

Tartalomjegyzék

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. Terjedési sebesség.....	5
2.1.4. Hangforrás.....	6
2.1.5. Irányhallás.....	7
2.2. A hangtér a fülek közelében.....	7
2.3. Helymeghatározhatóság.....	7
2.3.1. Lokalizáció.....	7
2.3.2. Lokalizációs bizonytalanság.....	8
2.4. Hallás folyamata.....	11
2.4.1. A dobhártya.....	11
2.4.2. Hallójárat.....	12
2.4.3. A fülkagyló.....	12
3. Hallás a vízszintes síkban.....	13
3.1.1. Különbségi idő.....	13
3.1.2. Szint különbség.....	14
3.2. Monaurális és interaurális jellemzők.....	15
3.2.1. Monaurális jellemzők.....	15
3.2.2. Interaurális jellemzők.....	15
3.3. Átviteli függvények.....	15
3.4. A külső fül műszaki leírása.....	17
3.5. Helymeghatározás, Lokalizáció.....	18
3.6. HRTF Mérés.....	20
4. A Binaurális technológia.....	21
4.1.1. Felvétel.....	23
4.1.2. Jelfeldolgozás.....	24
4.1.3. Fejhallgató kiegyenlítés.....	24
4.1.4. Lejátszás.....	26
4.2. Fejhallgató hibák.....	28
4.3. Impulzusválasz.....	28
4.4. Zajmérés alapjai.....	30
5. Binaurális mérőrendszer.....	33
5.1.1. Binaurális mérőrendszer felhasználási területei.....	33
5.1.2. Miért a binaurális mérőrendszert használjuk?.....	34
5.2. A binaurális mérőrendszer felépítése.....	34
5.2.1. Binaurális mikrofon.....	35
5.2.2. Tápfeszültséget adó és csatlakozás elosztó doboz.....	36
5.2.3. Kábel.....	38
5.2.4. Hangkártya.....	38
5.3. Digigram control centeren belüli beállítások.....	39
5.4. Cool Edit Pro.....	42
6. Mérések.....	43
6.1.1. Különböző szobák időfüggvényeinek vizsgálta.....	45
6.1.2. A műfjre illesztett binaurális mérőrendszerrel végzett mérés.....	47

6.1.3. A hang terjedés számítása és szemléltetése.....	47
6.1.4. Irányhallás számítása a vízszintes síkban.....	48
6.2. Müfejbe épített mikrofonokkal végzett mérés.....	49
6.3. Binaurális mikrofonokkal készített mérés.....	51
7. A felvételek frekvenciatartományban.....	55
7.1. Spektrumképek a D1-es teremből.....	57
8. Összegzés:.....	62
9. Felhasznált irodalom.....	63

Bevezetés

A szakdolgozat témája egy olyan rendszer kiépítése, mellyel könnyen és viszonylag olcsón tudjunk binaurális felvételeket készíteni élő emberen és műfejen egyaránt. A célja, hogy individuális HRTF-ekhez jussunk hozzá.

A binaurális technológia felhasználása lényegében az olyan helyzetekben jelentős és egyben nélkülözhetetlen, melyben az élő embert nem tudjuk helyettesíteni a műfejünkkel például: bukósisakok zajmérése motor vezetése közben. Ebben a helyzetben elképzelhetetlen a jelenlegi technika fejlődésének szakaszában, hogy a műfejünk vezesse a motorkerékpárt. A binaurális mérőrendszerünk nem túl nagy helyet foglal el például: elfér egy hátitáskában.

A rendszerünk felépítéséhez szükségünk van: BK4101 típusú mikrofonokra, VX Pocket hangkártyára és a szoftverére, valamint egy laptopra, és az ezeket összeillesztő elektronikára és egy szoftverre, ami a mi esetünkben a CoolEdit volt. A szükséges beállításokat a Digigram Control Centeren és a Cool Edit-ten és az operációs rendszerünkön elvégezve összeállt a rendszerünk. Ezután már végre lehet hajtani a próbaméréseket a rendszerrel mind élő emberen mind műfejen a süket szobában. Mi különböző beállítások és különböző szobákban próbáljuk meg a beállított értékeket tökéletesíteni, ebből a célból végeztük a méréseinket.

A szakdolgozat elején az elméleti háttérrel írom le, melynek ismerete szükséges a mérés megértéséhez, majd a binaurális technológia menetét ismertetem, hogy mi is az, hogy mérek stb. Ezután a mérőrendszer részeinek bemutatása következik és ezek használatának lépései. A felépült mérőrendszerünk segítségével méréseink menete és kiértékelése következik különböző helyen különböző beállítások mellett.

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:

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

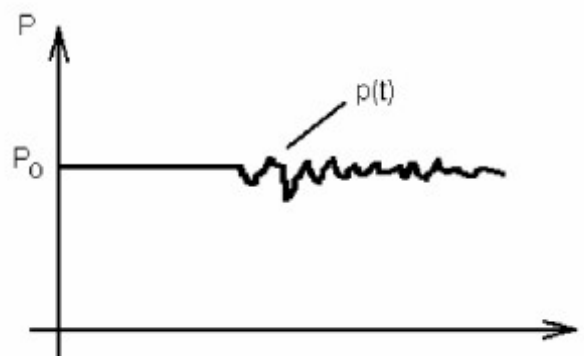
,ahol $y(t)$ a pillanatérték az idő függvényében, A az amplitúdó, ω a körfrekvencia [rad/sec]-ben, az A_0 amplitúdó egyen szintje.

2.1.2. Hangnyomás és intenzitás

A hang egyik nagyon fontos paramétere a hangnyomás.

Hangnyomásnak nevezzük másképpen a már előbb is említett amplitúdót.

$$P(t) = P_0 + p(t)$$



2.1.ábra: A hangnyomás időfüggvénye

A másik nagyon fontos paraméter az intenzitás. Az intenzitás 1 m² felületen, 1 s alatt átviramlott (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:

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

2.1.3. Terjedési sebesség:

A hang terjedési sebessége anyagfüggő. Függ a közeg anyagától, hőmérsékletétől, sűrűségétől:

$$c = \sqrt{1,4P_0/\rho}$$

,ahol P_0 a már megismert atmoszféranyomás, ρ pedig a levegő sűrűsége. Ha behelyettesítjük a 10^5 Pa -t és az $1,3 \text{ kg/m}^3$ adatokat, $c = 328 \text{ m/s}$ érték jön ki a hangsebességre. Ettől azonban lényegesen is eltérhet a valóságos érték, különösen a hőmérséklet függvényében változó. Szobahőmérsékleten (20°C) a 344 m/s átlagos értékkel számolhatunk, ha más nincs megadva. Ettől eltérő hőmérsékleten az alábbi képlettel módosíthatunk:

$$c_2 = 332 \sqrt{1+(t/273)} = 332 + 0,6\Delta t$$

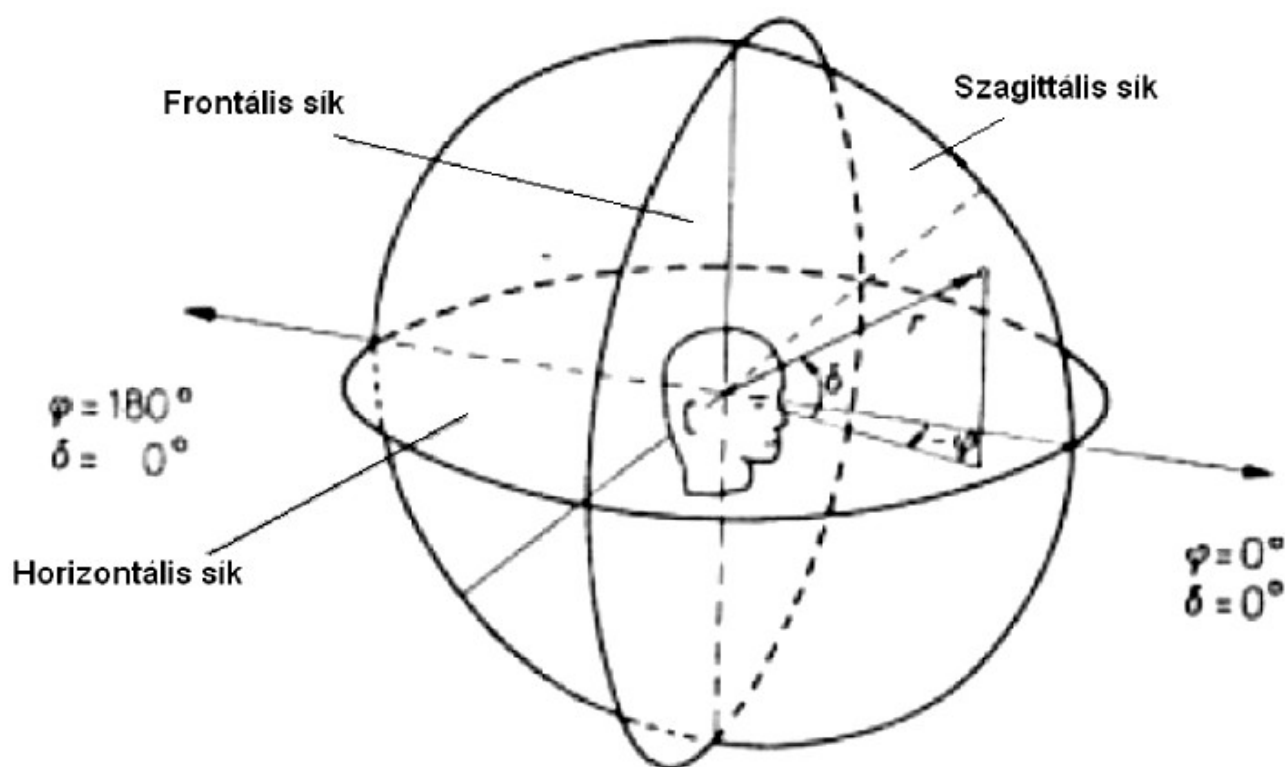
,ahová a t hőmérsékletet Kelvinben kell beírni, a Δt hőmérsékletváltozásnál azonban mindegy. Látható, hogy a hangsebesség a 1 fokos hőmérséklet emelkedés esetén $0,6 \text{ m/s}$ -al megnő! Ez $+20$ fok esetén már 12 m/s , ezért néha találkozhatunk a $328+12=340 \text{ m/s}$

átlagsebességgel is a könyvekben, holott a pontosabb érték 332 m/s-t ad meg a nulla fokos levegőre, és így jön ki a pontosabb 344 m/s.

2.1.4. 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

2.1.5. 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 hallás szempontjából a hallójáratban a dobhártyát érő füljel, érthető, hogy ennek mérése az emberi dobhártyára ragasztott mikrofonnal kellemetlen, és nehéz. 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 készültek 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

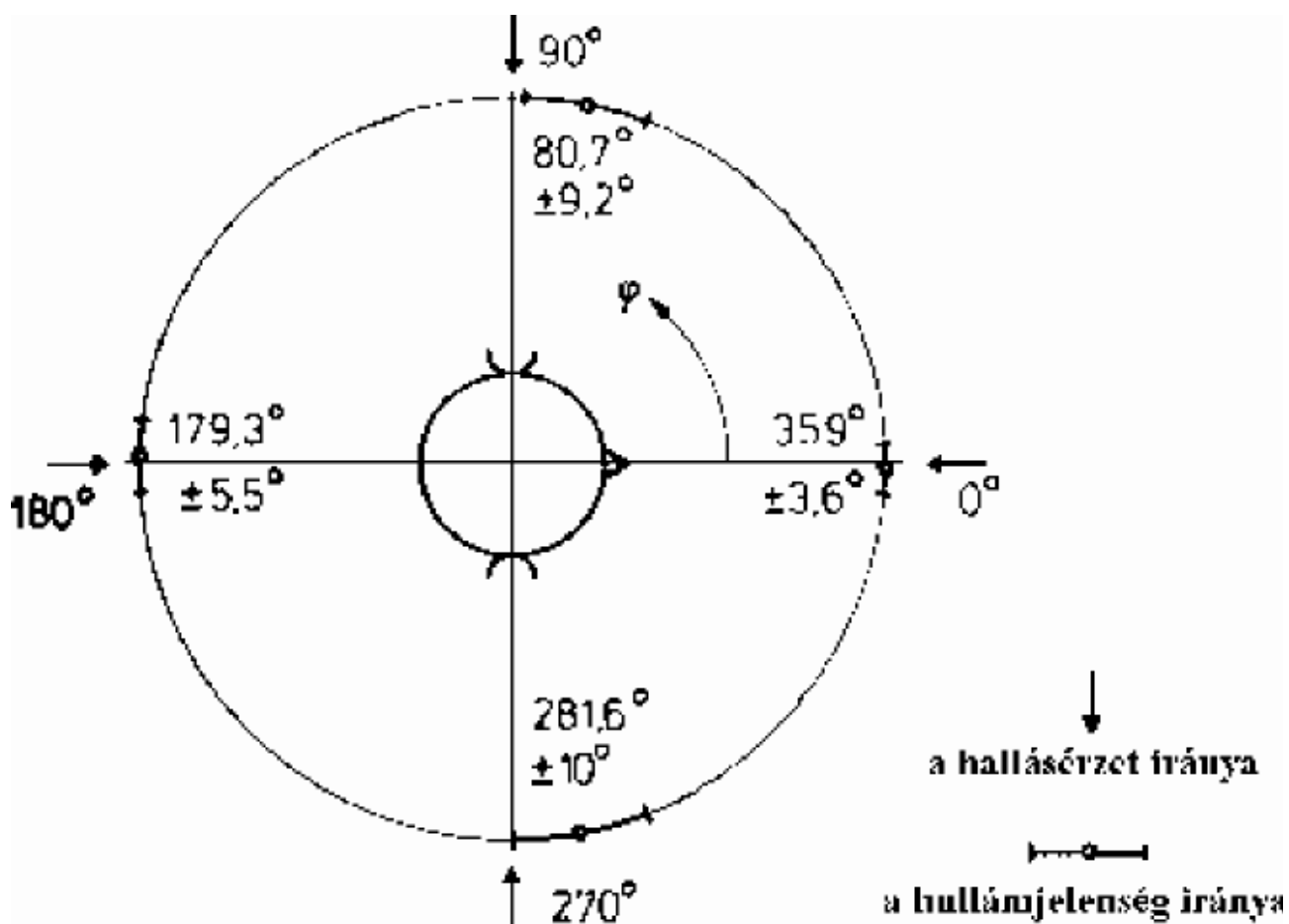
2.3.1. Lokalizáció

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.

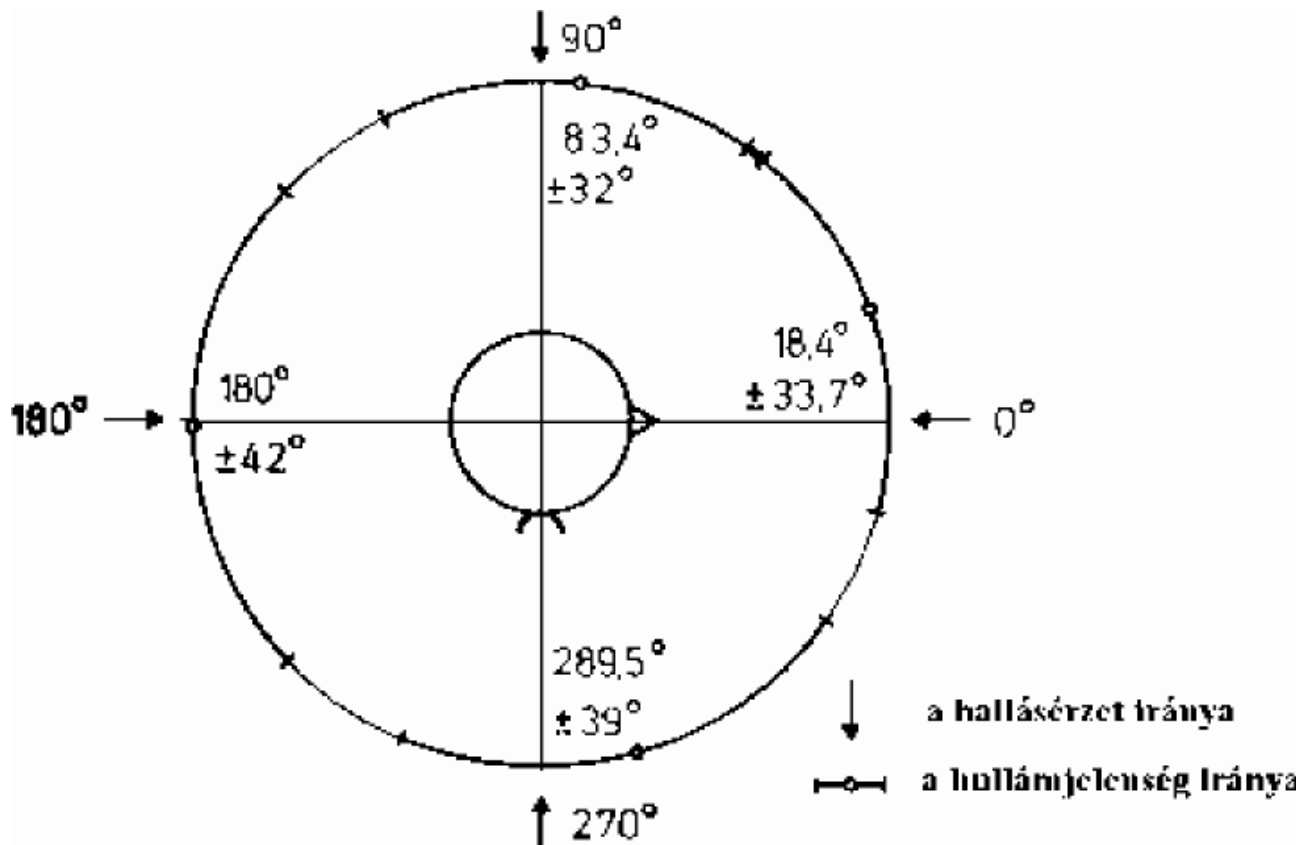
2.3.2. Lokalizációs bizonytalanság

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 szögpercnél kisebb változásokat is érzékelni képes. A horizontális síkban a „szemben” irányban a helymeghatározás $\pm 3^\circ$ körüli minimális bizonytalanságot mutat, „oldalt” $\pm 10^\circ$, „hátral” $\pm 5^\circ$ (2.1.4.-es és a 2.3.2.-es 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.



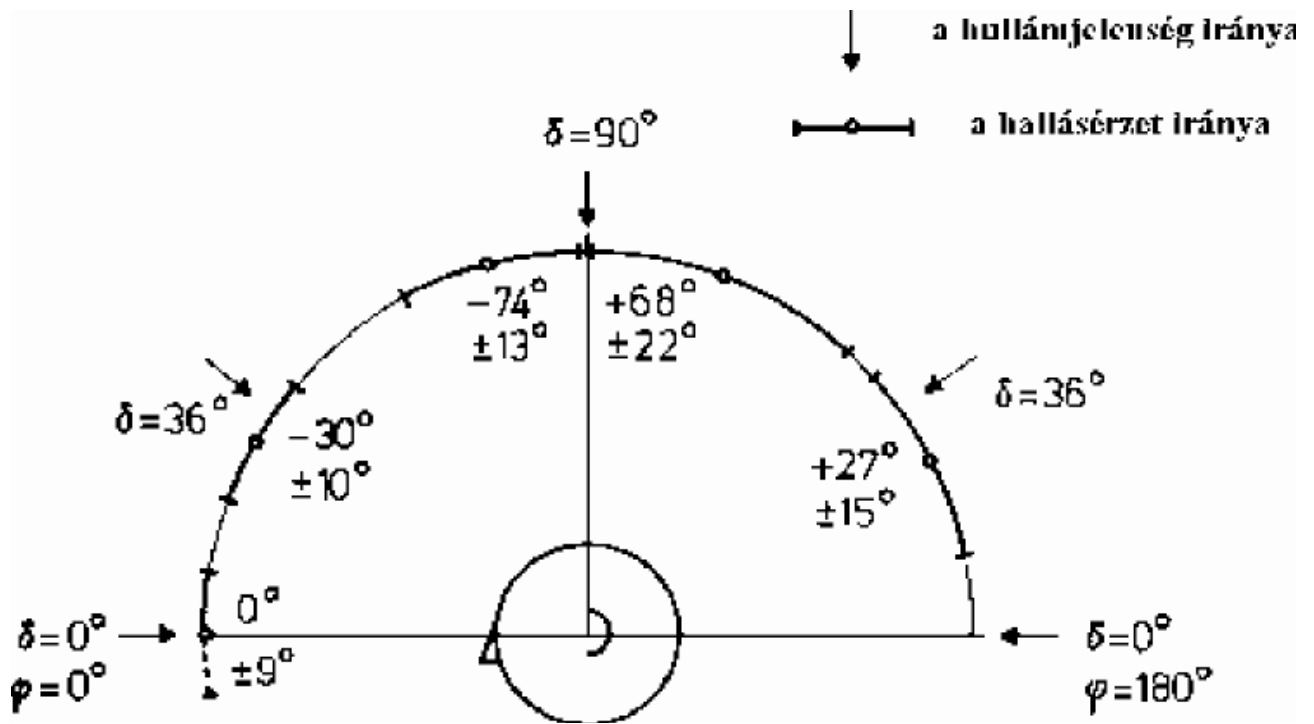
2.3. ábra: Lokalizációs bizonytalanság

A lokalizációs bizonytalanság ($\Delta\varphi_{\min}$), és a lokalizáció a horizontális síkban. 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 $\pm 9^\circ$ (2.4. 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 az közben változtatná a helyét.

2. Relatív keskenysávú jelek esetén előállhat az a jelenség, hogy az érzet nem a hang beesési iránya felől, hanem a fül tengelyére tükörszimmetrikusan (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 távolság meghatározhatóságának határa 3-7 m, 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 helyválttatásának gyorsasága is. A hallás bizonyos „tehetetlenséggel” rendelkezik, azaz bizonyos időre van szüksége, hogy a forrás helyválttatását 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. Hallás folyamata

A hallásfolyamatban részt vesz a fül melyet három részre osztunk: külső fül, középfül, belső fül és az agy. Az agy szerepével nem foglalkozunk e témán belül. A külső fül egy porcos fülkagylóból valamint a hallójáratból és a dobhártyából épül fel, amit a beérkező akusztikai hullám rezgésbe hoz. Egy mechanikai rezgés fog tovább terjedni a középfülben a halló csontokon át a csigáig, majd a belső fülben a csigában található folyadék és a baziláris membrán rezgései elvégzik a frekvenciatranszformációt és az idegi impulzusok előállítását az agy számára. A térbeli hallás számára a külső fül vizsgálata a legfontosabb.

2.4.1. 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. Halottakon a mérés könnyebb, de az eredmények eltérnek az élő emberi dobhártyán mértektől.

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.

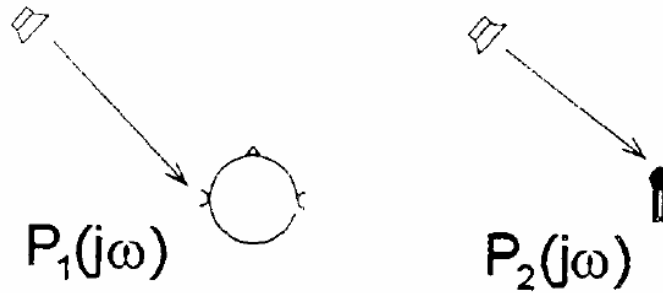
2.4.2. Hallójárat

A hallójárat kétszeresen görbült cső. Feladata a hanghullámoknak a vezetése a dobhártyához. Külső kétharmada porcos, belső egyharmada csontos cső. Bőre nagyon érzékeny, bőségesen tartalmaz idegvégződéseket. Síkhullám terjed a hallójáratban így a hallójárat bármely pontján végezhetjük a felvételt, nem kell a dobhártyára ragasztani a mikrofonunkat, ami nagyon kényelmetlen lenne és csak rövid ideig tudnánk a méréseket végezni. A hallójárat bemeneti pontja is megfelel nekünk.

