dowolne barwy czy zastosować dowolne materiały. W tej książeczce znajdują się informacje podstawowe z poszczególnych zakresów budowy głośnika, obudowy i zwrotnicy.

Wiele informacji nie zostało ujętych w tej książce lub zostały opisane szczerzątkowo. Dlatego w tytule jest napisane „Podstawy”. Jeśli ktoś szuka bardziej zaawansowanej wiedzy, proponuję kupienie grubej książki poprzez internet lub w księgarni. Jednocześnie zaznaczam, że nie wszystko co znajduje się w tej książeczce jest również ujęte w grubych księgach. Spora część informacji tu zawartych pochodzi z moich doświadczeń, a pewne zagadnienia postarałem się wytłumaczyć lepiej i jaśniej niż jest to wytłumaczone gdzie indziej. Zachęcam, zatem do lektury.

Zapraszam również do odwiedzenia mojej strony internetowej [www.harrak.pl](http://www.harrak.pl) na której co jakiś czas pojawi się obszerniejsza wersja tej książeczki. Można tam również znaleźć inne ciekawostki.

\* Ta książka została sprawdzona pod względem poprawności wszelkich informacji w niej zawartych, niemniej autor przeprasza jeśli niechcący zawieruszyły się w niej jakieś błędy. Autor nie odpowiada za uszkodzenia sprzętu wynikające z nieprawidłowego zastosowania informacji zawartych w tej książce.

## 2. Dźwięk

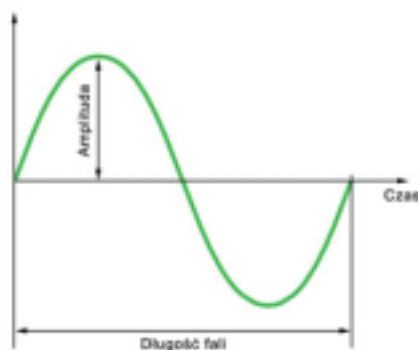
### 2.1 Co to takiego ?

Dźwięk to drgania o różnej częstotliwości przesyłane poprzez materię np. gaz, ciecz czy ciało stałe. Impuls pobudza cząsteczki materii a one wpadają w drgania powodując ruch kolejnych cząsteczek, przemieszczając się chwilowo zmieniają ciśnienie akustyczne i tworzą falę dźwiękową. Oznacza to, że w próżni dźwięk się nie rozchodzi. Prędkość, z jaką rozchodzi się dźwięk zależy od składu materii, jej stanu oraz temperatury.

Częstotliwość, czyli ilość drgań/sekundę wyraża się w Hercach [Hz] w myśl poniższego wzoru, gdzie  $f$  to częstotliwość,  $T$  to czas (1 sekunda) a 1 to okres :

$$f = \frac{1}{T}$$

Jeden okres odpowiada długości fali, która jest zależna od jej częstotliwości. Im niższa częstotliwość tym dłuższy jest jej okres, czyli fala jest dłuższa.



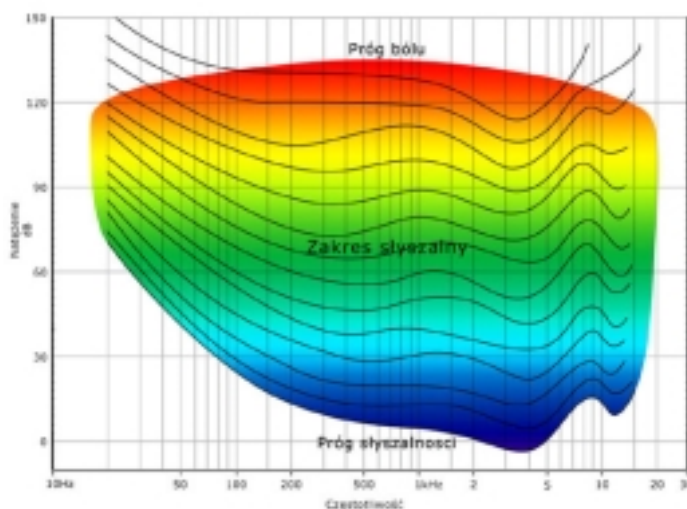
Długość fali można obliczyć wg. następującego wzoru, gdzie  $\lambda$  to długość fali wyrażona w metrach,  $c$  to umowna prędkość dźwięku (340 m/s) a  $f$  to wyżej wspomniana częstotliwość. :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

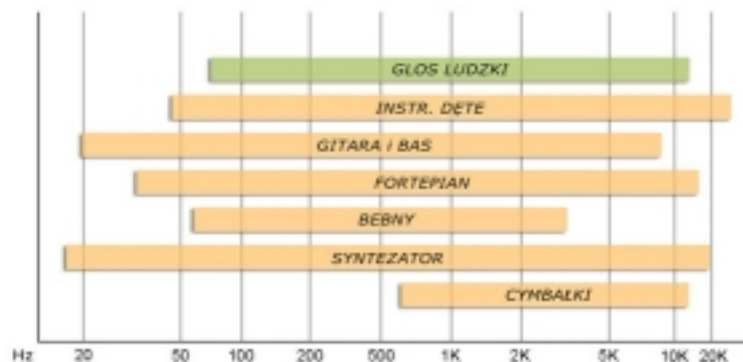
### 2.2 Zakresy i natężenia

Dźwięki słyszalne przez ucho ludzkie stanowią ograniczony zakres częstotliwości i natężeń. Jednak że częstotliwości słyszalne są wystarczające, aby móc się między sobą porozumieć i czerpać przyjemność ze słuchania dźwięków natury oraz instrumentów muzycznych. Zbyt małe natężenie jest oczywiście nie słyszalne, natomiast zbyt wysokie zadaje ból a w konsekwencji niszczy lub uszkadza słuch. Ludzkie ucho ma swoją ochronę przed dużym natężeniem, ale tylko do pewnej granicy.

Poniższy rysunek pokazuje zakres ludzkiego słuchu. Krzywe czułości słuchu pokazują zagłębienie pomiędzy częstotliwościami 2000 i 5000 Hz, z minimum przy ok. 3500 - 4000 Hz. Związane jest to z rezonansem w kanale słuchowym w uchu zewnętrznym. Jest to zakres najwyższej czułości ludzkiego ucha i jednocześnie zakres przeciętnej ludzkiej mowy.



Poniżej pokazano przykładowe uogólnione zakresy częstotliwości głosu ludzkiego oraz różnych instrumentów.

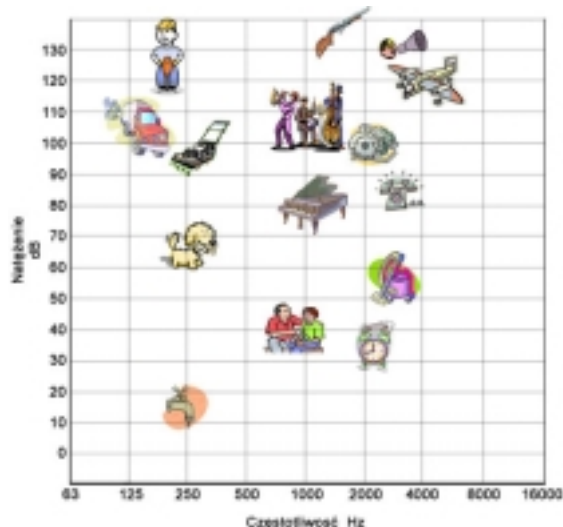


Dźwięki które słyszymy mogą sprawiać nam przyjemność bądź też mogą nas drażnić. Różne osoby różnie reagują na ten sam dźwięk. Zależy to od budowy naszych małżowin usznych a także wieku. Młody człowiek jest w stanie usłyszeć dźwięki o częstotliwości od 16 Hz do 20 kHz, przy odpowiednio wysokim natężeniu. Z wiekiem czułość naszego słuchu dla wysokich tonów pogarsza się. Już po trzydziestce górna granica jaką możemy usłyszeć to 15-16 kHz, by po 60-tce słabo słyszeć dźwięki już powyżej 5-6 kHz. To dlatego osoby starsze w przeciwieństwie do osób młodych są w stanie znieść wysokie ostre tony, co nie oznacza, że nie mogą dostać bólu głowy od zbyt hałaśliwej reszty pasma akustycznego. Także czułość ogólna naszego słuchu pogarsza się z wiekiem. Tutaj jednak często winni jesteśmy sami, bowiem uszkodzenia naszego słuchu wynikają z przebywania w hałaśliwym miejscu. Trwałe ubytki słuchu powodują bardzo krótkie sygnały, ale też i mniej głośne, lecz ekspozowane przez długi czas.

Za bezpieczne uważa się (dziś) dawki hałasu :

- 85 dB przez 8 godzin.
- 88 dB przez 4 godziny
- 91 dB przez 2 godziny
- 100 dB przez 15 minut
- 110 dB i więcej po bardzo krótkim czasie doprowadza do trwałego uszkodzenia naszego słuchu.

Poniżej zostały zobrazowane przeciętne natężenia i częstotliwości różnych źródeł dźwięku :



### 3. Rodzaje głośników

W dziejach ludzkości było wiele pomysłów na wprawienie powietrza w ruch powodując powstawanie dźwięku. Te najbardziej udane są w udoskonalonych postaciach stosowane do dziś. Najstarszym rodzajem głośnika i o niezastąpionych właściwościach jest głośnik Magnetoelektryczny Stożkowy. Niektóre pozostałe rodzaje również są produkowane z powodzeniem, jednak w dużo mniejszych ilościach ze względu na ich ograniczone możliwości i/lub cenę. Poza głośnikami magnetoelektrycznymi stożkowymi i kopułkowymi wysoko cenione są głośniki wstęgowe i elektrostatyczne. Jedną z najnowszych konstrukcji jest głośnik NXT, który jednak ze względu na gorszą jakość dźwięku nie zdobywa zbyt popularności.

