



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



# SLUŠNI APARATI

- diplomski rad -

Mentor: Dr Olivera Klisurić

Kandidat: Ljiljana Pantelić

Novi Sad, 2013

---

*Ovaj rad nastao je kao rezultat stečenog teorijskog i praktičnog znanja tokom studiranja na Prirodno-matematičkom fakultetu.*

*Srdačno se zahvaljujem mentoru, Prof. dr Klisurić Oliveri, kao i Prof. dr Kapor Agneš i Prof. dr Komazec Zoranu koji su uz stručne i pozitivne sugestije, ukazivanjem na greške i njihovim korigovanjem pomogli bržoj izradi ovog rada.*

*Veliku zahvalnost dugujem firmi „Audiovox“ iz Beograda, ordinaciji „Elite“ iz Sremske Mitrovice, Prof. Svetlani Slavnić na ustupljenoj literaturi i stručnoj pomoći, kao i svojoj porodici i svim drugima koji su doprineli izradi ovog rada.*

*Nadam se da će ovaj rad moći da posluži kao vodič ili eventualni priručnik budućim generacijama Prirodno-matematičkog i srodnih fakulteta kao i svima kojima je obrađena tema centar interesovanja.*

---

*Novi Sad, 09. jul 2013. godine*

---

*Ljiljana Pantelić*

## Sadržaj

Uvod.....	5
<b>1.MEHANIČKI TALAS .....</b>	<b>6</b>
1.1. Osnovne veličine potrebne za opisivanje mehaničkog talasa .....	6
1.2. Energija i intenzitet talasa.....	7
1.3. Prelamanje i odbijanje talasa.....	9
1.4. Superpozicija i interferencija talasa .....	9
1.5. Stojeci talas.....	11
<b>2.ZVUK.....</b>	<b>13</b>
2.1 Frekvencija i brzina talasa.....	13
2.2. Zvučni izvori. Rezonancija kod zvuka .....	15
2.3. Intenzitet zvučnog talasa.....	19
2.4. Akustička impedancija. Prenošenje zvuka na granici dveju homogenih sredina .....	22
2.5. Visina i boja tona.....	23
<b>3. LJUDSKO UVOD KAO SLUŠNI APARAT .....</b>	<b>24</b>
3.1. Anatomija uva .....	24
3.1.1. Spoljašnje uvo.....	25
3.1.2. Srednje uvo .....	25
3.1.3. Unutrašnje uvo .....	26
3.2. Osnovi fiziologije sluha .....	27
<b>4. METODE ISPITIVANJA SLUHA.....</b>	<b>32</b>
5.1. Zvučne viljuške .....	32
5.2. Audiometrija .....	34
5.3. Impedansmetrijska audiometrija .....	37
<b>5. OŠTEĆENJA SLUHA .....</b>	<b>39</b>
<b>6. SLUŠNI APARATI .....</b>	<b>43</b>
6.1. Podela slušnih aparata.....	43
6.2. Sastavni delovi i princip rada slušnog aparata.....	45
6.3. Podešavanje slušnog aparata .....	51
6.4. Osnovno održavanje slušnih aparata.....	52
6.5. Postavljanje slušnih aparata .....	53

6.6. Šta nam može pružiti slušni aparat .....	55
6.7. Čuti i razumeti.....	56
6.8. Eksperimentalna potvrda.....	57
ZAKLJUČAK.....	59
 LITERATURA .....	60
BIOGRAFIJA.....	61
 KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....	62
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	63

## ***Uvod:***

U ovom diplomskom radu osnovni cilj je analiza pojma ***slušni aparati*** i oblasti vrlo blisko vezane sa njim: mehanički talas, zvuk, anatomija uva, fiziologija uva, oštećenja sluha, audiologija i složenost i primena slušnih aparata.

Posle uvodne reči biće opisan mehanički talas, a potom i zvuk sa svim svojim karakteristikama, a prvenstveno njegovo dejstvo na ljudsko uvo.

Sledeće poglavlje daće Vam uvid u građu uva i objašnjava kako se zvuk prostire kroz slušni organ. Zatim će biti objašnjeno oštećenje sluha i merenje oštećenja sluha.

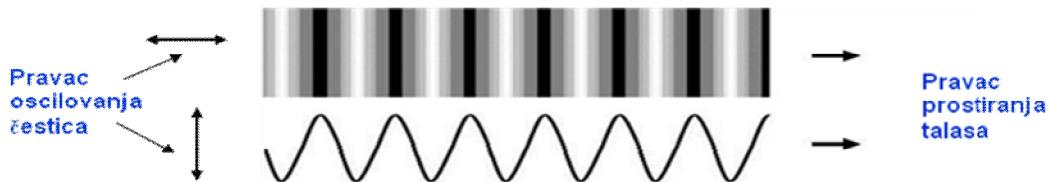
Poglavlje o slušnim aparatima, neće obrađivati samo jedan model slušnog aparata, već kroz osnovnu blok šemu, princip rada, podelu slušnih aparata po načinu rada, nošenja i načinu izrade, daje uvid u slušne aparate i njihovu složenost.

Većina nas shvata sluh kao nešto što se samo po sebi podrazumeva. On ima značajnu ulogu u našem životu. Pa ipak, dok je sve u redu, mi i ne obraćamo pažnju na sluh. Od samog rođenja govor se razvija kroz razlikovanje smisaonih govornih zvukova od buke u okolini. Oštećenje sluha umanjuje ovu sposobnost. Srećom, danas znamo mnogo više o oštećenju sluha nego ranije i u stanju smo mongo više da pomognemo. Ovaj rad će Vam pomoći da razumete oštećenje sluha. Ispričaće Vam kako uvo funkcioniše. Objasniće Vam način na koji slušni aparati pomažu u prevazilaženju problema osoba sa oštećenim sluhom.

## 1. MEHANIČKI TALAS

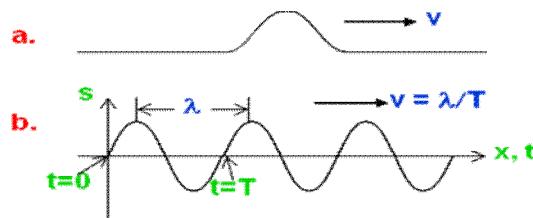
Talasno kretanje predstavlja kretanje poremećaja, odnosno oscilacije koje prenose energiju kroz posmatranu sredinu bez transporta supstancije. Ukoliko one izazivaju promene u materijalnoj sredini, poput vode, vazduha i čvrstih tela, nazivaju se *mehanički talasi*. Pored mehaničkih postoje i *elektromagnetni talasi* u koje spadaju: talasi vidljive svetlosti, radiotalasi, ultraljubičasti i infracrveni talasi. Oni predstavljaju periodičnu promenu električnog polja koja je praćena promenom magnetnog polja i za njihovo prostiranje nije potrebna materijalna sredina. Iako se po svojoj fizičkoj prirodi oni suštinski razlikuju, mehaničke i elektromagnetne talase je matematički moguće opisati na isti način.

Mehanički talasi nastaju prenošenjem oscilacija sa jedne na drugu česticu u određenom pravcu. Oni mogu biti *longitudinalni*- ukoliko se pravac oscilovanja čestica poklapa sa pravcem prostiranja talasa i *transverzalni*- kada je oscilovanje čestica normalno na pravac prostiranja talasa (Slika 1.). Za transverzalne talase je karakteristično da se prostiru samo kroz čvrsta tela.



Slika 1. Prikaz mehaničkog talasa

Talas se može javiti kao izolovani poremećaj koji se u vidu pulsa kreće kroz posmatranu sredinu pa se naziva *pulsni talas* (Slika 2.a.) ili se prostire periodično u toku nekog vremena i tada se naziva *kontinuirani talas* (Slika 2.b.). Dakle, kontinuirani talasi se periodično ponavljaju u prostoru i vremenu.



Slika 2. Prikaz pulsног (a.) i kontinuiranog talasa (b.)

### 1.1. Osnovne veličine potrebne za opisivanje talasnog kretanja

*Talasna dužina ( $\lambda$ )* predstavlja najmanje rastojanje između bilo koje dve čestice sredine koji osciluju u fazi (Slika 2. b.).

*Period ( $T$ )* oscilovanja je vreme trajanja jedne oscilacije. To je vreme potrebno da telo iz jedne tačke putanje dospe u tu istu tačku, sa istim smerom brzine (Slika 2. b.).

Inverzna veličina periodu talasa je *frekvencija* ( $\nu$ ) i ona predstavlja broj oscilacija u jedinici vremena  $\nu = \frac{1}{T}$ . Jedinica je  $s^{-1}$  ili Hz.

Udaljenost delića sredine od njihovog ravnotežnog položaja se naziva *elongacijom* ( $x$ ), a maksimalna udaljenost od ravnotežnog položaja *amplitudom talasa* ( $x_0$ ).

Talasi se prostiru određenom brzinom koja zavisi od osobina sredine u kojoj je talas nastao i kroz koju se prostire. Ukoliko talas pređe rastojanje jednako talsnoj dužini za vreme od jednog perioda i ukoliko je poznata njegova talasna dužina, brzina talasa se definiše kao:  $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$  (Slika 2. b.).

## 1.2. Energija i intenzitet talasa

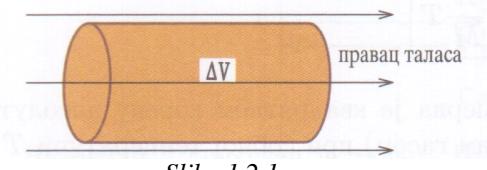
Talasom dolazi do prenošenja nekog oblika energije od jedne do druge tačke sredine kroz koju se talas prostire. Mehaničkim talasom se prenosi mehanička energija, koja je jednak zbiru kinetičke i potencijalne energije čestica koje osciluju i iznosi:

$$E_1 = E_k + E_p = \frac{1}{2} m_o \omega^2 x_o^2,$$

gde je  $m_o$  jedinična masa,  $\omega$  kružna frekvencija, a  $x_o$  amplituda oscilovanja.

U delu sredine zapremine  $\Delta V$  (Slika 1.2.1.), koja sadrži  $N$  čestica, energija talasa je:

$$E = N \cdot E_1 = N \cdot \frac{1}{2} m_o \omega^2 x_o^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 x_o^2,$$



Slika 1.2.1.

gde je  $m = N \cdot m_o$  ukupna masa čestica u zapremini  $\Delta V$ . Kako je  $m = \rho \cdot V$ , dobija se:

$$E = \frac{1}{2} \rho \omega^2 x_o^2 \cdot \Delta V$$

Energija dela talasa u nekoj sredini proporcionalana je kvadratu frekvencije i kvadratu amplitude oscilovanja.

*Gustina energije* ( $\omega_\rho$ ) koja predstavlja energiju jedinične zapremine, dobija se kada se energija talasa ( $E = \frac{1}{2} m x_o^2 \omega_0^2$ ) podeli zapreminom  $V$ :

$$\omega_\rho = \frac{E}{V} = \frac{\frac{1}{2} m x_o^2 \omega_0^2}{V},$$

a kako je  $\rho = \frac{m}{V}$ , sledi da je:

$$\omega_\rho = \frac{1}{2} \rho x_0^2 \omega_0^2.$$

Sva energija koja se našla u jednom trenutku u valjku, proći će kroz površinu  $S$  u toku jedne sekunde, što predstavlja energetski fluks:

$$\Phi = \frac{\omega_\rho S h}{1s} = \omega_\rho S v = \frac{1}{2} \rho x_0^2 \omega_0^2 S v,$$

gde je  $\rho$  gustina sredine u kojoj se talas prostire,  $x_0$  amplituda, a  $v$  brzina talasa.

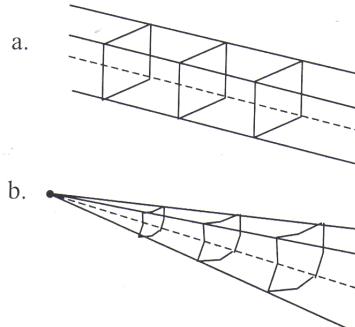
Energetski fluks po jedinici površine predstavlja *intenzitet talasa*:

$$I = \frac{\Phi}{S} = \frac{1}{2} \rho x_0^2 \omega_0^2 v \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right].$$

Intenzitet talasa zavisi od karakteristika sredine ( $\rho$ ) i karakteristika samog talasa (amplitude, frekvencije i brzine prostiranja).

Ovakva formulacija je karakteristična za slučaj ravnog talasa kod koga je talasni front ravna površina (Slika 1.2.2.a.), dok se u slučaju tačkastog izvora (talasni front je sfera) energija širi kroz prostor pa će intenzitet talasa opadati sa kvadratom rastojanja (Slika 1.2.2.b.):

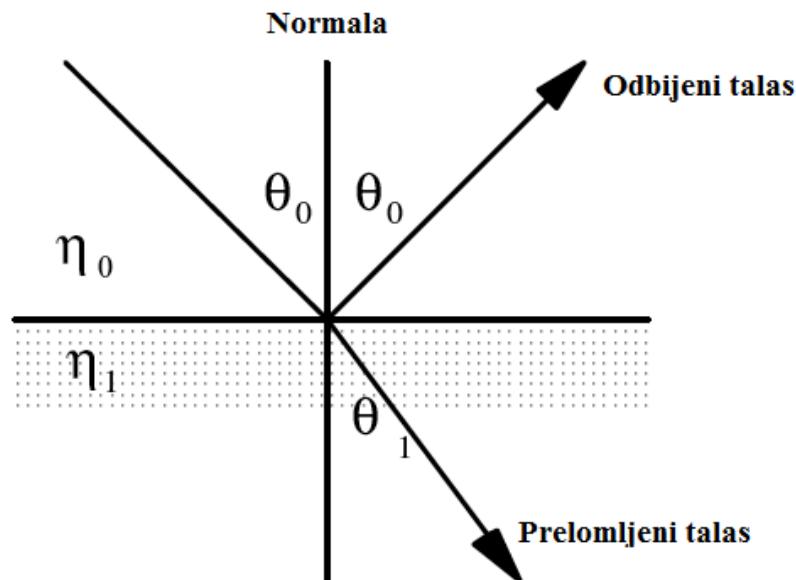
$$I = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Phi}{4\pi r^2}.$$



Slika 1.2. Izgled talasnog fronta ravnog talasa (a) i tačkastog izvora (b)

### 1.3. Prelamanje i odbijanje talasa

Kada talas nađe na graničnu površinu dve sredine u kojima se prostire različitim brzinama, on se delimično odbija (vraća se u istu sredinu), a delimično prelama (prelazi u drugu sredinu). Na slici 1.3. su upadni, odbijeni i prelomljeni talas predstavljeni zracima. Uglovi  $\theta_o$ ,  $\theta_o$  i  $\theta_1$  su upadni, odbojni i prelomni ugao.



Slika 1.3. Prelamanje i odbijanje talasa

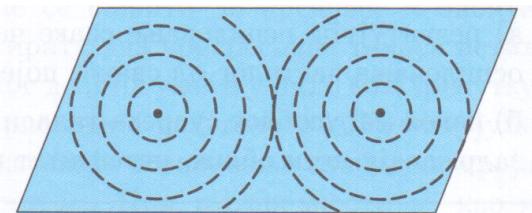
- Odbijanje talasa: ukoliko ravan talas dolazi do granične površine dve sredine i odbijeni talas će biti ravan. Pri odbijanju talasa važi:
  - a) Upadni zrak, normala i odbijeni zrak pripadaju istoj ravni;
  - b) Odbijeni ugao jednak je upadnom uglu.
- Prelamanje talasa: pri prelamanju ravnog talasa na graničnoj površini dveju sredina i prelomljeni talas je takođe ravan. Pri prelamanju talasa važi:
  - a) Upadni zrak, normala i prelomljeni zrak pripadaju istoj ravni;
  - b) Sinusi upadnog i prelomnog ugla odnose se kao brzine talasa u tim sredinama:

$$\frac{\sin \theta_0}{\sin \theta_1} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Ukoliko je brzina u drugoj sredini manja nego u prvoj, tada se talas prelama ka normali, a ukoliko je brzina u drugoj sredini veća, onda je prelamanje od normale.

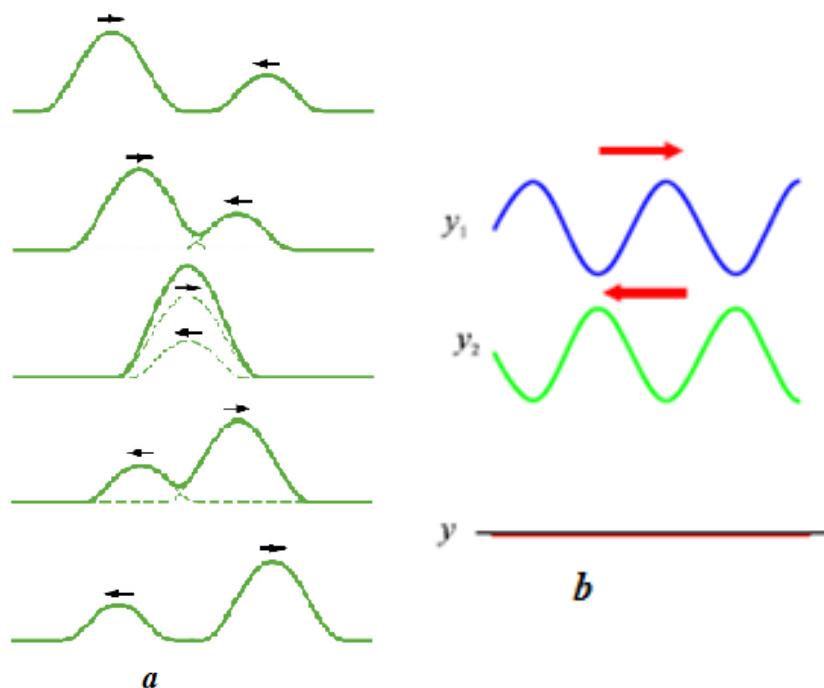
### 1.4. Superpozicija i interferencija talasa

Kroz jednu sredinu mogu se prostirati dva ili više talasa iz različitih izvora. Ako npr. bacimo dva kamenčića na površinu vode (Slika 1.4.1.), od mesta upada kamenčića u vodu širiće se kružni talasi. Oni će pri susretu prolaziti jedan kroz drugi, a posle razilaženja će opet imati isti, kružni oblik sa centrima u mestu pada. Na isti način ponašaju se i zvučni talasi. U oblasti susreta (preklapanja) talasa dolazi do superpozicije, pri čemu čestice osciluju rezultujućim pomeranjem.



Slika 1.4.1. Superpozicija talasa

Superpoziciju možemo demonstrirati ako na zategnutom užetu proizvedemo dva talasna impulsa, koji se kreću jedan ka drugom. Na Slici 1.4.2.a. u momentu susreta pojačava im se amplituda, dok na slici 1.4.2.b. rezultujuća amplituda je jednaka nuli.

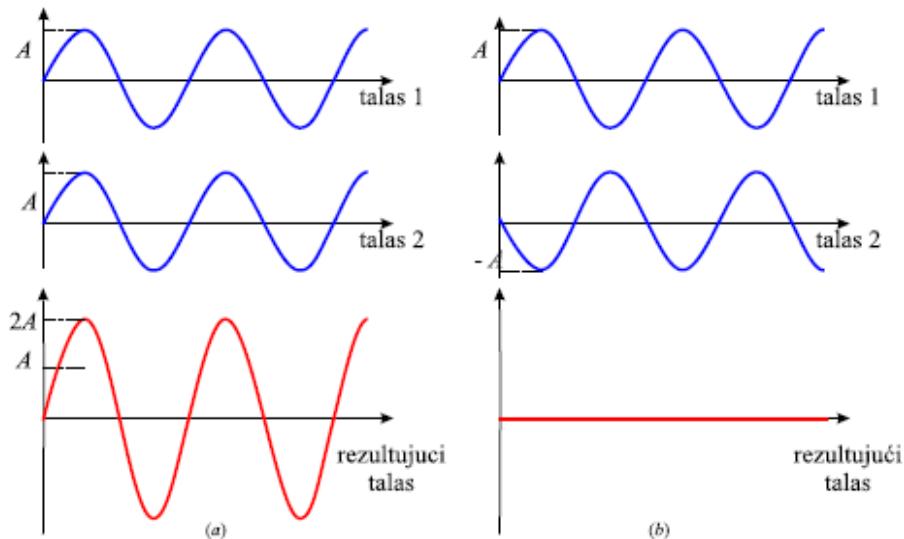


Slika 1.4.2. a- pojačanje amplitud i b- rezultujuća amplituda jednaka nuli

Princip superpozicije važi i za longitudinalni i za transverzalni talas, bez obzira na njihovu prirodu.

Kombinacija dva ili više prostih u složeni talas naziva se *interferencija*. Ona može biti:

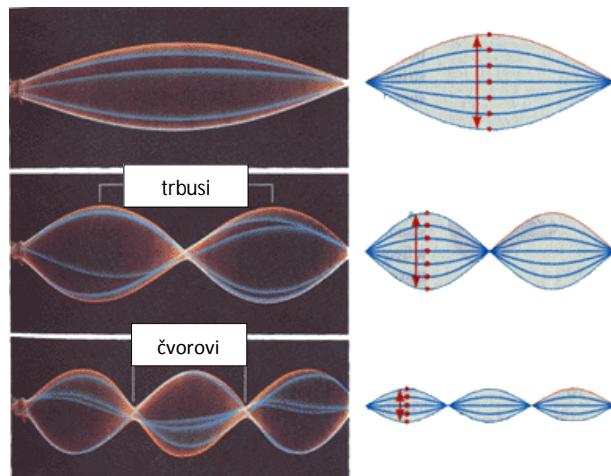
1. *Konstruktivna interferencija*. Slučaj kada dva talasa u određenu tačku dolaze u fazi (Slika 1.4.3.a), deformacije se sabiraju i dobija se rezultujući talas sa dvostruko većom amplitudom od individualnih talasa.
2. *Destruktivna interferencija*. Slučaj kada dva talasa u određenu tačku dolaze u kontra fazi (Slika 1.4.3.b), deformacije u sredini su suprotno usmerene, a jednake, pa je ukupna amplituda jednaka nuli, odnosno talasi se potpuno poništavaju.



Slika 1.4.3. Prikaz konstruktivne (a) i destruktivne (b) interferencije

### 1.5. Stojeći talas

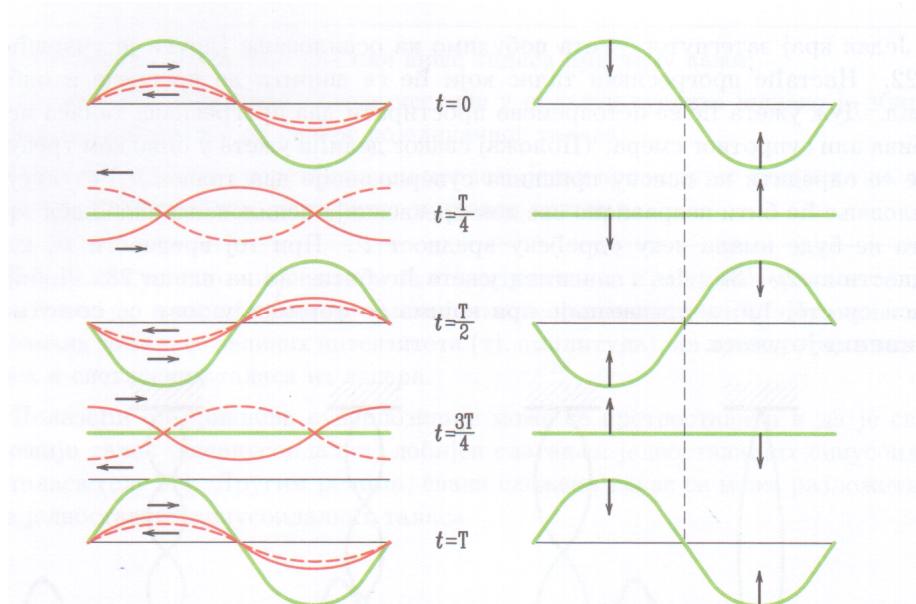
U slučaju superpozicije dva identična talasa koji se kreću u suprotnim smerovima javlja se *stojeći talas* (Slika 1.5.1.).



Slika 1.5.1. Stojeći talas

Kod stojećih talasa jasno se uočavaju mesta koja ne osciluju-*čvorovi* i mesta koja osciluju sa najvećom amplitudom-*trbusi*. Trbusi su mesta sa najvećom energijom, dok je ona u čvorovima jednaka nuli. Rastojanje između dva čvora ili trbuha jednako je  $\lambda/2$ .

