

**Małgorzata
Przedpeńska - Bieniek**

Dźwięk w filmie

Wydawnictwo
SONORIA
=====



Fachowa literatura w zasięgu ręki



www.audiologos.pl

**SPECJALISTYCZNA KSIĘGARNIA INTERNETOWA
poleca polskie i zagraniczne książki
w następujących działach tematycznych:**

ELEKTROAKUSTYKA I TECHNIKA CYFROWA

TECHNIKA STUDYJNA I REALIZACJA NAGRAŃ

STUDIO KOMPUTEROWE

TECHNIKA NAGŁOŚNIENIOWA

AKUSTYKA WNĘTRZ

DŹWIĘK W FILMIE I MULTIMEDIA

MUZYKA I AKUSTYKA MUZYCZNA

PSYCHOAKUSTYKA I OCHRONA SŁUCHU

AKUSTYKA FIZYCZNA



**Małgorzata
Przedpeńska - Bieniek**

Dźwięk w filmie

Wydawnictwo
SONORIA


Wydawca: © **Sonoria Warszawa 2009r.**

Książka przeznaczona jest dla realizatorów i producentów filmowych i telewizyjnych, studentów i słuchaczy szkół filmowych, aspirantów do zawodu operatora dźwięku oraz wszystkich, których interesuje technika audiowizualna i problematyka udźwiękawiania różnych gatunków i form filmowych, z uwzględnieniem warunków technologicznych i organizacyjnych współczesnej i historycznej kinematografii i telewizji polskiej.

Autor: © **Małgorzata Przedpelska-Bieniek**

Projekt okładki: Sebastian Nowacki

Zdjęcie na okładce: Stół mikserski sali zgraniowej TOYA SOUND STUDIOS w Łodzi

Redakcja i korekta: Helena Zalewska

Rysunki na podstawie pozycji wymienionych w bibliografii: Justyna Nowakowska

Przygotowanie rysunków do druku: Maciej Majewski i Sebastian Nowacki

Zdjęcia: Andrzej Artymowicz, Błażej Domański, Łukasz Kordafel, Karol Mańkowski, Michał Przybysz, Radosław Skłodowski, Dorota Suske, Aleksandra Wilk, Jarosław Zawadzki oraz materiały uzyskane dzięki uprzejmości firm Konsbud Audio i TOYA Studios

Autorka serdecznie dziękuje wszystkim swoim współpracownikom i kolegom, którzy pomagali przy powstawaniu tej książki, zgłaszali wymagające rozszerzenia i poprawienia w pierwszym wydaniu, udostępniali posiadane, często unikatowe materiały. Szczególne podziękowania autorka składa Michałowi Bukojemskiemu, Katarzynie Ćwikilewicz i Radosławowi Skłodowskiemu, którzy byli jej pierwszymi czytelnikami, wnikliwymi krytykami i korektorami, a wreszcie recenzentami powstałego tekstu.

Adres wydawcy:

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: księgarnia internetowa AUDIOLOGOS, www.audiologos.pl

wydanie 2 uaktualnione

ISBN 978-83-928642-0-2

Skład: Sebastian Nowacki – dtp7.pl

Druk i oprawa: KRA – BOX

Wydanie pierwsze: Agencja Producentów Filmowych sp. z o.o. Warszawa 2006 r.

Współpraca przy pierwszym wydaniu: Studio Filmowe Montevideo sp. z o.o.

Redakcja: Michał J. Zabłocki.

Spis treści

Wstęp	7
Rozdział 1. Dźwięk i akustyka	
1.01. Źródła dźwięku	9
1.02. Drganie ciał sprężystych	9
1.03. Głos	11
1.04. Instrumenty muzyczne	15
1.04.01. Klasyfikacja instrumentów muzycznych	15
1.04.02. Elektrofony	19
1.04.02.01. Elektrofony elektryczne	20
1.04.02.02. Elektrofony elektromechaniczne	26
1.04.03. Klasyfikacja zespołów muzycznych	30
1.04.04. Partytura	33
1.05. Fale dźwiękowe	34
1.06. Obiektywne wielkości charakteryzujące falę dźwiękową	35
1.07. Słuch	38
1.07.01. Budowa ucha	38
1.07.02. Działanie narządu słuchu	40
1.07.03. Lokalizacja dźwięku w przestrzeni	41
1.08. Subiektywna ocena dźwięku	43
1.08.01. Wysokość dźwięku	44
1.08.01.01. Zapis nutowy	44
1.08.01.02. Strój	46
1.08.01.03. Skale	49
1.08.01.04. Słuch muzyczny	50
1.08.02. Głośność	51
1.08.02.01. Obszar słyszalności	54
1.08.03. Barwa dźwięku	56
1.08.03.01. Rodzaje dźwięków	58
1.08.03.02. Tony różnicowe	59
1.08.04. Czas trwania dźwięku	60
1.08.05. Artykulacja	62
1.09. Wzajemne oddziaływanie fal dźwiękowych	62
1.10. Rozchodzenie się fal dźwiękowych	64
1.11. Rozchodzenie się fal dźwiękowych w pomieszczeniach zamkniętych	65
1.12. Pogłos	67
1.13. Adaptacja pomieszczeń akustycznych	70
1.14. Izolacyjność pomieszczeń	71
1.15. Rozchodzenie się fal dźwiękowych w przestrzeni otwartej	73

1.16. Psychoakustyka	73
1.17. Różnice w odbiorze wrażeń wzrokowych i słuchowych	75
1.18. Różnice między słuchaniem bezpośrednim a pośrednim	78

Rozdział 2. Dźwięk i elektroakustyka

2.01. Historia	81
2.02. Tor przetwarzania sygnałów dźwiękowych	83
2.03. Postać przebiegów akustycznych w torze fonicznym	84
2.04. Połączenia elementów toru fonicznego	86
2.05. Systemy rejestrowania i przetwarzania dźwięku	90
2.06. Źródła sygnału fonicznego	95
2.07. Mikrofony	96
2.07.01. Parametry użytkowe mikrofonów	97
2.07.02. Podział mikrofonów ze względu na sposób oddziaływania fal dźwiękowych na membranę	99
2.07.03. Podział mikrofonów ze względu na sposób przetwarzania drgań membrany	100
2.07.04. Mikroporty	105
2.07.05. Przystawki mikrofonowe	106
2.07.06. Osprzęt mikrofonowy	107
2.08. Konsolety i stoły mikserskie	108
2.09. Regulacja poziomu i wzmocnienia	110
2.10. Modyfikatory dźwięku	113
2.10.01. Korekcja	113
2.10.02. Kompresja	115
2.10.03. Pogłos	117
2.10.04. Inne modyfikatory dźwięku	123
2.10.05. Modelowanie akustyczne dźwięku	124
2.10.06. Kształtowanie obrazu przestrzennego dźwięku	124
2.10.07. Pitch shift i time shift	125
2.11. Montaż dźwięku	128
2.12. Rekonstrukcja dźwięku	132
2.13. Mastering dźwięku	134
2.14. Głośniki i słuchawki	136
2.14.01. Słuchawki	137
2.14.02. Głośniki	139
2.15. Mierniki	145
2.16. Przesyłanie materiałów dźwiękowych na odległość	149
2.17. Rejestracja dźwięku	159
2.18. Mechaniczny zapis i odczyt sygnałów fonicznych	161
2.18.01. Zapis analogowy dźwięku na płycie winylowej	162
2.18.02. Gramofon	163
2.18.03. Zapis cyfrowy dźwięku na płycie kompaktowej	165
2.18.04. Odtwarzacz płyt kompaktowych	168

2.19. Zapis i odczyt sygnałów fonicznych na taśmie światłoczułej	169
2.20. Magnetyczny zapis i odczyt sygnałów fonicznych	177
2.20.01. Klasyfikacja magnetofonów	178
2.20.02. Magnetofony analogowe	180
2.20.03. Analogowe taśmy magnetofonowe	183
2.20.04. Wieloślady	186
2.20.05. Systemy redukcji szumów	187
2.20.06. Magnetofony cyfrowe	188
2.20.07. Zapis obrazu z dźwiękiem na taśmie magnetycznej	191
2.21. Synchroniczny zapis i odczyt dźwięku	192
2.22. Współczesne metody rejestracji dźwięku	198
2.22.01. Rejestratory twarodyskowe	198
2.22.02. Komputerowe programy dźwiękowe	200
2.22.03. Możliwości komputerowych programów dźwiękowych	203
2.22.04. Komputerowe nośniki dźwięku	208
2.23. Komputerowe formaty zapisu dźwięku	215
2.24. Wymagania stawiane kandydatom na realizatorów dźwięku	221

Rozdział 3 Dźwięk i film

3.01. Historia dźwięku w filmie niemym	223
3.02. Początki dźwięku – film dźwiękowy	227
3.03. Zawartość ścieżki dźwiękowej filmu	232
3.04. Metody realizacji dźwięku w filmie	234
3.05. Synchronizacja obrazu i dźwięku w filmie	239
3.06. Filmowy montaż dźwięku	254
3.06.01. Opisywanie materiałów dźwiękowych do montażu	257
3.06.02. Segregowanie materiałów dźwiękowych na poszczególnych śladach ..	259
3.06.03. Prowadzenie notatek	260
3.07. Rola dźwięku w filmie	262
3.08. Dźwięk przestrzenny – rozwój formatów	263
3.08.01. Formaty kinowe	236
3.08.02. Formaty telewizyjne i kino domowe	272
3.09. Filmowe zawody dźwiękowe	276
3.10. Produkcja kinowego filmu fabularnego	280
3.10.01. Okres poprzedzający realizację filmu	280
3.10.02. Okres przygotowawczy	281
3.10.03. Okres zdjęciowy	286
3.10.04. Postprodukcja kinowego filmu fabularnego	291
3.10.04.01. Postprodukcja obrazu	292
3.10.04.02. Udźwiękowienie	296
3.10.04.03. Zgranie filmu	314
3.10.05. Prace końcowe	320
3.11. Produkcja dźwięku do innych form audiowizualnych	321
3.11.01. Telewizyjny film fabularny	322

3.11.02. Serial telewizyjny	323
3.11.03. Telenowela, sitcome itp.	323
3.11.04. Teatr telewizji	324
3.11.05. Film animowany	325
3.11.06. Film dokumentalny	326
3.11.07. Reportaż lub news	328
3.11.08. Program telewizyjny	329
3.11.09. Film promocyjny	329
3.11.10. Reklama	330
3.11.11. Opracowania filmów zagranicznych	331
3.11.12. Opracowanie filmów dla potrzeb kaset VHS i płyt DVD	333

Rozdział 4. Muzyka i film

4.01. Problemy muzyczne do rozwiązania na etapie scenariusza	337
4.02. Wykorzystywanie gotowych utworów	338
4.02.01. Utwory chronione	338
4.02.02. Dozwolony użytek	341
4.02.03. Nadania utworu	343
4.02.04. Ustalenie autorstwa i tytułu oraz istnienia i miejsca jego ochrony	344
4.02.05. Licencja	346
4.02.06. Prawa pokrewne do utworu	350
4.03. Umowy twórców	352
4.04. Dodatkowe wynagrodzenia twórców	354
4.04.01. Tantiemy	354
4.04.02. Organizacje zbiorowego zarządzania prawami autorskimi	355
4.04.03. Dokumentacja	356
4.05. Naruszenia praw twórców	362
4.06. Polskie prawo autorskie i przepisy regulujące polski rynek medialny w świetle przepisów międzynarodowych	367
4.07. Problemy muzyczne w okresie przygotowawczym filmu	372
4.08. Problemy muzyczne w okresie zdjęciowym filmu	375
4.09. Muzyka w okresie postprodukcji filmu	375
4.09.01. Montaż obrazu	375
4.09.02. Muzyka ilustracyjna komponowana	376
4.09.03. Inne formy ilustracji muzycznej	377
4.09.04. Archiwa dźwiękowe	378
4.09.05. Archiwa filmowe	380
4.09.06. Zgranie filmu	381
4.09.07. Prace końcowe	382
Podsumowanie	383
Spis ilustracji	384
Spis zdjęć	387
Polecane książki	389

WSTĘP

Natura wyposażyła człowieka w pięć zmysłów. Wzrok, słuch, węch, dotyk i smak. Każdy z naszych zmysłów ma za zadanie dostarczać wiadomości o otaczającym nas świecie. Każdy czyni to we właściwy sobie sposób. Wynika to zarówno z charakteru bodźców, które opisują, jak i specyfiki danego zmysłu. Nie zawsze wszystkie zmysły mogą przekazać nam informacje o obserwowanym zjawisku. Jeżeli jest ciemno, nic nie zobaczymy, jeżeli coś jest daleko, to trudno to będzie dotknąć, spróbować, powąchać. Są rzeczy bezwonne i niewydające z siebie dźwięku. Jest też „Niewidzialny człowiek”, którego można usłyszeć.

Film operuje jedynie obrazem i dźwiękiem, ale odbieramy te informacje jako kompletne. Dzieje się tak dlatego, że wzrok i słuch to najważniejsze zmysły człowieka, bo przekazują nam najwięcej informacji o otaczającym nas świecie. Często wydaje nam się, że wzrok i słuch to zmysły bliźniacze, mówiące do nas tym samym językiem. Tak jednak nie jest. Każdy z nich operuje swoimi sposobami odbierania i przekazywania nam wiadomości i dlatego ta wspólna zsumowana informacja jest tak kompletna.

Słuch jest zmysłem numer dwa i to medalowe miejsce jest wystarczającym powodem, dla którego powinniśmy liczyć się z jego istnieniem i świadomie korzystać z możliwości, jakie daje nam jego pośrednictwo.

Słuch odbiera dźwięki, a więc informacje przekazywane drogą akustyczną. Dlatego do zrozumienia zjawisk odbieranych za pośrednictwem słuchu potrzebna jest wiedza z zakresu akustyki, a także podstawowe wiadomości o dźwiękach. Wśród nich o najważniejszym dla człowieka – głosie, za pośrednictwem którego porozumiewamy się i przekazujemy sobie informacje. A odkąd człowiek nauczył się rejestrować, przechowywać i odtwarzać dźwięki - to także technika oraz świadomość różnicy słuchania bezpośredniego i tego, co możemy usłyszeć za pośrednictwem różnorodnej aparatury.

I wreszcie dźwięk to sztuka, a także technologia, czyli umiejętność posługiwania się posiadanym arsenałem środków w celu uzyskania jak najlepszego pod każdym względem wyniku w danej dyscyplinie.

