

SYNTEZA DŹWIĘKÓW MUZYCZNYCH

Pojęcia podstawowe

Synteza dźwięku

Elektroniczne instrumenty muzyczne wytwarzają dźwięki muzyczne dwoma metodami:

- **synteza** – sztuczne „budowanie” dźwięku,
- **sampling** – przetwarzanie i odgrywanie wcześniej nagranych dźwięków („próbki”).

Synteza dźwięku – proces tworzenia sygnału, który można wykorzystać do tworzenia muzyki.

Algorytm syntezy – sposób wytwarzania sztucznego dźwięku.

Synteza a sampling

Synteza:

- możemy naśladować dźwięki prawdziwych instrumentów (nigdy w 100%),
- możemy tworzyć nowe dźwięki muzyczne (nieistniejące instrumenty)
- możemy tworzyć też dźwięki „niemuzyczne”

Sampling:

- możemy tylko nagrywać istniejące dźwięki
- mogą one być przetwarzane

Cele syntezy

Nie ma uniwersalnych metod syntezy dźwięku.

- Niektóre metody próbują naśladować dźwięki rzeczywistych instrumentów (addytywna, falowodowa).
- Inne są przeznaczone do poszukiwania nowych, interesujących brzmień (subtraktywna, FM).

Dźwięk muzyczny

Dźwięk muzyczny – sygnał wytwarzany przez instrument muzyczny.

Najważniejsze parametry:

- wysokość – związana z częstotliwością podstawową,
- barwa (brzmienie) – związane ze strukturą widmową sygnału
- obwiednia – zmiany głośności w czasie
- czas trwania

Analiza czasowa i obwiednia

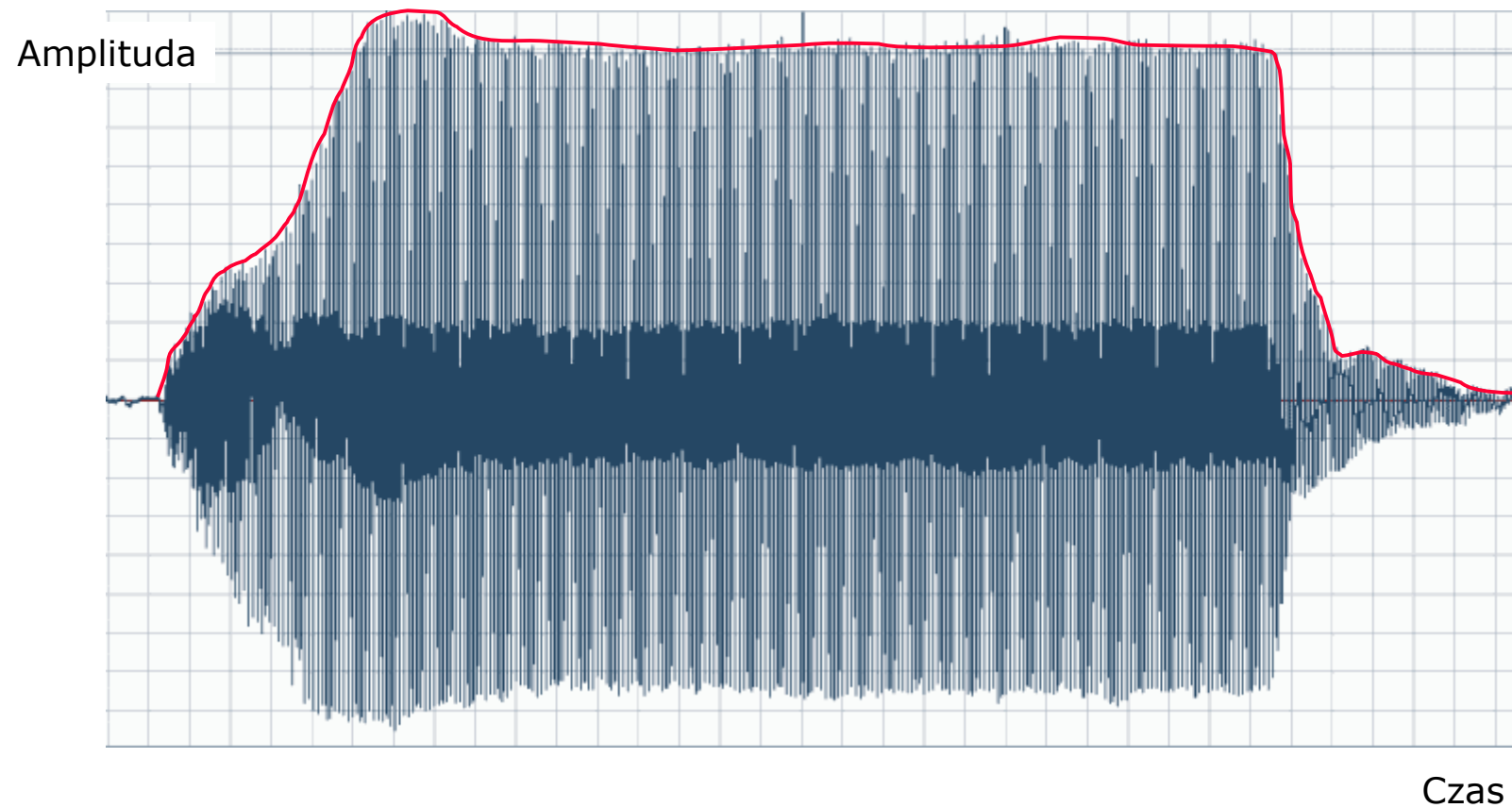
Analiza czasowa – rozkład amplitudy sygnału w funkcji czasu.

Obwiednia sygnału (*envelope*) – krzywa łącząca „szczyty” wykresu czasowego.

Zmiany obwiedni odzwierciedlają zmiany głośności dźwięku.

