

## Tartalomjegyzék

Bevezetés .....	3
<b>1. Akusztikai alapismeretek.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Emberi térhallás alapjai.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Vizuális és akusztikus támpont .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Hallás .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3. Térbeli hallás, tájékozódás .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4. Látássérültek tájékozódása, lokalizációja .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5. Lokalizáció .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.1. Lokalizációs bizonytalanság .....</b>	<b>18</b>
<b>2.6. Echolokáció .....</b>	<b>19</b>
<b>2.7. Irányérzékelés.....</b>	<b>20</b>
<b>2.7.1. Mono- és binaurális jellemzők.....</b>	<b>21</b>
<b>2.7.2. Külső fül átviteli függvény (HRTF) .....</b>	<b>21</b>
<b>2.7.3. Abszolút és relatív vizsgálatok .....</b>	<b>23</b>
<b>2.7.4. Interaurális idődifferencia - ITD.....</b>	<b>24</b>
<b>2.7.5. Interaurális szinteltérés - ILD .....</b>	<b>25</b>
<b>3. HRTF mérés technika és virtuális hangtér szimuláció .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1. Mérések emberi fejen .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2. Műfejes mérések .....</b>	<b>27</b>
<b>3.4. Elöl-hátul és hátul-elöl hiba.....</b>	<b>30</b>
<b>4. Navigációs és lokalizációs feladatok.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1. Egyenestartás vizsgálat .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.1. Látók és látássérültek navigációs képességeinek összehasonlítása akusztikai támpont nélkül.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.2. Látók és látássérültek navigációs képességeinek összehasonlítása akusztikai támponttal.....</b>	<b>40</b>
<b>1.1. altézis.....</b>	<b>44</b>
<b>1.2. altézis.....</b>	<b>44</b>
<b>1.3. altézis.....</b>	<b>48</b>
<b>1.4. altézis: .....</b>	<b>53</b>
<b>1.5. altézis.....</b>	<b>57</b>
<b>1.6. altézis.....</b>	<b>58</b>
<b>1.7. altézis.....</b>	<b>58</b>
<b>1. tézis.....</b>	<b>59</b>

<b>4.2. Látók és látássérültek navigációs képességeinek összehasonlítása echolokáció során (sarokészlelés) .....</b>	<b>61</b>
2.1. <i>altézis</i> .....	65
2.2. <i>altézis</i> .....	66
2.3. <i>altézis</i> .....	66
2.4. <i>altézis</i> .....	67
2.5. <i>altézis:</i> .....	67
2.6. <i>altézis</i> .....	68
2. <i>tézis</i> .....	69
<b>4.3. Látók és látássérültek elől-hátul döntési képességeinek összehasonlítása süketszobában.....</b>	<b>71</b>
3.1. <i>altézis</i> .....	74
3.2. <i>altézis</i> .....	77
3. <i>tézis</i> .....	78
<b>4.4. Látók és látássérültek „abszolút” lokalizációs képességeinek összehasonlítása süketszobában.....</b>	<b>79</b>
4.1. <i>altézis</i> .....	91
4.2. <i>altézis</i> .....	93
4. <i>tézis</i> .....	94
<b>4.5. Műfejes HRTF mérés technika és virtuális hangtér-szimuláció .....</b>	<b>95</b>
<b>4.5.1. Műfejes HRTF-mérés horizontális és vertikális síkban polárkoordinátás ábrázolással.....</b>	<b>95</b>
5.1. <i>altézis</i> .....	102
<b>4.5.2. Műfejes HRTF-ek kiértékelése virtuális hangtér-szimuláció során .....</b>	<b>102</b>
5.2. <i>altézis</i> .....	113
5. <i>tézis</i> .....	114
<b>Összefoglalás .....</b>	<b>115</b>
<b>Köszönetnyilvánítás.....</b>	<b>117</b>
<b>Irodalomjegyzék .....</b>	<b>118</b>
<b>Mellékletek .....</b>	<b>129</b>

## Bevezetés

Látó emberek térhallását sokszor, sokan vizsgálták eltérő paraméterek és peremfeltételek mellett, amely során megállapítható, hogy a lokalizációs képességek mitől, mennyire függenek. A fő kérdés minden esetben az, hogyan és milyen paraméterek mellett tudjuk pontosan lokalizálni a hangforrást, és milyen mérési eljárásokkal tudjuk ezeket mérni. Információt a világról jórészt vizuális úton szerzünk, így az egyéb érzékszervi ingerek által szolgáltatott járulékos információ életbevágóan fontos a vakok számára. Ezek között is kiemelt szerepűek a hangok és rezgések. A környezeti zajok, a járókelők, gépjárművek, közlekedési eszközök által keltett hanghatások mind-mind segítik a tájékozódást. A hangforrás helyének meghatározhatóságát lokalizációnak nevezzük, amelybe annak távolságát és térbeli irányát is beleértjük. A lokalizáció során szerzett információ segíti navigáció során a biztonságot. A lokalizáció sok paraméter függvénye, melyek közül a legfontosabb maga a hangtér (a visszaverődések mennyisége, fejhallgató használata stb.), az alkalmazott gerjesztő jel milyensége (sávszélessége, hossza, hangerőssége), a források száma, az alanyok életkora, neme és az elvégzendő feladat.

Napjainkban a WHO (World Health Organization) felmérése szerint mintegy 285 millió látássérült él a világon. 39 millió vak, 246 millió gyengén látó. Általánosan elfogadott nézet az, hogy a látássérültek érzékszerveinek érzékenysége jobb (jobban hallanak), így ezzel kompenzálják a látás hiányát. A térbeli hallás és akusztikai információ értékelése szempontjából a körülményektől függően nagy különbségek lehetnek látók és látássérültek között. A kutatásom alapkérdése annak igazolása, vagy cáfolata, hogy valóban jobban hallanak és lokalizálnak-e a látássérültek.

A mindennapi életben természetesnek vesszük azt a kijelentést, hogy a vakok és látássérültek valamilyen módon jobban hallanak látó társaiknál. Nemcsak a köznyelv és a populáris kultúra sugallja ezt, hanem néhány mindennapi tapasztalás is. A Google több, mint 100000 találatot ad arra a kifejezésre, hogy a „vakok jobban hallanak”. 2004-ben Robert Zatorre, a McGill Egyetemen születéstől vak és később megvakultak hallását vizsgálta. A vizsgálatban résztvevőknek egymás után hangpárokat játszottak le, és azt kellett eldönteniük, melyik hang volt magasabb. A kutatók váltogatták a hangok közti különbséget és azt is, milyen hosszán volt hallható egy-egy hang. Az eredmény szerint az első csoportba tartozó, korán megvakult jelentkezők minden tekintetben túltettek a többi csoporton. 2014-ben a Johns Hopkins University és a University of Maryland kutatói egereket vizsgáltak. A sötétben tartott egerek

érzékenyebben reagálnak a finomabb hangokra, és a hallókérgükben is kimutatható elváltozások voltak. A kifinomult hallás több hétig megmaradt a kísérlet után. 2012-ben Franco Lepore, a University of Montreal idegkutatója megállapította, hogy az a része is az agynak, amely normálisan a látással foglalkozna segít a hallás információinak feldolgozásában. Ezért lehet az, hogy vak emberek jobban képesek lokalizálni a hangok forrását.

Noha akusztikai vizsgálatok és mérési módszerek sokasága áll rendelkezésre, széleskörű, több paramétert – elsősorban a különböző típusú hangtereket – felölelő, nagy mintaszámú vizsgálat a témában eddig nem készült. Léteznek pszichológiai, érzékeléstudományi, valamint orvosi vizsgálatok [1-11]. Továbbá, található mérnöki megközelítésű vizsgálatok, melyek célja elsősorban a vakokat segítő alkalmazások, navigációs eszközök fejlesztése [12-17]. Közös jellemzője ezeknek a viszonylag kis alanszám (3-5) és az egymástól meglehetősen független megközelítés, amely során egy-egy specifikus kérdést vizsgálnak csak csupán, mint pl. a visszaverődések vagy egy gyógyszer hatását. Vizsgálatom fő célja volt, hogy egy több évet felölelő, kísérletenként legalább 30-50 látássérült és ezzel összemérhető számú látó kontrollcsoporttal végzett összehasonlító mérésekben vizsgáljuk, valóban jobban teljesítenek-e a vakok a speciális lokalizációs feladatokban [17-20].

A halláskutatás már a hatvanas években is kiemelt terület volt, Békésy György az objektíven mérhető fizikai paraméterek és a szubjektíven érzékelhető jelenségek eltérését az alábbi módon írta le [21-23]: „A halláskutatás manapság bonyolult kapcsolatban van a fizika, az anatómia, a fiziológia és a pszichológia területeivel. Nem tehetjük meg, hogy bizonyos változókat olyan szintig egyszerűsítsünk, ahogy a fizikában szokás. Továbbá, méréseink nem annyira pontosak és az érvényességük sem mindig jól meghatározhatóak. Így sokszor változtatnunk kell a korábbi felfedezéseinken az újak fényében, legalábbis az érvényességi határokon belül. Ha veszünk egy normál nappali szobában lévő beszélőt, és először egy, majd három méter távolságból hallgatjuk mondandóját (akár monaurálisan, akár binaurálisan), alig fogunk bármilyen különbséget észlelni, eltekintve a hangerősség csökkenésétől. Ugyanakkor, ha két teljesen egyforma mikrofont helyezünk el egy ill. három méterre hangfelvétel céljából, két különböző hangnyomás-időfüggvényt fognak rögzíteni. Létezik időeltolódás is a kettő között. Nehéz megérteni, hogyan lehetséges két ennyire eltérő időfüggvény esetén ugyanaz az érzet az emberi megfigyelőnél. További kutatás szükséges ahhoz, hogy megtaláljuk az okát, miért lehetséges ez.”[24]. „Állati és emberi holttestek fülében található csigák működését vizsgálta. Ezért a kutatásért 1961-ben Nobel-díjat kapott. Saját tervezésű mikro eszközökkel képes volt feltárni az alaphártya egy részét és azt mikroszkóp alatt vizsgálta. A csigafolyadékot elvezette, és sós

oldattal, valamint porrá tört szén- és alumínium szuszpenzióval cserélte fel. Amikor a csiga hangingert kapott, fényt látott felvillanni a szuszpenzált porból, így fedezte fel a hullámmozgást az alaphártyában. Az alaphártya rezgésének illusztrálására Békésy a csiga számos mechanikus modelljét építette fel.”[25]. Fenti példán kívül számos esetben kapunk ellentétes vizuális és akusztikus információt. Ilyen például a szinkronizált felvételek; ezeknél a szájmozgás nem azonos a hallott hanginformációval, azonban agyunk kiválasztja a számára legmegfelelőbb információt, a többi, mint zavar elnyomja. „Az ember hajlamosabb a szemének hinni, így a halláskutatás egyik lényeges területe a vizuális információval való együttműködés és ennek korlátai.” [24].

Az emberi halláskutatás része a térhallás, irányhallás vizsgálatok fajtái, különösen az olyan lehallgatási lokalizációs tesztek, amelynek során ennek pontosságát vizsgáljuk. Célom olyan tájékozódási és orientációs feladatok kidolgozása, amelyek alkalmasak látók és látássérültek lokalizációs képességeinek összehasonlítására. Ilyen feladatok az egyenestartás vizsgálat, sarok-észlelés, aminek alapjai a mindennapi életben is előfordulnak, látók és látássérülteknél egyaránt, azonban a látók szemének elfedése komoly nehézséget tud okozni a végrehajtás során.

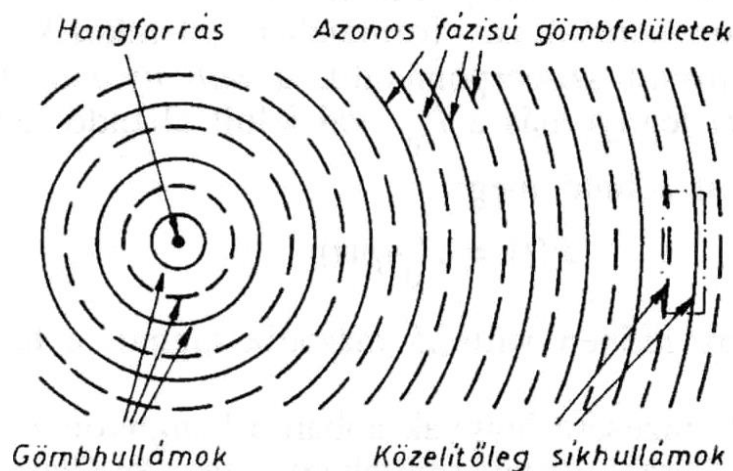
Szabadtéri vizsgálatok mellett szabad hangtérben, süketszobai körülmények között tervezek lokalizációs teszteket. „Szabad hangtérnek nevezzük röviden a „végtelen kiterjedésű, homogén levegőteret, amelyben a hang nem verődik vissza és nem hajlik el.”[26]. Ilyen térben „a hullámterjedést nem befolyásolja semmilyen elnyelő vagy visszaverő felület, azaz a hanghullám a forrásból a tér minden irányában elhajlás, törés és visszaverődés nélkül terjed.”[27].

Az általam kidolgozásra kerülő mérési eljárások célja, hogy objektíven összehasonlíthatóak legyenek a résztvevők lokalizációs képességei, meghatározásra kerüljenek azok a peremfeltételek, amelyeknél az egyes csoportok képességei közötti különbségek szignifikánsnak tekinthetőek. Kidolgozok egy HRTF (külső fül átviteli függvénye) mérésére alkalmas mérőrendszert, aminek segítségével, nagy pontossággal, megismételhetően, összehasonlíthatóan történnek mérések, egyszerűsödik a mérési eredmények ábrázolása és kiértékelése is. Megvizsgálom a HRTF-ek háromdimenziós ábrázolásának lehetőségét is.

Virtuális valóság szimulátorban különböző HRTF készletek alkalmazhatóságát vizsgálom, bemutatom egy MATLAB alatt készült program működését és lehetőségeit, meghatározom a szimulációk során legjobban alkalmazható HRTF készleteket.

## 1. Akusztikai alapismeretek

„Fizikai meghatározás szerint a hang valamely rugalmas közeg állapotának egyensúlyi helyzete körüli ingadozása, amely egy rugalmas hordozó közegben tovaterjed.” Szűkebb értelemben levegőben terjedő longitudinális hullám („a kialakuló részecske sebesség iránya megegyezik a hang terjedési sebesség irányával”). „Különböző frekvenciájú rezgések eredője, melyet általában az emberi hallástartományon belül vizsgálunk.”[24]. Egy rugalmas közeg mechanikai rezgése és hullámzása, melyet a fülünk által érzékelünk 20 Hz és 20 KHz közötti tartományban. „Élettani meghatározás szerint a hang az az érzet, amit a nyomingadozás a hallószervben kelt.”[28]. A hang kizárólag valamilyen közegben, anyagban terjed, vákuumban nincs hangterjedés. Szilárd anyagokban való terjedést testhangnak, cseppfolyós anyagokban való terjedést folyadékhangnak nevezzük. „A hang terjedésének legalapvetőbb formája a szabadtéri terjedés, amikor a hullámhosszhoz képest kis méretű forrás gömbhullámokat bocsát ki, amelyek a tér minden irányában akadálytalanul terjednek. Megfelelően messze a forrástól a görbület elenyészővé válik, és síkhullámú terjedést tételezhetünk fel. Matematikailag ezek az esetek egyszerűen számíthatók, de a valóságban aligha fordulnak elő.”[24]. (1. ábra)



1. ábra Gömbhullámok, a forrástól kellő távolságban síkhullámoknak tekinthetők [29]

„Azt a forrást, ami által a közeg rezegni kezd (a hangot kelti), hangforrásnak nevezzük. Helye megadható iránnyal, szöggel és távolsággal. Az észlelt hang, amit akusztikailag érzékelünk, érzékelést határozza meg térben és időben.”[30].

„A hang sebessége a közegtől, annak ún. akusztikai sűrűségétől függ. Légnemű közegben ezt a páratartalom, hőmérséklet, tengerszint feletti magasság stb. befolyásolja. A hang lassabban terjed sűrűbb, és gyorsabban keményebb anyagban. A hangsebesség sokszorosa acélban vagy

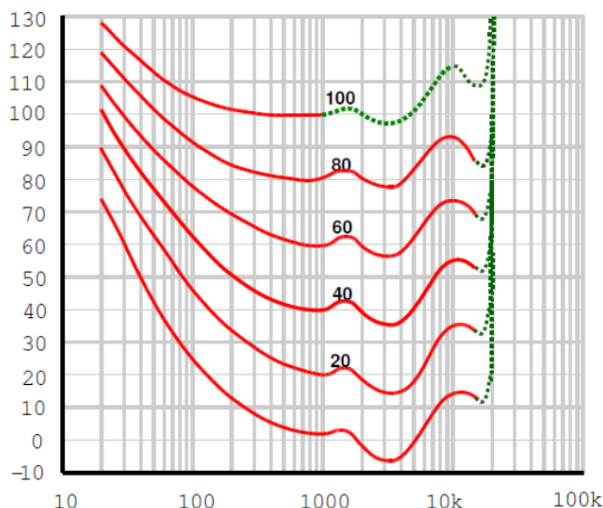
vízben a levegőben mért értéknél. Ennek oka a közeget alkotó részecskék közötti erősebb kötések.” [24].

„Az emberi hallás csupán részben írható le objektív mérőszámokkal. Képet kaphatunk egy hangról, ha megadjuk a hangnyomásszintjét, frekvenciáját, azonban a szubjektív élményt ezek a mérőszámok nem írják le. A decibel-skála nem veszi figyelembe, hogy az emberi fül különbözően érzékeny a különböző frekvenciájú hangokra. Annak érdekében, hogy létrehozzanak olyan pszichoakusztikus mértékegységeket, definíciókat is, melyek jobban korrelálnak a hallás logaritmikus tulajdonságaival, több kísérletet végeztek.”[31].

„Pszichoakusztikus jellemzők figyelembe veszik az emberi hallás tulajdonságait is. Ilyen a hangérzet, hangmagasság, hangszín, hangnyomásszint, a hangintenzitás szint, hangerősség, hangosság. Ezek közös vonása, hogy műszerrel mérhetők, szabványban rögzített módon számíthatók, és bár az emberi hallást veszik alapul, objektíven mérhetők. Tény, hogy gyakran a viszonyítási alap önkényes, ill. statisztikai átlagokon alapul.”[24].

Pszichoakusztikus jellemzők közül „a legfontosabb a hallástartomány megállapítása volt. A dinamika a lehangosabb és a leghalkabb észlelhető hangnyomásszint aránya. Vagyis a 0 dB-nek vesszük az 1 kHz-es szinusz jelet, akkor a lehangosabb még elviselhető hangnyomásszintje ennél 130 dB-el nagyobb. Ahhoz, hogy össze tudjuk hasonlítani különböző frekvenciájú hangok szubjektív hangerősségét, a dB-el skálázott hangnyomásszint nem megfelelő. Ugyanis a fentiek alapján nem derül ki az, hogy az 50 dB-es 50 Hz-es jelet még éppen csak meghalljuk, ugyanakkor az 50 dB-es 2 kHz-es hang, kifejezetten hangos. Az összehasonlításhoz bevezették a hangerősség fogalmát: egy hang hangerőssége annyi [phon], ahány dB a vele azonos hangosságérzetet keltő 1 kHz-es szinuszhang hangnyomásszintje. Jele: Ln.

Abban az esetben ha az 50 dB-es 50 Hz-es jelet vesszük, akkor ezentúl azt mondjuk rá, hogy ez az 50 Hz-es jel 0 phon-os. Így összehasonlíthatóak a phon-ban megadott értékeket. Így a 0 phon-os görbén kívül ábrázolható az össze többi is. Ha az 1 kHz-es szinusz jel 10 dB-es, akkor az kijelöli a 10 phonos hasonló görbét és így tovább” (2. ábra) [31].



2. ábra Frekvencia-hangnyomásszint diagram [32]

„Egy hang hangerőssége annyi phon, ahány dB a vele azonos hangosságérzetet okozó 1 kHz-es szinuszhang hangnyomásszintje. Noha 30 phon és 30 phon összege 60 phon, ezt nem kétszer olyan hangosnak érzékeljük. Különböző frekvenciájú hangok erősségét össze tudjuk hasonlítani, de phon értékeket összeadni nem szerencsés.” [24].

„A hangosság jele:  $L_p$ , mértékegysége a sone. Nemlineáris leképezés a phon-skáláról. Ha egy sone-t hozzáadunk egy sone-hoz, a végeredmény 2 sone, és az kétszer olyan hangos érzetet jelent. Tíz phon növekedés felel meg kétszeres sone-értéknek. Ez a skála és mértékegység közvetlenül alkalmas különböző frekvenciájú és hangosságú források összeadására (szubjektív megítélésre). Mivel a hallás közel logaritmikus, az ezzel egyenes arányos mértékegység a sone. A hangosság az időtől és a hangnyomásszinttől is függ: egy állandó hangnyomásszintű hangot egyre hangosabbnak fogunk érezni, hogy az időtartama 0-ról kb. 1 másodpercre nő. A phone-sone átszámítás az alábbi:

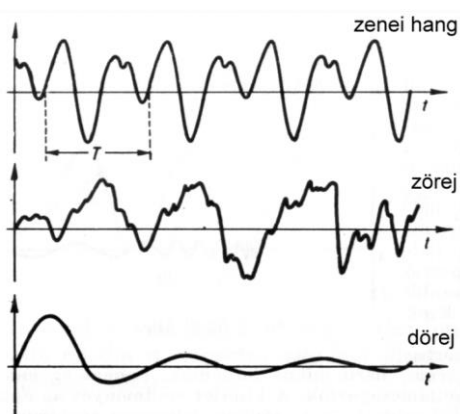
$$L [\text{sone}] = 2^{(L [\text{phone}] - 40)/10}$$

40 phon-hoz tartozik 1 sone érték, felette rohamosan nőnek, alatta pedig 0 és 1 közé csoportosulnak. A cél az, hogy egyre hangosabb hangokat összeadva jól látható legyen a növekedés. Sone értékek összeadhatóak és  $1 \text{ sone} + 1 \text{ sone} = 2 \text{ sone}$ , ami kétszer olyan hangos hangot jelent.” [31].

„Frekvencia tekintetében megkülönböztetünk infrahangokat (16 Hz alatti frekvenciájú hangok), hallható hangokat (16 Hz vagy 20 Hz és 20 KHz közötti frekvenciájú hangok), ultrahangokat (20 KHz és 100 MHz közötti frekvenciájú hangok), és hiperhangokat (100 MHz feletti frekvenciájú hangok).”



„Hangérzet szerint a hangok három fő csoportba sorolhatóak: zenei hangok, zörejek és dörejek. A zenei hangok alaphangból és felharmonikusaiból állnak, a zörejek nem periodikus hullámok, rövid időtartamú tranziensek, pl. durranások, csattanások. Az olyan zenei hangot, amely egy frekvenciájú harmonikus rezgésből áll, tiszta hangnak hívják.” [33].



3. ábra Hangérzet csoportosítása [34]

„A hang magasságát a rezgés frekvenciája határozza meg, úgy, hogy a nagyobb frekvenciájú hang a magasabb. Két hang viszonylagos magasságát, az  $f_2/f_1$  viszonyt hangköznek nevezzük. A 2:1 arányú hangköz az oktáv. Az emberi beszédhang általában egy oktávot fog át, a férfiak beszédfrekvenciája 100 Hz – 200 Hz, nőké 150 Hz – 300 Hz, gyerekeknél 300 Hz körüli.”

„A hangszínt az alaphanghoz csatlakozó felhangok (felharmonikusok) frekvenciája és viszonylagos erőssége szabja meg. A felhangok nélküli, tiszta alaphang színtelen. A hangszínt a hangforrás és a megszólaltatás módja határozza meg, például a húr más hangszínnel szól pengetve, vagy vonóval.” [33].

„Hangnyomásszint az aktuális effektív hangnyomás és egy referencia érték hányadosát logaritmikus skálán dB-ben adja meg.” Angol elnevezése Sound Pressure Level (SPL), ez az, amit egy mikrofonnal ténylegesen mérünk:

$$SPL = 20 \log \frac{p[Pa]}{20 \times 10^{-6} [Pa]} = 20 \log \frac{p}{p_{ref}} [dB]$$

„A vonatkoztatási szint tehát 20  $\mu$ Pa, szemben a 105 Pa értékű atmoszférikus nyomással. Ez az a nyomásérték, amelyet az „átlagos ember” ideális körülmények között, 1 kHz-es szinuszjel esetén éppen meghall (hallásküszöb, 0 dB). A pozitív dB értékek ennél hangosabb, a negatívak ennél halkabb értékeket jelentenek. Az emberi hallás érdekes tulajdonsága, hogy az megközelítőleg a hangnyomás amplitúdó-változásának logaritmusára érzékeny.” [24].

„A hangintenzitás (vagy hangenergia-áram sűrűség) az egységnyi felületen egységnyi idő alatt átáramló hangenergia időbeli középértékének nagyságával mérhető, jele  $I$ , mértékegysége  $[W/m^2]$ . Ha a hullám energiája időegység alatt  $\Delta A$  felületen halad át, akkor hangintenzitása:

$$I = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Ez a hangintenzitás az emberi fül érzékenységtől független objektív hangerősség.” [33]. Az emberi fül 1 KHz-es  $I_0=10^{-12} W/m^2$  hangot is érzékel, ez a küszöbintenzitás, vagy hallásküszöb (4. ábra), amely frekvenciánként más és más [35].

$W/m^2$		dB
$10^{-12}$	<b>hallásküszöb</b>	0
$10^{-11}$	halk neszek, levélzörgés	10
$10^{-10}$	óráketyegés (közvetlen közelről)	20
$10^{-9}$	csöndes kert, suttogás	30
$10^{-8}$	halk beszéd 1 m-ről	40
$10^{-7}$	csöndes iroda	50
$10^{-6}$	átlagos beszéd 1 m-ről	60
$10^{-5}$	városi forgalom zaja	70
$10^{-4}$	kiabálás 1 m-ről	80
$10^{-3}$	fúrógép 1,5 m-ről	90
$10^{-2}$	nagyzenekari forte	100
$10^{-1}$	kierősített rockegyüttes	110
1	légkalapács 1 m-ről, <b>fájdalomküszöb</b>	120
10	sugarhajtású repülő 40 m-ről	130
100	rakétahajtómű közelről	140

4. ábra Hangintenzitás táblázat [36]

„Hallásküszöbre vonatkozó méréssorozatot 1950-ben végezték, és az International Standardization Organization fogadta el. Gyakorlatban az emberek 95%-ánál az ingerküszöb ennél feljebb van.”[33].

Hangintenzitási szint ( $L_I$ ) a hangintenzitásból ( $I$ ) származtatott mennyiség, ami a hallásküszöbtől ( $I_0$ ) való intenzitás-eltérést fejez ki.

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$I_0 = 1 \rho W / m^2 \quad [29].$$

Mértékegysége a decibel (dB). Fülünkkel biológiai okok miatt a tízszer nagyobb intenzitású hangot csak fele olyan hangosnak halljuk, mint a százszor nagyobb intenzitású hangot, vagyis az inger és az érzet nagysága közötti összefüggés exponenciális [35].

## 2. Emberi térhallás alapjai

Szemünk a legfontosabb és legtöbbet használt érzékszervünk, az információ 60-90 %-át a látásunk útján szerezzük, az emberi agy 40 %-a látással foglalkozik. A szemünk rendkívül alkalmazkodó képes, nagyobb távolságból is képesek vagyunk pontos információt szerezni környezetünkről [37-38]. Látásunk elvesztése, vagy jelentős romlása esetén egyéb érzékszervek, például a hallás által szerzett információi kerülhetnek középpontba. „Az emberi hallás frekvenciában, amplitúdóban, másrészt felbontásban is korlátozott. Utóbbi értelmezhető szintén frekvenciában, amplitúdóban vagy éppen térbeli irányokban. A felbontás tulajdonképpen megkülönböztető képességet jelent: mekkorák azok a legkisebb különbségek szomszédos térirányok, közeli frekvenciák vagy hasonló hangerősségek között, amelyeket egymástól meg tudunk különböztetni.”[24].

### 2.1. Vizuális és akusztikus támpont

„Ha az ember látássérülten jön világra, vagy élete során veszíti el szeme világát, akkor a hallás az egyetlen kapcsolata a külvilággal. A kommunikáció minden ember számára létkérdés. A fogyatékos személy nehezebben jut információkhoz, s a mások számára hozzáférhető és egyértelmű információ számára gyakran egyáltalán nem értelmezhető. [...] Ezért kell számukra a nekik megfelelő (adekvát) formában az információt hozzáférhetővé tenni.” [39-40].

Kutatásom egyik célja a pontos vizuális információ, ún. vizuális támpont helyettesíthetőségének vizsgálata annak érdekében, hogy látássérültek közlekedését könnyebbé lehessen tenni.

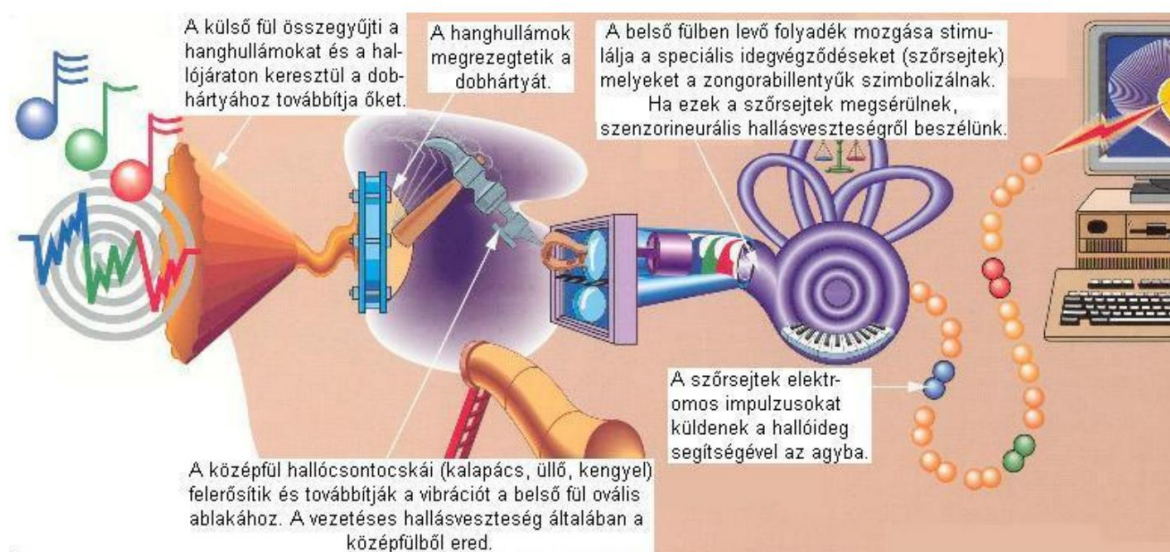
„A hétköznapi életben számtalan vizuális információra támaszkodunk a hivatalokban, a bankokban, az utakon vagy a háztartási teendők elvégzése során. Képek, táblák, piktogramok, feliratok segítik számunkra az eligazodást. Ezek a vizuális támpontok teszik lehetővé, hogy segítség nélkül eligazodjunk még idegen helyen is, vagy éppen azt, hogy elkészítsünk új dolgokat, megismerjük az ismeretlen eszközök működését.” [41].

Látó emberek számára ezek a vizuális támpontok rendszerint egyértelműek és egyszerűen használhatóak. Látássérültek életminőségének javítása érdekében szükség van hasonló, egyértelműen beazonosítható támpontot adni. Ilyen lehet az akusztikus támpont, ami helyettesítheti azt a vizuális információt, hogy a közelünkben egy adott dolog, vagy hely hol van, hogyan közelíthető meg. Míg a látóknak nem okoz nehézséget nyitott szemmel „A” pontból „B” pontba eljutni, mivel látja a célt (van vizuális támpontja) és odamegy, addig a

látássérültek számára ez megvalósíthatatlan feladat. Abban az esetben, ha számukra is tudunk egyértelmű és pontos információt adni arról, hogy hová kell eljutni, például akusztikus információkkal, a feladat számukra is egyszerűsödik.

## 2.2. Hallás

A hallás során a levegőrezgéssel közvetített hangingeret (hanghullámok) a külső fül összegyűjti és a hallójáraton át a dobhártyához továbbítja, ami mechanikus rezgésre alakítja. A rezgését a hallócsontocskák (kalapács, üllő, kengyel) felerősítve átviszik a középfület a belső fültől elválasztó ovális ablak hártájához. A rezgések a belső fülben eljutnak a csigába, melyet folyadék tölt ki. A csigában lévő folyadék mozgásba jön, mozgása stimulálja a szőrsejteket, amik elektromos impulzusokat küldenek az agyba. A hang frekvenciájától függően a folyadék más-és más szőrsejteket hoz mozgásba (5. ábra). „Magas frekvenciájú hangok a csiga bázisán, alacsony frekvenciájú hangok a csiga csúcsán okoznak nagyobb kitérést.” [42].



5. ábra A hallás folyamata [43]

„A külső fül a hangrezgés összegyűjtésére és a dobhártyához vezetésére szolgáló, tölcser (hallócső) alakú szerv. A külső fül a fülkagylóból és a külső hallójáratból áll. A fülkagyló vázát két rugalmas rostos porc, a fülkagyló porca és a pajzsporc adja. A külső hallójárat a dobhártyáig terjed. A dobhártya (*membrana tympani*) a külső és a középső fül között kifeszülő, rugalmatlan, gyöngyszerűen fénylő, vékony hártya. A középső a halántékcsontról a külső fül közötti dobüregből, valamint a dobhártyát a belső füllel összekötő hallási csontocskákból áll. [...] A dobüreg kétoldalt lapított, keskeny, résszerű üreg, mely a fülkürt útján a garatüreggel közlekedik. A

hallási csontocskák: a kalapács, az üllő és a kengyel, a dobhártyától az ovális ablakig terjedő csontláncolat, amelyben a csontokat két ízület és szalagok kapcsolják egymáshoz. A dobhártya rezgéseit közvetítik az ovális ablakon át a belső fülbe. [...] A belső fül a sziklacsontban helyeződő, egymással közlekedő, csontos falú, csontthártyával bélelt üregekben és járatokban, a *csontos labirintusban (csontos tömkelegben)* foglal helyet.”[44].

„A hangok egy része nem a levegő rezgésével, hanem a koponya, az arccsont rezgéseivel jut el a belső fülbe. Ezt nevezik csontvezetéses hallásnak. A csontvezetés általi hallás fontos szerepet játszik a beszédben, főleg a saját beszédben. A zümmögő hangok, vagy a fogak koccanása szinte teljesen csontvezetés által hallhatóak. (Ha ujjunkkal befogjuk a fülünket, így állva útját a levegőnek, a zümmögés hangosabban ” fog szólni.) Amikor beszélünk, vagy énekelünk, két különböző hang jut el a hallószervhez, az egyik a csontvezetés, a másik a levegővezetés útján. Ismert, hogy a saját hangját hangfelvételtől visszahallgató személy más hangot hall, mint amit a saját megszokott hangjának tart. Ez attól van, mert a mikrofon csak a levegő útján érkező hangot veszi fel.”[45]. A térbeli hallás számára a külső fül vizsgálata a legfontosabb [46-50].

### **2.3. Térbeli hallás, tájékozódás**

A lokalizálhatóság a hangforrás, ill. a helyére vonatkozó kialakult érzetre jellemző. Megadja, hogy mekkora az érzékelt minimális helyváltoztatás, adott körülmények között, és az hogyan változik térben és időben. Egy forrás esetén idővariáns. Az irányhallás képessége olyan tanult („csecsemők 3-6 hónapos korban kezdik megtanulni, a hallásélményt a látással összehangolni és a hangforrásokhoz irányt rendelni” [24]), ösztönös folyamat, ami az emberi fejlődés során alakult ki és tapasztalati úton válik egyre jobbra. Segítségével képesek vagyunk egy hangforrás irányát meghatározni, meg tudunk különböztetni különböző hangforrásokat. Mivel a kísérletek résztvevői emberek, az ő megfigyeléseikre vagyunk utalva, azokat kell elfogadni és a szubjektív jellemzőket kell számszerűsíteni. Előfordul, hogy a megfigyelő és a kísérleti alany ugyanaz a személy, mivel a hallásélményről fontos a visszacsatolás. Esetenként a kísérleti alany gyakorlottsága befolyásolja az eredményt, mivel a feladat begyakorlása után jobb eredményt produkálhat [30].

## 2.4. Látássérültek tájékozódása, lokalizációja

A látássérültek csoportosítására az alábbi hármass csoportosítást használják:

- gyengénlátók
- alig látók
- vakok

A hagyományos látásélesség (visus) definíció, értékek szerint osztja a különböző csoportokba az embereket. A klasszikus kategorizálás szerint, akiknek nincs látásmaradványa a vakok, az alig látók csupán a fényt érzékelik, foltokat vagy esetleg nagy tárgyakat még látnak, de látásélességük nem éri el a 0,1-et. Míg a gyengénlátók csoportjába azokat sorolja, akiknek látásélessége 0,1 és 0,3 között van [106]. A WHO 1992-es meghatározása alapján az számít látássérültnek, akinek a jobbik szemén maximális korrekcióval mért látásteljesítménye az ép látás 0-30 %-a, és/vagy látótérszűkülete 20°-os, vagy annál nagyobb [107]. A látás működésének egyre pontosabb megismerése és a rehabilitációs szemlélet által ez a kategorizálás nagymértékben megváltozott. Részben abban, hogy a látásélesség nem az egyetlen, és nem is a legjobb meghatározója a látássérülés mértékének. A mindennapi nehézségeket jobban meghatározza a látótér sérülése és a csökkent kontrasztérzékenység. Másrészt egészen másfajta látásproblémákról beszélünk, ha azt az idegrendszer sérülése váltja ki, ilyenkor gyakran visus értékekben nem is fejezhető ki.

A rehabilitáció szemlélete is megváltozott. A látássérült tényleges, mindennapi élethelyzetben megélt képességeit tekintik mérvadónak, nem pedig a szakember vizsgálati eredményeit. Ennek az új, funkcionális szemléletnek kell érvényesülnie a rehabilitációban, mivel a látássérültnek nem az orvosi szobában vagy más vizsgálati helyzetben kell teljesítenie, hanem a mindennapok feladataiban [106]. Funkcionális megközelítés szerint az számít látássérültnek, aki szembetegség vagy a központi idegrendszer látásfunkciókat érintő betegsége miatt akadályozott a:

- közlekedés-tájékozódás
- mindennapi élet (önellátás, házi munka, ügyintézés, stb.)
- információ és kommunikáció (számítógép, írás-olvasás, stb.)
- pszichoszociális működés (látássérülésből fakadó krízis, kapcsolatteremtési nehézségek, izoláció, szociális kompetenciában való hiányosságok, stb.)

- tanulmányok végzése
- pályaválasztás, munkavállalás
- látás használata és/vagy látásjavító eszközök használata területén [107].

A látássérült emberek a mindennapjaikat másképp élik. A lakásukban mindig rendnek, mindennek a megszokott helyén kell lennie, különben nem találják meg a dolgaikat. Általában segítségükre van valaki, olyan személy, aki velük van, és segít a mindennapi dolgokban, például az öltözködésben, a főzésben, vagy a közlekedésben. Akik feladataikkal egyedül néznek szembe, sokkal nehezebb helyzetben vannak. A szekrényben a ruháknak szín szerint kell lenniük, a konyhában a cukornak és a sónak mindig ugyanott kell lennie. A látó embernek ezek a dolgok nem okoznak gondot, de egy vak ember számára rendkívül fontosak.

A szobában - kezeivel tapogatva maga körül – könnyedén, szinte észrevétlenül körüljár, pillanatok alatt tájékozódik szűkebb környezetéről és ezen túl mozgásán nem venni észre, hogy „sötét szobában” van. Egyik legfontosabb tájékozódó érzékszerve hiányzik és ezt meglepően nagymértékben pótolja más érzékszerveivel. Ha megfigyeljük az utcán a vak embert, fehér botjával maga előtt kopogtatja a járdát és szinte olyan sebességgel és könnyedséggel halad, mint a többi járókelő. A járda szélén le- és fellép, sőt az úttesten is átkel. Ha falkiszögellés kerül útjába, úgy kerüli ki, mintha látná [108][109]. Ám a látássérültek nem igen térnek el a megszokott útvonalaktól. Azokat már ismerik, kitapasztalták, hogy hány lépésre van a bolt, stb. De bármikor történhetnek kiszámíthatatlan dolgok, útfelújítás, járdajavítás, csatornázás, szerelés, ami előre nem látható. Ilyen esetekben fontos, hogy az emberek segítsenek [50][109].



## 2.5. Lokalizáció

„Lokalizáció az a helymeghatározási folyamat, melynek során a hallás kiértékeli a füljeleket, és információt szerez a hangforrás helyéről. Lokalizációs bizonytalanság az a küszöb, mely alatt a hallórendszer a térbeli jellemzőket nem képes megkülönböztetni. Ezen határ alatt a hangforrás (pontosabban a kialakult érzet) helyének megváltozását nem érzékeljük.” [30].

„A lokalizáció annyit jelent, hogy képesek vagyunk a hangforrások helyzetét 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 [51-54]”.

A hangforrás helyének meghatározhatóságát lokalizációnak hívjuk, amely szintén rendkívül fontos egy látássérült számára [55]. Ha sikerült megállapítani a hangforrás helyét, biztonságosan képesek tájékozódni és közlekedni környezetükben. A tájékozódás nem más, mint saját személyünk környező tárgyakhoz viszonyított helyzetének meghatározása akár zárt térben, akár a szabadban, és az erre épülő képesség a helyes út megtalálására és követésére [56]. Az ember felhasználja az érzékeit arra, hogy megértse elhelyezkedését a környezetben, egy adott időben. A tájékozódást és a mozgást meghatározhatjuk úgy, mint azon fogalmak, készségek és technikák, amelyek szükségesek ahhoz, hogy biztonságosan, hatékonyan közlekedjünk bármely környezetben és bármely környezeti feltételek közepette [57]. Ebben a folyamatban nagyon fontos szerepet játszik a mozgás mellett az érzékszervi ellenőrzés és az értelmi tevékenység, vagyis az érzékelés és az észlelés [58]. Abban az esetben, ha a látás súlyos mértékben sérül, a többi érzékszerv segíti ezt a képességet is. Ezek nem veszik át automatikusan a szem funkcióját, hanem intenzív tanulási folyamatot szükségesnek ahhoz, hogy megfelelően tudják ezt a funkciót kompenzálni és használhatóak legyenek a mozgásban, tájékozódásban [56].

A három fő érzékelés, amely hatással van egy látássérült személy tájékozódására: a tapintás, a hallás, és a látásmaradvány. Mivel a látássérült személyek az auditív észlelést használják számos hétköznapi tevékenységükben, az elmúlt évek folyamán néhány kutató felismerte annak kiemelkedő szerepét a tájékozódásban is, ugyanis a látás és a hallás mechanizmusa hasonló. Mindkettő képes felfogni az energiahullámokat, és a visszaverődő hullámokat is. A hallórendszer felfogja a hanghullámokat, ahogyan azok a forrástól érkeznek, ill. visszaverődnek a különböző felületekről, ugyanígy a látás is. Mindkét rendszer nagy mennyiségű információt

nyújthat a környezetről, értelmezve a felfogott energiákat, amelyek visszaverődtek [59]. A hallás a tér egészéről, még a tapintással el nem érhető részeiről is, és minden irányról információkat nyújthat. Irányítja az érdeklődést és a figyelmet, és ennek következtében ösztönző hatással van a mozgásra, aktivitásra és segít a tájékozódásban. A látássérülteknek „Meg kell tanulniuk a hangforrást lokalizálni, irány és távolság szerint. A látássérülteknek tudniuk kell az akadályokat és a tárgyakat a saját maguk keltette zajok visszhanghatásából felismerni.”[56][60].

Mindezekre azért van szükség, hogy ismereteiket a saját testükön túlra is ki tudják terjeszteni. A környezetben lévő hangok nem minden esetben informatívak, ezért szelektálni kell azokat a figyelem segítségével, majd következik az észlelés többi összetevője a lokalizáció, a felismerés, az absztrakció, valamint az alakállandóság megtartása. Így pontosan tudni fogja a személy, hogy milyen információkat, és hogyan hasznosíthat a tájékozódásában.

Egy látássérült személy számára a környezetben jelen levő térbeli sajátosságok akusztikus érzékelése két kategóriába sorolható:

— A hangkibocsátó tárgyak lokalizációja: pl. emberek, autók, telefon.