Oto niektóre rodzaje głośników :

- Piezoelektryczny
- Elektrostatyczny
- Izodynamiczny
- Jonowy
- Plazmowy
- DML (Distributed Mode Loudspeaker) - NXT
- Magnetoelektryczny
  - Stożkowy
  - Kopułkowy
  - Wstęgowy
  - Manger
  - AMT (Air Motion Transfer)

Najpopularniejsze głośniki magnetoelektryczne to głośniki cewkowe stożkowe i kopułkowe. Stożki mogą być proste, wklęsłe lub wypukłe. Również kopułki mogą być wklęsłe lub wypukłe, lub w kształcie wypukłych pierścieni. Czasami można spotkać głośnik z membraną wyglądającą na płaską, ale w rzeczywistości jest to tylko zewnętrzna część przyklejona do stożka, który może być wykonany z innego materiału. Całkowicie płaska membrana, zwłaszcza przyklejona bezpośrednio do cewki jest niezwykle rzadko stosowana ze względu na duże odkształcenia, jakie występują podczas jej pracy.

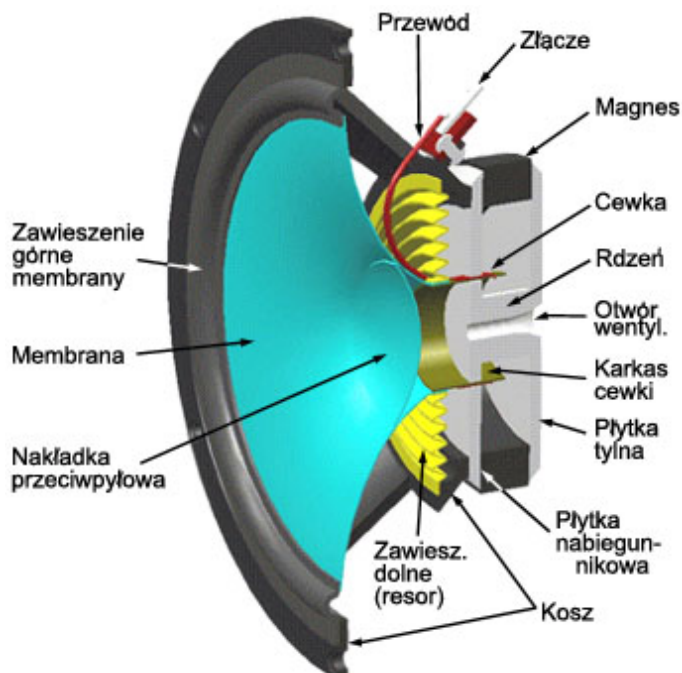
Głośniki stożkowe mogą mieć w centralnej części nakładkę przeciwpylową, korektor fazowy lub małe stożki służące do odtwarzania wyższych średnich i wysokich częstotliwości. W głośnikach poprawnie skonstruowanych a nie tylko „Good Look”, korektory fazowe są stosowane w celu odciążenia membrany i polepszenia rozproszenia dźwięku na boki. A zatem powinny być stosowane w głośnikach średniotonowych lub średnio-niskotonowych. Nakładki przeciwpylowe są również czasami stosowane w głośnikach średniotonowych ze względu na ich konstrukcję i w tanich stożkowych głośniczkach wysokotonowych. Należy pamiętać, że nakładki przeciwpylowe również odtwarzają dźwięk w większym lub mniejszym stopniu zależnie od materiału, z którego są wykonane, kształtu i wielkości. W głośnikach średnio-niskotonowych i basowych nakładka jest czymś normalnym. W głośnikach basowych jest ona czasami o niewiele mniejszej średnicy od membrany. Służy ona do usztywnienia membrany i dodaje masy. Większa masa zależnie od konstrukcji jest bardziej lub mniej pożądana np.: w głośnikach gitarowych jest czasami stosowana nakładka tekstylna w celu minimalizacji masy drgającej.

## 4. Głośnik magnetoelektryczny

### 4.1 Budowa

Głośnik to serce kolumny głośnikowej, która istnieje tylko dlatego, że on "jest". To przede wszystkim od niego zależy czy będziemy zadowoleni z tego, co usłyszymy. Oczywiście im lepszy głośnik tym lepszy dźwięk, ale czy 10 razy droższy głośnik to 10 razy lepszy dźwięk? Pewnie nie, ale różnica jest na tyle duża, że często warto za nią zapłacić, oczywiście w granicach rozsądku. Nie mniej jednak lepszy głośnik to nie tylko lepszy dźwięk, ale lepsza jakość wykonania, lepsze materiały, lepsza technologia a co za tym idzie, mniejsze prawdopodobieństwo, że zaraz się spali, straci parametry po kilku miesiącach grania albo się rozklei.

Poniżej jest przedstawiony przekrój głośnika elektromagnetycznego stożkowego:



Lepsze głośniki mają doskonalsze rozwiązania techniczne, m.in.:

- wentylowany magnes,
- ażurowa konstrukcja kosza (wąskie, opływowe, lecz mocne żebra),
- magnes mocny, ale nie większy od mocowania dolnego zawieszenia, aby zminimalizować powrotne odbicia fal dźwiękowych,
- otwory w karkasie cewki w celu lepszej wentylacji (jeżeli dolne zawieszenie nie jest wentylowane),
- wentylowane dolne zawieszenie,
- wewnętrzny otwór w płytce nabiegunkowej wytoczony.

Poniżej widać różnicę pomiędzy toczonym a tłoczonym otworem w płytce nabiegunkowej. Podczas tłoczenia stal się rwie. Pomiedzy otworem a stemplem tłoczniaka musi być luz, więc płytka od strony uderzenia stempla ma mniejszą średnicę niż z drugiej strony. W rzeczywistości różnica w średnicy wynosi w granicach 1 mm, a na dodatek jest nierówna. W celu uzyskania równej i prostej krawędzi tłoczy się mniejszy otwór i wytacza się go na wymiar. Nie należy się sugerować zewnętrzną krawędzią płytki która jest widoczna, nie każdy głośnik z nierówną krawędzią zewnętrzną ma również nierówną krawędź wewnętrzną.



Oczywiście im doskonalej tym drożej. Z drugiej strony nie wszystkie głośniki wyposażone w najnowszą technikę grają lepiej od tych prostszych i tańszych. Tu ma duże znaczenie m.in. kształt i materiał membrany, materiały pozostałych elementów, jakość i dokładność wykonania, etc.

## 4.2 Zasada działania

Zasada działania głośnika dynamicznego jest następująca; prąd doprowadzony do cewki głośnika (przebieg elektryczny) wytwarza w niej pole elektro-magnetyczne, które nakłada się na stałe pole magnesu znajdujące się w szczelinie magnetycznej (pomiędzy nabiegunnikiem a płytką nabiegunnikową), dzięki temu na przewód cewki działa siła, która wprowadza ją wraz z membraną w ruch, co skutkuje zmianami ciśnienia akustycznego i emisją dźwięku (przebieg akustyczny).

## 4.3 Typy głośników magnetoelektrycznych

*Głośnik wysokotonowy* – posiada delikatną i bardzo lekką membranę na niskiej cewce. Wyjątkiem są głośniki wstęgowe, które nie posiadają cewek drgających, bowiem wstęga zawieszona w polu magnetycznym stanowi za razem przewodnik pola elektromagnetycznego jak i membranę, dzięki czemu układ drgający jest ekstremalnie lekki. Dokładność montażu głośników wysokotonowych jest szczególnie ważna.

*Głośnik średniotonowy* – jest zwykle mniejszy od niskotonowego. Membrana głośnika średniotonowego jest często cieńsza i lżejsza, cewka jest niższa i lżejsza a dolne zawieszenie i czasami górne jest sztywniejsze w porównaniu z gł. niskotonowym, przez co częstotliwość rezonansowa jest wyższa, a dzięki temu membrana szybciej powraca na swoje miejsce po odtworzeniu impulsu dźwiękowego.

*Głośnik niskotonowy* – porównując z głośnikiem średniotonowym, zawieszenie górne membrany jest zwykle większe i cały układ drgający jest bardziej podatny na większe wychylenia. Stosuje się wyższe cewki w celu uzyskania większego maksymalnego liniowego wychylenia membrany (X-Max), co skutkuje uzyskaniem niższej częstotliwości granicznej, ale jednocześnie obniża maksymalne natężenie dźwięku głośnika (SPL) oraz jego wytrzymałość. Dlatego też X-Max powinno być dobrane odpowiednio do danej konstrukcji. Aby głośnik niskotonowy był dopasowany efektywnością do głośnika średniotonowego powinien być odpowiednio większy, lub powinno się zastosować większą ich liczbę.

*Głośnik średnio-niskotonowy* - jest kompromisem pomiędzy głośnikami średniotonowym a niskotonowym. Zwykle np. w układzie dwudrożnym pomiędzy głośnikami wysokotonowym i średnio-niskotonowym podział częstotliwości ustala się niżej niż w połączeniu głośników średniotonowego z wysokotonowym, co wymusza zastosowanie odpowiednio wytrzymałego głośnika wysokotonowego o odpowiednio niskiej częstotliwości rezonansowej.

Typowo w głośnikach średnio-niskotonowych i niskotonowych cewka jest wyższa od szczeliny, chociaż oczywiście są wyjątki. Czasami w głośnikach średniotonowych stosuje się wyższą szczelinę i niższą cewkę (mieszczącą się w szczelinie), natomiast jest to typowe rozwiązanie dla głośników wysokotonowych.

