

## Co je to zvuk

- Podélná tlaková vlna, které vznikají pohybem částic v látce - nejčastěji vzduch

## Jakými veličinami zvuk popisujeme

chat

Veličina	Značka	Jednotka	Význam / Vzorec
Frekvence	(f)	Hz	Počet kmitů za sekundu
Vlnová délka	( $\lambda$ )	m	Vzdálenost mezi dvěma vrcholy vlny
Akustický tlak	(p)	Pa	Okamžitý rozdíl tlaku způsobený zvukovou vlnou
Intenzita zvuku	(I)	W/m <sup>2</sup>	Výkon přenášený zvukem na jednotku plochy
Hladina intenzity zvuku	( $L_I$ )	dB	$L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right), \quad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$
Hladina akustického výkonu	( $L_w$ )	dB	$L_w = 10 \log \left( \frac{W}{W_0} \right), \quad W_0 = 10^{-12} \text{ W}$
Hladina akustického tlaku	( $L_p$ )	dB	$L_p = 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right), \quad p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

## Co to je akustický tlak, co to je hladina akustického tlaku, jednotky

- Okamžitá změna tlaku v prostředí (např. ve vzduchu), způsobená průchodem **zvukové vlny**.
  - Jednotka Pa
  - $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$  - minimální změna tlaku co lidské ucho zaznamená
- Hladina akustického tlaku je logaritmicky vyjádřený poměr tlaku ku  $p_0$ 
  - Jednotka dB - člověk rozliší přibližně 1 dB
  - $L_p = 10 \cdot \log \left( \frac{p}{p_0} \right)$

## Vlnová rovnice

- pro nějakou veličinu u

$$\Delta u - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$$

# Kulová, rovinná a válcová vlna (řešení vlnové rovnice)

- Rovinná

$$u(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \varphi)$$

- Válcová

$$u(r, t) = \frac{A}{\sqrt{r}} \cos(kr - \omega t + \varphi)$$

- Kulová

$$u(r, t) = \frac{A}{r} \cos(kr - \omega t + \varphi)$$

## Části lidského sluchu

- Vnější ucho
  - Ušní boltec - vertikální prostorovost zvuku
  - Zvukovod - čtvrtvlnný rezonátor
  - Bubínek - přenáší zvuk ze zvukovodu do středního ucha
- Střední ucho
  - V podstatě zajišťuje impedanci přizpůsobení a nastavení citlivosti - napínání kůstek svalama
  - Kladívko - je rozvibrováno bubínkem
  - Kovadlinka - přenáší zvuk na třmínek
  - Třmínek - přenáší zvuk do vnitřního ucha
  - Eustachova trubice - vyrovnává tlak mezi středním a vnějším uchem
- Vnitřní ucho
  - Mechanicko-elektrochemický převodník
  - Třmínek tlačí na trubici s kapalinou - šnek
  - okénko aby se kapalina mohla hýbat
  - basilární membrána -> Cortiho orgán -> vláskové buňky
  - basilární membrána je rozkmitávána třmínkem
  - Na začátku hlemýždě se detekují vyšší kmitočty
  - Na konci hlemýždě se detekují nižší kmitočty

## Funkce vnějšího ucha

- Vnější ucho
  - Ušní boltec - vertikální prostorovost zvuku
  - Zvukovod - čtvrtvlnný rezonátor
  - Bubínek - přenáší zvuk ze zvukovodu do středního ucha

## Funkce středního ucha

- Střední ucho
  - V podstatě zajišťuje impedanci přizpůsobení a nastavení citlivosti - napínání kůstek svaly
  - Kladívko - je rozvibrováno bubínkem
  - Kovadlinka - přenáší zvuk na třmínek
  - Třmínek - přenáší zvuk do vnitřního ucha
  - Eustachova trubice - vyrovnává tlak mezi středním a vnějším uchem

## Funkce vnitřního ucha

- Vnitřní ucho
  - Mechanicko-elektrochemický převodník
  - Třmínek tlačí na trubici s kapalinou - šnek
  - okénko aby se kapalina mohla hýbat
  - basilární membrána -> Cortiho orgán -> vláskové buňky
  - basilární membrána je rozkmitávána třmínkem
  - Na začátku hlemýždě se detekují vyšší kmitočty
  - Na konci hlemýždě se detekují nižší kmitočty

## Křivky stejné hlasitosti

- Vyjadřuje jak hlasitě slyšíme jaké frekvence, vzhledem k tlaku a Phonům
- Převodní charakteristika mezi fyzikálníma veličinama (tlak, frekvence) a vjemovou veličinou Phon, která je určena oproti základnímu tónu 1 kHz při určitém tlaku - 2x hlasitější než referenční tón = 2 Phony