— A hangokat ki nem bocsátó tárgyak lokalizációja: pl. egy fal, sarok, ajtónyílás [57][60].

### **2.5.1. Lokalizációs bizonytalanság**

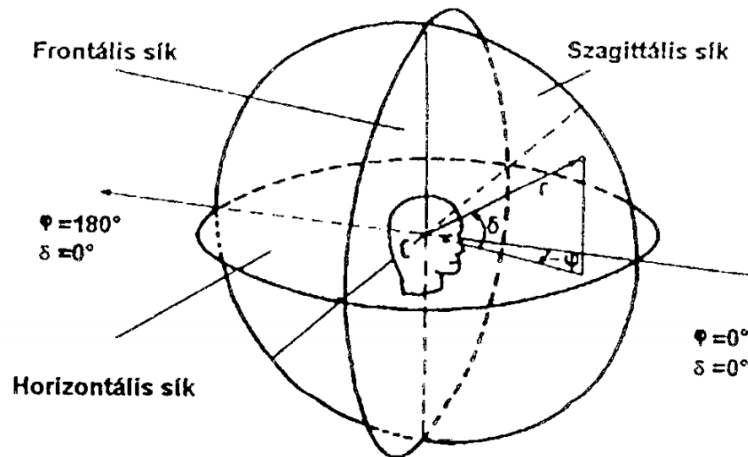
„A hallás a hallásérzet helye és a hullám ismertetőjegyei között létesít kapcsolatot a lokalizáció közben. Ha a jellemzők megváltoznak, helyváltoztatás-érzet léphet fel. Lokalizációs bizonytalanság az a legkisebb helyváltoztatás, amit a hallórendszer érzékelt tud, úgy, hogy a fülben történt változás már kiértékelhető. A legkisebb lokalizációs bizonytalanság  $1^\circ$  körüli, ami lényegesen rosszabb, mint szemünk esetében az 1 ívperc. Horizontális síkban a bizonytalanság  $\pm 3^\circ$ , oldalt irányban  $\pm 10^\circ$ , míg hátul  $\pm 5^\circ$ . Hosszabb ideig tartó jelek esetén a bizonytalanság csökken, mert a feldolgozásra több ideje van a fülnek, azonban a bizonytalanság frekvenciafüggést is mutat.” Érdekesség, hogy egy forrástól is kialakulhat több hallásérzet [30][61].

## 2.6. Echolokáció

A tájékozódás területén belül a hangokat nem kibocsátó akadályok észlelésére az echolokáció kifejezéssel utalnak [62]. Az echolokáció a természetes hang felfogása és felhasználása arra, hogy meg lehessen határozni a tárgyak távolságát és elhelyezkedését a környezetben. A visszhangok értelmezésével az a személy, aki jártas ebben, azonosítani tudja a tárgyak helyét, sőt, kutatások igazolták, hogy a méretét és a tárgy anyagát is meg tudja határozni egy rövidebb gyakorlási folyamat után. Mikor a hanghullámok valamilyen akadályba ütköznek, visszaverődnek arról és általában visszatérnek az eredeti hang forrásához. A visszhang tulajdonságait az öt visszaverő felület természete befolyásolja [63]. Visszavert hangok alapján való tájékozódásra képes állatok a denevérek és a delfinek. A kibocsátott hangok visszaverődése alapján tájékozódnak, találnak táplálékot. Hozzájuk hasonlóan vakok is képesek arra, hogy visszhangok alapján tájékozódjanak. Hang kibocsátása történhet bottal való kopogtatással, vagy a szájukkal keltett csettintéssel. Kanadai kutatók most kimutatták, hogy azon vakok akik echolokáció segítségével tájékozódnak, agyuknak azt a részét használják a tér visszhangok alapján történő modellezésére, amely látó társaikban a látási ingerek feldolgozására szolgál. A Nyugat-Ontariói Egyetem agykutató központjának munkatársai elsőként elemzik az emberi echolokáció idegtudományi alapjait [64][65]. A visszhangokkal egy vak közlekedő nagyon komplex, részletes és specifikus információkat tud érzékelni az általa használt bot hosszúságától messzebből is. A visszhang elérhetővé tesz olyan információkat a környezetről vagy a tárgyak elhelyezkedéséről, mint a kiugró részek, falak, ajtónyilasok, sarkok, kanyarok, lépcsők, parkoló autók, fák, stb. Részletes információt nyújtanak a tárgyak helyzetéről, méretéről és sűrűségéről. Ezek nagyon jelentős információk, mivel csak ezen tulajdonságok közti összefüggések megértésével értelmezhetőek a környezeti tárgyak [63]. Bár ez a képesség az akadályok észlelését segíti elő, azáltal javítja a közlekedést és a téri tájékozódást, hogy egy esetleges akadály lokalizációja után a személy könnyedén ki tudja azt kerülni, vagy körül tudja járni. A visszhangok visszatérésének idejéből meg lehet állapítani az akadály távolságát is. Ugyanakkor visszhangok által, segédeszközként használhat a közlekedő egy falat, abban az esetben, ha egy meghatározott távolságra tőle, a hangok felhasználásával, végigsétál egy folyosón, vagy egy épület mellett [52][55][56][63].

## 2.7. Irányérzékelés

Az emberi tér- és irányhallás vizsgálatok során fejhez rögzített koordináta-rendszert használunk. A fejhez rögzített (head-related) koordináta rendszer síkjai a mediális (szagittális) sík a fej szimmetriasisíkja, a hallójárat középvonala és a szengödör alsó csontjára fektetett sík a horizontális sík és a rájuk merőleges és a hallójáratok elülső peremére fektetett (frontális) sík. Metszéspontjuk az origó, az 4. ábrán látható módon a fej belsejében található [60][66].



6. ábra Fejhez rögzített koordináta rendszer és síkjai [30]

Az oldalirányú eltéréseket a szagittális síkban vizsgáljuk.  $\phi$ -vel jelölt a pontosan szemben iránytól való eltérést. A szemben irány a  $\phi=0^\circ$ , míg a pontosan hátul irányt a  $\phi=180^\circ$  jelöli. Hasonlóan a mediális síkban, ahol az elől- hátul irány meghatározása történik.  $\delta$  szög az emelkedési (elevációs) szög. A mediális síkban  $\delta=0^\circ$  a fülek síkja,  $90^\circ$  a fej feletti,  $180^\circ$  a fej mögötti. A távolságot  $r$ -rel jelöljük. Hallásérzet az a jelenség, ami a hangforrás hatására a hallórendszerben jön létre. A hallásérzet kialakulásának helye leírható iránnyal, szöggel és távolsággal, de korántsem biztos, hogy egyezik a hallásérzet helyével. Két külön dologról van szó, vizsgálataim egy része erre is irányul [66].

„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. Hallásunk felbontóképessége a szemben irányban a legjobb. Mivel a horizontális síkban a füljelek idő- és szinteltérése nagy lehet, itt 3-5 fok körüli bizonytalanság is lehet. A fej szimmetriasisíkjaiban a két fülbe egyszerre és megegyező 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” [47][51][67]. Gyakran van rá példa, hogy ebben a síkban

lévő hangforrásokot összekeverünk, nem tudunk különbséget tenni, hogy a hang hátulról, vagy előlről érkezik-e. Ezt elől-hátul döntési hibának nevezzük és tűzoltók tréningezésénél fordult elő, hogy a korlátozott látási viszonyokban nem tudták beazonosítani a forrás helyét.

### 2.7.1. Mono- és binaurális jellemzők

„A kétfülű hallás legfontosabb előnye a hangforrás érzékelésének képessége. Bár a lokalizáció bizonyos mértékig egyfülű hallás útján is lehetséges, a kétfülű hallás nagymértékben megnöveli a hangforrás irányát meghatározó képességünket.”[25]. Egyes paraméterek egy füllel is (ún. monaurális jellemzők), mások azonban csak két füllel (binaurális jellemzők) dolgozhatók fel. [47]. „Monaurális jellemzők az egyfülű hallásra jellemzőek - tehát egyik fülükre süketek is fel tudják dolgozni. Ilyen jellemzők minden hangjelben vannak, belőlük az érzet távolságára, emelkedési szögére, valamint az előre/hátra irányok meghatározhatóságára következtethetünk. Fejhallgatón keresztüli mérésre az ún. diotikus eljárás alkalmazható, mikor ugyan mindkét fejhallgató szól, de ugyanazt a jelet sugározzák. Monotikusnak nevezzük azt az eljárást, ha csak az egyik fejhallgató sugároz jelet.” [24].

„Interaurális jellemzők csak a kétfülűek számára hasznosíthatók. Ezek az ismérvek a két füljel eltérését ill. viselkedésüket jellemzik. Ha változik az interaurális jellemző, mindig változik a monaurális is. A valóságban soha nem fordul elő, hogy ezek külön lépnek fel, hanem mindig együtt. A fejhallgatón keresztül történő interaurális vizsgálatokat ún. dichotikus módszerrel végzik, ami azt jelenti, hogy mindkét fejhallgató szól, és a jelek is különbözőek (hasonlóan a sztereóhoz, a bal fül a bal, a jobb fül a jobb csatorna jelét kapja).”[24].

### 2.7.2. Külső fül átviteli függvény (HRTF)

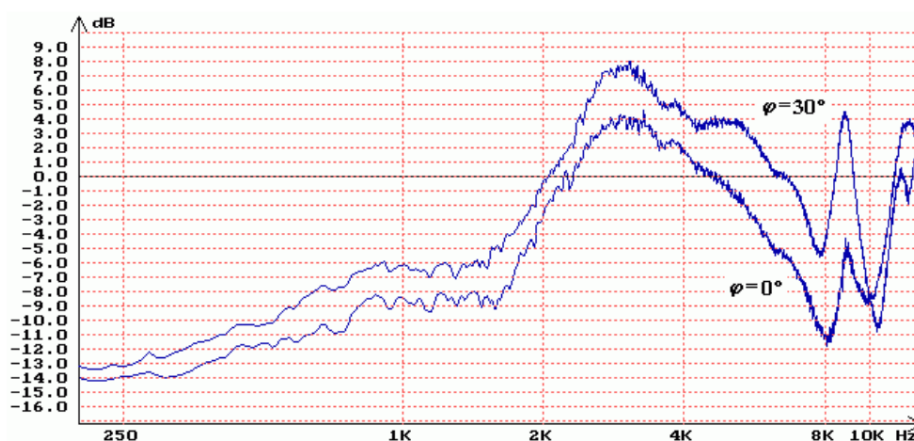
A külső fül műszaki leírása, komplex átviteli függvénnyel történik, amit angol elnevezés alapján HRTF-nek rövidítünk (Head-Related Transfer Function).

„A HRTF definíciója:

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

ahol  $P_1$  a hangnyomás a dobhártyán,  $P_2$  pedig a hangnyomás a fejhez rögzített koordináta-rendszer origójában, ugyanazon hangforrás és hangjel esetén, de azt a fej nélkül egy irányfüggetlen (gömbkarakterisztikájú) mikrofonnal rögzítve” [24].

Az átviteli függvény vizsgálatakor megállapítható, hogy a hang a forrástól a dobhártyáig lineáris torzítást szenved (mind amplitúdó, mind fázisspektrum változás lép fel). Torzításnak több oka lehet, például az árnyékolás, a reflexiók és az elhajlási jelenségek a fejnél, és a fülkagylónál. „A méretekből következően a fej 500 Hz-től, a kagyló 1.5 kHz-től, a hallójárat pedig 3 kHz felett okoz torzítást” [30]. Ezen hatások, melyeket a HRTF segítségével leírhatunk. Megadja az átvitelt a szabadtér bármely pontjától a dobhártyáig, a beesési iránytól függően [68-71]. Ezáltal minden térirányhoz tartozik egy-egy HRTF. Ez a szűrőhatás az irányinformációt határozza meg. Vagyis „a HRTF-függvény adott térirányhoz megmondja, miként módosul az átvitel a „saját fejünkkel” ahhoz képest, mintha csak egy irányfüggetlen mikrofon lenne a helyén. A fej és a fülkagyló tehát ennek a képzeletbeli mikrofonnak az iránykarakterisztikáját módosítja. Egy adott irányhoz mindkét fülhöz tartozik egy-egy HRTF-függvény. Mivel valójában végtelen sok térirány van, az így elképzelt HRTF-függvénysereg is végtelen sok elemből áll.” [24]. A HRTF-függvényeket minden esetben szabadtérben (free-field) értelmezzük, amikor nincsenek visszaverődések (süketszobai mérések). A HRTF komplexitása miatt, létezik amplitúdó- és fázismenete is, de gyakran az időtartománybeli változatát használjuk. Ennek neve HRIR (Head-Related Impulse Response), ami az impulzusválasz [72]. Az átviteli függvényeket, irányfüggőségük miatt, a fentebb ismertetett speciális fejhez rögzített koordináta-rendszerben értelmezzük [66]. A 7. ábra horizontális síkban mért HRTF-függvényeket mutat. Ilyen értelemben a hallás szétbontható irányhallásra és távolsághallásra, kísérleteimben az irányhallásra helyeztem a hangsúlyt.



7. ábra HRTF-függvények a horizontális síkból a bal fül dobhártyájának helyén mérve [73]

„Harmadik paraméter a távolságinformáció, ami általában nem szerepel. Részben mert állandó távolsággal dolgozunk (a fej körül egy gömbfelületet vagy kört elképzelve), részben mert a

távolsághallás szinte kizárólag a hangerősség függvénye. A HRTF függvények, egy készletet alkotnak, ahol minden térirányhoz van egy-egy a bal és a jobb fülhöz is egyaránt.” [24][51].

### 2.7.3. Abszolút és relatív vizsgálatok

„Azokat a vizsgálatokat, ahol a hangforrás helyét kell meghatározni (pl. rámutatni) abszolút vizsgálatoknak, míg azokat, ahol két forrás különbözőségét vagy azonosságát, relatív vizsgálatoknak nevezzük [74].” A relatív vizsgálatok elvégzése könnyebb, kisebb hibával oldhatóak meg. Angolul ezeket MAA (Minimum Audible Angle) és JND (Just Noticeable Difference) vizsgálatoknak nevezik. Ezeknél a vizsgálatoknál mindig csak valamihez képesti különbséget, elmozdulást kell észlelni [75-80]. Az MAA általában fokban mérendő, de megadható más mértékegységben is (dB vagy  $\mu$ s), és ezek egymásba át is számíthatók [81, 82]. „Létezik még egy fogalom, a Minimum Audible Movement Angle (MAMA), amely a mozgás sebességét is figyelembe veszi. Meghatározható a sebesség függvényében és értéke függetlennek tűnik az MAA-tól [78, 83, 84]. Úgy az MAA, mind a MAMA optimális, ha a jel 1000 Hz alatt vagy 3-4 kHz felett van. A hallórendszer nehezen vagy egyáltalán nem képes pontosan a sebességet meghatározni, és inkább a távolság, valamint a térbeli információk alapján működik [85, 86]. Az MAA minimuma általánosságban 250 Hz és 1000 Hz között van, majd eléri maximumát, és 3-6 kHz között egy újabb minimuma található.” [24].

Lokalizáció során több paramétert is felhasználunk:

- A két füljel közötti interaurális időkülönbség (ITD, Interaural Time Delay vagy Difference),
  - a két füljel közötti interaurális szintkülönbség (ILD, Interaural Level vagy Intensity Difference),
  - a két füljel közötti interaurális fáziskülönbség (IPD, Interaural Phase Difference), bár ezt ritkán használjuk, hiszen az ITD-vel rokon fogalom,
- valamint a külső fül által okozott hangszínmodosulások, azaz a beérkező jel spektrális szűrése. (jelentősége akkor a legnagyobb, ha az interaurális különbségek nem léteznek vagy ellentmondásosak).”[24].

#### 2.7.4. Interaurális idődifferencia - ITD

„Az interaurális idődifferencia azt jelenti, hogy a jelek egymáshoz képest időben eltoltak.” Az oldalirány-hallás szempontjából ez a legfontosabb füljel-jellemző. Amelyik fülbe hamarabb megérkezik a jel, a hallásérzet a mediális síkból arrafelé mozdul el. „A maximális útkülönbség, ami még érzékelhető 21 cm. A hallásunk által képesek vagyunk a füljel impulzus jellegű részeinek fellépési időpontját pontosan meghatározni. Az érzet 180°-os fázisfordítású füljel esetén pontatlan, valószínűleg azért, mert az érzet több térben szomszédos részre esik szét.” [24][30]. Elmondható, hogy a hallás a füljel egyes spektrális komponenseit az interaurális idődifferencia függvényében szétválogatva értékeli ki. Szinuszos jelek esetében van egy ingerküszöb, így csak akkor van inger a belső fülben, ha azt a jel periódusonként egyszer átlépi. Ezek eltérő időpillanatban vannak a jobb és bal fülben, a hallás ezt a kétértelműséget regisztrálja, és két érzetet alakít ki. Ha frekvenciában közeli jelet kapnak a fülek – akkor azt az érzetet kelti, ami a különbség ütemében a fejben ide-oda ingadozik. Van egy olyan frekvenciaküszöb is, 1.5-1.6 kHz-en, ami alapjaiban választja szét a hangjeleket a kiértékelés szempontjából. A jel spektrális tartalma alapján másként értékelődnek ki azok a füljelek amelyek tartalmazznak 1600 Hz feletti komponenseket, mint azok amik nem [24][30]. Abszolút lokalizációs képességek vizsgálata során arra kerestem választ, hogy van-e különbség látók és látássérültek képességei között, valamint annak meghatározását tűzttem ki célul, hogy melyik csoport milyen pontossággal képes meghatározni a hangforrás helyét.



### 2.7.5. Interaurális szinteltérés - ILD

„Pusztán interaurális szintkülönbségek esetén a füljelek csakis a szintjükben térnének el egymástól. Ha ugyanazt a jelet vezetjük a két fülhöz, és mindegyikhez állítható erősítést iktatunk be, akkor megegyező szintek esetén az érzet a mediális síkban lép fel, de különböző szintek esetén érzet a nagyobb szint felé vándorol (ez az oldalirányú hallásérzet kitérését okozó interaurális szintkülönbség). Ezen alapul az úgynevezett irányhallás intenzitásdifferencia elmélet, ami azt mondja ki, ha 15-20 dB-es szintkülönbséget állítunk elő, akkor az 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, különösen alacsony frekvencián. Ahhoz, hogy ezt a szélső hatást elérjük lineáris interaurális szintkülönbség változás kell, ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy konstans szintkülönbség esetén a laterizáció frekvenciafüggő. Formális beszélgetések alkalmával megtudtuk, hogy 1.6 kHz alatti jeleknél kétféle érzet alakul ki: az egyik a fej közepén, a másik előtte, amely emelkedő szint esetén elvándorol, és csak felületes hallgatás okoz közös érzetet” [24][30].

### 3. HRTF mérés technika és virtuális hangtér szimuláció

„A HRTF-függvény adott térirányhoz megadja, hogy miként módosul az átvitel a „saját fejünkkel” ahhoz képest, mintha csak egy irányfüggetlen mikrofon lenne a helyén. A fej és a fülkagyló tehát ennek a képzeletbeli mikrofonnak az iránykarakterisztikáját módosítja. Egy adott irányhoz mindkét fülhöz tartozik egy-egy HRTF-függvény. Mivel valójában végtelen sok térirány van, az így elképzelt HRTF-függvénysereg is végtelen sok elemből áll. A gyakorlatban véges számú függvény mérhető és adható meg. Ezek száma, mérési módszere és szerepe alapvető jelentőségű. A HRTF tehát egy közönséges komplex átviteli függvény, amelynek log-log skálán leggyakrabban csak az amplitúdómenetét ábrázoljuk.”[24][30].

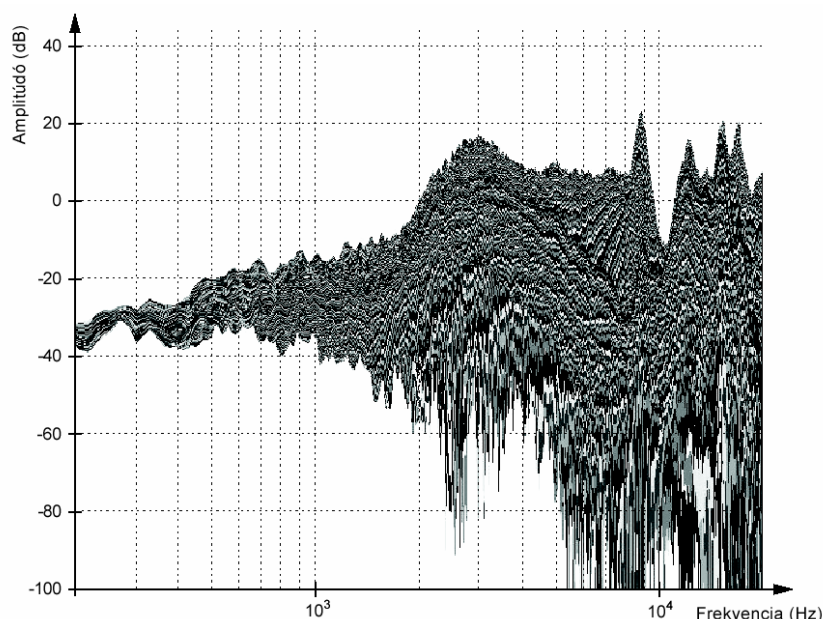
#### 3.1. Mérések emberi fejen

„A modern műfejes mérés technika olyan gyárilag készített műanyag bábukat használ, melyek az emberi felsőtestet és fejet modellezik, különös tekintettel a fülkagylóra és a hallójáratra [73, 87-96]. Az embereken végzett kísérlet nehézkes, kényelmetlen, és az alany akaratlan mozgásából adódóan pontatlan. A műfejes mérések hosszú és reprodukálható, valamint a nagy átlagolás-számú mérések miatt pontosabb méréseket tesznek lehetővé. Ha a méréseket embereken végezzük, kénytelenek vagyunk megfigyeléseiket elfogadni. Szubjektív, és egyénenként eltérő jellemzőket kell nekik számszerűsíteni és leírni. A kísérleti személyek egyszerre töltik be a mérőeszköz és a mérés tárgya szerepét is.”[30].

„HRTF-mérést és binaurális felvételeket valódi emberi fejen, vagy manapság modern műfejen végezhetünk [70, 89-92]. Emberi alanyok esetén elvben a dobhártyára ragasztott mikrofonnal dolgoznánk, de ez sok szempontból kényelmetlen és veszélyes is lehet. A hallójáratba elhelyezett mikrofon már jobb megoldás. Az átvitel változó a mérési pont helyétől függően a hallójáratban. A probléma megoldható, ha a mérési pont helye ugyanaz a HRTF-méréshez, mint később a lejátszáshoz szükséges fejhallgató átvitelének méréséhez, de ezt is nehéz garantálni. Az így elkövetett hibák jelentőségét pszichoakusztikus kísérletekkel lehet eldönteni, ellenőrizni. A mérésekhez ún. „probe tube” mikrofonok szükségesek, amelyek kis méretű kapszulát és hajlítható, általában műanyag vagy gumi csövet tartalmaznak a jobb illeszkedés érdekében [97].”

### 3.2. Műfejes mérések

„A HRTF-készlet alapos vizsgálatához olyan mérőrendszer szükséges, amellyel jó térbeli és frekvenciabeli felbontást, valamint pontos és reprodukálható méréseket lehet végezni.” [24]. Egy süketszobában, forgóasztalon elhelyezett műfej segítségével elvégzett mérések során a dobhártya vonalában elhelyezett mikrofon veszi a két fül jeleit, ezután kerül rögzítésre kiértékelésre. Számítógép segítségével vezérelhető a forgóasztal, adható ki gerjesztő jel, valamint a feldolgozás is itt történik meg. A HRTF függvények különböző irányokból az 8. ábra szerint kerülnek ábrázolásra.



8. ábra HRTF-ek ábrázolása a hallástartományban 360°-banelforgatott műfejjel [24]

„A HRTF-ek szűrőadatbázisa jól használható szimulációkhoz, de az iránykarakterisztika közvetlen megjelenítésére nem, csupán hosszadalmas koordináta-transzformációk során lehet a descartes-i rendszerből polár-koordinátákhoz jutni, ezért megterveztem egy olyan mérőrendszert, amelyben szintén van lehetőség a teljes hallástartományban való vizsgálatra, azonban egyszerűbb kiértékelhetőséget, jobb ábrázolási lehetőséget és esetlegesen háromdimenziós megvalósítást is lehetővé tesz.,,[24].

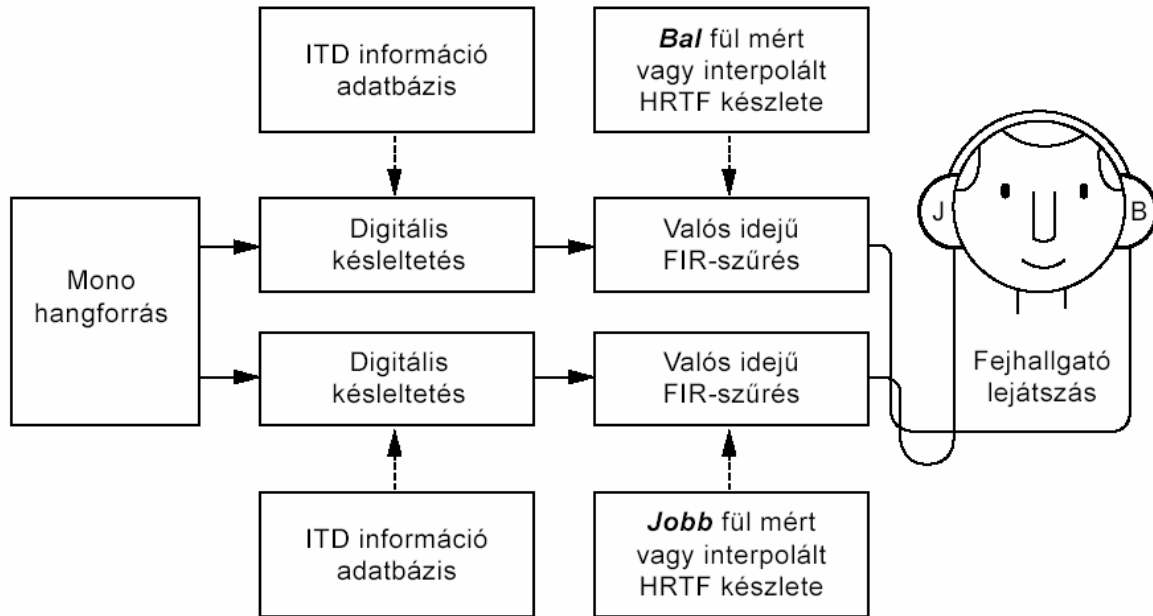
„A vízszintes sík mellett a függőleges síkban történő mérések alkotják a másik nagy méréscsoportot. A mediális sík alkotja a fej szimmetriasíkját, így az itt található hangforrások csak nagyon kis interaurális eltéréseket hoznak létre. A hallórendszer a hangforrás irányára (emelkedésére) jórészt csak a monaurális jellemzők, a HRTF-függvények szűrőhatása alapján

következtet.” [24]. Az általam megtervezett mérőrendszer lehetőséget ad a mediális síkban való mérések elvégzésére is a műfej elforgatott rögzítésével.

### **3.3. Virtuális hangtér szimuláció**

„A virtuális valóság szimulátor gyűjtőnév alatt megtaláljuk a látvány, a hangélmény, sőt a tapintás szimulációját is modern rendszerek esetében. Ennek részeként a hangtér létrehozása fejhallgatón keresztül történik és célja az autentikus hangtér leképezés. Hangforrásokot hozunk létre, irányinformációval látjuk el őket és olyan akusztikus környezetet igyekszünk megvalósítani, amely a lehető legjobban hasonlít a valóságra. A legfontosabb paraméter ebben a hangforrások helyének meghatározhatósága, a lokalizáció, az irányinformáció pontos átvitele”[51].

„Virtuális hangtér-szimuláció során fejhallgatón át, HRTF-szintézis mellett hozunk létre hangteret, majd a hallgatók lokalizációs tesztek során elért eredményei alapján következtetünk annak sikerességére, minőségére, a HRTF-ek szerepére, a fejhallgatóhibákra, a kiegyenlítés szükségességére stb.. A binaurális technika alapállítása szerint, ha képesek vagyunk a füljeleket ezzel a módszerrel a dobhártyán pontosan reprodukálni, akkor a hallgató nem fog tudni különbséget tenni – elsősorban az irányhűség szempontjából – az eredeti hangtér (ahol a felvétel készült) és a szimulált között. Ehhez az átviteli láncot, főleg az alkalmazott fejhallgató átvitelét lineárisra kell kiegyenlíteni [98-101].” „Általánosságban igaz, hogy a lokalizációs képesség rosszabb, és a HRTF-ek minőségére, eredetére rendkívül érzékenyek az alanyok.”[24]. A mérés elvi felépítését mutatja a 9. ábra. „A mono, egycsatornás gerjesztő jelet tipikusan wave-fájl formájában tároljuk digitális háttértárolón. Az ITD információ az aktuális hangforrásirányból és a fejméretből kerül kiszámításra. Amennyiben távolságmodell is van, az ahhoz tartozó késleltetés is itt kerül hozzáadásra. Végül megtörténik a két fül számára a bal és jobb oldali HRTF-szűrő aktiválása, amelyet valós időben, az adott irányhoz tartozóan kell az adatbázisból kiválasztani.” [24].



9. ábra Virtuális hangtér szimuláció elvi felépítése [24]

„Hangfeldolgozás és szimuláció során már szinte csak digitális szűrőket alkalmazunk, amelyek az ismert szűrési feladatokat diszkrét adatsorokon hajtják végre [102-104]. Alapvetően kétféle típus van: a nem-rekurzív fajta, vissza nem csatolt, véges válaszü ún. FIR-szűrő (Finite Impulse Response), illetve a visszacsatolt, rekurzív, elvben végtelen válaszüjű IIR-szűrő (Infinite Impulse Response). Utóbbi esetben minden kimeneti minta összefüggésben van a korábbi kimenetekkel és a bemenetekkel, míg FIR esetén csakis a korábbi bemenetek hatnak a kimenetre. A FIR-szűrők szorzók és késleltetések összeadásából állnak, amelyeket változtatva eltérő átvitelű szűrőket lehet realizálni.” [24].

„Fejhallgatón keresztüli lejátszáshoz fejhallgató kiegyenlítést kell végezni, ami azt jelenti, hogy a megmért fejhallgató komplex átviteli karakterisztikájának vesszük a reciprokát és azt digitális szűrő formájában a lejátszási láncba illesztjük.”[105]. Kutatásom során használt Sennheiser HD580 fejhallgatónál ezt a műveletet elvégeztem.

### 3.4. Elöl-hátul és hátul-elöl hiba

Az egyes feladatok során megkülönböztetésre kerülnek elöl-hátul és hátul-elöl döntési hibák. Az elöl hátul döntési hibának nevezzük azt az esetet, amikor a hangforrás az alanyak szemben irányban található, az előlről érkező hangot ennek ellenére hátulról érzékeli. Hátul-elöl döntési hiba ennek fordítottja, amikor a hangforrás az alany mögött helyezkedik el, a hátulról jövő hangot érzékeli előlről.

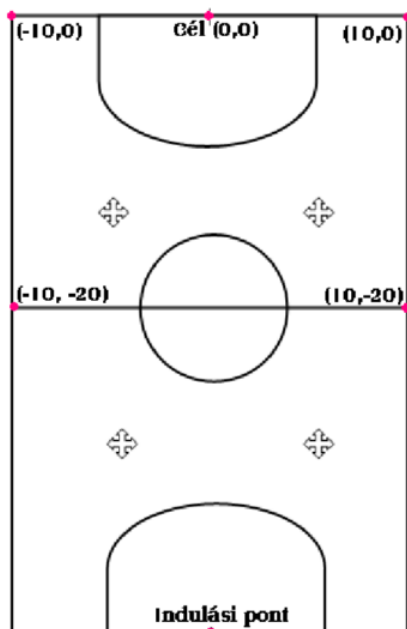
Virtuális környezetben oldalhibákat is megkülönböztettem, ami azt jelentette, hogy a jobb oldalt szimulált hangforrást az ellentétes baloldaltól hallották, vagy fordítva (bal oldalt szimulált hangot jobb oldaltól hallott), abban az esetben oldalhibát vétett. Az elöl-hátul, hátul-elöl és jobb-bal, bal-jobb hibákat tükrözéssel módszerrel küszöböltem ki az egyes irányok nagyobb pontosságú meghatározásához. Ez azt jelenti, hogyha az alany  $0^\circ$ -os, azaz szemből irányból érkező hang esetén,  $180^\circ$ -os irányból hátulról érzékeli a hangot, akkor azt nem tekintem eltérésnek, vagyis eltérést nem rögzítem, csupán irányhibát veszek fel. Hasonlóképpen van hátulról érkező hang esetén is, amennyiben előlről érzékeli, abban az esetben nem  $180^\circ$  az eltérése, hanem  $0^\circ$  és ebben az esetben is irányhibát rögzítem. Az irányhibák aránya is vizsgálatra kerül az eltérések mellett.

## 4. Navigációs és lokalizációs feladatok

Hosszú tanulási folyamat során szerzett ismeretek és tapasztalatok elengedhetetlenek a látássérültek életében éppúgy, mint az egyéb akusztikus információk. A környezeti zajok, a járókelők, gépjárművek, közlekedési eszközök által keltett hanghatások mind-mind segítenek a tájékozódásban, azonban pontosan tudni kell, hogy ezek a hangok honnan érkeznek [57][61][110].

### 4.1. Egyenestartás vizsgálat

Az ún. „egyenestartás vizsgálat” volt a kültéren végzett navigációs, lokalizációs feladatok egyike. Ilyen feladatokat a látássérültek képzésekor is alkalmaznak, illetve tűzoltók tájékozódási és közlekedési képzésének is részévé vált. „Napi szinten kiemelt igényként jelentkezik a tűzoltóknál, hogy felkészüljenek a tűzoltás, műszaki mentés során bekövetkezett kedvezőtlen látási viszonyok között történő biztonságos, balesetmentes tájékozódásra és közlekedésre segédeszközök nélkül is.” [129]. Az általam kidolgozott kísérletben azt vizsgáltam, hogy látók és látássérültek képesek-e „hosszabb távon” (40 méter) akusztikai segítség nélkül egyenesen sétálni, illetve a feladat megismétlésekor javulnak-e az eredmények, van-e valamilyen mértékű tanulási folyamat.



10. ábra A vizsgálatok helyszíne egy 40\*20 méteres kézilabda pálya, jelölve a nevezetes pontok

Látóknak a szemeket lefedve, vakon kellett a feladatot teljesíteni (sétálni), egy 40\*20 méteres kézilabdapályán az egyik kapu közepéből indulva, a másik kapu közepe felé. A menetidő és az eltérések kerültek rögzítésre. Az előforduló eltérések mérhetővé tétele érdekében a célt, (0;0) koordinátával jelöltem, ehhez viszonyítottam az eltéréseket. Abban az esetben, ha valaki a bal oldal irányába tért el, akkor az X koordináta negatív előjelet kapott, ha jobb oldal irányába történt eltérés, akkor pozitív előjellel szerepelt. Ha az oldal irányú eltérés olyan mértékű volt, hogy az alany oldalt elhagyta a pályát (az oldalon), akkor az Y koordináta kapott negatív előjelet (10. ábra).

Külső befolyásoló tényezők közül legmeghatározóbb az időjárási tényező a szél volt, szeles időben nem lehetett

kísérleteket végezni, mivel a szélirány esetleg segíthette volna az alanyokat.

Ezt a feladatot négyszer hajtják végre a résztvevők, első alkalommal hangsegítség nélkül, második alkalommal ún. click-train hangot (pityegés) hallva, harmadszor fehér zaj jelet (sistergés) lejátszva, végül pedig ismét hangsegítség nélkül.

A hangsegítséggel végrehajtott egyenestartás vizsgálat, az úgynevezett hangkibocsátó tárgyak lokalizációja feladatcsoportba tartozik. Ennél a feladtnál akusztikai támpontként egy a célban elhelyezett hangforrásból gerjesztő jeleket játszottam le. A feladat célja az volt, hogy bizonyítsam, az akusztikus támpont szerepét igazoljam, hogy segítségével képesek vagyunk (látók és látássérültek egyaránt) egyenesen haladni, illetve egy hangforrást megközelíteni.



11. ábra A kézilabdakapu közepén a célban elhelyezett hangforrás

A gerjesztő jelek CD-minőségű (mono) wave vagy 192kbps mp3 formátumban állnak rendelkezésre egy Microsoft Windows Mobile 5.0 for Pocket PC Premium Edition operációs rendszerrel működő Fujitsu-Siemens Pocket LOOX N560 PDA-ról kerültek lejátszásra. A fejhallgató-kimenetet összekötöttem egy SONY TA-D505 erősítővel és egy egyutas hangsugárzóval, ami 110 cm-es magasságban került elhelyezésre a kézilabdapálya kapujában (21. ábra). A kibocsátott hangnyomásszintet BK 2260-as kézi zaj analizátorral ellenőriztem a hangsugárzó főtengelyében 1 méter távolságban. Értéke 80,4 dB.

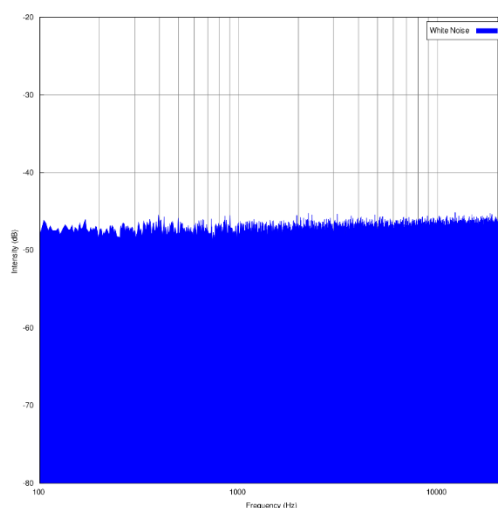
Kétféle gerjesztő jelet alkalmaztam, egyik ún. 1 KHz-es click-train gerjesztést, amely során 200 ms hosszúságú 1 kHz-es szinuszcsoportot követ egy 200 ms-os csend stb. Ez wave editorban az 11. ábrán látható módon néz ki. Ez a hang hasonlít a gyalogos közlekedési lámpák pityegő hangjára, amit a látók és látássérültek egyaránt ismernek.





12. ábra Click-train impulzus képe wave editorban [116]

Másik alkalmazott gerjesztő jel az ún. fehérzaj jel volt. „A fehérzaj (white noise) vagy más néven véletlen zaj, olyan tetszőleges eloszlású nem periodikus zaj, melynek spektruma egy adott frekvenciasávban közel azonos teljesítmény-sűrűségű, azaz spektrális energia-eloszlása független a frekvenciától.”[117] „A hangtechnikában használatos véletlenszerű zaj, amire igaz az, hogy a teljes vizsgált frekvenciatartományban (emberi érzékelő esetén 20 Hz – 20 kHz) a hangnyomásszintje állandó.”[118]. Spektrumképe a 23. ábrán látható, sístergő hang.



13. ábra A fehérzaj spektrumképe [119]

**Hipotézis:** Minden alkalommal, mindkét csoport tagjai (látók és látássérültek) képesek egyenesen haladni, akusztikai segítség nélkül és akusztikai segítséggel egyaránt. A két próba eredményei között nincs érdemi javulás és közel azonos menetidővel teljesítik a feladatot, függetlenül kortól, kezességétől vagy nemtől, vagyis nincs különbség látók és látássérültek képességei között.

A hangsegítség nélküli lokalizációs feladatokban 126 fő vett részt, 92 látó, 34 látássérült. Minden résztvevő két próbát tett hangsegítség nélkül, közöttük kétszer sétáltak akusztikus hangforrást követve (hangsugárzó a célban elhelyezve). A hangsegítséggel végrehajtott kísérletekben 121 fő vett részt, 92 látó, 29 látássérült, 58 férfi, 63 nő, 110 fő jobbkezes, 11 fő balkezes. Rögzítésre került a menetidő, valamint a pálya elhagyásának koordinátája, kiszámításra került ezek átlaga, szórása, mediánja, minimum és maximum értékei, valamint Shapiro-Wilk normalitásvizsgálatot is végeztem az eloszlások megállapításához. Látók és látássérültek menetideje, abszolút X és Y eltérései mindkét próbán nem normális eloszlású volt, ezért nem-paraméteres tesztet kellett elvégezni.

1. számú mellékletben lévő 1. táblázatban látható, hogy az első próba alkalmával 92 látó résztvevő átlagos menetideje 37,96 másodperc, látássérültek (34 fő) esetén 36,85 másodperc, vagyis átlagos menetidejük közel azonos. A látó és látássérült résztvevők első próba alkalmával a feladat teljesítéséhez szükséges időinek eloszlását a 2. számú mellékletben látható 1. ábra mutatja. A menetidők mediánja közel azonos (látók: 36,5 másodperc, látássérültek 37,5 másodperc), a szórás esetén figyelhető meg kismértékű eltérés (látók: 9,816 másodperc, látássérültek: 13,592 másodperc). Maximális menetidő a látóknál 64 másodperc, látássérülteknél 80 másodperc volt, vagyis majdnem az átlagos menetidő kétszerese.

A 3. melléklet 3. ábra, baloldali felső ábrán látható a click-train hang lejátszása során, a látássérültek menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 42,72 másodperc volt. A jobb oldali felső ábrán a látók menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 44,37 másodperc volt.

A 4. melléklet 4. ábra, baloldali felső ábrán látható a fehérzaj jel lejátszása során, a látássérültek menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 39,31 másodperc volt. A jobb oldali felső ábrán a látók menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 41,18 másodperc volt.

A hangsegítség nélküli feladat ismétlésekor az eredmények mindkét csoportnál javultak, az átlag (látók: 34,37 másodperc, látássérültek: 34,47 másodperc) szórása, medián, minimum és maximum értékek is csökkentek. A látó és látássérült résztvevők 2. próba alkalmával a feladat teljesítéséhez szükséges időinek eloszlását az 2. számú melléklet 2. ábra mutatja.

#### 4.1.1. Látók és látássérültek navigációs képességeinek összehasonlítása akusztikai támpont nélkül

1. számú melléklet 1. táblázatban látható, hogy az első próba eredményeinek normalitás vizsgálat eredményei látóknál 0,066 és látássérülteknél 0,008, ami azt jelenti, hogy a látók menetidői normális eloszlásúak, azonban nagyon közel van az 5 %-os szignifikancia szinthez, ahol vizsgálok, valamint nem normális eloszlású eredményekkel kerülnek összehasonlításra, ezért az eredményekkel nem paraméteres tesztet kell végezni.

A céltól való abszolút eltéréseket vizsgálva megállapítható, az első próbán, az X-tengelyen való átlagos eltérés látók esetén 7,23 méter, látássérültek átlagos eltérése 6,55 méter. Normalitás vizsgálat eredménye látóknál és látássérülteknél egyaránt 0,000 ami azt jelenti, hogy az eredmények nem normális eloszlásúak, ezért nem paraméteres próbát kell végezni.

Az első próba alkalmával az Y-tengelyen mért eltérések abszolút értékét vizsgálva megállapítható, hogy a pályát oldalt elhagyó látó résztvevők átlagosan 5,01 métert térnek el, látássérültek esetén ez az eltérés 5,7 méter. Ismétléskor céltól való abszolút eltéréseket vizsgálva megállapítható, az X-tengelyen való átlagos eltérés látók esetén 5,774 méter, látássérültek átlagos eltérése 5,77 méter, vagyis közel azonos, az Y-tengelyen való átlagos eltérés látók esetén 3,35 méterre, látássérültek esetében pedig 3,47 méterre mérséklődik.

Abban az esetben, ha az eltéréseket előjelesen vizsgáljuk (1. táblázat), vagyis figyelembe vesszük, hogy jobbra, vagy balra tértek el megfigyelhető, hogy baloldal irányában látók közül 1. és 2. próba alkalmával is szinte ugyanannyian tértek el, elsőre 42-en (22 férfi és 20 nő), másodsorra 43-an (22 férfi és 21 nő).

