
Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Hang	4
2.1. Hangtani alapfogalmak	4
2.1.1. Hanghullám	4
2.1.2. Hangnyomás és intenzitás	4
2.1.3. Hangforrás	6
2.1.4. Irányhallás	6
2.2. A hangtér a fülék közelében.....	7
2.3. Helymeghatározhatóság	7
2.3.1. Lokalizáció	7
2.3.2. Lokalizációs bizonytalanság.....	8
2.4. A dobhártya	11
2.5. A fülkagyló.....	11
3. Pszichoakusztikus hallás	13
3.1. Fejközépi hallás.....	13
3.2. Hallás a vízszintes síkban.....	13
3.2.1. Különbségi idő.....	13
3.2.2. Szint különbség	14
3.3. Monaurális és Interaurális jellemzők	15
3.3.1. Monaurális jellemzők	15
3.3.2. Interaurális jellemzők	16
3.4. Átviteli függvények és mérése	16
3.4.1. Általános leírás	16
4. A lejátszás módjai	17
4.1. A dinamikus hangszóró.....	17
4.2. Fejhallgatók.....	22
4.3. A fejhallgatók érzékenysége	23
4.4. Fejhallgató hibák.....	24

5. Az ambiofónia jelensége	25
5.1. Keresztáthallás, már meglévő technikai megoldások	26
5.2. Csináld magad fejhallgató-erősítő természetes áthallással	29
6. Kidolgozott saját eljárások	34
6.1 Cool Edit Pro	35
6.2. A mérés folyamata	36
7. Tényleges mérések és kiértékelés.....	37
7.1 Rákeverve FKL táblázat és diagramm kiértékelése	39
7.2 Rákeverve tetszés táblázat és diagramm kiértékelése	42
7.3 FKL eltolva táblázat és diagramm kiértékelése	45
7.4 Tetszés eltolva táblázat és diagramm kiértékelése	48
7.5 Mérések összegzése	48
8. Összegzés.....	51
9. Irodalomjegyzék.....	52

1. Bevezetés

A szakdolgozatom egy olyan fejhallgató hallás szimulációs feladat, amit embereken, emberekkel kellett elvégezni. Emiatt rájuk voltam utalva és kénytelen voltam elfogadni megfigyeléseiket, észrevételeiket.

A feladat röviden az volt, hogy mesterségesen állítsunk elő keresztáthallást.

Ennek az volt a célja, hogy megpróbáljuk fejhallgatón keresztül visszaadni a több hangszórós (legalább kettő) zenehallgatás élményét, és megpróbáljuk eltüntetni a fejhallgató azon „hibáját”, hogy egyik oldalon hallom a bal csatornát a másik oldalon pedig a jobb csatornát. Hiszen hogyha hangszórón keresztül hallgat az ember sztereó felvételt, akkor is óhatatlanul ugyanazon fülével mindkét csatornát hallja, csak persze nem ugyanolyan arányban.

Ezt az arányt szeretném minél pontosabban megállapítani.

Ehhez kitaláltam két eljárást és hozzájuk egy mérési folyamatot, majd emberek segítségével ki is próbáltam, hogy lássuk, hogyan működik. A mérés során, 30 emberen végeztem el a kísérletet, 15 emberen az egyik eljárást, 15 emberen pedig a másik eljárást végeztem el és hasonlítottam össze.

Diplomamunkám egy elméleti összefoglalóval kezdődik, majd írok néhány hasonló technikai megoldásról, amit erre a célra fejlesztettek ki, ezután a két mérési eljárásról és a tényleges kiértékelésekről lesz szó, majd összegzéssel zárul a munkám.

2. Hang

2.1. Hangtani alapfogalmak

2.1.1. Hanghullám

Hanghullámnak nevezünk minden olyan rezgő mozgást, amely 20 Hz-20 kHz közötti tartományban helyezkedik el.

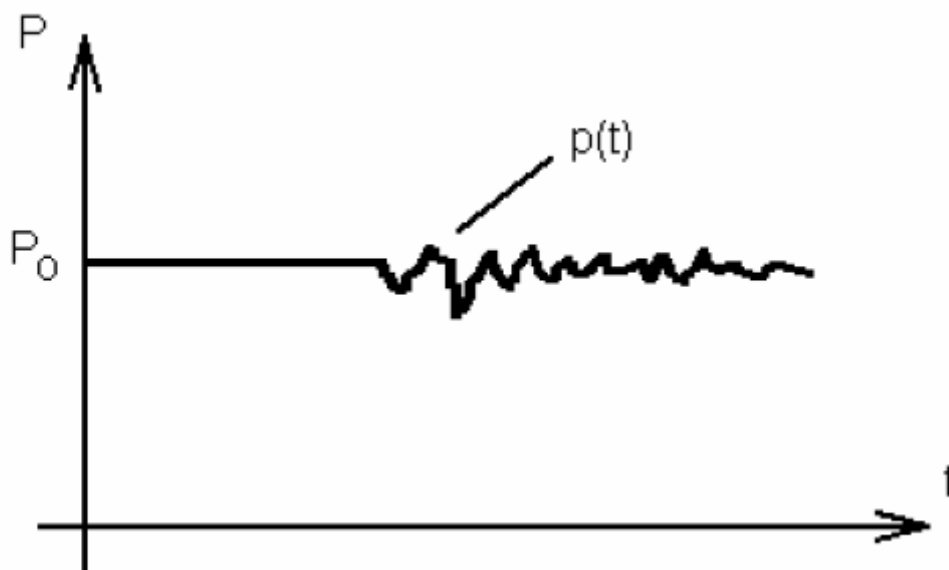
A rezgés általános alakja:

$$y(t) = A_0 + A \sin(\omega t + \varphi)$$

ahol $y(t)$ a pillanatérték az idő függvényében, A az amplitúdó, ω a körfrekvencia [rad/sec]-ban, az A_0 amplitúdó egyen szintje (ez általában 105 Pa).

2.1.2 Hangnyomás és intenzitás

A hang egyik nagyon fontos paramétere a hangnyomás. Hangnyomásnak nevezzük másképpen a már előbb is említett amplitúdót.



2.1. ábra A hangnyomás időfüggvénye

A másik nagyon fontos paraméter az intenzitás. Az intenzitás 1 m^2 felületen, 1 s alatt átáramlott (átlag) energia. A hangnyomással és a részecskesebességgel megadva:

$$i = p v \text{ [W/m}^2\text{]}.$$

Az intenzitás vektoriális mennyiség, az iránya a részecskesebességből adódik.

A hangnyomásnak és az intenzitásnak is létezik dB-ben megadott szintje. Nagyon kell ügyelni arra, hogy ezeket ne keverjük össze se egymással, se a skalár mennyiségekkel. Az intenzitásszint:

$$I = 10 \log (I / I_0) \text{ [dB]}$$

ahol, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Látható, hogy az intenzitás teljesítmény jellegű mennyiség, azaz a logaritmus előtti szorzó tíz. Az összes többi decibel, amit használunk, feszültségdecibel, azaz húszas a szorzó.

A hangnyomásszint:

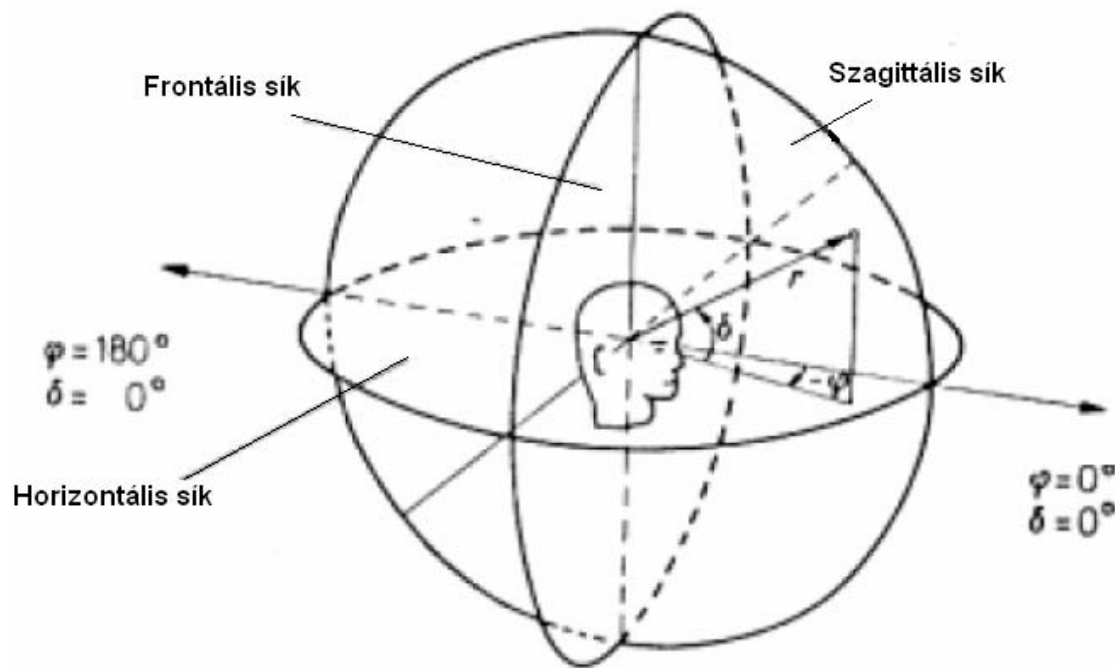
$$P = 20 \log (P/p_0) \text{ [dB]}$$

ahol $p_0 = 20 \text{ } \mu\text{Pa}$.

2.1.3. Hangforrás

Hangforrásnak nevezzük azt a forrást, ami a hangot kiadja. A kiadott hangnak itt is a 20 Hz-20 kHz közötti tartományba kell esnie. A hangforrást három alapvető tulajdonságával adhatjuk meg:

- Helye
- Iránya
- Szöge



2.2. ábra. Fejhez rögzített koordináta-rendszer

Arra viszont figyelni kell, hogy a hallásérzet helye nem minden esetben egyezik meg a hangforrás helyével.

2.1.4. Irányhallás

Az irányhallás az emberi fejlődés során kialakult képesség. Jellemzője, hogy tapasztalati úton javul az ember irányhallási képessége. Az irányhallás miatt tudjuk megkülönböztetni az egymástól különböző hangforrásokat.

2.2. A hangtér a fülek közelében

Műfejes méréseknél a műfej hallójáratában, a dobhártya helyén elhelyezett mikrofonnal felvett jelet vizsgálják. Ez csak torzulásokkal lehetséges, hiszen a legjobb utánzat is eltér az emberi hallószervektől. Mivel a legfontosabb jel a térbeli hallásszempontról a hallójáratban a dobhártyát érő füljel, érthető, hogy ennek mérése az emberi dobhártyára ragasztott mikrofonnal kellemetlen, és nehéz (A fej fixálása is, ami itt nem gond). Sajnos, már a legkisebb zavar a füljelben észrevehető zavart okoz a térhallásban, ezért a legfontosabb feladat a füljel tulajdonságainak, jellemzőinek meghatározása, és hogy ezek hogyan függenek a hullámforrás helyétől, és miképpen hatnak a térbeli érzetre.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a legjobb műfejek is magas frekvenciákon eltérő szűrőhatást produkálnak, mint az emberi fej. Ez lehet az oka annak, hogy a lokalizációs feladatok (front/back döntés) megoldása rosszabb a műfejes felvételeknél, mint az igazi fejen készült esetén. Az eredmények szerint, a saját hallás 15%-os, a véletlenszerűen kiválasztott emberen készült felvétel 36%-os, tipikus igazi emberi fejen 22%, a műfejes felvétel esetén 40-50%-os a tévesztés hibaszázaléka. Ebből az a következtetés vonható le, hogy könnyebb találni véletlen emberi fejet, melyen jobb felvételt lehet készíteni, mint bármelyik műfejen, ami azok gyenge minőségére utal

2.3. Helymeghatározhatóság

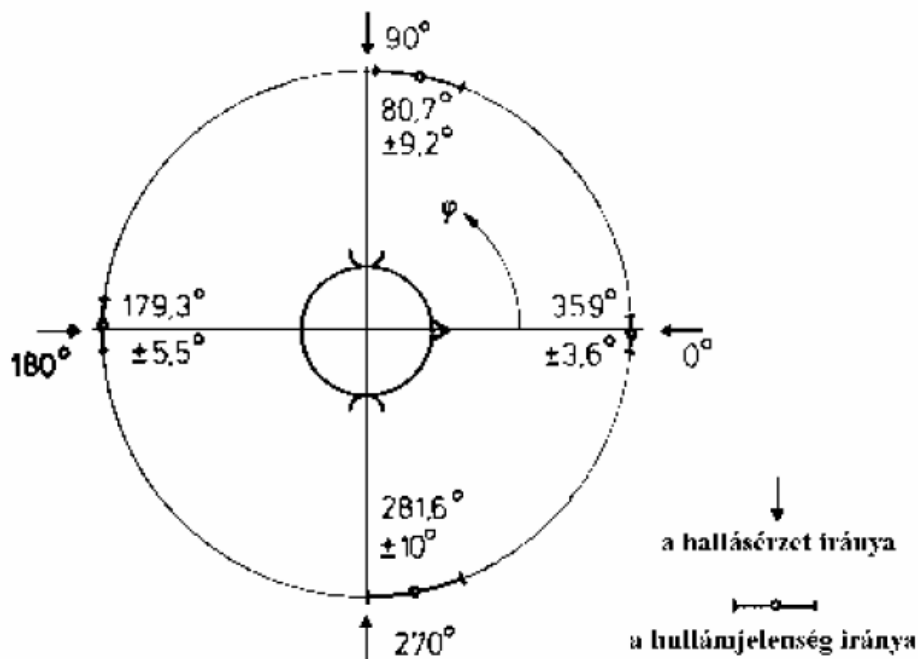
2.3.1. Lokalizáció

A lokalizáció során a hallás a hallásérzet helye és a hullámjelenség meghatározott ismertetőjelei között létesít kapcsolatot. Ezen jellemző(k) kis megváltozása helyváltoztatás-érzetet kelthet. A lokalizációs bizonytalanság az a minimális helyváltoztatás, amit a hallórendszer már érzékelni tud, azáltal, hogy a füljelben történt változást már ki tudja értékelni. A hallásérzet kialakulásának helye döntő jelentőségű.

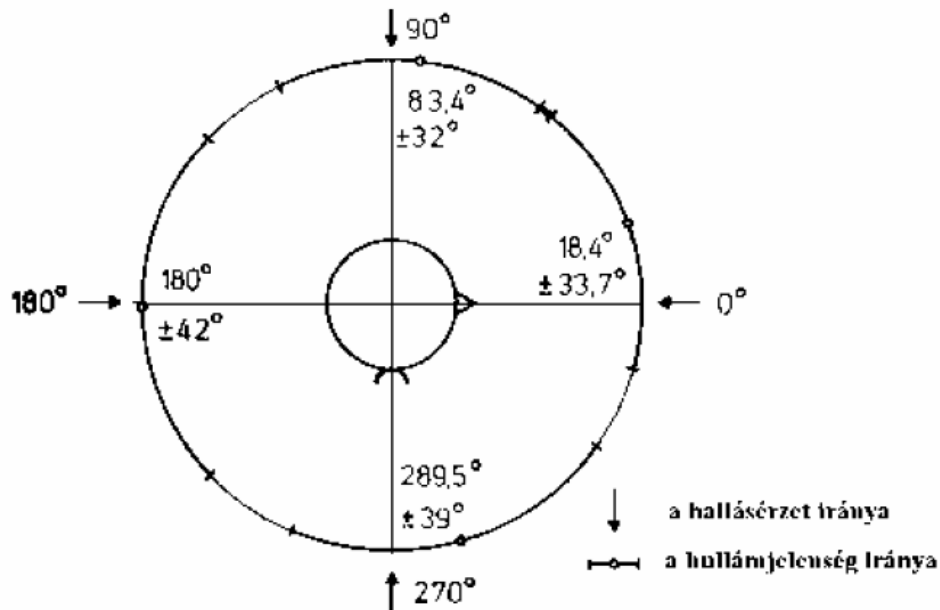
Ez elsősorban a hangforrástól (helyétől, erősségétől, és múltbeli előéletétől is) függ. Figyelemre méltó tény, hogy egy forrás esetén is alakulhat ki több hallásérzet.