## Maskování

- Od Krasinskiho: <https://youtu.be/f55ZrhtsHaE?si=03LMAYCqKScE2tOV&t=64>
- Nějakým zvukem - šum přestimulujeme náš sluch (sníží se citlivost) a poté neslyšíme nějaký přidaný tón - tón je zamaskovaný

# Weberův a Fechnerův zákon

- Weberův zákon popisuje **nejmenší vnímatelný rozdíl** v intenzitě podnětu (tzv. rozdílový práh,  $\Delta S$ ). (k není úplně konstanta)

$$\frac{\Delta S}{S} = k$$

- Fechner navázal na Webera a rozšířil teorii na vztah mezi **subjektivním vnímáním** a **fyzikální intenzitou** podnětu.
  - **Vjem roste logaritmicky s fyzikální intenzitou podnětu.**
  - $R = C * \log S$

## Co to je JND

- Just noticeable difference
- Právě postřehnutelný rozdíl pro hladinu akustického tlaku
- kmitočtově závislé, pro každý subjekt jiné, přibližně 1-2 dB pro kmitočty
- v pásmu nejvyšší citlivosti přibližně 2-3 Hz

## Princip lokalizace zdrojů zvuku v horizontální rovině

- Zvuk vlez do jednoho ucha, ohýbá se kolem hlavy což ublíží nějakým kmitočtům a spektrálním rozdíly, pak vlez do druhého ucha -> z toho mozek vyhodnotí odkud zvuk přišel

## Princip lokalizace zdrojů zvuku v mediální rovině

- Filtrace boltcem a zkušenost
- Letadlo nahoře, 🗣️ linka 118 směr smíchovské nádraží, příští zastávka .. . -> na stanici pod oknem

# Vlnová rovnice pro akustický tlak

$$\Delta p - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

## Předpoklady pro odvození vlnové rovnice

- prostředí je spojité, stlačitelné, homogenní, izotropní, neviskózní (bez ztrát), v klidu
- výchylky všech veličin jsou malé (linearizace úlohy)
- akustické pole se předpokládá za nevírové (pole je gradientní)
- akustické děje jako adiabatický termodynamický děj

## Řešení vlnové rovnice pro kulovou a rovinnou vlnu

### 1. Rovinná vlna

Pro rovinnou vlnu, která se šíří v  $x$ -směru, je řešení vlnové rovnice:

$$p(x, t) = Ae^{i(kx - \omega t)}$$

Kde  $A$  je amplituda,  $k$  je vlnové číslo,  $\omega$  je úhlová frekvence,  $x$  je prostorová souřadnice a  $t$  je čas.

### 2. Kulová vlna

Pro kulovou vlnu, která se šíří radiálně od bodového zdroje, je řešení vlnové rovnice:

$$p(r, t) = \frac{A}{r} e^{i(kr - \omega t)}$$

Kde  $r$  je vzdálenost od zdroje,  $A$  je amplituda,  $k$  je vlnové číslo,  $\omega$  je úhlová frekvence a  $t$  je čas. Amplituda klesá s  $1/r$ .

# System elektroakustickych analogii, analogické veličiny a prvky

## System elektroakustickych analogii

nvm chat věc:

Akustická veličina	Elektroakustická analogie	Akustický prvek	Elektrický prvek
Akustický tlak $p$	Napětí $V$	Akustický odpor $R_a$	Elektrický odpor $R_e$
Akustický průtok $\dot{m}$	Elektrický proud $I$	Akustická indukčnost $L_a$	Elektrická indukčnost $L_e$
Akustická rychlost $v$	Elektrické napětí na kondenzátoru $U$	Akustická kapacita $C_a$	Elektrická kapacita $C_e$
Akustická impedanční veličina $Z_a = \frac{p}{\dot{m}}$	Elektrická impedance $Z_e = \frac{V}{I}$		
Akustická energie $E$	Elektrická energie $W$	Akustický výkon $P_a$	Elektrický výkon $P_e$

$$u = L \frac{di}{dt} \longleftrightarrow F = m \frac{dv}{dt} \longleftrightarrow p = m_a \frac{dw}{dt}$$

$$i = \frac{dq}{dt} \longleftrightarrow v = \frac{d\xi}{dt} \longleftrightarrow w = \frac{d\Xi}{dt}$$