1. táblázat Látók (92 fő) és látássérültek (34 fő) hangsegítség nélküli egyenestartás feladatban mért eltérései és átlagos menetidői

Összes résztvevő	Látók (92 fő)				Látássérültek (34 fő)			
	1. próba	Átlagos idő (s)	2. próba	Átlagos idő (s)	1. próba	Átlagos idő (s)	2. próba	Átlagos idő (s)
Balra tért el (férfi/nő)	42 (22/20)	41,97	43 (22/21)	34,18	11 (7/4)	38,36	17(8/9)	35,41
Jobbra tért el (férfi/nő)	45 (23/22)	34,35	37 (17/20)	34,86	17(7/10)	38,35	13(4/9)	34,54
Bal oldalt kiment (férfi/nő)	20 (11/9)	38,85	20 (9/11)	33,85	8 (5/3)	35,88	6(3/3)	29,83
Jobb oldalt kiment (férfi/nő)	31 (13/18)	33,58	18 (6/12)	31,44	10 (2/8)	38,8	6(2/4)	36,5
Alapvonalat elérte (férfi/nő)	41 (25/16)	40,83	54 (34/20)	36,07	16(7/9)	36,13	22(9/13)	35,18
Alapvonal bal oldalát érte el (férfi/nő)	22 (11/11)	44,81	23 (13/10)	34,48	3(2/1)	45	11(5/6)	38,45
Alapvonal jobb oldalát érte el (férfi/nő)	14 (10/4)	36,07	19 (11/8)	38,11	7(5/2)	37,71	7(2/5)	32,86
Célba ért (férfi/nő)	5 (4/1)	36,6	12 (10/2)	33,5	6(0/6)	29,83	4(2/2)	30,25

Az átlagos menetidő az ismételt próba alkalmával 41,97 másodpercről 34,18 másodpercre javult azoknál a résztvevőknél, akik baloldal felé kanyarodtak el. Jobboldal irányában enyhe

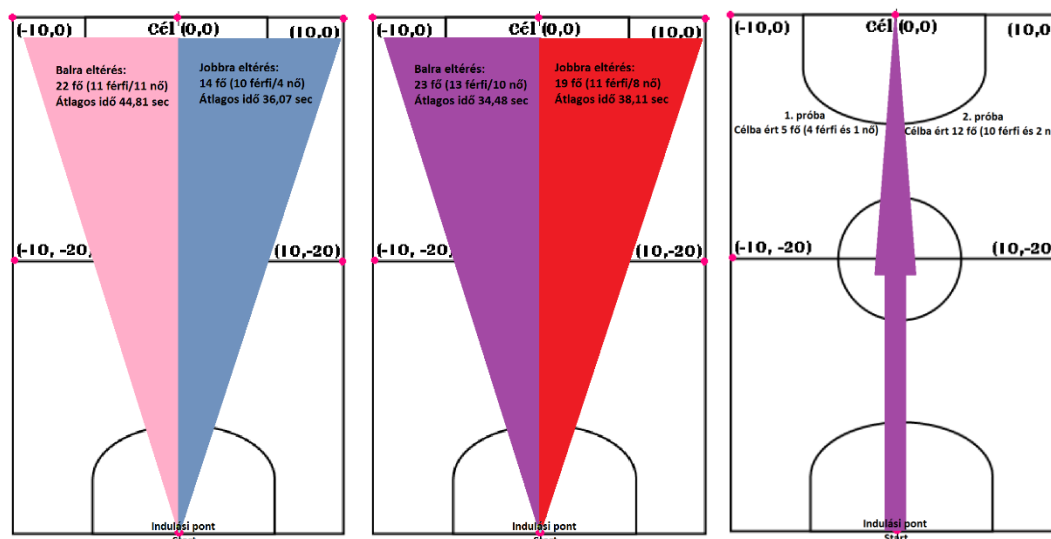
javulás figyelhető meg, 1. próba alkalmával 45-en (23 férfi és 22 nő) haladtak jobbra, míg a 2. próbán csupán 37-en (17 férfi és 20 nő). A menetidő közel azonos a két próba esetén, értékük kevéssel az átlagos menetidők alatti. 1. próbán a látók átlagos menetideje 37,96 másodperc, közülük a jobbra eltérők esetén kicsit gyorsabb 34,35 másodperc, míg a 2. próba átlagos menetideje 34,37 másodperc, a jobbra eltérők esetén kicsit lassabb 34,86 másodperc volt (5. melléklet, 5. ábra).

Látássérültek közül a baloldal irányába, az 1. próba alkalmával 11-en (7 férfi és 4 nő), a 2. próba alkalmával 17-en (8 férfi és 9 nő) tértek el. Az átlagos menetidő az ismételt próba alkalmával 38,36 másodpercről 35,41 másodpercre javult azoknál a résztvevőknél, akik baloldal felé kanyarodtak el. Jobboldal irányában enyhe csökkenés figyelhető meg 1. próba alkalmával 17-en (7 férfi és 10 nő) haladtak jobbra, míg a 2. próbán csupán 13-en (4 férfi és 9 nő). A menetidő közel azonos a két próba esetén, értékük kevéssel az átlagos menetidők feletti. 1. próba átlagos menetideje 38,36 másodperc a balra eltérők esetén, ami szinte megegyezik a jobbra eltérőkével ami, 38,35 másodperc, míg a 2. próba átlagos menetideje 35,41 másodperc a balra eltérők esetén, a jobbra eltérők esetén kicsit gyorsabb 34,54 másodperc volt (5. melléklet, 6. ábra).

A pályát baloldalon elhagyó látó résztvevők száma az 1. próba alkalmával 20 fő (11 férfi és 9 nő), átlagos menetidejük 38,85 másodperc volt, a jobboldalon pályát elhagyó látó résztvevők száma az 1. próba alkalmával 31 fő (13 férfi és 18 nő), átlagos idejük 33,58 másodperc volt. A feladatot megismételve szintén 20 fő (9 férfi és 11 nő) hagyta el a pályát a baloldalon, az átlagos menetidejük javulást mutat: 33,85 másodperc. Ismétléskor 18 fő (6 férfi és 12 nő) hagyta el a pályát a jobb oldalon, átlagos idejük kis mértékben javult: 31,44 másodperc (6. melléklet 7. ábra). A pályát első alkalommal jobb oldalon elhagyók csoportjából, a második próba alkalmával többen érték az alapvonalat, illetve célba is értek.

A pályát baloldalon elhagyó látássérült résztvevők száma az 1. próba alkalmával 8 fő (5 férfi és 3 nő), átlagos menetidejük 35,88 másodperc volt. A feladatot megismételve szintén 6 fő (3 férfi és 3 nő) hagyta el a pályát a baloldalon, az átlagos menetidejük javulást mutat: 29,83 másodperc. A pályát jobboldalon elhagyó látássérült résztvevők száma az 1. próba alkalmával 10 fő (2 férfi és 8 nő), átlagos menetidejük 38,8 másodperc volt. A feladatot megismételve 6 fő (2 férfi és 4 nő) hagyta el a pályát a jobb oldalon, átlagos menetidejük kis mértékben javult: 36,5 másodperc (6. melléklet 8. ábra).

Látók közül az alapvonalat 1. próba alkalmával elérő 41 fő (25 férfi és 16 nő), a résztvevők 44,5 %-a közül 5 fő (4 férfi és 1 nő) ért célba, 22 fő (11 férfi és 11 nő) a baloldal irányába, 14 fő (10 férfi és 4 nő) pedig a jobb oldal irányába haladt. A célba éréshez első alkalommal átlagosan 36,6 másodpercre volt szükség, az alapvonalon balra eltérőknek átlagosan 44,81 másodpercre, a jobbra eltérőknek 36,07 másodpercre volt szükségük (14. ábra).

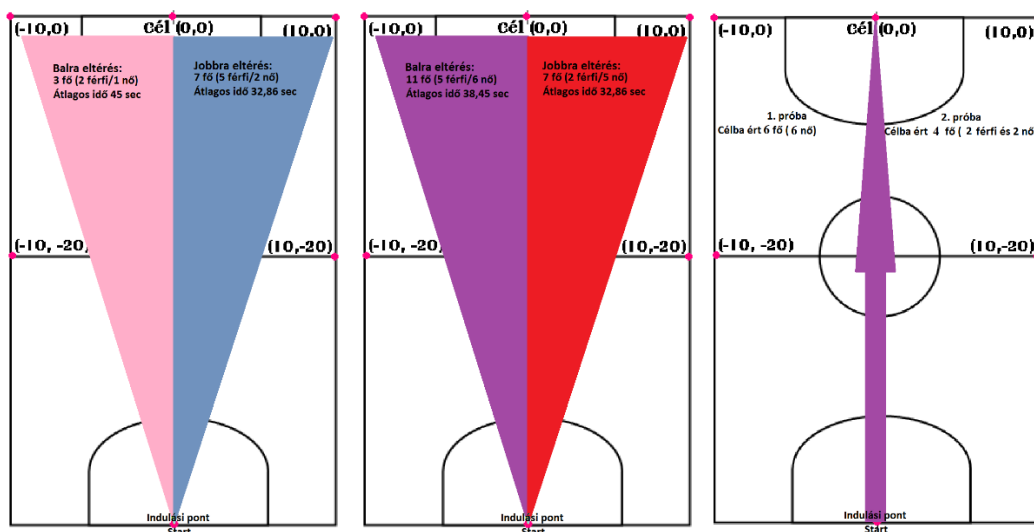


14. ábra Látók (92 fő) első (baloldali ábra) és második (középső ábra) hangsegítség nélküli egyenestartás feladatban alapvonalat elérők száma és átlagos menetideje. Jobboldali ábrán a célba érők száma látható

Az ismételt próba alkalmával az alapvonalat elérő 54 fő (34 férfi és 20 nő), a résztvevők 58,7 %-a közül 12 fő (10 férfi és 2 nő) ért célba, 23 fő (13 férfi és 10 nő) a baloldal irányába, 19 fő (11 férfi és 8 nő) pedig a jobb oldal irányába haladt. Az alapvonal elérésében 14,2 %-os javulás figyelhető meg, hasonlóképpen a célba érők esetén is, ahol az összes résztvevő 5,4 %-áról 7,6 %-os növekedéssel 13 %-ra emelkedett a célba érők aránya. Az ismételt próba alkalmával az alapvonal eléréséhez átlagosan szükséges idő 40,83 sec-ről 36,07 sec-ra csökkent. Az eredmények alapján elmondható, hogy mind pontosságban, mind gyorsaságban az összes résztvevő átlagos életkora (44,84 év) alatti résztvevőknél figyelhető meg javulás. A 2. próba alkalmával célba érők esetében az átlagos életkor 37,83 év volt. Az alapvonal elérésében bal- és jobboldalt együttesen nézve csekély mértékben változtak az eredmények. A célba éréshez átlagosan 33,5 másodpercre volt szükség, az alapvonalon balra eltérőknek 34,48 másodpercre, jobbra eltérőknek 38,11 másodpercre volt szükségük.

Látássérültek közül az alapvonalat 1. próba alkalmával elérő 16 fő (7 férfi és 9 nő), a résztvevők 47,1 %-a közül 6 fő (6 nő) ért célba, 3 fő (2 férfi és 1 nő) a baloldal irányába, 7 fő (5 férfi és 2 nő) pedig a jobb oldal irányába haladt. A célba éréshez első alkalommal átlagosan 29,83

másodpercre volt szükség, az alapvonalon balra eltérőknek átlagosan 45 másodpercre, a jobbra eltérőknek 37,71 másodpercre volt szükségük (15. ábra).

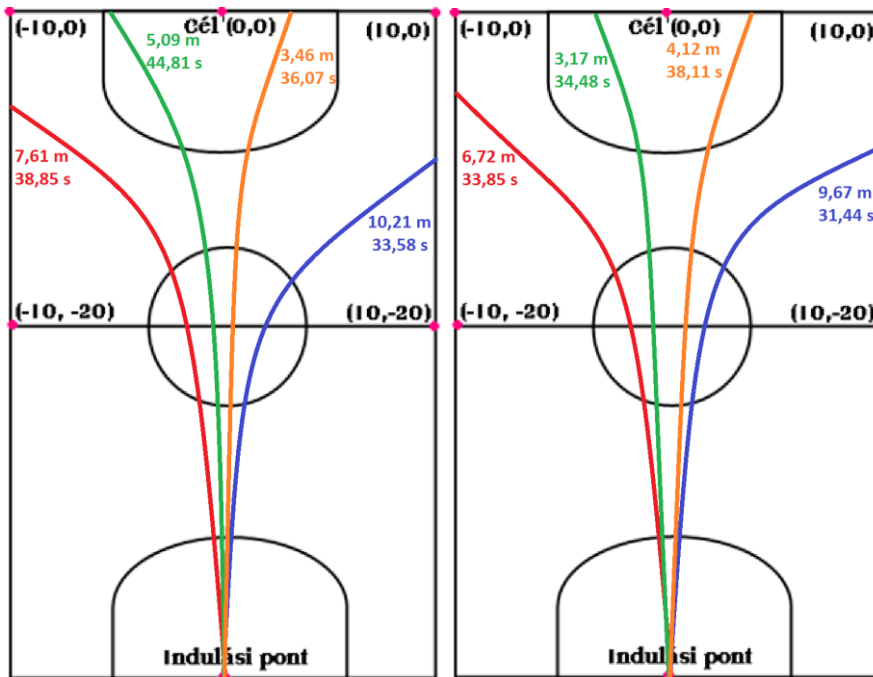


15. ábra Látássérültek (34 fő) első (baloldali ábra) és második (középső ábra) hangsegítség nélküli egyenestartás feladatban alapvonalat elérők száma és átlagos menetideje. Jobboldali ábrán a célba érők száma látható

Az ismételt próba alkalmával az alapvonalat elérő 22 fő (9 férfi és 13 nő), a résztvevők 64,7%-a közül 4 fő (2 férfi és 2 nő) ért célba, 11 fő (5 férfi és 6 nő) a baloldal irányába, 7 fő (2 férfi és 5 nő) pedig a jobb oldal irányába haladt. Az alapvonal elérésében 17,6%-os javulás figyelhető meg. A célba érők esetén 5,8%-os csökkenés figyelhető meg a célba érők arányánál. Az ismételt próba alkalmával az alapvonal eléréséhez átlagosan szükséges idő 36,13 másodpercről 35,18 másodpercre csökkent. Az eredmények alapján elmondható, hogy mind pontosságban, mind gyorsaságban javulás figyelhető meg, kivételt képez a célba érők száma. Ismétléskor a célbaéréshez átlagosan 30,25 másodpercre volt szükség, az alapvonalon balra eltérőknek 38,45 másodpercre, jobbra eltérőknek 32,86 másodpercre volt szükségük.

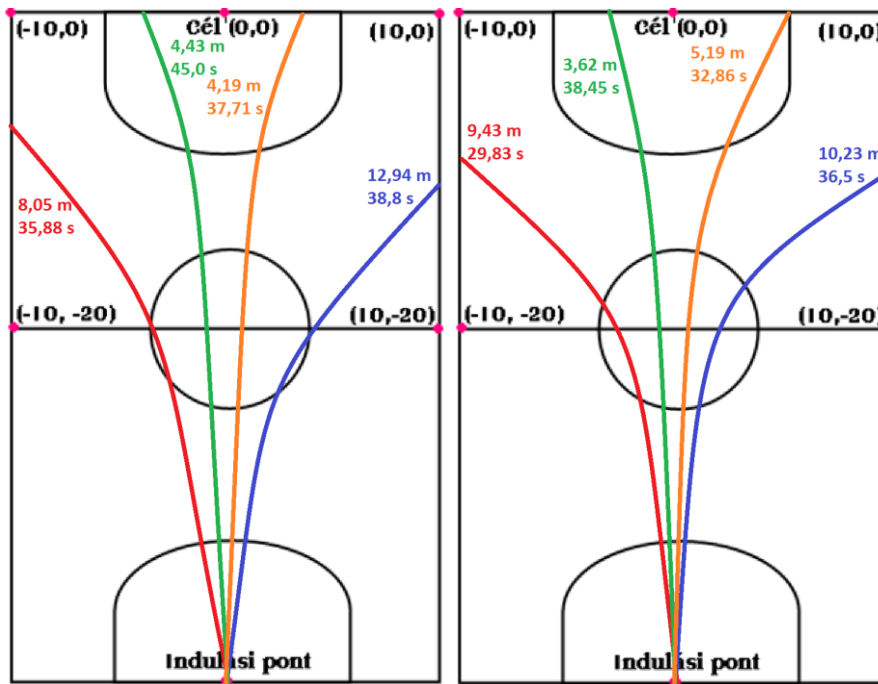
A látó résztvevők iránymenkenti abszolút eltérései szinte kivétel nélkül kis értékű javulást mutatnak a feladat ismétlésekor (16. ábra). Akik a pályát a baloldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 7,61 m átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával már csak 6,72 m-t hibáztak. Akik a pályát a jobboldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 10,21 m átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával már csak 9,67 m-t hibáztak. Az alapvonalon bal és jobb oldali irányba való eltérést megfigyelve látható, hogy a baloldali eltérés az 1. próba alkalmával 5,09 m, a jobboldali eltérés 3,46 m; a feladatot megismételve a baloldali abszolút eltérés 3,17 m-re csökkent, a jobb oldali eltérés kis mértékben nőtt 4,12 m-re. Ezen átlagok számításában nem szerepelnek a pálya sarkainál pályát elhagyók eredményei, ezek száma az 1.

próbán 4, két fő a jobb, 2 fő a bal saroknál hagyta el a pályát, míg a 2. próba alkalmával csupán 2 fő hagyta el a pályát a sarkoknál (egyik a bal, másik a jobb saroknál).



16. ábra A 92 látó résztvevő hangsegítség nélküli egyenestartás feladatban, alap és oldalvonal abszolút eltérései az első próbához kapcsolódóan a baloldali, a második próbához kapcsolódóan a jobb oldali ábrán láthatóak

A látássérült résztvevők abszolút eltérései néhány kivételtől eltekintve kis értékű javulást mutatnak (17. ábra). Akik a pályát a baloldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 8,05 m átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával 9,43 m-t hibáztak. Akik a pályát a jobboldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 12,94 m átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával kismértékben javult, már csupán 10,23 m-t hibáztak. Korábbiaktól eltérően javulás nem figyelhető meg azok esetében, akik elérték az alapvonalat. Az 1. próbán átlagosan 2,66 m eltérést produkáltak, ami a 2. próbára 3,46 m-re emelkedett. Külön nézve az alapvonalon bal és jobb oldali irányba való eltérést látható, hogy a baloldali eltérés az 1. próba alkalmával 4,43 m, a jobboldali eltérés 4,19 m; a feladatot megismételve a baloldali abszolút eltérés 3,62 m-re csökkent, a jobb oldali eltérés növekedett 5,19 m-re. Látássérültek esetén nem volt olyan résztvevő, aki a pályát a sarkoknál hagyta volna el.

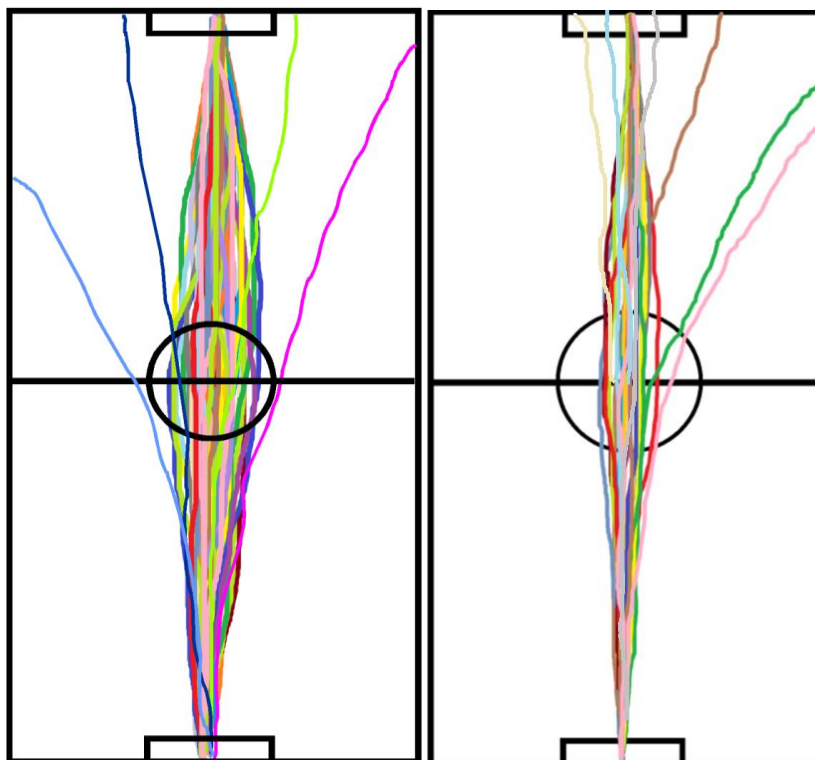


17. ábra A 34 látássérült résztvevő hangsegítség nélküli egyenestartás feladatban, alap és oldalvonalai abszolút eltérései az első próbához kapcsolódóan a baloldali, a második próbához kapcsolódóan a jobb oldali ábrán láthatóak

#### 4.1.2. Látók és látássérültek navigációs képességeinek összehasonlítása akusztikai támponttal

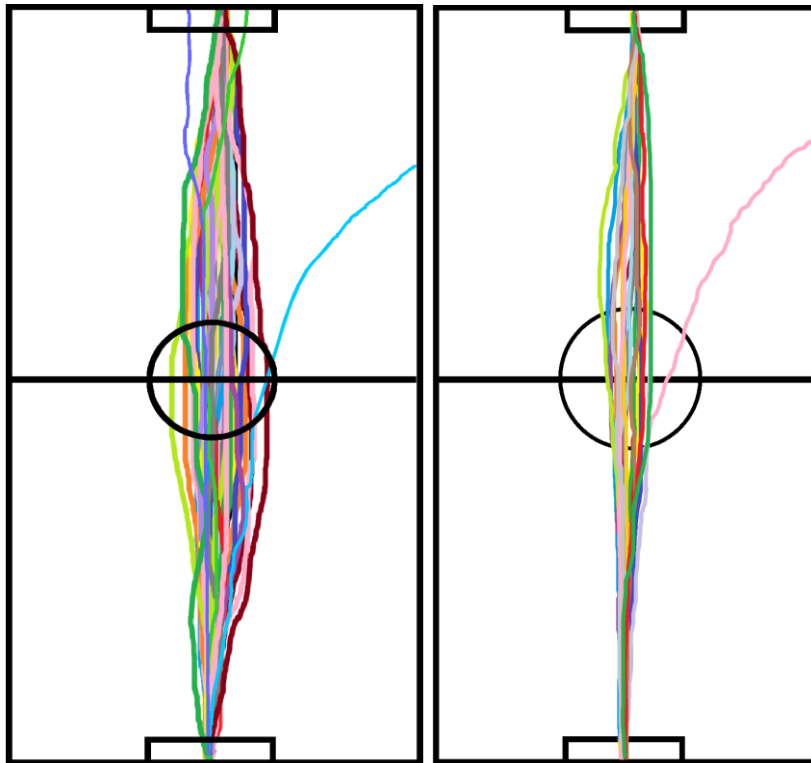
A 18. ábrán, a baloldali képen látható, hogy látók a click-train impulzus lejátszásával szinte kivétel nélkül tudtak egyenesen menni a résztvevők a hangforrás felé. A rögzített útvonalakon látható, hogy teljesen nem sikerült mindenkinek egyenesen menni, a legrövidebb úttól néhányan kismértékben elkanyarodtak, azonban a hangforráshoz közeledve pontosan betudták annak helyét azonosítani. Látható, hogy két résztvevő jobbra, két résztvevő balra kanyarodott el, közülük egy-egy az oldalvonalnál hagyta el a pályát. A 18. ábrán, a jobboldali képen látható, hogy látássérültek is teljesíteni tudták a feladatot, közülük is volt néhány fő, aki oldal irányba eltért, ketten a jobb oldali oldalvonalon, két fő az alapvonal baloldalát, két fő az alapvonal jobb oldalát eltérve fejezte be a feladatot. Feltételezhető, hogy azon résztvevők, akik nem tudták megközelíteni a hangforrást, hallásuk érzékenysége alacsonyabb. Formális beszélgetés során elmondták, hogy valóban van gond a hallásukkal („nem tökéletes”), azonban hallásvizsgálatot ezen résztvevőkkel nem végeztem.





18. ábra Baloldali ábrán a látók (92 fő), jobboldali ábrán a látássérültek (29 fő) hangsegítséggel (click-train impulzus) végrehajtott egyenestartás feladatban az első próbán szinte kivétel nélkül elérték a célt, meg tudták közelíteni a hangforrást

A 19. ábrán, a baloldali képen látható, hogy látók a fehérzaj jel lejátszásával is szinte kivétel nélkül tudtak egyenesen menni a résztvevők a hangforrás felé. A rögzített útvonalakon látható, hogy teljesen nem sikerült mindenkinek egyenesen menni, a legrövidebb úttól néhányan ismét kismértékben elkanyarodtak, azonban a hangforráshoz közeledve pontosan betudták annak helyét azonosítani. Látható, hogy két résztvevő jobbra, két résztvevő az alapvonalon kanyarodott el, két fő pedig a jobb oldali oldalvonalnál hagyta el a pályát. A 19. ábrán, a jobboldali képen látható, hogy látássérültek szinte kivétel nélkül teljesíteni tudták a feladatot. Egy fő volt, aki ebben az esetben is jobbra tért el.



19. ábra Baloldali ábrán a látók (92 fő), jobboldali ábrán a látássérültek (29 fő) hangsegítséggel (fehérzaj) végrehajtott egyenestartás feladatban az első próbán szinte kivétel nélkül elérték a célt, meg tudták közelíteni a hangforrást

A látássérültek menetidőinek normalitás vizsgálata normális eloszlást mutat (szignifikancia szint 0,070), de ez nagyon közel van az 5 %-os szignifikancia szinthez, ahol vizsgálok, valamint nem normális eloszlású eredményekkel kerülnek összehasonlításra, illetve az eloszlás illeszkedés vizsgálat eredménye (14. melléklet 13. ábra bal oldali Q-Q ábra) is inkább nem normális eloszlásra utal, ezért az adatokkal nem-paraméteres teszteket hajtok végre. Látók eredményeinek eloszlása nem normális eloszlás (szignifikancia szint 0,000), ezt támasztja alá a 14. melléklet 13. ábrán jobboldali Q-Q ábrája is.

A 15. melléklet 14. ábrán látható a fehérzaj jel lejátszása során, a látássérültek menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 39,31 másodperc volt. A jobb oldali ábrán a látók menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 41,18 másodperc volt. A látássérültek menetidőinek normalitás vizsgálata nem normális eloszlást mutat (szignifikancia szint 0,000), ezt támasztja alá a 15. melléklet 14. ábra baloldali Q-Q ábrája is. Látók eredményeinek eloszlása szintén nem normális eloszlás (szignifikancia szint 0,001), ezt támasztja alá a 15. melléklet 14. ábra jobboldali Q-Q ábrája is.

Az első hangsegítség nélküli próba alkalmával látók és látássérültek között a menetidőt vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,395), az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,510), az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,661).

Nem paraméteres teszt elvégzése alapján megállapításra került, hogy második próbán a click-train hang használatkor látók és látássérültek között sem a menetidőt vizsgálva (szignifikancia szint 0,435), sem az Y-tengely menti eltérésekben (szignifikancia szint 0,186) nincs szignifikáns különbség. Ugyanakkor az X-tengely mentén a különbség szignifikáns (szignifikancia szint 0,004), a látók átlagos abszolút eltérése 0,26 méter, látássérültek átlagos abszolút eltérése 1,12 méter.

Fehérzaj hang használatával elmondható, hogy látók és látássérültek között sem a menetidőt (szignifikancia szint 0,077), sem az X-tengely menti (szignifikancia szint 0,537), sem az Y-tengely menti abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,394).

Második hangsegítség nélküli próba alkalmával látók és látássérültek között a menetidőt vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,463), az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,880), az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,818).

Az első hangsegítség nélküli próbán, az X tengelyen a látók átlagosan 7,23 méter, a látássérültek 6,55 méter eltérést; az Y tengelyen a látók átlagosan 5,01 méter eltérést, a látássérültek 5,7 méter hibát produkáltak. Megismételt hangsegítség nélküli próba alkalmával ezek az eltérések csökkentek. Az X tengelyen a látók átlagosan 5,77 méter, a látássérültek 5,77 méter eltérést, az Y tengelyen a látók átlagosan 3,35 méter, a látássérültek 3,47 méter hibát produkáltak.

Nem-paraméteres teszt elvégzése alapján elmondható, hogy sem az első, sem a megismételt hangsegítség nélküli próba alkalmával sem a menetidőkben, sem az X és Y tengelyen mért abszolút eltérésekben nincs szignifikáns különbség látók és látássérültek között, vagyis a látássérültek nem rendelkeznek a látókénál jobb lokalizációs képességekkel.

### 1.1. altézis

*Kültéri navigáció során végrehajtott hangsegítség nélküli egyenestartás kísérletekben látók és látássérültek képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy a két csoport hangsegítség nélküli, valamint a fehérzaj jel alkalmazásakor az egyenestartás képességekben szignifikáns különbség nem mutatható ki, míg click-train hang esetén megfigyelhető az X tengelyen.*

A két hangsegítség nélküli próba eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy a menetidőt vizsgálva van szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,003) az első és második próba eredményei között, vagyis a résztvevők gyorsabban hajtják végre a feladatot annak ismétlésekor. Első próba átlagos menetideje 37,71 másodperc, a második próba átlagos menetideje 34,40 másodperc volt.

A két hangsegítség nélküli próba eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva van szignifikáns különbség (Szig. 0,005) az első és második próba eredményei között, vagyis a résztvevők pontosabban hajtják végre a feladatot annak ismétlésekor. Első próbán, az X tengelyen mért abszolút eltérés 7,05 méter, a második próbán az eltérés átlagos eltérés 5,77 méter volt.

A két hangsegítség nélküli próba eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva van szignifikáns különbség (Szig. 0,014) az első és második próba eredményei között, vagyis a résztvevők pontosabban hajtják végre a feladatot annak ismétlésekor. Első próbán, az Y tengelyen mért abszolút eltérés 5,2 méter, a második próbán az eltérés átlagos eltérés 3,38 méter.

Igazoltam, hogy a hangsegítség nélkül végrehajtott egyenestartás kísérletekben a feladat megismétlésekor azt gyorsabban és pontosabban hajtják végre a résztvevők, tanulási folyamat figyelhető meg.

### 1.2. altézis

*Kültéri navigáció során végrehajtott hangsegítség nélküli, megismételt egyenestartás kísérletekben látók és látássérültek képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy a két próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki, mindkét csoportnál tanulási folyamat figyelhető meg a két egymást követő kísérlet során.*

Az 7. melléklet 2. táblázatában látható, hogy az első hangsegítség nélküli próba alkalmával a férfiak átlagos menetideje 35,95 másodperc, nők esetében 39,45 másodperc, vagyis a nők kicsit lassabban teljesítik a feladatot. Ismétléskor mindkét csoportnál megfigyelhető, hogy az átlagos menetidők csökkennek, férfiak esetén 33,65 másodpercre, nőknél 35,14 másodpercre.

A menetidők mediánja a két csoportnál az első próbán közel azonos, az ismétléskor már megegyezik, a szórás a nőknél mindkét próba alkalmával magasabb a férfiakénál, de javulás itt is megfigyelhető a két próba között. Férfiak közül az első próbán a legrövidebb menetidő 18 másodperc, ismétléskor 16 másodperc volt, a nők legrövidebb menetideje az első próbán 24 másodperc, ismétléskor 17 másodperc volt. Leghosszabb menetidő az első próbán, a férfiaknál 63 másodperc, nőknél 80 másodperc volt, ismétléskor valamelyest kevesebb, férfiaknál 50 másodperc, nőknél 76 másodperc volt.

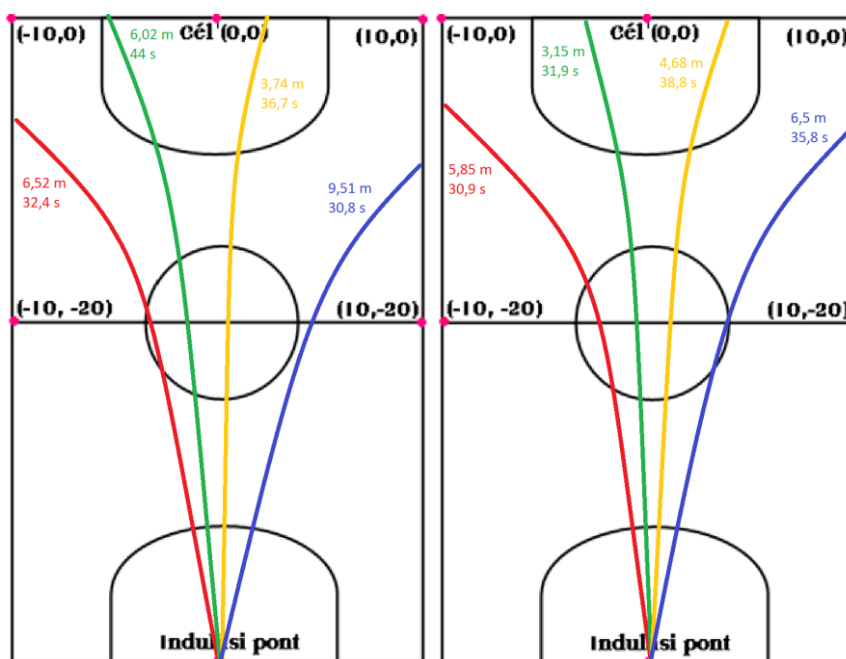
Férfiak esetén a menetidők eloszlása első (8. melléklet 9. ábra) és második (9. melléklet 10. ábra) próba alkalmával is normális eloszlású, a nők esetében pedig nem normális eloszlású, ezért nem paraméteres teszt elvégzése szükséges. A teszt elvégzése alapján megállapítható, hogy a két próba alkalmával a menetidőkben kismértékű javulás megfigyelhető, azonban nincs szignifikáns különbség férfiak és nők között sem az első (szignifikancia szint 0,115), sem a második próba során (szignifikancia szint 0,537).

A céltól való abszolút eltéréseket vizsgálva megállapítható, az első próbán, az X-tengelyen való átlagos eltérés férfiak esetén 6,99 méter, nők átlagos eltérése 7,10 méter. Normalitás vizsgálat eredménye férfiaknál és nőknél egyaránt 0,000, ami azt jelenti, hogy az eredmények nem normális eloszlásúak, ezért nem paraméteres próbát kell végezni. A próba elvégzése alapján megállapítható, hogy az első próba során, az X tengelyen mért abszolút eltérésekben nincs szignifikáns különbség férfiak és nők között (szignifikancia szint 0,527), míg az Y tengely mentén szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,05). Férfiak abszolút átlagos eltérése 3,81 méter, a nők abszolút átlagos eltérése 6,57 méter.

Megállapítható, hogy a második próba alkalmával az X és Y tengelyen mért abszolút eltéréseknél van szignifikáns különbség férfiak és nők között (szignifikancia szint: X eltérésnél 0,023; Y eltérésnél 0,011). Férfiak X tengelyen mért átlagos eltérése 5,04 méter, a nőké 6,50 méter. Férfiak Y tengelyen mért átlagos eltérése 1,93 méter, a nőké 4,83 méter, vagyis férfiak eltérése az alapvonalon és az oldalvonalon is szignifikánsan kisebb, mint a nők eltérése.

Abban az esetben, ha az eltéréseket előjelesen vizsgáljuk, vagyis figyelembe vesszük, hogy jobbra, vagy balra tértek el a résztvevők megfigyelhető az eltérések változása (18. ábra). Első

próba alkalmával a férfiak közül 4-en, ismétléskor 12-en érték el a célt, nők közül első alkalommal 7 fő, második próba alkalmával 4 fő volt, aki nem tért el, vagyis tudott egyenesen menni. Azon férfiak, akik a pályát a baloldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 6,52 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával már csak 5,85 métert hibáztak. Akik a pályát a jobboldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 9,51 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával már csak 6,5 métert hibáztak. Az alapvonalon bal és jobb oldali irányba való eltérést megfigyelve látható, hogy a baloldali eltérés az 1. próba alkalmával 6,02 méter, a jobboldali eltérés 3,74 méter; a feladatot megismételve a baloldali abszolút eltérés 3,15 méterre csökkent, a jobb oldali eltérés kis mértékben nőtt 4,68 méterre. Férfiaknál az első próba alkalmával nem volt olyan, aki a pályát a sarkoknál hagyta volna el, ismétléskor 1 fő a bal sarkoknál, 1 fő a jobb saroknál fejezte be a feladatot.

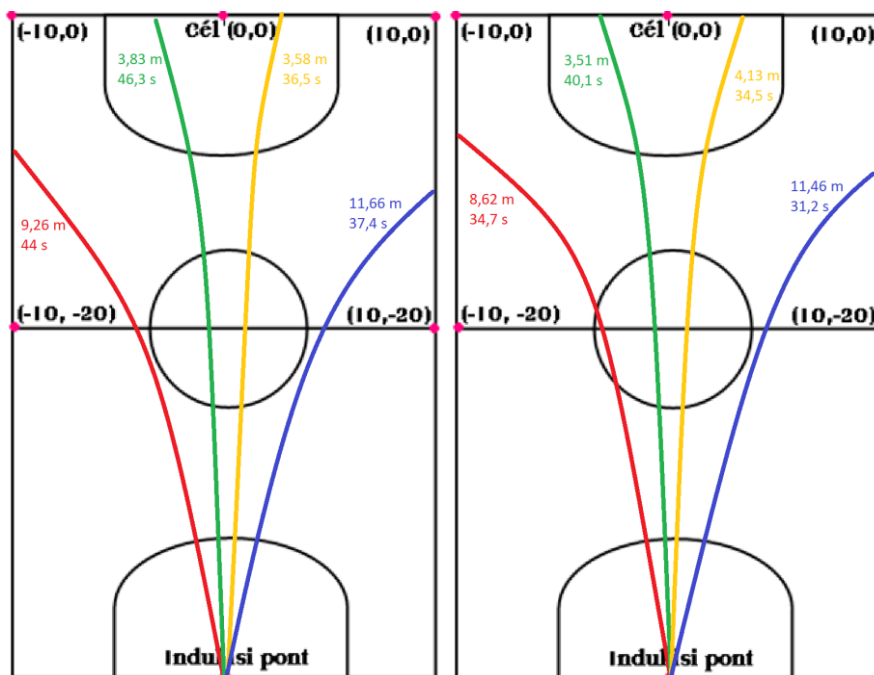


20. ábra A 63 férfi résztvevő hangsegítség nélküli egyenestartás feladatban, alap és oldalvonalon abszolút eltérései az első próbához kapcsolódóan a baloldali, a második próbához kapcsolódóan a jobb oldali ábrán láthatóak

Hasonló a helyzet a női résztvevők esetében is (19. ábra), kismértékű változások figyelhetők meg. Akik a pályát a baloldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 9,26 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával 8,62 métert hibáztak. Akik a pályát a jobboldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 11,66 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával 11,46 métert hibáztak. Az alapvonalon bal és jobb oldali irányba való eltérést megfigyelve látható, hogy a baloldali eltérés az 1. próba alkalmával 3,83 méter, a jobboldali eltérés 3,58 méter; a feladatot megismételve a baloldali abszolút eltérés 3,51 méterre csökkent,

a jobb oldali eltérés növekedett 4,13 méterre. Nőknél 2 fő volt olyan résztvevő, aki az első alkalommal a pályát a jobb sarkoknál hagyta el, ismétléskor nem volt ilyen.

A 63 női résztvevő alap és oldalvonalai abszolút eltéréseit vizsgálva az első próbához kapcsolódó átlagos oldal és alapvonalai eltérések a bal oldali, a második próbájához kapcsolódó átlagos oldal és alapvonalai eltérések a jobb oldali ábrán láthatóak:



21. ábra A 63 női résztvevő hangsegítés nélküli egyenestartás feladatban, alap és oldalvonalai abszolút eltérései az első próbához kapcsolódóan a baloldali, a második próbájához kapcsolódóan a jobb oldali ábrán láthatóak

Összességében elmondható, hogy a két hangsegítés nélküli próba alkalmával a menetidőkben nincs szignifikáns különbség férfiak és nők között sem az első, sem a második próba során. Az első próba során, az X tengelyen mért abszolút eltérésekben nincs szignifikáns különbség, míg az Y tengely mentén van, a férfiak átlagos eltérése szignifikánsan kisebb. A második próba során mindkét tengely mentén szignifikáns a különbség, a férfiak átlagos eltérése kisebb.

A 10. melléklet, 11. ábrán látható a click-train hang lejátszása során, a férfiak menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 40,38 másodperc volt. A jobb oldali ábrán a nők menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 47,29 másodperc volt.

A férfiak menetidőinek normalitás vizsgálata normális eloszlást mutat (szignifikancia szint 0,427), azonban nem normális eloszlású eredményekkel kerül összehasonlításra, ezért nem normális eloszlásúnak tekintem és az adatokkal nem-paraméteres tesztet hajtok végre. Férfiak eredményeinek eloszlását a 10. melléklet, 11. ábra baloldali Q-Q ábra, a nők

eredményeinek eloszlását (nem normális eloszlás, szignifikancia szint 0,003), a 10. melléklet, 11. ábra jobboldali Q-Q ábra mutatja.

Click train hang vizsgálata során megállapítható, hogy férfiak és nők között a menetidőt vizsgálva szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,040). Nők átlagos menetideje 46,07 másodperc, férfiak átlagos menetideje 40,28 másodperc, vagyis a férfiak valamivel gyorsabban teljesítettek.

Click train hang vizsgálata során elmondható, hogy férfiak és nők között az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,017). Nők átlagos eltérése 0,71 méter, férfiak átlagos eltérése 0,17 méter, vagyis a férfiak kisebb eltéréssel teljesítettek. Az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,379).

A 11. melléklet, 12. ábrán látható a fehérzaj jel lejátszása során, a férfiak menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 39,97 másodperc volt. A jobb oldali ábrán a nők menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 41,44 másodperc volt.

A férfiak menetidőinek normalitás vizsgálata normális eloszlást mutat (szignifikancia szint 0,083), de ez nagyon közel van az 5 %-os szignifikancia szinthez, ahol vizsgálok, valamint nem normális eloszlású eredményekkel kerülnek összehasonlításra, illetve az eloszlás illeszkedés vizsgálat eredménye 11. melléklet, 12. ábra bal oldali Q-Q ábra is inkább nem normális eloszlásra utal ezért az adatokkal nem-paraméteres tesztekert hajtok végre. Nők eredményeinek eloszlása nem normális eloszlás (szignifikancia szint 0,000), ezt támasztja alá a 11. melléklet, 12. ábra jobboldali Q-Q ábrája is.

Fehérzaj jel vizsgálata során elmondható, hogy férfiak és nők között a menetidőt vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,783), az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva sem figyelhető meg szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,967), az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva szintén nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,963).

### *1.3. altézis*

*Kültéri navigáció során végrehajtott hangsegítség nélküli, megismételt egyenestartás kísérletekben férfiak és nők képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy az első próbával ellentétben (ahol nem figyelhető meg szignifikáns különbség férfiak és nők között) az ismétléskor szignifikáns különbség figyelhető meg a férfiak és nők célmegközelítési pontosságában. Click-train hangsegítséggel végrehajtott egyenestartás kísérletben, férfiak és*



*nők képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy szignifikáns különbség figyelhető meg a férfiak és nők célmegközelítési pontosságában és gyorsaságában, míg fehérzaj esetén ez nem figyelhető meg.*

A kísérletben résztvevők átlagos életkora a 46 év volt, ami közel azonos a Központi Statisztikai Hivatal 2015. évre megállapított magyarországi átlag életkorral (42 év). Az átlag életkor alatti (57 fő) és feletti (69 fő) résztvevők eredményeit vizsgálva (12. melléklet 3. táblázat) a menetidők alapján elmondható, hogy mind az átlagok, mind a medián a két csoportnál az első próbán közel azonos, az ismétléskor szinte meg is egyezik, a szórás az idősebbeknél a második próba alkalmával magasabb a fiatalokénál, de javulás itt is megfigyelhető a két próba között. Fiatalok közül az első próbán a legrövidebb menetidő 18 másodperc, ismétléskor 16 másodperc volt, az idősebbek legrövidebb menetideje az első próbán 21 másodperc, ismétléskor 17 másodperc volt. Leghosszabb menetidő az első próbán, a fiataloknál 80 másodperc, idősebbeknél 66 másodperc volt, ismétléskor valamelyest kevesebb, fiataloknál 50 másodperc, az idősebbeknél 76 másodperc volt. A menetidők eloszlása a 13. melléklet 13. ábrán látható. Fiatalok esetén a menetidők eloszlása a második próba alkalmával normális eloszlású (14. melléklet 14. ábra), a nők esetében pedig nem normális eloszlású, ezért nem paraméteres teszt elvégzése szükséges.

