

*»Mladi za napredek Maribora«*

*34. srečanje*

*Zvok in njegova alternativna uporaba*

*Raziskovalna naloga*

Raziskovalno področje: **Fizika**

Prostor za nalepko

Avtor:	JAKA WALDHÜTTER
Mentor:	ROBERT NOVAK
Šola:	SREDNJA ELEKTRO-RAČUNALNIŠKA ŠOLA MARIBOR

Maribor, 2017

<b>1</b>	<b>KAZALO VSEBINE</b>	
<b>2</b>	<b>1 KAZALO VSEBINE 1</b>	
<b>3</b>	<b>2 KAZALO TABEL 3</b>	
<b>4</b>	<b>3 KAZALO SLIK 4</b>	
<b>5</b>	<b>4 UVOD 5</b>	
<b>6</b>	<b>4.1 HIPOTEZE IN VPRAŠANJA: 5</b>	
<b>7</b>	<b>5 POVZETEK 6</b>	
<b>8</b>	<b>6 ZVOK 7</b>	
<b>9</b>	<b>6.1 VEDE 7</b>	
<b>10</b>	<b>6.2 ŠIRJENJE ZVOKA 7</b>	
<b>11</b>	<b>6.3 LASTNOSTI ZVOKA 10</b>	
<b>12</b>	<b>6.3.1 VIŠINA ZVOKA 10</b>	
<b>13</b>	<b>6.3.2 GLASNOST ZVOKA 10</b>	
<b>14</b>	<b>6.3.3 HITROST ZVOKA 11</b>	
<b>15</b>	<b>6.3.4 BARVA ZVOKA 12</b>	
<b>16</b>	<b>6.4 ZVOČNI POJAVI 14</b>	
<b>17</b>	<b>6.4.1 RESONANCA 15</b>	
<b>18</b>	<b>6.4.2 DOPPLERJEV POJAV 16</b>	
<b>19</b>	<b>6.4.3 ZVOČNI ZID IN NJEGOV PREBOJ 16</b>	

**20 6.5 ZAZNAVANJE ZVOKA 18****21 6.6 ZVOČILA 19****22 6.6.1 ČLOVEŠKE GLASILKE 19****23 6.7 KAKO DELUJETA ZVOČNIK IN MIKROFON 20**

6.7.1 Mikrofon \_\_\_\_\_ 20

6.7.2 Zvočniki \_\_\_\_\_ 21

**7 Alternativna uporaba zvoka \_\_\_\_\_ 23**

7.1 Eholokacija \_\_\_\_\_ 23

7.2 Uporaba zvoka v medicini \_\_\_\_\_ 24

7.3 Uporaba zvoka na vojaškem področju \_\_\_\_\_ 26

7.4 Druge alternativne uporabe zvoka \_\_\_\_\_ 28

7.4.1 Gašenje ognjev \_\_\_\_\_ 28

7.4.2 Čiščenje \_\_\_\_\_ 28

7.4.3 Celjenje ran \_\_\_\_\_ 28

7.4.4 Akustična levitacija \_\_\_\_\_ 28

7.4.5 Zvočna »prekinitev« \_\_\_\_\_ 29

7.4.6 Lomljenje kozarca z zvokom \_\_\_\_\_ 30

7.4.7 Odvrčanje živali \_\_\_\_\_ 30

**8 Zaključek \_\_\_\_\_ 31****9 Družbena odgovornost \_\_\_\_\_ 32****10 Viri \_\_\_\_\_ 33**

10.1 Spletne strani: \_\_\_\_\_ 33

10.2 Video viri \_\_\_\_\_ 35

10.3 Knjige \_\_\_\_\_ 35

10.4 Dokumenti na spletu \_\_\_\_\_ 35

10.5 Viri slik \_\_\_\_\_ 35

## **24 KAZALO TABEL**

Tabela 1: Hitrost zvoka v različnih snoveh .....	12
--	----

**25 KAZALO SLIK**

Slika 1: Transverzalni val.....	8
Slika 2: Longitudinalni val.....	8
Slika 3: Primerjava transverzalnih valov in longitudinalnih.....	8
Slika 4: Longitudinalno valovanje zvočne vilice .....	9
Slika 5: Širjenje valovanje zvočne vilice .....	9
Slika 6: Odboj valov na vodni gladini.....	9
Slika 7: Časovni grafi zvočnega tlaka .....	13
Slika 8: Barvna lestvica - frekvence.....	14
Slika 9: Barvna klaviatura .....	14
Slika 10: Zvočni pojavi .....	15
Slika 11: Pok .....	15
Slika 12: Dopplerjev pojav na vodni gladini.....	16
Slika 13: Preboj zvočnega zidu .....	17
Slika 14: Machov stožec .....	17
Slika 15: Dopplerjev pojav.....	17
Slika 16: Zgradba ušesa.....	18
Slika 17: Nihanje ravnila.....	20
Slika 18: Sestava mikrofona.....	21
Slika 19: Sestava zvočnika .....	22
Slika 20: Eholokacija .....	23
Slika 21: Ultrazvok dojenčka .....	25
Slika 22: Preverjanje rdečih krvnih celic s pomočjo ultrazvoka .....	25
Slika 23: LRAD.....	27
Slika 24: Akustična levitacija.....	29
Slika 25: Navidezna aktivna kontrola hrupa .....	29
Slika 26: Lomljenje kozarca.....	30

## 26 UVOD

Zvok nas obdaja vsako sekundo našega življenja, je ena izmed prvih stvari, ki nas pozdravi v jutru, z njegovo pomočjo preživimo vsak dan; zvečer pa je zadnja stvar, ki jo zaznamo. V življenju nikoli ni popolne tišine. Zvok uporabljamo za komuniciranje, za sproščanje in za preživetje. Čeprav je zvok velik del našega vsakdana in si današnjega življenja brez njega ne znamo predstavljati, o njem vemo zelo malo. Z zvokom je povezanih kar nekaj mitov, ki so se med ljudmi prijeli kot čista dejstva, vendar o njih nihče nikoli ne podvomi ali razpravlja.

Zato sem se odločil, da bom v tej raziskovalni nalogi raziskal fizikalne značilnosti zvoka, njegov vpliv na ljudi, poiskal pa bom tudi področja, na katerih se zvok uporablja v drugačne/alternativne namene, kot samo poslušanje glasbe ali govorjenje.

Nalogo sem razdelil na dva dela - Zvok<sup>1</sup> in Alternativna uporaba zvoka<sup>2</sup>.

### 26.1 Hipoteze in vprašanja:

*Z zvokom je povezanih kar nekaj mitov, ki so se med ljudmi prijeli kot čista dejstva, vendar o njih nihče nikoli ne podvomi ali razpravlja. To so vprašanja, na katera bom poskušal odgovoriti, in hipoteze, ki jih želim potrditi ali zavrni:*

- Kaj je Dopplerjev pojav?
- Zakaj violina in klarinet, ki igrata nek zvok z isto frekvenco in amplitudo ne zvenita enako?
- Hitrost zvoka je odvisna od temperature
- Z zvokom lahko uničujemo rakave celice
- Pevec lahko zlomi kozarec s svojim glasom
- Z zvokom lahko odženemo nezaželene živali

---

<sup>1</sup> Glej stran 5

<sup>2</sup> Glej stran 21

## 27 POVZETEK

Zvok je longitudinalno mehansko valovanje. Zvok lahko potuje le po snoveh z maso, potuje tako, da povzroča nihanje delcev, ki se širi vsepovsod okoli vira. Zvok se lahko odbija in lomi. V snovi, v kateri se širi zvok, nastane spreminjanje njenega tlaka in njene gostote – zaradi nihanja se pojavijo zgoščine in razredčine.

Zvokom določamo amplitudo in višino. Prva je odvisna od jakosti zvoka, ni pa ji enaka - jakost moramo desetkrat povečati, da dobimo dvakratno glasnost. Merimo ju v dB. Višina zvoka nam pove, kolikokrat se nek val ponovi v eni sekundi, merimo pa jo v Hz.

Zvoke ločimo na šume (neperiodična valovanja); zvene (periodična valovanja, ki niso sinusna) in tone (sinusna periodična valovanja). Toni so za ljudi neprijetni, dosežemo pa jih lahko samo z elektronskimi generatorji ali pa z zvočnimi vilicami. Zveni imajo zraven osnovne frekvence prisotne še višje harmonske frekvence - alikvotni toni.

S pomočjo alikvotnih tonov lahko zvoku določimo barvo (barvo lahko določamo le zvenom in tonom). Barva zvoka je subjektivna, opisujemo pa jo s pridevniki, kot so mehko, svetlo, temno, ostro itd. Dobesedna barva zvoka pa je v bistvu pretvarjanje zvočnih valov v elektromagnetne (ti sestavljajo svetlobo).

Hitrost zvoka je odvisna od gostote snovi in od temperature. Zvok najhitreje potuje v trdninah, najpočasneje pa v plinih, zaradi oddaljenosti atomov (stisljivosti snovi). Z višanjem temperature se viša tudi hitrost zvoka. Ta sprememba je najbolj opazna v plinih.

Zvok zaznamo z ušesom, le to pa je sestavljeno iz treh delov, zunanega, srednjega in notranjega ušesa. Uho zvočno valovanje pretvori v živčne impulze, ki nato dosežejo naše možgane.

S pomočjo mikrofонов zvočne signale pretvorimo v električne, z zvočniki pa naredimo obratno. Ljudje lahko slišimo zvoke s frekvencami v območju med 20 Hz in 20 kHz. Zvok s frekvenco pod slišnim območjem imenujemo infrazvok, zvok z višjo frekvenco pa ultrazvok. Zvok se ne uporablja le za komuniciranje in uživanje; tehnologija omogoča uporabo zvoka na drugih področjih. Z raziskovanjem ehlokacije pri živalih smo razvili sonar, to je najbolj uporabljena alternativna uporaba zvoka. S pošiljanjem zvočnih signalov in analiziranjem njegovih odbojev lahko ugotovimo globino morja, lahko pa tudi najdemo kaj na morskem dnu. V medicini se zvok uporablja za ultrazvočno slikanje in za uničevanje tumorjev ter ledvičnih kamnov. Znanstveniki eksperimentirajo tudi za uničevanje raka z zvokom. Zvok se razvija tudi na vojaškem področju, kjer nastajajo tudi orožja, ki niso smrtno nevarna. Zvok pa ima še veliko drugih alternativnih uporab, ki pa niso še uporabljene v praksi.

## 28 ZVOK

Zvok je val, ki potuje skozi neko snov - medij. Z besedo zvok pa v različnih področjih opisujemo različne stvari, npr.: zvok je v fiziki nek val, ki se v neki snovi širi kot mehansko valovanje delcev snovi, po kateri se širi. V področju psihologije pa beseda zvok pomeni zaznavanje človeških možganov le tega. Zaradi tega pri obravnavanju zvoka poznamo različne vede.

### 28.1 Vede

Zaradi različnih pomenov zvoka v različnih področjih njegove obravnave se z zvokom ukvarja več ved. V nadaljevanju bom navedel le nekatere. Ved o zvoku obstaja veliko, tukaj jih je naštetih le nekaj najpogostejših.

- **Akustika** - veda, ki preučuje zvok in fizikalne pojave, ki jih le ta povzroča. Ta veda deluje v območju fizike.
- **Psihoakustika** - veda, ki preučuje le subjektivno človeško zaznavanje zvoka, torej deluje na področju psihologije.
- **Glasbena akustika** - veda, ki preučuje zvoke v glasbi.
- **Fiziološka akustika** - veda, ki preučuje učinek različnih zvokov na človeško telo.
- **Prostorska akustika** - veda, ki preučuje obnašanje zvočnih valov v prostoru.

### 28.2 Širjenje zvoka

Zvok v nasprotju s svetlobo potrebuje neko snov, skozi katero se lahko premika. Zato zvok v vakuumu ne obstaja. Snov skozi katero se »premika« zvok, imenujemo medij.

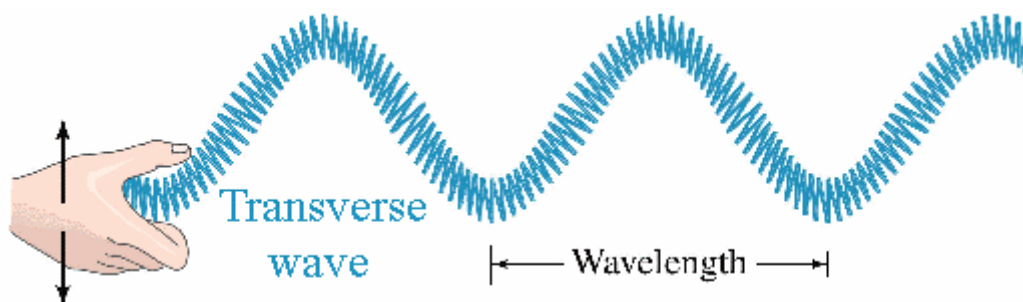
Zvok je po definiciji mehansko valovanje, ki se širi po neki snovi - mediju. Mi poznamo dve vrsti valovanj - transversalno (oz. prečno) in longitudinalno.

