

FYZIKA A FYZIOLOGIE V AKUSTICE

doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D. stavební fakulta ČVUT v Praze

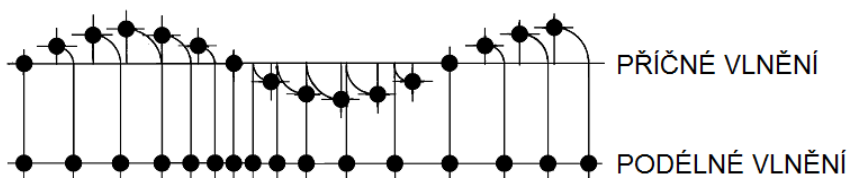
Akustika je věda o zvuku. Její název pochází z řeckého *akoúō* = slyšet. **Zvuk je mechanické vlnění pružného prostředí, které lze vnímat sluchem.** Tato definice má dvě části: fyzikální a fyziologickou (neboli lékařskou).

FYZIKA: mechanické vlnění pružného prostředí.

FYZIOLOGIE: které lze vnímat sluchem.

Mechanické vlnění pružného prostředí.

Rozlišuje se vlnění příčné a podélné (ohybové, smykové, torzní). V kapalinách a plynech se vyskytuje jen vlnění podélné. To je charakteristické tím, že směr kmitání jednotlivých malých částí hmoty je shodný se směrem šíření vlny. Vlnění se tak projevuje jako časová a místní změna hustoty a tedy i tlaku kapaliny nebo plynu.



... které lze vnímat sluchem

Zvuk lze běžně vnímat z plynného prostředí – ze *vzduchu* = typická a téměř jediná rozumná situace.

Slyšet lze i *pod vodou* – potápěči, v obytné budově ve vaně s hlavou pod vodou = velmi nezvyklá a výjimečná situace.

Zvuk není možné vnímat z *pevných látek* (výjimka je kostní vedení zvuku, kterým slyšíme vlastní hlas – není starostí technické akustiky).

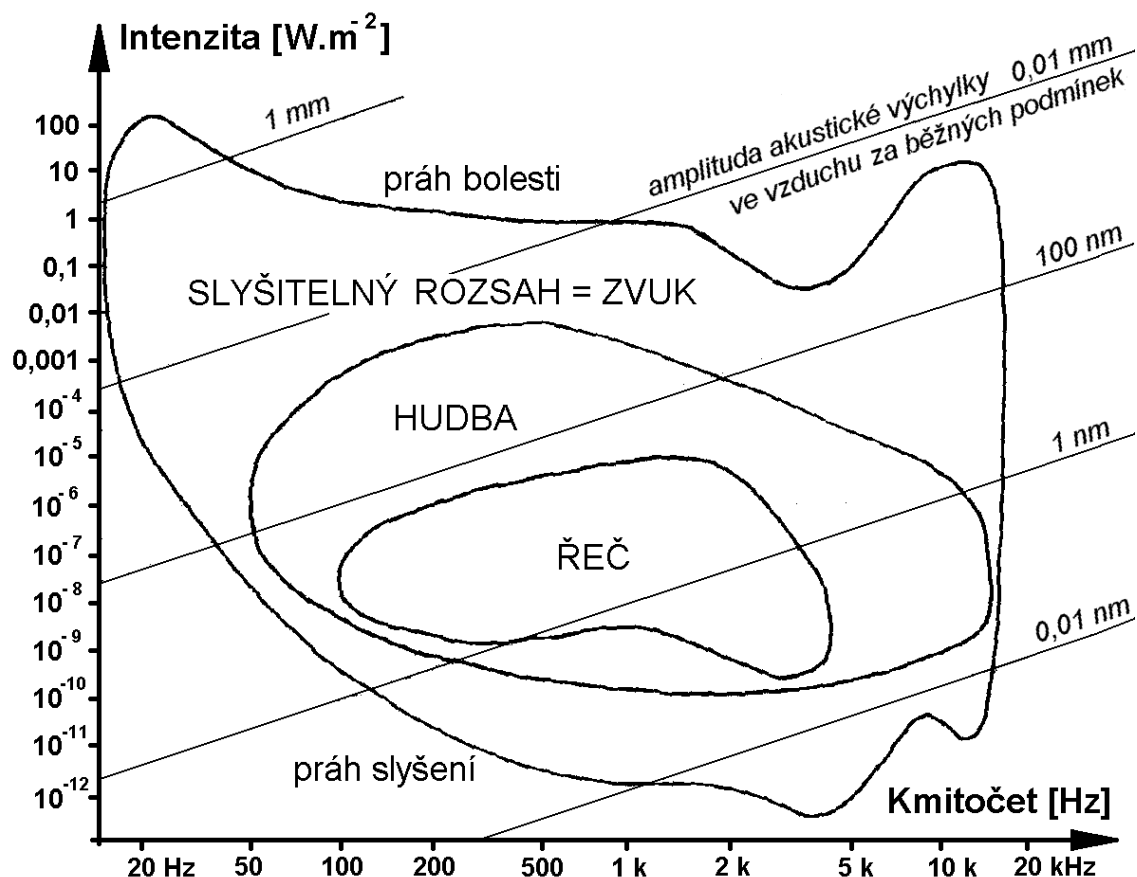
Závěr: Zabýváme se šířením zvuku ve vzduchu, kde se vyskytuje jen podélné vlnění. Mechanické vlnění (chvění) pevných látek není zvukem, protože toto chvění nelze vnímat sluchem. Pevná tělesa mohou nanejvýš svým chvěním způsobit vlnění vzduchu ve svém okolí a mohou se tak stát zdroji zvuku.

