

Tartalomjegyzék

Bevezetés	8
Akusztikai alapismeretek	9
Hang, hangnyomás, intenzitás	9
Hangterjedés módjai	11
Hangterjedés szabad térben.....	11
Hangterjedés zárt térben	14
Hangterjedés falon keresztül	16
Pszichoakusztikai alapok.....	19
Irányhallás.....	19
Lokalizáció	20
Lokalizációs bizonytalanság	23
Echolokáció	23
Emberi térhallás	24
Külső fül átviteli függvény (HRTF).....	25
Irányérzékelés	27
Az interaurális idődifferencia (ITD - Interaural Time Differences).....	28
Az interaurális szinteltérés (ILD - Interaural level differences)	29
Az együttes kiértékelés és a burkoló szerepe.....	29
Távolsághallás	30
Szubjektív akusztika fogalma.....	30
Pszichoakusztikai mérés technika	33
A hangteret befolyásoló paraméterek mérése.....	33
Irányhallásvizsgálat a mediális síkban	34
Távolsághallás és fejközép-lokalizáció	35
HRTF-mérés	36

Statisztikai módszerek	37
Paraméteres tesztek.....	38
z-teszt.....	38
t-teszt	38
Varianciaanalízis (ANOVA)	38
Látássérült alapismeretek	39
Látás.....	39
Látássérülés: színvaktság, látásélesség	40
Látássérülés: gyengénlátók, alig látók, vakok	43
Lokalizációs kísérletek.....	46
Lokalizációs kísérlet zárt térben	46
Lokalizációs kísérlet szabadterben	48
Nyomvonal rögzítés	50
GGA mondat (Global Positioning System Fix Data).....	50
.gpx fájlok feldolgozása	51
.gpx útvonalfájl megjelenítése.....	52
Egyenestartás vizsgálat látókkal, akusztikai segítség nélkül.....	55
Egyenestartás vizsgálat látássérültekkel, akusztikai segítség nélkül.....	63
Egyenestartás vizsgálat látássérültekkel, akusztikai segítség nélkül.....	63
Egyenestartás vizsgálat click-train impulzussal	66
Egyenestartás vizsgálat fehérzaj gerjesztéssel	70
Hangforrás helyének megállapítása süketszobában	73
Elöl-hátul döntés feladat	76
Echolokációs kísérletek – Sarok-észlelés.....	77
Jövőbeni tervek.....	83
Összegzés	84
Köszönetnyilvánítás	85
Irodalomjegyzék.....	86

Bevezetés

Ennek a dolgozatnak a célja, hogy az akusztikai térhallás vizsgálatokat bemutatva mérési eljárást dolgozzon ki látók és látássérültek képességeinek összehasonlítására, tudományos igényességgel.

Szemünk a legfontosabb és legtöbbet használt érzékszervünk, az információ jó részét a látásunk útján szerezzük. A látásunk elvesztése, vagy jelentős romlása esetén egyéb érzékszervek, például a hallás által szerzett információi kerülnek középpontba. Látó emberek térhallását sokszor, sokan vizsgálták eltérő paraméterek és peremfeltételek mellett, amely során megállapítható, hogy a lokalizációs képességek mitől, mennyire függenek. Látókkal és látássérültekkel korrekt, alapos összehasonlító vizsgálat még nem készült, amelynek során választ adhatunk arra, mikor, hol, hogyan hallanak jobban vagy rosszabbul a vakok. Kutatásom során az akusztikai segítség fontosságát vizsgáltam, különböző lokalizációs kísérletekben.

Dolgozatom az akusztikai és pszichoakusztikai alapismeretek összefoglalásával kezdődik, majd ismertetésre kerül a látás és hallás működésének alapjai, fókuszba állítva szemünk hibás működéséből adódó betegségeket és a látássérültek csoportosítását, mivel az elvégzett kísérletekben látássérültek is részt vettek.

Ezt követően a lokalizáció és echolokáció tárgyalására kerül sor, majd az általam tervezett módszereket mutatom be, amelyek alkalmasak a látók és látássérültek precíz tudományos összehasonlítására. Az elvégzett kísérleteket a Széchenyi István Egyetemen és a Hochschule für Telekommunikation Leipzig laboratóriumában végeztem. Eredményeim kiértékelése után tézis jellegű következtetéseket határoztam meg.

Akusztikai alapismeretek

Hang, hangnyomás, intenzitás

Az ember környezetéről elsősorban legfontosabb érzékszerve, a szeme alapján szerez információt. Ezáltal a hallás nem annyira kifinomult, szerepe másodlagos, azonban a látás elvesztésével vagy jelentős romlásával nagyobb mértékben támaszkodunk az általa szerzett információkra.

Hang szűkebb értelemben levegőben terjedő longitudinális hullám. Egy rugalmas közeg mechanikai rezgése és hullámozása, melyet a fülünk által érzékelünk 20 Hz és 20 KHz közötti tartományban. Kizárólag valamilyen közegben, anyagban terjed, vákuumban nincs hangterjedés. Hullámhossza: $\lambda = 17\text{ m} - 17\text{ mm}$ ($\lambda = c/f$)

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.

Hangintenzitás az egységnyi felületen eső hangteljesítmény időbeli átlaga, a következő képlettel számolható:

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

ahol p = hangnyomás, ρ = a közeg sűrűsége és c = közegbeli hangsebesség, mértékegysége a W/m^2 [1]. Az emberi fül 1 KHz-es $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ hangot is érzékel, ez a küszöbintenzitás, vagy hallásküszöb (1. ábra), amely frekvenciánként más és más.

Az ember hangérzete nem arányos a hangintenzitással, közelítése $\log I$ -vel.

W/m²		dB
10 ⁻¹²	hallásküszöb	0
10 ⁻¹¹	halk neszek, levélzörgés	10
10 ⁻¹⁰	óraketyegés (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	fűrógép 1,5 m-ről	90
10 ⁻²	nagyzenekari forte	100
10 ⁻¹	kierősített rockegyüttes	110
1	légkalapács 1 m-ről, fájdalomküszöb	120
10	sugárhajtású repülő 40 m-ről	130
100	rakétahajtómű közelről	140

1. ábra Hangintenzitás táblázat [2]

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

$$d = 10 \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

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 [3].

A hangnyomásszint angol elnevezése Sound Pressure Level (SPL), ez az, amit egy mikrofonnal ténylegesen mérünk.

Hangterjedés módjai

Hangterjedés szabad térben

A hangterjedés egyik módja, amikor a hangot szabad térben, minden akadálytól távol, egy ideális pontszerű forrás sugározza ki az akusztikus energiát, a tér minden irányban egyenletesen, veszteség nélkül. Ekkor a forrás gömbhullámot kelt, a hullámfront alakja gömb lesz.

Divergencia jelenség, amikor a forrástól távolodva a teljesítmény egyre nagyobb térrészben oszlik el akkor az intenzitás az alábbiak szerint számítható:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r_0^2},$$

ahol S a forrástól r_0 távolságban lévő gömbfelület felszíne. Az intenzitás a távolság négyzetével fordított arányos, vagyis a távolság duplázásával a hangnyomásszint felére esik, az intenzitás pedig a negyedére [4].

Abban az esetben, ha a hangforrás irányított, vagyis egyes irányokban nagyobb, míg a többi irányban kevesebb energiát sugároz, az irányítottság leírására bevezethető az irányítottsági tényezőt (D), ami egy adott irányban mért intenzitás és az átlagos intenzitás hányadosa.

$$I = \frac{WD}{4\pi r_0^2}.$$

Az irányított jelleg is függ a frekvenciájától, a magasabb frekvenciás hangok jobban irányítottak.

A hangforrástól távolodva a divergencia jelenségen kívül megjelenik a levegőcsillapítás okozta veszteség is:

$$A_{\text{levegő}} = \frac{\alpha r_0}{1000},$$

ahol α az úgynevezett levegőcsillapítási tényező, mértékegysége (dB/km), r_0 a forrás távolsága méterben. A levegő-csillapítás okozta veszteség onnan ered, hogy a részecskék rendezett mozgása a termikus kölcsönhatás és súrlódás miatt rendezetlen mozgássá alakul, így a hangenergia egy része elveszik, termikus energiává alakul. A levegő-csillapítási együttható erősen függést mutat a frekvenciától és a relatív páratartalomtól, azonban kevésbé befolyásolja a hőmérséklet, nyomás, vagyis a földfelszín feletti magasság.

A 1. táblázatban az α értéke látható oktávsávokra lebontva, a hőmérséklet és relatív páratartalom függvényében. A levegő-csillapítás okozta hanggyengülés rövid távolság esetén 5 KHz alatt elhanyagolható.

A divergencia és a levegő-csillapítás okozta veszteségeken kívül egyéb veszteségek is felléphetnek. A föld felszíne, a talaj minőségétől függően akár erősítést is okozhat. Betonos vagy planírozott földfelület esetén az $A_{\text{föld}}$ értéke negatív szám, vagyis erősödés figyelhető meg, míg egy füves területen gyengülés. Hasonló eset az épületek falainál, mivel jó hangvisszaverők, itt is erősödés figyelhető meg.

1. táblázat A levegő-csillapítási tényező (α) értéke különböző hőmérsékleteken és nyomásokon oktáv sávok szerint dB/km egységekben [5]

Hőmérséklet	Relatív pára-tartalom	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
30 °C	10	0.96	1.8	3.4	8.7	29	96
	20	0.73	1.9	3.4	6.0	15	47
	30	0.54	1.7	3.7	6.2	12	33
	50	0.35	1.3	3.6	7.0	12	25
	70	0.26	0.96	3.1	7.1	13	23
	90	0.20	0.78	2.7	7.3	14	24
20 °C	10	0.78	1.6	4.3	14	45	109
	20	0.71	1.4	2.6	6.5	22	74
	30	0.62	1.4	2.5	5.0	14	49
	50	0.45	1.3	2.7	4.7	9.9	29
	70	0.34	1.1	2.8	5.0	9.0	23
	90	0.27	0.97	2.7	5.3	9.1	20
10 °C	10	0.79	2.3	7.5	22	42	57
	20	0.58	1.2	3.3	11	36	92
	30	0.55	1.1	2.3	6.8	24	77
	50	1.49	1.1	1.9	4.3	13	47
	70	0.41	1.0	1.9	3.7	9.7	33
	90	0.35	1.0	2.0	3.5	8.1	26
0 °C	10	1.3	4.0	9.3	14	17	19
	20	0.61	1.9	6.2	18	35	47
	30	0.47	1.2	3.7	13	36	60
	50	0.41	0.82	2.1	6.8	24	71
	70	0.39	0.76	1.6	4.6	16	56
	90	0.38	0.76	1.5	3.7	12	43

Hangterjedés zárt térben

Közvetlen és zengő hang

Ha a hangforrás egy watt hangteljesítményt zárt térben bocsát ki, a bekapcsolás utáni pillanatban gömbhullámok indulnak el és terjednek, hasonlóan, mint szabad tér esetében. A forrástól 1 méter távolságban lévő figyelőhöz 3 ms múlva érkezik meg a hang, ezt a hangot direkt hangnak nevezzük. Később a hang eléri a legközelebbi falat, majd onnan visszaverődik a figyelőhöz. Ez a hang a reflektált hang. A direkt hang utáni 50 ms-on belül érkező hangokat korai hangoknak nevezik. Hosszabb idő elteltével kialakul az egyensúlyi állapot, amikor a kisugárzott energia megegyezik a falakon fellépő veszteségek által kivont energiával. Ekkor megkülönböztethető a forrás közvetlen környezete, ahol a hangnyomás-eloszlásnak szerkezete van, míg távolabb ez nem figyelhető meg.

A zárt tér teljes hangenergiája két részből áll, a forrás közvetlen hangjából és az reflexiók során felépülő zengőhangból. A zengő tér leírásához bevezetésre került a teremállandó (R):

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}},$$

ahol: S a terem teljes határoló-felületének felszíne és $\bar{\alpha}$ a terem összes határoló-felületére számolt átlagos elnyelési tényező:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^N S_i}$$

ahol: α_i az i felületre vonatkozó elnyelési tényező, ami megadja a felület által elnyelt akusztikus energia arányát a felületre beeső energiához képest. A legtöbb anyag esetén az elnyelés mértéke függ a hanghullám beesési szögétől, ezért α értékét szög szerint átlagolva adják meg.

Egy tökéletesen hangelnyelő anyag α_i értéke egy, míg a tökéletesen hangvisszaverő anyag α_i értéke nulla. S_i az i felület felszíne (m^2 egységben). Az $S\bar{\alpha}$ szorzatot elnyelési számnak vagy egyenértékű elnyelési felületnek nevezik, jele:

$$A = S\bar{\alpha}$$

Az elnyelési szám az a mennyiség m^2 -ben, ahány m^2 tökéletes hangelnyelő anyagra lenne szükség a fenti hangelnyelés biztosítására.

Az R teremállandó felhasználásával a zengőteri hangintenzitás (I_z) felírható:

$$I_z = \frac{4W}{R}$$

Egy teremben az akusztikus tér három részre bontható fel:

- közel-tér
- közvetlen tér
- távotér

A közel-térben az akusztikus mennyiségek térben gyakran rendkívül bonyolult módon változnak. A közvetlen hangtér esetén a nyomás a szabadtérhez hasonló módon viselkedik, vagyis a távolság megduplázódásával a hangszint 6 dB értékkel csökken. Míg a távotérben a hangnyomás jó közelítéssel állandó. Ha a hangforrást a fal közelében helyezük el, akkor a hangszint +3 dB-lel növekszik.

Utózungési idő

A hangforrás kikapcsolása után a direkt hang szinte azonnal megszűnik, majd ezután hosszabb ideig tart, míg a zengő hang is teljesen lecseng. Azt az időt, ami alatt a zengő hang szintje 60 dB-lel csökken, utózungési időnek (T) nevezzük. Ha az átlagos elnyelési tényező sokkal kisebb, mint 1, akkor az utózungési idő

$$T = 0,16 \frac{V}{A}$$

képlettel számítható, ahol: V mértékegysége m^3 , A az elnyelési szám.

A hangszint az idő múlásával lineárisan csökken (vagyis a nyomás exponenciálisan csökken). Ezért, mivel a 60 dB csökkenés a zaj miatt nehezen mérhető, a gyakorlatban kisebb mértékű hangszint-csökkenéshez szükséges időt mérnek, majd aránypárral kiszámolható a 60 dB hangszint-csökkenéshez szükséges idő. Abban az esetben, ha a hangszint 1 másodperc alatt csökken 20 dB-t, akkor az utózungési idő 3 másodperc [5].

Hangterjedés falon keresztül

Helyiségeket elválasztó falak jellemzésére vezették be a hanggátlás fogalmát

$$R_g = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_2} \right)$$

ahol: I_1 a belépő, míg I_2 a kilépő hangintenzitás. Akkor nevezhető nagynak a hanggátlás, ha értéke a 30-70 dB tartományba esik, vagyis a hangintenzitás három, illetve hét nagyságrendet csökken a hanghullámnak a falon történő áthaladása közben.

A hanggátlás segítségével meghatározható, a fal két oldalán fellépő hangnyomásszint:

$$L_d = L_f - R_g + 10 \log_{10} \frac{S}{A}$$

ahol: L_d a hangnyomásszint a detektálás helyiségében, L_f a hangforrás helyiségében lévő hangnyomásszint, S a két helyiséget elválasztó (R_g hanggátlással rendelkező) fal felülete, és A a detektálás helyiségében az egyenértékű hangelnyelési felület.

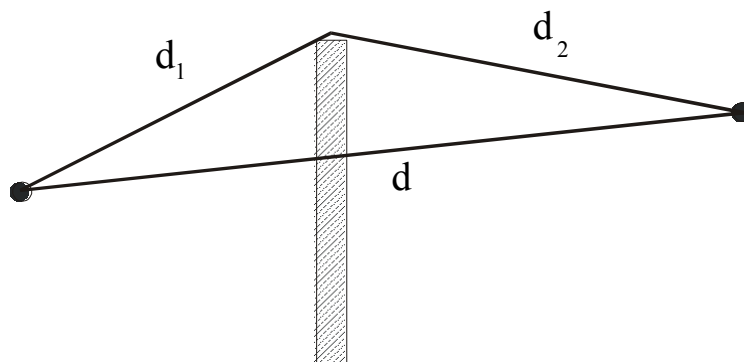
A hanggátlás frekvenciafüggő, ezért gyakorlatban az értékét 500 Hz-es frekvenciára szokás megadni. Az ideális körülmények között mért falszerkezet hanggátlása mindig jobb, mint az épületbe beépítetté, mert a hang nem csak a falakon keresztül juthat egyik helyiségből a másikba, hanem kerülőutakon is, például az épület vázában. Hanggátlást nagymértékben rontják a repedések vagy rések.

Hang-gátló fal

A hang-gátló fal árnyékoló hatásának leírását nehezíti, hogy a hullámok elhajlanak a fal tetejénél, vagy oldalainál, így kerülőutak jönnek létre. A hang-gátló falak jellemzésére a Fresnel számot használják, ami így számítható:

$$N = \frac{2}{\lambda} (d_1 + d_2 - d),$$

ahol: λ a hang hullámhossza, d , d_1 és d_2 jelentése pedig a 2. ábrán látható.



2. ábra Fresnel szám kiszámításához szükséges magyarázat [5]

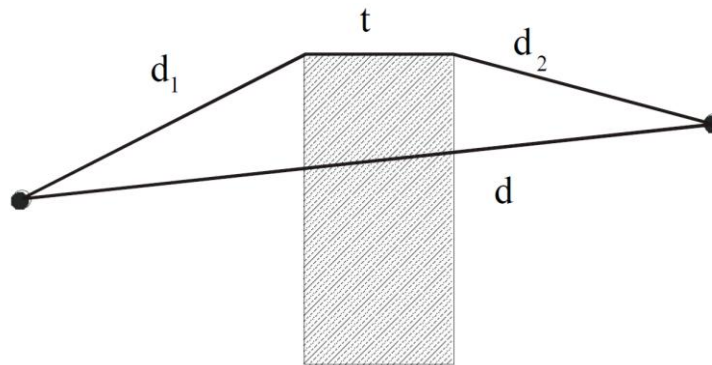
Hatékonysága: (IL) a hangnyomásszint különbség az alkalmazása előtt és után:

$$IL = 10 \log(3 + 10N) - A_{\text{föld}}$$

Vastag hang-gátló fal esetében a képletek így módosulnak (3. ábra):

$$N = \frac{2}{\lambda} (d_1 + t + d_2 - d)$$

$$IL = 10 \log(3 + 30N) - A_{\text{föld}}$$



3. ábra Fresnel szám kiszámítása vastag hang-gátló fal esetén [5]

Nagymértékű, akár 20 dB-t meghaladó hangszint csökkenés akkor lép fel, ha az N érték nagy, amikor nagy a direkt és kerülőutas hangút közti távolság, vagy rövid hullámhosszú hangoknál, vagyis nagy frekvenciák esetén [5].

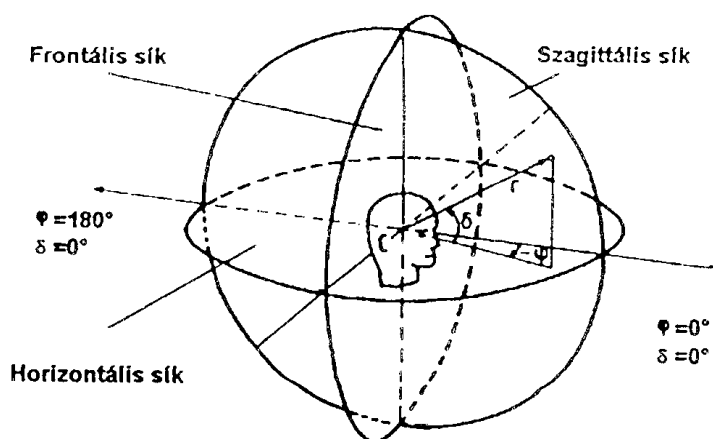
Hangelnyelő anyagok

A szoba falait hangelnyelő anyaggal bevonva a hangszint jelentős mértékben csökkenthető, úgynevezett süketszoba alakítható. Hangelnyelő anyagként porózus anyagok szolgálnak, mivel a hullám behatol a pórusokba és a szűk csatornában hővé alakul. Ezen anyagok elnyelési tényezője is frekvenciafüggő, alacsony frekvenciákra nem igazán létezik jó hangelnyelő anyag.