Analiza czasowa i obwiednia

Obwiednia czasowa dźwięku muzycznego:



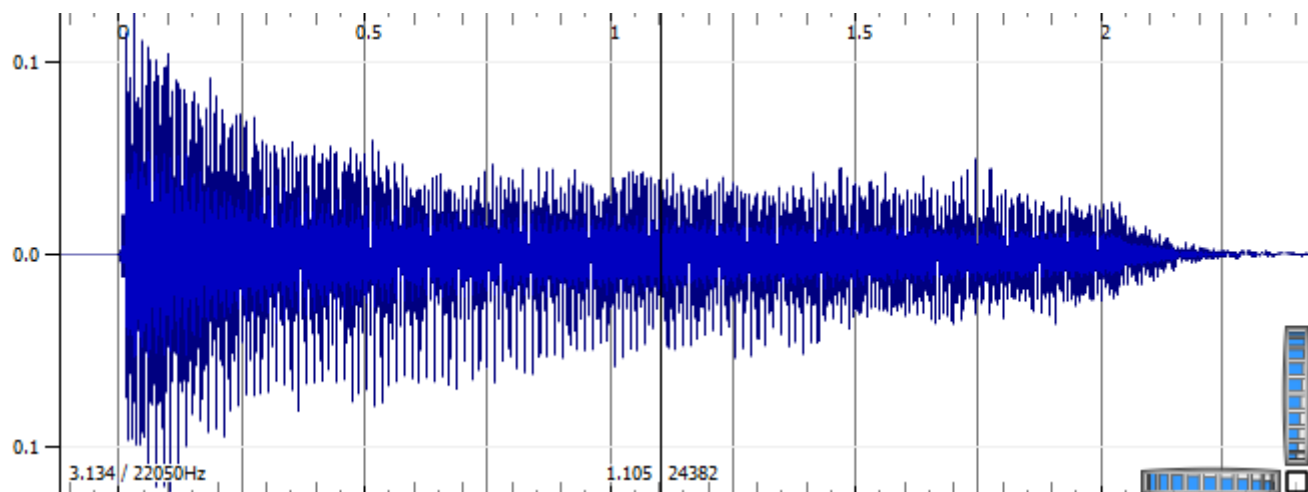
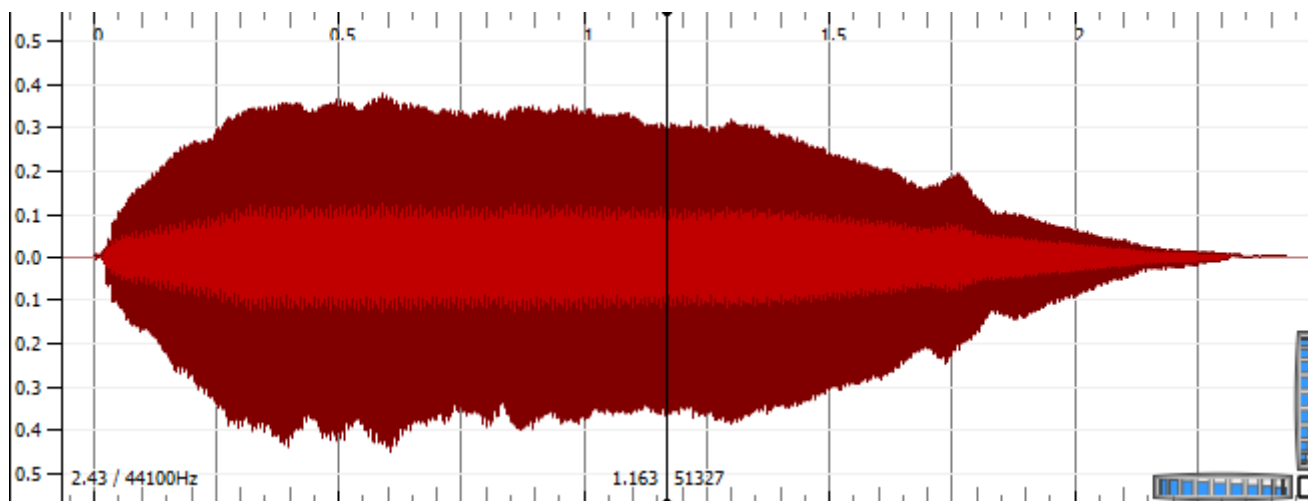
Transjenty

W analizie czasowej dźwięków muzycznych możemy wyróżnić:

- stan **ustalony** (stabilny dźwięk),
- stany nieustalone – **transjenty**:
 - faza **ataku** – początek dźwięku.
 - faza **wybrzmiewania** – koniec dźwięku

Długość faz transjentowych zależy od charakteru instrumentu i sposobu gry.