Jaké vlnění pružného prostředí je možno vnímat sluchem?

Rozsah vlnění, které lze vnímat sluchem je vymezen kmitočtem a intenzitou. V diagramu na obrázku se jedná o množinu vymezenou prahem slyšení a prahem bolesti. Rozsah slyšitelných kmitočtů se udává v rozmezí 16 až 16000 Hz. Znamená to, že částice vzduchu při akustickém ději kmitají okolo své rovnovážné polohy s „rychlostí“ 16 až 16000 kmitů za jednu sekundu. Největší vzdálenost od rovnovážné polohy, kterou částice mohou při vlnění zaujmout, se nazývá amplituda akustické výchylky U (m). Při teplotě 0°C, atmosférickém tlaku 101,3 kPa a objemové hmotnosti vzduchu 1,29 kg.m⁻³ lze velikost amplitudy akustické výchylky určit ze vztahu

$$U \cong \frac{\sqrt{I}}{92 f}$$

Kde I (W.m⁻²) je intenzita a f (Hz) je kmitočet zvuku. Rozsah amplitud akustické výchylky U (m) je na obrázku rovněž znázorněn.

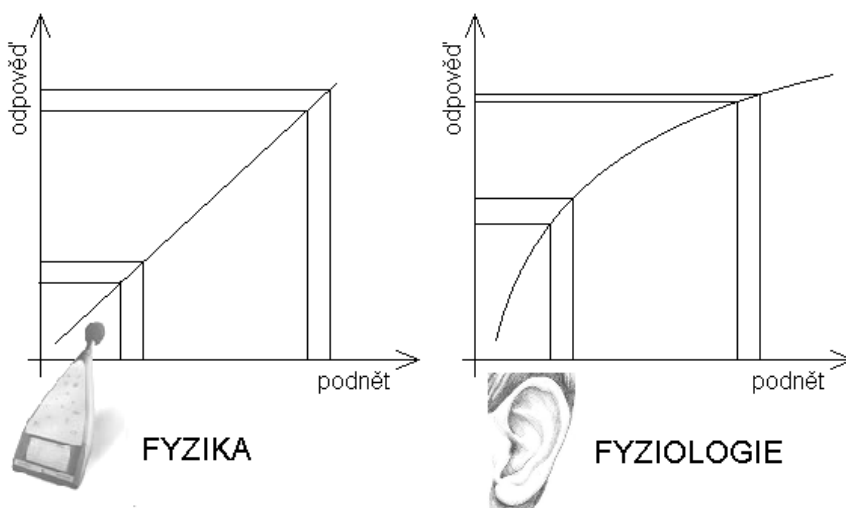


Je zřejmé, že se jedná o amplitudy velmi malé. U vysokých kmitočtů nad prahem sluchu jsou tyto amplitudy srovnatelné s průměrem atomu. S výjimkou velmi nízkých kmitočtů v oblasti pod prahem bolesti je zvuk součástí jen mikrosvětla a jinými smysly než sluchem nejsme schopni toto mechanické vlnění registrovat. Zvuk není schopen ovlivnit konstrukce strojů nebo budov. Zemětřesení je také mechanickým vlněním pružného prostředí, není však zvukem. Jedná se o jiné kmitočty a jiné intenzity. Zvuk, který zemětřesení může provázet, není tím vlněním, které působí škody na budovách. Zvuk také nemůže fyzicky člověka přímo poškodit. Působí jen na náš sluch a zprostředkovaně přes psychiku tak může ovlivnit náš zdravotní stav. Významnou