Dźwięk w filmie to specyficzna dziedzina, która łączy w sobie rejestrację rzeczywistości i kreację. Jest samoistnym dziełem, a zarazem częścią zależną całości, jaką jest dzieło filmowe. To sztuka w szponach techniki i technologii, a przede wszystkim reżimów produkcji, której film, angażujący ogromne nakłady finansowe, jest podporządkowany.

Na koniec dźwięk w filmie to nośnik treści autorskich, przedmiot działania prawa autorskiego, w którym reżyser dźwięku sam jest współtwórcą i podlega ochronie, a jednocześnie współodpowiada za ochronę innych twórców, których dzieła składają się na całość, jaką tworzy ścieżka dźwiękowa.

Po latach pracy w polskim filmie jestem coraz bardziej pewna, że wiedza o możliwościach pełniejszego wykorzystania dźwięku jako elementu dzieła filmowego jest udziałem jedynie małego dyskusyjnego klubu reżyserów dźwięku, którzy i tak nie mają szans wprowadzić jej w życie. Zadziwiająco niewielka jest

wiedza o dźwięku kolejnych pokoleń filmowców. Nawet jeżeli oglądają na bieżąco dokonania światowej kinematografii, nie umieją słuchać i analizować wpływu realizacji ścieżki dźwiękowej na całość doznań, ocenić, jak wiele wrażeń, informacji i nastrojów przekazano im właśnie przez dźwięk i jakimi zrobiono to metodami. Nie doceniają dźwięku, nie umieją wykorzystać go twórczo w swojej pracy, a często nie chcą skorzystać z podpowiedzi dźwiękowca, bo boją się nieznaney sobie materii.

Książka ta przeznaczona jest dla wszystkich, których dźwięk interesuje i którzy pracując na rynku audiowizualnym chcieliby wiedzieć więcej, zrozumieć, a wreszcie móc wykorzystać tę wiedzę w planowaniu i realizacji swojej twórczości.

ROZDZIAŁ I. DŹWIĘK I AKUSTYKA

Dźwiękiem nazywamy wrażenie słuchowe spowodowane drganiami akustycznymi i wywołane docierającą do ucha falą akustyczną. Dźwiękiem nazywamy takie drgania, które są rejestrowane przez ucho.

Akustyka jest działem fizyki powiązaniem z biologią. Oznacza, z greckiego, naukę o dźwięku i rozchodzeniu się fal akustycznych. Zajmuje się wrażeniami słuchowymi wywołanymi docierającą do uszu falą akustyczną.

Prężnie rozwijającą się nauką jest **psychoakustyka**. Zajmuje się zjawiskami akustycznymi w odniesieniu do człowieka (zobacz rozdział 1.16).

1.01. 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** może być każde ciało sprężyste. **Środowiskiem**, 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 i sztuczne.

Naturalne źródła dźwięku to te, które występują w przyrodzie. Dźwiękami naturalnymi są odgłosy burzy, lawiny, strumyka czy deszczu. Do dźwięków naturalnych zaliczamy też dźwięki wydawane przez zwierzęta, a przede wszystkim przez człowieka.

Sztuczne źródła dźwięku to źródła skonstruowane przez człowieka. Mogą to być maszyny i urządzenia. Nie zawsze wydają z siebie dźwięki dla nas przyjemnie. Sztucznymi źródłami dźwięku jest też większość instrumentów muzycznych.

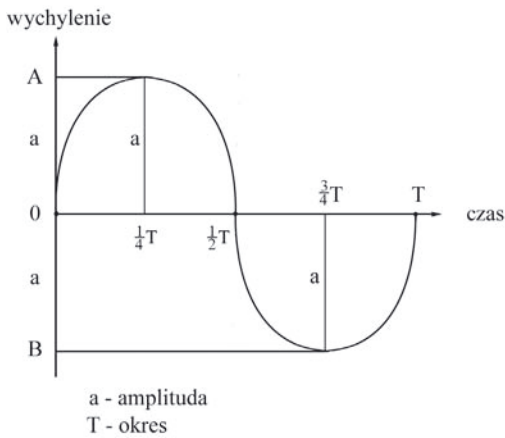
1.02. Drganie ciał sprężystych

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 i sztuczna. Sprężystość naturalna występuje samoistnie. Naturalnie sprężyste są drzewa. Sprężystość 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

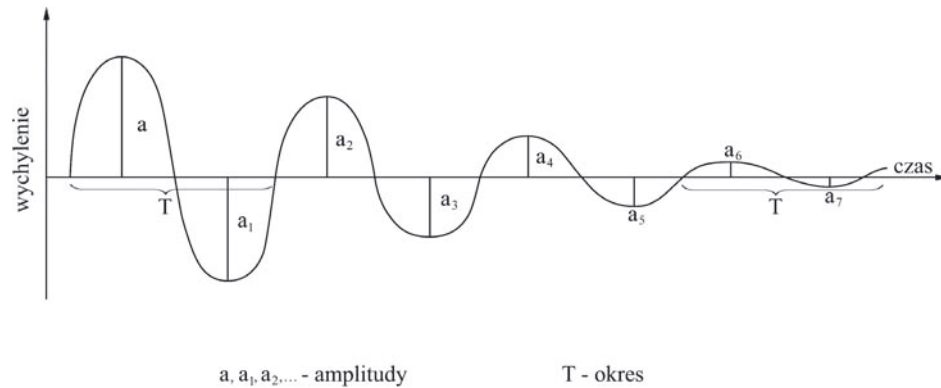


Rys. 1. Ruch harmoniczny prosty

Taki ruch nazywamy ruchem harmonicznym prostym lub drganiem prostym i ma on kształt sinusoidy (rys.1). Największe wychylenie cząstki nazywamy **amplitudą**. Odległość między kolejnymi powrotami w to samo miejsce to **długość fali**. Czas, w jakim fala osiągnie ponownie tę samą fazę ruchu nazywamy **okresem**. Szybkość drgania - **częstotliwością**.

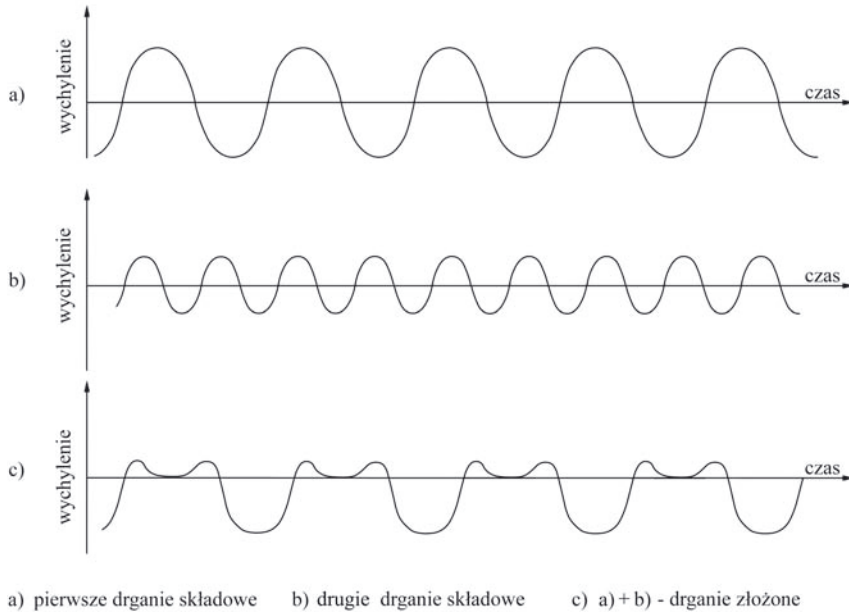
Jeżeli drganie ciała sprężystego nie jest wspomagane przez żadną siłę zewnętrzną, drganie nie trwa wiecznie. Z czasem amplitudy drgań są coraz

mniejsze, aż wreszcie ruch zanika. Dzieje się tak z powodu oporu, jaki stawiany jest fali dźwiękowej przez środowisko, w jakim się rozchodzi. Takie drganie nazywamy **drganiami tłumionymi** (rys. 2).



Rys. 2. Drganie tłumione

W praktyce rzadko występują drgania proste. Zazwyczaj ciała sprężyste drgają jednocześnie w kilku kierunkach, z różną częstotliwością i amplitudą. Taką kombinację stanowią też wszystkie dźwięki występujące w przyrodzie (zobacz rozdział 1.08.03). Drgania takie to **drgania złożone** (rys. 3).



Rys. 3. Drganie złożone

1.03. Głos

Dźwiękiem wydawanym przez człowieka jest głos. Organem, w którym powstaje, jest **głośnia** (rys. 4 a i 4 b). Ma ona bardzo wyspecjalizowaną budowę, co pozwala na dużą precyzję w operowaniu głosem. Składa się z trzech podstawowych elementów:

- mechanizmu powietrznego (płuca, oskrzela, tchawica),
- krtani i więzadeł głosowych,
- rezonatorów (jamy: gardłowa, nosowa i ustna).

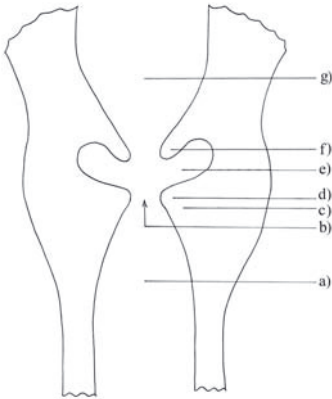
Miejszem powstawania dźwięku jest krtień, a źródłem drgań więzadła głosowe. Ich drgające brzożki popularnie zwane są **strunami głosowymi**. Strumienia powietrza dostarczają płuca, a przestrzenie rezonansowe (zobacz rozdział 1.09) działają jako wzmacniacz powstałego sygnału.

Więzadła mają długość 12–20 mm u kobiet i 18–25 mm u mężczyzn. Ich długość ma bezpośredni wpływ na wysokość naszego głosu. Głos każdego człowieka jest inny. Fala dźwiękowa głosu ludzkiego składa się z **tonu podstawowego** i dużej ilości **tonów składowych** (zobacz rozdział 1.08.04). Nasz głos zmienia się przez całe

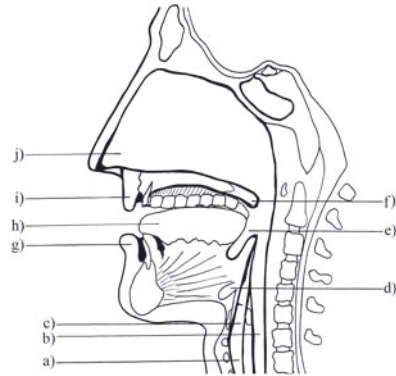
życie, ale zawsze zachowuje pewne stałe, indywidualne dla danego człowieka cechy. Jest to specyficzny dla danej osoby układ tonów składowych. Można to porównać do linii papilarnych na naszych dłoniach. Dzięki tonom składowym:

- rozpoznajemy człowieka po głosie,
- odróżniamy głos dziecka, kobiety, mężczyzny,
- w pewnym zakresie na podstawie głosu możemy określić wiek mówiącego,
- dysponując próbkami i odpowiednim sprzętem możemy na podstawie analizy widma głosu zidentyfikować mówiącego.

Na podstawie głosu rozpoznajemy bez trudu swoich znajomych czy osoby powszechnie znane. Często, po latach niewidzenia, nie możemy poznać osoby, bo tak zmieniła się fizycznie, jej głos natomiast zachowuje swoje charakterystyczne brzmienie.



a) jama krtaniowa, b) szczelina głosowa,
c) więzadła głosowe, d) struny głosowe,
e) kieszonki, f) więzadła rzekome, g) przedsionek,



a) tchawica, b) przełyk, c) krtań, d) nagłośnia,
e) jama gardłowa, f) języczek, g) warga dolna,
h) język, i) warga górna, j) nozdrza

Rys. 4 a. Głośnia- przekrój czołowy krtani

Rys. 4 b. Głośnia- profil

Pamiętajmy, że dobre nagranie głosu to nie tylko nagranie poprawne technicznie. Dobre nagranie to takie, które nie deformuje brzmienia głosu osoby mówiącej i umożliwia jej rozpoznanie.

Głos ludzki jest naturalnym instrumentem muzycznym, tzw. **aerfonem** (zobacz rozdział 1.04.01). Człowiek może wydobywać dźwięki o różnej wysokości i różnym brzmieniu. Zakres dźwięków różnej wysokości wydobywanych przez daną osobę nazywamy **skalą**. Każdy ma swoją indywidualną skalę głosu, choć zakresy tych skal są u ludzi podobne. Pod wpływem ćwiczeń, np. nauki śpiewu, skala głosu ulega rozszerzeniu, a sam głos dzięki zdobytej technice staje się ładniejszy, mocniejszy i bardziej dźwięczny. Największą skalą dysponują soliści, ale i w tym przypadku jest to sprawa bardzo indywidualna. Możemy mówić jedynie o wymaganiach dotyczących niezbędnego zakresu wykonywanych dźwięków stawianych śpiewakom w warunkach występów operowych czy operetkowych (rys. 5 i 6).

Nazwa głosu – chór	skala	Nazwa głosu – śpiew solowy	skala
sopran	$c^1 - a^2$	sopran koloraturowy	$h - fis^3$
sopran I	$c^1 - b^2$	sopran liryczny	$h - d^3$
sopran II	$b - g^2$	sopran dramatyczny	$b - cis^3$
		mezzosopran liryczny	$a - g^2$
		mezzosopran dramatyczny	$g - b^2$
alt	$g - e^2$		
alt I	$g - fis^2$	alt	$e - e^2$
alt II	$e - e^2$	alt głęboki (kontralt)	$c - c^2$

Rys. 5. Zestawienie wymaganych skal chóralnych i solowych głosów kobiecych

Sopran koloraturowy to głos lekki, niedużej mocy, ale jasny, o bardzo dużej ruchliwości. Sopran i mezzosopran liryczny to głosy jasne, ale mniej ruchliwe, za to mocniejsze. Sopran i mezzosopran dramatyczny to głosy mocne, ciemne i mało ruchliwe. Głosem wyjątkowym i rzadko spotykanym jest **kontralt** (Ewa Podleś). Niezwykle ciemny i mocny, ale jednocześnie o skali większej od mezzosopranu i możliwościach wykonywania koloratury. Ma zastosowanie przede wszystkim w śpiewie barokowym i rolach kiedyś kreowanych przez kastratów (G.Fr. Haendel „Xerxes”).