Ukoliko se posmatraju dva progresivna talasa suprotnih smerova u raznim momentima vremena (Slika 1.5.2.) moguće je uočiti da su u trenutku  $t=0$  talasi u fazi i da izazivaju maksimalno pomeranje čestica sredine u stojećem talasu (Slika 1.5.2.). Nakon četvrtine perioda talasa  $t=T/4$ , svaki od njih se pomera za četvrtinu talasne dužine te su ova dva talasa u suprotnim fazama (Slika 1.5.2.). Tada delići sredine prolaze kroz ravnotežene položaje u oscilatornom kretanju koje vrše. U trenutku  $t=T/2$  talasi su ponovo u fazi i proizvode oscilacije delića sredine suprotne onim u trenutku  $t=0$  (Slika 1.5.2.). U trenutku  $t=3T/4$  ponavlja se sve kao i u trenutku  $t=T/4$ , dok se u trenutku  $t=T$  sve ponavlja kao u  $t=0$ .

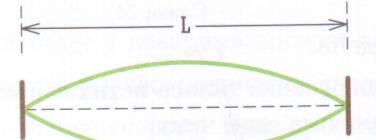


Slika 1.5.2. Nastajanje stoječih talasa.

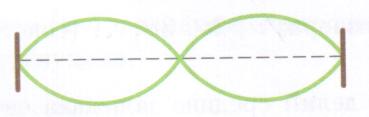
Stojeći talasi nastaju u sredinama ograničenih dimenzija samo pri tačno određenim (sopstvenim) frekvencijama izvora. Najmanja takva frekvencija naziva se osnovna i njoj odgovara prvi stojeći talas (prvi harmonik). Ostale frekvencije su celobrojni umnošci osnovne i njima odgovaraju viši harmonici.

Razmotrimo od čega zavise vrednosti ovih frekvencija na primeru zategnute žice dužine  $L$  (Slika 1.5.3.):

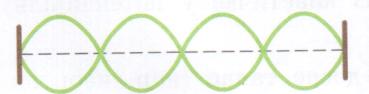
$$\text{Prvi harmonik} \quad L = \lambda_1/2, \quad v_1 = v/\lambda_1 = v/2L,$$



$$\text{Drugi harmonik} \quad L = 2\lambda_2/2, \quad v_2 = v/\lambda_2 = 2v/2L,$$



$$\text{Četvrti harmonik} \quad L = 4\lambda_4/2, \quad v_4 = v/\lambda_4 = 4v/2L.$$


 Slika 1.5.3. Zavisnost  $v$  od  $L$ 

U opštem slučaju je:

$$v = n \cdot \frac{v}{2L}, \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

gde je  $v$  brzina talasa koja je ista za sve frekvencije s obzirom da zavisi od sredine kroz koju se talas prostire.

## 2. ZVUK

Kada govorimo o zvuku, mi prvenstveno mislimo na mehaničke talase koje ljudsko uvo čuje, ali zvuk koji čujemo obuhvata samo mali deo opsega zvučnih talasa koji imaju veliki značaj kako u prirodi, tako i u tehnologiji. Ljudsko uvo je osjetljivo na zvučne talase čiji je opseg od 20 do 20 kHz (kod mladih zdravih osoba). Zvučni talasi su mehanički longitudinalni talasi. Talas nastaje vibriranjem vazduha- zgušnjavanje i razređivanje čestica, koje je srazmerno sa veličinom njihovog pomeranja od ravnotežnog položaja i koje se prostire kroz materijalnu sredinu. Zvučni talasi ljudskog govora proizvode se mehaničkom deformacijom vazduha, prouzrokovanim vibracijama glasnica u grkljanu (*larinksu*). Prenosi se kroz vazduh, vodu i čvrsta tela. Promene pritiska, kod mehaničkih talasa, dovode do pomeranja čestica sredine i oscilovanja ovih čestica oko njihovog ravnotežnog položaja. Za uvo to su promena pritiska na bubnoj opni u ritmu i „boji“, izvora zvuka.

Zvučni talasi, koje ljudsko uvo registruje, najčešće su složene strukture i mogu biti periodični ili aperiodični. U odnosu na ove karakteristike razlikujemo:

1. Ton,
2. Šum i
3. Prasak.

**Ton** predstavlja zvuk koji nastaje periodičnim oscilovanjem izvora. Ima u izvesnom smislu pravilnu oscilaciju, odnosno određenu frekvenciju i amplitudu. Ako je oscilovanje harmonijsko nastaje prost ton, odnosno ton koji se sastoji od jedne jedine sinusne oscilacije, naziva se *čist* ili *prost ton*. Ovakav ton se jako retko javlja u prirodi, mnogo češće se javlja tzv. *složeni ton*- on se sastoji od najmanje dva prosta tona na koje može da se razloži. Razlaganjem anharmonijskog tona na harmonijske tonove od kojih je sastavljen dobija se njegov *akustički spektar*. Složeni ton koji je razložen na dve komponente od kojih jedna ima učestanost jednaku učestanosti složenog tona naziva se *osnovni harmonik*. Druga komponenta ima učestanost nekoliko puta veću od učestanosti složenog tona i nazivaju se *viši harmonici*. Muški instrumenti stvaraju složene tonove sa većim ili manjim brojem harmonika različitih amplituda. Jedan isti ton može da se odsvira na dva različita instrumenta tako da u oba slučaja osnovni harmonici budu isti, ali će viši harmonici sigurno da se razlikuju po frekvenciji i po amplitudi, a pošto viši harmonici određuju boju tona, jasno je da će se osetiti razlika u boji tona.

**Šum** je zvuk koji se sastoji od oscilacija složene, aperiodične prirode. Šum predstavlja veoma složenu i promenljivu oscilaciju i po frekvencijama i po amplitudama. Nastaje pri glasnom govoru, vibracijama pri radu mašina, u saobraćaju, eksplozijama itd.

**Prasak ili zvučni udar** predstavlja složeni zvučni talas, koji naglo nastaje, brzo dostiže maksimalni intenzitet, da bi isto tako brzo nestao bez ponavljanja.

Za čoveka, zvuk je osnovno sredstvo kako za prijem, tako i za predaju informacija. Kako je vazduh čovekovo prirodno okruženje, tako je i prenos zvuka kroz vazduh prirodan način slušanja.

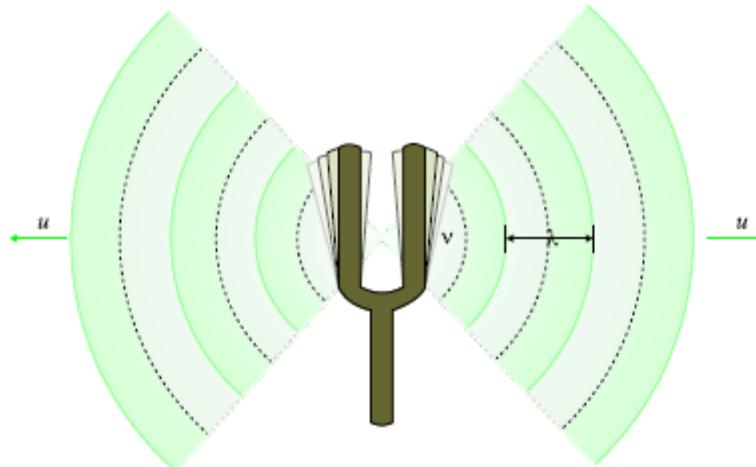
### 2.1. Frekvencija i brzina zvuka

Ljudsko uvo je sposobno da čuje zvukove čije se osnovne frekvencije nalaze u granicama od 20 Hz do 20 kHz. Ove granice su individualne i ne treba smatrati da su one strogo određene. Osetljivost uva je najveća na frekvenciju od 2000-3000 Hz, a zatim se osetljivost smanjuje i ka većim i ka manjim frekvencijama. Pri običnom govoru frekvencija zvuka ne prelazi 10 kHz. Frekvencije ispod 20 Hz su nečujne za ljudsko uvo, one odgovaraju *infrazvuku*. Primeri infrazvuka su oscilovanje velikih objekata, okretanje ventilatora, zemljotres itd. Tonovi mogu postati tako

visoki da se više ne čuju, to se dešava sa frekvencijom iznad 20 kHz. Ova zona nečujnosti je *ultrazvuk*. Primena ultrazvuka je veoma raznovrsna. Odjaci ultrazvuka se koriste se na moru za određivanje dubine vode, u medicini u dijagnostičke i terapijske svrhe, itd.

Brzina zvuka u vazduhu se može odrediti merenjem vremena za koje zvuk pređe poznati put. Na mestu udaljenosti  $s$  metara od posmatrača proizvede se istovremeno svetlosni i zvučni signal, ako između svetlosnog signala i trenutka kad posmatrač čuje zvuk prođe  $t$  sekundi, onda je

$$\text{brzina zvuka klasičnom relacijom: } v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot v \quad (\text{Slika 2.1.})$$



Slika 2.1. Prostiranje zvučnog talasa od zvučne viljuške brzinom  $v$

Brzina zvučnog talasa zavisi prvenstveno od osobina sredine kroz koju se prostire. U različitim agregatnim stanjima brzina zvuka se može izračunati iz obrasca za brzinu prostiranja longitudinalnog talasa:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

gde  $E$  karakteriše elastične osobine, a  $\rho$  gustina materijalne sredine. U čvrstim telima  $E$  je Jangov (Youngov) modul elastičnosti, u tečnostima to je moduo stišljivosti, a u gasovima je srazmeran pritisku (gasni pritisak pomnožen korekcionim koeficijentom  $k$ ).

Brzina zvuka u vazduhu i drugim gasovima:

$$v = \sqrt{\frac{p \cdot k}{\rho}} = \sqrt{\frac{kRT}{M}}.$$

Koeficijent  $k$  je odnos specifičnih toplota gasa  $c_p/c_v$ , koji za vazduh iznosi 1,41;  $R$ - univerzalna gasna konstanta;  $T$ - apsolutna temperatura; a  $M$ - molarna masa gasa. Iz ovog obrasca može se videti kako se sa pritiskom i temperaturom menja brzina zvuka. Ako se menja pritisak vazduha, a temperatura ostaje ista, onda količnik  $p/\rho$  ostaje isti, jer je gustina gase srazmerna pritisku. Usled toga je brzina zvuka nezavisna od nadmorske visine, iako atmosferski pritisak opada sa visinom. Međutim, ako se promeni temperatura, što je u vazduhu čest slučaj, onda se menja gustina vazduha a sa njom i brzina zvuka.

Gustina je odnos mase i zapremine:  $\rho = \frac{m}{V}$ . Ako sa  $\rho_0$  obeležimo gustinu na  $0^\circ C$ , a sa  $\rho_t$  gustinu na  $t^\circ C$ . Pri zagrevanju gase od  $0^\circ C$  do  $t^\circ C$  masa mu se ne menja, a zapremina se

povećava i iznosi:  $V_t = V_o(1 + \alpha t)$ , gde je  $\alpha = \frac{1}{273}$  koeficijent širenja gasova. Gustina na  $0^\circ C$  je

$\rho_o = \frac{m}{V_o}$ , a na  $t^\circ C$  ona postaje  $\rho_t = \frac{m}{V_o(1 + \alpha t)} \Rightarrow \rho_t = \frac{\rho_o}{(1 + \alpha t)}$ . Iz ovog odnosa i jednačine da

je  $v = \sqrt{\frac{p \cdot k}{\rho}}$  sledi da je:

$$v_t = v_o \sqrt{1 + \alpha t},$$

gde je sa  $v_t$  označena brzina na temperaturi od  $t^\circ C$ , a sa  $v_o$  brzina na  $0^\circ C$ .

Kao što se vidi brzina zvuka u vazduhu raste sa temperaturom. Tako je brzina zvuka u vazduhu na temperaturi  $0^\circ C$  331,5 m/s, na  $20^\circ C$  oko 340 m/s, na  $45^\circ C$  355 m/s itd.

Brzina zvuka u vodi nalazi se na sličan način. U obrascu za brzinu longitudinalnih talasa umesto modula elastičnosti E stavlja se modul stišljivosti vode. Brzina zvuka u vodi iznosi oko 1550 m/s. U morskoj vodi brzina je nešto veća, što zavisi od procenta soli u vodi.

Brzina zvuka se menja sa sredinom i ona je u čvrstim telima i u tečnostima znatno veća nego u vazduhu.

U bezvazdušnom prostoru zvuk se ne prostire.

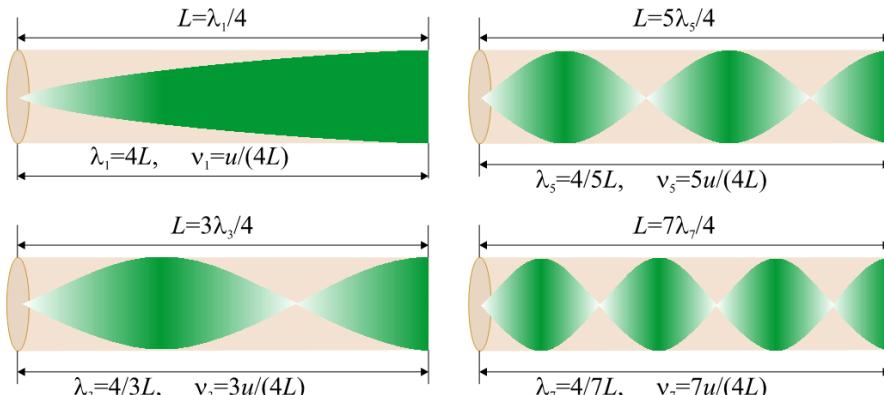
## 2.2. Zvučni izvor. Rezonancija kod zvuka

Izvor zvuka može biti svako telo ili mehanički oscilator koji može pravilno da osciluje u opsegu frekvencija zvuka, a to su: zategnute žice, štapovi, vazdušni stubovi, ploče i membrane. Kako se slušni hodnik može poistovetiti sa vazdušnim stubom, a membrane sa bubnom opnom, u ovom radu neće biti obrađeni zvučni izvori u vidu zategnute žice i štapa.

- a. *Oscilacije vazdušnih stubova-* u njima se mogu obrazovati samo longitudinalni stopeći talasi. Cev sa vazdušnim stubom može biti otvorena na jednom kraju ili na oba (Slika 2.2.1.). Ako je cev otvorena na jednom kraju (Slika 2.2.1.a), onda će se na otvorenom kraju obrazovati trbuš, a na zatvorenom čvor, pa će ovde važiti relacija:

$$\lambda = \frac{4l}{(2n+1)} \quad \text{i} \quad v = \frac{(2n+1)}{4l} \cdot v$$

gde je  $v$  brzina prostiranja longitudinalnog talasa u vazduhu.

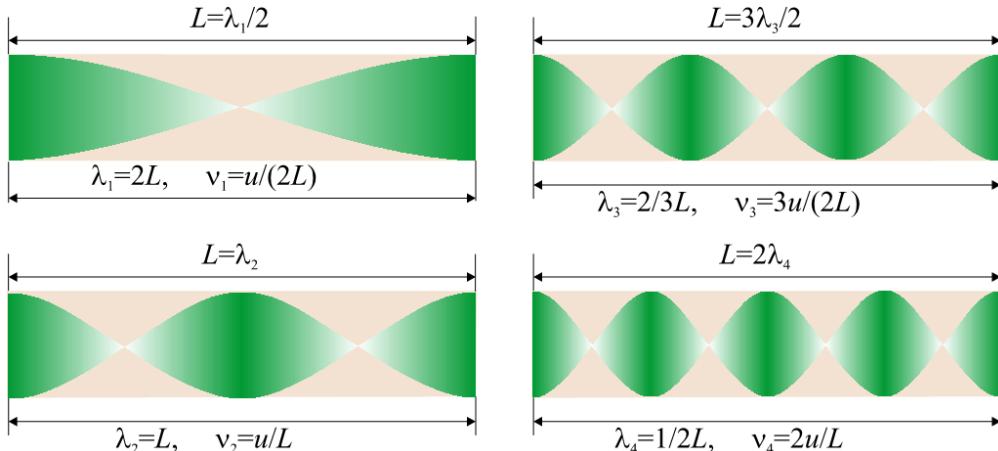


Slika 2.2.1.a Pojava stopećih talasa u cevi sa otvorom na jednom kraju

Ako je cev otvorena na oba kraja (Slika 2.2.1.b), onda će se na njima obrazovati trbusi stojećeg talasa i važiće relacija:

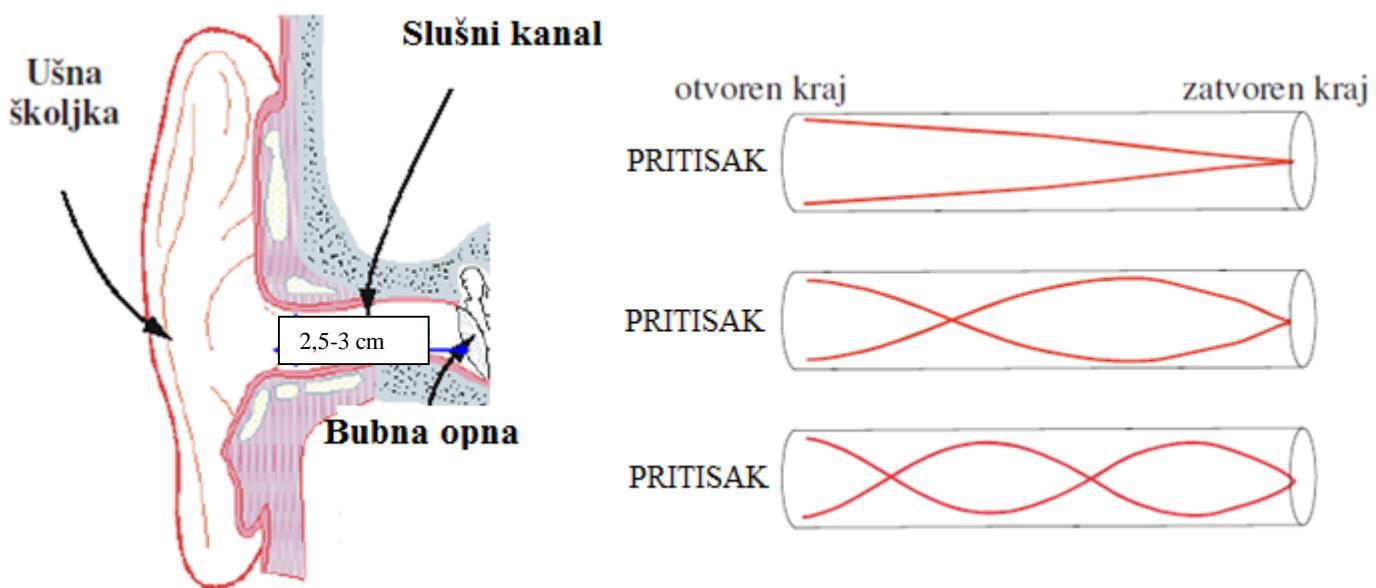
$$\lambda = \frac{2l}{n} \quad \text{i} \quad v = \frac{n \cdot v}{2l},$$

gde je  $n$  broj čvorova, a  $v$  brzina longitudinalnog talasa ili u ovom slučaju brzina zvuka u vazduhu.



Slika 2.2.1.b Pojava stojećih talasa u cevi sa otvorom na oba kraja

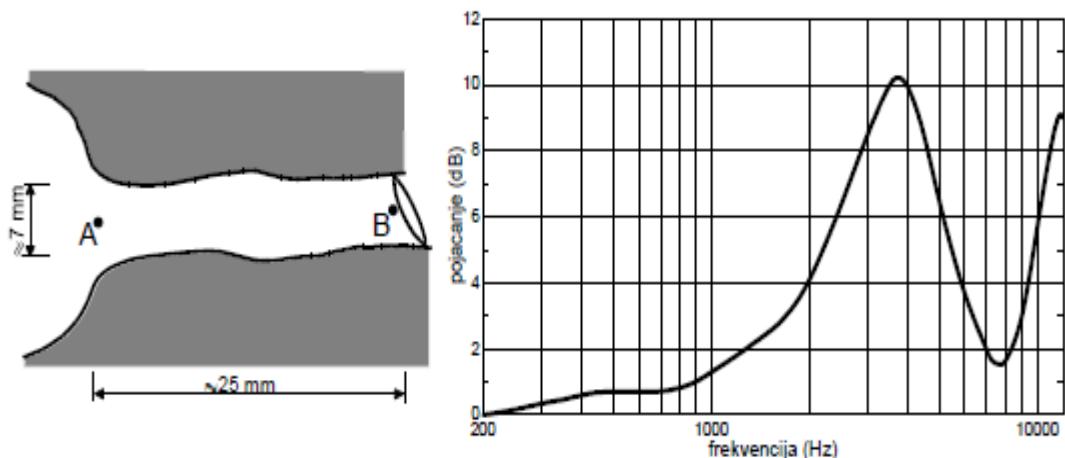
Primer vazdušnog stuba sa otvorom na jednom kraju jeste čovečije uvo tj. spoljašnji slušni hodnik. Slušni hodnik je cev dužine 25-30 mm i prečnika oko 7 mm (Slika 2.2.2.). Na kraju hodnika nalazi se bubna opna, tako da je to u akustičkom smislu cev otvorena na jednom svom kraju i zatvorena na drugom. Slušni hodnik ima funkciju zvukovoda koji vezuje srednje uvo sa spoljašnjom sredinom. Kroz njega se iz spoljašnje sredine prostire zvučni talas na putu ka bubnoj opni.



Slika 2.2.2. Poprečni presek spoljašnjeg uva i pojava stojećih talasa u slušnom kanalu

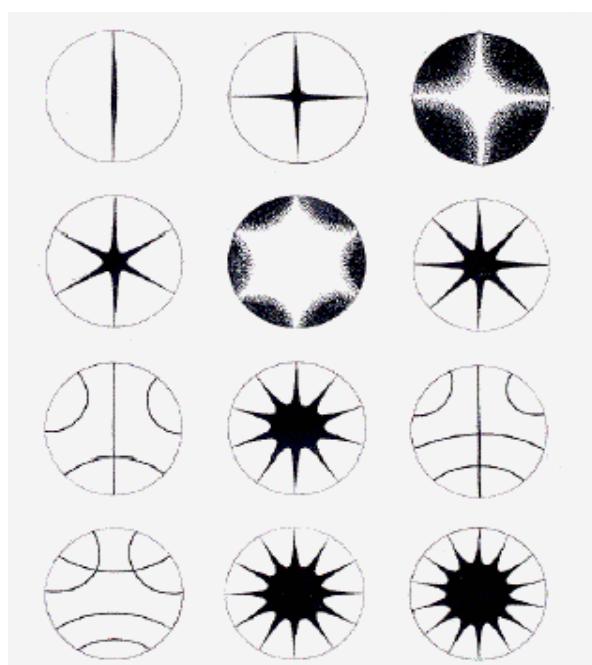
Na slici 2.2.3. prikazan je izgled slušnog hodnik u preseku. Za slučaj dimenzija označenih na slici je prikazana njegova prenosna karakteristika. Ona je definisana kao odnos odziva i pobude, tj. kao razlika nivoa zvuka na površini bubne opne (tačka B) i ulaza u hodnik (tačka A). Sa dijagrama se vidi da slušni hodnik unosi izvesno selektivno pojačanje u nekim

oblastima frekvencija. Ono je posledica pojave rezonanci u cevi koje utiču na povećanje nivoa zvuka na bubnoj opni. Pošto slušni hodnik predstavlja cev zatvorenu s jedne strane, u njemu se javljaju rezonance ilustrovane tipa kao na slici 2.2.2. S dužinom koju prosečno ima, prva rezonanca kanala je u oblasti 3 – 4 kHz. Individualne varijacije dimenzija slučnog kanala od osobe do osobe čine da i frekvencije njegovih rezonanci variraju u nekom malom intervalu.