Za lažje razumevanje si lahko predstavljamo vzmet, na kateri povzročimo valovanje. V prvem primeru se delci snovi (v našem primeru deli vzmeti) gibljejo pravokotno glede na smer valovanja - to je transversalno valovanje (glej sliko 1).

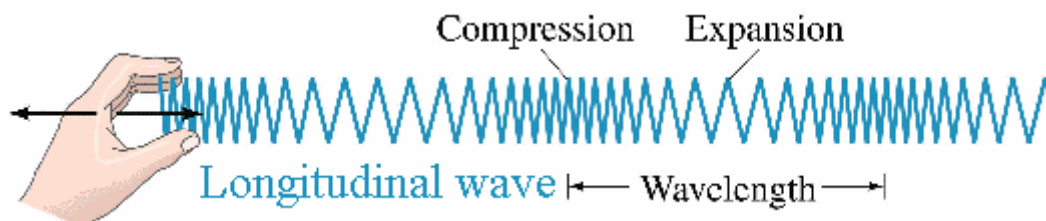
V drugem primeru pa se delci premikajo v smeri širjenja valovanja, temu pa rečemo Longitudinalno valovanje (glej sliko 2).

Zvok se v plinih, tekočinah in plazmi širi kot longitudinalno valovanje; v trdninah pa se lahko širi kot transversalno ali longitudinalno valovanje.



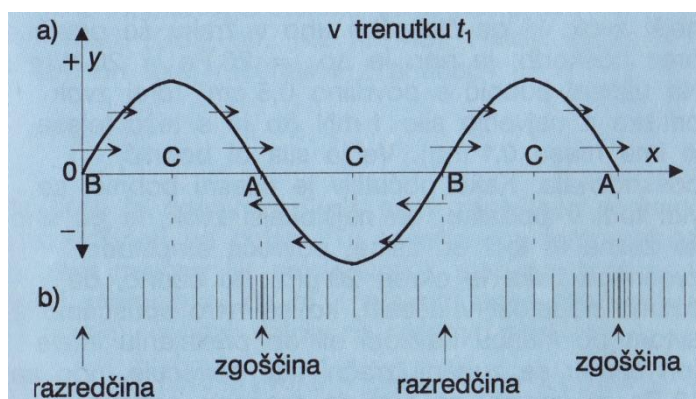


Slika 1: Transverzalni val

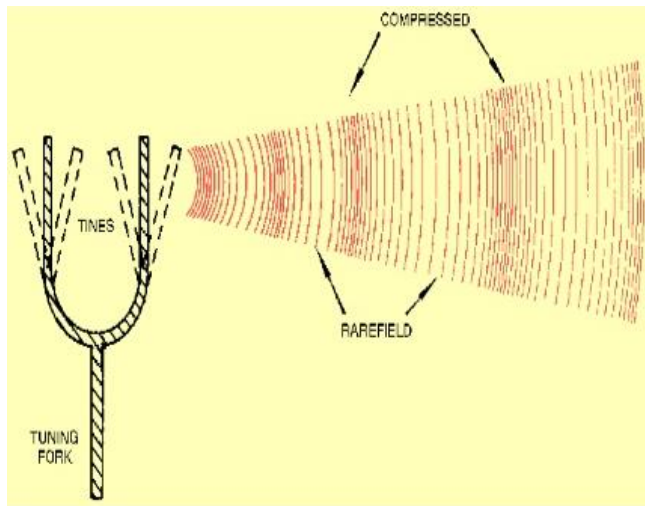


Slika 2: Longitudinalni val

Delci v snovi se seveda ne premikajo, saj zvok nastaja oz. se širi le v snoveh, ki imajo maso in so »elastične«, kar pomeni, da če se delec te snovi premakne, ga prisotne sile poskušajo spraviti v prvoten položaj; ker pa ima ta delec svojo energijo, pa se ta premakne na drugi delec in iz tega na tretji itd.; tako se lahko zvok širi preko celotnega medija. Delci se torej ne premikajo, temveč le nihajo, z nihanjem pa se »zaletijo« v drugi delec, ki nato začne nihati, s tem pa povzročijo zvok. Ko to razumemo, lahko lažje razložimo longitudinalne valove - telo začne nihati iz prvotnega položaja in nazaj vanj, s tem pa potiska delce pred seboj in za seboj, kar v snovi povzroča redčenje ali zgoščanje. Tako v gostoti snovi nastanejo razredčine in zgoščine, ki jih lahko vidimo na sliki 2 in na sliki 3. Tako se snovi spreminja gostota, vendar so te spremembe premajhne, da bi povzročile vidne spremembe. Istočasno se pa s spremembo gostote v snovi pojavi tudi sprememba tlaka. Primerjavo transverzalnih valov z longitudinalnimi prikazuje slika 3.



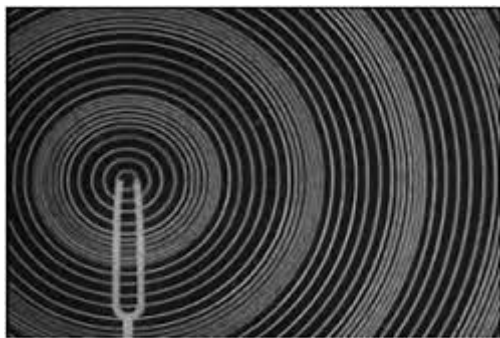
Slika 3: Primerjava transverzalnih valov in longitudinalnih.



**Slika 4: Longitudinalno valovanje zvočne vilice**

Zvok se pri širjenju res širi kot longitudinalno valovanje, vendar se širi v vseh smereh od njegovega izvora. Na sliki 4 lahko vidimo primer zvočnih vilic, pri kateri je narisan samo en longitudinalni val. Na sliki 5 pa vidimo, kako valovanje, ki ga povzročajo vilice v resnici izgleda - širi se na vse strani. Pri tem pa se valovi lahko odbijajo, absorbirajo in lomijo.

Za lažje predstavljanje vzemimo kamenček, ki ga vržemo v reko. Okoli sebe ustvari valovanje, ki potuje naokoli izvora (izvor je tisto mesto, kamor smo vrgli kamenček). Ko to valovanje doseže breg, se ga nekaj odbije, nekaj pa absorbira, če pa doseže kakšno drugo oviro, se pa lahko tudi lomi - glej sliko 6. To se dogaja tudi z zvočnimi valovi.



**Slika 5: Širjenje valovanje zvočne vilice**



**Slika 6: Odboj valov na vodni gladini.**

### 28.3 Lastnosti zvoka

Pri obravnavanju zvoka poznamo različne lastnosti. Tukaj bom navedel večino lastnosti, nato pa razložil vsako posebej. Te lastnosti so:

- Višina (frekvenca),
- Moč (glasnost),
- Barva zvoka,
- Hitrost zvoka;

Teh lastnosti je veliko, prej navedene so pa največkrat omenjene oz. obravnavane. Poznamo npr. še trajanje zvoka, kjer se mi je zdelo zelo zanimivo to, da vsak človek trajanje zvoka doživlja drugače glede na svoje izkušnje in celo na počutje.

#### 28.3.1 Višina zvoka

Višino zvoka določa frekvenca valovanja oz. nihanja delcev snovi. Zato višino zvoka imenujemo tudi frekvenca zvoka. Enota, ki jo tukaj uporabljamo, je Hz - hertz (tako je poimenovana po Henrichu Hertzu). Enota Hz nam pove št. nihajev v sekundi. Višja kot je frekvenca, višji je zvok. Človeško uho lahko zazna<sup>3</sup> zvok med 20 Hz in 20.000 Hz.

#### 28.3.2 Glasnost zvoka

Moč, oz. glasnost zvoka, je odvisna od velikosti valovanj - amplitude. Realno lahko to izmerimo tako, da izmerimo spremembo tlaka v snovi. To označujemo s Pascali-Pa. To spremembo imenujemo zvočni tlak.

##### 28.3.2.1 Zvočni tlak

Kot smo izvedeli v poglavju 6.2, se zaradi nihanja delcev v snovi spreminja gostota, skupaj oz. sorazmerno z njo pa se spreminja tudi tlak v snovi. V zgoščinah se tlak v snovi poveča za amplitudo zvočnega tlaka, pri razredčinah se pa zmanjša za amplitudo zvočnega tlaka. Zanimivo se mi je zdelo tudi to, da visokofrekvenčni zvoki v snovi povzročajo večje tlačne spremembe kakor nizkofrekvenčni.

Glasnost zvoka se pogosto zamenja za jakost zvoka, ti količini pa nista enaki.

##### 28.3.2.2 Jakost zvoka

Jakost oz. moč zvoka je gostota energijskega pretoka, pove nam, koliko moči zvok proizvede v nekem območju, ( $\frac{Moč}{Območje}$ ). Jakost zvoka merimo v Wattih na kvadratni meter, ( $\frac{W}{m^2}$ ). Bolj kot se oddaljujemo od izvira zvoka, bolj se zmanjša njegova jakost. Zvoki, ki imajo jakost

---

<sup>3</sup> Več o tem v poglavju 6.5

zvoka manjšo od  $1 \frac{pW}{m^2}$ , imajo za ljudi premalo jakost in jih ne moremo slišati; zvoki, katerih jakost pa znaša več kot  $1 \frac{W}{m^2}$ , pa so za ljudi premočni - te zvoke lahko slišimo, vendar nam poškodujejo uho in sluh. Glasnost zvoka pa ni sorazmerna z jakostjo. Če želimo glasnost zvoka podvojiti, mora jakost zvoka biti približno desetkrat večja kot na začetku. To pa ne velja pri vseh frekvencah. Nekateri visokofrekvenčni zvoki bodo zveneli glasneje kot nizkofrekvenčni zvoki z isto jakostjo zvoka.

Zato da glasnosti zvoka ne bi merili z jakostjo in zvočnim tlakom, pa imamo za ugotavljanje glasnosti logaritmčno amplitudno lestvico - Decibelno lestvico (poimenovana je po Grahamu Bellu, izumitelju telefona). Označujemo jo v dB - decibelih, ti pa temeljijo na enoti Bel. Beli pretvarjajo jakost zvoka po logaritmčni lestvici, kar pomeni, da ima vsak Bel desetkrat večjo jakost od prejšnjega. Zato da se ne ukvarjamo z decimalnimi mesti, pa si delo olajšamo s tem, da merimo v dB, torej  $\text{Bel}^{-10}$ . Lestvica je nastavljena tako, da je najtišji zvok, ki ga lahko človeško uho še zazna, enak 0 (d)B. Ta zvok pa povzroči pritisk  $20 \mu\text{Pa}$  in ima jakost zvoka enako  $\frac{1 pW}{m^2}$ .

### **28.3.3 Hitrost zvoka**

Hitrost zvoka je hitrost, s katero se premikajo zvočni valovi. Hitrost zvoka je odvisna od snovi, skozi katero se premika. Hitrost zvoka je drugačna v kapljevini kakor v plinu ali trdnini. To je zato, ker imajo različne agregatne lastnosti tudi različne razdalje med atomi - delci snovi. V trdninah so delci snovi najbližje drug drugemu, zato se zvok v trdninah širi najhitreje. V kapljevinah so delci dlje narazen, zato se zvok širi počasneje. V plinih pa se zvok širi najpočasneje, saj so delci snovi najbolj oddaljeni drug od drugega. Druga lastnost, ki vpliva na različno hitrost, je pa ta, da so trdnine manj stisljive kakor plini in se v trdninah zaradi tega hitreje ustvarjajo zgoščine in razredčine kakor v bolj stisljivih plinih ali kapljevinah. Manjša stisljivost pomeni, da v snovi delujejo večje elastične sile, zaradi katerih se pojavlja nihanje.

Hitrost zvoka pa je odvisna tudi od gostote snovi. Gostejša je snov, počasneje skozi njo nastajajo zgoščine in razredčine, s tem pa je hitrost zvoka počasnejša.

Hitrost zvoka se spreminja tudi s temperaturo. Najbolj se ta razlika pozna v plinih. Vsak delec snovi že v osnovi niha oz. vibrira (tudi če ni izpostavljen zvočnemu valovanju). Ko se snov segreje, delci začnejo nihati hitreje, če se snov segreje, pa se nihanje upočasni. Zato se lahko zvočno valovanje premika hitreje skozi višje temperature kakor skozi nižje. Hitrost zvoka je v razliki z jakostjo oz. glasnostjo zvoka neodvisna od višine oz. frekvence zvoka. Hitrost zvoka

v zraku pri temperaturi  $0^{\circ}\text{C}$  je  $331 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; pri temperaturi  $20^{\circ}\text{C}$  pa znaša  $343 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Torej je hitrost zvoka počasnejša kakor hitrost svetlobe (ta znaša  $300\,000 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$ ), zato grom slišimo kasneje po tem, ko vidimo strelo.

Hitrost zvoka je torej odvisna od temperature, stisljivosti in gostote snovi, po kateri potuje.

Na preglednici 1 lahko vidimo hitrost zvoka v različnih snoveh pri sobni temperaturi.