Első próba alkalmával átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idők között a menetidőt vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,731). Második próba alkalmával átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idők között a menetidőt vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,641).

A céltól való abszolút eltéréseket vizsgálva megállapítható, az első próbán, az X-tengelyen való átlagos eltérés fiatalok esetén 6,93 méter, idősebbek átlagos eltérése 7,14 méter. Normalitás vizsgálat eredménye látóknál és látássérülteknél egyaránt 0,000 ami azt jelenti, hogy az eredmények nem normális eloszlásúak, ezért nem paraméteres próbát kell végezni. Első próba alkalmával átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idők között az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,522).

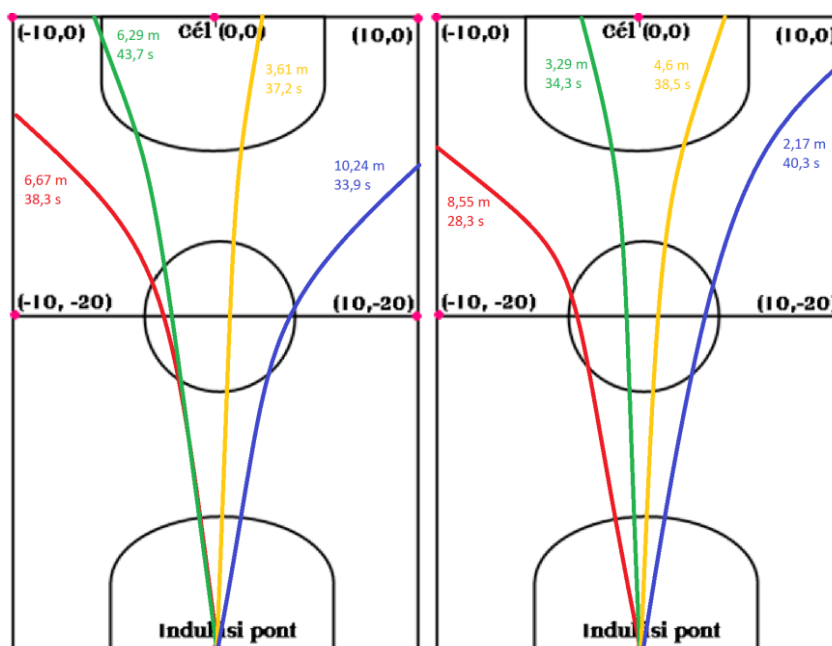
Az első próba alkalmával az Y-tengelyen mért eltérések abszolút értékét vizsgálva megállapítható, hogy a pályát oldalt elhagyó fiatal résztvevők átlagosan 4,34 métert térnek el, idősebbek esetén ez az eltérés 5,9 méter. Első próba alkalmával átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idők között az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,136).

Ismétléskor céltól való abszolút eltéréseket vizsgálva megállapítható, az X-tengelyen való átlagos eltérés fiatalok esetén 5,06 méter, idősebbek átlagos eltérése 6,36 méter. Második próba alkalmával átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idősök között az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,055). Bár a fiatalok X tengelyen való abszolút eltéréseinek változása az ismétléskor nem szignifikáns (5 %-os szignifikancia szinten 5,5 %), ennek ellenére az átlagértékeket figyelembe véve a fiatalok pontosságának növekedése itt is megfigyelhető.

Átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idősök között ismétléskor az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva van szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,012), vagyis a két próba közötti átlagos eltérés csökkenése nem magyarázható a véletlennel, tanulási folyamat figyelhető meg. Az Y-tengelyen való átlagos eltérés fiatalok esetén 2,06 méterre, látássérültek esetében pedig 4,47 méterre mérséklődik

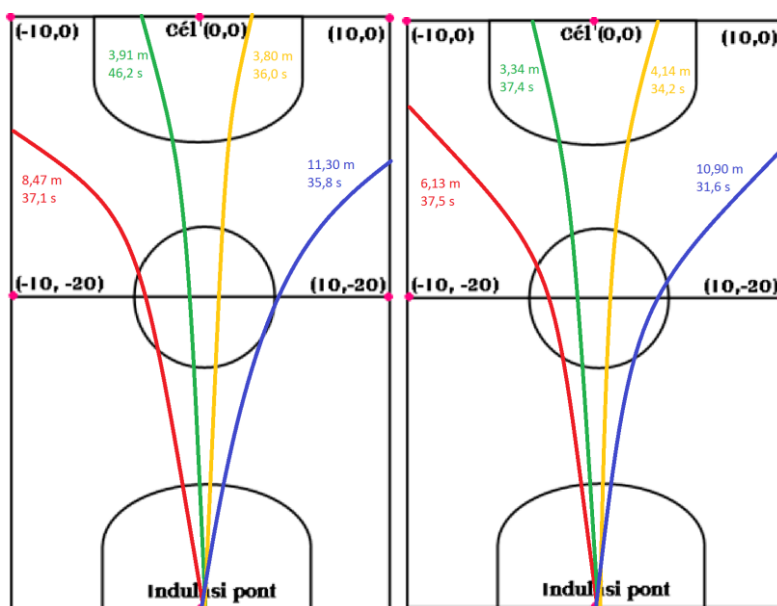
Abban az esetben, ha az eltéréseket előjelesen vizsgáljuk, vagyis figyelembe vesszük, hogy jobbra, vagy balra tértek el a résztvevők megfigyelhető az eltérések változása.

Első próba alkalmával a fiatalok közül 6-an, ismétléskor 8-en érték el a célt, idősebbek közül első alkalommal 5 fő, második próba alkalmával 8 fő volt, aki nem tért el, vagyis tudott egyenesen menni. Azon fiatalok, akik a pályát a baloldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 6,67 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával viszont 8,55 métert hibáztak (22. ábra). Akik a pályát a jobboldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 10,24 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával lényegesen kevesebbet, csak 2,17 métert hibáztak. Az alapvonalon bal és jobb oldali irányba való eltérést megfigyelve látható, hogy a baloldali eltérés az 1. próba alkalmával 6,29 méter, a jobboldali eltérés 3,61 méter; a feladatot megismételve a baloldali abszolút eltérés 3,29 méterre csökkent, a jobb oldali eltérés kis mértékben nőtt 4,60 méterre. Fiataloknál az első próba alkalmával 1 fő volt olyan, aki a pályát a jobb sarkoknál, 2 fő volt, aki a bal saroknál hagyta el, ismétléskor 1 fő a bal sarkoknál fejezte be a feladatot.



22. ábra Az 57 fő átlag életkor alatti fiatal résztvevő hangsegítség nélküli egyenestartás feladatban, alap és oldalvonal abszolút eltérései az első próbához kapcsolódóan a baloldali, a második próbához kapcsolódóan a jobb oldali ábrán láthatóak

Hasonló a helyzet az átlag életkor feletti, idősebb résztvevők esetében is (23. ábra), kismértékű változások figyelhetők meg. Akik a pályát a baloldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 8,47 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával csupán 6,13 métert hibáztak. Akik a pályát a jobboldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 11,30 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával 10,90 métert hibáztak. Az alapvonalon bal és jobb oldali irányba való eltérést megfigyelve látható, hogy a baloldali eltérés az 1. próba alkalmával 3,91 méter, a jobboldali eltérés 3,80 méter; a feladatot megismételve a baloldali abszolút eltérés 3,34 méterre csökkent, a jobb oldali eltérés növekedett 4,14 méterre. Idősebbeknél mindkét próba alkalmával 1 fő volt olyan résztvevő, aki a pályát a jobb sarkoknál hagyta el.



23. ábra A 69 fő átlag életkor feletti idős résztvevő hangsegítség nélküli egyenestartás feladatban, alap és oldalvonalai abszolút eltérései az első próbához kapcsolódóan a baloldali, a második próbához kapcsolódóan a jobb oldali ábrán láthatóak

Összességében elmondható, hogy az első próba alkalmával sem a menetidőkben, sem az X, sem az Y tengelyen mért abszolút eltérésekben nincs szignifikáns különbség a fiatalok és idősök között. Ismétléskor mindkét tengelyen megfigyelhető az eltérések csökkenése, azonban ez csupán az Y tengelynél mutatott ki szignifikáns különbséget, itt a fiatalok eltérése szignifikánsan kisebb.

A 15. melléklet, 15. ábrán látható a click-train hang lejátszása során, a fiatalok (57 fő) menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 43,49 másodperc volt. A jobb oldali ábrán az idősök (64 fő) menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 44,41 másodperc volt. A fiatalok menetidőinek normalitás vizsgálata normális eloszlást mutat (szignifikancia szint 0,508), azonban nem normális eloszlású eredményekkel kerül összehasonlításra, ezért nem normális eloszlásúnak tekintem és az adatokkal nem-paraméteres tesztek végére. Férfiak eredményeinek eloszlását a 15. melléklet, 15. ábra baloldali Q-Q ábra, a nők eredményeinek eloszlását (nem normális eloszlás, szignifikancia szint 0,001), a 15. melléklet, 15. ábra jobboldali Q-Q ábra mutatja.

Click train hang vizsgálata során elmondható, hogy az átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idősök között a menetidőt vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,331).

Click train hang vizsgálata során elmondható, hogy az átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idősök között az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,023). Átlag életkor alatti fiatalok átlagos eltérése 0 méter (mindenki elérte a célt), átlag életkor feletti idősök átlagos eltérése 0,3 méter. Az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,070).

A 16. melléklet, 16. ábrán látható a fehérzaj jel lejátszása során, a fiatalok (57 fő) menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 41,09 másodperc volt. A jobb oldali ábrán az idősök (64 fő) menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 40,42 másodperc volt. A fiatalok menetidőinek normalitás vizsgálata nem normális eloszlást mutat (szignifikancia szint 0,023), ezért az adatokkal nem-paraméteres tesztek végére. Idősök eredményeinek eloszlása nem normális eloszlás (szignifikancia szint 0,000), ezt támasztja alá a 16. melléklet, 16. ábra jobboldali Q-Q ábrája is.

Fehérzaj hang vizsgálata során elmondható, hogy az átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idősök között a menetidőt vizsgálva nincs szignifikáns különbség (Szig. 0,359), az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (Szig. 0,339), az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (Szig. 0,180).

#### *1.4. altézis:*

*Kültéri navigáció során végrehajtott hangsegítség nélküli, megismételt egyenestartás kísérletekben, átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idősök képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy az első próbával ellentétben (ahol nem figyelhető meg szignifikáns különbség a két csoport között) az ismétléskor szignifikáns különbség figyelhető meg a két csoport oldalvonalon való eltérésének pontosságában, vagyis a tanulási folyamat a fiatalok tekintetében nagyobb mértékű. Click-train hangsegítséggel végrehajtott egyenestartás kísérletben, átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idősök között szignifikáns különbség figyelhető meg a célmegközelítési pontosságában, míg fehérzaj esetén ez nem figyelhető meg.*

17. melléklet 4. táblázatában látható, hogy az első próba alkalmával 93 jobbkezes résztvevő átlagos menetideje 37,17 másodperc, balkezesek (33 fő) esetén 39,23 másodperc, vagyis átlagos menetidejük közel azonos.

A menetidők mediánja közel azonos (jobbkezesek: 36 másodperc, balkezesek: 39 másodperc), a szórás esetén figyelhető meg kismértékű eltérés (jobbkezesek: 10,39 másodperc, balkezesek: 12,31 másodperc). Maximális menetidő a jobbkezeseknél 64 másodperc, balkezeseknél 80 másodperc volt. Ismétléskor az eredmények mindkét csoportnál javultak, az átlag (jobbkezesek: 34,91 másodperc, balkezesek: 34,22 másodperc) szórása, medián, minimum és maximum értékek is csökkentek.

Normalitás vizsgálat eredménye jobbkezeseknél 0,051 és balkezeseknél 0,004 ami azt jelenti, hogy a balkezesek menetidői nem normális eloszlásúak, a jobbkezesek menetidői normális eloszlásúak (18. melléklet 17. ábra), de nagyon közel van az 5 %-os szignifikancia szinthez, ahol vizsgálok, valamint nem normális eloszlású eredményekkel kerülnek összehasonlításra, az adatokkal nem-paraméteres tesztek hajtok végre. Normalitás vizsgálat eredménye mindkét próba esetén, az abszolút eltéréseket vizsgálva jobb és balkezeseknél egyaránt 0,000 ami azt jelenti, hogy az eredmények nem normális eloszlásúak, ezért nem-paraméteres próbát kell végezni. A balkezesek menetidőinek eloszlása a második próba alkalmával normális eloszlású (19. melléklet 18. ábra), a jobbkezesek esetében pedig nem normális eloszlású, ezért nem paraméteres teszt elvégzése szükséges.

Első próba alkalmával jobb és balkezesek között a menetidőt vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,448), az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,066). A céltól való abszolút eltéréseket vizsgálva megállapítható, az első próbán, az X-tengelyen való átlagos eltérés jobbkezesek esetén 7,44 méter, balkezesek átlagos eltérése 5,92 méter.

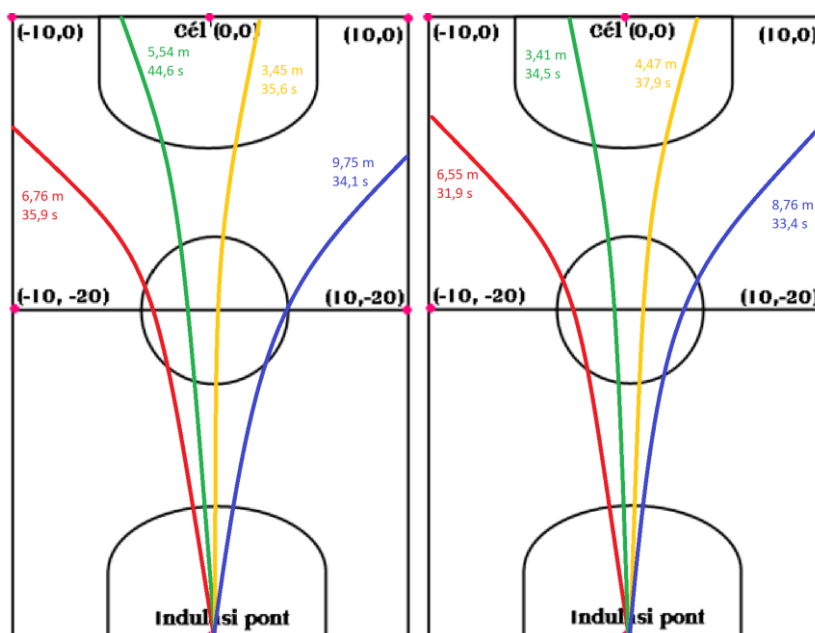
Első próba alkalmával jobb és balkezesek között az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,848). A pályát oldalt elhagyó jobbkezes résztvevők átlagosan 4,85 métert térnek el, balkezes esetén ez az eltérés 6,17 méter.

Ismétléskor a menetidő eredmények mindkét csoportnál javultak, az átlag (jobbkezesek: 34,91 másodperc, balkezesek: 34,22 másodperc) szórása, medián, minimum és maximum értékek is csökkentek. Az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,318), az átlagos eltérés jobbkezesek esetén 5,59 méter, balkezesek átlagos eltérése 6,27 méter. Az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs

szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,208), átlagos eltérés jobbkezesek esetén 2,84 méterre, balkezesek esetében pedig 4,90 méterre mérséklődik.

Abban az esetben, ha az eltéréseket előjelesen vizsgáljuk, vagyis figyelembe vesszük, hogy jobbra, vagy balra tértek el a résztvevők megfigyelhető az eltérések változása.

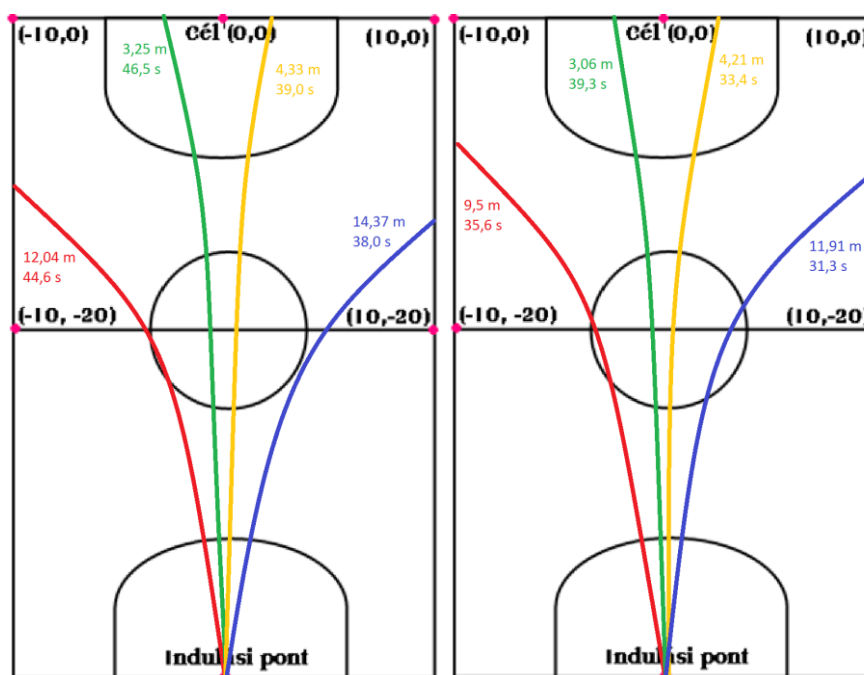
Első próba alkalmával a jobbkezesek közül 5-en, ismétléskor 14-en érték el a célt, balkezesek közül első alkalommal 6 fő, második próba alkalmával 2 fő volt, aki nem tért el, vagyis tudott egyenesen menni. Azon jobbkezesek, akik a pályát a baloldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 6,76 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával már csak 6,55 métert hibáztak (24. ábra). Akik a pályát a jobboldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 9,75 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával már csak 8,76 métert hibáztak. Az alapvonalon bal és jobb oldali irányba való eltérést megfigyelve látható, hogy a baloldali eltérés az 1. próba alkalmával 5,54 méter, a jobboldali eltérés 3,45 méter; a feladatot megismételve a baloldali abszolút eltérés 3,41 méterre csökkent, a jobb oldali eltérés kis mértékben nőtt 4,47 méterre. Jobbkezeseknél az első próba alkalmával 2 fő volt olyan, aki a pályát a jobb sarkoknál, 2 fő volt, aki a bal sarkoknál hagyta el, ismétléskor 1 fő a bal sarkoknál, 1 fő a jobb sarkoknál fejezte be a feladatot.



24. ábra A 93 fő jobbkezes résztvevő hangsegítség nélküli egyenestartás feladatban, alap és oldalvonal abszolút eltérései az első próbához kapcsolódóan a baloldali, a második próbához kapcsolódóan a jobb oldali ábrán láthatóak

Hasonló a helyzet a balkezes résztvevők esetében is (25. ábra), kismértékű változások figyelhetőek meg. Akik a pályát a baloldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 12,04 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával csupán 9,5 métert hibáztak. Akik a

pályát a jobboldali oldalvonalnál hagyták el, az 1. próba alkalmával 14,37 méter átlagos eltéréssel tették, a 2. próba alkalmával 11,91 métert hibáztak. Az alapvonalon bal és jobb oldali irányba való eltérést megfigyelve látható, hogy a baloldali eltérés az 1. próba alkalmával 3,25 méter, a jobboldali eltérés 4,33 méter; a feladatot megismételve a baloldali abszolút eltérés 3,06 méterre, a jobb oldali eltérés 4,21 méterre csökkent. Balkezeseknél nem volt olyan résztvevő, aki a pályát valamelyik sarkoknál hagyta volna el.



25. ábra A 33 fő balkezes résztvevő hangsegítség nélküli egyenestartás feladatban, alap és oldalvonalai abszolút eltérései az első próbához kapcsolódóan a baloldali, a második próbához kapcsolódóan a jobb oldali ábrán láthatóak

93 jobbkezes és 33 balkezes résztvevő eredményein történt nem paraméteres teszt elvégzése alapján elmondható, hogy az első próba alkalmával sem a menetidőkben, sem az X, sem az Y tengelyen mért abszolút eltérésekben nincs szignifikáns különbség a jobb és balkezesek között. Hasonlóan, a második próba sem mutatott ki különbséget.

A 20. melléklet, 19. ábrán látható a click-train hang lejátszása során, a balkezesek (11 fő) menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 46,91 másodperc volt. A jobb oldali ábrán az jobbkezesek (110 fő) menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 43,68 másodperc volt. A balkezesek menetidőinek normalitás vizsgálata normális eloszlást mutat (szignifikancia szint 0,976), azonban nem normális eloszlású eredményekkel kerül összehasonlításra, ezért az adatokkal nem-paraméteres teszteket hajtok végre. Jobbkezesek eredményeinek eloszlását a 20. melléklet, 19. ábra jobboldali Q-Q ábra, a balkezesek eredményeinek eloszlását (nem normális eloszlás, szignifikancia szint 0,000), a 20. melléklet, 19. ábra baloldali Q-Q ábra mutatja.



Click train hang vizsgálata során elmondható, hogy jobb és balkezesek között sem a menetidőt vizsgálva nincs szignifikáns különbség (Szig. 0,751), sem az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (Szig. 0,403), sem az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (Szig. 0,478), vagyis egyik csoport tagjai sem teljesítenek jobban ebben a feladatban.

A 21. melléklet, 20. ábrán látható a fehérzaj jel lejátszása során, a balkezesek (11 fő) menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 42,73 másodperc volt. A jobb oldali ábrán az jobbkezesek (110 fő) menetidőinek eloszlása, az átlagos menetidő 40,54 másodperc volt. A balkezesek menetidőinek eloszlása a 21. melléklet, 20. ábra baloldali Q-Q ábráján látható, a normalitás vizsgálata normális eloszlást mutat (szignifikancia szint 0,821), azonban nem normális eloszlású eredményekkel kerül összehasonlításra, ezért nem normális eloszlásúnak tekintem és az adatokkal nem-paraméteres tesztek végére. Jobbkezesek eredményeinek eloszlása nem normális eloszlás (szignifikancia szint 0,000), ezt mutatja a 21. melléklet, 20. ábra jobboldali Q-Q ábrája is.

Fehérzaj hang vizsgálata során elmondható, hogy jobb és balkezesek között sem a menetidőt vizsgálva nincs szignifikáns különbség (Szig. 0,228), sem az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (Szig. 0,749), sem az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (Szig. 0,653), vagyis egyik csoport tagjai sem teljesítenek jobban ebben a feladatban.

### *1.5.altézis*

*Kültéri navigáció során végrehajtott hangsegítség nélküli és hangsegítséggel végrehajtott egyenestartás kísérletekben bal- és jobbkezesek képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy a két csoport hangsegítség nélküli egyenestartás képességeiben szignifikáns különbség nem mutatható ki.*

Az elvégzett kísérletek eredményei alapján elmondható, hogy szignifikáns különbség van hangsegítség nélküli és hangsegítséggel végrehajtott egyenestartás kísérletekben mindkét lejátszott hang esetén (szignifikancia szint 0,000). Mindkét lejátszott hang alkalmazható a vizuális támponthoz hasonló akusztikus támpontként, a résztvevők néhány kivételtől eltekintve mindkettő segítségével megtalálják a célt.

#### *1.6. altézis*

*Kültéri navigáció során szignifikáns különbség mutatható ki hangsegítség nélküli és hangsegítséggel (úgy a click-train, ahogy a fehérzaj jel használata esetén) végrehajtott egyenestartás kísérletek eredményei között.*

Click-train és fehérzaj hangok lejátszása alkalmával kapott eredmények vizsgálata alapján elmondható, hogy a két hang között a menetidőt vizsgálva szignifikáns különbség figyelhető meg. Click-train hang alkalmazása során az átlagos menetidő 43,36 másodperc, a szórás 13,23 másodperc, a medián 43 másodperc volt. Fehérzaj hang alkalmazása során az átlagos menetidő 40,74 másodperc, a szórás 12,115 másodperc, a medián 39 másodperc volt.

Click-train és fehérzaj hangok lejátszása során, az X tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva szignifikáns különbség figyelhető meg (Szig. 0,036), az X tengelyen mért abszolút eltérés 0,78 méter, a szórás 1,84 méter, a medián 0 méter volt. Fehérzaj hang alkalmazása során, az X tengelyen mért abszolút eltérés 0,16 méter, a szórás 1,29 méter, a medián 0 méter volt.

Click-train és fehérzaj hangok lejátszása alkalmával kapott eredmények vizsgálata alapján elmondható, hogy látók és látássérültek között az Y tengelyen mért abszolút eltéréseket vizsgálva nincs szignifikáns különbség (Szig. 0,465).

Összességében elmondható, hogy mindkét hang alkalmazható akusztikus támpontként, a fehérzaj jel alkalmazásánál nagyobb pontosság érhető el.

#### *1.7. altézis*

*Kültéri navigáció során hangsegítséggel végrehajtott, egyenestartás kísérletekben a click-train és fehérzaj hangok lejátszásakor mért eredményeket összehasonlítva megállapítható, hogy a két hang között szignifikáns különbség mutatható ki, a fehérzaj alkalmazása esetén gyorsabban és pontosabban közelíthető meg a cél.*

A fejezetben leírtak alapján a következő tézis került megfogalmazásra:

### 1. tézis

*Kültéri navigáció során végrehajtott egyenestartás kísérletekben látók és látássérültek képességeit összehasonlítva általánosságban megállapítható, hogy a két csoport egyenestartás képességeiben szignifikáns különbség nem mutatható ki, a két próba eredményei között azonban szignifikáns különbség mutatható ki. Mindkét csoportnál tanulási folyamat figyelhető meg a két egymást követő kísérlet során. Ismétléskor bal és jobbkezesek között nincs szignifikáns különbség, míg férfiak és nők között mindkét tengely vonatkozásában szignifikáns a különbség figyelhető meg, a férfiak átlagos eltérése kisebb. Az átlag életkor alatti fiatalok esetében az Y tengelynél figyelhető meg szignifikáns különbség. Hangsegítség nélküli és hangsegítséggel (úgy a click-train, ahogy a fehérzaj jel használata esetén) végrehajtott egyenestartás kísérletek eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki. A kimutatható különbségek click-train esetén a fehérzaj jobb lokalizálhatóságára (egyenletes, szélessávú spektrumára) lehet visszavezethető. Mindkét lejátszott hang alkalmazható a vizuális támponthoz hasonló akusztikus támpontként. [20][60][61][111][112] [113][114][110][115].*

#### 1.1.altézi

*Kültéri navigáció során végrehajtott hangsegítség nélküli egyenestartás kísérletekben látók és látássérültek képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy a két csoport hangsegítség nélküli, valamint a fehérzaj jel alkalmazásakor az egyenestartás képességekben szignifikáns különbség nem mutatható ki, míg click-train hang esetén megfigyelhető az X tengelyen.*

#### 1.2.altézi

*Kültéri navigáció során végrehajtott hangsegítség nélküli, megismételt egyenestartás kísérletekben látók és látássérültek képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy a két próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki, mindkét csoportnál tanulási folyamat figyelhető meg a két egymást követő kísérlet során.*

#### 1.3.altézi

*Kültéri navigáció során végrehajtott hangsegítség nélküli, megismételt egyenestartás kísérletekben férfiak és nők képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy az első próbával ellentétben (ahol nem figyelhető meg szignifikáns különbség férfiak és nők között) az ismétléskor szignifikáns különbség figyelhető meg a férfiak és nők célmegközelítési*

*pontosságában. Click-train hangsegítséggel végrehajtott egyenestartás kísérletben, férfiak és nők képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy szignifikáns különbség figyelhető meg a férfiak és nők célmegközelítési pontosságában és gyorsaságában, míg fehérzaj esetén ez nem figyelhető meg.*

#### *1.4.altézis:*

*Kültéri navigáció során végrehajtott hangsegítség nélküli, megismételt egyenestartás kísérletekben, átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idősök képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy az első próbával ellentétben (ahol nem figyelhető meg szignifikáns különbség a két csoport között) az ismétléskor szignifikáns különbség figyelhető meg a két csoport oldalvonalon való eltérésének pontosságában, vagyis a tanulási folyamat a fiatalok tekintetében nagyobb mértékű. Click-train hangsegítséggel végrehajtott egyenestartás kísérletben, átlag életkor alatti fiatalok és átlag életkor feletti idősök között szignifikáns különbség figyelhető meg a célmegközelítési pontosságában, míg fehérzaj esetén ez nem figyelhető meg.*

#### *1.5.altézis*

*Kültéri navigáció során végrehajtott hangsegítség nélküli és hangsegítséggel végrehajtott egyenestartás kísérletekben bal- és jobbkezesek képességeit összehasonlítva megállapítható, hogy a két csoport hangsegítség nélküli egyenestartás képességeiben szignifikáns különbség nem mutatható ki.*

#### *1.6.altézis*

*Kültéri navigáció során szignifikáns különbség mutatható ki hangsegítség nélküli és hangsegítséggel (úgy a click-train, ahogy a fehérzaj jel használata esetén) végrehajtott egyenestartás kísérletek eredményei között.*

#### *1.7.altézis*

*Kültéri navigáció során hangsegítséggel végrehajtott, egyenestartás kísérletekben a click-train és fehérzaj hangok lejátszásakor mért eredményeket összehasonlítva megállapítható, hogy a két hang között szignifikáns különbség mutatható ki, a fehérzaj alkalmazása esetén gyorsabban és pontosabban közelíthető meg a cél.*

#### **4.2. Látók és látássérültek navigációs képességeinek összehasonlítása echolokáció során (sarokészlelés)**

Az elvégzett kísérletekben a sarok, mint hangot nem kibocsátó akadály észlelése volt a feladat, a látássérültek által használt fehér bot segítségével generált visszhangok alapján. Látó alanyok bekötött szemmel hajtották végre a feladatot. A kísérletet a győri Széchenyi István Egyetem parkolóházának falánál végeztem. Véletlenszerűen, különböző távolságokból indulva, a fal mentén, fehér bot segítségével kopogtatva, a reflexiókat érzékelve, a visszhangokból kellett megállapítani a sarok helyzetét (echolokáció). A feladatok során a parkoló épület középső, nyitott részénél is kísérleteztünk, a nagy felületű, üreges épület rendkívül visszhangosnak bizonyult, az erős kongó hang miatt nem volt alkalmas a feladat végrehajtására, ezért csak a zárt fal mentén kísérleteztünk.

Mivel a látássérültek sem pusztán az akusztikus információk alapján érzékelik a sarkot, ezért a parkoló épület mindkét sarkánál végeztük a kísérleteket, a széljárás, hőmérséklet és napsütés függvényében. Abban az esetben, amikor séta közben felélenkült a szél, vagy a nap melege jobban érezhető volt, esetleg a napsütés fénye érte az alanyok arcát, még a látók is feltételezték, hogy elérték a sarkot, akusztikus információ nélkül is. Annak érdekében, hogy egyéb segítségek nélkül, csupán az akusztikus információkra szorítkozva állapítsák meg a sarok hollétét, napszaknak és időjárásnak megfelelően választottam ki a helyszínt. A kísérleteket akkor végeztük, amikor egyébként a környezet csendes volt, közlekedési és egyéb zajoktól mentes, hiszen ezek is befolyásolhatták volna a visszaverődések észlelését.

Az eltéréseket a sarok vonalától pozitív és negatív irányban 10 centiméteres pontossággal rögzítettem (26. ábra). Abban az esetben, ha az alany éppen a sarok vonalában állt meg, akkor az ő eltérése nulla, vagyis nincs eltérés. Ha a sarkot elhagyva, a sarkon túl állt meg, akkor pozitív előjelű eltérést rögzítettem, míg a sarok előtt megállóknak negatív előjelű értéket kaptak, mivel a sarkot nem érték el.



26. ábra Bekötött szemű sarok-lokalizációs vizsgálat a Széchenyi István Egyetem parkolóházánál [60]

27. ábrán a parkoló épület másik oldalán végrehajtott sarok-lokalizációs kísérlet látható. Az épület elülső oldalánál ebben az időben a napsütés miatt nem lehetett elvégezni a kísérletet.



27. ábra Bekötött szemű sarok-lokalizációs vizsgálat a Széchenyi István Egyetem parkolóház másik oldalánál Készítette: O2média, 2011

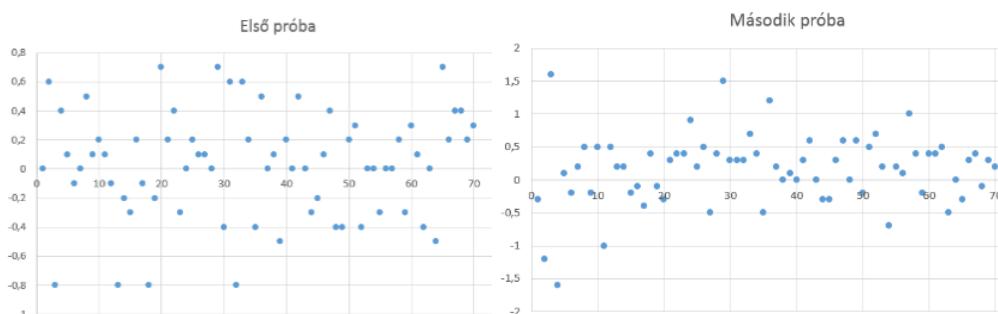
**Hipotézis:** Látássérültek pontosabban tudják megállapítani a sarok helyét, a két próba között nincs érdemi javulás, függetlenül kortól, kezességtől vagy nemtől.

A sarokészlelés feladatban 101 fő vett részt, 70 látó, 31 látássérült, 26 nő, 75 férfi, 89 fő jobbkezes, 12 fő balkezes. Minden résztvevő két próbát tett, rögzítésre került a sarok az alanyok által vélt helyének koordinátája (saroktól való távolsága), kiszámításra került ezek átlaga, szórása, mediánja, minimum és maximum értékei, valamint Shapiro-Wilk normalitásvizsgálatot végeztem a statisztikai analízishez. 22. melléklet 5. táblázatban látható, hogy az első próba alkalmával 70 látó résztvevő saroktól való abszolút, átlagos eltérése 0,287

méter, látássérültek esetén 0,290 méter, vagyis átlagos eltérésük közel azonos. A saroktól való abszolút eltérések mediánja megegyezik, a szórás esetén figyelhető meg kismértékű eltérés (látók: 0,231 méter, látássérültek: 0,311 méter. Maximális eltérése a látóknak 0,8 méter, látássérülteknek 1 méter, vagyis ennyivel haladtak túl a sarkon, amikor úgy érzékelték, hogy a saroknál vannak. Normalitás vizsgálat eredménye látóknál és látássérülteknél egyaránt 0,000 ami azt jelenti, hogy az eredmények a csoportokban sem normális eloszlásúak. A saroktól való előjeles eltéréseket is vizsgáltam, az átlagos eltérés látók esetén 0,03 méter ami azt jelenthetné, hogy átlagosan mindenki a saroknál állt meg, a valóságban azonban csupán a résztvevők 17 %-a állapította meg pontosan a sarok helyét. Látássérültek előjeles, átlagos eltérése 0,277 méter, vagyis ők a sarok után állnak meg egy kicsivel. Ez érthető is, hisz a gyakorlatban számukra a sarok holléte abban a tekintetben fontos, hogy azt elhagyva be tudjanak fordulni és folytatni tudják az útjukat. Megfigyelhető, hogy a sarok pontos megállapítását a látássérültek 32 %-a tudta végrehajtani. Ismétléskor az átlagok mindkét csoportnál romlottak, a látók eredményeinek szórása növekedett, a látássérültek eredményeinek szórása közel azonos maradt. A sarok pontos megállapítását azonban mindkét csoportból kevesebben tudták megvalósítani (látók: 7%, látássérültek: 26 %).

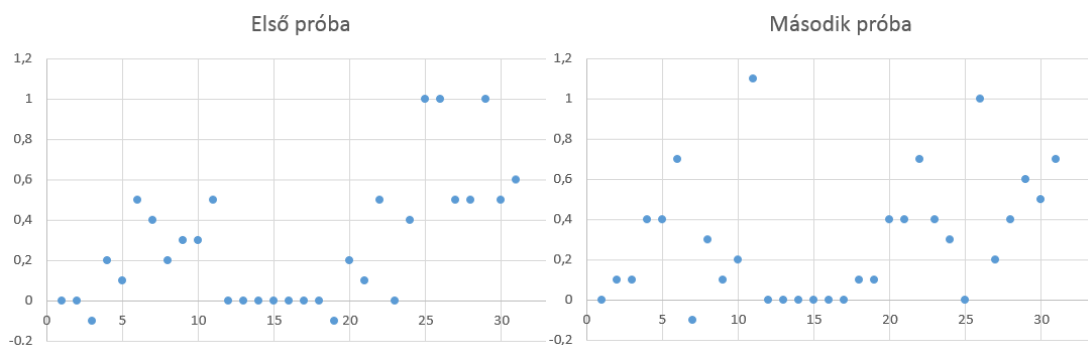
A saroktól való eltérések a 101 résztvevő előjeles eredményeit vizsgálva (első próba eloszlása 23. melléklet 21. ábra, második próba eloszlása 23. melléklet 22. ábra) nem normális eloszlásúak mindkét próba alkalmával (első próba szignifikancia szintje 0,028, második próba szignifikancia szintje 0,001), ezért az előjeles eltérések esetén nem paraméteres tesztet kell végezni.

Látók sarokészlelés vizsgálatban, az első próbán elért eredményei (eltérései) a 28. ábra baloldali képen láthatóak, a jobb oldali képen a feladat megismétlésekor elért eredmények szerepelnek.



28. ábra Látók sarokészlelés vizsgálat eredményei. Bal oldali képen az első próba eredményei, jobb oldali képen a második próba eredményei láthatóak

Látássérültek sarokészlelés vizsgálatban, az első próbán elért eredményei (eltérései) a 29. ábra baloldali képen láthatóak, a jobb oldali képen a feladat megismétlésekor elért eredmények szerepelnek.



29. ábra Látók sarokészlelés vizsgálat eredményei. Bal oldali képen az első próba eredményei, jobb oldali képen a második próba eredményei láthatóak

Látássérültek (31 fő) első próba alkalmával elért előjeles eredményeit vizsgálva a Shapiro-Wilk normalitás vizsgálat eredménye Sig. 0,001, vagyis nem normális eloszlású (24. melléklet 23. ábra). Látók (70 fő) első próba alkalmával elért előjeles eredményeit vizsgálva a Shapiro-Wilk normalitás vizsgálat eredménye Sig. 0,056, vagyis normális eloszlású, azonban az 5 %-os szignifikancia szinthez nagyon közeli érték, illetve azon értékek, amelyekkel összehasonlításra kerül nem normális eloszlású, ezért nem paraméteres tesztet kell alkalmazni.

Látássérültek (31 fő) második próba alkalmával előjeles elért eredményeit vizsgálva a Shapiro-Wilk normalitás vizsgálat eredménye Sig. 0,004, vagyis nem normális eloszlású. Látók (70 fő) második próba alkalmával elért előjeles eredményeit vizsgálva a Shapiro-Wilk normalitás vizsgálat eredménye Sig. 0,009, vagyis nem normális eloszlású.

Látássérültek (31 fő) első próba alkalmával elért abszolút értékű eredményeit vizsgálva a Shapiro-Wilk normalitás vizsgálat eredménye Sig. 0,000, vagyis nem normális eloszlású. Látók (70 fő) első próba alkalmával elért abszolút értékű eredményeit vizsgálva a Shapiro-Wilk normalitás vizsgálat eredménye Sig. 0,000, vagyis nem normális eloszlású.

Látássérültek (31 fő) második próba alkalmával elért abszolút értékű eredményeit vizsgálva a Shapiro-Wilk normalitás vizsgálat eredménye Sig. 0,001, vagyis nem normális eloszlású. Látók (70 fő) második próba alkalmával elért abszolút értékű eredményeit vizsgálva a Shapiro-Wilk normalitás vizsgálat eredménye Sig. 0,000, vagyis nem normális eloszlású.



Látássérültek számára a legfontosabb információ a sarok helyzetében az, hogy azon túlhaladva hol tud biztonságosan befordulni. Látóknak és a látássérült résztvevőknek is az volt a feladata, hogy ott álljanak meg, ahol már befordulnának a sarok után. Vakoknak emiatt néhány kivételtől eltekintve csak pozitív eltérése volt, azaz nem álltak meg a sarok előtt, hanem mindig csak utána; amíg látók pozitív és negatív hibákat is elkövettek. Ha abszolút eltérést vizsgálunk, akkor a látóknak és vakoknak közel azonos az eltérése (első próba: látó 0,287 méter, vak: 0,290 méter; második próba: látó 0,42, vak 0,3 méter).

Az eredményekben (saroktól való abszolút eltérés) nem mutatható ki szignifikáns különbség (Szig. 0,597) látók és látássérültek között az első próba során. Az eredményekben (saroktól való abszolút eltérés) nem mutatható ki szignifikáns különbség (Szig. 0,064) látók és látássérültek között a második próba során.

Abban az esetben, ha az abszolút eltérések helyett előjeles eltéréseket vizsgálunk, az első próba alkalmával szignifikáns eltérés mutatkozik (nem paraméteres teszt: Szig. 0,010, paraméteres teszt: Sig. 0,001) látók és látássérültek között; megfigyelhető, hogy a látássérültek inkább kevésbé a sarok után állnak meg, mint előtte. A második próba eredményei között nem mutatható ki szignifikáns különbség látók és látássérültek között (Szig. 0,271).

### 2.1. altézis

*Kültéri navigáció során végrehajtott, két sarokészlelési kísérletben látók és vakok képességei között az abszolút eltéréseket vizsgálva nem mutatható ki szignifikáns különbség, előjeles eltéréseket vizsgálva az első próbán elért eredmények között szignifikáns különbség mutatkozik.*

Látók és látássérültek saroktól való abszolút eltéréseit összesítve vizsgálva, az első és második próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki (Szig. 0,006). Ez a különbség negatív előjelű, vagyis nem tanulás, hanem romlási folyamat figyelhető meg. Feltételezhető, hogy túlkompenzálják az előző eredményt. Saroktól való abszolút eltérés 1. próba 0,29 méter, 2. próba 0,38 méter.

Látók és látássérültek saroktól való előjeles eltéréseit összesítve vizsgálva, az első és második próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki (Szig. 0,021). A szignifikáns különbség negatív előjelű, vagyis nem tanulás, hanem romlási folyamat figyelhető meg. Feltételezhető, hogy túlkompenzálják az előző eredményt. Saroktól való előjeles eltérés 1. próba 0,11 méter, 2. próba 0,2 méter.

## 2.2. *altézis*

*Kültéri navigáció során végrehajtott, megismételt sarokészlelési kísérletben a két próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki. Mindkét csoportnál (látók és látássérültek) változás figyelhető meg a két egymást követő kísérlet során, azonban nem tanulási, hanem rontás (negatív tanulás).*

A 28. melléklet 6. táblázatban látható, hogy első alkalommal a sarok pontos megállapítását a férfiak 17 %-a és a nők 5 %-a tudta végrehajtani. Ismétléskor az átlagok mindkét csoportnál romlottak, a férfiak eredményeinek szórása növekedett, a nők eredményeinek szórása közel azonos maradt. A sarok pontos megállapítását azonban mindkét csoportból kevesebben tudták megvalósítani (férfiak: 10 %, nők: 3 %).

Az első próba eredményei (saroktól való abszolút eltérés) között nem mutatható ki szignifikáns különbség nők és férfiak (szignifikancia szint 0,477) között. A második próba eredményei (saroktól való abszolút eltérés) között nem mutatható ki szignifikáns különbség nők és férfiak (szignifikancia szint 0,103) között.

Az első próba eredményei (előjeles eltérés) között nem mutatható ki szignifikáns különbség nők és férfiak (nem paraméteres teszt: Szig. 0,089, paraméteres teszt: Sig. 0,093) között. A második próba eredményei (előjeles eltérés) között nem mutatható ki szignifikáns különbség, nők és férfiak (nem paraméteres teszt: Szig. 0,615, paraméteres teszt: Sig. 0,477) között.