2.3.2. Lokalizációs bizonytalanság

A minimális lokalizációs bizonytalanság, azaz a hallás térbeli felbontóképessége a kísérletek szerint 1° körüli (az abszolút minimum), és ez kb. két nagyságrenddel rosszabb, mint a látórendszer érzékenysége, ami $1'$ -nél kisebb változásokat is érzékelni képes. A horizontális síkban a „szemben” irányban a helymeghatározás $\pm 3^\circ$ körüli minimális bizonytalanságot mutat, „oldalt” $\pm 10^\circ$, „hátról” $\pm 5^\circ$ (2.3 - 2.4. ábra). Csökken a bizonytalanság (tehát javul a felbontóképesség) időben hosszan tartó jeleknél (szinuszos), mert ekkor több ideje van a fülnek a feldolgozásra és az információ kinyerésére, ellentétben az impulzusgerjesztés esetével. A bizonytalanság a frekvenciától is függ.

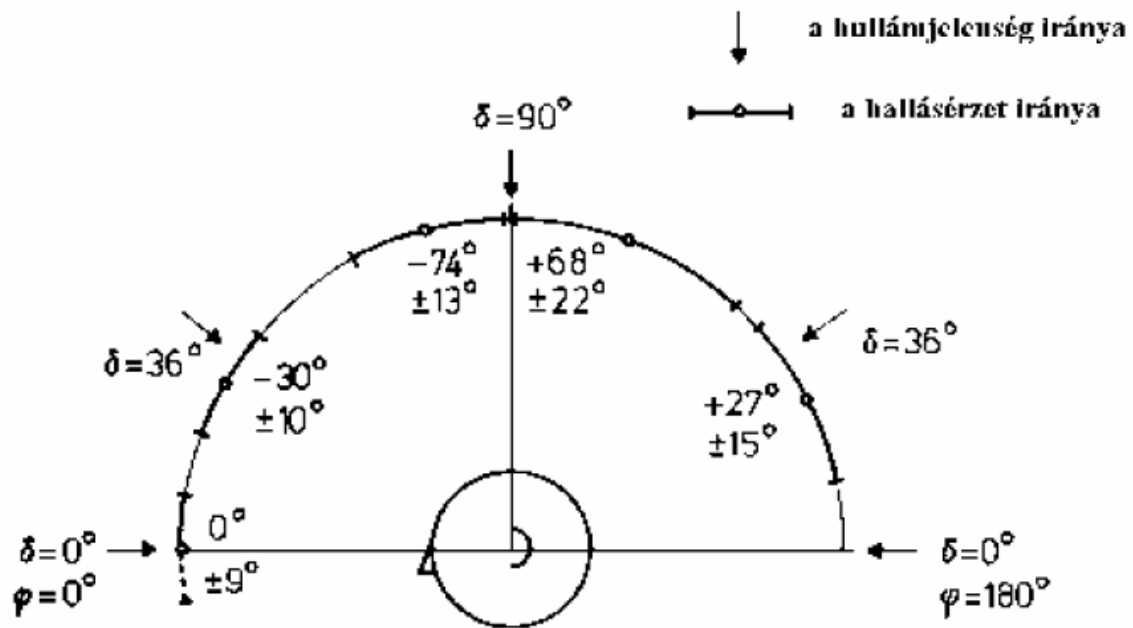


2.3. ábra. A lokalizációs bizonytalanság ($\Delta\varphi_{\min}$), és a lokalizáció a horizontálissíkban. 900 alany, 100 ms-os fehérzaj impulzus, 70 phon, a fej fixált. A lokalizáció esetén a hangszórót a megfigyelő mozgatta úgy, hogy azt a nyíl által jelölt irányból hallja. A hangszóró ekkor a „hullámjelenség iránya” tartományban volt.



2.4. ábra. Ugyanaz a feladat 32 alannyal. A különbség, hogy a bal fül teljesen süket

Függőleges síkban elhelyezkedő forrás esetén elméletileg mindkét fül ugyanazt a gerjesztő jelet kapja az egész síkban (feltéve, ha a fej szimmetrikus). Beszédjelre vonatkoztatott lokalizációs bizonytalanság ismert beszélő esetén szemben $\pm 9^\circ$ (2.5.ábra), de ismeretlennél $\pm 17^\circ$ -ra nőhet. Ismeretlen jeleknél felléphet az a hatás, hogy az impulzus jelet az ember a fej mögötti hátsó szektorokban érzékeli, holott a forrás szemben van. Ezt a jelenséget, amikor a megfigyelő a forrást a mediális síkban észleli, de az elől-hátul iránymeghatározásban téved (összekeveri), front-back hibának nevezzük. A lokalizációs vizsgálatok alapvető módja ennek hibaszázalékos összehasonlítása. Fontos, hogy a hallásérzet iránya nem csak a hullámforrás irányától, hanem a frekvenciától is függ



2.5 ábra A lokalizációs bizonytalanság ($\Delta\delta_{\min}$), és a lokalizáció a mediális síkban, ismert beszélő esetén. 7 alany, 65 phon, a fej fixált

A térhallást három jellemző alapján vizsgáljuk: irányhallás a horizontális (vízszintes) ill. a mediális síkban, valamint a távolsághallás alapján. Bizonyos nehézségek a vízszintes síkban történő méréseknél felléphetnek. 1. Több (keskenysávú) jel összege több helyről érkezőnek tűnhet. Ez az oka, hogy az egy helyben ülő madár éneke úgy tűnhet, mintha közben változtatná a helyét. 2. Relatív keskenysávú jelek esetén előállhat az a jelenség, hogy az érzet nem a hangbeesési irány felől, hanem a fül tengelyére tükör szimmetrikusan (pl. a beesés 30° , érzet kialakulás 150° -os irányból) lép fel. Ezek a jelenségek nem lépnek fel, ha a fej mozoghat, ezért ez nagyon lényeges paraméter. Először rögzített fejű méréseket végeztek. Távolsághallásnak nevezzük a hallásnak azt a folyamatát, mikor az agy a füljel bizonyos jellemzőiből a hangforrás távolságára következtet. A távolság meghatározásának pontossága jelfüggő, ezért lényeges, hogy a megfigyelő ismeri-e a jelet. Beszédnél a távolságmeghatározhatóságának határa 3-7 méter, attól függően, hogy a jel suttogó, vagy normál beszéd. Természetesen a távolság és a helymeghatározhatóság erősen függ magától a távolságtól és a forrás hangosságától is: 3 m-nél nagyobb távolság, és ismeretlen zaj esetén a lokalizálhatóság már nem is a forrástávolságtól, hanem elsősorban a hangerőtől függ. Fontos a jelforrás helyváltoztatásának gyorsasága is. A

hallás bizonyos „tehetetlenséggel” rendelkezik, azaz bizonyos időre van szüksége, hogy a forrás helyváltoztatását követni tudja. Egy kísérlet során körben elhelyezett hangszórókból adták a jelet, különböző sebességgel járatván azt körbe-körbe. Megfigyelték, hogy ha a forgás sebessége elég lassú, akkor a hallás az elfordulást érzékeli, és a megfelelő hangszóróhoz az érzetet helyesen hozzá tudja rendelni. Ha gyorsul a mozgás, akkor olyan érzés alakul ki a hallgatóban, mintha a forrás jobbra-balra pattogna. Túl gyors változás esetén, pedig diffúz hangtér alakul ki a fejben, és úgy tűnik, minden hangszóró egyszerre szól.

2.4. A dobhártya

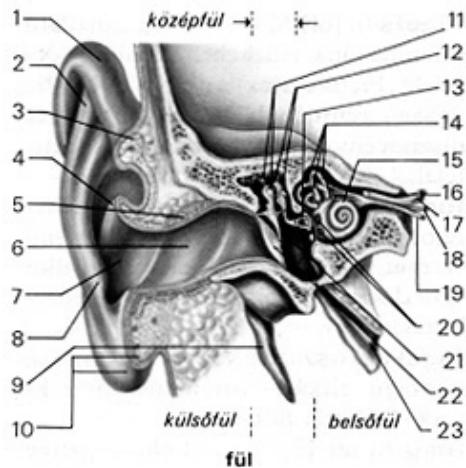
A dobhártya nyomásérzékelőként működik: erő hatására lengésbe jön. Akusztikai impedanciája kb. megegyezik a vízfelszínével (a reflexiótényező kb. 1). A terjedés a hallójáratban csak a lezárástól függ, de a dobhártya impedanciája nehezen mérhető. Élő emberen lézerrel, optikai tükörrel, esetleg kapacitív szondával mérnek. Direkt mérési módszer a hangnyomás és a hangsebesség mérése a dobhártyán (kitérés és annak deriváltja) melyből számolással kapjuk az impedanciát. A frekvencia függvényében az impedancia változik. A valós rész 1, 3, 5 kHz-en mutat kiemelést, míg a képzetes csökkenő és kevésbé dinamikus lefutású. Az értéke $0-0.4 \cdot 10^8$ [Ns/m⁵] között mozog.

2.5. A fülkagyló

A fülkagyló, mint lineáris szűrő, lineáris torzítással vesz részt a hallásban. Frekvenciaátvittele irány- és távolságfüggő. A beérkező hanghullámokat a hallójárat felére flektálja, így hatásával hanggyűjtő szerepet tölt be, de ugyanakkor árnyékol is a forrás irányától függően. Mivel a reflexiók felülete kisebb a hullámhossznál szóródás is fellép (a szóródás és a diszperzió időinvariáns lineáris torzítás). Az átvitelt 5 rezonáns pont (saját frekvenciákon) befolyásolja: ezek 3, 5, 9, 11, 13 kHz-en vannak, ahol kiemeléseket okoznak a beérkező jelben. A fülkagyló a hallójáratral együtt akusztikus rezonátort alkot. Az egyes sajátrezgések gerjeszthetősége irány- és távolságfüggő, valamint befolyásolja a fej hangteret zavaró hatása is. A síkhullám

elhajlását egy együttthatóval jellemezhetjük. A hangnyomás átviteli függvénye (a hangforrástól a dobhártyáig) függ a dobhártya impedanciától, a hallójáratától, a fülkagyló és a fejegyüttes hatásától. Azt az átviteli függvényt, ami leírja az átvitelt különböző beesési irányokból, a szabadteréből a hallójarat tetszőleges pontjáig (a dobhártyáig) a külső fülkomplex átviteli függvényének nevezzük. Ezen HRTF (Head Related Transfer Function) függvényeket a fejhez rögzített koordináta-rendszerben mérjük. A fülkagyló felépítése:

- 1-fülszegély
- 2-belsőszegély
- 3-a fülkagyló rostos porca
- 4-fülcsap
- 5-mirigyréteg;
- 6-külső hallójárat;
- 7-fülkagylóárok
- 8-antitragus



2.6. ábra a fül felépítése

9-csontnyúlvány, 10-fülcimpa és metszete, 11-a kalapács és felsőszalagja, 12-üllő és felső szalagja, 13-kengyel, 14-félkörös ívjáratok, 15-csiga, 16-belső hallójárat, 17-arcideg, 18-vestibularis ideg, 19-cochlearis ideg, 20-kerek és ovális ablak, 21-dobüreg, 22-dobhártya, 23-fülkürt (Eustach-kürt)

3. Pszichoakusztikus hallás

3.1. Fejközépi hallás

Külön kell foglalkozni a fejhallgatóval, mert ekkor a fülkagyló nem szűr, és fejhez közeli érzet, vagy káros mellékhatásként fejközép lokalizáció alakulhat ki (a továbbiakban: FKL). Ez a fontos jelenség létrejöhet úgy, hogy a forrás ténylegesen a fejben van (saját hangunk), vagy rossz mellékhatásként torzítatlan fejhallgató átvitelnél, ahol lényeges, hogy mindkét forrás a fülhöz nagyon közel legyen. Azonos jelet kapnak, hogy csak egységességes hallásérzet alakul ki. Torzított fejhallgatónál a fejen kívül, de közel és szemben is létrejöhet egy helytelen érzet, amely emelkedő hangosság esetén közeledik. Szabadtéri ill. modellezett szabadtéri jelek esetén nincs FKL, és ismert jelek esetén is ritkábban lép fel. Érdekesség, hogy nem a fejhallgató visszajátszástól jön létre, ha nem már műfejes felvétellel is elő lehet idézni. Egy kísérlet során a műfej felvett jelét visszaadták (nem fejhallgató) egy megfigyelőnek, minek során természetesen nem lépett fel FKL. Azonban ha a műfej fejhallgatót át kapta a jelét, és ezt a rögzített jelet játszották vissza, a megfigyelőben az érzés fellépett! A fejhallgató egyéb hátránya, hogy hosszú távon kényelmetlen viselni, és bizonyos esetekben az eleváció-effektus is felléphet. A legnagyobb hibája azonban, hogy a forrás mindig túl közelinek hat (ténylegesen is közel van a fülhöz), és az a fejben is lokalizálódhat.

3.2 Hallás a vízszintes síkban

3.2.1 Különbségi idő

Az interaurális idődifferencia azt jelenti, hogy a jelek egymáshoz képest időben eltoltak. Az oldalirány-hallás szempontjából ez a leglényegesebb füljel-jellemző. Amelyik fülhöz hamarabb ér a jel, a hallásérzet a mediális síkból arra felé mozdul el. A maximális útkülönbség, ami még érzékelhető 21 cm. A hallás képes a füljel

impulzusjellegű részeinek fellépési időpontját pontosan meghatározni. Az érzet 180° -os fázisfordítású füljel esetén pontatlan, feltételezhetőleg azért, mert az érzet egy sortérben szomszédos részre esik szét. A hallás tehát a füljel egyes spektrális komponenseit az interaurális idődifferencia függvényében szétválasztva értékeli ki. Tiszta (szinuszos) jelek esetén létezik egy ingerküszöb, és csak akkor van inger a belsőfülben, ha a jel periódusonként egyszer ezt átlépi. Ezek különböző időben vannak a két fülben, és a hallás ezt a kétértelműséget regisztrálja, két érzetet keltve. Ha a két fül frekvenciában közeli jelet kap - olyan érzet alakul ki, ami a különbség ütemében a fejben ide-oda ingadozik. Létezik a frekvenciában egy olyan küszöb 1.5-1.6 kHz-en, ami alapjaiban választja szét a hangjeleket a kiértékelés szempontjából. A későbbiekben látni fogjuk, hogy a jel spektrális tartalma alapján eltérően értékelődnek ki a füljelek, ha azok tartalmazznak 1600 Hz feletti komponenseket, mint azok melyek nem. Kérdés, miként befolyásolja az érzékelést a különböző frekvenciájú hangok burkolója? Megállapítható, hogy a burkoló kiértékelése segíthet. Különböző vivőfrekvenciájú jelek esetén (pl. keskenysávú zaj 1.6 kHz alatt) a burkolótól függően különböző oldalkitérést érzékelhetünk. Ha nincs 1.6 kHz alatti spektrumkomponens, az eltolás a mikrostruktúrában nem számít, csak a burkoló. Ezért különböző frekvenciájú vivő, de ugyanaz a burkoló okozhat ugyanolyan érzetet. A laterizáció 1.6 kHz felett a burkoló alapján történik. A laterizáció függ attól, hogy a vivő 1.6 kHz alatt van-e, és a burkoló hullámosságától is, azaz mennyire meredek változások vannak benne. Burkolókiértékelés már 500 Hz-en is van, és ha a frekvencia nő, ez egyre jobban dominál a kiértékelés során. Értelmezünk laterizációs bizonytalanságot is (interaurális idő differencia esetén), mely csökken emelkedő szint és növekvő jelidőtartam esetén.

