

### 13. УРЕЂАЈИ ЗА ИСПИТИВАЊЕ И ПОБОЉШАЊЕ ЧУЛА СЛУХА

**Чуло слуха** је орган за слушање или чујење, што представља процес *пријема* и *перцепције* звука.

**Звук** је механички талас који носи сигнале из животне околине и које човек може да чује.

**Пријем звука** представља прикупљање енергије звучног таласа у *органу чула слуха* и трансформацију звучног у биоелектрични сигнал који се слушним нервом преноси у *мождани центар* за слух.

**Мождани центар за слух** је регион у мозгу за *перцепцију* звука.

**Перцепција звука** представља процес анализе, интеграције и препознавање звучних сигнала можданом центру за звук што је значајан информационо комуникациони процес за опстанак, животиња и човека.

#### 13.1. Орган чула слуха

**Орган чула слуха** је *уво* или *ухо* које представља биолошки пријемник звучних сигнала, односно сензорни орган за трансформацију акустичких промена притиска у биоелектричне потенцијале који се кроз слушни живац прослеђују у *мождани центар* за слух.

##### 13.1.1. Анатмија уха

**Ухо** садржи три, по функцији и анатомији, различита подсистема: *спољашње*, *средње* и *унутрашње уво*, приказана на слици 13.1.

**Спољашње уво** чине *ушна шкољка* и *слушни канал*.

**Ушна шкољка** је кожом покривено хрскавичаво ткиво левкастог облика формирано асиметрично око отвора слушног канала. На ниским учестаностима испод 100 kHz, односно у подручју већих таласних дужина ушна шкољка нема утицаја на перцепцију звука, док на високим учестаностима изнад 10 kHz, односно за звук са малим таласним дужинама ушна шкољка представља препреку за пријем звука.

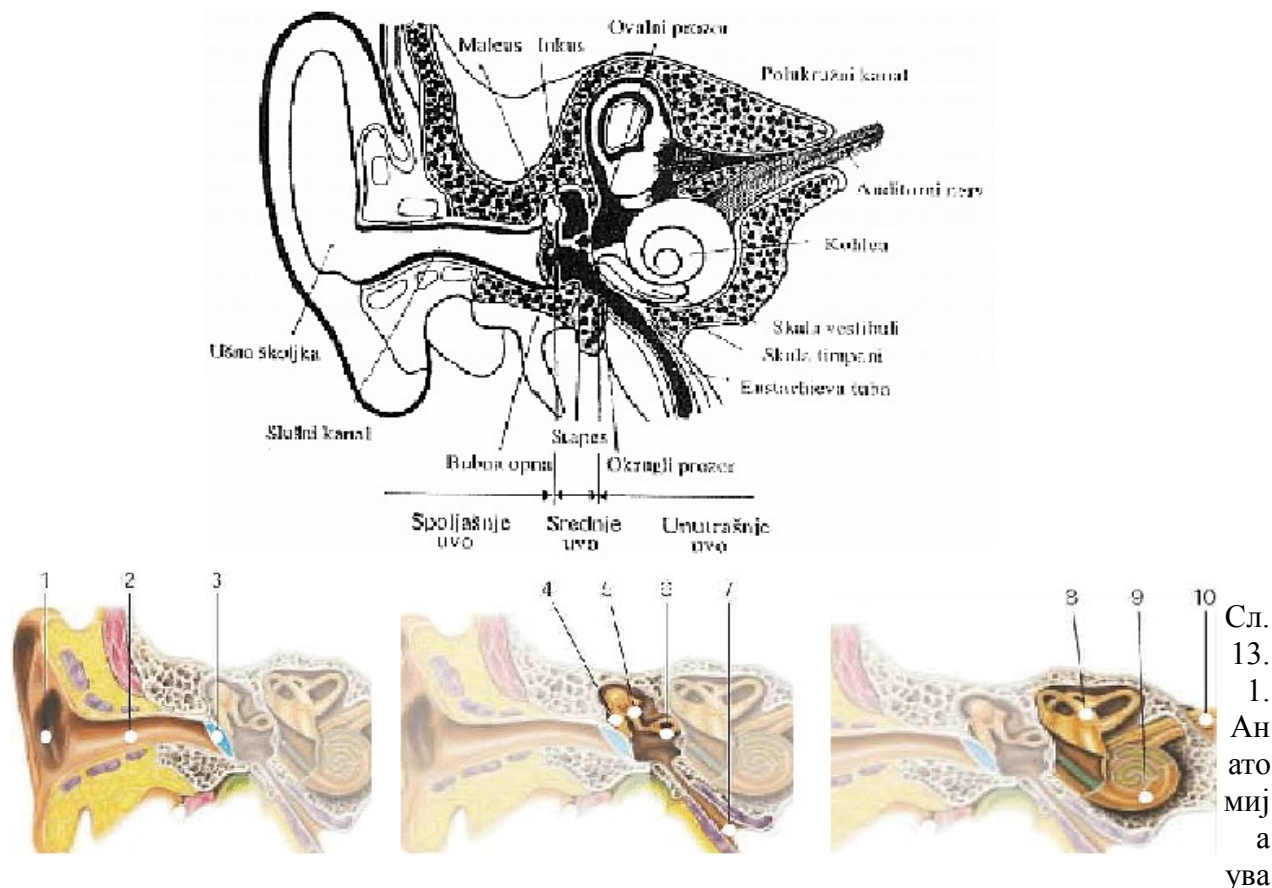
**Слушни канал** је шупљина, дужине 25-30 mm и пречника око 7 mm, између ушне шкољке и средњег ува, која има функцију звуковода до бубне опне коју штити од спољашњих утицаја. Преносна карактеристика слушног канала на слици 13.2. дефинисана је као однос одзива и побуде, то јест као разлика нивоа звука на површини бубне опне и улаза у канал. Са дијаграма се види да слушни канал уноси извесно селективно појачање у неким деловима чујног опсега. То је последица појаве резонансе у слушном каналу што изазива повећање нивоа звука на бубној опни. Прва резонанца канала је у области 3 – 4 kHz. Појачање које она уноси је реда величине 10 dB. За те учестаности људско уво је најосетљивије, што је очигледно допринос слушног канала. Друга резонанца канала се јавља у области изнад 10kHz.

**Средње уво** представља шупљину између спољашњег и унутрашњег ува са *бубном опном* и *три слушне кошчице*. Шуљина средњег ува је повезана са усном дупљом једном капиларном цевчицом која се назива *Еустахијева туба*.

**Бубна опна** је танка, конусна, косо постављена мембрана на крају слушног канала,

### 13. Уређаји за испитивање и побољшање чула слуха

дебљине око 0,1 mm, за акустичко-механичку трансформацију звучних вибрација из ваздуха у механичке вибрације слушних кошчица средњег ува. За бубну опну је везана прва слушна кошчица - "чекић". Један мали мишић стално држи бубну опну затегнутом стању и структура њеног осциловања релативно је сложена јер на различитим учестаностима различити делови опне учествују у осциловању. На високим учестаностима смањује се ефективна површина опне која учествује у осциловању.

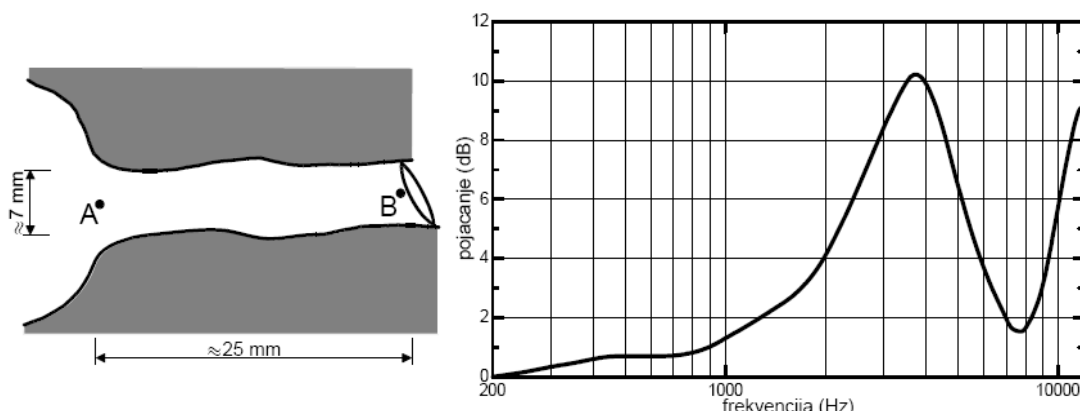


Сл. 13.1. Анатомија ува

: 1- ушна шкољка(Auricle), 2 – слушни канал (External acoustic meatus), 3 – бубна опна (Tympanic Membrane), 4 – чекић ( malleus), 5- наковањ ( incus), 6- узенгија ( stapedius), 7- Еустахијева цев, 8 – орган за равнотежу(Utriculus&Sacculus), 9 – пуж (cochlea) и 10 – слушни живац

**Еустахијена туба** је танка цевчица, пречник је око 1 mm, видљива на слици 13.1, која спаја централну шупљину средњег ува са усном дупљом. Преко Еустахијеве тубе се, по потреби, остварује ваздушна веза између спољашње средине и коморе средњег ува, што значи између спољашње и унутрашње стране бубне опне. То омогућава изједначавање притисака са две стране опне, чиме се спречава њена реакција на промене статичког, односно атмосферског притиска. Оваква компензација је веома важна при летењу авионом, а посебно при рођењу када спољашњи притисак на бубну опну може вишеструко да премаши вредност нормалног атмосферског притиска. Ова цев је у нормалним околностима затворена, али се при гутању или зевању отвара. Због тога је при наглим променама спољашњег притиска потребно понављати гутање да би се отварањем Еустахијеве тубе изједначавао притисак са спољашње и унутрашње

стране бубне опне. Упални процеси могу учинити да се због отицања слузокоже Еустахијева туба не може отворити. Тада не постоји могућност компензације притисака, што проузрокује бол у ушима при променама статичког притиска. Када је цев отворена, сопствени глас се чује много јаче и са промењеном бојом, јер звук из усне дупље доспева кроз тубу директно у средње уво. Уз малу вежбу може се и без гутања или зевања контролисати отварање тубе.



Сл. 13.2. Слушни канал и преносна карактеристика за уво са димензијама на слици 13.1.