2.4.3. A fülkagyló

A fülkagyló, mint lineáris szűrő, lineáris torzítással vesz részt a hallásban. Frekvenciaátvittele irány- és távolságfüggő. A fülkagyló úgy működik, mint egy tölcser, amely összegyűjti a ráeső hanghullámokat és ezt továbbítja a hallójáratba, más megfogalmazásban a beérkező hanghullámokat a hallójárat felé reflektálja, így hatásával hanggyűjtő szerepet tölt be, de ugyanakkor árnyékol is a forrás irányától függően. Mivel a reflexiós 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 együtthatóval jellemezhetjük. A hangnyomás átviteli függvénye (a hangforrástól a dobhártyáig) függ a dobhártya impedanciától, a hallójáratától, a fülkagyló és a fej együttes hatásától. Azt az átviteli függvényt, ami leírja az átvitelt különböző beesési irányokból a szabadteréből a hallójárat tetszőleges pontjáiig (a dobhártyáig) a külső fül komplex átviteli függvényének nevezzük. Ezen HRTF (Head Related Transfer Function) függvényeket a fejhez rögzített koordináta-rendszerben mérjük.



2.6: A HRTF értelmezése. P_1 a hangnyomás a dobhártyánál, P_2 a forrás ugyanazon helyzetű és ugyanolyan hangjel mellett a fej középpontjában (fej nélkül) mérhető hangnyomás.

$$\text{HRTF} = P_1(j\omega) / P_2(j\omega)$$

3. Hallás a vízszintes síkban

3.1.1. 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 arrafelé mozdul el. A maximális útkülönbség, ami még érzékelhető 21 cm. A hallás képes a füljel impulzus jellegű részeinek fellépési időpontját pontosan meghatározni. Az érzet 180°-os fázisfordítású füljel esetén pontatlan, feltételezhetőleg azért, mert az érzet egy sor térben 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 belső fülben, 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 1,6 KHz 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 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 (interaaurális idődifferencia esetén), mely csökken emelkedő szint és növekvő jelidőtartam esetén.

3.1.2. 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 szint esetén 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 intenzitásdifferencia 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.

3.2. Monaurális és interaurális jellemzők

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

3.2.1. 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.

3.2.2. Interaurális jellemzők

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 jobb oldali jelet kapja.

3.3. Átviteli függvények

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 (távolság, irány, 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 $\varphi=\delta=0^0$. 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:

$$A_3(f)_{\varphi=30} = \frac{A_2(f)_{\varphi=330}}{A_2(f)_{\varphi=30}}$$

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:

$$A(f) = |A(f)| \cdot e^{-j\delta} \quad \Delta L = 20 \cdot \log |A(f)| \quad \tau = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{db(f)}{df}$$

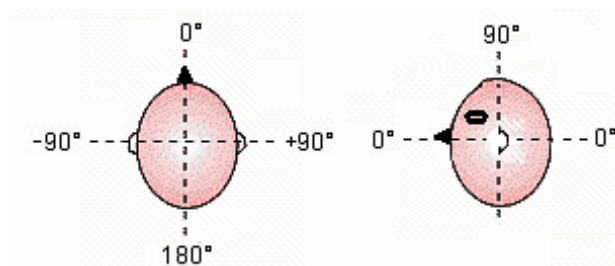
Ezek után lehet felvenni a „hallhatósági függvényt”, azaz a hallásküszöb frekvenciafüggését illetve az azonos hangosságú pontok frekvenciamenetét (Fletcher-Munson).

A monaurális átviteli függvény adódik a küszöbgörbék különbségeként, illetve 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.

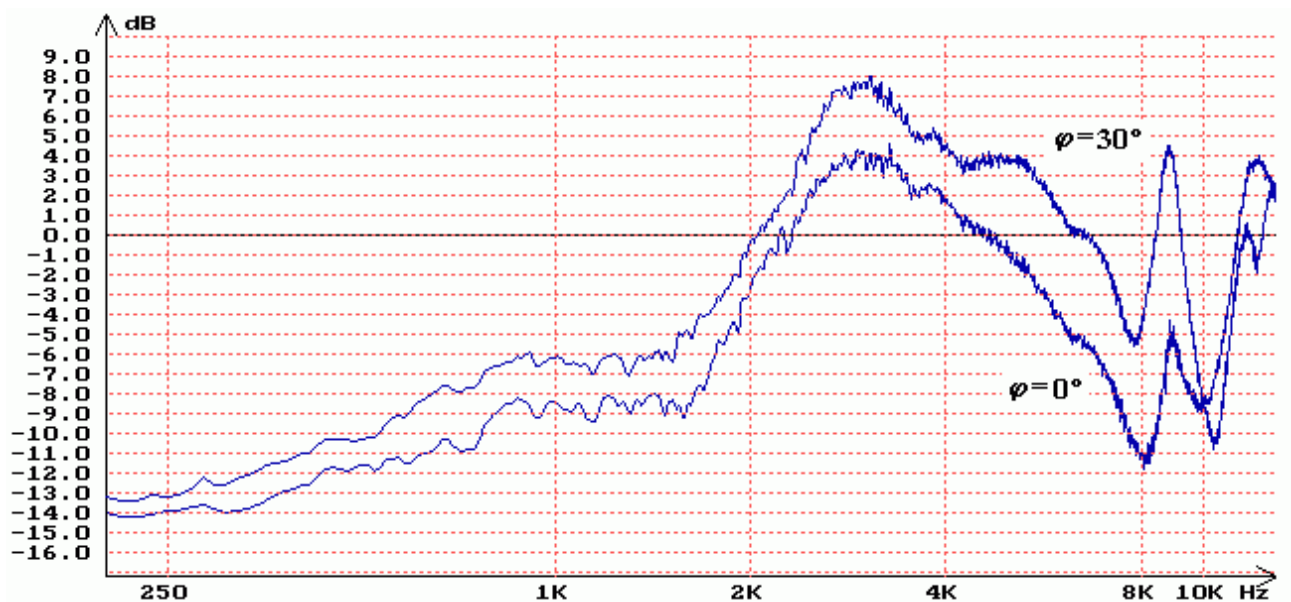
3.4. A külső fül műszaki leírása

A külső fül műszaki leírása, mérnöki megragadása annak átviteli függvényével történik. A komplex átviteli függvényt az angol elnevezésből HRTF-nek rövidítjük (Head-Related Transfer Function). Leírja az átvitelt a szabadtér bármely pontjától a dobhártyáig, a beesési iránytól függően. Így minden térirányhoz más HRTF tartozik. Ez a szűrőhatás határozza meg lényegében az irányinformációt. Mivel a HRTF komplex, létezik amplitúdó- és fázismenete is, sőt, gyakran az időtartományban értelmezett változatát használjuk. Ennek neve HRIR (Head-Related Impulse Response), ami az impulzusválasz. Az átviteli függvényeket, mivel irányfüggők, speciális fejhez rögzített koordinátarendszerben értelmezzük. Ennek origója a fej közepében található, és az egyes függvényeket gömbi koordinátákkal (r , φ , δ) paraméterezzük. Az oldalirányú kitérést a horizontális síkban φ -vel jelöljük, neve azimút. A függőleges kitérést a mediális síkban δ -val jelöljük, neve emelkedés vagy eleváció.



3.1.ábra: A fejhez rögzített koordináta rendszer. Balra a horizontális sík (φ), jobbra a mediális sík (δ).

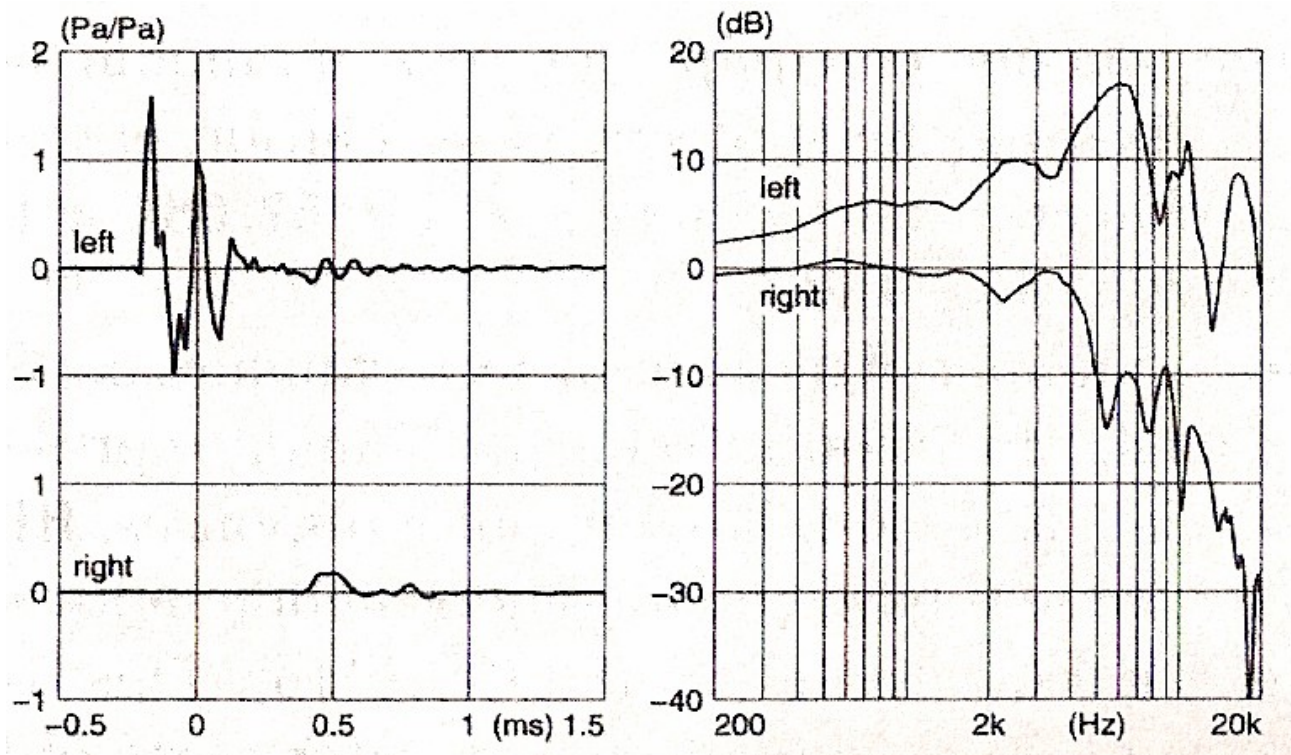
A távolságinformáció, mint harmadik paraméter általában nem szerepel, mert egyrészt gyakran állandó távolsággal dolgozunk (a fej körül gömbfelületet vagy kört elképzelve), másrészt a távolsághallás szinte kizárólag a hangerősség függvénye. A HRTF függvények, tehát egy készletet alkotnak, minden térirányhoz létezik egy-egy a bal és a jobb fülhöz is. Ez a szűrőhatás tartalmazza elsősorban a fülkagyló (alak, méret, szög), másrészt a fej (méret, orr, alak stb.) és a felsőtest geometriájának hatását, beleértve az akusztikus környezetet is (visszaverődések, teremméret, stb.). Éppen ezért, hacsak nem hangsúlyozzuk az ellenkezőjét, a HRTF függvényeket a szabadtérben (free-field) értelmezzük, amikor nincsenek visszaverődések (süket szobai mérések).



3.2.ábra: HRTF függvények a horizontális síkból a bal fül dobhártyájának helyén mérve (Brüel Kjaer 4128 műfej).

3.5. Helymeghatározás, Lokalizáció

A lokalizáció annyit jelent, hogy képesek vagyunk a hangforrások helyzetét hozzánk viszonyítva (a fejhez rögzített koordináta rendszerben) meghatározni. Ez csak véges pontossággal lehetséges, így az ún. lokalizációs bizonytalanság meghatározása az elsődleges cél. Ez nagyban függ a jel és a környezet paramétereitől, és általában a helyes iránytól való eltérés fokában adjuk meg. Az irányérzékelés két legfontosabb paramétere a füljelek közötti (interaurális) szint- és időeltérések. Amelyik fülben hangosabb és/vagy előbb érkezik be a jel, azt közelebbinek fogjuk érzékelni. Ez a folyamat nyilvánvalóan megjelenik a két fül impulzusválaszában és a frekvenciatartománybeli képen is. Ezen jellemzők alapján határozható meg a hangforrás helye, iránya.



3.3.ábra: A külső fül rendszerleíró függvényei. Balra az impulzusválasz (HRIR), jobbra az abból számított átviteli függvény (HRTF) a bal és a jobb fülhöz, élő ember blokkolt hallójáratának bejáratán mérve „bal” ($\varphi = -90^\circ$) irányból.

A hallás lehető legjobb felbontóképessége a szemben irányban található. Mivel a vízszintes (horizontális) síkban a füljelek idő- és szinteltérése nagy lehet, itt 3-5 fok körüli a bizonytalanság mértéke. Mivel a fej szimmetriasíkjában (mediális) a két fülbe azonos időben és erősséggel érkezik a jel, a lokalizáció nehezebb. Itt csak a HRTF függvények szűrőhatása érvényesül és nagyságrendekkel rosszabb az eredmény: 10-25 fok is lehet a hiba. Ráadásul, gyakran előfordul, hogy ebben a síkban található forrásokat összekeverünk, és nem tudjuk eldönteni előlről vagy hátulról érkeznek-e. Ez az ún. elől-hátul döntési hiba. Az interaurális és binaurális kifejezéseknek létezik ellentéte is: a monaurális hallás és feldolgozás. Ezt magyarul egyfülűnek is nevezhetjük. Olyan paraméterek tartoznak ide, melyeket egy füllel, egy csatornán is fel tudunk dolgozni. Ilyen pld. a hangerősség vagy az egyik fül HRTF függvénye, amely önmagában is képes némi irányinformációt szolgáltatni. Jegyezzük még meg, hogy a hangforrások helyének meghatározása abszolút ill. relatíve is történhet. Abszolút vizsgálatnál a kísérleti alanyra rá kell mutatnia a hangforrásra, illetve az érzékelt irányra, míg relatív vizsgálatnál két hangforrás irányát kell összehasonlítani egymással, hogy az azonos-e vagy eltérő. Utóbbi könnyebb feladat, ezért az eredmények is

jobbak. Különösen lényeges a fejárnyék hatása. Egy a bal fül tengelyébe eső (-90 fok) forrás esetén a bal fülbe akadálytalanul terjed a hang, míg a jobb fül teljesen a fejárnyékban van. A jobb fül jele amplitúdóban is lényegesen kisebb, hiszen csak másodlagos utakon érkezik be a hang, visszaverődések és elhajlások során. Ennek a fülnek a jele sokkal zajszerűbb, és kb. 3 kHz felett szinte alig szállít értékelhető akusztikai információt. A fej és egyéb tárgyak árnyékoló hatása az egyik legrosszabb, ami a fület érő akusztikai jellel történhet! Éppen ezért oly jelentős a kétfülű hallás: míg az egyik fül alig képes információhoz jutni, a másik a lehető legtöbbet próbálja kinyerni. A fejárnyék tehát aluláteresztő hatású. A HRTF ill. a HRIR függvények tartalmazzák ezeket az időbeni és szintbeli hatásokat.

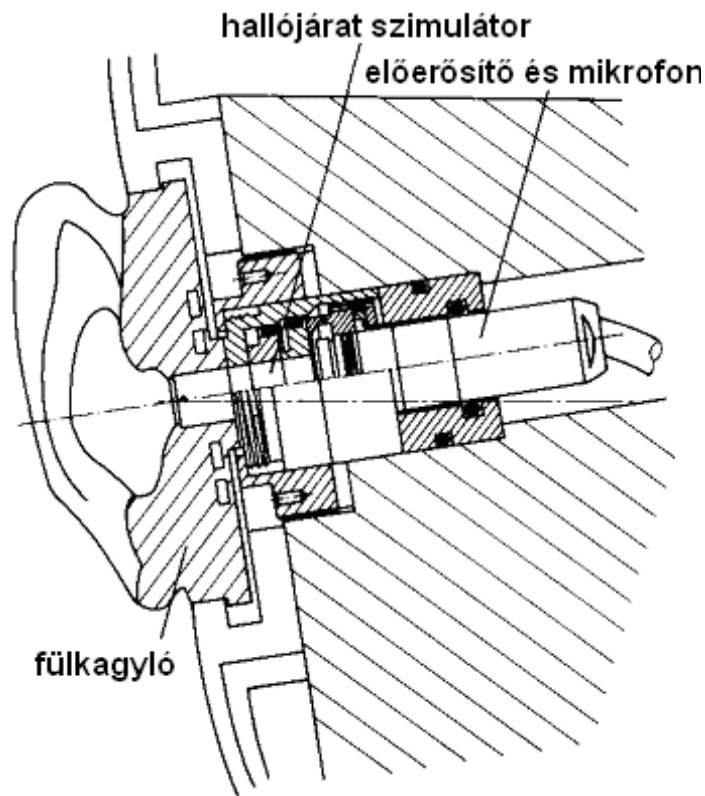
3.6. HRTF Mérés

Mivel a HRTF definíciója feltételezi a síkhullámú terjedést és beérkezést a fülbe minden frekvencián, a valóságban a mérések hibát fognak tartalmazni. A süketszobában véges távolságra, néhány méterre van a mérendő személy a forrástól, így a gömbhullámok csak részben tudnak kisimulni. A süketszoba önmagában is csak közelíti a szabad hangteret, különösen alacsony frekvencián. Szék, állvány stb. szintén okoz visszaverődéseket, melyek részben kiküszöbölhetők, pld. a mért HRIR függvény ablakolásával és időbeli csonkolásával. Lehetőleg minél kevesebb ilyen szerkezetet alkalmazzunk és azokat is érdemes hangelnyelő anyaggal borítani. A mérés során referenciamérést végzünk, így a felhasznált hangszóró, erősítők, sőt a süketszoba fent említett eszközeinek hatása eliminálható. Műfejes mérés tipikus elrendezése, amikor a műfejet egy vezérelhető forgóasztalra helyezzük, mely adott fokkal forgatható. Ehhez képest egy rögzített, de állítható emelkedésű hangszórót helyezünk el. Kezdetben a referenciajelet kell megmérni. Ekkor egy irányfüggetlen mikrofont helyezünk a forgóasztalra, melynek membránja a műfej fejének közepével megegyező magasságban (a képzeletbeli origóban) található. A megmért jel spektrumát, mint referencia spektrum tároljuk. Ezután lecserélvén a mikrofont a műfejre, ugyanolyan környezeti paraméterek, beállítások mellett megismételjük a mérést. Az így mért átviteli függvény és a referencia spektrum komplex hányadosa pontosan a HRTF függvényt adja. Az ugyanis nem más, mint a műfej, ami egy speciális iránykarakterisztikával rendelkező kétcsatornás mikrofonrendszer – átviteli függvénye az irányfüggetlen mikrofonhoz képest. A műfej – és vele együtt az emberi test is melyet

modellez – egy egyszerű antenna, mikrofon, adott átvittel (HRTF) ill. ábrázolható iránykarakteristikával. Ez utóbbi a HRTF függvényekből számítható polár diagram. Ennek tükrében érthető, hogy elvben a hangszóró átviteli függvénye nem lényeges, hiszen az osztás során kiesik a számításokból. Annyiban azonban téves ez a megállapítás, hogy mélyfrekvencián, ahol már rossz az átvitel, ott a kiesés ellenére is rossz lesz a jel-zaj-viszony, így az alkalmazott hangsugárzó átviteli függvényét érdemes megvizsgálnunk. Ráadásul, a jó mélyfrekvenciás átvitelű hangszórónak általában hosszú az impulzusválasza, ami megnehezíti a mért eredményekben történő ablakolást, hiszen a hasznos rezgés időben át fog lapolódni a káros reflexiókkal.

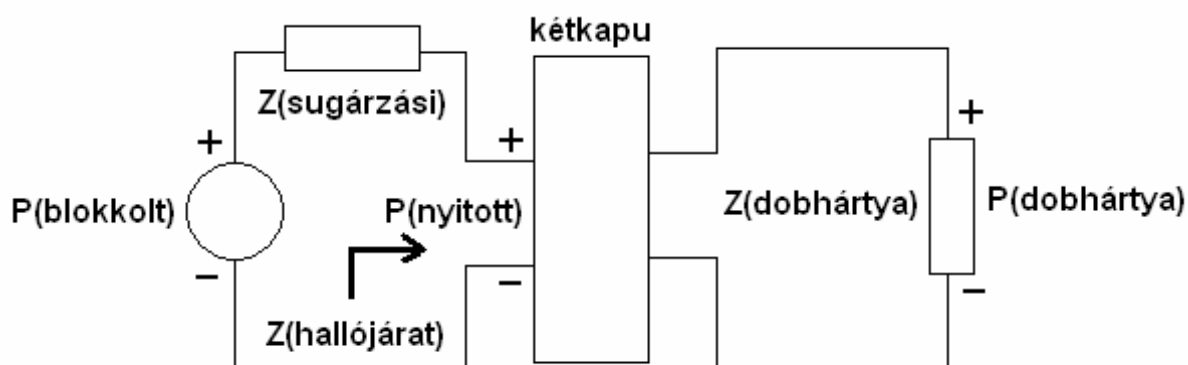
4. A Binaurális technológia

A binaurális jelfeldolgozás első lépése a rögzítés, a felvétel. Amikor binaurális jeleket rögzítünk, az összes, a hangtérre jellemző paraméter bele van sűrítve a két fül jelébe. Elvileg, ezek helyes és tökéletes reprodukciója a teljes akusztikai információt hordozza. A kutatások jó része irányul itt arra, hogy megtudjuk, az akusztikai információban mely részek miként hordozzák az irányinformációt. Az irányinformáció megléte, átvitele megfelel annak, hogy a hallgató nem vét nagyobb lokalizációs hibát a virtuális térben, mint tenné egyébként. A szakirodalomban megtalálható, hogy nem csupán a dobhártyán, hanem a hallójárat középvonala mentén – beleértve a bejárat pontot is – ez az információ állandó, mérhető. Továbbá igazolták, hogy a hallójárat bejáratán végzett mérés és információgyűjtés független attól, hogy a hallójárat bejárata szabad-e vagy blokkolt (kitömött, azaz hang nem is terjed tova a dobhártya felé). Más szóval, az irányinformáció előáll és teljes a fülkagyló „után”, közvetlenül a hallójárat bementén. Ez jó, hiszen méréseket sokkal kényelmesebb itt végezni. Ezzel a műfejeket is egyszerűsíthetjük, nincs szükség a hallójárat (Zwislocki coupler) vagy a dobhártya impedanciájának modellezésre. Ez az elv arra épít, hogy a hallójárat szűk bemente pontforrásként működik, azaz a hallójáratban egydimenziós hangterjedés lép fel, abban már az irányinformáció nem változik.



4.1.ábra: Műfej keresztmetszeti képe a fülkagylóval, a hallójárat és a dobhártya szimulálásával.