3.2.2 Szint különbség

Tisztán interaurális szintkülönbségek esetén a helyzet olyan, mintha a füljelek csakis a szintjükben térnének el egymástól. Úgyis elképzelhetjük, hogy ugyanazt a jelet vezetjük a két fülhöz, és mindegyikhez állítható erősítést iktatunk be. Azonos szintesetén természetesen az érzet a mediális síkban lép fel, de ha az egyik nagyobb, akkor az érzet arrafelé vándorol (ekkor van oldalirányú hallásérzet kitérését okozó

interaurális szintkülönbség). Ezen alapul az ún. irányhallás-intenzitás-differencia elmélet, ami pontosan ezt mondja ki. Ha 15-20 dB-es szintkülönbséget állítunk elő, az már a „teljesen oldalt” érzést váltja ki: gyakorlatilag csak az erősebbet halljuk. Ilyen nagy különbségek esetén a hallásérzet „szélessége”, és vele együtt a laterizációs bizonytalanság is megnő, főleg kisfrekvencián. Ahhoz, hogy ezt a szélső hatást elérjük kb. lineáris interaurális szintkülönbség-változás kell, ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy konstans szintkülönbség esetén a laterizáció frekvenciafüggő. Gyakorlott kísérleti személyek azt mondják, hogy 1.6 kHz alatti jeleknél két érzet alakul ki: az egyik a fej közepén, a másik előtte, amely emelkedő szint esetén elvándorol, és csak felületes hallgatás okoz közös érzetet. Megfigyelhető a laterizáció idővariáns jellege is hosszabb idő után a hallás elfárad, és „romlik”; az ismételt adaptáció percekig vesz igénybe.

3.3 Monaurális és Interaurális jellemzők

Ez a két jellemző soha nem fordul elő egymás nélkül. Ha változik az interaurális akkora monaurális is változni fog.

3.3.1 Monaurális jellemzők

Ezek a jellemző tulajdonságok az egyfülű hallásra jellemzőek, és az érzet helyének kialakulásában nagy szerepük van. Ilyen jellemzők minden egyes hangjelben találhatók. Ezekből az érzet távolságára, az emelkedés szögére és az előre-hátra irányok meghatározására következtethetünk. Ezt fejhallgatón kétféle képen tudjuk sugározni, vagy úgy hogy az egy jel szól mindkét fejhallgatón (diotikus), vagy úgy hogy csak az egyik fejhallgató szól a kettőből (monotikus). Ez a mediális síkban lép fel általában.

3.3.2 Interaurális jellemzők

Ez csak a kétfüles hallásra hasznosíthatók. Ezek a jellemzők a két füljel közötti eltérést és azok viselkedését határozzák meg. A vizsgálata fejhallgatón keresztül történik úgy, hogy mindkét fejhallgatón szól és a jelek is különbözőek. Ez már nagyon hasonlít a sztereó hanghoz, mert a bal fül a bal oldali jelet kapja, a jobb, pedig a jobboldali jelet.

3.4 Átviteli függvények és mérése

3.4.1 Általános leírás

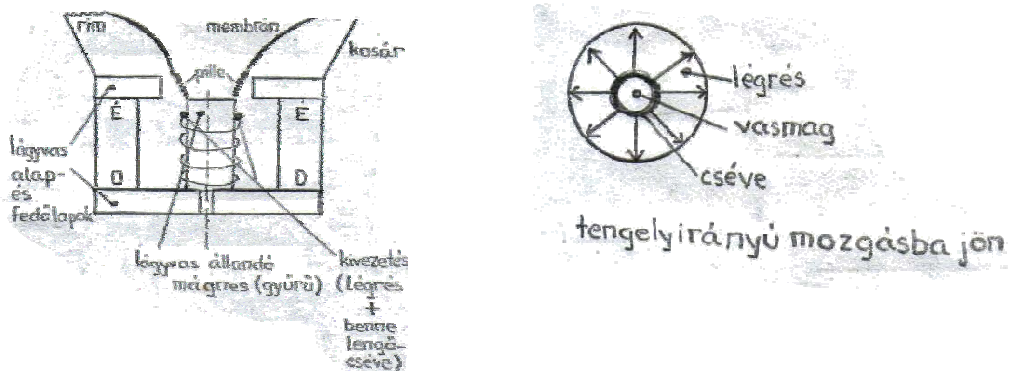
A külső fül funkciója az átvitel szempontjából érdekes. Kérdés, milyen lineáris torzítás lép fel, és azt milyen átviteli függvény írja le. Háromféle átviteli függvény létezik: 1. Szabadtéri: a hallójárat egy pontján mért hangnyomás (tetszőleges beesési irány és távolság esetén) és azon hangnyomás között, amit ugyanezen forrás (távolságirány...stb.) esetén a fej középpontjában mérhetnénk. Ebben az esetben a dobhártyán kell mérni. Ez azonos a hallójárat bementén lévő méréssel, csak ekkor figyelembe kell venni, hogy az átviteli függvény egyenlő a mért átviteli függvény és a hallójárat átviteli függvényének együttesével. 2. Monaurális: a hallójáratban lévő hangnyomás tetszőleges irányú és távolságú forrás esetén, viszonyítva a hangnyomáshoz egy meghatározott helyű referencia forrás esetén. Ez általában $\varphi = \delta = 0^\circ$. Ekkor a hallójárat mérési pont is megfelelő, mert a referencia is ott van. Ezen második esetben mérhető átviteli függvényt $A_2(f)$ -el jelöljük. 3. Interaurális: A két hallójáratban fellépő hangnyomást veti össze. Mindkét hallójáratban azonos időben kell mérni. Ez a harmadik $A_3(f)$ függvény az első két esetből számolható is: ami nem más, mint a 330 fokhoz tartozó monaurális átviteli függvény és a 30 fokhoz tartozó függvény értékének hányadosa. Az előzőekben felhasznált átviteli függvény általános alakja: Ezek után lehet felvenni a „hallhatósági függvényt”, azaz a hallásküszöb frekvenciafüggését ill. az azonos hangosságú pontok frekvenciamenetét (Fletcher-Munson). A monaurális átviteli függvény adódik a küszöbgörbék különbségeként ill. az azonos hangosságú görbéknek a referenciától való eltéréséből. A hallásküszöb

felvételének egy jó módszere a Békésy-féle lengőkiegyenlítéses vizsgálat: a hangerőt egyenletesen növeljük, amíg a kísérleti személy gombnyomással jelzi, hogy a hangot meghallotta. A gomb nyomva tartásával a hangerő csökkenni kezd mindaddig, amíg a megfigyelő azt már nem hallja. Ekkor elengedi a gombot, és a hangerőt újra növeli... Az eljárást ismételve a küszöbszint meghatározható (a keresett szint körül fog ingadozni). A fül különböző, a beesési iránytól és távolságtól függő átviteli függvényt produkál. A második és harmadik - féle átviteli függvényt süketszobában kell végezni. Lehet jelfüggő mérést is végezni: impulzusgerjesztés hatására impulzusválaszt vizsgálhatunk. Az átviteli függvény egyenlő a kimeneti jel időfüggvényének Fourier-transzformáltjának és a bemeneti jel Fourier-transzformáltjának hányadosával. Az FFT minden esetben nagy segítséget adhat a sok számolás miatt.

4. A lejátszás módjai

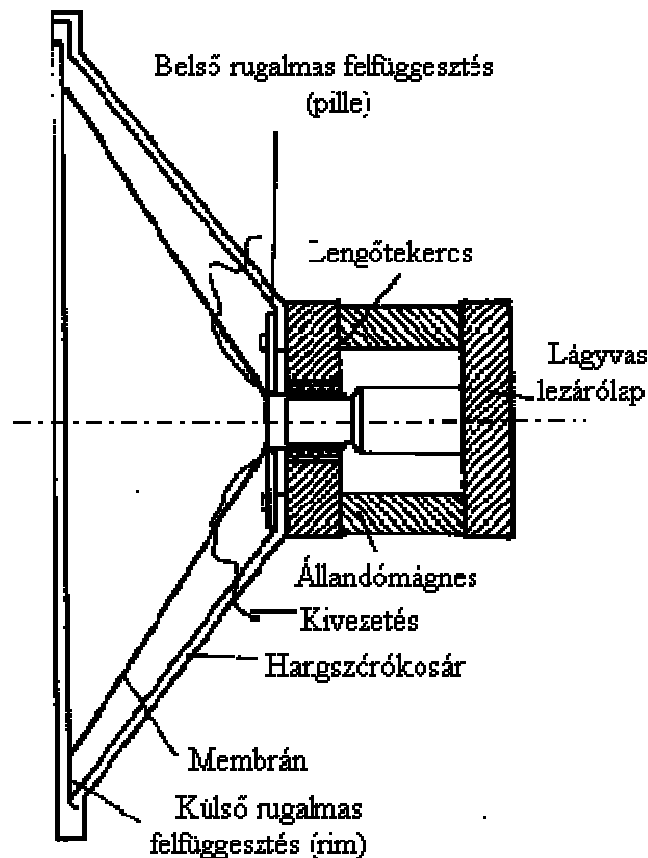
4.1. A dinamikus hangszóró

A dinamikus hangszóró a leggyakrabban használt hangsugárzó. Önmagában keskenysávú, ezért dobozba építjük. Állandó légrésű mágnes kör található benne, melyben sugárirányú (kifelé mutató) erőter alakul ki. A lengőcséve, a tekercs, ebben tengelyirányú mozgást végez, így a hozzá kapcsolt membrán is. A membrán általában papír vagy műanyag anyagú. Az állandó mágnezt alul és felül lágyvas lemezek tartják, melyek mágnesesen vezetők. Ehhez van rögzítve a vas *kosár*, amelyhez a membránt rugalmasan rögzítjük: felül a *rim*, alul a *pille* biztosítja a rugalmas elmozdulást. Ez általában hajlított papír vagy gumi. A lengőcséve kivezetéseire kerül az elektromos gerjesztés, a kivezetések általában a membránra vannak ragasztva.



4.1 ábra Hangszóró felépítése

Az elektromechanikai helyettesítő képben megjelenik az U gerjesztés, az R cséveellenállás (elektromos veszteségek), az L_c cséve inductivitás (hiszen a lengőcséve tekercsként is funkcionál), ezért utóbbit a dinamikus hangszóróból sosem szabad kihagyni! A kivezetéseken a tekercsbe áramot bocsátunk. Az áram és a mágneses tér kölcsönhatásaként tengelyirányú erő keletkezik. Az erő mozgásba hozza a nagy felületű membránt és az ezáltal hanghullámokat kelt.

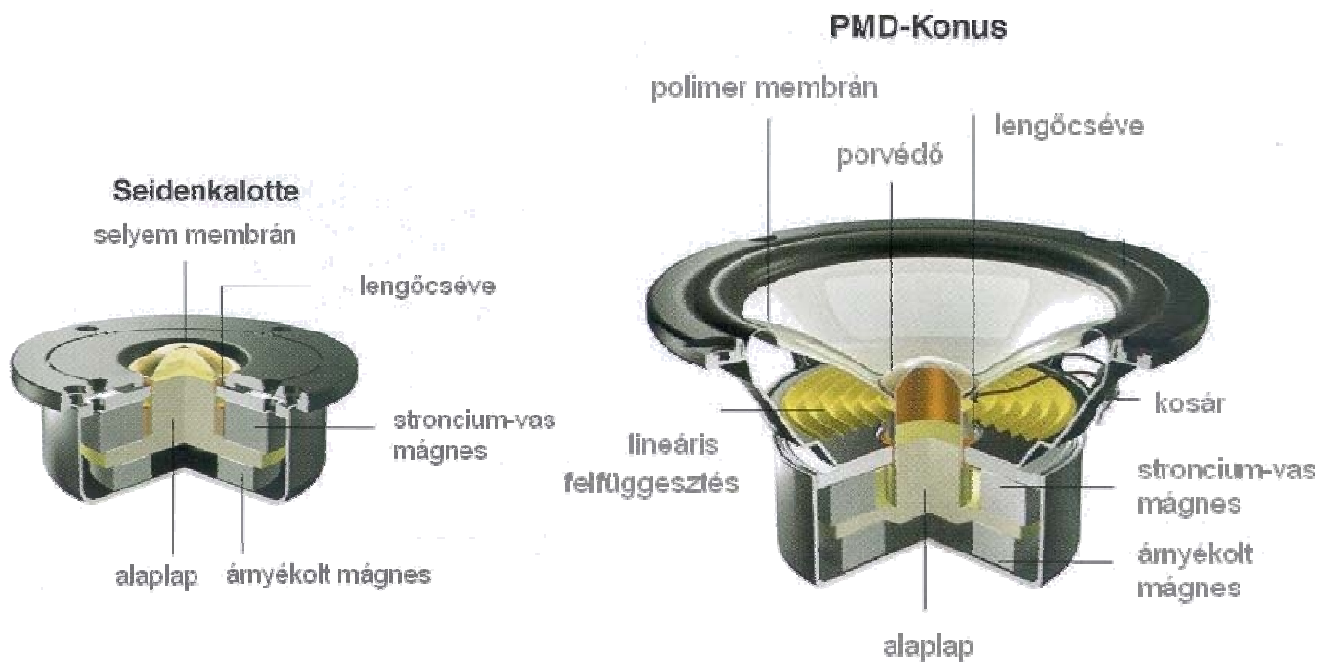


4.2. ábra Hangszóró felépítése

A hangszórók, mivel korlátozott tartományban sugároznak, nem alkalmasak a teljes 20Hz - 20kHz- és tartomány lesugárzására. A több utas hangsugárzók ezért rendszerint két vagy három hangszórót tartalmaznak, esetleg reflexnyílással. A hangsávot

általában egyszerű, passzív elemekből álló analóg váltósűrővel választják szét, és vezetik rá az egyes „utakra”.