Snov	Hitrost zvoka ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ )
Aluminij	6420
Zlato	3240
Baker	5010
Steklo	5300
Svinec	2160
Morska voda	1531
Živo srebro	1450
Helij	965
Kisik	316
Ogljikov dioksid	259
Zrak	343

Tabela 1: Hitrost zvoka v različnih snoveh

### 28.3.4 Barva zvoka

Do zdaj smo spoznali že skoraj vse pomembne značilnosti zvoka, npr. frekvenca in amplituda, ampak kako je možno, da klarinet in violina ali pa klavir, ki vsi igrajo zvok z enako frekvenco in amplitudo, zvenijo drugače drug od drugega? To je zaradi barve zvoka, da pa bi razumeli kaj to je, pa si moramo najprej ogledati nekaj pojmov<sup>4</sup>. Barvo zvoka lahko določamo samo tonom in zvenom. Ton je tisti zvok, pri katerem nastane periodično nihanje in povzroči sinusno krivuljo. Tak ton lahko na primer nastane pri zvočnih vilicah. Zven pa je zvok, ki nastane ob pravilnem periodičnem (ponavljajočem) nihanju, le da ta ne ustvarja sinusne krivulje. Več o tem v nadaljevanju.

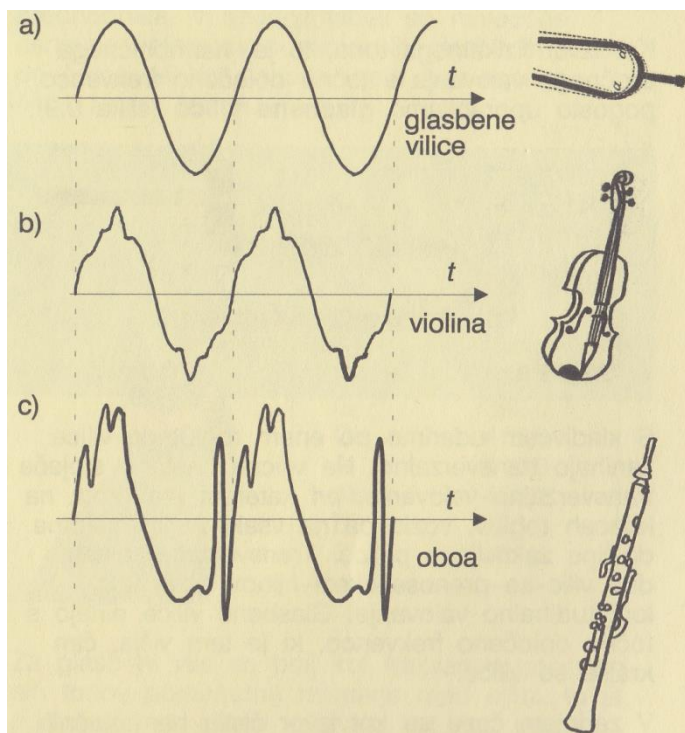
Čisti ton je v resničnem življenju skoraj nemogoče doseči – možno je le z elektronskimi generatorji in zvočnimi vilicami. Ko pri glasbi glasbeniki in skladatelji rečemo ton, s tem mislimo osnovno nihanje zvena, ki ga povzroči inštrument.

Spremembe v zvenih iste frekvence povzročijo višjeharmonična nihanja - alikvotni toni. Vsak zven zato lahko razdelimo na osnovno nihanje in njemu prisotna višjeharmonična nihanja. V glasbi zvene razdelimo na osnovno nihanje, v glasbenih zapisih pa napišemo le osnovno

<sup>4</sup> Več o njih lahko izveste v poglavju 6.4

nihanje. Osnovno nihanje oz. frekvenco lahko zaslišimo, alikvotni toni so pa tisti, ki zvoku pripišejo barvo. Več kot je alikvotnih tonov, bolj poln se nam zvok zdi.

Na sliki 7 imamo prikazan časovni graf zvočnega tlaka, ki ga povzročijo: v primeru a) zvočne vilice; v primeru b) violina, in v primeru c) oboa. Vsa tukaj prisotna glasbila imajo enako osnovno frekvenco in enako glasnost.



Slika 7: Časovni grafi zvočnega tlaka

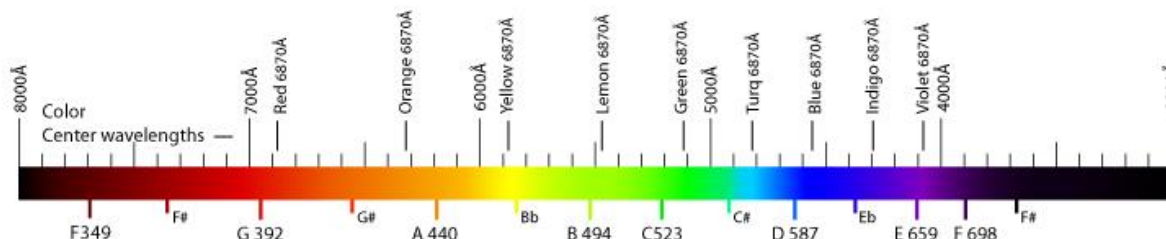
Pri vseh zvenih so prisotna različna višjeharmonična nihanja. Tako kot smo to že povedali, lahko tudi iz grafa razberemo, da zvočne vilice proizvedejo ton (graf ima sinusno obliko). Oboa in violina pa proizvedeta zven - ta nima sinusne oblike. Črtkane črte nam pokažejo, kje oz. katero nihanje se ponavlja.

Barvo tona je težko določiti, saj jo vsak doživlja subjektivno - vsak po svoje. Ločimo jo s pridevniki, kot so oster, žameten, čist, topel, temen, svetel, lahek, težek itd.

Barve, ki jih lahko vidimo, in zvok, ki ga lahko slišimo, imajo skupno lastnost - valovanje. Barve in svetloba sta posledici elektromagnetnega valovanja, glasba pa je posledica mehanskega, zato je zvok mogoče pretvoriti v barvo. Ta proces pa ni tako preprost, kot igleda na prvi pogled. Elektromagnetno valovanje ima zelo majhno frekvenco, zato ga merimo v dolžinah valov. Mehansko valovanje, ki proizvaja zvok, pa merimo v frekvenci. Ta pa sta si nasprotni - večja kot je frekvenca, manjša je dolžina valov ter obratno. Za to da iz frekvence dobimo valovno dolžino barve, pa uporabljamo enačbo: 
$$\text{Valovna dolžina} = \frac{\text{Hitrost svetlobe}}{\text{Frekvenca}}$$

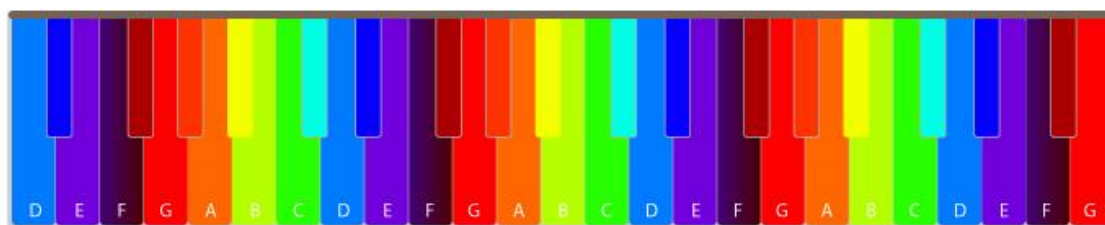
Če bi v to enačbo vstavili osnovno frekvenco zvoka, bi dobili barvo, ki jo človeško oko ne

more videti, zato moramo frekvenco povečati za približno štiri oktave - frekvenco pomnožimo z  $2^4$ . Tako dobimo valovno dolžino, ki je v vidnem spektru svetlobe. Na sliki 8 lahko vidimo, katere valovne dolžine dobimo iz določenih frekvenc. Pod barvno lestvico lahko vidimo ime glasbenih tonov, zraven njih pa njihovo frekvenco - npr. A 440. Nas zanima samo frekvenca.



Slika 8: Barvna lestvica - frekvence

Na sliki 9 pa vidimo kako bi zgledala barvna klaviatura. Kot lahko na sliki vidimo se barve, tako kot toni v glasbi, ponavljajo periodično.



Slika 9: Barvna klaviatura

S pomočjo poznavanja barve zvoka so mnogi proizvajalci razvili grafične prikaze, ki pretvarjajo zvočne signale v barvne vzorce, tako pa popestrijo glasbo. Nekateri umetniki tudi rišejo, kar »vidijo«, ko poslušajo glasbo. Te slike so med ljudmi zelo priljubljene.

## 28.4 Zvočni pojavi

Zvočnih pojavov je zelo veliko. Poznamo umetno ustvarjene zvoke, ki jih ustvari človek ali žival, poznamo pa tudi zvoke, ki jih ustvarijo razna glasbila. V moderni glasbi pa se vedno bolj pojavljajo tudi zvoki, ki jih ustvarjajo vsakdanji objekti.

Kljub vsem zvokom, ki jih poznamo, pa lahko skoraj vse zvoke razdelimo v tri kategorije:

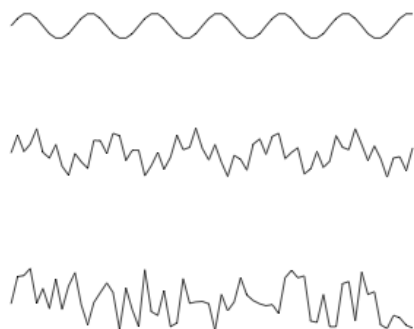
**šum,**

**zven,**

**ton.**

Na sliki 10 lahko vidimo ton, zven in šum (v tem vrstnem redu od zgoraj navzdol):





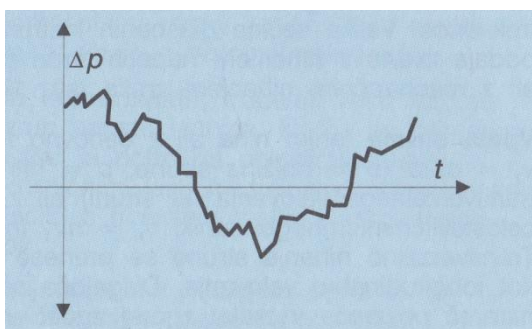
Slika 10: Zvočni pojavi

**Šum** je zmes neenakomernih (neperiodičnih) valovanj, ki jih ne moremo ločiti s človeškim sluhom. V to kategorijo spadaja npr. prasketanje. Šumov ne moremo zapeti.

**Zven** je mešanica tonov in šumov. Kot smo že povedali v poglavju 6.3.4, so pri zvenih zraven osnovne frekvence (harmonije) oz. tona prisotne še višjeharmonske frekvence (aliquotni toni). Večina glasbil proizvede zvene, zapojemo lahko le osnovno frekvenco, s svojimi višjeharmonskimi frekvencami, zato zvena ne moremo odpeti točno enakega originalnemu.

**Ton** je pravilno periodično valovanje, ki ga lahko proizvedemo le umetno ali pa z zvočnimi vilicami z njimi naredimo le približek, čisti sinusni ton je lahko le umetno proizveden. Tone lahko zapojemo, vendar mu s petjem dodamo višjeharmonske frekvence, zato to ni več ton.

Tukaj pa lahko omenimo posebno vrsto zvoka - pok. Pok v bistvu ni valovanje, saj pri njem zvočni tlak zelo hitro naraste, nato pa počasi pojema. To lahko vidimo na sliki 11. Kljub temu da ni valovanje, pa je longitudinalna motnja, ki se skozi snov širi s hitrostjo zvoka - zato spada pod zvok.



Slika 11: Pok

### 28.4.1 Resonanca

Resonanca je pojav, pri katerem se dve nihali gibljeta z isto frekvenco - eno nihalo to frekvenco proizvaja, drugemu pa to frekvenco vsilimo, zato da frekvenco ojačamo (nihalo je v našem snov, ki proizvaja zvok z nihanjem). To uporabljamo pri inštrumentih, ki so samo zase pretihi, da bi jih lahko uporabili, npr. pri violini. Pri violini struna proizvede osnovno frekvenco, lesena »škatla« pa niha z isto vsiljeno frekvenco. Tako zvok, ki ga proizvede struna ojačamo z leseno škatlo. Vsiljenopa se imenuje zato, ker mu določimo frekvenco, s

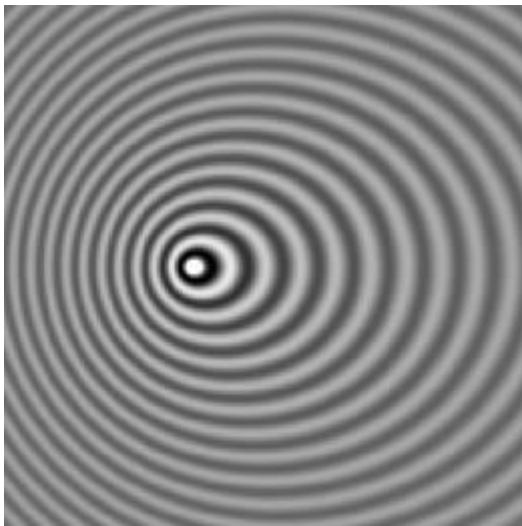


katero mora nihati, ta pa ni njegova osnovna - les ne more nihati tako, da sam proizvede takšen zvok. Podobno lahko dosežemo, če odpremo pokrov klavirja in zapojemo nek ton. Slišali bomo, da se klavir oglasi z istim glasbenim tonom – torej resonira.