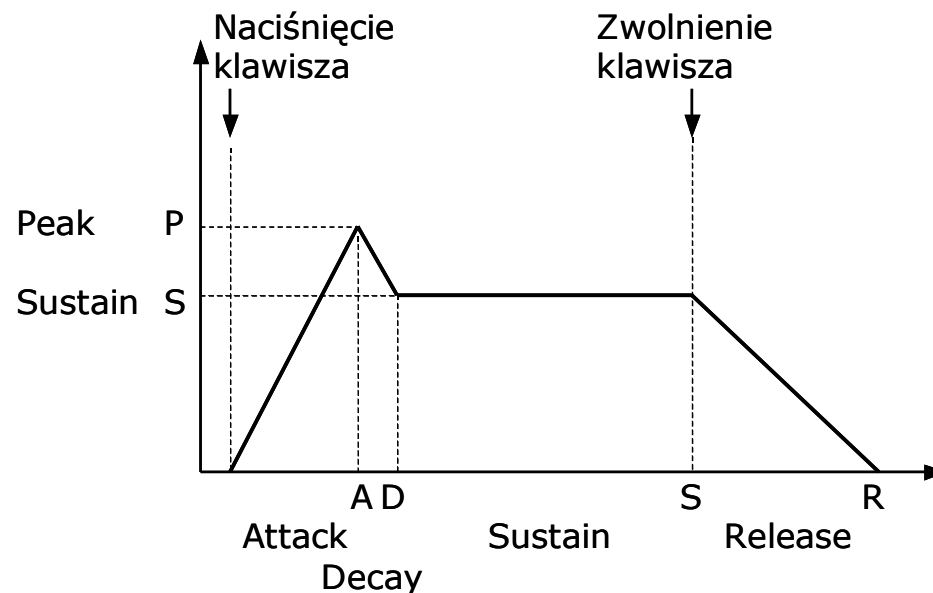
Przykłady obwiedni



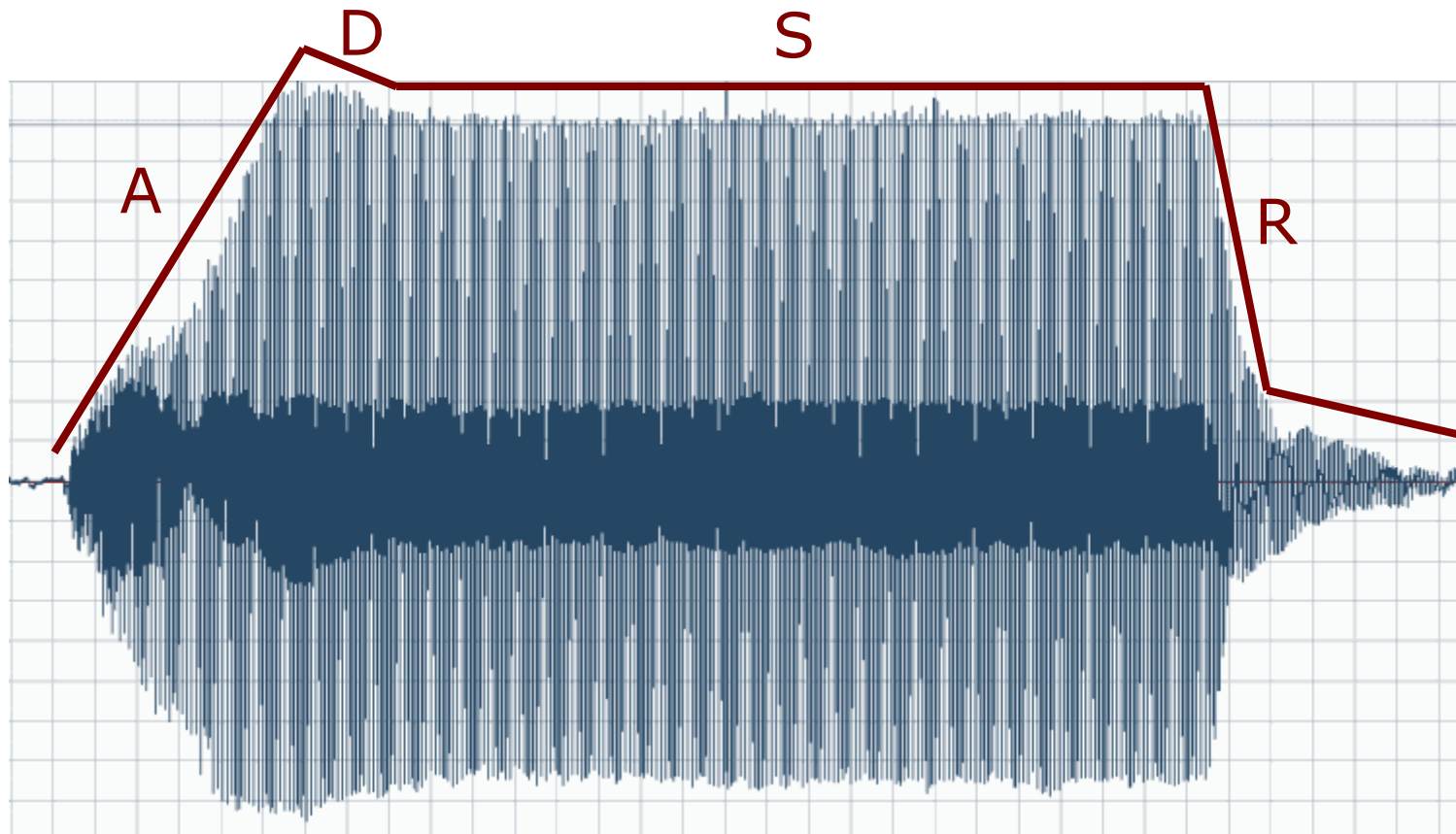
Obwiednia ADSR

W syntezie dźwięku często używamy obwiedni **ADSR** złożonej z czterech odcinków:

- **A** atak (*attack*)
- **D** zanik (*decay*)
- **S** stan ustalony (*sustain*)
- **R** wybrzmiewanie (*release*)



Obwiednia ADSR i transjenty



Analiza częstotliwościowa

Widmo dźwięku – rozkład natężenia składowych dźwięku w zależności od **częstotliwości** tych składowych. Obliczane za pomocą analizy częstotliwościowej (analiza Fouriera).

Dowolny sygnał okresowy można przedstawić w postaci sumy sygnałów sinusoidalnych o odpowiednich amplitudach i częstotliwościach.