Nazwa głosu – chór	skala	Nazwa głosu – śpiew solowy	skala
tenor	$c - a^1$	tenor koloraturowy	$d - c^2$
tenor I	$c - b^1$	tenor liryczny	$c - c^2$
tenor II	$B - g^1$	tenor dramatyczny	$B - h^1$
		baryton liryczny	$A - g^1$
		baryton dramatyczny	$G - g^1$
bas	$F - c^1$		
Bas I	$A - e^1$	bas śpiewny	$E - e^1$
bas II	$E - c^1$	bas głęboki	$C - c^1$

Rys. 6. Zestawienie wymaganych skal głosów chóralnych i solowych męskich

Podobnie jak w przypadku głosów kobiecych, głosy delikatniejsze i ruchliwsze określamy mianem lirycznych bądź śpiewnych, głosy ciemniejsze i mocne to głosy dramatyczne, a bas – głęboki. Często opisując charakter danego głosu używamy też innych określeń, takich jak bohaterski (zazwyczaj tenor), wagnerowski (ciemny i silny), buffo (dowcipny, ruchliwy i lekki), profundo (głęboki, niski – najczęściej o basie). Bardzo szczególnym głosem spotykanym u mężczyzn jest **kontratener**. Jest to rzadka zdolność, zdarzająca się niektórym tenorom (Jacek Laszczkowski), do wydobywania technicznych dźwięków z zakresu skali i o barwie jednego z głosów żeńskich. Rozróżnia się kontratenor sopranowy, mezzosopranowy i altowy. Głosy te są niezwykle poszukiwane i wykorzystywane w wykonaniach oper barokowych w partiach kobiecych napisanych dla kastratów (Ch.W. Gluck „Orfeusz i Eurydyka”, C. Monteverdi „Koronacja Poppei”). Kontratener pozostaje cały czas również tenorem, a więc można sobie wyobrazić

sytuację, w której śpiewak sam ze sobą wykonuje duet pomiędzy tenorem i np. mezzosopranem. Inny głos wysoki, technicznie wydobywany przez mężczyznę ponad ich naturalną skalą (oktawa raz lub dwukreślna), to **falset**. Przy takim śpiewie więzadła głosowe zbliżają się do siebie w środkowej części. Technika śpiewania kontratenorem przypomina nieco śpiewanie falsetem.

Śpiew różni się od gry na instrumentach między innymi tym, że poza wydobywaniem dźwięku odpowiedniej wysokości wymawiane są **głoski**. Głoski układają się w wyrazy i zdania. Śpiew oparty na wymawianiu nic nieznaczących głosek nazywamy **skatem**. Śpiew oparty na samych samogłoskach to **wokaliza**. Szkolenie głosu dla potrzeb śpiewu nazywamy **emisją**.

Głoski wymawiane są również w czasie mówienia. Każdy z nas ma swój **tembr głosu** i mówi dźwięki pewnej wysokości. Nie jest to jedna stała wysokość, ale zależnie od języka, w jakim mówimy, czy regionu, z jakiego pochodzimy, dźwięki te układają się w pewną melodię (włoski, szwedzki). Są też **języki toniczne**, w których te same słowa mówione na różnych wysokościach dźwięku zmieniają swoje znaczenie (cztery różne tony – chiński). Język to rodzaj kodu, który opracował człowiek do porozumiewania się. Jak wiadomo, na świecie ludzie mówią bardzo wieloma językami, czyli niezależnie wymyślono wiele różnych kodów. Od sposobu, w jaki porozumiewają się zwierzęta, różni nas precyzja i umiejętność operowania abstrakcją, a więc wydawane przez nas dźwięki układają się w słowa, które są elementem utworzonego kodu. Słowa składają się z głosek, a więc krótkich elementów, które nasz słuch może rozpoznać jako różne.

Głoski dzielimy na samogłoski i spółgłoski. Naukę o sposobie wymawiania poszczególnych głosek nazywamy **fonetyką**. Lekarza zajmującego się problemami głosu – **foniatrą**. Naukę prawidłowego mówienia i wymawiania poszczególnych głosek, ich ciągów, wyrazów i zdań nazywamy **dykcją**. Korygowaniem wad wymowy zajmuje się **logopedia**.

Dykcja jest jedną z podstawowych umiejętności, jakie powinni zdobyć studenci zarówno na wydziale śpiewu, jak i na wydziale aktorskim. Niestety, mimo nauki tylko część aktorów i śpiewaków może się pochwalić nienaganną dykcją. Bardzo trudno jest korygować błędy wymowy u ludzi dorosłych. Dobrze znane charakterystyczne sposoby mówienia to gwara góralska, kaszubska, warszawska, sposób mówienia „cwaniaków” z Pragi czy Woli, mazurzenie, charakterystyczna melodia mówienia osób z Krakowa, Lwowa czy Wilna. Niektóre regionalizmy i przyzwyczajenia środowiskowe są prawie nie do usunięcia.

Pewien poziom poprawnego wymawiania i akcentowania poszczególnych głosek i całych słów jest jednak niezbędny, aby móc się komunikować z innymi ludźmi. Szczególnie trudne do zrozumienia dla naszego słuchu są krótkie **transjenty** (zobacz rozdział 1.07), co oznacza, że w przypadku mowy wyraźna powinna być każda głoska. Do zrozumienia trudniejsze są spółgłoski jako mniej dźwięczne, krócej wymawiane i zamknięte. Częste pomyłki dotyczą słów podobnych, szczególnie jeżeli są krótkie i różnią się tylko jedną głoską (porównaj bąk – pąk, pęk – sęk).

Nienaganną dykcją powinni wyróżniać się lektorzy, najbardziej surowym odbiorcą mowy ludzkiej jest bowiem mikrofon.

Są jeszcze inne sposoby wydobywania dźwięków przez człowieka. Pierwszy z nich to **gwizd**. Do powstania gwizdu nie są potrzebne struny głosowe. Rolę podwójnego stroika pełnią wargi, a rezonatorem jest jama ustna. Gwizd jest znacznie wyższy od normalnego mówienia i nie jest związany ze skalą głosu danej osoby. Drugi sposób to **szept**. Szept powstaje, jeżeli więzadła są zamknięte w 2/3 długości, a wtedy powietrze przedostaje się przez pozostawiony otwór bez pobudzania więzadeł do drgań.

Czasami błędy w wymowie spowodowane są wadami słuchu, który nie różni od siebie pewnych głosek, i wtedy człowiek wymawia je identycznie. Wady słuchu często całkowicie uniemożliwiają mówienie. Osoby dotknięte tą przypadłością mogą jednak wydawać z siebie dźwięki. Istnieje również system uczenia ich mowy. Zajmują się tym **logopedzi**. Problemy słuchu są domeną lekarzy **laryngologów**.

Bywają sytuacje, w których ludzie nie mogą wydawać z siebie dźwięków. Może być to spowodowane niedorozwojem narządu mowy, paraliżem strun głosowych lub interwencją chirurgiczną, np. usunięciem krtani. W takich przypadkach można zastosować protezę, rodzaj przystawki mikrofonowej (zobacz rozdział 2.07.05), która przyłożona do gardła pozwala emitować dźwięki podobne do wytwarzanych naturalnie przez więzadła głosowe. Głos jest zniekształcony, ale zrozumiały.

1.04. Instrumenty muzyczne

1.04.01. Klasyfikacja instrumentów muzycznych

Instrumentem muzycznym nazywamy każde źródło dźwięku, którego dźwięk może być wykorzystany jako materiał do tworzenia muzyki. Instrumenty różnią się od siebie:

- wyglądem,
- techniką grania,
- barwą i charakterem wydobywanych dźwięków,
- skalą (rys. 7).

Instrumenty dzielimy na **grupy** ze względu na rodzaj ciał sprężystych wykonujących drgania, czyli tak zwanych **wibratorów**. Instrumenty dzielą się na **podgrupy** ze względu na sposób pobudzania wibratora, a następnie na **rodziny**, **rodzaje** i **gatunki**. Mamy cztery grupy instrumentów:

- chordofony – instrumenty strunowe – elementem drgającym jest napięta struna,
- aerofony – instrumenty dęte – elementem drgającym jest powietrze zamknięte w przestrzeni rezonansowej, pobudzane do wibracji przez zadęcie,

- membranofony – instrumenty perkusyjne – elementem drgającym są błony lub membrany,
- idiofony – instrumenty samobrzmiące – wykorzystanie sprężystości naturalnej.

Chordofony ze względu na sposób, w jaki struna jest pobudzana do drgań, dzielą się na podgrupy:

- smyczkowe (skrzypce, altówka, wiolonczela, kontrabas),
- szarpane (gitara, harfa, lira, domra, mandolina, bałałajka, banjo, lutnia, cytra, klawesyn),
- uderzane lub młoteczkowe (fortepian, cymbały, klawikord, pianino).

Ze względu na sposób zadęcia **aerofony** dzielimy na podgrupy:

- wargowe:
 - bezustnikowe (flet, pikulina),
 - ustnikowe (fujarka, flet blokowy),
 - miechowe (organy – częściowo);
- stroikowe:
 - ze stroikiem pojedynczym (klarnet, saksofon),
 - ze stroikiem podwójnym (obój, róg angielski, fagot, sarusofony),
 - organicznostroikowe ustnikowe (trąbka, kornet, waltornia, puzon, tuba i rodzina skrzydłówek),
 - organicznostroikowe bezustnikowe (głos, gwizd).

Tradycyjnie instrumenty dęte dzielimy na **dęte drewniane** i **dęte blaszane**, choć obecnie niewiele ma to wspólnego z nazwą materiału, z jakiego wybudowano dany instrument. Dęte drewniane to flet, obój, klarnet, fagot i saksofony. Do dętych blaszanych należy trąbka, puzon, róg (waltornia) i tuba. Dęte drewniane należą do grup wargowych i stroikowych, dęte blaszane to organicznostroikowe, ustnikowe.

Ze względu na sposób, w jaki membrana jest wprawiana w wibracje, **membranofony** dzielimy na podgrupy:

- pocierane – palcami albo wewnętrzną stroną dłoni,
- dęte (mirliton),
- uderzane – za pomocą pałki, dłoni, palców (kotły, bębny, tom tom, tamburyn).

Podgrupy **idiofonów** to:

- uderzane (pałką, dłonią, palcami),
- potrząsane (marakasy),
- zderzane ze sobą (kastaniety),
- pocierane (harfa szklana),
- dęte lub języczkowe (harmonijka ustna, akordeon, organy),
- szarpane (drumla).

Można je też dzielić na:

- płytowe o określonej wysokości (dzwony),
- płytowe o nieokreślonej wysokości (gong, talerze),

- sztabowe drewniane (ksylofon, marimba),
- sztabowe metalowe (dzwonki, czelesta, wibrafon),
- prętowe (trójkąt),
- krótkobrzmiące (kastaniety, grzechotki, pudełka),
- języczkowe mechanicznomiechowe (organy, fisharmonia),
- języczkowe ręcznomiechowe (akordeon, harmonia, koncertina),
- ustne (harmonijka),
- szarpane (drumla).

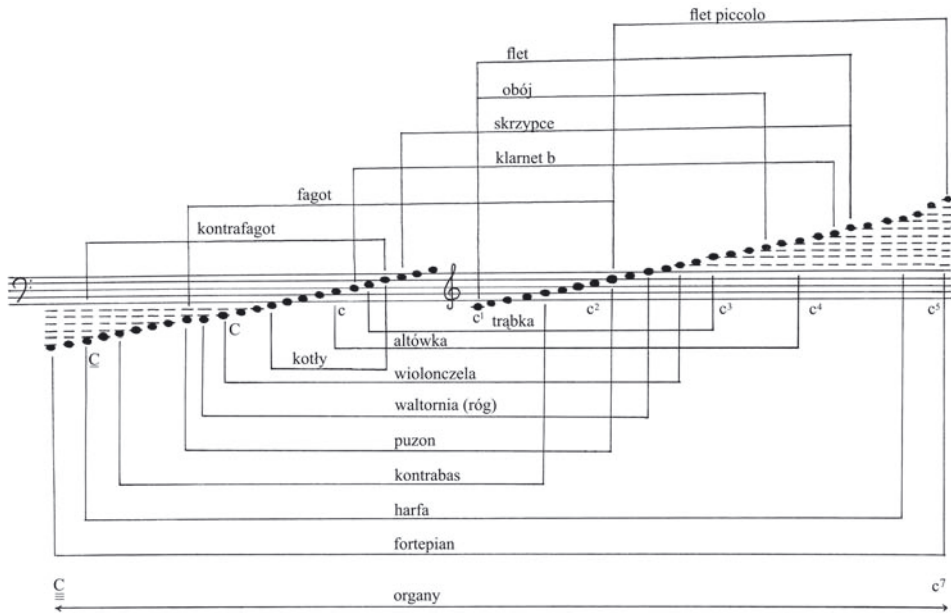
Tradycyjnie membranofony i idiofony łączone są w jedną grupę **instrumentów perkusyjnych**. Grupa ta nie obejmuje jednak idiofonów z grupy języczkowych, a więc pobudzanych do drgań przez zadęcie. Instrumenty te często zaliczane są do grupy instrumentów dętych.

Rodzina instrumentów to grupa wykazująca podobne cechy, pewne pokrewieństwo, które może być bliższe lub dalsze. Rodzinę stanowią skrzypce, altówka, ale także bałajka czy mandolina. Mówimy, że każdy z tych instrumentów to inny **rodzaj**. Ponadto w ramach rodzaju wyróżniamy jeszcze **gatunki**, np. osobne gatunki stanowią klarnet i klarnet basowy albo fortepian koncertowy i pokojowy. Naukę o budowie i działaniu instrumentów nazywamy **instrumentoznawstwem**.

Każdy rodzaj, a nawet gatunek instrumentu ma swoją skalę, a więc zakres dźwięków, które wydobywa. Każdy rodzaj instrumentu ma też swoje charakterystyczne brzmienie, które pozwala odróżnić od siebie dwa różne instrumenty grające ten sam dźwięk. Dzieje się tak dlatego, że podobnie jak głos ludzki, dźwięk instrumentu składa się z tonu podstawowego i unikalnego zestawu **tonów składowych** (zobacz rozdział 1.08.03) o różnej mocy. Dlatego instrumenty tego samego gatunku też różnią się od siebie brzmieniem.

Brzmienie **instrumentów strunowych** to wypadkowa doboru proporcji poszczególnych elementów i dobór gatunków drewna, z jakiego zrobiono dany egzemplarz. Na brzmienie instrumentu ma też wpływ użyty klej i rodzaj laku, czyli pokostu. Altówka może grać w pewnym zakresie te same dźwięki co wiolonczela, ale zbyt małe pudło rezonansowe (zobacz rozdział 1.09) powoduje, że jej barwa jest nosowa, a dźwięk mniej nośny.