### 28.4.2 Dopplerjev pojav

Kaj sploh je Dopplerjev pojav? To je fizikalni pojav, kjer se izvor zvoka približuje in nato oddaljuje od poslušalca. Za primer lahko vzamemo sireno na policijskem avtu, ki drvi proti nam, nato pa se oddaljuje. Ko se nam sirena približuje, slišimo višjo frekvenco, kot je tista, ki jo sirena proizvaja. Ko pa se oddaljuje, pa se frekvenca navidezno znižuje.

To se zgodi, saj se s premikom izvora gleda na opazovalca spremeni frekvenca. Da bi lažje razumeli, imamo na sliki 12 prikaz valov na vodni gladini, katerih izvor se giblje v levo.



Slika 12: Dopplerjev pojav na vodni gladini

Frekvenca valov, ki se širijo v smeri potovanja izvora (v našem primeru v levo), je krajša kot frekvenca tistih valov, ki se širijo v nasprotni smeri - z oddaljevanjem se torej frekvenca niža. Pri Dopplerjevem pojavu se frekvenca, ki jo oddaja izvor, ne spreminja. Če bi se poslušalec premikal skupaj z izvorom, bi slišal frekvenco takšno, kot jo sirena v resnici proizvaja. Dopplerjev pojav pa povzroča tudi preboj zvočnega zidu.

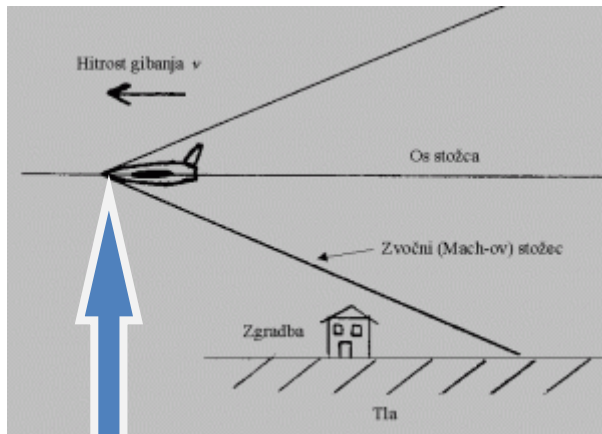
### 28.4.3 Zvočni zid in njegov preboj

Preboj zvočnega zidu se pojavi, ko letalo začne potovati z večjo hitrostjo od hitrosti zvoka. Takrat vidimo oz. slišimo pok (glej sliko 13). Ta pok nastane, ker je preveč zvočne energije nakopičene v plašču - Machovem stožcu.

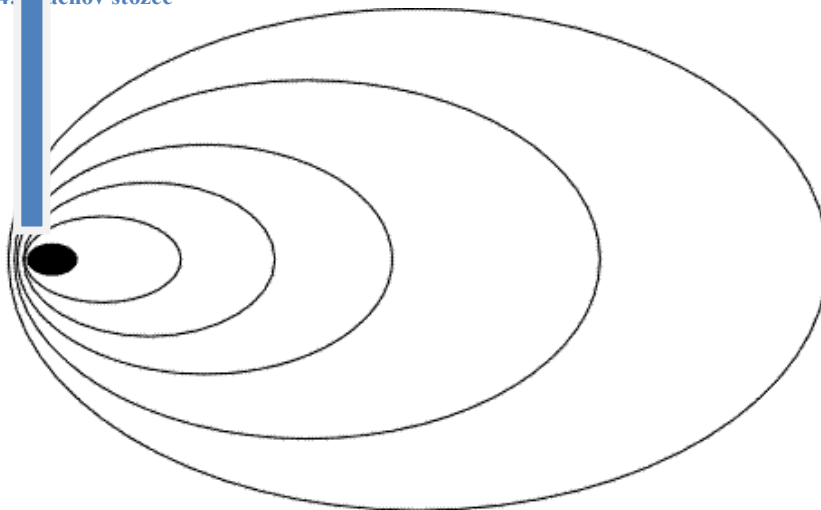


Slika 13: Preboj zvočnega zidu

Pri preboju se ustvari Machov oz. zvočni stožec, ki se ustvari zato, ker se hitrost letala izenači s hitrostjo zvoka. Motnja, ki jo povzroča letalo, se več ne more širiti na vse strani, zato se širi za letalom v obliki stožca. To se pojavi tudi zaradi Dopplerjevega pojava, saj se premikanje delcev tako poveča, da se vse zgoščine in razredčine srečajo v eni točki. Na sliki 14 lahko vidimo nastanek Machovega stožca, na sliki 15 pa Dopplerjev pojav. S puščico je prikazano mesto Dopplerjevega pojava pri preboju.



Slika 14: Machov stožec



Slika 15: Dopplerjev pojav

## 28.5 Zaznavanje zvoka

Zvok lahko zaznamo s sprejemniki zvoka. Tak sprejemnik je tudi naše uho. Uho delimo na zunanje, srednje in notranje uho.

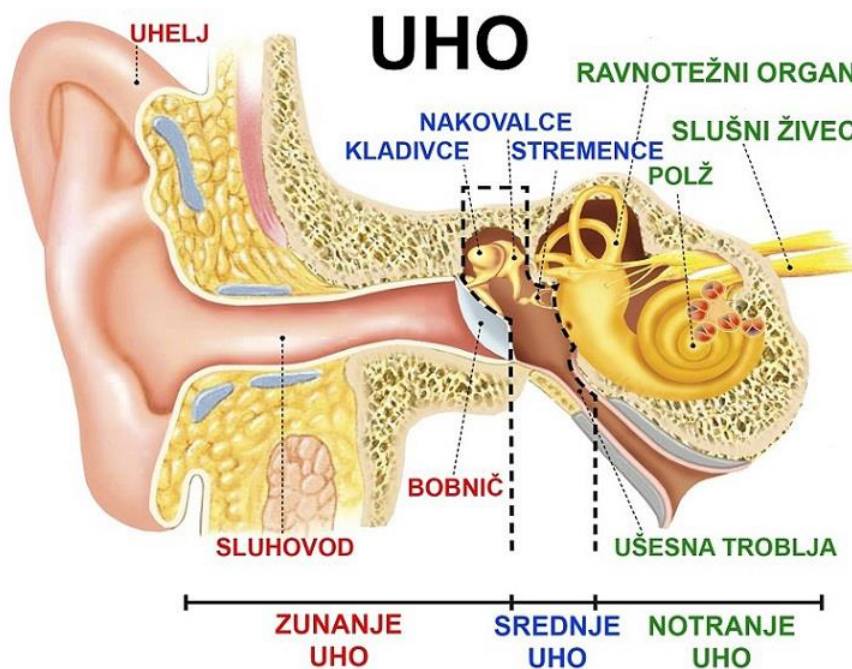
Zunanje uho ima uhelj, zunanji dovod in bobnič. Uhelj prestreže tresljaje zvoka; nekatere živali imajo mišice, s katerimi lahko uhelj premikajo v vse strani. Ljudje smo to sposobnost izgubili. Uhelj zvočne valove usmerja v zunanji sluhovod, po katerem zvočni valovi dosežejo bobnič, ki se zatrese, tako pa se zračno longitudinalno valovanje pretvori v mehansko vibracijo.

Srednje uho je sestavljeno iz treh koščic - kladivca, nakovalca in stremenca. Kladivce je pripeto na bobnič in se skupaj z njim zatrese, preko teh koščic se vibracija pretvori v valovanje tekočine notranjega ušesa.

Notranje uho je iz polža, ki je edini del notranjega ušesa namenjen izključno za sluh. Notranje uho pa je sestavljeno tudi iz sprejemnikov za ravnotežje in za gibanje v prostoru.

Polž je iz raznih votlinic, ki so zapolnjene s tekočino. V njih se nahajajo mešički in kožnate cevke, ki vsebujejo čutnice. V polžu se valovanje te notranje tekočine pretvori v živčne impulze. Ti pa po živcih potujejo v možgane.

Na sliki 12 lahko vidimo sestavo ušesa.



Slika 16: Zgradba Ušesa

Ljudje lahko slišimo zvoke s frekvenco 20 Hz do 20 000 Hz (20 kHz). Zgornja meja se z leti naglo niža, nato pa se začne spreminjati tudi spodnja meja. Zgornja meja se začne nižati skoraj takoj po obdobju najstništva.

Območje 20 Hz - 20 kHz imenujemo slišno območje. Zvok pa ne nastaja samo s frekvencami v tem območju. Območje pod slišnim imenujemo Infrazvok, zvokom z višjo frekvenco pa rečemo Ultrazvok.

Infrazvok nastaja npr. ob nevihtah, nastaja tudi s tresenjem, ki ga ustvarjajo nekateri stroji in vlaki. Zanimivo je, da infrazvok vpliva tudi na naše počutje. Infrazvoka ne moremo slišati, lahko ga pa začutimo v prsnem košu. Nekaterе druge živali pa infrazvok lahko zaznajo, to so npr. vodne živali in ptice. Ker se infrazvoka absorbira zelo malo, lahko potuje preko zelo velikih razdalj, tako lahko nekatere ptice zaznajo prihajajočo nevihto in se ji pravočasno umaknejo.

Infrazvok lahko pri velikih jakostih povzroča glavobole, notranje krvavitve, ob nižjih jakostih pa povzroči občutek nelagodja in strahu, kar s pridom uporabljajo filmski režiserji. Med filmov spuščajo infrazvoke, s tem pa povzročijo občutek strahu in nelagodja.

Ultrazvok je zvok s frekvenco nad 20 kHz. Te frekvence lahko zaznajo psi, delfini in netopirji. Delfini in netopirji se s pomočjo ultrazvoka sporazumevajo in orientirajo - več o tem v poglavju 7.1, v poglavju 7 pa bo opisana tudi njegova uporaba.

## **28.6 Zvočila**

Zvočila so predmeti, ki oddajajo zvok. Zvočila povzročajo nihanje v vse smeri. Lahko so vsakdanji predmeti, kot so kozarci ali vilice, lahko pa so kompleksni inštrumenti, tudi naše glasilke so zvočila.

### **28.6.1 Človeške glasilke**

Človeške glasilke so v bistvu sestavljene iz dveh glasilk – to sta elastični membrani ob ustju sapnika. Ko govorimo ali pojemo, se napneta, mi pa skozi potiskamo zrak iz pljuč. To povzroči nihanje glasilk, nihanje pa povzroči zvočno valovanje v zraku. Mišice to špranjo večajo ali krčijo, s tem pa dobimo višje ali nižje frekvence. Zvok, ki ga ustvarijo glasilke, se ojača z resonanco v ustni votlini, v grlu in v pljučih. Ženske imajo krajše oz. bolj napete glasilke, zato so njihovi glasovi višji kakor moški.

Višina zvoka, ki ga oddaja zvočilo, je odvisna od velikosti predmeta, ki niha oz. oddaja nek zvok.

Za primer si lahko vzamemo ravnilo, ki ga postavimo ob rob mize in njegov konec zatresemo, ob tem zaslišimo nek zvok (glej sliko 17). Če ravnilo premaknemo tako, da le majhen del gleda preko mize in zanihamo to, lahko slišimo, da je zvok, ki ga ob tem dobimo, višji. Če pa zanihamo velik del ravnila, pa lahko slišimo nižji zvok - ravnilo niha z nižjo frekvenco.



Slika 17: Nihanje ravnila

Zaradi tega velja to, da imajo manjša zvočila višji zvok kot večja - npr. violina in kontrabas.

V glasbi pa ne uporabljamo samo inštrumentov. V moderni glasbi se namesto inštrumentov pojavljajo tudi vsakdanji predmeti, kot so pisalni stroj ali celo kuhinjski pripomočki.

