

ZVOK

11.1. UVOD

11.2. HITROST ZVOKA V SNOVI

11.3. JAKOST IN GLASNOST ZVOKA

11.4. DOPPLERJEV POJAV

11.5. MACHOV STOŽEC

11.1. UVOD

Zvok je longitudinalno valovanje, ki ga človeško uho zaznava. Skozi prazen prostor, se zvok ne more širiti.

Poznamo:

INFRAZVOK: $n < 20\text{Hz}$

ZVOK: $20\text{Hz} < n < 20\text{kHz}$

ULTRAZVOK: $n > 20\text{kHz}$

KAKO SLIŠIMO?

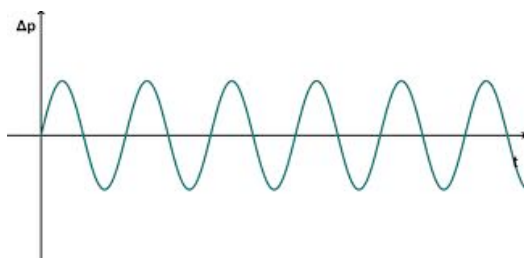
Zvočila (glasilke, glasbeni instrumenti, oscilator) povzročijo, da zračni delci zanihajo. Njihovo nihanje se razširja skozi prostor. Nihajoči zvok zadeva ob bobnič, ki se zatrese. Tresljaji se preko stremenca, kladivca in nakovalca (srednje uho) prenesejo v notranje uho, kjer nastajajo živčni impulzi, ki se preko slušnih živcev prenašajo v slušni del velikih možganov, kjer slišimo zvok.

FIZIKALNE KOLIČINE, O KATERIH LAHKO PRI ZVOKU GOVORIMO:

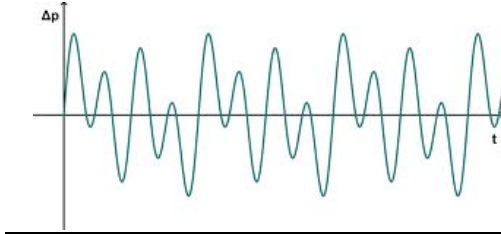
- Jakost tona: določa jo amplituda zvočnega tlaka
- Višina tona: določa jo frekvenca zvočnega tlaka
- Glasnost: Fiziološka količina, odvisna od občutljivosti bobniča in jakosti zvoka. Merimo jo v decibelih ali fonih.

VRSTE ZVOKA:

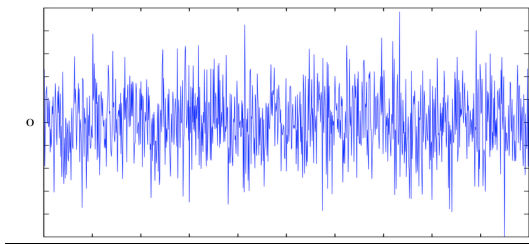
- Fizikalni ton: Zvočni tlak ob bobniču se spreminja s časom harmonično.



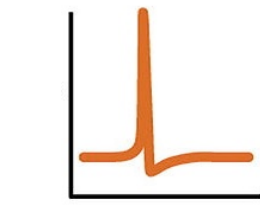
- **Zven:** Poleg osnovnega harmoničnega nihanja z osnovno frekvenco, so prisotna še višjeharmonična nihanja. Dodatna višjeharmonična nihanja izboljšujejo barvo zvena. Osnovna frekvenca določa višino zvena. To so zvoki glasbil, samoglasniki...



- **Šum:** Harmonična nihanja z različnimi frekvencami, med katerimi ni nobene povezave. Zvočni tlak se ne spreminja periodično, zato ni nihanje. Torej ne moremo govoriti o višini, pomembna je le jakost. Sičniki...



- **Pok:** Zvočni tlak hitro močno naraste, nato počasi pojema. Ni valovanje, je le močnejša longitudinalna motnja.



MODULACIJA ZVOKOV PO VIŠINI:

Višina tona je odvisna od frekvence. Če hočemo zvišati ali znižati ton, mu torej spremenimo frekvenco. To storimo tako, da povečamo ali zmanjšamo zračni stolpec.