Budowa instrumentów strunowych, przede wszystkim skrzypiec, harf i fortepianów, uchodzi za umiejętność szczególną. Najstarsze skrzypce zaczęto budować we Francji i Włoszech w końcu XVI w. Robili to przy okazji budownicy lutni, stąd nazwa zawodu **lutnictwo**. Najsłynniejsi pochodzą z Cremony i są to rodziny Amatic, Stradivarich i Guarnerich. Do dziś nie udało się odtworzyć składu używanej przez nich przy budowie instrumentów mikstury. Ponadto z lutnictwa słynęli Tyrolczycy i Polacy. Do dziś słynna jest polska szkoła budowy instrumentów, jest technikum lutnicze w Zakopanem, a także muzeum instrumentów i międzynarodowy konkurs lutniczy w Poznaniu. W tych dwóch okręgach jest też najwięcej fachowców w tej dziedzinie.



Rys. 7. Skale i rodzaje instrumentów

Budowa dobrych skrzypiec to prawdziwa sztuka. Dobiera się gatunki i grubości drewna, odpowiednio układa słojami, specjalnie sezonuje. Górna płyta budowana jest ze świerku lub jodły, dolna z jaworu lub klonu. Boczek to zazwyczaj drewno jaworowe. Całość stanowi pudło rezonansowe (zobacz rozdział 1.09) o charakterystycznym kształcie, z wycięciami w kształcie litery „c” i otworami w kształcie litery „f”. W środku instrument jest wybrzuszony i wzmocniony sześcioma klockami. W pobliżu boczków wkleja się żyłkę, czyli inkrustację, która zdobi, a jednocześnie wzmocnia instrument. Wzmocnieniem jest też **dusza**, czyli cienki świerkowy kołek amortyzujący napięcie płyt. Od jego położenia zależy również brzmienie instrumentu. Pudło rezonansowe samoistnie drga w okolicach częstotliwości 230–290 Hz, ma też formanty, czyli wzmocnienia, które występują około 3,5 kHz. Od tych wzmocnień zależy piękno dźwięku skrzypiec. Pudło rezonansowe jest niezbędne, bo same struny, nawet najlepsze, wydają dźwięki ciche. Podobnie konstruuje się inne instrumenty z tego rodzaju i gatunku, zmienne są tylko proporcje, kształt i wielkość pudła, a więc inne są długości strun, rezonanse i formanty, co ma wpływ m.in. na skalę i barwę dźwięków, które można z danego instrumentu wydobyć. Największy rozkwit budowy skrzypiec to wiek XVII i XVIII. Również wtedy powstały najsławniejsze utwory skrzypcowe.

Instrumentem królewskim ze względu na swe rozmiary i potęgę dźwięku jest fortepian. **Fortepian** jest instrumentem drewnianym, ale jego konstrukcja jest oparta na solidnej trójkątnej ramie z lanego żelaza. Całość tworzy pudło rezonansowe. Naciągi strun dochodzą do 20 ton. Podstawą działania jest mechanizm młoteczkowy, który odwzorowuje nasze uderzenie w klawisz za pomocą systemu dźwigni. Możemy więc regulować głośność i artykulację (zobacz rozdział 1.08.02

i 1.08.05). System tłumików zapobiega zbyt długiemu brzmieniu dźwięku, a rama powoduje, że dźwięk wybrzmiewa długo i jest mięsisty. **Mechanika repetycyjna** pozwala na szybkie powtarzanie dźwięków, czyli powrót młoteczka do punktu wyjścia. Strun odpowiadających za dany dźwięk jest od 1 do 3. Młoteczki są zbudowane z grubej warstwy filcu. Co jakiś czas się je wymienia, spulchnia szpilkami lub obciąga skórą. Gdy twardnieją, zmienia się barwa dźwięku. Fortepian ma dwa lub trzy pedały. Prawy do wydłużania dźwięku, lewy do skracania, środkowy do częściowego wydłużania dźwięku. Skala od A subkontra do c⁵. Instrument strojony jest w stroju równomiernie temperowanym (zobacz rozdział 1.08.01). Najbardziej znane firmy produkujące fortepiany to Steinway, Pleyel, Petrof, Ferster, Kawai i Yamaha, a w Polsce Legnica i Calisia.

Od wielkości (długości piszczałki) instrumentów dętych zależy ich skala (np. różne gatunki saksofonów). **Menzura**, czyli stosunek długości do szerokości piszczałki, decyduje o bogactwie i natężeniu tonów składowych, dzięki temu poszczególni przedstawiciele tej samej rodziny różnią się od siebie barwą dźwięku. To, z czego jest zbudowana piszczałka, ma minimalny wpływ na brzmienie danego instrumentu. Elementem decydującym jest tu talent i umiejętności osoby grającej, czyli z tego samego instrumentu różne osoby będą wydobywały ładniej i brzydziej brzmiące dźwięki.

W instrumentach perkusyjnych skala zależy od wielkości instrumentu (z instrumentów większych wydobywamy dźwięki niższe), a brzmienie od materiału, z jakiego jest zbudowany (porównaj ksylofon, wibrafon i czelestę lub dzwonki), miejsca, w które uderzamy, i materiału, z jakiego zbudowane są pałki, oraz od ich wielkości, a więc istotne jest to, czym uderzamy, potrącamy czy pocieramy instrument.

1.04.02. Elektrofony

Elektrofony, czyli popularnie mówiąc instrumenty elektroniczne, nie dają się zaliczyć do żadnej z omawianych grup instrumentów. Podstawą ich działania nie jest bowiem wibrator i rezonator, a drganie prądu w obwodzie elektrycznym. Drganie to w głośniku zamienione zostaje na drganie mechaniczne i staje się źródłem fali dźwiękowej. Ich nazwa pochodzi od greckich słów *lektron*, czyli bursztyn, i *phon*, czyli dźwięk. Istnieją dwie metody konstruowania instrumentów z tej grupy:

- konstruowanie instrumentów w pełni nowatorskich. Są to instrumenty elektroniczne (w tym elektroniczne) – np. syntezytor, sampler, sequencer – oraz piezoelektryczne i fotoelektryczne (klawiset, organy Hugoniota);
- transformowanie istniejących instrumentów – na zasadzie podłączania odpowiednich przetworników do tradycyjnych konstrukcji, np. gitara elektryczna, oraz instrumenty elektromechaniczne (elektroakustyczne) – np. organy Hammonda, piano Fendera.

Podstawą budowy **instrumentów elektrycznych** jest zamknięty rezonansowy obwód prądu elektrycznego złożony z kondensatora, cewki i oporu. Takie urządzenie nazywamy **generatorem**. Przez właściwy dobór pojemności kondensatora

można spowodować, że drgania prądu będą miały częstotliwość, która po zamianie na dźwięk da z głośnika ton prosty (zobacz rozdział 1.01).

Pierwsze drgania elektryczne wytworzyli w latach osiemdziesiątych XIX stulecia Anglik W. Thomson i Niemiec B. Feddersen. Były to drgania tłumione, czyli wytworzone przez impuls elektryczny. Drgania nietłumione, nazwane **oscylacyjnymi**, oparte na stałym dostarczaniu prądu, wytworzył pod koniec XIX w. Amerykanin E. Thomson. Rozwój generatorów to początek XX wieku, kiedy to znalazły one zastosowanie w powstającej radiofonii. Generatory stosowane w instrumentach nie muszą mieć dużej mocy, za to wytwarzana przez nie częstotliwość musi być stała. Nazywamy je **częstotliwościowymi**. Komplikując nasz obwód, możemy budować różne typy generatorów, np. dudnieniowe czy piłowe, które mogą stać się źródłem bogatej gamy różnorodnych dźwięków. Takie generatory nazywamy **relaksacyjnymi**. Drgania elektryczne wytwarzane przez generator mogą być modyfikowane na drodze elektrycznej bądź elektronicznej.

W **elektrofonach elektrycznych** źródłem drgań elektrycznych jest sam generator RC (opornościowo-pojemnościowy) lub LC (indukcyjno-pojemnościowy). O częstotliwości drgań decyduje szybkość ładowania kondensatora przez opornik. Skalę muzyczną można zbudować za pomocą łańcucha oporników. Przy grze wielogłosowej musimy dysponować większą ilością generatorów z kompletem oporników każdy.

W grupie **elektrofonów elektromechanicznych** może to być języczek, struna czy płyta, i tak jak w gitarze elektrycznej – jest to drgający element układu rezonansowego (tak jak wibrator w tradycyjnych instrumentach muzycznych), do którego zostaje podłączony przetwornik elektroakustyczny zamieniający drgania na drgania elektryczne.

Wszystkie te instrumenty posiadają też system modelowania wytwarzanego dźwięku, a więc:

- układ odpowiadający za wytwarzanie częstotliwości podstawowej odpowiedzialnej za wysokość dźwięku,
- układ korekcyjny dotyczący składowych harmonicznym, pozwalający kształtować barwę dźwięku,
- układ obwiedni dźwięku, odpowiadający za powstawanie, trwanie i wybrzmiewanie dźwięku, czyli coś w rodzaju artykulacji,
- układ sterujący (w instrumentach czysto elektrycznych/elektronicznych) pozwalający na grę na instrumencie,
- wzmacniacz (w instrumentach elektromechanicznych) zwiększający amplitudę drgań (często występujący w formie oddzielnego urządzenia),
- układ nagłaśniający (głośnik i wzmacniacz) zastępujący pudło rezonansowe i pozwalający na usłyszenie dźwięku instrumentu.

1.04.02.01. Elektrofony elektryczne

Najstarszymi elektrofonami elektrycznymi były: **Denis D'Or** z 1753 roku i **klawesyn elektryczny** z roku 1761. Powstały, kiedy pojęcie elektryczności było

prawie nieznanie. Nie sprawdzały się jako instrumenty koncertowe ze względu na prymitywną budowę i brak odpowiednich przetworników, wzmacniaczy, głośników itp. Dopiero pojawienie się **muzycznego telegrafu** w 1876 roku pozwoliło uwierzyć w ich muzyczny potencjał. Wciąż miały ograniczone zastosowanie, ale ich możliwości stawały się coraz większe.

Do najciekawszych i najbardziej nowatorskich konstrukcji można zaliczyć ważące 200 ton **telharmonium** nazywane inaczej **dynamophone** (1897 r.) wynalezione przez Thaddeusa Cahilla. Instrument należał do grupy elektromechanicznych. Składał się ze 145 generatorów prądu zmiennego, generujących prąd o różnych częstotliwościach (od 40 do 4 000 Hz) i natężeniu 1 ampera. Dźwięk wzmacniany był przez tuby takie jak stosowano w gramofonach. Skala instrumentu to siedem oktaw, przy rozmiarach około 18 metrów. Co ciekawe, instrument generował również składowe harmoniczne, a dźwięk był podobny do organowego. W latach 1906–1911 zbudowano trzy pierwsze egzemplarze. W latach dwudziestych odbywały się koncerty, na których wykonywano repertuar klasyczny, ale wtedy instrument obsługiwało dwóch wykonawców. Niestety, nie zachował się żaden egzemplarz instrumentu ani żadne nagranie z jego udziałem.

Konstruktor chciał użyć telharmonium do transmisji radiowej. Miało to być radio kablowe wykorzystujące istniejącą sieć telefoniczną. Odbiorcami miały być hotele, restauracje i domy prywatne. Niestety, z powodów technicznych pomysłu nie udało się zrealizować.

Dopiero w XX wieku elektrofony stały się stałym i ważnym elementem muzyki rozrywkowej i awangardowej. W 1914 r. w Mediolanie odbył się pierwszy koncert muzyki elektronicznej, a w dniu 12 czerwca 1926 r. po raz pierwszy transmitowano muzykę elektroniczną graną na instrumencie **pianorad**. Był to pierwszy elektrofon polifoniczny.

Inne osiągnięcia to **theremin** (opracowany przez L. Termena w 1917 r.), który nie wymaga fizycznego kontaktu grającego z instrumentem, **fale Martenota** (1928 r.), **trautonium** (1930 r.) i pierwszy automat perkusyjny – **rhythmicon** (1930 r.).

Ciekawym instrumentem jest pochodzący z 1939 roku **vocoder** (voice operated recorder). Było to urządzenie telekomunikacyjne służące do szyfrowania i kompresowania sygnału podczas przesyłania go linią telefoniczną. Dzięki eksperymentom zespołu Kraftwerk vocoder stał się jedynym w swoim rodzaju efektem przetwarzającym głos. Dobrze znamy jego brzmienie, szczególnie z wykonania Madonny i Cher.

Współczesne instrumenty elektroniczne popularnie nazywane są **syntezatorami**. Zazwyczaj jest to urządzenie wyposażone w klawiaturę podobną do fortepianowej, a kształtem przypomina fragment pianina albo gitarę. Klawiatura może być **dynamiczna**, a wtedy gra się na instrumencie podobnie jak na fortepianie, wpływając na artykulację dźwięku, lub **statyczna**, a wtedy klawisz decyduje tylko o wyborze i długości dźwięku, a układ obwodni pracuje w inny sposób. Nazwa bierze się stąd, że wytwarzany przez nie dźwięk powstaje na drodze syntezy tonów składowych wytwarzanych przez generatory, z których zbudowany jest syntezator. Wielu osobom nazwa „syntezator” kojarzy się też ze sztucznością, a więc syntetycznością dźwięku, jaki z siebie wydaje.

Jeżeli chodzi o rodzaj wytwarzanych dźwięków, to poszukiwania twórców syntezatorów szły w dwóch kierunkach:

- wyprodukowania doskonałej imitacji dźwięków wytwarzanych przez instrumenty naturalne,
- stworzenia brzmień nowych, unikalnych i niemożliwych do wydobywania z tradycyjnych instrumentów.

Pierwsze syntezatory nowej ery zbudowano w latach pięćdziesiątych XX w. Inspiracją do ich powstania stała się „**Matematyczna teoria muzyki**” – praca teoretyczna zawierająca matematyczny model i algorytm kompozycji muzycznej. Na tej podstawie inżynierowie Harry Olson i Herbert Belar z firmy RCA Princenton Laboratories próbowali skonstruować **elektronicznego kompozytora**, wyposażonego w **elektroniczny instrument**. Ze względu na małą moc obliczeniową komputera, którym dysponowali, a jak się później okazało, przede wszystkim błędy w podanym algorytmie, elektroniczny kompozytor nie powstał, za to udało się instrument, czyli syntezator. Była to bardzo rozbudowana i kosztowna maszyna, wykorzystywana głównie w studiach muzyki eksperymentalnej. Najbardziej znane modele to **Mark I i II** (MK I i MK II). Bazowały na dużych, energochłonnych, niewydajnych oscylatorach lampowych RLC. Miały ich odpowiednio 12 i 24. Sterował nimi zapisany na taśmie perforowanej unikatowy program wytwarzający struktury muzyczne. Na podobnej zasadzie działał 30-oscyłatorowy system opracowany w 1959 r. przez inżynierów H. Kleina i W. Schaffa dla firmy Simmens.