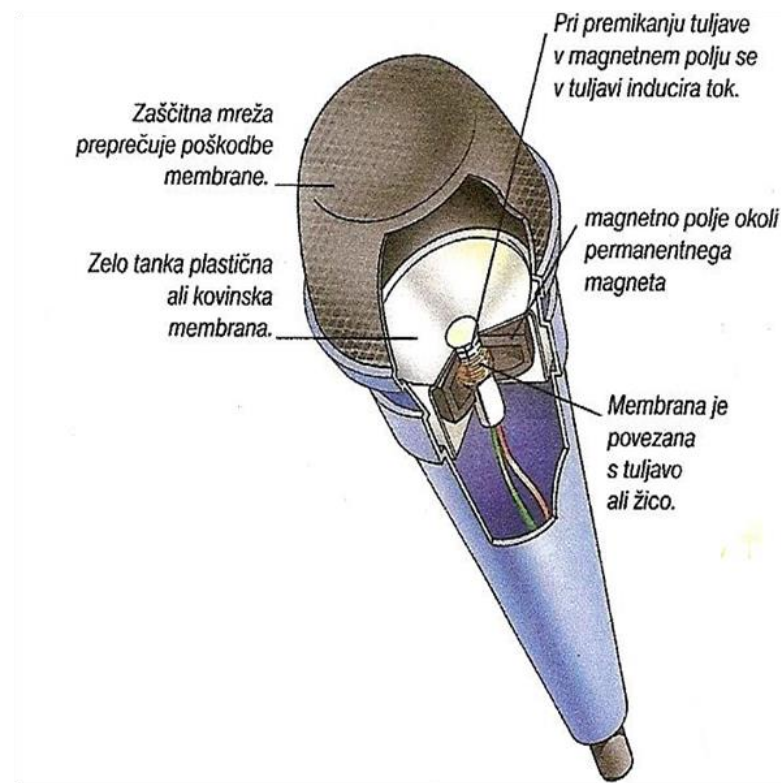
## 28.7 Kako delujeta zvočnik in mikrofoni

Naprave, ki zvočno valovanje spreminjajo v električno nihanje, imenujemo mikrofoni; naprave, ki pa električno nihanje pretvarjajo v zvočno, pa imenujemo zvočniki oz. slušalke.

### 28.7.1 Mikrofoni

Mikrofon deluje podobno kot uho. Izvedb mikrofонов je veliko, poznamo npr. ogljenega, kondenzatorskega, piezoelektrične, elektrodinamične itd. najbolj pogost pa je tuljavični mikrofoni, zato bom razložil njegovo delovanje.

Membrana mikrofona, ki jo zadenejo zgoščine in razredčine, vsiljeno zaniha. Nanjo je pripeta tuljava, ki se nahaja v magnetnem polju magneta. Ko se tuljava premika v magnetnem polju trajnega magneta, to inducira napetost, ki povzroči napetostno nihanje - to je odvisno od hitrosti nihanja tuljave - torej od frekvence, katero proizvede izvor, s katero se posledično gibljeta membrana in tuljava. Sestavo mikrofona lahko vidimo na sliki 18.



Slika 18: Sestava mikrofona

Mikrofoni lahko zaznajo veliko več frekvenc kot človeško uho, to pa je seveda odvisno od mikrofona samega.

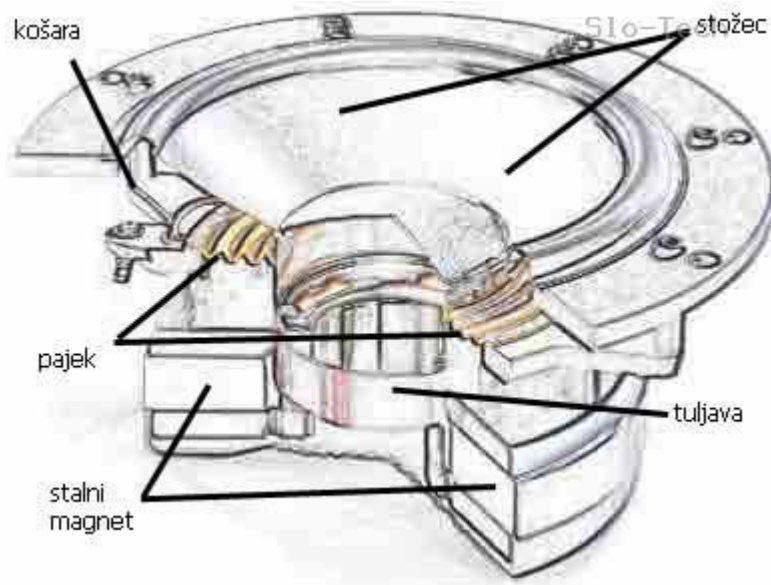
### 28.7.2 Zvočniki

Zvočnike uporabljamo, ko želimo električne signale pretvoriti v zvočne.

Zvočniki delujejo tako, da membrano nihamo s frekvenco električnega nihanja, kar povzroča nihanje zvočnega tlaka.

Nihanje membrane povzročimo obratno kot pri mikrofону. Zvočnik je sestavljen iz membrane - stožca; pajka; tuljave, ki skupaj z jedrom tvori elektromagnet; košare - ogrodja, ki drži membrano in trajnega (stalnega) magneta.

Tuljava je priklopljena na elektriko, s pomočjo katere premikamo elektromagnet (tuljavo), ki je povezan z membrano (glej sliko 19).



**Slika 19: Sestava zvočnika**

Zvočnik sam po sebi ne more proizvesti dovolj natančnega premika, zato moramo signale ojačati in določiti z ojačevalniki. Ta primerno spreminja polariteto elektromagneta - le ta pa povzroči premikanje membrane.

Zvočnike delimo na nizkotonske, srednje-tonske in visokotonske. Razlikujejo se po velikosti membrane. Nizkotonski imajo večjo membrano, saj je frekvenčno območje odvisno tudi od velikosti membrane. Material membrane je odvisen od namena zvočnika. Lažji in trši papir npr. uporabljamo za visokotonske zvočnike, težji in mehkejši papir pa za nizkotonske.



## 29 ALTERNATIVNA UPORABA ZVOKA

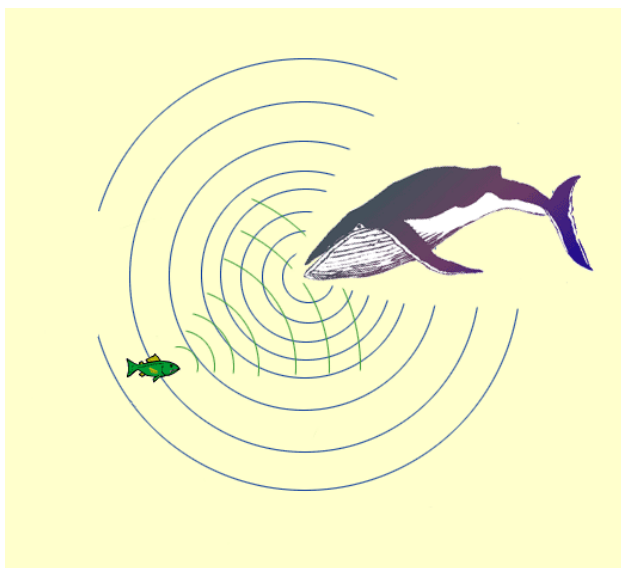
Zvok v glavnem uporabljamo za komuniciranje, vendar to ni njegova edina uporaba. Današnja tehnologija je tako napredna, da zvok uporablja vsepovsod. Mene zanima, kje vse se zvok uporablja v drugačne namene, zato bom v tem delu raziskovalne naloge raziskal alternativne uporabe zvoka. Alternativnih uporab zvoka je veliko, tukaj bom razložil vsako področje posebej.

### 29.1 Eholokacija

Nekatere živali uporabljajo zvočne valove, da se lahko orientirajo po prostoru in vidijo svoj plen. To so npr. netopirji in delfini. Kako pa jim to uspeva?

Netopirji oddajajo zvok z frekvenco nad 100 000 Hz, ta se odbija od ovir in drugih živali tako kot vsak drug val, netopir pa s svojimi ušesi prejema ta odbit zvočni val - odmev. Tako si lahko v glavi ustvari sliko. Ta način je zelo natančen, položaj plena pa določijo glede na čas, v katerem se je odmev odbil nazaj in glede na njegovo smer.

Seveda pa se njegov zvok ne odbija samo od plena. V naravi veliko ovir, ki jih netopir lahko zazna, npr. drevesa, zato pa mora netopir ločiti te nepomembne informacije od pomembnih, kot je npr. njegov plen. Zato proizvaja valove z nižjo in višjo frekvenco. Valovi se od večjih objektov odbijajo z večjo jakostjo, od manjših pa se odbijajo z manjšo jakostjo. Ko netopir zazna ta odboj z manjšo jakostjo, vanj usmeri visokofrekvenčni val. Ko dobi odboj visokofrekvenčnih zvokov, lahko le te loči od manj pomembnih dreves in se lahko osredotoči le na plen, ki ga želi uloviti. Eholokacijo uporabljajo tudi kiti, delfini itd. primer eholokacije lahko vidimo na sliki 20.



Slika 20: Eholokacija



To ehelokacijo so ljudje ponaredili in ustvarili tako imenovan sonar.

Sonar je angleška okrajšava ki pomeni Sound navigation and ranging. Poznamo aktivne in pasivne sonarje. Aktivni so tisti sonarji, ki zvok oddajajo, nato pa ga sprejmejo in analizirajo, pasivni so pa tisti, ki zvoke samo sprejemajo.

Najbolj pogosto se uporablja aktivni sonar. Pasivni se uporabljajo le v bojnih podmornicah, saj aktivni sonar izda položaj podmornice nasprotnikom.

Razvili so ga v prvi svetovni vojni, zato da so lahko zaznali podmornice. Sonar pa deluje na področjih od infrazvoka do ultrazvoka, to je odvisno od namena uporabe.

Sonar deluje tako kot ehelokacija, uporablja pa se v marsikateri namene, kot so npr:

- v raziskovanju sesalcev;
- v ribištvu;
- v vojaškem področju;

S sonarjem pa je opremljena skoraj vsaka boljša oz. večja ladja za določanje globine morja.

## **29.2 Uporaba zvoka v medicini**

Uporaba zvoka se vedno bolj širi tudi na področju medicine. Na področju medicine najbolj pogosto uporabljamo ultrazvok, saj ta nima posledic na človeški organizem.

Najbolj poznana uporaba (ultra)zvoka je ultrazvočni zapis oz. slikanje (znano tudi kot sonografija). Sonda pri ultrazvočnem slikanju v večini primerov deluje kot oddajnik in sprejemnik zvočnih signalov. To je znano kot ultrazvočni pretvornik. Sonda električne signale, ki jih dovedemo, spremeni v zvočne, nato počaka na odboj ter naredi obratno - zvočne signale spremeni v električne.

S sondo v tkivo usmerimo ultrazvočne valove. Ti se v telesu odbijajo in lomijo, mi pa izmerimo čas, ki ga ti odboji potrebujejo, da se vrnejo do sprejemnika. S pomočjo teh podatkov lahko sliko računalniško skonstruiramo. Ta tehnika se uporablja predvsem za »slikanje« zarodkov in za slikanje notranjih organov (jetra, srca itd.), da lahko najdemo potencialne težave. Na sliki 21, lahko vidimo rekonstruirano sliko zarodka.

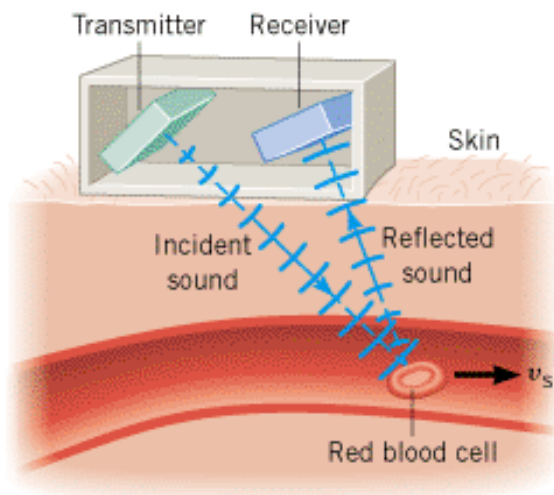


Slika 21: Ultrazvok zarodka

Kot že vemo, se zvok skozi različne snovi - različna tkiva obnaša drugače. Skozi kosti je težje uporabljati ultrazvok, saj se večina oddanega zvoka odbije, skozi pa ga gre zelo malo, če pa slikamo zarodek ali organe, ki se nahajajo v trebušni votlini, pa je lažje, saj valovi lažje prehajajo skozi trebušno votlino, kar omogoča zelo preprosto ultrazvočno slikanje. Večja kot je razlika v gostoti slikanega elementa, bolj je natančen ultrazvok. Mene pa je zanimalo tudi, zakaj je slika črno-bela.

Ultrazvočno slikanje v bistvu poteka na prej pripravljeni črni sliki. S sprejemnikom izmeri čas, ki ga potrebuje odboj, da se vrne, in moč oz. jakost tega odboja. S tem določimo pozicijo pixla (točke v sliki) in s kako intenzivnostjo mora ta pixel spremeniti. Če se val ne odbije, pixel npr. ostane črn, če pa se zvok odbije s 50 % močjo, se bo pixel obarval v sivo.

Sodobna tehnologija pa v ultrazvočno slikanje vključuje Dopplerjev pojav (o njem smo govorili v poglavju 5.4.3). S pomočjo tega lahko opazimo tudi najmanjše spremembe v pretoku krvi. Glej sliko 22.



Slika 22: Preverjanje rdečih krvnih celic s pomočjo ultrazvoka

Ker ultrazvok (tako kot vsak zvok) povzroča nihanje delcev, proizvaja ob svojem delovanju toploto. Ta je v večini primerov neškodljiva, kljub temu pa smo ljudje odkrili, da lahko to uporabimo za fizioterapijo.