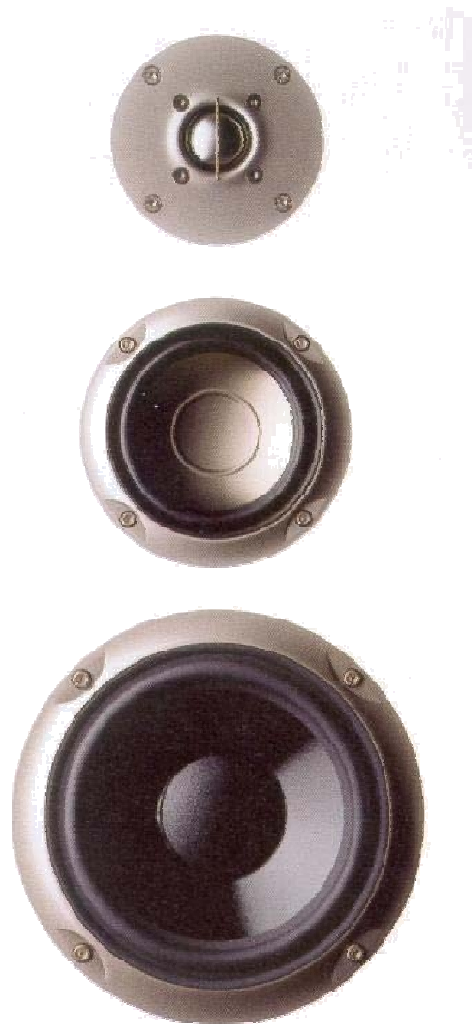
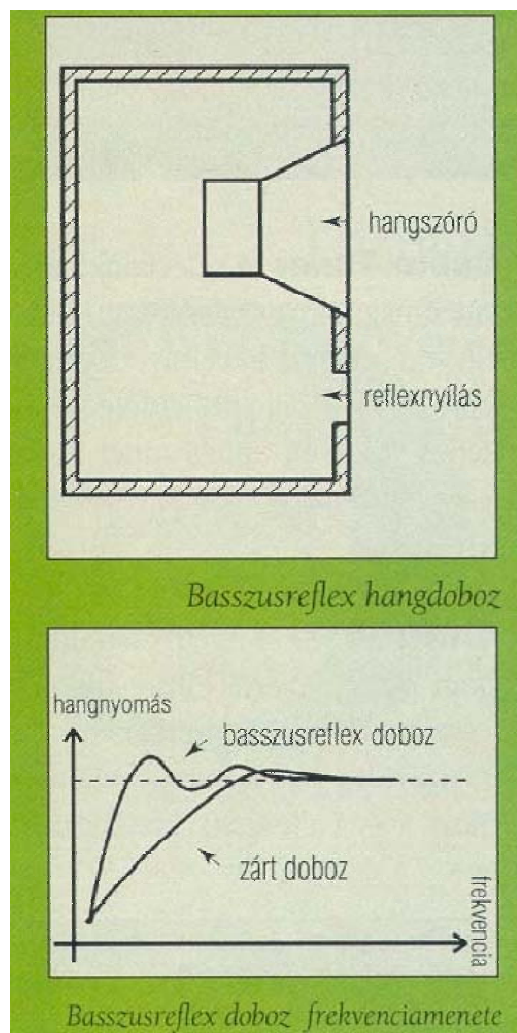
Természetesen a határok nem élesek, az átfedési tartományban hulláminterferenciával kell számolnunk, ez lehet erősítés és kioltás is. Kisfrekvenciát nagy sugárzófelülettel és lágy felfüggesztésű membránnal sugárzunk le (a basszus által megmozgatott membrán szemmel is jól láthatóan rezeg). Ezek a kónusz-sugárzók általában kis teljesítménnyel dolgoznak, ezért gyakran a mélysugárzókból kettőt is beleraknak a dobozba a teljesítmény növeléséhez. A magas frekvenciákhoz dóm-sugárzókat (kalotta) használnak, jellemzően fémből készült, merev felfüggesztésű, szemmel nem látható módon rezgő membránt alkalmaznak.



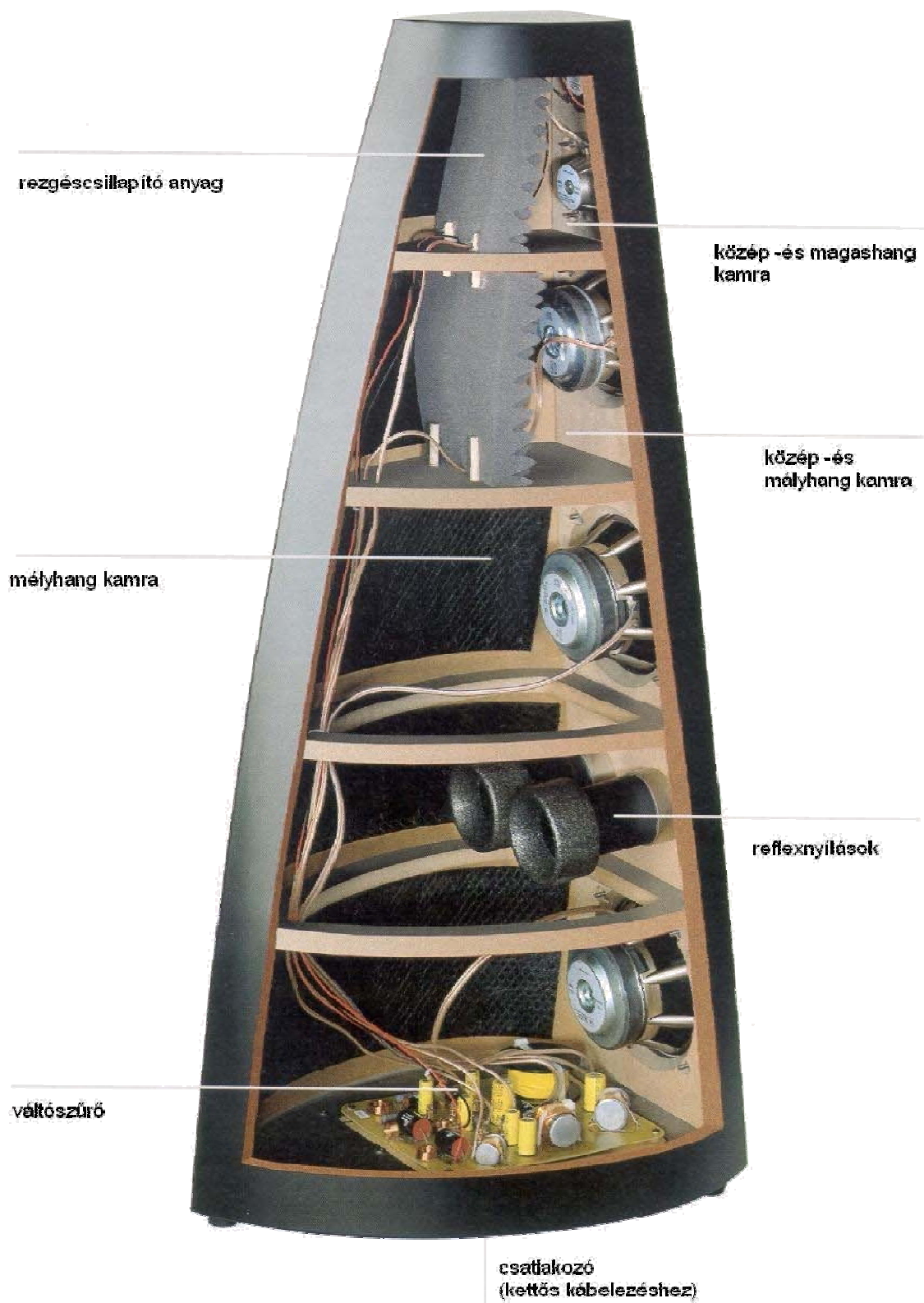
4.3.ábra Kónusz (jobbra) és dóm (balra) sugárzó képe.

Általában igaz az állítás, hogy a magas frekvenciák lesugárzása nem probléma, könnyedén tudunk 50-100 kHz magasságban sugárzó eszközt gyártani, de a mélyeknél a helyzet sokkal nehezebb. Ezért is van külön „mélynyomó” a házi mozi

rendszerekben, nagy méret, hatalmas dobozok, nagy felületű membrán és több reflexnyílás is található rajtuk. Tipikus alsó határfrekvenciájuk 80-120 Hz környékén van, az 50 Hz-et is lesugározni képesek már a drágább kategóriába tartoznak, 30 Hz alatt, pedig szinte lehetetlen hangot kicsikarni egy hangszóróból. A szubjektív hangzásérzetet azonban drámaian javítja. Nagyon gondos tervezést igényel a hangszórók megválasztása, elhelyezése, a doboz és a reflexnyílás kialakítása!



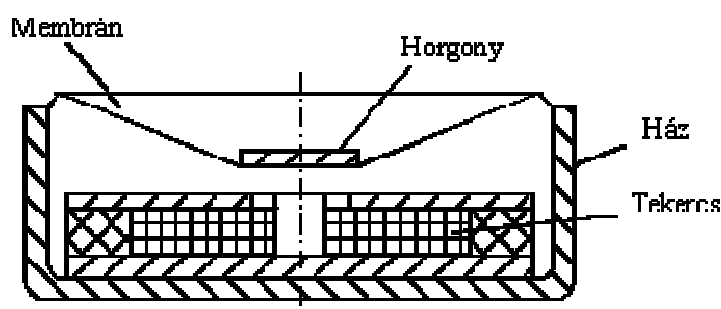
4.4. ábra Többutas hangsugárzó hangszórói és a reflexnyílás hatása az átvitelre



4.5 ábra Háromutas hangfal felépítése

4.2 Fejhallgatók

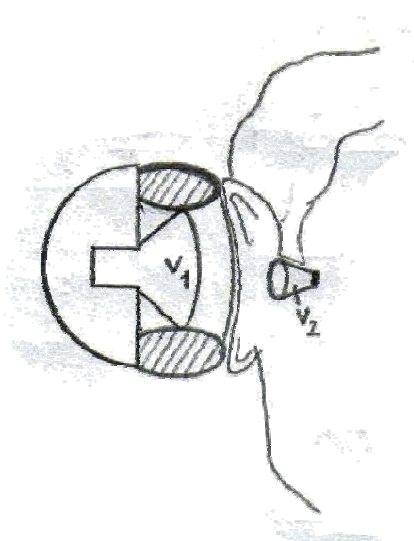
A fejhallgatóknak két típusa van. A ritkábban használatos, nem stúdiótechnikai mágneses fejhallgató, és a hangátvitelhez alkalmasabb, jobb minőségű dinamikus. Utóbbi ugyanolyan dinamikus hangszórót tartalmaz, mint a fentiek, csak kisebb méretben. A mágneses fejhallgató átviteli sávja keskenyebb, ilyen van például a telefonkagylókban. A mágnes kör légrése szándékosan nagy, ezért a mágneses erővonalak a mozgó horgonyon keresztül záródnak. A lágyvas horgonyt a rugalmas membrán tartja. A tekercs áramával gerjesztett tér növeli, vagy csökkenti az állandó teret, így a horgony a nyugalmi helyzetéhez képest elmozdul. Ez a mozgás a fül zárt üregében nyomásváltozást produkál. Gyártáskor ügyelni kell a megfelelő légrés méret beállítására.



4.6. ábra Telefonhallgató felépítése

A legfontosabb, hogy a fejhallgatók zárt térbe sugároznak. Ez a zárt tér a valóságban az emberi hallójárat, mérési célokra pedig mű fülüreg vagy műfej hallójárata. Magyarán, a fejhallgató átviteli függvénye önmagában nem értelmezett, csak a lezáró impedanciával (az üreggel) együtt! Az ideális lezárás, tiszta kapacitív üreg, egy egyszerű C akusztikus elem (mechanikai rugó, elektromos kondenzátor). Az ilyen szűrő ideális alul áteresztő jellegű, azaz akár DC-ig is átviheti a mélyfrekvenciás tartományt! Valóságban ez nem így van, hiszen lehetetlen egy fejhallgatót ideálisan a fülre helyezni, arra rányomni. Így a fejhallgató szivacsa és a fej között illesztetlenség lép fel, levegő fog „kiszuszogni”, veszteség fog fellépni. Az ideális tiszta kapacitív lezárás helyett egy valós veszteség fog bejönni a képbe, a C- tag RC- taggá változik és ennek következménye a kis frekvenciás átvitel romlása. Megszűnik az ideális alul

áteresztő jelleg, keletkezik egy alsó töréspont is. Minél nagyobb a veszteség, a kiszuszogás, annál magasabbra kerül ez. Ezt egyszerű kísérlettel igazolhatjuk: tartsuk messzire a fajhallgatót a fülünktől, egyből eltűnnek a mély hangok, csak a magasak cicergése marad meg. Ha közelítjük, egyre erősebben halljuk a mélyeket is, majd minél jobban rányomjuk a fejünkre, annál jobban. Meglepő, de a hallójáratba illeszthető fülhallgatóknak gyakran sokkal jobb az átvitele drágább társainál. Ennek oka a jobb illeszthetőség. Ne keverjük tehát a fülhallgatót a fejhallgatóval.



4.7. ábra fejhallgató illesztése

4.3 A fejhallgatók érzékenysége

$$\epsilon = P_{\text{üreg}} / U_{\text{gerj}}$$

A fenti képlettel jellemezhetjük a fejhallgatók érzékenységét, ahol, P az üregben mért nyomás (méréskor a mű fülüreg végén elhelyezett mérőmikrofon méri, halláskor a dobhártyán lép fel), U pedig a kapcsolóra adott gerjesztés. Nyilvánvalóan, minél nagyobb az érzékenység, annál jobb a fejhallgató, mert ugyanakkora villamos feszültség hatására nagyobb nyomást tud létrehozni ill. ugyanahhoz a nyomáshoz (hangerőhöz) kisebb feszültség is elég. A mikrofonoknál megismert érzékenység ugyanezen alapon, csak fordítva: a nyomás fog létrehozni kapocsfeszültséget, a kettő aránya a jellemző mennyiség. Az *érzékenység* az egységnyi hangnyomás hatására leadott feszültséget jelenti.

A mágneses fejhallgatók jellemzően 3-4 kHz-ig visznek csak át, a Hi-Fi dinamikus eszközök 20-30kHz-ig is képesek rá. Utóbbiaknál nincs szükség ún. mágneses előfeszítésre sem. Mindkettő közös jellemzője tehát, hogy ideális esetben tökéletes aluláteresztő átvitelük van. Az átvitel az érzékenység frekvenciamenete, felső töréspont után másodfokú eséssel. Ez különlegességnek számít, hiszen a mély hangok lesugárzása szokott problémát okozni.

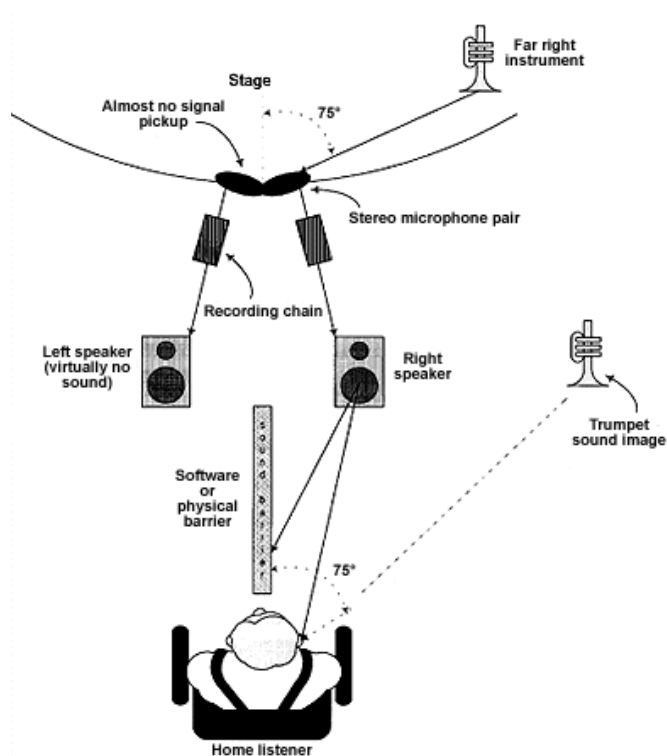
4.4 Fejhallgató hibák

A fejhallgatós lejátszásnak önmagában is van több hibaforrása. Az a tény, hogy elveszítjük a légterjedés hatását (hiszen az átalakító és a membrán valójában néhány cm-re van a fültől), az áthallást a két fül között (hacsak direkt nem szimuláljuk) és a fejmozgás hatását, máris rontja a lokalizációt. Különösen utóbbi lényeges, hiszen a normál életben a lokalizációhoz nagyon fontos elem a fejünk forgatása. Ennek során állítjuk ugyanis be fejünket a legérzékenyebb irányba, hasonlóan ahhoz, ahogy egy antennát is ráfordítunk az adóra. Fejhallgató esetén ezt a lehetőséget elveszítjük, mert a fej forgatásával a teljes szimulált hangkép is együtt mozog. Ennek hatása az lesz, hogy a hallgatókban gyakran ún. fejközép-lokalizáció alakul ki: úgy érzik, a hangforrás a fejük belsejében, középen helyezkedik el, nem pedig azon kívül. Az ilyen hiba nagyon gyakori és jelentősen ronthatja a lokalizációt virtuális térben. Modern rendszerek képesek ezt a hatást számítással módosítani, és visszacsatolás révén érzékelni a fej helyzetét (a fejhallgatóra szerelt lézeres adóval), majd valós időben a megfelelő HRTF függvények cserélgetésével a hangképet stabilan tartani. Ez valóban csökkenti a fejközép-lokalizációt, ugyanakkor költséges és nehézkes feladat megvalósítani. Az ilyen fejmozgás érzékelő rendszerek a komoly virtuális valóság szimulátorok szükséges kelléke. Általánosságban elmondható, hogy a lokalizáció a virtuális térben rosszabb, mint a valóságban. Ennek oka a fejhallgatók hibái, a HRTF függvények tökéletlensége, és egyéb paraméterek melyek az akusztikai irányinformációt hordozzák és a virtuális szimuláció során sérülnek. A kutatások jó része irányul arra, hogy az ilyen szimulátorok minőségét, lokalizációs képességeit feljavítsuk.