Pszichoakusztikai alapok

Írányhallás

A fejhez rögzített (head-related) koordináta rendszer síkjai a mediális (szagittális) sík a fej szimmetriasíkja, a hallójárat középvonala és a szemgödör 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.



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

Az oldalirányú eltéréseket a szagittális síkban vizsgáljuk. ϕ -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. δ szög az emelkedési (elevációs) szög. A mediális síkban $\delta = 0^\circ$ a fülek síkja, 90° a fej feletti, 180° 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.

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 ösztönös folyamat, ami az emberi fejlődés során alakult ki és tapasztalati úton válik egyre jobbá. 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.

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.

Lokalizáció

Hosszú tanulási folyamat során szerzett ismeretek és tapasztalatok elengedhetetlenek a látássérültek életében éppúgy, mint egyéb akusztikus információk. A környezeti zajok, a járókelők, gépjárművek, közlekedési eszközök által keltett hanghatások mind-mind segítenek a tájékozódásban. Nem csak a látássérülteket számára fontosak a környezeti zajok. Gondoljunk csak a tűzoltóautó szirénájára, amit még azelőtt hallunk, hogy megláthatnánk. Ez felhívja a figyelmünket arra, hogy igyekezzünk szabad utat biztosítani számára, ne akadályozzuk céljának gyors elérésében. Látássérültek sokkal inkább odafigyelnek a környezet zajaira, feldolgozzák őket és segítségükkel biztonságosabban közlekednek. A forgalom zajából megállapítják az utca körülbelüli helyét, a közlekedés irányát, míg a segítségükre kialakított közlekedési lámpák csipogásából tudják, hogy mikor biztonságos az átkelés az úttesten.

A hangforrás helyének meghatározhatóságát lokalizációnak hívjuk, amely rendkívül fontos egy látássérült számára. Ha sikerült megállapítani a hangforrás helyét, biztonságosan képesek tájékozódni és közlekedni környezetükben [39][40].

A tájékozódás saját magunk környezetéhez, a környező tárgyakhoz viszonyított helyzetének meghatározása, történjen az zárt térben, vagy akár a szabadban, és az erre épülő képesség a helyes út megtalálására és követésére [41]. Az ember az érzékei segítségével érti meg elhelyezkedését a környezetben, egy adott időben. A tájékozódás és mozgás meghatározható úgy, mint azok a fogalmak, készségek és technikák, amelyek nélkül nem vagyunk képesek, biztonságosan, gyorsan közlekedni környezetben, függetlenül annak helyétől és minőségétől [42]. A tájékozódási folyamatban kiemelt szerepet játszik a mozgás mellett az érzékszervi ellenőrzés és az értelmi tevékenység, vagyis az érzékelés és az észlelés [43].

Abban az esetben, ha a látás receptora a szem súlyosan megsérül, a többi érzékszerv segíti ezt a képességet is. Nem automatikusan veszik át a szem funkcióját, hanem intenzív tanulási folyamatot szükségelnek ahhoz, hogy megfelelően tudják ezt a funkciót kompenzálni és használhatóak legyenek a mozgásban, tájékozódásban [41].

Ám a születésüktől fogva vak emberek vizuális ingerek feldolgozásáért felelős agyterületei részt vesznek a hang- és tapintásérzékelés feldolgozásában is. A Georgetown University Medical Center (GUMC) kutatói olyan eredményekre jutottak, melyek megmagyarázzák a vakok hang és tapintásingerek érzékelése terén nyújtott kiemelkedő eredményeit [44]. A kutatás során FMRI (funkcionális mágneses rezonanciás képalkotó technika) eljárást alkalmaztak, amellyel kimutatták, hogy a vakok bizonyos objektumok térbeli elhelyezkedésének megállapítására a látókéreg (vizuális kortex) specializált „moduljait” használják. Egyes funkciók, amelyeket a látáshoz társítanak – ilyen például a térérzékelés, mozgásérzékelés – a vakok látókérgében továbbra is megtalálhatóak. Viszont ahelyett, hogy a látókéregben a szem információit dolgoznák fel, a hallási és tapintási ingerek feldolgozásába vonják be ezen agyterületeket.[45]

A tapintás, a hallás, és a látásmaradvány, a három fő érzékelés az, ami hatással van egy látássérült személy tájékozódására. A látássérült személyek számos hétköznapi tevékenységükben az auditív észlelést használják, ezt felismerve az utóbbi években kutatók vizsgálták szerepét a tájékozódásban is, mivel a látás és a hallás mechanizmusa

hasznos. Mindkettő képes felfogni az energiahullámokat, és a visszaverődő hullámokat is. A hallórendszer felfogja a forrásból érkező hullámokat, vagy a tárgyakról, felületekről visszaverődőket, hasonlóan a látáshoz. Mindkét rendszer nagy mennyiségű információt dolgoz fel a környezetről [46]. A hallás a tér egészéről nyújt információt. Irányítja az érdeklődést és a figyelmet, ezáltal mozgásra ösztönöz, 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.”[41].

Ez azért különösen fontos, mert ezáltal ismereteiket a saját testükön túlra is ki tudják terjeszteni. A környezeti zajok, hangok nem minden esetben informatívak, ezek közül ki kell választani azokat, amelyek fontosak lehetnek. Ezután következik az észlelés többi összetevője:

- a lokalizáció
- a felismerés
- az absztrakció
- az alakállandóság megtartása.

Ezek segítségével a látássérült pontosan fogja tudni, hogy egyes 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 [42].

Lokalizációs bizonytalanság

A hallás a hallás érzet 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 érzékelni tud, úgy, hogy a fülben történt változás már kiértékelhető. A legkisebb lokalizációs bizonytalanság 1° 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 [6].

Echlokáció

A hangokat nem kibocsátó akadályok észlelése az echlokáció [47]. Ez nem más, mint a természetes hang felfogása és felhasználása arra, hogy meghatározzuk a tárgyak távolságát és elhelyezkedését a környezetünkben. A visszhangok segítségével az a személy, aki rehabilitáción részt vett és erre tanították, azonosítani tudja a tárgyak helyét. Kutatásokkal igazolták, hogy a tárgyak méretét és anyagát is meg tudják 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 őt visszaverő felület természete befolyásolja [43][48].

Visszavert hangok alapján való tájékozódásra képes állatok a denevérek és a delfinek. A kibocsátott hangok visszaverődése alapján tájékozódnak, találhatnak 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 echlokáció segítségével tájékozódnak, agyuknak azt a részét használják a tér visszhangok alapján történő

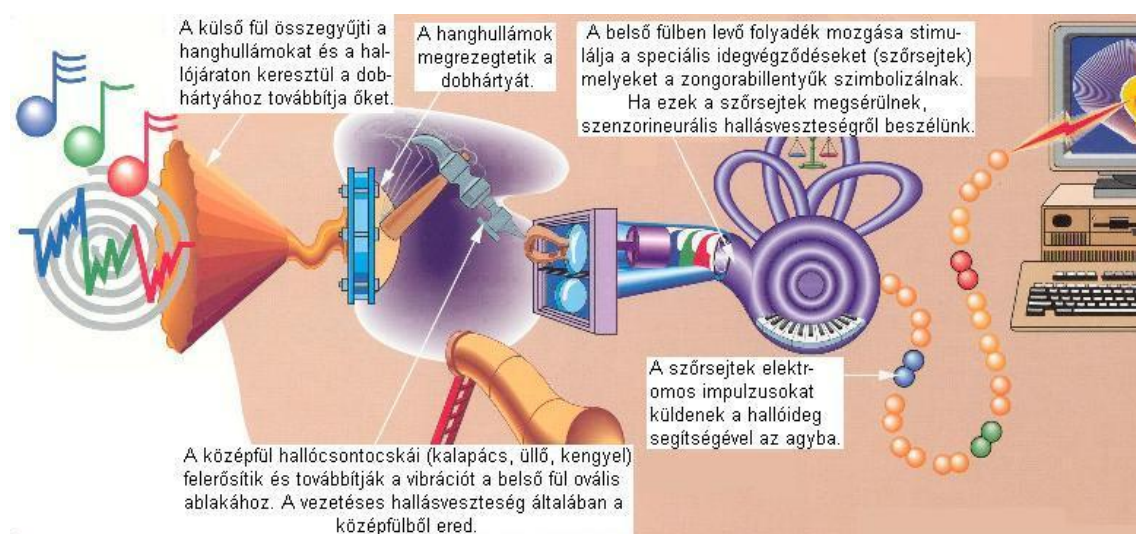
modellezésére, amely látó társaikban a látási ingerek feldolgozására szolgál. A Nyugat-Ontariói Egyetem agykutató központjának munkatársai a elsőként elemzik az emberi echolokáció idegtudományi alapjait[49][50].

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, ajtónyílások, 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 [48].

Az echolokáció segítségével az észlelt akadályok ki-/elkerülhetőek, ezáltal javítva a térbeli tájékozódást, segíti a közlekedést. Az akadályok távolságára a visszhangok visszatérési idejéből lehet következtetni. Ezek alapján pedig a visszhangok, segédeszközként használhatóak. Például a falról visszaverődő hangok alapján képesek lehetnek megállapítani egy sarok helyzetét [47][48].

Emberi térhallás

A hallásfolyamatban részt vesz a külső fül, a középfül, a belső fül és az agy [7][8]. A hallás során a külső fül összegyűjti a hanghullámokat és a hallójáraton át a dobhártyához továbbítja. A hanghullámok megrezegtetik a dobhártyát, aminek a rezgését a hallócsontocskák felerősítve átviszik az ovális ablakra. Ennek hatására 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). A térbeli hallás számára a külső fül vizsgálata a legfontosabb [9][10].



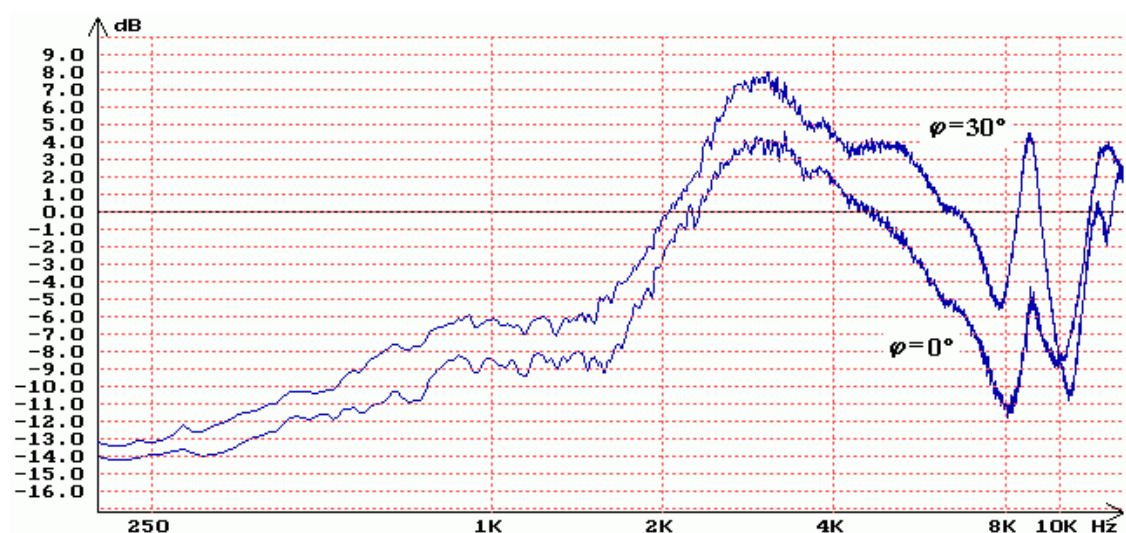
5. ábra Hallás folyamata [11]

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).

Az átviteli függvény vizsgálatok 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 [6]. Ezen hatások, melyeket a HRTF segítségével leírhatunk. Megadja az átvitelt a szabad tér bármely pontjától a dobhártyáig, a beesési iránytól függően [12][13][14][15]. Ezáltal minden térirányhoz tartozik egy-egy HRTF. Ez a szűrőhatás az irányinformációt határozza meg. A HRTF-függvényeket minden esetben szabad térben (free-field) értelmezzük, amikor nincsenek visszaverődések (süket szobai 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 [16]. Az átviteli függvényeket, irányfüggőségük miatt, speciális fejhez rögzített koordináta rendszerben értelmezzük [17].

A 6. ábra horizontális síkban mért HRTF-függvényeket mutat. Ilyen értelemben a hallás szétbontható irányhallásra és távolsághallásra, kísérleteimben az irányhallásra helyeztem a hangsúlyt.

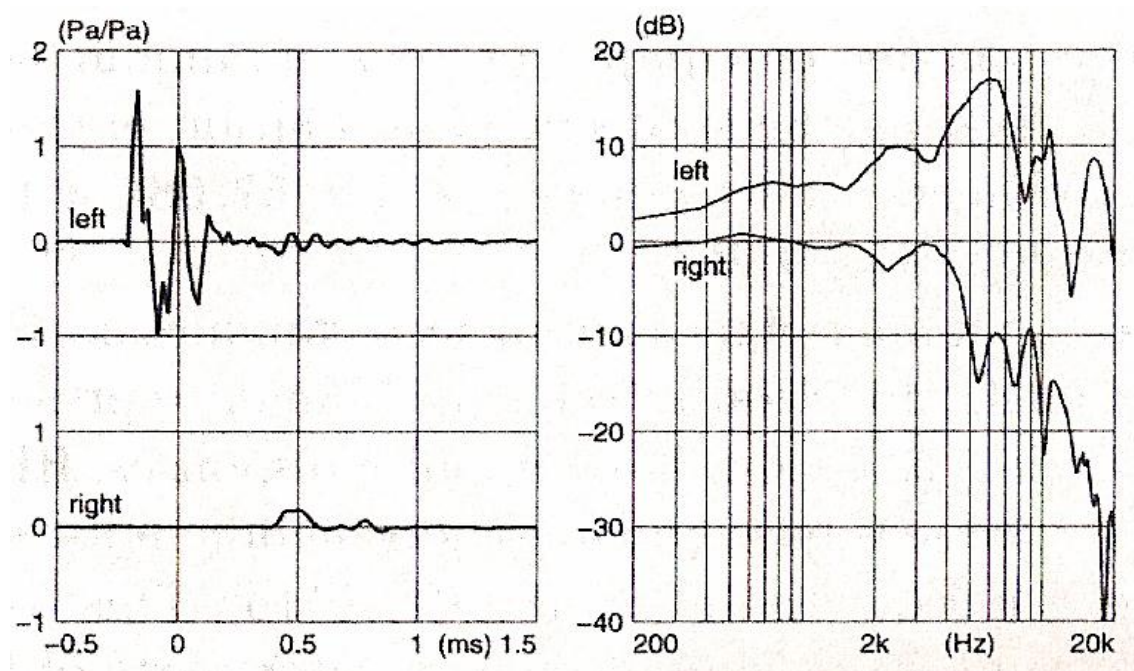


6. ábra HRTF-függvények a horizontális síkból a bal fül dobhártyájának helyén mérve (Brüel Kjaer 4128 műfej) [18].

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.

Irányérzékelés

Az irányérzékelés két legfontosabb paramétere a füljelek közötti (interaurális) szint- és időeltérések. Amelyik fülben hangosabb és/vagy előbb érkezik be a jel, azt közelebbinek fogjuk érzékelni. Ez a folyamat nyilvánvalóan megjelenik a két fül impulzusválaszában és a frekvenciatartománybeli képen is (7. ábra).



7. ábra Külső fül rendszerleíró függvényei. Balra az impulzusválasz (HRIR), jobbra az abból számított átviteli függvény (HRTF) a bal és a jobb fülhöz, élő ember blokkolt hallójáratának bejáratán mérve „bal” ($\varphi = -90^\circ$) irányból [19].

A 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. Mivel a fej szimmetriasíkjában 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 [20] [21]. Gyakran van rá példa, hogy ebben a síkban lévő hangforrásokat 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.

Az interaurális idődifferencia (ITD - Interaural Time Differences)

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. 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.

Az interaurális szinteltérés (ILD - Interaural level differences)

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.

Az együttes kiértékelés és a burkoló szerepe

A valóságban az interaurális időeltérések és szintkülönbségek egyszerre vannak jelen. A hallás képes az időeltolódást érzékelni úgy a vivőhullámban, mind a burkolóban. Általánosságban elmondható, hogy 20-1600 Hz-ig a vivő a lényeges, 1600-20 kHz-ig inkább a burkoló. A szintkülönbség a teljes tartományban számottevő, és 1.6 kHz felett inkább jelentős, mint az időeltolás. Ha időeltolás és szinteltérés is jelen van, az érzet kitérése nagyobb lehet.

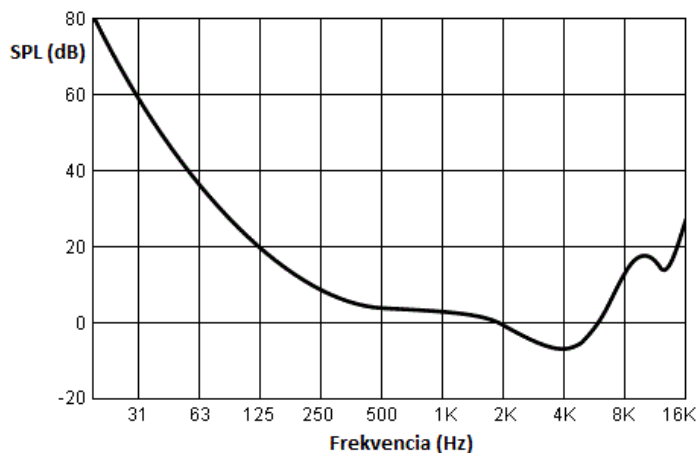
Távolsághallás

Távolsághallásnak nevezzük a hallás azon folyamatát, amikor az agy a füljel bizonyos jellemzőiből a hangforrás távolságára következtet. A távolság meghatározhatóságának pontossága jelfüggő, ezért fontos, hogy a megfigyelő ismeri-e a jelet. Beszédnél a távolság meghatározhatóságának határa 3-7 méter, attól függően, milyen hangos a beszéd (suttogás vagy normál beszéd). A távolság és a helymeghatározhatóság erősen függ magától a távolságtól és a forrás hangosságától is: 3 méternél távolabbi, ismeretlen zaj esetén a lokalizálhatóság már nem a forrástávolságtól függ, hanem elsősorban a hangerőtől [6].

Szubjektív akusztika fogalma

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 értékegységeket, definíciókat is, melyek jobban korrelálnak a hallás logaritmikus tulajdonságaival, több kísérletet végeztek.

A legfontosabb a hallástartomány megállapítása volt. A 8. ábrán látható görbe a hallásküszöb, a 130 dB-es vonal pedig a fájdalomküszöb.



8. ábra Frekvencia-hangnyomásszint diagram [4]

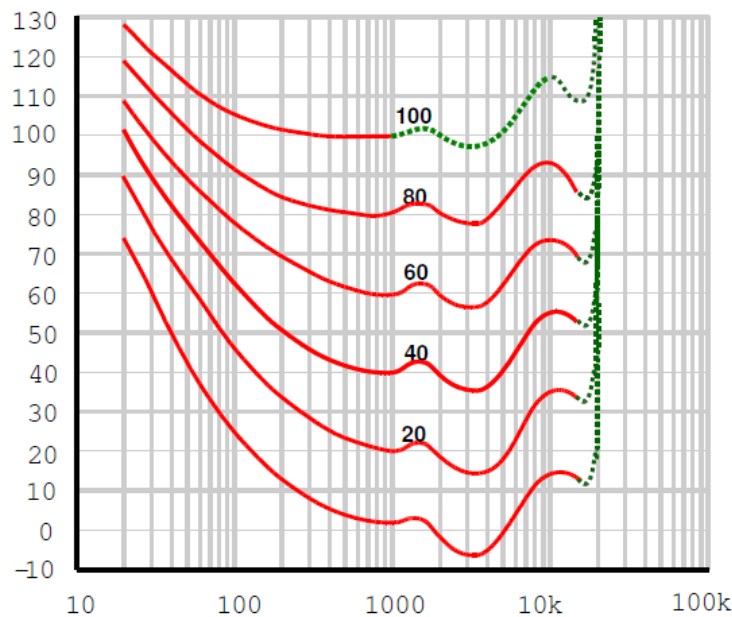
Az ábrán látható, hogy kb. 130 dB-es dinamikával számolhatunk. A dinamika a leghangosabb és a leghalkabb észlelhető hangnyomásszint aránya. Vagyis a 0 dB-nek vesszük az 1 kHz-es szinusz jelet, akkor a leghangosabb még elviselhető hang hangnyomásszintje ennél 130 dB-el nagyobb.