MODULACIJA ZVOKOV PO GLASNOSTI:

Če hočemo povečati glasnost, moramo povečati amplitudo valovanja. To pa storimo s pomočjo nekega drugega telesa (struna- trup kitare, petje- močnejše odrivati trebušno prepono)

11.2. HITROST ZVOKA V SNOVI

11.2.a HITROST ZVOKA V TRDNEM TELESU

Vzemimo homogeno mirujočo palico, na katero udarimo v vzdolžni smeri s silo F . Nastane zgoščina, ki potuje po palici s hitrostjo c . Naj se začetek palice v času t premakne za vt , medtem ko se čelo valovanja premakne za ct . Relativno skrčenje kosa palice z dolžino ct je: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{vt}{ct} = \frac{v}{c}$.

Po Hookovem zakonu je natezna napetost: $\sigma = E_y \varepsilon$, oziroma $\frac{F}{S} = E_y \frac{v}{c}$ (1).

Po izreku o gibalni količini pa je: $Ft = mv$ (2), kjer je $m = \rho V = \rho Sct$ (3).

F iz (1) ter m iz (3) vstavimo v (2) in dobimo: $c = \sqrt{\frac{E_y}{\rho}}$.

11.2.b HITROST ZVOKA V TEKOČINAH

Vlogo prožnostnega modula E_y igra pri tekočinah recipročna stisljivost tekočin $1/\chi$. Za tekočine velja: $\frac{\Delta V}{V} = -\chi \Delta p$. Hitrost zvoka v tekočinah je torej enaka

$$c = \frac{1}{\sqrt{\chi \rho}}.$$

11.2.c HITROST ZVOKA V PLINIH

Pri plinih je stisljivost $\chi = \frac{1}{p}$, če je temperatura konstantna, kar ne velja zaradi hitrega menjavanja zgoščin in razredčin pri žirjenju zvoka. Ker je sprememba adiabatna, za stisljivost lahko vzamemo $\frac{1}{\kappa p}$; $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ in dobimo

$c = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}} = \sqrt{\kappa \frac{R}{M} T}$, kar pomeni: hitrost zvoka v plinu ni odvisna od tlaka, ampak samo od temperature.

Uporabili smo plinsko enačbo: $pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow p \frac{m}{\rho} = \frac{m}{M} RT \Rightarrow \gamma \frac{p}{\rho} = \gamma \frac{R}{M} T$.

11.3. JAKOST IN GLASNOST ZVOKA

Vpeljimo najprej **povprečno gostoto valovne energije**, ki je enaka največji gostoti kinetične energije: $\varepsilon = \frac{1}{2} \rho v_0^2 = \frac{1}{2} \rho (\omega s_0)^2$, kjer je $v_0 = \omega s_0$ hitrost delcev pri prehodu skozi ravnovesno lego.

Zvočna energija, ki jo ti valovi prenesejo, je $E = \frac{1}{2} \rho v_0^2 S c t$.

Moč valovanja, to je energijski tok je $P = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \rho v_0^2 c S$.

Gostota energijskega toka pa je potem moč valovanja skozi ploskev S:

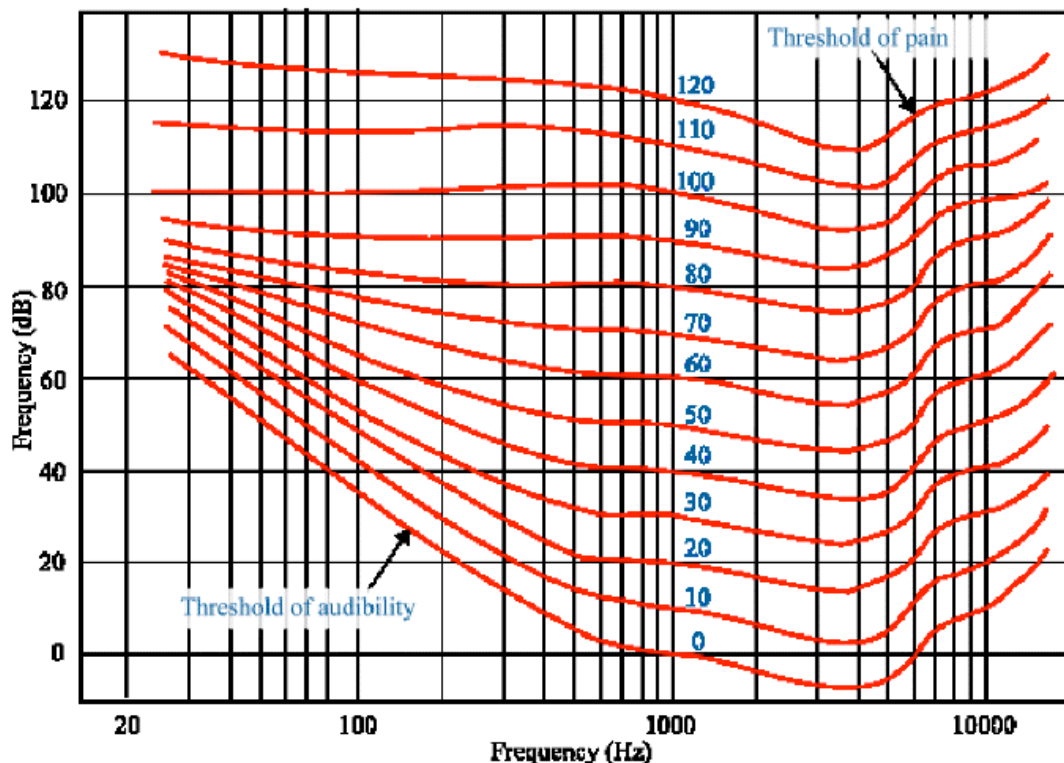
$j = \frac{P}{S} = \frac{1}{2} \rho v_0^2 c$. To je merilo za **jakost zvoka**. Imamo $j = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2}$ in sklepamo: jakost zvoka pada s kvadratom oddaljenosti.

Glasnost zvoka je definirana tako, da povzročita dva tona v ušesu približno enak občutek glasnosti ne glede na frekvenco. Občutljivost ušesa za zvok je približno logaritemsko odvisna od jakosti zvoka, kar je upoštevano pri definiciji glasnosti:

$J = 10 \log_{10} \frac{j}{j^*}$. Pri tem je j^* najmanjša jakost zvoka, ki jo lahko z ušesom

zaznamo (10^{-12} W/m^2). Zgornja meja, ki lahko povzroči poškodbe bobniča pa je 1 W/m^2 . Enota za glasnost zvoka je decibel (dB).

V kolikor upoštevamo, da uho različno glasno zazna različne frekvence, potem podamo glasnost zvoka v fonih.



11.4. DOPPLERJEV POJAV

Dopplerjev pojav je zvočni pojav, ki nastopi vedno kadar se zvočilo in opazovalec relativno pomikata drug nasproti drugemu. Pri približevanju sliši poslušalec višji, pri oddaljevanju pa nižji ton, kot ga zvočilo oddaja. Oglejmo si vse možnosti:

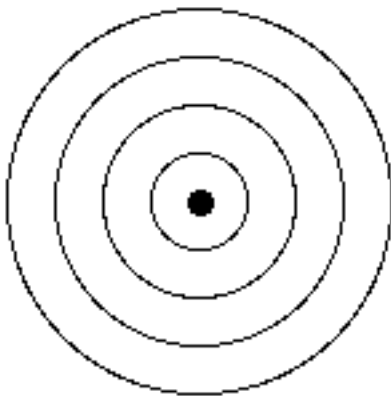
(i) Zvočilo miruje, poslušalec se giblje

Naj bo ν_0 frekvenca zvočila, poslušalec pa naj se giblje s hitrostjo v . Ko bi poslušalec miroval, bi sprejel v sekundi $\nu_0 = \frac{c}{\lambda}$ valov. Ker gre valovom nasproti, sprejme še v/λ valov, če pa se oddaljuje sprejme prav toliko valov manj. Torej je frekvenca, ki jo uho zazna $\nu = \frac{c}{\lambda} \pm \frac{v}{\lambda} = \nu_0 \pm \frac{v\nu_0}{c} = \nu_0 \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$.