Wynalezienie tranzystora i opartych na nim układów scalonych pozwoliło na miniaturyzację i rozwój dźwięków syntezowanych na dużą skalę. Poczynając od lat sześćdziesiątych ceny syntezatorów zaczęły spadać, instrumenty stawały się coraz bardziej miniaturowe, a zarazem bardzo rozszerzyły się ich możliwości. Warto tu zwrócić uwagę na **mixtur-trautonium** z lat pięćdziesiątych – jeden z pierwszych syntezatorów opartych na konstrukcji tranzystorowej. Rok 1964 to początek produkcji stosunkowo tanich i zdecydowanie mniejszych w rozmiarach syntezatorów analogowych, które trafiły nie tylko do studiów muzyki elektronicznej czy eksperymentalnej, ale również do muzyki rozrywkowej. Pierwsi producenci to R.A. Moog, D. Buchl, P. Ketoff, ARP, EMS, a najbardziej znane modele to **ARP Odyssey, Minimoog, Synthi AKS**.

Początkowo syntezatory były jednogłosowe (monofoniczne). Dużą trudność stanowiło zapamiętywanie i szybkie zmiany elementów regulujących. Swym wyglądem przypominały skrzyżowanie pianina z łącznicą telefoniczną czy krosownicą. Lata siedemdziesiąte to rozwój techniki układów scalonych, co pozwoliło na miniaturyzację instrumentów i konstruowanie syntezatorów grających kilka dźwięków jednocześnie (polifonicznych) oraz na zapamiętywanie wybranych barw. Sztandarowe produkty tych lat to **ARP Quadra, Oberheim 4 Voice i Polymoog**. Wkrótce powstały syntezatory ściśle polifoniczne, bez ograniczenia w ilości głosów.

Moog to kultowy elektrofon, a raczej kilka różnych instrumentów (minimoog, polymoog, micromoog), których niepowtarzalne brzmienie znane jest dobrze

każdemu muzykowi. Skonstruował go twórca tranzystorowego Thereminu Robert Moog we współpracy z Herbertem Deutschem i Walterem Carlosem. W 1968 r. W. Carlos nagrał na tym syntezatorze płytę „Switched on Bach”, a jej sukces stał się również sukcesem instrumentu. Mooga słyszymy na płycie „Abbey Road” zespołu The Beatles, płytach Abby, Emerson Lake & Palmer czy Pink Floyd. W Polsce pierwsi używali mooga Marek Biliński, Czesław Niemen i Józef Skrzek. Syntezator Mooga był instrumentem o budowie modularnej, a więc łatwo mógł być rozbudowywany, miał też klawiaturę, co pozwalało używać go nie tylko w studiu, ale również na estradzie. Najbardziej popularny z wyprodukowanych instrumentów jest **minimoog model D**. W roku 1970 Robert Moog otrzymał za całokształt osiągnięć Grammy, a muzyka elektroniczna święciła coraz większe triumfy. Firma działała zaledwie 10 lat, ale instrumenty wykorzystywane są powszechnie do dziś (Klaus Schulze), co więcej, w niektórych środowiskach słowa „moog” i „syntezator” traktuje się jak synonimy. Po wielu latach procesów sądowych o prawo do produkowania instrumentów i sygnowania ich swoim nazwiskiem w roku 2004 Robert Moog odzyskał firmę i pojawił się ostatni instrument wielkiego konstruktora – **minimoog voyager**.

Instrumenty zbudowane przez Donalda Buchla i Mortona Subotnika – **syntezator Buchla**, Paula Ketoffa – **synkret** czy Harrego Chamberlina – **musicmaster**, znalazły się wprawdzie na rynku, ale nigdy nie osiągnęły popularności mooga.

Drugim powodem stosowania syntezatorów była imitacja dźwięków różnych instrumentów muzycznych. W tym kontekście warto wspomnieć o następcy musicmastera – mellotronie (1963 r.). **Mellotron** to elektrofon elektromechaniczny ery przed syntezatorowej i pierwszy sampler. Produkowany był przez firmę Streetly Electronics do 1986 r. Konstruktorami instrumentu byli bracia Leslie. Był wielogłosowy, a zastosowaną metodę syntezy dźwięku nazywamy reprodukcyjną. Dźwięki były nagrywane na pętłach z taśmy magnetycznej i odtwarzane przy użyciu głowic magnetofonowych (zobacz rozdział 2.20). Odczyt uruchamiała przyciśnięcie klawisza. Głowica czytała jednocześnie trzy taśmy. Były to próbki instrumentów dętych, chórów, a przede wszystkim grup smyczkowych, dlatego instrument nazywano też „smyczkowymi organami”. Użytkownikami mellotronu byli m.in. Tony Banks z Genesis i Czesław Niemen.

Wtedy również syntezator stał się na równi z gitarą elektryczną wiodącym instrumentem w zespołach rockowych. Pojawiły się zespoły grające wyłącznie na syntezatorach, a także soliści sami obsługujący w trakcie koncertu kilka lub kilkanaście klawiatur tworzących ścianę (**wall of synthesizers**) wokół grającego muzyka. Najbardziej znani artyści to Jean Michael Jarre, Brian Eno i Polacy Marek Biliński, Czesław Niemen, Józef Skrzek czy Władysław Komendarek. Dalszy rozwój instrumentów szedł w kierunku standaryzacji i normalizacji, tak aby można było nimi sterować z uniwersalnej klawiatury. Wtedy powstał **interfejs MIDI** (zobacz rozdział 2.21). Jednocześnie rozwój mikroprocesorów pozwolił na większą automatyzację obsługi, w tym zapamiętywanie i zapisywanie na taśmie magnetycznej lub dyskietce danych dotyczących wszystkich parametrów produkowanych dźwięków.

Lata siedemdziesiąte i osiemdziesiąte to także pojawienie się na rynku urządzeń opartych na syntezie cyfrowej. Urządzenia te nie posiadają generatorów w tradycyjnym znaczeniu. Dźwięk tworzony jest na drodze elektronicznej, przez syntezowanie dźwięku na drodze matematycznej albo przez odtwarzanie i modyfikację próbek zapisanych w pamięci samplera. W roku 1971 powstał pierwszy syntezator cyfrowy **Con Brio ADS**. Był bardzo drogi. Znalazł zastosowanie w produkcji efektów dźwiękowych w programach telewizyjnych. Rok 1973 to analogowo-cyfrowy (tzw. hybrydowy) **Maplin Synthesiser**. Dopiero koniec lat siedemdziesiątych to rozwój syntezatorów bardziej dostępnych dla muzyków. Pierwsze to pochodzące z 1976 r. **Fairlight** (kosztował 100 tys. dolarów) i **Synclavier** (kosztował około 50 tys. dolarów), będące połączeniem syntezatora i komputera, wyposażone zarówno w klawiaturę muzyczną, jak i komputerową, oraz twardy dysk. W roku 1983 firma Yamaha uruchomiła masową produkcję cyfrowych syntezatorów polifonicznych serii DX, które miały już tylko jedną klawiaturę i mieściły się w jednej obudowie. Najbardziej popularny to **Yamaha DX 7**. Równie często używane przez muzyków były **Roland JX 3P** i **Korg M 1**. Syntezatory stały się na tyle tanie, że ich dźwięk stracił swój walor oryginalności i niepowtarzalności. Obecnie znów panuje moda na brzmienia z lat 80.

Samplery, czyli cyfrowe urządzenia próbkujące, dzięki zwiększeniu ich dostępności pod koniec lat osiemdziesiątych stały się podstawowym elementem współczesnych muzycznych studiów elektronicznych. Samplery umożliwiają użycie w naszej muzyce dźwięków nagranych z innych źródeł. Między innymi pozwalają zapisać próbki brzmienia prawdziwych instrumentów, a następnie modulować je tak jak w syntezatorze. Pojawienie się samplerów zmieniło radykalnie muzykę elektroniczną, a współczesne syntezatory imitujące, korzystając z nagranych próbek instrumentów akustycznych, znacznie bardziej upodobniają się dźwiękiem do oryginałów.

Obecnie są w sprzedaży całe biblioteki próbek, czyli sampli poszczególnych instrumentów, a także różnych grup instrumentów i brzmień różnych zespołów. Nagrywaniem sampli zajmują się wybitni fachowcy, a w nagraniach uczestniczą markowe zespoły muzyków i wykorzystywane są najwyższej klasy instrumenty. Dla uzyskania naturalnego brzmienia dla jednego instrumentu wykonuje się bardzo wiele próbek pochodzących z różnych części skali (zobacz rozdział 1.08.01), czyli rejestrów, różnych pod względem sposobu wydobywania dźwięku, czyli artykulacji (zobacz rozdział 1.08.05) i dynamiki (zobacz rozdział 1.08.02). Jednym z najbardziej znanych światowych specjalistów w dziedzinie produkcji sampli jest Polak – absolwent Wydziału Reżyserii Dźwięku Uniwersytetu Muzycznego Fryderyka Chopina w Warszawie – Peter Sedlaczek.

Osobną grupę urządzeń stanowią **syntezatory mowy**. Pierwsze symulatory mechaniczne pojawiły się w XVIII w. W urządzeniach tych zastosowano stroiki, takie jak w harmonijce ustnej. Za pomocą tego urządzenia można było odtwarzać samogłoski. W 1876 r. Aleksander Bell opatentował system wytwarzania mowy

opracowany na bazie pomysłów kilku poprzednich badaczy, m.in. Kempelena i Wheatstone'a, którzy opanowali wytwarzanie głosek szczelinowych. Ciekawostką jest, że szkolenie operatorów pozwalające na skuteczne generowanie rozpoznawalnej i zrozumiałej mowy trwało rok. Syntetyczne odtworzenie mowy nie jest proste, bo w odróżnieniu od dźwięku instrumentów muzycznych nasz głos nie jest czystym wielotonem harmonicznym, a widma różnych odgłosów wydawanych przez człowieka są bardzo złożone i nieregularne (zobacz rozdział 1.08.03).

Obecne urządzenia cyfrowe imitujące mowę są rodzajem samplerów przechowujących w pamięci zapisane głoski i ich różne konfiguracje nagrane przez lektora, które odtwarzają je w określonych sytuacjach. Warunkiem jest nienaganna dykcja osoby nagrywającej zestaw elementów dla takiego urządzenia. W ten sposób „mówią” do nas np. telefony czy nawigacja samochodowa. W wielu przypadkach prostsze jest nagranie w całości poleceń i komunikatów, jakie mamy usłyszeć. Inne zastosowanie syntezatorów mowy to urządzenia reagujące na głos, czyli sterowanie telefonem, edytorem tekstu itp.

Kolejnym wynalazkiem wspomagającym twórcę i wykonawcę muzyki elektronicznej stał się **sequencer**. Jest to urządzenie zapamiętujące nuty. Nuty możemy zapisać lub zagrać w dowolnym brzmieniu i tempie, korzystając z komputera i syntezatora, a następnie odtworzyć tak zapamiętany zapis z dowolną barwą, na przykład korzystając z samplera i różnych odtwarzanych z niego brzmień, oraz dowolnie kształtując tempo odtwarzanego przebiegu. Pierwsze sequencery sterowały syntezatorami analogowymi. Były bardzo skomplikowane i dostosowane do współpracy tylko z syntezatorem, do którego je zaprojektowano. Rynek zrewolucjonizowało pojawienie się interface MIDI. Odtąd sequencery pozwalają na programowanie i sterowanie różnymi urządzeniami posiadającymi wejście tego typu. Najprymitywniejsze kontrolują długość trwania dźwięku, jego głośność i wysokość. Obecnie sequencerem może być dowolny komputer wyposażony w odpowiedni program. Dzisiejsze urządzenia mogą też sterować wieloma parametrami i instrumentami jednocześnie.

Połączenie samplera i sequencera to np. **automat perkusyjny**. Jedne z pierwszych to Roland TR 606 i Roland TB 303 – w założeniu syntezator realizujący linię basu i uzupełnienie pierwszego modelu. Dzięki niepowtarzalnemu brzmieniu zapoczątkował rewolucję w muzyce elektronicznej.

W roku 1988 firma AKAI wprowadziła na rynek **beat-maszynę** o symbolu MPC 60, która stała się pierwszym z urządzeń tej legendarnej serii. Obecnie popularni na rynku są jej następcy, oparte na najnowszych technologiach modele MPC, posiadające np. pamięć RAM do 192 MB, możliwość podłączenia do komputera przez łącze USB, pamięć typu flesz i rozmiary laptopa.

Produkcję analogowych syntezatorów polifonicznych podjęło bardzo wiele firm. Te same firmy w późniejszych latach zaczęły produkować syntezatory hybrydowe i cyfrowe. Z ich markami na stałe związali się słynni twórcy i ich potrzeby kierunkują dalszy i ciągły rozwój instrumentów. Przede wszystkim są to Roland

Corporation (M. Oldfield), E-mu, Oberheim (J.M. Jarre, Vangelis, M. Oldfield), Elektronic Music Studios – Synthi (Pink Floyd, Roxy Music), Korg, Yamaha (Kraftwerk, Enya, Deep Purple, U2, Vangelis, B. Eno), Casio, ARP Instruments (H. Hancock, J. Zawinul, Depeche Mode), Akai (G. Ciechowski), Fairlight (J. Hammer, P. Gabriel, H. Hancock J.M. Jarre, M. Oldfield), Alesis, Moog (Yes, K. Emerson, T. Banks, M. Biliński), Sequential Circuits (Eurythmics, Depeche mode, Duran Duran, S. Łosowski), New England Digital – Synclavier (S. Wonder, Sting).

W latach dziewięćdziesiątych wielu muzyków zaczęło wracać do starych instrumentów analogowych z powodu ich niepowtarzalnego, ciepłego brzmienia, którego cyfrowo nie daje się dokładnie odtworzyć. Często też instrumenty analogowe, mimo ogromnej ilości gałek i pokręteł, są bardziej przyjazne w obsłudze. Dzisiejsze instrumenty cyfrowe bardzo często konstruowane są tak, aby w użyciu przypominały stare instrumenty analogowe, tyle że ich możliwości zostały poszerzone np. o komunikację za pomocą MIDI z komputerem.