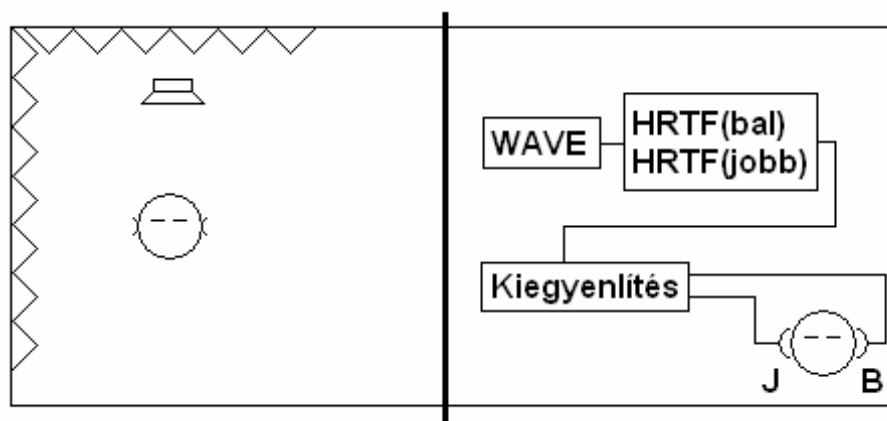
Ha ezt elfogadjuk, az alábbi modellt állíthatjuk fel. Létezik a hallásnak egy irányfüggő és egy irányfüggetlen része. Ebben a modellben a hallójárat bemenetétől kifelé lévő teret egy Thévenin-helyettesítéssel írjuk le, melynek része a hangnyomás (P_{blokkolt}) és egy generátor impedancia. Ez utóbbi megfelel a sugárzási impedanciának, mely a hallójáratból a külvilág felé látszik. P_{blokkolt} nem létezik normál hallásfolyamat során, de ha a bejárat blokkolt és a hallójárat üregében mérhető térfogatsebesség értéke zérus, akkor P_{blokkolt} éppen a fizikai akadály előtt mérhető hangnyomás. $P_{\text{dobhártya}}$ a hangnyomás a dobhártyán, P_{nyitott} pedig a nyitott hallójárat bementén mérhető. A hallójárat egy kétkapú, melyet $Z_{\text{dobhártya}}$ terhel. E kétkapú bemeneti impedanciáját a hallójárat bejárata felől látjuk ($Z_{\text{hallójárat}}$). A HRTF definíciója tehát helyesebb, ha nem a dobhártyáig, hanem a hallójárat bármely pontjáig kiterjesztjük.



4.2.ábra: A külső fül modellje és Thévenin-képe.

4.1.1. Felvétel

A binaurális szimuláció része tehát a felvétel, amikor a HRTF függvényeket mérjük meg, a jelfeldolgozás, amikor a megfelelő kiegyenlítést és szűréseket elvégezzük, végül a fejhallgatón keresztül történő lejátszás.



4.3.ábra: Szabadtéri hallás a süketszobában és binaurális szimuláció fejhallgatóval.

Binaurális felvételnél a rögzítés a hallgató hallójáratában történik. Ez lehet ténylegesen a dobhártya (a rá ragasztott mikrofon segítségével), a hallójárat valamely pontja ill. a hallójárat bejárata. Kényelmi szempontból utóbbi a legelőnyösebb. Felmerül a kérdés, hogy maga a mikrofon mennyire zavarja meg a hangteret. A vizsgálatok azt igazolták, hogy a térbeli információtartalom (a hangforrások iránya, lokalizáció) szempontjából a méréseket lehetséges a blokkolt hallójárat bementén végezni. Másik elterjedt módszer a műfejek használata. A műfejek műanyag bábuk, felsőtesttel, fejjel, orral és gumi fülkagylóval. Dobhártyájuk helyén mikrofonok találhatók, és a hallójárat impedanciája is modellezett.

4.1.2. Jelfeldolgozás

Lejátszás fejhallgatón keresztül történik, mert ez képes tökéletes bal-jobb csatorna szétválasztásra (áthallásmentesítés) és kellően jó hangszigetelésre, mely a külvilág zavarát csökkenti. Természetesen, elengedhetetlen a teljes átviteli út, kábelek, erősítők, és különösen a fejhallgató komplex átviteli függvényének kiegyenlítése, linearizálása. Ha méréshez és felvételhez műfejet vagy más embert használunk, mint a hallgató, a füljelek nem fognak megegyezni azzal, amit a saját fülével érzékelt volna. Ennek oka a külső fül átviteli függvényeiben is keresendő. A binaurális szintézis tehát nem más, mint egy hangforrás (hangjel) megfelelő szűrése a HRTF függvényekkel, az átviteli út kiegyenlítése és a jelek fejhallgatón át történő kibocsátása. Ennek minőségét a különböző lokalizációs feladatok elvégzésével vizsgálhatjuk. Ha tehát valamilyen módszerről azt állítjuk, hogy rosszabb egy másikinál, akkor azt értjük rajta, hogy a vizsgálatok eredménye rosszabb: a lokalizációs problémák megoldása gyengébb, a térbeli felbontó képesség romlik.

4.1.3. Fejhallgató kiegyenlítés

Tekintettel arra, hogy a HRTF mérésekhez ill. a hallójáratban végzett felvételekhez alkalmazott kisméretű mikrofonok átvitele kellően lapos, a kiegyenlítéshez tulajdonképpen elégséges a fejhallgató inverz átviteli függvényét előállítani. Ezt az átviteli függvényt ott kell mérni, ahol a felvétel is készül, tipikusan a blokkolt bejáraton (ugyanazon a kísérleti személyen). Idáig feltételeztük, hogy akin a mérést végezzük, az ugyanaz a személy, akin a fejhallgató átviteli függvényét is megmérjük, majd akin a kiegyenlítés után a lejátszást is megvalósítjuk. Ez azonban a valóságban körülményes és drága is lehet. Be kell vezetnünk az individualitás fogalmát, amelyet elveszítünk akkor, amikor más ember HRTF függvényeit használjuk lejátszáshoz. De bármilyen módosítás és eltérés a fenti ideális képtől rontani fogja az eredményt. Az individuális eltérések oka elsősorban a fülkagylók, a test alakja és mérete különbözőségében rejlik. Minden embernek más a testmérete és már egész kis méretbeli eltérések a fülkagyló esetében vagy a fejhez közeli akusztikus környezetben kihatnak a HRTF függvényekre. Az ilyen HRTF készletet ezért nem individuálisnak nevezzük. A fenti elvhez tehát kiegészítésként jegyezzük meg, hogy egy ilyen folyamat csak egy ember számára lesz korrekt és az is csak elvben. Ettől függetlenül léteznek egyszerű,

többé-kevésbé használható módszerek arra, hogy meglévő függvényeket individualizáljunk, pld. azzal, hogy a visszajátszáskor a hallgató fejméretét (hallójáratának távolságát) megadjuk, vagy hogy frekvenciában a spektrumot megfelelő módon módosítjuk. HRTF mérésakor ügyelnünk kell arra, hogy nem csak az emberek között, hanem egy adott ember esetében is különböző függvényeket fogunk mérni ismételt mérések során: kénytelenek leszünk több mérés átlagát figyelembe venni. Belátható és méréssel igazolható, hogy a blokkolt hallójárat bementén mért HRTF-ekben a legkisebb az ilyen jellegű eltérés és a szórás. Ugyanakkor az ilyen jellegű spektrális szórások, melyek adott irányból történő ismételt mérésekből adódnak, erősen irányfüggők is. Szemből irányból lényegesen kisebb, mint hátulról vagy a fej átellenes oldaláról. Ennek oka a csökkent jelszint, a fej különböző árnyékoló hatása stb. Élő emberekkel ilyen vizsgálatot végezni nehézkes, hiszen még rögzített fejű mérések esetén is mozognak, valamint a jel-zaj viszony sem magas az általánosságban használt impulzusválasz mérésekben. Ezzel szemben a műfejeket nagy jel-zaj viszonyú fehérzajú, sweep jelű méréseknek is kitehetjük, nagy átlagolási időekkel, hiszen ők türelmesen „végigülik” az akár több órás vizsgálatokat is. Műfejes méréseink igazolták, hogy ismételt mérések során szemből irányból képesek vagyunk adott rendszerrel 0,5 dB eltéréseken belül újramérni a HRTF függvényeket, míg más irányokból, pld. a fej árnyékban elhelyezkedő fül esetén ez csak óriási (akár a 20 dB-t is meghaladó) eltérésekkel lehetséges. Ez rámutat arra a problémára, hogy igazi emberekkel végzett mérések eredményei eltérhetnek a műfejes mérésektől. Tekintettel arra, hogy egy fejhallgató átviteli függvénye a lezáró impedanciával együtt értelmezett, annak mérését üzemi körülmények között kell végezni. Ez vagy emberi fejet vagy műfejet jelent, tovább azt is, hogy ugyanannak a fejhallgatónak más és más lesz az átviteli függvénye, ha más ember teszi a fejére. Ennek individuális mérése és rendszerbe igazítása rendkívül körülményes. Megfigyeltük a mérések során, hogy az így mért átviteli függvények nagy szórást mutatnak (ugyanazon a fejen végezve is, ha azt többször leveszzük és felhelyezzük) és még a legjobb hifi fejhallgatóknak sem elég lapos az átvitele tudományos vizsgálathoz. Egyszerű, alacsony rendű digitális szűrőt tervezni ennek kiegyenlítésére tehát nem egyszerű feladat, 7 kHz felett válnak erősen individuálissá a mérési eredmények. A fejhallgató kiegyenlítését úgy képzelhetjük el, mint az átviteli függvényének inverzével való komplex szorzást a frekvenciatartományban. Így azok szorzatának eredője egységnyi lesz a kívánt sávban. Manapság a számítási kapacitás lehetővé teszi, hogy az ilyen műveleteket, beleértve a HRTF szűrést is, ne a

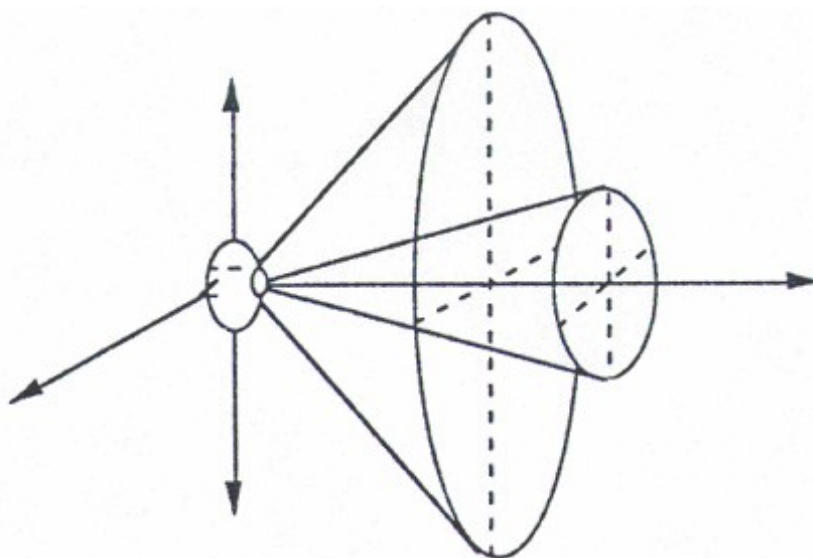
frekvenciatartományban végezzük, hanem az időtartományban. Ehhez a konvolúciót és a dekonvolúciót hívjuk segítségül, a bemenő jel időfüggvényét, valamint a rendszerleíró függvények közül az impulzusválaszokat (HRIR) használjuk fel. Ezeket vagy közvetlen méréssel vagy számítással határozhatjuk meg. Megjegyezzük, hogy teremakusztikai szimulációnál a manapság alkalmazott elv az, hogy rögzítik az adott terem impulzusválaszát (az ún. Room Impulse Response Function) függvényt, és ezt is beleveszik a számításokba úgy, hogy konvolválják a lejátszandó jellel. Így el tudjuk érni, hogy ugyanazt a jelet egy zengő templom vagy egy nagy stadion tulajdonságaival ruházzuk fel. A fejre való felhelyezés következtében beálló átviteli függvény változása kevésbé jelentős annál, mint a személyek közötti, így reális cél az, hogy adott fejhallgatót adott hallgatóra kiegyenlítsünk, de nem reális az, hogy egy fejhallgatót minden hallgatóra kiegyenlítsünk egy függvénnyel (feltehetőleg ezt meg is tennék a gyártók, ha így lenne). A túl nagy leszívások és csúcsok az átviteli függvényben veszélyesek, hiszen ezek kompenzálása hasonló magasságú kiegyenlítővel történik, és ha ezek helye változik a frekvencia-tengely mentén ismételt felhelyezéskor, akkor nagyobb hibát okozhatunk a végeredményben, mint előtte. Ezért túl gyenge minőségű fejhallgató kiegyenlítése elég reménytelen feladatnak tűnik.

4.1.4. Lejátszás

Mint már volt róla szó, a HRTF mérés és reprodukció, valamint a kiegyenlítés sikerét azon mérhetjük, miként teljesítenek az alanyok a virtuális térben történő lokalizációs feladatok során. Ezek az eredmények minősítik a felhasznált HRTF-eket. A kísérletek elején tehát referenciamérést kell végezni a szabadtéri hallással. Ilyenkor az alanyok a süketszobában valóságos hangforrás helyét vagy gyakrabban, korlátozott számú (néhány tucat) hangszóróból álló rendszer jeleit értékelik, lokalizálják. Érezhető, hogy utóbbi esetben csak a hangszórók tényleges helye lehet valódi hangforrás, a hallgatók mégis érzékelhetnek hangszórók közötti forrásokat. Később, ugyanezek az emberek a fejhallgatós szimulációban is elvégzik a feladatokat. Továbbá a látás is erősen befolyásolja a döntést, így általában eltakarják a hangszórókat az alanyok elől. A válaszokban előforduló hibákat az alábbi csoportokba szokás sorolni:

- távolság hiba, ha jó az irány, de rossz a távolság érzékelése. Ezt csak ritkán mérik, ezért nem mindig paraméter a távolság a kísérletekben

- mediális síkbeli hiba, ha a szimulált és az érzékelt irány eltér, de mindkettő a mediális síkban van (ide tartozik az emelkedési szög rossz érzékelése vagy az elől-hátul döntések összekeverése).
- „kúpon belüli hiba” akkor fordul elő, ha a valós irány és az érzékelt eltér, de rajta vannak ugyanazon az ún. interaurális kúpon. Megállapítható ugyanis, hogy az interaurális időeltérések lehetnek azonosak különböző irányok esetén is. Az azonos időeltéréshez tartozó pontok egy kúpon helyezkednek el, adott távolság esetén pedig a kúppal való metszés vonalon, ami egy kör. A különböző források, melyek egy ilyen képzeletbeli kúpon vannak, könnyen összetéveszthetők.
- Kúpon kívüli hiba az összes többi hibalehetőség.



4.4.ábra: Az interaurális időeltérések kúpja. A kúpon ill. a körön elhelyezkedő pontok azonos hallásérzet kialakuláshoz vezethetnek.

A kísérletek azt mutatták, hogy a felhasznált HRTF függvények alapján létezik egy minőségi sorrend. Legjobb eredményeket az individuális, saját HRTF-kel érhetünk el. Ezt követi egy olyan emberi fej függvényei, aki alapján jól tud lokalizálni (egy jó lokalizátor). Ezt követi a véletlenül választott emberi fej, és az „átlagos” emberi fej, mely átlagos méretekkel rendelkezik. Végül, a sor végén a különböző gyártók műfejei találhatók. Látható, hogy a műfej sok előnnyel rendelkezik a mérés technikában, de virtuális szimulációhoz nem a legmegfelelőbb. Ennek oka, hogy egyszerre próbálja modellezni az összes emberi testet méretben, mely csak részben sikerülhet: ami jó mindenkinek, az nem jó senkinek... Összehasonlításképpen, átlagos emberi fejen elért 26%-os mediális hibaérték 60%-ra nőtt műfej esetén.

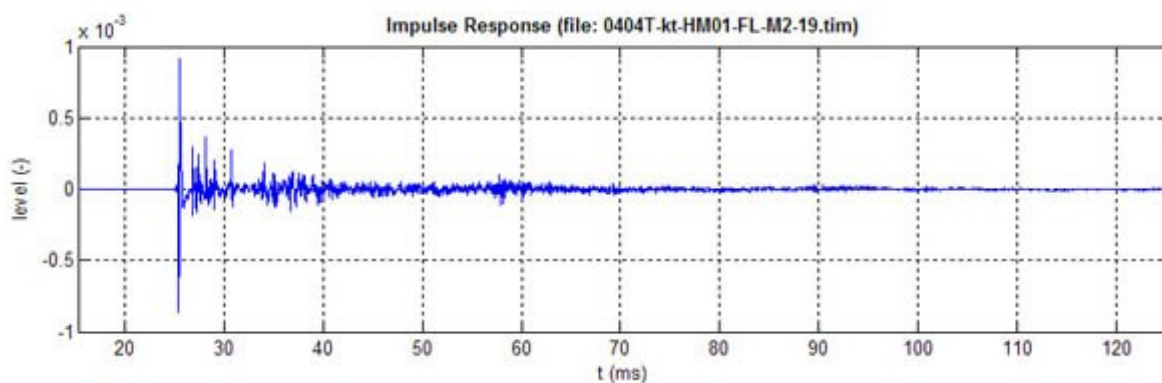
4.2. Fejhallgató hibák

A fejhallgató 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.

4.3. Impulzusválasz

Az egységimpulzus egy nagyon fontos vizsgálójel a jelfeldolgozás során. Az egységimpulzus jelentése: egy pillanatnyi energia kitörés maximális amplitúdóval. Ez egy igen jó módszer pl.: a szűrők tesztelésére, hogy megvizsgáljuk hogyan reagálnak ilyesfajta tesztjelekre. Ezekre a mérőjelekre adott válasz magában hordozza az információt az átviteli rendszerről. Ez tipikusan lehet az impulzusválasz (impulzusgerjesztésre), melynek Fourier-transzformáltja maga az átviteli függvény. Ez a leggyorsabb, de nem a legpontosabb módja az átviteli függvény meghatározásának. Lineáris rendszereknél elfogadott módszer, és

bizonyos jelenségek csak időtartománybeli analízissel figyelhetők meg jól (pld. reflexiók, visszaverődések). A legpontosabb, viszont a leglassabb, ha szinuszos jelekkel mérjük végig a tartományt (sweep), amely pontos, jó jel/zaj viszonyú mérést tesz lehetővé, cserébe sokáig tart. A köztes megoldás a (fehér)zajjal történő gerjesztés, melynek spektruma frekvenciafüggetlenül egyenletes, és kellően nagy energiájú is ahhoz, hogy viszonylag gyors és pontos eredményt kapjunk az átviteli függvényre. Angolul a frequency response és a time response kifejezéseket használjuk a két tartománybeli válaszra. Az impulzusválasz egy lineáris (tehát pl. harmonikus torzítások nélküli) rendszer minden jellemzőjét tartalmazza. A mérésnél az impulzusválasz a processzor, a hangsugárzó és a szoba impulzusválaszát is tartalmazza. Az impulzusválasz időbeli lefolyása mutatja a direkt hang és a legfontosabb visszaverődések időzítését és nagyságát. A szabványosított mérési eljárások mind az impulzusválasz mérésén alapulnak.



4.5.ábra: A frekvencia-átvitel (Frequency Response) az impulzusválaszból számolható. A frekvencia-átvitel az amplitúdó-átvitelből és a fázisátvitelből áll, de rendszerint csak az amplitúdó-átvitelt szokás vizsgálni. A fázisátvitel elemzésére csak akkor van szükség, ha egy probléma az amplitúdó átvitelből nem látható (pl. a mélysugárzó és szélessávú hangsugárzók időbeli illesztése a keresztváltási frekvencia körül).

A bemenet, kimenet és az impulzusválasz közti kapcsolat maga a konvolúció. Egy szűrő a saját impulzusválaszát (tehát az egységimpulzus tesztjelre adott válaszát) konvolválja a bemeneti jellel, és így hozza létre a kimeneti jelet. A konvolúciónak számtalan olyan gyakorlati következménye van, amelyeket az Audio technikában alkalmaznak. Vegyünk egy egyszerű Audio rendszert! A hanghullámok szemszögéből például egy tágas terem is megfelel. Ha ennek a teremnek az impulzusválaszát megmérjük és konvolváljuk egy tetszőleges hanghullámmal, akkor eredményként a bemeneti hangunk egy olyan variánsát

kapjuk, mely “hallhatólag” a teremben szólal meg. Ebben a példában a szűrő maga a terem. Meg szokták továbbá mérni mikrofonok, hangszórók, torzítások, késleltetések, hangszerek, szobák, természetes visszhangok impulzusválasztát, hogy ezek karakterisztikáit egy másik rendszerre illesszék, vagy azzal összhangba hozzák. A konvolúció által előidézett hatás a zengetés. Angol terminológiában „reverberation”, de hangfeldolgozó programokban gyakran csak „reverb”-ként tüntetik fel, ami a magyar szakzsargonban is ismert. Az utózengési idő (Room Reverberation Time) azt mutatja, hogy mennyi idő alatt cseng le („tűnik el”) a szobába bevitt hangenergia. Minél tovább marad a hangenergia a szobában, annál több problémát okozhat (frekvencia-átvitel, térérzet, hangtisztaság, stb.). Jellemzően templomokban 5 - 8, koncerttermekben 1,5 - 2,2, színházakban 1,0 - 1,5, stúdiókban 0,2 - 0,6, süketszobákban pedig kisebb mint 0,05 másodperc az utózengési vagy lecsengési idő. Akusztikailag kezeletlen lakószobák tipikus utózengési ideje a közepes frekvenciasávban 0,5 - 0,9 másodperc.

4.4. Zajmérés alapjai

Zajnak nevezünk minden olyan hangot, ami nem kellemes (nem hasznos jel). Nem kell hangosnak sem lennie, hogy zavaró legyen, de ha hangos, károsodást okozhat (fülben, műszerben). A feladat, hogy szubjektív érzetet objektív mérőszámmal adhassunk meg. A hallásnál már láttuk, és itt is figyelembe kell venni, hogy alacsony és magas frekvenciákon érzéketlenebb, azaz kevésbé zavarható, mint közepes frekvenciákon. Ez az állítás egyre kevésbé igaz, ahogy a jelszintet növeljük. Amikor a hangnyomásszintet mérjük, négy alapvető üzemmódja közül kell választanunk egyet:

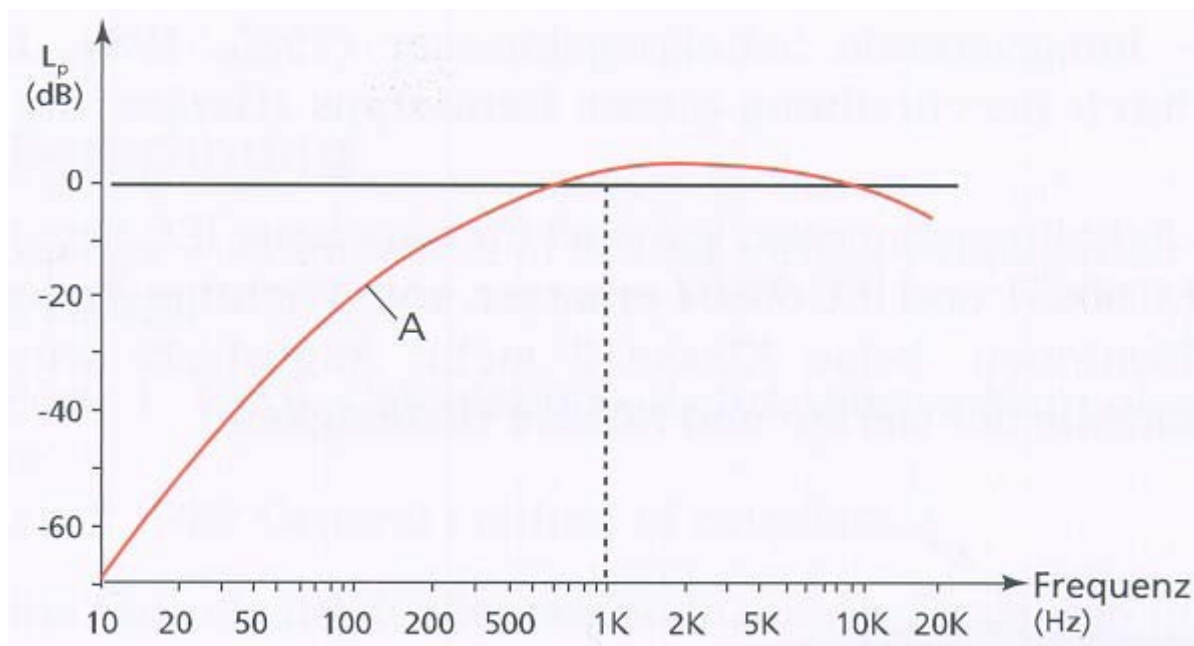
1. lineáris (LIN)

Lineáris üzemmódban semmiféle frekvenciasúlyozást nem alkalmazunk, a műszer a mikrofon membránján fellépő nyomás (RMS) értékét méri, az eredményeket dB-ben kapjuk meg.