## 4.4 Membrany głośników

Membrany głośników dynamicznych są wykonywane z wielu różnych materiałów i ich kombinacji. Są one wytwarzane różnymi metodami; prasowane, wolnosuszone, wtryskiwane, plecione, grzane, spiekane, ich kombinacje lub inne. Oto niektóre materiały z jakich się je wykonuje :

Materiały membran głośników średniotonowych i niskotonowych		
- celuloza (papier)	- włókna węglowe	- mika
- aluminium	- włókna kevlarowe	- polipropylen (wiele odmian)
- magnez	- włókna szklane	- polimery
- ceramika (spieczone alum.)	- włókna drewniane	- pianka
- tytan	- grafit	
Materiały membran głośników wysokotonowych		
- jedwab	- tytan	- polimery
- inne tekstylia	- kevlar	- grafit
- aluminium	- mylar	- mika
- beryl	- diament	- celuloza

## 4.5 Odpowiedni dobór głośników

Kolumna głośnikowa może nie grać prawidłowo, jeżeli głośniki nie będą współpracowały ze sobą właściwie. Przejścia na częstotliwościach podziału mogą być wyraźnie słyszalne i dźwięk może się okazać nieprzyjemny. Aby właściwie dobrać głośniki trzeba wiedzieć, na jakim poziomie przebiega ich charakterystyka częstotliwościowa, czy jakie rodzaje membran można ze sobą połączyć, aby uzyskać właściwe barwy tonalne. Ale w sumie to rzecz gustu. Ważna jest również „prędkość” głośnika, jedne głośniki są szybsze a inne wolniejsze. Za najszybsze głośniki wysokotonowe uznaje się głośniki wstęgowe. Natomiast głośniki średniotonowe i niskotonowe można niekiedy ocenić po częstotliwości rezonansowej (Fs) i masie układu drgającego (Mms). Ważne są również charakterystyki częstotliwościowe i efektywność. W przypadku np. układu trójdrożnego należy wziąć pod uwagę, że efektywność średnich częstotliwości wzrośnie o kilka decybeli po połączeniu głośnika średniotonowego z głośnikami niskotonowym i wysokotonowym.

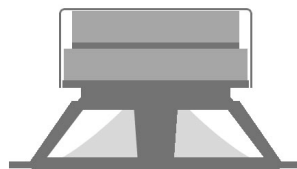


#### 4.6 Ekranowanie magnetyczne

Ekranowanie magnesu stosuje się w celu minimalizacji rozproszenia pola magnetycznego, aby można było ustawić kolumnę głośnikową blisko telewizora lub monitora. Kineskop ze względu na swoją konstrukcję (działo elektronowe) jest bardzo wrażliwy na zewnętrzne pola magnetyczne, które potrafią zniekształcić i odbarwić obraz. Dodatkowy pierścień magnetyczny dokleja się do tylnej płytki głośnika biegunem odpychającym (-). Dodatkowe lub główne korzyści płynące z dodatkowego magnesu to wzrost siły pola magnetycznego w szczelinie, czyli wzrost parametru BL, zwiększona efektywność przeciętnie o ok. 0,5 – 1,0 dB zależnie od głośnika i mocy dodatkowego magnesu i zmniejszenie wartości parametru Qts głównie wskutek zmniejszenia wartości parametru Qes. Fabrycznie ekranowane głośniki mają z reguły mniejszy magnes główny w stosunku do wersji bez ekranowania.



Ekranowanie dodatkowym  
magnezem bez osłony



Ekranowanie dodatkowym  
magnezem i osłoną

#### 4.7 Parametry głośników

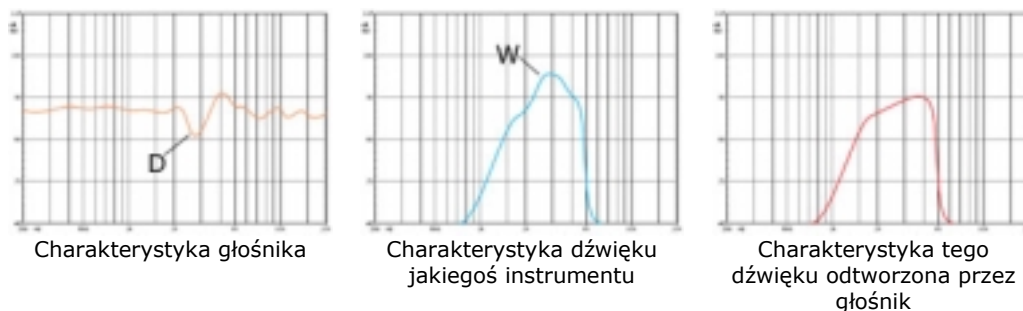
W celu prawidłowego obliczenia obudowy głośnikowej należy sprawdzić, jakimi parametrami charakteryzuje się dany głośnik i wprowadzić te dane do wzorów lub do odpowiedniego programu komputerowego. Poniżej znajduje się tabela z podstawowymi wymaganymi parametrami.

SYMBOL	NAZWA	J / M
<b>SPL</b>	Ciśnienie akustyczne (mierzone z 1m sygnałem 1W lub 2.83V)	dB
<b>X-Max</b>	Maksymalne liniowe wychylenie membrany	mm
<b>X-Dam</b>	Maksymalne wychylenie membrany przed uszkodzeniem	mm
<b>Z</b>	Impedancja znamionowa	$\Omega$
<b>Z<sub>R</sub></b>	Rezystancja promieniowa membrany	$\Omega$
<b>Pe</b>	Moc znamionowa	W
<b>Le</b>	Indukcyjność cewki głośnika	mH
<b>Re</b>	Rezystancja cewki głośnika	$\Omega$
<b>Rdc</b>	Rezystancja cewki głośnika dla prądu stałego	$\Omega$
<b>R<sub>L</sub></b>	Rezystancja cewki zwrotnicy częstotliwościowej	$\Omega$
<b>Vb</b>	Objętość netto obudowy głośnikowej	L
<b>Fs</b>	Częstotliwość rezonansu swobodnego głośnika	Hz
<b>Fc</b>	Częstotliwość rezonansu głośnika w obudowie zamkniętej	Hz
<b>Fb</b>	Częstotliwość rezonansu obudowy z otworem	Hz
<b>Sd</b>	Efektywna powierzchnia membrany	cm <sup>2</sup>
<b>B</b>	Indukcja magnetyczna	T
<b>BL</b>	Siła ciągu elektro-magnetycznego	Tm
<b>Mms</b>	Masa układu drgającego	g
<b>Cms</b>	Podatność mechaniczna membrany	m/N
<b>Rms</b>	Rezystancja mechaniczna	Ns/m
<b>Vas</b>	Objętość powietrza o akustycznej podatności równej podatności zawieszenia	L
<b>V<sub>D</sub></b>	Objętość przemieszczana	L
<b>Qms</b>	Dobroć mechaniczna głośnika (bez obudowy)	-
<b>Qes</b>	Dobroć elektryczna głośnika (bez obudowy)	-
<b>Qts</b>	Dobroć wypadkowa głośnika (bez obudowy)	-
<b>Qtc</b>	Dobroć głośnika w obudowie zamkniętej	-

#### 4.8 Charakterystyka częstotliwościowa

Charakterystyka częstotliwościowa jest bardzo istotnym, jeśli nie najważniejszym elementem każdego głośnika czy zestawu głośnikowego. Równowaga zakresu częstotliwości istotnie wpływa na harmonię całości obrazu muzycznego. Każde zachwianie równowagi tonalnej zmienia barwę, czyli brzmienie muzyki i głosu. Może się okazać, że przy odtwarzaniu śpiewu kobiecego zamiast altu usłyszymy tenor, albo na odwrót. Niektóre dźwięki mogą zostać mocno wyciszone a inne wyeksponowane.

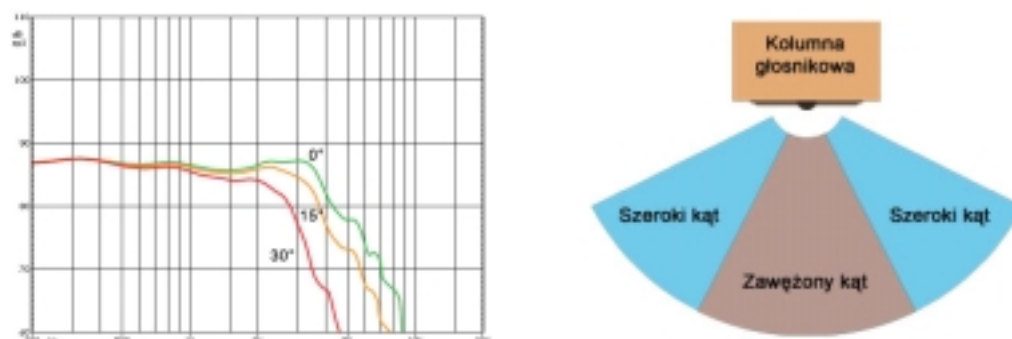
Poniższe wykresy pokazują prosty przykład zafałszowania dźwięku przez źle wykonany zespół głośnikowy. Jak widać na wykresie z prawej strony, dołek (D) na charakterystyce głośnika się wypełnił, a wierzchołek (W) na charakterystyce instrumentu zniknął. A zatem barwa instrumentu została istotnie zmieniona, wbrew intencji twórcy tegoż dźwięku.



Oczywiście niektóre osoby lubią sobie pozmienić brzmienie, ale do takich celów używa się reglatorów na wzmacniaczu, mikserów, itp.

Rozpraszanie średnich częstotliwości na boki jest przede wszystkim zależne od średnicy membrany. Im większa, tym bardziej kierunkowa (gorzej rozprasza). Gdy długość fali dźwiękowej zbliża się do średnicy membrany, następuje jej zanik. Dwie fale o takiej samej częstotliwości ale w fazach przeciwnych o  $180^\circ$  całkowicie się niwelują. Dodatkowo dochodzi fakt, że im wyższa częstotliwość, tym szybciej musi drgać membrana, a ciężka i duża membrana po prostu nie jest dość szybka. Ten problem nie dotyczy tonów niskich.

Jak widać na poniższym wykresie, im większy kąt, pod jakim się słucha, tym większe braki w średnich tonach. Z tego powodu należy odpowiednio nisko wykonywać podział na zwrotnicy (w okolicach zadowalającego rozpraszania).



