

# GOVOR

Matija Milanič

## Predvideno predznanje

Aktivnost je primerna za dijake, ki so že osvojili naslednja znanja o zvoku:

- zvok kot valovanje,
- stoječe valovanje v polodprti cevi,
- spekter.

Ker aktivnost ne zahteva poznavanje bolj zapletenih pojavov s področja akustike, je mogoče aktivnost izvesti tudi z dijaki nižjih letnikov, če prej usvojijo znanje o tem, kaj je valovanje in kaj je spekter.

## Cilji

Dijaki se naučijo:

- kaj je valovna oblika zvoka in kaj je pripadajoč spekter zvoka,
- da imajo toni značilen črtast spekter in beli šum zveznega,
- da imajo samoglasniki značilen spekter zvoka,
- da se da človeški govorni aparat opisati kot polodprto cev.

## Oprema

Za izvedbo aktivnosti bodo dijaki potrebovali:

- mikrofona,
- polodprto cev s premičnim batom,
- računalnik za detekcijo zvoka,
- izvor zvoka v obliki tonov in belega šuma.

## Aktivnost 1

### Vprašanje pred pričetkom

- Kaj je zvočno valovanje in katere lastnosti zvoka poznate? Razložite jih.
- Na kratko razložite subjektivno zaznavanje zvoka in povezavo s fizikalnimi količinami: frekvenca in ton; intenziteta in glasnost; harmoničnost in kvaliteta zvoka.
- 

### Priprava poskusa

Mikrofon je že priključen v računalnik. Preverite, da je program Visual Analyser – VA (<https://www.sillanumsoft.org>) pognan. V programu nastavite območje frekvenc v spektrogramu med 0 Hz in 1500 Hz. Povprečenje pri spektrogramu nastavite na 10 x. Pripravite si izvir zvoka (npr. telefon in spletno orodje <https://onlinetonegenerator.com>).

**Decibél** (okrajšava dB) je enota brez dimenzije, s katero izražamo razmerje med spremenljivo količino in fiksno referenco. Uporabljamo ga pri meritvah v akustiki, fiziki, elektrotehniki in sorodnih področjih. Ker se za izračun uporablja logaritem, je z njim možno izražati zelo velik razpon razmerij z relativno majhnimi števili. V primeru zvoka se za izračun uporablja:

$$I(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0},$$

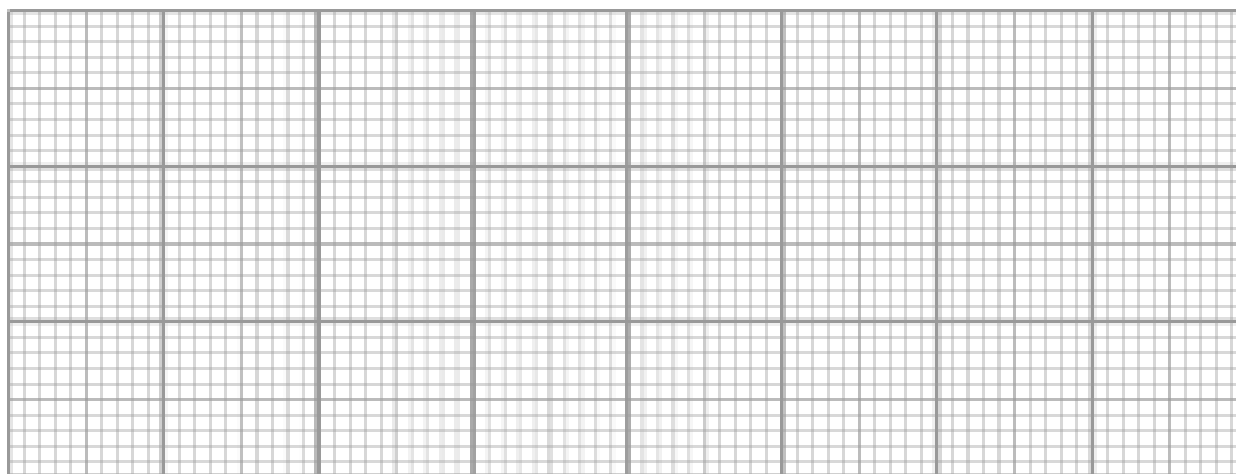
kjer je  $I$  intenziteta zvoka in  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  mejna slišna intenziteta zvoka pri človeku pri 1000 Hz.

