

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Hang.....	4
2.1. Hangtani alapfogalmak	4
2.1.1. Hanghullám	4
2.1.2 Hangnyomás és intenzitás	4
2.1.3. Hangforrás.....	6
2.1.4. Irányhallás	6
2.2. A hangtér a fülek közelében	7
2.3. Helymeghatározhatóság.....	7
2.3.1. Lokalizáció	7
2.3.2. Lokalizációs bizonytalanság	8
2.4. A dobhártya.....	11
2.5. A fülkagyló	12
3. Psychoakusztikus hallás.....	14
3.1. Fejközépi hallás	14
3.2 Hallás a vízszintes síkban	14
3.2.1 Különbségi idő	14
3.2.2 Szint különbség	16
3.3 Monaurális és Interaurális jellemzők.....	16
3.3.1 Monaurális jellemzők.....	16
3.3.2 Interaurális jellemzők.....	17
3.4 Átviteli függvények és mérése.....	17
3.4.1 Általános leírása	17
3.4.2 Mérése	18

4. Psychoakusztikus hallás vizsgálata, mérése	24
4.1 VAD (Virtual Acoustic Display)	24
4.2 MAA (Minimum Audible Angle).....	24
4.3 Beachtron-kártya.....	26
4.4 Mérés folyamata	27
4.4.1. A mérőprogram működése.....	28
4.4.2. Abszolút mérés.....	30
4.4.3. Szűrt mérés.....	38
5. Kiértékelés.....	41
5.1 Abszolút mérés	41
5.1.1 3x3-as mérés.....	41
5.1.2 5x2-es mérés.....	41
5.2 Szűrt mérés	42
5.3. A két különböző mérési folyamat összehasonlítása	43
5.4. Előzményekkel való összehasonlítás.....	44
6. Összefoglalás	45
7. Felhasznált irodalom	46
8. Melléklet	47

1. Bevezetés

A szakdolgozat egy olyan térbeli hallás szimulációs feladat, amit embereken kellett elvégezni. Emiatt rájuk voltam utalva és kénytelen voltam elfogadni a megfigyeléseiket.

A feladat része egy fejhallgatón keresztül történő hangtér szimulációs kísérletsorozatnak. Ennek első lépésében 40 ember értékelte ki a rendszer felbontóképességét a frekvencia függvényében. A tesztek során fejhallgatón keresztül különböző frekvenciájú zajimpulzusokat kaptak, melyeket meg kellett különböztetniük (diszkrimináció). A szimuláció egy egyszerű PC-s DSP kártyán fut, mely a bemeneti mono wave fájlt a merevlemezről veszi, a fül szűrőhatását jellemző átviteli függvényeket a memóriából, a kettő együttese, pedig a szimulált hangteret eredményezi. A kártya programozása egyszerű C++ utasításokkal történt (összesen mintegy 10 utasításra van szükség, példaprogramokból).

A rendszer része a GUIB (Graphical User Interface for Blind Persons) kutatásnak, ahol a cél vakok számára olyan rendszer kifejlesztése, mellyel tudnak PC-t (Windows-t) kezelni egérrel, hangok alapján tájékozódva. A képernyőt kell olyan mértékben felosztani, hogy a különböző eseményekhez rendelt hanghatások (Earcon) térben jól elkülöníthetők legyenek és az egérrel megtalálhatók. Ezek a hanghatások lehetnek ablakmozgatások, fájl megnyitás és minden olyan feladat, amit egy számítógépen el lehet végezni.

A szakdolgozatomban egy rövid áttekintést, illetve ismertetést írok a hallás alapjairól, hogy mi a hangerősség és a többi alapvető fogalom. Szó lesz még az átviteli függvényekről (HRTF) és a lokalizációról, amelyeknek ismerete elengedhetetlen ahhoz, hogy igazán megértsük a mérés folyamatát.

Egy rövid ismertetés a hangkártyáról (Beachtron-kártya), ami lehetővé teszi a számítógépről érkező hang térbelítését.

2. Hang

2.1. Hangtani alapfogalmak

2.1.1. Hanghullám

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

A rezgés általános alakja:

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

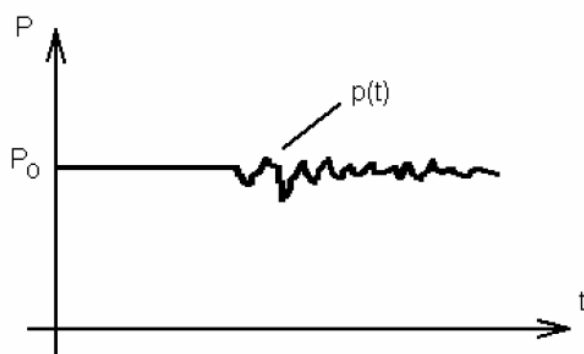
ahol $y(t)$ a pillanatérték az idő függvényében, A az amplitúdó, ω a körfrekvencia [rad/sec]-ban, az A_0 amplitúdó egyen szintje (ez általában 10^5 Pa)

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 m^2 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:

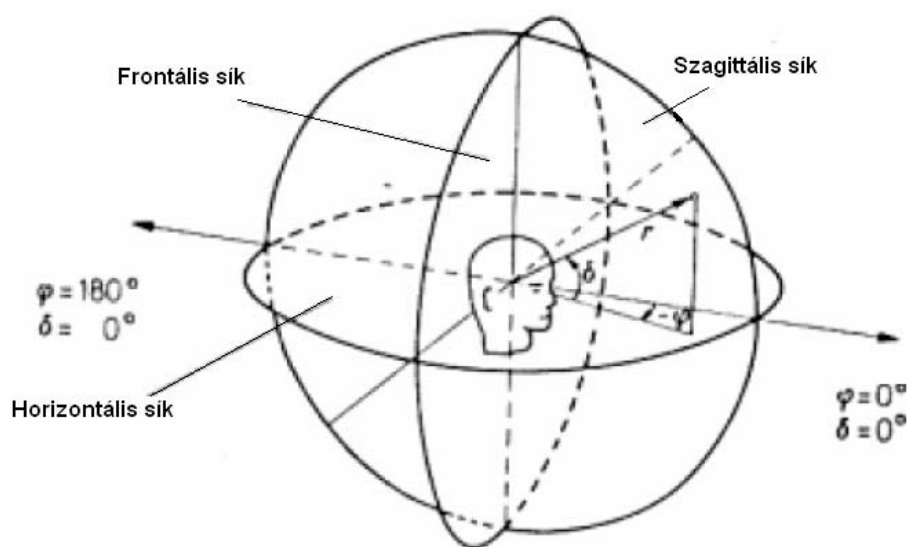
$$P = 20 \log (P/p_0) \text{ [dB]}$$

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

2.1.3. Hangforrás

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

- helye
- iránya
- szöge



2.2. ábra. Fejhez rögzített koordináta-rendszer

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

2.1.4. Irányhallás

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

2.2. A hangtér a fülek közelében

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

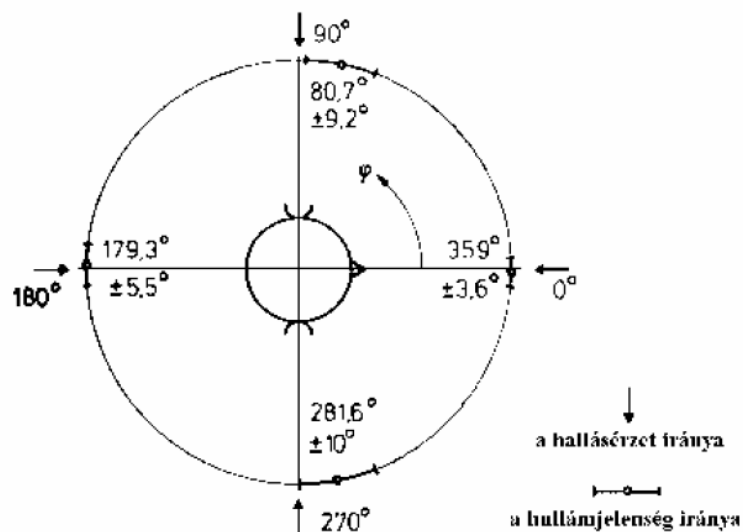
2.3.1. Lokalizáció

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.

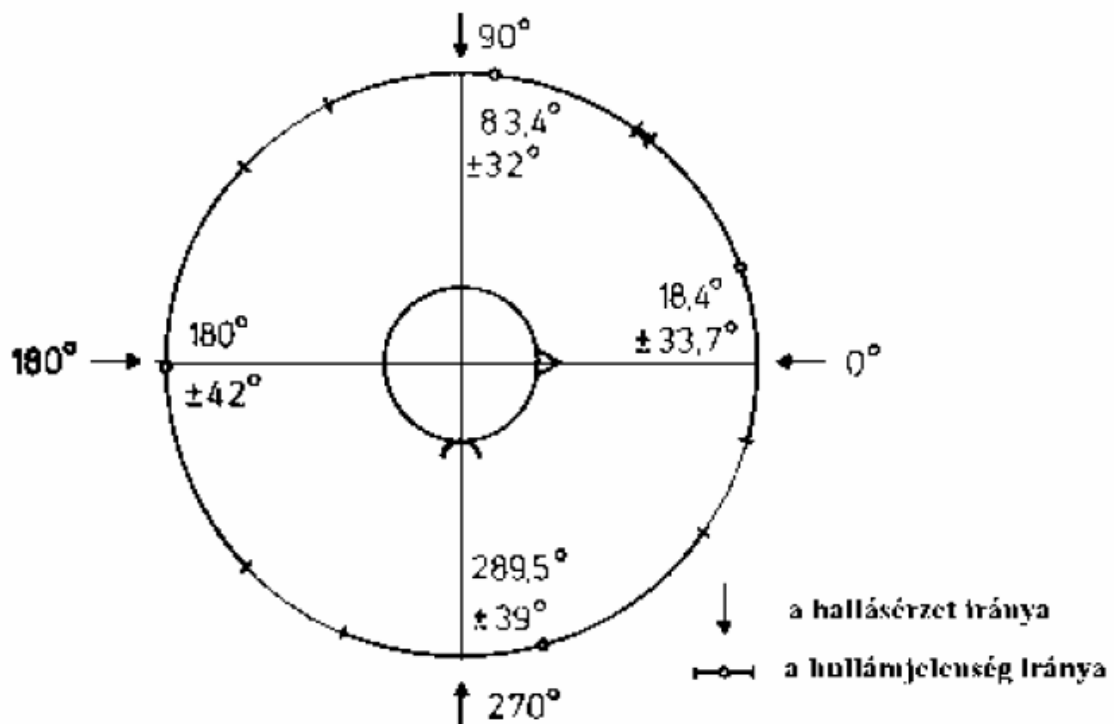
Ez elsősorban a hangforrástól (helyétől, erősségétől, és múltbeli előéletétől is) függ. Figyelemre méltó tény, hogy egy forrás esetén is alakulhat ki több hallásérzet.

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 $1'$ -nél kisebb változásokat is érzékelni képes. A horizontális síkban a „szemben” irányban a helymeghatározás $\pm 3^\circ$ körüli minimális bizonytalanságot mutat, „oldalt” $\pm 10^\circ$, „hátral” $\pm 5^\circ$ (2.3 - 2.4. ábra). Csökken a bizonytalanság (tehát javul a felbontóképesség) időben hosszan tartó jeleknél (szinuszos), mert ekkor több ideje van a fülnek a feldolgozásra és az információ kinyerésére, ellentétben az impulzusgerjesztés esetével. A bizonytalanság a frekvenciától is függ.