$$u = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int i dt \longleftrightarrow F = \frac{\xi}{c} = \frac{1}{c} \int v dt \longleftrightarrow p = \frac{\Xi}{c_a} = \frac{1}{c_a} \int w dt$$

$$u = Ri \longleftrightarrow F = r_m v \longleftrightarrow p = r_a w$$

Elektrická soustava		Mechanická soustava		Akustická soustava	
el. napětí $u$		síla $F$		tlak $p$	
proud $i$		rychlost $v$		obj. rychlost $w$	
náboj $q$		výchylka $\xi$		obj. posunutí $\Xi$	
prvek	vlastnost	prvek	vlastnost	prvek	vlastnost
induktor	indukčnost $L$	inertor	hmotnost $m$	ak. inertor	ak. hmotnost $m_a$
rezistor	odpor $R$	mech. rezistor	mech. odpor $r$	ak. rezistor	ak. odpor $r_a$
kapacitor	kapacita $C$	elastor	poddajnost $c$	ak. elastor	ak. poddajnost $c_a$

## Systém elektromechanických analogií, analogické veličiny a prvky

- viz [Audio > Systém elektroakustických analogií](#)

## Vlnové číslo

Vlnové číslo  $k$  je veličina, která popisuje počet vlnových cyklů na jednotkovou délku ve směru šíření vlny. Je definováno jako:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Kde:

- $k$  je vlnové číslo,
- $\lambda$  je vlnová délka.

Vlnové číslo je také spojeno s frekvencí  $f$  a rychlostí zvuku  $c$ :

$$k = \frac{2\pi f}{c}$$

Jednotka vlnového čísla je  $\left[\frac{rad}{m}\right]$ . Vlnové číslo je důležité pro analýzu šíření vln a interakci vln s prostředím.

## Co to je deterministický signál

- Má jasně definovaný časový/spektrální popis (matematický) - není náhodný

## Co to je stochastický signál

- Náhodný signál - šum

## 3 roviny analýzy hudebních signálů

- dynamická – závislost amplitudy na času
- melodická – závislost kmitočtu na času
- harmonická – závislost amplitudy na kmitočtu



## Co to je vibráto a tremolo

- **Vibráto:** Technika, která způsobuje jemné kolísání **výšky tónu** (frekvence). Používá se k "oživení" tónu a přidání emocionálního výrazu. Může být prováděno například zpěvem nebo pohyby prstů na hudebním nástroji.
- **Tremolo:** Efekt, který mění **hlasitost** tónu (intenzitu). Vytváří efekt "třesení" nebo "pulzování" tónu. Používá se například na elektrické kytáře pomocí tremolo baru nebo efektového pedálu, nebo rychlými pohyby smyčce u smyčcových nástrojů.

## Perkusní a neperkusní tón

- **Perkusní tón:** Tón generovaný nástroji, které se nárazem rozechvějí (např. bicí nástroje).
- **Neperkusní tón:** Tón, který vzniká plynulým, kontinuálním způsobem (např. strunné nástroje, dechové nástroje).

## Vlastnosti tónu

- délka
- síla (hlasitost)
- barva (timbre)
- výška
- jsou to SUBJEKTIVNÍ veličiny

## Co je to oktáva

- Oktáva je interval, kdy frekvence jednoho tónu je dvojnásobná oproti jinému tónu.
- V hudební teorii je to nejzákladnější interval mezi dvěma tóny.
- Příkladem je interval mezi tónem C a dalším C v oktávě.