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.

A 2. ábrán látható hallásküszöb görbe tehát nem más, mint a 0 phon-os görbe, hiszen, az összes ezen található pont azonos hangosságérzetű a 0 dB-es 1 kHz-es szinuszhanggal.

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 (9. ábra).



9. ábra Frekvencia-hangnyomásszint diagram [22]

A dB érték definíció szerint akkor és csak akkor egyezik meg a phon értékkel, ha 1 kHz-es hangról van szó. Ezeket a görbéket aztán a phon-al paraméterezve ábrázolhatjuk és megkapjuk az azonos hangosságú görbéket (Fletcher-Munson görbék).

Phon értékek azonban nem adhatóak össze, mivel 10 phon + 10 phon eredményül kapott 20 phon nem jelent kétszeres hangosságérzetet. Kiszámítása az alábbi képlettel történik:

$$L_p = 2^{(L_n - 40)/10}$$

Hangosság, jele: L_p , mértékegysége pedig a sone. 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 sone + 1 sone = 2 sone, ami kétszer olyan hangos hangot jelent.

Pszichoakusztikai mérés technika

A hangteret befolyásoló paraméterek mérése

A térbeli hallás szempontjából legfontosabb jel a dobhártyán lévő hangnyomás. Létezik olyan mérés eljárás, ami egyszerre méri a dobhártya impedanciát és az átviteli függvényt is, azonban új megfigyelés, hogy a külső fül iránykarakterisztikája a dobhártya impedanciájától független. A külső fül átviteli függvényének mérését szondamikrofonnal végzik. A szondamikrofonok speciális kondenzátormikrofonok, jeleiket számítógép segítségével mérik.

A mérést rövid, szélessávú, null átmenettel nem rendelkező impulzusokkal célszerű végezni. Hátránya viszont, hogy a jel hamar lecseng nullára, így romlik a jel-zajviszony. Hudde-módszerrel azonban ez kiküszöbölhető, az alkalmazott tesztjel periodikus impulzussorozatot használ, teljesítménye időben egyenletesen szét van osztva. A méréseket többször kell elvégezni, az eredményeket átlagolni szükséges. A szokásos átlagolási eljárások nem mindig használhatóak, hiszen éppen a csúcsok laposodnak el, jelen esetben pedig a lényeges információt veszítenénk el. Ezért spektrális átlagolásokat is használunk. A dobhártya impedanciáját 20 kHz-ig tudjuk mérni. Egy akusztikailag szűk csőben - a hullám csak a cső tengelyének irányában terjedhet - a hangnyomás relatív eloszlása csak a cső geometriai méreteitől és a lezárástól függ. Vagyis a cső adataiból és két tetszőleges pont között mért átviteli függvényből impulzusjel gerjesztés esetén a lezárás számítható.

Írányhallásvizsgálat a mediális síkban

A mediális síkban való írányhallásvizsgálatoknál nincsenek interaurális jellemzők. A hallásérzet és a hang beesési irányának egybeesése jelfüggő, szélessávú jeleket alkalmazva esetén az egybeesés jó. Végző soron az érzet iránya a füljel spektrumától függ. Szélessávú jel esetén a forrás helyét be lehet „taníttatni” a rutinos megfigyelővel, a forrás helyéről a hang „csengése” alapján következtetést lehet levonni.

A fülkagylónak szűrő szerepe is van. Normál fülkagyló helyes előre-háttra helymeghatározást tesz lehetővé, amennyiben kagylós toldalékot alkalmazunk, akkor a toldalék szájának iránya határozza meg az érzet helyét. A megfigyelések alapján a következő megállapítások tehetők:

Az érzet iránya megegyezik a hangbeesés irányával, ha a jel:

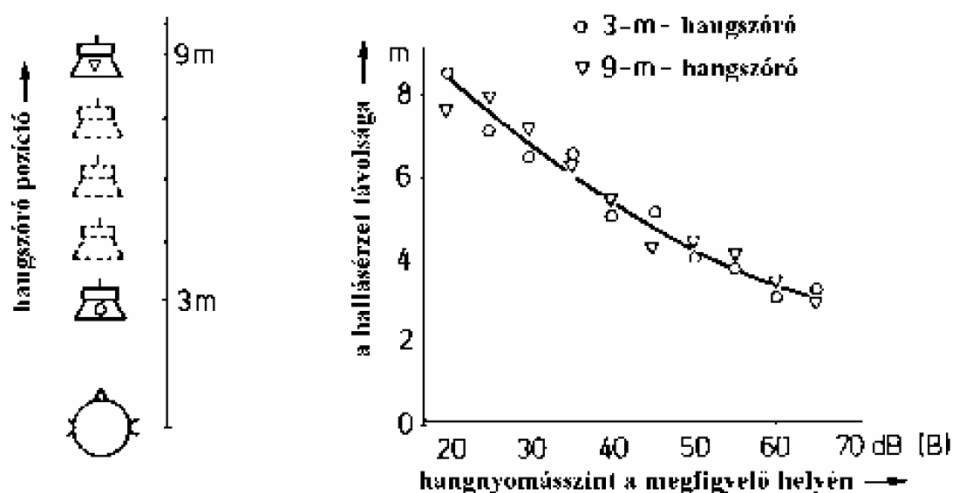
- szélessávú, és 7 kHz-nél nagyobb komponenseket is tartalmaz. A lokalizációs bizonytalanság 4°-ig csökken, ha változtatjuk a forrás irányát (emelkedési szögét).
- szélessávú, és alsó határfrekvenciája 2-8 kHz között van. Kisfrekvenciás zaj esetén irányinverzió léphet fel a felső határfrekvenciától függően (impulzus jelek esetén gyakoribb).

A jel „előéletének” szerepe abban nyilvánul meg, hogy a jeleket néhány jeltípusnál be lehet taníttatni. Általában az ismert jelek helye jobban meghatározható. Míg a fejhallgatós méréseknél, ahol a fülkagyló nem szűr, és a füljel nem tartalmaz helyinformációt, az érzet megjelenhet előlről is, és hátulról is, ami az egyén akaratától függ. A magas hangokat térben feljebb érzékeljük, mint a mélyeket, vagyis csökkenő frekvencia esetén az érzet helye süllyed, emelkedő esetén emelkedik.

Távolsághallás és fejközép-lokalizáció

Távolsághallás mérésére egy olyan kísérletet dolgoztak ki, melyben egy hangszórót közelítettek és távolítottak az alanytól a mediális síkban. A mozgással párhuzamosan az érzet is változott és azt figyelték meg, hogy 3 méternél közelebb elhajlás lépett fel. A fej befolyásolta a hullámokat és nem síkhullámok érkeztek be. Változik a füljel spektruma és szintje, mert a fej és a fülkagyló lineáris torzításai a távolság függvényében változtak. 600 Hz-ig az $1/r$ törvény alapján működött a függés, míg a futásidő ± 0.5 ms.-al ingadozott a frekvencia függvényében.

Közepes távolságokon (3-15 méter) csak a füljel hangnyomásszintje távolságfüggő, a távolság duplázásával 6 dB-es szintcsökkenés látható (10. ábra).



10. ábra Hallásérzet távolságának hangnyomásszinttől való függését mutató ábra

Nagy távolságok esetében (15 méteren túl) már a levegő torzítása is számottevő, 10 KHz-nél magasabb frekvencián okoz hallható változást.

Egy másik vizsgálat alkalmával a középvonalon elhelyeztek két hangforrást, egyiket 25 cm-re másikat 3 méterre és 1 sone hangosságú jelet sugároztak ki. A két érzet távolsága azonban csak 50 cm körüli volt, szemben a tényleges 275 cm-es távolsággal.

Fejhallgatóval végzett mérések esetén, mivel a fülkagyló nem szűr, fejhez közeli érzet vagy fejközép lokalizáció (FKL) alakulhat ki, ha a forrás a saját hangunk, vagy torzítatlan fejhallgatós átvitelnél. Ha a fülek ugyanazt a jelet kapják, egységes hallásérzet alakul ki. Míg szabadtéri vagy süketszobai kísérletekben nincs fejközép lokalizáció.

HRTF-mérés

HRTF definíciója síkhullámú terjedést és fülbe érkezést feltételez ezért a mérések hibát fognak tartalmazni. Egyrészt a süketszoba korlátozott méretei miatt a gömbhullámok nem tudnak teljesen kisimulni a forrástól a mérendő személyig. Másrészt csak közelíti a szabad hangteret, az állványok és a szék pedig visszaverődéseket okoznak. Ezek csökkentésére hangelnyelő anyaggal kell burkolni őket és a mért HRIR függvényeket ablakolni és időben csonkolni kell. Referenciaméréssel a hangszóró, erősítők hibái kiküszöbölhetőek [23].

Referenciajel méréséhez egy irányfüggetlen mikrofont használunk, amit a műfej közepének magasságában helyezünk el az átalakított forgóasztalon. A mért jel lesz a referencia. Mérés során a forgóasztalra tesszük műfejet és megismételjük a mérést. A referenciajel és a mért átviteli függvény komplex hányadosa a HRTF-függvény. Mivel ez a műfej (speciális iránykarakterisztikájú kétcsatornás mikrofonrendszer) átviteli függvénye, az irányfüggetlen mikrofonhoz képest.

Ha már ismerjük a HRTF-függvényeket a tér különböző irányjaiból, akkor egy választott hangforrás jelét azzal az információtartalommal ellátva olyan térérzet kelthető, ami a hangforrás helyének meghatározásához szükséges. A hangátvitel úgy történik, hogy a forrás és dobhártya közé illesztjük a HRTF-függvényeket, hasonlóan, mint a valóságos hallás esetén. Végül a forrás helyétől függetlenül számítógép segítségével kialakítható a forrás helyének változtatása [24].

Statisztikai módszerek

Herbert George Wells véleménye szerint „A statisztikus gondolkodásmód egyszer majd ugyanolyan létszükséglet lesz, mint az, hogy valaki írni és olvasni tud.”.

Arra a kérdésre, hogy a kísérletekből levont következtetések mennyire megbízhatóak, a statisztika adja meg a választ, valószínűségi állítás formájában. Dolgozatomban elvégzett kísérletek statisztikai elemzése jelen pillanatban a legfontosabb leíró statisztikai módszerek, átlag, módusz, szórás és medián számításig terjednek, azonban a későbbiekben tervezem egy átfogó matematikai statisztika analízis elvégzését is.

Adatgyűjtésem részleges adatfelvétel volt, a résztvevő véges számú alany segítségével végrehajtott ellenőrzött kísérlet formájában. Az egyszerű véletlen minta adatait adatbázisba rendeztem, hogy az adatok kinyerése hatékony legyen. Ábrázoláshoz oszlop és kördiagramokat valamint hisztogramot használtam. Jövőben meg kell határozni az adatok eloszlását, nullhipotézis meghatározása után paraméteres tesztek elvégzése szükséges (t-próba és varianciaanalízis).

Statisztikai tesztek két csoportra bonthatóak: paraméteres és nemparaméteres tesztekre. Paraméteres tesztek esetén a már ismert, normál eloszlású változó egyik paraméteréről a nullhipotézis állít valamit. Nemparaméteres teszteknel nem szükséges egy paraméter becslése és a normál eloszlás. Abban az esetben, ha arra vagyunk kíváncsiak, hogy két minta között van-e különbség, akkor bármelyik próba alkalmazható. Az elvégzendő statisztikai számításokhoz paraméteres tesztekre lesz szükség [53][54].

Paraméteres tesztek

z-teszt

A z-teszt alapkövetelménye, hogy a minta elemszámának 30 felett kell lennie, ekkor megadja, hogy két nagy minta származtatható-e ugyanabból a populációból, vagyis szignifikánsan különböznek-e az átlagaik. A nullhipotézis szerint az átlagok különbsége normális eloszlású véletlen változó, várható értéke pedig nulla. A nullától való lényeges eltérésnek kis valószínűsége van, ráadásul a szignifikancia-szint alatt van, akkor a nullhipotézis elvethető.

t-teszt

Kis számú minták esetén ($n < 30$) alkalmazható a t-teszt, amikor a valószínűségi eloszlás megváltozik, nem Gauss-görbe szerinti, hanem kövérebb vagy soványabb az elemszám függvényében. Alkalmazásának feltételei a változók függetlensége és normális eloszlása, valamint a minták szórásának egyenlőnek kell lennie.

Varianciaanalízis (ANOVA)

Mivel az élő rendszerek nagy variabilitásúak, a mérhető dolgok meghatározását nehezítik a független tényezők. Pontos számoláshoz csoportosítani kell az adatokat, azonban a kettesével való összehasonlítás rendkívül időigényes feladat. Varianciaanalízis segítségével több minta hasonlítható össze.

- Egyutas, egyszeres osztályozású varianciaanalízis (Oneway ANOVA): Kettőnél több független minta összehasonlítása
- Kétutas varianciaanalízis (Two-way ANOVA): Két független változó egyidejű hatásának vizsgálata [53].

Látássérült alapismeretek

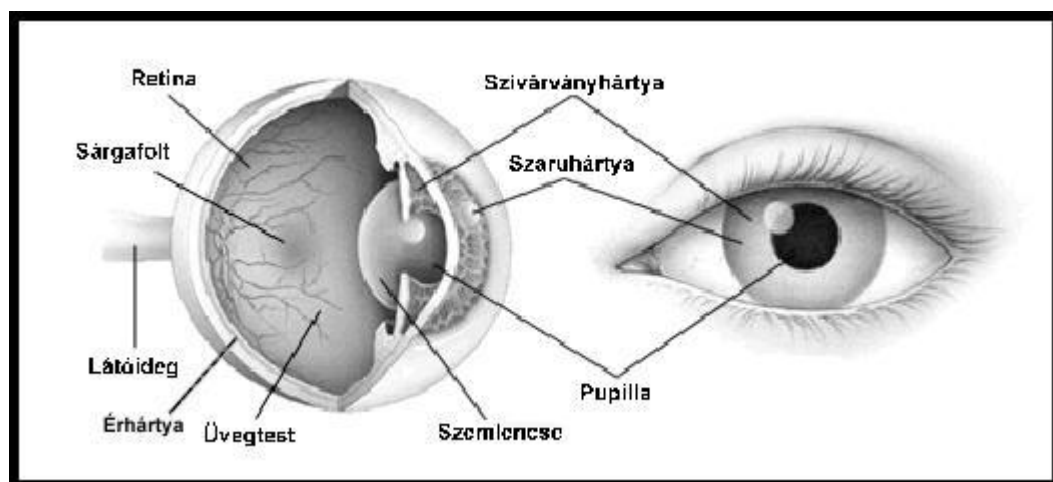
Látás

Szervezetünket elsősorban a külvilágból, környezetünkől fenyegeti veszély. Ezeket a behatásokat érzékszerveink hozzák tudomásunkra, általuk érzékeljük őket [25]. A környezetből szerzett információ megszerzése és feldolgozása általában közvetlen érintkezés útján valósul meg, de nem minden esetben.

Az ember a környezetével az érzékszervein keresztül tartja a kapcsolatot. A modern embernél az érzékszervek információ közvetítő szerepének megoszlása a következőképpen alakul: látás 90 %, hallás 5 %, tapintás 2 %, ízlelés 2 %, szaglás 1 % [26].

Szemünk nem csak felépítését, de működését tekintve is mestermű. A látás alapja az emberben és a gerinces állatokban a fényinger érzékelése, aminek kiindulópontja a szem (11. ábra) [25].

A szemgolyó szabályos golyó formája nélkülözhetetlen a tökéletes látáshoz. A szemben a fény bejutását a pupilla szabályozza. Ezért van, hogy hol összeszűkül, hol kitágul. Ha nagy a fény napközben, akkor összeszűkül, míg este a sötétben kitágul, így valamennyire éjszaka is látunk. Ha a szem golyó formája a legkisebb mértékben is megváltozik, akkor a szaruhártyán keresztül érkező, a lencsében megtörő fénysugár az üvegtesten keresztülhaladva, nem a megfelelő részére érkezik az ideghártyának. Ebben az esetben homályos képet látunk.



11. ábra Szem felépítése [27]

A szembe érkező képet a retina jelekké alakítja át. Ezek a jelek a látóidegek közvetítésével kerülnek az agy látóközpontjába. A szem rendkívül érzékeny, ha például porszem kerül a szemünkbe, az rögtön reagál az idegen anyagra pislogással és könnyezéssel. A szemben található milliónyi ideg közül, ha csak egy is károsodik, a látás romlik.

Látássérülés: színvakság, látásélesség

Látássérülteknek nemcsak a vakokat és gyengén látókat nevezzük, ide tartoznak azok az emberek is, akik nem látják vagy összekeverik a színeket, és olyanok is akik csak bizonyos napszakban látnak jól [28].

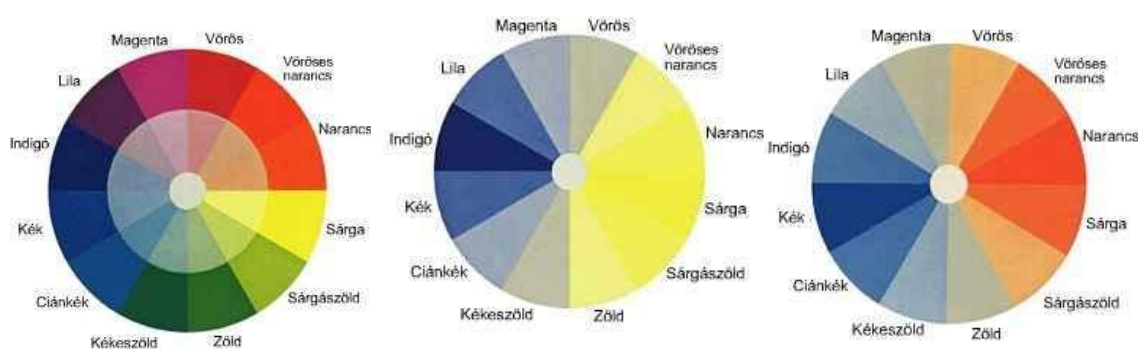
A színlátás zavarai kétféleképpen lehetnek öröklöttek és szerzetek. A szem ideghártyájában kétféle érzékelő receptoroknak két csoportját különböztetjük meg. Vannak a csapok és a pálcikák. A színek érzékelését csapok látják el, melyek lefedik az érzékelt fény teljes spektrumát.

A színek érzékelését végző receptoroknak három fő típusuk van a jellegzetes fényérzékelési spektrumnak megfelelően: vörös (570 nanométer), zöld (535 nm) és ibolya-kék (445 nm). Ha ezek közül bármelyik színérzékeny receptor típus hiányzik, azt színvakságnak (anopia) nevezzük. Ha a egyes receptorok mennyisége csökkent vagy nem működnek megfelelően, akkor a betegséget szintévesztésnek (anomália) nevezzük [29]. Egy jó színlátó több millió színárnyalatot meg tud különböztetni, míg egy

színtévesztő csak néhány ezret, esetleg csak pár százat [26]. A 12. ábrán látható, hogy a vörös-színvakok és a zöld-színvakok milyennek látják a teljes színekört.

Az emberiség körülbelül négy százaléka különböző mértékben összecsereéli a színeket. Magyarországon mintegy 400.000, az egész világon körülbelül 200 millió színtévesztő él.

Ha a színek érzékeléséért felelős összes csap hiányzik, akkor az a személy csak homályos fekete-fehér képet lát, ebben az esetben teljes színvakaságról (achromatia) beszélünk. Ilyenkor járulékosan jellemző a nagyon erős fényérzékenység is [29].