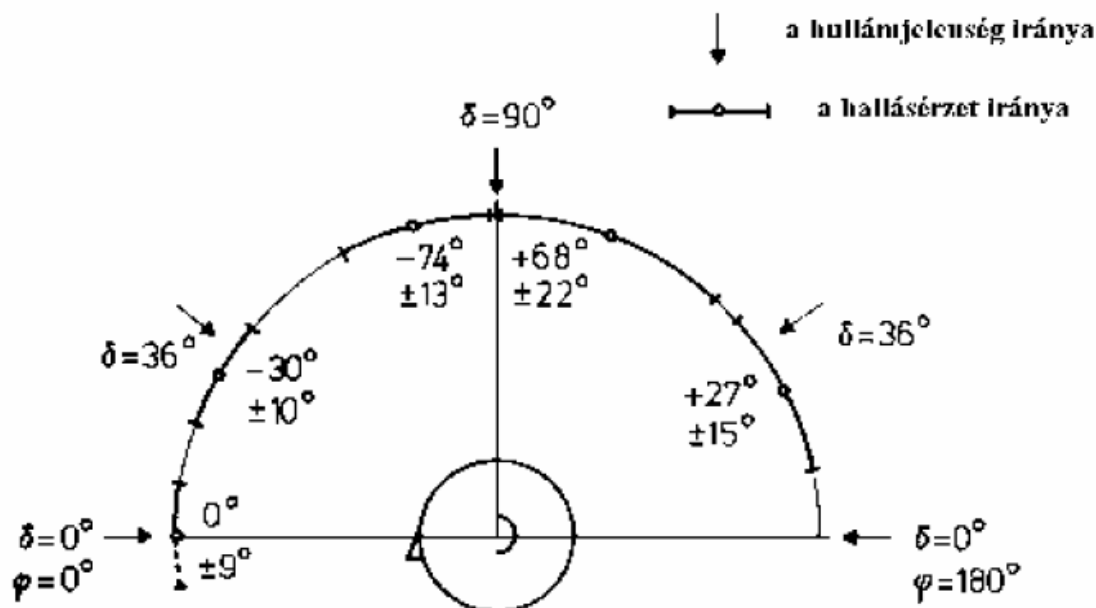


2.3. ábra. A lokalizációs bizonytalanság ($\Delta\varphi_{\min}$), és a lokalizáció a horizontális síkban. 900 alany, 100 ms.-os fehérzaj impulzus, 70 phon, a fej fixált. A lokalizáció esetén a hangszórót a megfigyelő mozgatta úgy, hogy azt a nyíl által jelölt irányból hallja. A hangszóró ekkor a „hullámjelenség 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 $\pm 9^\circ$ (2.5.ábra), de ismeretlennél $\pm 17^\circ$ -ra nőhet. Ismeretlen jeleknél felléphet az a hatás, hogy az impulzus jelet az ember a fej mögötti hátsó szektorokban érzékeli, holott a forrás szemben van. Ezt a jelenséget, amikor a megfigyelő a forrást a mediális síkban észleli, de az elől-hátul iránymeghatározásban téved (összekeveri) front-back hibának nevezzük. A lokalizációs vizsgálatok alapvető módja ennek hibaszázalékos összehasonlítása. Fontos, hogy a hallásérzet iránya nem csak a hullámforrás irányától, hanem a frekvenciától is függ.



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

A térhallást három jellemző alapján vizsgáljuk: irányhallás a horizontális (vízszintes) ill. a mediális síkban, valamint a távolsághallás alapján. Bizonyos nehézségek a vízszintes síkban történő méréseknél felléphetnek:

1. Több (keskenysávú) jel összege több helyről érkezőnek tűnhet. Ez az oka, hogy az egy helyben ülő madár éneke úgy tűnhet, mintha az közben változtatná a helyét.
2. Relative keskenysávú jelek esetén előállhat az a jelenség, hogy az érzet nem a hang beesési iránya felől, hanem a fül tengelyére tükör szimmetrikusan (pl. a beesés 30° , érzet kialakulás 150° -os irányból) lép fel.

Ezek a jelenségek nem lépnek fel, ha a fej mozoghat, ezért ez nagyon lényeges paraméter. Először rögzített fejű méréseket végeztek. Távolsághallásnak nevezzük a hallásnak azt a folyamatát, mikor az agy a füljel bizonyos jellemzőiből a hangforrás távolságára következtet. A távolság meghatározásának pontossága jelfüggő, ezért lényeges, hogy a megfigyelő ismeri-e a jelet. Beszédnél a távolság meghatározhatóságának határa 3-7 méter, attól függően, hogy a jel suttogó vagy

normál beszéd. Természetesen a távolság és a helymeghatározhatóság erősen függ magától a távolságtól és a forrás hangosságától is: 3 m.-nél nagyobb távolság, és ismeretlen zaj esetén a lokalizálhatóság már nem is a forrástávolságtól, hanem elsősorban a hangerőtől függ. Fontos a jelforrás helyváltoztatásának gyorsasága is. A hallás bizonyos „tehetetlenséggel” rendelkezik, azaz bizonyos időre van szüksége, hogy a forrás helyváltoztatását követni tudja. Egy kísérlet során körben elhelyezett hangszórókból adták a jelet, különböző sebességgel járatván azt körbe-körbe. Megfigyelték, hogy ha a forgás sebessége elég lassú, akkor a hallás az elfordulást érzékeli, és a megfelelő hangszóróhoz az érzetet helyesen hozzá tudja rendelni. Ha gyorsul a mozgás, akkor olyan érzés alakul ki a hallgatóban, mintha a forrás jobbra-balra pattogna. Túl gyors változás esetén pedig diffúz hangtér alakul ki a fejben, és úgy tűnik, minden hangszóró egyszerre szól.

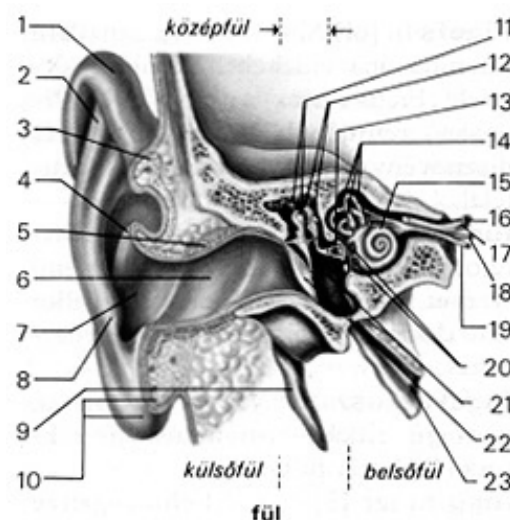
2.4. A dobhártya

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

2.5. A fülkagyló

A fülkagyló, mint lineáris szűrő, lineáris torzítással vesz részt a hallásban. Frekvencia átvitele irány- és távolságfüggő. A beérkező hanghullámokat a hallójárat felé reflektálja, így hatásával hanggyűjtő szerepet tölt be, de ugyanakkor árnyékol is a forrás irányától függően. Mivel a reflexió 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 pontjára (a dobhártyáig) a külső fül komplex átviteli függvényének nevezzük. Ezen HRTF (Head Related Transfer Function) függvényeket a fejhez rögzített koordináta-rendszerben mérjük

A fülkagyló felépítése:



2.6. ábra. A fülkagyló felépítése

1-fülszegély (helix); **2**-belszegély (anthelix); **3**-a fülkagyló rostos porca **4**-fülcsap (tragus); **5**-mirigyréteg; **6**-külső hallójárat; **7**-fülkagylóárok; **8**-antitragus; **9**-csontnyúlvány (processus styloideus); **10**-fülcimpa és metszete; **11**-a kalapács és felső szalagja; **12**-üllő és felső szalagja; **13**-kengyel; **14**-félkörös ívjáratok; **15**-csiga (cochlea); **16**-belső hallójárat; **17**-arcideg (nervus facialis); **18**-vestibularis ideg ;**19**-cochlearis ideg; **20**-kerek (fenestra cochleae) és ovális ablak (fenestra vestibuli); **21**-dobüreg; **22**-dobhártya; **23**-fülkürt (Eustach-kürt);

3. Psychoakusztikus hallás

3.1. Fejközépi hallás

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

3.2 Hallás a vízszintes síkban

3.2.1 Különbségi idő

Az interaurális idődifferencia azt jelenti, hogy a jelek egymáshoz képest időben eltoltak. Az oldalirány-hallás szempontjából ez a leglényegesebb füljel-jellemző. Amelyik fülhöz hamarabb ér a jel, a hallásérzet a mediális síkból 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 1600 Hz feletti komponenseket, mint azok melyek nem. Kérdés, miként befolyásolja az érzékelést a különböző frekvenciájú hangok burkolója? Megállapítható, hogy a burkoló kiértékelése segíthet. Különböző vivőfrekvenciájú jelek esetén (pl. keskenysávú zaj 1.6 kHz alatt) a burkolótól függően különböző oldalkitérést érzékelhetünk. Ha nincs 1.6 kHz alatti spektrumkomponens, az eltolás a mikrostruktúrában nem számít, csak a burkoló. Ezért különböző frekvenciájú vivő, de ugyanaz a burkoló okozhat ugyanolyan érzetet. A laterizáció 1.6 kHz felett a burkoló alapján történik. A laterizáció függ attól, hogy a vivő 1.6 kHz alatt van-e, és a burkoló hullámosságától is, azaz mennyire meredek változások vannak benne.

Burkolókiértékelés már 500 Hz-en is van, és ha a frekvencia nő, ez egyre jobban dominál a kiértékelés során. Értelmezünk laterizációs bizonytalanságot is (interaurális idődifferencia esetén), mely csökken emelkedő szint és növekvő jelidőtartam esetén.

3.2.2 Szint különbség

Tisztán interaurális szintkülönbségek esetén a helyzet olyan, mintha a füljelek csakis a szintjükben térnének el egymástól. Úgyis elképzelhetjük, hogy ugyanazt a jelet vezetjük a két fülhöz, és mindegyikhez állítható erősítést iktatunk be. Azonos 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 perceket vesz igénybe.

3.3 Monaurális és Interaurális jellemzők

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

3.3.1 Monaurális jellemzők

Ezek a jellemző tulajdonságok az egyfülű hallásra jellemzőek, és az érzet helyének kialakulásában nagy szerepük van. Ilyen jellemzők minden egyes hangjelben találhatók. Ezekből az érzet távolságára, az emelkedés szögére és az előre-hátra irányok meghatározására következtethetünk. Ezt fejhallgatón kétféle képen tudjuk

sugározni, vagy úgy hogy az egy jel szól mindkét fejhallgatón (diotikus), vagy úgy hogy csak az egyik fejhallgató szól a kettőből (monotikus). Ez a mediális síkban lép fel általában.

3.3.2 Interaurális jellemzők

Ez csak a kétfüles hallásra hasznosíthatók. Ezek az 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.

3.4 Átviteli függvények és mérése

3.4.1 Általános leírása

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 $\varphi=\delta=0^\circ$. Ekkor a hallójárat mérési pont is megfelelő, mert a referencia is ott van. Ezen második esetben mérhető átviteli függvényt $A_2(f)$ -el jelöljük.

3. Interaurális: A két hallójáratban fellépő hangnyomást veti össze. Mindkét hallójáratban azonos időben kell mérni. Ez a harmadik $A3(f)$ függvény az első két esetből számolható is:

$$A3(f)_{\Phi=30} = \frac{A2(f)_{\Phi=330}}{A2(f)_{\Phi=30}},$$

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:

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

Ezek után lehet felvenni a „hallhatósági függvényt”, azaz a hallásküszöb frekvenciafüggését ill. az azonos hangosságú pontok frekvenciamenetét (Fletcher-Munson). A monaurális átviteli függvény adódik a küszöbgörbék különbségeként ill. az azonos hangosságú görbéknek a referenciától való eltéréséből. A hallásküszöb felvételének egy jó módszere a Békésy-féle lengőkiegyenlítéses vizsgálat: a hangerőt egyenletesen növeljük, amíg a kísérleti személy gombnyomással jelzi, hogy a hangot meghallotta. A gomb nyomva tartásával a hangerő csökkenni kezd mindaddig, amíg a megfigyelő azt már nem hallja. Ekkor elengedi a gombot, és a hangerőt újra növeli... Az eljárást ismételve a küszöbszint meghatározható (a keresett szint körül fog ingadozni). A fül különböző, a beesési iránytól és távolságtól függő átviteli függvényt produkál. A második és harmadik - féle átviteli függvényt süketszobában kell végezni. Lehet jelfüggő mérést is végezni: impulzusgerjesztés hatására impulzusválaszt vizsgálhatunk. Az átviteli függvény egyenlő a kimeneti jel időfüggvényének Fourier-transzformáltjának és a bemeneti jel Fourier-transzformáltjának hányadosával. Az FFT minden esetben nagy segítséget adhat a sok számolás miatt.