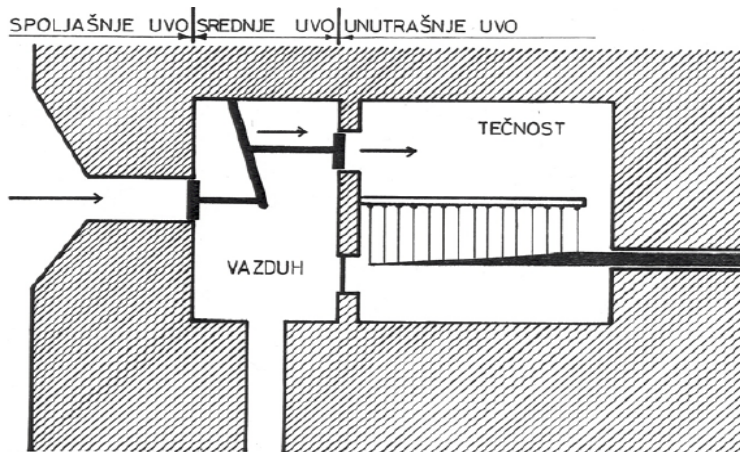
**Слушне кошчице** сачињавају механички систем преноса вибрација бубне опне на улаз кохлеа унутрашњег уха и на тај начин врши трансформацију акустичке импедансе. Звук се кроз тај систем преноси у облику вибрација кошчица. Унутрашње уво је испуњено течномшћу. Када средње уво не би постојало и када би звук из ваздуха директно побуђивао мембрану иза које је течност унутрашњег уха, разлика у импедансама ваздуха и течности учинила би пренос звучне енергије веома неефикасним. Због ове разлике готово сва звучна енергија би се рефлектовала назад у ваздух, па би процес перцепције звука био веома неефикасан.

Начин на који су слушне кошчице међусобно повезане представља основу њихове функције. Шематски приказ рада средњег уха са кога је јаснија његова улога трансформатора приказан је на слици 13.3. Слушне кошчице делују као систем полуге. Релативно велики ход бубне опне која на кошчице делује малом силом трансформише се у већу силу која малим ходом делује на улаз унутрашњег уха. На тај начин је постигнуто прилагођење између ваздушне средине из које долази звук и течности у унутрашњем уву где се налазе сензори.

**Унутрашње уво**, које се састоји од спирално смотаног канала – *кохлеа*, смештене у коштаном шупљини скалпа, представља систем за трансформацију акустичких вибрација у биоелектричне сигнале.

**Кохлеа** је цев са слушним рецепторима, испуњена течномшћу, смотана у облику пужа, око 2,5 навоја, укупне дужине око 35 mm, подељена на два дела преградом која се назива базиларна мембана. У самом врху између горњег и доњег дела налази се отвор, тако да течност може слободно да циркулише између два дела простора кохлеа. На почетку кохлеа, у њеној бази, налазе се две мембране, означене на слици 13.3. На горњој, која се назива овални прозор, припојена је слушна кошчица узенгија, преко ње се врши звучна побуда унутрашњости кохлеа. Доња, која се назива округли прозор, има пасивну функцију. Пошто је течност у унутрашњости кохлеа нестишљива, свако померање овалног прозора према унутрашњости кохлеа мора да прати одговарајуће кретање округлог прозора према спољашности, и обрнуто. Овакав "пуш-пул" рад две мембране омогућава звучну побуду унутрашњости кохлеа. Са доње стране

базиларне мембране, читавом њеном дужином, налазе се рецепторске ћелије које реагују на сваки покрет мембране. Механичка померања при осциловању мембране доводе до механичке побуде сензорских ћелија, што као резултат даје одговарајућу нервну активност.



Сл. 13.3. Модел за приказ функционисања ува

Акустички параметри човечијег ува прилагођени су пријему звука у ваздуху као природном окружењу.

Функцију ува у техничким системима обавља микрофон који звучне сигнале претвара у електричне. Могуће је да се произведу микрофони истих акустичких карактеристика док то за уво није случај јер постоје индивидуалне разлике између људи и у способности перцепције звука. Подаци о карактеристикама чула слуха су статистички показатељи, добијени су мерењем и усредњавањем испитивања великог броја људи.

### 13.1.2. Надражај чула слуха и чујни опсег

**Надражај или стимулацију чула слуха** представљају звучни таласи одређене јачине и таласне дужине.

Чуло слуха има способност пријема и перцепције звучног надражаја у одређеном *чујном опсегу*.

**Чујни опсег** представља ограничено подручје на дијаграму јачине и учестаности, односно таласне дужине, звучних таласа у којем је могућа перцепција звука, што је приказано на слици 13.4.

Човечије чуло слуха има моћ перцепције звука у опсегу од 17 милиметара до 20 метара који изазива осцилације бубне опне и вибрације слушних кошчица у опсегу учестаности од 16 и 20.000 Hz. Испод 16 Hz су инфразвучи чије су таласне дужине у ваздуху веће од 20 метара, а изнад 20.000 Hz су ултразвучи чије су таласне дужине мање од 17 милиметара.

Опсег јачине, односно површинске снаге звука за коју чуло слуха адаптира осетљивост је у широком опсегу од неколико пиковати по метру квадратном што представља праг чујности до неколико њата по метру квадратном што представља границу бола. Чуло слуха различито је осетљиво на појединим учестаностима звука због чега се интезитет звука изражава у

### 13. Уређаји за испитивање и побољшање чула слуха

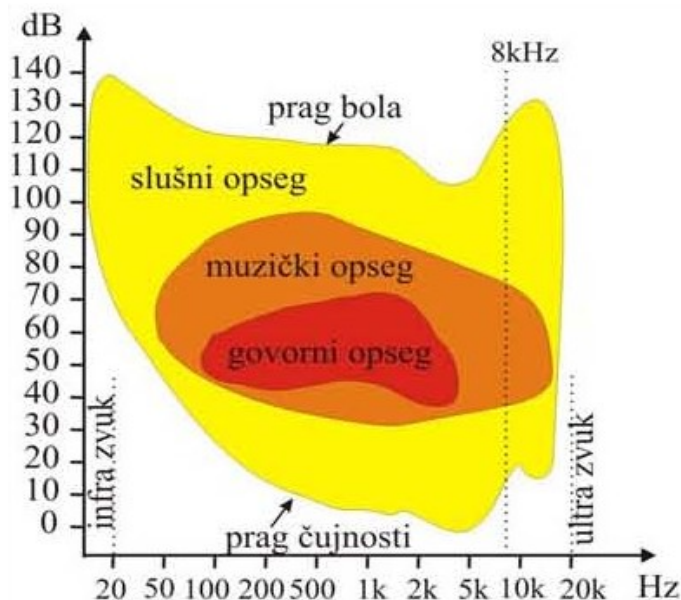
субјективним релативним логаритамским јединицама *фонима*.

**Фон** је јединица за субјективно мерење објективне вредности интензитета, односно јачине звука која одговара нивоу звука у dB на учестаности од 1000 Hz, док се за остале учестаности јачина звука у фонима одређује експериментално. Звук непознате јачине упоређује се са звуком познате јачине и учестаности 1000 Hz. На овај начин се добијају изофонске линије или линије исте јачине звука.

За испитивање чујног опсега појединаца користе се *аудиометри*.

**Аудиометри** су *тонгенераторски* уређаји за дијагностику чујног опсега чула слуха који производе *тонове* чија се јачина и учестаност могу подешавати.

**Тон** представља најједноставнију звучну појаву произведену простоприодичним осцилатором који осцилује само на једној учестаности и производи звучни талас само једне таласне дужине. Тонове су повољни за испитивање звука јер могу лако и тачно да се репродукују, а прецизно су одређени својом учестаношћу и јачином. Тонове које може да региструје људско ухо деле се на дубоке: од 20 – до 250 Hz, средње: од 250 Hz до 1500 Hz, и високе: преко 1500 Hz. Нормално здраво уво може да запази промену висине звука око 0.5 – 0.6 %. Осећај висине звука, међутим, не зависи само од учестаности, већ и од интензитета звука. Зато се тон исте учестаности када има већи интензитет чини дубљим. Висина тона представља човечији осећај учестаности осциловања звучног таласа, док јачина звука је осећај снаге звука, која зависи од снаге звучног извора и још више од интензитета звучног таласа на пријему



Сл.13.4. Дијаграм чујног опсега здравог чула слуха зависно од јачине и учестаности звука

Чујни опсег смањују различити поремећаји чула слуха. На дијаграму са слике 13.14 назначена учестаности од 8 kHz као граница почетка наглувости ако је чујни опсег, односно перцепција испод ове учестаности.

### 13.1.3. Функционисање чула слуха

Спољашње уво прикупља и концентрише звучне таласе кроз слушни канала према бубној опни средњег ува. Пренос звука кроз ваздушну средину слушног канала изазива слабљење јачине звука. Средње уво има задатак да компензује губитак услед отпора при прелазу звука из ваздушне на чврсту и течну средину. Главни проводни и трансформациони ефекти у кондукцијском апарату слуха настају у средњем ува.

Средње уво је систем са специфичном анатомијом за обављање функције појачања звука која се огледа у дејству бубне опне, слушних кошчица и овалног прозора кохлеје.

Структура бубне опне, као веома фина мембрана, конусног облика и лако затегнута, са влакнима која омогућавају вибрирање у широком дијапазу фреквенција, допушта да се приме без отпора сви тонови чујних учестаности.

Захваљујући ефекату полуге код преноса звука са бубне опне прело ланца слушних кошчица звучни притисак је на крају ланца око 1.3 пута већи него што је то био на бубној опни.

Концентрација звучних таласа са бубне опне на око 22 пута мању површину овалног прозора, што представља трећи ефекат који највише доприноси компензацији губитака на прелазу звука према унутрашњем ува.

За нормално функционисање проводног система од великог је значаја не само интегритет и помичност свих структура средњег ува, већ и пролазност Естахијеве трубе која повезује средње уво са носном дупљом за изједначавање притисака са обе стране бубне опне.

У физиологији слуха је важна и заштитна функција мишића средњег ува, који својим контракцијом доводе до затезања бубне опне и укрућења ланца слушних кошчица, чиме се смањује сувише велики пренос звучне енергије, која би могла да оштети слух.