12. ábra A baloldali teljes színekörhöz képest, a vörös-színvakok (Protanopia) a középső színekör szerint látnak, míg a jobb oldali ábrán a zöld-színvakok (Deuteranopia) által látott színekör látható [30][31][32]

Az éles látás számszerűsített értéke a visus, vagy látásélesség. A szemünk felbontóképessége, ami azt mutatja meg, hogy mennyire kicsi részleteket vagyunk képesek még egymástól megkülönböztetni egy adott távolságból [33]. Ennek ellenőrzésére Magyarországon egy debreceni szemészprofesszor által kidolgozott tábla az elterjedt, az ún. Kettesy-féle olvasótábla (13. ábra). Segítségével a látásélesség 5 méterről meghatározható, értéke 0,1 és 1,0 között változik. A két szemem, együttesen kell meghatározni a látásélességet [34].



13. ábra Kettesy féle decimális látás-vizsgálótábla [35]

Szemünk felbontóképessége korlátozott. Ennek okai:

- a szemlencse hibái
- a szemlencse szélén fellépő fényelhajlás
- az érzékelő sejtek közti távolság

Egy átlagos szem esetén ezek nagyjából egyensúlyban vannak, ezáltal két pontszerű forrás megkülönböztetéséhez közel 1 ívperces távolság kell, nappal a látótér közepén. A fotoreceptorok sűrűsége sem egyenletes a retinán. Ezért a látótér közepén láthatunk teljesen élesen, a középtől távolodva a receptorok sűrűsége csökken. Ezáltal a felbontóképesség is romlik. Ezt azonban nem vesszük mindig észre, mert ha valamit érdekesnek találunk a látómező széle felé, automatikusan oda fordulunk, ezáltal a látómező közepére hozzuk [36].

Látássérülés: gyengénlátók, alig látók, vakok

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 [37].

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 [38].

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 [37].

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 [38].

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 (14. ábra), 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 kerül ki, mintha látná [25][28].



14. ábra Látássérült közlekedése fehér bot segítségével Készítette: Répás József 2011

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 [28].

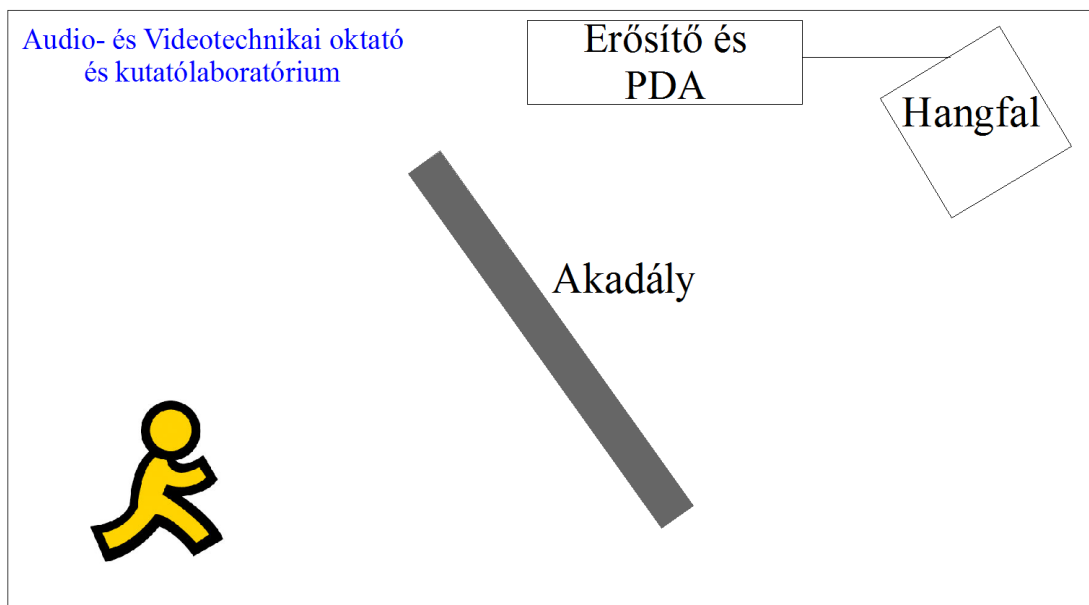
Lokalizációs kísérletek

Lokalizációs kísérletek két csoportját dolgoztam ki. Első csoport a zárt térben végezhető lokalizációs kísérletek, másik csoport pedig a szabad térben végezhető lokalizációs kísérletek.

Lokalizációs kísérlet zárt térben

Zárt térben elvégezhető lokalizációs kísérlet az úgynevezett laborkísérlet volt, melyet a Széchenyi István Egyetem Audio- és Videotechnikai oktató és kutatólaboratóriumában végeztem. Célja annak megállapítása volt, hogy látók vizuális inger nélkül (bekötött szemmel), pusztán hanghatások alapján (árnyékolások, visszaverődések) képesek-e az objektumok térbeli elhelyezkedésének érzékelésére.

A kísérlet során egy SONY TA-D505 erősítővel, a labor egyik sarkában elhelyezett hangfalból fehér zaj mérőjelet játszottam le, egy Fujitsu-Siemens Pocket LOOX N560 PDA segítségével. A résztvevő egyetemi hallgatóknak a labor másik sarkából kellett a hangfal felé sétálni és az útjában lévő akadályt (2*2 méteres, 2,5 cm vastag furnérlemez) érzékelni, „nem nekimenni” (15. ábra).

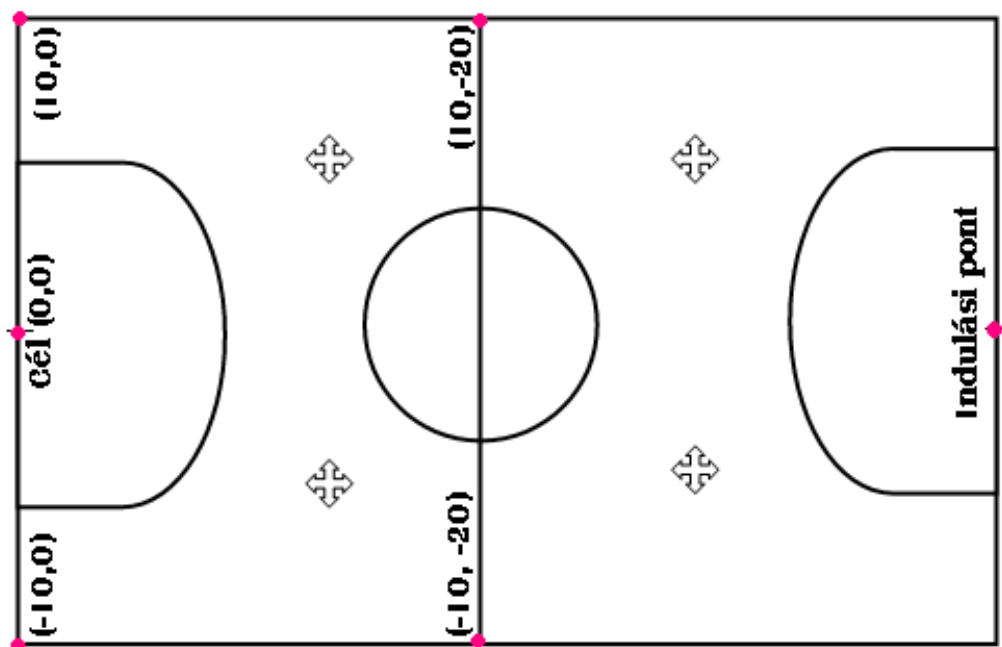


15. ábra Lokalizációs kísérlet zárt térben Készítette: Répás József 2011

Kísérleteim alapján elmondható, hogy az adott körülmények között szinte lehetetlen az akadály észlelése, a résztvevő 5 hallgató közül senkinek sem sikerült az akadály előtt megállni, mindenki nekiment. Az akadály nem árnyékolja le a hangfalat annyira, hogy a megváltozó hang alapján az alany észlelhessen azt. Ilyen típusú feladatok értékelhető eredményeket süketszobai környezetben adhatnak. Ezen kísérletek elvégzése is tervben van.

Lokalizációs kísérlet szabadtérben

Szabadtérben végrehajtott kísérletcsoport az úgynevezett „egyenestartás” vizsgálat volt. A feladat során a Széchenyi István Egyetem 40*20 méteres kézilabdapályáján, egyik kapu közepétől kellett a másik kapu közepéig egyenesen sétálni, az előző feladathoz hasonlóan szintén bekötött szemmel (16. ábra). Itt nem voltak közeli épületek, amelyekről a visszaverődő hangok zavarták volna a kísérletben résztvevők.



16. ábra Kézilabdapálya és nevezetes koordinátái [43]

A kísérletek során rögzítésre kerültek az útvonalak, táblázatos formában a megtett út, az idő és pálya elhagyásának koordinátája (17. ábra).

Nem (F-1;N-0)	Kor	Kéz (J-1; B-0)	Látó-1/Vak-0	Idő	Eltérés (X)	Eltérés(Y)	Út	Sebesség
1	21	1	1	31	-3,4	0	41	1,32
1	21	1	1	37	0	0	42	1,14
1	22	1	1	47	8,5	0	43	0,91
1	21	1	1	36	-2,6	0	44	1,22
				34	-0,5	0	42	1,24
1	24	1	1	63	-6,4	0	41	0,65
				42	1,5	0	44	1,05

17. ábra Eredmények rögzítésére szolgáló táblázat Készítette: Répás József 2011

Abban az esetben, ha valaki célba ért, akkor (0,0) koordinátával lett jelölve. Ha a jobb oldali saroknál hagyta el a pályát, akkor (10,0), míg a bal oldali saroknál (-10,0) koordinátákkal szerepel. Az oldalon való pályaelhagyás a második koordinátát módosította negatív irányban.

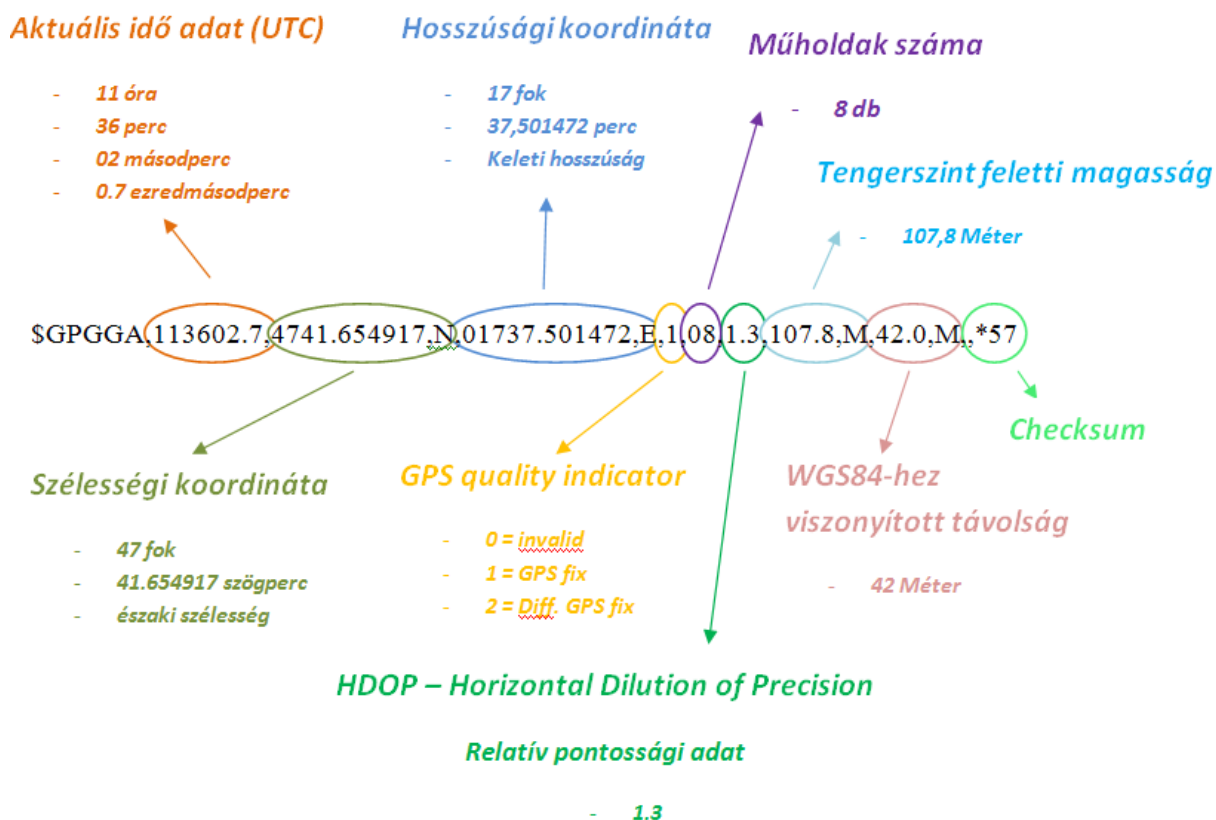
A útvonalak rögzítéséhez a High Tech Computer (HTC) Diamond 2-es készüléket választottam. A Microsoft Windows Mobile 6.1 Professional operációs rendszerrel működő mobiltelefon IGO 8-as navigációs szoftverrel és 20 csatornás GPS vevővel rendelkezik. Kis méretéből adódóan nem befolyásolja az alanyokat a kísérlet során, kézbe véve kényelmesen használható.

Nyomvonal rögzítés

A nyomvonal felvétele lehet egyszerű, vagy intelligens. Az egyszerű programnál beállítható, hogy a készülék milyen időközönként-, vagy milyen távolságonként rögzítse az GPS paramétereket. A navigációs szoftver lehetővé teszi az útvonaladatokat rögzítését, későbbi feldolgozását.

A készülék a GPS adatokat, például a pozíció meghatározó adatokat ún. GPS Fix Adatokat (Global Positioning System Fix Data - GPFGA), a sebességet meghatározó Track Made Good and Ground Speed (GPVTG) adatokat a .bin kiterjesztésű log fájlokban tárolja el. A GPS log fájl számunkra legérdekesebb része a GGA mondat (18. ábra), illetve a sebességet rögzítő mondat, ami alapján konvertálás után elkészül a .gpx kiterjesztésű fájl, amely a teljes útvonalat tartalmazza.

GGA mondat (Global Positioning System Fix Data)



18. ábra GPS GGA mondat szerkezete Készítette: Répás József 2011-03-04

A Föld nem szabályos gömb alakú, a geoid formát csak közelíteni lehet. Ehhez a közelítéshez több ellipszoid modellt dolgoztak ki (GRS80, NAD83, WGS84). A GGA mondatban a WGS84-hez viszonyított távolság szerepel. Az akár másodpercenként rögzített adatokat kinyerve a log fájlokból, a szoftver elkészíti a .gpx kiterjesztésű fájlokat, amelyek felhasználhatóak az útvonal kirajzolásához. A .gpx fájlok a GPS adatok szabványos tárolási formája.

.gpx fájlok feldolgozása

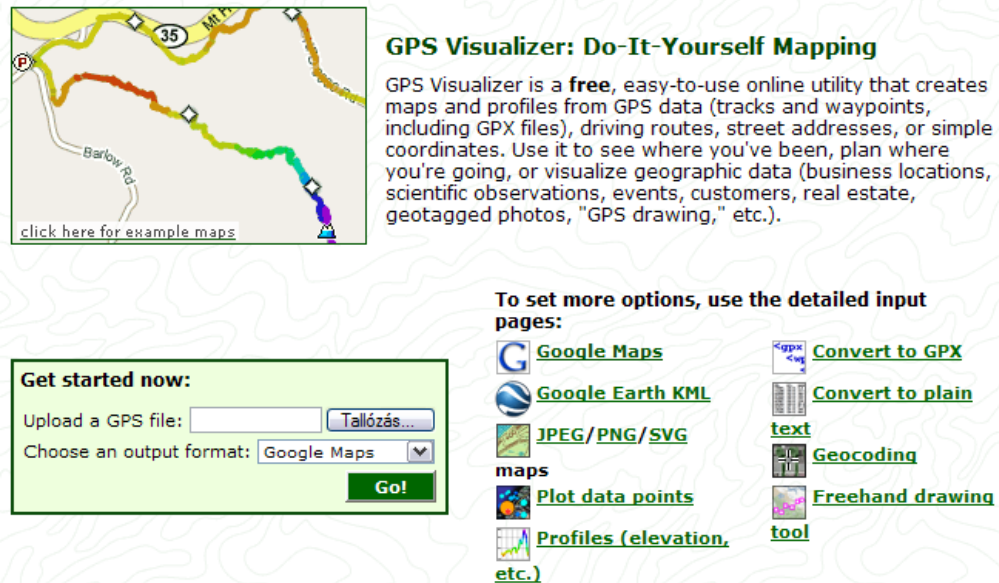
A .gpx típusú fájlok megnyitására alkalmas a Microsoft Excel nevű táblázatkezelő program, amelyben láthatjuk, hogy melyik időpontban milyen koordinátájú helyen voltunk (19. ábra).

A	B	C	D	E	F	G	H
1	/gpx						
2	@creator	@version	@version/#agg	@xsi:schemaLocation	/trk/trkseg/trkpt/@lat	/trk/trkseg/trkpt/@lon	/trk/trkseg/trkpt/time
3	IGO 8	1	1	http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69433892	17,6254158	2011.02.28 11:36
4	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69433951	17,62541533	2011.02.28 11:36
5	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69433987	17,62541676	2011.02.28 11:36
6	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69433939	17,62542117	2011.02.28 11:36
7	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69434023	17,62542236	2011.02.28 11:36
8	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69434166	17,62542355	2011.02.28 11:36
9	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,6943419	17,62542319	2011.02.28 11:36
10	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69434202	17,62542295	2011.02.28 11:36
11	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69435549	17,6254164	2011.02.28 11:36
12	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69438136	17,62541831	2011.02.28 11:37
13	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69438791	17,62542355	2011.02.28 11:37
14	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,6943866	17,62544513	2011.02.28 11:37
15	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69437838	17,62547731	2011.02.28 11:37
16	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69437921	17,62552249	2011.02.28 11:37
17	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69438267	17,62556267	2011.02.28 11:37
18	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69437778	17,62559807	2011.02.28 11:37
19	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69436991	17,62558877	2011.02.28 11:37
20	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69435644	17,62562907	2011.02.28 11:37
21	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69432867	17,62567699	2011.02.28 11:37
22	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69430685	17,62572491	2011.02.28 11:37
23	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69428706	17,6257689	2011.02.28 11:37
24	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69427609	17,6258024	2011.02.28 11:37
25	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69425964	17,6258347	2011.02.28 11:37
26	IGO 8	1		http://www.topografix.com/GPX/1/0	47,69424605	17,62586665	2011.02.28 11:37

19. ábra 007-es útvonalfájl megnyitása Microsoft Excel táblázatkezelővel

Készítette: Répás József 2011-03-05

Léteznek olyan alkalmazások, amelyek a .gpx kiterjesztésű fájlokat átkonvertálják egyéb formátumokra, hogy más programok számára is értelmezhetőek legyenek. Ilyen formátum például a Google Earth .kmz kiterjesztésű fájlja. Egyik szabadon használható alkalmazás a www.gpsvisualizer.com oldalon található, ami Google térképre is felrajzolja az útvonalat (20. ábra).



20. ábra www.gpsvisualizer.com oldal főoldala Letöltve: 2011-03-05 0:42

Legegyszerűbb és leggyorsabb módja az útvonal felrajzolásának, ha a Tallózás gombra kattintva kikeressük a .gpx kiterjesztésű fájlunkat, beállítjuk a kimeneti formátumot, majd a GO! gombbal elindítjuk a rajzolást. A kimeneti formátum lehet Google Maps, PNG képfájl, JPEG képfájl, vagy szöveges dokumentum is.