roli při tomto působení hraje informační hodnota zvuku, která je podmíněna naším vztahem k danému zvuku a jeho zdroji, případně možností či nemožností provoz takového zdroje ovlivnit. Pouze při překročení prahu bolesti (akustické trauma) může dojít k okamžitému poškození sluchu. Takové situace se ale v mírových podmínkách běžně nevyskytují. K poškození sluchu ale může dojít při dlouhodobém (mnohaletém) působení zvuku velké „síly“ zejména v pracovním prostředí.

Závěr: Vnímání zvuku je specifické a vymyká se běžným fyzikálním představám. Potřeba popisu zvuku a jeho chování v prostředí právě z hlediska jeho vnímání sluchem (jiný popis by totiž vzhledem k výše napsanému neměl význam), tato potřeba vnáší do oboru akustika složitosti, se kterými se v jiných oborech fyziky nesetkáme. Projevuje se to ve specifickém vnímání intenzity a kmitočtu a ve specifickém směrovém účinku zvukových vln. Významnou roli hraje informační hodnota zvuku.

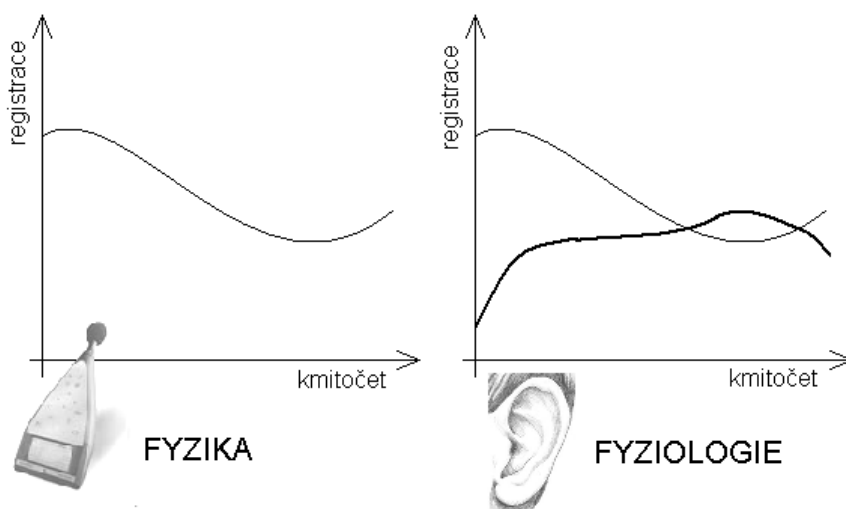
Vnímání intenzity

Citlivost lidského sluchu při vnímání akustické intenzity není vždy stejná, ale s rostoucí intenzitou se snižuje. Při zvyšování akustické intenzity jakoby sluchový orgán stále více ztrácel schopnost vnímat v plné hodnotě její další přírůstek. Výsledkem je logaritmická závislost mezi velikostí zvukového podnětu a velikostí sluchového vjemu, kterou objevil německý fyziolog *Ernst Heinrich Weber* (1795 – 1878) a kterou později zdůvodnil jiný německý badatel, zakladatel psychofyziky *Gustav Theodor Fechner* (1801 – 1887). Weber – Fechnerův psychofyzický zákon zní: *Intenzita počítka je úměrná logaritmu podnětu*.