Usmerjeno ultrazvočno valovanje se uporablja za razbijanje ledvičnih kamnov, ponekod pa se s fokusiranimi (usmerjenimi) ultrazvočnimi valovi velikih moči bori tudi proti tumorjem. Ta tehnika se pa uporablja tudi v zobozdravstvu - čiščenje oblog. Ultrazvočni valovi, ki uničujejo tkivo, imajo 10 000 krat večjo jakost kot tisti, ki jih uporabljamo pri ultrazvočnem slikanju.

Mene pa je pritegnila tudi eksperimentalna metoda uničevanja rakavih celic. Ta metoda ima manj stranskih učinkov kot katerakoli druga metoda pri zdravljenju raka, kljub temu pa v moderni medicini še ni uveljavljena, saj področje ultrazvoka in njegovega vpliva na človeško telo ni še povsem raziskano.

Pri zdravljenju raka sem zaznal dve metodi. Ena metoda deluje tako, da uporabimo ultrazvočne valove, ki so usmerjeni le v eno področje (rakave celice). Ti valovi imajo veliko jakost zvoka, omenjali smo pa jih že pri razbijanju ledvičnih kamnov, tukaj pa delujejo na podoben način, vendar morajo obsegati in delovati na veliko manjšem območju.

Druga metoda pa še sploh ni dosegla človeških poskusov, kljub temu pa je zelo obetavna. Zahteva veliko natančnost, ampak na poskusih je do zdaj bila uspešna. Da bi razumeli to, moramo najprej vedeti nekaj o vibracijah v življenju. Kot vemo, je vsaka snov sestavljena iz delcev, ki vibrirajo vsak s svojo frekvenco<sup>5</sup>. Če lahko zadenemo točno to frekvenco, dosežemo resonanco - to dosežemo takrat, ko dve telesi nihata z isto frekvenco. Ko jakost resonirane frekvenca zvišamo, lahko prvo snov uničimo. Npr. če kristalu izmerimo pravilno frekvenco in jo ponaredimo, bosta kristal in zvočnik v resonanci. Ko zvočno jakost frekvenca, ki prihaja iz zvočnika, povečamo, se bo kristal razletel. Na podobnem principu deluje ta metoda bojevanja proti raku. Rakave celice imajo podobno zgradbo kot tekoči kristali. Dr. Holland je to raziskoval in ugotovil, da če lomljenje kristala poskušamo poustvariti z rakavo celico, to deluje na podoben način - rakava celica razpade. Ker pa bi povečanje jakosti zvoka lahko bilo nevarno, pa je ugotovil, da lahko frekvenco povečamo 11 krat, s tem pa lahko dobimo podoben efekt, kot če bi povečali zvočno jakost.

### **29.3 Uporaba zvoka na vojaškem področju**

V znanstveni fantastiki obstajajo orožja, ki uporabljajo le moč zvoka...je to le domišljija ali se v njej skriva seme resnice?

---

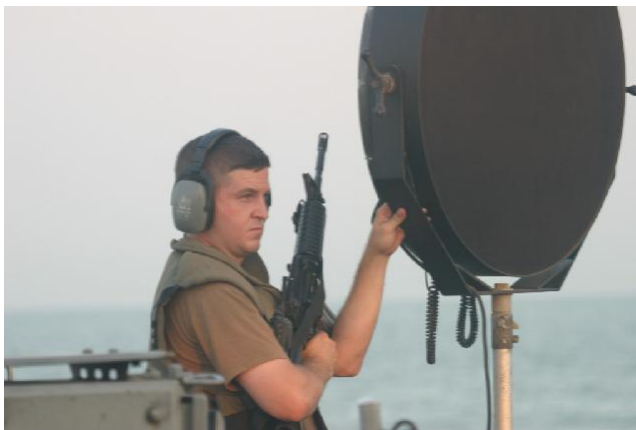
<sup>5</sup> Več o naravni frekvenci v poglavju 7.4.6

Orožja, ki delujejo na področju zvoka, obstajajo, vendar se uporabljajo v zelo majhni količini, saj potreba po njih ni velika, raziskave na tem področju pa niso financirane ali odobrene, zato marsikatera tehnologija ni preizkušena ali popolnoma nenevarna.

Zvočna orožja delimo na tista, ki delujejo na usmerjenih valovih in na tista, ki delujejo na večjih področjih.

Zvočni valovi z velikimi jakostmi lahko povzročijo bolečino, glavobole in uničijo človeški sluh.

Prvo zvočno orožje, ki sem ga našel, je LRAD (long-range acoustic device). To je naprava, ki proizvaja zvočne valove z velikimi jakostmi, ustvarjena pa je bila za sporazumevanje na zelo velikih razdaljah. Kasneje so ugotovili, da ljudje, ki stojijo v njeni neposredni bližini, doživljajo bolečino. To so uporabili v svoj prid in ustvarili zvočno orožje, ki je uporabljeno zato, da ločijo in obvladujejo velike množice ljudi, uporabljeno pa je tudi na ladjah kot orožje pred pirati. Uporablja se tudi za odvrčanje ptic od letališč, nuklearnih elektrarn itd. Kljub temu pa pogosto služi tudi za svoj primarni namen - komunikacijo. S tem lahko ogovorimo veliko množico ljudi, tako da bo vsak udeleženec slišal. Zvočna jakost, ki jo LRAD proizvaja, ni znana, vemo pa, da pri obvladovanju množice deluje pri 2.5 kHz. Napravo lahko vidimo na sliki 23. Vsak, ki napravo uporablja, mora nositi zaščito, drugače lahko izgubi sluh, to je odvisno od naprave same in njenega namena.



Slika 23: LRAD

Pri varovanju stavb pred najstniki je pogosta naprava The Mosquito. Ta proizvaja visoke frekvence, ki jih lahko slišijo le najstniki, kar pomeni, da bi starejši delavci delovali nemoteno. Verzija te naprave je tudi prenosna, za napajanje pa potrebuje le 24 voltno napetost.

Učinkov zvoka pa ne samo slišimo - nekateri učinki so nevarni. Zvok povzroča biološke nevarnosti. Miši, ki so bile izpostavljene ultrazvoku med frekvencami od 700 kHz do 3.6

MHz so pri več kot 184 dB dobile poškodbe prsi in poškodbe notranjih organov, istočasno pa razne srčne bolezni. Z višanjem jakosti so poškodbe naglo naraščale.

Znanstveniki tudi poskušajo razviti napravo, ki bi delovala na taki frekvenci, ki bi resonirala z očmi. Tako bi nasprotniku začasno onеспособili vid.

Kljub temu pa se od zvočnih naprav na vojaškem področju po celem svetu uporablja le sonar, ki se pojavlja pri iskanju nasprotnikovih podmornic, tehnologija za zvočna orožja pa ni dovolj razvita ali raziskana za razširjeno uporabo.

## **29.4 Druge alternativne uporabe zvoka**

Tukaj pa bom navedel še nekaj uporab zvoka, ki ne spadajo pod teme, ki sem jih naštel, kljub temu so se pa meni zdele zanimive.

### **29.4.1 Gašenje ognjev**

Z zvokom lahko pogasimo ogenj. Zvočno valovanje loči kisikove atome od materiala, ki gori, tako pa ustavi ogenj. Ta princip deluje le pri frekvencah od 30 do 60 Hz. To nam ponudi način gašenja ognja, ki ne uporablja kemikalij ali vode. Ta način nam lahko pomaga pri gašenju v okolju brez gravitacije - tradicionalni gasilni aparat se težko usmeri v eno točko, saj ga ponese na vse strani, zvok pa lahko manipuliramo v eno točko, tudi v okolju brez gravitacije.

### **29.4.2 Čiščenje**

Ultrazvok se lahko uporablja za čiščenje raznih stvari brez uničenja teh stvari. Želena stvar postavimo v tekočino, v kateri pa nastajajo ultrazvočni valovi pri frekvencah od 30 kHz do 40 kHz. To v tekočini povzroči vakuumске mehurčke oz. tako imenovano kavtacija. Ti mehurčki implodirajo v mikrosekundah, s tem pa počistijo vso umazanijo.

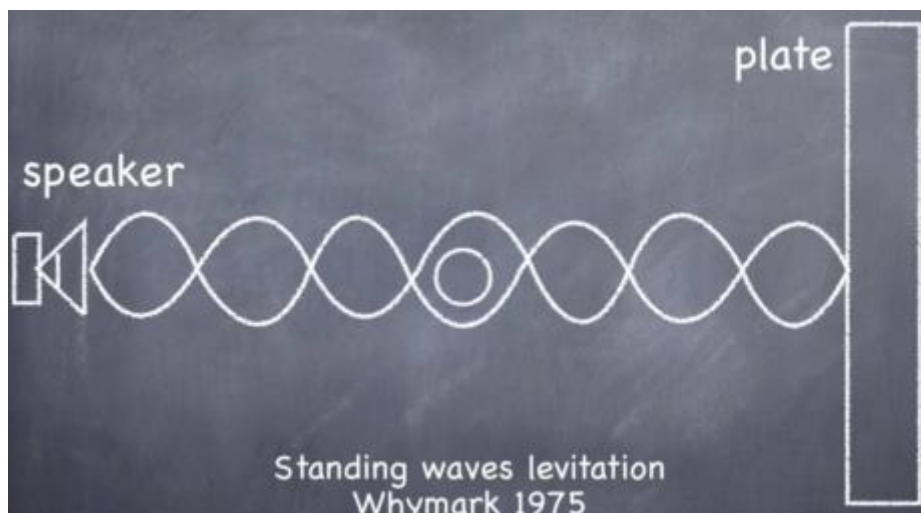
### **29.4.3 Celjenje ran**

Z zvokom lahko povečamo hitrost celjenja ran. Z ultrazvočnim valovanjem stimuliramo celice tako, da povzročamo majhne spremembe njihovih oblik – te nastanejo zaradi zvočnega pritiska. Celice se vrnejo v svoj prvotni položaj, bakterije na njih pa spremenijo svojo obliko in se postopoma združijo z celicami ali pa se odstranijo zaradi tekočine uporabljene pri terapiji.

### **29.4.4 Akustična levitacija**

S pomočjo zvoka lahko razne stvari pripravimo do »lebdenja«. Trenutno to še nima praktične uporabe, kljub temu pa ta tehnologija obstaja. Tukaj ponovno uporabljamo ultrazvočne

valove. Za levitacijo oz. lebdenje potrebujemo zvočnik (ultrazvočni pretvornik) in odbojnik - ploskev od katere se zvočni valovi odbijajo. Akustična levitacija deluje tako, da zvočnik ustvarja ultrazvočno valovanje, to pa se odbije od odbojnika (glej sliko 24). Ker se valovi odbijejo z isto amplitudo oz. jakostjo, vendar v nasprotni smeri med takimi valovi nastane »luknjica«, v katero lahko postavimo manjšo stvar, ta pa zato lebdi.

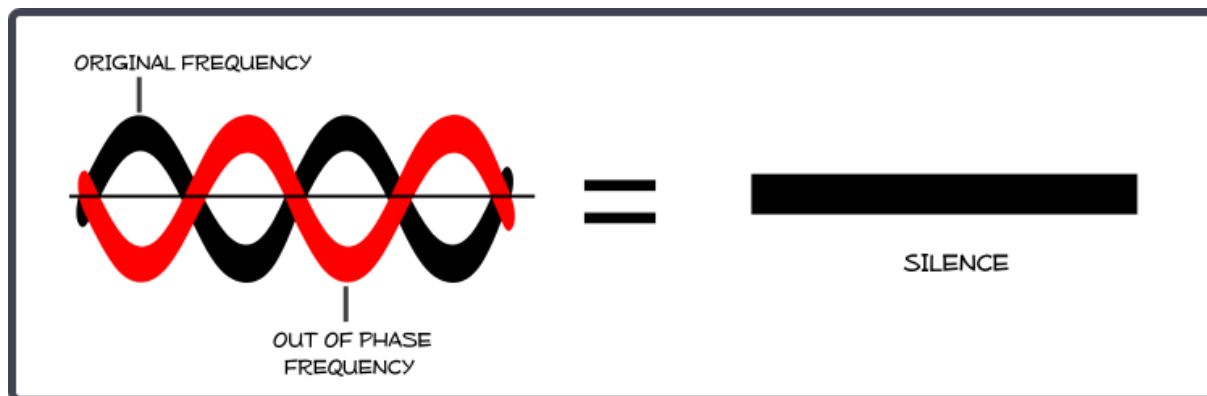


Slika 24: Akustična levitacija

#### 29.4.5 Zvočna »prekinitev«

S proizvodanjem zvoka lahko izničimo nek drug zvok. To se imenuje aktivna kontrola hrupa. Ta sistem uporabljajo nekatere slušalke in celo nekatere restavracije. Za to metodo izničevanja zvoka uporabljamo mikrofonski, ki zazna zunanje zvoke (tiste, ki jih želimo izničiti) in jim nato s pomočjo programa obrne polariteto (glej sliko 25), nato pa dobljene zvoke predvaja skozi zvočnik.