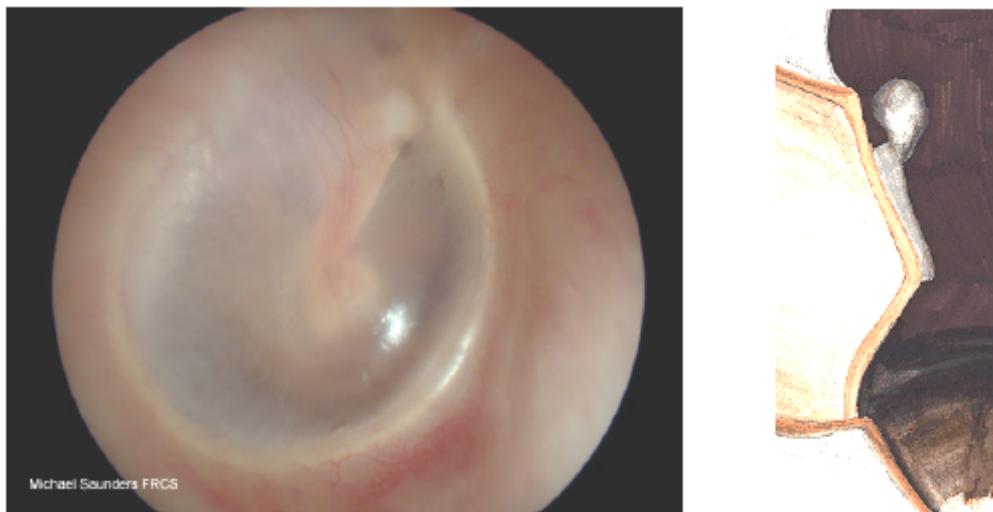
Slika 2.2.3. Pojave rezonanci u slušnom hodniku

- b. *Ploče ili membrane* od elastičnog materijala mogu takođe da osciluju, ali su njihove oscilacije znatno složenije, jer se vrše u dva ili više pravca po površini ploče. Na pločama se obrazuje dvodimenzionalni stopeći talas, tada se na ploči javljaju čvorovi stopećeg talasa duž određenih linija. To su tzv. čvorne linije ili zvučne figure. Ove zvučne figure mogu biti vidljive ako se ploča postavi horizontalno, pospe sitnim-lakim prahom i violinskim gudalom dovede u oscilovanje. Tada se prah skuplja u čvornim linijama, jer se odbacuje sa mesta gde se vrše oscilacije. Na slici 2.2.4. su dati primjeri čvornih linija na kružnim pločama.



Slika 2.2.4. Pojava čvornih linija na kružnim pločama

Primer membrane jeste bubna opna. Ona predstavlja spoj spoljašnjeg i srednjeg uva. To je vrlo tanka membrana, debljine oko 0,1 mm. Fotografija njenog spoljašnjeg izgleda prikazana je na slici 2.2.5. Vidi se da je zbog male debljine ona skoro providna, pa se kroz nju nazire privezana prva slušna koščica (čekić). Zbog tako male debljine bubna opna je lako podložna cepanjima pod dejstvom veoma jakih zvučnih pobuda. Na slici 2.2.5. vidi se da je bubna opna postavljena pod izvesnim uglom u odnosu na osu slušnog kanala. U realnosti ona nije ravna, kao što su ravne membrane raznih mikrofona, već ima izražen konusni oblik.



Slika 2.2.5. Fotografija bubne opne i njen poprečni presek

Zbog konusnog oblika bubne opne, vidljivog na slici 2.2.5. i zbog činjenice da je jedan mali mišić stalno drži u zategnutom stanju, bubna opna ne radi kao jednostavna pasivna membrana. Struktura njenog oscilovanja relativno je složena, jer na različitim frekvencijama različiti delovi opne učestvuju u oscilovanju. Tako se s porastom frekvencije smanjuje efektivna površina opne koja učestvuje u oscilovanju.

Zvučni izvori su mehanički oscilatori na kojima se mogu izvoditi prinudne oscilacije. Svaki zvučni izvor može biti doveden u rezonanciju pomoću periodične sile, koju obično daje neki drugi oscilator odnosno zvučni izvor. Rezonancija je pojava koja nastaje kod prinudnih oscilacija. S obzirom da periodična sila neprekidno saopštava rad oscilatoru, njegova energija mora da raste, a amplitudu oscilatora se tako povećavaju. Ova pojava naglog povećanja amplitude prinudnih oscilacija, kada je frekvencija prinudne sile jednaka sopstvenoj frekvenciji oscilatora, naziva se rezonancija. Rezonancija se kod zvuka može jednostavno prikazati na vazdušnom stubu pomoću zvučne viljuške. U sud sa vodom uronjena je šira staklena cev otvorena na oba kraja. Podizanjem i spuštanjem cevi menja se dužina vazdušnog stuba  $l$  u njoj. Kad se zvučna viljuška dovede u oscilovanje i prinese gornjem otvoru cevi, pod njenim dejstvom u vazdušnom stubu proizvodiće se prinudne oscilacije. Sopstvena frekvencija vazdučnog stuba je:

$$\lambda = \frac{4l}{(2n+1)} \quad \text{i} \quad v = \frac{(2n+1)}{4l} \cdot v_0$$

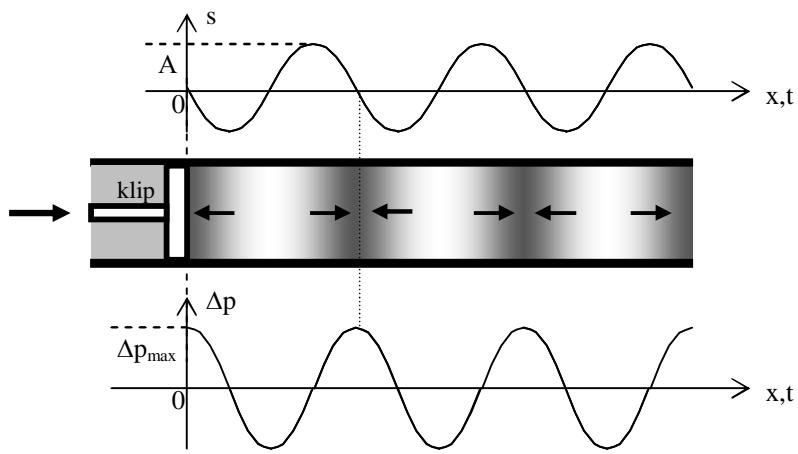
Kada se podesi dužina vazdušnog stuba  $l$ , pri kojoj vazdušni stub ima sopstvenu frekvenciju jednaku frekvenciji zvučne viljuške, nastupiće rezonancija. Tada nastaje intenzivno oscilovanje vazdušnog stuba, što će se prepoznati povećanjem intenziteta tona. Kada je oscilovala samo zvučna viljuška, zračenje zvučne energije je malo usled njene male površine, međutim, kada nastupi rezonancija, onda pored zvučne viljuške zrači i vazdušni stub, pa se usled većeg emitovanja zvučne

energije ton jače čuje. Da bi zvučni izvor davao veću jačinu tona, primenjuju se tela, odnosno zvučni oscilatori na kojima se može izazvati rezonancija. Ta tela se zovu *rezonatori*.

Zvučni talasi ulaze u sistem kroz slušni hodnik koji predstavlja neku vrstu akustične cevi koja je zatvorena na jednom kraju i dugačka oko 2,7 cm. Vazdušni stub u ušnom kanalu će rezonirati (pojačavati) za zvuk talasne dužine koja je jednaka njegovoj četverostrukoj dužini. Osnovna rezonantna frekvencija je  $v = v/4L = 3 \text{ kHz}$ . Ovaj rezonantni efekat je razlog zašto je ljudsko uvo najosjetljivije za frekvencije oko 3 kHz.

### 2.3. Intenzitet zvučnog talasa

Na slici 2.3.1. je prikazana cev ispunjena vazduhom, u kojoj se nalazi klip koji osciluje frekvencijom koja se nalazi u oblasti čujnosti. Pomeranje klipa izaziva trenutnu kompresiju gase koji se nalazi neposredno uz klip. Ovaj poremećaj se prenosi sa sloja na sloj izazivajući oscilovanje molekula vazduha u pravcu prostiranja poremećaja. Kao rezultat ovog poremećaja nastaje longitudinalni- zvučni talas, koji se može predstaviti kao promena udaljenosti molekula gase ( $s$ ) od ravnotežnog položaja ili kao promena pritiska u gasu ( $\Delta p$ ) u pravcu prostiranja poremećaja. Na slici 2.3.1. je data promena pritiska, kao i udaljenost molekula od ravnotežnog položaja.



Slika 2.3.1. Nastajanje longitudinalnog zvučnog talasa

Najmanje pomeranje molekula je tamo gde je promena pritiska po apsolutnoj vrednosti najveća. Intenzitet zvučnog talasa može se napisati na dva načina:

1. Preko amplitude oscilovanja molekula:  $I = \frac{\rho x_o^2 \omega_o^2 v}{2}$ ,
2. Preko amplitude pritiska  $\Delta p_m$ :  $I = \frac{\Delta p_m^2}{2\rho v}$ , a jedinica je  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$ .

Relacija  $\Delta p_m = \rho \omega_o V x_o$  pokazuje da maksimalna promena pritiska u gasu kroz koji se prostire zvučni talas zavisi od karakteristika gasa ( $\rho$ ) i karakteristika talasa ( $\omega_o, V, x_o$ ).  $\Delta p_m$  se još naziva i *zvučni pritisak*.

Pored intenziteta kao važna fizičke karakteristike zvuka, u širokoj upotrebi je veličina koja se naziva **nivo intenziteta zvuka ( $L$ )**. Koristi se uglavnom za upoređivanje dva zvuka i predstavlja logaritamski odnos njihovih intenziteta:

$$L = k \cdot \log(I_2/I_1).$$

Koefficijent  $k$  može imati vrednost 1 i tada je jedinica za nivo intenziteta Bel. Ako je  $k=10$  jedinica je dese puta manja- **decibel dB**. Koji se uglavnom koristi u praksi  $dB = 10 \cdot \log(I_2/I_1)$ .

Zvuk deluje na organ sluha i izaziva subjektivne reakcije koje ne zavise samo od objektivnih osobina zvuka, već i od osobina slušnog aparata. *Subjektivna jačina zvuka* (glasnost) posledica je nesavršenosti ljudskog uva koje na zvuke iste objektivne jačine, a različite frekvencije reaguje različito, tj. zvuke više frekvencije doživljavamo kao jače, iako objektivno oni to ne moraju da budu. Nivou intenziteta zvuka odgovara veličina koja se naziva **nivo čujnosti (S)**. Intenzitet zvuka  $I$  odgovaraće nivou čujnosti:

$$S = k \log \frac{I}{I_o},$$

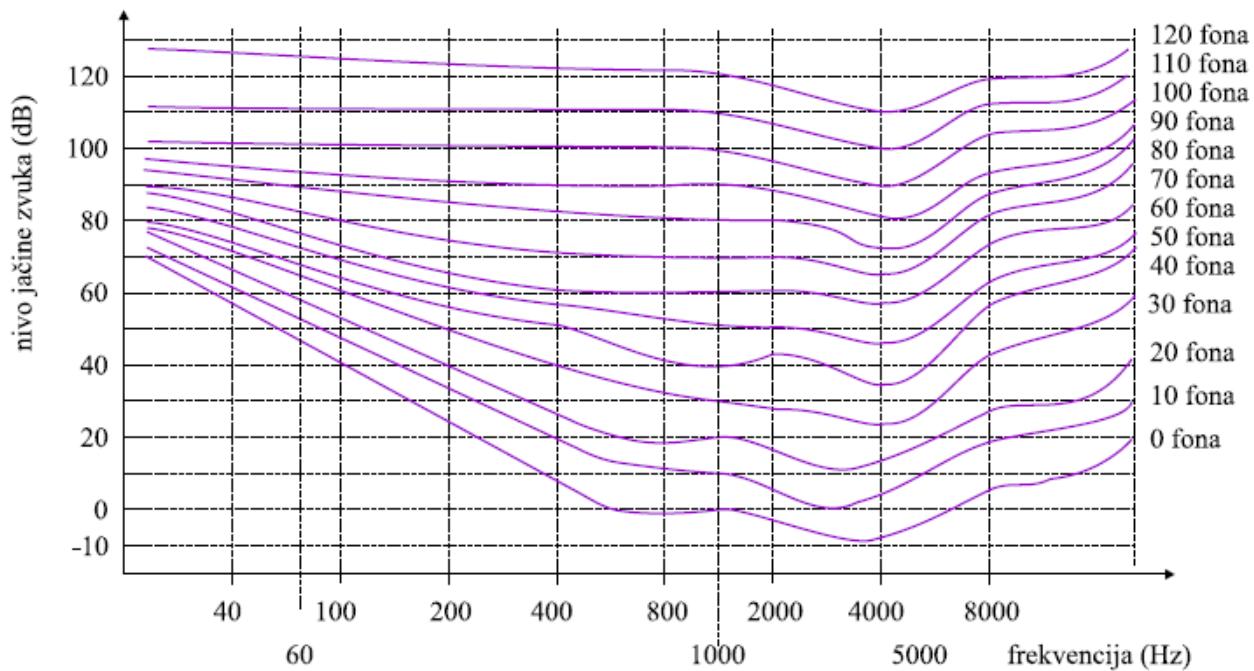
gde je  $I_o$  minimalni intenzitet zvuka za ljudsko uvo ili referentni nivo.

Jedinica za nivo čujnosti je **fon**. Nivo intenziteta  $L$  i nivo čujnosti  $S$  se definišu relacijama istog oblika. Razlikuju se jedino u definiciji koefficijenta  $k$ , koji ovde nema konstantnu vrednost, već njegova vrednost zavisi od frekvencije i intenziteta zvuka.  $k=10$  samo za zvuk frekvencije 1000 Hz, tada su vrednosti  $L$  i  $S$  jednake.

Najniži intenzitet zvuka koji ljudsko uvo čuje naziva se **prag čujnosti**. Prag čujnosti na frekvenciji od 1 kHz ima nivo zvučnog pritiska od 0 dB, kada se uvo nadražuje zvukom koji izaziva zvučni pritisak od  $p_o = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa ( $I_o = 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>). Signali koji su ispod ove granice nečujni su za ljudsko uvo. Odgovarajući minimalni nivo intenziteta će biti  $L_o = 10 \log \frac{I_o}{I_o} = 10 \log 1 = 0$  dB, a nivo čujnosti je  $S_o = 0$  fona.

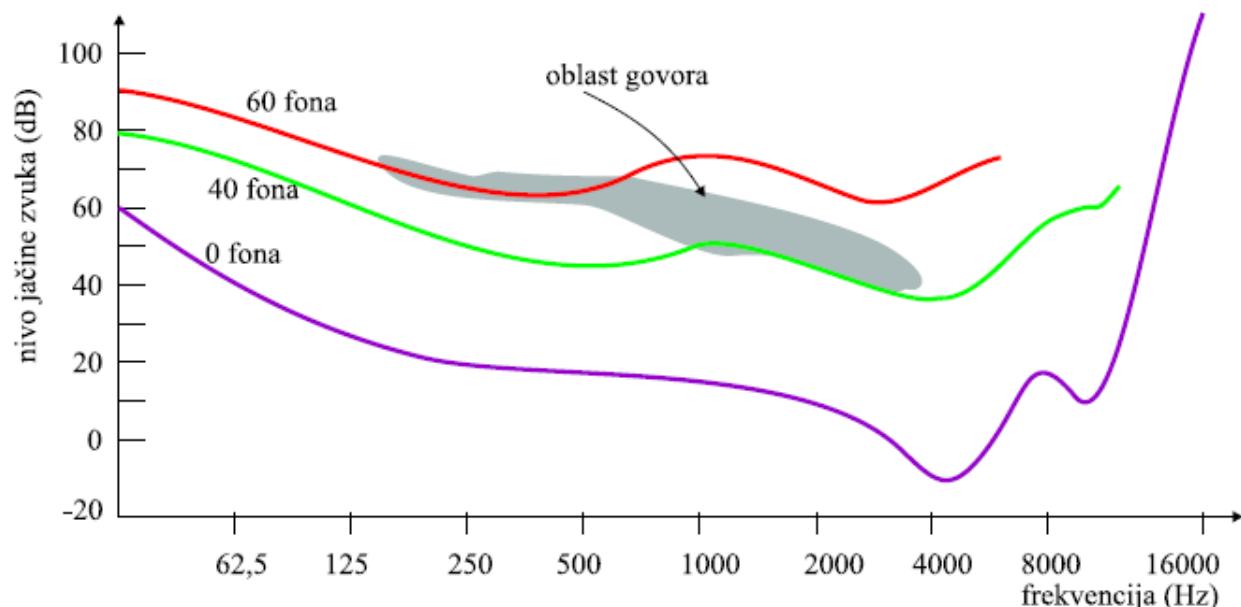
Gornja granica određena je pojavom bola do koga dolazi zbog velikih pomeranja pojedinih elemenata u organu sluha. Zvuci još jači od ovog oštetile bi uvo, zato se gornja granica naziva i **granica bola**. Na frekvenciji od 1 kHz ona odgovara pritisku od  $p_{\max} = 20$  Pa ( $I_{\max} = 1$  W/m<sup>2</sup>). Maksimalnom intenzitetu zvuka odgovara maksimalni nivo intenziteta  $L_{\max} = 10 \log(I_{\max}/I_o) = 10 \log(1/10^{-12}) = 120$  dB.

Zbog postojanja frekventne zavisnosti praga čujnosti i granice bola, nivo zvuka ne može biti prava mera za subjektivni osećaj njegove jačine. Na primer, merenja pokazuju da se od dva zvuka istog nivoa  $L = 20$  dB, frekvencija 100 i 1000 Hz, prvi uopšte ne čuje, dok drugi spada u oblast čujnosti. Na slici 2.3.2. je prikazana veza između subjektivne jačine zvuka, njegovog intenziteta i frekvencije. Krive linije su linije jednake glasnosti, a kod svake stoji koliko fona joj odgovara. Svaki ton koji po fizičkim karakteristikama leži na datoј krivoj liniji se, od strane prosečnog čoveka, percepira kao jednak glasan. Na frekvenciji od 1000 Hz fon je numerički jednak decibelu.



Slika 2.3.2. Grafički prikaz međusobne veze intenziteta zvuka, subjektivne jačine zvuka i frekvencije

Analiza grafika predstavljenog na slici 2.3.3. ukazuje na neke interesantne stvari vezane za to kako ljudi čuju. Prvo, tonove ispod 0 fona većina ljudi ne može da čuje. Na primer, zvuk od 60 Hz i 40 dB se ne čuje. To znači da kriva od 0 fona predstavlja granicu iznad koju čuju osobe normalnog sluha. Takođe, sa grafika se vidi, da možemo da čujemo i zvuk nivoa ispod 0 dB. Na primer, -3 dB i 5000 Hz se može čuti, pošto je takav zvuk iznad krive od 0 fona. Sve krive glasnosti imaju minimum izmedju 2000 i 5000 Hz, što znači da je čulo sluha ljudi najosetljivije u ovoj frekventnoj oblasti. Na primer, zvuk od 15 dB na 4000 Hz, ima glasnost od 20 fona, kao i zvuk od 20 dB na frekvenciji od 1000 Hz. Krive rastu u obe granične oblasti u pogledu frekvencija, što ukazuje da je na njima neophodno da zvuk bude više frekvencije da bi se čuo kao manje glasan zvuk na srednjim frekvencijama.



Slika 2.3.3. Osenčena oblast odgovara frekvencijama i nivou intenziteta normalnog govora

Interesantno je takođe da mi ne koristimo često celu oblast u kojoj čujemo. To naročito važi za frekvencije iznad 8000 Hz, koje su retke u okruženju u kome živimo. Iz tog razloga osobe koje su izgubile sposobnost da čuju ove frekvencije to i ne znaju ukoliko se ne izvrši testiranje. Osenčena oblast na slici označava oblast po frekvenciji i intenzitetu u kojoj se nalazi većina zvučnih talasa koje proizvodimo prilikom uobičajene konverzacije.

#### **2.4. Akustička impedanca. Prenošenje zvuka na granici dveju homogenih sredina**

Zavisnost prostiranja zvuka od sredine kroz koju prolazi može se prikazati i preko **akustičke impedancije** te sredine. Akustička impedancija se definiše kao proizvod gustine sredine i brzine prostiranja zvuka:

$$Z = \nu \cdot \rho .$$

Jedinica za akustičku impedanciju je  $\frac{kg}{m^2 \cdot s}$ .

Akustička impedancija za masno tkivo je  $1,33 \times 10^2 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$ , a za mišićno tkivo je  $1,64 \times 10^2 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$ .

Kada zvuk nađe na granicu dveju homogenih sredina različitih akustičkih impedancija, jedan deo će se vratiti u sredinu iz koje dolazi (refleksija), dok će drugi preći u drugu sredinu (transmisija). To se dešava i sa svakim drugim mehaničkim talasom. Odnos između energija reflektovanog i transmitovanog dela talasa zavisiće od odnosa akustičkih impedancija. Pri većim razlikama akustičkih impedancija veći deo energije zvuka će se reflektovati, a manji transmitovati. Ako definišemo koeficijente refleksije (R) i transmisije (T) kao odnos reflektovane i upadne energije i odnos transmitovane i upadne energije, njihov zbir se obično normira na jediničnu vrednost tj.  $R+T=1$ . Ova veza pokazuje kako se jedan od koeficijenata smanjuje kada drugi raste.

Odnos intenziteta reflektovanog i transmitovanog talasa prema upadnom talasu je dat formulom:

$$\frac{I_R}{I_o} = \left( \frac{x_R}{x_o} \right)^2 \quad \text{i} \quad \frac{I_T}{I_o} = \frac{Z_2}{Z_1} \left( \frac{x_T}{x_o} \right)^2 ,$$

gde je  $I_o$  intenzitet upadnog talasa,  $I_R$  intenzitet reflektovanog talasa,  $I_T$  intenzitet transmitovanog talasa,  $x_o$  amplituda upadnog talasa,  $x_R$  amplituda reflektovanog talasa,  $x_T$  amplituda transmitovanog talasa,  $Z_1$  akustička impedanca prve sredine, a  $Z_2$  druge sredine.

Pri prolasku zvuka iz sredine male akustičke impedancije u sredinu velike akustičke impedancije javlja se jaka refleksija. Ovo je veoma važno pri transmisiji zvučnog talasa kroz različite sredine slušnog aparata čoveka. Struktura slušnog aparata mora biti takva, da na svom putu zvučni talas ne nailazi na vazdušnu sredinu, u suprotnom značajan deo zvučne energije bi bio izgubljen na putu od bubne opne do bazilarne membrane koja se nalazi u unutrašnjem uvu.

## 2.5. *Visina i boja zvuka*

Da bi slušalac mogao da ocenjuje zvuk, mora da poseduje osećaj za *visinu i boju zvuka*.

*Visina zvuka* je ona subjektivna karakteristika zvuka prema kojoj se svi zvuci mogu svrstati po jednoj skali koja počinje sa niskim ili dubokim tonovima, a završava se visokim. Visina zvuka određena je pre svega frekvencijom zvuka, odnosno frekvencijom osnovnog harmonika kod složenog zvuka. Manja frekvencija daje osećaj nižeg zvuka, a veća frekvencija osećaj višeg zvuka. Ljudsko uvo razlikuje oko 1500 tonova različite visine.

*Boja zvuka* je najlepša osobina zvuka i to je ne merljiva osobina zvuka. Naime, bilo kakav da je zvuk, mi možemo da merimo njegovu frekvenciju i intenzitet, ali ne i boju - nju možemo samo analizirati. Boju zvuka čini spektar različitih tonova, različitih intenziteta, u isto vreme. Instrumenti poput klavira, gitare i flaute mogu da proizvedu ton iste frekvencije, ali za nas slušaoce to su tri različita zvuka. Različitost jedne te iste note (boje zvuka) posledica je razlike u amplitudama viših harmonika kod ovih instrumenata.

### 3. LJUDSKO UVOD KAO SLUŠNI APARAT

Slušni sistem (hearing system) čoveka je fino i precizno dizajniran pretvarač slabih mehaničkih oscilacija frekvencija od 20 do 20 kHz u električne signale. Osnovni delovi su:

1. Uvo, kao mehanički sistem koji sakuplja i transmiteme zvučne mehaničke oscilacije i pretvara ih u električne signale;
2. Auditorni nervi, koji kodirane zvučne informacije u vidu električnog signala prenose do mozga;
3. Auditorni korteks, deo mozga u kome se električni signali obrađuju i interpretiraju.

