

**Małgorzata
Przedpeńska - Bieniek**

Dźwięk i akustyka. Nauka o dźwięku.



Wydawnictwo
SONORIA

**Małgorzata
Przedpełska-Bieniek**

**Dźwięk i akustyka.
Nauka o dźwięku.**

Wydawnictwo Sonoria

Dźwięk i akustyka. Nauka o dźwięku.

© Sonoria Warszawa 2011 r.

Skrypt został opracowany na podstawie książki *Dźwięk w filmie*. Przeznaczony jest dla realizatorów i producentów filmowych i telewizyjnych, studentów i słuchaczy szkół filmowych, aspirantów do zawodu operatora dźwięku oraz wszystkich, których interesuje dźwięk.

© **Autor Małgorzata Przedpelska-Bieniek**

Zdjęcie na okładce: Sylwester Wojcieszek

Projekt okładki: Sebastian Nowacki

Redakcja: Paulina Tyburska,

Korekta: Mariola Łyczewska,

Rysunki na podstawie pozycji wymienionych w bibliografii: Justyna Nowakowska,

Przygotowanie rysunków do druku: M.Majewski (1 wyd.), S.Nowacki (2 wyd.)

Zdjęcia: A.Artymowicz, B.Domański, Ł.Kordafel, R.Skłódowski, D.Suske, A.Wilk, M.J.Zabłocki, J.Zawadzki

Autorka serdecznie dziękuje wszystkim swoim współpracownikom i kolegom, którzy pomagali przy powstawaniu książki *Dźwięk w filmie* (w szczególności M.Bukojemskiemu, M.Lewandowskiej, G.Lindemannowi i R.Skłódowskiemu, którzy byli jej pierwszymi czytelnikami, wnikliwymi krytykami i korektorami, a wreszcie recenzentami powstałego tekstu) oraz obecnej serii skryptów, zgłaszali tematy wymagające rozszerzenia i poprawienia, udostępniali posiadane, często unikatowe materiały.

SONORIA 2011 r.

Siedziba: 00-735 Warszawa, ul. Iwicka 19/43

biura i studia: 02-727 Warszawa, ul. Wernyhory 13 a

tel. (+48 22) 853 60 51, 853 60 52

faks (+48 22) 258 17 05

www.sonoria.pl

e-mail katalog@sonoria.pl

Sprzedaż książki w wersji papierowej prowadzimy za pośrednictwem księgarni internetowej [www. Audiologos.pl](http://www.Audiologos.pl)

Sprzedaż książek i skryptów w wersji @ book prowadzimy za pośrednictwem www.virtualo.pl

ISBN 978-83-928642-8-8

Dźwięk w filmie, wyd.1, APF sp. z o.o. Warszawa 2006 r., Współpraca Studio Filmowe Montevideo Sp. z o.o., redakcja M.J. Zabłocki, ISBN 978-83-923823-0-0

Dźwięk w filmie, wyd. 2, Wydawnictwo Sonoria, Warszawa 2009 r., Współpraca S.Nowacki - dtp7.pl, C.Krasieńko - KRA-BOX, ISBN 978-83-928642-0-2

Wstęp

Autorka niniejszej publikacji Małgorzata Przedpeńska-Bieniek od wielu lat pracuje jako realizator dźwięku przy różnego typu formach audiowizualnych. Swoją wiedzę dzieli się również ze studentami kilku polskich uczelni wyższych. I to właśnie głównie z myślą o nich powstała niniejsza publikacja.

Dźwięk jest falą. Akustyka to dziedzina, która bada zjawiska związane z oddziaływaniem fal akustycznych. Zarówno pod względem teoretycznym, jak i praktycznym. Poza swoją rolę w przemyśle fonograficznym, akustyka jest istotna również w wielu innych dziedzinach nauki, takich jak: oceanografia, przemysł lotniczy czy samochodowy.

Niniejsza książka ma na celu zapoznać czytelnika z informacjami dotyczącymi dźwięków, ich charakterystyką i zjawiskami, jakie im towarzyszą. Stąd podział na osiem tematycznych rozdziałów. Każdy z nich odnosi się do innego zagadnienia. Poczynając od wiedzy ogólnej, dochodzimy do wiadomości czym jest dźwięk, jakie może mieć wysokości i barwę, ale również jak zbudowane są nasze narządy słuchu i jak lokalizujemy dźwięki w przestrzeni. W późniejszych rozdziałach omawiane są kwestie odpowiedniej adaptacji pomieszczeń, w których mogą odbywać się nagrania dźwięków. Cała wiedza zawarta w książce ma nam przybliżyć, często niedoceniany zmysł, jakim jest słuch. Warto zastanowić się co możemy zrobić, żeby jak najlepiej go wykorzystywać. Aby odpowiedzieć sobie na to pytanie trzeba posiadać wiedzę związaną z dziedziną, jaką jest akustyka. Niniejsza publikacja ma właśnie przybliżyć te kwestie.