### Opazovalni poskus

Spreminjajte frekvence zvoka, zvok poslušajte in opazujte valovno obliko ter spekter zvoka v VA. Izpolnite spodnjo tabelo.

|  | Najnižji slišen zvok | Najbolj slišen zvok | Najvišji slišen zvok |
|--|----------------------|---------------------|----------------------|
| Vaša starost                                     |                      |                     |                      |
| Frekvenca [Hz]                                   |                      |                     |                      |
| Intenziteta [dB]                                 |                      |                     |                      |
| Dolžina vala [s]                                 |                      |                     |                      |
| Subjektivno zaznavanje zvoka. Kako zvok slišite? |                      |                     |                      |

Narišite spekter zvoka pri frekvenci tona C,  $f = 262$  Hz.



Ponovite eksperiment z belim šumom in izpolnite tabelo.

|  | Spodnja meja spektra | Zgornja meja spektra |
|--|----------------------|----------------------|
| Frekvenca [Hz]                               |                      |                      |
| Kakšna je oblika spektra?                    |                      |                      |
| Kakšno je vaše subjektivno zaznavanje zvoka? |                      |                      |

## Vprašanja

- Kakšna je povezava med obliko vala in spektrom pri izbrani frekvenci?
- Opiši tipičen spekter zvoka pri eni frekvenci.
- Kako se s starostjo spreminjajo najnižja, najvišja in najbolj slišna frekvenca zvoka?
- Kaj je značilno za zvočni signal belega šuma v časovni domeni in kaj za njegov spekter? V generatorju šuma je mogoče izbrati še rjavi in roza šum. Kako se razlikujeta od belega šuma?

## Aktivnost 2

### Vprašanja pred pričetkom

- Kaj je stoječe valovanje? Kaj so resonančne frekvence?
- Nariši skico stoječega valovanja v polodprti cevi in zapiši izraz za resonančne valovne dolžine oz. frekvence.

### Priprava poskusa

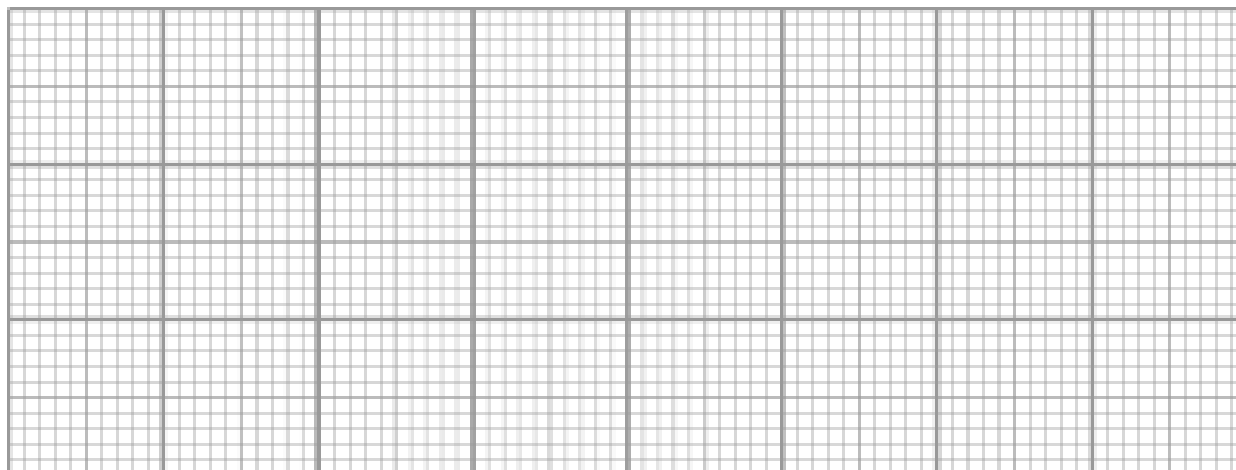
Z lepilnim trakom pritrdite mikrofona na polodprto cev tako, da je mikrofona usmerjen proti odprtini cevi. Mikrofona naj bo čim bližje odprtini. Bata potisnite proti skrajni legi cevi, t.j. najbolj oddaljenem koncu glede na odprtino.