Спољашње и средње уво анатомски је прилагођено за ефикасан пренос звучног таласа до мембране. Звучно поље делује на читаву површину главе слушаоца, али због разлике у импеданси кости и ваздуха ефикасност звучне побуде кости главе је мала. Међутим, површина костију знатно је већа од површине слушног канала. Због тога количина енергије која преко кости ипак стиже до унутрашњег ува ипак у укупној суми није сасвим занемарљива. Појава да звук из спољашње средине доспева до течности унутрашњег ува преко костију главе, паралелно путању кроз средње уво, назива се коштана проводност. Укупна побуца унутрашњег ува звучном енергијом која стиже преко кости главе за неколико редова величине је мања од енергије која стиже регуларним ваздушним путем. Ипак, њен допринос се у неким околностима може се приметити. На пример, коштана проводност одређује максималне домете заштите ува са заштитним чепићима који се стављају директно у слушни канал. Чак и када би они уносили бесконачно слабљење, укупни резултат заштите свео би се на оно што се чује преко коштане проводности. Због тога само са заштитном кацигом која штити читаву површину главе могуће је остварити већи ниво заштите.

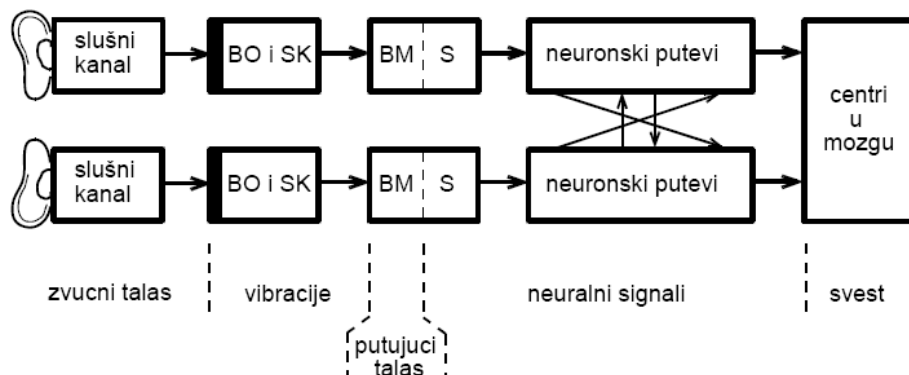
Чуло слуха као пријемник звука чине два физички раздвојена сензорска система: лево и десно уво. Они су постављени са супротних страна главе као симетричне физичке препреке која их раздваја, па због тога сигнали на левом и десном ува у општем случају нису једнаки. Овакав механизам перцепције назива се *бинаурално слушање*. Таласне појаве на глави производе разлике које се појављују између притисака на бубним опнама левог и десног ува.

Карактеристично је да постоје две физички идентичне путање аудио сигнала који полазе од левог и десног ува као што је приказано на слици 13.5.

На улазу у уво звучни сигнал је у облику звучног таласа који на крају слушног канала

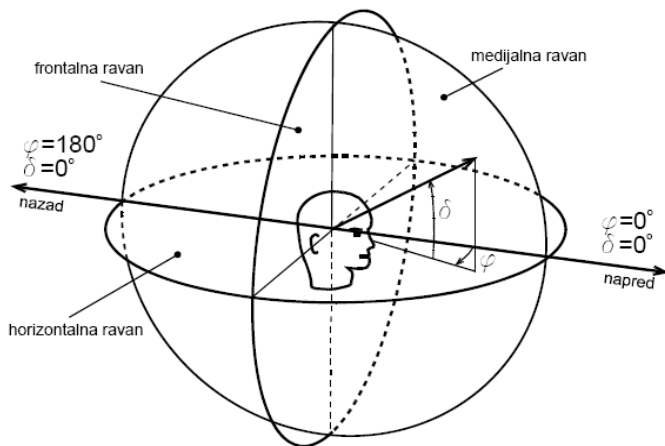
### 13. Уређаји за испитивање и побољшање чула слуха

изазива вибрације бубне опне и слушних кошчица. Механочке вибрације слушних кошчица производе електричне сигнале у унутрашњем уву који се нервним влакнима преносе до центара у мозгу. У том делу путање јављају се међусобни утицаји побуде из левог и десног ува, и неке карактеристике слуха последица су оваквих утицаја. Све информације се стичу у центрима у мозгу, где се формира звучна слика. Приказана шема не обухвата путеве деловања повратних спрега које постоје у систему. Карактеристична је повратна спрега акустичког рефлеска која делује на средње уво, односно слушне кошчице ради заштите од прекомерне звучне побуде. Сложене спреге се јављају и у делу неуронских путева.



Сл. 13.5. Поједностављена блок шема функционисања слушног система: БО – бубна опна, SK – слушне кошчице, BM – базиларна мембрана, S– сензори

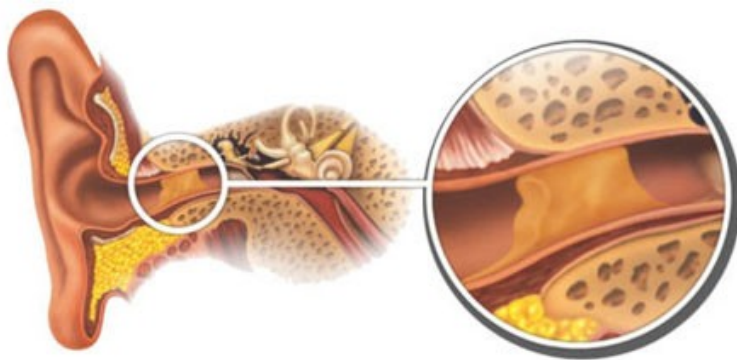
Бинаурално слушање омогућава одређивање просторних параметара звучних извора. Систем чула слуха прилагођен је тродимензионалном звучном пољу. Његов рад се описује осетљивошћу на интензитет побуде и резолуцијом по правацима наиласка звучне побуде у просторном домену. Ова особина подразумева способност чула да одреди правац из кога звучни талас наилази на главу слушаоца. За дефинисање просторних димензија перцепције звука уводи се координатни систем главе какав је приказан на слици 13.5. Глава и њен положај у простору одређују хоризонталну, медијалну и фронталну раван, као и правац напред - назад. Правац и смер наиласка звучног таласа на главу слушаоца дефинише се азимутом  $\varphi$  и елевацијом  $\delta$ . Координатни систем са слике 13.6 везан је за главу и креће се заједно са њом.



Сл. 13.6. Просторни координатни систем главе у коме се одвија перцепција звука

Критеријуми за нормалан слух, наглувост и глувоћу нису потпуно усклађени нити су стални. Као нормалан слух, према коме је усвојена и интернационална вредност за праг слуха од 0 dB, послужио је просек минималних интензитета које је чуло 1000 студената Харвардског универзитета у Америци, млађих људи који немају никакве сметње са ушима и слухом. Међутим као практично здрав слух може се сматрати и нешто слабија осетљивост слуха, са губицима од око 20 dB, која ипак омогућава нормалну комуникацију са људима. Особе са већим оштећењем слуха, које мање или више омета комуникацију, сматрају се *наглумим*.

**Наглувост** представља ограничену способност чула слуха која може бити *кондуктивна*, *сензориневрална* и *мешовита*.



Сл. 13.7. Чеп у слушном каналу као узрок кондуктивне наглувости

**Кондуктивна наглувост** представља умањену способност чујења због сметњи у преносу звука кроз спољашње и средње уво. Узроци могу бити; блокада спољашњег ува чепом ушне масти, колекција флуида у средњем уву, као и оштећење бубне опне због инфекције или повреде.

**Сензориневрална наглувост** је проузрокована поремећајем у унутрашњем уву и овакне наглувости су трајне. Ови пацијенти су приморани на коришћење слушних апарата.

Границе између појединих категорија оштећења слуха зависе од много фактора.

Код мале деце, рођене са оштећеним слухом или оштећење након рођења, проблем је што се губитак слуха теже примети па се остаци слуха запуштају. Глува деца не могу да науче да говори јер не чују говор, што доводи до глувонемости. За разлику од деце, одрасле особе, када изгубе слух, су у повољнијој ситуацији јер знају да се пожале на свој недостатак, пре тога су говориле и познавале звук, па је проблем корекције и рехабилитације далеко лакши.

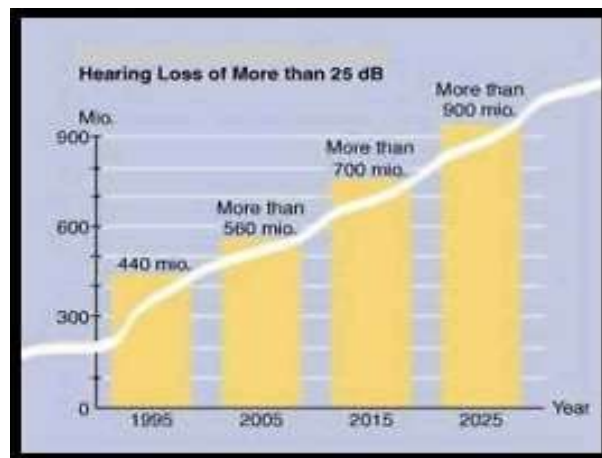
Најшешћа је *старачка наглувост*, слух се постепено губи са позним годинама живота. Наглуво је око 30 до 35% особа између 65 и 75 година старости, а 40-50% особа старијих од 75 година. Најпре долази до нагловости за звук високих учестаности а затим се оглуви и за звук средњих и нижих учестаности. То значи да се све теже чује цвркул птица и звонце телефона а говор се чује као нејасно мумлање, поготову ако је у позадини бука. Сугласници као "с" и „т“ тешко се чују. Лакше се чује глас мушкарца него жене који је виших учестаности.

**Глувоћа** представља потпуни губитак звучне перцепције, који уопште не допушта социјални контакт преко чула слуха, чак ни помоћу специјалних појачала.

Оштећење слуха је, све чешћа појава због великог броја физичких, хемиских,

### 13. Уређаји за испитивање и побољшање чула слуха

инфективних, биолошких и других фактора, који могу да оштете слух у сваком добу живота. Усавршавањем слушних апарата омогућава се и изразито наглувим особама да чују.



Сл. 13.8. Бука као узрочник оштећења чула слуха и процена наглувости до 2025. године

За компензацију оштећења развијене су методе *медицинске* и *аудиолошке рехабилитације чула слуха*.

**Медицинска рехабилитација** хирушким методама и лековима побољшава осећај слуха.

**Аудиолошка рехабилитација** разним *слушним апаратима* појачава спољне звуке тако да их могу чути и наглуве особе којима се слух није могао медицински поправити.

Потребе за слушним апаратима су изразите. Само у Сједињеним Америчким државама 10 милиона пати од значајног губитка слуха, од чега 4 милиона старија од 65 година, 5 милиона 18-64 године и 500 хиљада млађих од 18 година. Просечно око 10% становника пати од губитка слуха, 50% после 75 година живота, 3 од 10 после 60 година, 1 од 6 или 14.6% између 41 и 59 године, 1 од 14 или 7.4% између 29 и 40 године, у просеку човек губи слух после 51 године живота. Оптимистично је да 50% случајева губитка слуха може да се компензује применом слушних апарата, док се око 10 до 15% губитка слуха може третирати лековима.