2. dB(A) súlyozás

A további három nemzetközileg szabványosított súlyozó görbéket használ. Ezek közelítik a hallás érzékenységét, és aszerint súlyozzák a frekvenciakomponenseket. A leggyakrabban használt dB(A) súlyozó görbe a kis frekvenciák felé közelítve egyre kisebb súllyal veszi

figyelembe a mélyfrekvenciás komponenseket. Ez egyrészt helyes, hiszen ott érzéketlenebb a fül, és az ott lévő zavarok kevésbé zavaróak. Járulékos következmény, hogy az eredmények jobbak, mint lineáris esetben (amennyiben zajmérésről van szó), ezért gépállapotfelügyelethez, környezetvédelemhez előszeretettel alkalmazzák, mert ugyanazon körülmények között mérve alacsonyabb számértéket ad a lineárisnál. Kis hangnyomásszinteknél használható.



4.6.ábra: A dB(A) súlyozógörbe.

3. dB(B) súlyozás

Hasonló célú és lefutású görbe, de közepes hangnyomásszinteknél használható.

4. dB(C) súlyozás

Nagy hangnyomásszinteknél használandó, amikor már a nagyszintű azonos hangosságú görbéket kell közelíteni. Utóbbi kettőt tiszta hangú mérésekre tervezték, zajokra nem pontos az eredményük. A készülék üzemmódját nem csak frekvenciában kell kiválasztani, hanem időben is. Itt három gyakran használatos üzemmód van:

1. gyors (FAST)

Analóg mutatós műszernél ilyen állásban a mutató átlagolási ideje rövid, a mutató gyorsan mozog, nincs mechanikailag csillapítva, nehéz leolvasni. Lassan változó jelekhez alkalmazható, az időállandó 125 ms. (szabványosított értékek). Digitális műszernél is ez a helyzet, csak nem a mutató fog ugrálni, hanem a számjegyek.

2. lassú (SLOW)

A gyors üzemmód ellentéte, csillapított mutatómozgással, nagy időállandójú (1 sec.) integrálással (átlagolással).

3. impulzus (IMPULSE)

Speciális üzemmód, 1 sec-nál rövidebb jelenségek mérésére. Ilyenkor a fül érzékenysége csökken (nincs elég ideje érzékelni a hangot) és a hangosság érzékelése kisebb a valóságos hangerősségnél. Ilyen jelhez azt szeretnénk, ha a műszer is így viselkedne, ugyanakkor a csúcstértéket mindenképpen mérje és tárolja el (PEAK). Az átlagolás a csúcstérték és/vagy egy 35 ms-os időállandó alapján történik. A régi analóg műszerek hibája volt, hogy effektív és csúcstértéket nem tudtak egy időben mérni, a mai modern digitális analizátorok erre képesek és ez nagy előnyük.

A hangnyomásszintmérő készülék feladata, hogy objektív és reprodukálható méréseket tegyen lehetővé. A készülékek az RMS értéket mérik (négyzetes középérték), mely közvetlen összefüggésben áll a jel energiatartalmával. A csúcshang szint mérése és tartása manapság alapkövetelmény. A drágább digitális berendezések (melyek meghaladják az 1 millió forintot is) rendelkeznek beépített FFT analizátorral is. A mért jel spektrumát oktávsváiban (1/1 octave band) vagy a jobbák már tercsváiban (1/3 octave band) is képesek valós időben felrajzolni. Az 1 kHz középfrekvenciájú oktávsvűrő 707 és 1414 Hz között enged át.



4.7.ábra: A BK 4166-os zajszintmérő készülék

A műszer és a mikrofon együttesének kalibrálása alapvető feladat, különben nem fog hiteles eredményeket szolgáltatni. Ennek egyszerű módja az ún. referencia hangforrás használata (reference sound source), régebbi elnevezésével a piztonfon. Ez egy ökölnyi méretű, elemes eszköz, egyik végén pont a mikrofonnak megfelelő nyílással. Ide kell beilleszteni a készülék mikrofonját, majd a piztonfont bekapcsolva megmérni annak hangnyomásszintjét. Ezek az eszközök szabványos, általában 94 dB-es 1 kHz-es szinuszjelet bocsátanak ki, tehát ezt kell mérnie a műszernek is. Ha nem, akkor a kalibráció során módosítani kell azt, vagy az értékeket korrigálni. A piztonfont is hitelesíteni kell, de ez a gyártó dolga, a felhasználó elhiheti, hogy abból megfelelő hang jön ki. A mellékelt ábrán az általam használt zajszintmérőt ábrázolja, melyet 93.8 dB-es 1 kHz-es szinusz jellel hitelesítettünk, amit a piztonfontunk bocsátott ki magából, később a méréseknél jön újra szóba a mért eredményeknél.

5. Binaurális mérőrendszer

5.1.1. Binaurális mérőrendszer felhasználási területei

A két mikrofonnal rögzített sztereó impulzusválaszt binaurális (binaural) felvételnek is hívjuk, ami jelentésében a „két füllel hallott” kifejezéssel egyenértékű. Az ilyen felvételeket gyakran bábuk fülébe ültetett mikrofonokkal végzik, hogy minél pontosabban reprezentálják a fülek elhelyezkedéséből adódó emberi hallást. A műfej sok esetben szóba is jöhet, de vannak olyan esetek, élethsituációk amiknél nem tudjuk a műfejet mérési célokra használni. Gondolok itt arra, hogy egy műfejnek nincsenek meg azok a képességei, mint egy élő gondolkodó embernek. A műfej nem tud autót vezetni, így a mérés rajta kivitelezhető ugyan (erre a célra kiépített mérőlaborban), de nagyon költséges feladat.

A későbbiek folyamán bemutatott mérési módszerrel könnyen és olcsóbban lehet ezeket a méréseket lebonyolítani, megvalósítani. Az egész binaurális mérőrendszer elfér egy hátitáskában. Ebből kifolyólag, hogy ez a mérőrendszer viszonylag nem túlságosan nagy, szóba jöhet különböző mérési lehetőségeknél. Például az előbb említett autóvezetés, vagy egy másik igen jó példa erre a motorbiciklis mérések, melyek tartalmazhatnak pl.: zajmérést, S\N mérést, hogy a bukósisakokon mit lehetne ez ügyben javítani stb. A motorvezetőt nem befolyásolja a motor vezetésében és figyelmét sem tereli el a közlekedési

szabályok és a közlekedésben fellépő szituációkról. A későbbiek folyamán esetleg ezt a mérőrendszert fel lehetne használni ezen illetve a nem említett esetekben is, ahol nem használható a műfejünk.

Összehasonlító táblázat:

	Műfejnél	Élő embernél
Mérőjel	Impulzusválasszal és zajjal is lehet	Impulzusválasszal
Kényelmi szempont	Nem fontos	Fontos
Mérés S\N (Jel\Zaj) viszonya	Magas (zajgerjesztésnél, átlagolással)	Alacsonyabb
Átlagolás	lehet (zaj esetén)	nincs
pontosság (reprodukálhatóság)	nagy, könnyen ismételhető	kicsi, nehéz reprodukálás
individualitás (HRTF mérésnél)	nincs	van
HRTF készlet térbeli felbontása	nagy (nagy HRTF adatbázis)	viszonylag kicsi (keves mért HRTF)
mérőrendszer vezérlés, összeállítás	egyszerűbb (forgóasztal, műfej rögzítése, iránybeállítás)	nehézkesebb mozgatás, fej rögzítése stb.)
	objektív mérés	szubjektív

5.1.ábra: Összehasonlító táblázat Műfej és Élő ember között

5.1.2. Miért a binaurális mérőrendszert használjuk?

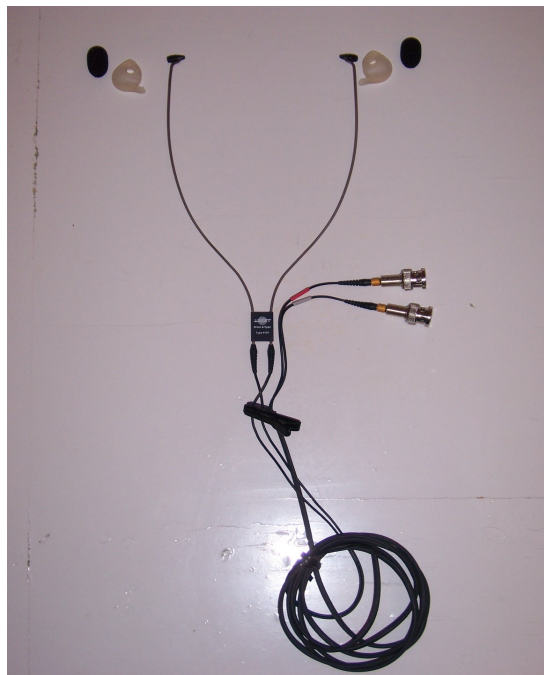
Az individualitás miatt használjuk. Kutatások igazolják, hogy az irány, tér érzékelés jobb ha a saját fülünkön készítjük a felvételeket. Jobbnak érzékeljük azt a binaurális koncertfelvételt ,amit a saját fülünkön vettük fel és ott szimulálom.

5.2. A binaurális mérőrendszer felépítése



5.2.ábra: A binaurális mérőrendszer képi ábrázolása: BK4101 mikrofonok, illesztő elektronika(Tápfeszültséget adó és elosztó doboz, koaxiális kábel, hangkártya kábel), VX Pocket hangkártya és laptop, CoolEdit szoftver

5.2.1. Binaurális mikrofon



5.3.ábra: A binaurális mikrofon

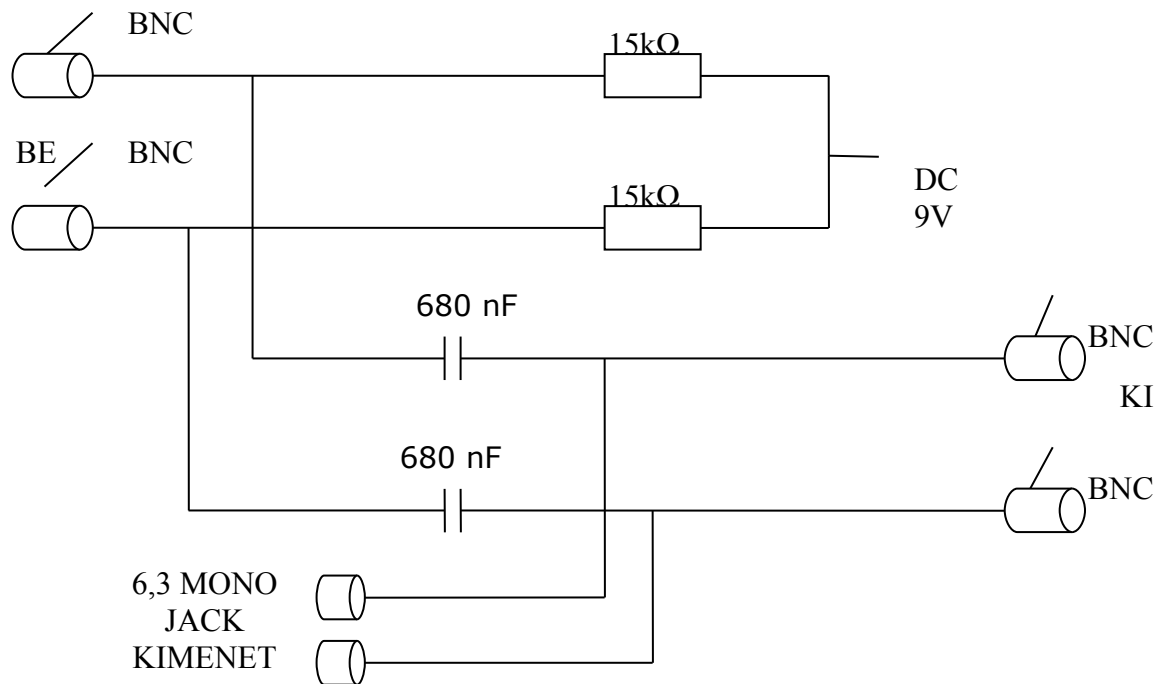
A mikrofonok könnyűek, kisebb mint 10 grammos a kábelcsipeszig a súlya, ezért felhasználásuk igen közkedvelt. A blokkolt hallójárat bemenetére ülnek fel és veszik az odaérkező akusztikus hangokat és nem befolyásolják a normális hallást. A már említett helyzetek elemzésére használható pl.: autóvezetés, motorozás, valamint az olyan méréseknél ahol a fej és a test fontos szerepet játszanak. Pszichoakusztikus kísérleteknél, ahol a kétfülű hallás fontos. A mikrofonok felől haladva egy 2mm átmérőjű csőben viszik a mikrofonkábeleket, így elkerülik azok elszakadását illetve megsérülését. A csöveket lehet hajtani a fülek helyzetéhez. A mikrofon és a cső találkozásánál nem szabad hajlítani, mert ez itt fix és könnyen letörhet, ezáltal megsemmisíthetjük a jó kis mikrofonunkat. A csövekben futó mikro koaxiális kábelek egy BNC csatlakozóhoz vannak csatlakoztatva. Tartozik ide még egy kábelcsipesz is, aminek az a jelentősége, hogy a használó személy ruhájára csíptessék, ezáltal levegye a mikrofonokról a súlyt, ne akadjon el és tépje ki a fülünkből. Az itt használt mikrofonok, természetesen kondenzátormikrofonok, melyek a legjobb minőségűek. Ezek a mikrofonok tápfeszültséget igényelnek.

A Binaurális mikrofon adatai, amit a www.bksv.com honlapról ismerhetjük meg.

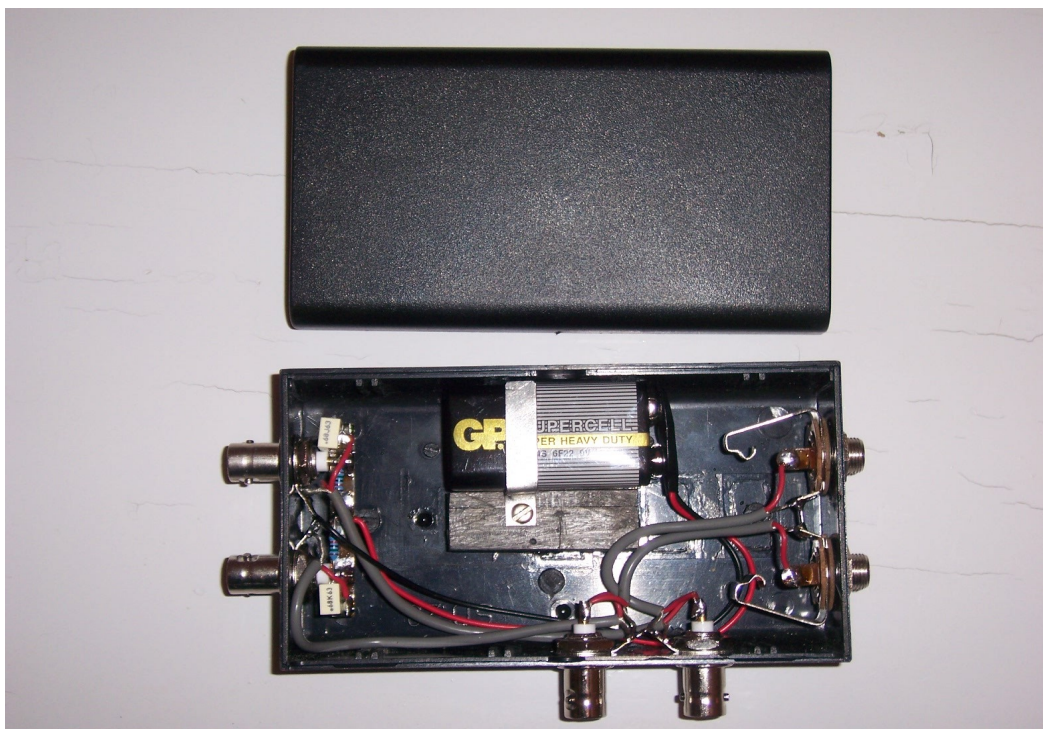
- Mikrofon méretei: 12.7 mm a hossza, 5.4 mm az átmérője
- Frekvenciatartománya: 20Hz és 8 kHz között van
- Érzékenysége: névleges 20mV/Pa ± 3 dB 1kHz-nél
- Maximális hangerősségi szint 134dB
- Kimeneti impedanciája: 30-40 Ω
- Kábel hossza: 2.30m

5.2.2. Tápfeszültséget adó és csatlakozás elosztó doboz

Szerepe: A kondenzátormikrofon 9V-os táplálása és a jel átvitele, ami a coaxiális kábelen keresztül érkezik be a rendszerbe, majd vagy a mono jack kimeneten vagy a BNC kimeneten keresztül távozik. Ha a mérési összeállítást megfelelően végeztük el és mégsem működik a rendszerünk az egyik ok lehet a 9V-os elem kifogyása. Erre is célszerű figyelni.



5.4.ára: A kapcsolásunknak két bemenete (mivel sztereó jelet viszünk külön-külön csatornán) és 2db BNC és 2db mono jack kimenete van. A bementhez mi a mikrofont csatlakoztattuk, és a BNC kimenetet használtuk. A 6,3 mono jack kimenetet mi nem használtuk.



5.5.ábra: Az elosztó és tápfeszültséget adó doboz

5.2.3. Kábel

Az előbb említett „dobozunk” kimeneténél mi a BNC kimenetet használjuk, ami egy 50Ω-os házi készítésű koaxiális kábelhez csatlakozik. A kábel átvitelét megmértük a rádiólaborban és megállapítottuk, hogy az átviteli karakterisztikája alapján elfogadható a mérés sikeres lebonyolításához. A kábel mindkét végén APA-APA BNC csatlakozó van. Ezt a csatlakozó véget a Professional Digital Laptop Sound Card-hoz kapott csatlakozónál ilyen: IN ANA R és ilyen IN ANA L megnevezéssel ellátott végeihez illesztjük, majd a hangkártyánkat berakjuk a laptopba.



5.6.ábra: Kábel

5.2.4. Hangkártya

Amikor először illesztjük be a Professional Digital Laptop Sound Card-ot a laptopba érzékeli jelen esetben a Windows XP, hogy ez egy új hardver és egyből előugrik az Új hardver telepítési varázsló. Mivel jelen esetben a hangkártyához nem kaptunk telepítő cd-t, így ebből a varázslóból ki kell lépünk. Az internetes böngészőnkkel a www.digigram.com honlapjára kell fellépünk. Feltételezem, aki követi az utasításokat fel tudja telepíteni. A telepítés előtt, regisztrálnunk kell, ha még ezt eddig nem tettük meg. Ezek után telepíthető a hardver. A start menübe feltelepedik digigram néven. Ezen belül 3 választható lehetőség:

- Digigram Control Center
- Digigram Mixer
- Digigram Mixer Help

Ezekbe bővebben is belemegyünk a későbbiekben.

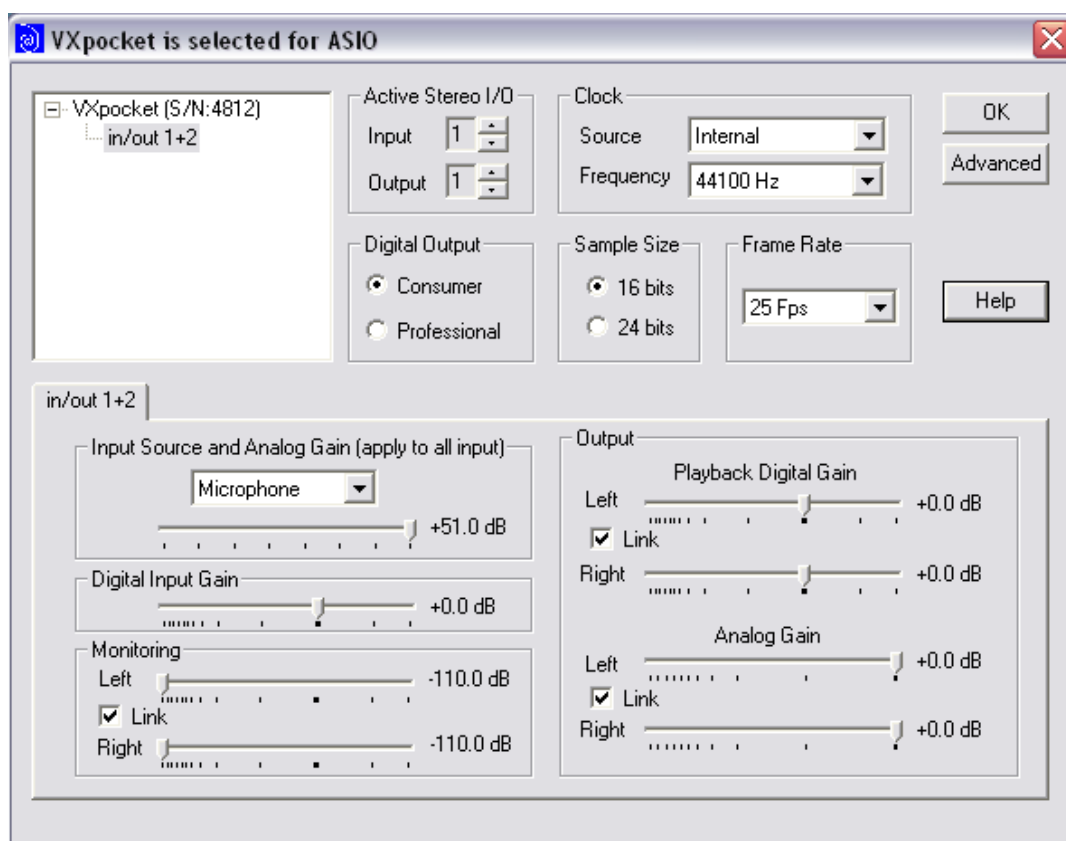


5.7.ábra: Hangkártya és kábelcsatlakozói

5.3. Digigram control centeren belüli beállítások

Digigram control center, amibe ha belelépünk egy általános információ (generale information) és egy VX Setup menüpont van. Ez utóbbit emelném ki, mivel ha erre rákattintva közép tájékon a No device reported van kiírva előfordulhat, hogy nem jól telepítettük fel a hangkártyához tartozó szoftvert. Viszont, ha a Vxpocket jelenik meg, akkor nem kell aggódnunk felismerte az éppen használt operációs rendszerünk a hangkártyánkat.