### Opazovalni poskus

Na generatorju zvoka izberite sledeče frekvence in s premikanjem bata poiščite lege bata, kjer pride do največjega ojačenja zvoka. Izpolnite tabelo.

| Ton         | Resonančna razdalja [cm] | Izračunana resonančna razdalja [cm] | Največja intenziteta zvoka [dB] | Povprečna intenziteta zvoka [dB] |
|-------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| C3, 131 Hz  |                          |                                     |                                 |                                  |
| C4, 262 Hz  |                          |                                     |                                 |                                  |
| C5, 523 Hz  |                          |                                     |                                 |                                  |
| C6, 1047 Hz |                          |                                     |                                 |                                  |
| C7, 4186 Hz |                          |                                     |                                 |                                  |

Za primer tona C4 skicirajte povprečno obliko zvočnega vala in resonančno obliko.



Generator zvoka preklopite na beli šum in premaknite bat v izhodiščno lego. Bat počasi pomikajte proti odprtini in opazujte, kako se spreminja spekter zvoka ter oblika valovanja. Pri izbranih dolžinah cevi – pomikih bata, izpolnite spodnjo tabelo:

| Dolžina cevi [cm] | Prva resonančna $f$ [Hz] | Druga resonančna $f$ [Hz] | Tretja resonančna $f$ [Hz] |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 0                 |                          |                           |                            |
| 10                |                          |                           |                            |
| 25                |                          |                           |                            |
| 50                |                          |                           |                            |

### Vprašanja

- Se izračunane in izmerjena resonančne dolžine ujemajo? Če se ne, predlagajte razloge za odstopanja.
- Kakšno je razmerje med največjo in povprečno intenziteto zvoka pri posameznih tonih?
- Pojasnite, kako pri posameznem izbranem tonu slišite spreminjanje zvoka pri premikanju bata. Slišite spreminjanje intenzitete ali spreminjanje barve zvoka? Pri katerem tonu je sprememba najbolj slišna? Kateri ton slišite najglasneje?
- Kako se s premikanjem bata spreminja slušni vtis belega šuma, ki izhaja iz cevi?
- Kako so izmerjene resonančne frekvence belega šuma povezane z izmerjenimi dolžinami cevi? Resonančne frekvence izračunajte in jih primerjajte z izmerjenimi.

## Aktivnost 3

### Priprava poskusa

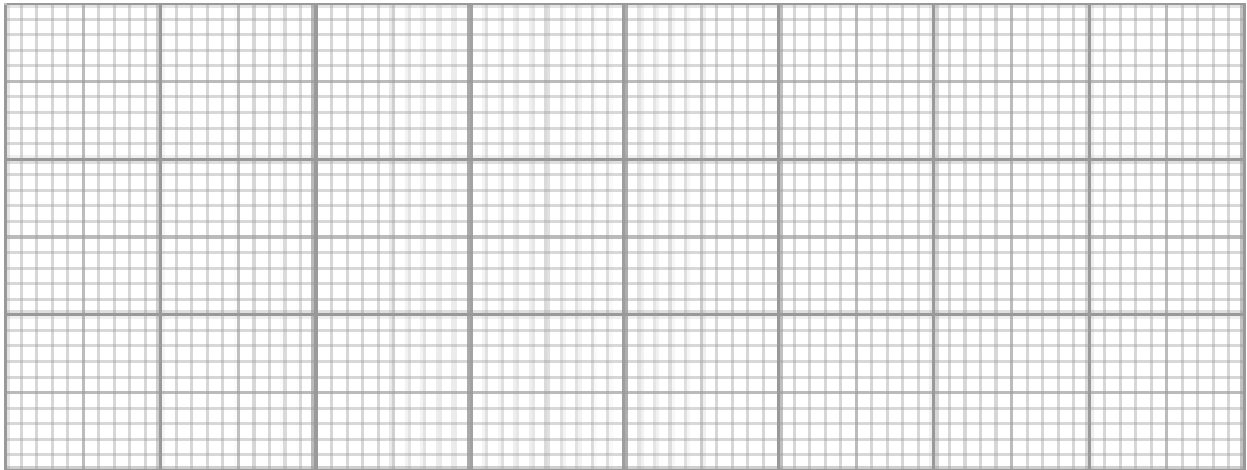
Mikrofon odstranite s cevi.