Предуслов за успешну рехабилитацију је *испитивање чулног система*.

## 13.2. Испитивање чула слуха

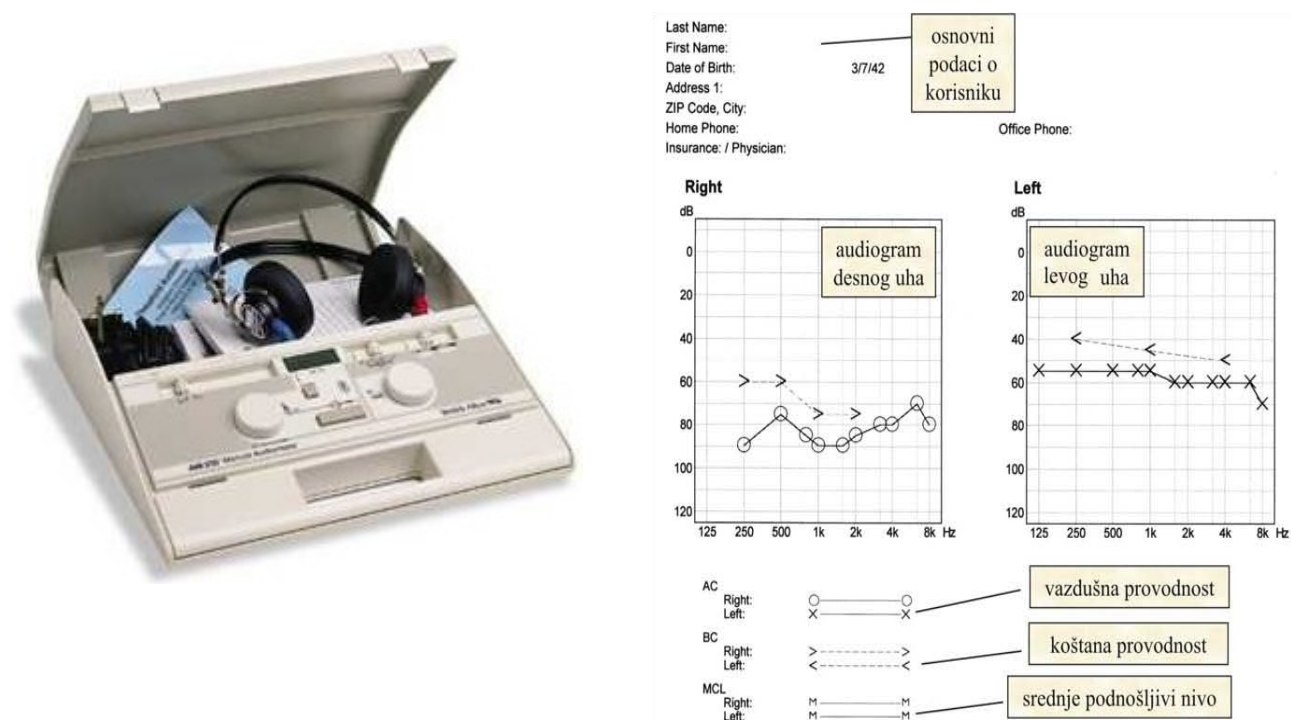
**Испитивање чула слуха** представља дијагностички поступак који обухвата одређивања прага чујења на различитим учестаностима чујног подручја као и методе за испитивање средњег ува и функционисање кохлеје.

### 13.2.1. Одређивање прага чујности

**Праг чујења** представља најнижи ниво звука који испитаник може да чује на различитим учестаностима чујног подручја.

**Одређивање прага чујности** обавља се помоћу *аудиометра* и слушалица у аудиолошкој кабини у сарадњи са испитаником, због чега се метода означава као субјективна.

**Аудиометар** је тонгенератор, уређај који производи тонове - звук одрђене учестаности.



Сл. 13.9. Примерак једног аудиометра и аудиограма

За праг чујности испитује се звучна проводност ваздушног канала ува као и звучна проводност костију главе. За испитивање коштане проводности користе се специјалне вибратор слушалице. Стимуланс за мерење проводности ваздушног канала је чист тон, емитован преко слушалица за свако уво посебно на 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Hz. За испитивање звучне проводности користе се тонови на 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Hz емитовани преко вибратор слушалице фиксирани на мастоидни наставак. Испитаник укључује сигнализацију када чује тонове које му пушта оператер на различитим учестаностима. Резултат се бележи на

аудиограму. Прво се испитује регистар средњих тонова 1000 Hz, затим високих 2, 4 и 8 kHz а на крају дубоких тонова 500, 250 и 125 Hz. После тога се прелази на испитивање коштане водљивости звука.

**Аудиограм** представља графички запис зависност прага чујења од учестаности.

### 13.2.2. Испитивање средњег ува

**Испитивање средњег ува** обавља се методом *тимпанометрије*.

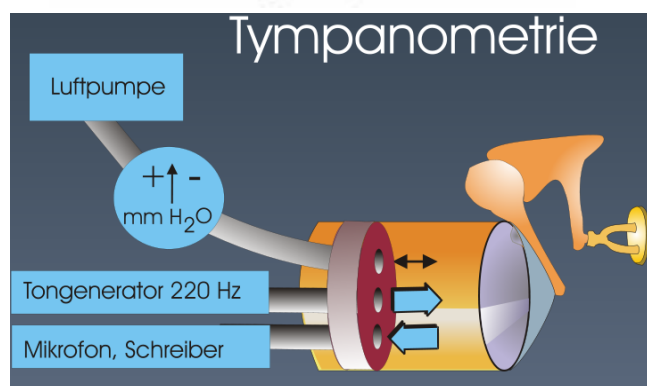
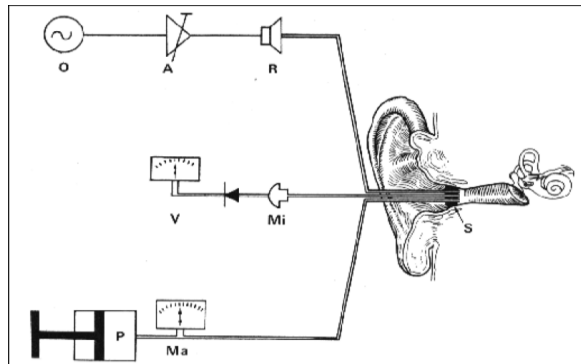
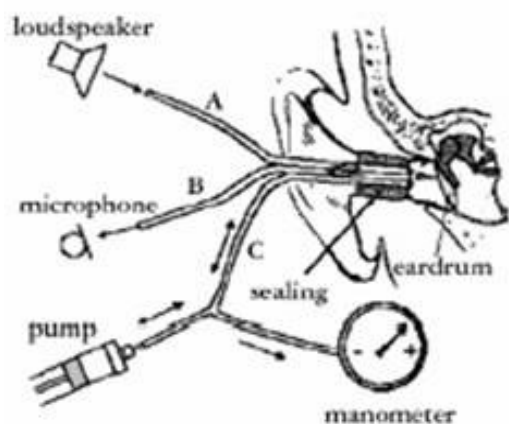
**Типанометрија** је објективна техника за испитивање статичке комплијансе и ланца слушних кошчица средњег ува.

**Комплијанса** је покретљивости бубне опне која је обрнуто пропорционална импеданци - отпорности: максимална је када је притисак у слушном каналу и кавуму тумпани изједначен.

Мерење се обавља преко спољашњег слушног ходника уз помоћ *тимпанометра*.

**Тимпанометар** представља уређај који се састоји од тонгенератора са звучником, микрофонским индикатором и манметром системски повезаних за мерење импедансе – комплексне отпорности ушног звукопроводног система, као што је приказано на слици 13.10.

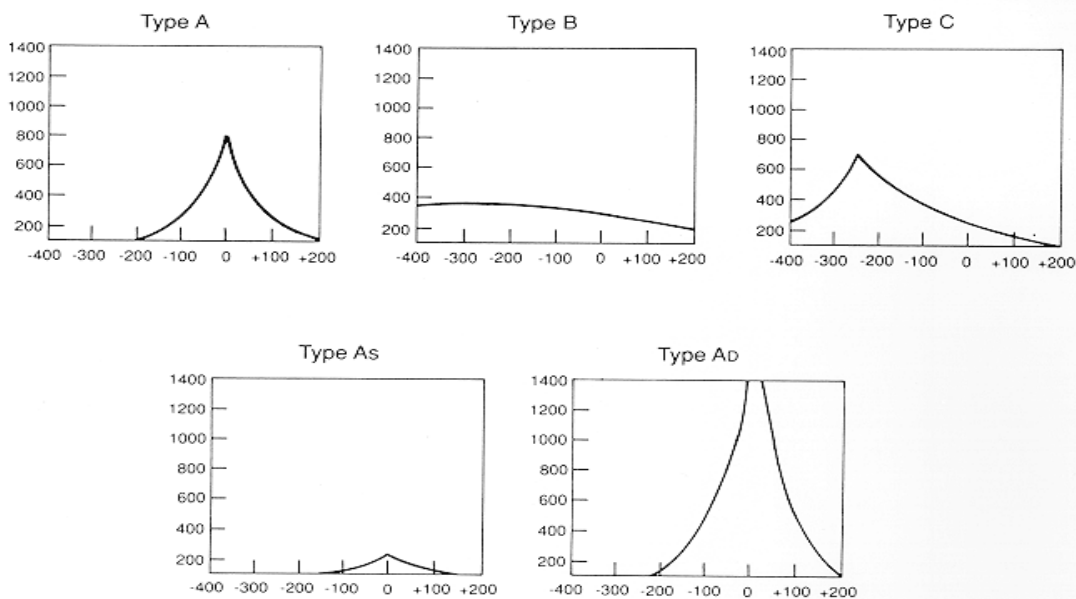
Ушни канал се херметички затвара меканом улошком тако да постане затворени систем за преонс звучног таласа. Уложак тимпанометра има три прикључка повезана са тонгенератором подесиве јачине тона и учестаности, *микрофоном* за контролу нивоа звучног притиска и *манометра* за мерење ваздушног притиска у запремини спољашњег ушног канала.



Сл. 13.10. Тимпанометар: шема функционисања, блок шема и примерак констукције

Током мерења тонгенератор емитује тон који се спроводи у ушни канал где се региструју промене притиска услед апсорпције тона од стране бубне опне и ланца слушних кошчица. Код очуване функције и нормалног стања овог дела чула слуха, бубна опна се укрути у пољу нултог притиска, имеданца се повећава а комплијанса смањује. Покретљивост бубне опне приказује се исписивањем *типанограма*.