5. Az ambiofónia jelensége

Az ambiofónia olyan hangközlési eljárás, amelynél a hangvisszaadás helyén a hangforrásból sugárzott hangot a tér egyéb pontjain késleltetve is sugározzák az e célra használt külön hangszórókkal. Teremben a hangforrás közvetlen hangjain kívül az észlelő a környező falakról, tárgyakra visszaverődő és minden irányból időközönként érkező, közvetett hangokat is hallja. A monofónikus hangátvitelnél a közvetett és a közvetlen hangok egy irányból hallhatók, s emiatt az eredeti hangkép térhatása elvész. Az ambiofónikus hangátvitellel az egycsatornás (monofónikus) hang természetűsége jelentősen növelhető.

Másképp fogalmazva, az ambiofónikus eljárás egy ritkán alkalmazott, de jól dokumentált, pszichoakusztikus alapelvet kombinál a zenei előadói tértervezés alapszabályaival, hogy élethű koncertterem hangzást teremtsen az erre alkalmas otthoni szobában. Az ambiofónia ugyanabba a térbe varázsolja a hallgatót, ahol az előadók vannak, ehhez az összes fent felsorolt technikát felhasználja.



5.1. ábra Ambiofóniás zenehallgatás megvalósítása

5.1 Keresztáthallás, már meglévő technikai megoldások

A térhatású felvételek lejátszása során a normál sztereó fejhallgatók hangvisszaadása erősen kifogásolható. A standard fejhallgatók általában csak a jobb-bal elrendezésű sztereó hangot tudják visszaadni, a felvételben található esetleges surround csatornák jelének „nincs hova menni”. Mialatt a vita arról folyik, hogy melyik zeneszerző fogja először legitimizálni a térhatás használatát a szerzeményeiben, addig a filmek hangszerkesztői azon dolgoznak, hogyan adják vissza egy robbanás hanghullámát egy moziban, hogyan valósítsák meg egy rendőrautón található sziréna doppler effektjét, vagy hogyan adjanak a színészeknek még több térérzetet nyújtó hangot.

Az egyik módszer hogy tökéletesítsük a fejhallgató által nyújtható térhatású hangot az, hogy 4 csatornás fejhallgatót kell használnunk. A legutóbbi fejlesztések során ezekben a fejhallgatókban – a hagyományos négy csatornához képest – kis módosítással is drámaian tudták javítani a térhatású hang leképzését.

Egy másik lehetőség a fejhallgató hangjának térhatásúvá tételére a dekóderek, más néven virtualizálók használata. Ezek az eszközök általában egy matematikai modellel szimulálják a virtuális térhatású hangot. Ezek az eszközök nagyon népszerűek lettek mostanában, ezek működését és egy-két példát fogok bemutatni az alábbiakban.

A legtöbb fejhallgató karakterisztikája egyenes vonalat képez a fülek között, mert a fejhallgató használatánál hiányzik a fej mozgásából eredő hangforráshely meghatározás, és a vizuális érzékelés, ami segítséget nyújtana a térbeli lokalizációhoz. Az akusztikus szimulátorok olyan eszközök, amik elektronikusan helyreállítják ezeket a hiányzó hangokat, hogy a fejhallgatók hangja jobban hasonlítson a térhatású hangrendszer hangjához.

Nagyon sokféle elektronikus szimulátor létezik, természetesen mindegyik másféle áramköri megvalósítással rendelkezik. A szimulátorok megpróbálják előállítani a komplex hangteret, mint egy hangfal, vagy pszichoakusztikus effekteket használnak,

hogyan becsapják a hallgatót, néhány esetben pedig ezt a két funkciót együttesen alkalmazzák.

A legegyszerűbb megoldások a Crossfeed processzor, és az úgynevezett Spatial Expander (térstérfázisos eljárás). A kereszt-áthallást előidéző processzorok (crossfeed processor) analóg áramkörök, amik inter-aurális áthallást adnak a fejhallgató jeléhez (áthallásról esetünkben akkor beszélhetünk, ha a hang, amit az egyik fülben hallunk, kis mértékben, de a másik fülben is hallható). Az áramkörök felépítése nagyon széleskörű lehet, az egyszerű passzív hálózatoktól egészen a többlépcsős műveleti erősítő szűrőkig, amik alakítják és eltolják az áthallást. A térstérfázisos eljárással úgy hoznak létre térhatású hangot, hogy kihangsúlyozzák a környezetből jövő hangokat, információkat a sztereó jelből, a jobb térhatás elérése érdekében.

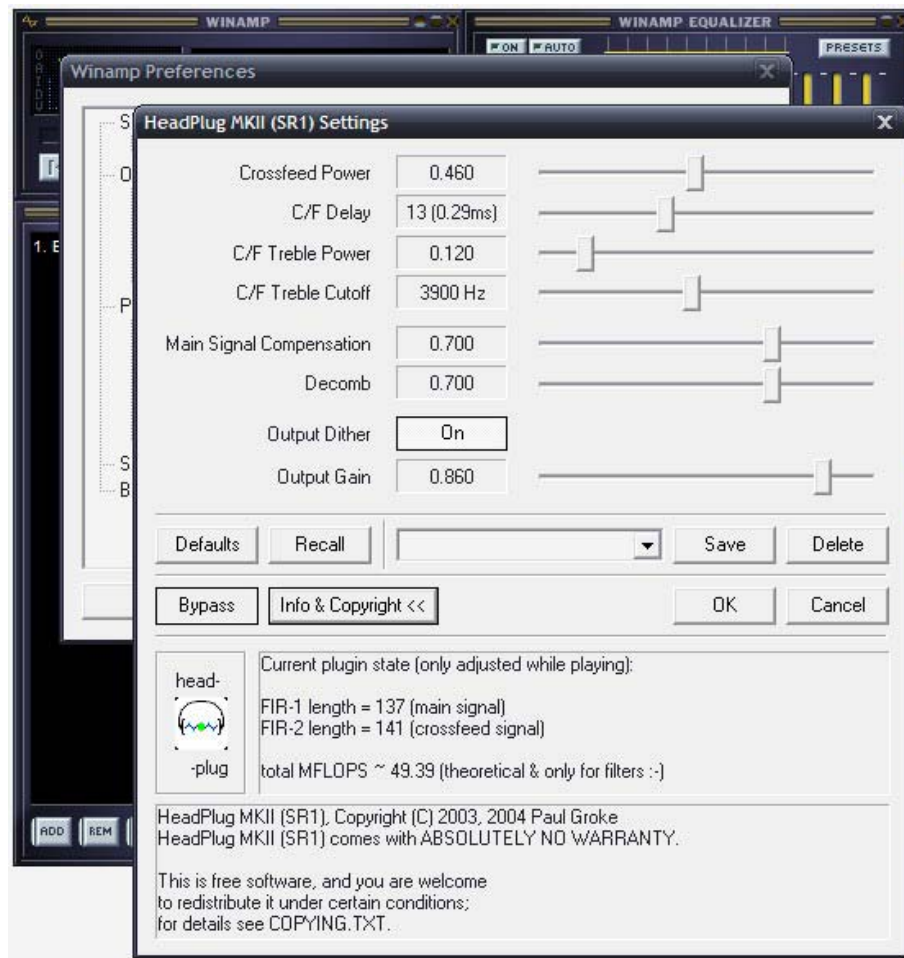
A keresztáthallással létrehozott hang jobban fókuszált, és egyfajta mélységérzetet ad. A térstérfázisos eljárással létrehozott hang nagyon diffúz, és visszhangszerű karakterisztikával rendelkezik. Valójában egyik megoldás sem produkálja hihetően a hangfalon való hallgatás érzését, de a fejhallgatózást jobban élvezhetővé teszik.

Jobb módszer, ha hangfalon való hallgatás érzetét akarjuk kelteni, ha fejhallgató virtualizálót használunk, mint pl. a Dolby Headphone, vagy az SRS Labs WOW. A virtualizálók sokkal bonyolultabb elektronikával rendelkeznek, azért, hogy a legrealisztikusabban tudják reprodukálni a 3D hangtereket a fejhallgatókban. A virtualizáló hatása hallgató-függő lehet, mivel mindenkinek kicsit más a hallási karakterisztikája.

A fejhallgató virtualizálók többcsatornás hangrendszer illúzióját is tudják kelteni, éppen ezért népszerűek DVD lejátszóval való használatra. Vannak sztereó virtualizáló pluginek (ezek csak egy sztereó bemenetet kívánnak), amik a népszerű médialejátszókkal is működnek, pl. a Winamp-pal, vagy a Windows Media Player-rel. A virtualizálókat ezenkívül megtalálhatjuk a számítógépes hangkártyákban is.

A Winamp nevű népszerű zenelejátszó programhoz ingyenesen letölthetjük a fent említett plugint, aminek használatával többcsatornás hangélményt tudunk elérni a fejhallgatón keresztüli hallgatás közben. Ha a plugin bekapcsolása mellett nem

fejhallgatón, hanem hangfalon keresztül hallgatjuk a zenét, akkor semmi plusz hanginformációt nem kapunk, tehát csak fejhallgatóval működik a program tökéletesen.



5.2. ábra Winamp Headplug

A programban a fő átviteli paramétereket hét darab csúszkán állíthatjuk, ezek közül a legfontosabb talán a Crossfeed Power (Áthallási teljesítmény), amivel az egyik csatornából a másik csatornába bekevert jel erősségét tudjuk szabályozni (0,5-nél a rákevert jel fele olyan hangos mint az eredeti, 1,0-nál pedig pont olyan hangos mint az eredeti). A C/F delay csúszkán beállíthatjuk, hogy a rákevert jel mennyivel legyen elcsúsztatva, a Treble cutoff és a Treble power pedig a rákevert magas hangok beállításában segít. Ennek a programnak a használatával (a precíz beállítást követően) sokkal kellemesebb élményt érhetünk el fejhallgatózás közben, a plugin jó alternatíva lehet a fejközép-lokalizációs probléma megoldására.

5.2. Csináld magad fejhallgató-erősítő természetes áthallással



5.3. ábra fejhallgató erősítő természetes áthallással

Az utóbbi pár évben számos rendszer látott napvilágot a Hi-Fi boltokban, amik ugyan keresztáthallással dolgoznak, de sokkal kifinomultabban, mint elődeik. A Headroom analóg fejhallgató-erősítői, vagy a Sony, az AKG vagy a Sennheiser digitális rendszere mind jó példák erre. Ezek a rendszerek többé-kevésbé megoldják a fejközép lokalizáció problémáját, ami a fejhallgatóknál jelentkezik.



5.4. ábra Headroom Home Amp High-End fejhallgató erősítő (~2300\$)



5.5. ábra AKG Hearo787 (~60.000 HUF)

Ezek az eszközök alapvetően úgy működnek, hogy szimulálják a mechanizmust, ahogy az ember meghatározza egy hang forrását.

Először, egy hangforrás hangja, ami a hallgató jobb oldalán van (pl. a jobb oldali hangfal egy sztereo rendszerben), nem csak a jobb fület éri el, hanem csillapítva és eltolva a bal fülben is hallható. A csillapítás szintje, és az eltolás mértéke fontos iránybeli információt hordoz.

Másodszor, a hanghullámokat részben elnyeli, és részben visszaveri a hallgató feje. Különösen a fülkagylón keletkező visszaverődések interferálnak azokkal a hanghullámokkal, amik közvetlenül belépnek a hallójáratba, és ezek különböző frekvenciákon erősítik, vagy csillapítják a hasznos jelet. Mivel ezek a reflexiók a hangforrás irányától függenek, ezért a hang színezete változhat a különböző helyen lévő hangforrások esetén.

Harmadszor a hanghullámok visszaverődései a szoba faláról, ahol a hallgató tartózkodik, különböző visszhangokat hoznak létre, ami még tovább fokozza a térérzetet.

Az információk, amik ezek során a mechanizmusok során keletkeznek, tovább változnak a fej mozgásaival. A változások a hangerőben, eltolási időkben, és a hangszínből megváltoztatják a hangérzékelésünk irányát. Ennek érzékelésére csak be kell kötni valakinek a szemét, és megkérni, hogy határozza meg egy ketyegő óra helyét, amit előzőleg már elrejtettünk valahol a szobában. Erre ő elkezd forgatni a fejét (annak ellenére, hogy nem láthat semmit, mert be van kötve a szeme), így könnyebben meg tudja határozni az óra pontos helyét. Ha a fejét egy fix pozícióban tartaná, akkor a helymeghatározás a hang alapján sokkal nehezebb lenne.

Mindezek a mechanizmusok eltűnnek, ha fejhallgatót használunk. A hangszórók közvetlenül a fülünkön vannak, így a jobb hangszóróból jövő hang soha nem fogja elérni a bal fület, és vice versa. Ezen kívül, a reflexiók is megváltoznak, és erősen interferálnak az eredeti hanghullámokkal. Ráadásul a hangszórók közvetlenül a fejünkön vannak, ezért a fejmozgások sem adnak információt, visszhang sem keletkezik.

A digitális hangprocesszorok alapvetően tudják szimulálni a fent leírt mechanizmusokat, de az eredmények nem egészen kielégítőek, mivel a fülkagylón keletkező reflexiók nagyon komplexek, függenek a hallgató adottságaitól is.