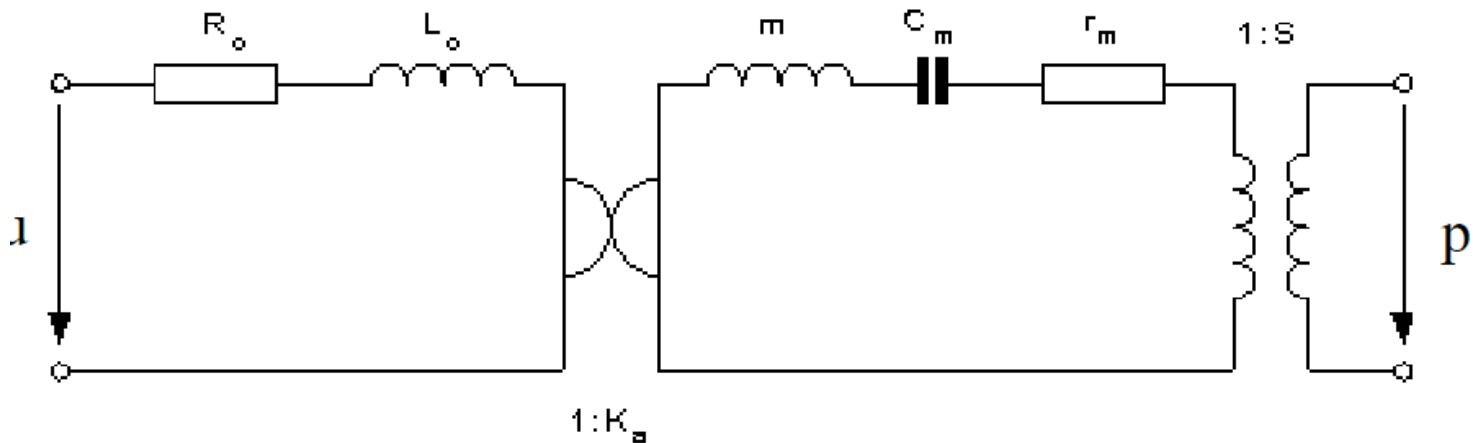
## Princip funkce elektrodynamického měniče jako mikrofon nebo jako reproduktor

- **Mikrofon:** Zvukové vlny pohybují membránou na které je cívka, do které se indukují elektrický napětí, je tam magnet, který se nehýbe.
- **Reproduktor:** Elektrický signál prochází cívkou, ta je na membráně a přitahuje se k magnetu, který je statický.

## Princip funkce elektrostatického měniče jako mikrofon nebo jako reproduktor

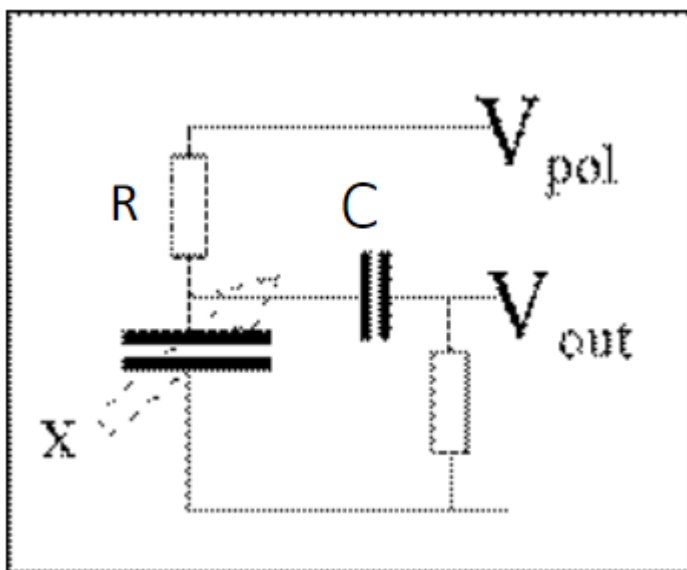
- **Mikrofon:** Zvukové vlny pohybují lehkou membránou mezi elektrody, což mění kapacitu a vytváří elektrický signál.
- **Reproduktor:** Elektrický signál způsobuje pohyb membrány mezi elektrody, což vytváří zvuk.

## Náhradní obvody měničů s magnetickým polem



- TODO: Popis součástek [AVT - 3 - menice.pdf > page=18](#)

## Náhradní obvody měničů s elektrickým polem



- TODO: Popis součástek [AVT - 3 - menice.pdf > page=7](#)



## Co to je jmenovitá impedance reproduktoru

- Jmenovitá impedance reproduktoru je elektrická impedance, kterou vidí zesilovač na svém výstupu, kde je reproduktor připojený
- Obvykle vyjádřena v ohmech, např.  $4\Omega$ ,  $8\Omega$ .

## Funkce a typy ozvučnice reproduktoru

- **Funkce:** Ozvučnice zvyšuje účinnost reproduktoru (eliminace akustického zkratu na okrajích reproduktoru) a upravuje akustickou odezvu.
- **Typy:** Uzavřená ozvučnice, basreflex, otevřená ozvučnice.