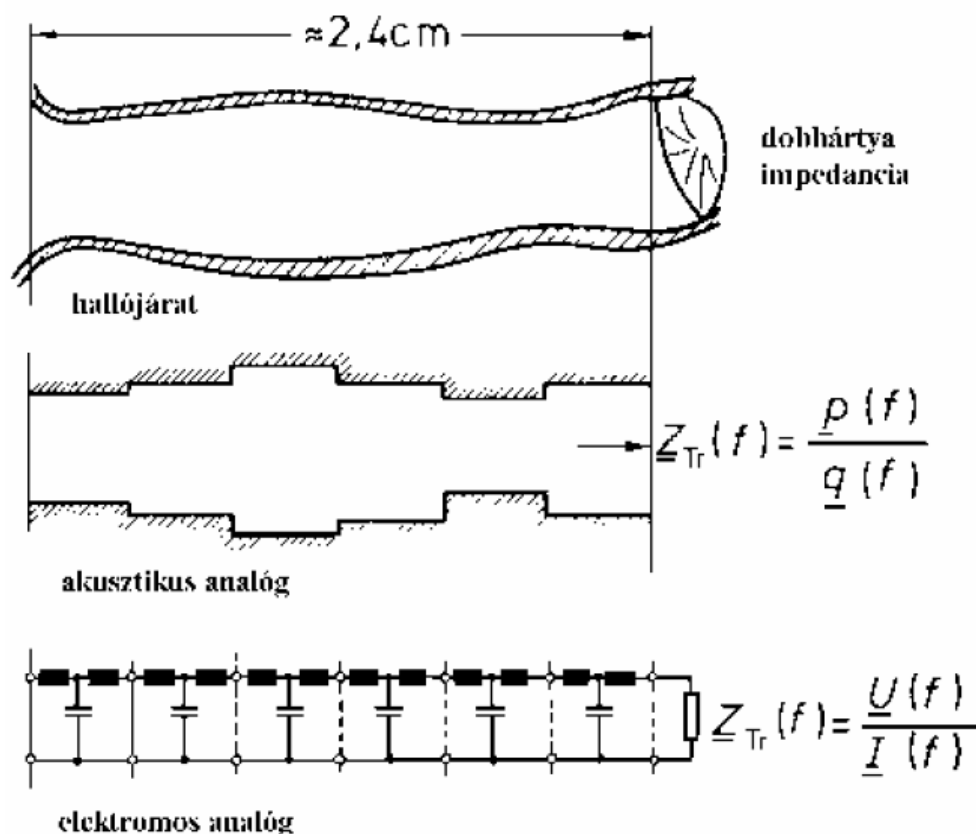
3.4.2 Mérése

Megállapíthattuk tehát, hogy a legfontosabb jel a dobhártyán a térbeli hallás szempontjából a hangnyomás. A csonthallás ellenben, melynek a küszöbszintje kb. 50

dB-el van a légvezetési felett, nem olyan lényeges. Ezért a külső fül átviteli függvényének mérése fontos feladat. Létezik olyan mérés, is ami egyszerre méri a dobhártya impedanciát és az átviteli függvényt is. Újabb megfigyelés, hogy a külső fül iránykarakterisztikája a dobhártya impedanciájától független. A külső fül átviteli függvényének mérését szondamikrofonnal (speciális kondenzátormikrofonnal), és számítógép segítségével végzik. A szondamikrofon tulajdonságai: nagyfrekvencián rossz jel-zaj viszony, és mechanikai érzékenység. Ha a polarizációs feszültséget növeljük, ezek a hátrányok csökkennek. Ha nem a dobhártyán mérnek, egy kisebb méretű hallójáratba illeszthető kondenzátormikrofon is alkalmas. Ennek elégséges a jel-zaj viszonya, de jobban zavarja a teret a hallójáratban, noha ez irány karakterisztika mérésnél nem lényeges. A mérést kellően szélessávú, rövid, null átmenettel nem rendelkező impulzusokkal jó végezni. Hátránya, hogy a jel hamar lecseng nullára, ezért a jel-zajviszony romlik. Ezt küszöböli ki a Hudde-módszer, ami tesztjelként periodikus impulzussorozatot használ, melynek teljesítménye időben egyenletesen szét van osztva. A méréseket többször végezzük el, és az eredményeket megfelelően átlagoljuk. A szokásos átlagolási eljárások nem mindig használhatóak, hiszen éppen a csúcsok laposodnak el, és a lényeges információt veszítjük el. Ezért (pl. teljesítmény alapján) spektrális átlagolásokat is használunk. A dobhártya impedanciáját 20 kHz-ig is képesek vagyunk mérni. Mint ismert, egy akusztikailag szűk csőben - ahol a hullám csak a cső tengelyének irányában terjedhet - a hangnyomás relatív eloszlása csak a cső geometriai méreteitől és a lezárástól függ. Azaz a cső adataiból és két tetszőleges pont között mért átviteli függvényből a lezárás számítható (impulzusjel gerjesztés esetén).

A hallójárat modellezésére több modell készült: Állandó A_0 keresztmetszet feltételezése. Ekkor az impedancia képlete viszonylag egyszerű, azonban hibás, hiszen A_0 helyfüggően változik, melyet sok kis állandó keresztmetszetű cső egymásután rakásával képzelhetünk el. Két ilyen cső átviteli függvényének a mérésével becsülhetjük az $A(l)$ függvényt, azaz a keresztmetszet változását a hallójárat mentén, amelyből a dobhártya impedancia közelítőleg kiszámolható. Szükség van a

hangnyomásra a bejáratnál, és a dobhártya előtt, valamint meg kell mérni pl. a cső felénél. Ebből $A(l)$ becsülhető, és végül az impedancia is (3.1.ábra).

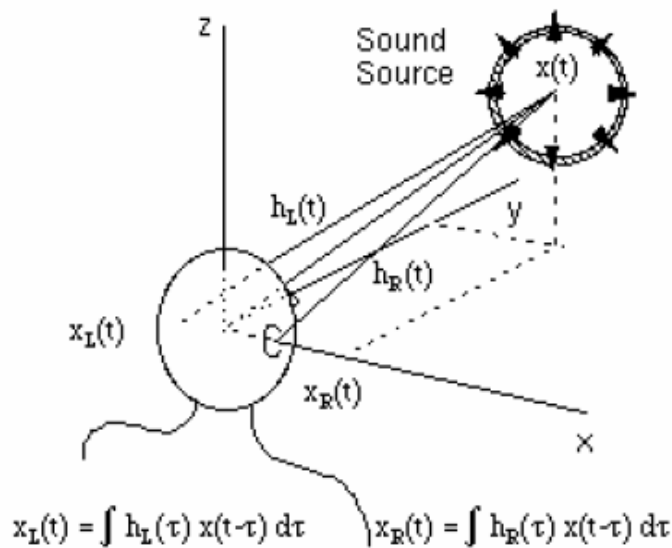


3.1.ábra. A hallójárat, és akusztikai valamint elektromos analógja

Az átviteli függvény analízise során állapítható meg, hogy a hang a forrástól a dobhártyáig lineáris torzítást szenved (amplitúdó- és fázisspektrum változás). Ezek azok a hatások, melyeket a külső fül átviteli függvényével (HRTF) írunk le. Okai az árnyékolás, a reflexiók és az elhajlási jelenségek a fejnél, valamint a fülkagylónál, és természetesen a fülben kialakuló rezonanciák. A méretekből adódóan a fej 500 Hz-től, a kagyló 1.5 kHz-től, a hallójárat, pedig 3 kHz felett okoz torzítást. A HRTF függvények mellett a belőlük számolt HRIR (Head Related Impulse Response) függvények is hordoznak információt (3.2.ábra), de az időtartományban (a rendszer fázisviszonyait vizsgálhatjuk). A fáziskarakterisztika deriváltját, mely bizonyos

esetekben a fázisinformációnál szemléletesebben hordozza az információt, (csoport) futási időnek vagy más néven burkolókésleltetésnek nevezzük:

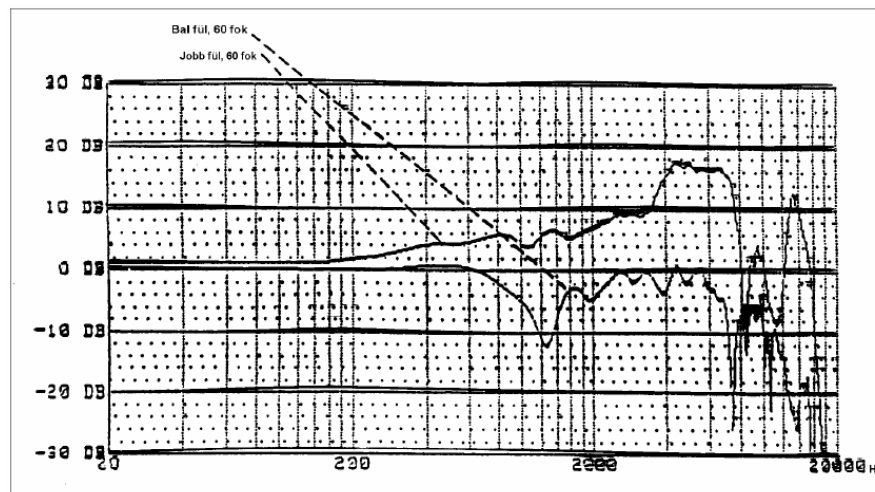
$$\tau(f) = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \Phi(f)}{\partial f}.$$



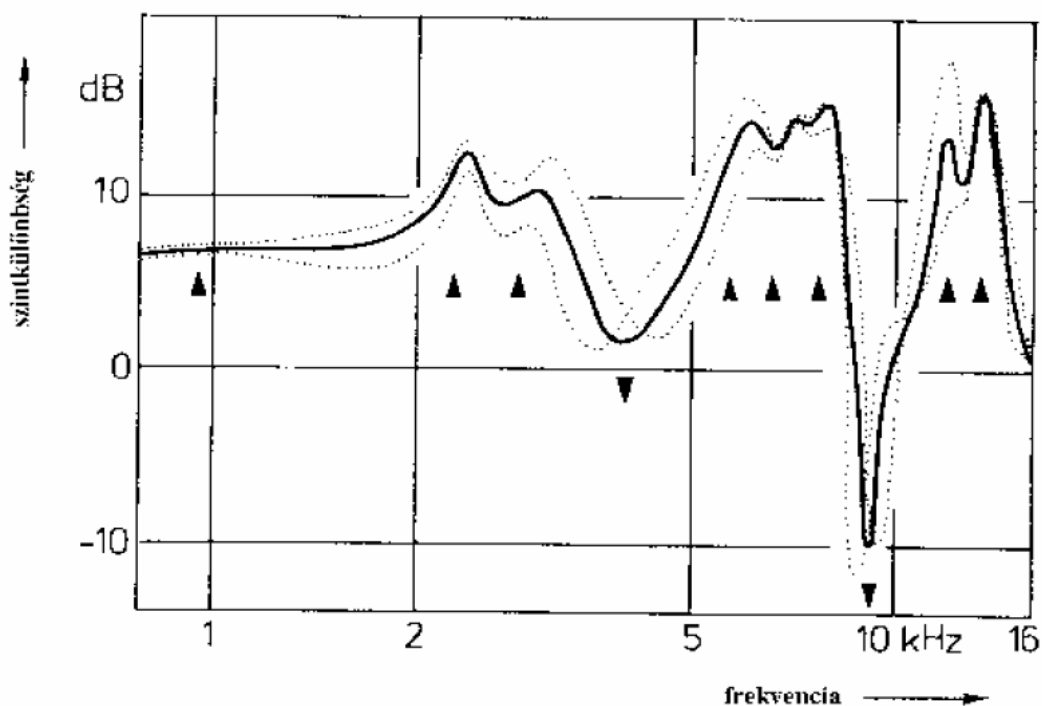
3.2.ábra. Az $x(t)$ hangforrás által keltetett hangnyomást a dobhártyán megkapjuk, ha ismerjük a $h(t)$ impulzusválaszt a forrástól a dobhártyáig. Ez a HRIR, és $H(f)$ Fourier-transzformálja a HRTF. A HRTF tartalmaz mindent, ami a forrás lokalizálhatóságához szükséges, ezért ha ismerjük mindkét fülhöz a HRTF függvényt, pontos binaurális jelet lehet szintetizálni egy monaurális forrásból