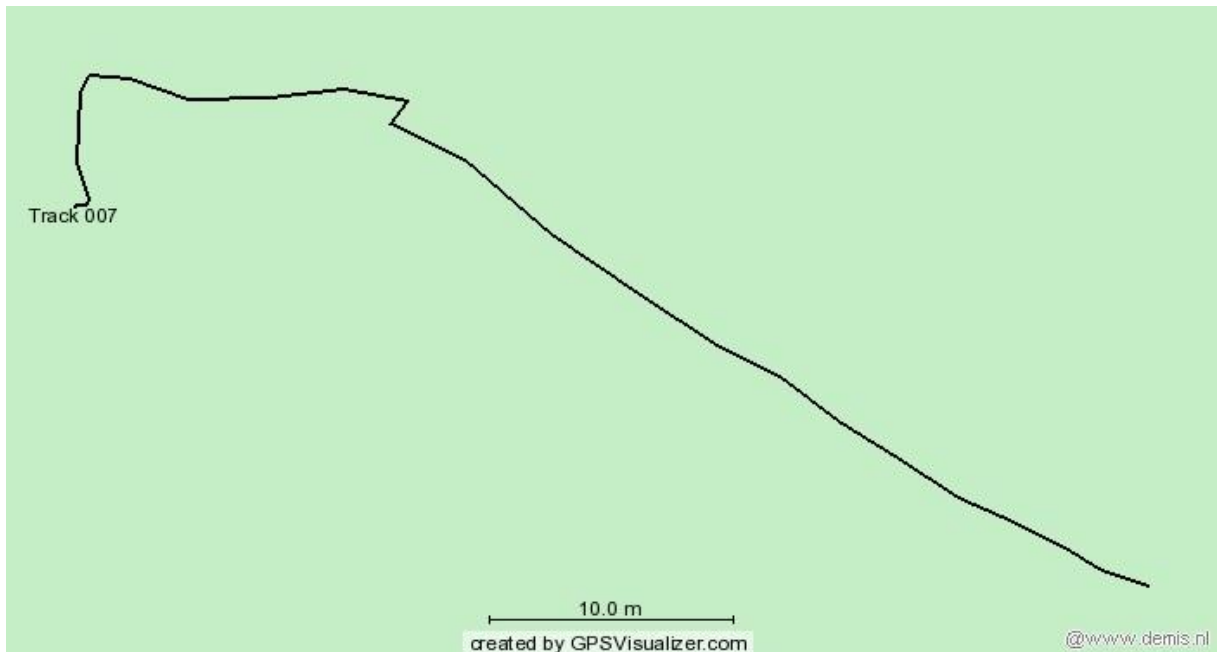
.gpx útvonalfájl megjelenítése

type	time	latitude	longitude	name	desc
T	2011-02-28 11:36:42	47.6943389	17.6254158		Track 007
T	2011-02-28 11:36:44	47.6943395	17.6254153		
T	2011-02-28 11:36:46	47.6943399	17.6254168		
T	2011-02-28 11:36:48	47.6943394	17.6254212		
T	2011-02-28 11:36:50	47.6943402	17.6254224		
T	2011-02-28 11:36:52	47.6943417	17.6254236		
T	2011-02-28 11:36:54	47.6943419	17.6254232		
T	2011-02-28 11:36:56	47.6943420	17.6254230		
T	2011-02-28 11:36:58	47.6943555	17.6254164		
T	2011-02-28 11:37:00	47.6943814	17.6254183		
T	2011-02-28 11:37:02	47.6943879	17.6254236		

21. ábra Track 007-es útvonalfájl Készítette: Répás József 2011-02-28

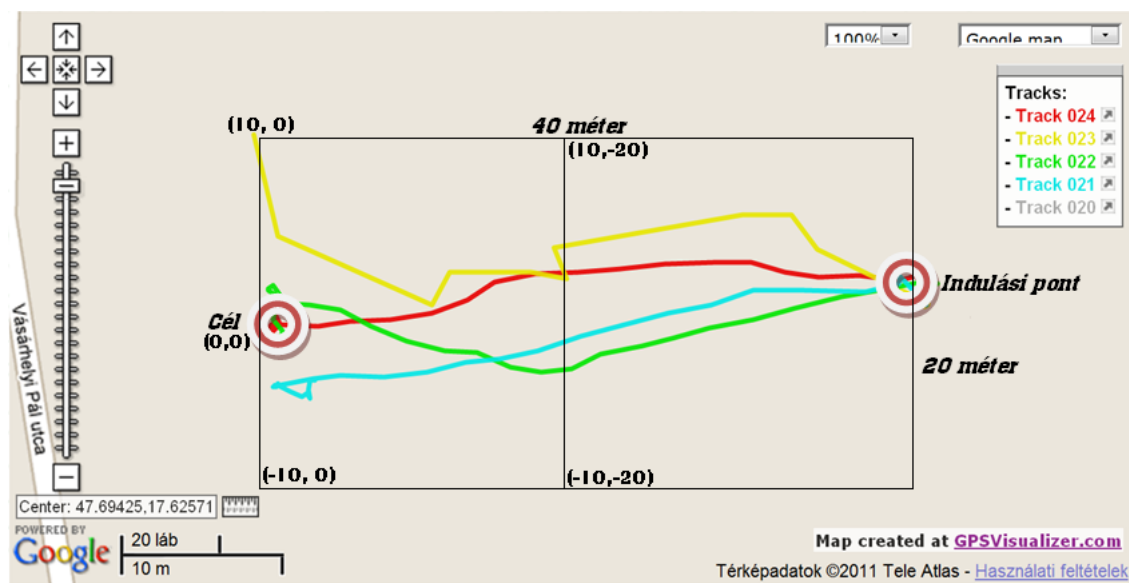
A 21. ábrán jól látható, hogy az egyes időpontokhoz milyen koordináták tartoznak. Ennél a fájlnál a rögzítés 2 másodpercenként történt. A 22. ábra az útvonalat mutatja. A

méretskála alapján látható, hogy egy adott szakasz hány méternek felel meg a valóságban.



22. ábra Track 007-es útvonalfájl Készítette: Répás József 2011-02-28

Az útvonal megjelenítésének legegyszerűbb módja egy szabadon használható alkalmazás ami a www.gpsvisualizer.com oldalon található, és Google térképre is felrajzolja az útvonalat. A 23. ábrán jól látható, hogy az útvonal a Győri Széchenyi István Egyetem területén, a Vásárhelyi Pál utca felőli oldalon lett rögzítve. Ez a terület az egyetem udvari kézilabdapályája.



23. ábra Útvonalak megjelenítése a GPSVisualizer.com oldalon [44]

Egyenestartás vizsgálat látókkal, akusztikai segítség nélkül

Az akusztikai segítség fontosságának megállapításához azonos körülmények között kellett vizsgálni a vizuális és akusztikai támpont nélküli, valamint az akusztikai támpont segítségével való kísérleteket. A kísérletekben részt vettek az egyetem hallgatói, a nyugdíjas egyetem lelkes résztvevői, valamint vállalkozó kedvű látássérültek egyaránt. Látók letakart szemekkel vesznek részt a kísérletekben, hogy az eredmények összehasonlíthatóak legyenek látássérült társaikéval. Külső befolyásoló tényezők közül legmeghatározóbb az időjárási tényező a szél volt, szeles időben nem lehetett kísérleteket végezni, mivel a szélirány segíthette volna az alanyokat. Eddig 120 látó (65 nő és 55 férfi) és 20 látássérült vett részt a kísérletekben. A látók 19 és 83 éves kor között.

A látássérült résztvevők kora 29 és 76 év között alakult. Közülük 13-an 100 %-os látássérültek, a többiek 80 - 99 % közti látásvesztéssel rendelkeztek. Utóbbiak esetében a látókhoz hasonlóan bekötött szemmel kellett a feladatot végrehajtaniuk, hogy vizuális támpontot ők se láthassanak egyáltalán. A résztvevők között voltak születés óta vakok, illetve olyanok, akik idő közben szenvedtek el látássérülést. Az látásukat utólagosan elvesztettek átlagosan 37 éve veszítették el látásukat, 11 év volt a legkevesebb annak, aki a legkésőbb veszítette el látását.

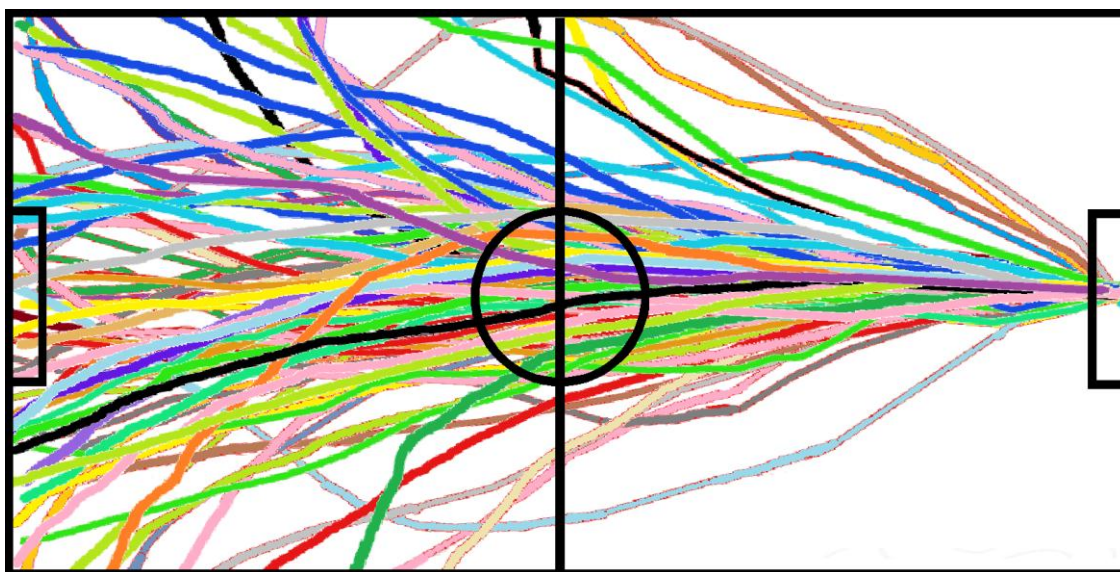
Első körben vizuális és akusztikai támpont nélkül kellett az alanyoknak, bekötött szemmel, az indulási pontból a cél felé sétálni (24. ábra). Ebből a kísérletből kettőt teljesítettek a résztvevők. A két próba között hajtották végre az akusztikus támpont segítségével zajló kísérleteket.



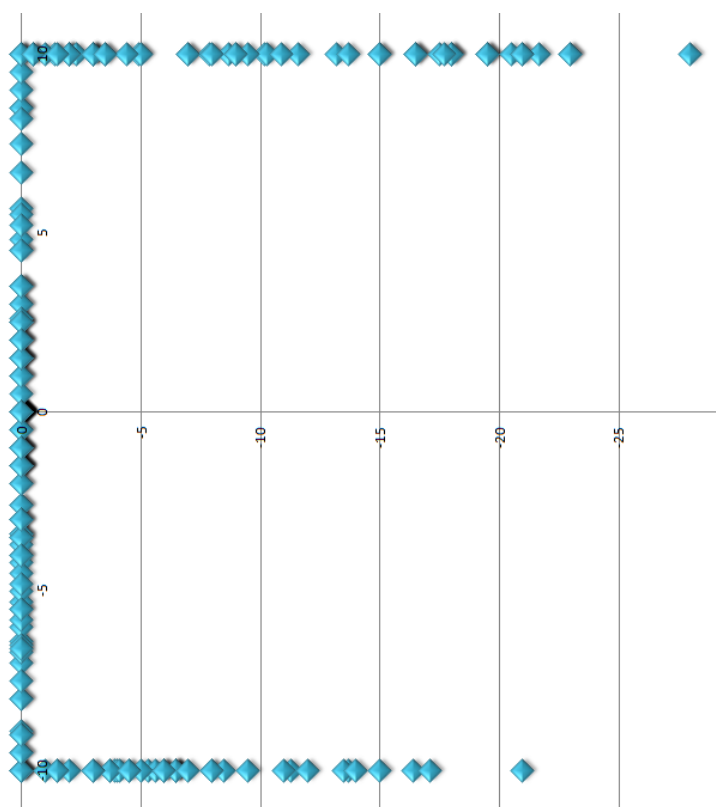
24. ábra Szemek bekötése után kezdődhet a kísérlet az indulási pontnál

Készítette: Wersényi György 2011

25. ábrán azok az útvonalak láthatóak, amelyeken az alanyok sétáltak. A 26. ábrán látható, hogy a 120 résztvevő a pálya melyik részén végzett a feladattal, ugyanis nem sikerült mindenkinek elérnie az alapvonalat. Több pont és útvonal fedl egymást, mert voltak, akik ugyanott hagyták el a pályát.



25. ábra Akusztikus támpont nélküli útvonalak Készítette: Répás József 2011



26. ábra 120 látó résztvevő pályaelhagyási pontjai Készítette: Répás József 2011

Az 2. táblázatból látható, hogy átlagosan 36,22 másodperc alatt hajtották végre a feladatot, a legnagyobb megtett út 46 méter volt. A pályát leghamarabb az oldalon elhagyó alany 17 másodperc alatt végzett a feladattal és a felpálya vonalát sem érte el.

2. táblázat Idő, pálya elhagyásának távolsága az alapvonalon (X-tengely), távolsága az oldalvonalon (Y-tengely) és a megtett út minimális, maximális, átlag és szórás értéke.

	Idő (mp)	Távolság (X, m)	Távolság (Y, m)	Megtett út (m)
Maximális	76	10	0	46
Minimális	17	-10	-28	18
Átlag	36,22	0,26	-4,05	40,13
Szórás	9,45	7,60	6,36	4,72

A 3. táblázat az alapvonalat elérők eredményeit mutatja. Látható, hogy a leggyorsabb alany 21 másodperc alatt sétált végig a pályán, az átlagos idő 38,01 másodperc volt, míg az átlagos eltérés 0,71 méter volt bal oldali irányban.

3. táblázat Alapvonalat elérők eredményei

	Idő (mp)	Távolság (X, m)	Távolság (Y, m)	Megtett út (m)
Maximális	76	10	0	46
Minimális	21	-10	0	40
Átlag	38,01	-0,71	0	41,93
Szórás	8,79	4,87	0	1,66

A 120 résztvevő 56 %-a, (67 fő) érte el az alapvonalat, első, második alkalommal, vagy esetleg mind a két próba alkalmával.

18 % jobbra, 23 % balra tért el, míg 11 % ért célba. Részletes eltérések a 4. táblázatból olvashatóak le.

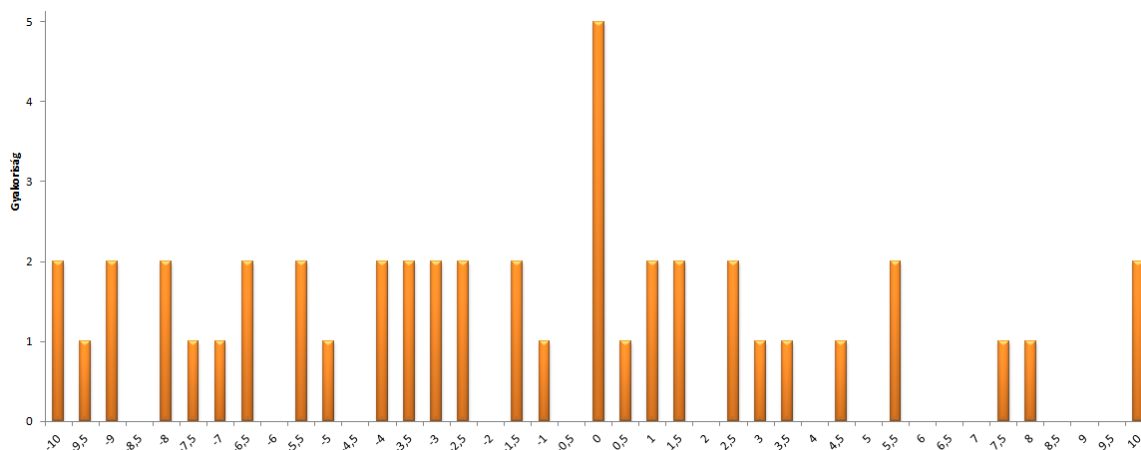
4. táblázat Eltérések az alapvonalon

	1 méteren belül	1-5 méter között	5-10 méter között	Összesen
Jobbra	2%	11%	5%	18%
Balra	4%	11%	8%	23%
Cél				11%
Sarkok				4%
Összesen				56%

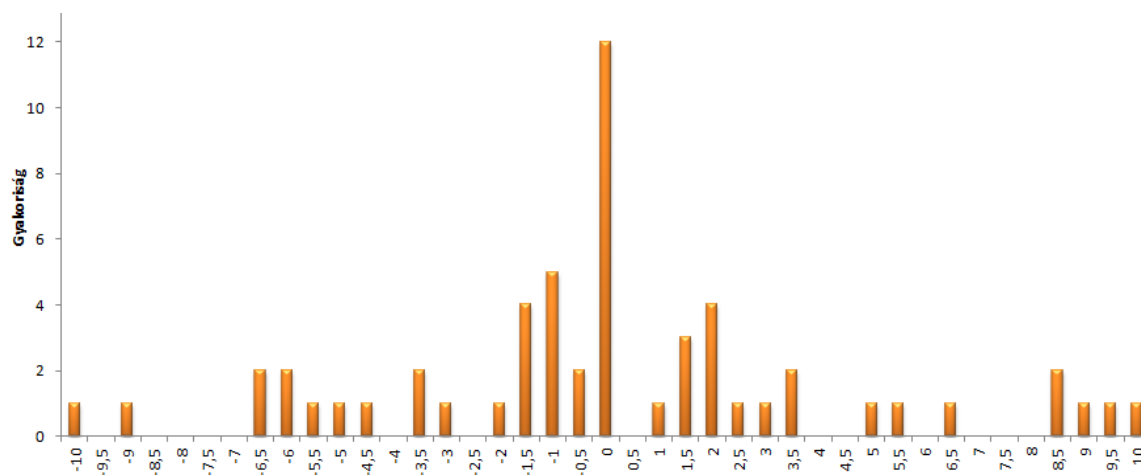
Az 5. táblázatban látható, hogy 120 résztvevőből 92-en teljesítették kétszer az első feladatot, közülük első körben 46-an érték el az alapvonalat, vagyis nem mentek ki oldalt és 5-en érték be a célba. Ismétléskor már 56-an érték el az alapvonalat és a célba érők száma is növekedett. Ez azt jelentheti, hogy mérsékelt tanulási és alkalmazkodási folyamat figyelhető meg, ami a 27. és 28. ábrán látható, hogy második alkalommal a célhoz közeledve egyre több érték található, lényegesen több mint az első próbánál. A nulla értéknél lévő kiugrások a próbánkénti célba éréseket mutatják.

5. táblázat Alapvonalat elérték és célba érők száma a 92 feladatot megismétlőből

	Alapvonalat elérte			Célba ért		
	Összesen	Férfi	Nő	Összesen	Férfi	Nő
Első próba	46	28	18	5	4	1
Második próba	56	36	20	12	10	2



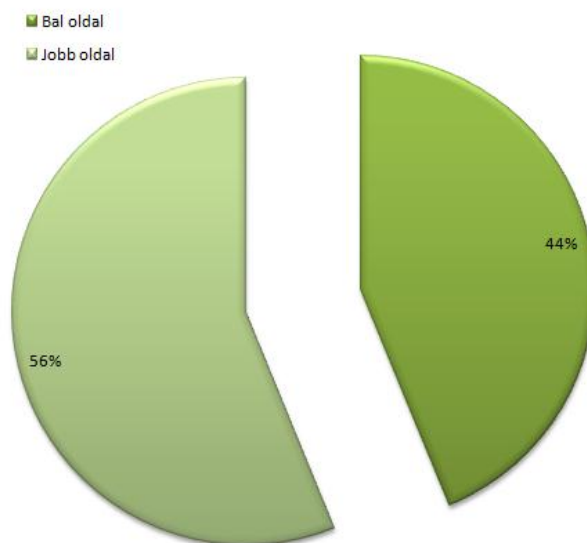
27. ábra Az első próba alkalmával, az alapvonalat elérők pályaelhagyási pontjainak gyakorisága



28. ábra Második próba alkalmával, az alapvonalat elérők pályaelhagyási pontjainak gyakorisága

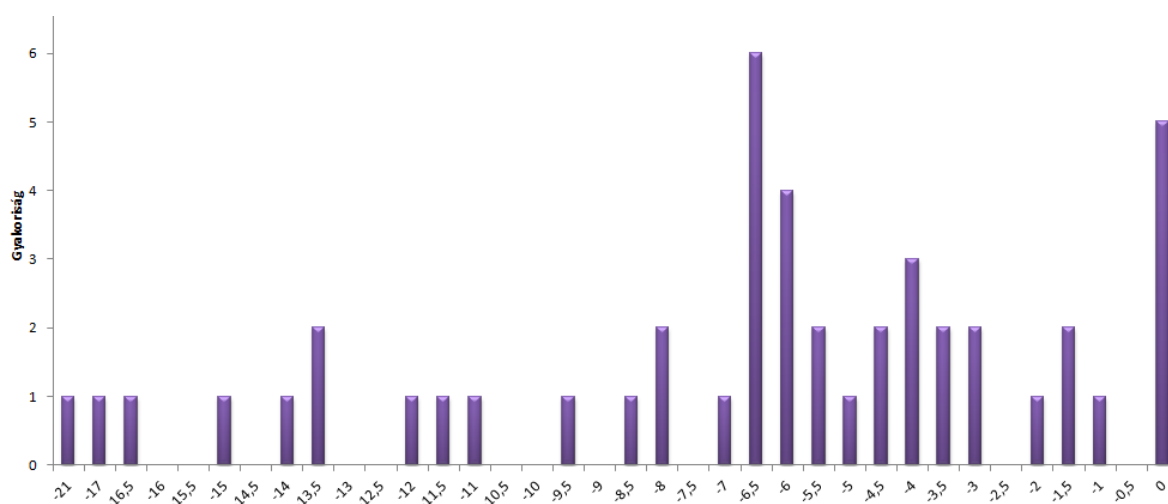
A 27. ábrán egy közel egyenletes eloszlás figyelhető meg, míg a megismételt próba alkalmával már haranggörbe jelleg figyelhető meg (28. ábra).

