

# PB095 - Úvod do počítačového zpracování řeči

Luděk Bártek

Fakulta Informatiky  
Masarykova Univerzita Brno

podzim 2023

# Obsah

- 1 Fyzikální akustika
  - Základní veličiny
  - Vlnění
  - Veličiny související s vnímáním zvuku
  - Základní tón, složený tón, spektrum
  - Spektrální analýza zvuku

# Základy fyzikální akustiky

- Zvuk je fyzikální vlnění:
  - kmitavý pohyb molekul
  - mechanické vlnění látkového prostředí vyvolávající sluchový vjem.
- Zvuk je charakterizován:
  - frekvencí
  - amplitudou.

# Frekvence

- Perioda ( $T$ ) - nejkratší doba, kterou tělesu trvá průchod stejnou fází pohybu.
- Frekvence -  $f = \frac{1}{T}$
- Jednotka - Hz
  - 1 Hz = 1 perioda za sekundu

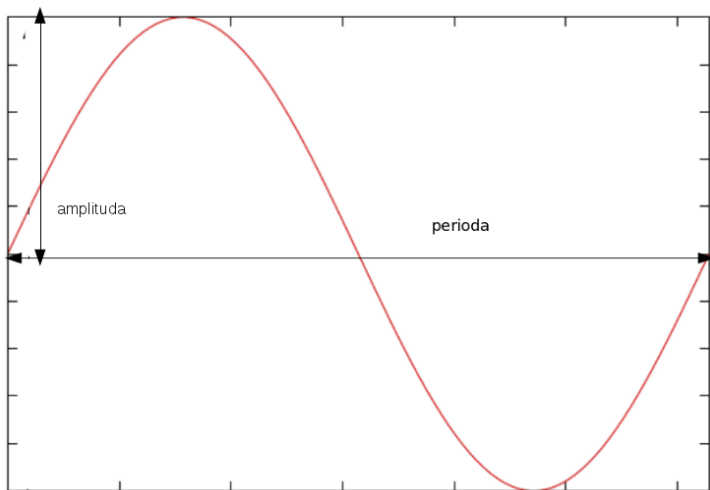
# Rychlost zvuku

- Závisí na prostředí a řadě dalších fyzikálních faktorů:
  - teplota
  - tlak
  - ...
- Rychlost zvuku v různých prostředích:
  - vzduch (13,4 stupňů) - 340 m/s
  - voda (25 stupňů) - 1500 m/s
  - rtuť - 1400 m/s
  - beton - 1700 m/s
  - led - 3200 m/s
  - ocel - 5000 m/s
  - sklo - 5200 m/s

# Hmotný bod na nehmotné pružině

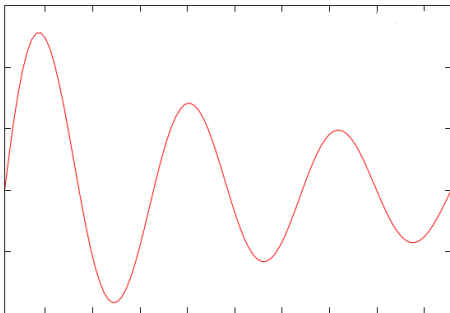
- Zanedbáváme:
  - odpor prostředí
  - gravitaci
  - ...
- Základní veličiny:
  - amplituda - maximální hodnota výchylky dané periodické veličiny ( $y_{max}$ )
  - perioda (T) - doba trvání jednoho opakování daného jevu. Měří se v sekundách
  - frekvence -  $F = \frac{1}{T}$  [Hz].
  - okamžitá výchylka -  $y = y_{max} \sin(\omega t)$ 
    - $\omega$  - úhlová rychlost periodického jevu  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi F$  [ $s^{-1}$ ]
    - t - čas

# Perioda a amplituda



# Tlumené kmity

- Vznikají působením vnější síly, která působí proti vlnění.
  - např. odpor prostředí, ...
- Způsobuje pozvolné zmenšování amplitudy kmitání.