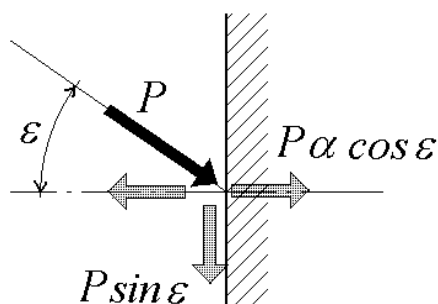
Vnímání kmitočtu

Kmitočet zvuku je počet periodických změn akustického tlaku za sekundu. Subjektivně je vnímán jako výška tónu. Při popisu zvuku a jeho účinku na člověka je třeba se vyrovnat s tou skutečností, že zvuk o různých kmitočtech je lidským sluchem vnímán s nestejnou citlivostí. Relativně dobrým přiblížením k těmto vlastnostem sluchového orgánu bylo zavedení váhových funkcí, které v souladu s citlivostí lidského sluchu upravují citlivost zvukoměru. Z více původně navržených funkcí se v praxi ujala váhová funkce „A“.

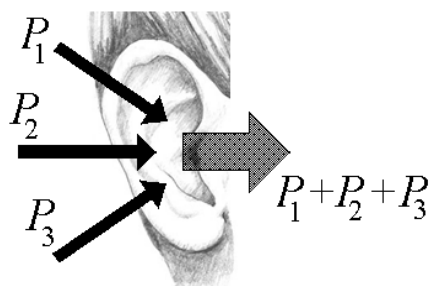


Směrový účinek zvukových vln

Dopadá-li zvuková vlna na pevnou překážku (například na povrch stěny) její akustický výkon se rozdělí na část, která je stěnou pohlcena a část, která je stěnou odražena zpět. Toto rozdělení závisí na úhlu dopadu zvukové vlny. Náš sluch se ale chová odlišně. Dokáže využít celý akustický výkon zvukových vln bez ohledu na to, z jakého směru tyto vlny přicházejí. Na překážce se výkon zvukových vln sčítá vektorově, v našem uchu se sčítá aritmeticky. To je příčinou toho, proč se k popisu účinku zvuku na sluch spíše používají veličiny akustický tlak nebo hustota akustické energie namísto veličin akustický výkon a akustická intenzita.



FYZIKA



FYZIOLOGIE

Informační hodnota zvuku

Míra rušení zvukem nezávisí jen na fyzikálních parametrech zvuku, ale je ovlivněna i postojem lidí k danému zvuku a jeho zdroji. Co je pro jednoho rajskou hudbou, může být pro jiného nesnesitelným hlukem. Obtěžování hlukem je tím větší, čím více hluk upoutává naši neúmyslnou pozornost tj. čím je nejen silnější, ale i odlišnější, méně známý a méně očekávaný, čím více se u něj prosazuje nutnost identifikovat a klasifikovat ho v rámci dosavadních zkušeností. Informační hodnota zvuku může být v konkrétních případech i významnější než jeho intenzita, což lze demonstrovat na známé zkušenosti, kdy zvuková kulisa indiferentního zdroje zvuku pomáhá při učení v situacích, kdy se v okolí hovoří. Informační hodnota zvuku a okolnosti jeho působení se v hodnocení zvuku uplatňují tím způsobem, že jsou stanoveny odlišné limity hluku pro různá prostředí, různou dobu a různé zdroje.

Závěr: Vnímání a prožívání zvuku je specifické. Z hlediska fyzikálního není zvuk ničím výjimečným. Formou vlnění pružného prostředí se šíří energie prostředím. Složitost do hodnocení zvuku vnáší fyziologie.

Zvuk nelze apriorně hodnotit jako něco vždy nežádoucího, co ohrožuje zdraví a život jedince. Některé zdroje zvuku ale působí způsobem, který nepřispívá lidskému zdraví a pohodě. Proto je nutné zvuk takových zdrojů omezovat.

Avšak bojovat proti zvuku se má potichu.

Zvuk ovlivňuje naše zdraví prostřednictvím naší psychiky. Příliš okázalé a přehnané upozorňování na údajnou či skutečnou škodlivost zvuku tak, jak to někdy vidíme v některých sdělovacích prostředcích, může u lidí vyvolat přehnané obavy před působením zvuku a tím umocnit právě to negativní působení zvuku, před kterým chceme uživatele budov a veřejného prostoru chránit.