Az 53 pályát oldalt elhagyó alany (44 %) nem érte el az alapvonalat, vagyis ők azok, akik legkevésbé tudtak egyenesen menni. Közülük 56 % jobb oldalon, 44 % pedig baloldalon hagyta el a pályát (29. ábra).



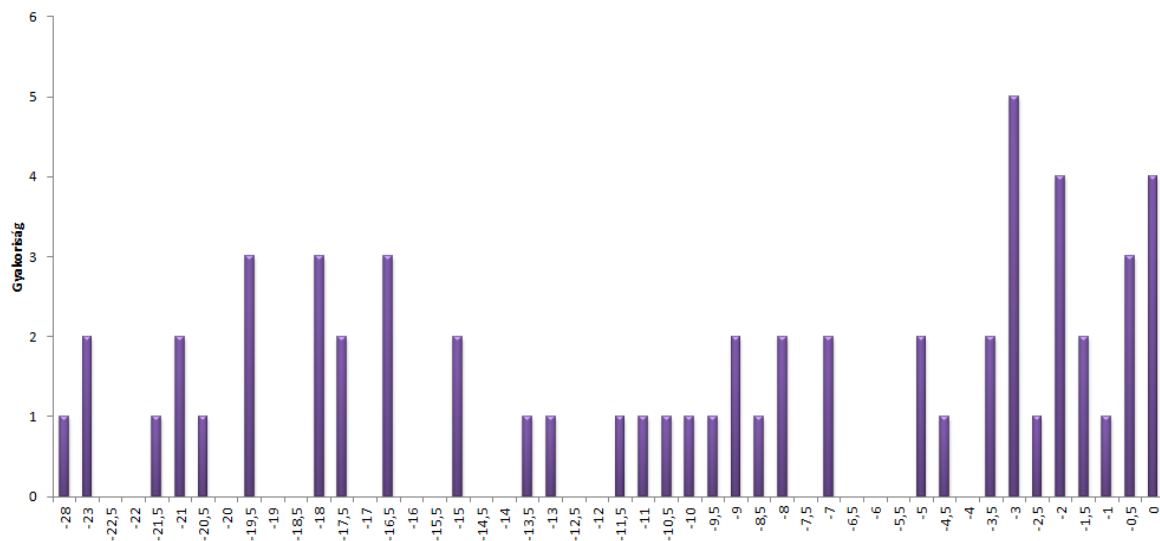
29. ábra Pályát oldalt elhagyók oldal szerinti százalékos megoszlása

A 30. ábra a pályát baloldalon elhagyók pályaelhagyási pontjainak eloszlását mutatja. Megfigyelhető, hogy a 6 és 7 méter között 11 alany hagyta el a pályát, ami a pályát baloldalon elhagyók majdnem negyede.



30. ábra Pályát baloldalon elhagyók pályaelhagyási pontjainak eloszlása

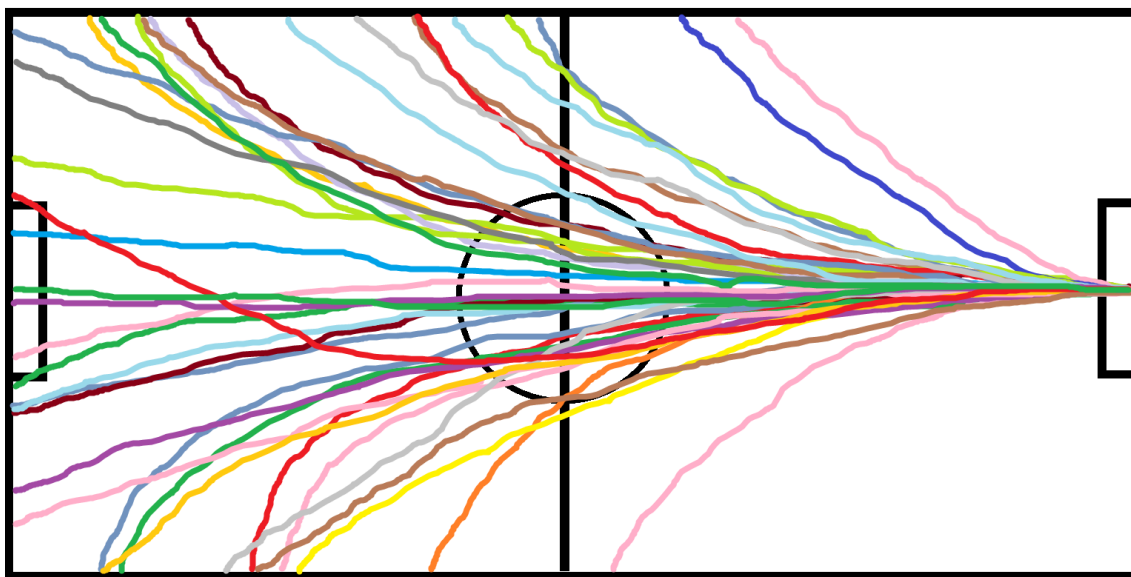
Ilyen kiugrás a pályát jobb oldalon elhagyóknál 1,5 és 3,5 méter között figyelhető meg, a résztvevők közel negyede hagyta el itt a pályát (31. ábra).



31. ábra Pályát jobboldalon elhagyók pályaelhagyási pontjainak eloszlása

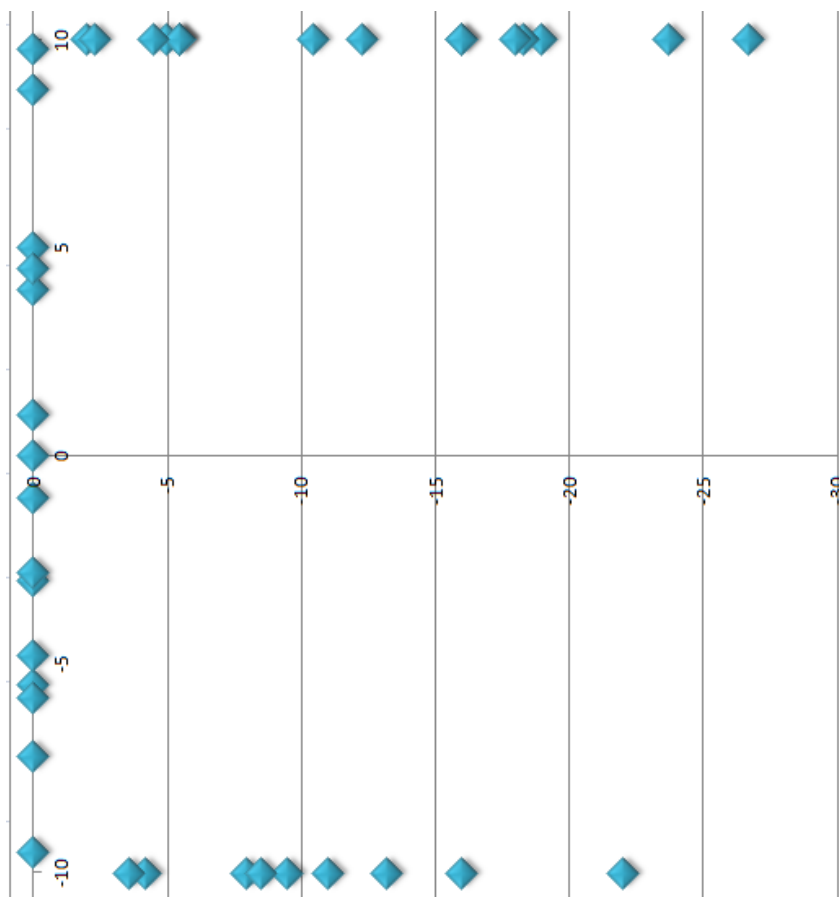
Egyenestartás vizsgálat látássérültekkel, akusztikai segítség nélkül

Látássérültek esetében is azonos volt a feladat, a kapu közepére állva, szembe fordulva a másik kapu közepével, GPS-el a kézben kellett egyenesen sétálniuk. 32. ábrán azok az útvonalak láthatóak, amelyeken az alanyok sétáltak. A 33. ábrán pedig, hogy a 20 résztvevő a pálya melyik részén végzett a feladattal, ugyanis nem sikerült mindenkinek elérnie az alapvonalat. Néhány pont és útvonal fedi egymást, mert voltak, akik ugyanott hagyták el a pályát.

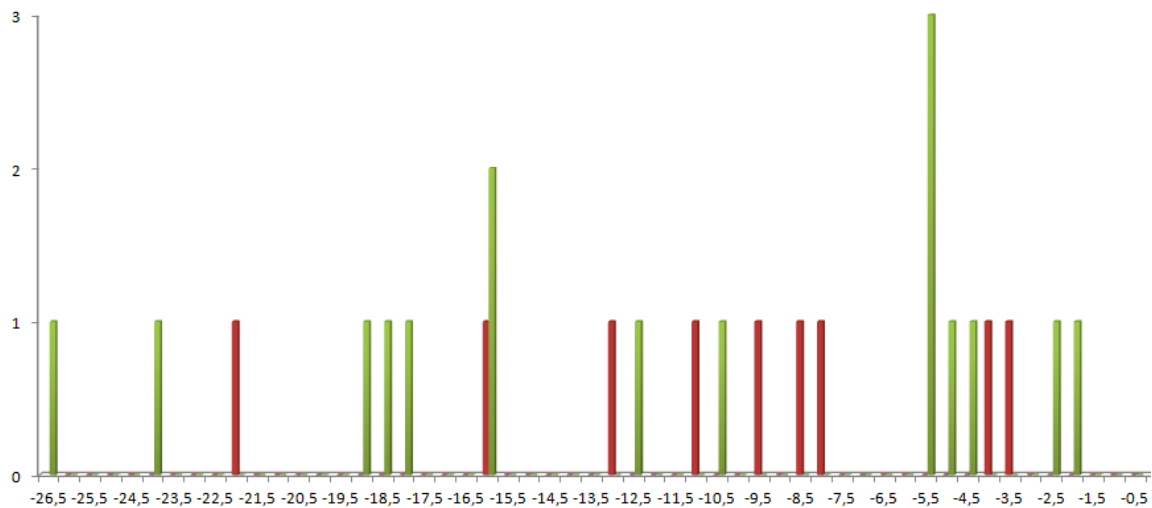


32. ábra Akusztikus támpont nélküli útvonalak Készítette: Répás József 2011

20 résztvevő 40 kísérlete közül 15 kísérletben elérték az alapvonalat, 9 esetben a jobboldalon, 16 alkalommal pedig a baloldalon hagyták el a pályát. A pályaelhagyásuk eloszlása a 34. ábrán látható. Résztvevők alacsony száma miatt messzemenő következtetést egyelőre nem lehet levonni, további kísérletek szükségesek, azonban az látszik, hogy a látássérültek közül is inkább a jobb oldal felé tartottak az alanyok. Lehet összefüggés aközött, hogy jobb vagy balkezesek-e az alanyok, mivel az egyik balkezes résztvevő baloldalon hagyta el a pályát, míg a jobbkezesek javarészt jobb oldalon.



33. ábra 20 látássérült résztvevő pályaelhagyási pontjai Készítette: Répás József 2011



344. ábra 20 látássérült 40 kísérletének pályaelhagyási pontjainak eloszlása. Piros színnel azok vannak jelölve, akik a baloldalon hagyták el a pályát, zöld színnel pedig akik a jobb oldalon

Az 6. táblázatból látható, hogy átlagosan 40,65 másodperc alatt hajtották végre a feladatot, a legnagyobb eltérés az oldalvonalon 26,7 méter volt. A pályát leghamarabb az oldalvonalon elhagyó alany 19 másodperc alatt végzett a feladattal és a felpálya vonalát sem érte el.

6. táblázat Idő, pálya elhagyásának távolsága az alapvonalon (X-tengely), távolsága az oldalvonalon (Y-tengely) minimális, maximális, átlag és szórás értéke.

	Idő (mp)	Távolság (X, m)	Távolság (Y, m)
Maximális	80	10	0
Minimális	19	-10	-26,7
Átlag	40,65	1,58	-7,17
Szórás	12,65	8,59	7,92

A 7. táblázat az alapvonalat elérők eredményeit mutatja. Látható, hogy a leggyorsabb alany 21 másodperc alatt sétált végig a pályán, az átlagos idő 44,33 másodperc volt, míg az átlagos eltérés 0,43 méter volt bal oldali irányban.

7. táblázat Alapvonalat elérők eredményei

	Idő (mp)	Távolság (X, m)	Távolság (Y, m)
Maximális	76	9,8	0
Minimális	21	-9,5	0
Átlag	44,33	-0,43	0
Szórás	11,13	5,85	0

Összehasonlítva a 1. és 6 táblázat, és a 2. és 7 táblázat eredményeit, látható, hogy a látássérültek átlagosan 4,43 másodperccel tették meg lassabban a feladathoz tartozó útvonalat, akik elérték az alapvonalat, ők is lassabbak voltak átlagosan 6,23 másodperccel. A látássérültek közül, akik elérték az alapvonalat átlagosan 0,28 méterrel

közelebb végeztek a célhoz, ám a látók és látássérültek egyaránt balra tartottak. Az oldalvonalat a látássérültek átlagosan 3,12 méterrel hamarabb lépték át, mint a látók. Ezek az eredmények azt igazolják, már kevés számú látássérült részvétele után is, hogy ebben a feladatban nincs számottevő különbség látók és látássérültek között. Abban a tekintetben, hogy egy bekötött szemű látóról, vagy egy látássérültről van-e szó, nincs különbség az egyenestartás vizsgálatokban elért eredményekben.

Egyenestartás vizsgálat click-train impulzussal

Szabadtéri lokalizációs kísérletek második feladata szintén egyenestartás vizsgálat volt, amely az úgynevezett hangkibocsátó tárgyak lokalizációja. Ennél a feladatnál akusztikai támpontként a célban elhelyezett hangforrásból gerjesztő jeleket játszottam le.

A gerjesztő jelek CD-minőségű (mono) wave vagy 192kbps mp3 formátumban állnak



35. ábra Hangsugárzó 110 cm magasságban, a célban
Készítette: Wersényi György 2011

rendelkezésre és a laborkísérletnél is használt Microsoft Windows Mobile 5.0 for Pocket PC Premium Edition operációs rendszerrel működő Fujitsu-Siemens Pocket LOOX N560 PDA-ról kerülnek lejátszásra. A fejhallgató-kimenetet összekötöttem egy SONY TA-D505 erősítővel és egy egyutas hangsugárzóval, ami 110 cm-es magasságban került elhelyezésre (35. ábra). A kibocsátott hangnyomásszintet BK 2260-as kézi zaj-analizátorral ellenőriztem a hangszóró fő tengelyében 1 méter távolságban. Ennek értéke 80,4 dB.

Ennél a kísérletnél a mérőjel ún. 1-kHz click-train gerjesztés volt, amely során 200 ms hosszúságú 1 kHz-es szinuszcsoportot követ egy 200 ms-os csend stb. Ez wave editorban az alábbi módon néz ki (36. ábra).

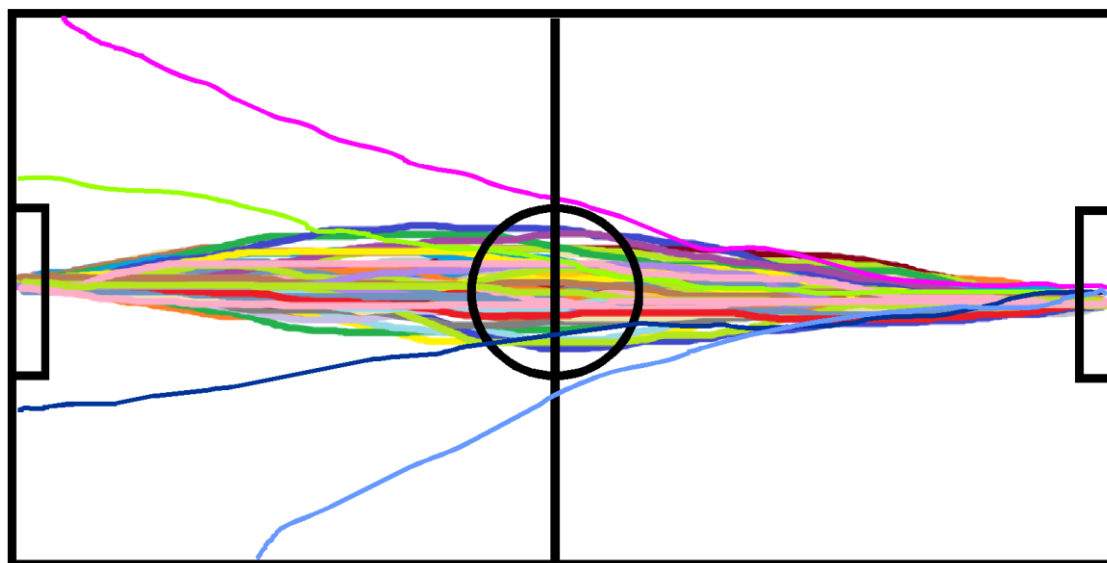


36. ábra Click-train gerjesztés Készítette: Tasi István 2011

A 8. táblázatban a Click train gerjesztéses kísérletben résztvevő 99 látó alany eredményei találhatók. Ennél a kísérletnél két alany volt, aki nem ért célba, 2,5 méteres és 3,1 méteres eltérést produkált az alapvonalon, másik két alany pedig az oldalvonalon hagyta el a pályát -1 és -12 méterrel az alapvonal elérése előtt. Átlagosan 43,54 másodperc alatt tették meg az átlag 40,68 méteres utat. Az útvonalak grafikusan a 37. ábrán látható. A 31 méteres minimális megtett utat a pályát a bal oldalvonalon elhagyó alany tette meg.

8. táblázat Click train gerjesztés eredményei

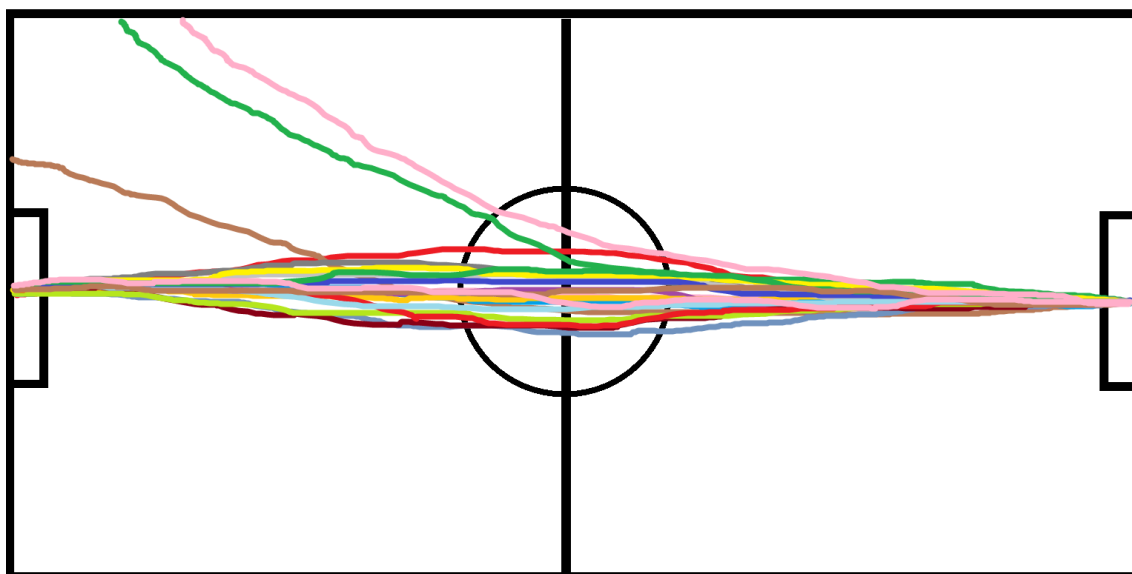
	Idő (mp)	Távolság (X, m)	Távolság (Y, m)	Megtett út (m)
Maximum	95	3,1	-12	42
Minimum	21	2,5	-1	31
Átlag	43,54	0,03	-6,50	40,68
Szórás	12,44	0,46	3,88	1,02



37. ábra Click train gerjesztéses útvonalak, valamint a 4 darab célt el nem érő útvonala

Készítette: Répás József 2011

Látássérültek esetében is azonos volt a feladat, a kapu közepére állva, szembe fordulva a másik kapu közepével és az ott elhelyezett hangszóróval, GPS-el a kézben kellett egyenesen sétálniuk. 38. ábrán azok az útvonalak láthatóak, amelyeken az alanyok sétáltak.