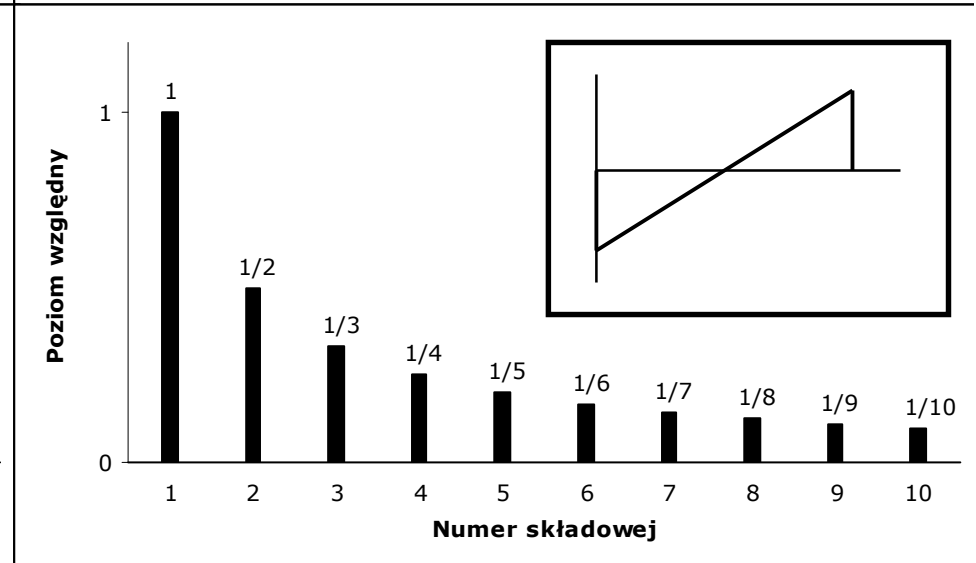
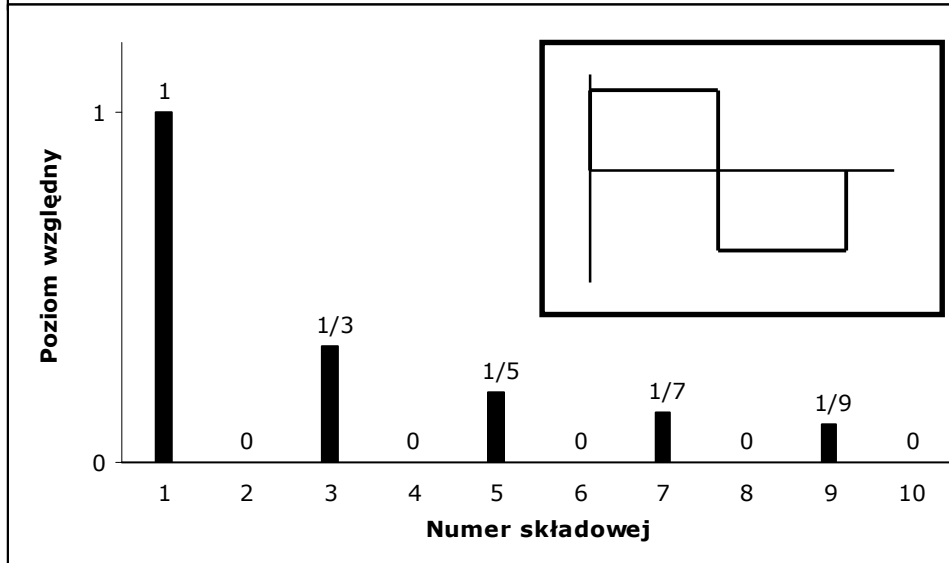
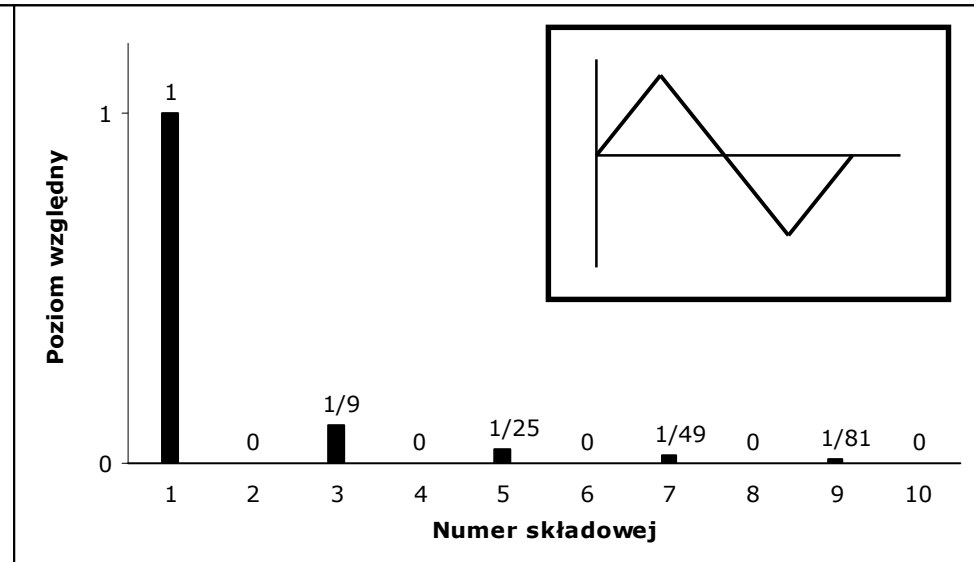
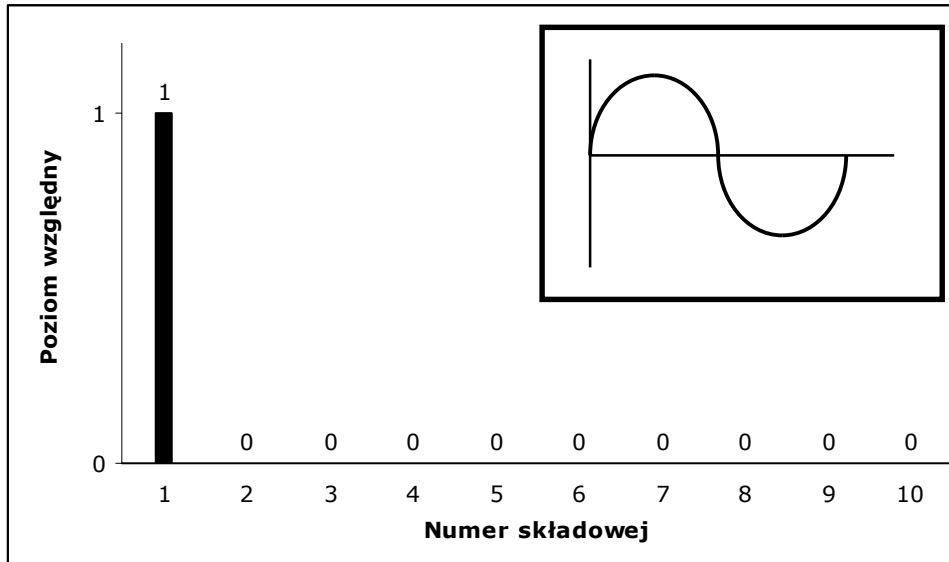
Widmo mówi nam jakie częstotliwości dominują w sygnale.