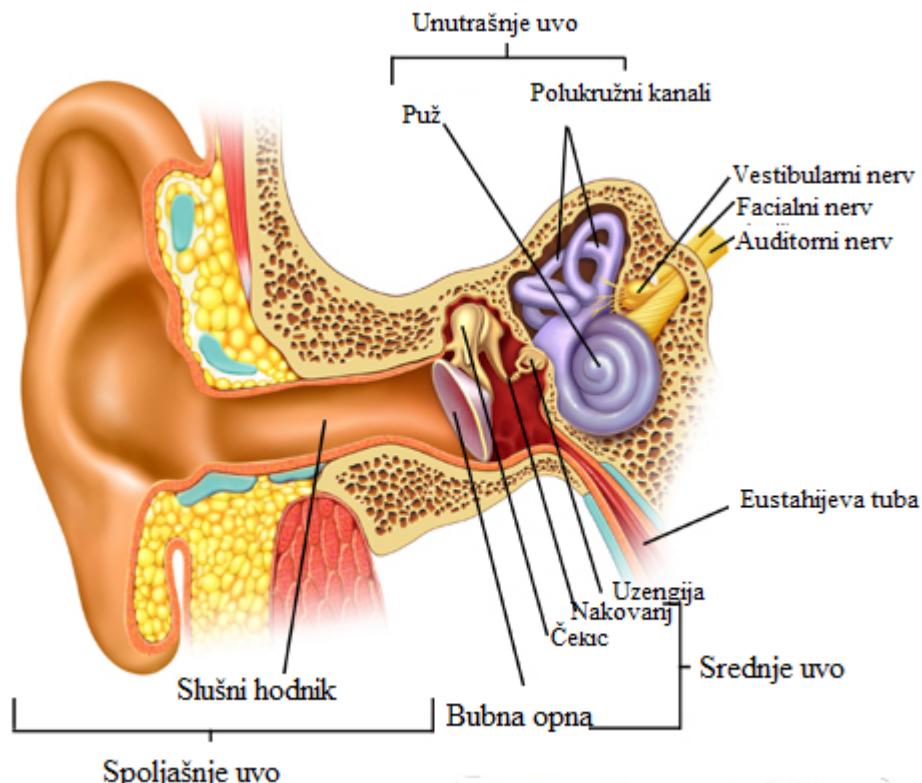
Sluh je, pored vida, od prvorazrednog značaja za socijalni život i razvoj čoveka. Oštećenje sluha savremenom čoveku teže pada nego gubitak drugih čula, ograničavajući njegovu sposobnost komunikacije. Sluhom pored samog zvuka, dobijamo i informaciju o položaju zvuka u odnosu na nas. To je moguće jer možak obrađuje iz oba uva, levog i desnog, i na osnovu primljenih zvukova određuje položaj izvora zvuka.

#### 3.1. Anatomija uva

Organ sluha i ravnoteže smešten je u uvu. Posedujemo dva simetrična uva, levo i desno, a svojom građom usmereni su da bolje primaju zvuk koji se nalazi ispred čoveka.

Uvo se sastoji iz tri dela (Slika 3.1.):

- Spoljašnjeg (*auris externa*),
- Srednjeg (*auris media*) i
- Unutrešnjeg uva (*auris interna*).



Slika 3.1. Građa uva

### **3.1.1. Spoljašnje uvo**

Spoljašnje uvo se sastoji od:

1. Ušne školjke (*Auricula*) koja služi za sabiranje i lokalizaciju zvučnih talasa. Predstavlja kožno- hrskavičavi organ oblika levka. Koža školjke je bogato vaskularizovana i čvrsto priraslja uz hrskavicu. Donji, uži deo školjke ne sadrži hrskavicu, mekan je i naziva se resica ušne školjke.
2. Spoljašnjeg slušnog hodnika (*Meatus acusticus externus*) koji je hrskavičavo- koštani kanal, koji se pruža od ušne školjke do bubne opne. Ima oblik valjkaste cevi, dužine od 3,5 cm, od kojih 1/3 pripada hrskavičavo- opnastom delu (pokretni deo), a 2/3 je koštani deo (nepokretan deo).
3. Bubne opne (*Membrana tympani*) je nepravilno okrugla i konična membrana koja deli spoljašnji slušni kanal od bubne duplje. Sastoji se od kože, koja je deo spoljašnjeg uva, sluzokože, koja je deo srednjeg uva i vezivnog tkiva koje spaja kožu i sluzokožu. Iz navedenih delova neki autori smatraju bubnu opnu spoljašnjim uvom, a neki srednjim uvom. Bubna opna je postavljen pod ugлом od 45 stepeni.

### **3.1.2. Srednje uvo**

Srednje uvo sačinjava složen sistem šupljina koji se nalazi u slepoočnoj kosti. Sastoji se iz tri dela:

1. Prednjeg dela- Eustahijeva tuba (*tuba auditiva*) je veza između bubne duplje i nosnog sprata ždrela (*epifarinksom*). Sastavljena je od koštanog (1/3) i membranoznog dela (2/3), prosečne dužine 36 mm. Tuba je obložena respiratornim cilijarnim epitelom sa smerom kretanja prema epifarinksu. Funkciju tube omogućavaju mišići otvarači hrskavičavo- opnastog dela tube, koji pri aktu gutanja, sisanja i zevanja otvaraju ovaj deo tube i omogućavaju prolaz vazduha iz ždrela prema bubnoj duplji i služi za izjednačavanje pritisaka na spoljašnjoj i unutrašnjoj strani bubne opne. Pri patološkim promenama koje izazivaju začepljenje slušne tube pritisak na spoljašnjoj strani bubne opne veći je od pritiska na njenoj unutrašnjoj strani, zbog čega nastaje nagluvost.
2. Srednji deo- bubna duplja (*cavum tympani*) ima oblik bikonkavnog sočiva, ali se opisuje kao prizma sa šest zidova. Unutar bubne duplje nalazi se tri slušne koščice:
  - čekić (*malleus*),
  - nakovanj (*incus*) i
  - uzengija (*stapes*)

koji premošćuju bubnu duplju između bubne opne i ovalnog prozora labirinta. One su zglobljene međusobno i pričvršćene za zidove bubne duplje. Čekić i nakovanj su zglobljene preko nepokretnog zgloba, a nakovanj i uzengija preko pokretnog zgloba. Uzengija kao najmedijalnija koščica, uglavljenja je svojom bazom uzengije u tremni prozor na labirintnom zidu bubne duplje. Preko sistema poluga tih triju slušnih koščica vibracije vazduha se u slušnom hodniku prenose limfnoj tečnosti unutrašnjeg uva, što je osnovna funkcija srednjeg uva. Sistem poluga povećava za oko 22 puta pritisak na tečnost u pužu u odnosu na pritisak na bubnu duplju.

Dva mala mišića, *musculus stapedius* i *musculus tensor tympani*, povezani su sa tim koščicama. Ovi mišići se aktiviraju kada preglasni zvuk dođe do uva, štiteći unutrašnje uvo. Oni imaju zadatak da svojim kontrakcijama zatežu i opuštaju bubnu opnu te joj tako omogućavaju vibracije. *M. stapedius* je najmanji poprečno-prugasti mišić u telu i on svojom kontrakcijom povlači glavu uzengije napolje i nazad, olabavi bubnu opnu za primanje slabijih zvučnih signala. *M. tensor tympani* svojom kontrakcijom deluje na čekić, koga povlači ka unutra- nateže bubnu opnu za primanje jakih zvučnih signala.

3. Mastoidni nastavak (*processus mastoideus*) čini deo slepoočne kosti i nalazi se neposredno iza i ispod spoljašnjeg slušnog kanala. Kost je rupičasta u obliku pčelinjeg saća, obložena sluzokožom i ispunjena vazduhom.

### 3.1.3. Unutrašnje uvo

Unutrašnje uvo, sakriveno duboko u lobanji, najbolje je zaštićen senzorni organ čoveka. Najsloženiji je deo uva, zbog čega je i nazvan labirintom. Sastoji se od koštanog i membranoznog dela, koji su jedan od drugog odvojeni uzanim prostorom koji ispunjava tečnost-*perilimfa*, dok je sam membranozni deo ispunjen *endolimfom*. U koštanoj čauri labirinta nalazi se membranozni deo labirinta koji sadrži organe sluha i ravnoteže.

Unutrašnje uho sastoji se od:

1. Koštanog labirinta (*labyrinthus osseus*) koji se nalazi nešto iza bubne duplje, od koje je odvojen njenim veoma tankim unutrašnjim ili labirintnim zidom. Sastavljen je od: predvorja (*vestibulum*), puža (*cochlea*) i koštanog polukružnog kanala (*canales semicirculares*). Sva tri dela su koštane šupljine koje međusobno komuniciraju, a čiji su zidovi debljine 1-2 mm. Zidove koštanog labirinta gradi kost koja je najčvršća u ljudskom organizmu.
  - Koštani puž (*cochlea*) - prednji je deo koštanog labirinta, koji ima oblik kućice baštenskog puža. Sastoji se od užeg kraja-vrh puža (*cupula cochlea*) i baze puža (*basis cochlea*).
  - Predvorje ili trem (*vestibulum*) leži iza puža, a ispred polukružnog kanala. U šupljini trema smešteni su od opnastog unutrašnjeg uva: otolitički organi (mešnica (*utriculus*) i kesica (*sacculus*)), opnasti polukružni kanali (*canales semicirculares*) i endolimfni kanal i kesica (*ductus et saccus endolymphaticus*).
  - Koštani polukružni kanali (*canales semicirculares ossei*) kojih ima tri, postavljeni su tako da svaki od njih zauzima po jednu ravan u prostoru (horizontalnu, sagitalnu i frontalnu). Svi oni imaju po jedno proširenje, ampularni deo, u kome je smešten senzorni epitel membranoznog dela.
2. Membranozni labirint (*labyrinthus membranaceus*) sačinjava sistem opnastih kanala i kesica koji je smešten u koštanom labirintu. Između koštanog i opnastog labirinta nalazi se uzani perilimfni prostor, koji je ispunjen tečnošću nazvanom perilimfa. S obzirom na svoju funkciju membranozni labirint se deli na dva dela, *kohlearni i vestibularni* deo.
  - *Kohlearni deo* membranoznog labirinta gradi **membranozni (opnasti) puž** (*ductus cochlearis*), koji predstavlja organ sluha i služi isključivo za prijem zvučnih nadražaja. On je smešten u koštanom pužu, izuzev početnog, nerazvijenog dela koji se nalazi u tremu. Opnasti puž je spiralno savijena trostranoprizmatična cev, zatvorena na oba svoja kraja i sačinjavaju ga tri zida: spoljašnji, vestibularni i timpanični. Na timpaničnom zidu (*paries tympanicus*) počiva **Kortijev spiralni organ**, čije trepljaste neuroepitelne ćelije, nazvane auditivne ćelije (osposobljene za prijem zvučnih signala), stoje u vezi sa vlknima pužnog dela vestibulokohlearnog živca.
  - *Vestibularni ili staticki deo* membranoznog labirinta sačinjavaju: otolitički organi (mešnica (*utriculus*) i kesica (*sacculus*)); opnasti polukružni kanali (*canales semicirculares*) i endolimfni kanal i kesica (*ductus et saccus endolymphaticus*). Ovom delu opnastog labirinta pripadaju i mali spojni kanali, mešnični, kesični i Hensenov spojni kanal, koji povezuju glavne strukture opnastog labirinta. Svi sastavni delovi

akustičkog i statičkog dela opnastog labirinta spojeni su međusobno i ispunjeni tečnošću, nazvanom *endolimfa ili Skarpova tečnost*.

### 3.2. *Osnovi fiziologije sluha*

Slušanje je serija događaja pri kojima uvo pretvara zvučne u električne signale te stvara nervne impulse- stimuluse koji se šalju u mozak, gde se interpretiraju kao zvuk.

Spoljašnje uvo skuplja zvukove, vrši njihovu lokalizaciju, slabi povratno dejstvo sopstvenog glasa govornika i kroz rezonantni slušni hodnik ih prosleđuje do bubne opne. Stiče se utisak da je akustički učinak slušne školjke veoma mali, jer ne izaziva veće smetnje na nivou sluha kod osoba koji je nemaju. Međutim, njeno prisustvo nije zanemarljivo jer ušna školjka prikuplja zvučne talase iz spoljašnje sredine, naročito visokofrekventne, između 3000 od 5000 Hz, pojačavajući ih od 15 do 20 dB. Slušnom hodniku (najrezonantniji za frekvencije između 3000 i 5000 Hz) je osnovna funkcija da pojača i prenese zvuk do bubne opne, a pored toga služi kao osnovna zaštita unutrašnjih slušnih delova slušnog sistema. Kada zvučna viljuška osciluje određenim brojem oscilacija u sekundi, stvaraju se talasi vazduha sa istim brojem oscilacija. Rezonantna funkcija zvukovoda je najveća između 3000 Hz i 5000 Hz i iznosi oko 12 dB, što zavisi od dužine kanala. Talasi vazduha prolaze spoljašnji slušni hodnik i dospevaju do bubne opne. Bubna opna je veoma osetljiva na promenu pritiska vazduha, pa i ona osciluje istim brojem ciklusa kojim do nje dopiru pokrenuti vazdušni talasi. Njena osnovna uloga je da svojom površinom primi zvučni nadražaj, a zatim minimalnim gubitkom transformiše zvučne nadražaje u mehaničke vibracije slušnih koščica.

Eustahijeva tuba, koja povezuje srednje uvo sa nosnim spratom ždrela, omogućava da na bubnoj opni ne postoji ni pod ni nad pritisak sa unutrašnje strane, već da bubna opna može slobodno da osciluje oko srednjeg položaja zavisno samo od akustičke pobude- zvuka. Disfunkcije Eustahijeve tube su veoma često osnova akutnih i hroničnih oboljenja uva koje prate nagluvosti konduktivnog tipa.

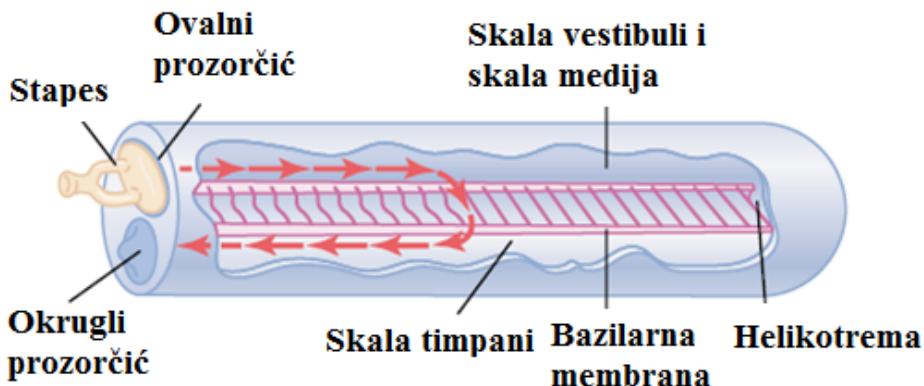
Bubna opna vibrira zajedno sa slušnim košćicama kod dejstva zvuka do 2500 Hz, a iznad toga ona vibrira samostalno. Oscilujuća bubna opna pokreće čekić i nakovanj, tako se slušne koščice pokrenu istim brojem pomaka kao bubna opna. Pod istim uslovima kretanje se prenosi sa čekića i nakovanja na uzengiju. Pločica uzengije koja je prstenastim ligamentom spojena sa ovalnim prozorom, primajući kretanje od drugih koščica, može se samo utisnuti dublje u otvor ovalnog prozora i ponovo vratiti u svoj neutralan položaj. Slušne koščice zadržavaju istu frekvenciju (kao bubna opna), imaju veliku amplitudu čime relativno malu snagu kretanja bubne opne svojom relativno velikom masom pretvaraju (zakon poluge) u kretanje s mnogo manjom amplitudom, ali većom snagom. Ovalni prozor prema labirintu zatvara tanka membrana, koja je priljubljena uz pločicu uzengije i prati pomicanje membrane ovalnog prozora. Spojevi slušnih koščica formira sistem poluge, koja povećava silu pokreta za oko 1,3 puta što pomnoženo sa razlikom u površini (17:1=površina bubne opne : površina pločice uzengije) daje 22 puta veći pritisak na tečnost u pužu od onog na površini bubne opne. Veoma značajno je i da su akustičke impedancije koščica veoma slične akustičkim impedancijama bubne opne i ovalnog prozora, pa ne dolazi do značajnih gubitaka u transportu zvuka. Kada bi u srednjem uvu bio samo vazduh oko 99,9% zvučnog talasa bi se reflektovalo na graničnim površinama.

Mišići srednjeg uva (*musculus stapedius i musculus tensor tympani*) imaju zaštitnu ulogu, tako što prigušuju prenos jakih zvukova preko lanca slušnih koščica. Ovi mišići su i u miru pod tenzijom, ali se pri jačim intenzitetima zvuka to zatezanje povećava. Oni imaju ulogu da štite unutrašnje uvo od jakih vibracija, slabe osetljivost uva na vlastiti govor, što omogućava kolateralni impuls koje odašilja mozak u ove mišiće u isto vreme kada se aktivira mehanizam govora.

Sistem slušnih koščica prenosi sa svim svojim karakteristikama zvuk sa bubne opne na puža, gde te oscilacije uslovljavaju pomeranje tečnosti koja se nalazi u unutrašnjem uvu. Pomeranje limfne tečnosti u pužu u potpunosti preuzimaju slušne ćelije, a u zavisnosti od položaja i vrste ćelija dobija se električni nadražaj u nervu. Različiti zvukovi nadražaju različite slušne ćelije, na različite

načine u pužu, pa mozak može razlikovati zvukove. U pužu se ustvari vrši transformacija mehaničkih u električne impulse. Transformacija mehaničkih u kohlearne potencijale je poznata pod nazivom mehanoelektrična transdukcija pri kojoj nastaju *kohlearni mikrofonici*. Od tog trenutka zvuk se ne ponaša po zakonima akustike, već po zakonima neurofiziologije.

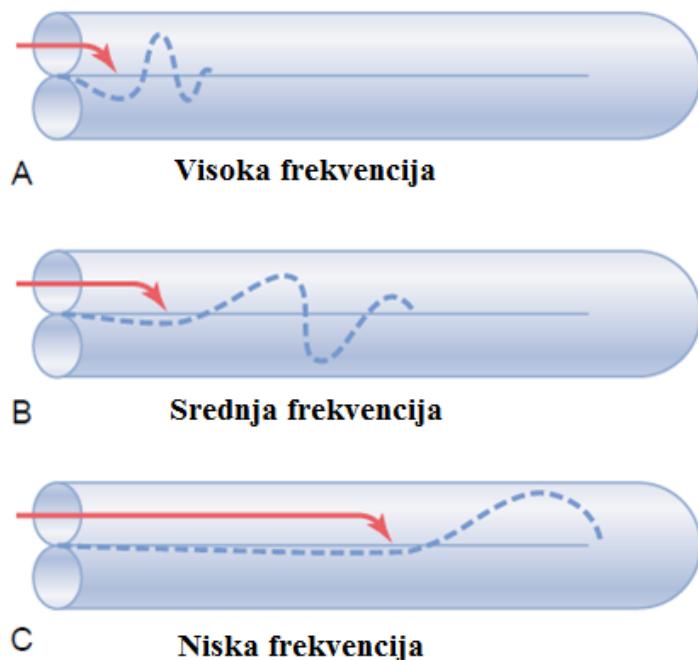
Puž je spoj spiralno zavijenih cev: *scala vestibuli*, *scala media* i *scala tympani*. Skala vestibuli i skala media odvojene su vestibularnom membranom, dok je skala timpani od skale medije odvojena bazilarnom membranom. Na bazilarnoj membrani nalazi se Kortijev organ koji se sastoji od niza ćelija koje su osetljive na mehaničke nadražaje.



Slika 3.2.1. Pomeranje tečnosti unutar puža usled pomeranja stapesa ka unutra

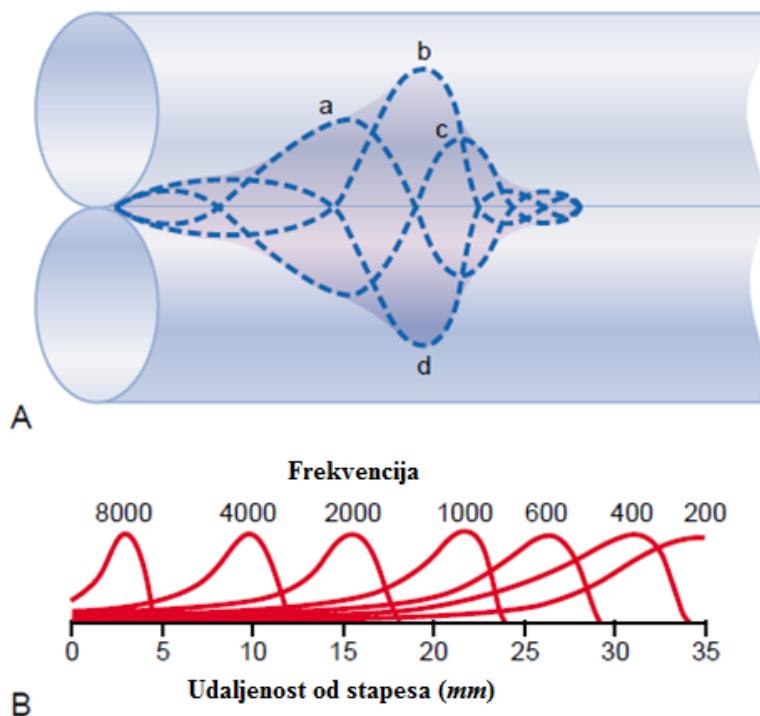
Na slici 3.2.1. je dat prikaz razmotranog puža. Vidi se da zvučne oscilacije ulaze u skalu vestibuli preko basalne pločice stapesa koja se nalazi u ovalnom prozorčiću. Basalna pločica stapesa prekriva ovalni prozorčić, a povezana je sa njegovim rubovima pomoću prilično labavog prstenastog ligamenta, koji basalnoj pločici omogućava pomeranje unutra i napolje. Kada se baza pomera unutra uzrokuje pomeranje tečnosti u skali vestibuli i skali mediji što dovodi do naglog povišenja pritiska u pužu i izaziva izbočenje okruglog prozorčića prema napolje. Na slici se može videti da su skala vestibuli i skala timpani međusobno u vezi preko helikotreme. Ukoliko se stapes pomiče lagano prema unutra (niske frekvencije), tečnost iz skale vestibuli će biti utisnuta kroz helikotremu u skalu timpani, što uzrokuje da se okrugli prozorčić izboči prema napolje. Međutim, ukoliko stapes vibrira veoma brzo (visoke frekvencije) tečnost nema vremena da u razdoblju između dve uzastopne oscilacije pređe čitav put do helikotreme i okruglog prozorčića i nazad. Umesto toga talas tečnosti svojim kretanjem potiskuje bazilarnu membranu pri čemu je prisiljava da se izboči unutra i napolje pri svakoj zvučnoj oscilaciji.

Bazilarna membrana se sastoji od oko 20.000 bazilarnih niti, koje su jednim svojim krajem ukopane u bazilarnu membranu. Njihova dužina postepeno raste od baze puža prema helikotremi i to od približno 0,04 mm na bazi i od 0,5 mm na helikotremi. Međutim, prečnici niti opadaju od baze prema helikotremi, tako da njihova ukupna krutost opada više od 100 puta. Te razlike omogućavaju krutim kraćim nitima bliže bazi puža da osciluju visokim frekvencijama, a drugim elastičnim i dugim nitima bliže helikotremi da osciluju niskim frekvencijama. Pored razlike u krutosti i dužini bazilarne niti su različito opterećene tečnošću unutar puža. To znači, da kad bazilarna nit osciluje mora oscilovati i tečnost između niti, ovalnog i okruglog prozorčića. Kada osciluju niti bliže bazi puža, ukupna količina tečnosti je neznatna u odnosu na onu koja osciluje kada osciluju niti bliže helikotremi. Ova razlika takođe omogućava da se oscilacije visoke frekvencije u blizini oba prozorčića, a oscilacije niže frekvencije u blizini vrha puža. Na slici 3.2.2. prikazan je talas koji putuje kroz bazilarnu membranu prema helikotremi. Slika 3.2.2.A. prikazuje savijanje talasa velike frekvencije niz bazilarnu membranu, pod B. je prikazan talas srednje frekvencije, a pod C. talas niske frekvencije.



Slika 3.2.2. Prikaz putujućeg talasa duž bazilarne membrane za zvukove različite frekvencije

Oblik amplitude oscilovanja bazilarne membrane dat je na slici 3.2.3.