### Opazovalni poskus

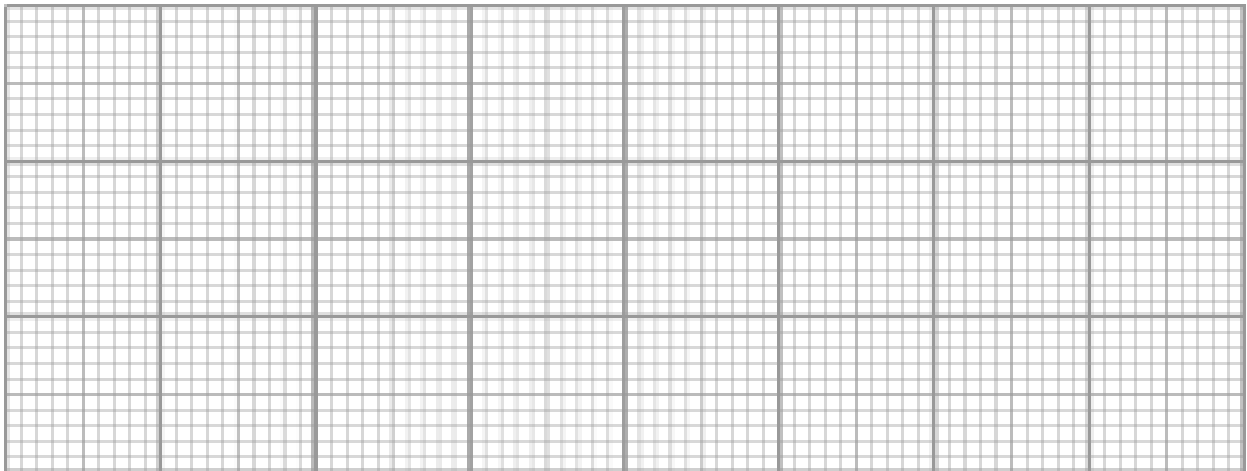
Poskušajte vse spodnje samostalnice izgovarjati z enako jakostjo in napetostjo glasilk. V programu VA posnemite spekter in valovno obliko sledečih samoglasnikov. Obliki si skicirajte v spodnjih grafih.