## 2.3. *altézis*

*Kültéri navigáció során végrehajtott, két sarokészlelési kísérletben nők és férfiak képességei között nem mutatható ki szignifikáns különbség.*

Férfiak saroktól való abszolút eltéréseit vizsgálva, az első és második próba eredményei között nem mutatható ki szignifikáns különbség (Szig. 0,052). A különbség ebben az esetben nem szignifikáns, de az 5 %-os szignifikancia szinthez nagyon közeli, negatív előjelű, vagyis nem tanulás, hanem rontási folyamat figyelhető meg. Saroktól való átlagos abszolút eltérés 1. próba 0,301 méter, 2. próba 0,417 méter.

Férfiak saroktól való előjeles eltéréseit vizsgálva, az első és második próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki (Szig. 0,011). A szignifikáns különbség ebben az esetben is negatív előjelű, vagyis nem tanulás, hanem rontási folyamat figyelhető meg, növekszik a

szórás és a minimum és maximum eltérés is. Saroktól való átlagos előjeles eltérés 1. próba 0,069 méter, 2. próba 0,180 méter.

Nők saroktól való abszolút eltéréseit vizsgálva, az első és második próba eredményei között nem mutatható ki szignifikáns különbség (Szig. 0,251). Nők saroktól való előjeles eltéréseit vizsgálva, az első és második próba eredményei között nem mutatható ki szignifikáns különbség (Szig. 0, 158).

#### 2.4. altézis

*Kültéri navigáció során végrehajtott, megismételt sarokészlelési kísérletben, férfiaknál és nőknél a két próba eredményei között szignifikáns különbség nem mutatható ki, férfiak esetében az abszolút és előjeles értékeket vizsgálva kismértékű változás figyelhető meg a két egymást követő kísérlet során, azonban nem tanulási, hanem rontás (negatív tanulás).*

A 29. melléklet 7. táblázatban láthatóak a jobb és balkezes résztvevők saroktól való előjeles és abszolút eltérései. Megfigyelhető, hogy ismétléskor az átlagok mindkét csoportnál romlottak, a látók eredményeinek szórása növekedett, a látássérültek eredményeinek szórása közel azonos maradt. A sarok pontos megállapítását azonban mindkét csoportból kevesebben tudták megvalósítani (látók: 7%, látássérültek: 27 %).

Az első próba eredményei (saroktól való abszolút eltérés) között nem mutatható ki szignifikáns különbség jobb és balkezesek között (nem paraméteres teszt: Szig. 0,714)

Az első próba eredményei (előjeles eltérés) között nem mutatható ki szignifikáns különbség jobb és balkezesek között (nem paraméteres teszt: Szig. 0,564).

A második próba eredményei (saroktól való abszolút eltérés) között nem mutatható ki szignifikáns különbség jobb és balkezesek között (nem paraméteres teszt: Szig. 0,124).

A második próba eredményei (előjeles eltérés) között nem mutatható ki szignifikáns különbség jobb és balkezesek között (nem paraméteres teszt: Szig. 0,266).

Megfigyelhető, hogy a sarok pontos megállapítását a látássérültek 33 %-a tudta végrehajtani.

#### 2.5. altézis:

*Kültéri navigáció során végrehajtott, két sarokészlelési kísérletben bal és jobbkezesek képességei között nem mutatható ki szignifikáns különbség.*

Jobbkezesek saroktól való abszolút eltéréseit vizsgálva, az első és második próba eredményei között nem mutatható ki szignifikáns különbség (Szig. 0,091).

Jobbkezesek saroktól való előjeles eltéréseit vizsgálva, az első és második próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki (Szig. 0,023). A szignifikáns különbség ebben az esetben negatív előjelű, vagyis nem tanulás, hanem rontási folyamat figyelhető meg, növekszik a szórás és a minimum és maximum eltérés is. Saroktól való átlagos előjeles eltérés 1. próba 0,117 méter, 2. próba 0,175 méter.

Balkezesek saroktól való abszolút eltéréseit vizsgálva, az első és második próba eredményei között nem mutatható ki szignifikáns különbség (Szig. 0,059).

Balkezesek saroktól való előjeles eltéréseit vizsgálva, az első és második próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki (Szig. 0,032). Saroktól való átlagos előjeles eltérés 1. próba 0,250 méter, 2. próba 0,383 méter.

#### 2.6. *altézis*

*Kültéri navigáció során végrehajtott, megismételt sarokészlelési kísérletben, jobbkezeseknél és balkezeseknél a két próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki. Mindkét csoportnál (jobb és balkezesek) változás figyelhető meg a két egymást követő kísérlet során, azonban nem tanulási, hanem rontás (negatív tanulás).*

A fejezetben leírtak alapján a következő tézis került megfogalmazásra:

## 2. tézis

*Kültéri navigáció során végrehajtott, megismételt sarokészlelési kísérletben összességében elmondható, hogy nincs szignifikáns különbség látók és vakok, jobb és balkezesek képességei között. A két próba eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy az első és a második között szignifikáns különbség mutatható ki, amely negatív tanulási folyamatra utal [20][60][61][111][112] [113][114].*

### 2.1. altézis

*Kültéri navigáció során végrehajtott, két sarokészlelési kísérletben látók és vakok képességei között az abszolút eltéréseket vizsgálva nem mutatható ki szignifikáns különbség, előjeles eltéréseket vizsgálva az első próbán elért eredmények között szignifikáns különbség mutatkozik.*

### 2.2. altézis

*Kültéri navigáció során végrehajtott, megismételt sarokészlelési kísérletben a két próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki. Mindkét csoportnál (látók és látássérültek) változás figyelhető meg a két egymást követő kísérlet során, azonban nem tanulási, hanem rontás (negatív tanulás).*

### 2.3. altézis

*Kültéri navigáció során végrehajtott, két sarokészlelési kísérletben nők és férfiak képességei között nem mutatható ki szignifikáns különbség.*

### 2.4. altézis

*Kültéri navigáció során végrehajtott, megismételt sarokészlelési kísérletben, férfiaknál és nőknél a két próba eredményei között szignifikáns különbség nem mutatható ki, férfiak esetében az abszolút és előjeles értékeket vizsgálva kismértékű változás figyelhető meg a két egymást követő kísérlet során, azonban nem tanulási, hanem rontás (negatív tanulás).*

### 2.5. altézis:

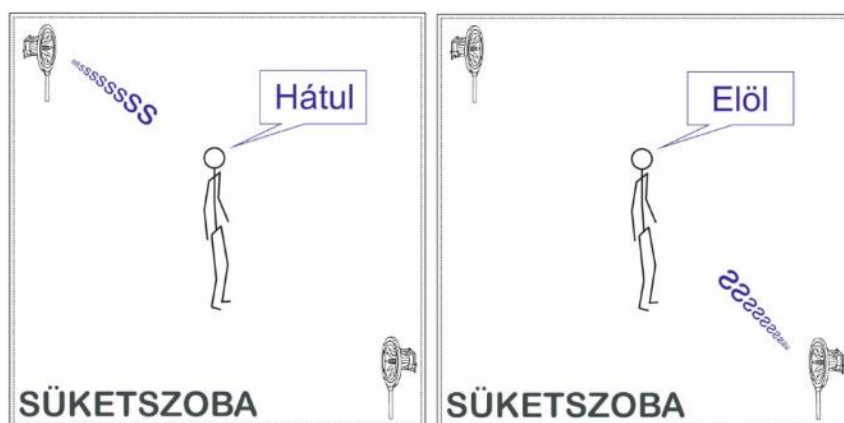
*Kültéri navigáció során végrehajtott, két sarokészlelési kísérletben bal és jobbkezesek képességei között nem mutatható ki szignifikáns különbség.*

## 2.6. *altézis*

*Kültéri navigáció során végrehajtott, megismételt sarokészlelési kísérletben, jobbkezeseknél és balkezeseknél a két próba eredményei között szignifikáns különbség mutatható ki. Mindkét csoportnál (jobb és balkezesek) változás figyelhető meg a két egymást követő kísérlet során, azonban nem tanulási, hanem rontás (negatív tanulás).*

### 4.3. Látók és látássérültek elől-hátul döntési képességeinek összehasonlítása süketszobában

A fej szimmetriasíkjában a két fülbe kb. egy időben és megegyező erősséggel érkezik a jel. Gyakran megesik, hogy ebben a síkban lévő hangforrásokat összekeverünk, nem tudjuk megállapítani, hogy a hang hátulról, vagy előlről érkezik-e. Ezt elől-hátul döntési hibának nevezzük. A szabad hangterű, süketszobában végzett feladatban elől-hátul döntéseket kellett meghozni négy különféle hosszúságú, véletlen sorrendű fehérzaj-sorozat lejátszása során. A süketszoba két sarkában elhelyezett egy-egy Leybold 58707 típusú piezo hangszóróból 80 dB hangnyomásszintű, eltérő hosszúságú (500, 250, 125 és 75 ms) fehérzaj-impulzus került véletlenszerűen lejátszásra. Az alanyoknak a kísérlet során a hangszóróktól azonos távolságban, a süketszoba közepén állva (2,5 méter) kellett dönteniük, hogy a hangot előlről vagy hátulról hallották-e (30. ábra).



30. ábra Elöl-hátul döntési feladat

**Hipotézis:** Mindkét csoport tagjai képesek megállapítani a hangforrás irányát, a hibák száma függ a lejátszott hangok hosszától.

A feladatot összesen 50 fő (41 látó és 9 látássérült) teljesítette, 24 férfi, 26, nő, 13 és 71 éves kor (átlag életkor 33,7 év) között.

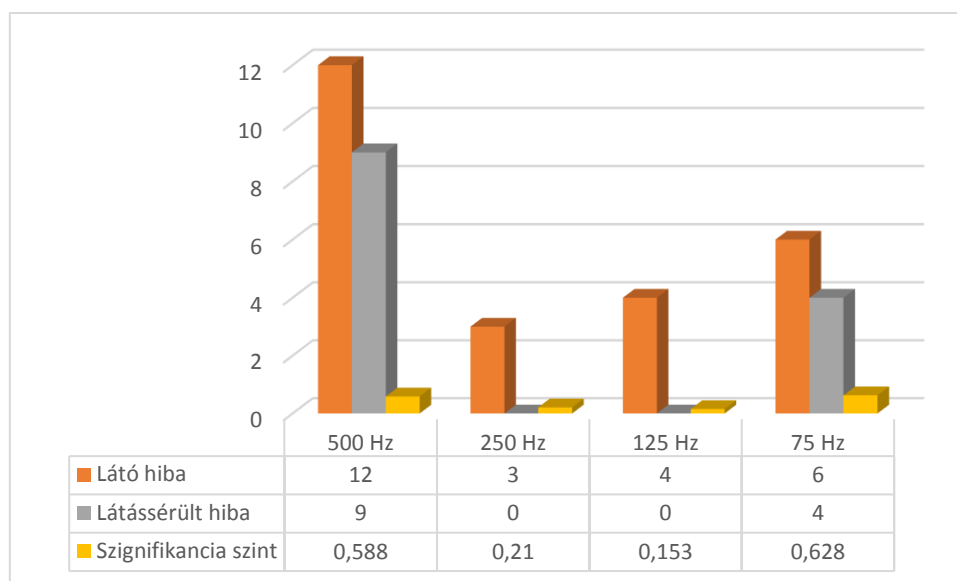
A különböző hosszúságú hangok esetén elkövetett hibák nem normális eloszlásúak (sig. 0,000), ezért nem-paraméteres tesztet kell végezni.

A feladatok során megkülönböztettek elől-hátul és hátul-elöl döntési hibát. Az elől hátul döntési hibának nevezzük azt az esetet, amikor az előlről érkező hangot az alany hátulról érzékeli, a hátul-elöl döntési hiba ennek fordítottja, amikor az alany a hátulról jövő hangot érzékeli előlről. Látók és látássérültek között a hibás érzékelésben nincs szignifikáns különbség, az egyes esetekben a hang hosszúságától függően azonban lehet különbség. Vannak olyan esetek is (elenyésző számban), amikor az alanyok az előlről vagy hátulról jövő hangot oldalról, vagy felülről hallják.

500 ms hosszúságú hangok esetében látók és látássérültek képességei között az általuk elkövetett hibák számában nem mutatható ki szignifikáns különbség, sem hátulról, sem előlről. A jelek időbeni hosszát 250 ms, 125 ms ill. 75 ms-ra csökkentve, ez nem változik.

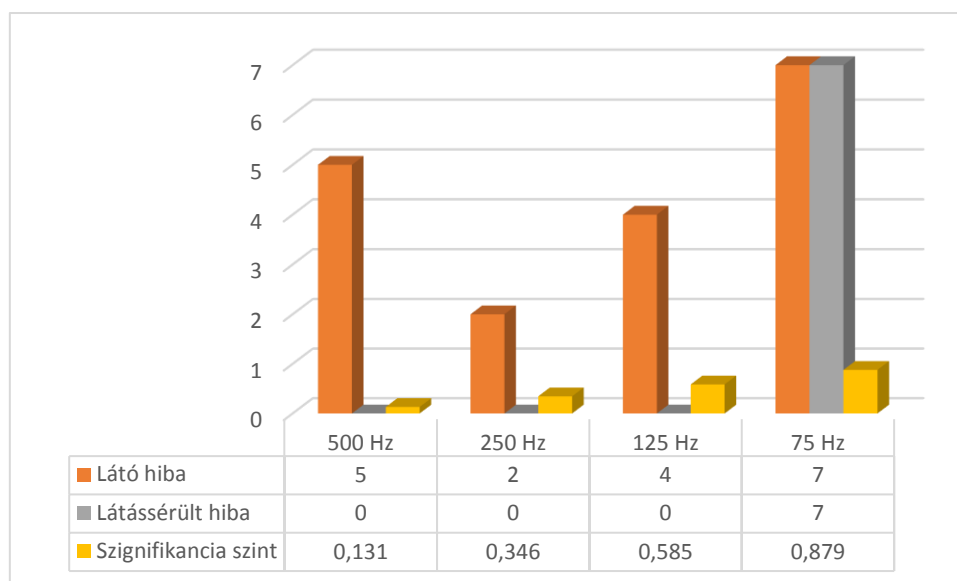
31. ábrán látható, hogy hátulról érkező 500 ms hosszúságú hangok esetében látók és látássérültek képességei között, általuk elkövetett hibák között, nem mutatható ki szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,588). Látók 12 %-ban követnek el hibát hátul irányból, míg a látássérültek 9 %-ban. Hátulról érkező 250 ms hosszúságú hangok esetében látók és látássérültek képességei között, általuk elkövetett hibák között, nem mutatható ki szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,210). Látók 3 %-ban követnek el hibát hátul irányból, míg a látássérültek 0 %-ban. Hátulról érkező 125 ms hosszúságú hangok esetében látók és látássérültek képességei között, általuk elkövetett hibák között, nem mutatható ki szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,153). Látók 4 %-ban követnek el hibát hátul irányból, míg a látássérültek 0 %-ban. Hátulról érkező 75 ms hosszúságú hangok esetében látók és látássérültek képességei között, általuk elkövetett hibák között, nem mutatható ki szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,628). Látók 6 %-ban követnek el hibát hátul irányból, míg a látássérültek 4 %-ban.





31. ábra Különböző hosszúságú hátulról érkező hangok esetén elkövetett döntési hibák arányai és a csoportok közötti szignifikancia szintek

32. ábrán látható, hogy előlről érkező 500 ms hosszúságú hangok esetében *látók és látássérültek képességei között, általuk elkövetett hibák között, nem mutatható ki szignifikáns különbség* (szignifikancia szint 0,131). Látók 5 %-ban követnek el hibát elől irányból, míg a látássérültek 0 %-ban. Előlről érkező 250 ms hosszúságú hangok esetében *látók és látássérültek képességei között, általuk elkövetett hibák között, nem mutatható ki szignifikáns különbség* (szignifikancia szint 0,346). Látók 2 %-ban követnek el hibát elől irányból, míg a látássérültek 0 %-ban. Előlről érkező 125 ms hosszúságú hangok esetében *látók és látássérültek képességei között, általuk elkövetett hibák között, nem mutatható ki szignifikáns különbség* (szignifikancia szint 0,585). Látók 4 %-ban követnek el hibát elől irányból, míg a látássérültek 2 %-ban. Előlről érkező 75 ms hosszúságú hangok esetében *látók és látássérültek képességei között, általuk elkövetett hibák között, nem mutatható ki szignifikáns különbség* (szignifikancia szint 0,879). Látók 7 %-ban követnek el hibát elől irányból, míg a látássérültek 7 %-ban.

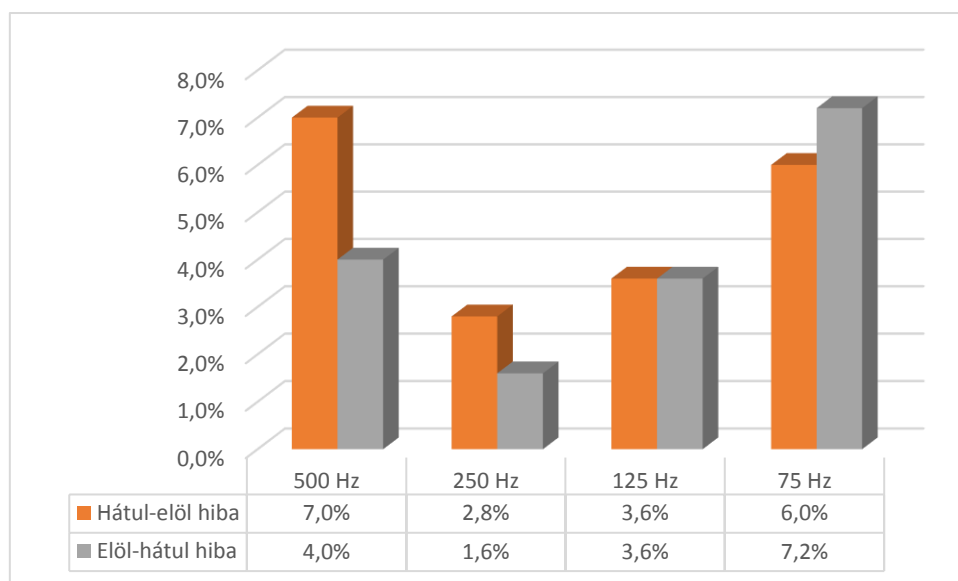


32. ábra Különböző hosszúságú előlről érkező hangok esetén elkövetett döntési hibák arányai és a csoportok közötti szignifikancia szintek

### 3.1. altézis

*Szabad hangterű, süketszobai, elől-hátul és hátul-elöl döntési feladatok során látók és látássérültek képességeiben az általuk elkövetett hibák számában nem mutatható ki szignifikáns különbség.*

A 33. ábrán látható, hogy a különböző hosszúságú hangok esetén mekkora a hátul-elöl és elől-hátul hibák százalékos aránya. Megfigyelhető, hogy a hibák aránya a lejátszott hang hosszától szignifikánsan függ, például 125 ms és 250 ms hosszúságú hangok esetén a hibák száma minimális, így ezek ideális hosszúságú jelekként használhatók. 75 és 500 ms hosszúságú hangok használatával a hibák száma szignifikánsan nő. 250 ms-os hang esetén 2,8 %-os hiba figyelhető meg, ugyanezen hang ha előlről érkezik, akkor 1,6 % a hiba, vagyis ez a hang a legideálisabb. Ezután következik a 125 ms hosszúságú, ami előlről és hátulról is egyaránt 3,6 % hibával használható.



33. ábra Elöl-hátul és hátul-elöl hibák eloszlása különböző hosszúságú hangok esetén

2. táblázatban sárga háttérrel látható, hogy a hátulról érkező 500 ms és 250 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul-elöl hibák között szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,000). 500 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul –elöl hibák aránya 7 %, 250 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul –elöl hibák aránya 2,8 %.

2. táblázatban kék háttérrel látható, hogy az előlről érkező 500 ms és 250 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák között nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,109). 500 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 4 %, 250 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 1,6 %.

2. táblázat Különböző hosszúságú hangok közti különbségek szignifikancia értékei

Szignifikancia	500 Hz	250 Hz	125 Hz	75 Hz
500 Hz		0,000	0,000	0,028
250 Hz	0,109		0,564	0,021
125 Hz	0,655	0,166		0,109
75 Hz	0,021	0,001	0,013	

2. táblázatban sárga háttérrel látható, hogy a hátulról érkező 500 ms és 125 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul-elöl hibák között szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,000). 500 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul

–elől hibák aránya 7 %, 125 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul –elől hibák aránya 3,6 %.

2. táblázatban kék háttérrel látható, hogy az előlről érkező 500 ms és 125 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák között nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,655). 500 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 4 %, 125 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 3,6 %.

2. táblázatban sárga háttérrel látható, hogy a hátulról érkező 500 ms és 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul-elöl hibák között szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,028). 500 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul –elől hibák aránya 7 %, 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul –elől hibák aránya 6 %.

2. táblázatban kék háttérrel látható, hogy az előlről érkező 500 ms és 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák között szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,021). 500 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 4 %, 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 7,2 %.

2. táblázatban sárga háttérrel látható, hogy a hátulról érkező 250 ms és 125 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul-elöl hibák között nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,564). 250 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul –elől hibák aránya 2,8 %, 125 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul –elől hibák aránya 3,6 %.

2. táblázatban kék háttérrel látható, hogy az előlről érkező 250 ms és 125 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák között nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,166). 250 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 1,6 %, 125 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 3,6 %.

2. táblázatban sárga háttérrel látható, hogy a hátulról érkező 250 ms és 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul-elöl hibák között szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,021). 250 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul

–elől hibák aránya 2,8 %, 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul –elől hibák aránya 6 %.

2. táblázatban kék háttérrel látható, hogy az előlről érkező 250 ms és 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák között szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,001). 250 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 1,6 %, 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 7,2 %.

2. táblázatban sárga háttérrel látható, hogy a hátulról érkező 125 ms és 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul-elöl hibák között nincs szignifikáns különbség (szignifikancia szint 0,109). 125 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul –elől hibák aránya 2,8 %, 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hátul –elől hibák aránya 6 %.

2. táblázatban kék háttérrel látható, hogy az előlről érkező 125 ms és 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák között szignifikáns különbség figyelhető meg (szignifikancia szint 0,013). 125 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 3,6 %, 75 ms hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett elől-hátul hibák aránya 7,2 %.

### 3.2. *altézis*

*Szabad hangterű, süketszobai feladatok során előlről és hátulról érkező eltérő hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hibák (elől-hátul és hátul-elöl hibák) és a hangok hosszúsága között szignifikáns különbség mutatható ki.*

A fejezetben leírtak alapján a következő tézis került megfogalmazásra:

### *3. tézis*

*Szabad hangterű, süketszobai elől-hátul döntési feladat során látók és látássérültek között nem mutatható ki szignifikáns különbség sem elől-hátul, sem hátul-elöl hibák esetén. A hibák a lejátszott hang hosszától szignifikánsan függenek, 125 és 250 ms hosszúság esetén a hibák száma minimális, így ezek ideális hosszúságú jelekként használhatók [114][120].*

#### *3.1. altézis*

*Szabad hangterű, süketszobai, elől-hátul és hátul-elöl döntési feladatok során látók és látássérültek képességeiben az általuk elkövetett hibák számában nem mutatható ki szignifikáns különbség.*

#### *3.2. altézis*

*Szabad hangterű, süketszobai feladatok során előlről és hátulról érkező eltérő hosszúságú hangok lokalizálása során elkövetett hibák (elől-hátul és hátul-elöl hibák) és a hangok hosszúsága között szignifikáns különbség mutatható ki.*

#### 4.4. Látók és látássérültek „abszolút” lokalizációs képességeinek összehasonlítása süketszobában

Abszolút lokalizációs feladatnak hívjuk azt, amikor egy hangforrás helyét nem relatíve egy másikhoz képest (pl. mozgásban), hanem a térben önmagában kell meghatározni. Itt azt vizsgáltam, hogy látók és látássérültek milyen arányban és milyen pontossággal tudják megállapítani a hangforrás irányát attól függően, hogy a hangforrás szemben, oldalt, vagy köztes irányban található-e a horizontális síkban.

A süketszoba egyik sarkában került elhelyezésre egy Leybold 58707 típusú piezo hangforrás a horizontális síkban. Mögötte egy koordináta-rendszert helyeztünk el, amelynek origójában volt a hangforrás. A koordináta-rendszer vízszintes és függőleges irányban  $\pm 10^\circ$ -ig volt skálázva. Az alanyok egy forgatható széken ültek, lézerpointerrel az ujjukon. Annak érdekében, hogy a látók se emlékezetből mutassanak a hangforrásra a széken ülő alanyt néhányszor jobbra, majd balra forgattuk véletlenszerűen. Miután a térbeli orientációs képességüket elvesztették, a forgatható széket úgy állítottam, hogy a forrás  $0^\circ$  (szemben irány),  $-45^\circ$  (hangforrás a jobb kéz felől),  $-90^\circ$ ,  $+45^\circ$  és  $+90^\circ$  (jobboldalra fordítva, a hangforrás a bal kéz felől) irányokban legyen. Ezután 5 másodperc hosszúságú fehérzaj vizsgálójelet sugároztam, amelynek irányát kellett meghatározniuk az ujjukra erősített lézerpointer segítségével. Az eltérések a koordináta-rendszerről vízszintes és függőleges irányban, fokként leolvashatóak.  $10^\circ$ -nál nagyobb eltérés esetén csak a hiba tényét rögzítettem. A 34. ábrán a látó alany, letakart szemmel, lézerpointerrel az ujján, horizontális síkban azonosítja a hangforrást 90 fokban.



34. ábra Hangforrás irányának meghatározása a mutatóujjra erősített lézer pointer segítségével. Az eltérések a hangforrás körüli koordináta rendszerről olvashatóak le. Készítette: Répás József 2012

A feladatot 50 látó (35 férfi, 15 nő) és 9 látássérült (4 férfi, 5 nő) résztvevő teljesítette. A látó

résztevők közepes mintaszáma, valamint korának széles spektruma miatt a férfi és női összehasonlítás mellett, átlag életkor (30,4 év) alatti (fiatal) és feletti (idős) összehasonlítást is végeztem. Látássérülteknél ilyen hasonló felosztás nem készült a résztvevők korlátozott száma miatt.

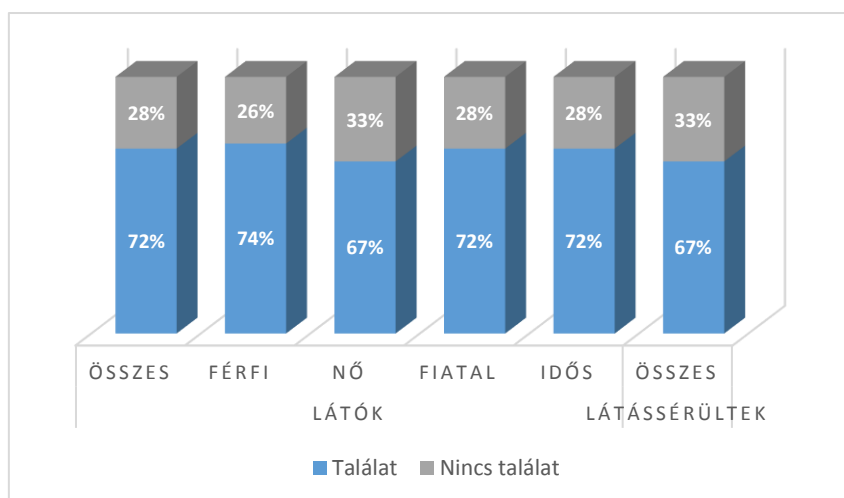
Látók és látássérültek találati arányát ( $\pm 10^\circ$ -os hibahatáron belüli találati arány) bemutató 3. táblázat mutatja. Látható, hogy az 50 látó résztvevő közül  $-90^\circ$ -os irányból (baloldalra fordítva, a hangforrás a jobb kéz felől, mint az 35. ábrán) 72 %-os találati arányt kaptunk. Látássérülteknél ez az arány valamivel kevesebb, 67 %.

3. táblázat Látók és látássérültek találati aránya különböző irányokban elfordulva (a hangforrás lokalizációját  $\pm 10^\circ$ -os hibahatáron belül teljesítették)

	Látók					Látássérültek
	Összes	Férfi	Nő	Fiatal	Idős	Összes
Résztevők (fő)	50	35	15	32	18	9
$-90^\circ$						
Találat	72%	74%	67%	72%	72%	67%
Nincs találat	28%	26%	33%	28%	28%	33%
$-45^\circ$						
Találat	74%	71%	80%	72%	78%	67%
Nincs találat	26%	29%	20%	28%	22%	33%
$0^\circ$						
Találat	78%	77%	80%	78%	78%	89%
Nincs találat	22%	23%	20%	22%	22%	11%
$45^\circ$						
Találat	62%	60%	67%	69%	50%	56%
Nincs találat	38%	40%	33%	31%	50%	44%
$90^\circ$						
Találat	54%	54%	53%	56%	50%	44%
Nincs találat	46%	46%	47%	44%	50%	56%

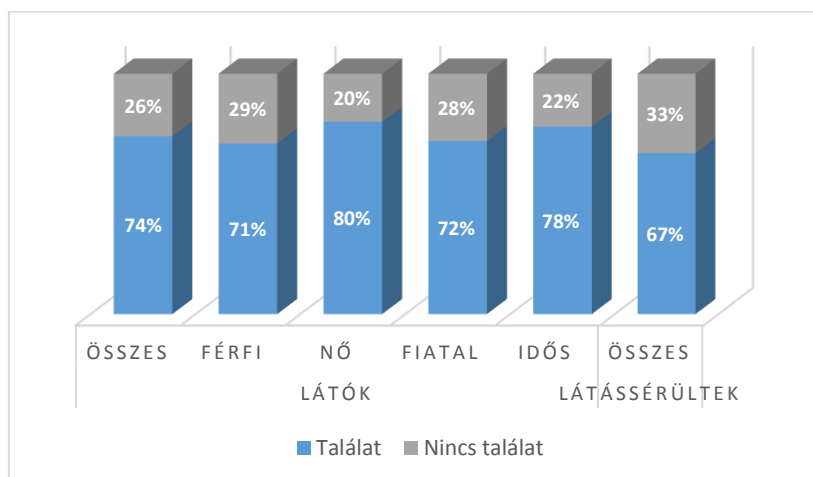
35. ábrán megfigyelhető, hogy látó férfiak  $-90^\circ$ -os irányból kis mértékben jobban teljesítettek, 74 %, míg a nők estén ez az arány 67 %. Megállapítható, hogy látó fiatalok és idősek egyaránt 72%-os találati arányt értek el.





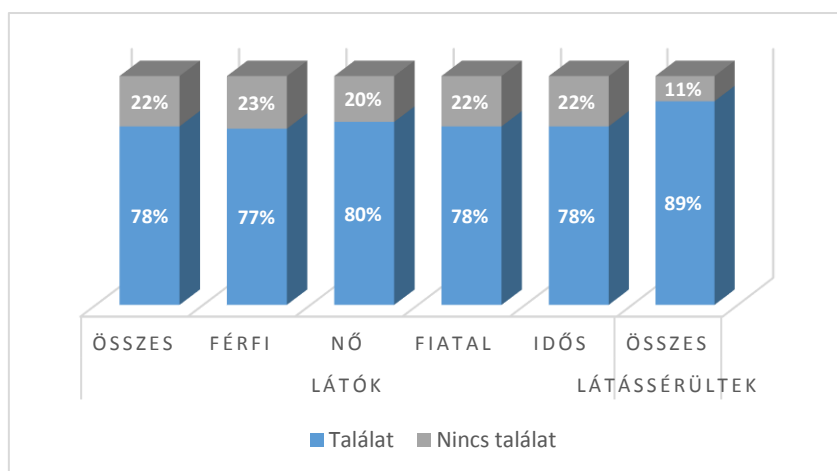
35. ábra -90°-os irányból elért csoportonkénti találati arányok

A -45°-os irányban látók esetén javult a találati arány (74 %), látássérülteknél változatlan maradt. Ebből az irányból a nők és az idősek a 74 %-os átlag felett teljesítettek, előbbiek 80 %, utóbbiak 78 %-ot értek el (36. ábra). Ezen találati arány javulások azt mutatják, hogy ebből az irányból valamivel könnyebb a hangforrást lokalizálni.



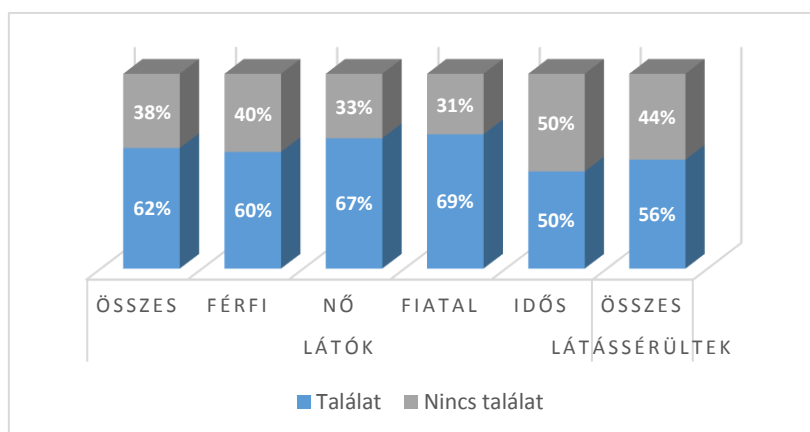
36. ábra -45°-os irányból elért csoportonkénti találati arányok

0°-os, vagyis szemben a hangforrással további javulás figyelhető meg (37. ábra). Látók esetén a találati arány 78 %, látássérültek esetén pedig 89 %. Ennek fényében elmondható, hogy a hangforrást a szemben irányban tudják a látók és látássérültek is legkönnyebben, legnagyobb találati arány mellett azonosítani. A látó nők, ebben a feladatban is kicsivel az átlag felett teljesítettek (80 %).



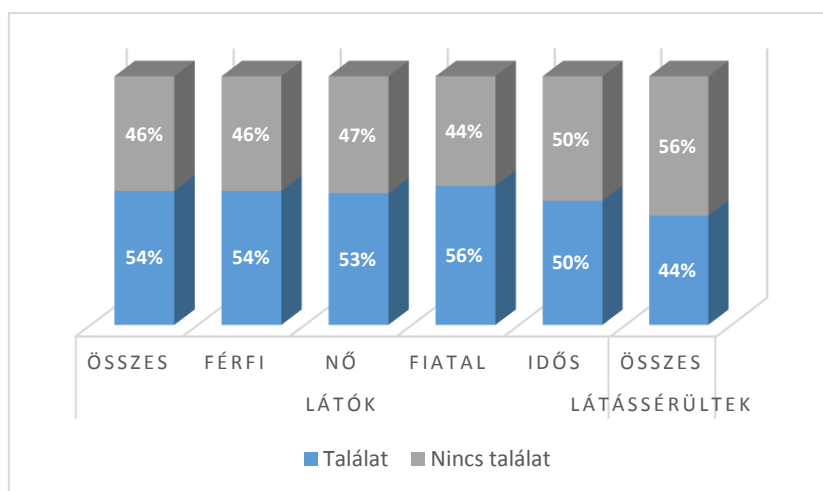
37. ábra 0°-os (szemben) irányból elért csoportonkénti találati arányok

45°-os irányban, vagyis jobboldalra fordítva, amikor a hangforrás a bal kéz felől esik, a találati arány romlik mind látók, mind látássérültek esetén (38. ábra). Látók 62 %, látássérültek 56 %. A szemben irányhoz mért jelentős (16 % és 33 %) találati arány csökkenést vélhetően az okozza, hogy a jobb kéz mutató ujjára erősített lézerpointerrel a test előtt részben átnyúlva, keresztben kell a hangforrást azonosítani, ami nagymértékben rontja a találati arányt. Ebben az irányban a nők és a fiatalok teljesítettek jobban (67 % és 69 %).



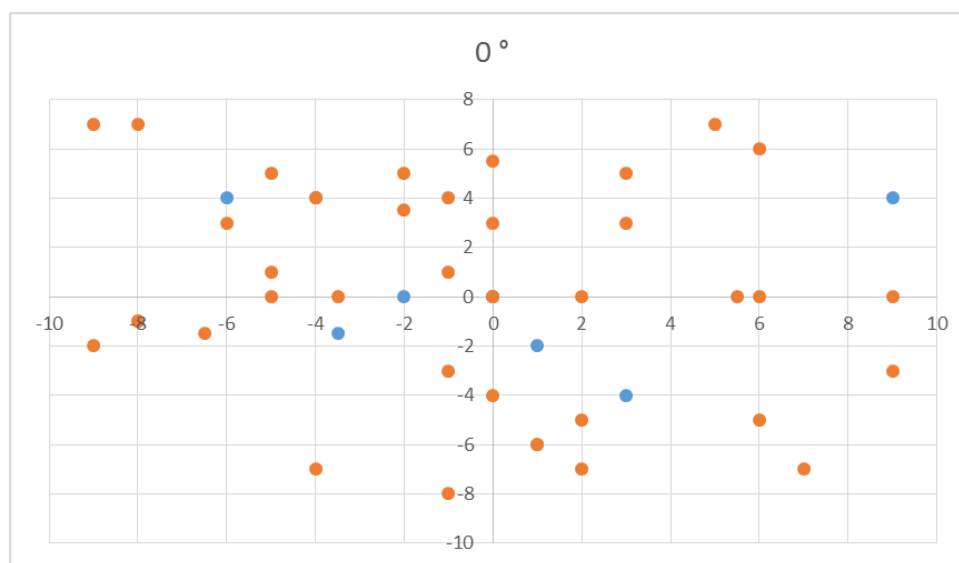
38. ábra 45°-os irányból elért csoportonkénti találati arányok

90°-os irányból, vagyis jobboldalra fordítva tovább romlik a találati arány azzal, hogy a jobb kéz mutató ujjára erősített lézerpointerrel a test előtt teljesen átnyúlva, keresztben kell a hangforrást azonosítani (39. ábra). Látók ebből az irányból 54 %-os találati arányt értek el, míg a látássérültek csupán 44 %-ost.



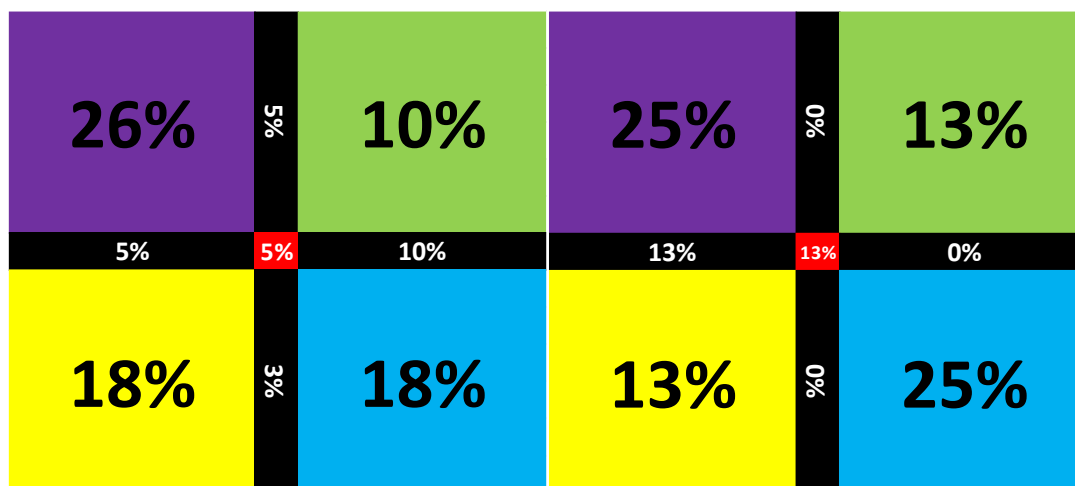
39. ábra 90°-os irányból elért csoportonkénti találati arányok

Mivel a szemben irányban tapasztaltam látóknál (78 %) és látássérülteknél (89 %) is magas találati arányt, ezért a találati pontosság ismertetését ennél az iránynál kezdem. A 40. ábrán leolvashatók az egyes koordináták, ahová látók és látássérültek beazonosították a hangforrást (látók narancsszínnel, látássérültek kék színnel vannak jelölve).



40. ábra Látók (narancsszín) és látássérültek (kék szín) által mutatott irányok a 0°-os, szemben irányban

Megfigyelhető, hogy több résztvevő, vagy a vízszintes, vagy a függőleges irányt határozta meg jól, rámutatott az egyik tengelyre, csupán a másik iránynál van kisebb-nagyobb eltérés. Mind a négy síknegyedbe mutattak a résztvevők, az 41. ábrán lévő koordináta rendszeren az egyes tengelyekre és a negyedekre való mutatók százalékos megoszlása látható.



41. ábra Bal oldali ábrán a látók, jobb oldali ábrán a látássérültek 0°-os, szemben irányban való megoszlások láthatóak

1. síknegyedbe a látók 10 %-a a látássérültek 13 %-a mutatott. 2. síknegyedbe közel azonos arányban (látók 25 %, látássérültek 26 %) mutattak. Látók esetén megegyezik a 3. és 4. síknegyed találati aránya (18 %), látássérültek esetén a 3. síknegyed aránya az 1. síknegyedével egyezik meg, a 4. síknegyedbe a résztvevők 25 %-a mutatott. Látók 23 %-a mutatott valamelyik tengelyre (15 % az x-tengelyre, 8 % az y-tengelyre), látássérültek 13 %-a mutatott az x-tengely negatív tartományára. Látók 5 %-a, a látássérültek 13 %-a azonosította pontosan a hangforrást. További irányok összesített eredményei a 30. melléklet 8. táblázatban láthatóak.

A 31. melléklet 27. ábrán leolvashatóak az egyes koordináták, ahová látók és látássérültek -90°-os, vagyis balra fordulva beazonosították a hangforrást (látók narancsszínnel, látássérültek kék színnel vannak jelölve). Megfigyelhető, hogy több résztvevő, vagy a vízszintes, vagy a függőleges irányt határozta meg jól, rámutatott az egyik tengelyre, csupán a másik iránynál van kisebb-nagyobb eltérés. Mind a négy síknegyedbe mutattak a résztvevők, az 31. melléklet 28. ábrán lévő koordináta rendszeren az egyes tengelyekre és a negyedekre való mutatás százalékos megoszlása látható.

1. síknegyedbe a látók 25 %-a a látássérültek 50 %-a mutatott. 2. síknegyedbe a látók 11 %-a, látássérültek 0 %-a mutatott. 3. síknegyedbe a látók 19%-a, látássérültek 0 %-a mutatott. 4. síknegyedbe látók 31 %-a, látássérültek 17 %-a mutatott. Látók 12 %-a mutatott valamelyik tengelyre (6 % az x-tengelyre, 6 % az y-tengelyre), látássérültek 34 %-a mutatott az x-tengelyre. Látók 3 %-a, a látássérültek 0 %-a azonosította pontosan a hangforrást ebből az irányból.

A 32. melléklet 29. ábrán leolvashatóak az egyes koordináták, ahová látók és látássérültek -45°-os irányba fordulva beazonosították a hangforrást (látók narancsszínnel, látássérültek kék színnel vannak jelölve). Megfigyelhető, hogy több résztvevő, vagy a vízszintes, vagy a függőleges irányt határozta meg jól, rámutatott az egyik tengelyre, csupán a másik iránynál van

kisebb-nagyobb eltérés. Mind a négy síknegyedbe mutattak a résztvevők, az 32. melléklet 30. ábrán lévő koordináta rendszeren az egyes tengelyekre és a negyedekre való mutatás százalékos megoszlása látható.

1. síknegyedbe a látók 41 %-a a látássérültek 17 %-a mutatott. 2. síknegyedbe a látók 8 %-a, látássérültek 0 %-a mutatott. 3. síknegyedbe a látók 11%-a, látássérültek 17 %-a mutatott. 4. síknegyedbe látók 24 %-a, látássérültek 17 % mutatott. Látók 14 %-a mutatott valamelyik tengelyre (11 % az x-tengelyre, 3 % az y-tengelyre), látássérültek 50 %-a mutatott az x-tengelyre. Látók 3 %-a, a látássérültek 0 %-a azonosította pontosan a hangforrást ebből az irányból.

A 33. melléklet 31. ábrán leolvashatóak az egyes koordináták, ahová látók és látássérültek 45°-os irányba fordulva beazonosították a hangforrást (látók narancsszínrel, látássérültek kék színrel vannak jelölve). Megfigyelhető, hogy több résztvevő, vagy a vízszintes, vagy a függőleges irányt határozta meg jól, rámutatott az egyik tengelyre, csupán a másik irányból van kisebb-nagyobb eltérés. Mind a négy síknegyedbe mutattak a résztvevők, az 33. melléklet 32. ábrán lévő koordináta rendszeren az egyes tengelyekre és a negyedekre való mutatás százalékos megoszlása látható.