A Digigram ASIO Control Panelre kattintva előugró beállítások közül az alábbiakra állítsuk:



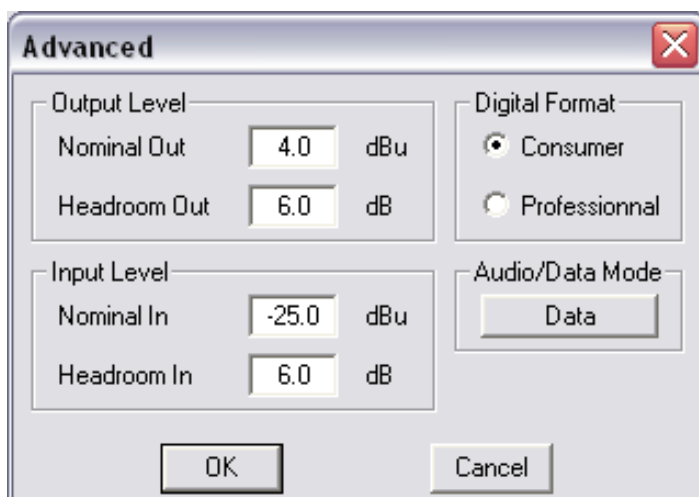
5.8.ábra: Digigram ASIO Control Panel beállításai.

Jelen esetünkben mi mikrofont kötöttünk a rendszerbe, így az Input Source and Analog Gain-nél microphone állásba állítjuk, ha például egy külső mikrofon erősítőt használok, akkor line állásba teszem. Az Advanced: az audio adat buffertől szenvedhet a legtöbb esetben a CPU túlterheltsége miatt, hogy elkerüljük a szinkronizációs veszteséget a kimenő és a bemenő jelek között kipipáljuk ezt a négyzetet. Ez a beállítás csak meghatározott beállításnál lesz fix, túl sok hiba megjelenése a hangminőségben okoz romlást, hogy elkerüljük ezeket a hibákat csökkentjük a CPU használat telítettségét – kevesebb programot futtassunk közben.

Valamint még ezen beállítás is szükségeltetik, szintén a VX Setup menüpont alatt, megtalálható a Windows Multimédia Properties menüpont (Hangok és audioeszközök tulajdonságai), amelyen belül ezeket állítottam be: Audio fülcskében az alapértelmezett eszköz a hanglejátszásnál a SoundMAX HD Audio legyen, hangrögzítésnél az alapértelmezett eszköz a Vxpocket Audio Card (WDM) szerepeljen, a MIDI-zene lejátszására nekem csak ezt ajánlotta fel MS GS hullám. SW-szintetizátor, így ez maradt a beállításban. A hangrögzítésnél a hangerő szintet az Analóg Inputnál kell kipipálni és itt lehetőségünk van az állítására is. Nálam kb.: a középső vonal felett egy bekezdéssel

állítottam meg a hangerőcsúszkát. Ezt úgy néztem meg, mikor jó, hogy a Cool Edit programban (később) elindítottam a felvételt, tapsoltgattam és leállítottam a felvételt. Lejátszásnál arra figyeltem, hogy a vonal fölé ne menjen a spektrumképem soha ne legyen túlvezérelve illetve ne legyen kis érzékenysége sem a bemeneti jelemnek. Persze ez az állításom nem teljesen igaz. Attól is függ a mikrofonunk érzékenysége, hogy milyen közel van a hangforrásunk. Lehet a szoba végéből tapsolunk és úgy állítjuk be, viszont ha 10 centiről tapsolunk a mikrofonba túl lesz vezérelve. Ebből számomra következik, hogy ezt a beállítást a mérés körülményei nagyban befolyásolják majd. Erre a felhasználó legyen tekintettel. A mixeren belül kiválasztjuk a hangkártya típusát, nálam ezt alaptól kiválasztotta és más lehetőséget nem is adott. Lehetőség van arra, hogy a program automatikusan induljon, ha kiválasztjuk Options menü Run at Startup-ot. A nominal be és a headroom bemenet együtt meghatározza az analóg szintet a digitális maximum szintnek megfelelően 0dB a teljes képernyőn. A headroom szintet akkor állítom be, amikor visszajátsszuk a nominális szintet. A beállítások után mindig frissíteni kell, ezt így tehetjük meg: Options – refresh.

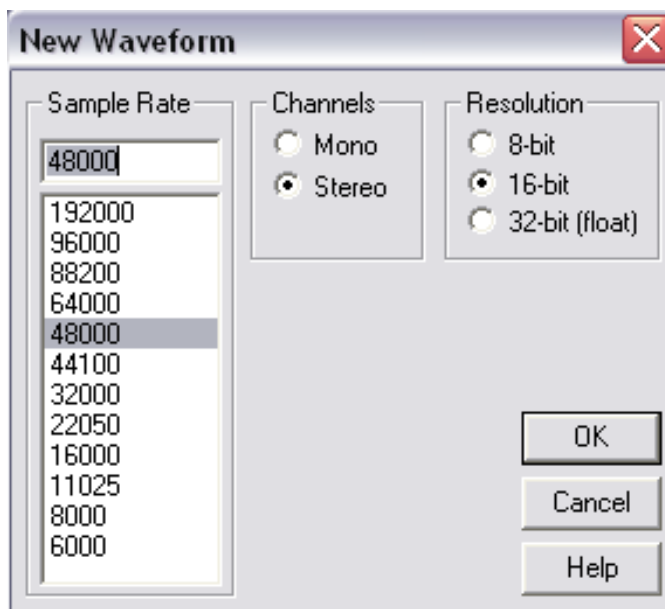
Beállítható még a mikrofon bemeneti szintje, azonban itt figyelni kell arra, hogy a nominal in és a headroom in bementi szintjeinek az összege kevesebb legyen, mint a mikrofon bemeneti szintje, ez az érték a -20 dBu. A Vxpocket Mixer-en belül az Advanced menüpontra kell kattintani és ott így állítom be az értékeket.



5.9.ábra: Nominal In érték beállítása

5.4. Cool Edit Pro

Ezt a programot használtam a hangok felvételére és lejátszására. Először meg kell nyitnom egy új oldalt mert alapból nem ad. Ezt a File – New-ban állítom be így:

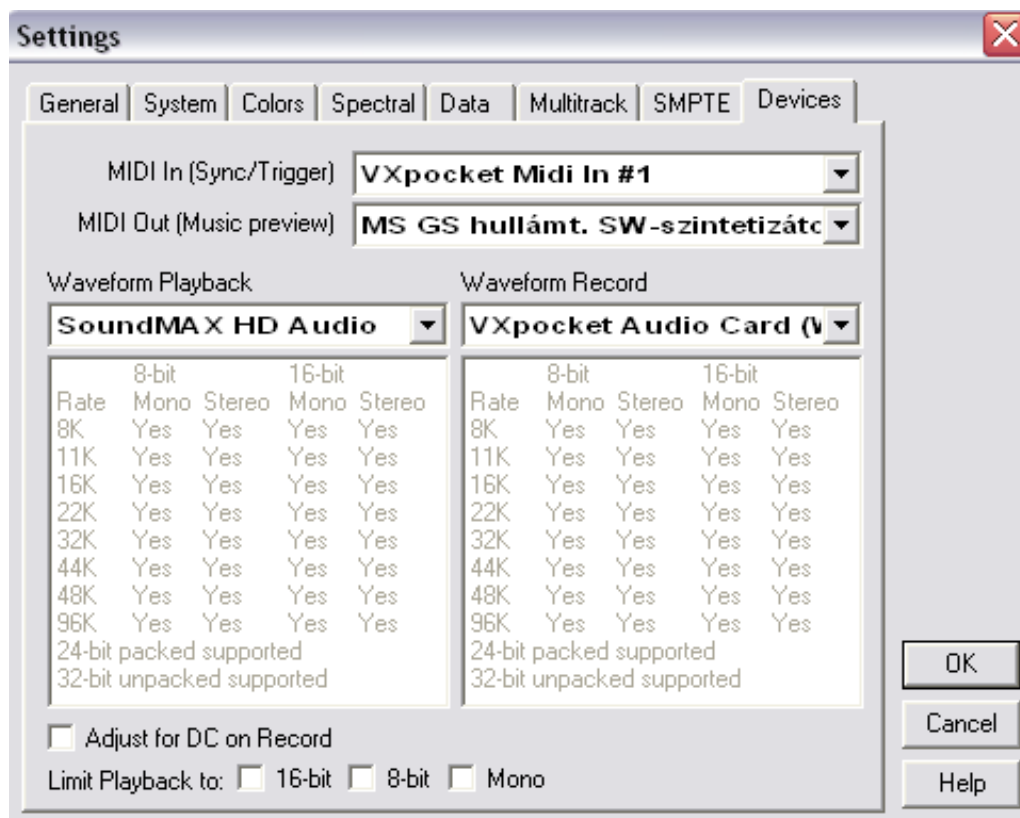


5.10.ábra: New Waveform beállítása.

Majd az Ok gombra kattintok. Az alul elhelyezett könnyen megérthető gombokkal pl.: indítom a felvételt, vagy játszom, előre-vissza tekerem stb.



Egy nagyon fontos beállítás még szükséges, hogy működjön a rendszerünk. Az alábbi mellékelt 5.11.ábra mutatja, hogy az Options – Settings – Device-s - menüpontnál ezeket a beállításokat kell követni, feltéve, hogy azt a hangkártyát használjuk, amit én is használtam a méréseknél ami a Vxpocket Audio Card volt a felvételeknél viszont lejátszásnál választhatunk több pont közül is, hogy külső hangszórón, vagy a laptop saját hangszóróján, ami a SoundMAX HD Audio néven található meg az általam használt laptopon. Az általam használt laptop egy HP Compaq 7400, melyen Windows Xp fut.

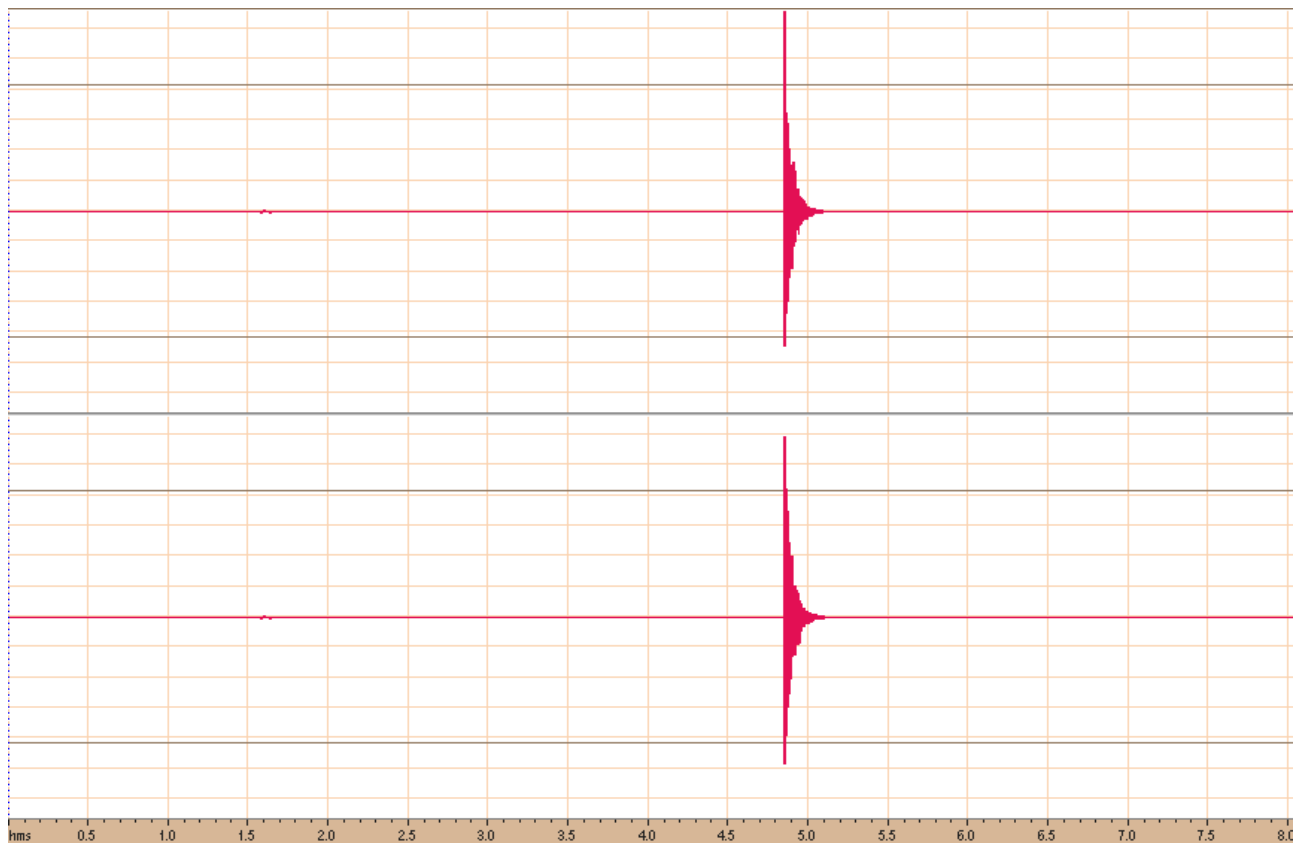


5.11.ábra: Device- en belüli beállítások.

Majd, ha ezen beállítások megtörténtek a rendszerünk használatra kész. Otthon egy lufi durrantással szimuláltam milyen lesz a felvétel.

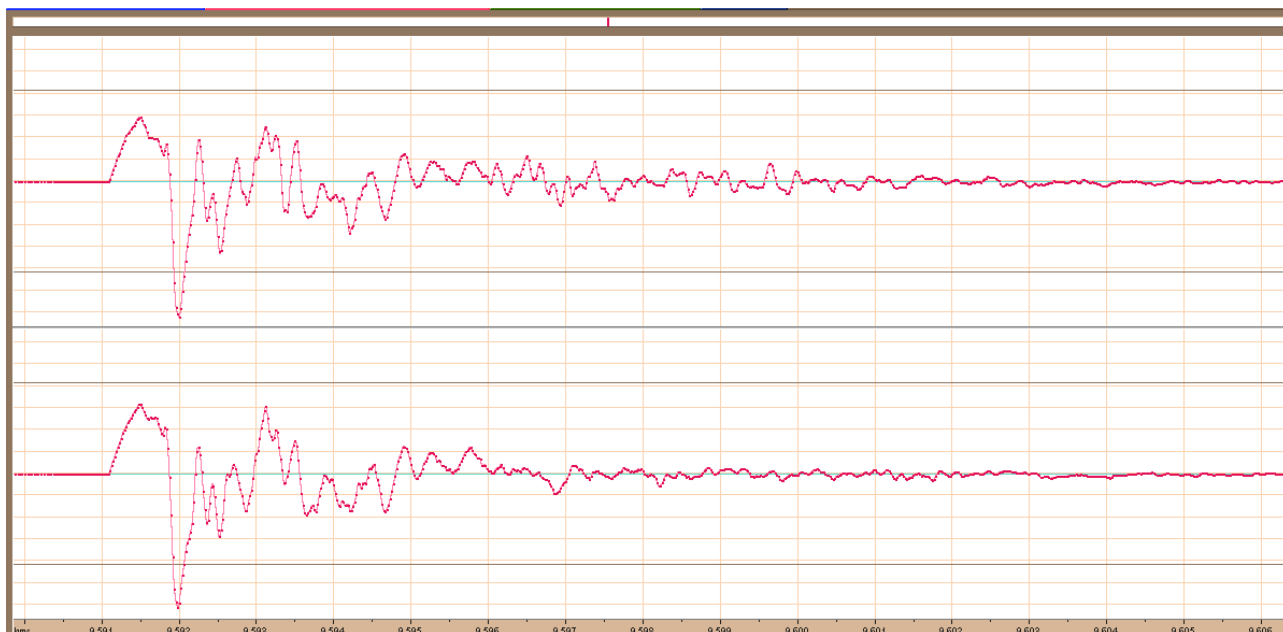
6. Mérések

Az összeállított binaurális mérőrendszer kipróbálására több helyen és különböző beállítások mellett került sor. Az egyik ilyen hely volt a szobám, itt csak egy bemutató jellegű lufi durrantást végeztem még mielőtt elkezdtek volna a mérési sorozatainkat, hogy meglássuk működik-e a mérőrendszer és milyen felvételek készíthetők vele, milyen részeken kell majd állítani, ha alacsony vagy magas jelszintet mérek és lényegében, hogy „Hogyan működik a rendszerünk és a programunk?”. A másik hely a Budapesti Műszaki Tudományos Akadémia kutató laboratóriuma, melyben készítettünk többek között binaurális felvételt műfejen és élő emberen egyaránt. Valamint még a műfej mikrofonjai segítségével felvett hangokat és megpróbáltunk más akusztikai szempontból különböző szobákban készíteni a méréseinket.



6.1.ábra: Szemléltető ábra lufi durranás otthoni szobában

A felvétel helye az én otthoni szobám. Ilyesfajta ábrát készítünk a mérőműszerrel a felvétel megállítása után. A felvételt másolás és szerkesztés után tettem be. A színeket is invertáltam a jobb láthatóság kedvéért. Természetesen a fent említett dolgok valamilyen képszerkesztő program segítségével hajtottam végre, az én esetemben ez a Paint rajzoló és szerkesztő program volt. A felvételt, nem lehet akkor indítani, mikor a lufit durrantom ez látszik a felvétel elején, míg a kívánt helyre álltam, addig telt az idő és egypár zörej adódik hozzá a felvételhez. Ezeket a nemkívánatos információkat a későbbi felvételek szerkesztése alatt kivágtam a Cool Edit segítségével, viszont azt a kis időt meghagytam mi alatt a hang elért a mikrofonba a forrás helyétől. A lufi durrantásnál látszik az általa okozott impulzus és a lecsengési ideje, amit a szoba okoz. A továbbiakban ilyen lufis kísérletek sorozatát vizsgáljuk meg.

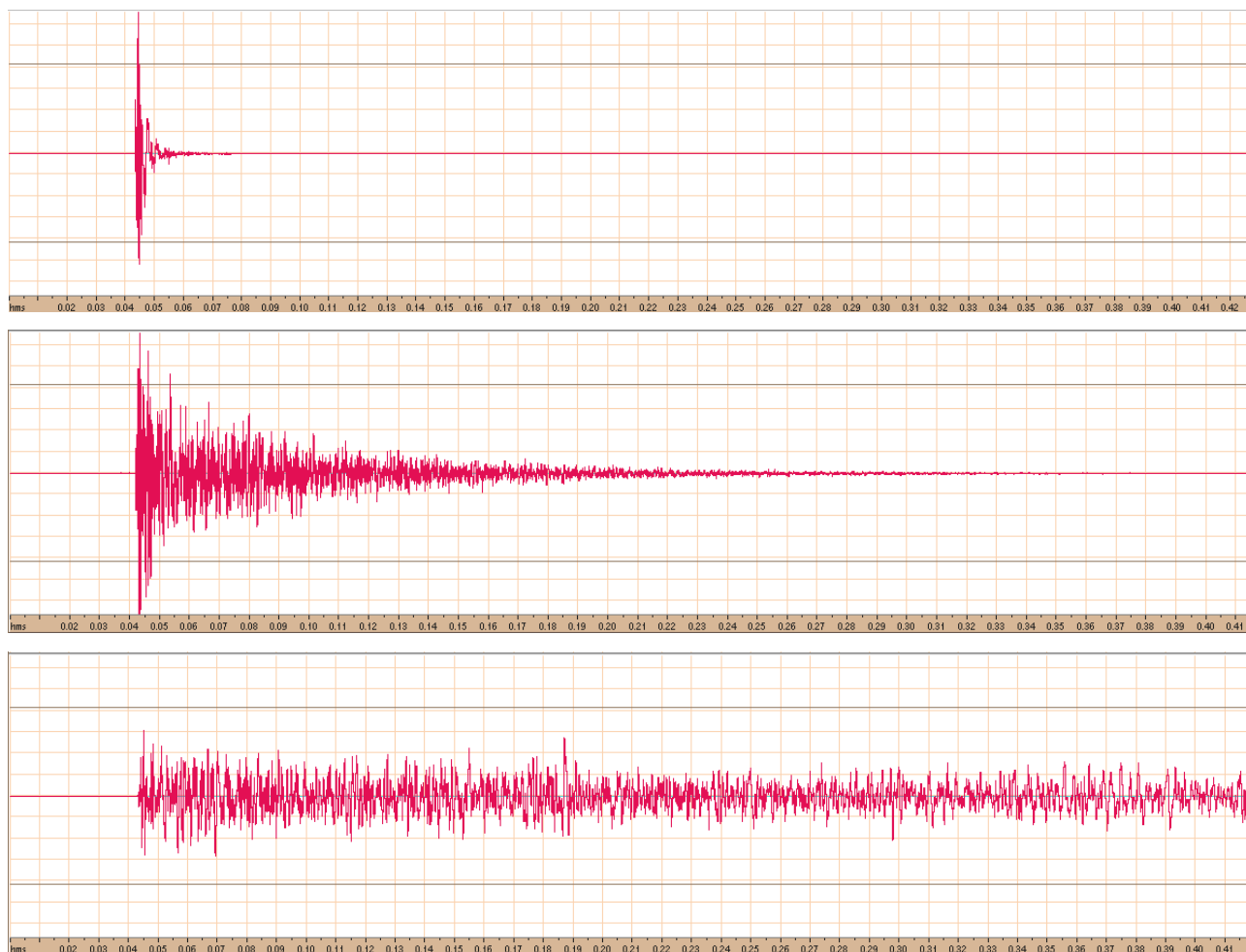


6.2.ábra: Az ábrán a műfejünkre helyezett binaurális mérőrendszerrel felvett lufi durranást ábrázolja a süketszobában.

A már szinte mintavételenyi szintű nagyításon látszik, hogy a két csatornába (bal, illetve a jobb fül) egyszerre szólal meg a hang, mivel szembe irányból adtuk a hangot. A 6.2.ábrán jól látszik, hogy nincs túlvezérlés és a lecsengési idő is kisebb az előbbinél. A túlvezérlést befolyásolja több dolog mégis kiemelném, hogy a lufi felfújása és a durranás hangereje közötti összefüggés volt a legszembevetőbb. A kicsi utózungési idő pedig a süketszoba szigetelése miatt lett ilyen jó.

