

2. Akustika

Vlastnosti zvukového vlnění, šíření zvuku v látkovém prostředí, ultrazvuk

zvuk – vznik a druhy; infrazvuk, ultrazvuk; vlastnosti zvuku; šíření zvuku – rychlost; základy fyziolog. akustiky; základy hudební akustiky; ochrana před škodlivým zvukem

Akustika je rozsáhlý vědní obor, zabývající se vznikem zvukového vlnění, jeho šířením, vnímáním zvuku sluchem a přenosu prostorem až po vnímání lidskými smysly. Má celou řadu pod disciplín, např. hudební akustika zkoumá fyzikální základy hudby, hudebních nástrojů a prostorů, stavební akustika zvukové jevy a souvislosti v uzavřeném prostoru, budovách a stavbách, prostorová akustika šíření zvuku v obecném prostoru, fyziologická akustika vznikem zvuku v hlasovém orgánu člověka a jeho vnímáním v uchu, psycho akustika vnímání zvuku v mozku, elektroakustika se zabývá záznamem zvuku, reprodukcí a šířením zvuku s využitím elektrického proudu atd.

Akustika patří mezi nejstarší obory fyziky Slovo AKUSTIKA pochází z řec. **akoustikós**, což znamená "týkající se slyšení", od **akoúo** znamenající "slyším".

Vznik, šíření a rychlost zvuku

Vlivem vzruchu, který je generován zdrojem zvuku se částice vzduchu v některých místech prostoru navzájem přibližují či vzdalují, tím vzniká jejich zhuštění nebo zředění (přetlak a podtlak). Tyto změny se šíří od zdroje zvuku rychlostí **c**, která je ve vzduchu cca **340 m/s** (tato hodnota je závislá na teplotě, při 0°C je rychlost zvuku 331,8 m/s, při 30°C pak 349,6 m/s, převedeme-li tuto změnu rychlosti na změnu výšky tónu – ladění, přeladí se nástroj samovolně téměř o jeden půltón!).

Ve volném prostoru se zvuk šíří od zdroje všemi směry volně a jeho šíření můžeme popsat tzv. **vlnoplochami** (spojnicemi všech míst zvukového pole, které mají v daný okamžik stejné parametry). Je-li zdroj zvuku malý (bodový), mají vlnoplochy tvar koule, je-li zdrojem např. rozměrná deska, jsou vlnoplochy rovinné (za rovinné považujeme i vlnoplochy ve velké vzdálenosti od bodového zdroje, poloměr pomyslné koule už je tak velký že její výseč ve sledovaném bodě může být nahrazena rovinnou plochou). V uzavřeném prostoru se vlnění odráží a vzniká tak prostorový dojem (dozvuk, ozvěna). K harmonickým zvukům se také přidávají neharmonické **hluky** a **šumy**.

Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem. Frekvence tohoto vlnění, které je člověk schopen vnímat, jsou značně individuální a leží v intervalu přibližně 16 Hz až 20 000 Hz. Mechanické vlnění mimo tento frekvenční rozsah sluchový vjem nevyvolává, přesto se někdy také označuje jako zvuk.



Rychlosti zvuku v některých látkách:

Látka	Rychlost ($m \cdot s^{-1}$)
Vodík (0 °C)	1270
Oxid uhličitý (25 °C)	259
Kyslík (25 °C)	316
Suchý vzduch (0 °C)	331,4
Suchý vzduch (25 °C)	346,3
Helium (0 °C)	970
Rtuť (20 °C)	1400
Destilovaná voda (25 °C)	1497
Mořská voda (13 °C)	1500
Led (-4 °C)	3250
Stříbro (20 °C)	2700 / 3700
Měď (20 °C)	3500 / 4720
Sklo (20 °C)	5200
Ocel (20 °C)	5000 / 6000
Hliník (20 °C)	5200 / 6400

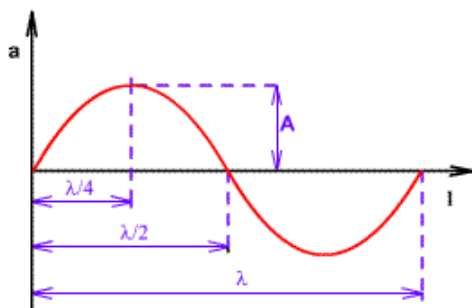
Druhy zvuku

Infrazvuk je zvuk o tak nízkém kmitočtu, že ho lidské ucho není schopné zaznamenat. Přesná hranice mezi slyšitelným zvukem a infrazvukem neexistuje, ale udává se mezi **16 a 20 Hz**. Spodní hranice se udává mezi 0,001 a 0,2 Hz. Je známo, že velryby, sloni, hroši, nosorožci, okapi a aligátoři používají infrazvuk k dorozumívání.