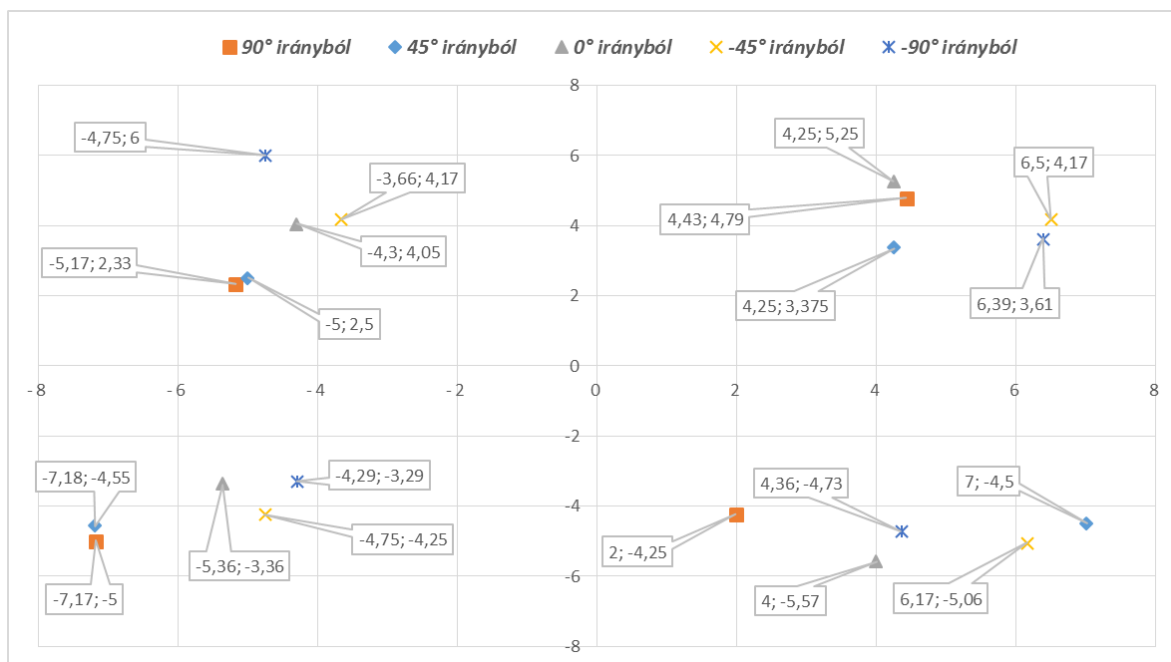
1. síknegyedbe a látók 13 %-a a látássérültek 60 %-a mutatott. 2. síknegyedbe a látók 10 %-a, látássérültek 20 %-a mutatott. 3. síknegyedbe a látók 35%-a, látássérültek 0 %-a mutatott. 4. síknegyedbe látók 10 %-a, látássérültek 0 %-a mutatott. Látók 29 %-a mutatott valamelyik tengelyre (6 % az x-tengelyre, 23 % az y-tengelyre), látássérültek közül senki sem mutatott a tengelyekre. Látók 3 %-a, a látássérültek 20 %-a azonosította pontosan a hangforrást ebből az irányból.

A 34. melléklet 32. ábrán leolvashatóak az egyes koordináták, ahová látók és látássérültek 90°-os irányba fordulva beazonosították a hangforrást (látók narancsszínrel, látássérültek kék színrel vannak jelölve). Megfigyelhető, hogy több résztvevő, vagy a vízszintes, vagy a függőleges irányt határozta meg jól, rámutatott az egyik tengelyre, csupán a másik irányból van kisebb-nagyobb eltérés. Mind a négy síknegyedbe mutattak a résztvevők, az 34. melléklet 33. ábrán lévő koordináta rendszeren az egyes tengelyekre és a negyedekre való mutatás százalékos megoszlása látható.

1. síknegyedbe a látók 26 %-a a látássérültek 50 %-a mutatott. 2. síknegyedbe a látók 11 %-a, látássérültek 50 %-a mutatott. 3. síknegyedbe a látók 22%-a, látássérültek 0 %-a mutatott. 4. síknegyedbe látók 7 %-a, látássérültek 0 %-a mutatott. Látók 34 %-a mutatott valamelyik tengelyre (19 % az X-tengelyre, 15 % az Y-tengelyre), látássérültek közül senki sem mutatott a

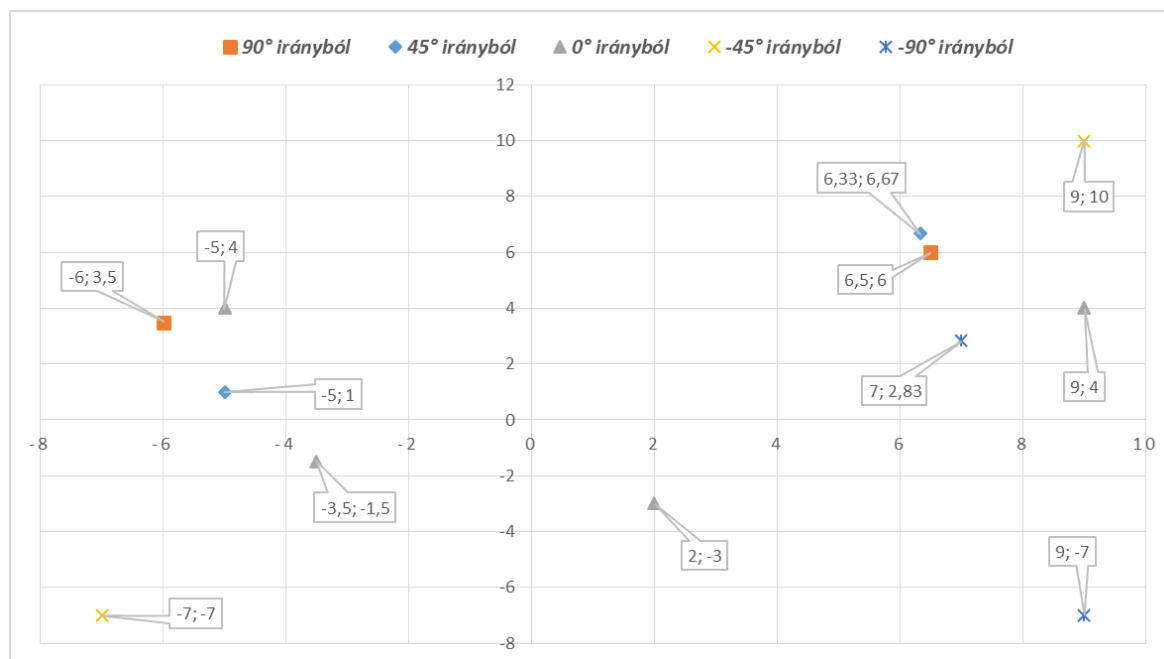
tengelyekre. Látók és látássérültek közül senki sem azonosította pontosan a hangforrást ebből az irányból.

A látók találatai alapján, az egyes síknegyedekre számított, átlagos eltérések az egyes irányokból a 42. ábrán láthatóak. Megfigyelhető, hogy az 1. síknegyedben  $0^\circ$  és  $90^\circ$ -os irányból, valamint a  $-45^\circ$  és  $-90^\circ$ -os irányból közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés. A 2. és 3. síknegyedben a  $90^\circ$  és  $45^\circ$  irányban közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés.



42. ábra Látók találatai alapján számított síknegyedenkénti átlagos eltérései az egyes irányokból

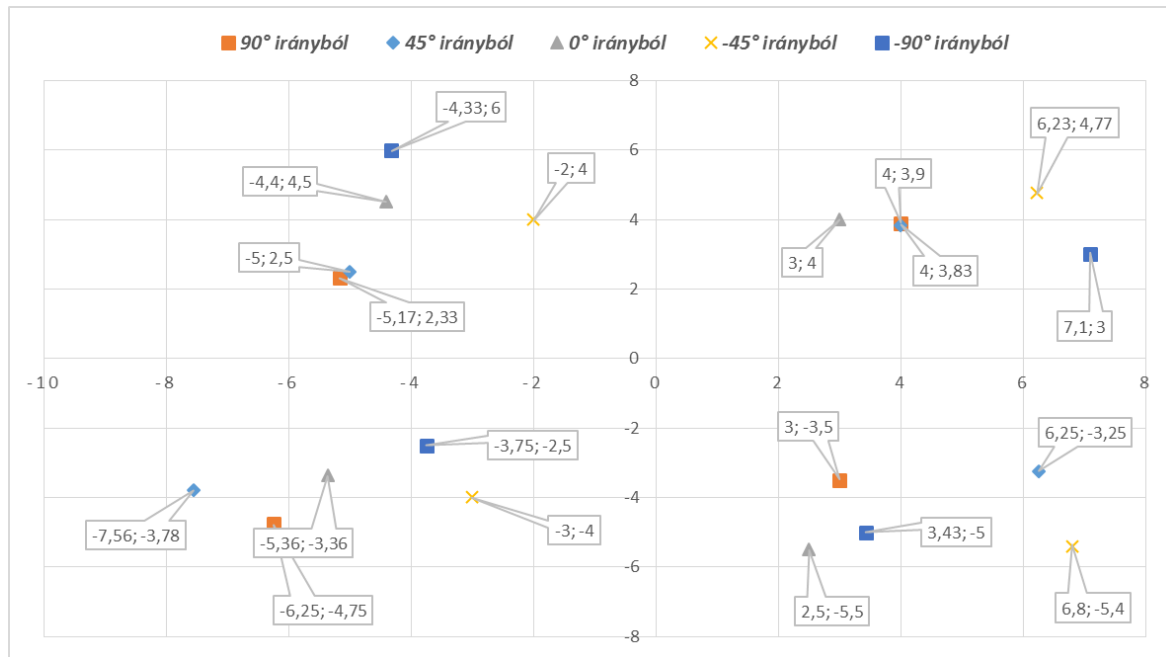
A látássérültek találatai alapján, az egyes síknegyedekre számított, átlagos eltérések az egyes irányokból a 43. ábrán láthatóak. Megfigyelhető, hogy az 1. síknegyedben  $45^\circ$  és  $90^\circ$ -os irányból közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés.  $0^\circ$ -os irányból mindegyik síknegyedben látható átlagos eltérés, azonban a találatok alacsony aránya miatt  $90^\circ$  és  $45^\circ$ -os irányból csupán az 1. és 2. síknegyedben volt találat, így átlagos eltérés is. Hasonlóan a  $-45^\circ$ -os irányhoz, itt az 1. és 3. síknegyedben volt találat.



43. ábra Látássérültek találatai alapján számított átlagos eltérései az egyes irányokból

Látók eredményei 90°-os irányból kis mértékben jobbák az 1. és 3. síknegyedben, 0°-os irányból az 1. és 3. síknegyedben, -45°-os és -90°-os irányokból az 1. síknegyedben. Látássérültek eredményei 0°-os irányból kis mértékben jobbák a 3. és 4. síknegyedben.

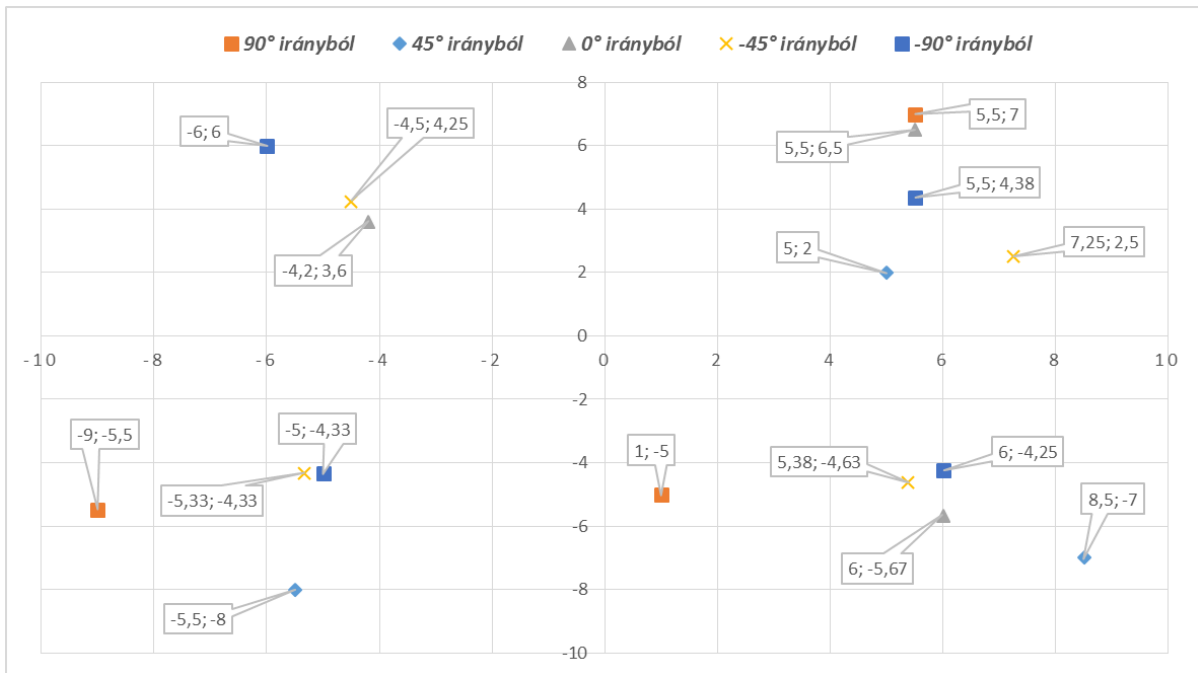
Látó fiatalok találatai alapján, az egyes síknegyedekre számított, átlagos eltérések az egyes irányokból a 44. ábrán láthatóak. Megfigyelhető, hogy az 1. és 2. síknegyedben 90° és 45°-os irányból azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés. 4. síknegyedben 90°, 0° és -90°-os irányból közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés.



44. ábra Látó fiatalok találatai alapján számított átlagos eltérései az egyes irányokból

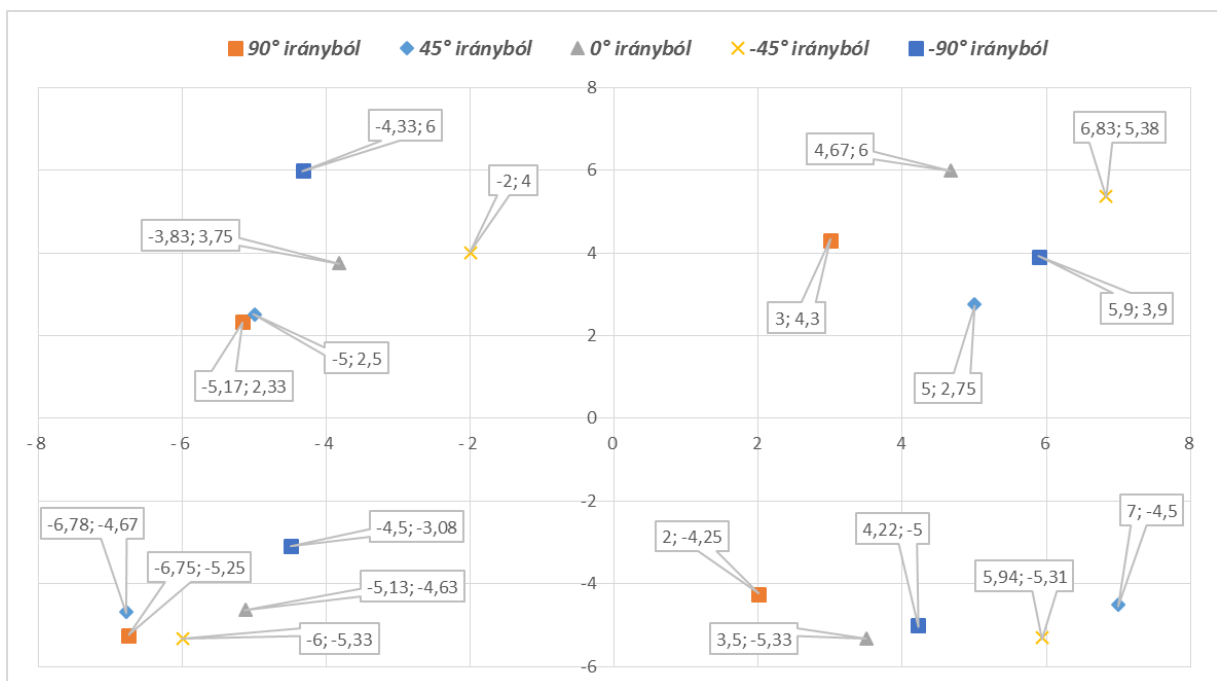
Látó idők találatai alapján, az egyes síknegyedekre számított, átlagos eltérések az egyes irányokból a 45. ábrán láthatóak. Megfigyelhető, hogy az 1. síknegyedben 90°, 0° és -90°-os irányból közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés. 2. síknegyedben -45° és 0°-os irányból közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés. 3. síknegyedben -90° és -45°-os irányból közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés. 4. síknegyedben -90°, 0° és -45°-os irányból közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés.





45. ábra Látó idősek találatai alapján számított átlagos eltérései az egyes irányokból

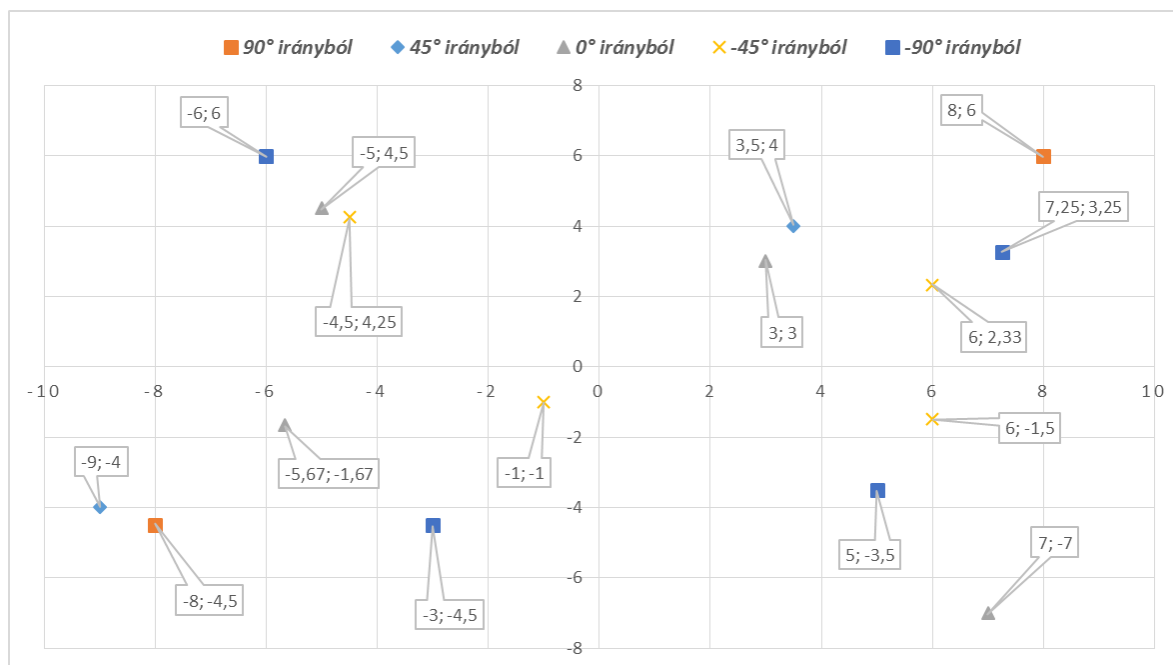
Látó férfiak találatai alapján, az egyes síknegyedekre számított, átlagos eltérések az egyes irányokból a 46. ábrán láthatóak. Megfigyelhető, hogy a 2. és 3. síknegyedben 45° és 90°-os irányból közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés. 4. síknegyedben mindegyik irányból közel azonos a függőleges irányú eltérés.



46. ábra Látó férfiak találatai alapján számított átlagos eltérései az egyes irányokból

Látó nők találatai alapján, az egyes síknegyedekre számított, átlagos eltérések az egyes irányokból a 47. ábrán láthatóak. Megfigyelhető, hogy az 1. síknegyedben 0° és 45°-os irányból

közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés. 2. síknegyedben  $-45^\circ$  és  $0^\circ$ -os irányból közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés. 3. síknegyedben  $90^\circ$  és  $45^\circ$ -os irányból közel azonos a vízszintes és függőleges irányú eltérés.



47. ábra Látó nők találatai alapján számított átlagos eltérései az egyes irányokból

A látók és látássérültek átlagos eltéréseit összehasonlítva megállapítható, hogy a látók és látássérültek között nincs szignifikáns különbség, vagyis egyik csoport tagjai sem képesek pontosabban lokalizálni a hangforrást a különböző irányokból. A 4. táblázatban látható az egyes irányokban az X és Y koordinátákhoz tartozó szignifikancia értékek láthatóak.

4. táblázat Egyes irányokban az X és Y koordinátákhoz tartozó szignifikancia értékek

	$-90^\circ$		$-45^\circ$		$0^\circ$		$45^\circ$		$90^\circ$	
	X koordináta	Y koordináta	X koordináta	Y koordináta	X koordináta	Y koordináta	X koordináta	Y koordináta	X koordináta	Y koordináta
Szignifikancia szint	0,249	0,529	0,587	0,974	0,641	0,671	0,306	0,157	0,6	0,192

Az 35. melléklet 35. ábrán látható, hogy  $-90^\circ$ -os irányból az egyes síknegyedekben átlagosan hová mutattak a résztvevők. Megfigyelhető, hogy néhány kisebb eltéréstől eltekintve minden csoport átlagos eltérése közel azonos.

Az 35. melléklet 36. ábrán látható, hogy  $-45^\circ$ -os irányból az egyes síknegyedekben átlagosan hová mutattak a résztvevők. Megfigyelhető, hogy néhány kisebb eltéréstől eltekintve minden csoport átlagos eltérése közel azonos, kivéve a 3. síknegyedet, ahol a vízszintes eltéréseknek különböznek.

Az 35. melléklet 37. ábrán látható, hogy  $0^\circ$ -os irányból az egyes síknegyedekben átlagosan hová mutattak a résztvevők. Megfigyelhető, hogy néhány kisebb eltéréstől eltekintve minden csoport átlagos eltérése közel azonos. Különösen igaz a 2. síknegyedben.

Az 35. melléklet 38. ábrán látható, hogy  $45^\circ$ -os irányból az egyes síknegyedekben átlagosan hová mutattak a résztvevők. Megfigyelhető, hogy néhány kisebb eltéréstől eltekintve minden csoport átlagos eltérése közel azonos. Különösen igaz a 2. síknegyedben.

Az 35. melléklet 39. ábrán látható, hogy  $90^\circ$ -os irányból az egyes síknegyedekben átlagosan hová mutattak a résztvevők. Megfigyelhető, hogy néhány kisebb eltéréstől eltekintve minden csoport átlagos eltérése közel azonos. Különösen igaz a 2. síknegyedben.

#### *4.1. altézis.*

*Szabad hangterű, süketszobai, 'abszolút' lokalizációs feladatok során látók és látássérültek képességei között nem mutatható ki szignifikáns különbség.*

Az 5. táblázatban látható a látók és látássérültek (férfiak, nők, fiatalok, idősek) egyes irányokban és iránytól függetlenül, a horizontális és vertikális síkban milyen mértékű átlagos, abszolút értékben vett lokalizációs hibát vétettek. Megfigyelhető, hogy látássérültek esetén mind horizontális, mind vertikális síkban  $5^\circ$  alatti az abszolút eltérés, látók esetén a  $45^\circ$ -os és  $-45^\circ$ -os irányt kivéve szintén  $5^\circ$  alattiak az eltérések.

5. táblázat Egyes irányokból horizontális és vertikális síkban mért átlagos eltérések látók, látássérültek, férfiak, nők, fiatalok, idősek esetében.

		$-90^\circ$	$-45^\circ$	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	Iránytól függetlenül
Látássérültek	Horizontális eltérés	4,0	4,0	4,9	2,8	3,1	3,8
	Vertikális eltérés	2,5	4,3	3,1	1,9	2,4	2,8
Látók	Horizontális eltérés	4,9	5,3	4,5	5,9	4,7	5,0
	Vertikális eltérés	4,4	4,4	4,6	3,7	4,1	4,2
Férfiak	Horizontális eltérés	4,7	5,2	4,3	5,9	4,2	4,9
	Vertikális eltérés	4,5	5,0	4,9	3,6	4,0	4,4
Nők	Horizontális eltérés	5,3	4,4	5,2	3,1	4,0	4,4
	Vertikális eltérés	4,3	2,3	4,0	2,0	2,6	3,1
Fiatalok	Horizontális eltérés	4,7	4,5	3,8	5,7	4,6	4,7
	Vertikális eltérés	4,1	4,5	4,3	3,3	3,6	4,0
Idősek	Horizontális eltérés	4,7	4,5	3,8	5,7	4,6	4,7
	Vertikális eltérés	4,1	4,5	4,3	3,3	3,6	4,0

#### 4.2. altézis

*Szabad hangterű, süketszobai, 'abszolút' lokalizációs feladatok során látók és látássérültek átlagos, abszolút értékben vett lokalizációs hibája a horizontális és vertikális irányban 5 fok alatti.*

A fejezetben leírtak alapján a következő tézis került megfogalmazásra:

#### 4. tézis

*Szabad hangterű, süketszobai, 'abszolút' lokalizációs feladatok eredményei alapján a „szemből” irányú hangforrás iránya szignifikánsan pontosabban határozható meg, mint az oldalsó irányok minden csoport által (fiú-lány, idős fiatal stb), látók és látássérültek képességei között nem mutatható ki szignifikáns különbség; átlagos, abszolút értékben vett lokalizációs hibája a horizontális és vertikális irányban 5 fok alatti. [113]*

##### 4.1. altézis.

*Szabad hangterű, süketszobai, 'abszolút' lokalizációs feladatok során látók és látássérültek képességei között nem mutatható ki szignifikáns különbség.*

##### 4.2. altézis

*Szabad hangterű, süketszobai, 'abszolút' lokalizációs feladatok során látók és látássérültek átlagos, abszolút értékben vett lokalizációs hibája a horizontális és vertikális irányban 5 fok alatti.*

## **4.5. Műfejes HRTF méréstechnika és virtuális hangtér-szimuláció**

### **4.5.1. Műfejes HRTF-mérés horizontális és vertikális síkban polárkoordinátás ábrázolással**

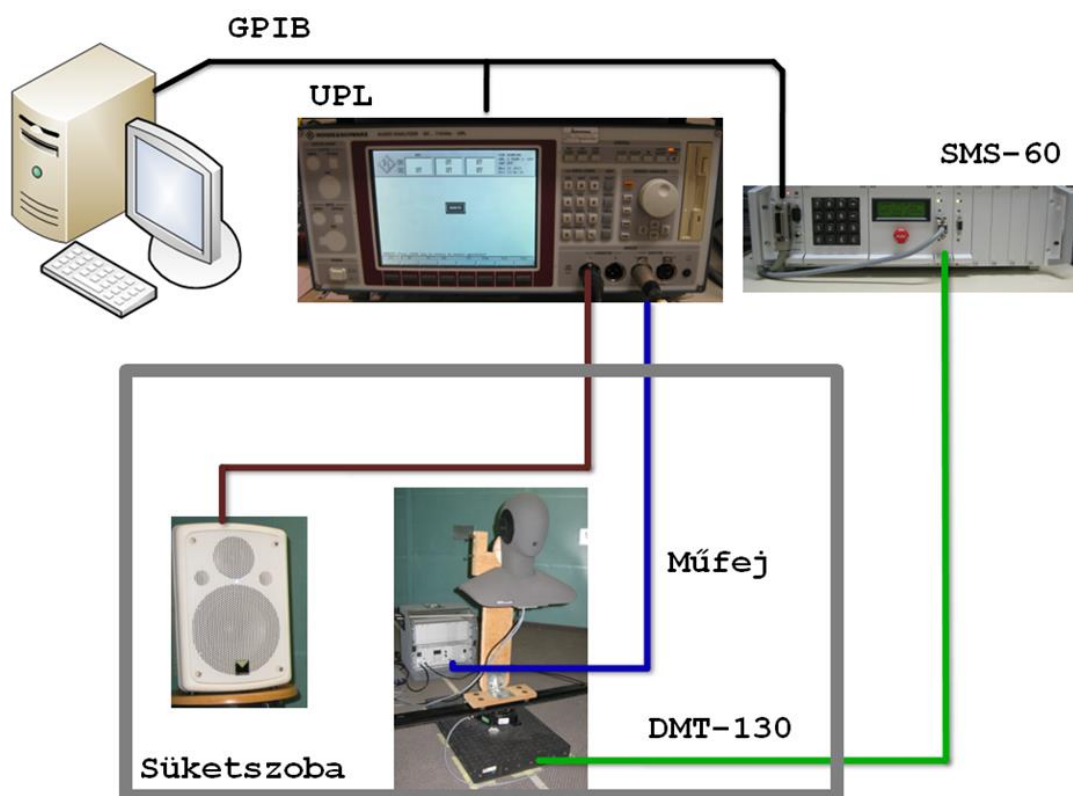
A tipikus, mérőmikrofon előtt körbeforgatott hangszórós mérési elrendezéstől eltérően, hangszóró előtt mikrofon körbeforgatásával megkapjuk a mikrofon irány-jelleggörbáját. Abban az esetben, ha ez a mikrofon egy műfejben, a dobhártya vonalában van elhelyezve, a műfej HRTF-ét kapjuk. Az emberi fejhez hasonlóan a hang itt is lineáris torzítást szenved a reflexió, az elhajlás, az árnyékolás és rezonanciák miatt. Az általános mérési mód helyett, ahol egyes irányokban 20 Hz és 20 KHz között minden frekvencián történik a mérés, mi kijelölt frekvenciákon, 360°-ban vizsgáltuk a HRTF-eket.

Hangszórók iránykarakterisztika mérésének analógiáján a műfejben (speciális iránykarakterisztikájú kétcsatornás mikrofonrendszer) a dobhártya vonalában elhelyezett mérőmikrofon segítségével mérhetőek a HRTF-ek. Általában a tér kitüntetett irányjaiban (szemben, 30°, 60°, 90°-ban elforgatva) zajlanak a mérések, szélessávú zaj gerjesztéssel 20 Hz és 20 KHz között. Abban az esetben, ha nem a teljes hallástartományban vizsgálódunk, hanem ettől eltérően egyes kijelölt frekvenciákon, akkor a térbeli felbontást növelhetjük. Ennek eredményeként a hallástartományt oktáv léptékben felosztva a tér minden egyes irányában megkapjuk a HRTF-eket.

Kiépítettem egy műfejes süketszobai mérőrendszert a műfej iránykarakterisztikájának automatizált, közvetlen polárkoordinátás meghatározására az egész frekvenciatartományban. A műfejes mérés általános elrendezése a forgóasztalon elhelyezett HeadAcoustics műfej, szűrő és erősítő egység és az állványon elhelyezett aktív hangsugárzóból áll (48.ábra).

Mérőeszközök iránykarakterisztika méréshez:

- Iránykarakterisztikamérő szoftver
- Rohde und Schwarz Audio Analyser UPL
- OWIS DMT 130 forgóasztal
- HeadAcoustics műfej, szűrő és erősítő egység
- OWIS SMS 60 motorvezérlő
- Brüel & Kjaer 2270 kézi analizátor
- T&M SYSTEMS T&M 8PA hangsugárzó
- Tápegység
- Kábelek



48. ábra műfejes mérés általános elrendezése a forgóasztalon elhelyezett műfej, szűrő és erősítő egység és az állványon elhelyezett aktív hangsugárzóból áll

A 360°-ban elforgatható forgóasztalon elhelyezett műfej, a motorvezérlő által kerül elforgatásra 1°-os felbontással. Ezt az első sorban mikrofonok és hangsugárzók iránykarakterisztikájának mérése szolgáló, számítógépen futó, LabView környezetben írt virtuális műszer segítségével vezéreljük az NI (National Instruments) által 1993-ban létrehozott GPIB-n (General Purpose Interface Bus) keresztül. UPL analízátorral fehérzaj mérőjelet generáltam majd a hangsugárzóból került kisugárzásra. A műfej dobhártyavonalában elhelyezett mikrofon jelét az analízátor értékeli ki és a mérőszoftver segítségével grafikusán kerül ábrázolásra. Állított helyzetű műfej esetén a horizontális síkot mérjük, míg a műfejet 90°-kal elforgatva a szagitális síkot mérjük.

#### 4.5.1.1. GPIB (General Purpose Interface Bus)

A mérés technika és elektronika fejlődésével egyre komplexebb műszerek és mérőrendszerek alkalmazása vált szükségessé. Annak érdekében, hogy biztosítható legyen a kommunikáció az eltérő gyártók termékei között különböző szabványokat ajánlásokat dolgoztak ki. Ilyen, az egyik legelterjedtebb, az IEEE-488 szabvány, ami a GPIB (General Purpose Interface Bus) Általános célú interfész busz kommunikációt írja le.



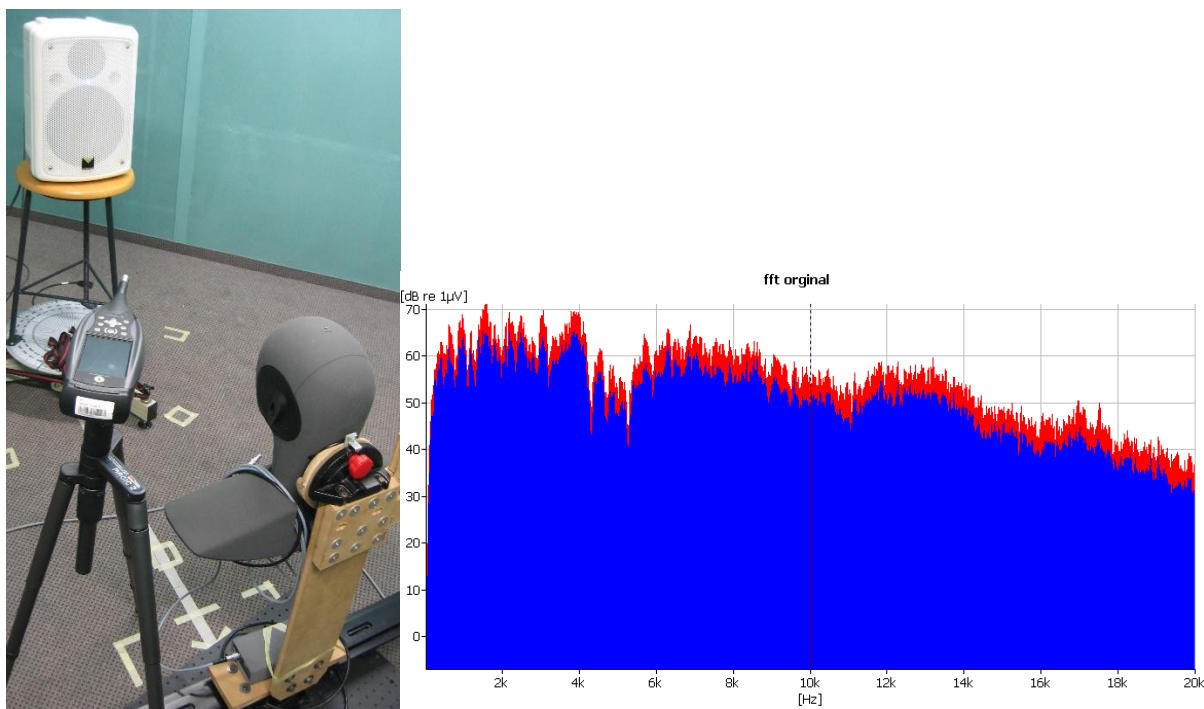
Átviteli jellemzők:

- Párhuzamos, aszinkron adatátvitel (8 bit), maximálisan 20 méteres kábelhossz
- Half duplex
- Unipolar, non-return-to-zero (NRZ), Inverz logika
- Pont -több pont kapcsolat (busz rendszer), maximálisan 15 eszköz

„A minél kevesebb vezeték és az egyszerű megvalósíthatóság érdekében a handshake vonalakat - kis sebességnél bizonyos esetekben a többi vezetékkel is - huzalozott vagy kapcsolatként alakították ki, így minden berendezés nyitott kollektoros módon kapcsolódik ugyanahhoz a vezetékhez. Ez a megoldás lehetővé teszi, hogy az egyes berendezések különböző logikai értékei esetén nem keletkezik hiba sem az áramkörökben, sem az átvitelben. A vezetéken mindaddig alacsony feszültség szint és igaz logikai érték lesz jelen, amíg a buszra kapcsolódó készülékek valamelyike ezt fenntartja. Ez a kialakítás és a minél kisebb energiafogyasztás vezetett a negatív logika alkalmazásához.”[121-123].

#### 4.5.1.2. Mérési eljárás

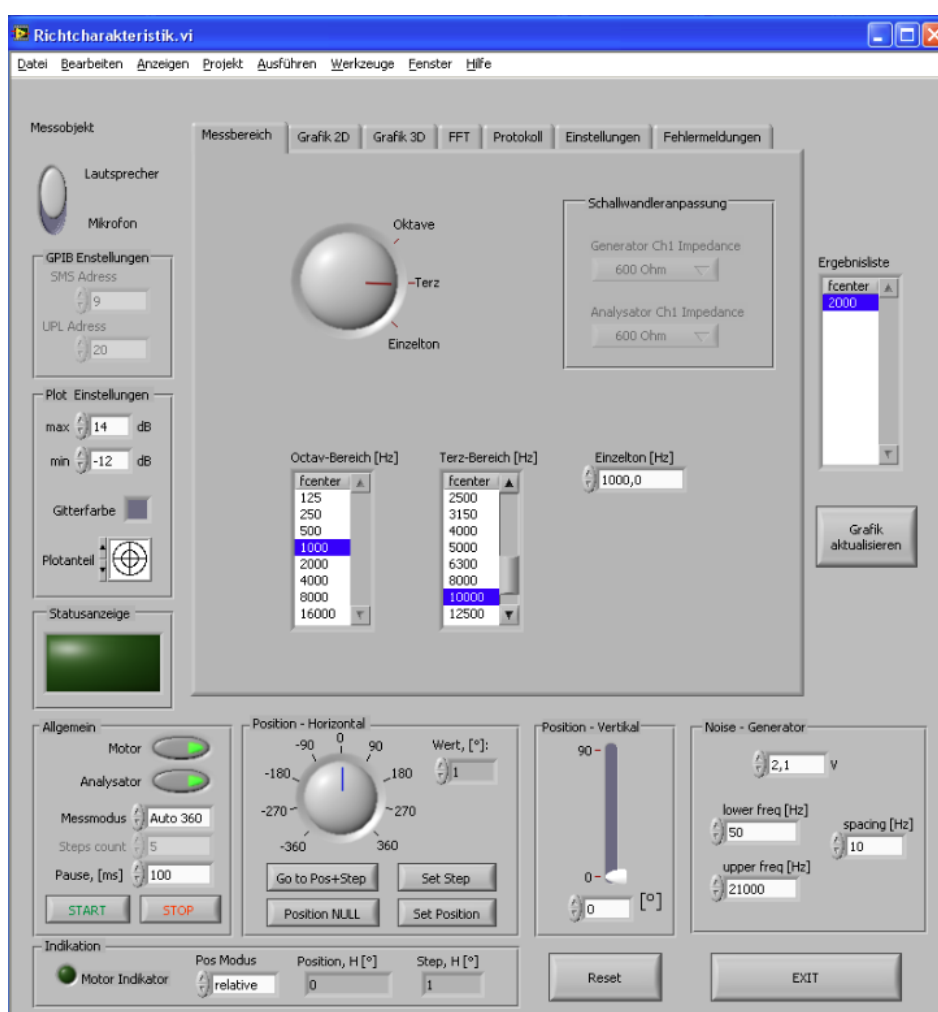
Első lépésként a műfej fülének magasságában, egy irányfüggetlen mikrofonnal, kézi analizátorral rögzítettem a referencia jelet (49. ábra).



49. ábra Irányfüggetlen mikrofonnal való referencia jel rögzítés és a referencia jel spektruma

A mikrofont és analizátort műfjére cserélve, változatlan paraméterek és beállítások mellett ismét elvégezve a mérést, a kapott jel és a referencia jel komplex hányadosa adja a HRTF-függvényt az adott irányból. A felbontás egy fokos.

Az adatok LabView-ban írt iránykarakterisztika mérőprogrammal kerültek feldolgozásra (50. ábra). Mivel a műfej szimmetrikus felépítésű, ezért azonosnak tekintjük mindkét fül iránykarakterisztikáját. A hangsugárzóval szemben álló műfej mérési eredményeit az iránykarakterisztika  $0^\circ$ -os értékei mutatják. A műfejet  $90^\circ$ -kal elforgatva kapjuk az iránykarakterisztika  $90^\circ$ -os értékeit, míg a  $180^\circ$ -os elforgatás a hátul iránynak felel meg. A vártaknak megfelelően, kis frekvenciákon kevésbé irányított a karakterisztika.



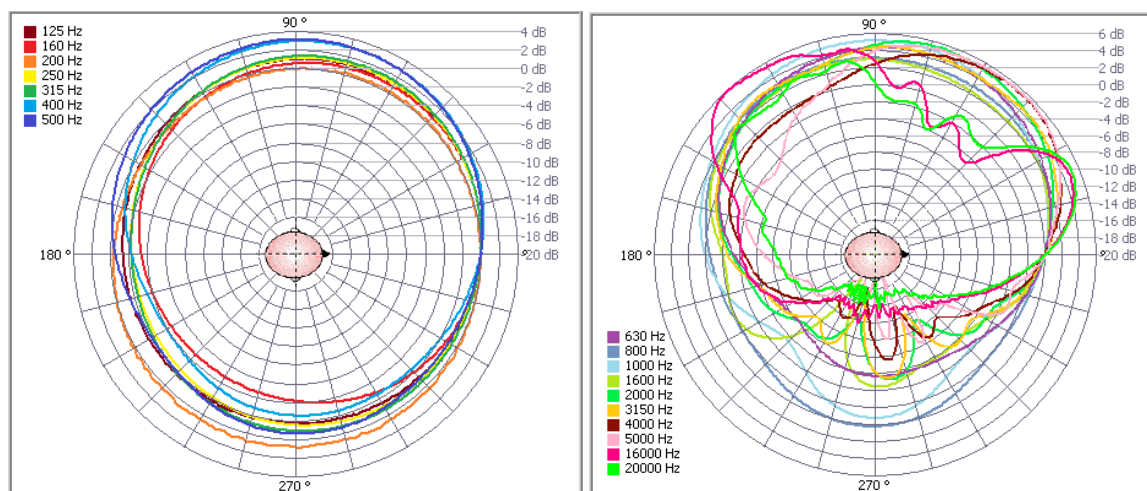
50. ábra Iránykarakterisztika mérő szoftver kezelőfelülete

Iránykarakterisztika mérés lépései:

- Általános beállítások (Motor és Analysator bekapcsolása, mérési mód kiválasztása)
- Zajgenerátor beállítása

- Méréstartomány beállítása
- Motorbeállítás
- Forgatási lépték beállítása
- Általános beállítások panel, START gomb megnyomásával a mérés elkezdődik.

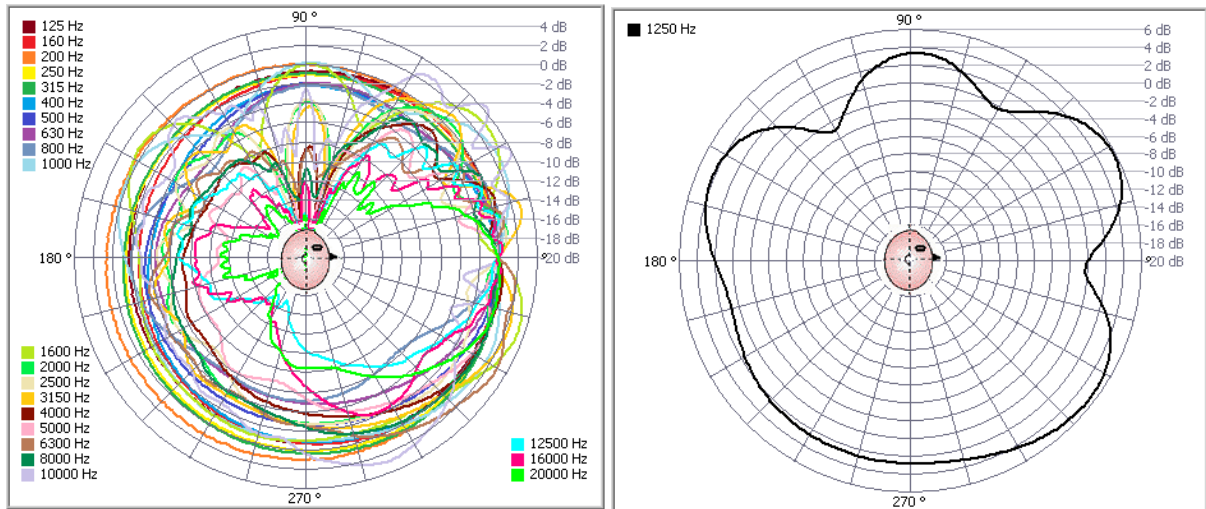
51. ábrán látható a műfejes iránykarakterisztika mérés horizontális síkbeli eredménye. 630 Hz és 20000 Hz közötti az iránykarakterisztikán megfigyelhető az irányítottság, valamint egyes frekvenciákon kiugró értékek is megjelennek. 1200 Hz-nél és 5 kHz felett az érzékenység maximális.