6.1.1. Különböző szobák időfüggvényeinek vizsgálta:

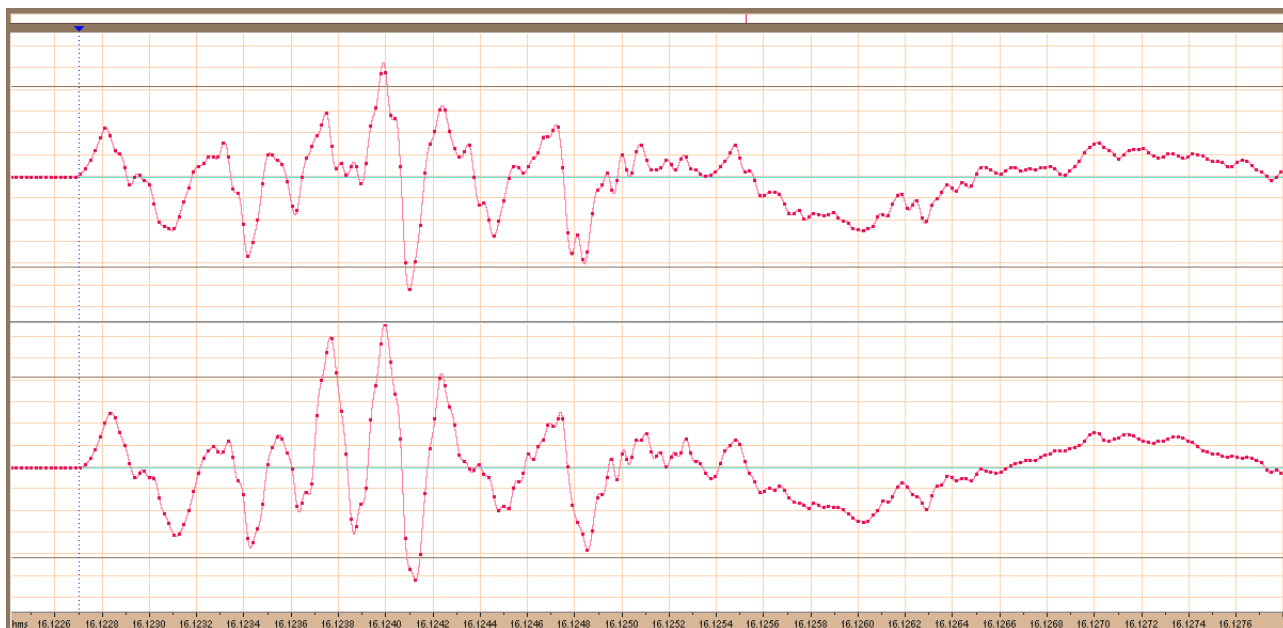
Különböző szobákban végeztünk méréseket, mely szobáknak más az utózungési ideje. 3 fajta szobát különítettünk el egymástól és az ezen szobákban végzett mérést a 6.3.ábrába rendeztük össze. Egy süket szobát egy normál szobát és egy zengő szobát vizsgáltunk meg méréseink során. A kísérleteinket mindhárom szobában elvégeztük, ezek láthatók az alábbi ábrákon. Mindegyik impulzus egyszerre kezdődik, mivel a felvétel elejét megformáztam és a hangforrás távolságát is mindhárom szobában ugyan akkorára választottuk a felvétel megkezdése előtt. Az ábrákon ugyan akkora a lépésköz a jobb láthatóság kedvéért.



6.3.ábra: 3 fajta szoba időfüggvényeinek összehasonlítása.

Ezek az ábrák szemléltető jellegűek. Minden ábrán 10mV-os lépéseket választottam. Tehát egy nagy rubrika 10mV-ot jellemez. Az ábrákon megfigyelhető a lecsengési idő, mely minden szobánál más és más. A legfelső ábra a süketszobát jellemzi, melynek legkisebb a lecsengési ideje, mivel az összes oldalát belülről bevonták hangelnyelő réteggel és az effajta szigetelésnek köszönhetően a visszaverődések minimálisnak mondhatók egy normál szobához képest. A középső ábra egy normál szobát jellemez, melynek már nagyobb a lecsengési ideje, mivel ebben a szobában hang visszaverődések találhatók meg a csupasz falfelületnek és a tárgyaknak köszönhetően, ezért jellemző rá ez a 2 – 4 secundos lecsengési idő. A legutolsó szoba az ún.: zengő szoba, mely úgy lett kialakítva, hogy hangvisszaverő felületeket hoztak létre valamint a szobában minimalizálták a hangelnyelő tárgyak jelenlétét és célként azt tekintették, hogy a hang minél tovább ott tudjon maradni. Ennek a szobának 6 – 9 secundos a lecsengési ideje a legmagasabb a többihez képest.

6.1.2. A műfejre illesztett binaurális mérőrendszerrel végzett mérés

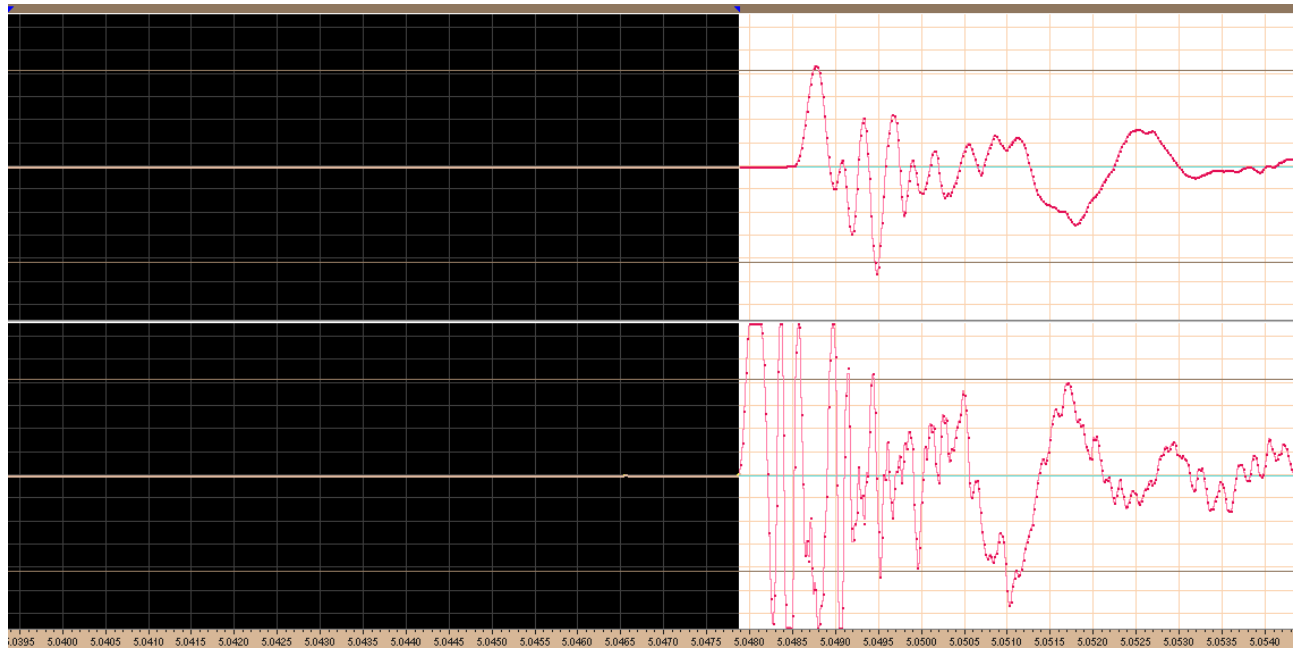


6.4.ábra: Lufi durranás szemből műfejre illesztett binaurális mérőrendszer segítségével

A mérésnél szintén a műfejet használtuk a ráillesztett binaurális mérőrendszerünk segítségével. A kísérletnél a hangforrás helye szintén szemben irányba lett elhelyezve. Túlvezérlés látszik a képen, amit az előbb említett ok nagyban befolyásol. Az előző mérésnél is a hangforrás helye 3m-re volt a mikrofonjainktól. A mérésnél még használtunk zajszintmérő műszert is, aminek a mikrofonját elhelyeztük a fülkagyló mellett, hogy megtudjuk mekkora hangnyomásszintet mérünk a felvétel helyén ennél a kísérletnél. Az eredményünk: 105dB lett lineáris impulzus üzemmódban.

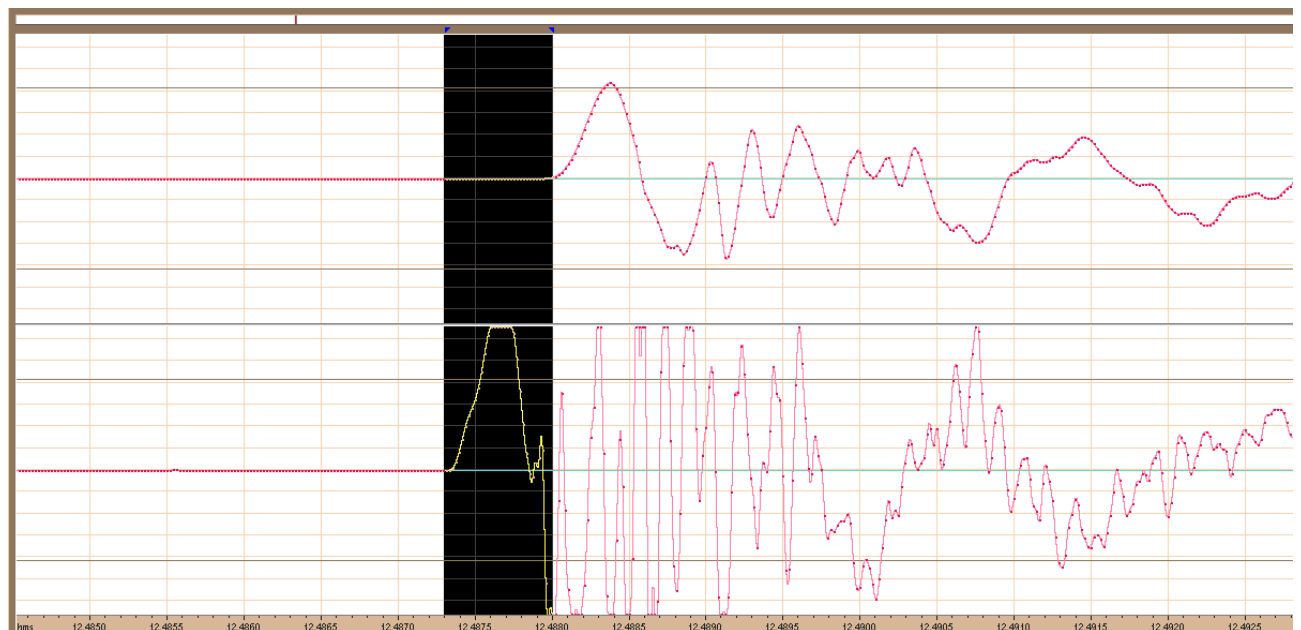
6.1.3. A hang terjedés számítása és szemléltetése

Az alábbi 6.5.ábrán azt szemléltetem, hogy a lufi durranás kezdetétől a mikrofonba érkező hang, mekkora utat és mennyi idő alatt ért el. A sötét színű kiemelés ezt szemlélteti. Számítása a következőképp alakult. Lemértük a süketszobában a hangforrás és a mikrofon távolságát. Ez az érték 3m volt. A teremben kb.:20C° volt a hőmérséklet. 20C°-nál a hang terjedési sebesség 344m/s. Ha 3m volt a távolság és 344m/s a terjedési sebesség, akkor az eredmény: 0.00872 secundum lesz. Ezt az értéket emeltem ki. A fülkagylóhoz érkező hangot szintén megmértük zajszintmérővel és 105dB hangnyomásszintet jelzett lineáris impulzus üzemmódban.



6.5.ábra: Lufi durranástól eltelt idő szemléltetése a mikrofonig

6.1.4. Irányhallás számítása a vízszintes síkban

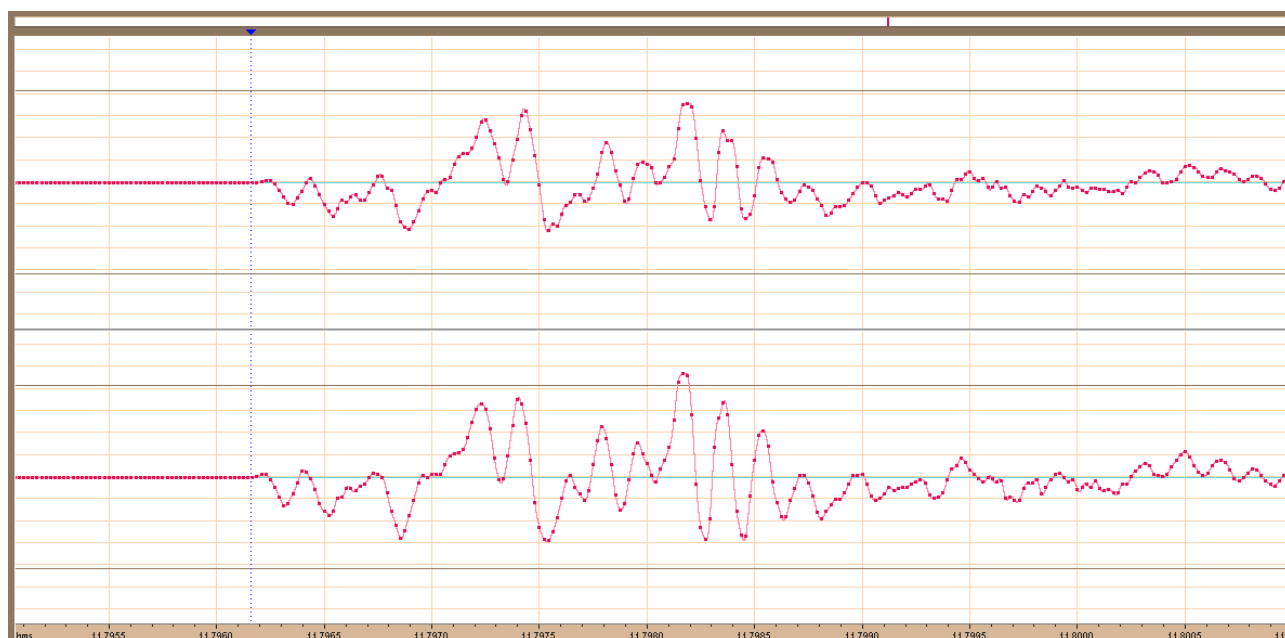


6.6.ábra: A két fül közötti út- idő különbség a hangsebesség szempontjából

Ennél a mérésnél a műfejünk 90° -os szöggel lett elforgatva balra a függőleges irányhoz képest. Más megfogalmazásban a hangforrástól a műfej bal oldalát láttuk. A zajszintmérőnket nem használtuk. A 6.6.ábrán azt szeretném bemutatni, hogy a forgatás

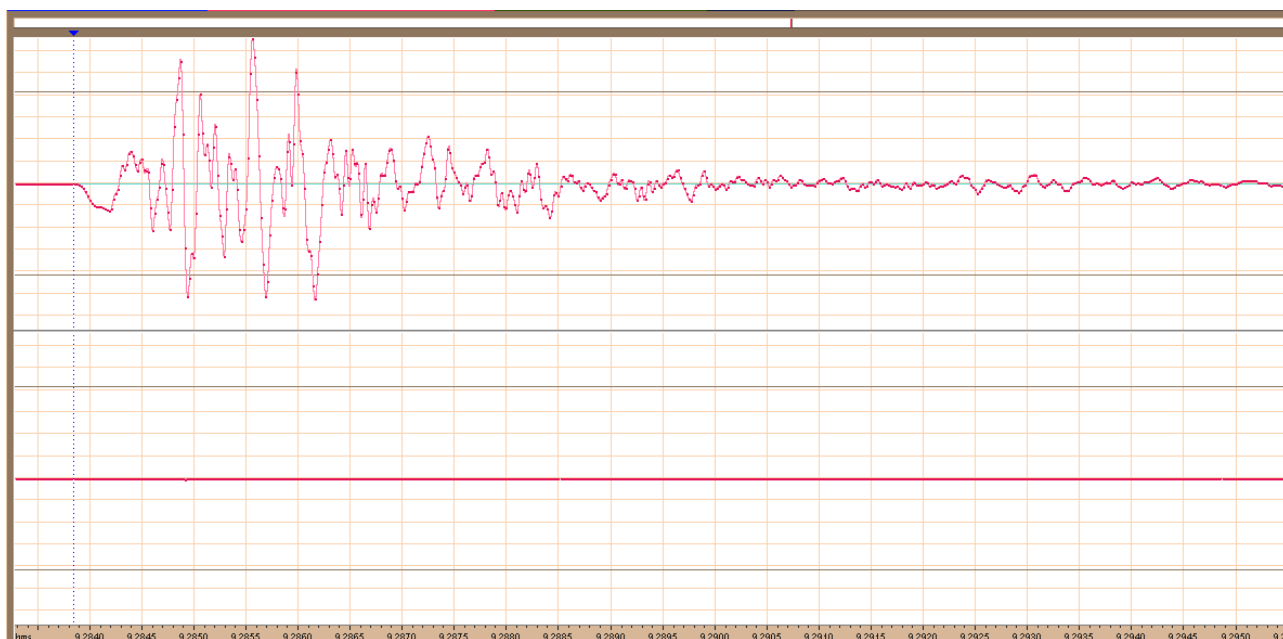
következtében a hang szintén mekkora utat és milyen időkülönbséggel jutott el a bal fültől a fejünk megkerülésével a jobb fülbe. Számításaink a következőképp alakultak: a felvételtől leolvasott értékeket kivonjuk egymásból, mármint a nagyobból a kevesebbet: $12.488\text{s} - 12.4873\text{s} = 0.0007\text{ s}$ -ot kaptuk. Ezt az értéket megszoroztam 344m/s -al és a végeredmény 0.2408 m lett. Ez az érték reálisnak mondható, hiszen a fejünk körül megy a hang és egy átlagos embernek 0.50m a feje kerülete. Ellenőrizve az érték nagyságrendiségét $0.2408/\pi = 0.0766$, ami a két dobhártyánk távolsága. Itt még megemlíteném, hogy az agyunk többek között ezekből az időkülönbségekből állapítja meg a hangforrás helyét számunkra ezzel teszi lehetővé a térbeli tájékozódást, hallást.

6.2. Műfejbe épített mikrofonokkal végzett mérés



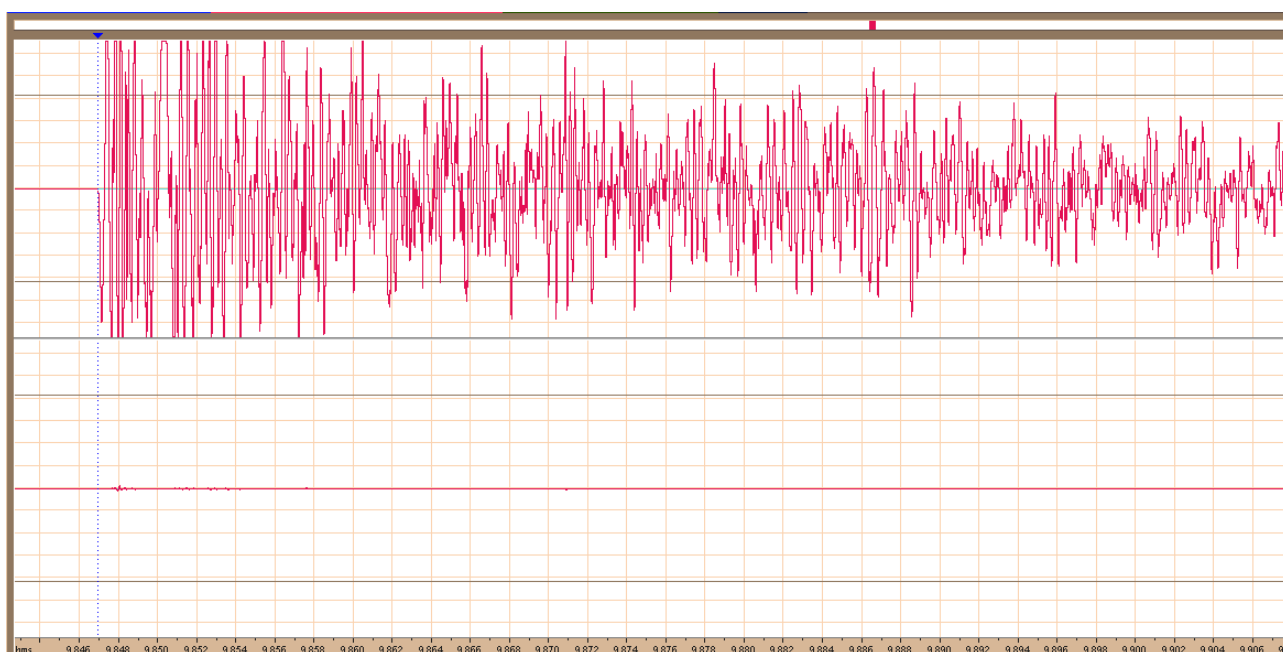
6.7.ábra: Műfej beépített mikrofonjainak segítségével mért lufi durranás.

A műfej rendelkezik saját fülébe beépített mikrofonokkal. Az elméleti háttérnél található 4.1.ábra ezt szemlélteti. Szemben irányból 2 csatornás felvételt készítettünk a műfejjel. A süket szobán kívül helyezték el az erősítőt és az ehhez kapcsolt oszcilloszkópot. Mi az erősítőnk értékét nem állítottuk és az oszcilloszkópon keresztül láttuk először a pisztofonnal ráadott jelet utána pedig a lufidurranást. A mérési összeállítás végén még a laptop szerepelt, amin a Cool Edit program segítségével vettük fel az impulzust.



6.8.ábra: Műfej jobb csatornája

A műfejnek szemben irányból végzett lufi durrantás úgy, hogy csak a jobb csatornát használtuk a felvételnél. A műfej saját mérőrendszerét használtuk a felvétel elkészítéséhez. A bal csatornára nem adtunk jelet, így ezen a csatornán nincs is semmi, de ez nem mindig igaz pl.: 6.9.ábrán látható felvétel erről árulkodik.



6.9.ábra: Műfejen végzett mérés 45°-os szögből.

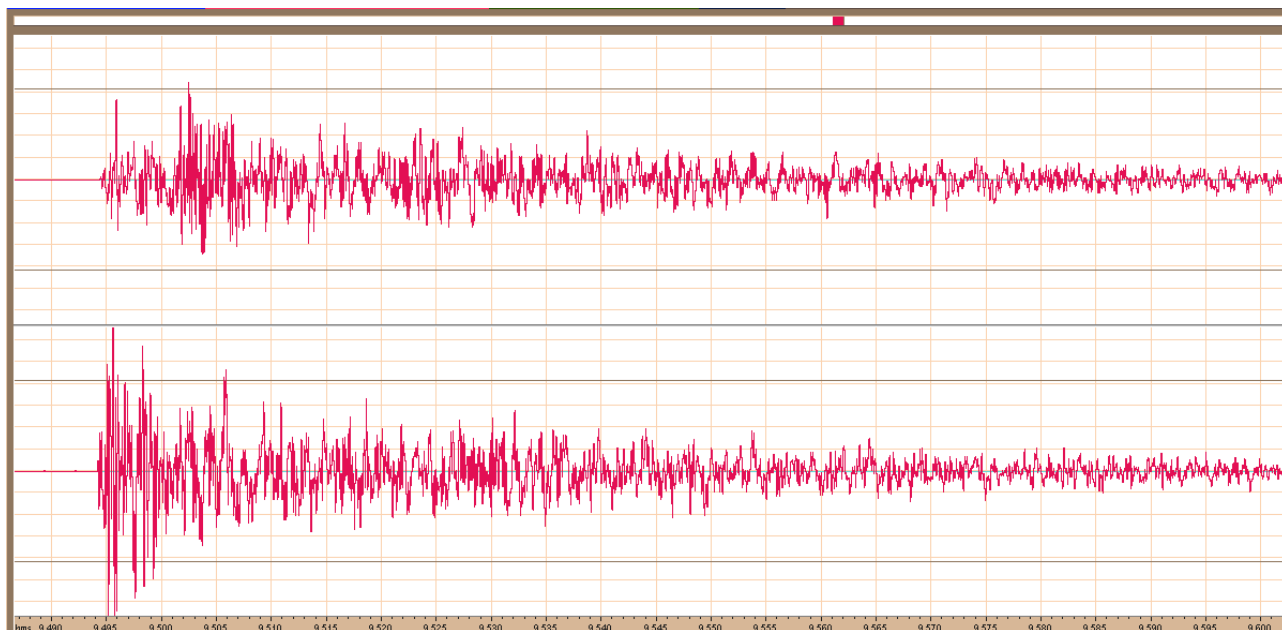
A nagyított időfüggvény teljesen túl van vezérelve. A mérést szintén a műfej végeztük a saját mérőrendszere segítségével. A hangforrás helyét most a szemben irányhoz képest

jobbra mozdítottuk mintegy 45° -kal. A 6.9.ábrán látott időfüggvényből ezek tudatában megállapítható, hogy 45° -os elforgatásnál állt szemben a mikrofon feje a hangforrással, így teljesen a membránt érte a hang beesési szöge. Szintén csak a jobb csatornát használtuk. A bal csatornába láthatunk valamiféle jelféleséget, de ez talán az áthallás miatt lehetséges, ezzel nem foglalkozunk tovább.