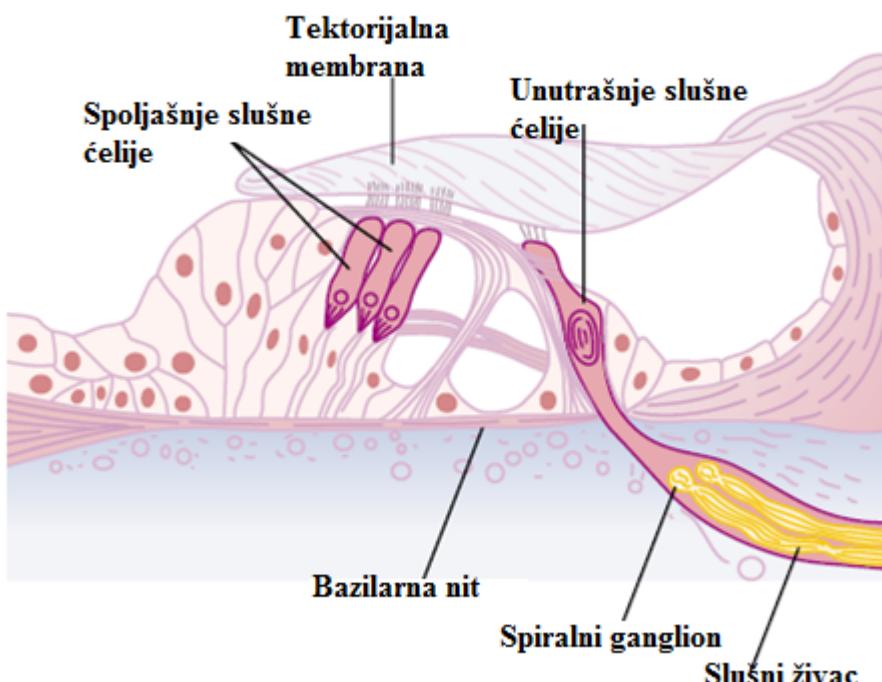
Slika 3.2.3. A. Oblik amplitude oscilovanja bazilarne membrane. B. Oblik amplitde za zvukove različite frekvencije u zavisnosti od udaljenosti od uzengije

Na slici 3.2.3.A. isprekidanom linijom dat je položaj zvučnog talasa na bazilarnoj membrani. Položaj a. opisuje slučaj kada je stapes potpuno pomeren ka unutra, b. pomeren nazad u početni položaj, c. pomeren u potpunosti napolje i d. ponovo vraćen u početni položaj. Osenčeno područje pokazuje maksimalan stepen oscilovanja bazilarne membrane za vreme jednog oscilacionog ciklusa. Amplituda oscilovanja bazilarne membrane je oko 10 puta manja od amplitude oscilovanja

bubne opne. To je tako sve do trenutka kada putujući talas dođe do onog dela bazilarne membrane, kojem se sopstvena frekvencija poklapa sa frekvencijom talasa. Tada dolazi do rezonancije i talas postaje veoma jak. Usled jakih vibracija sva energija talasa biva apsorbovana i talas nestaje. Ova teorija naziva se **rezonantna teorija sluha**.

Na slici 3.2.3.B. je prikazan oblik amplitude oscilovanja za različite frekvencije. Vidi se da se maksimalna amplituda za frekvencije od 8000 Hz javlja u blizini baze puža, dok se za frekvencije od 50-100 Hz javlja u blizini helikotreme. Glavna metoda pomoću koje se frekvencije zvuka razlikuju jedna od druge temelji se na mestu gde bazilarna membrana najjače nadražuje živčane niti.

Na površini bazilarne membrane nalazi se Kortijev organ (Slika 3.2.4.). Kortijev organ čine dve vrste čulnih ćelija: unutrašnje i spoljašnje. Unutrašnje slušne ćelije čine niz koji se sastoji od oko 3500 ćelija prečnika 12  $\mu\text{m}$ , a spoljašnje čine tri od četiri reda sa oko 20.000 ćelija prečnika oko 8  $\mu\text{m}$ . Smatra se da su unutrašnje slušne ćelije odgovorne za detekciju i registraciju zvuka, dok spoljašnje služe za pojačavanje slabih zvučnih signala.



Slika 3.2.4. Detaljan prikaz Kortijevog organa

Donji delovi slušnih ćelija se nalaze u perilikfiski skali timpani, a vrhovi sa cilijama u endolikfiski skali medije. Između endolikfice u kojoj je velika koncentracija kalijumovih i mala koncentracija natrijumovih jona i perilikfice, gde su koncentracije ova dva elektrolita obrnute, vlada potencijalna razlika od 80 mV, koja se naziva endokohlearni potencijal. Ista potencijalna razlika postoji i na krajevima čujnih ćelija. One imaju negativan potencijal od -70 mV u odnosu na perilikfus, a na gornjoj površini gde cilije ulaze u endolikfus potencijal od -150 mV. Kada se bazilarna nit savije ka skali vestibuli dolazi do pomeranja cilija i depolarizacije čujne ćelije. Ako se bazilarna nit savije u suprotnom smeru, čulna ćelija se hiperpolariše. Promena polarizacije slušne ćelije generiše akcioni potencijal koji se u vidu električnog signala preko slušnih živaca prenosi do kore velikog mozga, u kome se registruje senzacija čuvanja. Čitav ovaj proces se odigrava u vremenu od nekoliko milisekundi.

Funkcionalno uvo se anatomski može podeliti na:

1. konduktivni i
  2. senzorineuralni.
1. Konduktivni (provodni) sistem čine spoljašnje, srednje uvo, ovalni prozor i tečnost u unutrašnjem uvu. Služi za prenos mehaničkih talasa do unutrašnjeg uva.
  2. Senzorinalni sistem čine slušne ćelije, nervna vlakna vestibulokohlearnog živca, slušni putevi i slušni centri. Ovaj sistem služi za prenos bioelektričnog impulsa koji se duž slušnog živca kreće ka moždanim putevima, jedrima i centru mozga.

## 4. METODE ISPITIVANJA SLUHA

Metode ispitivanja sluha su se kroz vekove menjale i usavršavale, a u cilju što preciznijeg registrovanja stanja sluha. Neke od tih starih metoda i danas su se održale, jer predstavljaju dragocen doprinos u svakodnevnom audiometrijskom radu.

Metode ispitivanja sluha delimo na kvantitativne i kvalitativne.

*Kvantitativne metode* su orientacione i mogu ukazati na stepen nagluvosti. *Kvalitativne metode* nam služe da, sem stepena oštećenja, ustanovimo vrstu i lokalizaciju oštećenja.

**Vazdušna provodljivost** je način prolaska zvučnih nadražaja, zvučnim talasima, kroz spoljašnje i srednje uvo (provodni deo) do unutrašnjeg uva (senzorni deo). Ako zvučni nadražaj bez posredovanja vazduha uđe u unutrašnje uvo, preko čvrstih gustih sredstava, kostiju lobanje, mimoilazeći provodni deo, govorimo o **koštanoj provodljivosti**.

*Kvantitativne metode* su:

- **Šapat** (*Vox parva*) - šapatom se ispituje sluh određivanjem rastojanja između ispitivača-lekara, koji izgovara proste jednosložene reči, koje sadrže visoke i niske tonove, i ispitanika koji bez greške ponavlja reči koje je izgovorio ispitivač. Kod osoba sa fiziološkim sluhom šapat se čuje na rastojanju od 6 m.
- **Glasni govor** (*Vox magna*) - ispitivanje glasnim govorom primenjujemo kod ispitanika koji ne čuju šapat. Način izvođenja je sličan prethodnom metodu, ali je neophodan *Barany*-jev zaglušivač radi isključivanja uva koje se ne ispituje. Aparat ometa percepciju emisijom buke, pa se glasni govor čuje na rastojanju od 6 m. Kod fiziološkog sluha konverzacijски govor može se u prirodi čuti na rastojanju od 50 m, a vikanje do 450 m.

Ovo su zastarele metode koje se danas retko koriste.

*Kvalitativne metode* se vrše pomoću kompleta zvučnih viljuški.

### 4.1. Zvučne viljuške

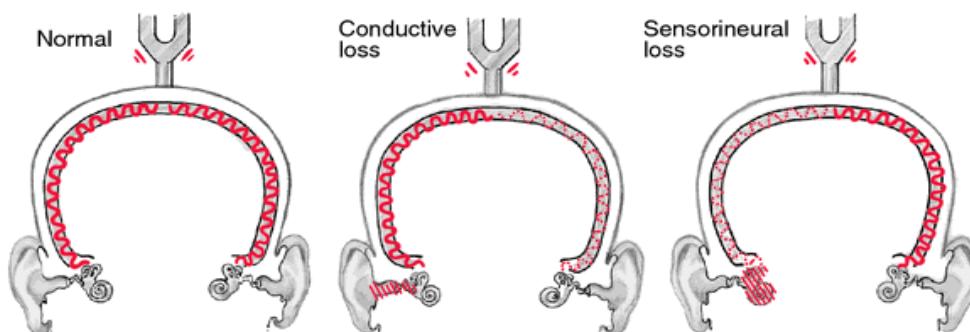
Zvučne viljuške su specijalno konstruisani instrumenti u oblika slova U, sa drškom na donjem kraju (Slika 4.1.). Prilikom ozvučenja viljuške daju čiste tonove od 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048 i 4096 Hz. Ozvučavanje se postiže blagim udarom u jedan od krakova specijalnim čekićem ili jakim stezanjem i naglim puštanjem vrhova kraka. Najjači intenzitet zvuka se prostire u pravcu vibriranja krakova, što znači u pravcu čija linija prolazi kroz vrhove oba kraka. U svakodenvnoj praksi sluh se može ispitivati samo sa tri zvučne viljuške i to od 32, 512 i 4096 Hz.



Slika 4.1. Zvučne viljuške za ispitivanje sluha

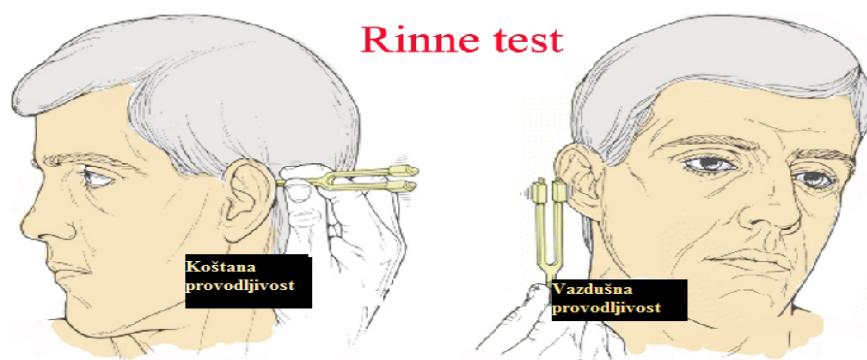
Postoji nekoliko metoda ispitivanja sluha upotrebom zvučnih viljušaka. Najčešće korištene su:

- *Veberov (Weberov) test-* njim se ispituje koštana provodljivost oba uva i pojava eventualne lateralizacije tona. Izvodi se tako što se ozvučena viljuška prisloni na teme, a po potrebi može i na čelo ili zube ispitanika obavezno u medijalnoj liniji (Slika 4.1.1.). Osoba koja se ispituje treba da odgovori gde lokalizuje mesto tona koji čuje. Kada je sluh obostrano normalan ili obostrano podjedнако oštećen, pacijent ima osećaj da čuje ton u srednjoj liniji glave. Tada se kaže da nema lateralizacije zvuka, odnosno Weber ne lateralizuje. U slučaju oštećenja sluha konduktivnog tipa bolesnik lateralizuje zvuk na bolesnu stranu (bolje čuje oštećeno uvo), a pri obostranom oštećenju istog tipa na bolesniju stranu. Pri postojanju oštećenja sluha senzorineuralanog tipa, bolesnik lateralizuje zvuk na zdravu stranu, a pri obostranom oštećenju na zdraviju.



Slika 4.1.1. Weberov test

- *Rineov (Rinneov) test-* ovim testom se utvrđuje dužina trajanja vazdušne i koštane provodljivosti na istom uvu ispitanika. Ozvučena viljuška se najpre stavi na mastoidni planum pacijentovog uva. Kada pacijent prestane da čuje zvuk viljuška se postavlja na oko 5 cm ispred ulaza u spoljašnji slušni hodnik istog uva, i to tako da vrhovi krakova stoe, sa linijom koja ih spaja, u produžetku pravca osovine spoljašnjeg slušnog hodnika (Slika 4.1.2.). Istovremeno se od pacijenta traži da kaže da li čuje ili ne čuje ton viljuške. Kada vazdušna provodljivost traje duže od koštane, tada je Rine test pozitivan i nalazi se kod normalnog stanja sluha. Kada koštana provodljivost traje duže od vazdušne to se označava kao Rine negativan test, a nalazi se u slučajevima sa konduktivnim oštećenjem sluha. U slučaju senzorineuralne nagluvosti Rine je skraćeno pozitivan, što znači da je vazdušna provodljivost duža od koštane, ali obe kraće traju zbog oštećenja sluha u unutrašnjem uvu ili centralnim slušnim putevima.



Slika 4.1.2. Rineov test

- Švabahov (Schwabachov) test- ovim testom se utvrđuje dužina trajanja koštane provodljivosti bolesnikovog i ispitivačkog uva. Pri ovom tetsu podrazumeva se da ispitivač ima normalan sluh. Test se izvodi tako što se ozvučena viljuška stavlja na mastoid ispitivača i bolesnika naizmenično, do trenutka kada jedan od njih prestane da čuje ton. Švabah normalan- označava da je kod obe osobe istovremeno prestala čujnost tona i da pacijent na ispitivanom uvu ima normalan sluh. Švabah skraćen- osoba kojoj se ispituje sluh čuje ton u kraćem trajanju od ispitivača. Označava oštećenje sluha senzorineuralnog tipa. Švabah produžen- da bolesnik čuje duže od ispitivača, što označava konduktivno oštećenje sluha.

Ove metode ispitivanja sa zvučnom viljuškom su zastarele metode, ali su i dalje pogodne za održavanje tipa oštećenja, tj. da li je oštećen konduktivni ili senzorineuralnog sistema.

#### 4.2. Audiometrija

Sposobnost slušanja meri se testom sluha koji se naziva **audiometrija**. Ova metoda ispitivanja sluha vrši se pomoću elektroakustičkih aparata- **audiometara** (Slika 4.2.1.).



Slika 4.2.1. Audiometar

Prvi korak je utvrđivanje sposobnosti slušanja niskih i visokih zvukova, čime se utvrđuje prag sluha. Test se izvodi pomoću čistih tonova različitih frekvencija, posebno za levo i desno uvo. Generator zvuka proizvodi čiste tonove u rasponu od 125 Hz do 12000 Hz, a posebno ugrađeni pojačivači mogu povećavati intenzitete tonova od 0 do 120 dB. Pomoću posebnih selektora može se uvek izabrati određena frekvencija, dok se attenuatorom intenziteta može menjati po 5 dB na zadatoj frekvenciji. Električne oscilacije, nastale u generatoru, pretvaraju se u akustičke impulse i prenose preko slušalica ispitniku. Za merenje jačine zvuka ne koriste se apsolutne mere, nego samo odnos između ispitivanog intenziteta i već utvrđenog praga sluha. Rezultati se ucrtavaju u audiogram, koji predstavlja grafički zapis o stanju sluha. Audiogram (Slika 4.2.2.) je predstavljen koordinatnim sistemom gde je frekvencija tonova (ove vrednosti su realne fizičke vrednosti) na apscisi, a intenzitet na ordinati tj. na ordinati se beleže vrednosti izmerenog praga sluha u dB i to počevši od -10 ili 20 dBnHL do 110 ili 120 dBnHL (ove vrednosti u dB nisu realne fizičke vrednosti i one označavaju gubitak sluha za pojedine ispitivane frekvencije). Taj odnos se ne označava kao stanje sluha, već kao stanje gubitaka sluha u decibelima.

**KLNIKA ZA BOLESTI UVA, GRLA I NOSA - NOVI SAD**

AUDIOLOŠKO - VESTIBULOLOŠKI ODSEK

Prezime i ime :

Datum pregleda :

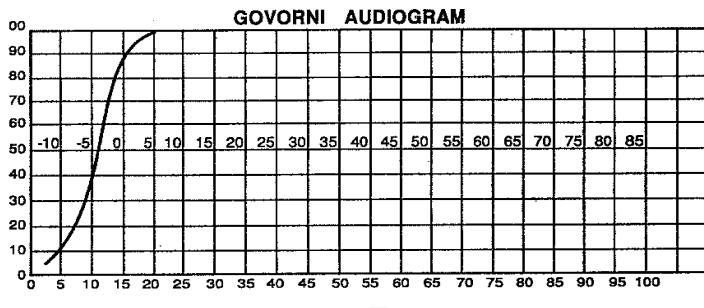
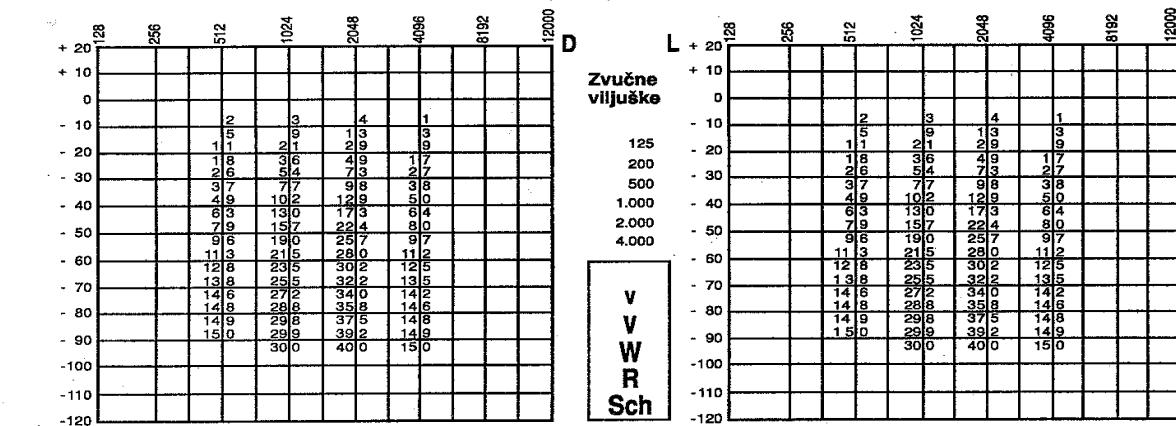
Redni broj

Zanimanje i starost :

Vrsta aparata

TONALNI AUDIOGRAM

**PREGLED SLUHA**



Otoscopia:

Mišljenje:

Potpis:

Slika 4.2.2. Formular za audiogram

Pošto je razlika između dB kao fizičke vrednosti i kao vrednosti beležene na formularu očigledna nastala je potreba za jasnim razgraničavanjem ovih vrednosti. S toga se u audiometriji koriste **audiometrijske mere**. To su sledeće mere:

1. dBnHL (decibels normal hearing level)- realna vrednost u dB u odnosu na normalni prag sluha. Vrednost od -50 dBnHL na 1000 Hz označava gubitak sluha za 50 dB na datoj frekvenciji odnosu na nultu liniju audiograma.
2. dB SPL (decibels sound pressure level)- vrednost zvuka u dB bez obzira na pacijentov prag sluha. Izražava vrednost intenziteta zvuka kao fizičku vrednost nezavisno od ispitanikovog praga sluha, pri čemu je pražna vrednost na 1000 Hz  $2 \times 10^{-6}$  Pa.
3. dBSL (decibels sensations level)- relativna vrednost u dB u odnosu na pacijentov prag sluha. Vrednost od 20 dBSL za osobu čiji je prag sluha 0 dBnHL iznosi 20 dBSPL.

Audiometrijsko ispitivanje sluha se vrši u specijalno izolovanoj prostoriji- tihoj komori (Slika 4.2.3.) koja je na poseban način akustički izolovana kako bi eliminisala jake zvukove iz okoline. Ispitanik sluša ton preko slušalica za vazdušnu provodljivost, koje sa stavlaju na ušnu školjku, ili preko specijalnih slušalica za koštanu provodljivost postavljenih na mastoidne nastavke, ili se ton dobija preko slobodnog polja.



Slika 4.2.3. Tiha komora

Kada se koriste slušalice, zvuk se prenosi kroz slušni hodnik do bubne opne, koja putem lanca slušnih koščica aktivira unutrašnje uvo. Budući da se zvuk prenosi kroz vazduh, vibracijama, prag sluha određen na ovaj način naziva se *prag vazdušne provodljivosti*. On odgovara slušnoj osetljivosti sa kojom se susrećemo u svakodnevnim aktivnostima.

Za merenje koštane vodljivosti (slušnih ćelija) koristi se vibrator sa oprugom koji se postavlja direktno na kost lobanje ili iza uva na čelo. Zvukovi iz vibratora prenose se kostima glave i direktno aktiviraju puž u unutrašnjem uvu, te na taj način zaobilaze srednje uvo. Tonovi iz vibratora postaju zvučne vibracije na kostima glave i jednakim se prenose u oba unutrašnja uva. Iz tog razloga je potrebno dovesti buku do uva koje se ne ispituje. Ta se tehnika naziva *maskiranje*. To znači da jedno uvo prima šum iz slušalice, s toga ne može istovremeno primati i tonove iz vibratora. Prag sluha dobijen ispitivanjem vibratorima sa oprugom zove se *prag koštane provodljivosti*.

Određivanje sluha ovom metodom nisu podjednako važna sva frekventna područja. Područje ljudskog govora obuhvata frekventni raspon od 300 do 3000 Hz, pa će se gubitak sluha u njemu najčešće ispoljiti kod ispitanika. Pad sluha u tom području ispod nivoa od 40 dB otežava socijalni kontakt. Osoba sa takvim sluhom nije u stanju da bez pomoćnih sredstava prati normalan konverzacijski govor.

Audiometrijske metode ispitivanja sluha delimo na:

- subjektivne i
- objektivne audiometrijske metode.

**Subjektivne audiometrijske metode** koje se zasnivaju na saradnji ispitanika sa ispitivačem. One zahtevaju određeni uzrast ispitanika, očuvanu svest, stepen inteligencije i cilj ispitivanja. Ona može biti: **tonalna i govorna**. Tonalnu audiometriju delimo na *liminarnu i supraliminarnu*.

- **Tonalna liminarna audiometrija** predstavlja ispitivanje praga sluha ili granice čujnosti, čistim tonovima u rasponu 128- 8000 Hz. Kod fiziološkog sluha taj prag je na svakoj frekvenciji na intenzitetu od 0 dB. Kod gluvoče je na 100 dB. Ispitivanje se izvodi za vazdušnu provodljivost preko slušalica, pojedinačno za svako uvo, a zatim preko koštanog vibratorsa. Na formularu (tonalnog audiometra) obeležavamo odgovore ispitanika za vazdušnu i koštanu provodljivost. Na formularu punom linijom obeležavamo dobijene pragove za vazdušnu provodljivost, a sa isprekidanim linijom pragove za koštanu provodljivost. Na osnovu dobijenih rezultata dobijamo audiogram koji možemo podeliti u 4 grupe:

1. Audiogram fiziološkog sluha: linija vazdušne provodljivosti je horizontalana na 0-20 dBHL, dok je linija koštane provodljivosti paralelna i nalazi se na nivou praga vazdušne vodljivosti.
  2. Audiogram konduktivne nagluvosti: linija koštane provodljivosti je kao kod normalnog sluha, dok je kriva vazdušne provodljivosti spuštena.
  3. Audiogram senzorineuralne nagluvosti: krivulje koštane i vazdušne provodljivosti podjednako se spuštaju ispod 20 dBHL
  4. Audiogram mešovite nagluvosti: obe krivulje pokazuju pad od niskih prema visokim tonovima. Koštana krivulja je nešto iznad vazdušne.
- *Tonalna supraliminarna audiometrija* se koristi samo kod senzorineuralnih nagluvosti i služi nam za određivanje lokalizacije oštećenja (kohlearna-senzorna ili retrokohlearna-neuralna).
  - *Govorna audiometrija*: treba napomenuti da audiogram pokazuje samo nivo na kojem se čuju čisti tonovi, ili drugim rečima, kako se različiti tonovi percepiraju, dok sa druge strane ne otkriva ništa o sposobnosti komunikacije sa drugima tj. koliko dobro razumemo govor. Ne radi se samo o razumevanju govora u tihim sredinama, već u buci. Zbog toga je ispitivanje sluha potrebno nadopuniti testom kojeg zovemo govorna audiometrija. Osim čistih tonova i šumova, audiometar može proizvesti i gorovne zvukse same ili pomešane sa bukom u pozadini. Govorni zvukovi se sastoje od kombinacije brojeva (npr. tri-devet-dva) ili fonetski izbalansiranih reči koje se iz audiometra do slušalica ili preko zvučnika u slobodnom slušnom polju šalju u serijama. Ispitanik tada ponavlja nizove brojeva ili reči koje je čuo. Promenom jačine govora i dodavanjem pozadinske buke, procenjuje se razumevanje govora u tišini i pozadinskoj buci. Kada se koriste reči, rezultat se snima kao broj reči koji je ispitnik tačno razumeo ili kao broj netačno ponovljenih reči.

Ovo su uobičajeni testovi za ispitivanje sluha, kojim dobijamo opšti utisak o stanju sluha, što je jako bitno kod dodele slušnih aparata.

#### **4.3. Impedansmetrijska audiometrija**

Impedansa predstavlja aktivnu otpornost prenosa energije iz jedne sredine u drugu. To je mera primanja ili odbijanja energije na graničnoj površini, dve sredine različite gustine, u jedinici vremena. Impedansmetrija podrazumeva dve vrste ispitivanja:

- *Timpanometriju*- koja predstavlja objektivan audiološki test zasnovan na principima akustične impedanse, koja nam daje podatke o prenošenju zvučne energije kroz srednje uvo, pri promeni pritiska u spoljašnjem slušnom hodniku. Ovom metodom možemo odrediti stanje bubne opne, pokretljivosti lanca slušnih kočića, vazdušnog pritiska u bubnoj duplji itd. Izgled uređaja dat je na slici 4.3.1.