a. Samoglasnik A

*Valovna oblika*

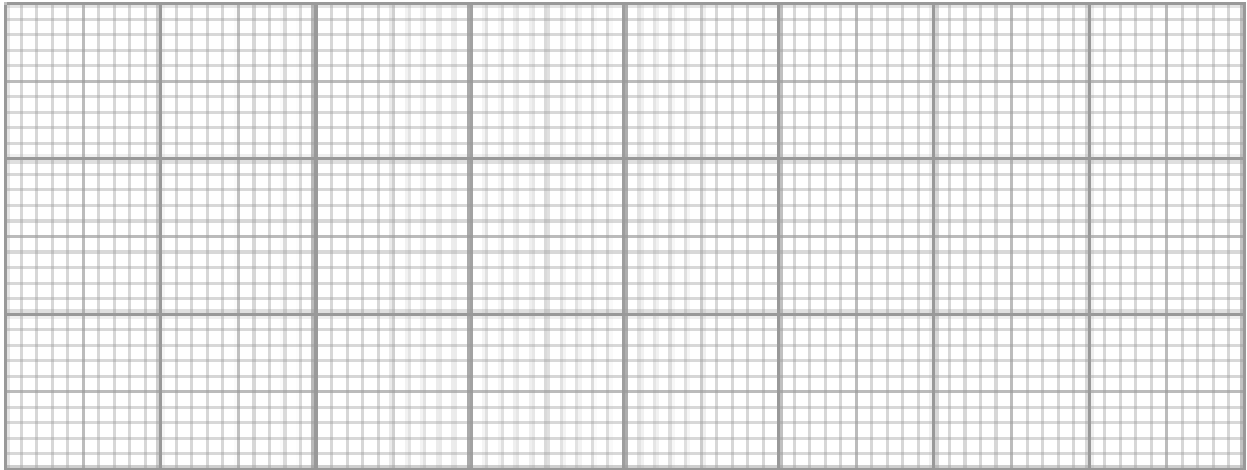


*Spekter*

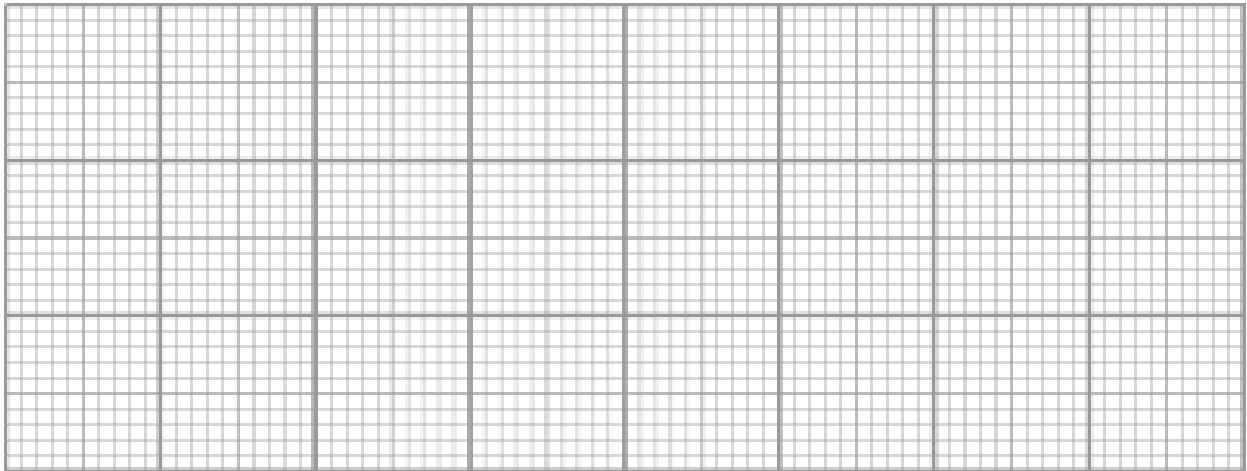


b. Samoglasnik U

*Valovna oblika*

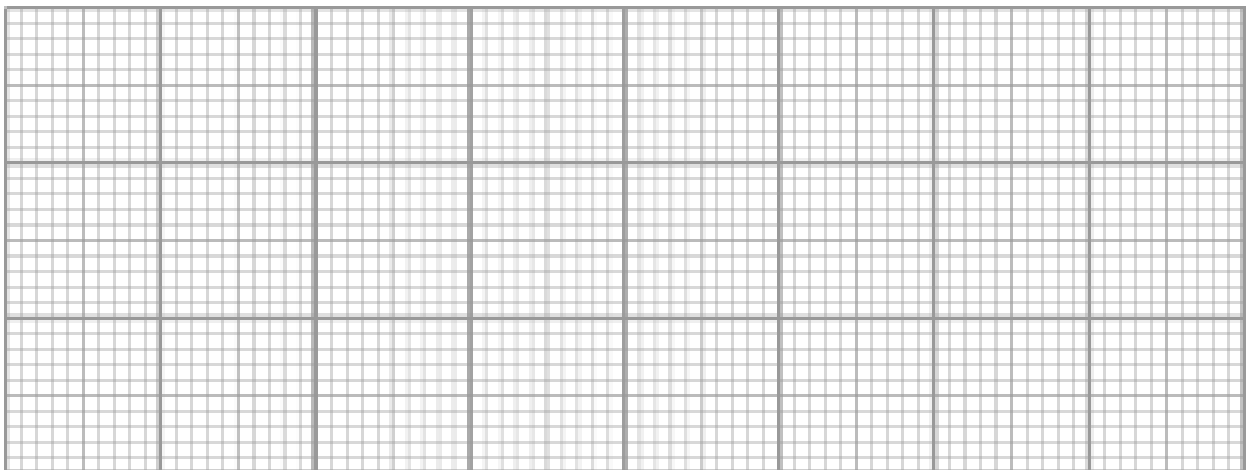


*Spekter*

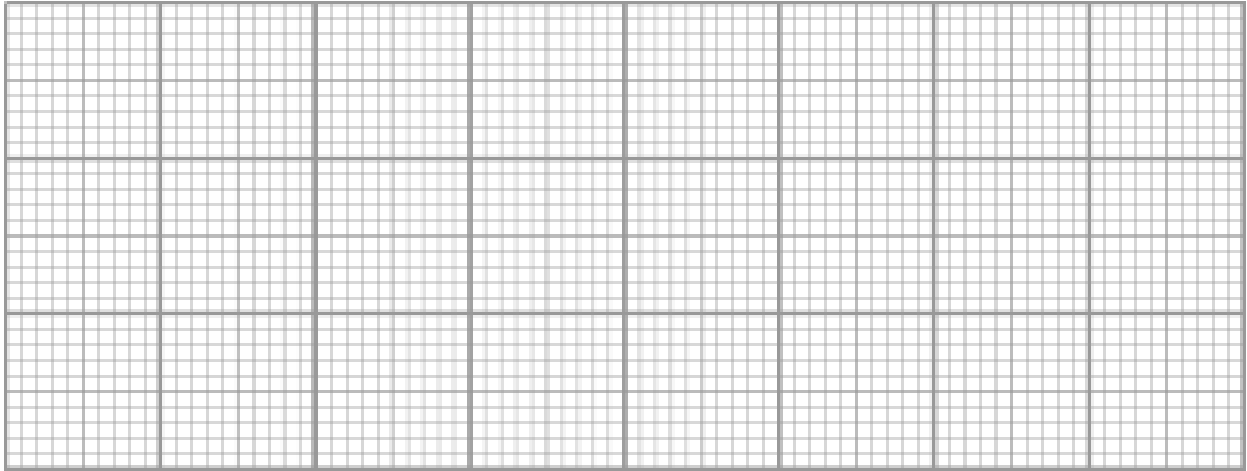


c. Samoglasnik I

*Valovna oblika*



## Spekter



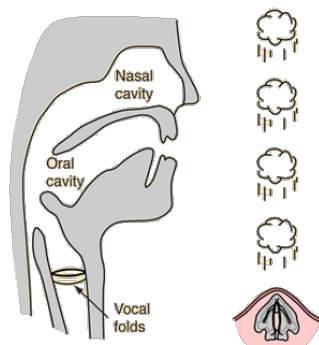
### Vprašanja

- Opišite, kako se razlikuje slišni vtis zvoka teh treh samoglasnikov (barva, jakost, višina zvoka)?
- Kako se spektri in valovne oblike razlikujejo med samoglasniki? So zvoki samoglasnikov sestavljeni iz več tonov ali iz enega samega? Če si glasilke predstavljamo kot napeti struni, kako bi pojasnili izmerjene spektre?
- Govorni aparat lahko poenostavljeno opišemo kot polodprto cev dolžine 17 cm (praktična dolžina je odvisna od posameznika). Če je hitrost zvoka 344 m/s, izračunajte prve tri resonančne frekvence govornega aparata. Se ujemajo s frekvencami, ki ste jih izmerili pri samoglasnikih? Če se ne, zakaj ne? Izmerite spekter glasu, ki ga proizvedete pri izdihu ob sproščeni glasilkah (šumeč zvok, ki se sliši kot »AE«). Se frekvence vrhov sedaj ujemajo s frekvencami polodprte cevi? Pojasnite.