**Типанограм** представља дијаграм зависности покретљивости бубне опне од звучног притиска и одражава стање у средњем уву. На слици 13.11 приказани су карактеристични типови типограма.



Сл. 13.11. Тимпанограм А, А<sub>с</sub>, А<sub>Д</sub>, В и С

Тимпанограм А – означава нормалну функцију средњег ува.

Тимпанограм А<sub>с</sub> – карактерише нормалан притисак али смањену комплијансу. Налази се у случајевима отосклерозе, повреда бубне опне или тимпаносклерозе. А<sub>с</sub> означава “плитак”, снижен врх.

Тимпанограм А<sub>Д</sub> – карактерише велика промена комплијансе (хиперпокретљивост) при малим променама притиска. Јавља се када дође до дисконтинуитета у ланцу слушних кошчица.

Типанограм В – када су промене у комплијанси мале или их уопште нема при промени притиска. Нема локализације врха типанограма. Представља патолошки резултат. Говори о смањеној или потпуној непокретности бубне опне и преносног система. Јавља се код отитиса, перфорације бубне опне, малформација, итд.

Тимпанограм С – се карактерише нормалном комплијансом али локализацијом врха у области изразито негативног притиска (-200 mm H<sub>2</sub>O). Бубна опна има извесну покретљивост. Говори о томе да функција Еустахијеве тубе постоји, али је смањена или повремено ометена.

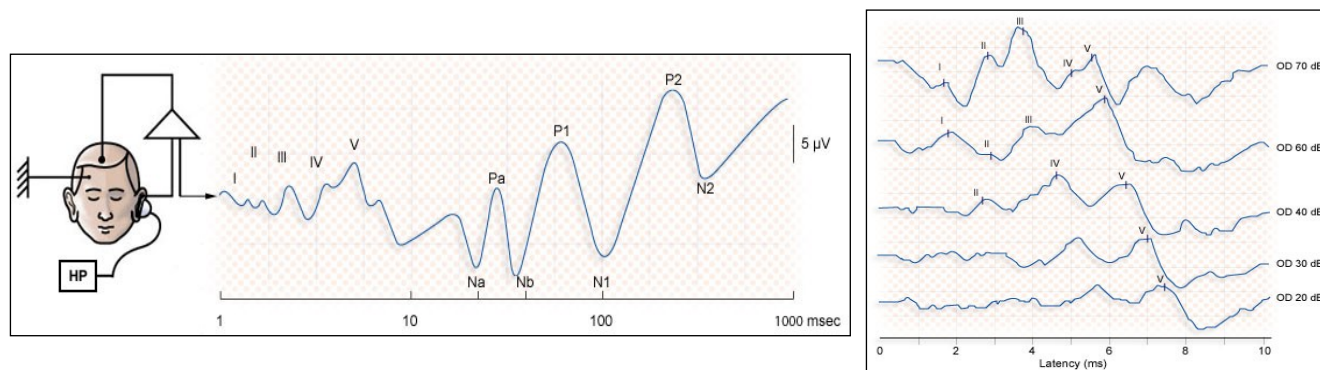
### 13.2.3. Испитивање стања и функционисања кохлеје

**Испитивање стања и функционисања кохлеје** заснива се на мерењу ехо ефекта саме кохлеје насталог услед акустичке стимулације методом **Ото акустичке емисије** – **OAE** (*Oto Acoustic Emission*). Један део звучног таласа примарну стимулацију обави у правцу база – апикални део кохлеје, ка хеликотреми. Повратна енергија која иде од апикалног ка базалном делу, је показатељ стања и функције овог дела чула слуха. OAE представља звучни сигнал забележен у спољашњем слушном ходнику који потиче од физиолошки виталне и осетљиве кохлеје. OAE може да настане спонтано, али много чешће настаје као последица акустичке стимулације. Физиолошка основа OAE налази се у активности спољашњег реда цилијалних/сензорних ћелија. Електропокртељивост тих ћелија производи пасивне вибрације кохлеарних структура, што им даје улогу биомеханичког појачивача и омогућава да чујемо и оно што је испод прага чујности.

<b>Спонтан а (SOAE)</b>	Појављује се без стимуланса. Емисиони сигнал је стабилан. Појављује се од 0.5 до 6 kHz. Код одраслих најчешће 1-2 kHz, код деце 2-7 kHz. Већа амплитуда емисионог сигнала код жена. Не региструје се код прага слуха преко 40 dB.
<b>Транзијентна (TEOAE)</b>	Називају се и евоциране или изазване OAE. Настаје као одговор кохлеје на кратак сигнал у ушном каналу. Значајна код новородјенчади, јер се може користити у првим данима живота. Стимуланс је клик или тонски прасак.
<b>Дисторзована (DPOAE)</b>	OAE изазвана дејством два тона различите фреквенције, а настала је као производ нелинеарних изобличења у кохлеји. Тон ниже фреквенције означава се са $f_1$ на нивоу $L_1$ , тон више фреквенције означава се са $f_2$ на нивоу $L_2$ . Омогућава локализовано испитивање функције кохлеје.

Поред метода за испитивања процеса слушања развијене су и методе за регистрацију психофизичких параметра који се јављају као последица слушања, а дешавају се на субкортикалном и кортикалном нивоу централног нервног система – CNS-а. За испитивање евоцираних потенцијала потенцијале на нивоу можданог стабла користи се **BERA** метода.

**BERA** – (**Brain Evoked Response Audiometry**) метода представља аудиометрију евоцираних можданих таласа за регистровање електромагнетских потенцијала који се стварају у кортексу на акустичку стимулацију, као што је приказано на слици 13.13. Уређајима се региструју потенцијали који настају у аудитивном систему као последица акустичке стимулације. Одговор се бележи графички у виду формираног таласа I до V. Интензитет на коме се појављује формираних свих V таласа сматра се прагом слуха који се умањује за 10-20 dB.



Сл. 13.12. Начин повезивања и регистровања потенцијала методом BERA

### 13.3. Слушни апарати

**Слушни апарати** представљају протетичке уређаје за компензацију наглувости помоћу микрофона, електронског појачавача, процесора сигнала и слушалица омогућавајући слушање код инсуфицијентног, недовољног, делимично оштећеног чула слуха.

Најчешћи недостатак чула слуха је смањена осетљивост што се манифестује као наглувост због чега је појачање звучног сигнала основна функција слушног апарата. Смањење осетљивости није равномерно на свим чујним учестаностима што условљава да појачање звучних сигнала помоћу слушног апарата треба да се прилагођава за сваког корисника посебно.

**Претече електронских слушних апарата** су уређаји у облику рога, односно трубе која својим ширим делом сакупља звучну енергију чија се густина повећава преносом ка тањем крају због чега се повећава јачина звучног таласа што погодује компензацији наглувости. Корисници су танки крај трубе прислањали на ушни канал а велики отвор усмеравали према извору звука.



Сл. 13.13. Претече слушних апарата: трубе за фокусацију енергије звучног таласа

#### 13.3.1. Развој и структура електронских слушних апарата

Развој концепта електронских слушних апарата датира из прве половине 19 века када је Александар Грахам Бел патентирао први микрофон и слушалицу. Електронско појачање сигнала остварено је конструкцијом вакуумске електронске цеви триоде. Први слушни апарат са електронском цевом реализован је 1920. године. Електронске цеви су биле непрактичне за преносне уређаје због потребе напајања са релативно високим напонем, грејањем и потрошњом. Смена електронских цеви са нисконапонским транзисторима омогућила је

### 13. Уређаји за испитивање и побољшање чула слуха

реализацију преносивих слушних апарата већ 1952. године. Развој конструкција слушних апарата усмерен је ка минијатуризацији, која од почетних џепних модела, преко заушних иде ка моделима за уградњу у слушни канал.

Општи развој начина обраде сигнала утицао је и на обраду сигнала у слушним апаратима. Аналогну обраду смењује после 1990. године дигитална обрада сигнала када се патентирају дигитални слушни апарати. Дигитална обрада омогућила је већу минијатуризацију, боље прилагођавање звука слуху корисника и смањење утицаја буке околине.

**Основне компоненте слушног апарата** су микрофон, електронски појачавач, звучница, односно слушалица и батерија.

Микрофон претвара звук у електричне сигнале.

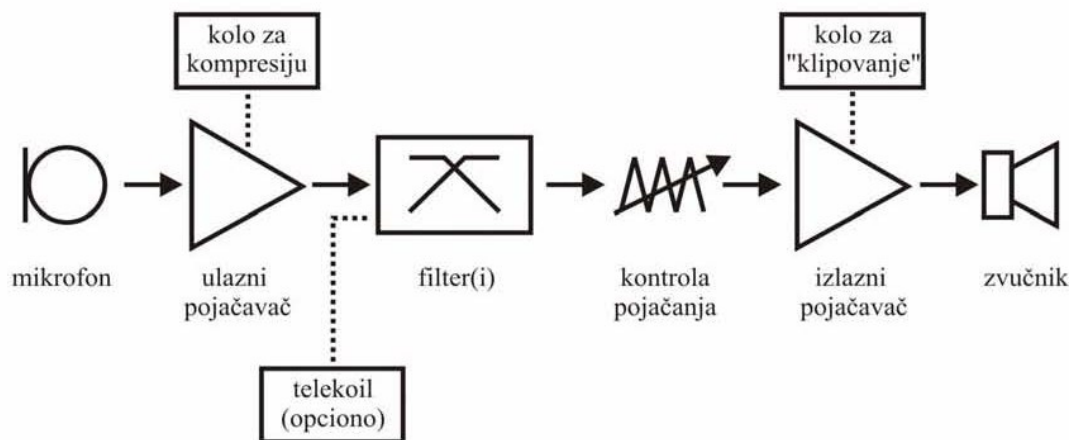
Појачавач електронских сигнала подиже снагу сигнала изнад прага чујности наглувог корисника.

Звучница, слушалица претвара електронске сигнале у појачани звук.

Батерија обезбеђује енергију за рад електронског појачавача.

Током развоја слушни апарати су прилагођавани различитим оштећењима слуха и комфору корисника због чега су постајали све сложенији додавањем компоненти за обраду сигнала. По сложености разликују се *конвенционални аналогни*, *програмабилни аналогни* и *дигитални слушни апарати*.