Slika 4.3.1. Uredaj za merenje oštećenja sluha- timpanometar

- *Akustički refleks mišića uzengije-* kada se uvo stimuliše zvukom dovoljnog intenziteta, nastaje kontrakcija mišića uzengije. Za izazivanje ovog refleksa neophodno je očuvanost: refleksnog luka slušnog živca, slušnih jedara, jedara ličnog živca i lični živac (n. facialis). Metoda dopunjuje podatke dobijene timpanometrijom. Izvodi se emisijom tona na 70-90 dB iznad praga sluha. U zdravom uvu dolazi do kontrakcije mišića uzengije, pomeranja uzengije i promene pokretljivosti lanca slušnih koščica- prenosnog sistema srednjeg uva. Promene izostaju ako je uzengija fiksirana, što ukazuje na otosklerozu. Metoda je korisna kod ispitivanja sluha male dece.

Na slici 4.3.2. je dat uredan nalaz timpanometrije i refleksa mišića uzengije.



Slika 4.3.2. Uredan nalaz timpanometrije i refleksa mišića uzengije

## 5. OŠTEĆENJA SLUHA

**Slušno oštećenje** podrazumeva trajno sniženje slušne osjetljivosti na zvuk ili podrazumeva smanjenu sposobnost percepcije zvučnih draži. Slušna oštećenja možemo podeliti na:

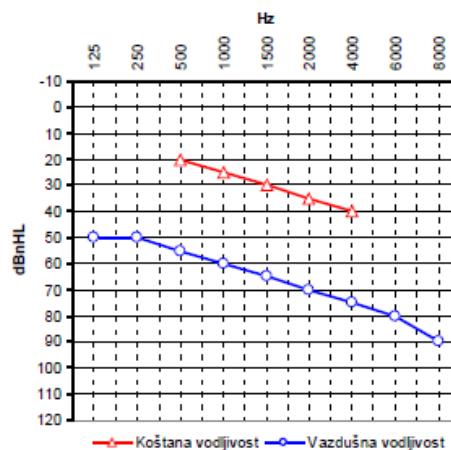
- a) Nagluvost koja podrazumeva obostrano oštećenje sluha, gde je prag sluha na boljem uvu između 20 i 90 dB. Nagluvost delimo na:
  - laku (21-40 dB),
  - umerenu (41-60 dB) ili
  - tešku (61-90 dB).
- b) Gluvoča je obostrano oštećenje sluha gde je prag sluha iznad 90 dB. Gluvoču delimo na:
  - praktičnu i
  - totalnu.

Osnovne uzroke oštećenja sluha možemo podeliti u tri grupe:

**1. Konduktivnu nagluvost-** nastaje u spolnjem i srednjem uvu kao problem provođenja zvuka i zvučnih vibracija kroz slušne hodnike do bubne opne. Može biti uzrokovano gomilanjem sekreta u kanalima, raznim infekcijama, izraslinama na srednjem uvu, tympanoskleroza (zadebljanje bubne opne), fizičkim oštećenjima bubne opne ili naslednim osobinama. Svi ovi problemi se najčešće leče ili rešavaju hirurškim putem. Ovakva oštećenja nazivaju se konduktivna ili provodna nagluvost. Gubitak sluha uzrokovani teškoćama u provođenju zvuka može biti najviše do 50 dBHL. U većini slučajeva ovaj gubitak sluha je reverzibilan, tj. po otklanjanju problema on se vraća.

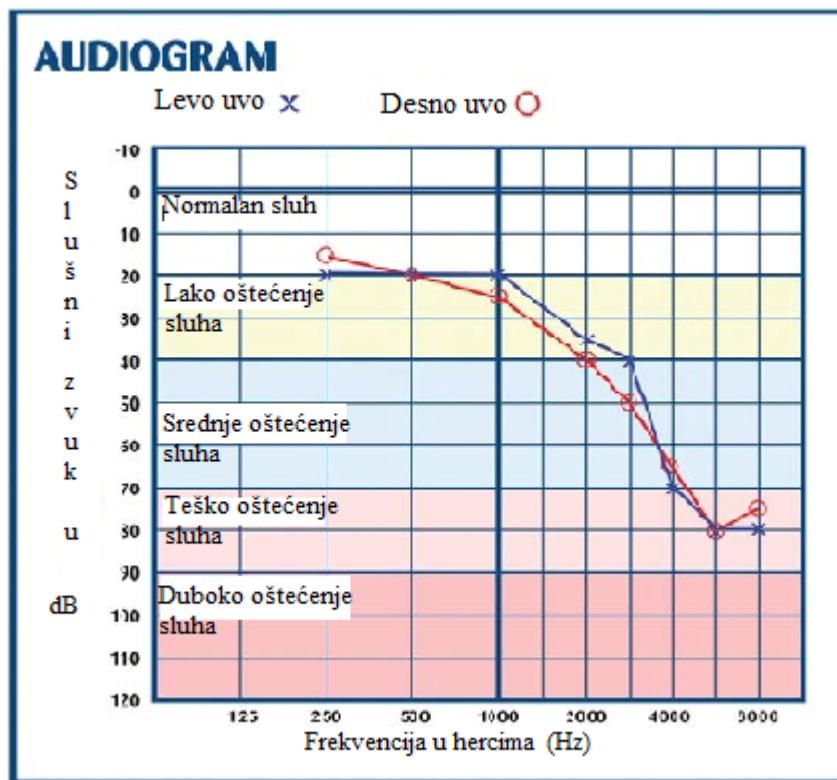
**2. Senzorineuralna nagluvost-** to su nagluvosti koje su uzrokovane problemima u unutrašnjem uvu, slušnom živcu ili centralnim slušnim putevima. Česti uzroci su urođene anomalije, povreda glave, bolesti, korišćenje jakih lekova, ali je najčešći uzrok gubitak usled starosti ili usled izlaganja velikoj buci. Upotreba slušnih aparata je osnovno rešenje ovih problema.

**3. Mešovita nagluvost** nastaje kao kombinacija prve dve grupe (Slika 5.). U ova oboljenja spada otoskleroza (pločica uzengije zarasta u anularni ligament, što zajedno zarasta u ovalni prozor) koja ima 5 stadiuma, koja se može rešiti slušnim aparatom ili operacijom.



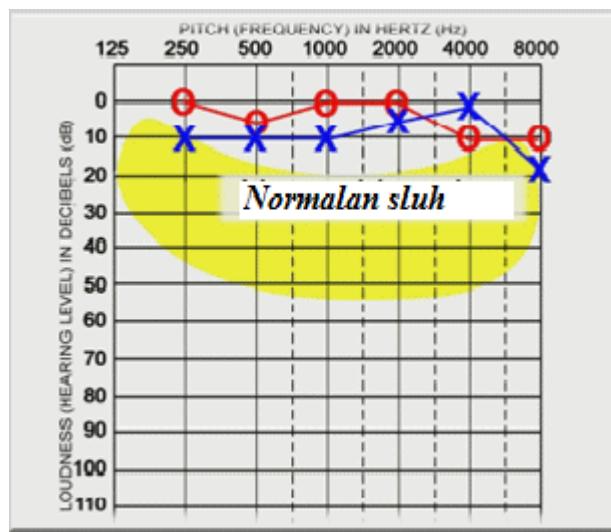
Slika 5. Audiogram mešovite nagluvosti

Sledeća klasifikacija pokazuje odnose između gubitka sluha u decibelima i stepena otežanosti komunikacije (Slika 5.1.).



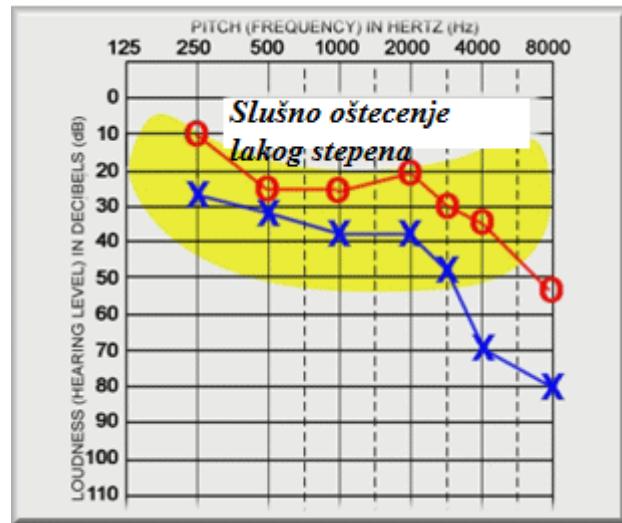
Slika 5.1. Audiogram klasifikacije oštećenja sluha

**0-20 dB: Uredan sluh (Slika 5.2.)**



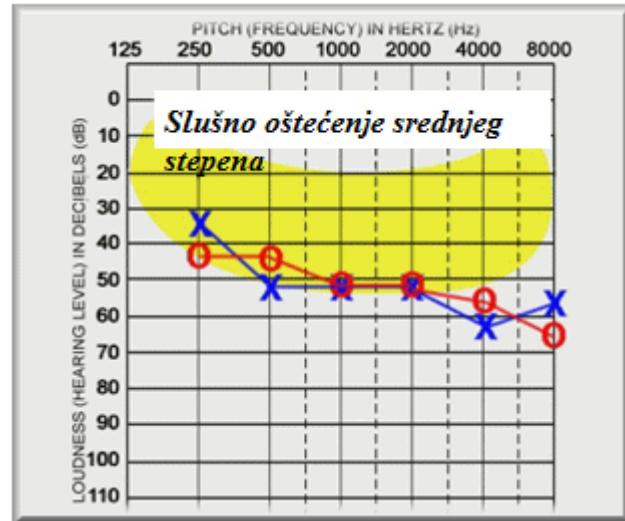
Slika 5.2. Audiogram normalnog sluha

**21-40 dB: Slušno oštećenje lakog stepena (Slika 5.3.)-** Osoba sa oštećenjem sluha lakog stepena ima neke poteškoće u slušanju tihog govora i konverzaciji, ali se obično snalazi sa jasnim glasovima u tišem okruženju. Glasovi koje čuju su obično prigušeni i nejasni. Obostrana nagluvost ovog stepena može uticati na usporeni govorni razvoj.



Slika 5.3. Audiogram lako oštećenja sluha

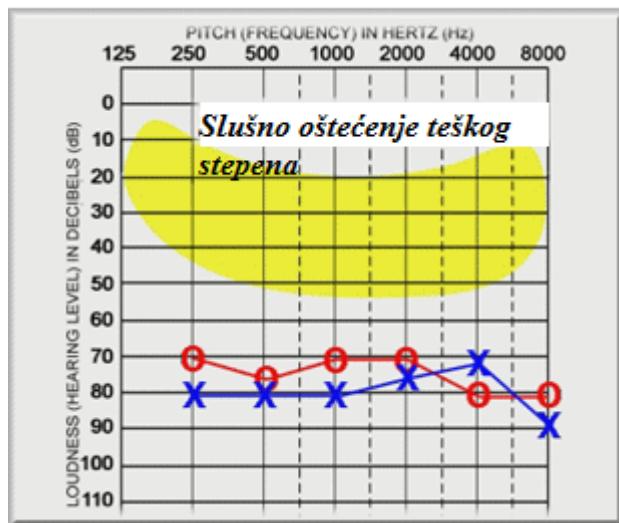
**41-60 dB: Slušno oštećenje srednjeg stepena** (Slika 5.4)- Osoba sa srednjim stepenom oštećenja sluha ima poteškoće u razumevanju konverzacionog govora. Radio i TV obično bivaju pojačavani da bi se čuo zvuk. Razvoj govora i jezika su usporeni ukoliko se ne odredi slušno pomagalo kod deteta sa ovakvim oštećenjem sluha.



Slika 5.4. Audiogram srednjeg oštećenja sluha

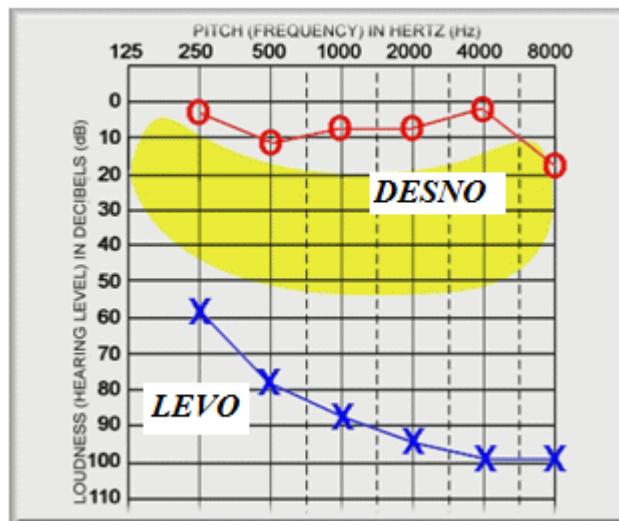
**61-75 dB: Slušno oštećenje srednje- teškog stepena-** Sa ovim oštećenjem sluha može se razumeti samo glasni govor iz blizine. Bez primene amplifikatora govor i jezik se kod deteta ne razvijaju spontano, a kvalitet govora je loš. Slušni aparati znatno pomažu i omogućavaju razumevanju konverzacionog govora. Očitavanje sa usana su velika prednost u razumevanju. Glasovi mogu biti iskrivljeni, čak i ukoliko su dovoljno glasni što može dovesti do veoma male koristi od slušnih aparata.

**76-90 dB: Slušno oštećenje teškog stepena** (Slika 5.5)- Za teško slušno oštećene osobe, normalni konverzacioni govor je nečujan. Govor i jezik se spontano ne razvijaju u dece sa ovim tipom slušnog oštećenja. Slušni apifikator će povećati većinu govornih signala i znatno će pomoći razvoj detetovog govora. No, kvalitet govora će i pored pomagala biti lošiji. Za razumevanje govora veliki značaj ima očitavanje sa usana.



Slika 5.5. Audiogram teškog oštećenja sluha

**91 dB+:** **Duboko slušno oštećenje** (Slika 5.6.)- Osobe sa oštećenjem sluha ovog tipa imaju slične tegobe kao i teško slušno oštećene osobe, sa razlikom da je kod produbljenog slušnog oštećenja pomoć od slušnog amplifikatora znatno ograničena (naročito kod nagluvosti većih od 105 dB). Neke osobe sa ovim tipom oštećenja sluha imaju mogućnost da čuju govor u tihom okruženju, dok je kod drugih nemoguće postići jasnu razumljivost.



Slika 5.6. Audiogram dubokog oštećenja sluha

## 6. SLUŠNI APARATI

Osnovna uloga svih slušnih aparata je da nagluvoj osobi nadomesti gubitak slухa, sa što približnjim nivom i kvalitetom kakav ima osoba sa zdravim sluhom. Složenost slušnog organa ne možemo nadoknaditi prostim uređajem, a i sam zvuk po svojoj prirodi veoma je složen. Takođe, takvi uređaji ne bi mogli biti proizvoljne veličine i izgleda, a takođe nemoguće je proizvoljan izbor materijala. Mesto primene, glava- uvo, je takvo da moraju biti što manji, što lakši i što efikasniji u preciznijem zadovoljavajuju potreba korisnika. Ovo je suština problematike izrade slušnih aparata.

Konstruktori su nizom godina usavršavali slušne aparate minimizirajući ih, pružajući korisniku što veći komfor u primeni i poboljšavajući kvalitet zvuka. I pored toga slušni aparati ne mogu biti potpuna zamena za sluh- već su još uvek samo kvalitetna pomagala.

Generalno, gubitak slухa nije jednak u celom čujnom opsegu. Gubitak je veći sa većim frekvencijama. Takođe, vrlo je individualan, kao što ne možemo nositi tuđe naočare- tako ne možemo nositi ni tuđ slušni aparat.

Važno je napomenuti da iako je normalan čovekov slušni opseg približno od 20-20000 Hz, veoma mali broj zdravih ljudi ima gornju granicu već oko 15-16000 Hz, dok je kod većine ta granica još niža. Zato se slušni aparati većinom izgrađuju sa gornjom graničnom frekvencijom oko 8000 Hz, taj limit je određen jer u potpunosti pokriva govor i veliki deo muzičkog opsega, a sa tehnološkog stanovišta lakše ga je izraditi.

### **6.1. Podela slušnih aparata**

Slušni aparati postoje već duži niz godina. U poslednjih nekoliko decenija znatno su napredovali što se tiče i kvaliteta i dimenzija (Slika 6.1.).



Slika 6.1. Istorijat slušnih aparata

Poslednjih godina izdvaja se nekoliko osnovnih modela:

- a) BTE- *Behind the ear* (slušni aparat iza uva)- Ova vrsta slušnog aparata koristi se iza spoljašnjeg uva i zvuk se kreće iz slušnog pomagala u zvukovod preko male plastične cevčice, spojene sa umetkom (protetikom) koji ulazi u uvo (Slika 6.1.1.).



Slika 6.1.1. BTE slušni aparati

- b) ITE- *In the ear* (u uvu)- Ovaj slušni aparat je relativno velik i ispunjava deo slušne školjke ili manji i zauzima ograničen deo uva (Slika 6.1.2.).



Slika 6.1.2. ITE slušni aparati

- c) ITC- *In the canal* (u kanalu)- Samo mali deo ovog aparata vidljiv je u spoljašnjem uvu zbog toga što se glavni deo aparata nalazi smešten u drugom delu slušnog kanala (Slika 6.1.3.).



Slika 6.1.3. ITC slušni aparati

- d) CIC- *Completely in the canal* (potpuno u kanalu)- Ova vrsta aparata smeštena je duboko unutar slušnog kanala (Slika 6.1.4.).



Slika 6.1.4. CIC slušni aparati

- e) RITE- *Receiver in the ear or open ear OP* (prijemnik u uvu)- Ova vrasta aparata je najnovija. Mikrofon i pojačalo se nalaze iza uva. Prijemnik se nalazi u uvu.



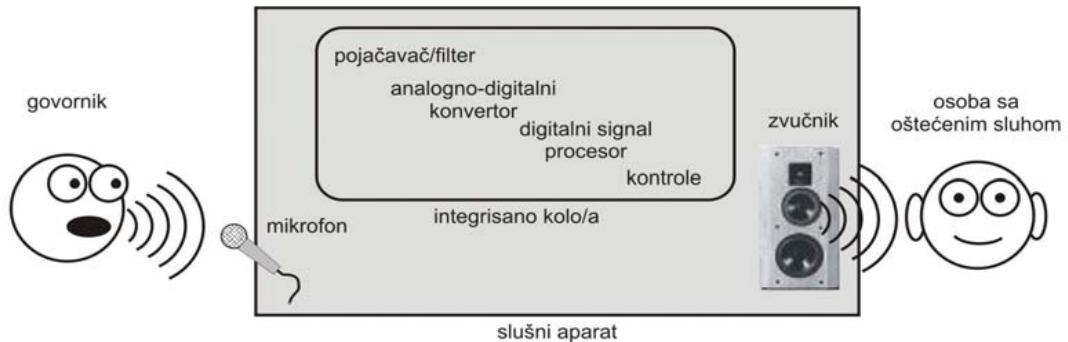
Slika 6.1.5. RITE slušni aparati

Za razliku od BTE i RITE aparata ostali tipovi nemaju odvojen umetak već je sve smešteno u deo aparata koji se zove *školjka*. Što znači da je samo unutrašnji deo aparata fabrički, a spoljašnji deo je prilagođen posebno svakom korisniku.

## 6.2. Sastavni delovi i princip rada slušnog aparata

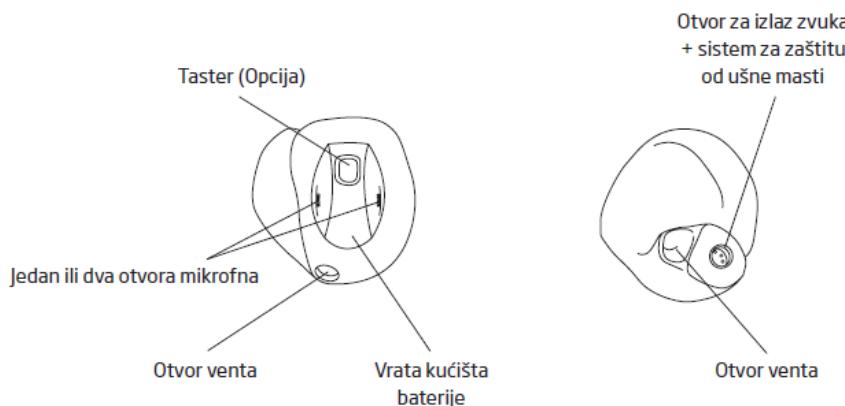
Zahvaljujući velikom napretku elektronike, slušni aparati su svedeni na minijaturne dimenzije i imaju velike mogućnosti pojačanja spoljašnjeg zvuka. Sastoje se iz (Slika 6.2.):

1. Ulaza- mikrofon koji hvata okolne zvuke,
2. Elektronskog pojačala- koje pojačava i prilagođava signal iz mikrofona,
3. Baterije- kaja snabdeva aparat energijom potrebnom za njegov rad i
4. Izlaza- gde maleni zvučnik pretvara pojačan električni signal u konačan zvuk i šalje u slušni kanal.



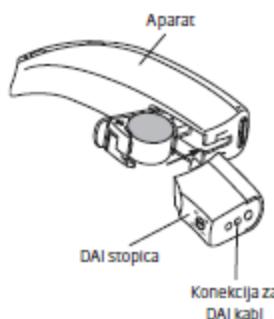
Slika 6.2. Sastav slušnog aparata

**Mikrofon**- hvata zvukove iz okoline i pretvara u potreban ulazni električni signal za slušni aparat. Najčešće, mikrofon ima istu osetljivost za zvukove koji dolaze iz različitih smerova, ali može biti i direkcionalan (usmeren), tako da daje prednost zvukovima koji dolaze sa prednje strane (kao što to čini i ušna školjka), dok zvukove koji dolaze iz drugih smerova manje pojačava. Korisnik slušnog aparata imaće osećaj da su zvukovi koji dolaze sa strana ili od pozadi potisnuti i manje se mešaju sa govornim signalom koji dolazi sa prednje strane. Direkcioni ulaz sastoji se iz dva mikrofona (Slika 6.2.1.). Direkcionost nemaju BTE i RITE aparati, dok ITE imaju delimičnu, a potpunu ITC i CIC aparati.



Slika 6.2.1. Izgled ITE aparata

Slušni aparat može biti opremljen i telefonskom zavojnicom, koja prikuplja elektromagnetne signale iz telefonske petlje npr. u bioskopima, pozorištima, različitim salama, učionicama itd. Pomoću *teleloop*- sistema, zvukovi iz filmskih projektorova ili drugih sistema stvaraju magnetno polje koje utiče na telefonsku zavojnicu u slušnom aparatu. Na taj način zvuk se čuje direktno bez buke koja ometa, bilo da se radi o ljudima ili o buci u prostoriji. Većina BTE aparata opremljeno je dugmetom koji služi za odabir slušanja putem mikrofona ili putem telefonske zavojnice. Budući da telefonska zavojnica zauzima relativno velik prostor u slušnim pomagalima tipa ITC ili CIC-a nije moguće postaviti je. Telefonska zavojnica sastoji se od magnetnog jezgra (ili šipke) oko kojeg je namotana tanka žica. Telefonska zavojnica se još naziva i indukcionim kalem. Neka rešenja slušnih aparata imaju mogućnost bežičnog prijema signala - telekoila. To rešenje omogućava prijem signala bez mikrofona u objektima koji su na taj način opremljeni. Da bi se uključila ta opcija potrebno je na slušnom aparatu pritisnuti taster kojim se isključuje mikrofon a uključuje prijem preko telekoila. Većina BTE slušnih aparata opremljena je direktnim audioulazom, DAI (Slika 6.2.2.). Električni signal iz ostalih izvora zvuka, kao što su telefoni, CD-i, konferencijski mikrofoni i ostala oprema koja služi kod predavanja i prezentacija, može biti spojena direktno na slušno pomagalo preko male "papučice" na dnu slušnog pomagala.