Przykłady praktyczne, o których pisze autorka książki zostały zaczerpnięte z jej własnego doświadczenia oraz doświadczenia tych, z którymi miała przyjemność pracować. Duża ilość rysunków i tabel zawartych w publikacji, z pewnością pomoże jeszcze lepiej zrozumieć omawiany temat.

Książka zainteresuje wszystkich, którzy chcą posiąść lub choćby uporządkować swoją wiedzę z zakresu informacji związanych z dźwiękiem i akustyką.

Paulina Tyburska

Wstęp	3
1. Wiadomości wstępne	5
1.1. Źródła dźwięku	5
1.2. Drganie ciał sprężystych.....	6
2. Fale dźwiękowe	8
3. Obiektywne (fizyczne) wielkości charakteryzujące falę dźwiękową	10
4. Słuch.....	15
4.1. Budowa ucha.....	15
4.2. Działanie narządu słuchu.....	19
4.3. Problemy w działaniu narządu słuchu	20
4.4. Lokalizacja dźwięków w przestrzeni	21
5. Subiektywna (fizjologiczna) ocena dźwięku	23
5.1. Wysokość dźwięku.....	23
5.1.1. Zapis nutowy	24
5.1.2. Interwały i strój	26
5.1.3. Badania nad wzajemnymi korelacjami dźwięków	30
5.1.4. Systemy i skale muzyczne	34
5.1.5. Słuch muzyczny	37
5.2. Głośność	38
5.3. Obszar słyszalności	41
5.4. Barwa dźwięku.....	45
5.4.1. Rodzaje dźwięków.....	46
5.4.2. Tony różnicowe.....	48
5.5. Czas trwania dźwięku.....	49
5.6. Artykulacja.....	51
6. Zjawiska towarzyszące falom dźwiękowym	52
6.1. Wzajemne oddziaływanie fal dźwiękowych.....	52
6.2. Rozchodzenie się fal dźwiękowych w pomieszczeniach zamkniętych.....	57
6.3. Pogłos	60
6.4. Rozchodzenie się fal dźwiękowych w przestrzeni otwartej	64
7. Akustyczne przystosowanie pomieszczeń.....	65
7.1. Adaptacje pomieszczeń akustycznych	65
7.2. Izolacyjność pomieszczeń	67
8. Psychoakustyka.....	69
8.1. Różnice w odbiorze wrażeń wzrokowych i słuchowych.....	72
8.2. Różnice między słuchaniem bezpośrednim a pośrednim	75
BIBLIOGRAFIA	79
Dźwięk i akustyka (nauka o dźwięku) - Spis rysunków	81

1. Wiadomości wstępne

Dźwiękiem (ang. *sound*) nazywamy wrażenie słuchowe spowodowane drganiami akustycznymi i wywołane docierającą do ucha falą akustyczną. Jeżeli zmiany te są niezbyt wolne i nie za szybkie, to nasze ucho odbiera je jako dźwięk. Można też powiedzieć inaczej. Fale dźwiękowe to forma rozchodzenia się zmian ciśnienia atmosferycznego wywołanego drganiami. Dźwiękiem nazywamy takie zmiany ciśnienia, które są rejestrowane przez ucho. Jest to nasz subiektywny obraz docierających do ucha fal akustycznych.

Akustyka (gr. *akouein* – słuchać, ang. *acoustic*) przez wieki była działem fizyki, powiązaniem z biologią. Jest nauką o dźwięku i rozchodzeniu się fal akustycznych. Zajmowała się wrażeniami słuchowymi, wywołanymi docierającą do uszu falą akustyczną. Obecnie uzyskała samodzielność i obszar jej zainteresowań rozszerzył się o elementy wielu nauk takich jak informatyka, elektronika, mechanika, architektura, urbanistyka, muzykologia, psychologia, lingwistyka, medycyna, fizjologia, meteorologia, oceanologia, ekologia, a nawet religia. Nauką wyrastającą z takich wspólnych doświadczeń jest prężnie rozwijająca się **psychoakustyka**. Zajmuje się zjawiskami akustycznymi w odniesieniu do człowieka. Z niej wyrastają kolejne dziedziny, takie jak kształtowanie świata dźwięków np. w pomieszczeniach, protetyka słuchu, czy ochrona przed hałasem.

