

12) Mechanické vlnění, akustika

MECHANICKÉ VLNĚNÍ

= šíření kmitání látkovým prostředím

- Nepřenáší se látka, ale energie
- Prostředí složeno z velkého množství částic, mezi kterými existuje vazba
- Nucené kmitání jedné částice se postupně přenáší na další částice
- Částice prostředí se nepřemísťují v prostoru, jen kmitají kolem rovnovážných poloh
- Druhy vlnění: vlny postupné příčné, vlny postupné podélné, vlny stojaté příčné, vlny stojaté podélné
- Vlnová délka – vzdálenost, kterou vlna urazí za periodu T:

$$\lambda \text{ [m]} \lambda = \frac{v}{f}$$

v rychlost šíření vlnění (fázová rychlost)
f frekvence vlnění

VLNĚNÍ POSTUPNÉ

- Kmitání se ze zdroje vlnění postupně přenáší do bodů vzdálenějších od zdroje
- Přenáší se pouze energie kmitavého pohybu ze zdroje do prostředí, které zdroj obklopuje
- Postupuje určitou rychlostí a určitým směrem
- **Vlnění příčné** – částice kmitají ve směru kolmém na směr šíření vlnění (např. vlny na vodní hladině po vhození kamen, vlnění gumové hadice)
- **Vlnění podélné** – částice kmitají ve směru šíření vlnění (např. šíření zvuku)

ROVNICE POSTUPNÉHO VLNĚNÍ

- Platí pro příčné i podélné vlnění
- Vztah určující okamžitou výchylku y daného bodu prostředí ve vzdálenosti x od zdroje a čase t:

$$y = y_m \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

FÁZOVÝ ROZDÍL

- Rozdíl dvou různých interferujících fází ve stejném čase

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1) = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d$$

- $d = |x_2 - x_1| \rightarrow$ dráhový rozdíl vlnění – vzdálenost dvou bodů, ve kterých mají obě vlnění stejnou fázi

INTERFERENCE (SKLÁDÁNÍ) VLNĚNÍ

- Pokud postupují pružným prostředím 2 nebo více vlnění, dochází pak k jejich skládání = interferenci

(pružné prostředí = kmitání jedné částice se vzájemnou vazbou přenáší na další částici, současně se tak na tuto částici přenáší energie kmitavého pohybu)

- Sčítáme výchylky jednotlivých vln: $y_s = y_1 + y_2$

- 3 typy interference:

1. Stejná vlnová délka a amplituda výchylky

- Využíváme vzorec pro výpočet fázového rozdílu ($d \neq 0$)

2. Interferenční maximum

- Speciální případ (stejná rychlost a vlnová délka a rozdílná amplituda)
- Dráhový rozdíl = lichý počet půlvln
- Vlny se setkávají s opačnou fází
- Při stejné amplitudě se vlny vyruší

3. Interferenční minimum

- Speciální případ (stejná rychlost a vlnová délka a rozdílná amplituda)
- Dráhový rozdíl = sudý počet půlvln
- Vlny se setkávají se stejnou fází

STOJATÉ VLNĚNÍ (CHVĚNÍ)

- Vzniká při neustálém harmonickém kmitání jednoho konce, na druhém konci se odráží a vzniká interference dvou vlnění, přímé a odražené, která postupují stejnou rychlostí a opačnými směry
- Na tyči / struně (kytary) upevněné na obou koncích vzniká odrazem vlnění od konce tyče a interference obou vln

- Dojem ustáleného stavu, že se vlna nehýbe

Uzly = body, které se nehýbají

Kmitny = body kmitající s maximální amplitudou

- Pro počet kmiten k (půlvln): $l = k \cdot \frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2l}{k}$

1 délka tyče

- Uzly od sebe vzdáleny $\lambda/2$, kmitny $\lambda/4$ od uzlu a sousední kmitny o $\lambda/2$

- **Základní frekvence** stojatého vlnění f_0 je dána:

$$f_0 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2l}$$

v rychlost postupného vlnění, ze kterého stojaté vlnění interferencí vzniklo
→ tahle frekvence odpovídá nejmenšímu možnému počtu půlvln