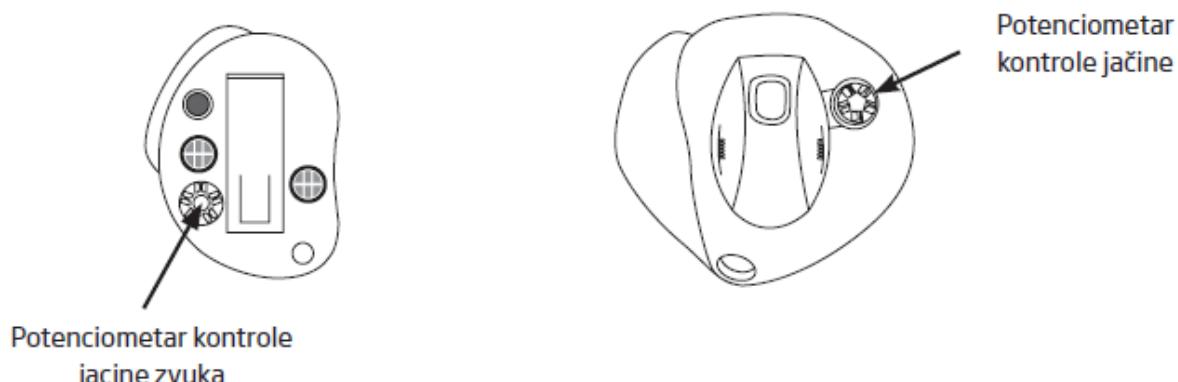


Slika 6.2.2. BTE aparat sa DAI

**Pojačalo-** Elektronsko pojačalo u slušnom pomagalu obično se bazira na digitalnoj tehnologiji koja je u većoj upotrebi nad analognom tehnologijom. Za korisnika to su ne bitne razlike, međutim, digitalna tehnologija je mnogo fleksibilnija, što se odnosi na mogućnost programiranja po željama korisnika.

Glavna funkcija pojačala je da pojačava zvukove koji dolaze kako bi postali prepoznatljivi osobi oštećenog slуха. Pojačala moraju biti podešena individualno, tako da se zvuci čuju prijatnom glasnoćom. To se mora postići za sva frekventna područja.

Pojačala mogu biti opremljena i kontrolom glasnoće koja dopušta ručno podešavanje pojačanja ili automatsko pojačanje u zavisnosti od jačine zvuka koja okružuje korisnika (Slika 6.2.3.).



Slika 6.2.3. Kontrola zvuka kod ITE i ITC aparata

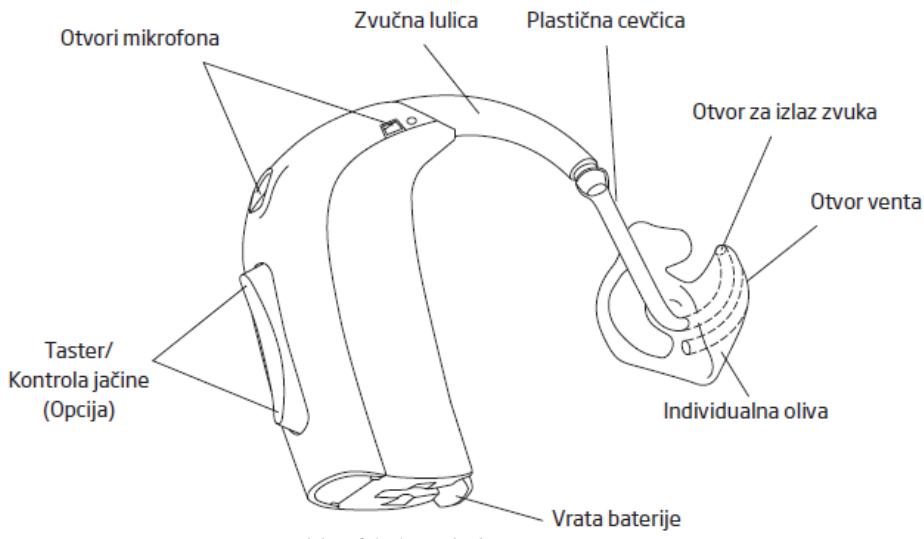
Moderna slušna pomagala pojačavaju različite frekventne pojaseve, tako da glasne i meke zvukove prilagođavaju individualno. Način kojim se pojačanje prilagođava za zvukove različite jačine, i kako brzo se događa, može nadoknaditi smanjenu frekvencijsku i vremensku razbirljivost. Pojačanje može iziskivati i posebnu metodu obrade signala- redukciju buke, čime se pozadinska buka redukuje i/ili se govorni signal ističe (pojačava).

Pojačanje se može postići posebnom obradom signala koja sprečava zviždanje slušnog aparata koje ume da bude veoma neprijatno. To se može dogoditi, ako se neki predmet relativno tvrde površine nađe blizu slušnog aparata (npr. ruka, šešir, vrata...), ako aparat nije dobro smešten u uvo, ako je aparat podešen prejako ili ako se u uvu nalazi veća količina sekreta. *Kad slušni aparat zviždi to se naziva akustički feedback ili mikrofonija.* Taj fenomen uzrokuje deo pojačanih zvukova u zvukovodu koje je obradio mikrofon pa su ti zvukovi dodatno pojačani. *Metoda obrade zvučnih signala koja sprečava akustički feedback, zove se anti-feedback metoda.*

Slušni aparati mogu imati i nekoliko programa koji uz različito pojačanje mogu zadovoljavati različite potrebe korisnika.

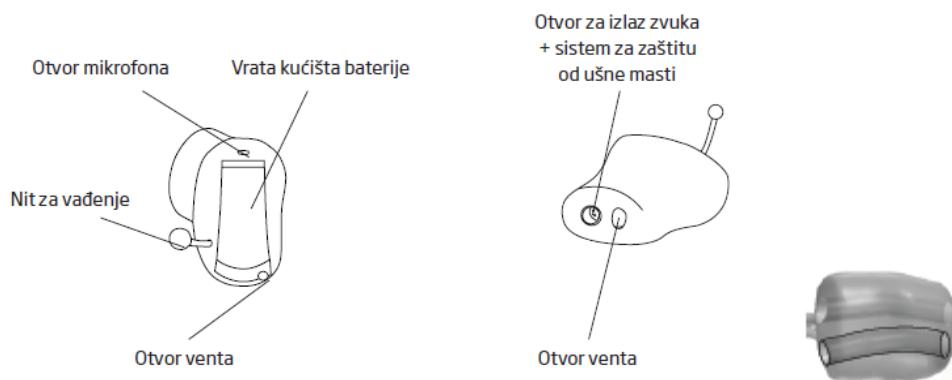
**Zvučnik-** slušnog aparata sastoji se od malog zvučnika koji pretvara pojačane i procesuirane električne signale u zvukove te ih prosleđuje u slušni kanal.

Kod BTE slušnih aparata zvuk se kreće od zvučnika preko lulice (tvrdi plastični kuka) koji je sastavni deo pomagala), kroz mekanu cevčicu (zvučna cev), do zvučnog kanala umetka (protetike). Od zvučnika do zvukovoda, zvuk putuje 70 mm (Slika 6.2.4.). Umetak može da se pravi od tvrdih (akrilatne) i mekih (silikonske) materijala i svi su antialergijski. Umetak se uzima od svakog pacijenta zasebno. Materijal od kojeg se proizvodi umetak zavisi samo od potreba pacijenta. Silikonski se najčešće koriste kod teških oštećenja sluha, jer bolje zaptivaju uvo i imaju manju bojaznost od pojave mikrofonije. Silikonski umeci su takođe otporniji na promene temperaturu, dok su akrilni lakši za održavanje, izdržljiviji i udobniji. U drugim tipovima slušnih aparata (ITE, ITC i CIC), umetak je sastavni deo tih pomagala te je zvučnik smešten direktno u zvukovod. Budući da je zvučnik u ovim aparatima smešten mnogo bliže zvučnom kanalu, veći je rizik da ušna mast (koji se lako utisne u zvučni kanal slušnog pomagala kada je ono smešteno u uvu) može sprečiti izlaz zvuka i na taj način blokira izlaz zvuka iz zvučnika. Ako ušna mast uđe duboko u zvučni kanal, teško se uklanja, a da se pri tome ne oštete fini mehanički delovi zvučnika. ITE slušni aparati mogu imati nekoliko vrsta zaštite od ušne masti, kao što su filteri, koji sprečavaju da ušna mast dođe do zvučnika i time olakšaju održavanje.

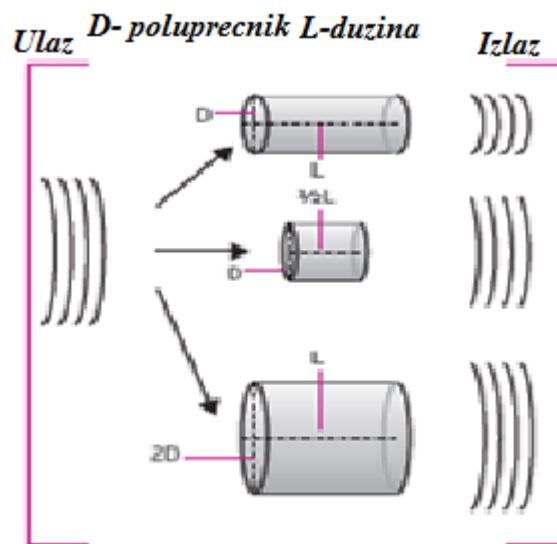


Slika 6.2.4. Izgled BTE aparata

Umetak pored zvučnog kanala sadrži još jedan koji se naziva *vent*, koji povezuje zatvoren ušni kanal sa otvorom i pomoću toga sprečava stvaranje statičkog pritiska vazduha i stvaranje vlage u ušnom kanalu (Slika 6.2.5.a i b).

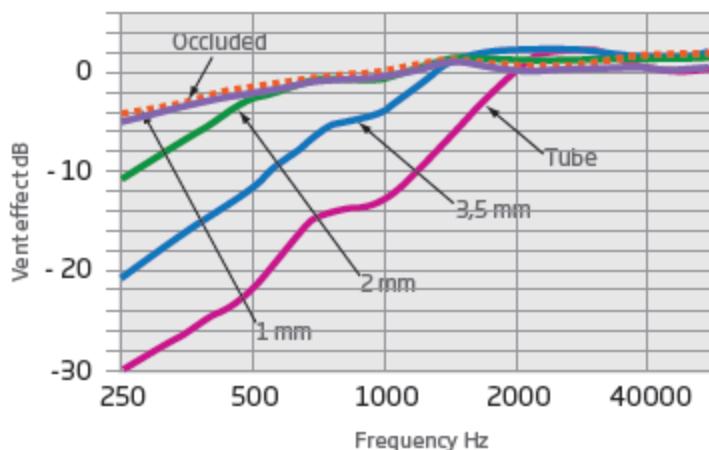


Slika 6.2.5.a. Izgled CIC aparata i venta



Slika 6.2.5.b. Efekat dužine i poluprečnika venta na izlazni signal

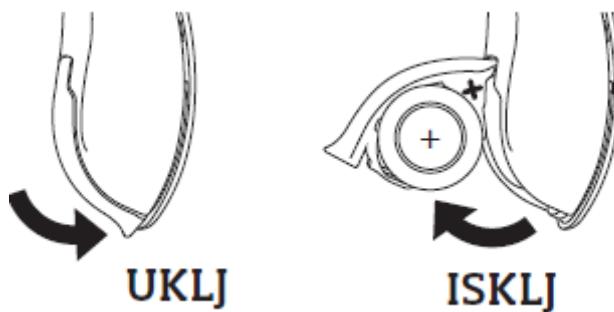
Vent poluprečnika 1 mm će imati minimalni akustički efekat, ali će pružiti olakšanje za korisnika, izbegavajući stvaranje pritiska u slušnom hodniku. Ukoliko je poluprečnik 2 mm vent će smanjiti niske frekvencije od oko 500 Hz i naniže. Kad je poluprečnik 3,5 mm vent će smanjiti niske frekvencije dramatično više od oko 1500 Hz i nadole (Slika 6.2.5.c.).



Slika 6.2.5.c. Efekat poluprečnika venta na pojačanje frekvencije zvuka

Korišćenje prevelikog venta u odnosu na gubitak sluha rizikuje pojave akustičke povratne informacije. Dok premali vent stvara rizik od okluzije (Izraz koji znači da su zvukovi zarobljeni u slušnom kanalu. Zvuk zviždanja, pevanja, gutanja i slično, deluju neprirodno glasno i neugodno.).

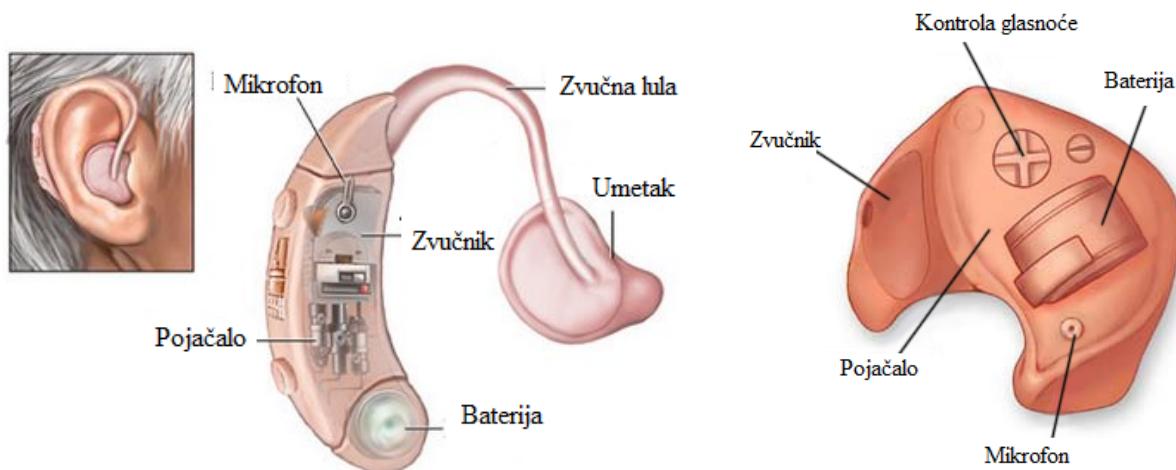
**Baterija-** snabdeva energijom koja je potrebna za funkcionisanje slušnog aparata. Smeštena je u odeljku koji se lako može otvoriti pomoću nokta. Nekim aparatima odeljak za bateriju služi i kao prekidač za uključivanje/isključivanje (Slika 6.2.6.). Kod nekih drugih aparatova taj prekidač se nalazi u sklopu mikrofona i telefonske zavojnice ili u sklopu za kontrolu glasnoće.



Slika 6.2.6. Uključivanje i isključivanje aparata

Baterije su dostupne u različitim standardnim veličinama. Veća baterija prenosi veću količinu energije, pa aparat funkcioniše duže. Postoje velike razlike u trajanju baterija kod različitih aparatova te je s toga teško prepostaviti koliko će dugo aparat funkcionisati. Proizvođači slušnih aparatova teže da konstruišu slušni aparat koji bi trošio što manje energije tj. što manje baterije. Ako se traži mali slušni aparat, baterija takođe mora biti mala, pa korisnik opet mora birati između estetike i funkcionalnosti.

Na slici 6.2.7. nam je data celokupna anatomija slušnog aparata tipa BTE i ITE gde se vide svi sastavni delovi. BTE aparat je automatski pa nema kontrole glasnoće. U principu delovi za druge tipove aparatova su isti, ali su manji i ograničene funkcionalnosti.



Slika 6.2.7. Izgled slušnih aparata tipa BTE i ITE

**Funkcionalnost slušnih aparata** se može podeliti u nekoliko kategorija:

- **Olakšavanje problema koji nastaju kada je pomagalo smešteno u uvu-** Slušni aparati blokiraju ulaz u slušni hodnik, što može uticati na rezonanciju zvuka u uvu. Prisustvo slušnog aparata donekle nepovoljno utiče na prirodno pojačanje zvuka unutar slušnog hodnika 6-8 puta u frekventnom rasponu od 3000 Hz. Što bi značilo da aparat mora prvo nadoknaditi gubitak pojačanja da bi moglo efektivno pomoći slušno oštećenoj osobi.  
Kada se slušno pomagalo nalazi u uvu, može početi zviždanje, kada se to dogodi pomagalo nije od velike koristi, naprotiv može biti velika smetnja korisniku. Većina pomagala kao što je navedeno ranije, je opremljeno aktivnim feedback mehanizmom koji vrlo efikasno sprečava zviždanje slušnog aparata.
- **Ublažavanje gubitka sluha-** Osnovna funkcija slušnog aparata je čim više nadoknaditi oštećenje sluha. Pojačanje slušnog signala nije linearno, drugačije je za meke i glasne zvukove.



Slika 6.2.8. Funkcija slušnih aparata

- **Dodatne funkcije-** Kod perceptivnih oboljenja, slušni aparat ne može vratiti uredan sluh, ali broj ostalih funkcija može biti od velike pomoći osobama sa oštećenim slušom. To uključuje direkcionalni mikrofon ili metode redukcije buke koja čini ugodnije i manje naporno slušanje u bučnoj okolini.

- **Praktične funkcije-** Ove funkcije nisu od bitnih važnosti, ali svakako olakšavaju korišćenje slušnog aparata. Tu spadaju upozoravajući signali da je aparat isključen, da baterija slabi itd.

Osnovni princip rada svakog slušnog aparata je da preko mikrofona prima zvuk koji se nalazi u okruženju nagluve osobe, primljeni zvuk pojačalom koje je ugrađeno u slušni aparat pojača, filtrira, obradi i prosledi na zvučnik.

### 6.3. Podešavanje slušnih aparata

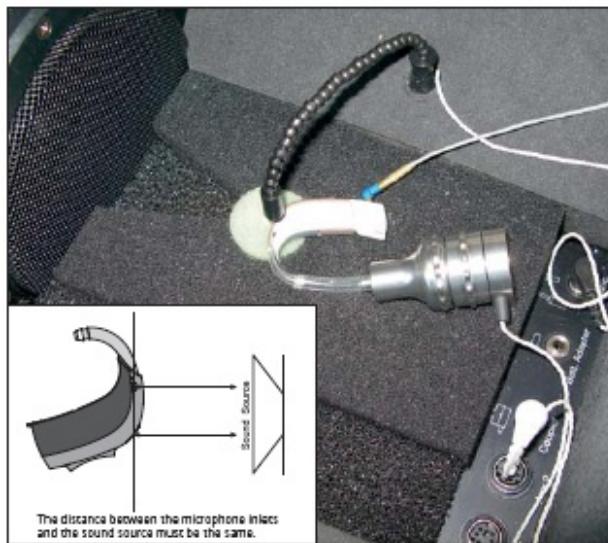
Većina slušnih aparata elektronički je podešena tako da odgovara svakom korisniku zasebno, što znači da se pomagalo *programira* prema potrebama korisnika. To se postiže pomoću računara i posebnih softwera prilagođenog posebnoj vrsti pomagala. Programiranje protiče u dve faze: prvo *fitting* (podešavanje) i nakon toga *fine tuning* (fino podešavanje). Prvo podešavanje ide prema obrascu koje zovemo *fitting rationale* (pravilno podešavanje), koje uzima u obzir posebne podatke: audiogram, godine, životni stil i ostale bitne informacije, i odabira jednu mogućnost od nekoliko. Kada je aparat na takav način programiran, korisnik može da proba kako to zvuči i u kojoj meri je nadoknadio oštećenje sluha. Fino podešavanje dolazi odmah nakon prvog podešavanja ili nakon par dana, nedelja ili je potrebno napraviti nekoliko finih podešavanja u određenom periodu.

HIT440 (Hearing instrument testing) je uređaj kojim je moguće testiranje i programiranje svih vrsta aparatova (Slika 6.3.1.). Odabir slušnog aparata za korisnika je proces koji započinje audiometrijom i završava se zadovoljnim klijentom. HIT440 obezbeđuje sredstva za svaku fazu tog procesa. Sistem nam nudi testiranje naprednih algoritama kao što sadrži širok spektar testova posticaja namenjenih nelinearnim slušnim aparatima. HIT440 nam takođe omogućava štampanje i elektronsko čuvanje svih podataka, pa postoji mogućnost kasnijeg upoređivanja nalaza.



Slika 6.3.1. Izgled HTI440

Ugrađena slušna test kutija ima tri nezavisna zvučnika koji omogućavaju ne samo testiranje normalnog rada slušnog aparata, već i za ispitivanje smera mikrofona. Ugrađena magnetna petlja omogućava testiranje telefonske zavojnice (Slika 6.3.2.).



Slika 6.3.2. Način ispitivanja slušnog aparata

#### 6.4. Osnovno održavanje slušnih aparata

Slušni aparati se moraju svakodnevno održavati, čuvati suvimi, kako bi pravilno funkcionišali. Vrlo je važno da se slušni aparat održava pažljivo, isto kao naočare ili neka druga visoka tehnologija. Slušni aparat mora biti uklonjen iz uva kad postoji mogućnost za njegovo oštećenje (npr. u kupatilu i sl.). Slušni aparat ne sme biti u kontaktu sa vodom, takođe njegov rad može ometati ultrazvuk (fizikalne terapije itd.), lak za kosu, parfemi, vlaga ili toplota (slušni aparat se ne sme ostavljati na radijatoru, toplota iz fena ga takođe ometa itd.). Ukoliko je slušni aparat začepljen ušnom mašću njegov rad je onemogućen. Održavanje venta, je omogućeno pomoću četkice koja je prikazana na slici 6.4.1. Čišćenje se vrši blagim guranjem i okretanjem četkice kroz otvor.

Kada se baterija istroši potrebno je odmah ukloniti i zameniti drugom. Kada se odeljak za baterije otvori, bateriju je moguće izvaditi magnetnim vrhom univerzalne alatke koja je prikazana na slici 6.4.1. Ukoliko postoji vlaga na bateriji nju je neophodno obrisati. Kada se postavi nova baterija poželjno je sačekati par sekundi da bi ona počela raditi punim kapacitetom. Odeljak za baterije mora biti suv i bez prašine, bez prljavštine i ušne masti.

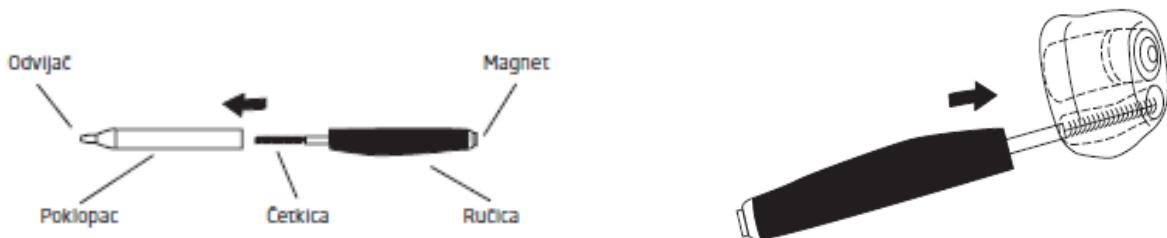


Slika 6.4.1. Priček uverzalne alatke

Ako je izlaz blokiran, najčešće ušnom mašću, prepreka se mora odstraniti kako bi aparat mogao funkcionišati. Različiti tipovi aparata zahtevaju različiti odstranjivanje.

BTE pomagalo sastoji se od lulice, plastične cevčice i umetka te ga treba čistiti svaki dan, na sledeći način:

1. Svi delovi aparata moraju se obrisati koristeći miku krpu ili papirnu maramicu.
2. Ušnu mast i prljavštinu u zvučnom kanalu i u ventu moraju se očistiti pomagalom koje ide uz aparat (Slika 6.4.2.). Čišćenje se vrši blagim guranjem i okretanjem četkice kroz otvor.

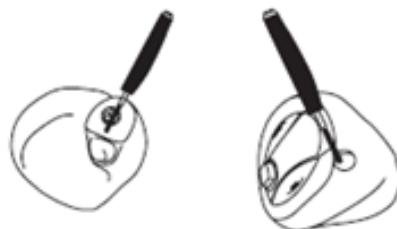


Slika 6.4.2. Čišćenje protetike slušnog aparata

3. Ukoliko je umetak jako prljav, odvaja se od aparata (plastične cevčice), stavlja se u mlaku vodu, dodaje tableta za čišćenje i posle 30 min. ispira pod mlazom vode. Umetak se ostavlja preko noći da se osuši i ne vraća se na aparat dok se ne osuši.
4. Plastična cevčica se mora zameniti ako je unuštena, tvrada ili žuta.

ITC, ITE i CIC aparati održavaju se na sledeći način:

1. Slušni aparat se briše mekom krpom ili papirnom maramicom.
2. Filter koji pokriva izlaz zvuka menja se posebnim priborom. Četkica služi za odstranjivanje ušne masti i prašine.
3. Vent se takođe čisti četkicom.
4. Otvor mikrofona takođe može biti začepljena prljavštinom, koja se takođe čisti četkicom koja se dobija uz aparat (Slika 6.4.3.).