## Typy měřicích mikrofonů

- MEMS
- Elektrostatický

## Vlnová akustika, princip a meze platnosti

- Vychází z řešení vlnové rovnice (tedy pouze jednoduché geometrie)
- zkoumání vlastních módů

## Geometrická akustika, princip a meze platnosti

- intuitivní, nejstarší, pouze pro přechodové stavy v prostoru
- Přístup k řešení:
  - metoda paprsků
  - metoda zrcadlení zdrojů
  - metoda konečných prvků
  - metoda hraničních prvků

## Statistická akustika, princip a meze platnosti

- **Princip:** Statistická akustika je zjednodušení založeno na energetických veličinách - hustotě zvukové energie
- **Meze platnosti:** Používá se pro složitá prostředí s mnoha odrazy a difúzními vlnami.
  - podmínky – difúzní pole, pole odražených vln
  - energie dána součtem středních hodnot odražené energie
  - hustota zvukové energie je všude stejně velká
  - úhly příchodu zvukové energie do daného bodu jsou všechny stejně pravděpodobné
  - vyzařování a pohlcování je kontinuální

## Zvukové pole v uzavřené místnosti, dozvuková vzdálenost

Akustické pole vyzařované bodovým zdrojem ve stacionárním stavu

velmi blízko zdroje

daleko od zdroje

$$I = \frac{|p|^2}{2\rho_0 c_0} = \frac{P_0}{4\pi r^2}$$

$$I(t) = \frac{P_0(t)}{A}$$

Intenzita se neměří přímo, ale přes střední kvadratickou hodnotu akustického tlaku:

$$p_{rms}^2 = \rho_0 c_0 I$$

$$p_{rms}^2 = \rho_0 c_0^2 W = 4\rho_0 c_0 I$$

a proto vztah mezi vyzařovaným výkonem zdroje a střední kvadratickou hodnotou tlaku:

$$p_{rms} = \sqrt{\rho_0 c_0 I} = \sqrt{\rho_0 c_0 \frac{P_0}{4\pi r^2}}$$

$$p_{rms} = \sqrt{4\rho_0 c_0 I} = \sqrt{4\rho_0 c_0 \frac{P_0}{A}}$$

volné pole

difúzní pole

Jejich porovnáním je možno zjistit hranice mezi volným a difúzním polem (dozvuková vzdálenost):

$$r_L = \sqrt{\frac{A}{50}}$$

## Princip studia LE DE

- Le-De (Live End Dead End) – jeden z používaných standardů pro návrh studií. Zpravidla poskytuje dobré výsledky.
- „Živý konec“ – místo poslechu. Mělo by simulovat průměrné domácí prostředí.
- „Mrtvý konec“ – místo reprodukce (pohltivé plochy okolo reproduktorů)

# zpracováno od chata - neharmonizováno s přednáškou:

## Digitální záznam – výhody, nevýhody, vlastnosti

[avt\\_zaznamazprac-1.pdf](#)

- **Výhody:**
  - Vysoká kvalita
  - odolnost vůči šumu
  - snadná manipulace s daty
  - Bezeztrátové kopírování
  - Protichybové zabezpečení
  - Ochrana proti kopírování
  - Zdrojové kódování – komprese
- **Nevýhody:** Potřeba velkého úložného prostoru, kompresní ztráty.
- **Vlastnosti:** Diskrétní vzorkování, kvantování, možnost snadného editování.

## Dithering, noiseshaping, sigma-delta

[avt\\_zaznamazprac-1.pdf](#)

- **Dithering:** Přidávání náhodného šumu pro zlepšení kvality při nízké bitové hloubce.
- **Noiseshaping:** Přesměrování šumu mimo slyšitelný rozsah.
- **Sigma-delta:** Modulační technika pro záznam signálů s vysokým rozlišením.

## Protichybové zabezpečení – metody

[avt\\_zaznamazprac-1.pdf](#)

- **Metody:** Paritní bity, kontrolní součty, kódování opravy chyb (např. Hammingův kód).
- Používají se pro detekci a opravu chyb v digitálních datech.

## Ochrana proti nelegálnímu kopírování – příklady

[avt\\_zaznamazprac-1.pdf](#)

- **Příklady:** DRM (Digital Rights Management), šifrování souborů, vodoznaky.
- Cílem je zabránit nelegálnímu šíření digitálního obsahu.

## Komprese zvuku – princip

[avt\\_zaznamazprac-1.pdf](#)

- **Princip:** Redukce dat potřebných pro uchování zvuku pomocí odstranění redundance.
- Používá metody jako ztrátová komprese (MP3) a bezztrátová komprese (FLAC).

## Magnetooptický záznam

- Kombinuje magnetické a optické technologie pro ukládání dat.
- Využívá magnetické pole k záznamu dat na optické diskové médium.

## Flash – princip záznamu a čtení

- **Princip:** Flash paměť používá elektrická pole k uchovávání nábojů na křemíkových buňkách.
- Umožňuje rychlý přístup a opakované zápisy bez mechanických pohyblivých částí.