Slyšitelný zvuk – je akustické kmitání pružného prostředí v pásmu frekvencí od **16 Hz do 20 kHz**, schopné vyvolat **zvukový vjem**.

Ultrazvuk je zvuk s frekvencí **vyšší než 20 000 Hz**. Ultrazvuk se dá použít třeba při lékařském vyšetření. Ultrazvukové vlny procházejí tělem a odrážejí se od orgánů (akustická impedance). Odražené vlny lze převést ve formě jasově modulovaného obrazu na monitor.

Kromě amplitudy A je zvuková vlna charakterizována tzv. vlnovou délkou λ , která určuje vzdálenost dvou nejbližších bodů vlny se stejnou fází a amplitudou.



Označení vysokých rychlostí

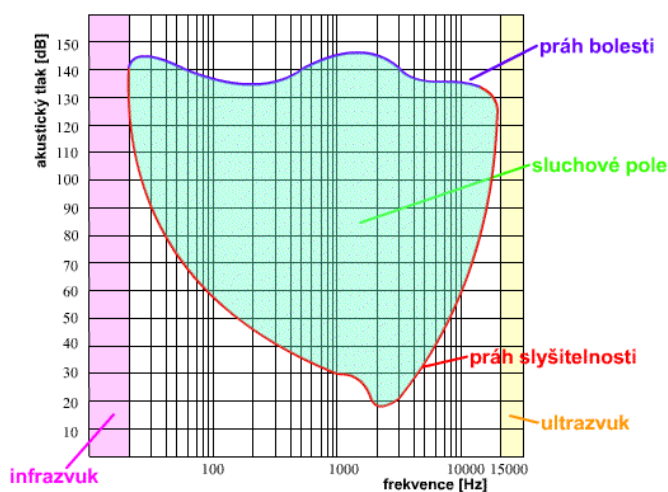
Označení	Ma	Znaky
Subsonická rychlost	< 0,8	
Transsonická rychlost	0,8-1,2	
Supersonická rychlost	1,2-5,0	
Hypersonická rychlost	5,0-10,0	
Vysoko-hypersonická rychlost	10,0-25,0	
Znovuvstupní rychlost	> 25,0	Tupý tvar, velký tepelný štít

Lidské vnímání zvuku

Lidské vnímání zvuku je velice složitý proces.

Frekvenční rozsah

Frekvenční rozsah zvuku, který většina lidí vnímá, začíná kolem 16 Hz a dosahuje k 16 kHz (teoreticky je oblast slyšitelnosti 16 Hz - 20 kHz). S rostoucím věkem horní hranice výrazně klesá. Nejvýznamnější rozsah je 2–4 kHz, který je nejdůležitější pro srozumitelnost řeči a na nějž je lidské ucho nejcitlivější. Nejvyšší informační hodnota řeči je přenášena v pásmu 0,5–2 kHz.



Dynamický rozsah

Dynamický rozsah lidského ucha (rozdíl mezi nejhlasitějším a nejtišším vnímatelným zvukem) je uprostřed slyšitelného frekvenčního pásma asi 120 dB. Na okrajích pásma je mnohem menší.

Rozlišování frekvence

Schopnost rozlišit frekvence tónů se u každého člověka liší a je frekvenčně závislá. Uprostřed slyšitelného frekvenčního pásma za ideálních podmínek lze rozlišit změnu frekvence o několik centů. Na okrajích pásma je rozlišovací schopnost výrazně nižší.

Frekvenční maskování

Schopnost odlišit dva frekvenčně blízké tóny je ovlivněna frekvenčním maskováním. Pokud znějí dva tóny současně, může jeden z nich potlačit slyšitelnost toho druhého. Tato neschopnost slyšet oba současné tóny se nazývá frekvenční maskování. Maximální úroveň maskovaného signálu je závislá na frekvenční vzdálenosti a úrovni maskujícího signálu. Maskovací schopnost je též závislá na frekvenci maskujícího tónu. Vnímání tónů s blízkými frekvencemi je ovlivněno šířkou kritického pásma. To má na nejnižších frekvencích velikost kolem 100 Hz, zatímco na nejvyšších frekvencích dosahuje až 4 kHz. Maskování se využívá u některých algoritmů pro kompresi zvukových dat, např. MP3, Ogg Vorbis nebo ATRAC.