1.1. Źródła dźwięku

Aby powstał dźwięk, potrzebne jest źródło, a więc coś, co spowoduje zaburzenie dające początek fali i środowisko, które umożliwi rozchodzenie się fali. **Źródłem dźwięku** (ang. *sound source, ton source*) może być każde ciało sprężyste. **Środowiskiem** (ang. *environment*), w którym rozchodzi się dźwięk, może być gaz, ciecz lub ciało stałe. Potrzebny jest też **odbiornik**, który spostrzeże zaistnienie zjawiska. Dopiero w nim drgania ośrodka są interpretowane, jako dźwięk. Takim odbiornikiem jest nasze ucho, a ośrodkiem interpretującym mózg. Z punktu słyszenia ucha możemy powiedzieć, że dźwięk to pobudzenie narządu słuchu, wywołane odbiorem fali dźwiękowej. Źródła dźwięku mogą być:

- **naturalne** - występujące w przyrodzie. Np. odgłosy burzy, lawiny, strumyka czy deszczu, dźwięki wydawane przez zwierzęta, a przede wszystkim przez człowieka;
- **sztuczne** - skonstruowane przez człowieka. Np. maszyny, urządzenia, większość instrumentów muzycznych. Nie zawsze wydają z siebie dźwięki dla nas przyjemne.

Źródła dźwięku rozróżniamy na podstawie ich brzmienia, które zapamiętujemy i umiemy porównać z odbieranym zjawiskiem. Wszystkie dźwięki występujące w przyrodzie są wielotonami. Każdy dźwięk jest inny, bo ma inny zestaw tonów składających się na dany wieloton. Szczególnym przypadkiem jest wieloton harmoniczny, którego składowe układają się w zorganizowany szereg (składowe harmoniczne 1: 2: 3: 4) i w takim przypadku wieloton ma swoją wysokość, którą określamy jako najniższą jego składową. Natomiast wzajemne

proporcje głośności składowych powodują, że umiemy rozróżnić źródła dwóch dźwięków o tej samej wysokości. Jesteśmy tu dokładni. Umiemy np. rozróżnić głosy różnych gatunków zwierząt czy różne instrumenty muzyczne, ale też rozróżnimy głosy dwóch psów czy dwóch par skrzypiec.

1.2. Drganie ciał sprężystych

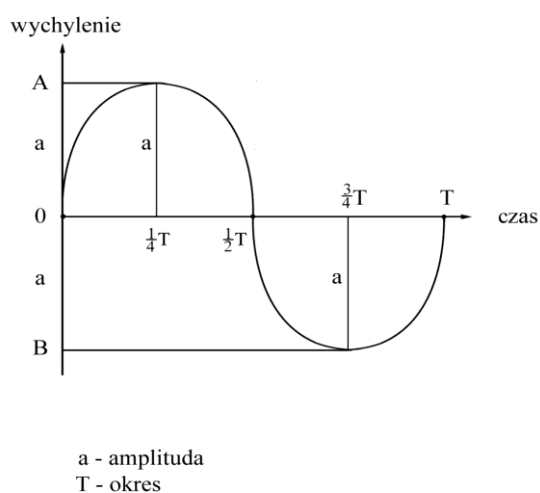
Istotą powstawania dźwięku jest drganie czy wibrowanie ciał sprężystych. **Sprężystość** jest to właściwość umożliwiająca ciału samorzutne przeciwstawianie się próbom zniekształcenia jego formy, a jeżeli zniekształcenie nastąpi, samoistny powrót do formy pierwotnej. Dzięki sprężystości wysokie drzewa nie łamią się pod wpływem wiatru, można skakać na batucie, a resory amortyzują wstrząsy pojazdów. Sprężystość może być:

- **naturalna** występuje samoistnie. Naturalnie sprężyste są drzewa;
- **sztuczna** występuje wtedy, gdy ktoś swoim działaniem ją wymusza: naciąga cięciwę łuku, strunę instrumentu lub płachtę ratowniczą. W takim przypadku sprężystość danego ciała współdziała ze sprężystością innego, na które zostało napięte.

Punktem wyjścia jest zawsze wytrącenie ciała sprężystego z równowagi w punkcie „O”. Częstka, kiedy znajdzie się w nowym położeniu „A”, próbuje wrócić do poprzedniego miejsca „O”, ale poruszając się ruchem jednostajnie przyspieszonym - mija go. Wtedy ruch zostaje zwolniony, ale i tak osiąga punkt „B”. Tu się zatrzymuje i udaje w drogę powrotną. Tworzy się swoisty łańcuch wydarzeń:

O – A – O – B – O – A – O – B.....

