

# Ultrazvukové vlnění

## Ultrazvukové vlnění

**Ultrazvuk** je **mechanické vlnění** s frekvencí **větší než 20 kHz**, neboli přesahující horní hladinu slyšitelnosti. Pro člověka je tedy neslyšitelný. Je však slyšitelný pro řadu živočichů (např. psy, delfíny, netopýry). Vlastnostmi se od slyšitelného zvuku a infrazvuku neliší.

### Vnímání ultrazvuku

#### U lidí

Lidské ucho není schopné vnímat ultrazvuk, což je zapříčiněno anatomicko-fyzikálními limitacemi středního a vnitřního ucha. Horní hranice slyšitelnosti se všeobecně se vzrůstajícím věkem snižuje. U dětí může výjimečně překročit i hranici 20 kHz. Sluchový vjem z ultrazvukového vlnění může vzniknout v hlemýždi při přímém průchodu vlny přes kost (kostní vedení), aniž by prošla vnějším zvukovodem nebo středoušní dutinou.



#### U zvířat

Všeobecně řečeno, existuje mnoho druhů živočichů, převážně nočních, které využívají ultrazvukového vlnění k orientaci za snížené viditelnosti (echolokace). Některé druhy mají horní hranici slyšitelnosti až téměř 180 kHz (tedy v oblasti ultrazvuku). Ultrazvukové, **vysokofrekvenční píšťaly** se používají například při tréninku psů.

### Fyzikální podstata

Od zdroje se ultrazvuk šíří prostředím jako vlnění, které se podle směru kmitání částic daného prostředí rozděluje na **podélné vlnění**, kdy se částice pohybují ve směru šíření vlnění, a **vlnění příčné**, kdy částice kmitají kolmo na směr šíření vlnění. V měkkých tkáních a tekutinách lidského těla se ultrazvuk šíří formou vlnění podélného. Pouze v kostech se ultrazvuk šíří také formou příčného vlnění.

Ultrazvuk se podobně jako **zvuk nejlépe šíří v tuhých látkách** – rychlost asi 3000 m/s, hůře v kapalinách – rychlost 1000 m/s, nejhorší šíření ultrazvuku je ve vzduchu – rychlost asi 350 m/s. Závislost rychlosti vlnění na prostředí může být potenciálním zdrojem nepřesností, pokud je použito ultrazvuku k měření vzdáleností. Pro potřeby měření v biomedicině je tato chyba obvykle zanedbatelná.

### Využití ultrazvuku

**Ultrazvukové vlnění** má široké spektrum využití nejen v armádě, technologickém průmyslu, farmacii i v medicíně. Výhodami využití ultrazvuku jsou hlavně jednoduchá a **bezkontaktní** detekce a měření uvnitř prostorů, které bychom jinými prostředky jenom těžce zmapovali. Používají se jak spojitě, tak i přerušované (pulzační) vlny. Princip využití pulzačních vln spočívá ve vysílání krátkých impulzů ultrazvukové energie. Po každém impulzu receptor signálu přijímá odraženou vlnu v krátkém časovém okně. Signál je pak vyhodnocen. Tyto metody se uplatňují např. k měření průtoku trubicí.

Existuje několik generátorů ultrazvuku:

- **Mechanické generátory**, tedy např. speciální píšťaly a sirény, mají význam spíše historický.
- **Magnetostrikční generátory** vytvářejí ultrazvukové vlny pomocí feromagnetické tyčinky, která je umístěna v magnetickém poli elektromagnetu napájeného střídavým proudem. Mají velký výkon, ale lze jimi generovat ultrazvuk o frekvenci jen asi do 60 kHz. Maximální frekvence je omezena především tím, že s rostoucí frekvencí roste i impedance budící cívk. Využití mají v zubním lékařství při odstraňování zubního kamene a kazu, omezeně i ve fyzikální medicíně.
- **Piezoelektrické generátory** jsou nejčastěji používané generátory ultrazvuku v medicíně. Jejich fyzikální podstatou je piezoelektrický jev, tedy změna tvaru některých materiálů v elektrickém poli. Destička z vhodného materiálu (křemen, některé keramické materiály, atp.) je připojena k elektrodám se střídavým napětím. Destička tak kmitá se stejnou frekvencí jako přiložené napětí a tím mění elektrickou energii na mechanickou energii vlnění. Piezoelektrické generátory mohou generovat ultrazvuk až do desítek megahertzů.

Frekvenční pásmo 2–40 MHz je nejvhodnější pro aplikaci v medicíně, přičemž je možné rozlišovat:

- **nízkofrekvenční ultrazvuk** (20–100 kHz) používaný zejména v ultrazvukové chirurgii při operačních zákrocích i na čištění nástrojů,
- **vysokofrekvenční ultrazvuk** používaný ve fyzikální terapii (1–3 MHz) a v diagnostice (2–40 MHz).

## Ultrazvuk v medicíně

Nejdůležitější aplikací ultrazvuku je medicínská ultrasonografie a akustická mikroskopie. Teoretické využití těchto metod bylo vědcům zřejmé už dávno, ale praktické užití přišlo až později s vyspělejší technikou. K zobrazování předmětů v medicíně pomocí ultrazvuku se užívá mechanické vlnění s frekvencemi vyššími než 2 MHz a intenzitou méně než 1W/cm<sup>2</sup>. Pro vyšší rozlišení je vhodnější kratší vlnová délka, nevýhodou ale je menší perforace. S větší vlnovou délkou pronikne vlna hlouběji, nezachytí ale takové detaily.