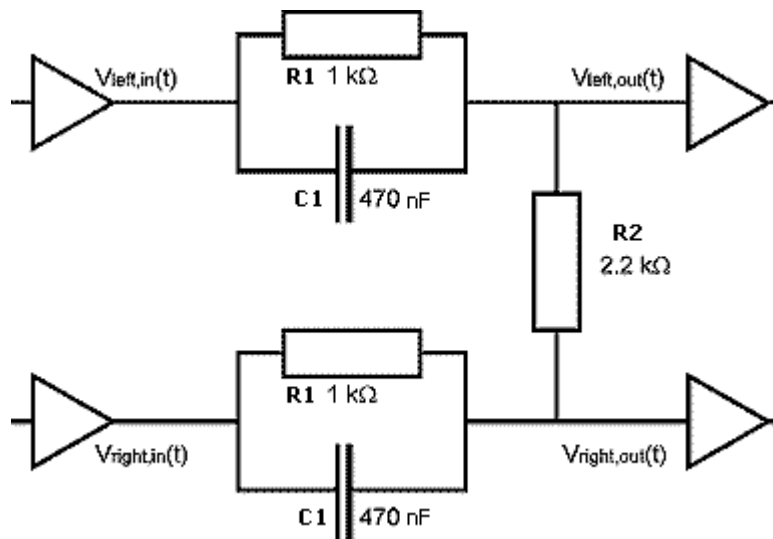
Szerencsére a fő irány információ meghatározása elsősorban azon múlik, hogy milyen különbségeket érzékelünk az egyik és a másik fülünkkel hallott hang között. Egy természetes keresztáthallás előállítása a jobból a bal audió jelbe (és természetesen fordítva is), valamint a megfelelő csillapítás és eltolás használata jelentős mértékben lecsökkenti a fejhallgatózás kedvezőtlen hatásait.

A legegyszerűsebb megközelítése a keresztáthallás létrehozásának, az, ha vesszük az eredeti sztereó jelet, csillapítjuk az amplitúdóját, és eltoljuk valamennyivel. Ezek után keresztkezzük a két csatornát és hozzáadjuk a feldolgozott jelhez az eredeti sztereó jelet. Képlettel:

$$V_{\text{bal, ki}}(t) = V_{\text{bal, be}}(t) + \alpha \cdot V_{\text{jobb, be}}(t-t_0) \quad \alpha < 1$$

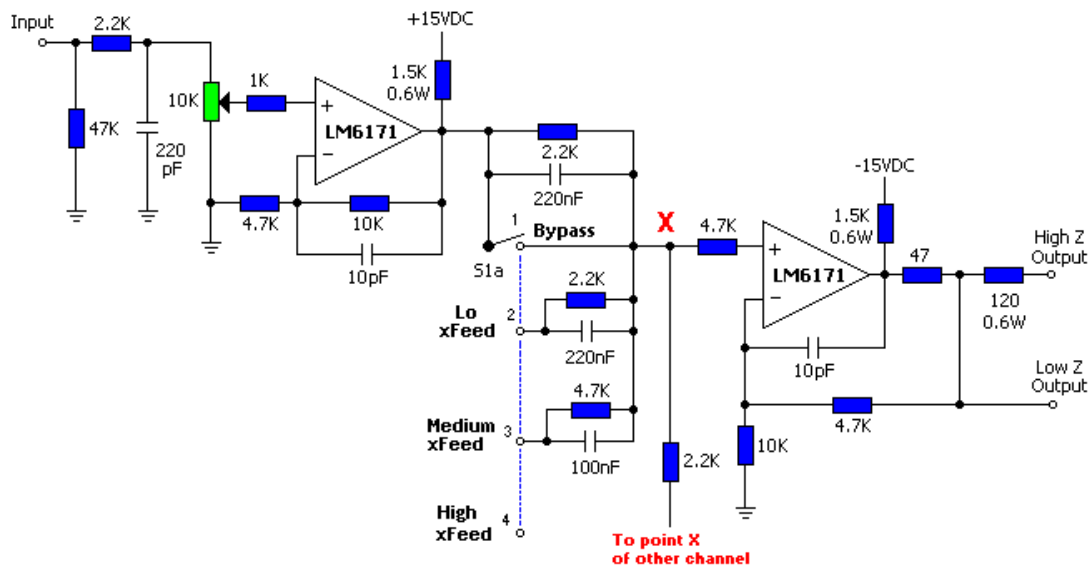
$$V_{\text{jobb, ki}}(t) = V_{\text{jobb, be}}(t) + \alpha \cdot V_{\text{bal, be}}(t-t_0)$$

Ezeket a feltételeket egyszerűen passzív szűrőkkel meg lehet valósítani, az áramkör rajza alábbi ábrán látható.



5.6. ábra Elvi kapcsolási rajz

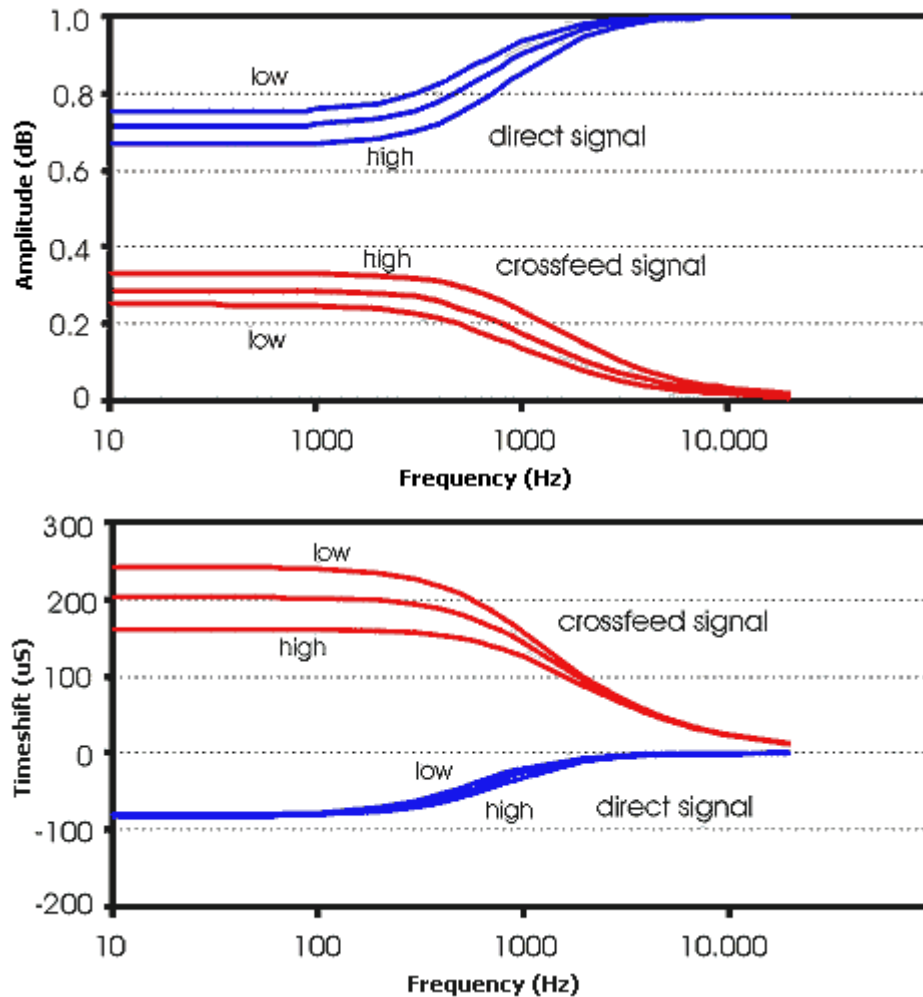
A gyakorlati megvalósítás során előnyös, ha lehetőség van a keresztáthallás mértékének változtatására, ezért a végleges áramköri rajzban háromféle szint közül lehet egy kapcsoló segítségével változtatni: Alacsony, Közepes, Magas. A végleges megvalósítás kapcsolási rajza az alábbi ábrán látható:



Natural Crossfeed Headphone Amplifier (one channel)

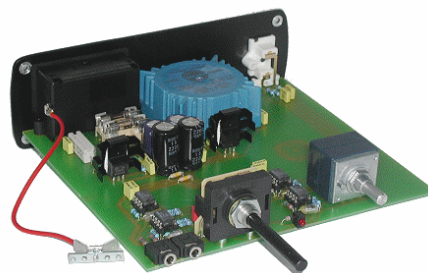
5.7. ábra Kapcsolási rajz

Amint az a kapcsolási rajzból is látszik, a megvalósítás műveleti erősítővel történik. Kétféle kimenettel rendelkezik az erősítő, az egyik magas impedanciájú fejhallgatókhoz, a másik pedig alacsony impedanciájúakhoz (32Ω vagy kevesebb) csatlakoztatható.



5.8. ábra amplitúdó és eltolási görbék

A fenti ábrák az erősítő amplitúdó eltolás átviteli görbéit mutatják. A görbéken jól megfigyelhető a szűrők működése a különböző frekvenciatartományokban.



5.9. ábra Belső felépítés

6. Kidolgozott saját eljárások

A diplomám során a feladatomban az volt, hogy megpróbáljuk lehetővé tenni, hogy fejhallgatós lejátszásnál se csorbuljon a több hangszórós sztereó hallgatási élmény. Tehát mint ahogyan a szokványos fejhallgatós lejátszásnál, a bal fül ne csak a bal csatorna jelét érzékelje, hanem érzékelje a másik, azaz a jobb csatorna jelét is, hasonlóan mint a hangszórós lejátszás esetében. Erre a problémára két megoldást dolgoztam ki.

1. Legelőször az volt az alapgondolat, ha hangszórókon keresztül hallgat az ember sztereó felvételt, akkor ugyanazon fülével mindkét csatorna jeléből hall valamennyit. De hogy pontosan mennyit, arról mérésekkel kellett meggyőződnünk. Ahhoz, hogy ezeket a méréseket el tudjuk végezni, létre kellett hozni olyan hanganyagokat, amikkel könnyen lehet a hangfalakkal történő sztereó zenehallgatást fejhallgatón keresztül szimulálni. Egy program segítségével az egyik csatorna jelére (bal) rákevertem a másik csatorna jelét (jobb), mégpedig 25%, 50%, 75%, 100% arányban. Ezenkívül szükség volt még bizonyos fokú jelszint korrekciókra is a túlvezérlések elkerülése érdekében. Ezt rákeveréses megoldásnak neveztem.
2. A második megoldásban az előzőhöz képest csupán annyi módosítást végeztem, hogy ezekben a már meglévő megvágott hangmintákban eltoltam egymáshoz képest a bal és a jobb csatorna jelét 20ms-al. Tehát a hallgató 20ms-al később hallotta a jobb csatorna jelét a balhoz képest.
Ennek a módszernek az alapelve az, hogy pl. leülünk két hangszóró elé melyek a fej közepéhez képest egyenlő távolságra vannak tőlünk, akkor ebben az esetben is később jut el a bal fülünkhöz a jobb csatorna jele, és persze fordítva is igaz ez. Ezt eltolásos megoldásnak neveztem.

A mérési elv:

A mérési tematika mindkét esetben szinte teljesen azonos volt. Azzal kezdtem, hogy kerestem ötféle sztereó, kiváló minőségben rendelkezésre álló felvételt, melyek a következők voltak:

1. Zaj –fehér zaj
2. Beszéd – egy angol nyelvű párbeszéd
3. Komolyzene – Bach: Ave Maria
4. Pop zene – Lou Bega: I got a girl
5. Rock zene – Dukai Regina: Szeress, vagy menj tovább

Azért választottam ennyire különböző felvételeket, mert nem biztos, hogy mindenféle hangnál a fent említett arány azonos. A hangminták mindegyikéből kivágtam egy tíz másodperces részt, és ezeket alakítottam át a fent említett eljárások szerint. Majd ezeket a mintákat úgy tettem egymás mögé, hogy előbb lehetett hallani az eredeti felvételt majd a vágottat. A felvételeket egyben hallották a hallgatók és a minták között (eredeti és vágott) 2 másodperc szünet volt. Miután meghallgatták a mintákat mindenkinek három kérdést tettem fel, melyek a következők voltak:

1. Volt-e vagy éreztél-e fejközép lokalizációt a felvétel során?
2. Tetszett-e a vágott felvétel az eredetihez képest?
3. Elegendő volt-e a 2 másodperces szünet a felvételek között?

6.1 Cool Edit Pro

Ezt a programot használtam a felvételek rákeverésére, eltolására, és lejátszására.

Ez egy, azóta más Adobe Audition néven továbbfejlesztett, hangszerkesztő program, amit széleskörűen lehet a fenti eljárásokon kívül sok minden másra is használni, de ez a szakdolgozatom szempontjából nem olyan fontos.

6.2. A mérés folyamata

A mérést a Széchenyi István egyetem önként jelentkező hallgatóin végeztem, főleg azokon, akik a Telekommunikáció című tantárgyat hallgatták az aktuális félévben. A vizsgálatot a Műszaki Audio és Videó Laboratóriumban (L120-as labor) végeztem el. A hallgatókat egyesével előre leegyeztetett időpontban fogadtam, majd ezután ismertettem a feladat célját, elméleti hátterét (pl. a fejközép lokalizációt). Azért egyesével vizsgáltam őket, mert a mérést fejhallgatóval végeztem el. Egy kényelmes székbe ültettem őket, hogy semmi ne vonja el a figyelmüket a koncentrálásról, és minél hitelesebb eredményeket kapjak a mérés során. Minden hallgató csak az egyik módszer szerint összevágott mintákat hallotta. Először az eredetit majd a vágottat így mentünk végig mind az ötféle mintán, melyek fajtánként négyféle mintából plusz az eredeti felvételtől álltak. Tehát minden résztvevő hallott húszféle mintát plusz ennyiszer az eredeti felvételt. Egy ilyen vizsgálat körülbelül húsz percig tartott. Összesen harminc jelentkezőn teszteltem mintáimat, tizenötször az egyiket és ugyan ennyiszer a másikat. Minden lejátszott minta után megkértem a hallgatót, hogy válaszoljon a fent leírt három kérdésre.

A mérés elsődleges célja:

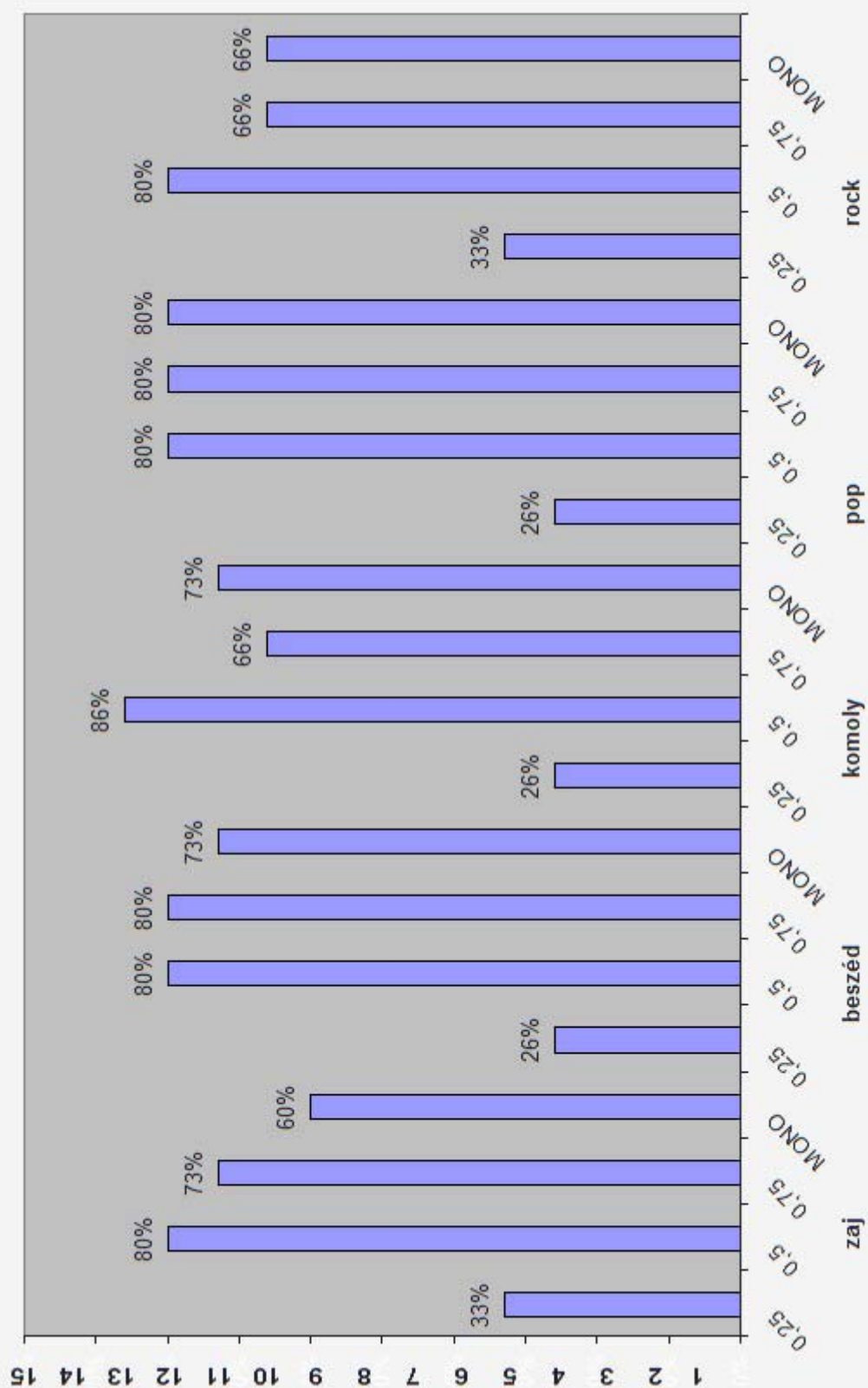
1. Mennyire jók az elkészített minták, vajon mennyire érezhető a fejközép lokalizáció az egyes mintáknál?
2. Vajon mennyire tetszik ez a fajta megoldás az embereknek?