Istnieje też wiele syntezatorów w formie softwarów, a ich możliwości są nieraz większe niż urządzeń klasycznych.

1.04.02.02. Elektrofony elektromechaniczne

Transformowanie tradycyjnych instrumentów przy użyciu obwodów elektrycznych początkowo miało na celu jak najwierniejsze odtworzenie i wzmocnienie ich naturalnego akustycznego brzmienia. Pierwszym instrumentem, który „poprawiono”, była gitara. Jako pierwsze opracowano gitary, do których dodano przetworniki elektromagnetyczne, umieszczone pod strunami, przetwarzające drgania struny na prądy indukcyjne (tzw. przystawki). **Gitara elektryczno-akustyczna** jest to gitara akustyczna wyposażona w przetworniki elektromagnetyczne. W przypadku gitary elektryczno-akustycznej płyta rezonansowa obciążona jest najczęściej dwiema przystawkami, czterema potencjometrami, przełącznikiem przystawek, nieraz gniazdem wyjściowym, a na dodatek elementami elektronicznymi wewnątrz pudła rezonansowego. Takie rozwiązanie nie daje już akustycznego brzmienia instrumentu i osłabia jego dźwięk. Osłabienie brzmienia akustycznego nie ma tu jednak takiego znaczenia, bowiem wzmacniany elektrycznie jest jedynie dźwięk strun gitary. Natomiast pudło ma pośredni wpływ na powstający dźwięk, bo inaczej drga struna mająca pod sobą pudło rezonansowe, a inaczej, gdy go nie ma, a dźwięk obu instrumentów różni się barwą. Do gitar elektryczno-akustycznych zaliczamy też gitary elektryczne posiadające pudło rezonansowe, którego boczki są o połowę niższe od normalnej wysokości. Jest to tzw. **półpudło**.

Okazało się, że możliwość transformowania sygnału u jego źródła daje ogromne szanse wpływania na charakterystyki brzmieniowe i tworzenie dźwięków dotąd nieznanych. W ten sposób powstała gitara elektryczna, instrument tylko przez kształt i nazwę związany ze swoim klasycznym pierwowzorem. **Gitara elektryczna** to instrument, który zamiast pudła rezonansowego posiada pełny blok, najczęściej drewniany (tzw. deska). Problem akustyczności w tym przypadku jest

nieistotny, również kształt samego korpusu ma małe znaczenie jeśli chodzi o barwę dźwięku. Konstruktorzy mają tu na uwadze względy estetyczne i wygodę gry.

Pod strunami gitara elektryczna ma umieszczone przetworniki elektromagnetyczne. Drgania struny metalowej umieszczonej w polu elektromagnetycznym zamieniane są w zmiany napięcia elektrycznego. Na korpusie gitary zamocowane są potencjometry siły głosu, barwy tonu, przełącznik przystawek, gniazdo wyjściowe, a czasem dodatkowe przełączniki kilkupozycyjne, zawierające gotowe mikstury barwowe. Gitary elektryczne charakteryzują się czystym elektrycznym dźwiękiem, jaskrawym w górze, głębokim w dole. Instrumenty te nie sprzęgają się ze wzmacniaczem tak łatwo jak gitary posiadające pudło rezonansowe, przez co łatwiej dźwięk przesterować i grać kontrolowanym sprzężeniem zwrotnym. Dobrze współpracują ze wzmacniaczem dużej mocy, są wygodne, trwałe i łatwe w transporcie. Najlepiej też współpracują z różnego rodzaju przetwornikami dźwięku, jak wahwah, fuzz, flanger, chorus itp. (zobacz rozdział 2.10).

Pierwszym słynnym posiadaczem gitary elektrycznej był Charlie Chrystian z zespołu Benny Goodmana. Mocno brzmiąca gitara pozwoliła na granie solówek i konkurowanie w mocy dźwięku z big bandem. Była to pochodząca z 1935 r. gitara z pudłem rezonansowym firmy Gibson o symbolu **ES-150**, a później **ES-155**. Pomysłodawcą gitary „The long”, czyli „deski”, był gitarzysta Les Paul, ale Gibson nie docenił jego pomysłu, dlatego pierwsze gitary tego typu wyprodukowała firma Fender. W roku 1949 powstała gitara **Esquire**, a później modele **Broadcaster** i **Telecaster**. Gibson nadal produkował gitary z pudłem rezonansowym, a ich wiernym klientem był Chuck Berry, miłośnik modelu z półpudłem **ES-355**. W roku 1952 Gibson wyprodukował pierwszą deskę, na cześć pomysłodawcy nazwaną **Gibson Les Paul**. Jest to jeden z najbardziej cenionych instrumentów na rynku. Lata sześćdziesiąte znowu należały do Fendera, który wyprodukował model **Fender Stratocaster**, uznawany za gitarę elektryczną wszechczasów. Jej wielkim wielbicielem był Jimi Hendrix. Można powiedzieć, że te dwie firmy podzieliły pomiędzy siebie całkowicie rynek gitar elektrycznych na świecie. Jedyne firmy Ibanez i Gretch są poza nimi w ogóle zauważane. Warto też wspomnieć o instrumentach unikatowych. Gitarzysta grupy Queen Brian May gra na instrumencie Red Special, który skonstruował samodzielnie jeszcze jako nastolatek. Carlos Santana korzysta z gitar robionych każdorazowo na zamówienie przez firmę PRS. Na gitarze dwunastostrunowej gra jazzman Ralph Towner. Gitar dwugryfowych używają John McLaughlin i Seweryn Krajewski. Na obu gryfach jednocześnie grywa Adam Fular.

Istnieje również **syntezator gitarowy**. Jest to instrument elektroniczny, który ma budowę gitary, ale działa tak jak syntezator klawiszowy. Nazywany jest też **gitarą MIDI**. Z takich instrumentów korzystają John McLaughlin i Pat Metheny.

Gitara basowa to elektryczna gitara czterostrunowa o stroju obniżonym o oktawę w stosunku do gitar tradycyjnych. Jeżeli poszukiwać jej odpowiednika wśród instrumentów akustycznych, to najbardziej spokrewniona jest z kontrabasem.

W latach siedemdziesiątych XX w. udało się skonstruować przetworniki (mikrofony kontaktowe), dzięki którym mogły zostać zmodyfikowane prawie wszystkie

instrumenty akustyczne, także dęte i perkusyjne. Jest to grupa instrumentów akustyczno-elektrycznych. Do najczęściej używanych należą: gitara, gitara basowa, skrzypce, kontrabas i fortepian.

Gitara akustyczno-elektryczna jest to instrument, w którym brzmienie pudła rezonansowego jest za pośrednictwem przystawki wzmacniane i odtwarzane przez głośnik (zobacz rozdział 2.14). Stosuje się przystawki na prądy indukcyjne i przystawki kontaktowe zamieniające drgania płyty rezonansowej. Dźwięk gitary wzmocnionej elektrycznie za pośrednictwem mikrofonu kontaktowego (zobacz rozdział 2.07.05) nie różni się barwą od naturalnego brzmienia, z tym że istnieje możliwość korekty barwy poprzez equalizer wbudowany bezpośrednio w gitarę lub we wzmacniacz. Niewątpliwą korzyść z zastosowania gitary **akustyczno-elektrycznej** to szansa, że gitara, która w porównaniu z innymi instrumentami ma dźwięk dość cichy, wzmocniona elektrycznie może być używana w zespołach nie tylko jako instrument harmonicznokolorystyczny, ale także jako wykonawca partii solowych. Gitara akustyczno-elektryczna znalazła zastosowanie przede wszystkim w muzyce rozrywkowej i jazzie (P. De Lucia, A. Di Meola, J. McLaughlin, J. Strobel, M. Grymuza, M. Napiórkowski, K. Woliński). Z takich gitar korzystają też akompaniujący sobie piosenkarze.

Również w muzyce rozrywkowej, a przede wszystkim w jazzie znalazły zastosowanie **skrzypce akustyczno-elektryczne** (M. Urbaniak, K. Dębski) i **kontrabas elektryczny** (właściwie akustyczno-elektryczny), który często stosuje się wymiennie z elektryczną gitarą basową.

Najbardziej znane **pianino elektryczne** to **Fender Rhodes**. Jego specyficzne i piękne brzmienie okazało się całkiem nie do podrobienia. Instrument ten, podobnie jak wcześniej moog czy hammond, stał się znakiem rozpoznawczym muzyki rozrywkowej tego okresu.

Organy Hammonda (1935 r.) to jeden z najbardziej znanych elektrofonów elektromechanicznych i pierwszy instrument elektryczny, który wszedł do masowej produkcji, co więcej – jest produkowany i otaczany przez muzyków wciąż do dziś (zobacz zdjęcie). Skonstruował go amerykański zegarmistrz Laurens Hammond. Oparł się na tej samej zasadzie co twórca telharmonium. Dźwięk wydawany przez instrument jest ciepły i intrygujący. Początkowo organy składały się z dwóch niezależnych urządzeń: klawiatury i konsoli. Później połączono je w jeden instrument. Organy mają 61 klawiszy i 25 lub 32 (w wersji koncertowej) pedały. Za kultowy uchodzi **model B-3**. Współczesny hammond w wersji **XE-1** to urządzenie cyfrowe, miniatura swojego antenata.

Charakterystyczne wibrujące brzmienie, które kojarzymy z organami Hammonda, uzyskiwane jest dzięki dodatkowemu urządzeniu – **głośnikom Leslie**. Jest to zestaw wirujących głośników wykorzystujący efekt Dopplera (zobacz rozdział 1.08.01). W zależności od prędkości, z jaką wirują głośniki wysokotonowe (trąbki) i przesłona głośnika niskotonowego, możemy uzyskać dźwięk czysty, dźwięk z chorem lub efekt tremolo. Nie jest to wynalazek Hammonda, nigdy też go nie używał, a nawet nie lubił. Twórcą pomysłu jest Don Leslie, a pierwsze egzempla-

rze wyprodukowała w 1940 r. jego firma Electro Music. W roku 1965 produkcję przejęło CBS Musical Instrument i dopiero w 1980 r. patent i produkcja systemu głośników Lesliego stała się własnością firmy Hammond.

Organy Hammonda to wizytówka muzyki rockowej lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych (Procol Harum), później popularność tego instrumentu w rocku zanikła. Wcześniej stosowano je w muzyce poważnej (Karlheinz Stockhausen – Mikrofon II). Sam konstruktor uważał, że instrument powinien służyć do muzyki sakralnej. Denerwowało go używanie organów w jazzie, ale właśnie jazz (Wojciech Karolak, Krzysztof Sadowski) i muzyka popularna okazały się najwiewniejsze jego wynalazkowi.

Wielu muzyków wychowanych w kręgu muzyki klasycznej i instrumentów akustycznych znakomicie odnalazło się w świecie elektroniki. Pianisci równie biele operują fortepianem, jak i syntezatorami wyposażonymi w klawiaturę, pianem Fendera czy organami Hammonda, które powinny być bliższe organistom. Nie dzieje się to jednak automatycznie. Są to inne instrumenty i technika gry jest odmienna, a „klawiszowcy”, jak zwykle się określać muzyków grających na syntezatorach, rzadko osiągają biegłość pianistów. Aby grać na klasycznym fortepianie, niezbędna jest dobra technika i godziny ćwiczeń. Syntezator, szczególnie wspomagany przez sequencer, może obsłużyć nawet osoba z trudem odnajdująca właściwe klawisze.

Podobnie ma się rzecz z gitarami. **Gitara klasyczna** to instrument różniący się nieco proporcjami (np. długością gryfu) nawet od **gitary akustycznej**. Stosuje się też do grania struny plastikowe, a nie metalowe. Muzycy grający na niej to osoby, które odebrały solidne wykształcenie i opanowały różne techniki gry. Gitara akustyczna w założeniu była przeznaczona do muzyki pop, folk, country, rzadziej jazzu czy rocka. Nie trzeba tak wielkich umiejętności, aby grać akordy czy prosty akompaniament, dlatego bez trudu grają na niej, podobnie jak na gitarze akustyczno-elektrycznej, klasycy gitarzyści. Natomiast nie można liczyć, że stanie się odwrotnie. Muzyk grający tylko repertuar popularny nie ma przygotowania do wykonywania klasyki. Gitara akustyczna i gitara elektryczna to całkiem inne instrumenty, a jedyne wspólne cechy to sposób ustalania wysokości wydobywanego dźwięku i nazwy strun. Dlatego gitarzyści są w stanie „coś” zagrać na każdym z tych instrumentów. Natomiast technika grania i rodzaj muzyki, do jakiej przeznaczone są te instrumenty powoduje, że nazwiska wirtuozów gry na każdej z gitar to osobna lista.

Warto jeszcze zwrócić uwagę na gitarę basową. Jest to instrument elektryczny, a jego struny sugerują pokrewieństwo z kontrabasem. Rzeczywiście, część kontrabasistów grających muzykę rozrywkową opanowała sztukę gry na tym instrumencie, ale są to instrumenty odrębne, wymagają innej techniki gry i umiejętności, a więc planując nagranie nie można liczyć, że na obu może zagrać ten sam muzyk. Za to bez problemu każdy instrumentalista klasyczny może grać na wersji akustyczno-elektrycznej swojego instrumentu.

Wśród kompozytorów muzyki poważnej używających w swym instrumentarium elektrofonów należy wymienić Oliviera Messiaena, Dariusza Milhauda, Arthura Honnegera, Johna Cage’a, Maurice Jarre’a, Karlheinz Stockhausena, Luigię Nono.

Najnowsze trendy sugerują zaliczanie do elektrofonów jedynie instrumentów generujących dźwięk na drodze elektrycznej bądź elektronicznej. W takim przypadku gitara elektryczna powinna być uznana za chordofon, ponieważ źródłem dźwięku jest drgająca struna, czyli układ mechaniczny. Podział ten jest jednak dyskusyjny i nie odpowiada na pytanie, jakiego typu instrumentem są organy Hammonda czy piano Fendera.

1.04.03. Klasyfikacja zespołów muzycznych

Muzyk może grać na instrumencie sam, wtedy mówimy, że gra **solo**. Najczęściej muzycy grają na instrumentach w grupach, a wtedy mówimy, że są to **zespoły muzyczne**. W muzyce klasycznej zespoły dzielimy na **kameralne** i **orkiestrowe**.