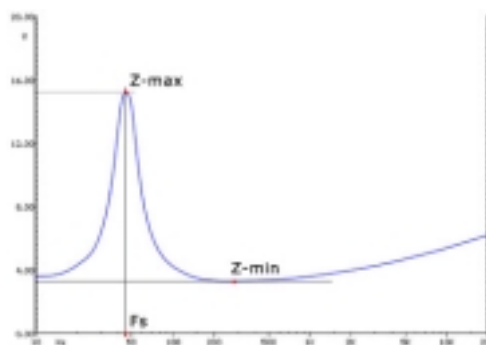
Dla głośnika o charakterystykach jak na powyższym wykresie podział można by określić na maksymalnie 3000Hz, a najlepiej nie więcej niż 2400Hz. Jeśli podział zostałby wykonany zbyt wysoko, to okazałoby się, że np.: głośnik średnio-niskotonowy ma węższe charakterystyki kierunkowe na podziale od głośnika wysokotonowego. Skutkiem takiego stanu rzeczy jest ograniczona przestrzenność zestawu. Taki podział wymaga zastosowania odpowiedniego głośnika wysokotonowego, który sobie bez problemów poradzi przy odpowiednio niskich częstotliwościach.

Głośnik wysokotonowy powinien mieć również odpowiednio niską częstotliwość rezonansową. Spadek charakterystyki przy częstotliwości rezonansowej powinien wynosić min. -15dB od osi głównej charakterystyki częstotliwościowej zespołu, ale zaleca się co najmniej -20dB. Głośniki wysokotonowe mają z kolei problemy z rozpraszaniem najwyższych częstotliwości na boki. Głównie dotyczy to dużych kopułek tekstylnych. Kopułki metalowe mają lepsze właściwości rozpraszające, ale z kolei mogą mieć niepożądane rezonanse podbarwiające w paśmie słyszalnym powyżej swojej częstotliwości rezonansowej (głównie tanie modele) oraz tendencję do metaliczności i wyostrania tonów wysokich, co może być dość nieprzyjemne.

Głośniki w układzie powinny współgrać pod względem prędkości odtwarzania dźwięków, aby nie okazało się, że np. głośnik nisko-średnionowy jest za wolny i nie nadąża za wysokotonowym. Czyli wysokotonowy już wybrzmiał, a głośnik nisko-średnionowy jeszcze coś odtwarza.

## 4.9 Impedancja

Poniżej znajduje się typowy wykres impedancji głośnika zmierzonego w wolnej przestrzeni (bez obudowy) :



- Z-max – określa maksymalną wartość impedancji, która wskazuje na częstotliwość rezonansową głośnika  $F_s$ .  
Z-min – w zaznaczonym punkcie, określa impedancję znamionową głośnika, kwalifikuje głośnik jako znamionowo 4, 6, 8, 12, 14 lub 16 omów.

## 4.10 Wybór właściwej obudowy

Często początkujący zastanawiają się, jakie wartości dobroci  $Q$  są najlepsze. Jest to zależne od obudowy, do jakiej chce się zastosować dany głośnik. Często ocenia się rodzaj obudowy na podstawie parametru  $Q_{ts}$ . Okazuje się, że sprawa nie jest jednak taka prosta. Aby dokładnie to ocenić, należy skorzystać z poniższego wzoru a wynik podstawić do poniższej tabeli.

$$X = F_s / Q_{es}$$

X	Typ obudowy	$Q_{ts}$
< 50	Zamknięta	$\geq 0,5$
50 - 90	Dowolna (zamknięta, bass-reflex, band-pass, inne)	0,3 ~ 0,6
> 90	Otwarta	$\leq 0,5$

$Q_{ms} > 2.00$  - głośnik bardziej dynamiczny

$Q_{ms} < 2.00$  - głośnik mniej dynamiczny

Czasami uważa się, że X-Max dla głośnika do konkretnej obudowy powinien koniecznie wynosić np.: min.  $\pm 4\text{mm}$ . Tymczasem wszystko zależy od przeznaczenia i zastosowania układu. Jeżeli głośnik został błędnie skonstruowany, to przy większych amplitudach układ drgający może uderzać o elementy układu napędowego, co będzie wyraźnie słychać. Czasami nazywa się to „charczeniem”. Inny rodzaj charczenia występuje w momencie, gdy na wzmacniaczu przekręci się gałkę regulacji natężenia w kierunku maximum a moc wzmacniacza okazuje się zbyt słaba i głośnik właśnie „charcze”, pomimo że membrana nie wychyla się zbyt wiele. Należy zatem ostrożnie obchodzić się z głośnikami, aby zapobiec uszkodzeniom.

W dobieraniu właściwych przetworników ważna jest znajomość i doświadczenie. Aby dobrze dobrać głośniki czasami trzeba wykonać próby odsłuchowe z różnymi przetwornikami i obudowami. Przydałby się również odpowiedni sprzęt do wykonania niezbędnych pomiarów i odsłuchu.

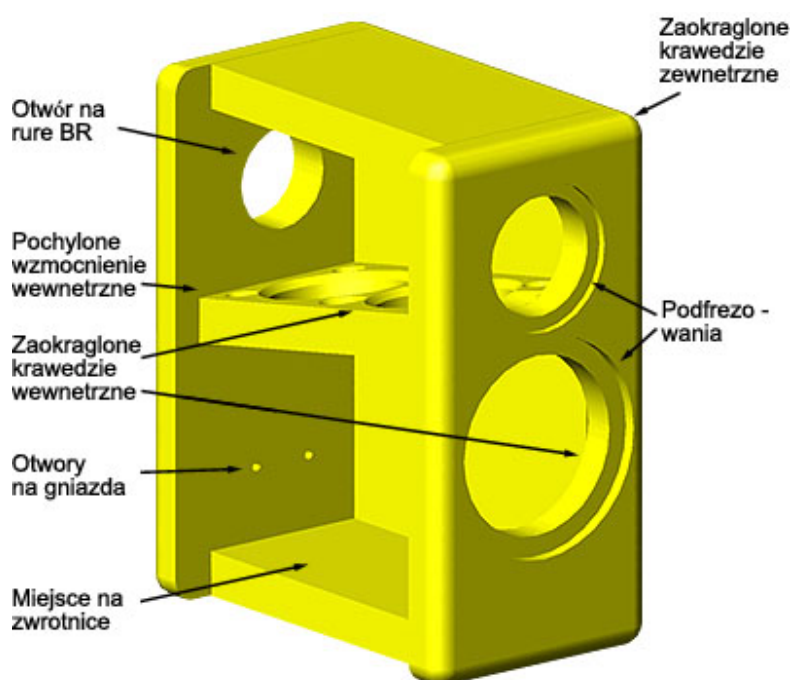
## 5. Obudowa

Obudowa jest bardzo istotnym elementem całej kolumny głośnikowej. Ma ona wpływ na: jakość dźwięku, trwałość zestawu, estetykę wnętrza w którym się znajduje, samopoczucie oraz różne doznania domowników czy gości. Jeśli obudowa będzie skromna i schowana głęboko na półce, a muzyka będzie grała cichutecznie to może nikt nie będzie zwracał na nią uwagi. Ale chyba nie o to chodzi. Aby muzyka była możliwie najprzyjemniej słyszana, kolumny głośnikowe powinny być odpowiednio rozmieszczone a co za tym idzie będą widoczne i będą zwracać na siebie uwagę.

### 5.1 Konstrukcja obudowy

Poniżej znajduje się rysunek przekroju mini-monitora. Jest to prosta obudowa na której wskazano kilka szczegółów wpływających pozytywnie na dźwięk:

- zaokrąglone krawędzie zewnętrzne,
- podfrezowania (wystające ostre krawędzie wprowadzają dewiacje fal dźwiękowych),
- pochylone wzmocnienie wewnętrzne (redukuje powstawanie fal stojących i lepiej wzmacnia konstrukcję),
- zaokrąglone lub fazowane krawędzie otworów wewnątrz obudowy (usprawniają przepływ powietrza i rozpraszanie dźwięku),
- czasami zaleca się osłonięcie głośnika wysokotonowego ścianką odgradzającą.



### 5.2 Materiały na obudowę

Obudowy są wykonywane z wielu różnych materiałów i ich kombinacji. Niektóre z nich to:

- Płyta wiórowa,
- Płyta LDF (Low Density Fiberboard - płyta niskiej gęstości, nie polecam),
- Płyta MDF (Medium Density Fiberboard - płyta średniej gęstości, grubości do ok. 38mm),
- Płyta HDF (High Density Fiberboard - płyta wysokiej gęstości, grubości do ok. 9mm),
- Sklejka (różne gatunki drewna),
- Drewno naturalne: Buk, Mahoń, Jesion, Dąb,
  - Grab (najtwardsze polskie drzewo, ale ma nieciekawe rysy),
  - Heban (wiele odmian, Heban Czarny - najtwardsze drzewo na świecie),
- Kompozyty (żywice itp., jedno lub wielowarstwowe konstrukcje),
- Beton, marmur, granit,
- inne.

W przypadku zastosowania drewna naturalnego należy pamiętać, że powinno ono być bardzo dobrze wysezonowane, deski powinny być wykonane z odpowiednio połączonych klepek, a kierunek klepek zgodny względem poszczególnych ścianek, aby w przyszłości uniknąć przykrych odkształceń i rozejścia się obudowy kolumny głośnikowej.

### 5.3 Kształt obudowy

Kształt obudowy zależy głównie od ilości i wielkości zastosowanych głośników, przeznaczenia oraz upodobań. Ale od jej kształtu zależy jakość dźwięku. A im bardziej obudowa jest nierówna tym mniej będzie w niej powstawać tzw. "fal stojących". Aby to osiągnąć można ścianki obudowy pochylić do siebie pod kątem i uczynić je nierównoległe lub zastosować ścianki o nierównej powierzchni. Dodatkowym problemem jest zły wpływ bezpośrednich odbić dźwięku od tylnej ścianki obudowy na membranę głośnika, które jednak można zniwelować np.: pochylając tylną ściankę do przodu albo zwężając obudowę ku tyłowi aby zminimalizować jej szerokość. Należy również stosować odpowiednie materiały tłumiące i/lub rozpraszające.