38. ábra Click train gerjesztéses útvonalak, valamint a 3 darab célt el nem érő látássérült útvonala

Készítette: Répás József 2011

A 9. táblázatban a click train gerjesztéses kísérletben résztvevő 20 látássérült alany eredményei találhatók. Ennél a kísérletnél két alany volt, aki nem ért célba, 2,5 méteres eltérést produkálva jobb és bal irányban az alapvonalon, másik két alany pedig az oldalvonalon hagyta el a pályát -3,3 és -5,5 méterrel az alapvonal elérése előtt. Ezen alanyok esetén feltételezhető a hallás jelentős romlása, illetve az irányhallás elvesztése. Átlagosan 48,75 másodperc alatt tették meg az utat.

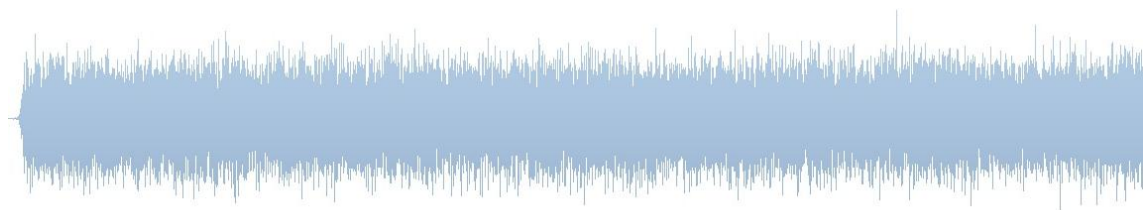
9. táblázat Látássérültek click train gerjesztés eredményei

	Idő (mp)	Távolság (X, m)	Távolság (Y, m)
Maximum	77	2,5	-5,5
Minimum	20	-2,5	-3,3
Átlag	48,75	0	-4,4
Szórás	15,31	0,86	1,56

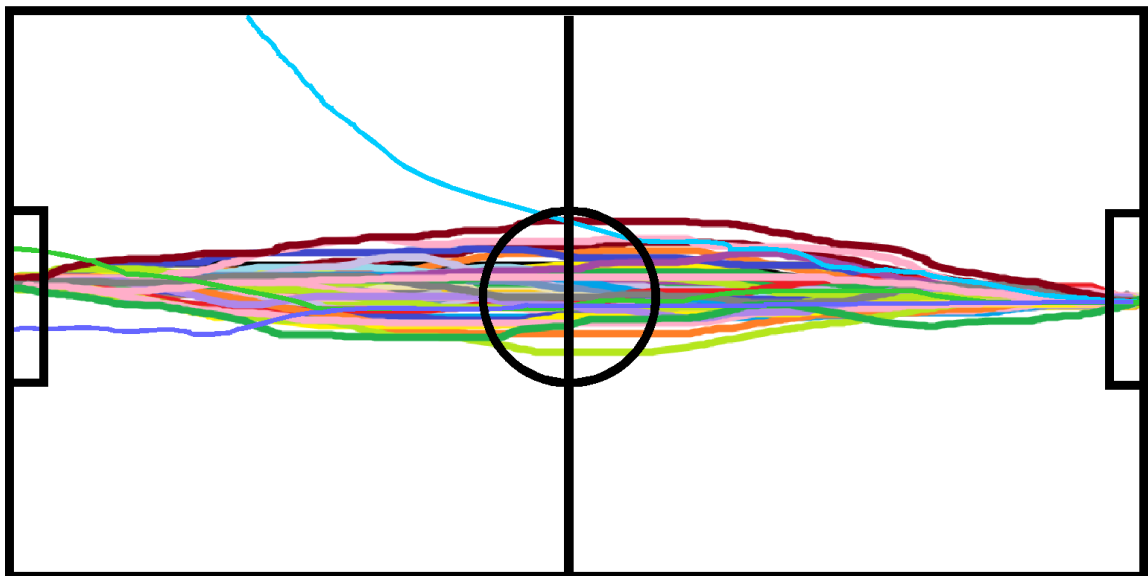
Összevetve a 8. és 9. táblázat eredményeit látható, hogy átlagosan 5,21 másodperccel teljesítették lassabban a feladatot a látássérültek. Valószínűsíthetően a bizonytalanságból adódóan, hogy ők csak elmondás alapon tudták, hogy mi a feladat, hol vannak, míg a látók a feladat megkezdése előtt látták, hogy hol vannak és nyugodtabbak voltak, hogy nem ütköznek majd akadályba.

Egyenestartás vizsgálat fehérzaj gerjesztéssel

A fehérzaj gerjesztéssel végzett kísérletek formailag teljes mértékben megegyeztek a click train gerjesztéses kísérlettel, ám ezúttal a gerjesztő jel fehérzaj volt (39. ábra). Az útvonalak a 40. ábrán figyelhetők meg, ahol látszik, hogy eltekintve egy alanytól, aki a jobb oldalon hagyta el a pályát és két másik alanytól, akik a hangforrás mellé sétáltak, mindenki elérte a célt.



39. ábra Fehérzaj gerjesztőjel wave editorban Készítette: Tasi István 2011



40. ábra Fehérzaj gerjesztéssel végzett kísérletek Készítette: Répás József 2011

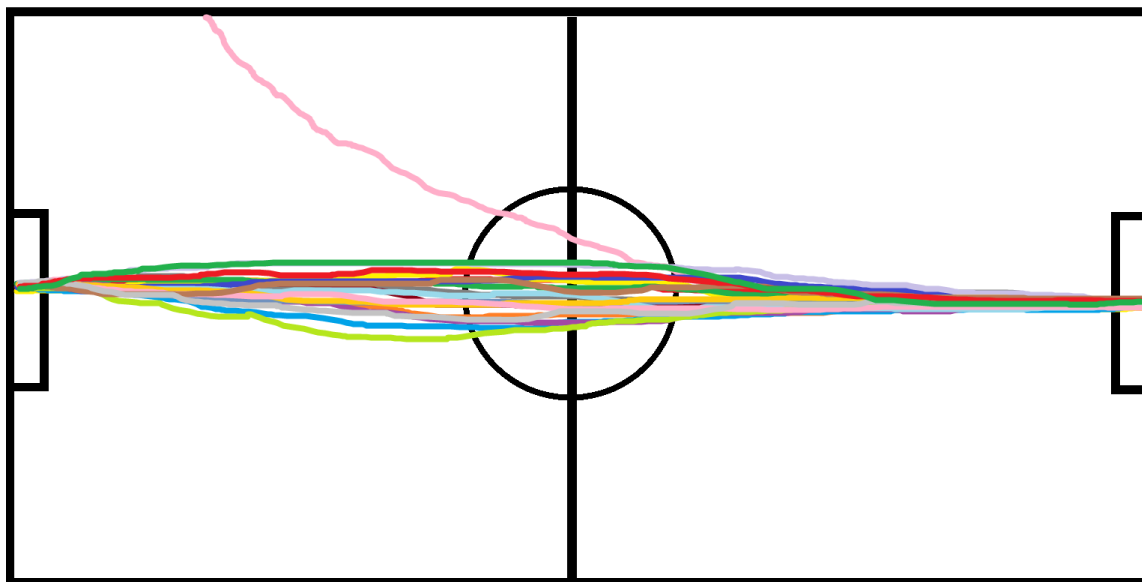
A 10. táblázatból látható, hogy a 92 résztvevő az alapvonalon átlagosan, minimálisan és maximálisan is 0,5 méter volt az eltérés. Ez azért lehetséges, mert jobb és baloldal felé is fél méteres volt az eltérés. Átlagosan 41,18 másodperc alatt tették meg az átlagos

40,84 méteres utat. A legrövidebb 31 méteres megtett utat, a pályát az oldalvonalon elhagyó alany tette meg.

10. táblázat Fehérzaj gerjesztés esetén elért eredmények

	Idő (mp)	Távolság (X, m)	Távolság (Y, m)	Megtett út (m)
Maximum	73	0,5	-10,6	41
Minimum	23	0,5	-10,6	31
Átlag	41,18	0,50	-10,6	40,84
Szórás	10,20	0	0	0,98

A fehérzaj gerjesztéssel végzett kísérletek a látássérültek esetében is, formailag teljes mértékben megegyeztek a click train gerjesztéses kísérlettel. Az útvonalak a 41. ábrán figyelhetőek meg, ahol látszik, hogy ismét volt egy alany, aki a jobb oldalvonalon hagyta el a pályát. Formális beszélgetés alkalmával kiderült, hogy ő csak a jobb fülére hall, irányhallása nincsen és a hangot, amit követett, inkább a pálya jobb oldalánál lévő épületről visszaverődve hallotta, ezért volt a tévedés.



41. ábra Fehérzaj gerjesztéssel végzett kísérletek Készítette: Répás József 2011

A 11. táblázatból látható, hogy a 20 résztvevő az alapvonalon átlagosan, minimálisan és maximálisan is 0 méter volt az eltérés, vagyis mindenki célba ért, kivéve ugyanaz az

egy alany, aki jobb oldalon hagyta el a pályát, hasonló képpen a click train gerjesztéses feladatnál. Átlagosan 44,45 másodperc alatt teljesítették a feladatot.

11. táblázat Fehérzaj gerjesztés esetén elért eredmények

	Idő (mp)	Távolság (X, m)	Távolság (Y, m)
Maximum	107	0	-5,5
Minimum	28	0	0
Átlag	44,45	0	-0,275
Szórás	17,85	0	1,23

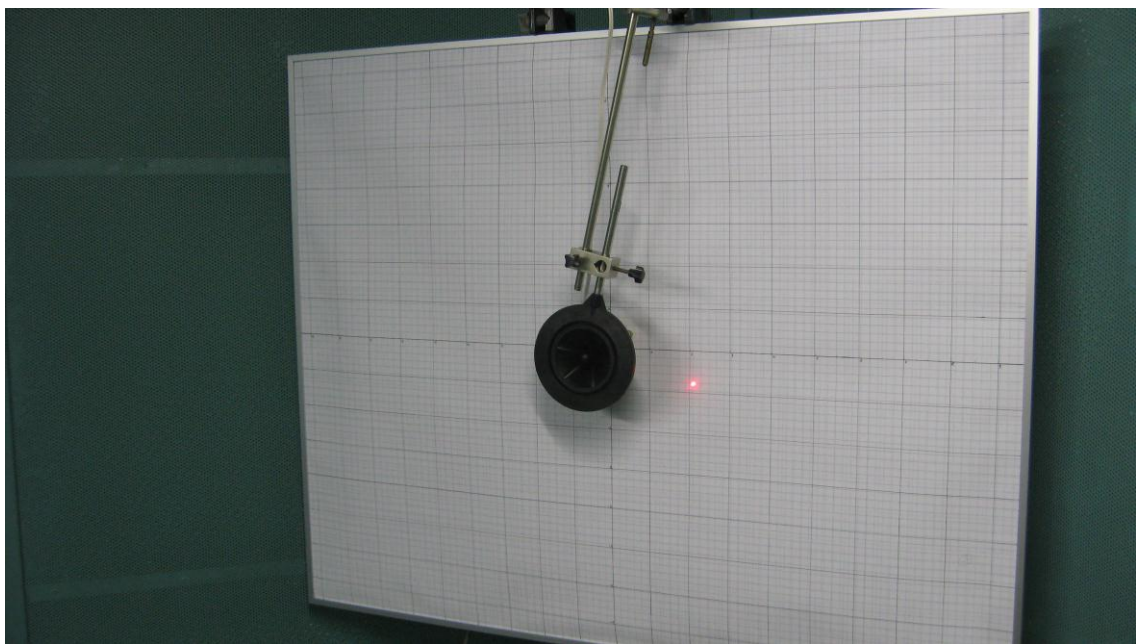
Az akusztikai támpont segítségével végrehajtott kísérletek egyértelműen bebizonyították, hogy míg süketen és vakon nem tudunk, vagy csak kis %-os arányban tudunk egyenesen menni és elérni a célt, addig akusztikus segítséggel néhány kivételtől eltekintve mindenki sikeresen teljesítette a feladatot. Ezeknél a kivételeknél vélhetően a hallás károsodása miatt nem tudták megfelelően teljesíteni a feladatot.

A kétféle gerjesztő jel között számottevő és értékelhető különbség nincsen, formális beszélgetések alkalmával megtudtam, hogy a fehérzaj jobban tetszett a résztvevőknek, a click train impulzus zavaró volt. A két gerjesztő jellel végzett kísérletek során az átlagos idők közt van különbség. Click train impulzus esetén átlagosan 43,54 másodperc, fehér zaj esetén 41,18 másodperc kellett a feladat elvégzéséhez.

Közepes mintaszámú kísérletekkel bebizonyítottam az akusztikai támpont szerepét és jelentőségét, függetlenül a gerjesztőjel típusától.

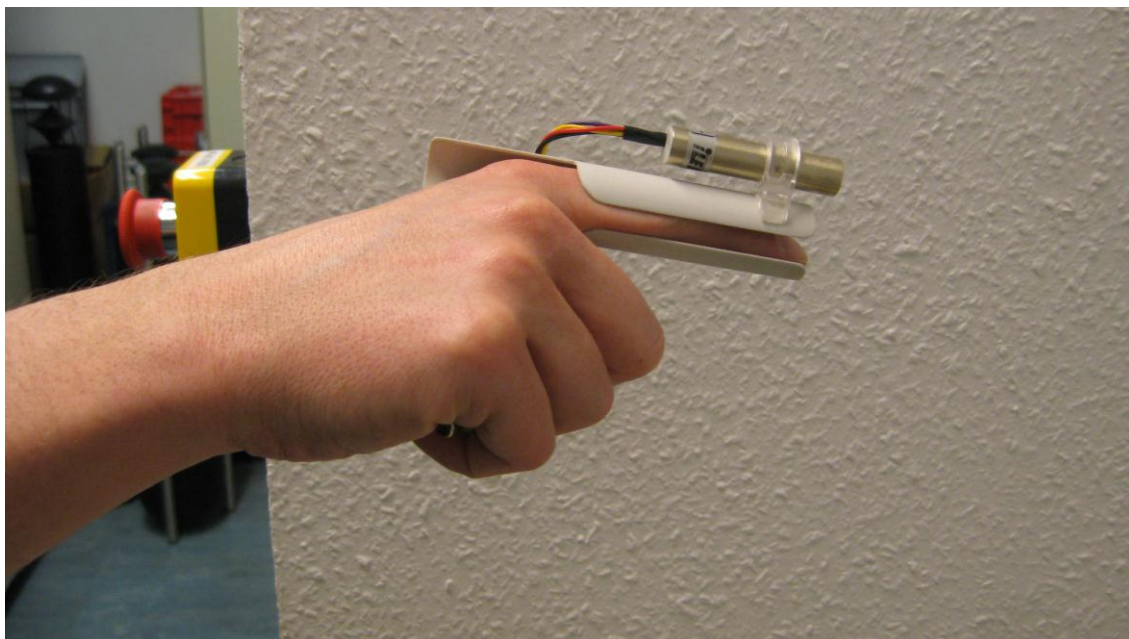
Hangforrás helyének megállapítása süketszobában

Zárt térben, süketszobában elvégzett másik kísérlet a hangforrás helyének megállapítását és annak pontosságát hivatott vizsgálni. A süketszoba egyik sarkában elhelyezett Leybold 58707 típusú piezo hangszóróból 5 másodperc hosszúságú 80 dB hangnyomásszintű fehérzaj vizsgálójelet sugárzunk a korábban is használt Fujitsu-Siemens Pocket LOOX N560 PDA segítségével egy Allen&Heath ZED10 Kompakt keverőpulton keresztül. A hangszóró körül koordinátarendszer van elhelyezve (42. ábra), amelyről a kísérlet során leolvashatóak a szükséges információk (hangforrástól való távolság szögben kifejezve).



42. ábra Hangszóró és koordinátarendszer Készítette: Répás József 2012

Az alany a hangszórótól 3 méterre, egy átalakított forgatható széken ülve, fejének elfordítása, mozgatása nélkül ül, majd a vizsgálójelet meghallva a mutatóujjára erősített lézerpointer segítségével (43. ábra) próbálja meghatározni a hangforrás helyét, rámutatva arra, vagy a koordinátarendszerre (44. ábra).



43. ábra Mutatóujjra erősített lézer pointer Készítette: Répás József 2012



44. ábra Kísérlet során a látók szemét eltakarjuk, így biztosítva azonos feltételeket a látássérültekkel Készítette: Répás József 2012



45. ábra Átalakított forgószéken végzett kísérlet a hangforrás helyének megállapítására
Készítette: Répás József 2012

Kísérletek során megvizsgáltuk, hogy két kísérlet között mennyi mozgítás szükséges ahhoz, hogy az alanyok emlékezetből ne tudják beazonosítani a hangszóró helyét. Arra a következtetésre jutottunk, hogy két-három 180° körüli elforgatás után, már nem tudják a hangszóró eredeti helyét beazonosítani. Az átalakított forgatható szék segítségével, véletlenszerűen -90° és $+90^\circ$ között 45° -onként vizsgáltuk a hangforrás helyének megállapításának képességét és annak pontosságát (45. ábra). Kísérletben eddig 11 látó vett részt, mindenki 5 próbát hajtott végre, majd rövid pihenő után megismételte. További kísérletek elvégzése szükséges, mid látókkal, mind látássérültekkel, hogy az összehasonlítást tudományos megalapozottsággal le lehessen vonni.

Az összes (55) vizsgálatból 28 eredménye kívül esett a $\pm 10^\circ$ -os vizsgálati tartományból. A több mint 50 %-os hibás eredmény azt mutatja, hogy a hangforrástól -90° és $+90^\circ$ között véletlenszerűen elforgatva, nem tudjuk meghatározni a hangforrás helyét $\pm 10^\circ$ -os tartományon belül.

További vizsgálatok szükségesek, mind látók, mind látássérültek körében, a pontos következtetések levonása érdekében.

Elöl-hátul döntés feladat

Süketszobai körülmények között végzett harmadik feladat az úgynevezett elől-hátul döntés feladat volt, amit 16 látó teljesített. Ennél a kísérletnél a süketszoba két sarkában elhelyezett egy-egy Leybold 58707 típusú piezo hangszóróból 80 dB hangnyomásszintű, eltérő hosszúságú (500 ms-tól 50 ms-ig) fehérzaj impulzust játsunk le, véletlenszerűen. Az alanyok a kísérlet során az a hangszóróktól azonos távolságban (2,5 méter) kell állniuk, szemben egyik hangszóróval, majd a véletlenszerűen vagy szemből, vagy hátulról hallott hang esetében el kell dönteniük, hogy előlről, vagy hátulról hallották azt.