A külső fül és a hallójárat az, mely a HRTF-et alapjaiban meghatározza. Emberi fejen készült mérésnél a hallójáratban elhelyezett mikrofon a teret mindenképpen zavarja, és a frekvencia átvitele sem egyezik meg a dobhártyával. Minden vibráció más lesz a hallójáratban, ha ott mikrofon van elhelyezve, ezért az ilyen HRTF mérések nem megfelelőek. A folyadékkal töltött belső fül hatását ezen, függvények egyáltalán nem jellemzik, csak a külső felépítésről, és a hallójáratban zajló folyamatokról hordoznak információt. A HRTF bonyolult függvénye a tér három koordinátájának és a frekvenciának. A méréseket 1 m. forrás távolság felett (távoltér) végzik, mert ekkor a

függés az elfordulási és az emelkedési szögre, valamint a frekvenciára korlátozódik (3.3.-3.4.ábra)



3.3. ábra. Példa mért HRTF függvényre. 60 fokos elfordulási szög esetén, a hangszóróhoz közelebbi fül átvitele erősebb. A szokásos ábrázolási mód a log-log skála



3.4. ábra. Struktúráisan átlagolt szabadtéri (free-field) külső fül átviteli függvények „szemben” irányból. A mérés helye: 2 mm-re ill. 4 mm.-re a hallójáratban

A hallójárat a bejáratától a dobhártyáig egydimenziós hullámterjedést reprezentál, a hangbeesési iránytól és a hangforrás távolságától függetlenül. A méréseket 5 kHz alatt végezzük, mert e fölött $A(l)$ változása számottevő és a veszteségektől sem tekinthetünk el. Iránykarakterisztika-vizsgálatoknál a fülkagyló, a fej és esetenként a felsőtest hatását is figyelembe kell venni. Az iránykarakteristikákat legerősebben a fülkagyló határozza meg, hatása 2 kHz felett jelentős igazán. Fizikai tény, hogy egy hullám, ha $\lambda/4$ -nél kisebb átmérőjű résen halad át, újra gömbhullámú forrásként fog viselkedni, azaz „elfelejti”, hogy honnan jött (Huygens-Fresnel törvény). A hallójárat bementén egy kb. fél cm. átmérőjű rés található, azaz a fül kb. 17 kHz-ig teljesíti ezt a feltételt. Ebből a tényből következik, hogy a (blokkolt) hallójárat bementén felfogott akusztikai hullám teljes térbeli információtartalommal rendelkezik, és nem szükséges a dobhártyán mérni, mert ez a jel ebből a szempontból egyenértékű vele. Az eltérő irányból és távolságból érkező akusztikai hullámokban található térbeli információkülönbségek a hallójáratban már nem változnak, odáig viszont erőteljesen. A kagyló torzítása a mediális síkban történő irányhallás esetén a legjelentősebb (ha kitömjük, zavar lép fel).

4. Psychoakusztikus hallás vizsgálata, mérése

4.1 VAD (Virtual Acoustic Display)

A VAD egy rövidítés, ami a Virtuális Akusztikai Kijelzőt jelenti. Ezt a megoldást széles körben és számos alkalmazásban használják. A VAD felépít egy virtuális környezetet, amiben hangforrások mesterségesen reprodukáltak és a hallgatók lokalizálhatják és azonosíthatják azt. A VAD megvalósításában 2 független kérdést kellett megválaszolni. Először is azt, hogy melyik hang felel meg a reprodukált tárgy (objektum) látványának és jelentésének. Más szavakkal kifejezve, mi a legjobb megfeleltetés a hangok és a képernyő eseményei között. Másodszor, hogy mi a fülhallgató visszajátszáskor a lokalizációs bizonytalanságot hogyan lehet kiküszöbölni.

Általában 3D-s VAD-ok reprodukálással meg tudják valósítani a mélységi vagy távolsági információkat is. A multimédiás számítógépek és alkalmazások napjainkban lehetővé teszik számunkra a virtuális valóságban a teljes eligazodást. Csak az utóbbi évtizedekben tették lehetővé az óriási adatokkal való számításokat, a valós idejű szűrést a HRTF-nek, a visszhangok és fejmozgások kezelését.

4.2 MAA (Minimum Audible Angle)

Napjainkban lehetséges a 3D-s hangforrások szimulálása a digitális jelfeldolgozásnak köszönhetően. A feldolgozás a hang-jelek szűrésén alapul, olyan szűréseken amelyek a tér bizonyos pontjára meghatározza a jelforrást.

Ha a hang a hallgatótól pár méterről bal oldalról érkezik, akkor egy valamilyen fajta szűrőt kell használni. Abban az esetben, ha egy másik helyről is érkezik a hang, akkor egy másik szűrőt kell használnunk.

Az auralizációs rendszereknek alapvetően képesnek kell lenniük a hang helyét véletlen helyre rakni, de a szűrők számát gyakorlati okokból a minimumra kell szűkíteni.

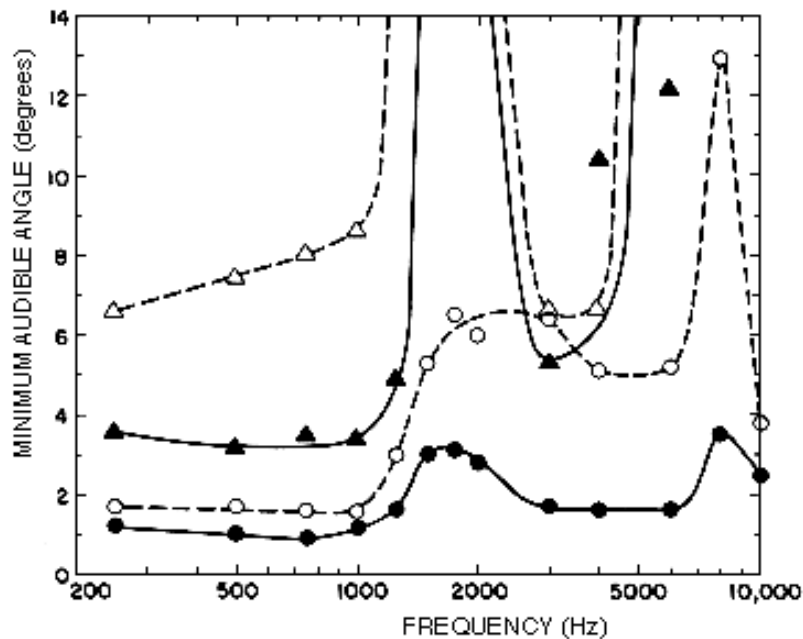
Akárhogy is, fontos tudunk milyen érzékeny az emberi hallás megkülönböztetése a különböző helyekről érkező hangokkal, mert a rendszernek sokkal érzékenyebbnek kell lennie az emberi hallásnál. A hallás érzékenységet a MAA-al írható le. Ez a szög meghatározható teszteléssel, egymáshoz közel álló hangszórókból kiadott hanggal. A teszt sokkal, hatékonyabb számítógéppel irányított rendszerekkel, melyek előre beállítják a hangszűrőket, ahogy kell (ha a szűrők különböző frekvenciákon szólnak, hibás következtetés ekkor keletkezik).

Jó tudni, hogy az MAA önmagában egy paraméter, ami függ a szögtől. Ha a hang szemből jön, akkor csak néhány fok, míg ha a szög 10-15 fokos tartományban van, akkor vagy az egyik vagy a másik oldalról érkezik. Akárhogy is érdekes lehet meghatározni milyen kapcsolat, lehet az MAA és az ITD között.

A legjobb horizontális leosztás ismert, és a mediális síkban is vannak ismereteik, de gyakorlatilag semmit nem tudunk a többi tartományról.(4.1. ábra)

A lokalizációs erőforrásokkal keressük a hangforrás abszolút pozícióját. A lokalizációs-folt kis váltás az irányított hangforrásnál, amely észrevétlen marad. A mérésben keressük a Minimális Hallható Szöget (MAA) vagy a Alig Észrevehető Különbséget (JND), ahol összehasonlítunk két hangforrást és csak a változást azonosítjuk a forrás irányánál. Az eredményeket szabad-térben nehéz összehasonlítani, mert kísérleti terv és a folyamat eltérő. Az eredmények összehasonlításához, hasonló feltételek szükségesek. Azonkívül, a legjobb MAA mérési eredmény különbözik az abszolút méreéstől. Az alkalmazása a fülhallgató virtuális felépítése a jól ismert hibákat okozza:

- fejben lokalizáció;
- előre - hátra keveredés;
- túl közeli forrás;
- emelkedési különbség;
- középső síkban a szimmetrikus mozgás kétértelműsége.



4.1. ábra Az MMA a frekvencia függvényében

4.3 Beachtron-kártya

A Beachtron™ Crystal River Engineering-től valós idejű térbelísítést valósít meg két különálló audió forráson. Mindegyik audió bemenetre a rendszer bal és jobb oldali kimeneteket származtat, amelyeket keverik, és hagyományos fülhallgatón lejátsszák. A folyamat létrehozza az értékelést így, hogy a forrásokat a 3D tér bizonyos pontjaira állítja.

A Beachtron ISA kompatibilis jel-generáló kártyából és a vezérlő kártya számára PC-alapú szoftverből áll.

A jel előállító kártya a Turtle Beach Systems Multi Sound™ kártyájának egy személyre szabott verziója. Ez a kártya magában foglal egy 40 MHz-es Motorola DSP56001-et, és nagy érzékenységű sztereó A/D(analóg - digitál) és D/A(digitál - analóg) konvertereket 44.100 Hz-es ki és bemeneti mintavételi frekvenciával. Ráadásul a kártyán Proteus/1 XR mintavételes hang-egyesítő gondoskodik a tiszta 16 bites hangok

széles skálájáról, akár szoftverből akár külső MIDI (Musical Instrument Digital Interface) vezérlőről.

A Beachtron térbelísítési szoftvercsomag magába foglalja a szoftvert és számos próba verziós (demó) programot. A szabályos eljárások gondoskodnak a feltelepített Beachtron kártyák felismeréséről, programok letöltéséről. Lefordítják még a magas szintű forrás pozíció leíró utasításokat alacsony szintű utasításokra, melyekre a kártyának szüksége van.

A program felkínál beépített kezelést egészen 8 Beachtron kártyáig, térbelísítve maximum 16 forrást egyszerre valós időben.

4.4 Mérés folyamata

A mérést a Széchenyi István Egyetem hallgatóin teszteltem le. Főleg azok a hallgatók vettem részt a teszten, akik a Műszaki Akusztika című tantárgyat hallgatják ebben a félévben. De rajtuk kívül voltak olyanok is, akiket csak a kíváncsiság hajtott.