**Конвенционални аналогни слушни апарати** садрже, поред микрофона, појачавача и слушалице, још и додатна кола за обраду сигнала помоћу којих се звук прилагођава слуху и комфору наглувог корисника.



Сл. 13.14. Блок шема конвенционалног слушног апарата

Конвенционални слушни апарати, као што је приказано на слици 13.14, садрже улазни појачавач за колом за компресију, филтар, потенциометар за ручну контролу јачине звука и излазни појачавач са ограничавачем. Колом за компресију, уграђено код појединих модела, подиже се релативно веће појачање ниских нивоа сигнала у односу на високе нивое сигнала а филтром се истичу делови спектра сигнала које корисник слабије чује. Колом за клиповање одсецају се изразито велике амплитуде сигнала непријатне за корисника.

Поједини модели слушних апарата садрже уграђен радио пријемник за бежични пријем радио сигнала означен као telecoil – даљински калем.

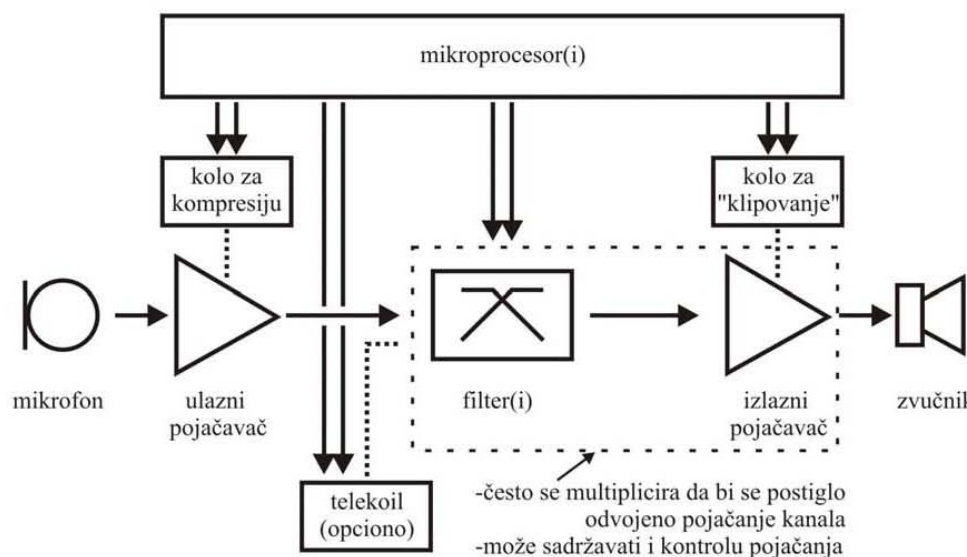
**Програмабилни аналогни слушни апарати** садрже програмабилним

### 13. Уређаји за испитивање и побољшање чула слуха

микропрцесорским контролером који управља компонентама за аналогу обраду сигнала. Управљање је аутоматизовано на основу претходно утврђеног алгоритма помоћу кога се успостављају услови рада слушног апарата са већим бројем могућности, укључујући регулацију нивоа јачине звука коју контролише микропрцесор.

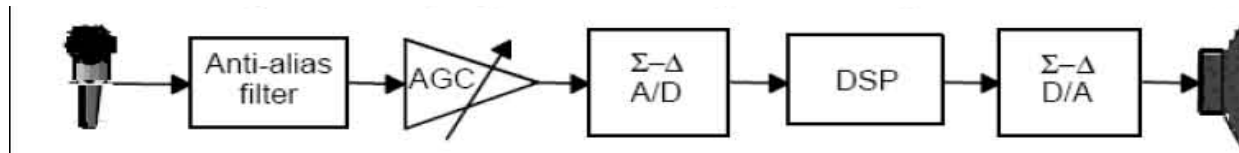
Програм са упркосеченим подацима за параметре средине и корисника учитава произвођач. Лекарима је остављена могућност да после испитивања слуха у ординацијама подешавају карактеристике слушног апарата према степену и природе глувоће корисника.

Аналогни слушни апарати, конвенционални и програмабилни, су у односу на дигиталне јефтинији али имају мање могућности прилагођавања кориснику и елиминацију шума из окружавајуће средине.



Сл. 13.15. Блок шема програмабилног аналогног слушног апарата

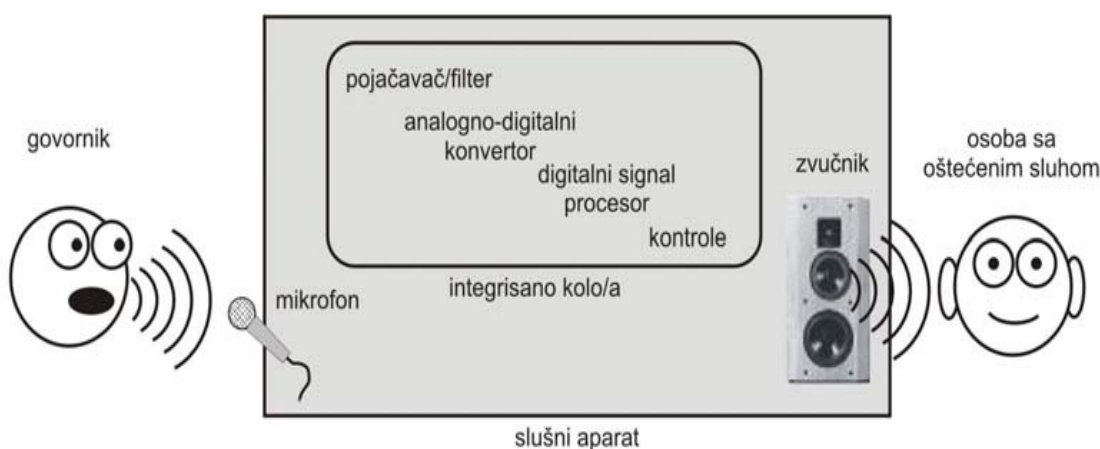
**Дигитални слушни апарат** садржи микрофон са предпојачавачем, аналогно дигитални претварач, процесорски микроконтролер, дигитално аналогни претварач и слушалицу. Дигитални процесор сигнала омогућава максимално прилагођавање слушног апарата сваком кориснику појединачно. Дигиталном обрадом сигнала дели се чујни опсег на фреквенцијске подопсеге којих може, зависно од модела бити 4 до 20. На тај начин звук се прилагођава кориснику како по нивоу тако и по учестаности. Тиме се истичу сигнали на говорним учестаностима и смањује дејство шума. Ови апарати омогућавају разумевање говора и у бучној средини. На слици 13.16 је поједностављена блок шема дигиталног слушног апарата.



Сл. 13.16. Блок шема дигиталног слушног апарата: Anti-alias filter - издваја спектар говорног опсега, AGC - предпојачавач има аутоматску регулацију појачања, DSP – дигитална обрада сигнала

### 13.3.2. Принцип функционисања и типови слушних апарата

Основни принцип функционисања сваког слушног апарата је да помоћу микрофона прими звуке који се налазе у окружењу наглуве особе, примљени звук електроника која је уграђена у апарат појача, филтрира и обради у зависности од типа примењене електронике и проследи на звучник. На слици је илустрација општег принципа функционисања дигиталног слушног апарата. Звуци у окружењу наглуве особе нису увек исте јачине због чега постоји регулација нивоа сигнала. Код дигиталних слушних апарата корисник може да бира програм рада у зависности од окружења.



Сл. 13.17. Илустрација принципа функционисања дигиталног слушног апарата

Слушни апарати се производе од различитих материјала и у различитим облицима прилагођеним начину ношења. Напредовањем технологије облици слушних апарата се стално мењају, усавршавају и прилагођавају жељи и потребама оболелој особи и у великој мери омогућавају исправно функционисање човека.

Слушни апарати према начину ношења могу бити:

- *заушни* – *BTE (behind the ear)*, односно, иза уха,
- *ушни* – *ITE (in the ear)* – односно, у ушној школки,
- *канални* – *ITC (in the canal)* – односно у слушном каналу, и
- *потпуно канални* – *CIC (completely in the canal)* – односно, потпуно у слушном каналу.

**Заушни BTE** слушни апарат карактерише полукружни облик прилагођен вешању за ушну школку, мање подложен пропадању од зноја, обезбеђује највећу, најтрајнију батерију и максимално појачање снаге и за најтежа оштећења слуха са појачањем до 81dB, чине доминантну групу, производе се у више десетина различитих типова. Засебан део назван олива (*earmould*) прави се по контурама уха и танка цевчица са меканим силиконским делом омогућава спровођење звука из апарата у слушни канал. Заушне слушне апарате користе особе свих узраста за умерено до тешко оштећење слуха