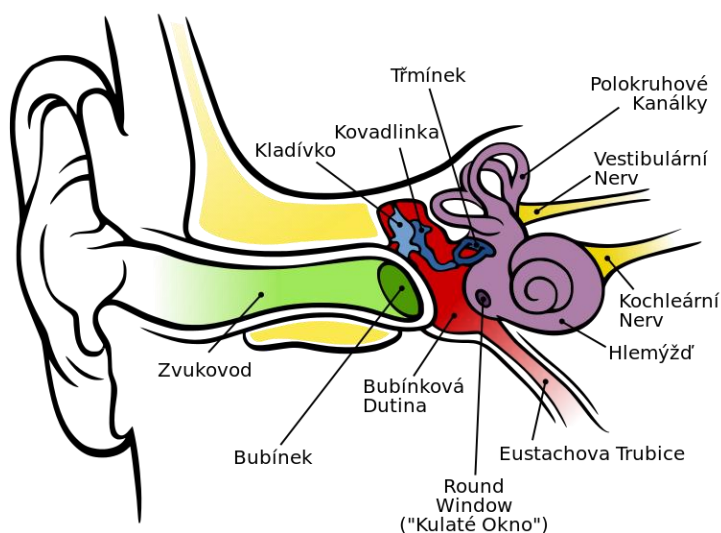
Časové maskování

Pokud po hlasitém tónu následuje stejný tón s menší hlasitostí, je jeho vnímání potlačeno. Potlačen může být i tichý tón předcházející maskovacímu tónu.

Fyziologická akustika

Ucho je sluchový orgán obratlovců. Jeho základními částmi jsou vnější, střední a vnitřní ucho. Ucho mladého člověka dokáže vnímat zvuk v rozsahu frekvencí 20 – 20 000 hertzů, staří lidé obvykle slyší jen v rozmezí frekvencí 50 – 8 000 Hz. Nejcitlivější je na frekvenci mezi 2–4 kHz. Frekvence lidského hlasu běžného hovoru se u mužů pohybuje v rozmezí od 80 do 120 Hz, u žen pak v rozpětí 170 až 260 Hz. Delfíni, netopýři a mnoho dalších živočichů se pomocí zvuku orientuje – tzv. echolokace.

Vnější ucho (auris externa) se skládá z boltce, zvukovodu a bubínku.:



Střední ucho (auris media) se skládá z bubínku, třmínku, kladívka, kovadlinky, hlemýždě a Eustachovy trubice:

Vnitřní ucho (auris interna) leží v kostěném labyrintu spánkové kosti (*os temporalia*). Kostěný labyrint částečně kopíruje blanitý labyrint vyplněný endolymfou.

Vlastnosti zvuku

Jako vlastnostmi zvuku se uvádí **výška**, **barva**, **hlasitost** (intenzita).

Výška zvuku

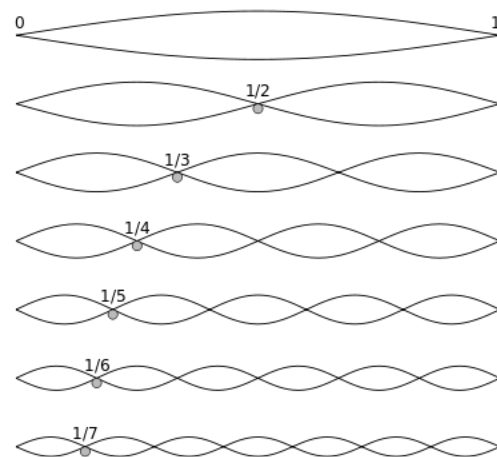
Výška zvuku je dána jeho frekvencí, čím vyšší je frekvence, tím je vyšší výška. U jednoduchých tónů s harmonickým průběhem určuje jejich frekvence absolutní výšku tónu. Absolutní výška tónu se měří přístroji pro měření zvukových frekvencí, za obvyklých podmínek ji nelze určit sluchem. Pro subjektivní hodnocení zvuku je důležitější relativní výška tónu, což je podíl frekvence daného tónu vůči frekvenci referenčního tónu. Hudební akustika určuje jako základní tón 440 Hz, v technické praxi se jako základní (referenční) tón udává 1000 Hz (jeden kilohertz).