To povzroči izničevanje zvoka, saj se enaka zvoka predvajata z enako amplitudo, ampak obratno polariteto - njuna vsota je 0. Ta tehnika ne deluje popolno, saj nekaj nezaželenega zvoka še vedno ostane, kljub temu pa je zelo učinkovita in popularna.

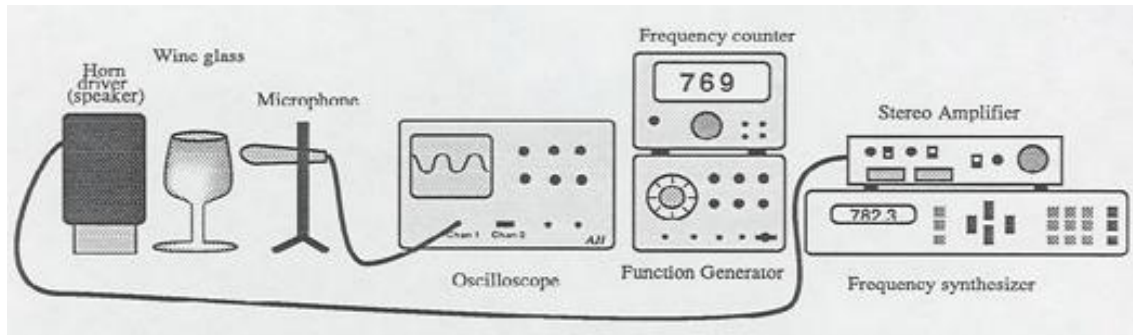


Slika 25: Navidezna aktivna kontrola hrupa

### 29.4.6 Lomljenje kozarca z zvokom

Nekateri ljudje lahko z glasom zlomijo kozarec. Je to res mogoče ali je to laž?

Kozarec je res mogoče zlomiti z zvokom. Zato potrebujemo kozarec, mikrofonski osciloskop, ojačevalnik zvoka, funkcijski generator in zvočnik (glej sliko 26).



Slika 26: Lomljenje kozarca

Da lahko zlomimo kozarec, moramo najprej vedeti oz. ugotoviti njegovo naravno resonanco – to je frekvenca, pri kateri se največ energije, dovedene z zvokom, absorbira. To dobimo tako, da kozarec »frcnemo«. Frekvenco, s katero kozarec zazveni, posnamemo z mikrofonom in izmerimo na osciloskopu. To frekvenco nato nastavimo na našem funkcijskem generatorju, nato pa to pošljemo skozi zvočni ojačevalnik, ki zvok predvaja skozi zvočnik.

Tako smo med zvočnikom in kozarcem dosegli resonanco. Kozarec začne vibrirati ob isti frekvenci kakor zvočnik. Ko je kozarec v resonanci, lahko dvigujemo glasnost in kozarec se bo zlomil. Glasnost zvoka mora biti večja kot 100 dB. Pogoji zato je, da je kozarec kristalne zgradbe, saj tem najlažje določimo resonančno frekvenco.

Kozarec se zlomi zato, ker mu dovedemo več energije, kot jo lahko sam absorbira, oz. z drugimi besedami; kozarec poskuša vibrirati z isto glasnostjo kot zvočnik, ko pa tega ne zmore več (to je takrat, ko je jakost zvoka previsoka), pa se kozarec zlomi.

### 29.4.7 Odvrčanje živali

Nekatere živali imajo višje slišno območje kot ljudje, zato so se razvile razne tehnologije, ki odvrčajo živali. Večina teh tehnologij deluje na področju ultrazvoka. Te naprave so postale priljubljene zato, ker delujejo ne da motijo ljudi.

Res je, da ti zvoki motijo nezaželene živali, kot so npr. miši, podgane in ščurki, vendar je dokazano, da se te živali čez čas navadijo na to frekvenco in jih sčasoma ne moti več. Slabost v teh napravah je tudi v tem, da so zelo šibke, zato pa delujejo na majhnem območju. Naprav z višjo jakostjo ni v uporabi, saj bi lahko bila nevarna tudi za ljudi.

### 30 ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi sem odgovoril na vsa vprašanja, ki sem si jih zastavil, kljub temu pa je na področju zvoka še veliko stvari, ki se jih lahko naučim. Vse hipoteze sem potrdil, ugotovil pa sem veliko novih stvari.

Ugotovili smo, da je z zvokom možno uničiti rakave celice.

Človeški glas lahko zlomi kozarec, vendar za to pevec potrebuje izjemno natančnost in glasnost glasu – zadeti mora naravno resonanco kozarca, ta ton pa zapeti pri glasnosti nad 100 dB.

Odganjanje nezaželenih živali je mogoče, kljub temu pa je to le začasna rešitev, saj se živali nanj navadijo, moč teh naprav pa je premajhna za razširjanje zvočnih valov po vsej hiši.

Zraven teh hipotez smo ugotovili še veliko drugih stvari, npr. kako se določi barva zvoka (frekvenco zvoka zvišamo in jo nato pretvorimo v dolžino valov); ugotovili pa smo tudi, da se zvok uporablja na veliko drugih področjih, za katere marsikdo sploh ne ve.

V tej raziskovalni nalogi sem užival, naučil sem se veliko, vzbudila pa mi je željo po znanju, zaradi katere bom še naprej raziskoval. Tokrat se bom osredotočil na poustvarjanje teh eksperimentov in na preizkušanje raznih alternativnih uporab zvoka (akustično levitacija, sonar, lomljenje kozarca).



### **31 DRUŽBENA ODGOVORNOST**

Zvok nas obdaja v vsakdanjem življenju, zato mislim, da bi o njem morali vedeti več. Zvok je omogočil razvoj človeštva, pomagal pa je tudi rešiti mnogo življenj. Mislim, da imamo na področju zvoka še veliko potenciala, ki ga ne izkoriščamo dovolj.

Raziskave na področju zvoka nam lahko pomagajo varčevati z energijo in tudi z viri.

Kljub vsem dobrim lastnostim pa ima zvok lahko tudi negativne posledice na uho, zaradi neznanja pa pri raziskavah povzroča nevarnosti. Zvok ima potencial tudi zato, da postane orožje uničenja. Zvočni signali lahko zmotijo živali, ki uporabljajo podobne zvočne signale za komuniciranje in orientiranje, kar bi lahko povzročilo zmedo med živalmi, nekateri znanstveniki npr. trdijo, da se zaradi uporabe sonarja kiti zmedejo in nasedejo na obali.

Zato se pojavi vprašanje, ali je alternativna uporaba zvoka nevarna ali se lahko uveljavi v širši uporabi. Mislim, da moramo zvok dodatno raziskati in s tem omejiti posledice in kaos, ki ga lahko nespametna uporaba zvoka prinese.

## 32 VIRI

### 32.1 Spletne strani:

<http://zpm-mb.si/programi/mladi-za-napredek-maribora/> 15.1.2017

[https://en.wikipedia.org/wiki/Sound#Sound\\_wave\\_properties\\_and\\_characteristics](https://en.wikipedia.org/wiki/Sound#Sound_wave_properties_and_characteristics) 29.1.2017

<https://en.wikipedia.org/wiki/Timbre> 29.1.2017

<https://simple.wikipedia.org/wiki/Timbre> 29.1.2017

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Hitrost\\_zvoka](https://sl.wikipedia.org/wiki/Hitrost_zvoka) 29.1.2017

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Jakost\\_zvoka](https://sl.wikipedia.org/wiki/Jakost_zvoka) 29.1.2017

<https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude> 29.1.2017

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Zvok> 29.1.2017

[https://en.wikipedia.org/wiki/Music\\_visualization](https://en.wikipedia.org/wiki/Music_visualization) 29.1.2017

<http://blog.ocad.ca/wordpress/digf6101-fw201302-01/2013/12/research-presentation-audiovisual-communication/> 29.1.2017

[http://eucbeniki.sio.si/admin/documents/learning\\_unit/3247/lastnostitonaporecenzi\\_1400681474/index2.html](http://eucbeniki.sio.si/admin/documents/learning_unit/3247/lastnostitonaporecenzi_1400681474/index2.html) 29.1.2000

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Zven> 29.1.2000

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Ton> 29.1.2000

[http://www.dijaski.net/gradivo/gla\\_ref\\_barva\\_zvoka\\_01?r=1](http://www.dijaski.net/gradivo/gla_ref_barva_zvoka_01?r=1) 29.1.2017

[http://eucbeniki.sio.si/admin/documents/learning\\_unit/3247/lastnostitonaporecenzi\\_1400681474/index2.html](http://eucbeniki.sio.si/admin/documents/learning_unit/3247/lastnostitonaporecenzi_1400681474/index2.html) 29.1.2017

<http://www.lunarplanner.com/Harmonics/planetary-harmonics.html> 29.1.2000

[http://www.flutopedia.com/sound\\_color.htm](http://www.flutopedia.com/sound_color.htm) 29.1.2017

<http://www.gootar.com/theory.htm> 29.1.2017

[http://www.s-sers.mb.edus.si/gradiva/rac/moduli/av\\_komunikacije/05\\_zvok/03\\_datoteka.html](http://www.s-sers.mb.edus.si/gradiva/rac/moduli/av_komunikacije/05_zvok/03_datoteka.html) 29.1.2017

<https://eucbeniki.sio.si/nar7/1221/index3.html> 29.1.2017

[http://www.dijaski.net/gradivo/fiz\\_ref\\_zvocila\\_in\\_detektorji\\_zvoka\\_01?r=1](http://www.dijaski.net/gradivo/fiz_ref_zvocila_in_detektorji_zvoka_01?r=1) 29.1.2017

[http://www.s-sers.mb.edus.si/gradiva/rac/moduli/oprema\\_multimedija/07\\_ozvocenje/04\\_datoteka.html](http://www.s-sers.mb.edus.si/gradiva/rac/moduli/oprema_multimedija/07_ozvocenje/04_datoteka.html) 29.1.2017

<http://www.kvarkadabra.net/2000/01/zvocni-zid/> 29.1.2017

[https://si.openprof.com/wb/longitudinalno\\_valovanje\\_zvoka?ch=337](https://si.openprof.com/wb/longitudinalno_valovanje_zvoka?ch=337) 29.1.2017

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Vzdol%C5%BEno\\_valovanje](https://sl.wikipedia.org/wiki/Vzdol%C5%BEno_valovanje) 29.1.2017

<https://eucbeniki.sio.si/nar7/1221/index1.html> 29.1.2017

<http://projekti.gimvic.org/2008/2a/zvok/zanimivosti.html> 29.1.2017

[https://en.wikipedia.org/wiki/Transverse\\_wave](https://en.wikipedia.org/wiki/Transverse_wave) 29.1.2017

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Zvok> 29.1.2017

[https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound#Other\\_uses](https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound#Other_uses) 31.1.2017

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Ultrazvok> 31.1.2017

<http://www.dailymail.co.uk/wires/pa/article-3500861/Treatment-prostate-cancer-sound-waves-offer-fewer-effects.html> 31.1.2017

<http://www.cancerresearchuk.org/about-cancer/cancers-in-general/treatment/other/high-intensity-focused-ultrasound-hifu> 31.1.2017

<http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?pg=genus> 31.1.2017

[https://en.wikipedia.org/wiki/Medical\\_ultrasound](https://en.wikipedia.org/wiki/Medical_ultrasound) 31.1.2017

[https://www.eeweb.com/blog/andrew\\_carter/applications-of-sound-in-medicine](https://www.eeweb.com/blog/andrew_carter/applications-of-sound-in-medicine) 31.1.2017

<http://www.electricalfacts.com/Neca/Science/sound/applications.shtml> 31.1.2017

[https://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2008-06/aiop-sm062508.php](https://www.eurekalert.org/pub_releases/2008-06/aiop-sm062508.php) 31.1.2017

<http://www.medvisage.si/ultrazvuk.html> 31.1.2017

<http://www.fizika.si/seminarji/ultrazvok/uzvok.html> 31.1.2017

<http://healthtipsing.com/sl/pages/67194> 31.1.2017

<https://www.powerofpositivity.com/sound-technology-kills-cancer-cells-without-chemo-radiation/> 31.1.2017

<http://www.elektronik.si/phpBB2/viewtopic.php?t=6461> 31.1.2017

[https://en.wikipedia.org/wiki/Sonic\\_weapon#Usage\\_and\\_deployment](https://en.wikipedia.org/wiki/Sonic_weapon#Usage_and_deployment) 31.1.2017

[https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Mosquito](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Mosquito) 31.1.2017

<http://www.newworldwar.org/sw.htm> 31.1.2017

<http://gizmodo.com/what-is-the-lrad-sound-cannon-5860592> 31.1.2017

<http://motherboard.vice.com/read/a-history-of-using-sound-as-a-weapon> 31.1.2017

<http://www.elektronik.si/phpBB2/viewtopic.php?t=6461> 31.1.2017

<https://www.quora.com/How-do-ultrasonic-humidifiers-work> 31.1.2017

[http://www.aetna.com/cpb/medical/data/700\\_799/0746.html](http://www.aetna.com/cpb/medical/data/700_799/0746.html) 31.1.2017

<http://physicsworld.com/cws/article/news/2015/apr/02/dousing-flames-with-low-frequency-sound-waves> 21.1.2017

[http://www.dijaski.net/gradivo/fiz\\_ref\\_zvocila\\_in\\_detektorji\\_zvoka\\_01?r=1](http://www.dijaski.net/gradivo/fiz_ref_zvocila_in_detektorji_zvoka_01?r=1) 31.1.2017

<http://abcnews.go.com/WNT/story?id=130225&page=1> 31.1.2017

<https://www.exploratorium.edu/theworld/sonar/sonar.html> 31.1.2017

<http://physicsworld.com/cws/article/news/2015/apr/02/dousing-flames-with-low-frequency-sound-waves> 31.1.2017

<https://slo-tech.com/forum/t317453> 31.1.2017

## 32.2 Video viri

<https://www.youtube.com/watch?v=GkNJvZINSEY> 29.1.2000

<https://www.youtube.com/watch?v=qV4IR9EWGIY> 29.1.2017

<https://www.youtube.com/watch?v=E7RVmbVru6Y> 29.1.2017

<https://www.youtube.com/watch?v=YAaXIOli0f4> 29.1.2017

<https://www.youtube.com/watch?v=eAb1OksqVn0> 31.1.2017

[https://www.youtube.com/watch?v=ZTEjt\\_m2RLc](https://www.youtube.com/watch?v=ZTEjt_m2RLc) 31.1.2017

<https://www.youtube.com/watch?v=OqpPi8wNed8> 31.1.2017

### 32.3 Knjige

Elektrika, svetloba in snov, fizika za 3. in 4. letnik srednjih šol; Marjan Hribar, Slavko Kocjančič, Andrej Likar, seta Oblak, Bojan Pajk, Vincenc Petruna, Nada Razpet, Branko Roblek, Fedor Tomažič, Miro Trampuš; Modrijan.