Pro $k > 1$ máme vyšší harmonickou frekvenci:

$$f = k \cdot f_0$$

ODRAZ VLNĚNÍ OD KONCOVÉHO BODU

1) Odrážení vlnění na pevném konci – odražená vlna má opačnou fázi než vlna původní

2) Odrážení vlnění na volném konci – odražená vlna má stejnou fázi než vlna původní

ŠÍŘENÍ VLNĚNÍ V PROSTORU

- **Huygensův princip:**

- o V izotropním prostředí – stejná rychlost do všech směrů
- o Každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém okamžiku, můžeme pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách
- o Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch ve směru, v němž se vlnění šíří

Vlnoplocha = plocha, jejíž body kmitají se stejnou fází = plocha s body, do kterých vlnění dospělo ze zdroje za tutéž dobu

- Pomocí Huygensova principu lze odvodit zákon lomu a odrazu vlnění

- **Zákon lomu vlnění:**

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n$$

n index lomu

$v_2 < v_1 \Rightarrow \beta < \alpha \dots$ lom ke kolmici

$v_2 > v_1 \Rightarrow \beta > \alpha \dots$ lom od kolmice

- **Zákon odrazu vlnění:** odražený paprsek zůstává v rovině dopadu

$$\alpha = \alpha'$$

- **Ohyb vlnění:**

- Nastane, pokud je v cestě vlnění překážka malých rozměrů, díky ohybu vlnění se vlnění dostane i za překážku
- Nastane také, je-li v překážce větších rozměrů otvor, za otvorem se vlnění šíří opět všemi směry (Huygensův princip)
- Čím větší má vlnění vlnovou délku tím snadněji dochází k jeho ohybu, ale aby ohyb nastal musí být vlnová délka stejná nebo větší než otvor

ZVUK A JEHO VLASTNOSTI

Akustika = nauka o zvuku

Zvuk = mechanické vlnění, které vnímáme sluchem

20 Hz – 20 kHz

- **Ultrazvuk:** > 20 kHz:

- **Echolokace** = vnímání pomocí ultrazvuku: vlny se odrazí od rozhraní mezi tělesem a jeho okolí zpět, následně se sestaví obraz (podobné využití jako vidění), využívají ji delfini nebo netopýři a člověk pomocí sonaru (– orientace pomocí echolokace pod vodou) např. při hledání ryb
- **Lékařství** (zobrazí např. ledviny, játra, žlučník, močový měchýř, velké cévy apod.)

- **Infrazvuk:** < 20 Hz (nebezpečné pro člověka → zakázaná zbraň, zaznamenání zemětřesení, sopečné činnosti – pohyb zemských desek, zkoumání složení země, komunikace zvířat – sloni, zdroj: chvění budov / strojů)

- Infrazvuk a ultrazvuk je pro člověka neslyšitelný

- Zvuk závisí na teplotě prostředí, druhu prostředí apod.

- Např. v kapalinách a pevných látkách se šíří rychleji než v plynech

- Akustická intenzita (I):

$$I \text{ [W/m}^2\text{]} I = \frac{P}{S}$$

- Hladina akustické intenzity (L):

$$L_I \text{ [dB]} L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

- Práh slyšení = nejmenší intenzita, kterou je lidské ucho schopno vnímat: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, to odpovídá hladině 0 dB

- Práh bolesti = intenzita zvuku, při které v uchu vzniká bolestivý pocit: $1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, to odpovídá hladině 120 dB

DOPPLERŮV JEV

- Změna frekvence přijímaného vlnění způsobená nenulovou vzájemnou rychlostí vysílače a přijímače
- Zdroj zvuku a přijímač se přibližují → vyšší frekvence
- Zdroj zvuku a přijímač se vzdalují → nižší frekvence

$$f_1 = \frac{v}{v-v_Z} f_2 = \frac{v}{v+v_Z}$$

f_1	frekvence přibližujícího se zdroje zvuku Z
f_2	frekvence vzdalujícího se zdroje zvuku Z
f	frekvence zdroje Z
v_Z	rychlost zdroje
v	rychlost zvuku

ACTIVE NOISE – CANCELING

- Miniaturní mikrofony snímají frekvence a intenzitu hluku okolí a do uší posílají opačný signál
- Vnější hluk se v kombinaci s tímto signálem vyruší