

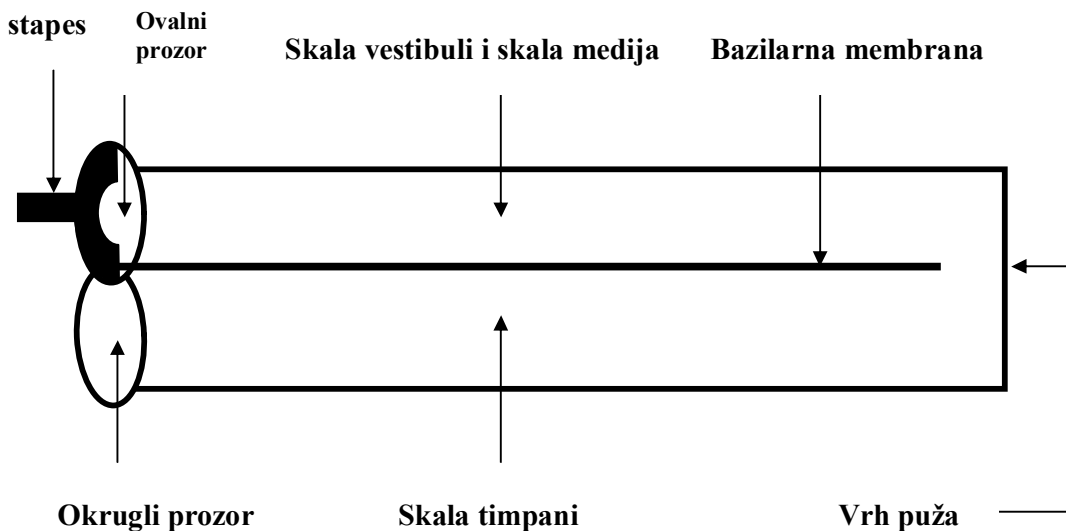
POSLEDNJA KARIKA AUDIO LANCA (2. deo)

Unutrašnje uvo, naš lični mehaničko/ električni pretvarač

Puž (kohleja) čini sistem spiralno savijenih cevi . Sastoji se od tri različite cevi ispunjene tečnošću, savijene u obliku spirale jedne uz drugu:

- 1) skala vestibuli
- 2) skala medija
- 3) skala timpani

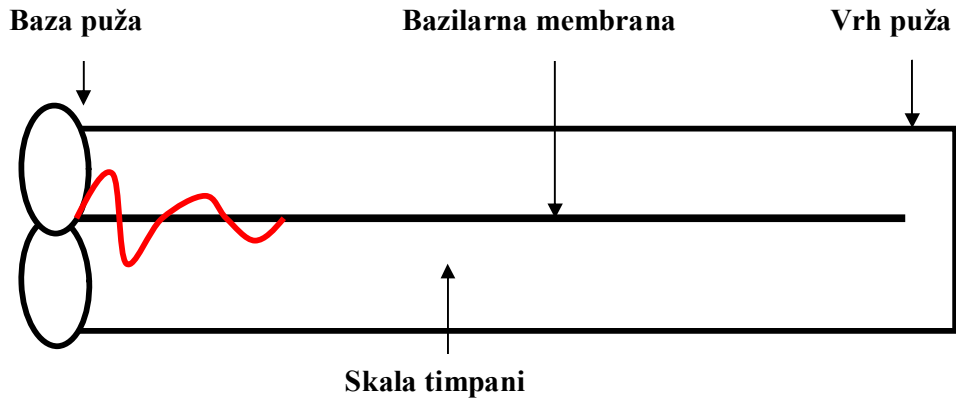
Skala vestibuli i skala medija su među sobom razdvojene *vestibularnom* membranom (nebitnom za objašnjenje organa sluha, tako da su ove dve cevi prikazane kao jedna, funkcionalna celina), a skala timpani i skala medija su odvojene *bazilarnom membranom*. Na površini bazilarne membrane leži **Kortijev (Corti) organ**, koji se sastoji od niza elektromehanički osetljivih ćelija. Te ćelije su završni receptivni organi, koji stvaraju nervne impulse, kao odgovor na zvučne vibracije. Na donjoj slici se vidi, kako bi izgledalo unutrašnje uvo, kada bi "odmotali" spiralu puža:



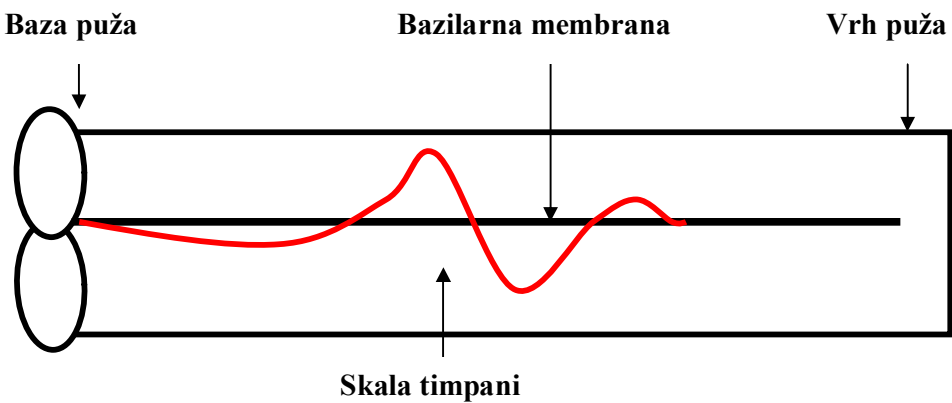
Zvučne vibracije ulaze u skalnu vestibulu preko baze stapesa na ovalnom prozoru, za koji je pričvršćena elastičnim vezama, tako da se lako može pomerati prema unutra i prema spolja. Pomicanje baze stapesa prema unutra pokreće tečnost u skalnu vestibulu i skalnu mediju, a pomicanje prema napolje izaziva vraćanje tečnosti. Bazilarna membrana se sastoji od 20.000 do 30.000 bazilarnih niti. Ova vlakna su čvrste i elastične strukture, slične piskovima, koje su jednim krajem učvršćena, a sa drugim nisu, tako da mogu slobodno vibrirati poput piskova u, na primer, usnoj harmonici. Dužina piskova se progresivno povećava od ovalnog prozora prema vrhu puža, i to od 0.04mm do 0.5mm, što znači *povećanje* od 12 puta.

S druge strane, dijametar vlakana se smanjuje u smeru od ovalnog prozora prema vrhu puža, pa se njihova ukupna krutost *smanjuje* više od 100 puta. Kao rezultat toga, kruta i kratka vlakna u blizini ovalnog prozora puža će vibrirati na visokim frekvencijama, dok će duga i savitljiva vlakna blizu vrha puža vibrirati na niskim frekvencijama. Dakle, pri visokim frekvencijama bazilarna membrana rezonuje blizu ovalnog prozora, dok se pri niskim frekvencijama rezonancija dešava blizu vrha puža, uglavnom zbog razlike u krutosti vlakana, ali i zbog povećanja opterećenja ("load"-a) bazilarne membrane viškom tečnosti koja mora vibrirati uvek između bazilarne membrane na jednom kraju i okruglog i ovalnog prozora na drugom kraju.

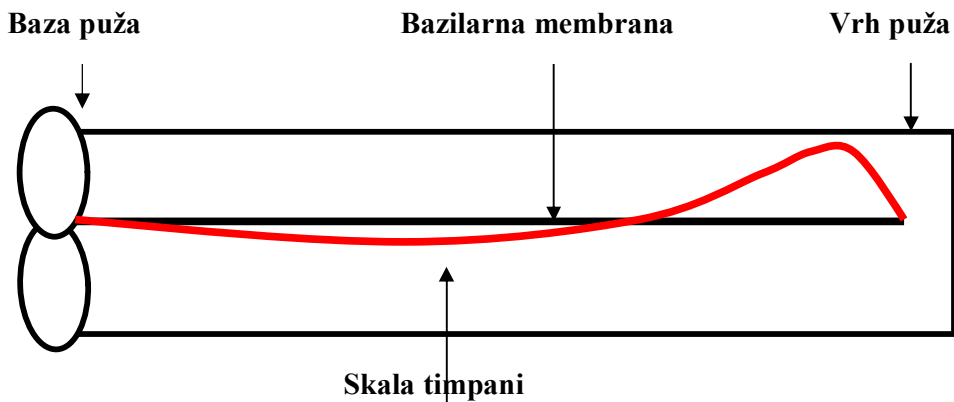
Ovaj obrazac mesta maksimalne rezonance piskova pokriva frekventni opseg od 200Hz -a, gde se maksimalna amplituda javlja pri vrhu puža, do 8000Hz -a, gde se maksimalna amplituda rezonance piskova javlja pri ovalnom i okruglom otvoru (bazi puža). Dakle, glavni način po kom organ sluha razlikuje frekvencije u opsegu od 200Hz-8kHz se zasniva na mestu *maksimalne stimulacije* nervnih vlakana, koji se nalaze na bazilarnoj membrani i stimulisani su rezonancijom piskova, koji čine vlakna bazilarne membrane:



***2*putujući talas² visoke frekvencije**



***2*putujući talas² srednje frekvencije**



***2*putujući talas² niske frekvencije**

Nervne ćelije sa bazilarne membrane stimulisane na ovaj način šalju impulse preko nervnih vlakana slušnog živca (njih oko 30.000) prema centralnom nervnom sistemu na nivou pro dužene moždine.

Kako se onda čuju zvuci niske frekvencije, od 20Hz-200Hz? Pretpostavlja se da se zvuci niske frekvencije uglavnom razlikuju po principu frekvencije, odnosno plotuna. To jest, zvuci niskih frekvencija dovode do toga, da se slušnim nervom do jedara mozga odašilju salve impulsa (plotuna) koji imaju istu frekvenciju, kao i zvučni talasi .

Zatim se nervni putevi dalje granaju prema raznim bazalnim slušnim jedrima da bi završili uglavnom u suprotnoj moždanoj hemisferi (to znači, da informacije iz leve uva obrađuje uglavnom desna moždana hemisfera, i obrnuto). Drugo, ova vlakna odlaze i prema centrima, koja regulišu napetost bubne opne preko muskulusa stapedijusa i muskulusa tenzora timpani, da bi zaštitili slušni aparat od prekomerne buke. Treće, slušna nervna vlakna pokazuju visoki stepen prostornog rasporeda zvučnih frekvencija za fino razlikovanje zvučnih frekvencija u slušnoj kori velikog mozga, kao i bogate veze sa asocijativnim centrima, potrebnim da slušaoc ne samo čuje zvuke, nego njih i da *prepozna*.

Razlikovanje glasnosti: slušni sistem određuje glasnost na barem tri načina:

- sa porastom jačine zvuka povećava se amplituda vibracija bazilarne membrane, tako da ona češće razdražuje slušna nervna završetke
- sa porastom amplitude zvuka dolazi i do *prostorne sumacije impulsa* na bazilarnoj membrani
- određeni delovi bazilarne membrane se stimulišu jedino sa izuzetno velikom amplitudom zvučne energije, tako da se smatra, da oni služe da na neki način obaveste centralni nervni sistem, da je zvuk *veoma glasan*.

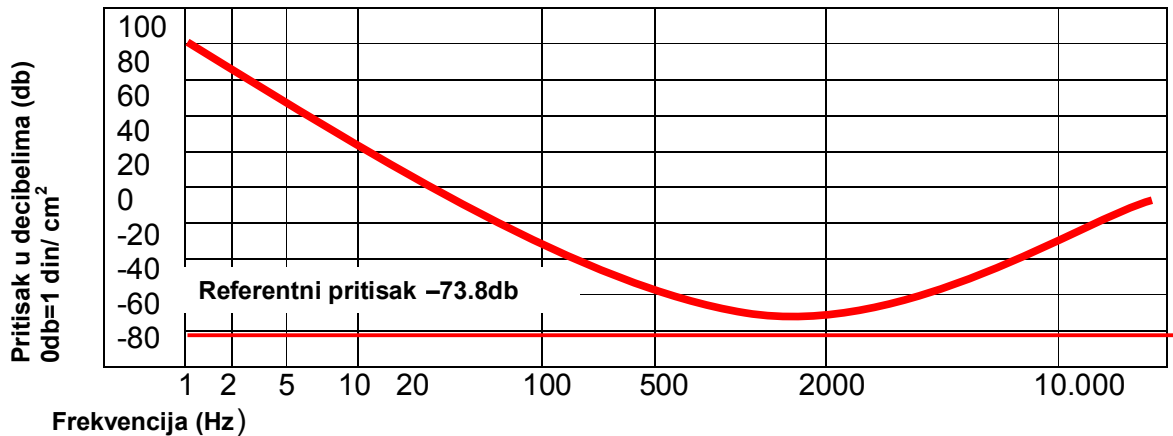
Zapažanje promene glasnosti zvuka : svi senzorni sistemi čoveka, pa i čulo sluha funkcioniše na taj način, da se *promena intenziteta senzornih stimulusa interpretira približno srazmerno eksponencijalnoj funkciji stvarne jačine* . U slučaju zvuka, interpretirana senzacija se menja približno srazmerno trećem korenu stvarne jačine zvuka. Drugim rečima, uvo može raspoznati razlike u jačini zvuka od najtišeg šapata do najglasnije moguće buke, što predstavlja povećanje zvučne energije od približno *1 bilion puta*, ili 1 milion puta povećanje amplitude pokreta bazilarne membrane (uzimajući u obzir srednje uvo, kao prilagođavač impedanse, odnosno pretvarač amplitude zvučne energije u silu za pokretanje baze sapesa na bazi unutrašnjeg uva). Prema tome, uvo interpretira tu ogromnu razliku u zvučnoj energiji izvora zvuka kao promenu za oko 10.000 puta. To praktično znači, da osoba može zapaziti razlike u jačini zvuka u vrlo širokom opsegu, mnogo širem, nego što bi to bilo moguće, da nema sabijanja raspona jačine. Zato se i jačina zvuka, koje uvo može zapaziti i razlikovati izražava kao logaritam njegove stvarne jačine. Desetostruko povećanje zvučne energije se naziva 1 Bel, a 0.1 bel se naziva decibel (db). Jedan decibel predstavlja stvarno povećanje zvučne energije za 1.26 puta. Drugi razlog korišćenja logaritamskog sistema je, da ljudsko uvo može jedva zapaziti promenu jačine zvuka od približno 1 decibela.