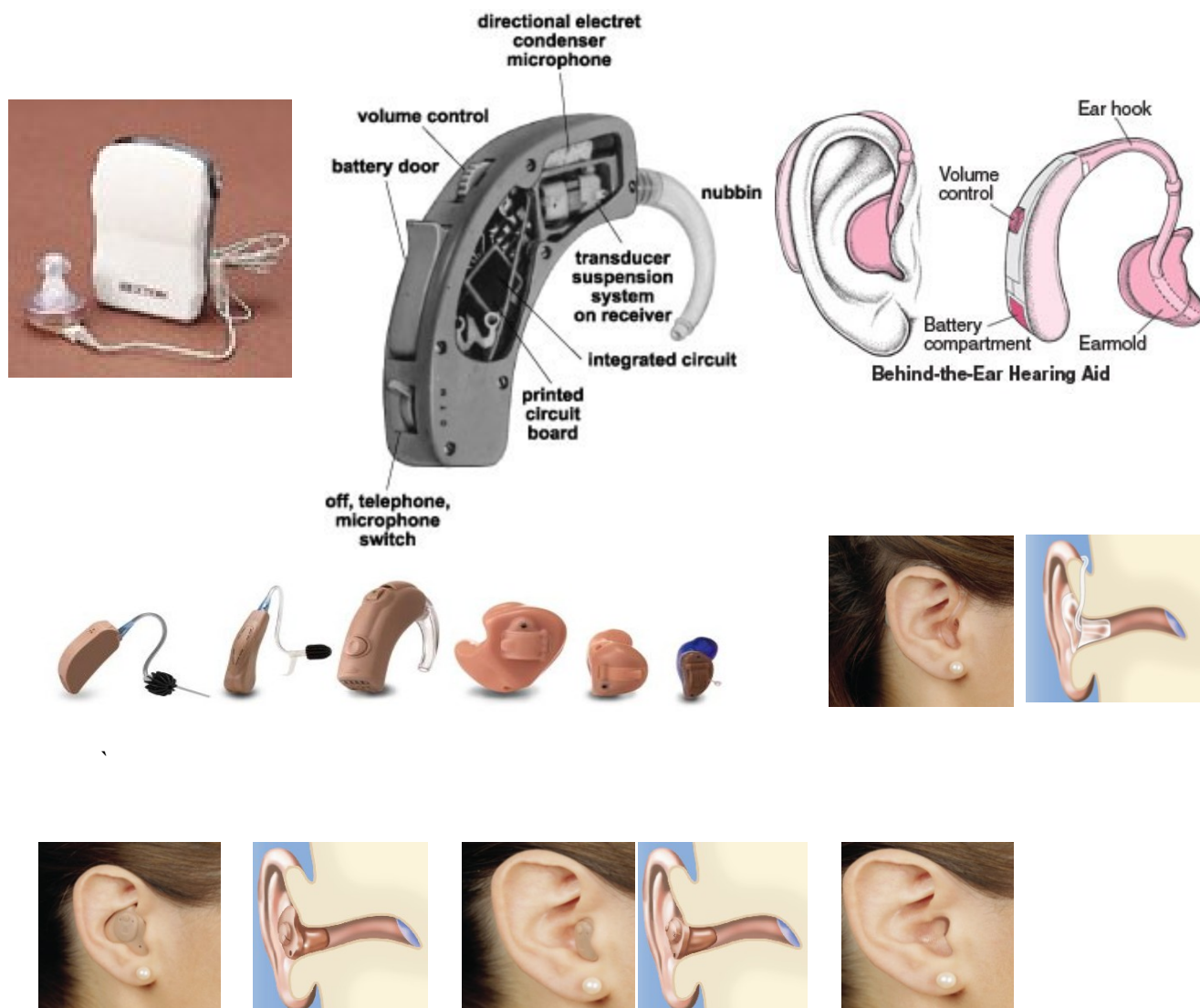
**Ушни ITE** – аурикуларни слушни апарат карактеристичај је по томе што се прави по

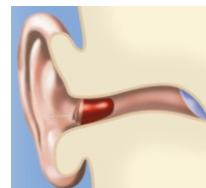
контурама ушне шкољке и смештен је у оливи која се смешта у улаз ушног канала, што је компромисно решење између заушног и каналног слушног апарата. Погодан је код благих и умерених оштећења слуха.

**Канални ИТС** – слушни апарат карактеристичан је што има тако кућиште да се цео апарат смешта у спољашњи слушни ходника тако да су готово невидљиви, што им је једна од основних предности, али и не велике излазне снаге, појачање око 40дБ. Подложен је знојењу и због мањих димензија батерије се брже празне.

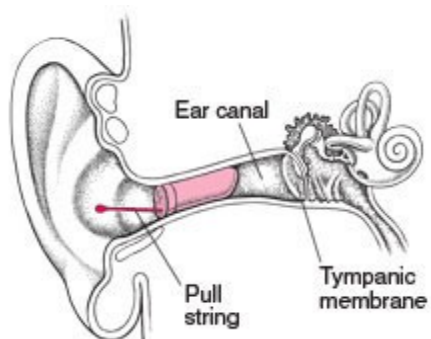
**Потпуно канални – СИС** – слушни апарат карактеристичан је што је мањи од осталих типова, најмање приметан али и мање програмабилан, мање снаге, подложен је бржем пропадању од зноја и батерије се због мањих димензија брже испразне. То су најмањи слушни апарати и примењују се код умерене и до тешко-умерене наглувости.

Драгољуб Мартиновић, Хана Стефановић: Биомедицински уређаји,  
13. Уређаји за испитивање и побољшање чула слуха





Сл. 13.18. Примерци слушних апарата: џепни, заушних, ушни, канални и потпуно канални



Сл. 13.19.  
Смештај потпуно  
каналног  
слушног апарата

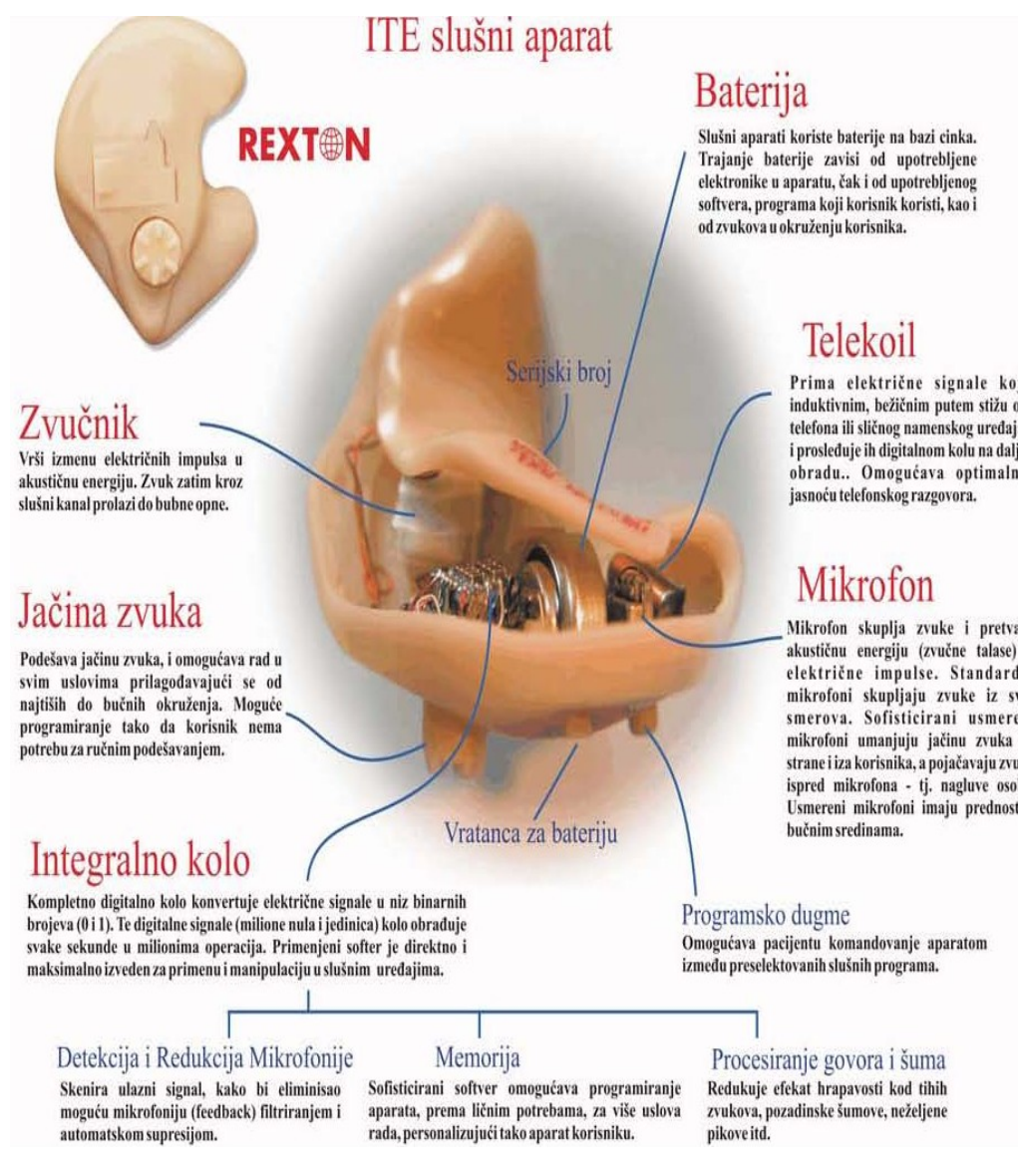


Развој  
технологија и

захтеви за конформном применом омогућили су лансирање различитих модела слушних апарата са бежичним управљањем. На слици 13.20 приказан је примерак слушног апарата са даљинским управљачем за подешавање параметара са Bluetooth технологијом.



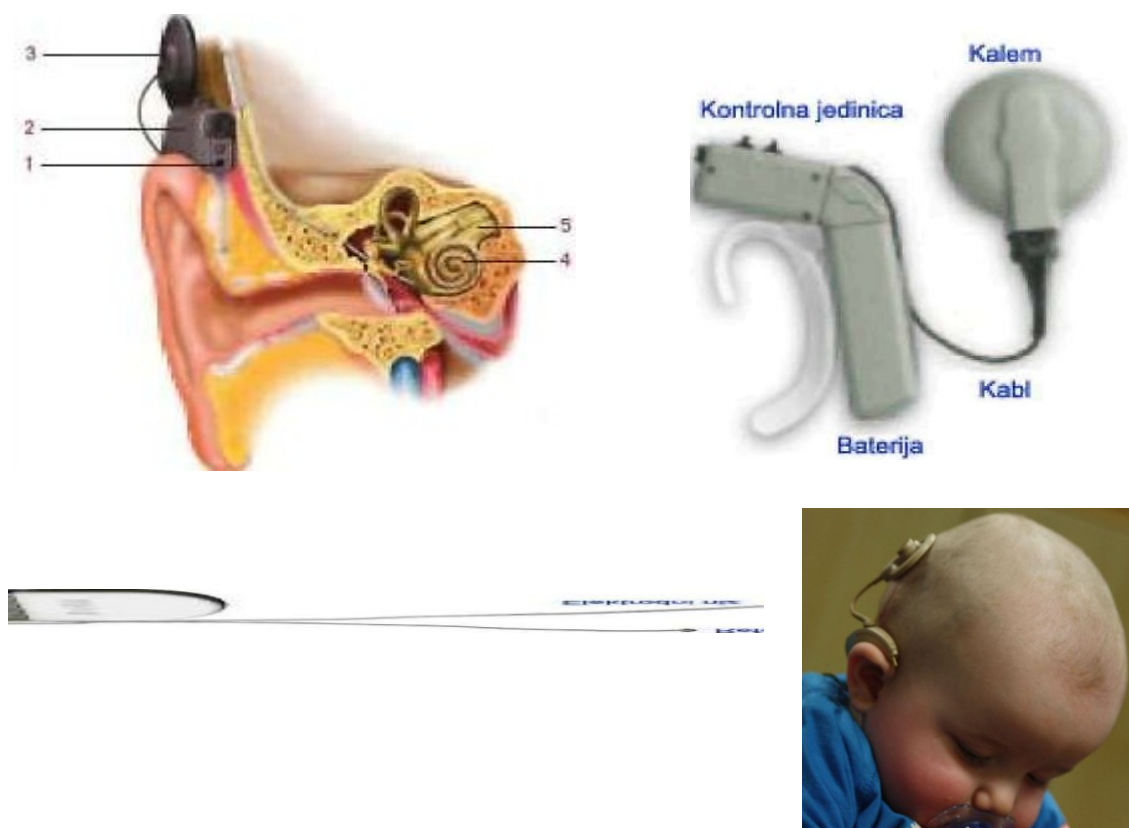
Сл. 13.21. Примерак зуашног слушног апарата са бежичним BlueTooth подешавањем



Сл. 13.22. Примери констркције слушних апарата

### 13.3.3. Кохлеарни имплантант

**Кохлеарни имплант** представља протетички ситем који обезбеђује функцију слушања особама са оштећеном кохлеом помоћу спољашње јединице, која у једном кућишту садржи микрофон, говорни процесор и батерију и калем у другом кућишти, и унутрашње јединице коју чини имплантирани пријемник са електродама за стимулацију кохлеарних нерава



Сл. 13.20. Кохлеарни имплант: 1- микрофон, 2 – процесор сигнала, 3 – индукциони калем, 4 – имплантирана електрода у кохлеи, 5 – слушни нерв; Спољна јединица; Унутрашња јединица са референтном електродом и електродним низом; Спољна јединица код детета

Спољашња јединица садржи микрофон, управљачку јединицу са говорним процесором и батеријом у кућишту изнад ува и калем у посебном кућишту.