51. ábra A bal oldali ábrán állított helyzetű műfej iránykarakterisztikája 125-500 Hz között 4 dB-es maximális értékig, a jobb oldali ábrán 630 Hz és 20000 Hz közötti iránykarakterisztika 4 dB ill. 6 dB-es maximális értékig látható

A 36. melléklet 40. ábrán látható, hogy néhány frekvencián eltérő felbontást kellett alkalmazni. 1250 Hz és 12500 Hz frekvenciákon legnagyobb az érzékenység, 10 dB-es maximális értékig skáláztam, 6300 Hz-es frekvencián -16 dB és 10 dB közötti tartományban, 8000 Hz, -12 dB és 14 dB közötti tartományban, 10000 Hz, -20 dB és 14 dB közötti tartományban mértem.

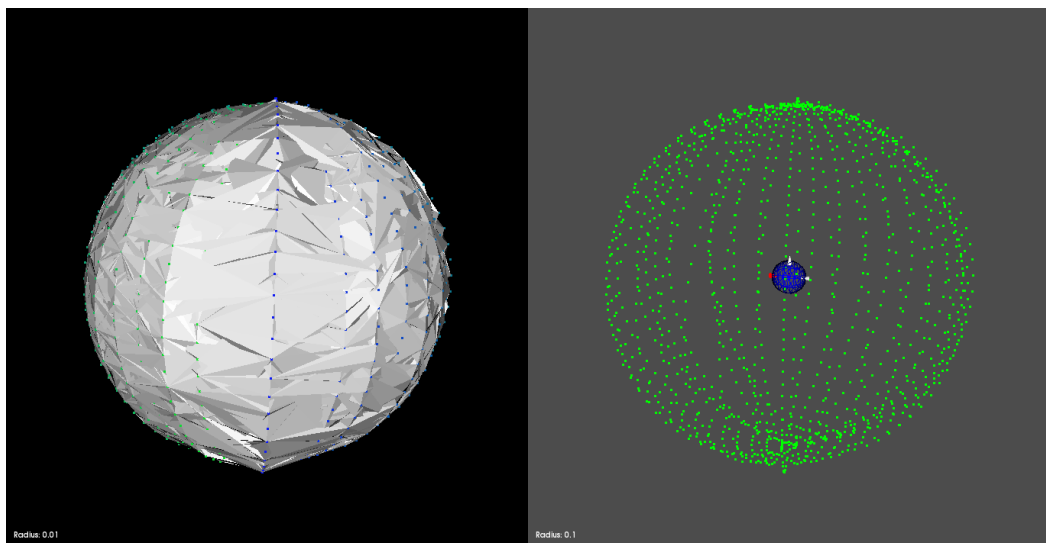
A műfejet 90°-kal elforgatva a mediális síkot mérjük. Az iránykarakterisztika 90°-os értékei a 52. ábrán láthatóak. Ebben a síkban 1250 Hz esetén voltak kiugróan magasabbak az értékek (érzékenység), így ennél az értéknél érdemes más felbontású koordinátarendszert használni. Az 52. ábra „alulról 255°-285° közötti” irányban ábrázolt értékei nem valóságok, itt a műfej teste, ill. a forgóasztal található.



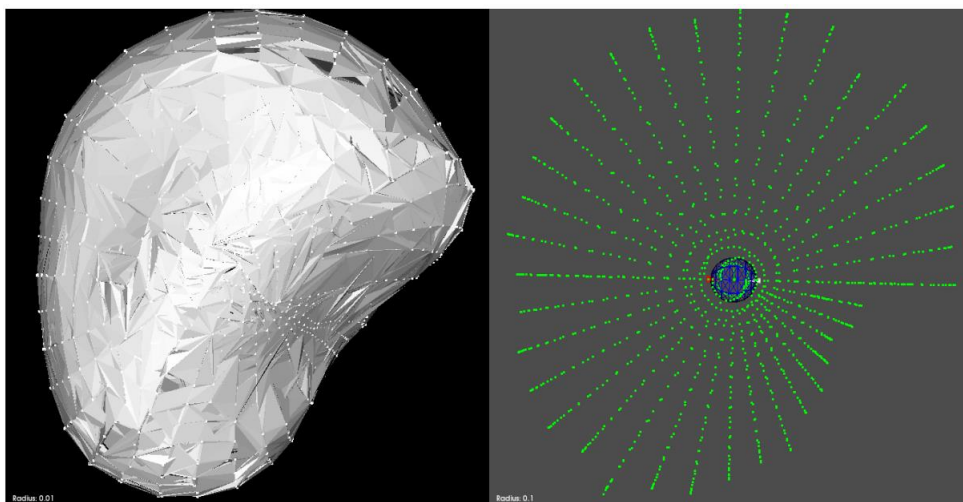
52. ábra Bal oldali ábrán látható a fektetett helyzetű (90°-kal elfordított) műfej iránykarakteristikája 125-20000 Hz között 4 dB-es maximális értékig, jobb oldali ábrán látható az 1250 Hz-en 6 dB-es maximális értékig.

Az ábrákon jól látható, hogy alacsony frekvenciákon kevésbé irányított a karakterisztika, míg a frekvencia növelésével egyre jobban irányítottá válik, úgy a horizontális, mind a mediális síkban. 1250 Hz-es frekvencián mindkét síkban kiemelkedően magas érzékenység mutatkozik, míg a horizontális síkban 5000 Hz és 10000 Hz között tapasztalható ugyanez.

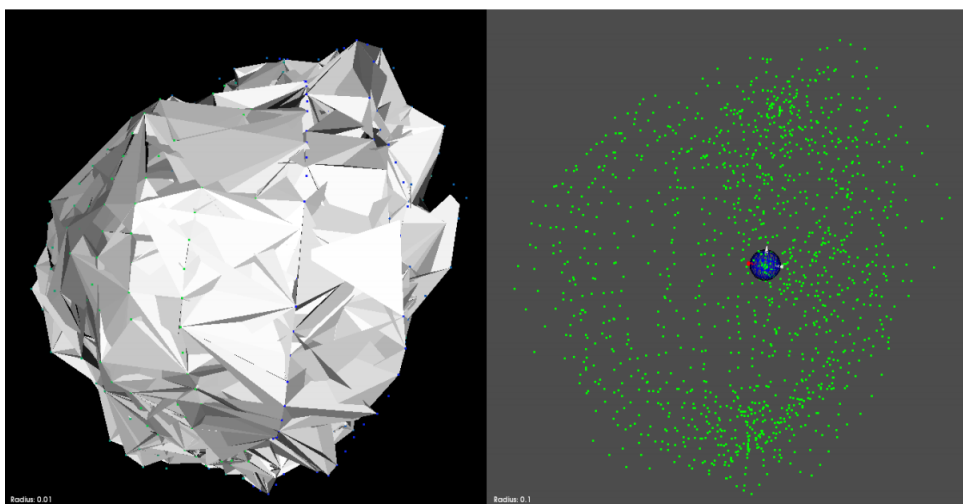
A műfejet a függőleges helyzetből 10°-os léptékben balra és jobbra forgatva vízszintes helyzetig és a méréseket elvégezve megrajzolható egy hozzávetőleges háromdimenziós kép, a köztes értékek interpolációval számíthatók. Ebben a formában lehetőség nyílt a térbeli síkok 3D-s megjelenítésére, így a HRTF-k 3D ábrázolására is (3D nyomtatás). 53. ábrán a 125 Hz frekvencián mért eredmények alapján készített, az 54. ábrán az 500 Hz ért eredmények alapján készített, 55. ábrán a 8 KHz frekvencián mért eredmények alapján készített 3D modell látható.



53. ábra 125 Hz frekvencián a mérési eredmények alapján készített 3D modell. Készítette: Papp Szilárd 2014.



54. ábra 500 Hz frekvencián a mérési eredmények alapján készített 3D modell. Készítette: Papp Szilárd 2014.



55. ábra 8 KHz frekvencián a mérési eredmények alapján készített 3D modell. Készítette: Papp Szilárd 2014.

Az 56. ábrán 3D nyomtatással készített HRTF modellek láthatóak, vagyis beigazoltam, hogy az általam készített mérőrendszer alkalmas műfej polárkoordinátákkal megjelenített iránykarakterisztikájának felvételére, ábrázolására és számítógépes kiértékelésre.



56. ábra 3D nyomtatással készített HRTF modellek

### 5.1. altézis

*A kifejlesztett hardveres-szoftveres műfejes mérőrendszer alkalmas műfej polárkoordinátákkal megjelenített iránykarakterisztikájának felvételére, ábrázolására és számítógépes kiértékelésre; elkerülve a HRTF-függvények klasszikus horizontális-vertikális síkbeli mérését és azokból történő bonyolult koordináta-transzformációs átszámítást.[124]*

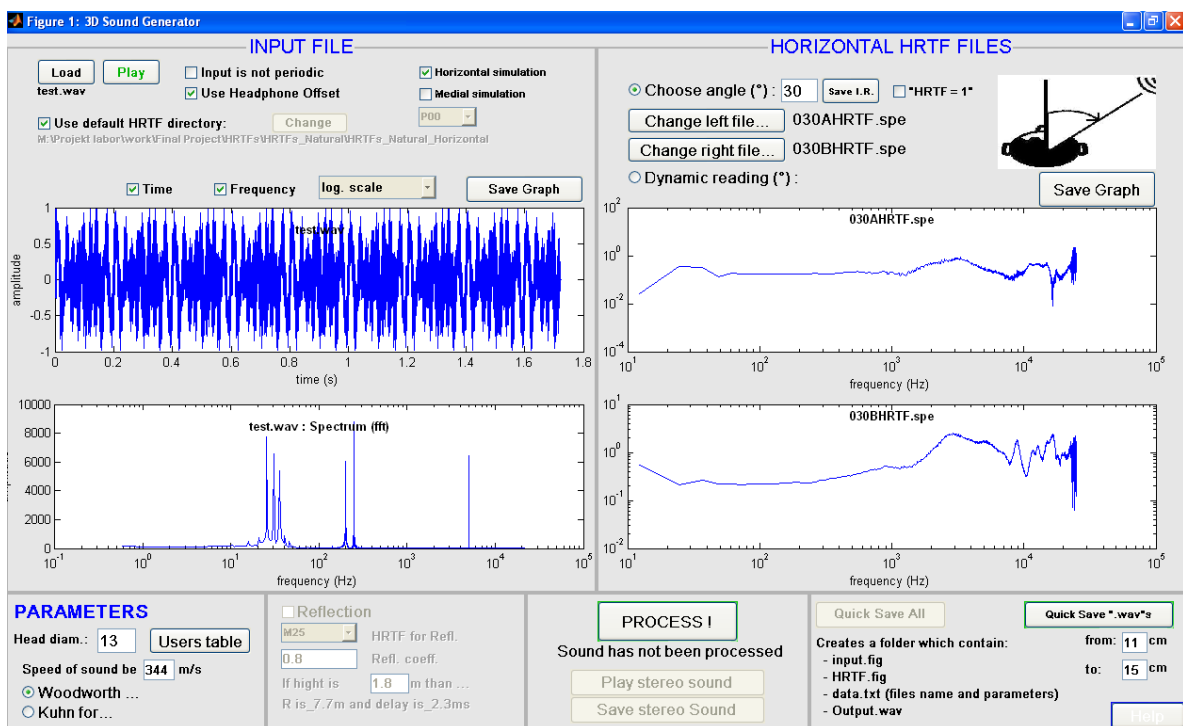
#### 4.5.2. Műfejes HRTF-ek kiértékelése virtuális hangtér-szimuláció során

Virtuális hangtérbeli tesztek előnye, hogy egy hordozható számítógép és fejhallgató segítségével végrehajthatóak, valamint, hogy időben a látókkal történt vizsgálsorozatot követve közvetlenül történhetnek. A kiindulási feltételezés szerint a virtuális hangtér okozta zavarok (fejhallgató hatása, más ember fülének virtuális használata stb.) kellően nagyok lesznek ahhoz, hogy az esetleges különbségek, látók és vakok között eltűnjenek. Ez megalapozná azt a feltételezést, hogy ilyen jellegű vizsgálatokhoz akkor sem szükséges vak alany, ha a célcsoport egyébként a vak felhasználók. Látó alanyok szervezése mindig egyszerűbb és könnyebb, amely olcsóbbá és gyorsabbá teheti az olyan eszközök és alkalmazások fejlesztését, amely fejhallgatón át történő irány-szimulációt alkalmaz.

A virtuális hangtérben is több feladatot kellett megoldani, melynek során vizsgáltuk a fejközéplokalizáció meglétét, az elől-hátul hibákat, horizontális síkbeli mozgó források detektálását, ill. 2D virtuális felületen történő forrás azonosítást.

A HRTF-függvényeket digitális szűrővel realizálva (IIR és/vagy FIR szűrők) lehetőség van mono hangforrások (hangfájlok) irányinformációval történő ellátására. Ehhez szükséges az adott irányokhoz tartozó bal és jobb fül számára biztosított szűrő, a hangfájl és egy fejhallgató. Egy MATLAB alatt készült szimulációs szoftver segítségével olyan hangfájlokat állítottam elő, amelyek különböző műfejes HRTF-készleteket használnak. Ezek az alábbiak: normál műfejes HRTF, hajjal ellátott műfej, szemüveges műfej és sapkás műfej. A szoftver tartalmaz ezen túl egy fejhallgató-kiegyenlítő modult is, amely az alkalmazott fejhallgató átvitelét linearizálta. A fájlok off-line módban lementhetők és lejátszhatóak. A cél, különböző HRTF készletek összehasonlítása virtuális lokalizáció során. A műfejes HRTF-mérések bizonyították korábban, hogy az említett fejhez közeli tárgyak (haj, sapka stb.), akár 20 dB-es eltéréseket is okoznak a HRTF-ekben bizonyos irányokból. Ezek hatása azonban a lokalizációs során nem ismert, így kérdéses volt, hogy vajon egy szemüveges vagy hajjas műfejen rögzített HRTF jobb vagy rosszabb lokalizációt tesz-e lehetővé.

Az egyik legfontosabb alkalmazás-fejlesztés egy olyan virtuális hangtér-szimulátor program kifejlesztése volt, amely alkalmas a térhallás-vizsgálatok számára legfontosabb paraméterek beállítására, azok tesztelésére [126]. A MATLAB környezetben futó program képes tetszőleges bemeneti gerjesztéshez a meglévő műfejes adatbázis felhasználásával fejhallgatón át történő hangtér-szimulációra. Ebbe beletartozik az individuális paraméterek, a fejméret beállítása, a fejhallgató kiegyenlítése vagy egyéb környezeti paraméterek (pl. visszaverődések) beállítása is. A program kezelőfelületén (57. ábra) át könnyen vezérelhető, az eredmények megjeleníthetők, kimenthetők, wavfájlba exportálhatók [20].



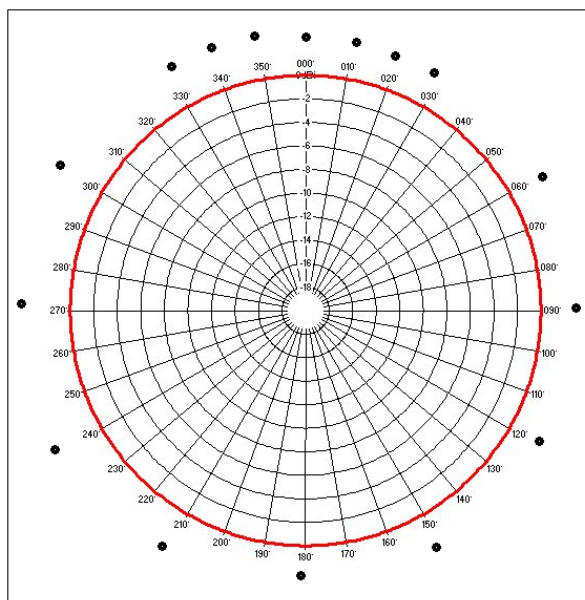
57. ábra Virtuális hangtér szimulátor program képernyőképe [127]

Bemeneti hangfájl megnyitása a bal felső sarokban, az Input file részben található Load gomb megnyomásával történik, ezután a számítógép fájlrendszerében kiválasztható a kívánt fájl. Megnyitás után megjelenik hangfájl idő és spektrum képe. Ezt a hangfájlt a Horizontal HRTF Files részben kiválasztott HRTF készlet alapján, a beállítások szerinti irányinformációkkal látja el a program (pl.  $30^\circ$ ). Kiválasztás után megjelennek a HRTF függvények. A tesztek során hajás, sapkás, ruhás és szemüveges HRTF adatbázisokat használtam, amik korábban, ugyanezen a műfejen lettek mérve. Hangfájl tényleges feldolgozását a Process gombbal lehet elindítani, a számítási műveletek végrehajtása után aktívvá válik „Play stereo sound” és „Save stereo sound” gomb, így az irányinformációkkal ellátott hangfájl lejátszható és menthető.

Lehetőség van meghatározni például, hogy horizontális vagy mediális síkban történik a mérés (horizontal simulation, medial simulation), de fejméret alapján is módosítható az irányinformációkkal ellátott kimeneti hangfájl.

A feladatban fejhallgató-kiegyenlített fehérzaj bemeneti jelet használtunk. A fejhallgató-kiegyenlítés azért fontos, mert a fejhallgató frekvenciafüggő csillapítást, szűrést végez, ami módosítja a mérési eredményeket, ezért kompenzálni szükséges. Ez a kompenzáció elvégezhető a programon belül és attól függetlenül is. Mi az utóbbi lehetőséget választottuk, így a programba már egy előszűrt hangfájlt töltöttünk be.

Az 5 másodperc hosszúságú, 16 bit kvantálási hosszal, és 44,1 KHz mintavételezési frekvenciával (CD minőség) felvett fehérzaj jelet, 10 alkalommal rögzítettük egy Sennheiser HD650 típusú fejhallgatóval és műfejjel, majd átlagoltam. A rögzített hangfájlokból átlagolás után MATLAB-ban, inverz FIR szűrővel elkészítettük a programban alkalmazott, fejhallgató-kiegyenlített bemeneti hangfájlunkat. A virtuális valóság szimulátor által előállított hangfájlok jobb és bal irányból az alábbi szögekben készültek:  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  és  $180^\circ$ , (58. ábra). Ezeket a Sennheiser HD650 típusú fejhallgatón keresztül játszottam le a résztvevő alanyoknak.



58. ábra Virtuális valóság szimulátor által előállított hangfájlok

Mivel a fenti, valamint a korábbi látók-látássérültek lokalizációs képességeit összehasonlító feladatokban is beigazoltam, hogy jellemzően nincs szignifikáns különbség a két csoport lokalizációs képességeiben, ezért összesen 30 látó (22 férfi, 8 nő) vett részt a kísérletben. A 28 jobb és 2 balkezes résztvevő átlag életkora 31,2 év volt, a legfiatalabb résztvevő 10, a



legidősebb 62 éves volt. Az 37. melléklet 41. ábrán is látható, hogy a kor nem normális eloszlású (Sig. 0,001).

Minden résztvevő négy részfeladatot teljesített, amely során a különböző HRTF készletek (normál, hajás, sapkás, szemüveges) alkalmazásával előállított, eltérő irányinformációkkal ellátott hangot hallott, véletlenszerű sorrendben. Szemből irányból háromszor, hátul irányból négyszer hallották ugyanazt a hangot annak érdekében, hogy az elől-hátul és hátul-elöl hibák számossága vizsgálható legyen. 38. melléklet 9. táblázatban látható, hogy a különböző HRTF készletekkel előállított hangfájlok milyen sorrendben kerültek lejátszásra. Először a normál, majd hajás, szemüveges és sapkás készletek hangfájljait játszottam le. Ezekről a hangokról kellett eldönteniük és megmutatniuk, hogy milyen irányból hallották azt.

A 6. táblázatban látható, hogy az egyes irányokból, különböző HRTF készletek esetén milyen találati arányokat és pontos találati arányokat mértem.

6. táblázat Különböző HRTF készletek hangjainak, egyes irányokban való beazonosíthatóságának arányai

Irányok	Normál		Hajás		Szemüveges		Sapkás	
	Találat (%)	Pontos találat (%)	Találat (%)	Pontos találat (%)	Találat (%)	Pontos találat (%)	Találat (%)	Pontos találat (%)
<b>0</b>	77%	19%	78%	31%	77%	26%	84%	24%
<b>10</b>	93%	7%	90%	0%	93%	7%	87%	8%
<b>20</b>	100%	0%	97%	7%	97%	7%	90%	0%
<b>30</b>	93%	4%	100%	0%	97%	3%	97%	17%
<b>60</b>	93%	11%	100%	10%	97%	17%	97%	10%
<b>90</b>	93%	25%	97%	48%	93%	54%	97%	48%
<b>120</b>	100%	50%	100%	67%	97%	41%	97%	55%
<b>150</b>	97%	59%	100%	50%	97%	66%	97%	38%
<b>180</b>	80%	57%	79%	72%	78%	59%	78%	60%
<b>210</b>	97%	34%	97%	52%	93%	50%	90%	48%
<b>240</b>	97%	38%	100%	50%	97%	41%	97%	55%
<b>270</b>	100%	63%	100%	40%	97%	34%	97%	28%
<b>300</b>	97%	7%	100%	13%	97%	7%	97%	17%
<b>330</b>	93%	18%	93%	11%	97%	24%	97%	17%
<b>340</b>	97%	21%	97%	24%	97%	24%	93%	18%
<b>350</b>	87%	12%	90%	7%	97%	14%	97%	7%

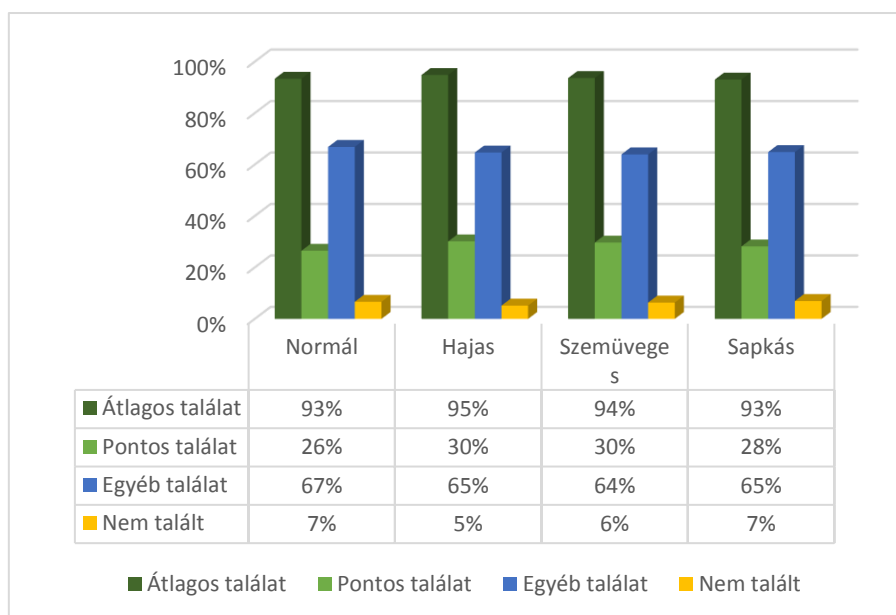
A 0°-os irányú hangnál, normál esetben a résztvevők 77 %-a tudott valamilyen irányt meghatározni, pontos találatot, vagyis a helyes, szemben irányt azonban csak 19 %-uk határozott meg. Hajas HRTF esetén a résztvevők 78 %-a tudott valamilyen irányt meghatározni, pontos találatot, azonban csak 31 %-uk határozott meg, ami ebből az irányból a legnagyobb. Szemüveges HRTF esetén a résztvevők 77 %-a tudott valamilyen irányt meghatározni, pontos találatot, azonban csak 26 %-uk határozott meg. Legjobb találati arányt ebből az irányból sapkás HRTF esetén érték el a résztvevők, 84 %-uk tudott valamilyen irányt meghatározni, pontos találatot 24%. Legjobb pontos találati arányt hajas HRTF esetén, a résztvevők 31 %-a tudott meghatározni.

A 180°-os irányú hangnál, normál esetben a résztvevők 80 %-a tudott valamilyen irányt meghatározni (legjobb találati arány), pontos találatot, vagyis a helyes, szemben irányt azonban csak 57 %-uk határozott meg. Hajas HRTF esetén a résztvevők 79 %-a tudott valamilyen irányt meghatározni, pontos találatot, azonban csak 72 %-uk határozott meg, ami ebből az irányból a legnagyobb. Szemüveges HRTF esetén a résztvevők 78 %-a tudott valamilyen irányt meghatározni, pontos találatot, azonban csak 59 %-uk határozott meg. Sapkás HRTF esetén érték el a résztvevők, 78 %-uk tudott valamilyen irányt meghatározni, pontos találatot 60%. Legjobb pontos találati arányt hajas HRTF esetén, a résztvevők 72 %-a tudott meghatározni.

Kiemelkedő találati és magas pontos találati arányt 270°-os irányban, vagyis baloldal irányból tapasztaltam. Mind a négy HRTF készlet esetén közel 100 %-os találati arány figyelhető meg (normál 100 %, hajas 100 %, szemüveges 97 %, sapkás 97 %). Normál esetben a résztvevők 63 %-a tudott pontos irányt meghatározni. Másik három esetben azonban alacsony volt a pontos találati arány (hajas 40 %, szemüveges 34 %, sapkás 28%).

Jobb oldal irányból, vagyis 90°-ból is magas találati (normál 93 %, hajas 97 %, szemüveges 93 %, sapkás 97 %) és közepes pontos találati arány mérhető. Normál HRTF készletnél 25 %, hajas HRTF készletnél 48 %, szemüveges HRTF készletnél 54 %-os, sapkás HRTF készletnél 48 %-os volt a pontos találati arány.

Az 59. ábrán megfigyelhető, hogy a különböző HRTF készletek alkalmazása során közel azonos az átlagos találati arány (normál 93 %, hajas 95 %, szemüveges 94 %, sapkás 93 %), az átlagos pontos találati arány (normál 26 %, hajas 30 %, szemüveges 30 %, sapkás 28 %) és az egyéb pontos találati arány (normál 67 %, hajas 65 %, szemüveges 65 %, sapkás 65 %) is.



59. ábra Különböző készültek alkalmazása során elért találati arányok

Látható, hogy hajas és szemüveges HRTF készlet alkalmazása során az átlagos találat aránya kis mértékben magasabb. Amennyiben ezt összevetjük azzal, hogy ezeknél a készülteknél a fő irányokból (0°, 90°, 180°, 270°) is magasabb volt a találati arány, felmerül e két készlet jobb alkalmazhatósága. Ezt támasztja alá az is, hogy látható, hogy hajas és szemüveges HRTF készlet alkalmazása során a pontos találatok átlagos aránya egyaránt 30 %, a fő irányokban (0°, 90°, 180°, 270°) a találati arány pedig ezeknél a készülteknél szintén átlag feletti.

Megvizsgálva azonban az egyes készülteket elmondható, hogy nincs szignifikáns különbség az egyes készültek alkalmazhatósága között. Páronként összehasonlítva az egyes készültekkel kapott eredményeket elmondható, hogy egyaránt, egyenértékűen alkalmazhatóak virtuális hangtér-szimulációban, kiegyenlített fejhallgatóval mérve.

Normál-hajas HRTF készültek alkalmazhatóság között nincs szignifikáns különbség (Sig.0,903) virtuális hangtér-szimulációban, kiegyenlített fejhallgatóval mérve.

Normál-szemüveges HRTF készültek alkalmazhatóság között nincs szignifikáns különbség (Sig.0,784) virtuális hangtér-szimulációban, kiegyenlített fejhallgatóval mérve.

Normál-sapkás HRTF készültek alkalmazhatóság között nincs szignifikáns különbség (Sig.0,660) virtuális hangtér-szimulációban, kiegyenlített fejhallgatóval mérve.

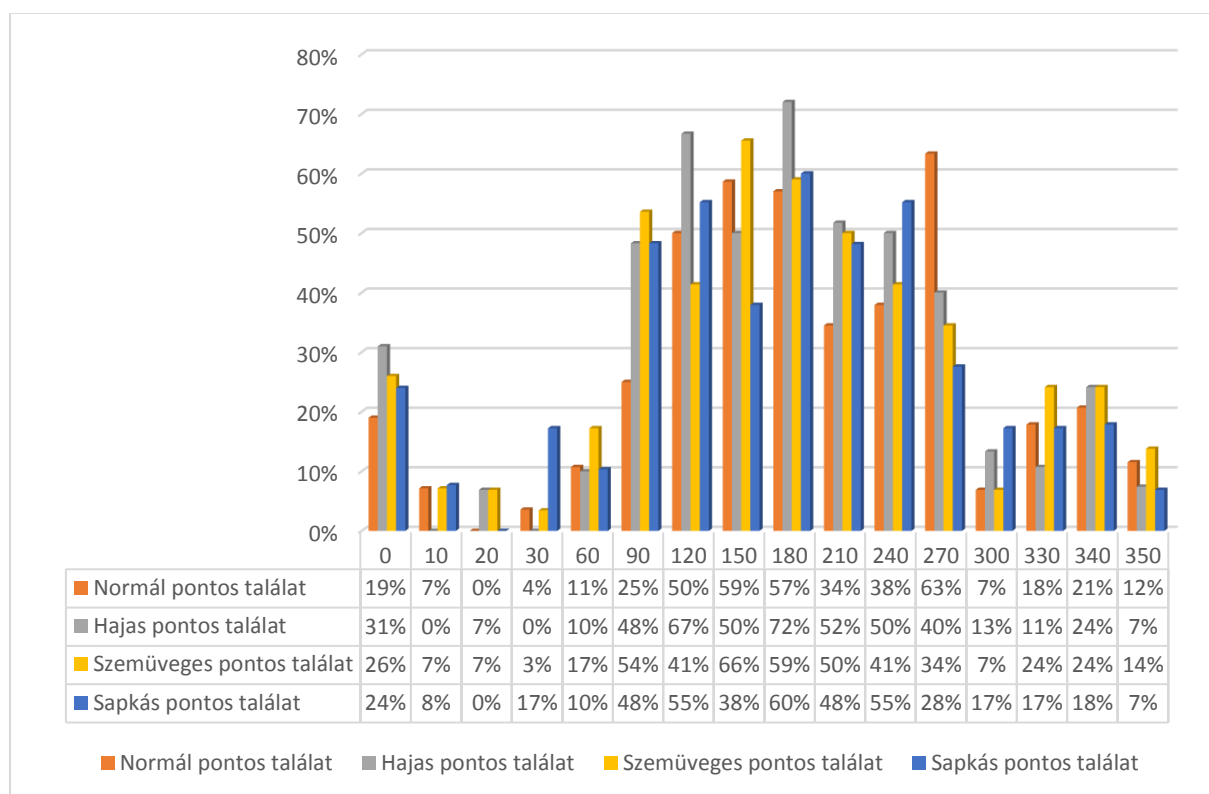
Hajas-sapkás HRTF készültek alkalmazhatóság között nincs szignifikáns különbség (Sig.0,720) virtuális hangtér-szimulációban, kiegyenlített fejhallgatóval mérve.

Hajas-szemüveges HRTF készletek alkalmazhatóság között nincs szignifikáns különbség (Sig.0,789) virtuális hangtér-szimulációban, kiegyenlített fejhallgatóval mérve.

Szemüveges-sapkás HRTF készletek alkalmazhatóság között nincs szignifikáns különbség (Sig.0,317) virtuális hangtér-szimulációban, kiegyenlített fejhallgatóval mérve.

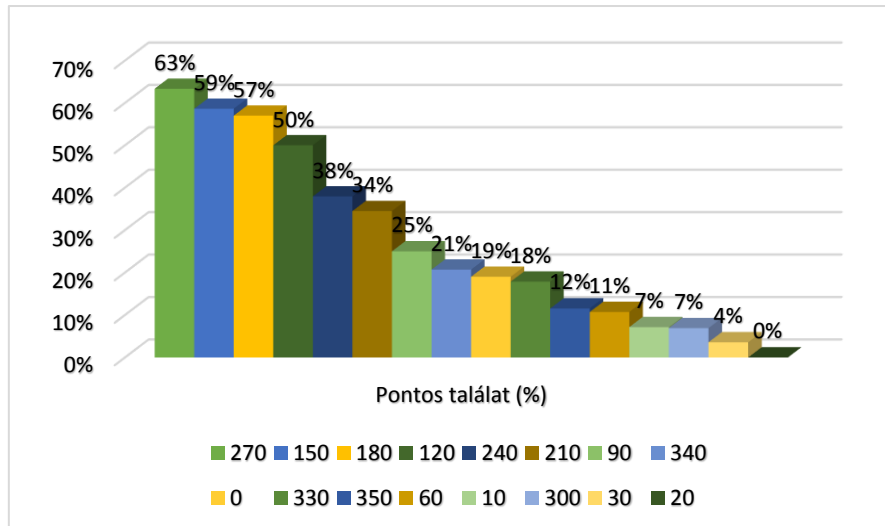
#### 4.5.2.1. Különböző HRTF készletek pontos találati arányainak vizsgálata

Összehasonlítva az egyes HRTF készletek alkalmazása során kapott pontos találati arányokat megállapítható, hogy a különböző irányokban közel azonos mértékűek a pontos találatok. Például 60°-os irányban (ahol alacsonynak számít a pontos találati arány) a szemüveges HRTF készlet alkalmazásával 17 %-os pontos találat mellett a másik három készlet egyformán 10 % körüli arányt mutat (60.ábra).



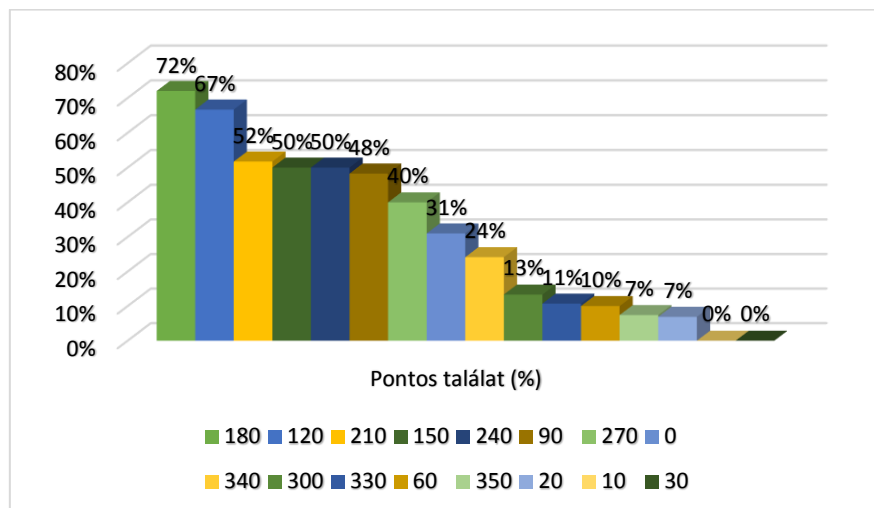
60. ábra Különböző HRTF készletek alkalmazása során irányonként elért találati arányok

Megvizsgálva és pontos találati arány szerint csökkenő sorrendbe állítva a normál HRTF készlet alkalmazása során kapott eredményeket elmondható, hogy 50 % feletti pontos találati arány 180, 270, 150 és 120 fokban irányokból kaptam. Legmagasabb pontos találati arány 270° irányban volt mérhető. 25 % feletti eredményt további három irányban figyeltem meg (240°, 210°, 90°). Legalacsonyabb (10 % alatti) pontos találati arány 10°, 300°, 30° és 20° esetén volt megfigyelhető (61.ábra).



61. ábra Normál HRTF készlet alkalmazása során elért pontos találati arányok az egyes irányokból

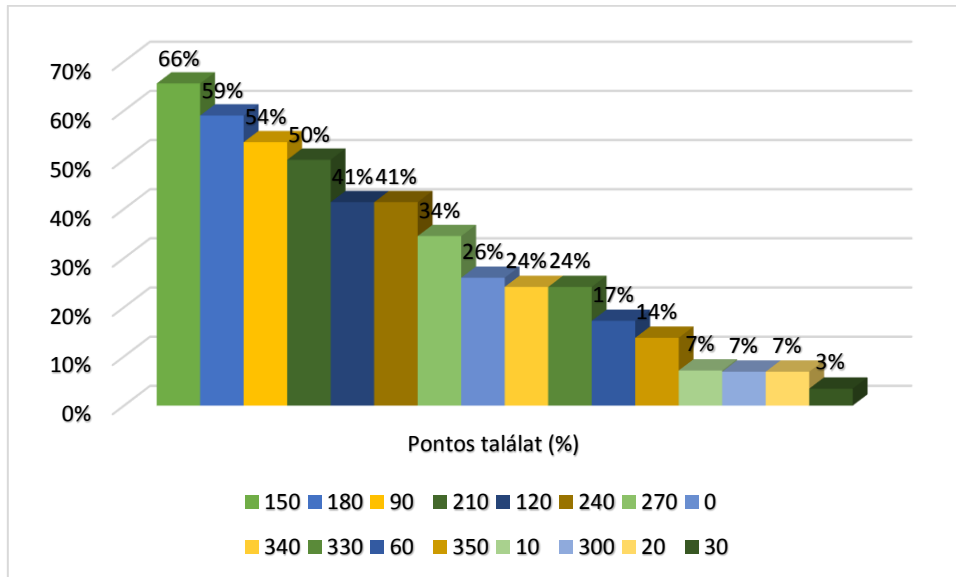
Megvizsgálva és pontos találati arány szerint csökkenő sorrendbe állítva a hajás HRTF készlet alkalmazása során kapott eredményeket elmondható, hogy 50 % feletti pontos találati arány 180, 120, 210, 150 és 240 fokok irányokból kaptam. Legmagasabb pontos találati arány 180° irányban volt mérhető. 25 % feletti eredményt további három irányban figyeltem meg (90°, 270°, 0°). Legalacsonyabb (10 % alatti) pontos találati arány 350°, 20°, 10° és 30° esetén volt megfigyelhető (62. ábra).



62. ábra Hajás HRTF készlet alkalmazása során elért pontos találati arányok az egyes irányokból

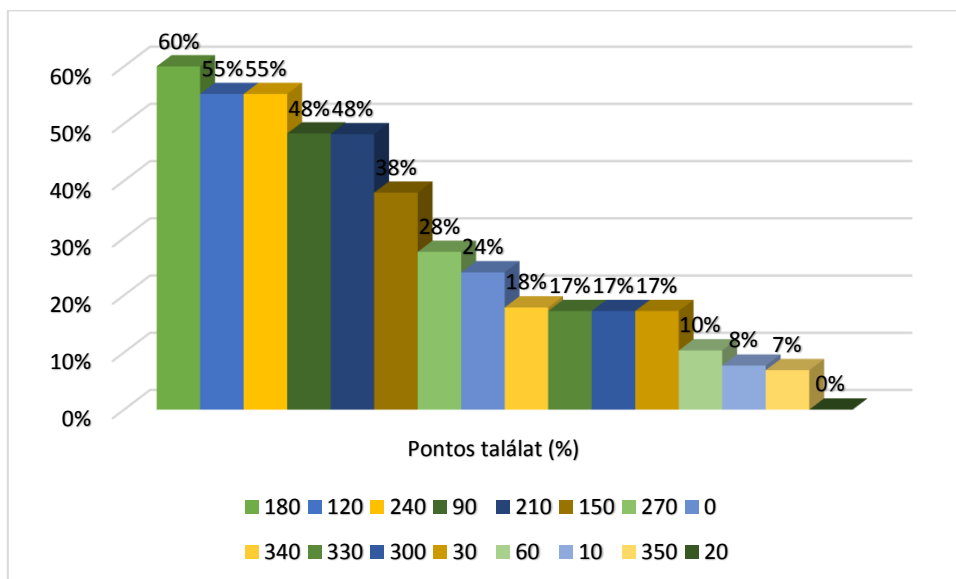
Megvizsgálva és pontos találati arány szerint csökkenő sorrendbe állítva a szemüveges HRTF készlet alkalmazása során kapott eredményeket elmondható, hogy 50 % feletti pontos találati arány 150, 180, 90 és 210 fokok irányokból kaptam. Legmagasabb pontos találati arány 150° irányban volt mérhető. 25 % feletti eredményt további négy irányban figyeltem meg (120°,

240°, 270°, 0°). Legalacsonyabb (10 % alatti) pontos találati arány 10°, 300°, 20° és 30° esetén volt megfigyelhető (63. ábra).



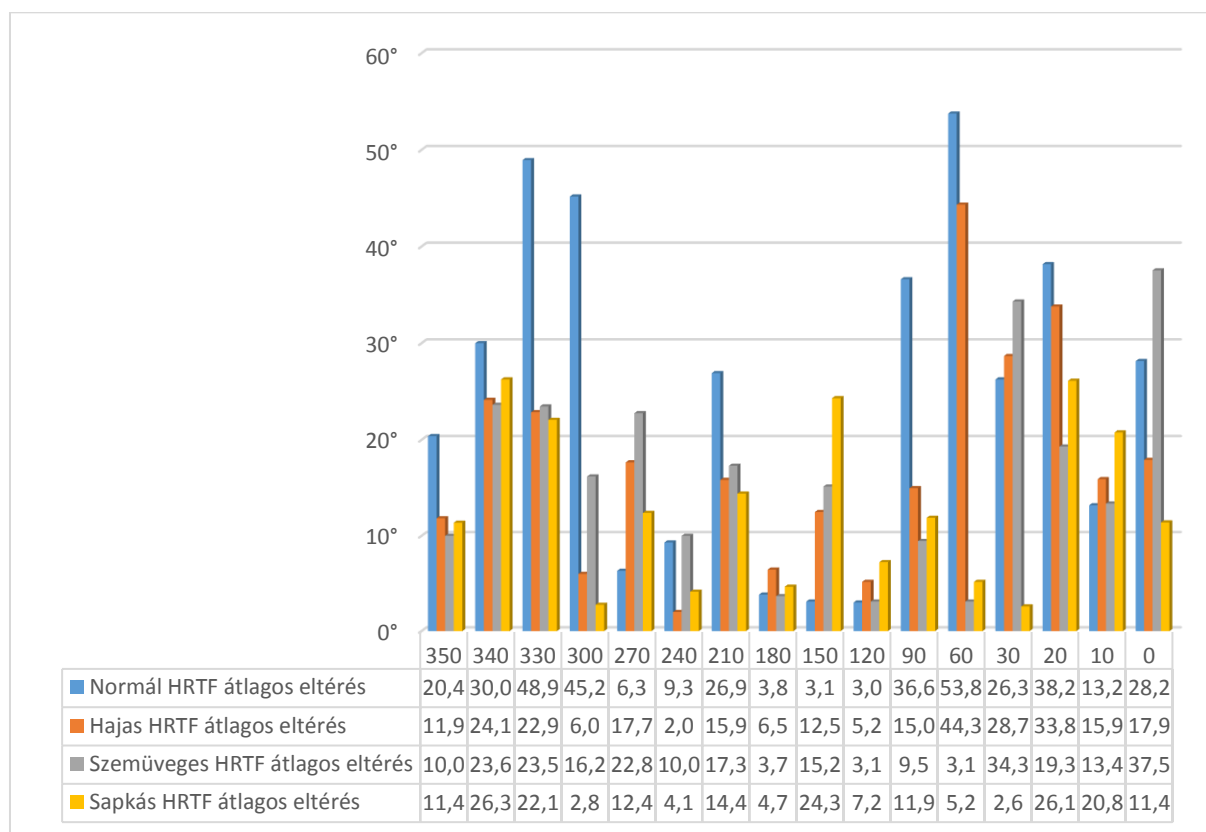
63. ábra Szemüveges HRTF készlet alkalmazása során elért pontos találati arányok az egyes irányokból

Megvizsgálva és pontos találati arány szerint csökkenő sorrendbe állítva a sapkás HRTF készlet alkalmazása során kapott eredményeket elmondható, hogy 50 % feletti pontos találati arány 180, 120 és 240 fokos irányokból kaptam. Legmagasabb pontos találati arány 180° irányban volt mérhető. 25 % feletti eredményt további négy irányban figyeltem meg (90°, 210°, 150°, 270°). Legalacsonyabb (10 % alatti) pontos találati arány 10°, 350° és 20° esetén volt megfigyelhető (64. ábra).