Do zespołów kameralnych zaliczamy duet (duo), trio, kwartet, kwintet, sekstet, septet, oktet. Nazwa wskazuje, ilu muzyków liczy zespół. Ponadto określa się rodzaj zespołu zależnie od instrumentów, na jakich grają muzycy w danej grupie, na przykład:

- trio stroikowe to trzy instrumenty dęte drewniane,
- kwartet smyczkowy to dwie pary skrzypiec (o skrzypcach, które podobnie jak „drzwi” są zawsze w liczbie mnogiej, mówimy: para), altówka i wiolonczela,
- kwintet smyczkowy to kwartet smyczkowy z kontrabasem,
- kwintet fortepianowy to kwartet smyczkowy z fortepianem, itp.

Nazwa „kwintet” popularnie oznacza też orkiestrę smyczkową, która składa się z większej liczby muzyków, ale podzielonych na pięć grup, w ramach których wykonywane są te same partie (głosy, zestawy nut), odpowiadających pierwszym i drugiem skrzypcom, altówce, wiolonczeli i kontrabasowi. Stąd pytanie o „skład kwintetu”. W poszczególnych grupach muzycy występują zazwyczaj w proporcjach:

- 10 – pierwszych skrzypiec,
- 8 – drugich skrzypiec,
- 6 – altówek,
- 4 – wiolonczele,
- 3 – kontrabasy,

a także 12, 10, 8, 6, 4; 8, 6, 4, 3, 1; 6, 4, 3, 2, 1.

Im większa jest nasza orkiestra smyczkowa, tym brzmi bardziej gładko i śpiewnie. W mniejszych składach lepiej słyszalne są poszczególne instrumenty, co rzadko jest celem kompozytora. Nie uzyskamy brzmienia dużej orkiestry smyczkowej przez kilkakrotne nagrywanie i nakładanie małego zespołu. Powiększy się ogólna głośność, ale nie odtworzymy powstających odbić pomieszczenia, które przy pełniejszym brzmieniu staje się bardziej „aktywne” (zobacz rozdział 1.11).

Jeżeli w składzie zwiększymy liczbę wiolonczel i kontrabasów lub wiolonczel, kontrabasów i altówek kosztem liczby skrzypiec, to orkiestra uzyska ciemne,

mroczne brzmienie, jeżeli zrobimy odwrotnie – orkiestra będzie brzmiała jasno i ostro. Przykładowy skład „ciemny” to:

- 10 – pierwszych skrzypiec,
- 8 – drugich skrzypiec,
- 6 – altówek,
- 6 – wiolonczel,
- 6 – kontrabasów.

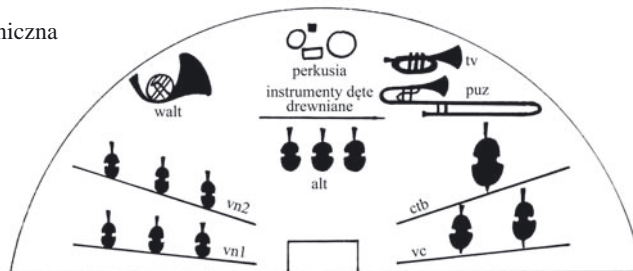
Klasyczna orkiestra może być:

- kameralna,
- mała symfoniczna,
- wielka symfoniczna,
- symfoniczna zwiększona.

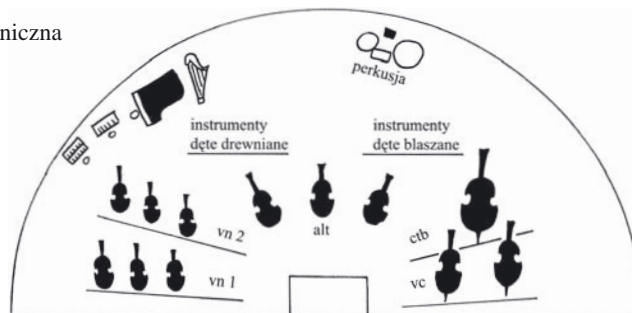
Jej skład w ogólnych zarysach jest taki sam, ale zależy od potrzeb danego utworu, a te z kolei między innymi od epoki, w jakiej utwór powstał. Utwory starsze z reguły pisane są na mniejsze zespoły, głównie smyczkowe, później wraz z rozwojem instrumentów dętych i one są włączane stopniowo do orkiestry. Powiększa się również cały skład, bo przybywa instrumentów smyczkowych, aby móc zachować proporcje w brzmieniu poszczególnych grup instrumentów. Największe składy orkiestrowe są charakterystyczne dla kompozytorów drugiej połowy XIX w. Jako ostatnia dołączyła do orkiestry symfonicznej ogromna grupa instrumentów perkusyjnych. Ich duża reprezentacja jest charakterystyczna dla utworów z początku XX w.

Obowiązują też ściśle zasady rozmieszczania zespołów klasycznych na estradzie (rys. 8 a,b,c,d,e).

a) orkiestra symfoniczna
układ pierwszy

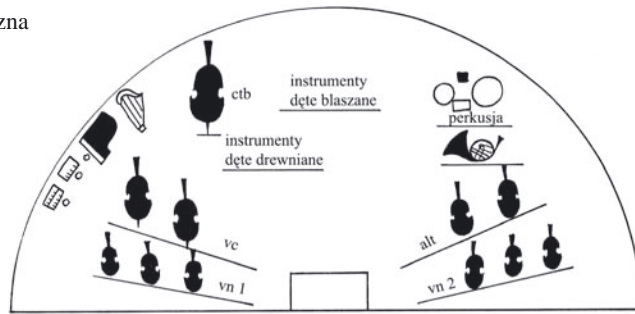


b) orkiestra symfoniczna
układ drugi

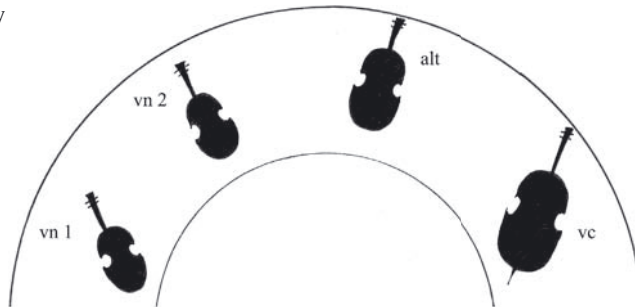


Rys. 8 a.b. Rozmieszczenie zespołów na estradzie

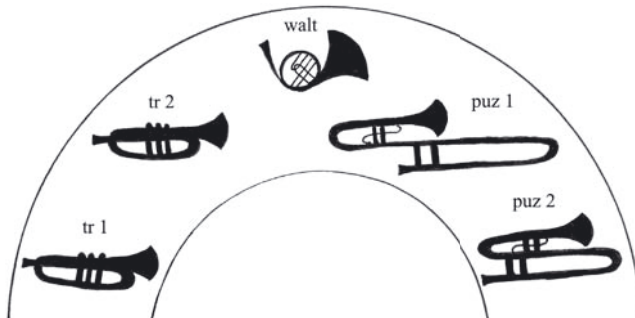
c) orkiestra symfoniczna
układ trzeci



d) kwartet smyczkowy



e) kwintet dęty



Rys. 8 c, d, e. Rozmieszczenie zespołów na estradzie

Specyficzny określony skład mają również orkiestry i zespoły innych typów. Rozróżniamy:

a) orkiestry i zespoły jednorodne, a wśród nich:

- **orkiestry dęte**, głównie wojskowe lub związane ze służbami mundurowymi, takimi jak kolejarze, tramwajarze czy strażacy. Mają różny skład i wielkość w różnych krajach. W Polsce dzielimy je na marszowe (14 osób), fanfarowe (18–22), harmonie (27–34) i koncertowe (38–50),
- **orkiestry piórkowe** – przede wszystkim bałajkowe i domrowe. W Polsce najpopularniejsze są zespoły mandolinowe (słynna kiedyś orkiestra Ciukszy). W ich skład wchodzi mandolina różnej wielkości (odpowiednik

- skrzypiec, altówki itd.), banja, gitary, kontrabas, a czasem też akordeon, fortepian i perkusja,
- **orkiestry akordeonowe** (zespół akordeonistów Tadeusza Wesołowskiego),
 - **zespoły perkusyjne** (Warszawska Grupa Perkusyjna Stanisława Skoczyńskiego),
- b) orkiestry i zespoły rozrywkowe, czyli:
- **big band** – oparty na sekcji dętej (saksofony, trąbki, puzony) i sekcji rytmicznej (fortepian, instrumenty szarpane - gitary, kontrabas i perkusyjne),
 - **orkiestry taneczne** – oparte na big bandzie i kwintecie smyczkowym,
 - **comba jazzowe** i zespoły taneczne (na wzór klasyczny określane również jako tria, kwartety itd.) – oparte na fortepianie, perkusji i kontrabasie (stanowiących tzw. sekcję rytmiczną), uzupełniane zależnie od potrzeb i możliwości o instrumenty grające melodię i improwizujące, takie jak klarnet, saksofon, trąbka, puzon, gitara, skrzypce,
 - **zespoły rockowe** – mające w podstawowym składzie 3 gitary (prowadzącą, rytmiczną, basową) i perkusję, uzupełniane o instrumenty klawiszowe, dęte, a nawet całe orkiestry smyczkowe,
 - **zespoły instrumentów elektronicznych** (właśnie reaktywowane String collection Krzesimira Dębskiego),
- c) zespoły i orkiestry ludowe, czyli tzw. kapele – zależnie od regionu i rodzaju granego folkloru, wielkość i skład kapel są bardzo różne. Dla Polski charakterystyczne są skrzypce, klarnet, harmonia, czyli prosty akordeon, bębenek, bas, czyli 3-strunowy kontrabas. W kapelach wykorzystuje się też tradycyjne ludowe instrumenty, takie jak dudy (Wielkopolska), kozioł (Ziemia Lubuska), mazanki (odmiana skrzypiec), cymbały (kresy wschodnie).

Bez względu na rodzaj i rozmiary zespołu osobę prowadzącą zespół nazywamy **dyrygentem** lub po staropolsku **kapelmistrzem**. Jego „instrumentem” jest **batuta** (z włoskiego takt). Jej wynalazcą jest F. Mendelssohn, a za materiał posłużyły mu pałki perkusyjne. Wcześniej dyrygowano stukając **laską dyrygencką** o podłogę. Od niej pochodzi **laska marszałkowska** w sejmie i **buława** wojskowego kapelmistrza. Muzyka zasiadającego po lewej ręce dyrygenta nazywamy **koncertmistrzem** (w orkiestrze symfonicznej jest to pierwszy skrzypek).

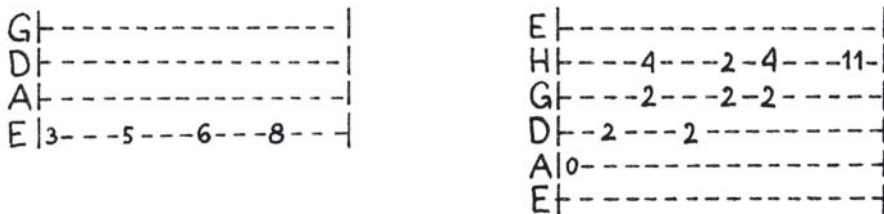
1.04.04. Partytura

Zapis nutowy dla całej orkiestry to **partytura**. Korzysta z niej dyrygent. Nuty przeznaczone dla poszczególnych instrumentalistów nazywamy **głosami orkiestrowymi** (zobacz zdjęcia). Partyturę dla orkiestry przygotowuje kompozytor lub **instrumentator** według uzgodnień z kompozytorem. W muzyce rozrywkowej często partyturę przygotowuje **aranżer**, czyli osoba dostosowująca utwór do danego wykonania. Osoba zajmująca się przygotowaniem nut dla poszczególnych instrumentów na podstawie partytury to **kopista**. Dawniej partytury pisano ręcznie. Obecnie jest na rynku wiele programów komputerowych, które pomagają pisać partytury. Można pisać nuty bezpośrednio w komputerze lub przy pomocy

odpowiedniego programu zamienić w nuty partie wykonywane na syntezatorze. Oczywiście nie można liczyć na to, że komputer napisze za nas poprawnie całą partyturę. Sam jej też nie skopiuje w postaci głosów orkiestrowych. W dalszym ciągu mimo rozwoju techniki i istnienia specjalnych programów komputerowych do skanowania, porządkowania i rozpisywania partytur, duża część tej pracy wykonywana jest ręcznie, a jej dokładność zależy od człowieka. Najpopularniejsze programy do pisania i kopiowania nut to Sibelius, Encore, Finale, Note Pad, Song Writer, Capella, Magicscore. Kopista to dobry duch kompozytora. Nie tylko przepisuje partyturę, ale również poprawia błędy i niedokładności zapisu. Najczęściej tworzy też czystopis partytury, z którego kopii na nagraniu korzysta dyrygent, realizator nagrania i konsultant muzyczny.

Przygotowanie głosów instrumentalnych do nagrań muzyki filmowej jest wyjątkowo odpowiedzialną pracą. Muzycy wykonują utwory **a vista** (bez wcześniejszych prób) i są wynagradzani za kolejne godziny pracy w studiu. Dlatego nuty muszą być napisane dużymi znakami, wyraźnie, przejrzysto i bezbłędnie.

Specyficznym rodzajem zapisu jest **tabulatura**. Zapisywano tak od XV do XVII wieku utwory do wykonania na lutni lub organach, zamiast nut wykorzystując litery i cyfry (rys. 9). Słowo „tabulatura” oznaczało też zbiory tak zapisanych utworów. Najśłynniejsza i najobszerniejsza w Europie jest szesnastowieczna tabulatura Jana z Lublina. Obecnie tabulaturę stosuje się jako łatwiejszy, alternatywny sposób zapisywania utworów dla gitarzystów nieznających nut.



Rys. 9. Tabulatury gitarowe

Jest to system linii odpowiadających strunom gitary. Struna najwyższa jest na górze. Zapis czyta się z lewej do prawej, a cyfry oznaczają kolejne progi i kolejność uderzenia dźwięków. Rytmikę oznacza się ułamkami.

1.05. Fale dźwiękowe

Dźwięk rozprzestrzenia się za pomocą fal dźwiękowych.

Fala jest to zaburzenie rozchodzące się w ośrodku sprężystym i przenoszące energię, a polega na drganiach cząstek wokół położenia równowagi. Drgania jednej cząstki sprężystej przenoszą się na następne, a te na powierzchnię ciała sprężystego, z którym sąsiadują. W trakcie rozchodzenia się dźwięku nie następuje przemieszczanie się cząstek.