## Vlastní a vynucené kmity, rezonance

- Vlastní kmity - jsou kmity soustav bez působení vnějších sil.
- Vnější kmity - vynuceny vnějším prostředím systému (buzením).
- Rezonance - fyzikální jev, malá budící síla může způsobit značné změny kmitajícího systému.

$$A_r = \frac{\frac{S}{m}}{2b\sqrt{\omega_0^2 - b^2}} = \frac{S}{2mb\omega}$$

- $A_r$  - rezonanční amplituda
- $S$  - amplituda budící síly
- $m$  - hmotnost kmitajícího tělesa
- $b$  - tlumení kmitající soustavy (řádově menší než omega)
- $\omega$  - úhlová rychlost tlumených kmitů

# Akustický tlak a akustická intenzita

- Akustická intenzita:
  - množství energie, které projde jednotkovou plochou za jednotku času - jednotka  $Wm^{-2}$ 
    - P - tlak, S - plocha

$$I = \frac{P}{S}$$

- Akustický tlak - síla působící na element plochy v prostředí vlnivého děje (jednotka Pascal [Pa])
  - zvuk = zhušťování a zřeďování pružného prostředí  $\Rightarrow$  akustický tlak odpovídá vyvolaným změnám tlaku prostředí.
  - má-li sinusový průběh:

$$p = p_0 \sin(\omega t)$$

$p_0$  - maximální akustický tlak v průběhu periody

- Akustická intenzita je úměrná druhé mocnině akustického tlaku.

## Akustická intenzita (2.)

- Práh citlivosti (slyšení) -  $I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2} \approx 20 \mu\text{Pa}$ .
- Práh bolesti -  $1 \text{ Wm}^{-2} \approx 130 \text{ Pa}$ .
- Intenzita není vnímána lineárně (lineární nárůst vnímané intenzity odpovídá geometrickému nárůstu intenzity)
  - Weber-Fechnerův psychofyzikální zákon
- Hladina intenzity (hlasitost) zvuku  $L$

$$L = 10 \log\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

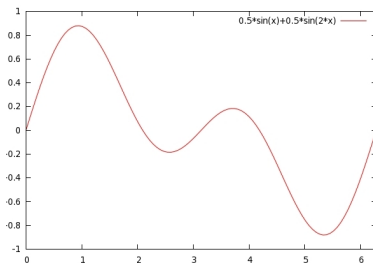
- Jednotka 1 Bel (1B) - rozsah hladin cca 13 Belů

# Akustická intenzita

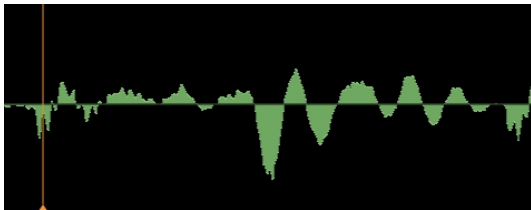
- Orientační hodnoty:
  - šepot – 10 — 20 dB
  - tlumený hovor – 35 — 45 dB
  - hovor střední hlasitosti – 50 — 55 dB
  - symfonický orchestr – 70 — 90 dB
  - rocková hudba – 110 — 130 dB
  - vzlet proudového letadla  $\sim$  190 dB
- Subjektivní vnímání akustické intenzity závisí na frekvenci.

# Základní a složený tón

- Základní tón - zvukovou intenzitou v závislosti na čase odpovídá sinusoidě
- Složený tón - lineární kombinace základních tónů
  - většina zvuků

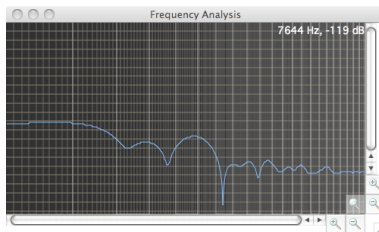


# Reálný zvuk



# Akustické spektrum zvuku

- Reálné zvuky:
  - Jedná se většinou složené tóny.
  - Složeny ze základních tónů.
  - Lze je rozložit na jednotlivé složky - akustické spektrum



- K získání frekvenčních charakteristik lze využít např Fourierovu transformaci, lineární predikci, ...

## Fourierovy řady

- Nechť  $f(x)$  je periodická, po částech spojitá funkce s periodou  $T$ , která má na intervalu  $T$  nejvýše spočetně mnoho extrémů a bodů nespojitosti, potom ji lze aproximovat pomocí vztahu:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx))$$

- Nejlepší aproximace vychází pro:
  - $\alpha, \alpha + T$  - interval periodicity funkce  $f(x)$ .

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{\alpha}^{\alpha+T} f(x) \cos(k\omega x) dx$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{\alpha}^{\alpha+T} f(x) \sin(k\omega x) dx$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$