6.3. Binaurális mikrofonokkal készített mérés.

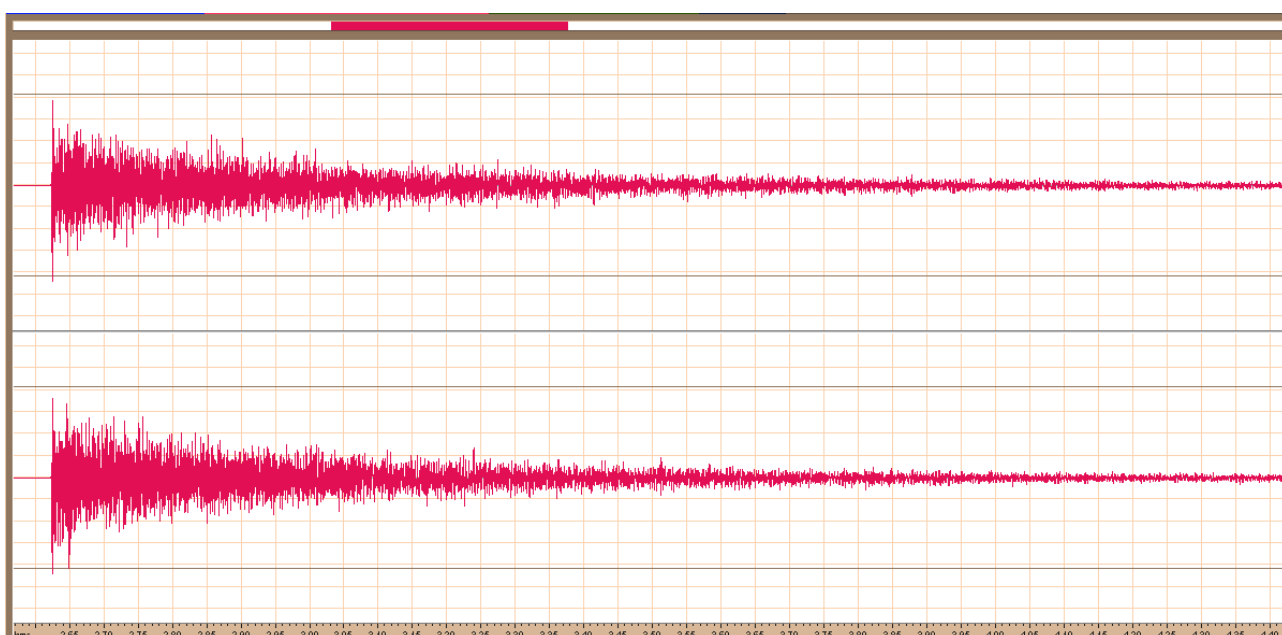


6.10.ábra: Műfejre helyezett binaurális mikrofon



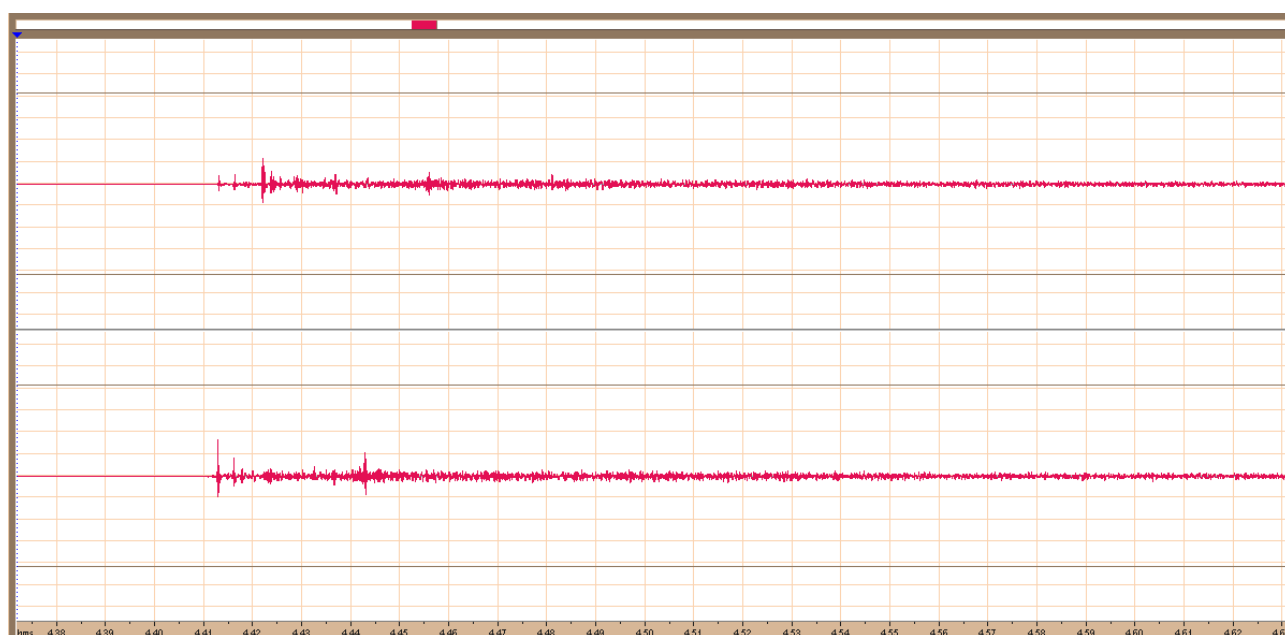
6.10.ábra: Binaurális felvétel normál szobában.

Ezt a felvételt nem a süketszobában végeztük. A műfejünket kihoztuk egy normál szobába, ott ráhelyeztük a mi binaurális mérőrendszerünket és a mixerünkön belül a nominal szintet hagytuk 4 dB-n és az input Analog Source and Gain-nél is line állásban helyeztük. Mérésnél mindkét csatornát használtuk. A hangforrást szembe irányhoz képest balra 45°-kal forgattuk el. Ennél a beállításnál azt szimuláltuk, ha egy olyan teremben, ahol a visszaverődések nagyobb számban állnak rendelkezésünkre a süketszobához képest, és mi az előbb említett beállításokat állítottuk be, akkor a felvételünk halkabb lesz, illetve, ami szembetűnő túlvezérlésekkel kéne tele lennie, de a beállítások ezt a felvételt eredményezték.



6.11.ábra: Binaurális felvétel a zengő szobában 1 .

Ezt a felvételt egy zengő szobában készítettük. Ez a szoba arra lett kiépítve, hogy a hangot minél tovább megtartsa, minél több helyről tudjon visszaverődni a hang. A hangot egy lufi durranás keltette. Szintén a binaurális mérőrendszert használtuk. Jelen esetben az én fülemben volt a mikrofon nem a műfejében. Az időfüggvényen látszik, hogy micsoda lecsengési idővel rendelkezik ez a szoba. Kb.: 6-8 másodpercen keresztül marad meg a hang, míg a süketszobában ez az érték kb.:1-2 másodperc. A 6.11.ábrán majdnem tökéletesre találtuk el a beállításokat, mivel az ábránk nem túl halk és nincs benne túlvezérlés, ami esetlegesen károsíthatná a hangszóróinkat.



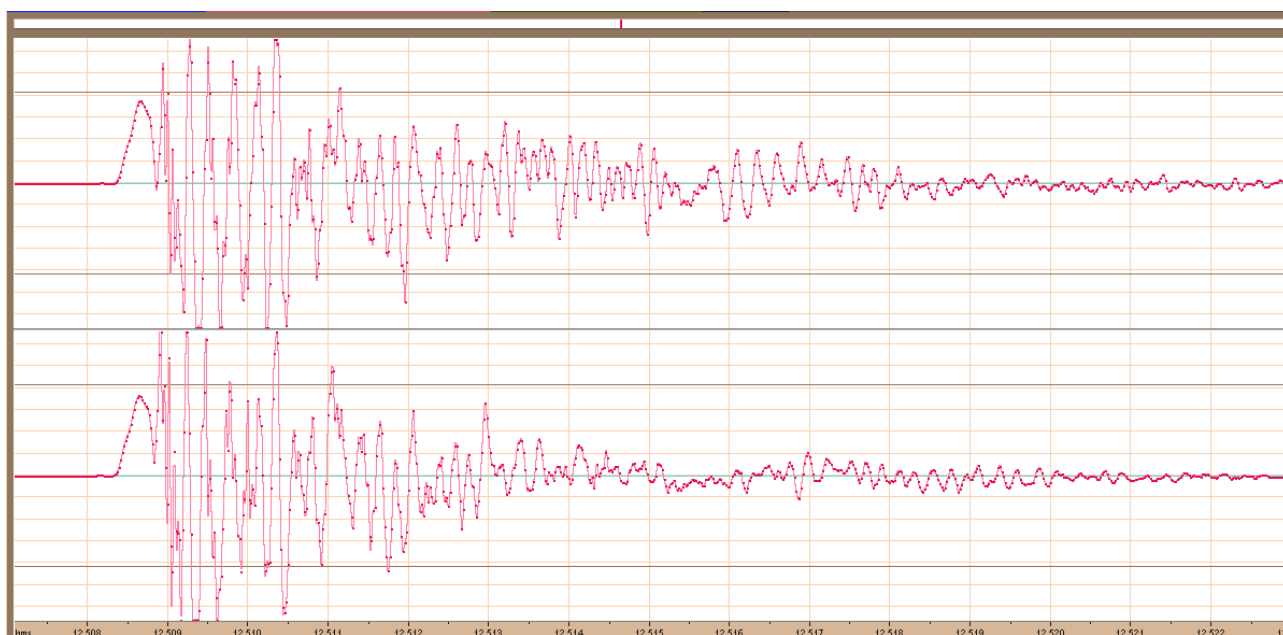
6.12.ábra: Binaurális felvétel a zengő szobában 2 .

A zengő szobában a műfejre helyeztük a binaurális mérőrendszerünket. A beállítások nem változtak. Tapssal keltettük a hangot. Itt is látszik a hosszú lecsengési idő, viszont a felvételen nagyon alacsony a jelszint is látszik. Ezért kell próbálgatással állítgatni a beállításokon, hogy a 6.12. ábrához hasonlóan alacsony jelszintet ne kapjunk. Ez nem mindig sikerült, pedig azon voltunk, hogy tökéletes felvételeket készítsünk.



6.13.ábra: Binaurális felvétel készítése zengő szobában 3 .

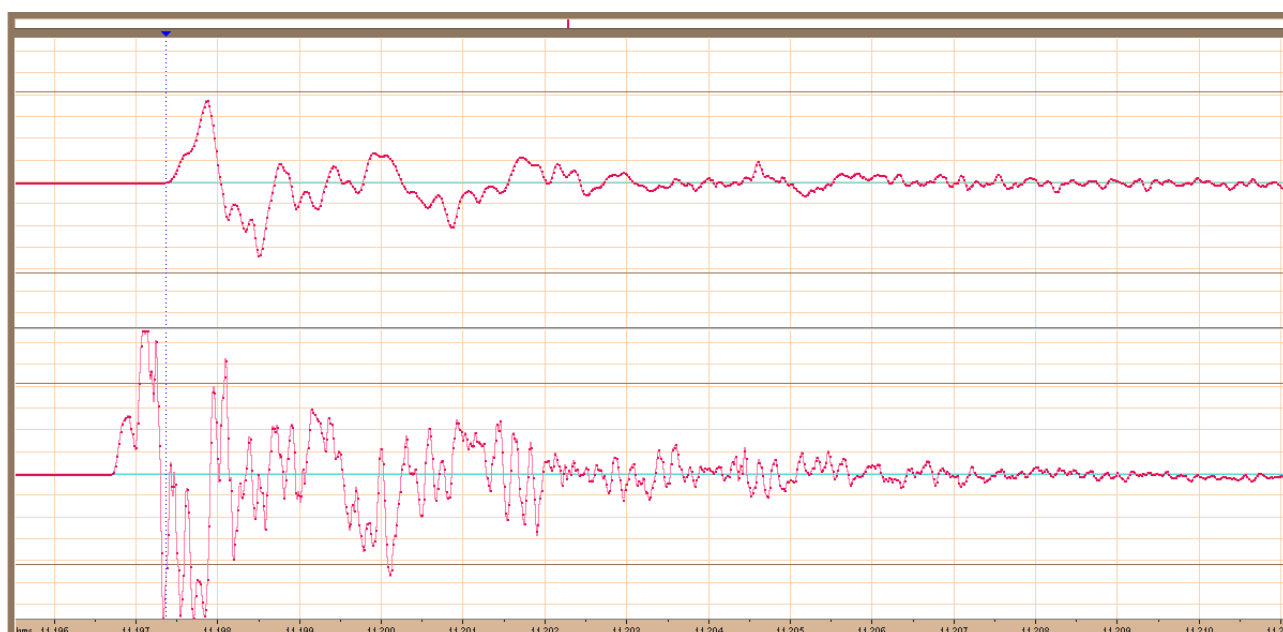
A zengő szobában végeztük a kísérletet a binaurális mérőrendszerünk segítségével, amit a műfejünkre helyeztünk. A hangot egy becsapódó ajtóval hoztuk létre. A 6.13. ábrán látszik a hosszú lecsengési idő és a jelünknek a hullámszerű ingadozása mi végül kioltódik.



6.14.ábra: Binaurális felvétel készítése sűket szobában élő személyen.

A 6.14. ábra a sűket szobában készűlt felvételűt ábrázolűja. Az alany én voltam, a binaurális mikrofont a fűlembű helyeztűk nem raktunk rá szűvacsockat. A szűvacsocknak a jelentűsűge a szűlzűgás elkerűlűse és a kűnyelmi szempont javítűsa. Szeműlyes vűleműnyem, hogy nem kűnyelmes hosszű távon élő emberen műrni a szűvacsock felhelyezűse nűlkűl, mivel a mikrof

böki az emberi hallójáratának bemenetét. A 6.14. ábrán látszik, hogy a hangforrás szemben irányba lett elhelyezve, melyet jelen esetben is a lufi durranás képviselt. A beállított értékek microphone állás és -25dBU-s nominal szint beállítás alatt történtek. Az időfüggvényben több túlvezérlési pont figyelhető meg, ez a lufi nagyságának függvényében jött létre, mivel minél nagyobbra fújjuk a lufinkat annál nagyobbab, hangosabbat fog durranni. Nagyon sokat kellett mérni ahhoz, hogy a beállításaink a megfelelőek legyenek, tehát az időfüggvény ne legyen túl alacsony jelszinten viszont annyira magason sem, hogy túl legyen vezérelve, ez nem mindig sikerült próbálkozásaink ellenére sem.



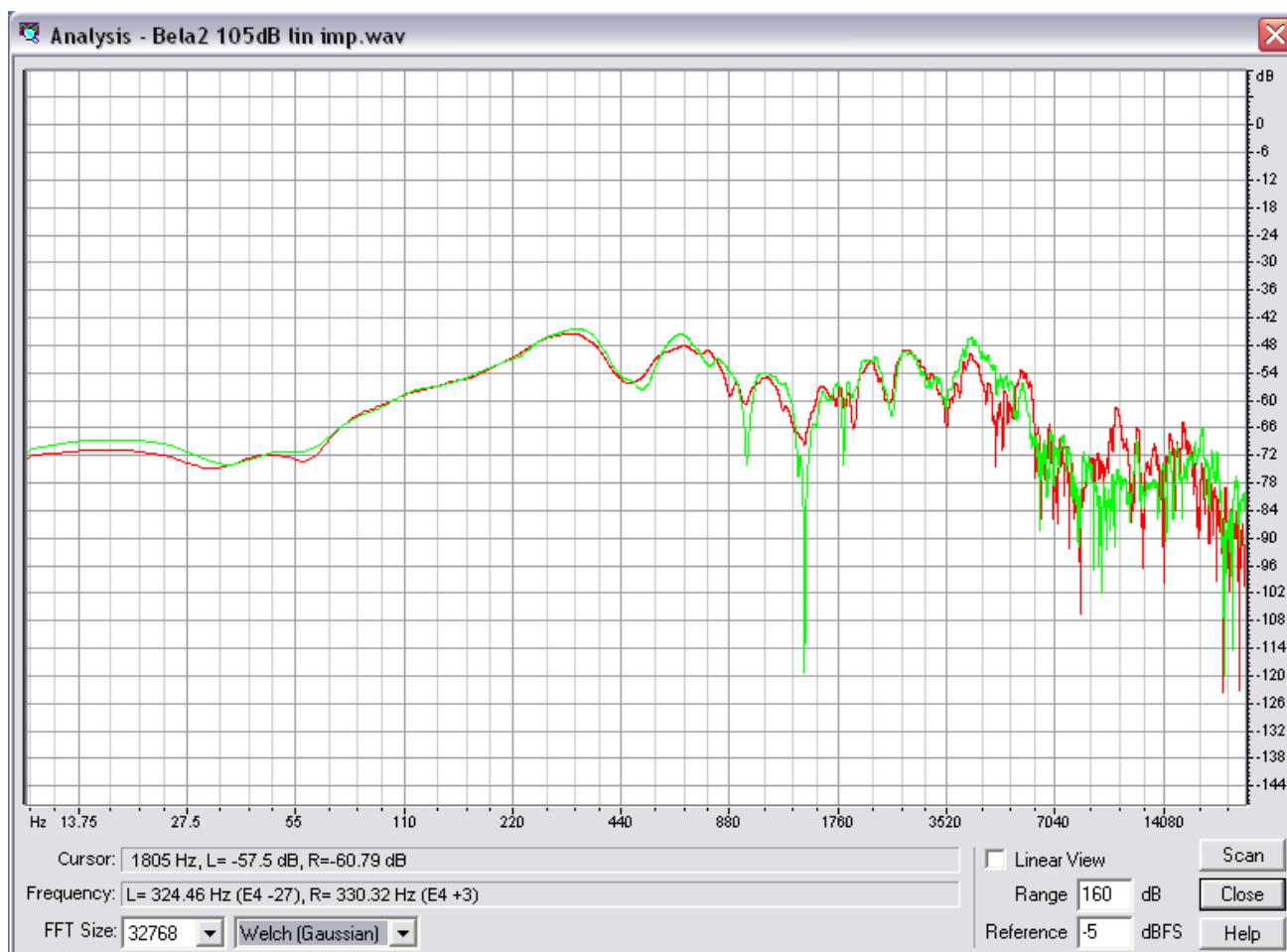
6.15.ábra: Binaurális felvétel készítése élő emberen 90°-kal balra.

A 6.15. ábrán látható felvétel szintén rajtam és szintén előbb említett beállítások és körülmények között jött létre, annyi különbséggel, hogy a hangforrás szembe irányhoz képest balra 90°-kal lett elhelyezve. Látszik az a szinkronhiány, amit a fülek távolsága okozott. Jelen esetben is a végeredmény (fülek távolsága) ugyan az, mivel ugyanaz a személy volt a kísérlet alanya. Ennél a kísérletnél sem volt felhelyezve a szivacs a mikrofonvégre.

7. A felvételek frekvenciatartományban.

Az általunk a műfejre helyezett binaurális mikrofonokkal felvett időfüggvényt frekvencia tartományba átraktuk. Ezt a Cool Edit programmal hajtottuk végre. A kijelölt részt fogja

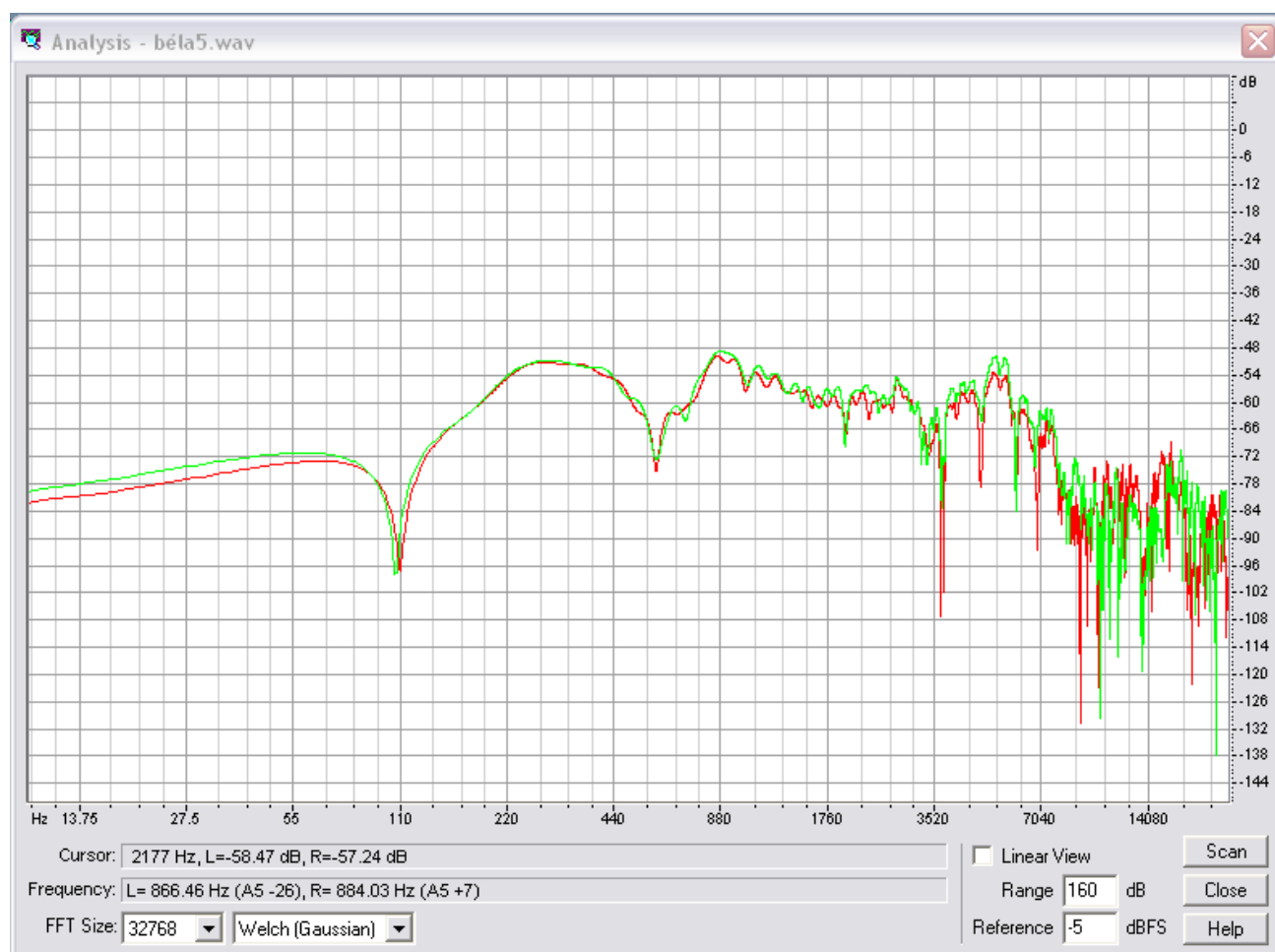
analizálni, tehát először ki kell jelölni, hogy mit szeretnénk elvégeztetni vele. Az Analyze menüpont alatt a Frequency analysis-sel tehetjük meg. Itt a scan-ra kell kattintani és így másolja be és végzi el a kért műveletet, majd jeleníti meg egy ablakban. Ha nem kattintunk rá a scan-re akkor is mutat ábrát, de ez az ábra csak azt a célt szolgálja, hogy be tudjuk még szkennelés előtt állítani a kívánt tartományra a HRTF-eket.