### 5.4 Grubość ścianek

Ścianki powinny mieć grubość dostosowaną do wielkości obudowy, wielkości i ilości głośników oraz rodzaju użytego materiału na poszczególne ścianki tejże obudowy. Standardową grubością płyty MDF wykorzystywanej na obudowy jest 19mm. Jednak dla uzyskania optymalnych warunków pracy głośników należy stosować grubsze ścianki ze szczególnym uwzględnieniem ścianki przedniej. Na przykład dla małego minimonitора z płyty MDF ściankę przednią należałoby wykonać o grubości min. 25mm a resztę o grubości min. 19mm.

Najwyższej klasy obudowy konstruuje się ze ściankami dwu lub kilku warstwowymi. Każdy z zastosowanych materiałów ma inne właściwości pochłaniania drgań, tłumienia i rozpraszania dźwięku. Razem takie materiały odpowiednio dobrane i zastosowane mogą stanowić niemalże idealną ścianę obudowy.

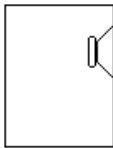
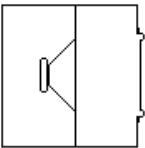
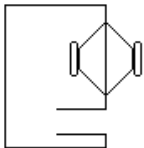
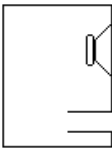
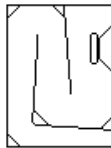

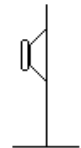
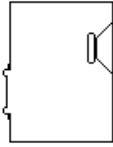
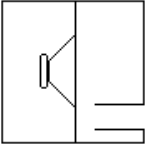
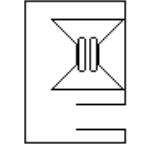
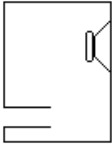
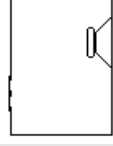
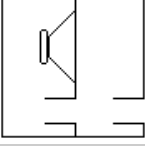
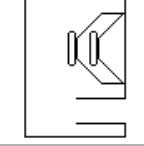
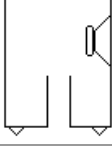
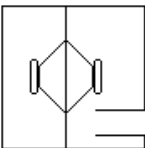
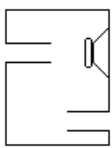
Grubość ścianek ma znaczenie wzięwszy pod uwagę fakt, że obudowa wpada w drgania pod wpływem drgań membran(y) głośnika(ów) a jednocześnie powierzchnia ścianek obudowy jest wielokrotnie większa od powierzchni membran(y) głośnika(ów). Podczas odsłuchu kolumn głośnikowych trudno jest stwierdzić, które dźwięki pochodzą od obudowy, gdy się nie wie które dźwięki pochodzą bezpośrednio z głośników. Zwykle dźwięk z solidniejszej obudowy jest mniej rozmyty, precyzyjniejszy, czystszy, etc.

Poza stosowaniem odpowiednio grubych ścianek, można na ścianki przymocować specjalne materiały np.: mata bitumiczna, która mając dużą gęstość i inną częstotliwość rezonansową, zmniejsza ich drgania.

### 5.5 Wzmocnienia wewnętrzne

Odpowiednia grubość ścianek to nie wszystko. Wzmocnienia wewnątrz obudowy również są potrzebne w celu zminimalizowania drgań ścianek. Nawet w mini-monitorach są stosowane wzmocnienia. Niektórzy producenci trochę przesadzają i idą na całość tworząc tzw. kratownicę "Matrix". Wzmocnienia są potrzebne, ale we właściwej ilości, przesadna ilość wzmocnień może skutkować w zbyt dużej ilości fal stojących powstających pomiędzy wzmocnieniami oraz ograniczonym przepływie powietrza. Wzmocnienia powinny być możliwie solidne i z odpowiednio wykonanymi otworami przewiewowymi. Pochylenie wzmocnienia wewnętrznego może wpłynąć pozytywnie (o ile wszystko zostanie wykonane precyzyjnie), ponieważ powstaje w ten sposób mniej tzw. "fal stojących" wewnątrz obudowy, które wpływają degradująco na dźwięk.

## 5.6 Rodzaje obudów

OBUDOWY ZAMKNIĘTE				OBUDOWY OTWARTE		
ZAMKNIĘTA	PASMOWO-PRZEPUSTOWA	COMPOUND	BAS-REFLEKS	OBUDOWY LABIRYNTOWE		
				Z LINIĄ TRANSMISYJNĄ	TUBOWA	Z ODGRODĄ AKUSTYCZNĄ
						
Zwykła zamknięta	Z membraną bierną	Głośniki do siebie prodami	Z otworem z przodu	Z otworem z przodu	Z otworem z przodu	Zwykła
						
Z membraną bierną (bas-refleks)	Z jedną komorą wentylowaną	Głośniki odwrócone tyłami	Z otworem z tyłu			
						
Z varioventem (element stratny)	Z dwiema komorami wentylowanymi	Jeden głośnik w drugim	Z otworem z dołu			
						
Typu Compound				Z otworami z dwóch stron		

Obudowy mogą mieć praktycznie różne kombinacje otworów, membran biernych czy varioventów, w różnych ilościach i z dowolnej strony obudowy. Ograniczeniem jest wyobraźnia konstruktora. Jednak każda kombinacja niesie za sobą inny dźwięk. Im bliżej podłogi jest otwór, głośnik czy membrana bierna tym więcej basu odtwarza, natomiast im bliżej środka komory głośnikowej tym bas jest lepiej kontrolowany i dokładniejszy. Należy również pamiętać, że otwór o zbyt małej średnicy w stosunku do powierzchni i  $x_{max}$  głośnika będzie wytwarzał zbyt głośny szum. Przy wyborze obudowy z otworem lub membraną bierną z tyłu, trzeba wziąć pod uwagę, że taka obudowa musi zostać odpowiednio oddalona od tylnej ściany pomieszczenia odsłuchowego. Wielkość odstępów od ściany wpływa na zakres i wielkość podbicia niskich częstotliwości. Natomiast gdy otwór czy membrana bierna jest z przodu to kolumna jest łatwiej ustawialna i nie wymaga tak dużo miejsca z tyłu.

Oto w skrócie opisy niektórych typów obudów;

**Obudowa Zamknięta** – podstawowy typ obudowy, stosowany od zawsze. Jest to zwykła skrzynka w pełni szczelna i zwykle mocno wytłumiona, aby zapobiec podbarwieniom dźwięku. Obudowa Zamknięta została jednak wyparta przez obudowę Bas-refleks.

**Bas-refleks** - (bass-reflex ang.), rezonator Helmholtza, jest to otwór np. w postaci rury, najczęściej wykonanej z tworzywa sztucznego, umieszczonej w ścianie kolumny głośnikowej, która pozwala na swobodny ruch powietrza i ciśnienia akustycznego pomiędzy komorą głośnikową a otoczeniem. Dzięki takiemu rozwiązaniu wykorzystywany jest dźwięk emitowany przez tylną stronę membrany głośnikowej. Pozwala to na uzyskanie większego ciśnienia akustycznego w najniższych częstotliwościach w porównaniu z obudową Zamkniętą. Wymaga jednak zastosowania głośników o innych parametrach, zwykle z mocniejszym układem napędowym. Niewłaściwe zestrojenie zwykle skutkuje podbitym ale płytkim basem, lub basem nisko schodzącym ale wyciszonym, i/lub słyszalnymi rezonansami.

*Membrana Bierna* – jest to rodzaj bas-refleksu, lecz w postaci membrany nieprzepuszczającej powietrza do otoczenia, lecz tylko ciśnienie akustyczne. Membrana taka powinna mieć większą powierzchnię od membrany głośnika basowego. Czasami masę membrany biernej, w celu właściwego dostrojenia, można regulować specjalnymi ciężarkami wykonanymi np.: ze stali ocynkowanej.

*Linia Transmisyjna* – jest to zwykle obudowa od początku do końca w postaci długiego tunelu zwężającego się lub obudowa z komorą głośnikową, od której odchodzi bardzo długi tunel zwężający się. Przypomina trochę obudowę bas-refleksu, ale jest bardziej złożona. Prawidłowe obliczenie takiej obudowy jest o wiele trudniejsze. W przypadku bas-refleksu można np. bez problemu skrócić długość rury, natomiast odcięcie kawału obudowy jest zdecydowanie trudniejsze. Zaletą odpowiednio skonstruowanej Linii Transmisyjnej jest fakt, że fala akustyczna wytworzona przez głośnik trafia w tunel bezpowrotnie, a zatem wprowadza minimalne zniekształcenia odbiciami powrotnymi, jakie występują w obudowach Zamkniętych czy Bas-refleks. Aby jednak odnieść całkowitą korzyść z głębokiego basu, jaki daje taka obudowa trzeba bardziej odkręcić pokrętkę głośności na wzmacniaczu.

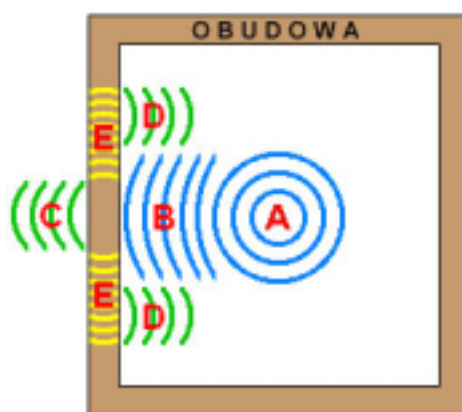
*Obudowa Tubowa* – jest to zwykle obudowa od początku do końca w postaci długiego tunelu rozszerzającego się. Przypomina trochę trąbkę. Charakteryzuje się wysoką sprawnością, czyli uzyskuje wyższe ciśnienie akustyczne z takiego samego głośnika niż przy zastosowaniu konwencjonalnej obudowy. Przed przystąpieniem do wykonania takiej obudowy (tak jak w przypadku obudowy transmisyjnej) należy bardzo starannie ją obliczyć, ponieważ nie będzie możliwości wprowadzenia znacznych zmian po jej wykonaniu. Obudowa tubowa ma pewne wady, m.in. trudno jest uzyskać liniowy przebieg charakterystyki częstotliwościowej. Ponadto głośników do zastosowań w tubie o minimalnych zniekształceniach jest niewiele. Jeśli natomiast uda się ją poprawnie wykonać, to nagrodzi ona właściciela dźwiękiem donośnym, o brzmieniu lekkim, wysokiej dynamice w górnej części, i bardzo rzeczywistym jeśli chodzi o perkusję, orkiestrę, jazz czy rock.