7. Tényleges mérések és kiértékelés

		FKL Rákeverve														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Zaj	0,25	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
	0,5	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
	0,75	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1
	Mono	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1
Beszéd	0,25	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
	0,5	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	0,75	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Mono	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1
Komoly	0,25	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	0,5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	0,75	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1
	Mono	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1
Pop	0,25	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
	0,5	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
	0,75	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
	Mono	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Rock	0,25	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
	0,5	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
	0,75	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
	Mono	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0

7.1 ábra FKL rákeverve táblázat

FKL RÁKEVERVE



7.2. ábra FKL rákeverve diagram

7.1 Rákeverve FKL táblázat és diagramm kiértékelése

Az ábrán látszik, hogy a jelentkezők legnagyobb arányban ennél a megoldásnál az 50%-os és 75 %-os rákeverésnél érzékelték az FKL-t.

A diagrammból még kitűnik az is, hogy a 25%-os rákeverésnél nagyjából 30% körül volt az arány, aki érzékelte az FKL-t.

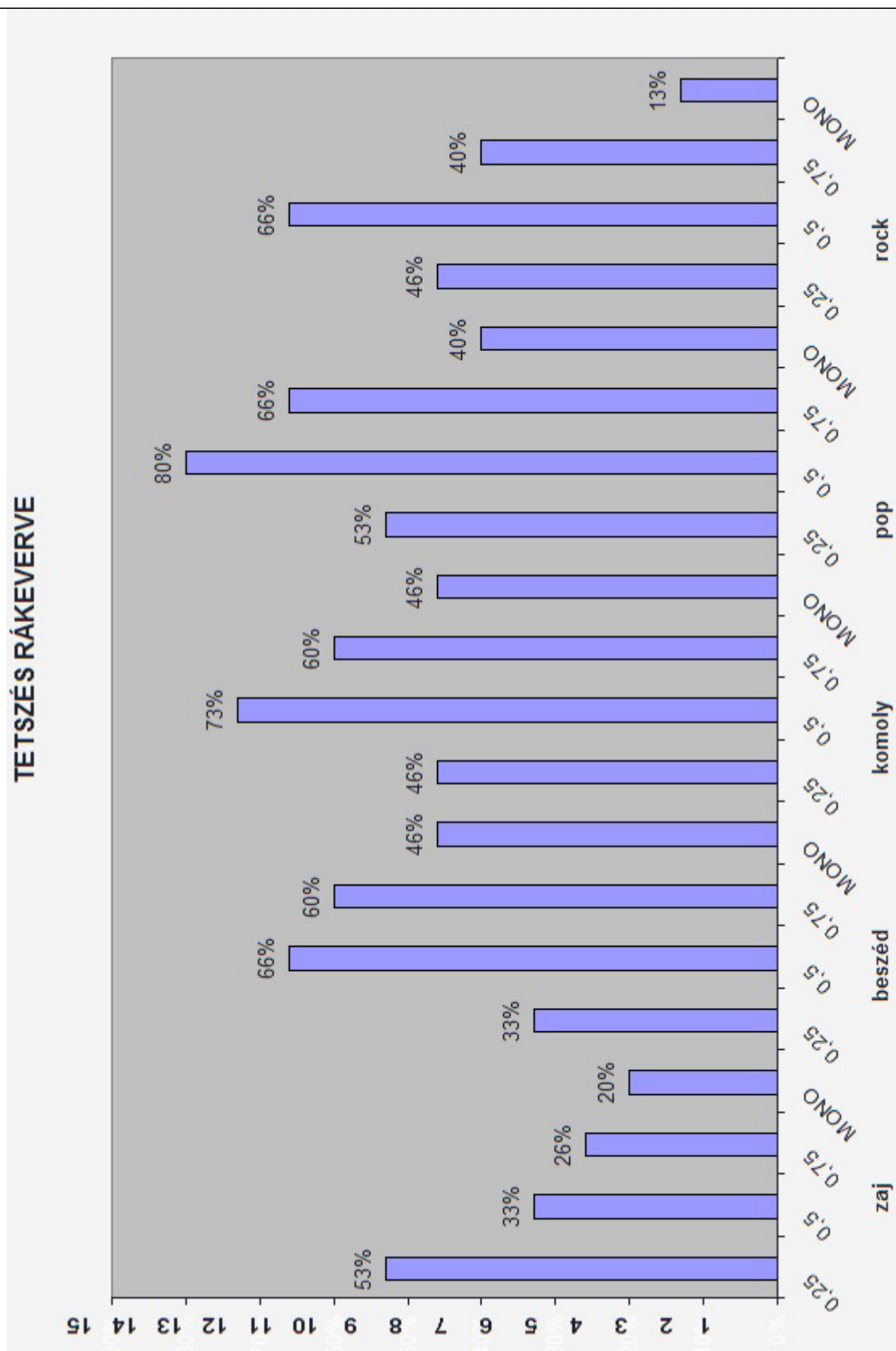
Az eredményekből kitűnik, hogy ennél a megoldásnál a 25%-os rákeverés kevés az FKL érzékeléséhez.

Kiolvasható az ábrából az is, hogy a mono-nál viszont mind az öt esetben a jelentkezők több mint 60%- érzékelte az FKL-t.

A jelentkezők túlnyomó hányada mondta azt, hogy a zajnál a legnehezebb eldönteni, hogy létezik-e az FKL, beszédnél pedig a legkönnyebb, hiszen ott maguk elé tudják képzelni a két beszélőt és tudnak dönteni az irányról.

		Tetszés														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Zaj	0.25	i	n	i	i-n	i-n	i-n	n	i	i	i	n	i	i	i-n	n
	0.5	n	n	i	i-n	i-n	i-n	n	i	i	n	i	i	n	i-n	n
	0.75	n	n	i	i-n	i-n	i-n	n	n	n	i	i	i	i	i-n	n
	Mono	n	n	i	i-n	i-n	i-n	n	n	n	n	i	n	i	i-n	n
Beszéd	0.25	n	i	i	i	n	n	i	i	i	n	n	i	i	i	i
	0.5	i	n	i	n	i	i	i	i	i	n	n	i	i	i	i
	0.75	i	n	i	i	i	n	i	i	i	i	n	i	n	n	i
	Mono	n	i	i	i	i	n	n	n	n	n	n	n	i	n	n
Komoly	0.25	n	n	i	n	i	i	i	i	i	i	n	i	n	n	i
	0.5	n	n	i	n	i	i	n	i	i	i	n	i	i	i	i
	0.75	i	i	i	i	i	i	n	n	n	n	i	n	n	n	n
	Mono	n	i	i	i	i	n	i	n	i	i	i	n	i	n	i
Pop	0.25	i	n	i	i	i	i	i	i	i	i	n	i	i	i	i
	0.5	i-n	i	i	n	i	i	i	i	i	i	n	n	i	i	i
	0.75	n	n	i	n	n	n	i	i	i	n	i	n	n	n	i
	Mono	n	n	i	n	n	n	i	n	n	n	i	n	i	n	n
Rock	0.25	i	n	i	i	i	i	i	i	i	n	i	i	n	i	i
	0.5	i	i	i	i	i	i	i	i	n	i	i	i	i	i	i
	0.75	n	i	n	n	n	i	i	n	i	n	i	n	n	i	n
	Mono	i	n	i	i	n	n	n	n	n	n	n	n	i	n	n
Szünet		ok	hosszabb	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Hossz																

7.3. ábra Tetszés rákeverve táblázat



7.4. ábra Tetszés rákeverve diagram

7.2 Rákeverve tetszés táblázat és diagramm kiértékelése

A minták közti szünet hossza mindenkinek megfelelt ennél a mérésnél. A táblázatból kiolvasható, hogy a zajnál négy, a rocknál pedig három ember nem tudott dönteni, hogy vajon tetszik-e neki a megváltoztatott felvétel vagy nem.

A gondot számukra az jelentette, hogy nem tudtak különbséget tenni az eredeti és a megváltoztatott minta között. Azt mondták, hogy semmilyen különbséget nem hallottak a kettő között, és emiatt nem tudtak dönteni arról, hogy tetszik vagy sem.

Ennél a megoldásnál a zaj kivételével mindegyik mintánál az 50%-os és a 75%-os rákeverés tetszett legjobban a jelentkezőknek, jó páran mondták, hogy ennél a kettőnél sikerült elérni a legjobban, amit szerettünk volna

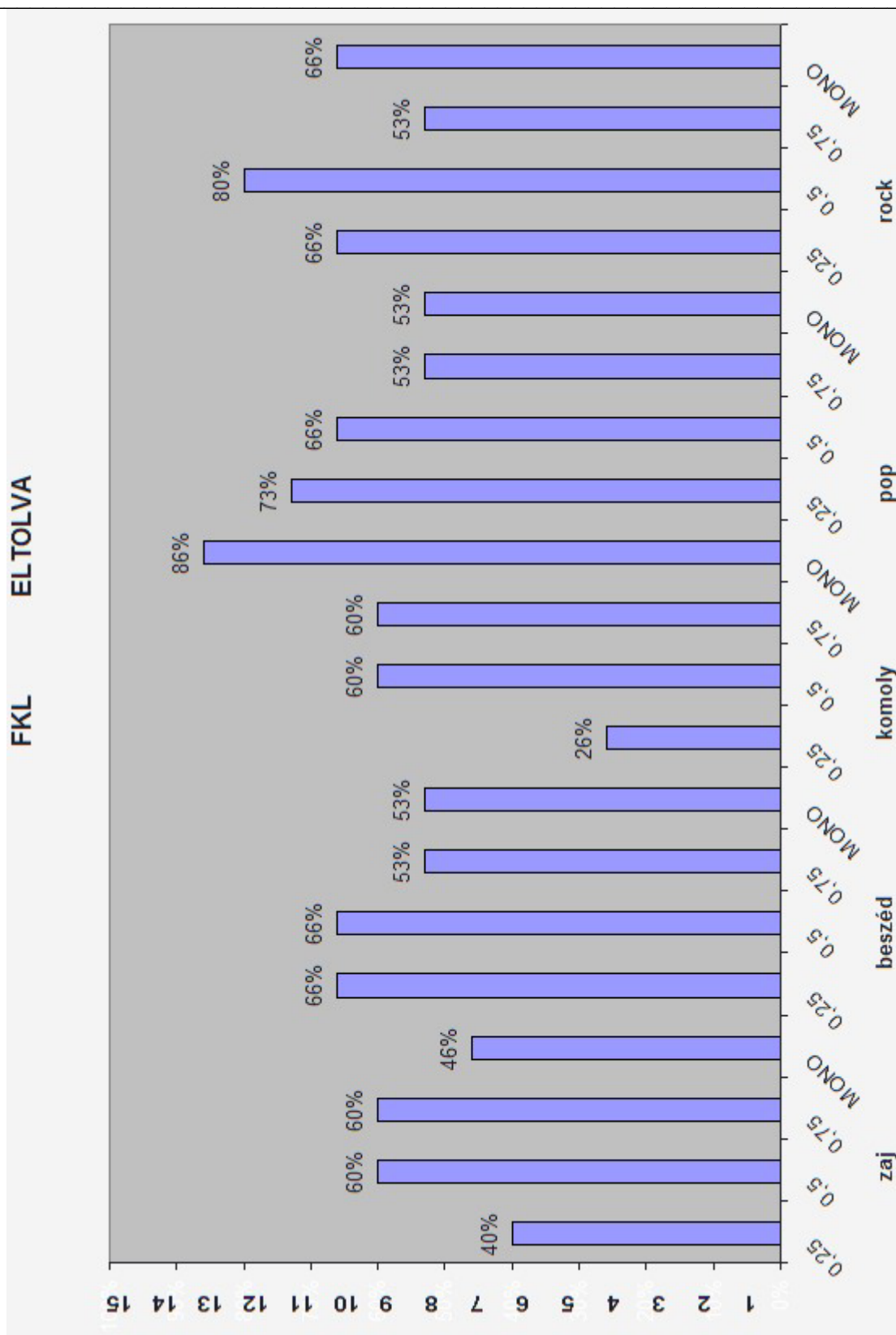
Volt olyan hallgató is, akinek azért nem tetszett a 75%-os rákeverés, mert szerinte így túl sok volt benne a mély hang.

Amikor a beszédet hallgatták többen is mondták, hogy beszédnél nem szerencsés ez a megoldás mert teljesen elveszik benne az a tudat hogy ki melyik irányban áll, amikor beszél.

Amikor a zajt mértem többen mondták még azt is, hogy szerintük teljesen felesleges zajnál, mert nem lehet eldönteni hogy tetszik vagy nem, mivel soha nem fog tetszeni.

FKL																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Zaj	0,25	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	
	0,5	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	
	0,75	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	
	Mono	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	
Beszéd	0,25	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	
	0,5	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	
	0,75	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	
	Mono	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	
Komoly	0,25	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	
	0,5	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	
	0,75	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	
	Mono	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	
Pop	0,25	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	
	0,5	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	
	0,75	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	
	Mono	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	
Rock	0,25	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	
	0,5	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	
	0,75	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	
	Mono	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	

7.5. ábra FKL eltolva táblázat



7.6. ábra FKL eltolva diagram

7.3 FKL eltolva táblázat és diagramm kiértékelése

Az ábrán látszik hogy a zajnál és a komolyzenénél a résztvevők 60%-a érzékelte az FKL-t 50%-os és 75% eltolásnál. Még érdekes az is hogy komolyzenénél a 25%-os eltolás alig érzékelhető, ez szerintem a lágyabb hangszerek miatt lehet így.

Popnál, beszédnél és rocknál pedig inkább a 25%-os és 50%-os rákeverésnél érzékelték jobban a FKL-t.