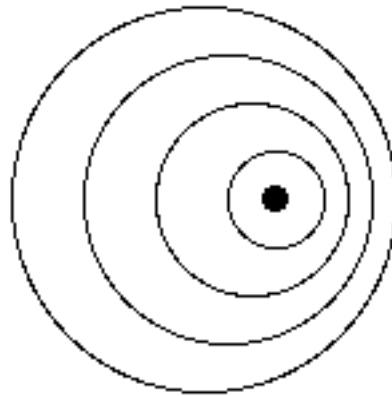
(ii) Zvočilo se giblje, poslušalec miruje

V tem primeru se zdi poslušalcu valovna dolžina manjša (če se mu zvočilo približuje) in večja (če se od njega oddaljuje). Navidezna valovna dolžina je torej enaka $\lambda_0 = \frac{c \mp v}{\nu_0}$, zaznana frekvenca pa je $\nu = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{c}{\frac{c \mp v}{\nu_0}} = \frac{c\nu_0}{c \mp v} = \frac{\nu_0}{1 \mp \frac{v}{c}}$.

Doppler Effect



(a) stationary source

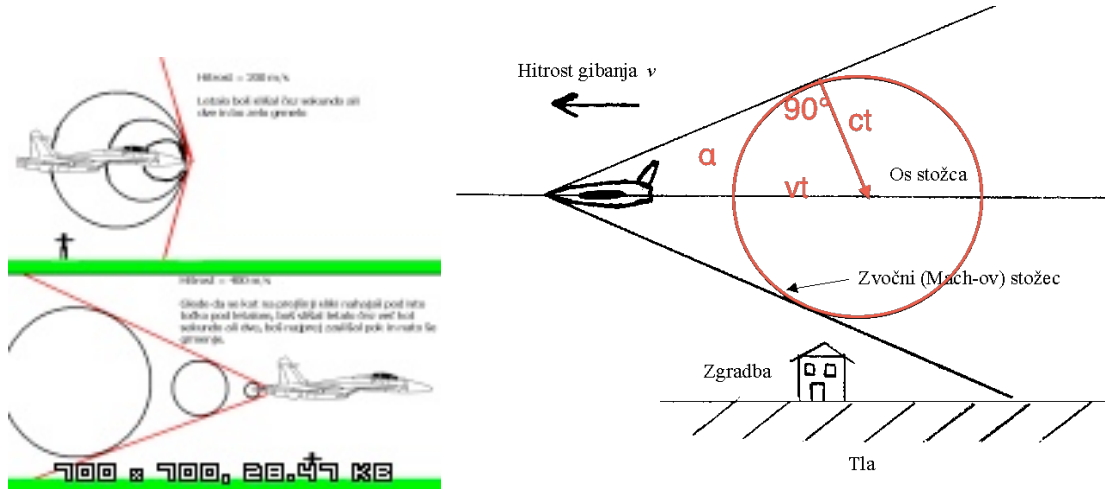


(b) moving source

Podoben pojav se zgodi pri svetlobi. Imenujemo ga rdeči premik.

11.5. MACHOV STOŽEC

Če nadaljujemo (ii) točko Dopplerjevega pojava in je hitrost zvočila večja od c (hitrosti zvoka), opazujemo nov pojav. Valovne fronte zaostajajo za zvočilom in njihova ovojnica tvori Machov stožec.



Ko se približujemo hitrosti zvoka, se valovne fronte močno zgostijo. Če se hočemo gibati hitreje od zvoka moramo prebiti zvični zid.

Zanima nas, kako je hitrost zvočila povezana z odprtino Machovega stožca.

Iz zgornje desne skice je razvidno: $\sin \alpha = \frac{ct}{vt} = \frac{c}{v} = \frac{1}{M}$, kjer je $M=v/c$. M nam pove kolikokrat je zvočilo hitrejša od zvoka.

Machov stožec se pojavi tudi pri valovanju v ostalih snoveh (vodna gladina...).