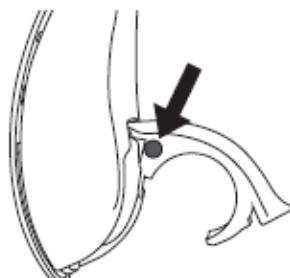


Slika 6.4.3. Čišćenje aparata

## 6.5. Postavljanje slušnih aparata

Slušni aparati su podešeni prema karakteristikama svakog uva što znači da, ukoliko korisnik posedujete dva aparata, aparat za levo uvo programiran različito od aparat za desno uvo. Zbog toga je važno razlikovati aparat namenjen za levo uvo od aparat namenjenog za desno uvo. U cilju lakšeg prepoznavanja najčešće postoje oznake (Slika 6.5.1.):

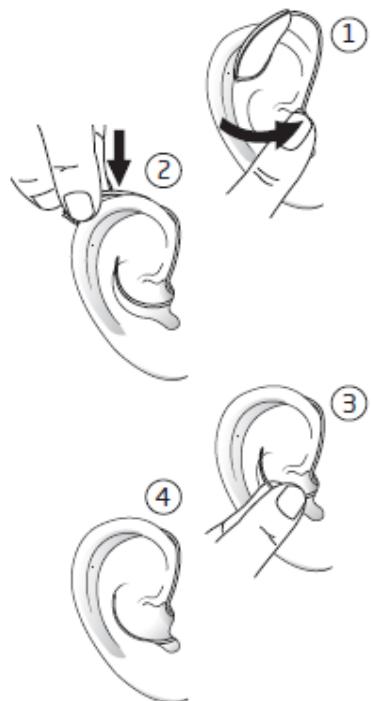
- Plava tačka- levi aparat,
- Crvena tačka-desni aparat



Slika 6.5.1. Određivanje slušnog aparata

Postavljanje RITE se vrši tako što:

1. Zvučnik sa ušnim uloškom postavi se u ušni kanal (1),
2. Postavi se aparat iza uva (2),
3. Vodi se računa da ušni uložak prati liniju ušne školjke (3),
4. Ukoliko aparat poseduje ušnu nit, postavlje se onako kako je prikazano na slici 6.5.2. (3 i 4), tako da prati oblik ušne školjke.

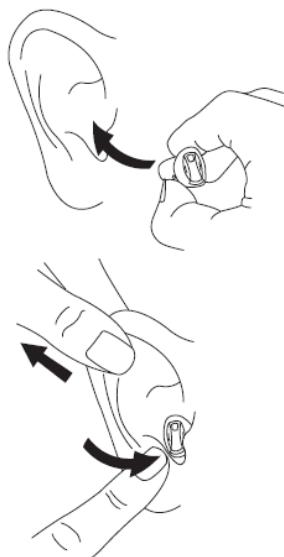


Slika 6.5.2. Postavljanje RITE aparata

Postavljanje ITE, ITC i CIC se vrši tako što (Slika 6.5.3.):

1. Postavlja se vrh slušnog aparata u ušni kanal.
2. Blago se povuče ušna školjka i gurne slušni aparat u ušni kanal, blago se okreće ukoliko je neophodno, prateći prirodan oblik ušnog kanala.

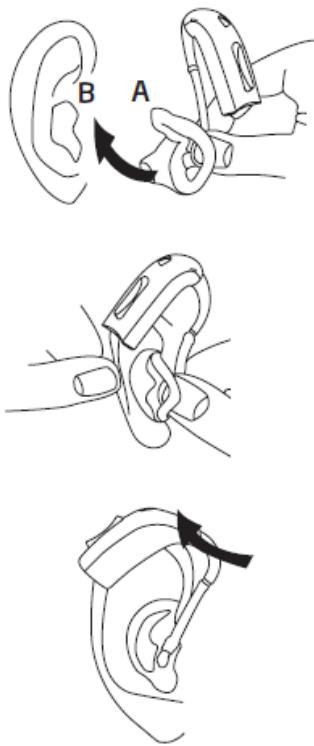
*Ne treba koristiti vrata kućišta baterije kao držać za postavljanje i vađenje aparata. Ona nisu predviđena za tu namenu.*



Slika 6.5.3. Postavljanje ITE, ITC i CIC aparata

Postavljanje BTE aparata se vrši (Slika 6.5.4.):

1. Postavi se vrh individualnog umetka u ušni kanal, lagano se okreće i vodeći računa da se gornji deo umetka (A) postavi u nabor ušne školjke (B).
2. Blago se povlači resa ušne školjke i gurne individualni umetak u pravcu ušnog kanala.
3. Nakon što je individualni umetak pravilno postavljen u uvo, postavlja se slušni aparat iza uva, prebacujući njegov donji deo preko vrha ušne školjke.



Slika 6.5.4. Postavljanje BTE aparata

## 6.6. Šta nam može pružiti slušni aparat

U većini slučajeva slušni aparati omogućavaju korisnicima normalnu komunikaciju sa drugim ljudima u svakodnevnim situacijama. Iako postoji gubitak slушa, korisnici aparata se mogu baviti raznim aktivnostima. No, potrebno je uzeti u obzir da **slušni aparat ne može vratiti normalan sluh**. Osnovni problem, iako je pomagalo u mogućnosti menjati mnoge karakteristike zvuka koje pokupi pomoću mikrofona, zvuk koji se obrađuje mora proći kroz oštećeni deo na svom putu od aparata do mozga.

U isto vreme aparat poseduje brojne funkcije, uključujući usmerenost i potiskivanje buke, koje pomažu u teškim situacijama.

Ako pacijent poseduje gubitak slusha na oba uva, onda je kandidat za dva slušna aparata. Naravno na pacijentu je da odluci da li želi da nosi dva slušna aparata, međutim, neophodno mu je objasniti prednosti biauralnog slušanja (slušanje na oba uva). Prednosti biauralnog slusha su:

1. Bolje razumevanje govora. Noseći dva slušna aparata, lako je postići selektivno slušanje. To znači da mozak može da se usresredi na razgovor koji želi da čuje. Istraživanja su pokazala da ljudi nošenjem dva slušna aparata rutinski razumeju govor i razgovor znatno bolje od ljudi sa jednim slušnim aparatom.
2. Bolje razumevanje u grupi i bučnim situacijama.
3. Bolja sposobnost određivanja pravca izvora zvuka- lokalizacija zvuka.
4. Bolji kvalitet zvuka. Kada se sluša u stereo sistemu, koristi se oba zvučnika da bi se dobio što oštriji i prirodniji zvuk. Isto se može reći i za slušne aparate.
5. Širi opseg slusha. Osoba može da čuje zvuke iz veće udaljenosti.

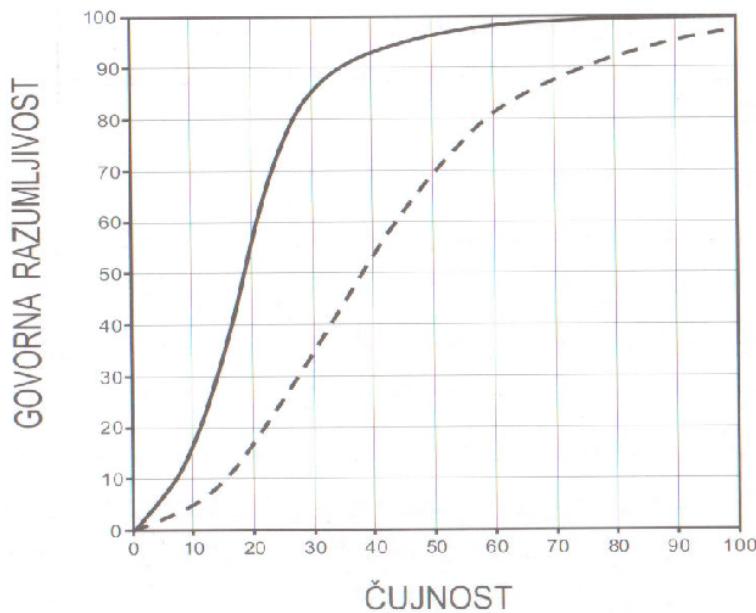
6. Bolja zvučna identifikacija. Često, sa jednim slušnim aparatom mnogi zvuci i reči zvuče podjednako, ali sa dva slušna aparata zvuci se bolje razlikuju.
7. Održava oba uva aktivna, što daje manju mogućnost za dalje pogoršanje sluha.
8. Slušanje je manje zamorno i prijatnije.
9. Osećaj uravnoteženog slušanja. Biauralno slušanje daje osećaj uravnoteženog prijema zvuka, poznatog kao stereo efekat, dok monoauralno slušanje stvara neobičan osećaj zvukova koji se čuju na jedno uvo.
10. Veća udobnost kada dođe do jake buke. Bolja tolerancija glasnih zvukova.
11. Smanjena je povratna informacija i zvižadnje.
12. Bolji osećaj ravnoteže.
13. Logično kao što se koriste oba oka za jasan vid, potrebno je i dva zdrava uva da se čuje jasno.

## **6.7. Čuti i razumeti**

Postoji velika razlika između mogućnosti da se čuje neki zvuk i da se razume. Primećivanje, odnosno detekcija, znači da čujemo zvukove koji su prisutni, a razumevanje znači shvatiti informacije koju zvuk nosi. Prevedeno na govorne glasove, znači da neko čuje govor ali ga ne razume. Svi zvuci koji su jači od praga sluha su čujni, što predstavlja i prvi preduslov za njihovu razumljivost. Kod svih ljudi postoji veza između čujnosti i govorne razumljivosti. Kada se govor uobičajenim, kontinuiranim govorom koji je poznat slušaocu i pored smanjene čujnosti postiže se veoma dobra razumljivost govora. Dok, prilikom govora koji je nepoznat slušaocu i pored dobre čujnosti dobijamo lošiju razumljivost. Takođe bolja je čujnost kad se sluša govor u tišini, nego u bučnoj okolini, što takođe utiče na smanjenu razumljivost govora. U bučnoj okolini, buka može ako je glasnija od praga sluha, uticati da stvarna granica bude utvrđena bukom, a ne gubitkom sluha. Tada je prag sluha maskiran. Ako je čujnost u tijoj okolini 40%, većina slušatelja će se snaći jako dobro, dok kod slušno oštećene osobe, npr. na zabavi, čujnost može pasti na 15-20% i zbog buke i gubitka sluha. U tom slučaju, razumljivost govora može pasti ispod 50%, pa slušno oštećena osoba mora pogadati šta je bilo rečeno ili se isključiti iz komunikacije.

Bez obzira na prag sluha, postoje individualne razlike u sposobnosti mozga da zaključuje i obrađuje informacije dobijene iz svih čula (vida, sluha, mirisa, ukusa...) i upoređuje ih i kombinuje sa učenjem, iskustvom i postojećom memorijom (kratkoročno-radna memorija i dugoročno pamćenje). To takođe utiče na razumljivost govora: što su sposobnosti mozga bolje, bolja je razumljivost govora, i obrnuto. S obzirom, da posle 65 godina života dolazi polako do opadanja tih sposobnosti, prirodna je i lošija razumljivost kod starijih osoba.

Kod čujnosti od 100% imamo sve elemente govora glasnije od praga sluha, dok kod čujnosti od 20% znači da je samo petina govornog sluha čujna. Veza između čujnosti i govorne razumljivosti data je grafikon 6.7.1. Crta pokazuje vezu sa uobičajenim, kontinuiranim govorom koji se sastoji od poznatih reči u jeziku i dijalektu sa kojim je slušalac odrastao. Kao što je prikazano na grafiku, nije potrebno čuti sve elemente govora, jer sa čujnosti od 40% postižemo razumljivost od gotovo 100%. Isprekidana crta nam pokazuje kako se ponaša korisnik kada se koristi strani jezik. Sve frekvencije ne pridonose isto razumljivosti govora. Vrlo je važno područje srednjeg frekvencijskog raspona. Za normalnu komunikaciju u tihom okruženju, raspon frekvencija ispod 500 Hz i iznad 4000 Hz pridonose vrlo malo govornoj razumljivosti.



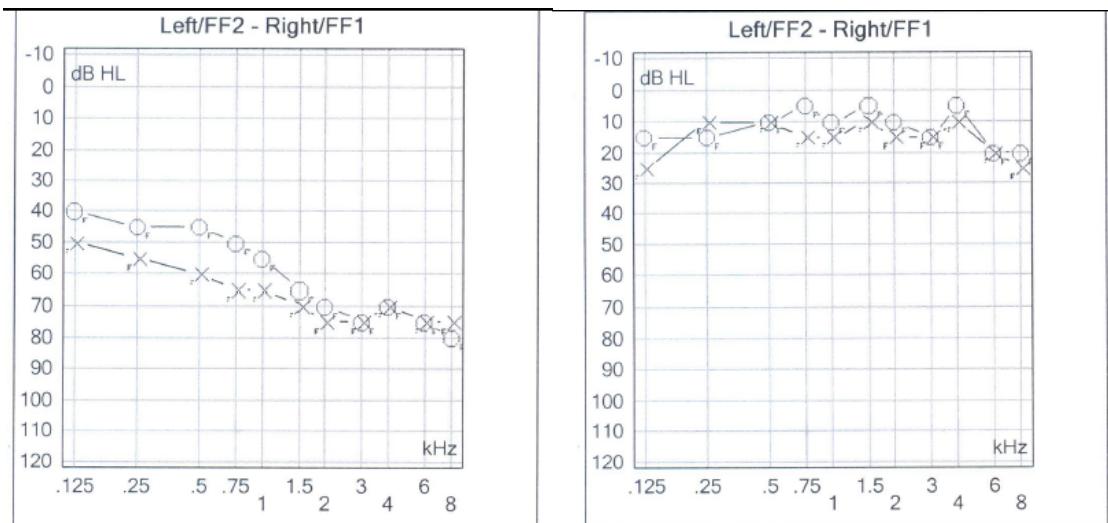
Slika 6.7.1. Različita razumljivost kod poznatog i stranog jezika

Kod osoba oštećenog sluha veoma je bitna razumljivost, koja je individualna i razlikuje se od osobe do osobe. Dvoje ljudi oštećenog sluha, sličnih audiograma, mogu imati potpuno drugačiju podešavanja aparata, jer nemaju iste kongitivne sposobnosti. Zato je potrebno podešavanje aparata po korisniku uz cilj postizanja najboljih rezultata razumljivosti.

## 6.8. Eksperimentalna potvrda

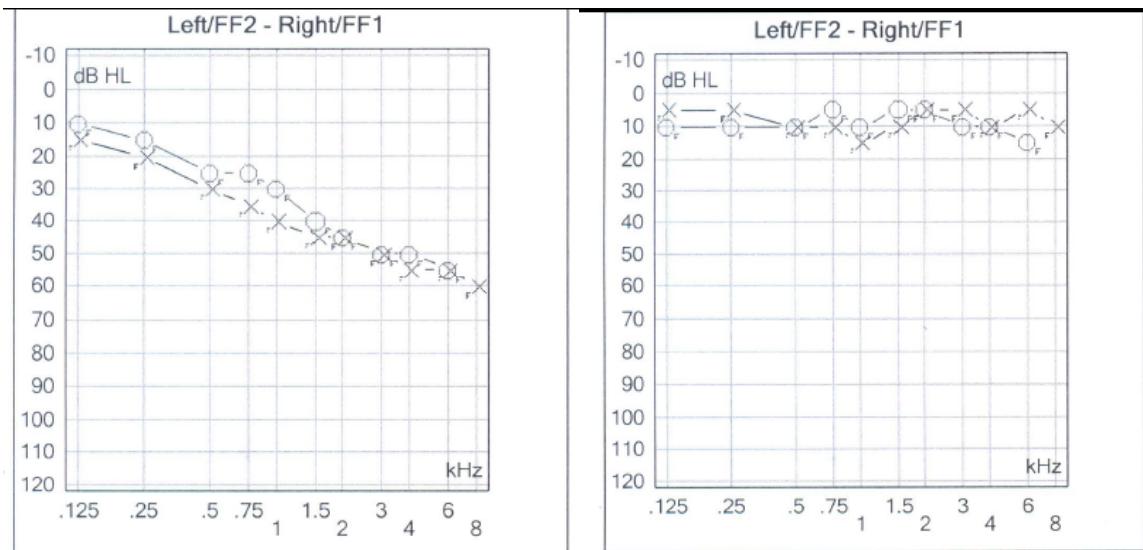
Na primeru kod pacijenata može se jasno videti se jasno videti napredak pri korišćenju BTE slušnih aparata.

Na slici 6.8.1. sa leve strane je audiogram pacijenta sa oštećenjem sluha srednje- teškog stepena. Sa korišćenjem slušnog aparata postignut je značajan napredak koji je dat na slici 6.8.1. sa desne strane.



Slika 6.8.1. Audiogram pacijenta sa oštećenjem sluha bez i sa slušnim aparatom

Na slici 6.8.2. dat je audiogram pacijenta sa oštećenjem sluha koji zavisi od frekvencije i sa povišenjem frekvencije njegov sluh je sve lošiji. Sa leve strane je audiogram sa oštećenjem sluha, a sa desne strane audiogram istog pacijenta uz upotrebu BTE slušnih aparata.



Slika 6.8.2. Audiogram pacijenta sa oštećenjem sluha bez i sa slušnim aparatom

Kao što se može videti sa audiograma kod oba pacijenta postignut je značajan napredak uz upotrebu slušnih aparata tipa BTE.

### **Zaključak:**

U ovom diplomskom radu osnovni cilj je bila analiza pojma *slušni aparati* i oblasti vrlo blisko vezane sa njim: mehanički talas, zvuk, anatomija uva, fiziologija uva, oštećenja sluha, audiologija i složenost i primena slušnih aparata.

Posle uvodne reči opisan je mehanički talas, a potom i zvuk sa svim svojim karakteristikama, a prvenstveno njegovo dejstvo na ljudsko uvo.

Sledeće poglavlje dalo je uvid u građu uva i objasnilo kako se zvuk prostire kroz slušni organ. Potom je objašnjeno oštećenje sluha i merenje oštećenja sluha.

Poglavlje o slušnim aparatima, nije obrađivalo samo jedan model slušnog aparata, već kroz osnovnu blok šemu, princip rada, podelu slušnih aparata po načinu rada, nošenja i načinu izrade, dalo je uvid u slušne aparate i njihovu složenost.

Tehnološki razvoj, a posebno pojava digitalne tehnologije, sigurno predstavlja važan korak u eksperimentalnom istraživanju u cilju definitivnog objašnjavanja funkcionisanja čula sluha. S druge strane, primena digitalnog čipa u slušnim aparatima ide u pravcu formiranja modela veštačkog akustičkog aparata. Međutim, još uvek savremene tehnološke inovacije ne mogu da zamene prirodu, već samo da je u izvesnom stepenu imitiraju.

Literatura:

1. Stanković, Slobodanka. *Fizika ljudskog organizma*. Novi Sad: Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, 2006.
2. Vučić, Božidar. Ivanović, Dragiša. *Fizika I*. Beograd: Naučna knjiga, 1970.
3. Guyton, Arthur. *Medicinska fiziologija*. Beograd- Zagreb: Medicinska knjiga, 1981.
4. Elberling, Claus. Worsoe, Kristen. *Iščeznuti zvuci- o sluhu i slušnim aparatima*. Split: Bontech Research, 2008.
5. Ljubiša Nešić, „Glava 9 - Talasi”, Prirodno-matematički fakultet Niš. <http://tesla.pmf.ni.ac.rs/people/nesiclj/predavanja/biologija/2009z/glava9.pdf> (preuzeto 11.4.2013.).
6. Zoran Komazec, „Fiziologija sluha”, Katedra za otorinolaringologiju KC Vojvodina. [http://www.ktios.net/stari/images/stories/clanovi\\_katedre/vlado\\_delic/Akustika/Akustika%20i%20audio%20tehnika/L021%20FIZIOLOGIJA-Komazec2010.pdf](http://www.ktios.net/stari/images/stories/clanovi_katedre/vlado_delic/Akustika/Akustika%20i%20audio%20tehnika/L021%20FIZIOLOGIJA-Komazec2010.pdf) (preuzeto 07.06.2013.).
7. Prof. Dr Vlado Delić, „Psiho-fiziološke Karakteristike audio signala”, [http://www.ktios.net/stari/images/stories/clanovi\\_katedre/vlado\\_delic/Akustika/Digitalna%20obrada%20audio%20signala/L02%20Psiho-fizioloske%20karakteristike%20audio%20signala.pdf](http://www.ktios.net/stari/images/stories/clanovi_katedre/vlado_delic/Akustika/Digitalna%20obrada%20audio%20signala/L02%20Psiho-fizioloske%20karakteristike%20audio%20signala.pdf) (preuzeto 06.06.2013.).
8. [www.slusni-aparati.com](http://www.slusni-aparati.com)
9. <http://www.oticon.com/products/technology-and-design/core-technologies/overview.aspx>

***Biografija:***



Rođena sam 15. maja 1984. godine u Novom Sadu. Osnovnu školu „Veljko Dugošević“ u Rumi i srednju Medicinsku školu „Draginja Nikšić“ u Sremskoj Mitrovici završila sam sa odličnim uspehom. Školske 2003/2004. godine upisala sam Prirodno-matematički fakultet, smer Medicinska fizika na Departmanu za fiziku. Tokom studija sam pomagala u realizaciji jednog međunarodnog stručnog seminara u organizaciji ACIMSI- Centra za medicinsku fiziku i medicinsko inženjerstvo.

UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

*Redni broj:*

**RBR**

*Identifikacioni broj:*

**IBR**

*Tip dokumentacije:*

Monografska dokumentacija

**TD**

*Tip zapisa:*

Tekstualni štampani materijal

**TZ**

*Vrsta rada:*

Diplomski rad

**VR**

*Autor:*

Ljiljana Pantelić

**AU**

*Mentor:*

Dr Olivera Klisurić

**MN**

*Naslov rada:*

Slušni aparati

**NR**

*Jezik publikacije:*

srpski (latinica)

**JP**

*Jezik izvoda:*

srpski/engleski

**JI**

*Zemlja publikovanja:*

Srbija

**ZP**

*Uže geografsko područje:*

Vojvodina

**UGP**

*Godina:*

2013

**GO**

*Izdavač:*

Autorski reprint

**IZ**

*Mesto i adresa:*

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

**MA**

*Fizički opis rada:*

Broj poglavlja/broj strana/broj tabela/ broj slika/broj grafika/broj

**FO**

referenci/broj priloga: 6/63/0/55/15/0/0

*Naučna oblast:*

Fizika

**NO**

*Naučna disciplina:*

Medicinska fizika

**ND**

*Predmetna odrednica/ ključne reči:*

Mehanički talas, zvuk, ljudsko uvo, sluh, slušno oštećenje, primena slušnih aparatova i njihova pomoć ljudima sa oštećenim slušom

**PO**

UDK

*Čuva se:*

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

**ČU**

*Važna napomena:*

Nema

**VN**

*Izvod:*

Rad govori o mehaničkom talasu, sa posebnim akcentom na zvuk i prostiranju zvuka kroz organ sluha. O oštećenju sluha i slušnim aparatima koji pomažu slušno oštećenim osobama.

*Datum prihvatanja teme od NN veća:*

02.07.2013.

**DP**

*Datum odbrane:*

09.07.2013.

**DO**

*Članovi komisije:*

**KO**

*Predsednik:*

Prof. Dr Agneš Kapor

*član:*

Prof. Dr Olivera Klisurić

*član:*

Prof. Dr Zoran Komazec

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS  
KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*

**ANO**

*Identification number:*

**INO**

*Document type:*

**DT**

*Type of record:*

**TR**

*Content code:*

**CC**

*Author:*

**AU**

*Mentor/comentor:*

**MN**

*Title:*

**TI**

*Language of text:*

**LT**

*Language of abstract:*

**LA**

*Country of publication:*

**CP**

*Locality of publication:*

**LP**

*Publication year:*

**PY**

*Publisher:*

**PU**

*Publication place:*

**PP**

*Physical description:*

**PD**

*Scientific field:*

**SF**

*Scientific discipline:*

**SD**

*Subject/ Key words:*

**SKW**

**UC**

*Holding data:*

**HD**

*Note:*

**N**

*Abstract:*

**AB**

Monograph publication

Textual printed material

Final paper

Ljiljana Pantelić

PhD Olivera Klisurić

Hearing aids

Serbian (Latin)

English

Serbia

Vojvodina

2013

Author's reprint

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

6/63/0/55/15/0/0

Physics

Medical physics

Mechanical waves, sound, the human ear, hearing, hearing aids, the use of hearing aids and their support for people with hearing loss

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

none

This paper describes the mechanical wave, with an emphasis on sound and sound propagation through the organ of hearing. About deafness and hearing aids to help hearing impaired people.

*Accepted by the Scientific Board:*

02.07.2013.

**ASB**

*Defended on:*

09.07.2013.

**DE**

*Thesis defend board:*

**DB**

PhD Agneš Kapor

*President:* PhD Olivera Klisurić

*Member:* PhD Zoran Komazec