## Anatomsko in fiziološko ozadje

Povzeto po [1], vključno s slikami.

Diafragma potisne zrak iz pljuč čez glasilke, ki zavibrirajo in posledično nastane niz zračnih sunkov – zvok. Ta niz se zaradi vpliva resonančnih frekvenc govornega aparata (t.j. polodprta cev) preoblikuje – določene frekvence so ojačajo in določene oslabijo. Zaradi delovanja artikulatorjev (mesto in oblika jezika, odprtost ust) tvorimo značilne zvoke, npr. samoglasnike. Artikulatorji namreč spremenijo obliko in dolžino govornega aparata.



*Slika 1: Shema glasilk in govornega aparata. Zaradi pritiska zraka iz pljuč na glasilke se te izmenično odpirajo in zapirajo. Časovni niz zračnih sunkov – zvok – je odvisen od dolžine in napetosti glasilk.*

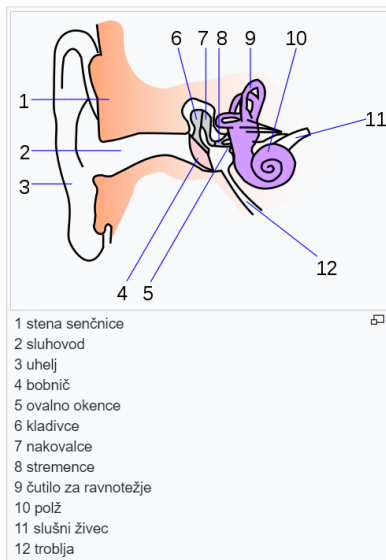
Frekvence, ki jih pokriva ženski glas so tipično v razponu 350 Hz – 17 kHz, pri čemer so osnovne frekvence med 350 Hz in 3 kHz, nad 3 kHz pa so višji harmoniki. Pri moških so frekvence nižje in sicer so osnovne frekvence med 100 Hz in 900 Hz, višji harmoniki pa do 8 kHz.