7.1. ábra: Binaurális HRTF

A 7.1. ábrán a műfejünkre illesztett binaurális mikrofon által felvett jelet analizáltuk a frekvenciatartományba. A hangforrás helye a szemben irány volt. A felvétel elejéről kivágtuk az oda nem kellő részt és azután szkenneltük be. Az ábrán a HRTF függvényeink a -43dB és a -124dB-es értékek közé esnek. A két függvény mondhatni teljesen egymásba simul, igaz ez nem minden frekvencia értéknél van így pl.: 1300 Hz-nél, ahol egy beesés figyelhető meg. A 7.2. ábra szintén a műfejre helyezett binaurális mikrofonunkkal és a mérőrendszer segítségével vettük fel. Nagyon hasonló a két ábra, ezen is van beesés és a két

HRTF is egymásba simul. Az értéktartomány 90dB körül van ami közé esik a két HRTF-ünk.

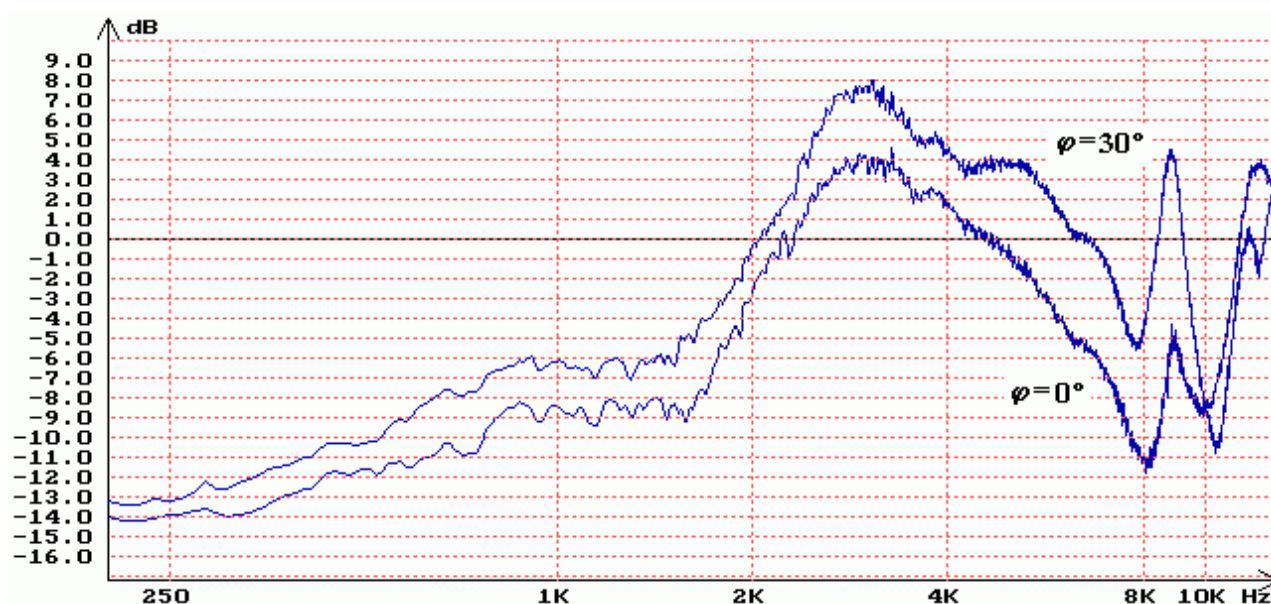


7.2. ábra: Binaurális HRTF

7.1. Spektrumképek a D1-es teremből

Mielőtt az általam, valamint a Nyikos András által mért teremimpulzusokból összeállítanám a Cool Edit segítségével a spektrumképet, azelőtt egy formázáson kell átesnie az időfüggvényeinknek. Ezt a formázást az alatt értem, hogy az időfüggvény elejéről ki kell vágni a felesleges részt. Ez a felesleges rész a hang keletkezése „lufi durranása” előtti idő. Kiszámítása a következőképp alakul: A hangforrás és a hangnyelők jelen esetben a mikrofonunk közötti távolságot lemértük és a hőmérsékletet meghatároztuk ez kb.:20C° volt. 20C°-nál a hang terjedési sebesség 344m/s. A távolság 20 méter volt a mikrofonunk és a hangforrásunk között és a hang terjedési sebessége 344m/s, akkor az eredmény:0.0581 secundum lesz. A D1-es teremben máshonnan is mértük a lufidurranást, de csak a hátsó sorból vett méréseket vetettem össze a Nyikos András által felvett lufi4 felvétellel. A lufi4-es felvételt abból a célból választottam, mert a többi felvétel teljesen túl volt vezérelve és az általam készített felvételek viszont nem. Ez a felvétel nagyságrendekben hasonlít az általam készített felvételekhez. Persze a két függvény nem hasonlít, majd egymásra mivel az egyikben gömb karakterisztikájú mikrofont a másikban pedig binaurális mikrofont

használtunk, ami még bele is volt helyezve a fülünkbe és a fülünk szűrő hatása is látszani fog az elkészített felvételen.



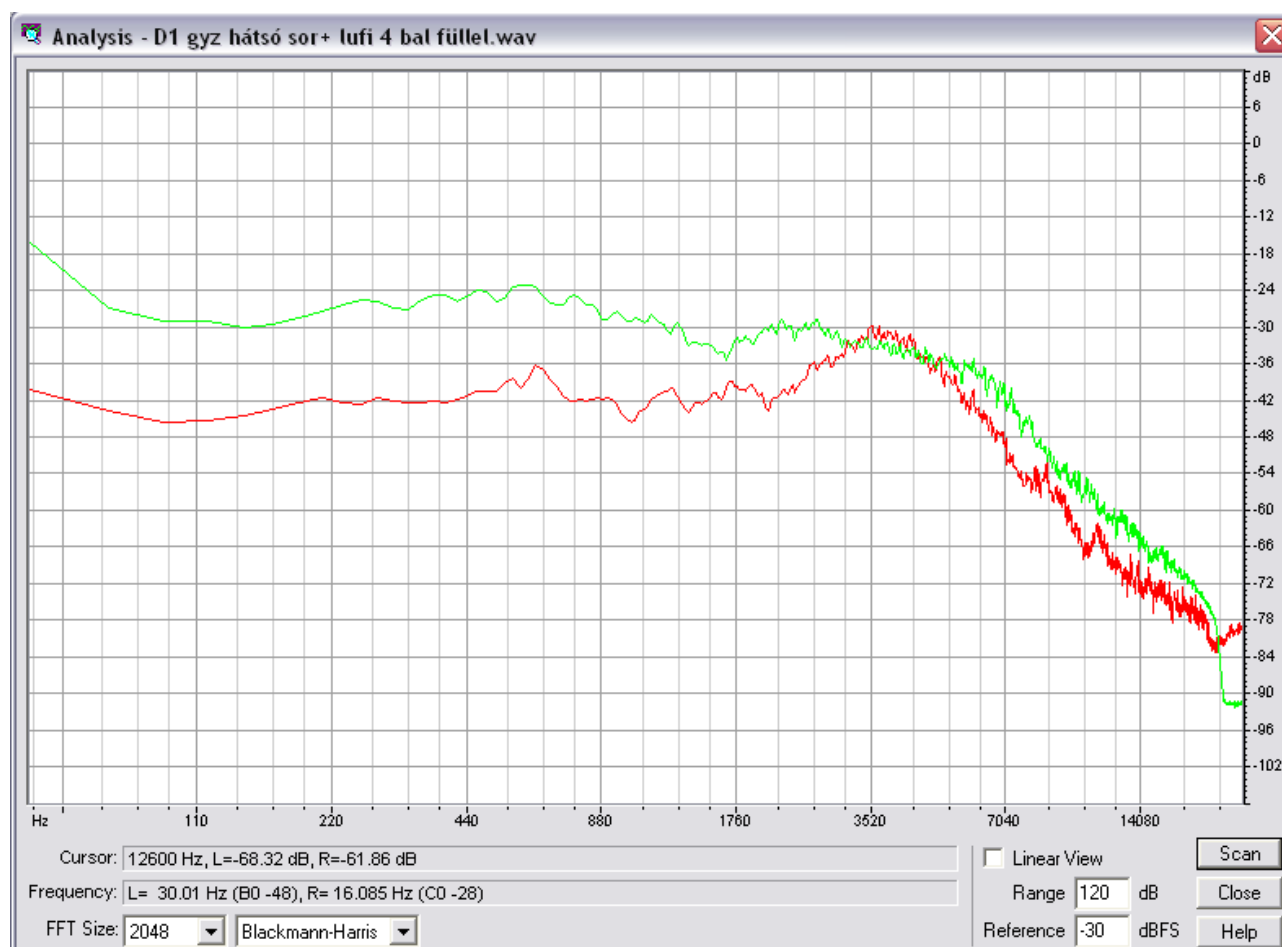
7.3.ábra Viszonyítási alap az alábbi HRTF-ekhez



7.4.ábra: HRTF binaurális mikrofonnal és gömbmikrofonnal készített felvétel

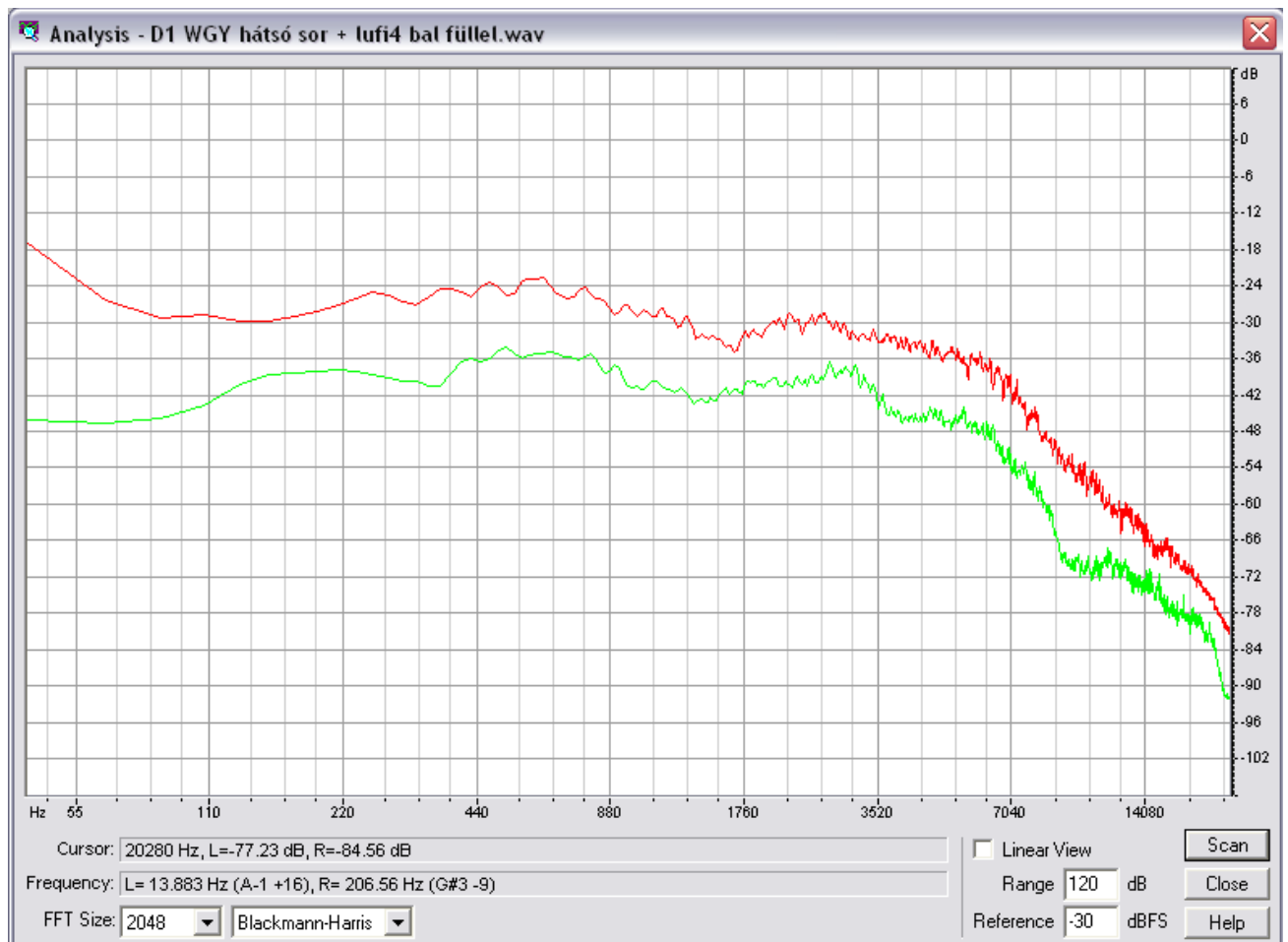
Az elemzéshez a 7.3.ábrát használom viszonyítási alapként, ehhez az ábrához és a 0°-os függvényhez viszonyítom az általam készített többi HRTF-et. A 7.4.ábrával kezdeném. 2 db

függvényt láthatunk a képen. A két függvény által közrefogott kb.: 80 dB-es rész, ami -18 dB-től egészen -92 dB-ig tart. Látszik a felvételen, hogy a két függvényünk most nem simul egybe van közöttük pár dB-es különbség. Ez a különbség abból adódik, hogy 2 felvételt készítettünk és 2 lufit használtunk a kísérleteknél, amik nem egyforma hangerősséggel durrantak ki. A legfelső függvényünk a gömb karakterisztikájú mérőmikrofonnal lett elkészítve. Ezen a függvényen látszik, hogy hangosabb az alatta elhelyezkedő binaurális mikrofonnal felvett függvénynél. Az én fülemben helyeztem a mikrofont és így a HRTF az én fülemhez igazodott. A jobb fülemben felvett felvételt vettem össze a lufi4-es felvétellel.



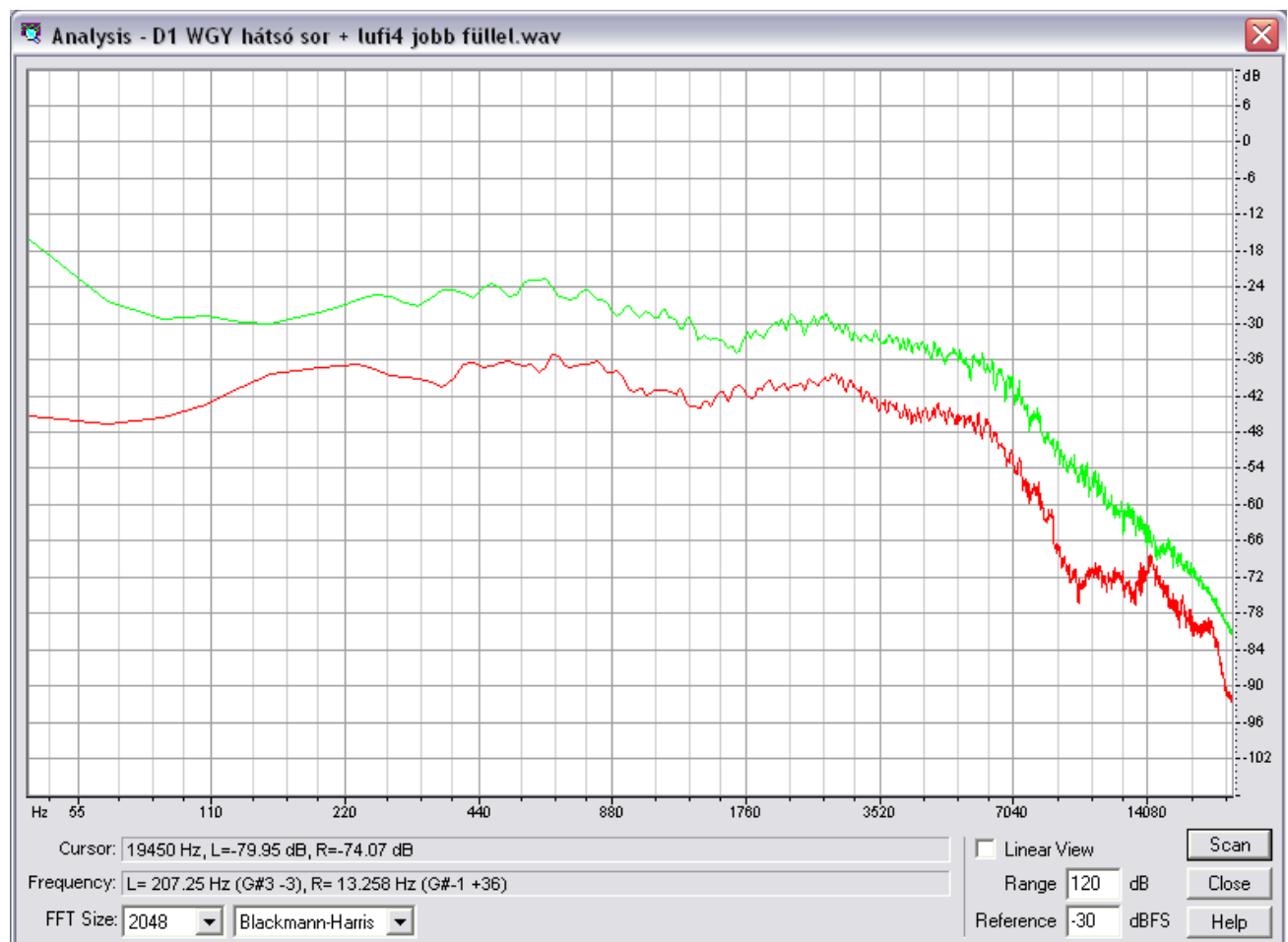
7.5.ábra: HRTF binaurális mikrofonnal és gömbmikrofonnal készített felvétel 2

Az én fülemben elhelyezett binaurális mikrofonnal készített felvételnek a bal csatornáját vágtam össze a lufi4 másik csatornájával. Az alsó függvény az én bal fülem. Ezt abból is lehet tudni, hogy az emberi HRTF-ek általában így néznek ki. Megfigyelhető, hogy 3 kHz-nél van egy domb, mely után 4 kHz és 9 kHz közötti lejtő található, mely során 8 kHz környékén található még egy kis kiugrás. Ez a kis kiugrás jobban a 7.4.ábrán figyelhető meg. A 7.5.ábrán is megfigyelhető ez a kis kiugrás, de itt nem annyira szembetűnő.



7.6.ábra: Wersényi Györgyön mért HRTF és lufi4 felvétel

A 7.6.ábra Wersényi György bal fülének HRTF-jét és a lufi4-es felvételt tartalmazza. A hangforrás mindegyik esetben a 7.3.ábrához viszonyítva a szembe irányt tekintetem, de talán 20° eltérés volt a szemben irányhoz képest jobbra és talán még a függőleges tengelyhez képest lefele szintén 20° -kal volt a hangforrás iránya. Azért is tekintetem szembe irányt alapul, mert a mintavételeni szintűre nagyított időfüggvényen a jobb és a bal csatornának a hang kezdeti megjelenése alig érzékelhető volt. Talán a nagy távolság és a jelszint miatt nem lehetett kivenni ezt az értéket annyira. A beállításnál FFT Size értékét alacsonyra választottam, mert ha nagy értéken hagytam volna túlságosan is szórós lenne a jel. A 7.7.ábrán a Wersényi György jobb fülének HRTF-je és a lufi4-es felvétel szerepel. Látszik a 7.6.ábrán szereplő bal fül HRTF-jén, hogy a kettő HRTF különbözik egymástól. Individuális HRTF-eket hoztam létre, amiket szétválasztva összegeztem a frekvencia és a hangnyomás függvényében.



7.7.ábra: Wersényi Györgyön mért HRTF és lufi4 felvétel 2

8. Összegzés:

- A binaurális mérőrendszer összeállítása és a szükséges szoftverek feltelepítése nem okoz túl nagy nehézséget a rendszert használni vágyónak, ha figyelemmel kíséri az általam leírtakat. A rendszer kiépítése könnyű és nagyon hasznos különböző alkalmazási területeken való elengedhetetlen részvétele során. Méretét, árát, kezelhetőségét, alkalmazási területeit figyelembe véve számomra ez a rendszer jelenti a egyénre szabott HRTF-ek készítésének jövőjét.
- A méréseim során megpróbáltam kiszűrni és rávilágítani az esetlegesen előforduló problémákra. A nagy nehézséget a felhasználó és az én számomra a mérés jelenti, jelentette. A lufi durrantással keltett impulzus az időfüggvényen túlvezérlést vagy kicsi jel/zaj viszonyt eredményezett. Nem mindegy, hogy mekkorára fűjjük és nem mindegy milyen eszközzel durrantjuk ki az általunk használt lufikat. Nem tekinthetjük egzakt hangforrásnak nem tudjuk beállítani a lufit, hogy például minden egyes esetben 100 dB-el durranjon. Ennek a hiánya azt eredményezte számunkra, hogy próbálkoznunk kellett lufi durrantások sorozatával és így próbáltuk meg beállítani a helyes jelszintet, ami még nem túl halk és nem túl hangos. Valamint szemmértékre megpróbáltunk azonos nagyságú lufikat fűjni, ezzel is csökkentve ezt a meglehetősen nagy hangnyomás ingadozást, amit egy majdnem teljesen felfűjt és egy alig felfűjt lufi jelentett.
- Az utolsó pontban bemutatott spektrumkép készítése előtt a felvételek elejét vágni kellett, hogy pontos ábrát kaphassunk. A vágásnál a hangforrás és a mikrofon távolságát lemérve számoltam ki a hang által megtett utat a képletünkbe helyettesítve. Az analízáláshoz kicsi FFT méretet választottam, a jelünk jobb láthatósága kedvéért, mivel nagy értéknél a jelünk túlságosan szőrösnek bizonyult.
- Remélem, hogy az elkövetkező szakdolgozati munkák során lesz olyan szakdolgozati téma miszerint a binaurális mérőrendszer szükségeltetik a témához és segítségül tudja venni az én tapasztalataimat és a rendszer összeállításával kapcsolatos leírt dolgokat.

9. Felhasznált irodalom

Jegyzetek, könyvek:

- Dr. Wersényi György: Műszaki Akusztika; Győr 2004
- Dr. Wersényi György: Térbeli hallás; Győr 1998
- Dr. Wersényi György: Stúdiótechnika jegyzet (könyv), 2007.08.27
- Dr. Wersényi György: A külső fül fejre vonatkoztatott átviteli függvényeinek vizsgálata, Győr 1999
- Dr. Wersényi György: Virtuális hangtér-szimuláció és a binaurális technológia, Győr 2007.02
- Dr. Wersényi György: A sztochasztikus hallás és érzékelés, Győr 2007.03
- Dr. Wersényi György: Directional Properties of the Dummy-Head in Measurement Techniques based on Binaural Evaluation, 2007.08
- Dr. Wersényi György: Localization in a HRTF-based Virtual Audio Synthesis using additional High-pass and Low-pass filtering of Sound Sources, 2007.07

Internetről felhasznált anyagok:

- <http://www.widex.hu/kulsoful.html>
- http://www.informed.hu/betegsegek/betegsegek_reszletesen/orl/outer_ear/otitis_externa/?article_hid=22629&_voteadmin_site=1875
- www.bksv.com
- www.digigram.com