Układ głośników *Compound (Isobaric)*, czyli dwa głośniki pracujące razem (jeden za drugim) w zgodnym ruchu membran pozwala na zmniejszenie wielkości objętości komory głośnikowej o połowę przy podobnie nisko schodzącym basie. Głośniki powinny być (najlepiej) identyczne. Taki układ świetnie nadaje się do samochodu, gdzie jest mało miejsca w bagażniku. Montując głośniki stronami odwrotnymi np.: przodami do siebie, jeden z głośników podłącza się z przeciwną polaryzacją.

Układ głośników *Push-Push*, czyli dwa głośniki umieszczone na przeciw siebie działające w fazie, ale odwrócone do siebie tyłami lub przodami. Dzięki takiemu układowi obudowa wpada w mniejsze drgania niż jakby głośniki zostały umieszczone nie naprzeciw siebie lub na jednej ścianie. Rozwiązanie to jest zwykle stosowane w wąskich obudowach, które nie mają miejsca na przedniej ścianie na duże basowe głośniki. Umieszczane są one na bocznych ściankach dokładnie na przeciw siebie.

## 5.7 Rozchodzenie się dźwięku wewnątrz obudowy

Jak widać na poniższym rysunku, obudowa nie tylko przepuszcza dźwięk na zewnątrz ale również tworzy własny, tak zwaną "grę obudowy". Dźwięk obudowy jest tworzony również wskutek drgań pochodzących bezpośrednio od samego głośnika.



- A - źródło dźwięku (głośnik),
- B - dźwięk oraz drgania wyemitowane przez głośnik,
- C - dźwięk wyemitowany przez głośnik oraz obudowę,
- D - dźwięk odbity oraz wyemitowany przez obudowę,
- E - dźwięk pochłonięty przez obudowę.

Każdy mistrz konstruujący obudowy ma swoje doświadczenie i tajemnice, które dobrze strzeże. Dlatego często kolumny znanych i cenionych producentów są bardzo drogie. Aby dobrze skonstruować i wykonać obudowę, potrzeba czasami dużo czasu i doświadczeń, i oczywiście trzeba mieć odpowiedni sprzęt do wykonania ich oraz sprzęt pomiarowy.









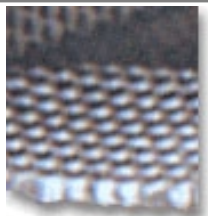

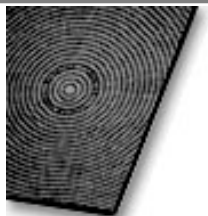



## 6. Wytłumienie

Wytłumianie komory głośnikowej jest rzeczą normalną i słuszną. Oczywiście są wyjątki, w których nie trzeba stosować wytłumienia z pewnych względów, np.: bardzo niska częstotliwość górna (max. do 150Hz) i nierównoległe ścianki. W większości przypadków komór głośnikowych wytłumienie jest potrzebne ze względu na fakt, że fale dźwiękowe, które są wytwarzane przez tylną część membrany głośnika odbijają się wewnątrz komory głośnikowej i wracają z powrotem uderzając o nią od tyłu, co źle wpływa na przetwarzanie dźwięków przez membranę i zakłóca jej pracę. Fale te oczywiście również uderzają o magnes i kosz głośnika wprowadzając je w dodatkowe, choć niewielkie drgania. Innym powodem stosowania wytłumienia jest fakt, że dźwięk wytworzony wewnątrz komory głośnikowej przechodzi przez ścianki obudowy na zewnątrz i degraduje dźwięk powstały przez przednią część membrany głośnika.

### 6.1 Materiały tłumiące

Poniżej znajduje się zestawienie różnych materiałów tłumiących:

POCHŁANIAJĄCE DRGANIA		POCHŁANIAJĄCE I ROZPRASZAJĄCE DŹWIĘK		
POCHŁANIAJĄCE		POCHŁANIAJĄCO-ROZPRASZAJĄCE	ROZPRASZAJĄCE	
				
Mata bitumiczna	Materiał kilkuwarstwowy	Wełna owcza	Gąbka czopkowa	Rozpraszacze drewniane
				
Płyta metalowa		Wata syntetyczna	Gąbka piramidkowa	Kratka metalowa
				
	Filc gruby			Mata rozprasz.
				
	Filc cienki			

Niektóre firmy stosują ścianki w których jest zamknięty piasek, ale z doświadczenia nie polecam tego rozwiązania, są prostsze, tańsze i skuteczniejsze metody. Niektórzy wykorzystują płyty metalowe np.: miedziane, ołowiane czy mosiężne, ze względu na ich masę i różne częstotliwości rezonansowe.



## 6.2 Jak i ile wytłumić

Komorę głośnikową należy wytłumić w celu likwidacji niepożądanych fal dźwiękowych wytwarzanych przez tylną stronę membrany głośnika i drgań ścianek obudowy. Ścianki obudowy wytwarzają fale dźwiękowe wewnątrz obudowy i emitują dźwięk na zewnątrz. Przy konstruowaniu obudowy głośnikowej należy wziąć pod uwagę wielkość i masę największych głośników oraz powierzchnię poszczególnych ścianek zapewniając konstrukcji odpowiednią sztywność.

Przy wytłumianiu obudowy zaleca się zastosowanie kilku różnych materiałów w ilościach zależnych od ich pojemności. Na ścianki można przykleić samoprzylepne maty bitumiczne lub materiał warstwowy (mata bitumiczna z gąbką lub filcem). W sumie, sposobów wytłumiania obudowy jest bardzo wiele.

Stopień wytłumienia komory głośnikowej zależy m.in. od rodzaju i przeznaczenia głośnika, kształtu komory głośnikowej i jej rodzaju. Do wytłumiania obudów stosuje się różne materiały o różnych gęstościach i kształtach.

Oto typowe wielkości wypełnień komór głośnikowych typowymi materiałami tłumiącymi (wata, gąbka) :

TYP GŁOŚNIKA	TYP KOMORY	STOPIEŃ WYTŁUMIENIA
wysokotonowy	wentylowana	brak lub częściowe
wysokotonowy	zamknięta	brak, częściowe lub całkowite
średnionowy	zamknięta	częściowe lub całkowite
średnionowy	wentylowana	częściowe
średnio-niskotonowy	zamknięta	częściowe lub całkowite
średnio-niskotonowy	wentylowana	częściowe
niskotonowy	zamknięta	częściowe lub całkowite
niskotonowy	wentylowana	brak lub częściowe

Prawidłowe wytłumienie obudowy wbrew pozorom wcale nie jest takie proste jak mogłoby się zdawać. Aby osiągnąć maksymalnie dobry efekt należy wykonać wiele prób i odsłuchów, jeśli jest możliwość należałoby dokonać pomiarów. Należy pamiętać, że im więcej materiału tłumiącego tym większa jest pozorna objętość komory dla głośnika, bas schodzi niżej ale robi się cichszy i traci nieco na dynamice. Podczas obliczania pojemności komory głośnikowej nie należy uwzględniać materiałów tłumiących.

## 7. Zwrotnica

### 7.1 Przeznaczenie zwrotnicy

Zwrotnica częstotliwościowa składa się z filtrów akustycznych. Ma ona za zadanie podzielić zakres częstotliwości dźwięku na kilka podzakresów. Każdy głośnik otrzymuje wydzielony zakres częstotliwości, w którym pracuje optymalnie. Pasywne zwrotnice umieszczane są pomiędzy wyjściem wzmacniacza a głośnikiem. Zbudowane są z cewek, kondensatorów i rezystorów (oporników). Niestety sygnał akustyczny zostaje przez zwrotnicę częściowo zdegradowany, w najlepszym przypadku w sposób niesłyszalny. Dlatego należy przestrzegać zasady: możliwie mało elementów w zwrotnicy, ale tak dużo, jak tylko jest konieczne. Wybór najlepszego układu zależy w dużym stopniu od zastosowanych głośników. A zatem należy poświęcić wiele uwagi zwrotnicy, bowiem ma ona bardzo duży wpływ na rezultat brzmienia.

### 7.2 Elementy zwrotnicy

*Kondensator* - składa się z dwóch przewodzących prąd powierzchni, które są od siebie odizolowane. Między tymi powierzchniami wytwarza się pole elektryczne. Ze względu na to, że impedancja dla małych częstotliwości jest duża, a dla dużych jest mała, przy pomocy kondensatora można oddzielić od siebie małe i duże częstotliwości. Wartości kondensatorów [C] dla zwrotnic głośnikowych mierzy się w mikro Faradach [ $\mu$ F]. Kondensatory jednak są również wykonywane dla różnych napięć [VDC/VAC]. Łącząc 2 kondensatory równolegle otrzymujemy sumę ich wartości.

*Cewka* - składa się z przewodu w postaci drutu lub folii zwiniętej w okrąg. Pod względem elektrycznym cewki zachowują się dokładnie odwrotnie niż kondensatory, tzn. tworzą one pole magnetyczne i stawiają słaby opór małym częstotliwościom a duży wysokim. Za ich pomocą można też oddzielić od siebie małe i duże częstotliwości. Wartości cewek [L] dla zwrotnic głośnikowych mierzy się w mili Henrach [mH]. Cewki zależnie od przekroju zastosowanego przewodu stanowią również opór [R]. Cewka filtrująca ma zasadniczy wpływ na zachowanie się głośnika, bowiem indukcyjność i rezystancja cewki połączonej szeregowo z głośnikiem dodają się do wartości cewki głośnika, przez co w sumie zwiększają się jego wartości  $Q_{es}$  i  $Q_{ts}$ . Cewek nie łączy się w celu otrzymania większej wartości.