U zvuků s neharmonickým průběhem (složené tóny) je určení výšky obtížnější, mnohdy základní výška tónu odpovídá složce s nejmenší frekvencí.

Barva zvuku

Zvuky se i při stejné výšce tónu mohou lišit odlišným zabarvením. Barva zvuku je určena počtem vyšších harmonických tónů ve složeném tónu a jejich amplitudami. Sluchem podle barvy zvuku rozeznáváme hudební nástroje a hlasy lidí.

Periodické kmity – tóny – jsou tvořeny složkami jejichž frekvence jsou celistvé násobky frekvence základního tónu – vyšší harmonické frekvence či aliquotní tóny. Má-li harmonická frekvence dvojnásobný počet kmitů proti kmitu základnímu, jde o druhou harmonickou atd. Obecně platí, že tón zní tím ostřeji – drsněji, čím je energie harmonických frekvencí větší, tím "kulatěji", čím je energie harmonických nižší. Obecně platí, že liché násobky základního kmitočtu zvuk zosťřují/ochlazují (např. u žesťových hudebních nástrojů), sudé násobky základní harmonické frekvence zvuk zjemňují/oteplují" (např. dřevěné dechové nástroje). Některé hudební nástroje vydávají doprovodné zvuky o frekvencích, které nejsou v harmonickém poměru ke frekvenci tónů základních.



Hlasitost a intenzita zvuku

Hlasitost zvuku je subjektivní veličina. Je závislá na velikosti akustického tlaku, kterým zvukové vlnění působí na sluch (tj. proměnné složky tlaku).

Odpovídající měřitelnou veličinou je **hladina akustického tlaku**. Protože slyšitelný rozsah vjemů přesahuje sedm dekadických řádů hodnot této veličiny, užívá se pro ni logaritmického vyjádření v jednotkách decibel, dB.

Dynamika lidského sluchu – od prahu slyšení po práh bolesti – je **120 až 125 dB**. Při vysokých intenzitách může dojít k poškození sluchu.

Při stejné hodnotě akustického tlaku je subjektivně vnímaná hlasitost zvuku o různých frekvencích rozdílná. Pro přiblížení měřitelné veličiny subjektivnímu vjemu hlasitosti bez závislosti na frekvenci se užívá smluvních váhových křivek, které respektují "frekvenční charakteristiku" lidského sluchu. Mezinárodně byly definovány čtyři takové křivky označované . V současnosti je hygienickými předpisy a technickými normami převážně vyžadováno užívání váhové křivky, která se nejlépe osvědčila (pro specifické účely někdy ještě křivky). Hodnoty hladiny akustického tlaku (ať naměřené či požadované mezní) upravené ("filtrované") váhovou křivkou se udávají v jednotkách označovaných dB(A) resp. dB(C).

Intenzita zvuku I je definována jako zvuková energie dopadající na jednotku plochy za jednotku času, tedy akustický výkon na jednotku plochy. Hladina intenzity zvuku L je veličina udávající intenzitu zvuku v jednotkách decibel.

Dopplerův jev

Dopplerův jev nastává při relativním pohybu zdroje zvuku a pozorovatele, který zvuk přicházející od zdroje vnímá. Pozorovatel slyší zvuky jiné frekvence, než je frekvence zdroje. **Vyšší**, když se zdroj zvuku a přijímač zvuku **přibližují**, a **nižší**, pokud se zdroj zvuku a přijímač zvuku navzájem vzdalují.

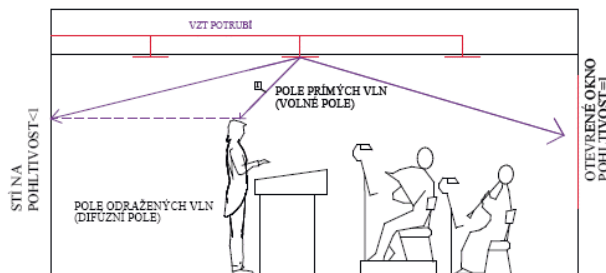
Hudební akustika

Hudební akustika zkoumá zvuky a jejich kombinace se zřetelem na potřeby hudby a zpěvu. Hudba je dle odborných vyjádření organizovaný (v některých případech neorganizovaný) systém zvuků. Výběr zvuků, jejich rytmické členění a jejich uspořádání určují kvalitu, funkci a působení hudby na posluchače. Odborná disciplína, která zkoumá hudbu a vše, co je s ní spojené, se nazývá muzikologie nebo též hudební věda. Velmi zajímavý je původ a vznik hudby. Existuje mnoho různých teorií o vzniku hudby, především velmi spekulativních, ničím prokazatelným nepodložených. Jednou z mnoha teorií je, že se hudba vyvinula společně s řečí. Tato teorie je založena na povaze tzv. tónových jazyků (například čínština), kde se význam vyjadřuje velkou měrou pomocí melodie.