Energija, toplota, zvok, svetloba; fizika za srednješolce 2; Rudolf Kladnik; DZS.

Osnove akustike; Anton Jeglič in Dušan Fefer; Akademska založba Ljubljana.

## 32.4 Dokumenti na spletu

[https://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjWnf2o1O\\_RAhVlYpoKHRvQCC4QFggYMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fizika.fnm.um.si%2Ffiles%2Fseminarji%2F04%2Fsag.pdf&usg=AFQjCNFO9i4EenNLlcaT4BTbUY53sIHzoA&sig2=nWv5GRzpUrfkmTfqgM2Q9A&bvm=bv.146073913.d.bGs](https://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjWnf2o1O_RAhVlYpoKHRvQCC4QFggYMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fizika.fnm.um.si%2Ffiles%2Fseminarji%2F04%2Fsag.pdf&usg=AFQjCNFO9i4EenNLlcaT4BTbUY53sIHzoA&sig2=nWv5GRzpUrfkmTfqgM2Q9A&bvm=bv.146073913.d.bGs)

Spektralna analiza glasbil; Marko Gosak

### 32.5 Viri slik

Slika 1:

[https://www.google.si/search?rlz=1C1RNPN\\_enSI436SI472&biw=1222&bih=657&tbm=isch&sa=1&q=transversal+waves&oq=transversal+waves&gs\\_l=img.3...42972.47473.0.47590.17.12.0.0.0.0.0..0.0...0...1c.1.64.img..17.0.0.GEYc2VHToc4&bav=on.2,or.&bvm=bv.143423383,d.d2s&dpr=1.38&ech=1&psi=YRt1WL\\_-](https://www.google.si/search?rlz=1C1RNPN_enSI436SI472&biw=1222&bih=657&tbm=isch&sa=1&q=transversal+waves&oq=transversal+waves&gs_l=img.3...42972.47473.0.47590.17.12.0.0.0.0.0..0.0...0...1c.1.64.img..17.0.0.GEYc2VHToc4&bav=on.2,or.&bvm=bv.143423383,d.d2s&dpr=1.38&ech=1&psi=YRt1WL_-)

[J8anaPC7udgC.1484673910339.3&ei=YRt1WL -](#)

J8anaPC7udgC&emsg=NCSR&noj=1#imgrc=xab8h5HmqCsB7M%3A

Slika 2:

[https://www.google.si/search?rlz=1C1RNPN\\_enSI436SI472&biw=1222&bih=657&tbm=isch&sa=1&q=transversal+waves&oq=transversal+waves&gs\\_l=img.3...42972.47473.0.47590.17.12.0.0.0.0.0..0.0...0...1c.1.64.img..17.0.0.GEYc2VHToc4&bav=on.2,or.&bvm=bv.143423383,d.d2s&dpr=1.38&ech=1&psi=YRt1WL\\_-](https://www.google.si/search?rlz=1C1RNPN_enSI436SI472&biw=1222&bih=657&tbm=isch&sa=1&q=transversal+waves&oq=transversal+waves&gs_l=img.3...42972.47473.0.47590.17.12.0.0.0.0.0..0.0...0...1c.1.64.img..17.0.0.GEYc2VHToc4&bav=on.2,or.&bvm=bv.143423383,d.d2s&dpr=1.38&ech=1&psi=YRt1WL_-)

[J8anaPC7udgC.1484673910339.3&ei=YRt1WL](#) -

J8anaPC7udgC&emsg=NCSR&noj=1#imgrc=xab8h5HmqCsB7M%3A

Slika 3: Energija, toplota, zvok, svetloba; fizika za srednješolce 2; Rudolf Kladnik; DZS, stran 153.

### Slika

4:

[https://www.google.si/search?q=sound+forks+waves&safe=off&rlz=1C1RNPN\\_enSI436SI472&espv=2&biw=1222&bih=613&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi\\_2LeK4dXRAhXDqxoKHVgEAKUQ\\_AUIBigB#imgrc=pOse2XJgNmT\\_NM%3A](https://www.google.si/search?q=sound+forks+waves&safe=off&rlz=1C1RNPN_enSI436SI472&espv=2&biw=1222&bih=613&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi_2LeK4dXRAhXDqxoKHVgEAKUQ_AUIBigB#imgrc=pOse2XJgNmT_NM%3A)

## Slika

5:

[https://www.google.si/search?safe=off&sa=G&hl=sl&q=tuning+fork+sound+waves&tbm=isch&tbs=simg:CAQSIQEJEEOxEae4h6UUaiQELEKjU2AQaBAGACAMMCxCwjKcIGmAKXggDEiY3OMEM2QygBNcB0wHaDJYBhRisNt4o7TW-NuAq4CihKKIo7DWtNBowNIM8veI\\_1lZHNIb4laQaglcM3CWQFffJj9cCOtdFsZcLSAkdPBykKNzpCHICIBbwaIAQMCxCORv4IGgoKCAgBEgSNaSpJDA.isz:s&ved=0ahUKEwism8OIoe3RAhXnO5oKHSaHcGgEQ2A4IGSgC&biw=1222&bih=657#imgsrc=1sb8hrquaQH47M%3A](https://www.google.si/search?safe=off&sa=G&hl=sl&q=tuning+fork+sound+waves&tbm=isch&tbs=simg:CAQSIQEJEEOxEae4h6UUaiQELEKjU2AQaBAGACAMMCxCwjKcIGmAKXggDEiY3OMEM2QygBNcB0wHaDJYBhRisNt4o7TW-NuAq4CihKKIo7DWtNBowNIM8veI_1lZHNIb4laQaglcM3CWQFffJj9cCOtdFsZcLSAkdPBykKNzpCHICIBbwaIAQMCxCORv4IGgoKCAgBEgSNaSpJDA.isz:s&ved=0ahUKEwism8OIoe3RAhXnO5oKHSaHcGgEQ2A4IGSgC&biw=1222&bih=657#imgsrc=1sb8hrquaQH47M%3A)

## Slika

6:

[https://www.google.si/search?q=zvo%C4%8Dne+vilici&safe=off&rlz=1C1RNPN\\_enSI436S1472&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiE\\_7e-ucvRAhXDORQKHV3OAXIQ\\_AUICCGb&biw=1222&bih=657#safe=off&tbm=isch&q=reflection+of+waves+on+water&imgcr=3TSJJ5gMc86-0M%3A](https://www.google.si/search?q=zvo%C4%8Dne+vilici&safe=off&rlz=1C1RNPN_enSI436S1472&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiE_7e-ucvRAhXDORQKHV3OAXIQ_AUICCGb&biw=1222&bih=657#safe=off&tbm=isch&q=reflection+of+waves+on+water&imgcr=3TSJJ5gMc86-0M%3A)

Slika 7: Energija, toplota, zvok, svetloba; fizika za srednješolce 2; Rudolf Kladnik; DZS, stran 157.

### Slika

8:

<http://www.lunarplanner.com/Harmonics/Planetary%20Harmonic%20Charts/Keyboard-Color.jpg>

- Slika 9: <http://www.lunarplanner.com/Harmonics/Planetary%20Harmonic%20Charts/Keyboard-Color.jpg>
- Slika 10: [https://lh3.googleusercontent.com/0Zamgqog\\_aN6gm2PYQFQa26-fTqmYqYU7TRGd8B7fMusooFmDagr0dfatAZ8qDcWFWL=s104](https://lh3.googleusercontent.com/0Zamgqog_aN6gm2PYQFQa26-fTqmYqYU7TRGd8B7fMusooFmDagr0dfatAZ8qDcWFWL=s104)
- Slika 11: Energija, toplota, zvok, svetloba; fizika za srednješolce 2; Rudolf Kladnik; DZS, stran 157.
- Slika 12: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Dopplerjev\\_pojav#/media/File:Doppler\\_effect.jpg](https://sl.wikipedia.org/wiki/Dopplerjev_pojav#/media/File:Doppler_effect.jpg)
- Slika 13: <http://moski.hudo.com/wp-content/uploads/2012/10/a-beautiful-shot-of-a-hornet-slicing-through-the-air-660x494.jpg>
- Slika 14: [http://www.kvarkadabra.net/wordpress/wp-content/uploads/2000/01/zvocni\\_zid-300x215.gif](http://www.kvarkadabra.net/wordpress/wp-content/uploads/2000/01/zvocni_zid-300x215.gif)
- Slika 15: [https://lh3.googleusercontent.com/OuCndxdRy\\_ncE4ljDDOUiBD9p68f5UNmZAAftUsaQrDoLyCspDs-svXaJ0sbeRg-oB0Zug=s142](https://lh3.googleusercontent.com/OuCndxdRy_ncE4ljDDOUiBD9p68f5UNmZAAftUsaQrDoLyCspDs-svXaJ0sbeRg-oB0Zug=s142)
- Slika 16: <http://www.kvarkadabra.net/wordpress/wp-content/uploads/2003/03/slulh1.gif>
- Slika 17: <http://laughingsquid.com/wp-content/uploads/2013/05/ruler.jpg>
- Slika 18: [http://www.dijaski.net/gradivo/fiz\\_ref\\_zvocila\\_in\\_detektorji\\_zvoka\\_01?r=1](http://www.dijaski.net/gradivo/fiz_ref_zvocila_in_detektorji_zvoka_01?r=1)
- Slika 19: <https://static.slo-tech.com/2664.jpg>
- Slika 20: <https://lh3.googleusercontent.com/pdOSIPrcqx6ssZF6cmRc2JljQPfMuDbmhsXb7PBuoWol1B00q4slFCXqiCDuwZ8CSq0=s94>
- Slika 21: <https://lh3.googleusercontent.com/GSVI4i5KKXPDLsSqq15uTMYX-DVTjUgZR5iueAtnk7lB0-gZrfVz4NcLEv75ADyiTz8r4Q=s113>
- Slika 22: [http://d3i5bpxkxvwmz.cloudfront.net/members/andrew\\_carter/blog/2012/04/29/Applications-of-Sound-in-Medicine-3-1335720754.gif](http://d3i5bpxkxvwmz.cloudfront.net/members/andrew_carter/blog/2012/04/29/Applications-of-Sound-in-Medicine-3-1335720754.gif)
- Slika 23: [https://lh3.googleusercontent.com/bJgvamOmEA\\_FJdzrOFuoLNdgx3e7Yk-hduRvVQl6Nyy7u7QCXrzPPEhzbS4\\_EsFbwB3TA=s128](https://lh3.googleusercontent.com/bJgvamOmEA_FJdzrOFuoLNdgx3e7Yk-hduRvVQl6Nyy7u7QCXrzPPEhzbS4_EsFbwB3TA=s128)
- Slika 24: <https://48hzlacy.files.wordpress.com/2014/03/standing-wave-levitation.png>
- Slika 25: <http://www.centerpointaudio.com/Images/Noise-Canceling-Diagram.png>
- Slika 26: [http://demoweb.physics.ucla.edu/sites/default/files/demomanual/acoustics/effects\\_of\\_sound/breaking\\_glass\\_with\\_sound.gif](http://demoweb.physics.ucla.edu/sites/default/files/demomanual/acoustics/effects_of_sound/breaking_glass_with_sound.gif)