*Rezystor* - są dwa podstawowe rodzaje oporników stosowanych w zwrotnicach; ceramiczne i metalizowane. Rezystor ceramiczny składa się z drutu nawiniętego na pałeczkę z tworzywa umieszczoną w ceramicznej obudowie i zalanej substancją ceramiczną. Z powodu nawiniętego przewodu wytwarza się indukcyjność, która w tym przypadku jest niepożądana. Bezindukcyjnym rezystorem jest rezystor metalizowany. Przeciętny rezystor metalizowany składa się z ok. 49% chromu (Cr), ok. 49% niklu (Ni) i ok. 2-3% dodatków. Wartości rezystorów [R] do zwrotnic głośnikowych mierzy się w omach [ $\Omega$ ]. Rezystory są wykonywane dla różnej mocy mierzonej w Watach [W]. Powinny one być tak dobrane, aby przy pełnym obciążeniu się nie przegrzewały. Łącząc 2 rezystory (powinny mieć taką samą wartość) równolegle otrzymujemy rezystor o oporności o połowę mniejszej ale o wytrzymałości na moc [W] dwukrotnie wyższej. Czasami stosuje się taki zabieg dla głośnika wysokotonowego w celu uzyskania lepszego dźwięku. Są firmy które robią rezystory „audiofilskie” o specjalnym składzie, np.: Mills.

### 7.3 Zalety i wady poszczególnych filtrów

Im mniejsze nachylenie spadku charakterystyki tym słabiej są tłumione częstotliwości, które są bardzo oddalone od optymalnego zakresu stosowania. Powoduje to np.: że głośnik wytwarza zniekształcenia nielinearne przy częstotliwości rezonansu. Przy zbyt niskim podziale częstotliwości, zbyt mały spadek może doprowadzić do uszkodzenia głośnika średnionowego lub wysokotonowego. Natomiast im bardziej strome zbocze charakterystyki częstotliwościowej tym niższy podział można wykonać dla danego głośnika nie narażając go na uszkodzenie i omijając jego częstotliwość rezonansową.

Ale z drugiej strony im mniej elementów w filtrze i im mniejsze są ich wartości, tym mniejsza degradacja jakości sygnału dźwiękowego. Ponadto przeznaczając podobną ilość pieniędzy na mniejszą ilość elementów do zwrotnicy, można wybrać lepsze, a za tym idzie oczywiście dalsza poprawa jakości sygnału dźwiękowego. Natomiast, jeżeli zbocza podziału będą zbyt strome to istnieje ryzyko, że zmiana brzmienia w granicach podziału może być zbyt słyszalna a tym samym nie zbyt przyjemna.

### 7.4 Filtry a impedancja głośnika

Filtr częstotliwościowy działa prawidłowo tylko gdy impedancja głośnika jest stała i wynosi tyle ile zostało przyjęte do obliczania zwrotnicy np.: 4 lub 8 ohm. Oczywiście nigdy tak nie jest. Ponadto jak już wspomniałem wcześniej, elementy filtru wpływają na parametry głośnika. Indukcyjność cewki głośnika może powodować dodatkowy wzrost impedancji w okolicach częstotliwości podziału. Wielkość tego wzrostu jest zależna od zastosowanych filtrów i spadków na podziale. Nie mniej można jednak takie podbicie zredukować przy pomocy układu RLC czyli rezystora, cewki i kondensatora połączonych równolegle z głośnikiem. Dobranie odpowiednich wartości niestety nie jest proste.

## 7.5 Rodzaje filtrów

Poniżej są pokazane rodzaje filtrów równoległych stosowanych w zwrotnicach. Istnieją również filtry szeregowe, które są powiązane ze sobą (np.: wysokotonowy ze średnio-niskotonowym), są bardziej skomplikowane i mają na siebie istotny wpływ, i właśnie z tego powodu nie polecam takiego rozwiązania.

Rodzaje filtrów równoległych:

FILTRY CZĘSTOTLIWOŚCIOWE			
1-go rzędu	2-go rzędu	3-go rzędu	4-go rzędu
Teoretyczne nachylenie zbocza			
6 dB / oktawę	12 dB / oktawę	18 dB / oktawę	24 dB / oktawę
Filtr górnoprzepustowy - dla głośnika wysokotonowego			
Filtr pasmowo-przepustowy - dla głośnika średnionowego			
Filtr dolnoprzepustowy - dla głośnika nisko i/lub średnio-niskotonowego			
Różnica faz na częstotliwości podziału			
90°	0°	90°	0°
Różnica faz głośników - średnionowy / wysokotonowy (Odległość od osi głośników - 15 cm) z odległości 3 m przy podziale - 3000 Hz			
20°			
Spadek efektywności			
-1.8 dB	-0.1 dB	-1.8 dB	-0.1 dB
Różnica faz głośników - niskotonowy / średnionowy (Odległość od osi głośników - 35 cm) z odległości 3 m przy podziale - 500 Hz			
12°			
Spadek efektywności			
-1.0 dB	-0.05 dB	-1.0 dB	-0.05 dB
DODATKOWE OBWODY			
Kompensacja impedancji	Tłumik gł. wysokotonowego		

Zdarza się oczywiście, że filtr 2-go rzędu daje nachylenie zbocza częstotliwościowego 1-go lub 3-go rzędu, filtr 1-go rzędu daje nachylenie 2-go rzędu itp. Wszystko zależy od charakterystyk i właściwości użytych głośników. Tłumik stosuje się w celu zmniejszenia efektywności głośnika wysokotonowego, który często ma wyższą efektywność od pozostałych głośników. Tłumika nie stosuje się do pozostałych głośników.

Kompensacja impedancji stosowana jest w celu wyrównania charakterystyki impedancji, czyli obniżenia wierzchołków na charakterystyce impedancji, które występują w okolicach podziałów częstotliwościowych pomiędzy głośnikami. Służy to głównie lepszej współpracy kolumn ze wzmacniaczami lampowymi i niektórymi tranzystorowymi.

## 7.6 Zgranie fazowe

Głośnik jest skomplikowanym systemem drgającym, składającym się ze sprężyn i mas, których prędkość stale się zmienia. Nic więc dziwnego, że przy promieniowaniu różnych częstotliwości dochodzi do opóźnień czasowych jednych fal względem drugich. Zjawisko to określa charakterystyka fazowa. Przy różnicy faz rzędu  $180^\circ$  dochodzi do zupełnego zaniku dźwięku. Zatem należy koniecznie uwzględnić charakterystykę fazową przy projektowaniu i wprowadzaniu poprawek podczas pomiarów.

W ścisłym związku z przebiegiem fazy akustycznej znajduje się środek promieniowania akustycznego. Jest to punkt z którego emitowane są fale akustyczne. Dźwięk potrzebuje określonego czasu, aby od otrzymania impulsu elektrycznego na zaciskach głośnika dotrzeć do słuchacza. Środek promieniowania występuje na wysokości cewki głośnika. Im głośnik ma głębszy kosz tym dalej znajduje się cewka od przedniej ścianki obudowy i tym większe jest opóźnienie tym spowodowane. Również odległości i ewentualne przesunięcia pomiędzy poszczególnymi głośnikami mają wpływ na charakterystykę fazową.

Różne czasy przebiegu dźwięku zauważalne są jako przesunięcie fazowe, a zatem przy obliczaniu zwrotnicy należy wziąć pod uwagę:

- środek promieniowania,
- moduł i fazę ciśnienia akustycznego,
- moduł i fazę impedancji,
- przesunięcie fazowe spowodowane różnymi centrami promieniowania głośników w zestawie.

Przy podłączaniu głośników i poszczególnych elementów należy uważać na biegunowość, ponieważ podłączenie jednego głośnika odwrotną polaryzacją spowoduje ostry spadek w okolicy podziału częstotliwości. Kształt obudowy oczywiście również ma wpływ nie tylko na przebieg charakterystyki częstotliwościowej, ale i na przebieg charakterystyki fazowej.

Wielkości te uzależnione są od konkretnej częstotliwości. Wykonanie obliczeń przy pomocy kalkulatora jest zbyt skomplikowane i czasochłonne. W związku z tym stosuje się programy komputerowe, do których należy wprowadzić z jak największą dokładnością parametry i krzywe charakterystyk, inaczej program nie będzie w stanie wykonać prawidłowej symulacji. Nie mniej wynik i tak będzie bardzo odbiegał od rzeczywistości. Aby dopracować układ należy wykonać niezbędną (za zwyczaj dużą) ilość pomiarów systemem pomiarowym i korekt.

## 7.7 Filtry teoretyczne a rzeczywiste

Istnieją wzory na obliczanie zwrotnic częstotliwościowych dla danych podziałów przy danej impedancji (poniżej), lecz jest to tylko teoria. Głośniki nie mają idealnych charakterystyk częstotliwości, impedancji i fazy, ponadto indukcyjność i rezystancja elementów filtru wpływają na parametry głośnika. W związku z tym po podłączeniu głośników do teoretycznej zwrotnicy, jest konieczne wielokrotne przeprowadzenie pomiarów i poprawek zanim "dostroi" się zwrotnicę do konkretnej kolumny głośnikowej. Przy źle zestrojonej zwrotnicy mogą powstawać ponadto zbyt duże różnice fazowe.

Zastosowanie najlepszych i najdroższych głośników nie da dobrego rezultatu, jeśli zwrotnica nie będzie optymalnie dobrana. Również próba poprawienia źle dostrojonej zwrotnicy przez wymianę tanich cewek i kondensatorów na lepsze, jest bezcelowa. Tylko ich prawidłowe zestrojenie spowoduje wyrównanie przebiegu charakterystyki częstotliwościowej, bez podbić i dziur. Jest to warunkiem otrzymania jak najdoskonalszego brzmienia.