Periodickým hudebním zvukům říkáme tóny. Jako základní tón v hudební akustice byl mezinárodní dohodou stanoven **tón a o frekvenci 440 Hz**. Pokud tedy máte tzv. „hudební sluch“ a byli jste obdařeni talentem zpěvu, jste zcela soběstační a schopní vydat zvuk, který můžete zcela objektivně fyzikálně charakterizovat. Tóny, a zvláště jejich produkce na hudební nástroj jsou zvláštním případem zvukových událostí. Lidé si dokonce pro ně vymysleli jedinečný způsob zápisu. Tóny se dají zapisovat pomocí not. Jinak vypadají ovšem noty pro dechový nástroj, jinak pro harfu a jinak pro buben. Aby jejich zvuk byl dokonalý, existují u nás odborníci, kteří se zabývají „laděním“ jednotlivých nástrojů.

Problematika hudební akustiky:

- Definice pojetí zvuku a tónu, sluchového pole sluchového pole, absolutní a relativní výšky tónového intervalu, studuje barvu zvuku;
- Studium vývoje ladění (ladění pythagorejské, přirozené, temperované) a rozborem mikro intervalových struktur;
- Studium akustických vlastností hudebních nástrojů (tzv. akustika hudebních nástrojů);
- Studium lidského hlasového a sluchového orgánu (tzv. fyziologická akustika);
- Reflexe vnímání zvuku, prahu slyšení, prahu bolestivosti, rozlišovací schopnosti sluchového bolestivosti, rozlišovací schopnosti sluchového orgánu pro vnímanou tónovou výšku atd (tzv. sensorická akustika);
- Studium otázky konsonance a disonance;
- Analýza prostorů pro vnímání hudby (tzv. prostorová akustika);
- Studium otázky přenosu zvuku elektronickou cestou, elektronického záznamu zvuku, elektronických a elektrofonických hudebních nástrojů (tzv. elektroakustika).



Ochrana před hlukem

Pobyt v hlučném prostředí má špatný vliv na zdraví člověka, na jeho pracovní výkon a pozornost. Člověk není schopný se na nadměrný hluk adaptovat. Proto jsou v pracovním i mimopracovním prostředí přijímána specifická opatření k ochraně osob před nadměrným hlukem. Často se problémy s hlukem řeší pomocí izolace vhodnými pórovitými látkami (plst, koberec, vakuové vrstvy apod.)

Hladina zvuku (hluku)

Zvuk	L_I [dB]	H [son]
absolutní ticho	0	0,06
tiché dýchání	10	0,13
tichá odhlučněná místnost	15	0,17
tichá obývací místnost	30	0,5
průměrný hluk v bytě	40	1
klidná konverzace	40-60	1-4
hlučná ulice	70-90	8-32
silný křik	80	16
rockový koncert	130	512
tryskové letadlo	150	2048
raketový motor	180	16384

120 dB ... práh bolesti



Ochrana před hlukem v pracovním prostředí:

- odstranění zdrojů hluku nebo podstatné snížení vyvolávaného hluku
- náhrada hlučného zařízení méně hlučným (inovace)
- uzavření zdroje hluku vhodným krytem
- oddělení exponovaného pracovníka od zdroje hluku
- používání vhodných osobních ochranných pomůcek
- zkrácení doby pobytu v hlučném prostředí

Negativní vlivy na zdraví člověka v souvislosti se zvukem

Negativní vliv na zdraví mají četné návštěvy diskoték a dalších hlasitých hudebních představení, také vysoká hlasitost elektronických zařízení. Škodlivé jsou hlučné činnosti v malém prostoru (odrazem hluku od stěn se zvyšuje jeho hladina zvuku). Rušivě působí hlučné činnosti (vrtání, opravy v bytě, vysávání apod.) v noční dobu. Velmi hlučné bývají některé druhy dopravy, například železniční doprava, letecká doprava v blízkosti letišť apod. Mezi velmi hlučná místa obvykle patří velké průmyslové provozy v těžkém průmyslu (hutě, slévárny, válcovny apod.).