

# Ultrazvuk v různých prostředích a tkáních

Ultrazvuk, generovaný pomocí magnetostrikčních, častěji piezoelektrických generátorů, se šíří látkovým prostředím jako vlna střídavého zahušťování a ředění molekul. V měkkých tkáních a tekutinách lidského těla formou **vlnění podélného**, v kostech též formou **vlnění příčného**.

Rychlost šíření ultrazvukových vln závisí na elasticitě K a hustotě ρ prostředí dle vzorce:<sup>[1]</sup>

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

Vyšší hustota látky sice snižuje rychlost šíření zvuku, zároveň ale látky s vyšší hustotou obvykle mívají vyšší elasticitu. Proto se ultrazvuk nejrychleji šíří v pevných látkách (např. kostech) a nejpomaleji v plynech (vzduch). V kapalinách a materiálech s vysokým obsahem vody (např. měkké tkáně) se průměrně šíří rychlostí 1540 m/s.

## Akustická impedance

Na hustotě prostředí a rychlosti šíření ultrazvuku je závislá **akustická impedance**, veličina popisující vztah ultrazvuku a prostředí. Je dána vztahem:

$$Z = \frac{p_e f}{v_e f} = c \cdot \rho$$

Kde:

- Z = akustická impedance;
- p<sub>ef</sub> = akustický tlak;
- v<sub>ef</sub> = akustická rychlost;
- ρ = hustota prostředí;
- c = rychlost šíření ultrazvuku prostředím.

Prostředí klade jakýsi odpor ultrazvukovému vlnění a brání vzniku zón zvýšeného a sníženého tlaku (zhušťování a ředění molekul). Ze vzorce tedy lze vyčíst, že vysokou impedanci mají pevné látky s vysokou hustotou a rychlostí šíření ultrazvuku.

## Hodnoty akustické impedance a rychlosti ultrazvuku pro vybrané tkáně a prostředí

Tkáň	Akustická impedance Z [10 <sup>6</sup> kg · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ]	Rychlost [m · s <sup>-1</sup> ]
krev	1,62	1580
kost	3,75-7,38	3360
mozek	1,55-1,66	1538
játra	1,64	1570
sval	1,65-1,74	1568
voda	1,5	1500
vzduch	0,0004	340

[2]

## Ultrazvuk na tkáňovém rozhraní

Při průchodu tělem **ultrazvuková vlna** naráží na různá tkáňová rozhraní, přičemž různé tkáně mají různou **akustickou impedanci** a **echogenitu** – schopnost odrážet ultrazvukové vlny. Na tkáňovém rozhraní dochází k částečnému odrazu vlny (echo, ozvěna), část prochází dál k dalšímu tkáňovému rozhraní. Čím větší je rozdíl akustických impedancí a echogenit sousedních tkání, tím větší je odraz vlny. Poměr mezi intenzitou odražené vlny a intenzitou vlny dopadající na rozhraní je dán vztahem:

$$R = \left( \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \right)^2$$

Kde:

- R = poměr intenzit odražené vlny ku vlně dopadající;
- Z<sub>1</sub> = akustická impedance prostředí 1;

- $Z_2$  = akustická impedance prostředí 2.

Je-li akustická impedance prostředí 1 a 2:

1.  $Z_1 = Z_2$ ,  $R = 0$ , nedochází k odrazům na rozhraní prostředí. Jedná se o homogenní prostředí.
2.  $Z_1 \neq Z_2$ , dochází k částečnému odrazu.

- $R \rightarrow 0$  – měkké tkáně s podobnou impedancí;
- $R \rightarrow 1$  – tkáně s vyšším rozdílem impedance, např. měkká tkáň – kost, měkká tkáň – vzduch.

Z tohoto poměru se dá vypočítat také poměr intenzit procházející ultrazvukové vlny ku vlně dopadající:

$$T = 1 - R$$

Na tomto principu je založena metoda vyšetřování **ultrazvukem** v lékařství. Při vyšetření ultrazvukem je však nežádoucí, aby vlny procházely vzduchovou vrstvou mezi ultrazvukovou sondou a povrchem těla (rozdíl mezi impedancí vzduchu a měkké tkáně je značný a docházelo by na tomto rozhraní k velkým odrazům). Proto je nutno nanést na povrch těla gel a tím zajistit **impedanční přizpůsobení**.

Část **akustické energie**, která je pohlcena, se přeměňuje na **teplo** (uspořádaný pohyb molekul se mění v neuspořádaný tepelný pohyb).

## Ultrazvuk v lidských tkáních

### Tepelné účinky

Při průchodu živou tkání **ultrazvuk** způsobuje v důsledku absorpce energie zahřívání tkáně. Děje se tak především na tkáňovém rozhraní, ale i při průchodu homogenní tkání. Míra absorpce je závislá na **frekvenci ultrazvuku**. S rostoucí frekvencí se zvyšuje **absorpce a disperze v tkáních a klesá pronikavost ultrazvuku**. Pro vyšetření hlouběji uložených tkání je tedy nutné použít ultrazvuk o nižší frekvenci (s menší pravděpodobností odklonu vln při průchodu blíže uložených oblastí) s menší rozlišovací schopností.

- u dospělého pacienta je pro vyšetření povrchových tkání vhodná sonda s frekvencí 5 MHz, hlouběji uložených tkání s frekvencí 3,5 MHz.

Absorpce ultrazvuku probíhá v hlouběji uložených tkáních, které většinou neobsahují termoreceptory. Proto nedochází k subjektivnímu vnímání lokálního vzestupu teploty.

### Mechanické účinky

Vlivem zhušťování a zředování prostředí dochází k rychlým tlakovým změnám při **kmitání molekul**, což může vést k mechanickému poškození struktur např. vlivem **kavitace**. Při tomto fyzikálním jevu vznikají v proudících kapalinách nebo v místech kapalin s rychlými tlakovými změnami **vakuové dutinky**, které svým zánikem mohou poškodit buněčné struktury.

### Fyzikálně chemické účinky

Účinkem **ultrazvuku** může dojít např. k excitaci molekul a urychlení chemických reakcí, prokrvení tkání nebo látkové výměny.

**Ultrazvuk** je výbornou metodou pro zobrazení měkkých tkání, avšak nevhodnou pro vyšetření plic a kostí.

## Odkazy

### Externí odkazy

- https://vysetreni.vitalion.cz/ultrazvuk/
- http://ftplf2.agarek.com/fyzio/prvak/biofyzika/semin/tercaza\_uz.php
- http://apfyz.upol.cz/ucebnice/details/ultrazvuk\_terapie.pdf
- https://www.vutbr.cz/www\_base/zav\_prace\_soubor\_verejne.php?file\_id=14149

### Použitá literatura

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

### Reference

- Radiologická fyzika, Zvuk a ultrazvuk, Biofyzikální ústav LF MU, 2014 (<http://www.med.muni.cz/biofyz/files/radiologieBC/UZ2.pdf>)

1. ROSINA, Josef, et al. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. 1. vydání. Grada publishing, a. s, 2006. s.

86. ISBN 8024768682.

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