Analiza częstotliwościowa

Jak obliczamy widmo:

- „wycinamy” z sygnału blok próbek za pomocą funkcji okna (jesteśmy w dziedzinie czasu),
- obliczamy przekształcenie Fouriera (FFT)
- przechodzimy do dziedziny częstotliwości
- wynik przedstawiamy na wykresie: amplituda (lub poziom) w funkcji częstotliwości.

Widma prostych sygnałów



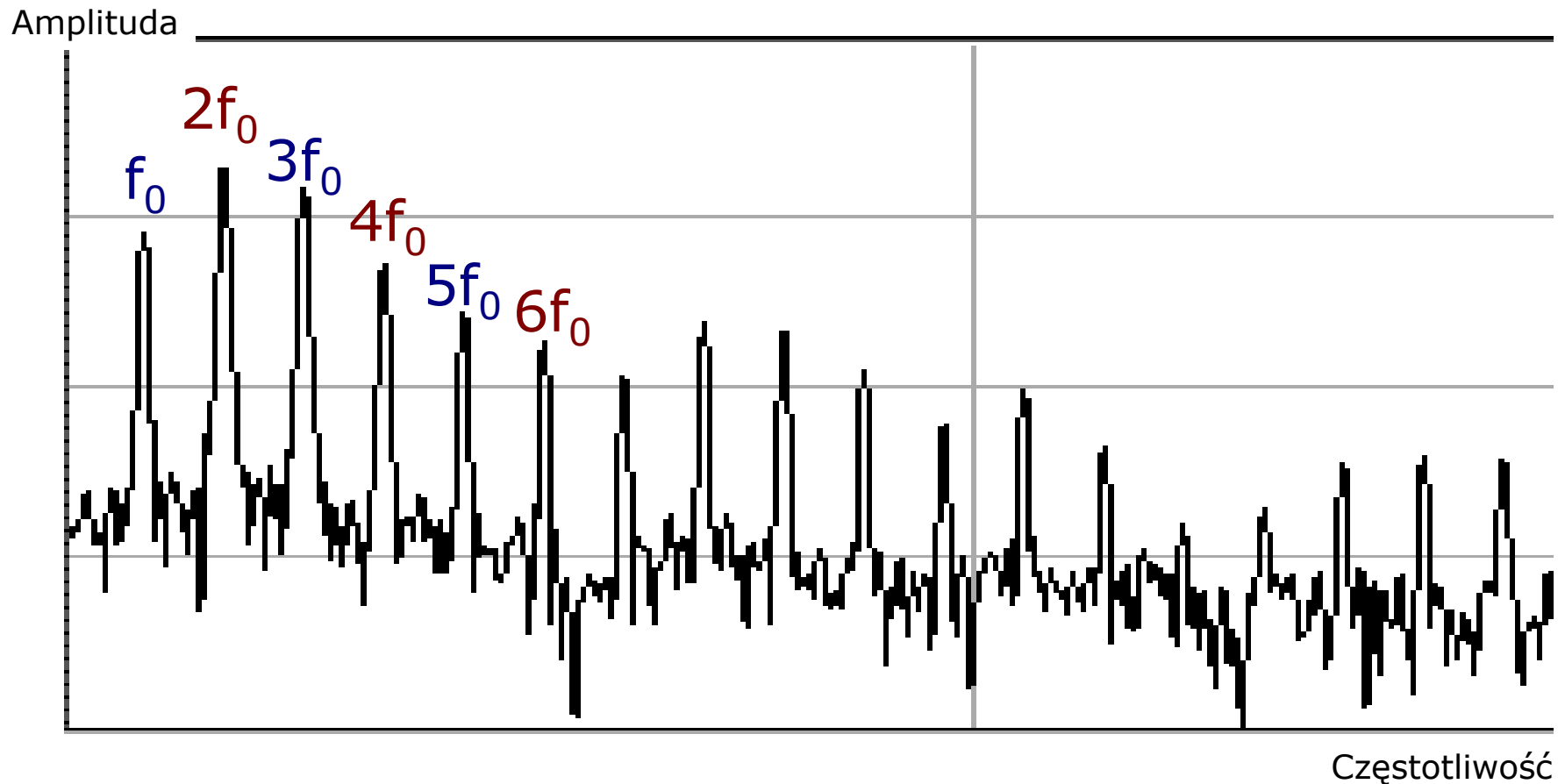
Widmo dźwięków muzycznych

Większość dźwięków muzycznych charakteryzuje się następującymi cechami:

- jest **prążkowe** – dominują wyraźne maksima,
- jest **harmoniczne** – prążki tworzą szereg harmoniczny
- częstotliwość pierwszego prążka (f_0) to **częstotliwość podstawowa** – zwykle decyduje o wysokości dźwięku
- wyższe prążki to **harmoniczne**: pierwsza ($2f_0$), druga ($3f_0$), trzecia ($4f_0$), itd.
– decydują o **barwie** dźwięku.