Унутрашњу јединицу чини пријемник имплантиран под кожу испод калема од ког се електроде повлаче до кохларног нерва.

Микрофон претвара звук у електричне сигнале које говорни процесор појачава, филтрира, уклања буку околине и претвара у серију импулса. Број импулса сразмеран је јачини звука што одговара импулсној фреквенцијској модулацији са којом функционише нервни систем. Импулси се преносе до калема који као електромагнетни предајник индуктивно предаје импулсе имплантираном пријемнику. Пријемник прослеђује серију импулса кроз електроде у биоелектрични сензорни систем слушних нерава кохлеје. Нерви преносе импулсе до слушног центра у мозгу који интерпретира аудио сигнале.

### 13.3.4. Састављање, програмирање и уградња слушног апарата

Савремени слушни апарати су протетички уређаји који се могу прилагођавати кориснику зависно од степена и врсте оштећења његовог чула слуха. Технолошки развој слушних апарата омогућио је прилагођавање не само потребама већ и појединачним финансијским могућностима корисника.

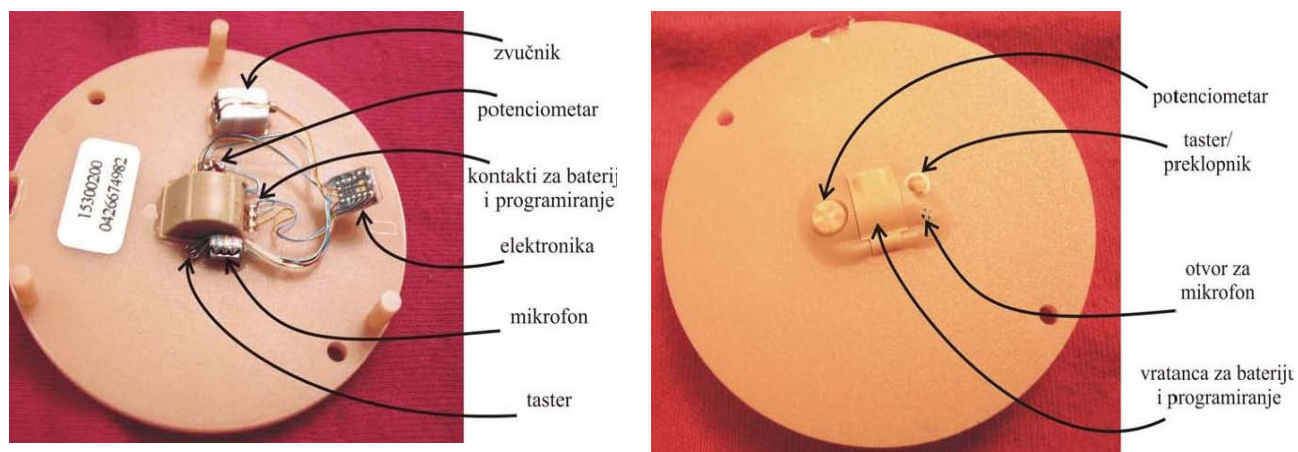
Поступак за регуларну уградњу подразумева испитивање чула слуха, дијагностику врсте и степена оштећења, преписивање одговарајућег слушног апарата, одбир, састављање, програмирање и уградњу према потребама и захтевима корисника.

У дијагностичком поступку пацијенту се снима аудиограм са параметрима оштећења слуха који треба да се поправе помоћу слушног апарата. На основу аудиограма као и финансијских могућности и посебних захтева пацијента врши се одабир слушног апарата.

У зависности од врсте апарата узима се отисак ушне шкољке или слушног канала. Отисци се могу узети помоћу гелова или савременим ласерским уређајима. На основу отисака прави се кућиште слушног апарата у који се смештају електронске компоненте батерија.

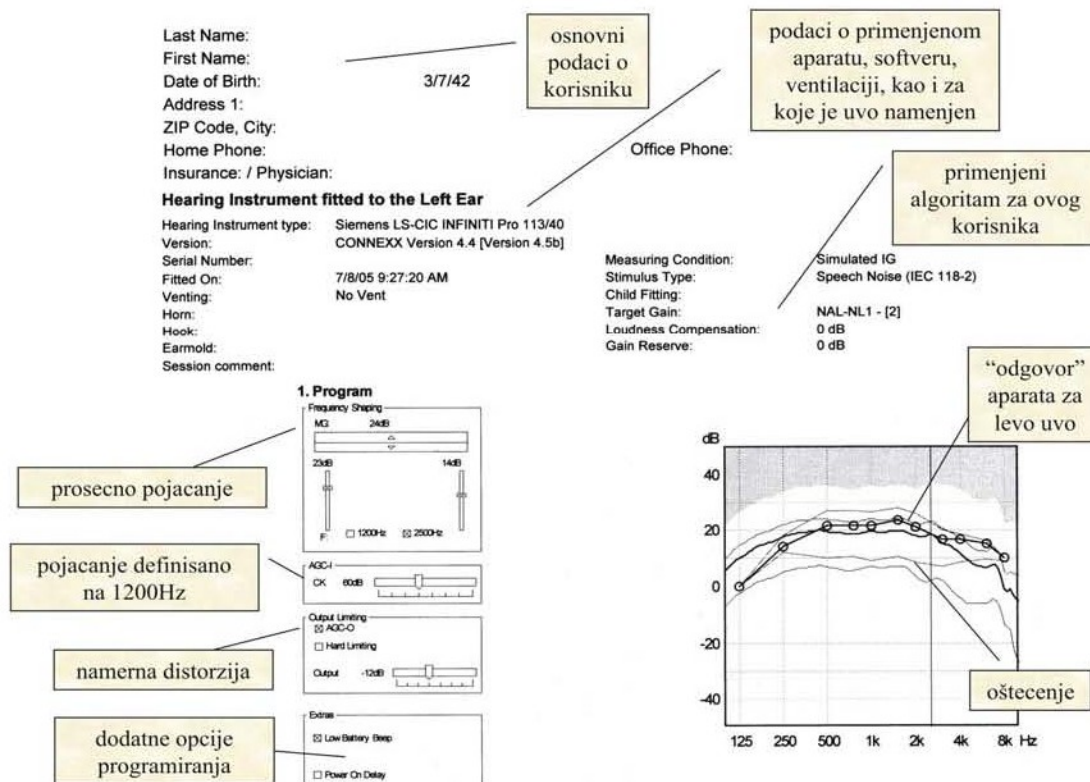
Специјализованим ординацијама за састављање слушних апарата произвођачи испоручују електронске компоненте припремљене за једноставно повезивање и уградњу у кућишта која се прилагођавају кориснику.

Пример састављања једног каналског СИС слушног апарата приказан је на слици 13.21. На постољу су све потребне компоненте: микрофон, електронски чип, потенциометар, тастер, звучник и кућиште за батерију. Електронски чип представља програмабилни контролер који садржи интегрисана електронска кола за појачање и обраду сигнала. После лепљења и затварања у наменски обликовано кућиште, електронски чип се програмира на основу претходно снимљеног аудиограма тако да појачање и обраде сигнала функционишу као одзив који компензира оштећења слушног органа корисника слушног апарата.



Сл. 13.21. Електронске компоненте за уградњу у кућиште са споља доступном регулацијом

Слушни апарат се преко посебних прикључака прикључује предвиђеним каблом на уређај за програмирање. Пример екрана једног програматора приказан је на слици 13.22.



Сл. 13.22. Пример екрана једног програматора слушног апарата (ординација MDM electronics, Београд)

Савремени слушни апарати имају могућност репрограмирања које се јавља као потреба због могућих промена слуха пацијента.

Трајност употребе слушних апарата зависи од више параметара и протеже се у широком распону од две до двадесет година.

### 13. 4. Контролна питања

1. Шта је *чуло слуха* ?
2. Шта је *звук* ?
3. Шта је *перцепција звука* ?
4. Шта је *орган чула слуха* ?
5. Шта садржи и како функционише *спољашње уво* ?
6. Шта садржи и како функционише *средње уво* ?
7. Шта садржи и како функционише *унутрашње уво* ?
8. Шта представља *чујни опсег* ?
9. Из чега се састоји поједностављена *шема функционисања слушног система* ?
10. Шта представља и каква може да буде *наглувост* ?
11. Шта представља *испитивање чула слуха* ?
12. Како се обавља *одређивање прага чујности* ?
13. Шта је *аудиометар* ?
14. Шта представља *аудиограм* ?
15. Како се обавља *испитивање средњег ува* ?
16. Шта представља *тимпанометар* ?
17. На чему се заснива *испитивање стања и функционисања кохлеје* ?
18. Шта представљају *слушни апарати* ?
19. Шта су *претече слушних апарата* ?
20. Које су *основне компоненте слушног апарата* ?
21. Шта садрже *конвенционални аналогни слушни апарати* ?
22. Шта садрже *програмабилни аналогни слушни апарати* ?
23. Шта садрже *дигитални слушни апарати* ?
24. Шта карактерише *заушни ВТЕ* ?
25. Шта карактерише *ушни ИТЕ* ?
26. Шта карактерише *канални ИТС* ?
27. Шта карактерише *потпуно канални СИС* ?
28. Шта представља *кохлеарни имплант* ?