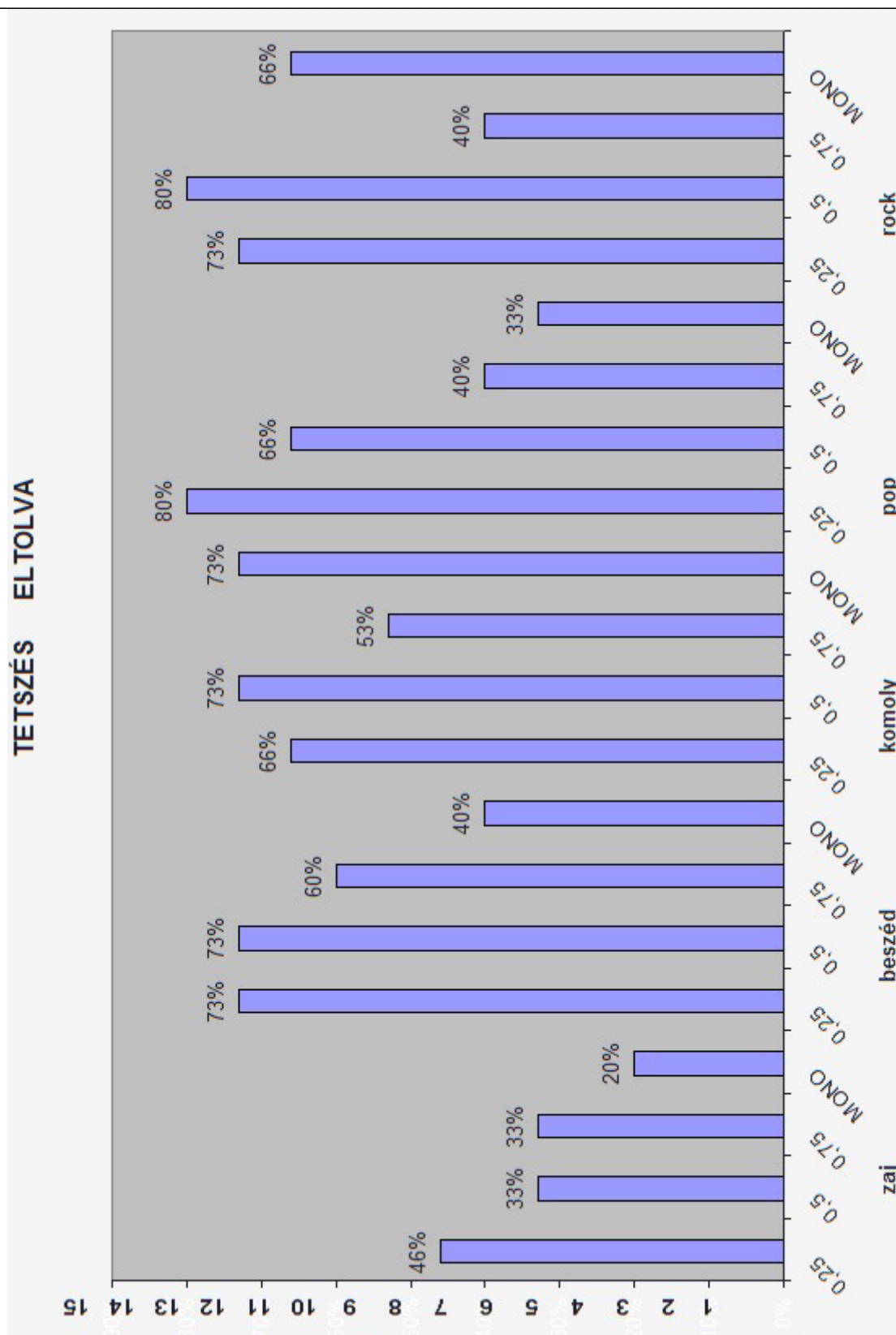
A diagrammról leolvasható még az is hogy zajnál és beszédnél kevésbé lehet az FKL-t érzékelni, mint zenénél, aminek ritmusa van.

Továbbá még észre lehet venni hogy zenénél az 50%-os eltolásnál lehet igazán érzékelni az FKL-t.

Az ábrából látszik még az is, hogy ha az ember zenét hallgat, akkor célszerű ezt 50%-os eltolás mellett tenni. Komolyzenénél még a 75% is javasolt, hiszen a hallgatók többsége nem tudott különbséget tenni az 50%-os és a 75%-os eltolás között ennél a fajta zenénél.

		Tetszés														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Zaj	0.25	n	i	i	n	n	n	i	i-n	i-n	n	n	i	n	i-n	i
	0.5	i	n	i	n	i-n	i	n	i-n	i-n	n	n	i	i	i-n	n
	0.75	n	n	i	i	i-n	i	n	i-n	i-n	n	n	n	n	i-n	n
	Mono	n	i	i	n	i-n	i	n	i-n	i-n	n	n	n	n	i-n	n
Beszéd	0.25	n	n	n	n	n	i	n	i	n	n	n	i	n	n	n
	0.5	n	i	i	i	i	i	n	i	n	i	i	i	nn	n	i
	0.75	n	i	i	i	i	n	n	n	i	i	i	i	nn	n	i
	Mono	n	i	n	n	n	n	n	i	i	i	i	i	i	n	i
Komoly	0.25	n	i	n	n	n	i	i	n	i	n	i	n	i	n	i
	0.5	i	i	i	i	n	n	i	n	i	n	i	i	i	i	n
	0.75	i	i	i	n	i	n	n	n	i	i	i	i	i	i	i
	Mono	n	n	n	i	i	n	n	i	n	i	n	i	i	n	i
Pop	0.25	n	n	i	n	n	n	n	n	i	i	i	i	i	i	i
	0.5	n	i	i	i	i	i	i	i	i	i	n	i	n	i	i
	0.75	i	i	i	i	i	n	i	i	i	n	n	i	n	i	i
	Mono	i	n	i	i	n	n	n	i	i	n	n	n	n	n	i
Rock	0.25	i-n	n	n	n	i	i	n	i	n	n	i	i	n	n	i
	0.5	i-n	i-n	i	i-n	i	n	i	i	i	n	n	i	i	i	i
	0.75	i-n	i-n	i	i-n	n	n	i	i	i	i	n	n	i	i	i
	Mono	i-n	i-n	n	i-n	n	n	n	n	n	i	i	n	n	i	n
Szünet	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

7.7. ábra Tetszés eltolva táblázat



7.8. ábra Tetszés eltolva diagram

7.4 Tetszés eltolva táblázat és diagramm kiértékelése

Az ábrán látható hogy a zajnál voltak olyanok, akik nem tudták eldönteni, hogy tetszik nekik vagy nem, többen azt is mondták, hogy a zaj önmagában nem tetszik nekik, így felesleges bármit is csinálni vele.

Beszédnél több hallgató is jelezte, hogy egy kicsit zavarja őket a középhallás, nem tudják eldönteni, hogy melyik beszélő melyik oldalon tartózkodik, de viszont mondták, hogy zenénél meg éppen az a jó és hasonlít a térhangzásra, mintha a hang nem csak két irányból jönne.

Leolvasható az ábráról még az is, hogy a résztvevőknek a 25%-os és az 50%-os eltolás tetszet a legjobban a felvételek közül.

A mono felvétel tetszet a legkevésbé a hallgatóknak az összes felvétel közül.

A 75%-os eltolásnál néhányan azt mondták, azért nem tetszik nekik, mert egy kicsit torz az eredeti felvételhez képest. Olyan mintha kiemelnénk a mély hangokat, a magasat viszont visszavennénk egy kicsit.

Az 50%-os eltolásra mondták a legtöbben, hogy azzal sikerült legközelebb jutni a célhoz, ezt a legélvezetesebb hallgatni, ez tetszett a legtöbb embernek.

Összesen egy ember mondta hogy szerint keves egy kicsit a 2 másodperces szünet az eredeti és a vágott hanganyag között. A többiek meg voltak elégedve a szünet hosszával.

7.5 Mérések összegzése

Összesen harminc hallgatót teszteltem az előállított mintáimat. Mindkét mérési eljárást tizenöt-tizenöt jelentkező hallgató végig, majd utána válaszoltak a feltett kérdéseimre.

A két mérési eljárás a következő volt:

1. Ennél az eljárásnál az egyik csatorna jelét átkevertem a másikra mégpedig 25% 50% 75% 100%-os arányokban és ezt neveztem „rákeveréses” eljárásnak.

2. Ennél a megoldásnál ezeket a meglévő „rákevert” mintákat eltoltam 20ms-al a másik csatornához képest, ezt neveztem eltolásos módszernek.

Öt fajta hanganyagot alakítottam át a fent említett eljárások segítségével melyek a következők voltak: - Zaj – fehér zaj

- Beszéd – egy angol nyelvű párbeszéd
- Komolyzene – Bach Ave Maria
- Pop zene – Lou Bega: I got a girl
- Rock zene – Dukai Regina: Szeress, vagy menj tovább

Miután meghallgatták ezekből a zenékből készített mintáimat, a jelentkezők válaszoltak a feltett kérdéseimre.

Az első ilyen kérdés az volt, hogy érzékelnek-e fejközép lokalizációt vagy nem. A két mérési módszer közül az elsőnél, azaz a rákeveréses módszernél érzékelték legtöbben a fejközép lokalizációt (FKL). Több jelentkező is mondta, hogy beszédnél lehet a legkönnyebben érzékelni az FKL-t és zajnál a legnehezebb, feltehetően azért, mert annak se dallama se üteme sincsen végig ugyanazon monoton jel.

Az első mérési módszernél általában az 50%-os és 75%-os rákeverésnél érzékelték a jelentkezők az FKL-t, míg a második módszernél, azaz az eltolásosnál a komolyzenét és a zajt leszámítva már érzékelték a 25%-os eltolásnál is elég sokan. Egész pontosan a hallgatók legalább 66%-a. Ez valószínűleg azért lehetett így, mert a második módszer jobban hasonlít a valóságra, ugyanis ha hangszórón keresztül hallgatunk sztereó felvételt, akkor is halljuk egy ugyanazon fülünkkel mindkét csatorna jelét valamennyire, és bizony a két jel között időbeni különbség is fel fog lépni.

Továbbá még nagyon érdekes az is, hogy az eltolásos módszernél a hallgatóknak kevesebb mint a fele érzékelt az FKL-t mono-nál, ez alól kivétel a rock zene, mert ott 66% volt ez az arány. A rákeveréses módszernél viszont a hallgatók többsége érzékelt az FKL-t.

Ha a két módszert összehasonlítom, akkor az FKL szempontjából az első azaz a rákeveréses módszer volt a jobb, ugyanis ennél az eljárásnál több hallgató érzékelt az FKL-t, mint az eltolásosnál.

A második kérdésem az volt, hogy vajon tetszik-e nekik az a változtatás, amit a hanganyagokon csináltam. A zajnál mindkét mérésnél ugyanaz volt az eredmény, nem nagyon tetszett a hallgatóknak. Többen mondták, hogy a zaj önmagában nem tetszik, és akár mit is csinállok vele akkor sem fog tetszeni. Az első módszernél, azaz a rákeverésesnél a jelentkezőknek az 50%-os és a 75%-os rákeverés tetszett a legjobban. Voltak olyan hallgatók is, akik nem tudták eldönteni, hogy nekik tetszik vagy nem. Mindkét eljárásnál volt ilyen hallgató, aki nem tudott dönteni, a rákeveréses módszernél hét, az eltolásos eljárásnál pedig öt. Kérdésekre elmondták, hogy ez azért volt így, mert nem hallottak semmi különbséget az eredeti és megváltoztatott felvétel között.

A második módszernél azaz a eltolásosnál a 25%-os és az 50% eltolás tetszett a jelentkezők többségének. Azt mondták többen is, hogy ezeknél a mintáknál sikerült elérnünk azt, amit szerettünk volna, megadni fejhallgatón keresztül is a több hangsúlyos sztereó zenehallgatás élvezetét. A mono felvétel a komolyzenét kivéve a jelentkezők többségének nem tetszett.

Összességében, ha összehasonlítom a két eljárást, akkor az eltolva, azaz a második eljárás, tetszett legjobban a jelentkezőknek és abból is a 25%-os és 50%-os eltolás.

A harmadik kérdésem az volt, hogy elegendő volt-e a két másodperces szünet az eredeti és vágott hanganyag között. Erre a kérdésekre egy ember kivételével mindenki azt mondta, hogy igen. Ez az egy ember azt mondta, hogy szerinte kevés volt a szünet. Összességében a szünetek hosszával és a minták hosszával meg voltak elégedve a hallgatók.

8. Összegzés

Szakdolgozatom feladata az volt, hogy próbáljam meg fejhallgatón keresztül visszaadni a több hangszórós (legalább kettő) sztereó zenehallgatás élményét, és próbáljam eltüntetni a fejhallgató azon „hibáját”, hogy egyik oldalon csak a bal csatornát hallom, a másik oldalon pedig csak a jobbat. Hiszen hogyha hangszórón keresztül hallgat az ember sztereó felvételt, akkor is óhatatlanul ugyanazon fülével mindkét csatornát hallja, csak persze nem ugyanolyan arányban.

Munkám egy elméleti összefoglalóval kezdődik, aminek segítségével végig megyek a diplomamunkámhoz szükséges ismeretanyagban. Majd következik néhány már meglévő megoldási javaslat a problémára. A következő részben a két saját mérési eljárást tárgyalom, majd következnek a mérések és a kiértékelés. A két módszer a következő volt:

1. Ennél az eljárásnál az egyik csatorna jelét átkevertem a másikra mégpedig 25% 50% 75% 100%-os arányokban és ezt neveztem „rákeveréses” eljárásnak
2. Ennél a megoldásnál ezeket a meglévő „rákevert” mintákat eltoltam 20ms-al a másik csatornához képest, ezt neveztem „eltolásos” módszernek.

Ezt a két eljárást teszteltem harminc hallgatón, tizenöt-tizenöt hallgató hallotta mindkettőt. Három kérdést tettem fel a hallottakkal kapcsolatban:

1. Volt-e vagy éreztél-e fejközép lokalizációt a felvétel során?
2. Tetszet-e a vágott felvétel az eredetihez képest?
3. Elegendő volt-e a 2 másodperces szünet a felvételek között?

Az eredmény a következő lett: az első módszernél többen érezték a fejközép lokalizációt (FKL) mint az eltolásos módszernél. Ennél az eljárásnál egész pontosan az 50% és a 75% rákeverésnél érezték legtöbben az FKL-t. Ennek ellenére a második módszer jobban tetszett a jelentkezőknek, mint a rákeveréses. Ha választani kellene, hogy melyik módszer a jobb akkor az FKL szerint az első módszer, az elégedettségek szerint az eltolásos módszer a jobb azon belül is a 25%-os és az 50% eltolás tetszett a legjobban a hallgatóknak.

9. Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Wersényi György: Műszaki Akusztika; Győr 2004
- [2] Dr. Wersényi György: Térbeli hallás; Győr 1998
- [3] Dr. Wersényi György: Stúdiótechnika jegyzet (könyv) 2007.08.27
- [4] Dr. Wersényi György: A külső fül fejre vonatkoztatott átviteli függvényeinek vizsgálata, Győr 1999
- [5] Dr. Wersényi György: A sztochasztikus hallás és érzékelés, Győr 2007
- [6] www.headwize.com
- [7] www.meier-audio.de
- [8] www.dolby.com
- [9] www.akg.com
- [10] www.headphone.com
- [11] www.wikipedia.org
- [12] www.hobbielektronika.hu
- [13] www.ambiophonics.org