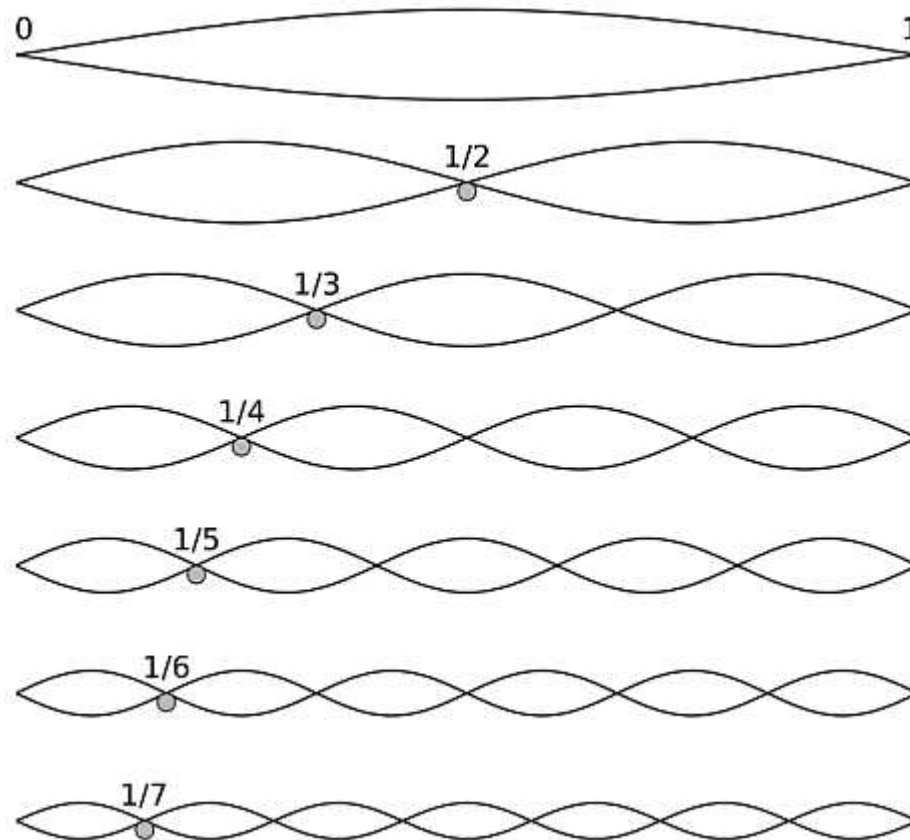
Widmo dźwięków muzycznych

Przykład dźwięku muzycznego o widmie harmonicznym prążkowym:



Widmo dźwięków muzycznych

Dlaczego właśnie takie widmo?



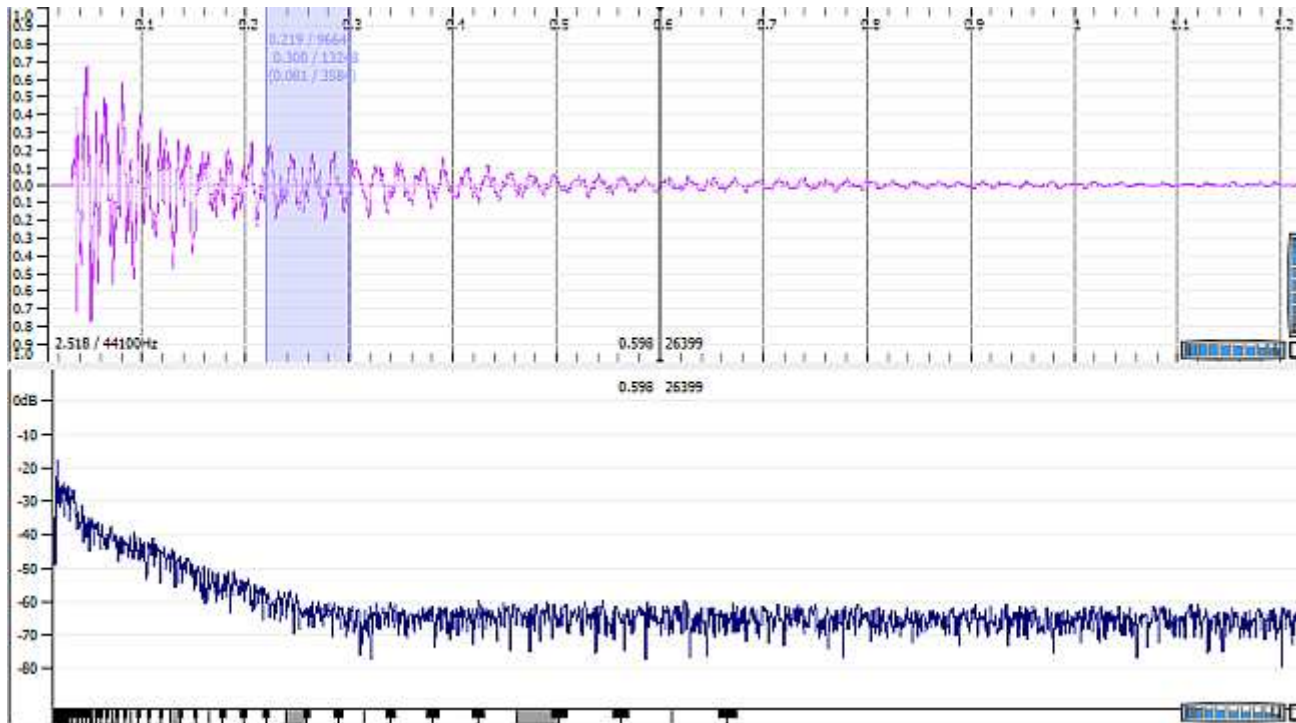
Widmo dźwięków muzycznych

Wyjątki od widma harmonicznego:

- w widmie niektórych dźwięków instrumentów muzycznych może brakować „parzystych” prążków – to wciąż jest widmo harmoniczne,
- dźwięki dzwonów i podobnych instrumentów mają widmo prążkowe nieharmoniczne,
- instrumenty perkusyjne mają widmo typu szumowego, bez prążków.