A vizsgálatot a Műszaki Audio és Videó Laboratóriumban (L120-as labor) hajtottam végre. A hallgatókat kettes csoportban fogadtam, majd ez után egy részletes ismertetés kaptak a mérés céljáról és folyamatáról. Egyszerre egy hallgatót vizsgáltam, mivel a mérést fülhallgatóval végeztem. Egy kényelmes székbe ültettem le a hallgatókat, hogy semmi se vonja el a figyelmüket a koncentrációról, és hiteles eredményeket kapjak a mérés során. Először egy próba tesztet végeztünk el, hogy a hallgató tisztában legyen, hogy milyen hangokra számíthat.

Két különböző típusú vizsgálat volt.

- három különböző frekvencia külön-külön
- a három különböző frekvencia egyszerre

A tesztet már egy előre kifejlesztett programmal valósítottam meg. Ebben a programban lehetett beállítani, hogy milyen típusú legyen a vizsgáló jel, hányszor ismétlődjön a hang, stb. Minden egyes hallgatóval két kört teljesítettem. A hangok egymás után véletlen szerűen következtek, így nem tudták előre kiszámítani, hogy

melyik hang következhet majd. Ez is a mérés hiteleségét támaszthatja alá. A kiadott hang után a hallgatót megkértem, hogy próbálja meg elhelyezni a hallott hangot abban a virtuális térben, amivel a mérés bemutatása során megismerttettem.

Mind a két mérési variáció más felosztású VAD-on zajlott le. Volt a 3x3-as (4.2. ábra) és az 5x2-es (4.3. ábra) felosztás. A 3x3-as a függőleges lokalizációra volt alkalmas, mivel itt 3 irányból jöttek a hangok. Az 5x2-es pedig a vízszintes lokalizációra, mert itt vízszintesen volt az 5-ös felosztás.

A1	A2	A3
B1	B2	B3
C1	C2	C3

4.2. ábra. 3x3-as felosztású Virtuális Kijelző

A1	A2	A3	A4	A5
B1	B2	B3	B4	B5

4.3. ábra. 5x2-es felosztású Virtuális Kijelző

Három fajta választ különböztettem meg:

- -jó válasz (vízszintesen és függőlegesen is talált)
- -rossz válasz(függőlegesen talált, de vízszintesen nem vagy ha egyik sem talált)
- -szomszédos válasz (csak vízszintesen talált függőlegesen nem)

4.4.1. A mérőprogram működése

A program beállításánál kilenc különböző szempontot kellett beállítani.

1. Figyelembe vesz-e a fülek távolságát?
2. Függőleges oszlopok száma?

3. Vízszintes oszlopok száma?
4. Akarja a hangforrást erősíteni?
5. Keverje-e a hangokat össze?
6. Válassza ki a hangforrást!
7. Adja meg a hangok közötti időt!
8. Adja meg az ismétlés számát!
9. Véletlenszerűen válaszol a cellák között?

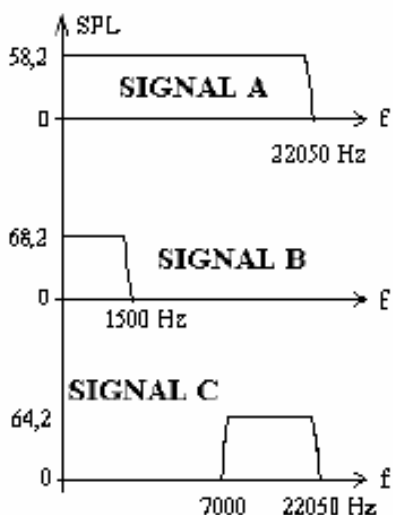
A mérési pontok részletesebben és a rájuk adható válaszokkal.

1. Erre a kérdésre adható volt igen és nem válasz, a mi esetünkben nem volt a megfelelő beállítás, mert itt nem lényeges kérdés a fülek közötti távolság.
Ha igen a válasz, akkor be lehet állítani, hogy a fülek milyen távolságra vannak egymástól.
2. A függőleges oszlopok száma 1 és 5 között lehetett. Minél magasabbra választjuk ennek az értékét, annál nehezebb meghatározni, hogy függőlegesen honnan érkezett a hang.
3. A vízszintes sorok száma 3 és 7 között lehetett. A sorok számának növelésével a vízszintes meghatározhatóságot lehet nehezíteni.
4. Itt is igen és nem a válaszok lehetősége. A mi esetünkben nem volt a válasz, mert nem volt szükségünk arra, hogy a hangforrást erősítsük. De ha igennel válaszolunk, akkor megadhatjuk számszerűen, hogy hány dB-el erősödjön a hang.
5. Itt lehet kiválasztani, hogy az első vagy a második mérést akarjuk elvégeztetni a hallgatóval. Az igen válasz a szűrt mérést a nem válasz, pedig az abszolút mérést választja ki.
6. Ez a kérdés csak akkor jelenik meg, ha az ötödikre nem volt a válasz. Itt tudjuk kiválasztani, hogy A ,B ,C vagy esetleg D hang legyen a vizsgáló jel. A hangok majd a későbbiekben lesznek részletezve.
7. Ez hangok közötti idő beállítására szolgál, ezt 0 ms és 7000 ms (7másodperc) közötti értékekre lehet állítani. Én a 400ms-ot használtam, mert az egy átlagos érzékelhető érték. Ha alacsonyra állítottam volna, akkor a hallgató nem tudta volna elválasztani a hangokat, ha túl nagyra, akkor, pedig nehézkessé vált volna a mérés.

8. Itt tudjuk beállítani, hogy egy cellából hány darabismétlés érkezzon. Ezt 1 és 20 közötti számra lehet beállítani. Én a minden mérésnél azt választottam, hogy kétszer ismétlje meg az ugyanabból a cellából érkező hangot. Ennek időtakarékosági okai voltak, és még az is, hogy ha túl sokszor ismétlődött volna a hang a hallgató füle, annyira hozzászokott volna, hogy már nem ismeretlen hang lett volna, hanem egy jól ismert hang, amit sokkal könnyebben meghatározott volna.
9. Ez a beállítási pont csak kényelmi szempont volt, a mérést lényegében nem befolyásolta. Azaz itt választhattam ki, hogy a program véletlenszerűen generálja a cellák sorrendjét, vagy egyesével beírva a cella sorszámát. A véletlenszerű funkció használata a hallgatóknak is előnyösebb volt, mert ezzel felgyorsítottuk a mérést.

4.4.2. Abszolút mérés

Itt a hallgatónak három különböző frekvenciájú hanggal is végig kellett hajtani a mérést. Ezeket a hangokat Signal A , Signal B és Signal C-nek neveztem el(4.4. ábra). Az „A” hang egy szélessávú fehérzaj volt, a „B” hang egy 1500 Hz-es a „C” hang a legmagasabb a három közül egy 7000 Hz-es jel volt.



4.4. ábra. Vizsgáló jelek

A mérést 20 emberrel végeztem el, amit egy korábbi mérési eredményhez hozzáadtam, hogy minél pontosabb eredményt kapjak. Mivel minden egyes ember két kört teljesített így 40 mérési eredmény született.

A korábbi 50 mérési eredményhez ezt hozzáadva, már egészen pontos képet lehet kapni.

A mérési értékeket százalékosan, majd grafikonnal elemeztem ki.

Táblázatban százalékosan:

3x3-as

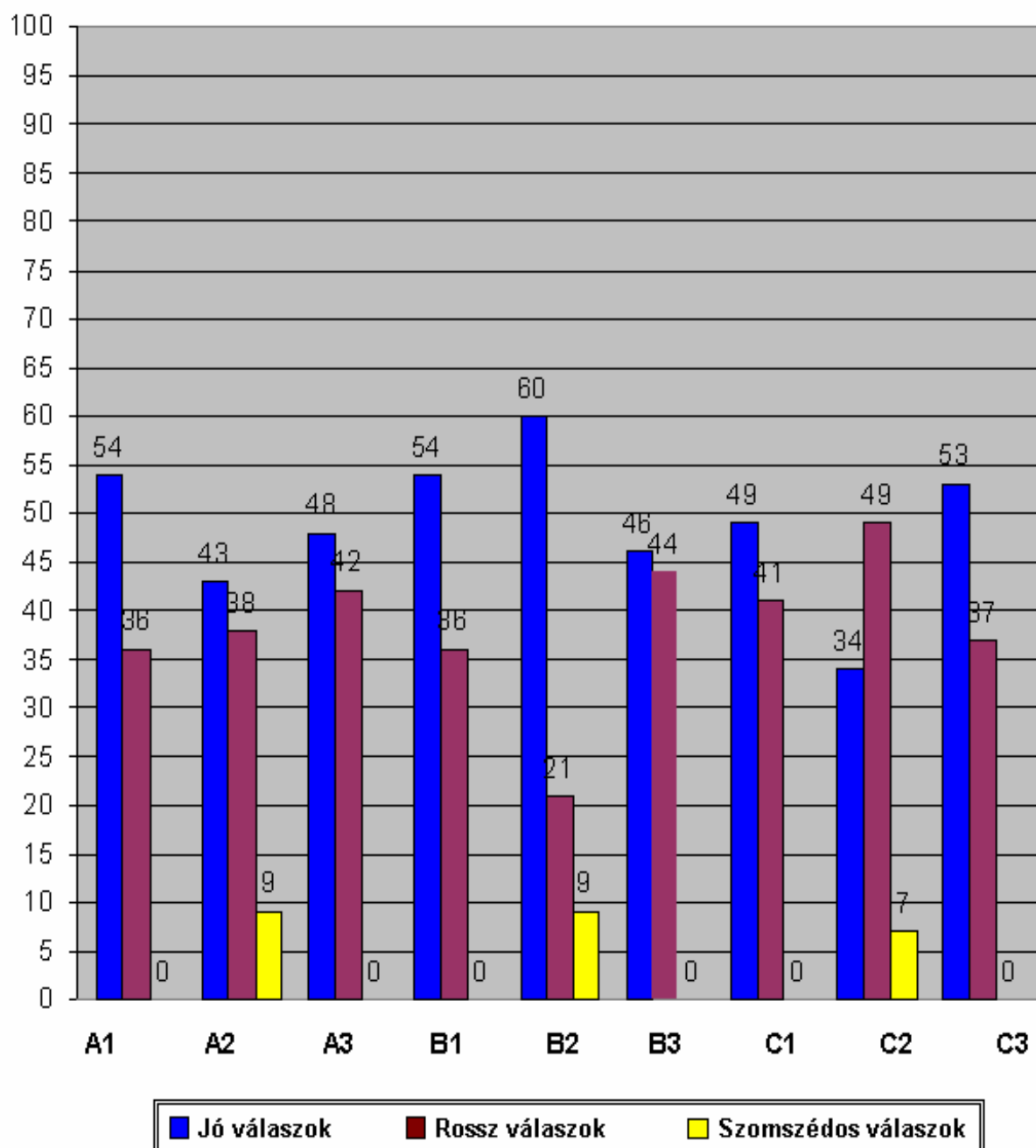
Signal A		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
51,27%	45,83%	2,90%
Signal B		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
42,24%	56,01%	1,75%
Signal C		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
41,43%	54,74%	3,83%