#### 4.5.2.2. Különböző HRTF készletek átlagos eltérések és irányhibák vizsgálata

Összehasonlítva az egyes HRTF készletek alkalmazása során a meghatározandó iránytól való eltéréseket megállapítható, hogy különböző irányokban közel azonos mértékűek az eltérések. Például 350°-os irányban (ahol közepesnek számít az eltérés mértéke) a normál HRTF készlet alkalmazásával 30°-os eltérés mellett a másik három készlet egyformán 25° körüli eltérést mutat (64. ábra).



64. ábra Különböző HRTF készletek alkalmazása során mért átlagos eltérések

Az 7. táblázatban láthatóak az egyes HRTF készletek alkalmazása során, a különböző irányokban megállapított átlagos eltérések. Az elől-hátul, hátul-elöl és jobb-bal, bal-jobb hibákat tükrözéssel módszerrel küszöböltem ki az egyes irányok nagyobb pontosságú meghatározásához. Ez azt jelenti, hogyha az alany 0°-os, azaz szemből irányból érkező hang esetén, 180°-os irányból hátulról érzékelt a hangot, akkor azt nem tekintjük eltérésnek, vagyis eltérést nem rögzítettünk. Hasonlóképpen van hátulról érkező hang esetén is, amennyiben előlről érzékelt, abban az esetben nem 180° az eltérése, hanem 0°. A táblázatban szereplő eredmények már az irányhiba kivonásával kerültek kiszámításra, vagyis tükrözve lettek a tengelyre azok az eredmények, amelyek elől-hátul, hátul-elöl, vagy oldal hibát tartalmaztak. Ez azt jelenti, hogy ha például 150°-os irányban volt szimulálva a hangforrás, de azt az alany

előlről, 30°-os irányból hallotta, akkor az irány meghatározása pontos volt, leszámítva a hátul-elöl hibát. Az irányhiba arányát is tartalmazza a táblázat.

7. táblázat Egyes HRTF készletek alkalmazása során, a különböző irányokban megállapított átlagos eltérések

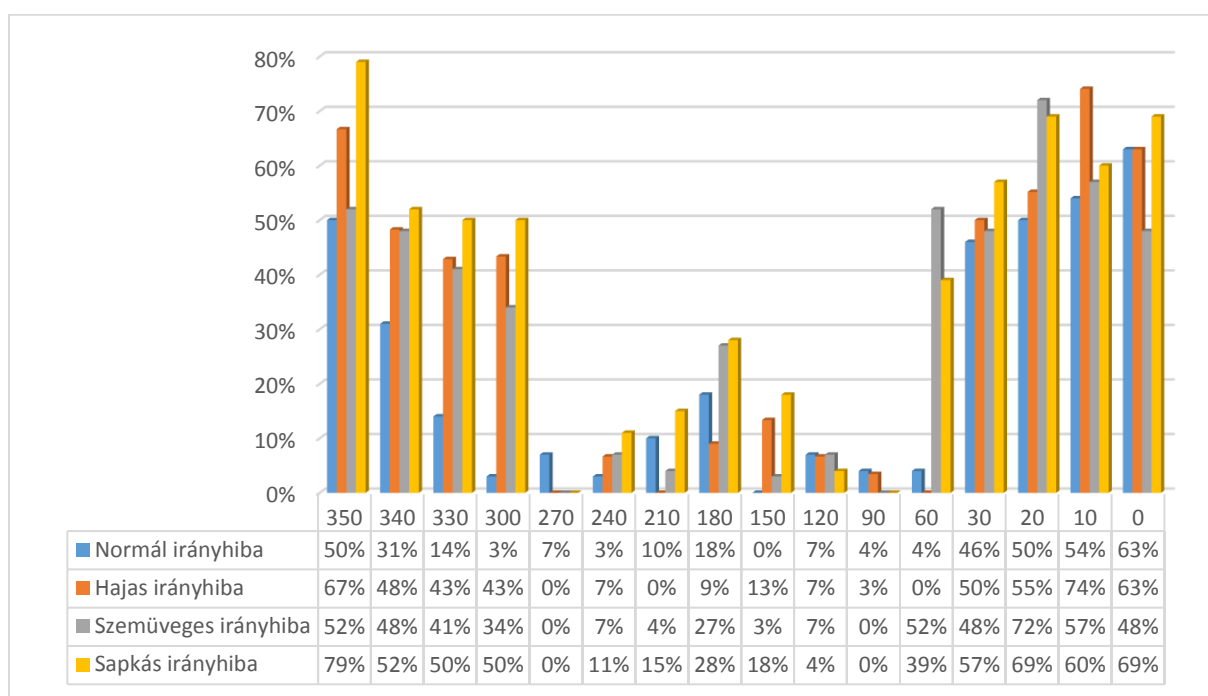
Tényleges hangforrás irány (°)	Normál			Hajas			Szemüveges			Sapkás		
	Átlagos megállapított hangforrás irány (°)	Átlagos eltérés (°)	Irányhiba (%)	Átlagos megállapított hangforrás irány (°)	Átlagos eltérés (°)	Irányhiba (%)	Átlagos megállapított hangforrás irány (°)	Átlagos eltérés (°)	Irányhiba (%)	Átlagos megállapított hangforrás irány (°)	Átlagos eltérés (°)	Irányhiba (%)
350	329,6	20,4	50%	338,2	11,9	67%	340,0	10,0	52%	338,6	11,4	79%
340	310,0	30,0	31%	315,9	24,1	48%	316,4	23,6	48%	313,8	26,3	52%
330	281,1	48,9	14%	307,1	22,9	43%	306,6	23,5	41%	307,9	22,1	50%
300	254,8	45,2	3%	294,0	6,0	43%	283,8	16,2	34%	302,8	2,8	50%
270	263,7	6,3	7%	252,3	17,7	0%	247,2	22,8	0%	257,6	12,4	0%
240	249,3	9,3	3%	242,0	2,0	7%	250,0	10,0	7%	244,1	4,1	11%
210	236,9	26,9	10%	225,9	15,9	0%	227,3	17,3	4%	224,4	14,4	15%
180	183,4	3,8	18%	177,1	6,5	9%	180,2	3,7	27%	175,3	4,7	28%
150	153,1	3,1	0%	137,5	12,5	13%	134,8	15,2	3%	125,7	24,3	18%
120	123,0	3,0	7%	114,8	5,2	7%	116,9	3,1	7%	112,8	7,2	4%
90	126,6	36,6	4%	105,0	15,0	3%	99,5	9,5	0%	101,9	11,9	0%
60	113,8	53,8	4%	104,3	44,3	0%	63,1	3,1	52%	65,2	5,2	39%
30	56,3	26,3	46%	58,7	28,7	50%	64,3	34,3	48%	32,6	2,6	57%
20	58,2	38,2	50%	53,8	33,8	55%	39,3	19,3	72%	46,1	26,1	69%
10	23,2	13,2	54%	25,9	15,9	74%	23,4	13,4	57%	30,8	20,8	60%
0	28,2	28,2	63%	17,9	17,9	63%	37,5	37,5	48%	11,4	11,4	69%

350°-os irányban, normál HRTF alkalmazása során ~20°-os átlagos eltéréssel, ~330° irányba mutattak a résztvevők, 50 %-os irányhiba mellett. Ez azt jelenti, hogy a résztvevők fele nem előlről, hanem hátulról hallotta a szimulált hangforrást, vagyis az elől-hátul hiba ennél az iránynál kiemelkedően magas. Ugyanebben az irányban hasonló a helyzet hajas HRTF alkalmazásánál is. ~10°-os (11,9°) eltéréssel, ~340°-os (338,6°) irányba mutattak a résztvevők, 67 %-os irányhiba mellett. Ez azt jelenti, hogy a résztvevők több, mint fele nem előlről, hanem hátulról hallotta a szimulált hangforrást, vagyis az elől-hátul hiba ennél az iránynál is kiemelkedően magas. Szemüveges HRTF alkalmazásánál 10°-os eltéréssel, 340°-os irányba mutattak a résztvevők, 52 %-os irányhiba mellett. Ez azt jelenti, hogy a résztvevők fele ebben az esetben sem előlről, hanem hátulról hallotta a szimulált hangforrást, vagyis az elől-hátul hiba ennél az iránynál kiemelkedően magas. Sapkás HRTF alkalmazásánál is. ~10°-os (11,4°) eltéréssel, ~340°-os (338,6°) irányba mutattak a résztvevők, 79 %-os irányhiba mellett. Ez azt jelenti, hogy a résztvevők nagy része nem előlről, hanem hátulról hallotta a szimulált hangforrást, az elől-hátul hiba ennél az iránynál a sapkás HRTF esetén a legmagasabb.

Az 65. ábrán láthatóak az egyes HRTF készletek alkalmazása során, a különböző irányokban megállapított irányhiba százalékok. Például 270°-os irányban, normál HRTF alkalmazása során 7 %-os irányhiba figyelhető meg, míg a másik három készlet alkalmazása során nem volt



irányhiba (0 %), ami azt jelenti, hogy a baloldaltól szimulált hangforrás irányát, e három készlet esetén, mindenki baloldalra azonosította be. Hasonló a helyzet 90°-os irányban is, normál HRTF alkalmazása során 3 %-os irányhiba figyelhető meg, hajás HRTF alkalmazása során 4 %-os irányhiba figyelhető meg, míg a másik két készlet alkalmazása során nem volt irányhiba (0 %). Megfigyelhető továbbá, hogy az elől-hátul hiba aránya lényegesen nagyobb, mint a hátul-elöl hibának. 350° és 300° között, valamint 60° és 0° között az irányhibák átlagos aránya 48 %, vagyis a résztvevők közel fele az előlről szimulált hangokat hátulról azonosítja, míg 240° és 120° között az irányhibák átlagos aránya 10 %, vagyis a résztvevők csupán kis része azonosítja be a hátulról szimulált hangokat előlről. 180°-os irányban látható, hogy magasabbak az irányhiba százalékok, vagyis hátul irányban szimulált hangok esetén többször előfordul, hogy előlről azonosítják be.



65. ábra Egyes HRTF készletek alkalmazása során, a különböző irányokban megállapított irányhiba arányok

## 5.2. altézis

*Virtuális hangtér-szimulációban, kiegyenlített fejhallgatóval, a normál műfejes HRTF-készlet egyenértékűen alkalmazható a sapkával, szemüveggel, ill. hajjal ellátott műfejen mért HRTF-ek készletekkel. [111][113][120][128]*

A fejezetben leírtak alapján a következő tézis került megfogalmazásra:

#### 5. tézis

*A kifejlesztett hardveres-szoftveres műfejes mérőrendszer alkalmas műfej polár koordinátákkal megjelenített iránykarakterisztikájának felvételére, ábrázolására és számítógépes kiértékelésre, virtuális hangtér-szimulációban, kiegyenlített fejhallgatóval, a normál műfejes HRTF-készlet egyenértékűen alkalmazható a sapkával, szemüveggel, ill. hajjal ellátott műfejen mért HRTF-ek készletekkel.*

#### 5.1.altézés

*A kifejlesztett hardveres-szoftveres műfejes mérőrendszer alkalmas műfej polárkoordinátákkal megjelenített iránykarakterisztikájának felvételére, ábrázolására és számítógépes kiértékelésre; elkerülve a HRTF-függvények klasszikus horizontális-vertikális síkbeli mérését és azokból történő bonyolult koordináta-transzformációs átszámítást.[124]*

#### 5.2.altézés

*Virtuális hangtér-szimulációban, kiegyenlített fejhallgatóval, a normál műfejes HRTF-készlet egyenértékűen alkalmazható a sapkával, szemüveggel, ill. hajjal ellátott műfejen mért HRTF-ek készletekkel. [111][113][120][128]*

## Összefoglalás

Kutatásom legfontosabb iránya az emberi tér- és irányhallás lehetőségeinek felderítése szabadtéri lokalizációs vizsgálatok valamint virtuális környezetben, elsősorban látássérülteket és látókat összehasonlítva. Az akusztikai mérés technika és a térhallás-vizsgálatokhoz szükséges mérőrendszerek fejlődése a digitális technika megjelenésével és az informatika fejlődésével új lehetőségekhez jutott. Ezeket a lehetőségeket kihasználva és továbbfejlesztve dolgoztam ki olyan mérési eljárásokat, melyben látók és látássérültek képességei pontosabban, megismételhető módon és tudományos igényességgel hasonlíthatóak össze.

Kísérleteket, mérési eljárásokat dolgoztam ki szabad térben, szabad hangtérben (süketszobában), valamint virtuális valóság szimulátorban megvalósított tesztekhez. Ezekben a kísérletekben látók és látássérültek lokalizációs képességei összehasonlíthatóvá váltak és bebizonyítottam, hogy látássérültek nem teljesítenek jobban virtuális környezetben és a szabadtéri feladatokban. Az esetleges jobb lokalizációs képességeik nem perifériális szintűek, hanem tanult agyi folyamatokkal vannak összefüggésben (neuroplaszticitás). A „kifinomultabb hallás” nem jelent jobb érzékenységet és nem feltétlenül alakul ki bármiféle emeltszintű képesség a látás elvesztésével automatikusan. Sok vak nem képes az önálló közlekedésre és ugyanúgy igényli a külső referencia hangforrást az egyenestartáshoz, mint a látók. Ugyanakkor, az echolokáció során képesek lehetnek reflexiók alapján pontosabb akadályérzékelésre (nagy felületű tárgyak esetén). Hasonlóan, süketszobai elől-hátul irányok meghatározásában és hangforrások helyének megtalálásban sem mutatkozik szignifikáns különbség látók és vakok között. Noha egy-egy részfeladatban ki lehetett mutatni különbségeket, összességében a fenti kísérletekben nem igazolható a vakok hallásának feljavulása, érzékenységének növekedése vagy az irányinformáció felhasználásának javulása. Ez egyben lehetőséget teremt arra is, hogy ilyen jellegű kísérletekhez bekötött szemű látókat alkalmazzunk a jövőben, amely sokat gyorsít, könnyít és javít a tesztek hatékonyságán.

Az általam kidolgozott mérési eljárások segítségével objektíven összehasonlíthatóak a résztvevők lokalizációs képességei, meghatározásra kerültek azok a peremfeltételek, amelyeknél az egyes csoportok képességei közötti különbségek szignifikánsnak tekinthetők. Új megközelítésben kidolgoztam egy HRTF (külső fül átviteli függvénye) mérésére alkalmas mérőrendszert, aminek segítségével, nagy pontossággal, megismételhetően, összehasonlíthatóan történnek mérések, egyszerűsödik a mérési eredmények ábrázolása és

kiértékelése is. Az új megközelítésnek köszönhetően lehetőség nyílik a HRTF-ek háromdimenziós ábrázolására is.

Virtuális valóság szimulátorban többféle HRTF készlet alkalmazhatóságát vizsgáltam, bemutattam egy MATLAB alatt készült program működését és lehetőségeit, meghatározom a szimulációk során legjobban alkalmazható készleteket.

Hasonlóan a fentiekhez, a jövőben külön kerülnek vizsgálatra a modern mobil eszközök számára történő fejlesztések, elsősorban okostelefonok számára Android platformon. Ezek egyik része konkrétan a vakokat segítő alkalmazások lehetnek, mint pl. menü navigáció segítése, ikonikus hangtár létrehozása, egyenestartást segítő alkalmazások stb. Külön érdekesség annak felderítése, mennyire pontos és használható-e készülékek beépített érzékelői (giroszkóp, gyorsulásérzékelő) a virtuális szimulátor számára. A kérdés, hogy rendelkezik-e egy okostelefon kellő pontossággal és kis látenciával ahhoz, hogy vezeték nélküli kapcsolatban a számítógéppel képes legyen az alany test- ill. fejhelyzetét érzékelni és az adatokat valós időben továbbítani. Széchenyi István Egyetem egyik hallgatója készített egy android alatt futó giroszkópos adatrögzítő alkalmazást, amelynek pontosság- és felhasználhatósági vizsgálata jelenleg is folyik. Az alkalmazások közé tartoznak azok a fejlesztések is, amelyek többé-kevésbé használnak számítástechnikai eljárásokat, de céljuk az önállóan is használható, tájékozódást és közlekedést segítő eszközök kifejlesztése. Ezeket asszisztív technológiáknak nevezzük. Az O&M (Orientation and Mobility) rendszerek közé tartoznak az ún. ETA (Electronic Travel Aids) rendszerek vakok számára, amely használhatja a fehér botot, viselhető eszközöket, kamerát vagy éppen fejhallgatót. A modern kort követve, sokszor igyekszünk a manapság mindenki által elérhető okos telefonok szolgáltatásait is kihasználni.



## Irodalomjegyzék

- 1 Mohr C., Lievesley A., Test-retest stability of an experimental measure of human turning behaviour in right-handers, mixed-handers, and left-handers, *Laterality*, vol. 12, no. 2, pp. 172–190, 2007.
- 2 Cheung A., Zhang S., Stricker C., Srinivasan M., Animal navigation: The difficulty of moving in a straight line, *Biol. Cybern.*, vol. 97, no. 1, pp. 47–61, 2007.
- 3 Bracha H. S., Seitz D. J., Otemaa J., Glick S. D., Rotational movement (circling) in normal humans: Sex difference and relationship to hand, foot and eye preference, *Brain Research*. vol. 411, no. 2, pp. 231–235, 1987.
- 4 Souman J. L., Frissen I., Sreenivasa M. N., Ernst M. O., Walking Straight into Circles, *Current Biology*, vol. 19, no. 18, pp. 1538-1542, August 2009.
- 5 Takei Y., Grasso R., Amorim M.A., Berthoz A., Circular trajectory formation during blind locomotion: a test for path integration and motor memory, *Experimental Brain Research*, vol. 115, no. 2, pp. 361-368, 1997.
- 6 Mohr C., Landis T., Bracha H. S., Fathi M., Brugger P., Human locomotion: levodopa keeps you straight, *Neuroscience Letters*, vol. 339, no. 2, pp. 115-118, March 2003.
- 7 Piper D. F., Eye movements and vestibulo-ocular reflex in the blind, *Journal of Neurology*, vol. 234, no. 5, pp. 337-341, June 1987.
- 8 Guth D., Laduke R., The veering tendency of blind pedestrians: An analysis of the problem and literature review, *J. Vis. Impair. Blind.*, vol. 88, no. 5, pp. 391–400, 1994.
- 9 Rieser J. J., Rider E. A., Young children's spatial orientation with respect to multiple targets when walking without vision, *Developmental Psychology*, vol. 27, no. 1, pp. 97-107, 1991.
- 10 Starlinger I., Niemeier W., Do the blind hear better? Investigations on auditory processing in congenital or early acquired blindness. I. Peripheral functions, *Audiology*, vol. 20, pp. 503–509 (1981 June).
- 11 Lessard N., Pare M., Lepore F., Lassonde M., Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjects, *Nature*, vol. 395, pp. 278–280 (1998 Sept.).

- 12 Dufour A., Despres O., Candas V., Enhanced sensitivity to echo cues in blind subjects, *Exp. Brain Res.*, vol. 165, pp. 515–519 (2005 July).
- 13 Seki Y., Acoustical design of city for the visually handicapped, *J. Acoust. Soc. Jpn.*, vol. 54, pp. 387–392 (1998).
- 14 Cardin S., Thalmann D., Vexo F., A wearable system for mobility improvement of visually impaired people, *Visual Computer*, vol. 23, pp. 109–118 (2007).
- 15 Lahav O., Schloerb D. W., Kumar S., Srinivasan M. A., BlindAid: a Learning Environment for Enabling People who are Blind to Explore and Navigate through Unknown Real Spaces, in *Proc. of Conference on Virtual Rehabilitation* (2008), pp. 193-197
- 16 Dobrucki A., Plaskota P., Pruchnicki P., Pec M., Bujacz M., Strumiłło P., Measurement System for Personalized Head-Related Transfer Functions and Its Verification by Virtual Source Localization Trials with Visually Impaired and Sighted Individuals, *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 58, pp. 724-738 (2010)
- 17 Wersényi Gy., Répás J., The Influence of Acoustic Stimuli on “Walking Straight” Navigation by Blindfolded Human Subjects, *Acta Technica Jaurinensis*, vol. 5, no. 1, pp. 1-18 (2012).
- 18 Wersényi Gy., Virtual Localization by Blind Persons, *Journal of the AES* 60:(7/8) pp. 568-579. (2012) [19] WERSÉNYI GYÖRGY, Auditory Representations of a Graphical User Interface for a Better Human-Computer Interaction. In: S. Ystad et al (szerk.) *Auditory Display: CMMR/ICAD 2009 post proceedings edition, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 5954*, Berlin: Berlin, Springer, 2010. pp. 80-102.
- 19 Wersényi Gy., Auditory Representations of a Graphical User Interface for a Better Human-Computer Interaction. In: S. Ystad et al (szerk.) *Auditory Display: CMMR/ICAD 2009 post proceedings edition, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 5954*, Berlin: Berlin, Springer, 2010. pp. 80-102.
- 20 Wersényi Gy., Répás J., Kovács G., Látássérültek hallásképességeinek összehasonlító vizsgálata mérnöki és társadalomtudományi szempontból: (Comparative evaluation of hearing abilities of the visually impaired from the engineering and social point of view) *DEBRECENI MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK* 12:(2) pp. 112-120. (2013)

- 21 Békésy Gy., Introduction in Handbook of Sensory Physiology, Volume V/1, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1974.
- 22 Békésy Gy., Experiments in hearing, New York, McGraw-Hill Book Co., 1960.
- 23 Békésy Gy., Sensory Inhibition, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1967.
- 24 Wersényi Gy., Pszichoakusztika és az emberi térhallás alapjai, 2012., ISBN-9789639819764
- 25 A hallási folyamat, BME Beszédkusztikai laboratórium tananyag, 2010., [http://alpha.tmit.bme.hu/speech/docs/education/beszeddiag\\_hallasifolyamat.pdf](http://alpha.tmit.bme.hu/speech/docs/education/beszeddiag_hallasifolyamat.pdf)
- 26 Szabad hangtér. Letöltve: 2015.10.15., [http://www.kislexikon.hu/szabad\\_hangter.html#ixzz3qSFnGmr2](http://www.kislexikon.hu/szabad_hangter.html#ixzz3qSFnGmr2)
- 27 Szabad hangtér, Letöltve: 2015.10.15., [http://www.fonor.hu/files/letoltesek/BME\\_KJK\\_Zaj\\_4\\_Terjedes.pdf](http://www.fonor.hu/files/letoltesek/BME_KJK_Zaj_4_Terjedes.pdf)
- 28 Nagy László, Akusztika, Zaj- és rezgésvédelem, [https://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEVIN0158/2010-2011-I/ea/NagyLaszlo-Akusztika.zaj-rezgesvedelem-ea1\\_2011.pdf](https://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEVIN0158/2010-2011-I/ea/NagyLaszlo-Akusztika.zaj-rezgesvedelem-ea1_2011.pdf) Letöltve: 2015.12.14.
- 29 Hang és fény előadásvázlat, 4. dia, <https://www.hvt.bme.hu/~nagy/Ea04.ppt>, Letöltve: 2016. 02. 11.
- 30 Wersényi Gy., Térbeli hallás, Elektronikus jegyzet Forrás: <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/Terbeli.pdf> Letöltve: 2011.11.11.
- 31 Wersényi Gy., Műszaki akusztika jegyzet, 2010., <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/MA1.pdf> Letöltve: 2011.10.24.
- 32 Horváth A., Hangtan 1 jegyzet Forrás: [http://www.sze.hu/~bertam/Oktatasi\\_anyagok/fiz\\_hangtan1.pdf](http://www.sze.hu/~bertam/Oktatasi_anyagok/fiz_hangtan1.pdf) Letöltve: 2012.04.10.
- 33 Balázs Z., Fizika II., Hangtan előadásvázlat, <http://uni-obuda.hu/users/balazsz/FizikaII.el%F5ad%E1s/Fizika%20II%20-%20Hangtan.ppt>
- 34 Grama L., Hallás, Biofizika előadás, 2010.11.24. [http://biofizika2.aok.pte.hu/hu/oktatas/biofizika1/2010-2011/biofizika1\\_2010-2011\\_24.pdf](http://biofizika2.aok.pte.hu/hu/oktatas/biofizika1/2010-2011/biofizika1_2010-2011_24.pdf)
- 35 Hangintenzitás szint fogalma, [http://atomfizika.elte.hu/Minilexikon/minilexikon.htm#hall\\_kusz](http://atomfizika.elte.hu/Minilexikon/minilexikon.htm#hall_kusz) Letöltve: 2012-04-10 17:47



- 36 Cser A., Fonetika,  
[http://www.btk.ppke.hu/get/document/6003\\_92d8e6a8cc2c9eda29ac7b44aa12f7759b631615.pdf](http://www.btk.ppke.hu/get/document/6003_92d8e6a8cc2c9eda29ac7b44aa12f7759b631615.pdf) Letöltve: 2012-04-10 17:22
- 37 A látás: érzékelés és gondolkodás, ELTE tananyag,  
<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/VizualizacioATudomanykommunikacioban/ch02s02.html>
- 38 Dr. Ábrahám G., Dr. Kovács G., Dr. Antal Á., Németh Z., Veres Á. L., Jármű optika jegyzet, 2014., [http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jamu\\_optika/ch02.html](http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jamu_optika/ch02.html)
- 39 Bolla K., Hanghatások vizsgálata fejmozgás szimuláció során virtuális valóság szimulátor számára, 2007. <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/BKD.pdf>
- 40 Várhelyi E. - A vakok információszerzésének lehetőségei, a számítógép és az Internet adta előnyök, <http://mek.oszk.hu/01200/01224/01224.pdf> Letöltve: 2016.02.13.
- 41 Akadálymentes környezet, Autizmussal élő gyermekek vizuális támogatása, 2011.  
[http://www.educatio.hu/bin/content/tamop311/download/tamop\\_311/kiadvanyok/SNI/akadalymentes\\_imprimatura.pdf](http://www.educatio.hu/bin/content/tamop311/download/tamop_311/kiadvanyok/SNI/akadalymentes_imprimatura.pdf)
- 42 Oláh A., Pszichológiai alapismeretek, ISBN 963 9704 73 3  
<http://mek.oszk.hu/05400/05478/05478.pdf>, Letöltve: 2016.02.11.
- 43 A hallás folyamata, <http://www.starkey.hu/images/sematikus.jpg>, Letöltve 2009-11-21
- 44 Novotniné Dr. Dankó G., Állatélettan, Elektronikus jegyzet, 2012., ISBN: 978-615-5183-31-7  
[http://www.agr.unideb.hu/ebook/allatelettan/a\\_halls\\_s\\_egyenslyozs\\_szerve.html](http://www.agr.unideb.hu/ebook/allatelettan/a_halls_s_egyenslyozs_szerve.html)  
Letöltve: 2016.01.11.
- 45 Beszéddiagnosztika és hallási folyamat,  
[http://alpha.tmit.bme.hu/speech/docs/education/beszeddiag\\_hallasifolyamat.pdf](http://alpha.tmit.bme.hu/speech/docs/education/beszeddiag_hallasifolyamat.pdf)  
Letöltve: 2016.02.11.
- 46 Hartmann W. M., How we localize sound. Physics Today, pp. 24-29, 1999  
November.
- 47 Blauert J., Spatial Hearing, The MIT Press, MA, USA, 1983
- 48 Shaw E. A. G.: Transformation of sound pressure level from the free-field to the eardrum in the horizontal plane. J. Acoust. Soc. Am. 56(6), pp. 1848-1861, 1974.

- 49 Mehrgart S., Mellert V.: Transformation characteristics of the external human ear. *J. Acoust. Soc. Am.* 61(6), pp. 1567-1576, 1977.
- 50 Répás J., Hallásvizsgálatok vakokkal című diplomamunka,  
<http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/RJMISC.pdf> Letöltve: 2014.03.01.
- 51 Wersényi Gy., Virtuális hangtérszimuláció és a binaurális technológia,  
[http://www.hiradastechnika.hu/data/upload/file/2007/2007\\_2/HT\\_0702-5.pdf](http://www.hiradastechnika.hu/data/upload/file/2007/2007_2/HT_0702-5.pdf)  
Letöltve: 2015.04.12.
- 52 Blauert J.: Sound Localization in the median plane. *Acoustica* 22, pp. 205-213, 1969/1970.
- 53 Makous J. C., Middlebrooks J. C.: Two-dimensional sound localization by human listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 87(5), pp. 2188-2200, 1990.
- 54 Middlebrooks J. C., Green D. M.: Sound localization by human listeners. *Ann. Rev. Psychol.* 42, pp. 135-159, 1991.
- 55 Wersényi Gy., A sztochasztikus hallás és érzékelés: az akusztikai információ megragadásának szemlélete a hallás modellezésének figyelembevételével. *Híradástechnika*, Vol. LXII, Nr..3, 2007 március, pp.28-38.
- 56 Degenhardt, H.- Murol, H. Mozgástréning vakok számára. Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Főiskola, Budapest, 1992
- 57 Jacobson W. H. The art and science of teaching orientation and mobility to persons with visual impairments. AFB Press, New York 1993
- 58 Benedekfi I., Az echolokáció kialakítása látássérült személyeknél,  
<http://epsz.pszichologia.ubbcluj.ro/archive/epsz220104.pdf>, Letöltve: 2011-07-29
- 59 Atkinson, R. *Pszichológia*. Osiris, Budapest, 2005
- 60 Répás J., Látók és látássérültek összehasonlítása sarok-észlelés vizsgálatokban, akusztikai információk alapján, *Bolyai Szemle XII.:(1.)* pp. 169-180. (2012)
- 61 Répás J., Wersényi Gy., Kovács G., Mérési eljárások kidolgozása látók és látássérültek lokalizációs képességeinek összehasonlítására, In: Lamár Krisztián (szerk.), XXIX. Kandó Konferencia: 29th Kandó Conference. Konferencia helye, ideje: Budapest, 2013.11.21 Budapest: Óbudai Egyetem, 2013. pp. 73-82., (ISBN:978-963-7158-05-6)
- 62 Ashmead D.- Wall, R., Auditory Perception of Walls via Spectral Variations in the Ambient Sound Field. *Journal of Rehabilitation Research and Development.* 36, 313-322. 1999

- 63 Kish, D., Bleier, H. Echolocation: What It Is, and How It Can Be Taught and Learned. <http://www.prcvi.org/files/workshops/echolocation.pdf>, Letöltve: 2011-08-03 17:14
- 64 Hallok erre egy házat - Kiderült, hogyan tud denevér lenni az ember, Forrás: <http://www.origo.hu/egeszseg/20110526-emberi-ekholokaciohallok-erre-egy-hazat-vakok-tajekozodas.html> Letöltve: 2011-08-07
- 65 Thaler L, Arnott SR, Goodale MA (2011) Neural Correlates of Natural Human Echolocation in Early and Late Blind Echolocation Experts. PLoS ONE 6(5): e20162. doi:10.1371/journal.pone.0020162
- 66 Berényi P., Wersényi Gy.: A külső fül fejre vonatkoztatott átviteli függvényeinek vizsgálata. Akusztikai Szemle, IV.évf., 1.-4.szám, Budapest, (1999), pp. 35-41.
- 67 Domnitz R. H., Colburn H. S.: Lateral position and interaural discrimination. J. Acoust. Soc. Am. 61, pp. 1586-1598, 1977.
- 68 Møller H., Sorensen M. F., Hammershøi D., Jensen C. B.: Head-Related Transfer Functions of human subjects. J. Audio Eng. Soc. 43(5), pp. 300-321, 1995.
- 69 Blauert J.: Untersuchungen zum Richtungshören in der Medianebene bei fixiertem Kopf. Dissertation, Techn. Hochschule Aachen, 1969.
- 70 Jensen C. B., Sorensen M. F., Hammershøi D., Møller H.: Head-Related Transfer Functions: Measurements on 40 human subjects. Proc. of 6th Int. FASE Conference, Zürich, pp. 225-228, 1992.
- 71 Cheng C. I., Wakefield G. H.: Introduction to Head-Related Transfer Functions (HRTFs): Representations of HRTFs in Time, Frequency, and Space. J. Audio Eng. Soc. 49, pp. 231- 249, 2001.
- 72 Mellert V., Siebrasse K. F., Mehrgardt S.: Determination of the transfer function of the external ear by an impulse response measurement. J. Acoust. Soc. Am. 56, pp. 1913- 1915, 1974.
- 73 Wersényi Gy.: HRTFs in Human Localization: Measurement, Spectral Evaluation and Practical Use in Virtual Audio Environment. Ph.D. doctoral thesis, BTU Cottbus, 2002.
- 74 Sandel T. T., Teas D. C., Feddersen W. E., Jeffress L. A., Localization of sound from single and paired sources, J. Acoustical Soc. Am., vol. 27, no. 5, pp. 842-852, September 1955.

- 75 Hartmann W. M., Rakerd B., On the minimum audible angle – A decision theory approach, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 85, no. 5, pp. 2031-2041, May 1989.
- 76 Mills W., On the minimum audible angle, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 30, no. 4, pp. 237-246, April 1958.
- 77 Strybel T. Z., Manlingas C. L., Perrott D. R., Minimum Audible Movement Angle as a function of azimuth and elevation of the source, *Human Factors*, vol. 34, no. 3, pp. 267-275. June 1992
- 78 Perrott D. R., Musicant A. D., Minimum auditory movement angle: binaural localization of moving sources, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 62, no. 6, pp. 1463-1466, December 1977.
- 79 Zwislocki J., Feldman R. S., Just noticeable differences in dichotic phase, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 28, no. 5, pp. 860-864, September 1956.
- 80 Campbell R. A., Just noticeable differences of changes of interaural time differences as a function of interaural time differences, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 31, no. 1, pp. 123-123, January 1959.
- 81 Kinkel M., Kollmeier B., Diskrimination interauraler Parameter bei Schmalbandrauschen, in *Proc. of DAGA87*, Aachen, Germany, 1987, pp. 537-540.
- 82 Hall J. L., Minimum detectable change in interaural time or intensity difference for brief impulsive stimuli, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 36, no. 12, pp. 2411-2413, December 1964.
- 83 Perrott D. R., Tucker J., Minimum Audible Movement angle as a function of signal frequency and the velocity of the source, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 83, no. 4, pp. 1522-1527, April 1988.
- 84 Chowning J. M., The simulation of Moving Sound Sources, *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 19, no. 1, pp. 2-6, 1971.
- 85 Kuhn G. F., Model for the interaural time differences in the azimuthal plane, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 62, no. 1, pp. 157-167, July 1977.
- 86 Grantham D. W., Detection and discrimination of simulated motion of auditory targets in the horizontal plane, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 79, no. 6, pp. 1939-1949, June 1986.
- 87 Genuit K., Sibinger H., Kalibrierung einer Kunstkopf-Übertragungskette, in *Proc. Of DAGA94*, Dresden, Germany, 1994, pp. 685-688.

- 88 Schöne P., Zur Nutzung des Realisierungsspielraums in der kopfbezogenen Stereophonie, *Rundfunktechnische Mitteilungen*, vol. 24, no. 1, pp. 1-11, 1980.
- 89 Burkhard M. D., Sachs R. M., Anthropometric manikin for acoustic research, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 58, no. 1, pp. 214-222, July 1975.
- 90 Møller H., On the quality of artificial head recording systems, in *Proc. of InterNoise97*, Budapest, Hungary, 1997, pp. 1139-1142.
- 91 Maijala P., Better binaural recordings using the real human head, in *Proc. of InterNoise97*, Budapest, Hungary, 1997, pp. 1135-1138.
- 92 Møller H., Hammershøi D., Jensen C. B., Sorensen M. F., Evaluation of artificial heads in listening tests, *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 47, no. 3, pp. 83-100, 1999.
- 93 Kleiner M., Problems in the design and use of "dummy-heads", *Acustica*, vol. 41, pp. 183-193, 1978.
- 94 Helle R., Das Übertragungsmass von Kopfhörern an der Messpuppe KEMAR, in *Proc. of DAGA80*, München, Germany, 1980, pp. 803-806.
- 95 Genuit K., Ein kalibrierfähiges Kunstkopf Mess-System, in *Proc. of DAGA84*, Darmstadt, Germany, 1984, pp. 279-282.
- 96 Fels J., Vorländer M., Anthropometric Parameters Influencing Head-Related Transfer Functions, *Acta Acustica united with Acustica*, vol. 95, no. 2, pp. 331-342, 2009.
- 97 Villchur E., Killion M. C., Probe-tube microphone assembly, *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 57, no. 1, pp. 238-240, January 1975.
- 98 Møller H., Fundamentals of binaural technology, *Applied Acoustics*, vol. 36, pp. 171-218, 1992.
- 99 Hundeboll J. V., Larsen K. A., Møller H., Hammershøi D., Transfer characteristics of headphones, in *Proc. of 6th Int. FASE Conference*, Zürich, Switzerland, 1992, pp. 161-164.
- 100 Møller H., Hammershøi D., Jensen C. B., Sorensen M. F., Transfer Characteristics of Headphones Measured on Human Ears, *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 43, no. 4, pp. 203-216, 1995.
- 101 Blauert J., Laws P., Verfahren zur orts- und klanggetrauen Simulation von Lautsprecherbeschallungen mit Hilfe von Kopfhörern, *Acustica*, vol. 29, pp. 273-277, 1973.

- 102 Hinkelmann K., Kempthorne O., Design and Analysis of Experiments, New Jersey, USA, Wiley, 2005.
- 103 Hesselmann N., Digitális jelfeldolgozás, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1985.
- 104 Azizi S. A., Entwurf und Realisierung Digitaler Filter, München, Germany, R-Oldenbourg Verlag, 1981.
- 105 Wersényi Gy., Fejhallgató-kiegyenlítés a virtuális hangtér-szimulációban: mérés és implementáció, Akusztikai Szemle (Acoustic Review), Vol. X., Nr. 1-2., 2010, pp. 47-52.
- 106 Dávid A., Dr. Gadó M., Csákvári J., Látássérült emberek elemi és foglalkoztatási rehabilitációja, 19-21. old. 2008 ISBN 978-963-87899-6-9
- 107 A látássérült hallgatók speciális igényei a felsőoktatásban, megsegítésük lehetőségei [http://www.btk.elte.hu/file/latasserult\\_hallgatok.pdf](http://www.btk.elte.hu/file/latasserult_hallgatok.pdf) Letöltve: 2011-07-29
- 108 Emberi test, 1. vol. Szerk.: Obál Ferenc, Bp.: Gondolat Kiadó, 1982. pp. 352. 439. 472. oldal ISBN 963-281-068-6
- 109 Tömösközi K., A látássérült emberek világa [http://www.ringmagazin.hu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2958:latasseruelt-emberek-vilaga&catid=172:esely&Itemid=476](http://www.ringmagazin.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=2958:latasseruelt-emberek-vilaga&catid=172:esely&Itemid=476) Letöltve: 2011-10-22
- 110 Répás J., GPS alkalmazása a látók és látássérültek összehasonlító vizsgálatára. Hadmérnök, Vol. VI. Nr. 2 2011. június, pp. 244-257. [http://hadmernok.hu/2011\\_2\\_repas2.pdf](http://hadmernok.hu/2011_2_repas2.pdf), Letöltve: 2011-09-22
- 111 Répás J., Wersényi Gy., Szabad és virtuális hangterű lokalizációs feladatok látók és látássérültek képességeinek összehasonlító vizsgálata, I. Különleges Bánásmód interdiszciplináris szakmai konferencia, Konferencia helye, ideje: Hajdúböszörmény, 2015.12.03.
- 112 Répás J., Látók és látássérültek lokalizációs képességeinek statisztikai vizsgálata, 6. Báthory-Brassai Konferencia, Konferencia helye, ideje: 2015. május 27-28. Budapest
- 113 Wersényi Gy., Répás J., Performance evaluation of blind persons in listening test sin different environmental conditions, In: Norberto Degara (szerk.), Proceedings of the 20th Int. Conf. on Auditory Display (ICAD14). Konferencia helye, ideje: New York, Amerikai Egyesült Államok, 2014.06.22-2014.06.25. New York: New York University, Paper ID20. 4 p.

- 114 Wersényi Gy., Répás J., The influence of acoustic stimuli on "Walking straight" Navigation by blindfolded human subjects, *Acta Technica Jauriensis* 5:(1) pp. 3-18. (2012)
- 115 Wersényi Gy., Répás J., Comparison of Localization Performance of Blind and Sighted Subjects on a Virtual Audio Display and in Real-life Environments, In: AES 132nd Convention. Konferencia helye, ideje: Budapest, 2012.04.26-2012.04.29. Paper 8611.
- 116 Click-train impulzus, Készítette: Tasi István 2011
- 117 Dr. Ketskeméty L., A fehér zaj,  
<http://www.cs.bme.hu/~kela/a%20feh%C3%A9rzaj.pps>
- 118 Deák K., Műszaki akusztikai mérések, Oktatási segédlet,  
<http://www.eng.unideb.hu/userdir/deak.krisztian/Akusztikai%20labor%C3%A9r%C3%A9s%20MK.pdf>
- 119 Fehérzaj spektruma,  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3c/White\\_noise\\_spectrum.svg/2000px-White\\_noise\\_spectrum.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3c/White_noise_spectrum.svg/2000px-White_noise_spectrum.svg.png) Letöltve: 2016.02.26.
- 120 Wersényi Gy., Répás J.; A Virtual Audio Environment for Testing Dummy-Head HRTFs modeling Real Life Situations; *Forum Acusticum* 2014. Konferencia helye, ideje: Kraków, Lengyelország, 2014.09.07-2014.09.12.
- 121 IEEE488 busz, [http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/IEEE488\\_busz.pdf](http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/IEEE488_busz.pdf)  
Letöltve 2016.02.15.
- 122 GPIB ismertető, [http://e-oktat.pmmf.hu/12\\_fejezet\\_grafikus\\_programozas](http://e-oktat.pmmf.hu/12_fejezet_grafikus_programozas), Letöltve 2016.02.15.
- 123 GPIB, <http://www.hit.bme.hu/~papay/edu/GPIB/tutor.htm> Letöltve 2016.02.15.
- 124 Wersényi Gy., Répás J., Graf M., On the direct measurement and interactive 3D rendering of dummy-head directional characteristics using polar coordinates, In: Rüdiger Hoffmann (szerk.), *Elektronische Sprachsignalverarbeitung 2014: Tagungsband der 25. Konferenz*. Konferencia helye, ideje: Dresden, Németország, 2014.03.26-2014.03.28. Dresden: Technische Universität Dresden, 2014. pp. 225-232. (ISBN:978-3-944331-51-5)
- 125 Wersényi Gy., A sztochasztikus hallás és érzékelés: az akusztikai információ megragadásának szemlélete a hallás modellezésének figyelembevételével. *Híradástechnika*, Vol. LXII, Nr.3, 2007. március, pp.28-38.

- 126 Wersényi Gy., Evaluation of a Matlab-based virtual audio simulator with HRTFsynthesis and headphone equalization, Proceedings ofthe 18th International Conference on Auditory Display (IC AD 12). Atlanta, USA, 2012.06.18-2012.06.22. pp. 221-224.
- 127 Tóth Z.: Virtuális valóság MATLAB alatt című diplomamunkája, 2013.
- 128 Wersényi Gy., Répás J., Comparison of HRTFs from a dummy-head equipped with hair, cap and glasses in a virtual audio listening task over equalized headphones, submitted to the AES Conference on Headphone Technology, Konferencia helye, ideje: Aalborg, 2016. Augusztus 24– 2016. Augusztus 26.
- 129 Veress É., Fehér Zs., Somorjai Á., A füstben mi is vakok vagyunk, Gyógypedagógiai szemle, 2010/3,  
[http://www.prae.hu/prae/gyosze.php?menu\\_id=102&jid=33&jaid=492](http://www.prae.hu/prae/gyosze.php?menu_id=102&jid=33&jaid=492), Letöltve: 2015.01.22.



## Mellékletek