Dźwięki perkusyjne

Dźwięki typu perkusyjnego syntetyzuje się przez filtrowanie szumu i nałożenie odpowiedniej obwiedni.



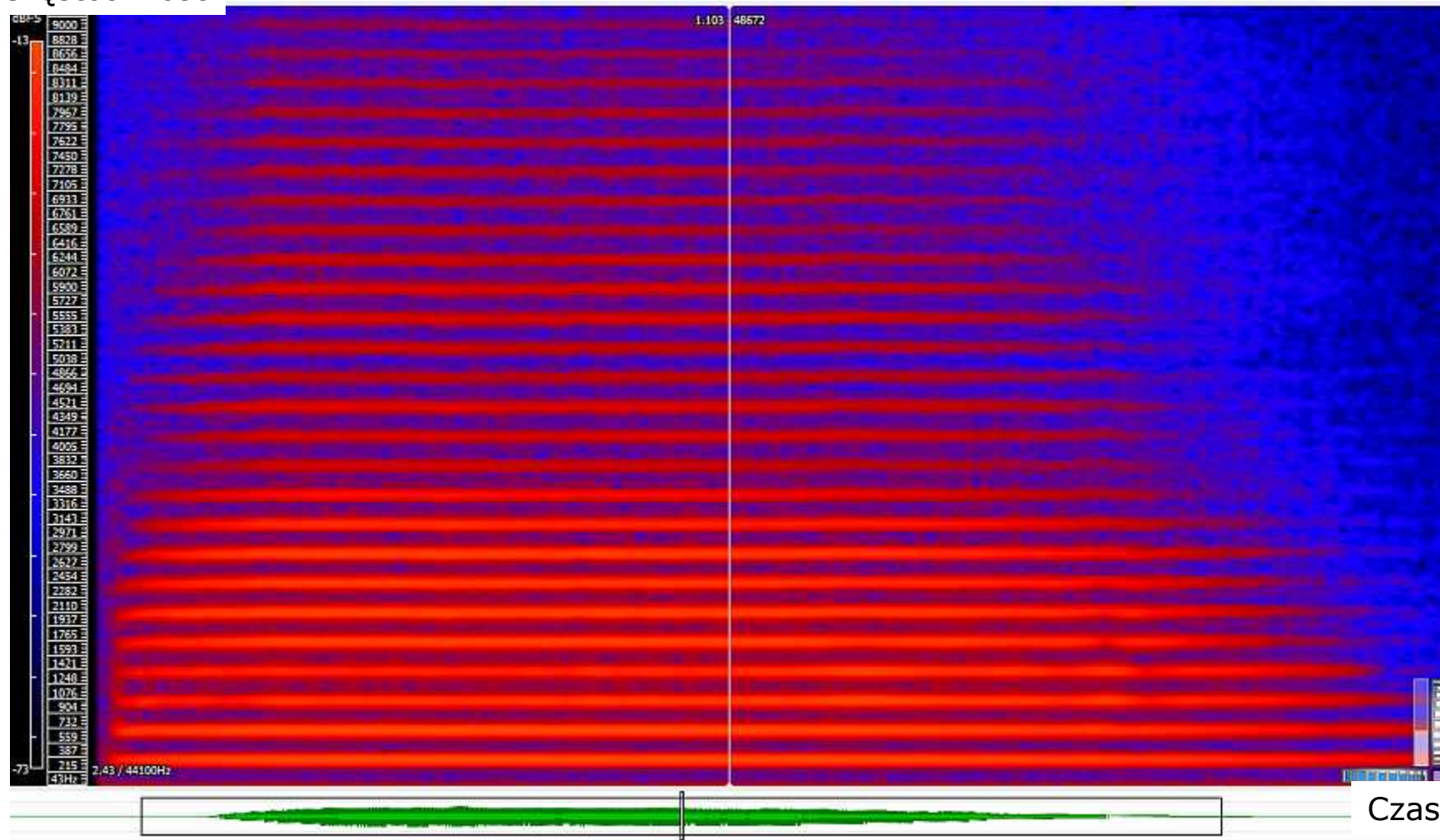
Widmo dynamiczne dźwięku

- Widmo statyczne jest obserwowane w wybranym punkcie skali czasu.
- Widmo dźwięków muzycznych jest zmienne w czasie („ewoluuje”).
- Aby uzyskać informacje o barwie dźwięku, potrzebujemy zbadać widmo w różnych punktach skali czasu, dla całego dźwięku.
- Wynik przedstawiamy na trójwymiarowym wykresie: czas – częstotliwość – amplituda.