Dragi audiofilii, na osnovu prethodnih pasusa vidimo, da je priroda, sa znalačkim umećem primenila u par navrata i na pravim mestima stvari, kojih se audio čistunci groze, ali koje su (barem kada je organ sluha u pitanju) na ključnim mestima ipak nezaobilazne:

- pretvarač impedanse (slušne koščiće)
- komprimovanje i sumiranje signala (bazilarna membrana)
- višestruke puteve signala (nervni putevi ka bazalnim jedrima, kontralateralnim stranama kore velikog mozga)
- negativnu povratnu spregu (meru zaštite organa sluha od preterane buke)

A sada dolazi ono najšokantnije: prag čujnosti raznih fekvencija *uopšte nije linearan* , nego zavisi od frekvencije tona!

Na donjem dijagramu se vidi prag energije (pritiska) pri kome uvo još jedva može čuti zvuke različitih frekvencija, odnosno, *prag čujnosti različitih frekvencija*:



Vidi se na osnovu krivulje praga čujnosti, da se zvuk od 3000Hz može čuti i kada njegova jačina iznosi 70 db ispod nivoa zvučnog pritiska od 1 din/cm^2 , što je jednako jedan desetmilioni mikrovat/ cm^2 ! Sa druge strane, zvuk od 100Hz može se čuti samo onda, kada mu je jačina 10.000 puta veća od spomenute. Najverovatni je razlog ovakve distribucije osetljivosti uva na razne frekvencije može biti dvojak:

- najveća osetljivost je u srednjem frekventnom opsegu, na kome se vrši većina verbalne komunikacije (frekventni opseg govora)
- zaštitna funkcija unutrašnjeg uva od niskih frekvencija, koje stimulišu celom dužinom receptore bazilarne membrane, koje pri većim amplitudama mogu dovesti do oštećenja slušnog aparata (žalostan primer, koji to potvrđuje je nagluvost u celom frekventnom opsegu kod radnika izloženim dugo godina veliki m nivoima buke)

Dragi audiofilii, opet stvar nije tako crna: zar sličan trik nije primenjen pre više od pola veka, sa zapisivanjem niskih frekvencija sa manjom amplitudom u odnosu na zapis viših frekvencija, sa korakom od oko 6db strmine krivulje po oktavi, da bi se omogućio zapis kompletnog frekventnog opsega zvučne informacije na miljenici, nazvanog gramofonska ploča, a nazvan je RIAA krivulja? Organ sluha prema tome, odvajkada ima "RIAA krivuljar", da bi čovek sve čuo sa pravom merom, uključujući i mere bezbednosti po sopstveni sluh.

U sledećem nastavku će biti reči o ulozi kore ve likog mozga u senzaciji sluha.