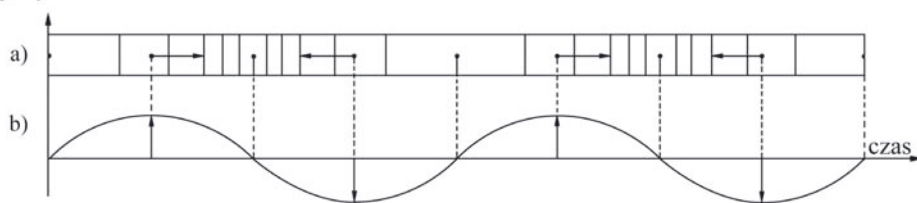
Drganie jest to proces polegający na powtarzaniu się pewnych zdarzeń w stałych odstępach czasu, tzw. okresach. Jako dźwięk mogą zostać rozpoznane przez człowieka drgania, których ruch powtarza się przynajmniej 20 razy w ciągu jednej sekundy, lecz nie częściej niż 20 tysięcy razy w ciągu jednej sekundy.

Fale dzielimy:

a) ze względu na kierunek drgań powierzchni sprężystych na poprzeczne i podłużne.

Fala poprzeczna powstaje wtedy, gdy kierunek drgań powierzchni sprężystych jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali. Takie fale rozchodzą się po powierzchni wody, kiedy wrzucimy do niej kamień. Fala dźwiękowa jest **falą podłużną** (rys. 10), gdyż kierunek drgań powierzchni sprężystych jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali.

wychylenie



a) stan wychyleń cząsteczek

b) wykres

Rys. 10. Fala podłużna

b) ze względu na kierunki rozchodzenia się fale dzielimy na **kuliste i płaskie**.

Fala dźwiękowa jest falą kulistą, bo rozchodzi się we wszystkich kierunkach. Jednak w dużej odległości od źródła można ją traktować jak falę płaską.

1.06. Obiektywne wielkości charakteryzujące falę dźwiękową

Istnieje cały szereg obiektywnych wielkości, którymi można scharakteryzować falę dźwiękową. Są to:

- prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej,
- opór akustyczny,
- częstotliwość drgań,
- długość fali,
- prędkość akustyczna,
- ciśnienie akustyczne,
- natężenie dźwięku,
- moc akustyczna,
- gęstość akustyczna.

Prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej w danym środowisku jest prędkością rozchodzenia się w nim zaburzenia mechanicznego, czyli zależy od prędkości

przekazywania kolejnym cząsteczkom substancji, zwiększonej ciśnieniem dźwięku. Prędkość ta zależy od **środowiska**, w jakim się dźwięk rozchodzi. W powietrzu przy temperaturze 15° C jest to 340 m/s, czyli 1225 km/h.

Środowiskiem przyjaznym dla fali dźwiękowej są też inne gazy, ciecze, a także ciała stałe. Bardzo różna jest tylko prędkość rozchodzenia się w nich dźwięku (rys. 11).

Analizując te dane można stwierdzić, że przyjazne środowiska to te, w których dźwięk rozchodzi się szybko. Wolne rozchodzenie się dźwięku oznacza, że środowisko stawia dźwiękowi duży opór, dźwięk więc przemieszcza się w nim wolno i traci dużo energii, a więc ulega tłumieniu.

Również w danym środowisku prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej może być różna. Największy wpływ na zmianę prędkości ma wzrost bądź spadek temperatury. Przykładowo przy temperaturze 0° C prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej w powietrzu wynosi 332 m/s, przy temperaturze 20° C jest to 343 m/s, a przy temperaturze 30° C aż 349 m/s. W niewielkim stopniu prędkość tę zmienia wilgotność. Zgodnie z przewidywaniami modelu gazu idealnego, na prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej nie ma wpływu ciśnienie. Nie zmienia jej też natężenie danego dźwięku. **Dźwięk nie rozchodzi się w próżni, bo próżnia jest środowiskiem niesprężystym.**

Środowisko	Prędkość w m/s
aluminium	6420
benzyna, etanol	1160
beton	3800
cegła	3650
drewno dębowe	3380
drewno jodłowe	5260
dwutlenek węgla	260
guma	70
korek	480
lód	3300
miedź	5100
ołów	1960
powietrze	340
rtęć	1500
stal	4900
szkło	5200
woda	1500
wodór	1260
żelazo	5100

Rys. 11. Zestawienie porównawcze prędkości rozchodzenia się dźwięku w różnych środowiskach

Wszystkie te uwagi nie dotyczą fali świetlnej. Jest to fala elektromagnetyczna i w odróżnieniu od fali dźwiękowej nie potrzebuje, a więc jest niezależna od ośrodka, w jakim się rozchodzi. Nie zależy też od częstotliwości danej fali. Dla wszystkich fal elektromagnetycznych w każdym środowisku prędkość rozchodzenia się jest stała, wynosi 300 000 km/s i w fizyce nazywamy ją **prędkością światła** (zobacz rozdział 1.17 i 2.16).

Warto porównać te dwie prędkości (światła i dźwięku) dla podstawowego środowiska, jakim dla nas jest powietrze. Łatwo można sobie wtedy wytłumaczyć, dlaczego sytuacja oglądana z daleka ma opóźniony dźwięk i dlaczego film synchroniczny w pierwszych rzędach kina wykazuje kilka klatek asynchronu w ostatnim rzędzie

$$340 \text{ m} = 1 \text{ sekunda} = 24 \text{ klatki}$$

$$1 \text{ klatka} = 340 \text{ m} : 24 \text{ klatki} = 14,2 \text{ m}$$

Opór akustyczny to opór, jaki powierzchni drgającej wprawiającej w drganie dane środowisko stawia to środowisko. Im większy opór, tym wolniej rozchodzi się dźwięk i więcej traci energii, a więc ulega większemu tłumieniu.

Częstotliwością drgań (zobacz rozdział 1.02) określa się liczbę okresów (sinusoid) występujących w ciągu jednej sekundy, a wyraża w hercach – Hz. Dźwięki o małej częstotliwości drgań są niskie, o dużej wysokie. Człowiek słyszy dźwięki o częstotliwości od ok. 20 Hz do 20 000 Hz (20 kHz). Drgań spoza tej skali nie słyszymy, chociaż występują w przyrodzie. Drgania o mniejszej częstotliwości nazywamy **infradźwiękami** i możemy je odczuwać jako impulsy, drżenia i wstrząsy. Bywają szkodliwe, a wręcz niebezpieczne dla człowieka, gdy ich częstotliwość pokryje się z rezonansem naszych narządów. Drgania o większej częstotliwości nazywamy **ultradźwiękami**. Stosowane są w medycynie, np. w diagnostyce – ultrasonograf, rybołówstwie – echosonda. Można też mówić o **hiperdźwiękach** dla częstotliwości powyżej 100 MHz.

Długość fali dźwiękowej (zobacz rozdział 1.02) oznacza odległość, jaką fala przebywa w czasie jednego okresu. Długość ta jest równa odległości między dwoma sąsiednimi maksymalnymi lub minimalnymi zagęszczeniami cząstek. Fale dłuższe to fale dźwięków niższych, im fala krótsza, tym dźwięk jest wyższy. Przykładowe długości fal dźwiękowych w powietrzu wynoszą dla 20 Hz ok. 17 m, a dla 20 kHz ok. 1,7 cm.

Pomiędzy częstotliwością i długością fali dźwiękowej zachodzi stała zależność, którą można wyrazić wzorem:

$$\text{Długość fali} = \frac{\text{Prędkość dźwięku w danym środowisku}}{\text{Częstotliwość fali}}$$

Przy czym częstotliwość fali jest stała, natomiast długość zależy od prędkości rozchodzenia się dźwięku w danym środowisku.

Prędkość akustyczna jest to prędkość, z jaką drga cząstka środowiska w polu fali dźwiękowej. Jest tym większa, im wyższy i głośniejszy jest ton.

Ciśnienie akustyczne to różnica między ciśnieniem atmosferycznym a ciśnieniem w chwili występowania zaburzenia spowodowanego impulsem akustycznym. Warto zauważyć, że ciśnienie najsłabszego dźwięku, jaki może usłyszeć człowiek, jest 5 miliardów razy mniejsze niż ciśnienie atmosferyczne. Ciśnienie akustyczne maleje wraz z odległością od źródła dźwięku.

Natężenie dźwięku to moc akustyczna przypadająca na metr kwadratowy powierzchni. Natężenie dźwięku maleje z kwadratem odległości od źródła dźwięku.

Moc akustyczna określa siłę źródła dźwięku i mierzona jest w watach. Dla przykładu szept ma moc 0,01 μW, krzyk 2 W, muzyka do 25 W.

Gęstość akustyczna wyraża energię zawartą w jednym metrze sześciennym środowiska.

Wielkości te mierzy się mnóstwem skomplikowanych jednostek liniowych. Są one niewygodne w użyciu, bo zakres różnych parametrów dźwięków występujących w przyrodzie jest ogromny. Z drugiej strony ich wartości liniowe w małym stopniu odpowiadają naszym wrażeniom słuchowym. Nasz słuch jest bowiem subiektywny, a my inaczej niż za jego pośrednictwem nie potrafimy ocenić

dźwięku. Każdy z nas słyszy trochę inaczej, a więc jest to ocena indywidualna. Cechy dźwięku opisujemy na podstawie porównywania wrażeń, a więc jest to **metoda porównawcza**, czyli względna. Dlatego powszechnie stosowaną jednostką dźwięku jest stosunek wartości mierzonej do wartości odniesienia, mierzony w skali logarytmicznej.

Ta jednostka to **bel (B)** lub **decybel (dB)**. 1 bel to jednostka równa dziesiętnemu stosunkowi dwóch wartości tej samej wielkości fizycznej. Podstawową wartością mierzoną w decybelach jest natężenie dźwięku:

- wzrost o 3 dB oznacza podwojenie natężenia dźwięku,
- o 5 dB potrojenie,
- o 10 dB dziesięciokrotny wzrost natężenia.

Za próg słyszalności przyjęto 0 dB o częstotliwości 1000 Hz (rys. 12). W cichym pomieszczeniu słyszymy nawet tykanie zegarka na poziomie 10 dB czy szum o poziomie 30 dB. **Granicą bólu**, a więc odporności naszych uszu, jest natężenie dźwięku 140 dB o częstotliwości 1000 Hz (zobacz rozdział 1.08.02).



Rys. 12. Zestawienie przykładowych poziomów różnego typu sygnałów dźwiękowych

1.07. Słuch

Odbiór fal dźwiękowych, a więc odczuwanie dźwięku przez człowieka możliwe jest dzięki organowi słuchu. Narządem słuchu u człowieka jest **ucho**. Odbiera ono fale dźwiękowe, przekształca je na drgania mechaniczne, a te z kolei na impulsy nerwowe. Ucho odpowiada również za poczucie równowagi (rys. 13).

1.07.01. Budowa ucha

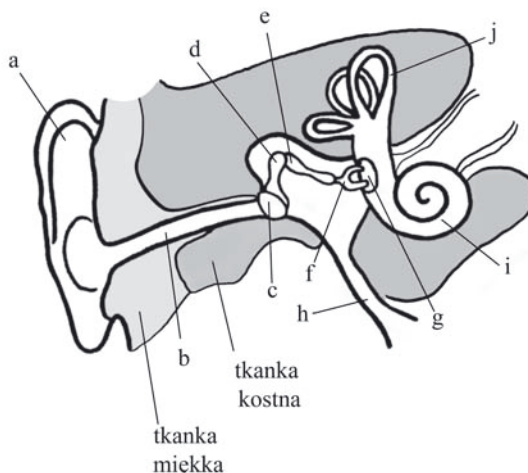
Ucho składa się z:

- a) ucha zewnętrznego,
- b) ucha środkowego,
- c) ucha wewnętrznego.

Ucho zewnętrzne składa się z małżowiny usznej i zewnętrznego przewodu słuchowego zakończonego błoną bębenkową. Jest to jedyna widoczna część ucha.

Małżowina (a) pełni ważną rolę w odczuwaniu kierunku, z którego dochodzi dźwięk. U wielu gatunków zwierząt małżowiny są ruchome, co jeszcze bardziej ułatwia precyzyjne ocenianie kierunku. Jest to też prototyp głośnika tubowego, który wzmacnia dochodzące do ucha dźwięki. Możemy to wzmocnienie zwiększyć, jeżeli przyłożymy do ucha lejek albo zwiniętą dłoń. Tak wyglądały i działały pierwsze aparaty dla niedosłyszących.

Przewód słuchowy (b) to wąski długi kanał o długości ok. 30 mm i szerokości 7 mm wypełniony powietrzem. Zbudowany jest z chrząstki pokrytej skórą. Zawiera przewody wydzielające woskowinę, która zapobiega dostawaniu się do ucha zanieczyszczeń. Fala dźwiękowa trafia do ucha za pośrednictwem przewodu słuchowego i powoduje, że błona bębenkowa drga (c). Przewód ma budowę piszczałki zamkniętej z jednej strony. Jest swego rodzaju rezonatorem



Rys. 13. Budowa ucha

o częstotliwości własnej około 3,7 kHz. Oznacza to, że przewód słuchowy działa jak wzmacniacz dochodzącego do ucha dźwięku (wzmocnienie o 10 dB), a jego rezonans (dodatkowe wzmocnienie o 10 dB) jest zbliżony do częstotliwości, które według badań słyszymy najbardziej przenikliwie (zobacz rozdział 1.08.02.01). Jest to też zakres najbardziej istotny dla rozumienia mowy.

Ucho środkowe to przestrzeń wypełniona powietrzem przedostającą się do jamy z gardła kanałem o długości ok. 35 mm nazywanym **trąbką Eustachiusza** (h). To połączenie umożliwia utrzymanie w uchu wewnętrznym takiego samego ciśnienia powietrza, jakie panuje na zewnątrz. Kiedy połykamy, żujemy czy ziewamy, powietrze przemieszcza się i dzięki temu może to ciśnienie wyrównać. Nasz bębenek drga bez przeszkód, a my dobrze słyszymy. Jeżeli wpuszczone powietrze będzie zawierało zarazki, mogą one zainicjować zapalenie ucha środkowego. Ucho środkowe ma wielkość około 1/8 ucha zewnętrznego. Z jednej strony przestrzeń tę ogranicza błona bębenkowa, z drugiej okienko owalne, stanowiące początek ucha wewnętrznego. W uchu środkowym znajdują się trzy drobniutkie kostki – młoteczek (d), kowadełko (e) i strzemiączko (f). Są to najmniejsze kostki w naszym organizmie. Za ich pośrednictwem drgania membrany ulegają wzmocnieniu i przenoszą się przez okienko owalne (g) na ciecz wypełniającą ucho wewnętrzne. Dźwięk wzmacniany jest przynajmniej siedemnastokrotnie, czyli od 25 do nawet 33 dB.