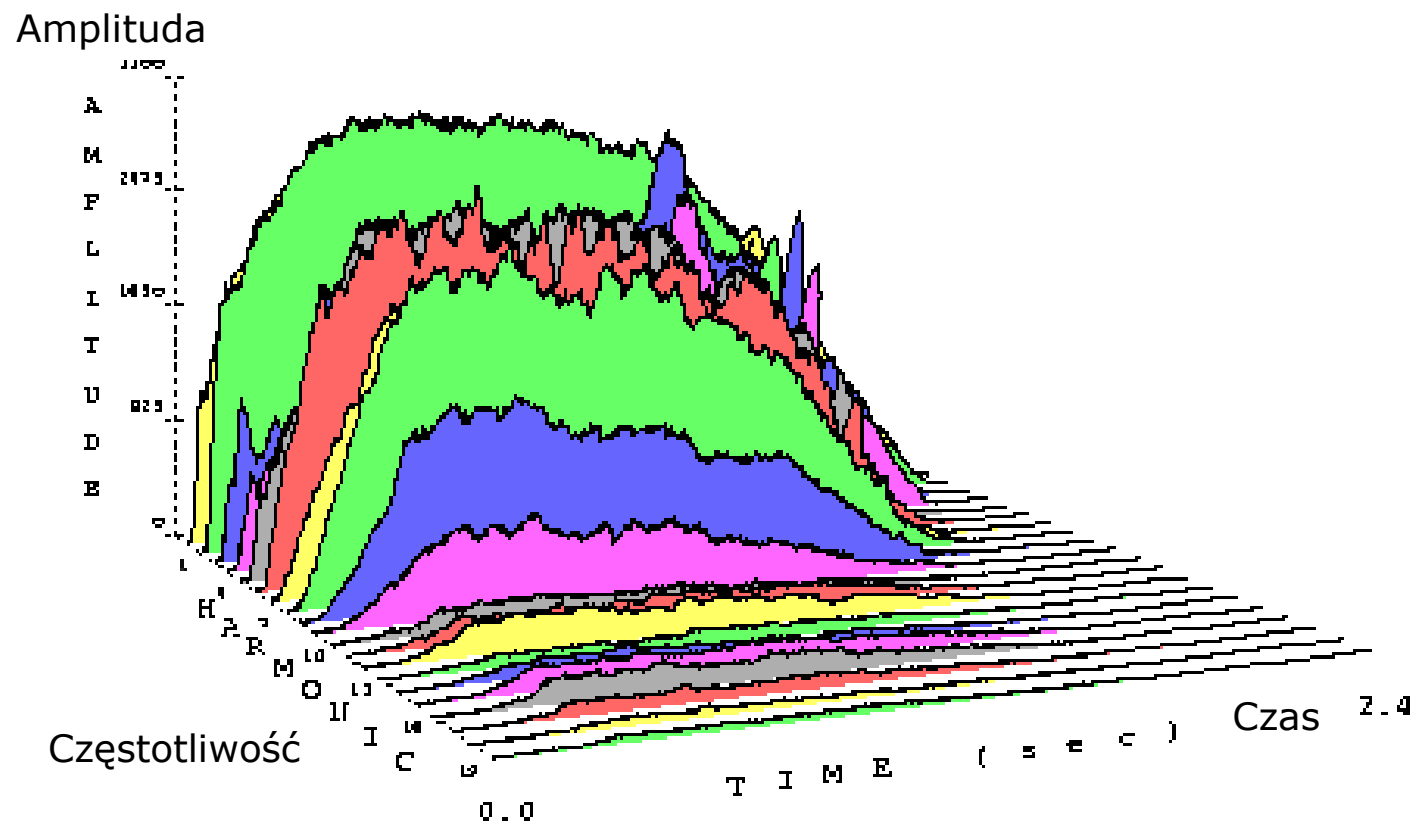
Spektrogram

Barwa określa amplitudę.

Częstotliwość



Wykres „waterfall”



file ctptf4.an trumpet f4 mf base freq = 349.00 Hz

Parametry dźwięku a brzmienie

Dlaczego dźwięki dwóch instrumentów, mające tę samą wysokość, brzmią inaczej?

- Inna obwiednia i czasy transjentów.
- Inna struktura widma statycznego.
- Inna zmienność widma (dynamicznego).

Synteza dźwięków muzycznych

Jak więc wykonać sztucznie dźwięk muzyczny?

- Złożyć widmo z sinusów (s. addytywna).
- Ukształtować „surowy” sygnał harmoniczny (s. subtraktywna).
- Wytworzyć sygnał algorytmem matematycznym, np. przez modulację (FM).
- Odtworzyć nagrany dźwięk (sampling).
- Zbudować model instrumentu, który wygeneruje pożądany dźwięk (s. falowodowa).

Artykulacja

Artykulacja – sposób wydobywania dźwięku z instrumentu. Muzyk „pobudza” instrument w różny sposób, powstają różne dźwięki (nie tylko różny czas trwania i głośność, również różne widmo dynamiczne, szczególnie w transjentach).

W syntezie i w samplingu nie ma praktycznie możliwości wykorzystania artykulacji (wyjątek: synteza falowodowa). Dlatego muzyka z syntezy brzmi sztucznie i mechanicznie.

Elektroniczne urządzenia muzyczne

Synteza – wytwarza dźwięki za pomocą algorytmu syntezy.

Sampler – wytwarza dźwięki poprzez przetwarzanie wprowadzonych nagrań próbek dźwiękowych.

Sekwencer – wytwarza sygnały sterujące, które powodują odegranie dźwięków przez instrument.

Sterownik – pozwala muzykowi grać „na żywo” na syntezatorze lub samplerze (klawiatura, pady perkusyjne, przyciski nożne, itp.).

Implementacja

Rodzaje urządzeń:

- sprzętowe („hardware’owe”):
 - analogowe (syntezatory, sekwencery)
 - analogowo-cyfrowe (syntezatory)
 - cyfrowe (syntezatory, samplery)
- programowe (komputerowe)
 - syntezatory i samplery (samodzielne, „pluginy” VST)
 - sekwencery (MIDI)

Rodzaje urządzeń

- **Monofoniczne** (jednogłosowe)
 - odtwarzają tylko jeden dźwięk o ustalonej wysokości w danej chwili
- **Polifoniczne** (wielogłosowe)
 - odtwarzają jednocześnie kilka dźwięków o różnej wysokości (akordy).
- **Jednobrzmieniowe**
 - jeden instrument w danej chwili
- **Wielobrzmieniowe**
 - możliwość gry kilkoma brzmieniami naraz