S rostoucí frekvencí, tedy s klesající vlnovou délkou, je ultrazvukové vlnění ve tkáních výrazněji "absorbováno", přesněji řečeno dochází k výraznější **přeměně** mechanické energie **mechanického vlnění** na **energii tepelnou**, tedy k ohřevu tkání. Praktickým důsledkem je to, že ultrazvuk o velmi vysoké frekvenci (desítky až stovky megahertz) lze použít jen k vyšetření kůže. Při použití dostatečných intenzit, aby bylo i echo spolehlivě měřitelné, by docházelo k výraznému ohřevu tkání těsně pod sondou. Prakticky se hovoří o tom, že ultrazvuk o vyšších frekvencích má **nižší hloubku průniku**. Na druhou stranu platí, že čím vyšší je frekvence ultrazvuku, tím je rozlišovací schopnost vyšetření lepší. Dokonce ultrazvuky o frekvenci stovek megahertz se používají, i když spíše experimentálně než v klinické praxi, k zobrazení struktury tkání na úrovni téměř histologických detailů.

### Princip vyšetření ultrazvukem

1. Metoda odrazová impulsní — **sonda** se přiloží na povrch a vysílá vlny ve formě krátkých impulsů, které procházejí zkoušeným materiálem, odrážejí se od rozhraní s jiným prostředím, které má jinou akustickou impedanci než studovaná tkáň, a vracejí se k sondě, kde jsou registrovány. Výhodou je použití jenom jedné sondy a možnost měření nepřístupných těles a prostorů.
2. Metoda průchodová impulsní — používají se sondy uložené na opačných površích testovaného předmětu — vysílač a přijímač. Měříme množství energie, které se skrze materiál dostane z vysílací sondy k sondě přijímací.

**Ultrazvukové vlnění** se na rozhraní pevná látka — plyn téměř zcela reflektuje. I velmi tenká vrstva plynu mezi sondou a tkání prakticky znemožní průstup vln do materiálu. Proto se prostor mezi sondou a povrchem testované látky vyplňuje kapalným nebo polotuhým materiálem, který nazýváme **akustická vazba**.

Vazební látkou může být vazelína, olej, glycerín, voda nebo speciální prostředky pro akustickou vazbu.

### Medicínská ultrasonografie

Je to technika založená na vlastnostech ultrazvukových vln. Pomocí ultrasonografie zobrazujeme svaly, orgány, kosti, tělesné dutiny a další struktury. Využitím moderních technologií dokáže počítač konjugovat mnoho dvourozměrných snímků a vytvořit tak 3D obraz v reálném čase. Tato diagnostická technologie je relativně finančně dostupná a lehce přenosná. Nejčastěji se využívá při **zobrazování plodu v prenatalním období**. V porovnání s jinými diagnostickými zařízeními je ultrasonografie jednou z nejšetrnějších metod a pro pacienta nepředstavuje žádnou hrozbu. Ultrazvukové vyšetření má pestrý škálu využití — od lokalizace traumat až po zjišťování abnormalit a lézí v rozličných tkáních.

Mezi jiná využití ultrazvuku patří například čištění ultrazvukem, veterinářská diagnostika, ultrazvukové zvlhčování vzduchu, terapeutické využití — léčení zánětů pojivové tkáně, rozbíjení močových kamenů a jiných obstrukčních těles, sonochemie.

### Bezpečnost

Časté vystavení ultrazvuku s hladinou hlasitosti vyšší než 120 dB může vést ke ztrátě nebo oslabení sluchu. Vystavení 155 dB už může způsobovat tepelné zahřívání tkání a předpokládá se, že smrtelná je již hladina přibližně 180 dB. Limit ve veřejných prostorech by měl být ideálně 70 dB při 20 kHz.

### Vlastnosti

Ultrazvuk má velmi vysokou frekvenci, a proto velmi krátkou vlnovou délku. Jeho vlnová délka je menší než vlnová délka zvuku, proto je šíření ultrazvuku méně ovlivněno ohybem. Výrazný je ale jeho odraz od překážek a skutečnost, že je méně pohlcován v kapalinách a pevných látkách.

Na rozhraní dvou tkání o různých akustických impedancích dochází k částečné změně směru šíření vln a jejich odrazu. Poměr intenzit  $R$  odražené vlny k dopadající vlně ultrazvukové lze vypočítat podle vztahu:

$$R = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

Platí:

- $R = 0$ , jestliže  $Z_1 = Z_2$
- $R \rightarrow 0$ , jestliže  $Z_1 \approx Z_2$
- $R \rightarrow 1$ , jestliže  $Z_1 \gg Z_2$  nebo  $Z_2 \gg Z_1$

Poměr intenzit  $T$  procházející k dopadající ultrazvukové vlně lze zjistit ze vztahu  $T = (1 - R)$ .

Pro ultrazvuk všeobecně platí stejná pravidla a zákonitosti jako pro jiné typy mechanického vlnění.

# Zdroje

## Odkazy

- <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/203-ultrazvuk>
- <https://is.muni.cz/th/t0bcj/?so=nx>
- <https://referaty.aktuality.sk/ultrazvuk/referat-3154>[http://www.amapro.cz/datove\\_zdroje/knihy/fyzika/fyzika\\_171.php](http://www.amapro.cz/datove_zdroje/knihy/fyzika/fyzika_171.php)
- <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrazvuk>

## Související články

- Ultrazvuk
- Účinky ultrazvuku
- Ultrazvuk v různých prostředích a tkáních

## Použitá literatura

- NAVRÁTIL, Leoš. Biofyzika v medicíně. 1. vydání. Praha : Manus, 2003. ISBN 80-86571-03-3

VŠB - TUO, Ultrazvukové vlny. Ostrava

20.11.