Povzeto po [2], vključno s slikami.

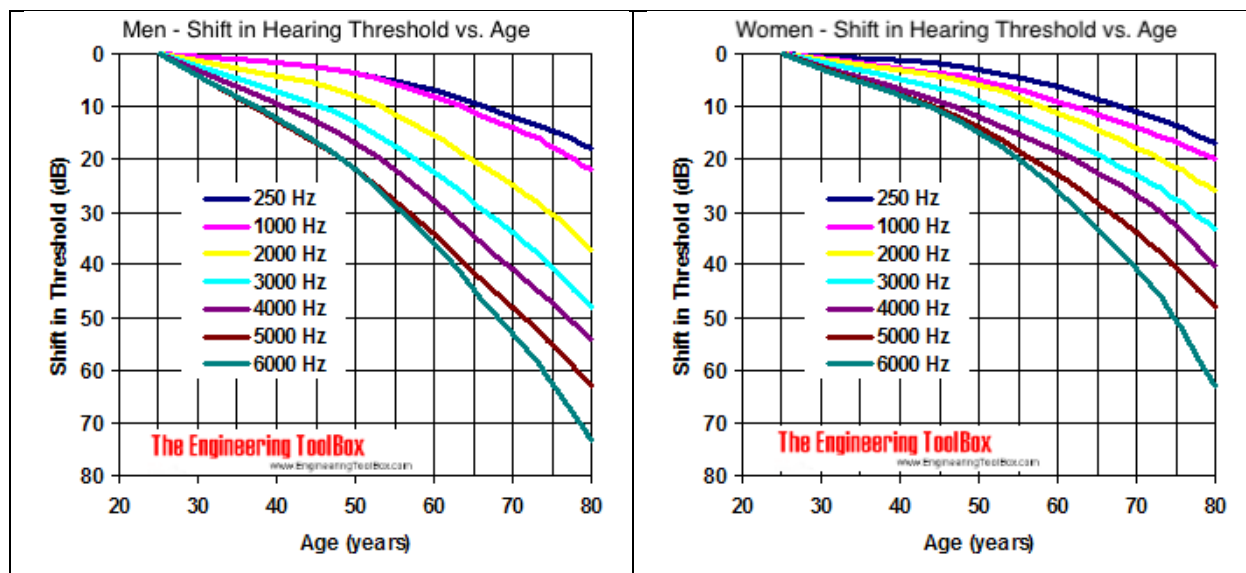
Človeško uho sestavljajo trije deli – zunanje uho, srednje uho in notranje uho. Sluhovod zunanjega ušesa je ločen od zrakom napolnjene bobnične votline v srednjem ušesu z bobničem. Srednje uho vsebuje tri majhne koščice, ki sodelujejo pri prenosu zvoka, preko ušesne troblje oziroma Evstahijeve cevi pa je povezano tudi z grlom na nivoju nazofarinksa. V notranjem ušesu so otolitski organi (utrakulus, sakulus in polkrožni organi), ki predstavljajo ravnotežni sistem, in kohlea, ki predstavlja slušni sistem.

Ko zvočne zgoščine ali razredčine zanihajo bobnič, se valovanje prenese na slušne koščice (kladivce, nakovalce, stremence) in prek teh do polža. V polžu so številne slušne čutnice z mnogimi dlačnicami, ki se s pomočjo pretakanja tekočine v polžu vzdražijo. Te dražljaji se prenesejo na čutilna živčna vlakna in potujejo po VIII. možganskem živcu (nervus vestibulocochlearis) do središča za sluh v možganih.





Slika 2: Anatomija človeškega ušesa.



Slika 3: Znižanje občutljivosti za zvok s starostjo za moške in ženske. [3]

## Vprašanje

- Ali podatki o osnovni fiziologiji in anatomiji govornega aparata in ušes kaj pomagajo pri razumevanju rezultatov aktivnosti? Če pomagajo, pojasnite kako.

## Viri

[1] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Music/voice.html#:~:text=In%20an%20adult%20male%2C%20the,voice%20averages%20about%20210%20Hz.> (dostop 3.4.2024)

[2] <https://sl.wikipedia.org/wiki/Uho>. (dostop 3.4.2024)

[3] [https://www.engineeringtoolbox.com/age-shift-in-threshold-d\\_1474.html](https://www.engineeringtoolbox.com/age-shift-in-threshold-d_1474.html) (dostop 3.4.2024)