Wzory na obliczenie filtru 1-go rzędu :

Cewka filtru dolnoprzepustowego :

$$L = \frac{Z}{2\pi \cdot f_G}$$

Kondensator filtru górnoprzepustowego :

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot Z \cdot f_G}$$

Wzory na obliczenie filtru 2-go rzędu :

Cewka filtru górno i dolnoprzepustowego :

$$L_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot Z}{2\pi \cdot f_G}$$

Kondensator filtru górno i dolnoprzepustowego :

$$C_1 = \frac{\sqrt{2}}{4\pi \cdot f_G \cdot Z}$$

## 8. Okablowanie

Okablowanie kolumny głośnikowej wykonuje się przewodem głośnikowym o stosownej jakości w stosunku do użytych głośników. Przekrój kabla zależy od jego długości, impedancji znamionowej i mocy głośnika. Minimalne wymagania odnośnie budowy to odpowiednio wykonane skręcenie drucików w wiązce. Reszta to rzecz gustu, osobistych preferencji brzmieniowych i ideologicznych. Okablowania kolumny głośnikowej nie należy lekceważyć. Przewody jak i połączenia mają istotny wpływ na dźwięk. Ale z drugiej strony nie należy przesadzać.

Poniżej znajduje się tabela służąca do właściwego doboru przekroju przewodu zależnie od jego długości i impedancji znamionowej głośnika.

Dobór Przekroju Kabla w Zależności od Jego Długości i Impedancji Głośnika											
Długość	1	1,5	2	3	4	5	7	9	14	20	m
4 ohm	1	1,5	2	2,5	3	4	6	10			mm <sup>2</sup>
6 ohm	0,8	1	1,5	2	2,5	3	4	6	10		mm <sup>2</sup>
8 ohm	0,5	0,8	1	1,5	2	2,5	3	4	6	10	mm <sup>2</sup>

Niemniej przewody głośnikowe powinny być jak najkrótsze, ze względu na rezystancję, pojemność, indukcyjność, naskórkowość i z powodu strat, jakie dźwięk ponosi przebywając "wyboistą drogą" przez kryształki metalu, zanieczyszczenia i pułapki (bąbelki powietrza) przewodnika. Dla głośników w jednej kolumnie długości kabli mogą się różnić, lecz Prawa i Lewa kolumna powinny mieć przewody do poszczególnych głośników o takiej samej długości. Przewody nie powinny być pod żadnym pozorem skręcane w cewki itp., ponieważ wprowadza to zakłócenia i zmiany w równowadze sygnału pomiędzy Prawą i Lewą kolumną, może powstać dodatkowy niepożądany filtr zmieniający charakterystykę częstotliwościową głośnika. Przy podłączaniu należy oczywiście pamiętać o biegunowości.

Jak wiadomo sygnał dźwiękowy może przenieść częstotliwości od kilku herców do kilkudziesięciu kiloherców, zależnie od formatu nagrania (CD, DVD, SACD, etc.). Oczywiście człowiek o dobrym (zdrowym) słuchu usłyszy tylko od 20Hz do 20kHz a niższe częstotliwości poczuje.

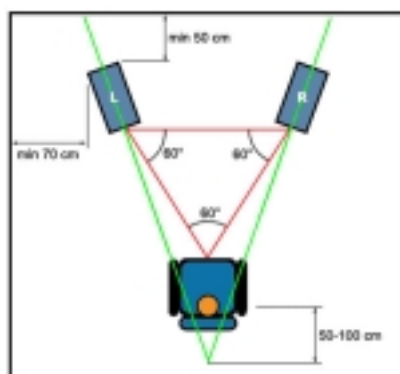
Naskórkowość przewodu natomiast rośnie ze wzrostem częstotliwości i o dziwo maleje ze wzrostem rezystancji, dzięki czemu np. przewodnik węglowy (Van den hul) okazuje się być bardzo dobrym.

## 9. Ustawienie zespołów głośnikowych

W wielu przypadkach głównym problemem i ograniczeniem właściwego odbioru muzyki jest pomieszczenie. Czasami powstaje sytuacja, w której głośnik gra dobrze tylko w określonej pozycji i w określonym pomieszczeniu. Nadmierne wytłumianie wszelkich odbić w celu osiągnięcia równiejszej charakterystyki może doprowadzić do "martwego dźwięku". Jednocześnie złe ustawienie czy wytłumienie może doprowadzić do powstania chaosu w dźwięku, braku przestrzeni, itp. Czasami wydaje się, że jest świetnie, rewelacyjnie, ale tylko do momentu, gdy "usłyszymy" różnicę, oczywiście w porównaniu z lepszym ustawieniem. Sposobem na te problemy jest zredukowanie "efektu pomieszczenia" do minimum szukając najlepszego miejsca dla kolumn głośnikowych i słuchacza na podstawie kryterii psychoakustycznych.

Informacje przestrzenne odnoszące się do źródła dźwięku są głównie odbierane przez pierwsze 800 mikrosekund, ponieważ to jest maksymalne opóźnienie pomiędzy oboma uszami. Słyszalność tonowa rozpoczyna się poza tym wstępnym oknem czasowym. Ten fenomen został niedawno dowiedziony przez naukowców i częściowo odnosi się do powodu, z którego człowiekowi udało się przeżyć przez tak długi okres pomimo wielu panujących niebezpieczeństw. Co więcej mózg ludzki w odpowiedzi na pierwszą falę dźwiękową, która jest oddzielona w czasie od pierwszego odbicia, spostrzeże efektywnie równą falę zapewniając, że źródło jest równe w warunkach bezechowych (efekt Haas'a).

Konsekwentnie rozwiązaniem problemu wzajemnych oddziaływań głośnik - pokój jest maksymalne zwiększenie opóźnienia wczesnych odbić. Jednym z optymalnych sposobów ustawiania kolumn głośnikowych i miejsca odsłuchowego stereo jest pokazane na rysunku poniżej. Pomiędzy kolumnami a słuchaczem powinien powstać trójkąt Isoclesa. Odległości pomiędzy jedną kolumną a drugą i kolumnami a słuchaczem powinny być takie same i wynosić najlepiej od 2,5 do 3,5 m. Natomiast osie kolumn powinny się krzyżować ok. 0,5 - 1,0 m za słuchaczem.

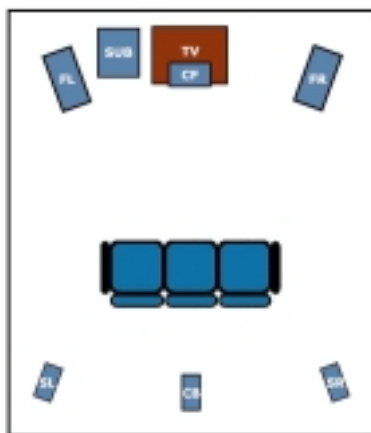


Ustawienie systemu Stereo

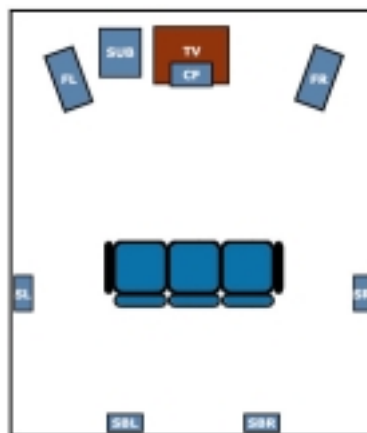
Różnice nawet kilku centymetrów mogą spowodować efekt filtru grzebieniowego pomiędzy kolumnami a w konsekwencji mogą doprowadzić do utraty skupienia dźwięku. Najlepiej jak by różnica pomiędzy charakterystykami dźwiękowymi kolumn była by zerowa. Miejsce siedzące powinno być odpowiednio oddalone od ścian oraz mebli (wysokie szafki itp.). Im bliżej ścian tym bardziej podbity jest bas i zachwiana stereofonia.

Kolumny powinny znajdować się również na odpowiedniej wysokości. Z reguły ustawia się je tak aby głośnik wysokotonowy znajdował się na wysokości uszu słuchacza ( ok. 90-100 cm). Powyżej i poniżej tej wysokości charakterystyka głośnika staje się nierówna a odbicia od podłogi i ścian mają większy wpływ na nią.

W przypadku kina domowego ustawienie kolumn głośnikowych nastrocza o wiele więcej problemów, ale nie ma się co przejmować, zawsze można się co jakiś czas pobawić lub ustawić estetycznie i dać sobie spokój. Obecnie jest kilka systemów kina domowego które dyktują ilości i rodzaje kolumn.



Ustawienie systemu Home Cinema  
DTS-ES, Dolby Digital EX (6.1)



Ustawienie systemu Home Cinema  
THX-EX (7.1)

Systemy DTS, Dolby Digital (AC3) i Dolby ProLogic II korzystają z układu 5.1, czyli pięciu kolumn dookólnych i jednego ale aktywnego (z własnym wzmacniaczem) subwoofera. Zestaw kolumn składa się z 2 głównych, 2 tylnych (satelity) i jednego centralnego.

Nowsze wersje tych systemów pod nazwami DTS-ES i Dolby Digital EX korzystają z układu 6.1, czyli układu 5.1 z drugą kolumną centralną ale z tyłu, zwykle taką jak tylne satelity.

System THX również korzysta z układu 5.1 w starszej wersji ale nieco innych kolumn satelit. Otóż satelity te ustawiane są po bokach głównego siedziska (np.: kanapy), wzdłuż osi miejsc na głowy słuchaczy. Często takie satelity są dipolowe, czyli mają po 2 zestawy głośników na 2 stronach obudowy a obudowy są np. trapezowe, dzięki czemu głośniki nie są skierowane prosto na słuchaczy i wykorzystują ściany na odbicia dźwiękowe. Niestety takie rozwiązanie nie nadaje się do każdego pomieszczenia.

System THX-EX korzysta z układu 7.1, czyli 5.1 z dwoma dodatkowymi satelitami umieszczonymi na tylnej ścianie pomieszczenia odsłuchowego. Są to z reguły takie same satelity jak te boczne.

Satelity naścienne powinno się mocować na ścianie ok. 50 – 80 cm powyżej miejsca odsłuchowego i powinny one być skierowane na miejsce odsłuchowe.