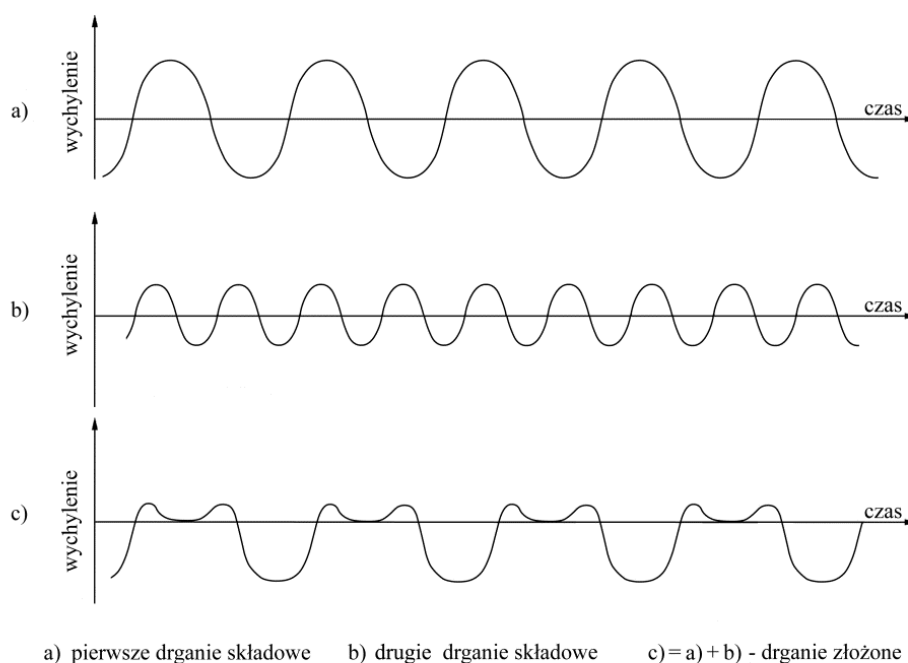
Taki ruch nazywamy **ruchem harmonicznym prostym** (rys.1) lub drganiem prostym i ma on kształt sinusoidy.



Rys. 1. Ruch harmoniczny prosty

Dźwięk jest zjawiskiem falowym (fala akustyczna ang. *acousttic wave*, *sound wave*). Największe wychylenie cząstki nazywamy **amplitudą (A)**. Miejsce najwyższego odchylenia to **grzbiet**, najniższego – **dolina**. Grzbiet wraz z doliną to **długość fali (λ)** (ang. *wavelength*). Miejsce przejścia fali przez oś to **węzeł**. Fala ma charakter okresowy (periodyczny), czyli te same położenia cząstek, w czasie ich drgania, powtarzają się cyklicznie. Czas, w jakim fala osiągnie ponownie tę samą fazę ruchu nazywamy **okresem (T)**. Szybkość drgania to **częstotliwość (f)**. Jednostką częstotliwości drgań (czyli ilości drgań w ciągu 1 sekundy) jest **1 Herz (Hz)**.

Amplituda oznacza jednocześnie największą wartość **ciśnienia akustycznego** (ang. *sound pressure*), a okres to czas do wykonania pełnej zmiany ciśnienia, co jest jednoznaczne z dwoma długościami fali. W czasie takiego cyklu ciśnienie akustyczne przechodzi różne fazy, od maksymalnego nadciśnienia do maksymalnego podciśnienia, stąd w języku potocznym zmiany parametrów fali nazywamy **fazą**. **Przesunięcie fazy** oznacza spotkanie dwóch drgających cząstek będących na innym etapie trwającego cyklu. Przesunięcie fazy (ϕ) mierzymy w radianach.



Rys. 2. Drganie złożone

W praktyce drgania proste występują rzadko. Zazwyczaj ciała sprężyste drgają jednocześnie w kilku kierunkach, z różną częstotliwością i amplitudą. Badał to Daniel Bernoulli (1700-1782), a udowodnił w 1822 r. z czysto matematycznego punktu widzenia Joseph Fourier (1768-1830) i sformułował prawo, według którego *każda funkcja okresowa jest sumą składowych funkcji harmonicznych*¹. Taką kombinację stanowią też wszystkie

¹ Makarewicz Rufin: Dźwięki i fale, Wydawnictwo Naukowe UAM Poznań 2004 r., str.28