5x2-es

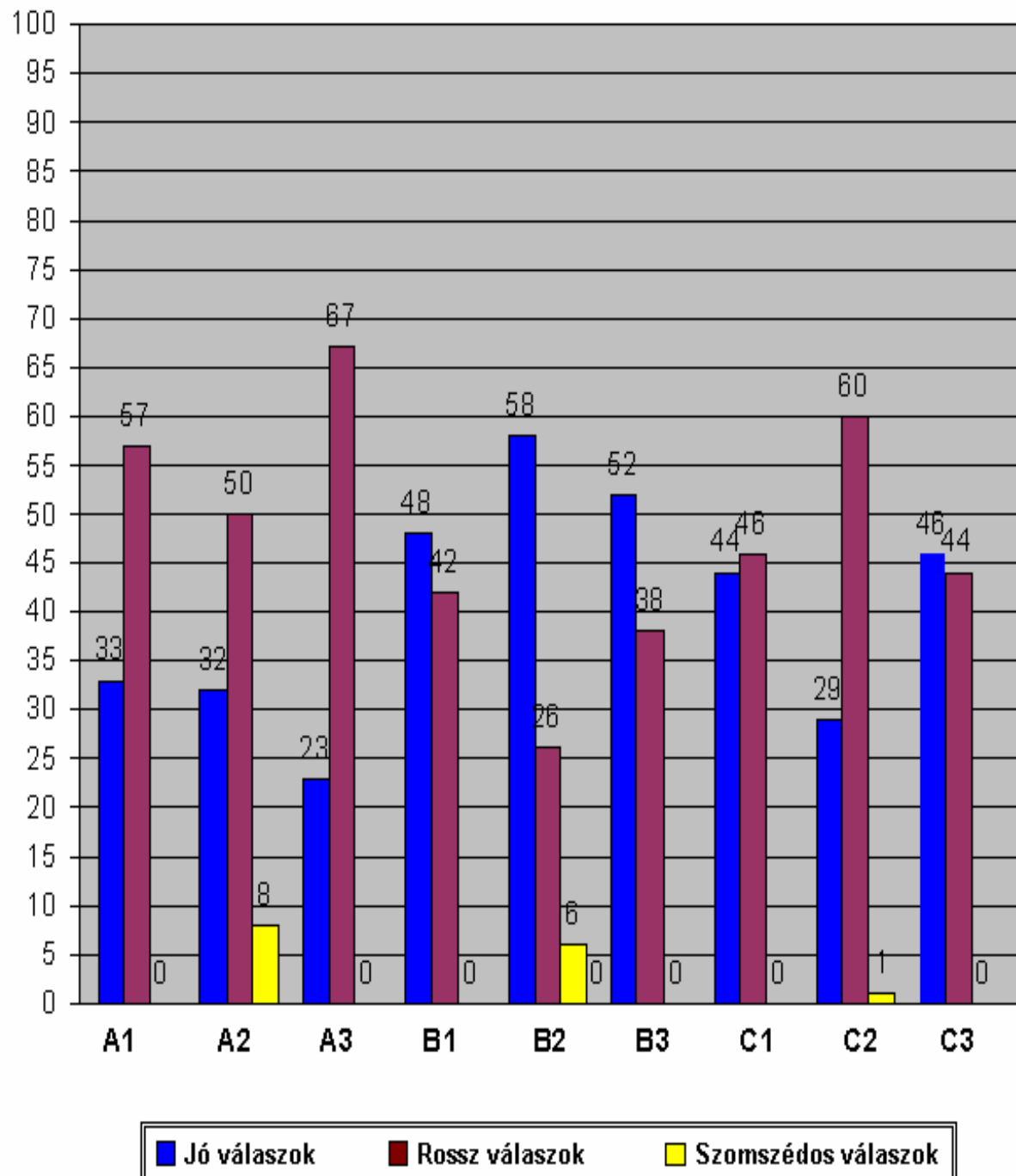
Signal A		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
53,66%	29,33%	17,01%
Signal B		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
50%	33,33%	16,67%
Signal C		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
43,55%	35%	21,45%

Grafikonokkal:

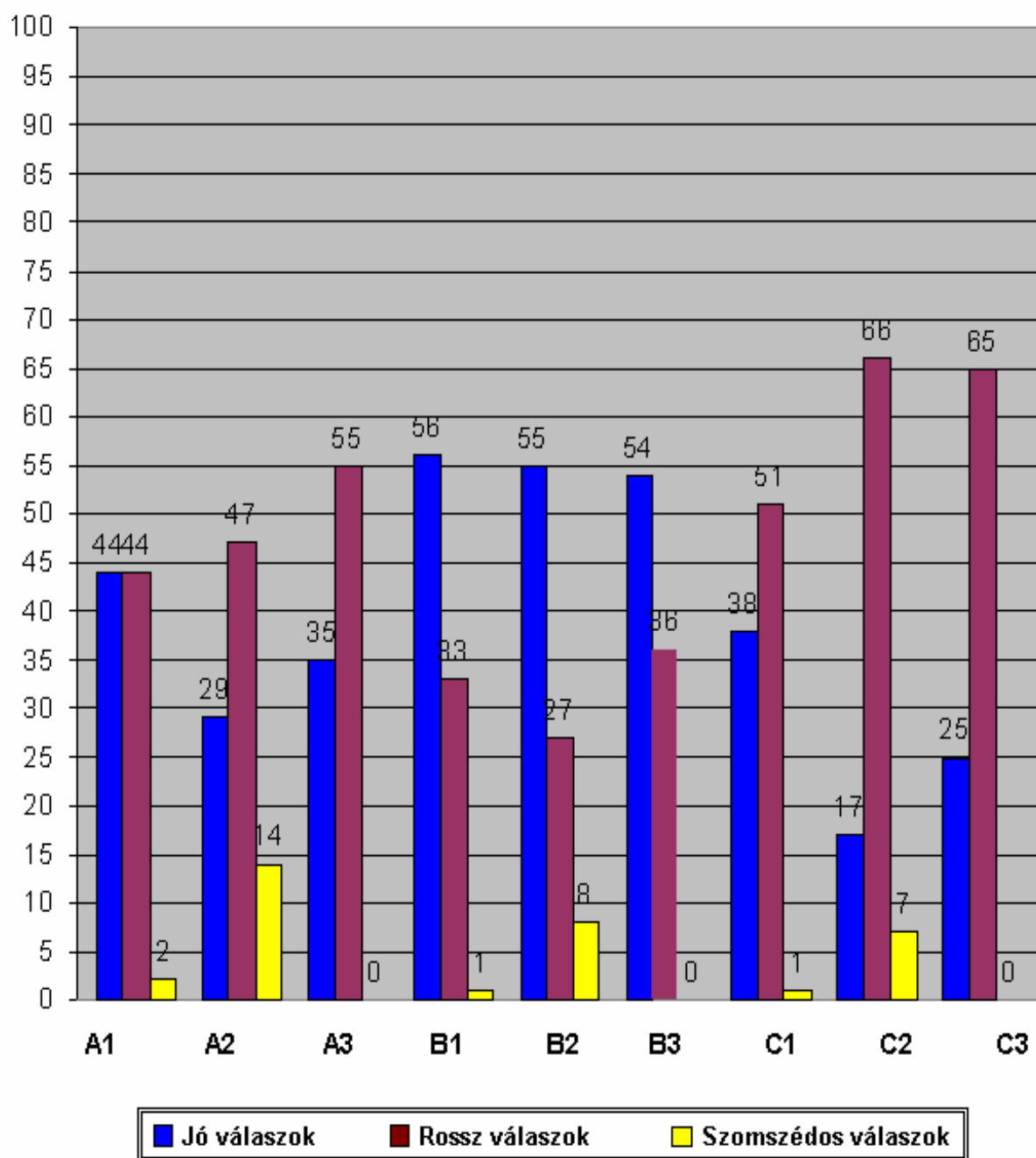
Signal A 3x3



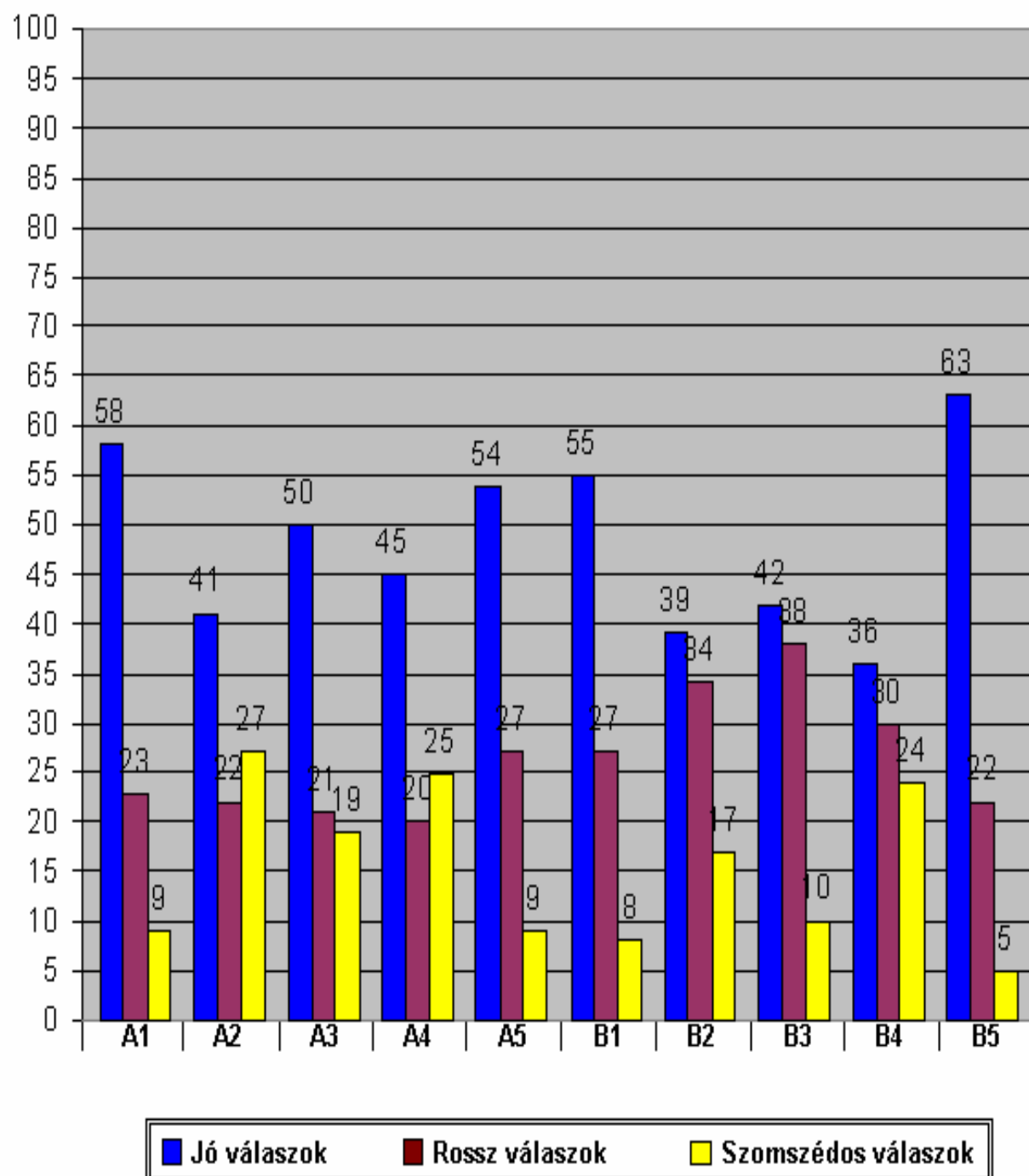
Signal B 3x3



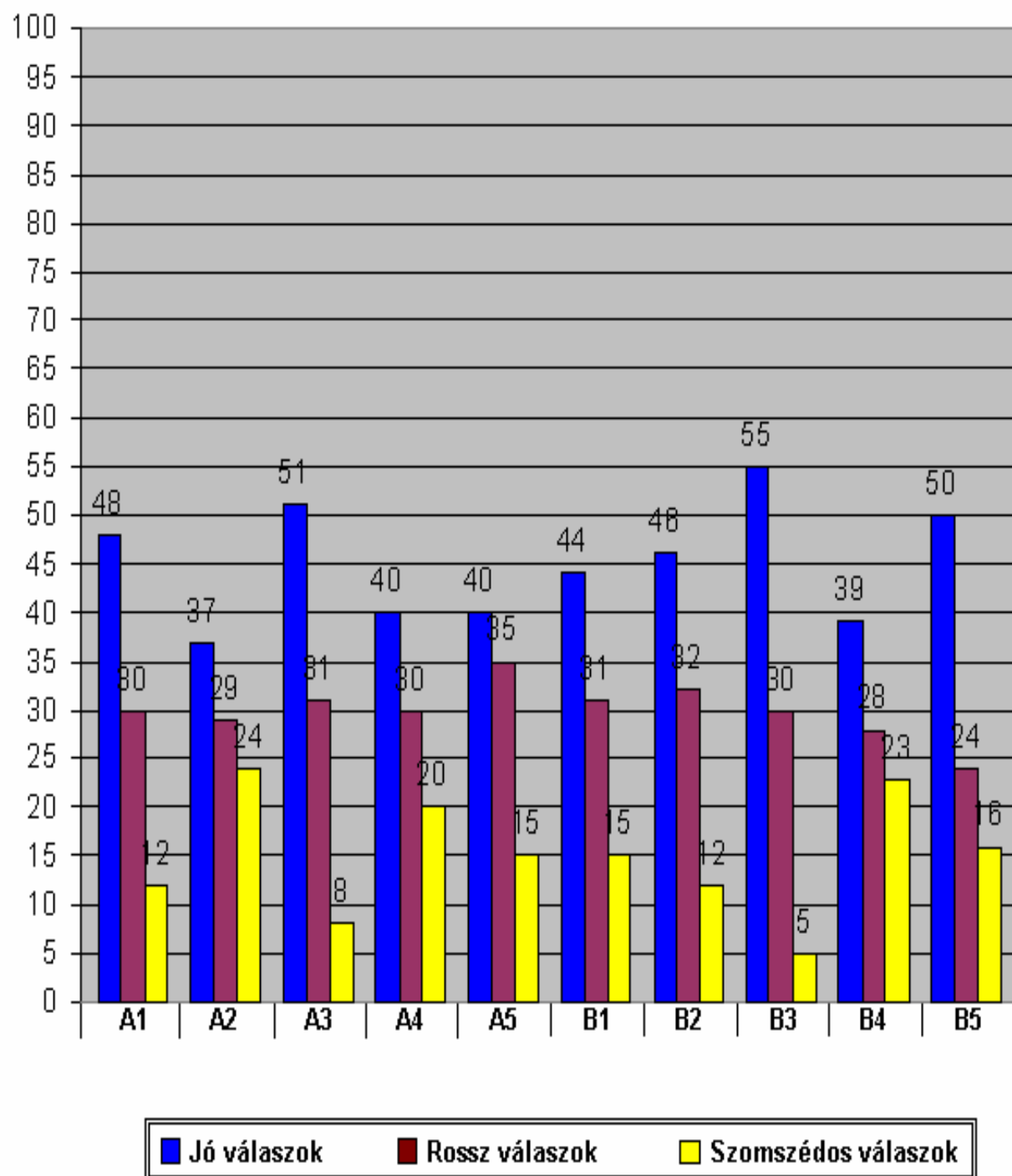
Signal C 3x3



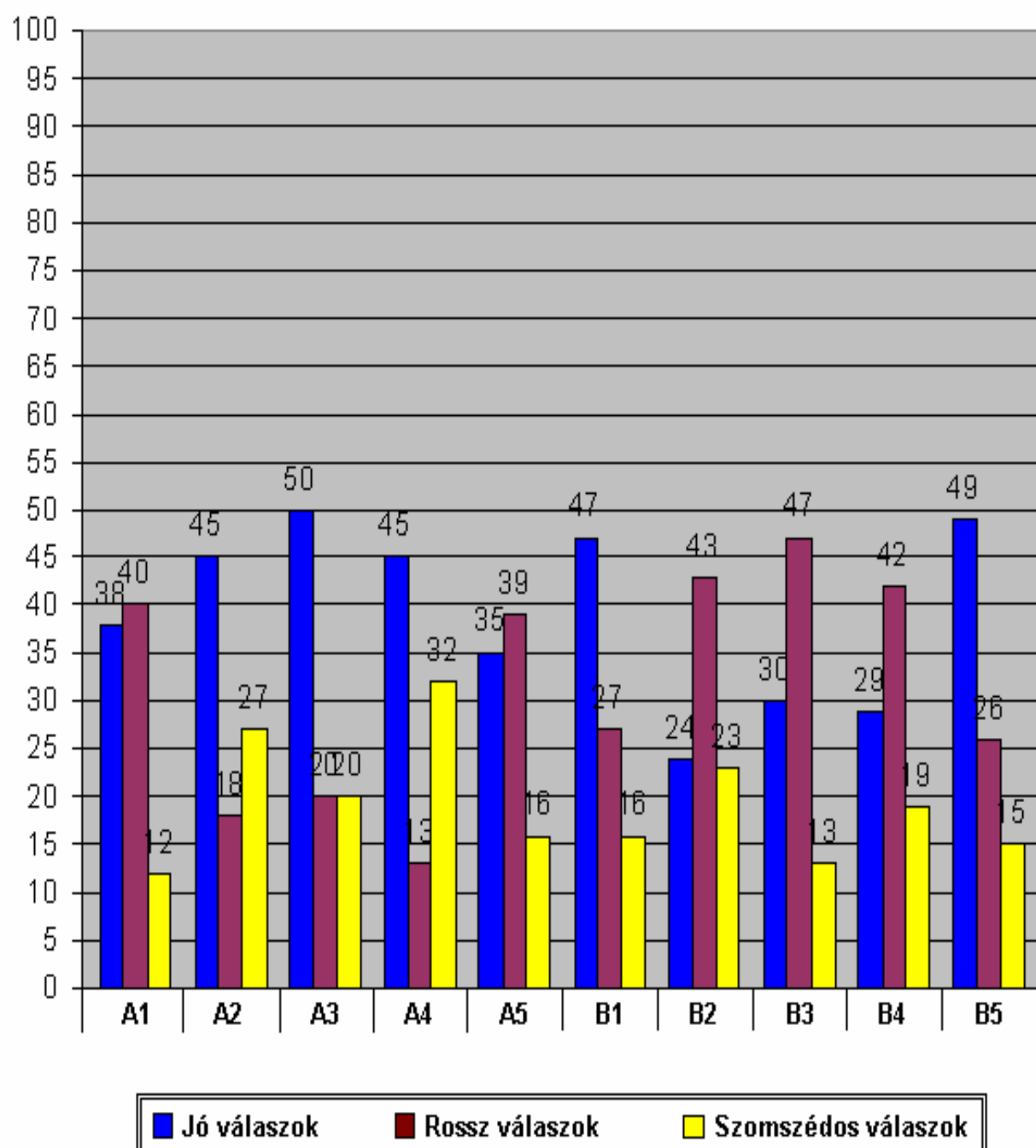
Signal A 5x2



Signal B 5x2



Signal C 5x2



4.4.3. Szűrt mérés

Ennél a vizsgálatnál a hallgatóknak hasonló szempontokra kellett odafigyelni. Itt nincsen megkülönböztetve a három frekvencia külön mérésre, hanem egy folyamatba van belesűrítve.

Ennek a mérésnek az akusztikai alapja az, hogy a HPF tartalmú hangokat hajlamosak vagyunk feljebb érzékelni, az LPF tartalmúakat meg lejjebb. A célja, pedig az, hogy a vertikális lokalizációs döntések jobbak legyenek.

Itt is ugyanúgy minden ember két kört teljesített.

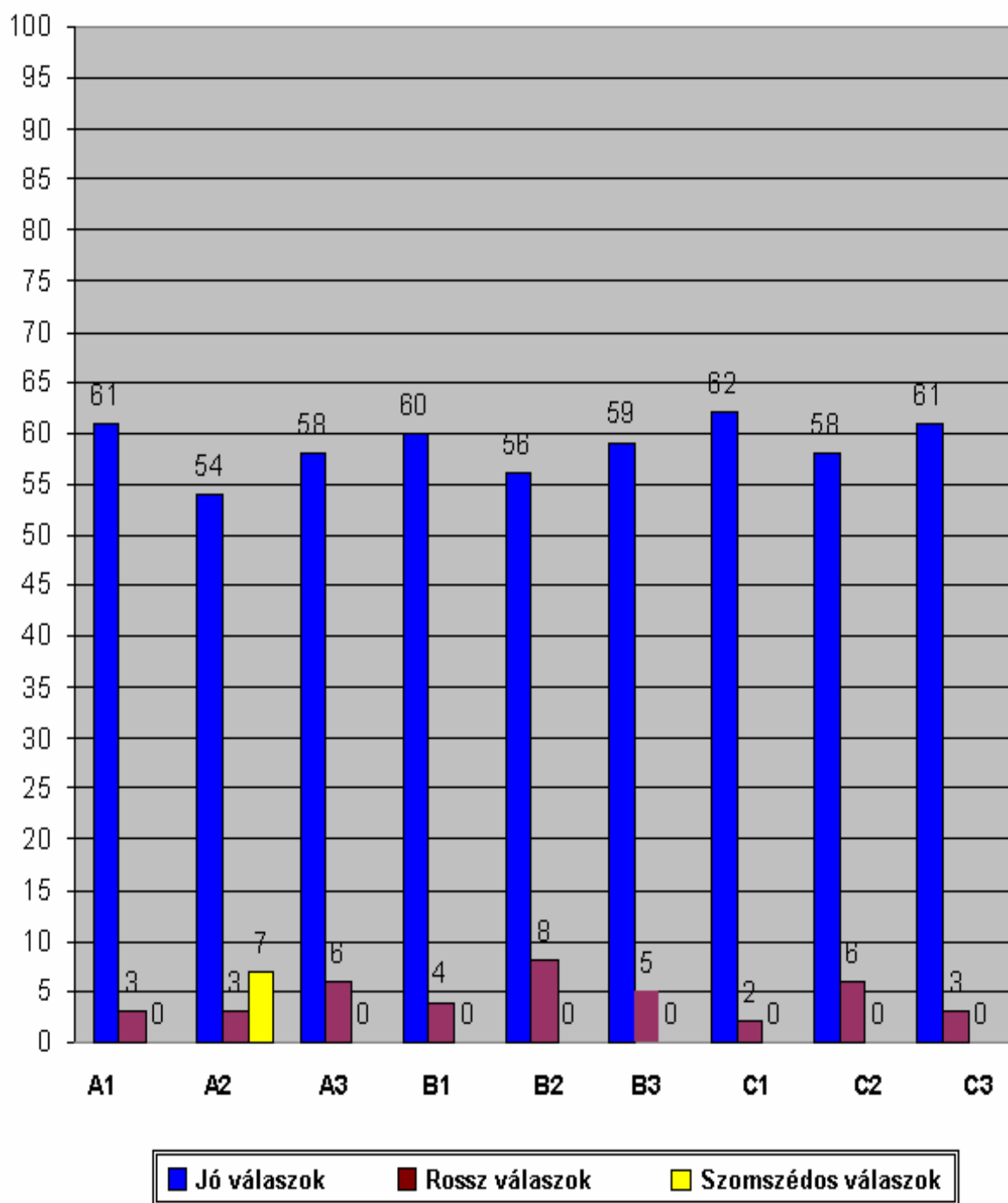
Százalékban kifejezve:

3x3		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
91,84%	6,94%	1,22%

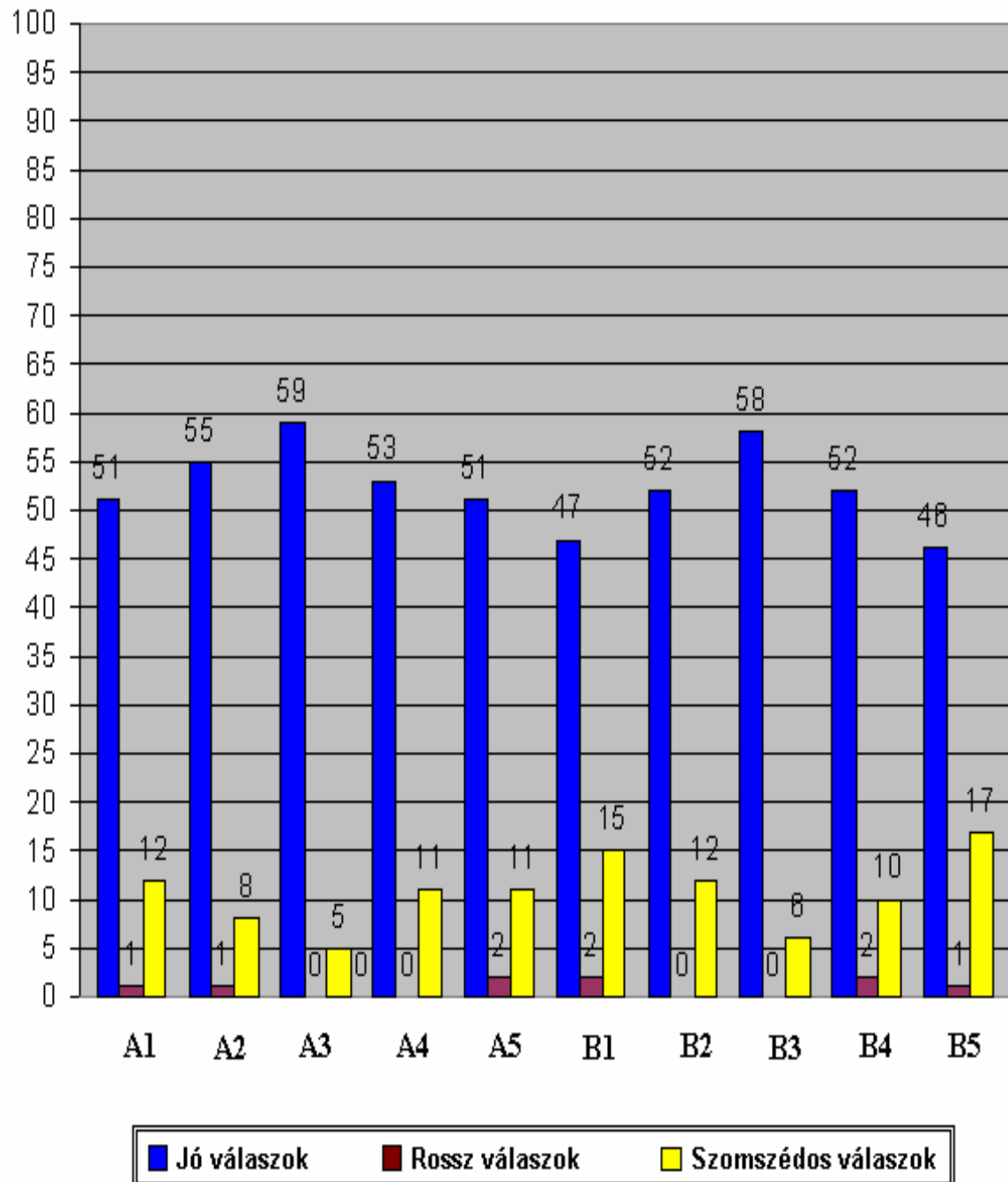
5x2		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
81,88%	1,5%	16,62%

Grafikonokkal:

3x3



5x2



5. Kiértékelés

5.1 Abszolút mérés

5.1.1 3x3-as mérés

Itt jól megfigyelhető, hogy a résztvevőhallgatók olyan 50%-os helyes/rossz válasz arányt értek el. A szomszédos válaszok szinte elhanyagolhatóak, hiszen nem mérvadó a számuk. Igaz a feltételek miatt van ez, mert szomszédos csak az lehet, amely horizontálisan stimmel. A három vízszintes felosztásnál könnyű eltalálni, hogy a vizsgáló hang jobbról, balról vagy középről érkezett-e. A függőleges irányhallással akadt több gondjuk a hallgatóknak és ez eredményezi a sok rossz választ. Jól megfigyelhető, hogy a vizsgált alanyok nagy többsége a B2-es részt helyesen érzékelt. Ez arra vezethető vissza, hogy úgy van felosztva a virtuális akusztikus kijelzőnk, mintha a hallgató a középén azaz a B2-es részben helyezkedne el. Hangokra szétbontva a mérést, az „A” hangot tudták legjobban megítélni, hogy honnan érkezett, aztán a „B”-t és a „C”-t. Ez annak köszönhető, hogy az „A” vizsgáló jel volt a szélessávú fehérzaj, amit mindenki jobban hall. A „B” és „C” viszont egy adott frekvencia tartományban helyezkedett el, amit nem minden ember tud azonosan érzékelni. Vannak olyanok akik a magasabb frekvenciákon hallanak jobban és vannak akik az alacsonyabban.

5.1.2 5x2-es mérés

Ennél a variációnál már a szomszédos válaszok száma ugrott meg és a helytelen válaszok száma esett vissza. Ez annak az eredménye, hogy csak két függőleges részre van felosztva, így könnyebben el tudták találni, hogy honnan érkezett a hang, azonban vízszintesen már öt részre volt felosztva és ez nagyban befolyásolta a szomszédos válaszok számát, a fent említett kikötések miatt. Itt is ugyanaz megfigyelhető, mint a

3x3-nál ha frekvenciákra szét bontjuk a mérést. A helyes válaszok a szélessávú jelnél a legjobbak.

Volt egy olyan hallgató, aki arra panaszkodott, hogy nem olyan jól hall a jobb fülére, és a mérés során bebizonyosodott, hogy tényleg a jobb fülével nem tudja olyan pontosan meghatározni az érzékelt hang forrásának a távolságát. Ez az 5x2-es mérésnél szembetűnőbb, mert itt két hang is érkezik jobbról, csak különböző távolságból. És ez az említett hallgató ugyanolyan távolinak érezte a 4-es és az 5-ös hangot is.

5.2 Szűrt mérés

Ennél a vizsgálatnál első láttásra meglepően sok a helyes válasz, ez annak köszönhető, hogy a hallgatók tisztában voltak azzal, hogy három különböző hangra kell számítaniuk. A próbahangok után, már szinte az volt a meglepő, hogy volt olyan hallgató, aki tévesztett.

De erre az eredményre is számítottunk, mert a próbahang után már nagyon egyszerűen megérezhető a hang iránya.

Az 5x2-esnél megint az okozott nehézséget, hogy milyen távol volt a hangforrás. De itt a függőleges tévesztés szinte nem is volt. Szám szerint 640 db adott válaszból 9 db volt olyan ami függőlegesen volt hibás. Ez mintegy 1,5 % - a volt az összes válasznak.

A távoli hangok meghatározásánál viszont már több hiba akadt, ami szomszédos válaszokban jelent meg. Szinte csak a 3-as hangok voltak azok, amit szinte teljes bizonyossággal meg tudta határozni a hallgatók. A két-két szélső hanggal majdnem mindenkinek akadt gondja, hogy milyen távolról is érkezett a hang. Ha valaki el is találta mindet az sem volt teljesen biztos a válasza helyességében.

Azt viszont ki kell emelnem, hogy nem a hallgatók lokalizálják jobban a hangot ténylegesen, hanem csak a szűrő hatás során megváltozott hangot tudják jobban megkülönböztetni.

5.3. A két különböző mérési folyamat összehasonlítása

Ebben a pontban a két mérési folyamatot fogom összehasonlítani. A két mérés nehezen összehasonlítható, mert sok dologban eltérnek egymástól. Az abszolút mérésnél (5.2. ábra) három külön mérési frekvencia van, míg a szűrt mérésnél (5.1. ábra) a három frekvencia egy mérési folyamatba van sűrítve. Talán százalékosan lehetne őket a leghitelesebben összevetni.

3x3

5x2

Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz	Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
91,84	6,94	1,22	81,88	1,5	16,62

5.1. ábra Szűrt mérés százalékosan kifejezve

3x3

5x2

Signal A			Signal A		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz	Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
51,27%	45,83%	2,90%	53,66%	29,33%	17,01%
Signal B			Signal B		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz	Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
42,24%	56,01%	1,75%	50%	33,33%	16,67%
Signal C			Signal C		
Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz	Jó válasz	Rossz válasz	Szomszédos válasz
41,43%	54,74%	3,83%	43,55%	35%	21,45%

5.2. ábra Abszolút mérés százalékosan kifejezve

De az azért nagyon jól megfigyelhető, hogy a szűrt mérésnél kapott eredményeknél sokkal több a pontos helyes válasz. Az abszolút mérésnél 50% körüli volt a legjobb arány, amit a válaszokra adtak. Ez azt jelenti, hogy minden második válaszuk volt csak helyes. Ezzel ellentétben a szűrt mérésnél viszont szinte nem is hibáztak a hallgatók.

5.4. Előzményekkel való összehasonlítás

Előzményeknek tekintem azokat az adatokat, amelyekhez hozzá mértem és bővítettem a megtesztelt emberek számát. Így 56 db mérési eredményből 90 db lett. Ez nem változtatta meg az összképet, csak pontosította a kapott értékeket. Szinte megduplázódtak a mérési eredmények, csak néhány cellánál volt jelentős változás. De ezt is vártam, mert a feltételek nem változtak semmit a két időpont között. Ugyanúgy azok a cellák voltak a kritikus pontjai a mérésnek, ami az elődömnek is.

A korábbi mérések grafikonos elemzését a mellékletben csatolom.

6. Összefoglalás

A feladatom egy meglévő számítógépes rendszer (PC, Win95) és már megírt program segítségével a lehallgatási tesztek folytatása és befejezése, az eredmények kiértékelése.

A feladatom része olyan hangtér szimulációja, melynek során

- a 3x3 és az 5x2 felbontás teljes mérése és annak kiértékelése megtörténik
- hangmagassági modulációs vizsgálatok, melynek során a gyenge vertikális felbontást hangmagasság modulációval egészítettem ki (magas frekvenciájú hangok „fent” vannak, mélyek „lent”). Az ehhez szükséges programok már rendelkezésemre álltak. A szimuláció során az irányt is szimuláltam a szűréssel együtt. A két feladat eredményeit összehasonlítottam.

A feladatom eredeti célja a GUIB kutatási program segítése és továbbfejlesztésének támogatása. Ez a kutatás a vak embereket segítené a számítógép használásában, megmutatná nekik a különböző hangok, hogy hol járnak a képernyőn.

A felhasznált irodalomból megismertem a hallás alapelveit és azt, hogy min alapul a fülek működése. A fül átviteli függvényivel és annak mérési pontjaival.

A vizsgálatok során sikerült bebizonyítanom, és ezt grafikonokkal alátámasztanom, hogy ha szűrjük a hangokat, akkor sokkal jobban meghatározható a hang forrásának a helye. Ez annak köszönhető, hogy a nagyobb frekvenciájú hangokat az ember hajlamosabb fentről érzékelni, az alacsonyabb frekvenciájú hangokat, pedig lenti hangnak érzékeljük.

A mérést továbbfejleszteni olyan hangokkal lehetne, amely emlékeztet, hogy éppen milyen feladatot hajtunk végre a számítógépen (pl. egy ablak bezárása olyan hangot adhatna ki, mint ha becsuknánk egy nyikorgó ablakot a szobában). Ezekre már tettek kísérletet az úgynevezett Earconokkal (fülikon). Ezek vizuális iconok és események a képernyőn csak akusztikai információval. Egy másik megoldás lehetne az, hogy a számítógép beszélne a hallgatóhoz. Megmondaná neki, hogy éppen mit csinál.

7. Felhasznált irodalom

Dr. Wersényi György: Műszaki Akusztika; Győr 2004

Dr. Wersényi György: Térbeli hallás; Győr 1998

Kurutz Imre - Szentmártony Tibor: A műszaki akusztika alapjai. Műegyetemi kiadó, 2001.

I Veit: Műszaki akusztika. Műszaki Könyvkiadó, 1977.

Dr. Wersényi György: Proceedings of the AES 12th Regional Convention, Tokyo, June 12-14, 2005

Dr. Wersényi György: Presented at the 115th Convention New York, October 10–13 2005,

Majid Rammah: Diplomamunka 2004

Beachtron-kártya dokumentációja, The Beachtron, Crystal River Engineering, Inc.

www.aes.com

www.miba.auc.dk

www.ncbi.nlm.nih.gov

www.icad.org

<http://interface.cipic.ucdavis.edu>

8. Melléklet