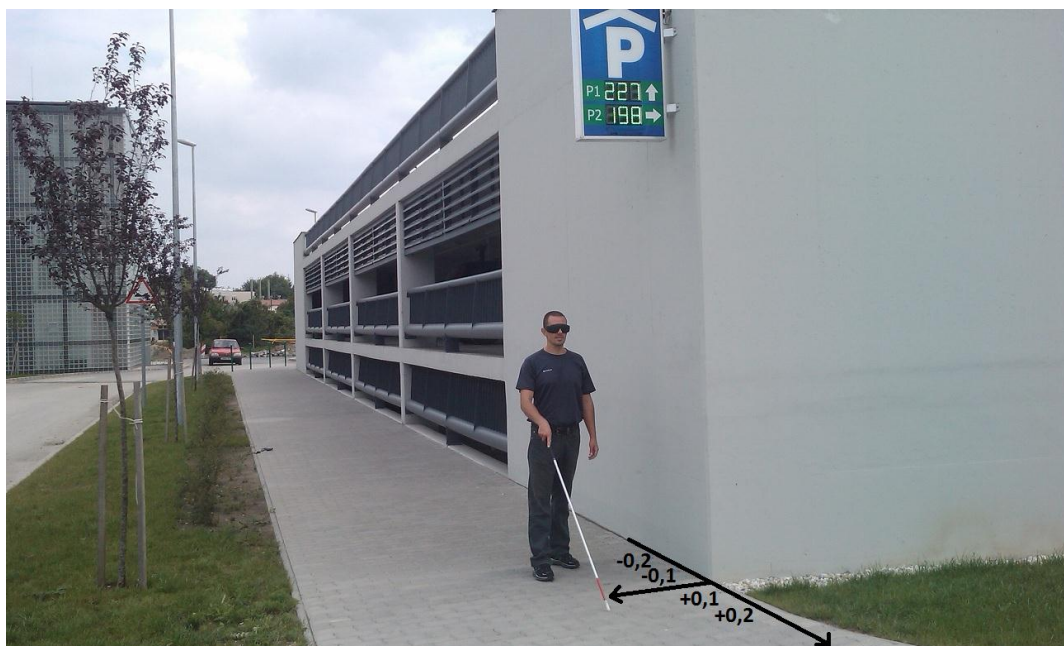
13-an hibátlanul teljesítették a feladatot, amit könnyűnek ítélték meg. 3 alany viszont nem tudta meghatározni, melyik irányból hallja a hangokat, olyan érzetük volt, mintha szemből és felülről is hallanák a hangokat.

Pontos következtetések levonásához további vizsgálatok szükségesek az alanyok számának növelésével.

Echolocációs kísérletek – Sarok-észlelés

A kísérletek során látó és látássérült alanyok echolocációs képességeit hasonlítottam össze egyező körülmények között.

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, fényérzékeny és gyengén látó alanyok bekötött szemmel hajtották végre a feladatot. A kísérletet a győri Széchenyi István Egyetem parkolóházának falánál végeztem 70 látóval és 22 látássérülttel, azonos körülmények között. A kísérletben részt vettek látók, majd vakok, fényérzékenyek és gyengénlátók vegyesen, 19 és 63 éves kor között. Véletlenszerűen, különböző távolságokból indulva, a fal mentén, fehér bot segítségével kopogtatva, a visszhangokból kellett megállapítani a sarok helyzetét. 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.



45. ábra Bekötött szemű sarok-lokalizációs vizsgálat a Széchenyi István Egyetem parkolóházánál [52]

Mivel a látássérültek nem 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 felélénkült 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 befolyásolhatják a visszaverődések észlelését.

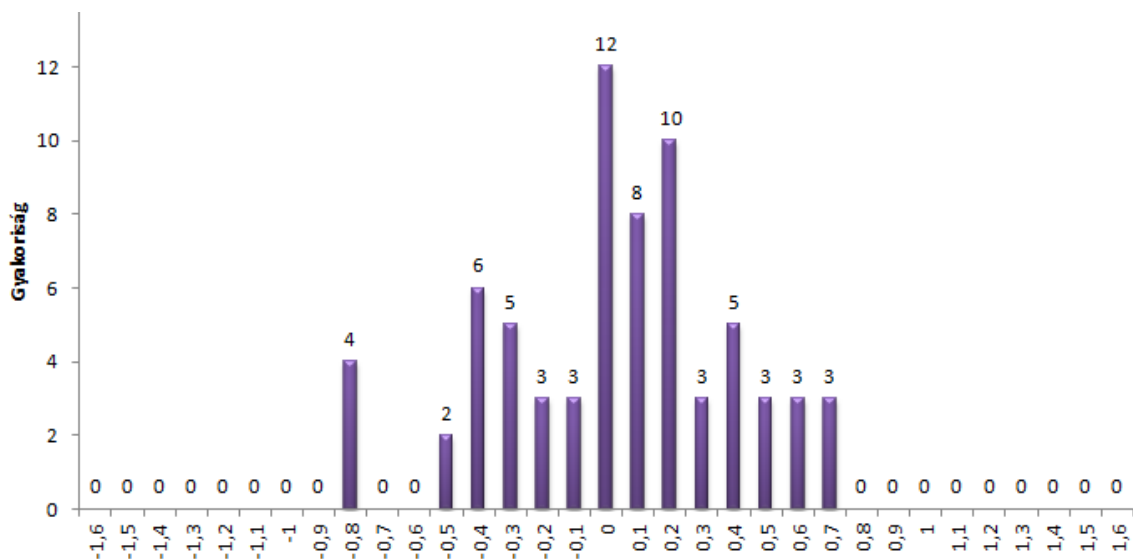
Az eltéréseket a sarok vonalától pozitív és negatív irányban 10 centiméteres pontossággal rögzítettem (46. ábra). Abban az esetben, ha az alany éppen a sarok vonalában állt meg, akkor az ő eltérése nulla, vagyis nincs eltérés. Ha a sarkot elhagyva, a sarkon túl állt meg, akkor pozitív előjelű eltérést rögzítettem, míg a sarok előtt megállóknak negatív előjelű értéket kaptak, mivel a sarkot nem érték el.



46. ábra Sarok-lokalizációs feladat ugyanannak az épületnek a másik oldalán, másik napszakban.

Készítette: O2média 2011

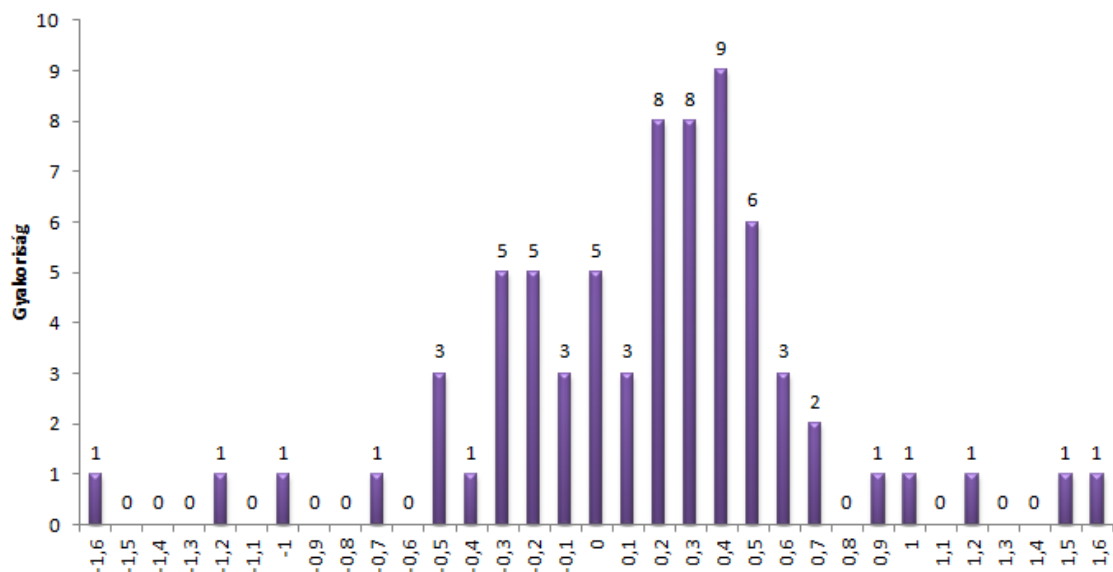
47. ábrán a parkoló épület másik oldalán végrehajtott sarok-lokalizációs kísérlet látható. Az épület elülső oldalánál a napsütés miatt nem lehetett elvégezni a kísérletet. Minden résztvevő néhány gyakorló feladat után kétszer hajtotta végre a feladatot, ezáltal a 70 látó esetében 140, a 22 látássérült eredményeinél 44 mérési pont látható. A látók első próba, eredményeinek (70 darab) eloszlását a 48. ábra mutatja.



47. ábra Látók sarokészlelés első próba eredményeinek megoszlása Készítette: Répás József 2012

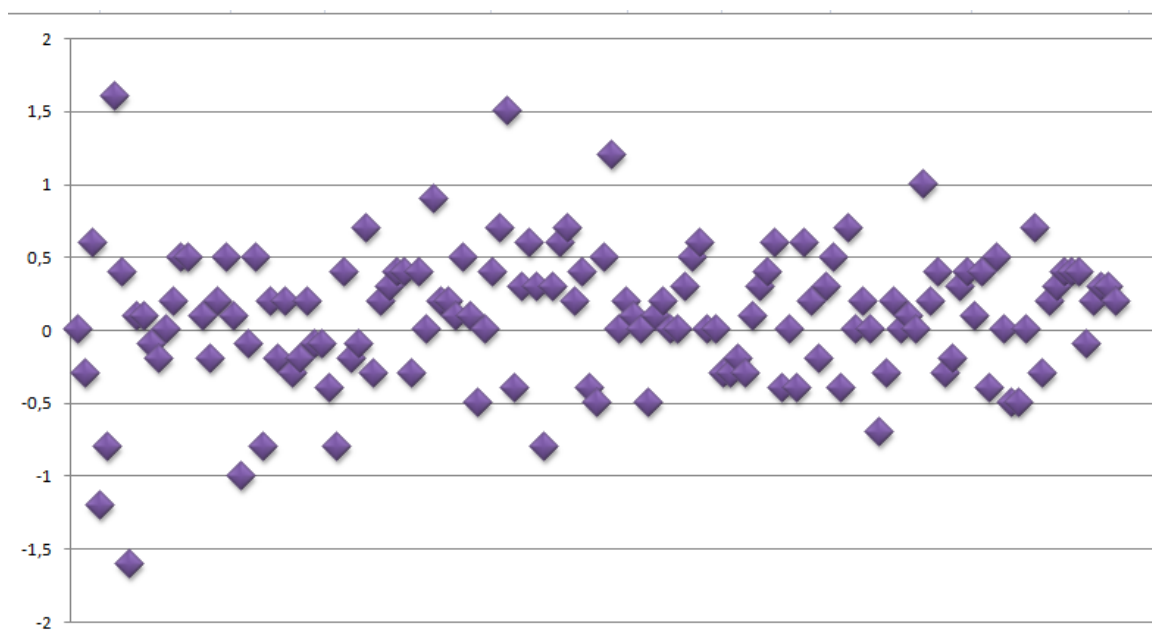
Az első próba eredményeiből látható, hogy 12 fő pontosan megállapította a sarok helyét, további 18 fő pedig maximum 20 centiméterrel haladt túl a sarkon, ami a résztvevők 43 %-a.

Ismétléskori eredmények megoszlását mutató 49. ábrán az figyelhető meg, hogy lényegesen többen vélték felfedezni a sarok helyét a tényleges pozíciótól 50 centiméteren belül pozitív és negatív irányban egyaránt, illetve néhányan pedig igen nagy eltérést produkáltak.



48. ábra Látók sarokészlelés második próba eredményeinek megoszlása Készítette: Répás József 2012

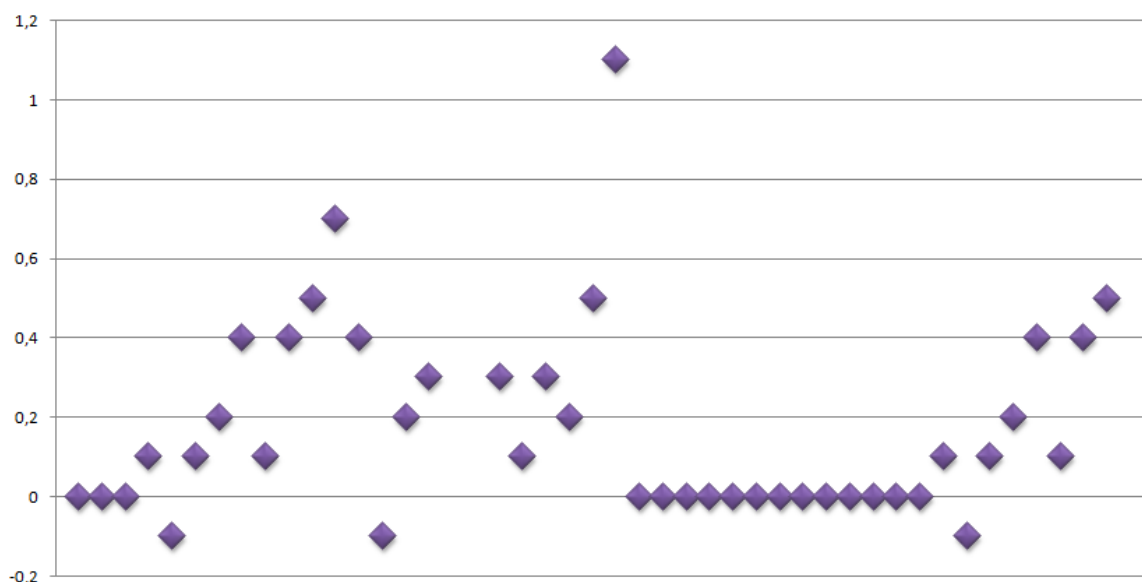
50. ábra a látók kísérletben elért sarokhoz viszonyított eltérései láthatóak, az 51. ábrán pedig a látássérültek eredményei.



50. ábra 70 látó sarok-észlelés vizsgálati eredményei Készítette: Répás József 2011

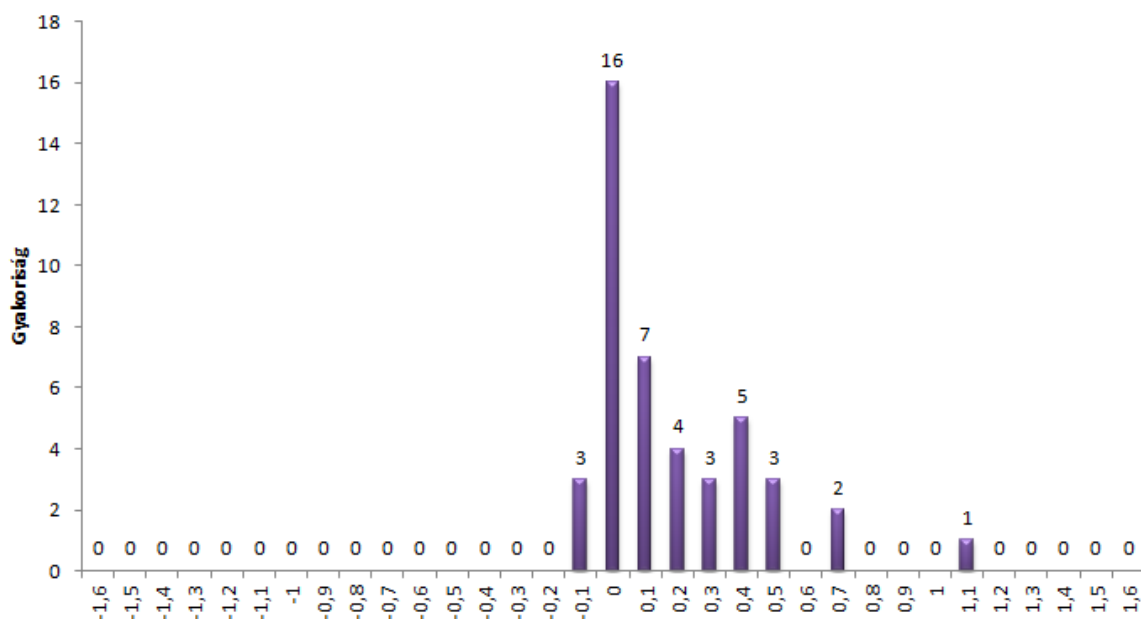
A látók eredményei összességében nem mondhatóak rossznak, néhány nagyobb eltéréstől eltekintve ($\pm 1,6$ méter) pozitív és negatív irányban 1 méteren belül voltak az alanyok, jelentős részük pedig $\pm 0,5$ méteres pontossággal állapította meg a sarok hollétét. Ez az eredmény nem rossz, ugyanis a gyakorlatban sem pontosan a saroknál, hanem a sarok után kell befordulni.

Látássérültek sarokészlelés vizsgálatokban jóval pontosabbnak bizonyultak, ami értelemszerű, hiszen a mindennapokban is használják az echolokációt a közlekedésükben, amit az eredmények is igazolnak. A 51. ábra a 22 látó 44 kísérletének eredményeit mutatja, míg a 52. ábra az eredmények eloszlását.



49. ábra 22 látó sarok-észlelés vizsgálati eredményei Készítette: Répás József 2011

Jól látható, hogy a látássérültek a sarok hollétét sokkal pontosabban állapítják meg, negatív irányban, vagyis a sarok előtt néhány eredménytől eltekintve senki sem állt meg és ritka a fél méternél nagyobb eltérés is.



50. ábra Látássérültek sarokészlelés vizsgálatokban elért eredményeinek gyakorisága

Az alanyok jelentős része pontosan megállapította a sarok hollétét. Ez a 12. táblázatból is leolvasható.

12. táblázat Látók és látássérültek minimális és maximális eltérései, átlag és szórás értékek méterben, sarok-észlelés vizsgálatokban

	Eltérés (látók)	Eltérés (látássérültek)
Maximum	1,6	1,1
Minimum	-1,6	-0,1
Átlag	-0,09	0,18
Szórás	0,46	0,25

Vakok és látók összehasonlításában sokszor felmerül, hogy mennyire szükséges a vizuális információ feldolgozásának előzetes szükségessége: kialakulhat-e az agyban egy jól használható „térbeli térkép” vakon született vagy látásukat korán elvesztett ún. „korai vakok” esetén is, illetve, hogy a látásukat későn elvesztett és látók hasonló vizsgálatokban hogyan teljesítenek. Az eredmények nagyon változatosak és sokszor ellentmondók [51]. A kísérletben 84 és 100 % látásvesztéssel élők vettek részt, akik

átlagosan 20 éve veszítették el a látásukat. Akik születésük óta, vagy legalább 30 éve veszítették el látásukat, a bot használatát jobban elsajátították, az általa nyerhető információkat jobban tudják feldolgozni, pontosabban állapítják meg a sarok hollétét.

Jövőbeni tervek

Dolgozatomban elvégzett kísérletek statisztikai elemzése jelen pillanatban a legfontosabb leíró statisztikai módszerek, átlag, szórás és mediánszámításig terjednek, azonban a későbbiekben tervezem egy átfogó matematikai statisztika analízis elvégzését is. Jövőben meg kell határozni az adatok eloszlását, nullhipotézis meghatározása után paraméteres tesztek elvégzése szükséges (t-próba és varianciaanalízis).

Pontos összehasonlítás érdekében szükséges még a süketszobai akadályérzékeléses teszt elvégzése, mind látó mind látássérült alanyokkal, hogy eldönthető legyen az akadályok érzékelhetőek-e a fülünkkel vagy sem. Az eddig elvégzett szabadtéri lokalizációs és echolokációs kísérletekhez szükséges még az alanyok számának növelése és a süketszobai kísérletek befejezése. Műfejes 3D iránykarakterisztika mérése, ehhez szükséges mérési összeállítás megtervezése és összeállítása és szimulálása.

Különböző átlagolási módszerek elemzése a mért eredményekre (számtani közép, mértani közép, szórás (négyzet) alapúak, másfajta módon súlyozott átlagok keresése).

Összegzés

Dolgozatomban az akusztikus információ jelentőségét vizsgáltam. Különböző lokalizációs és echológációs feladatokat dolgoztam ki, amelyek alapján összehasonlíthatóak látó és látássérült alanyok képességei. A problémakör aktualitását az adja, hogy látókkal, vakokkal és gyengén látókkal korrekt, alapos összehasonlító vizsgálat korábban még nem készült. Az általam kidolgozott kísérletekben az alanyok azonos feltételek mellett teljesítik a feladatokat, melyek eredményeiből következtetések vonhatóak le.

A kísérletekben azt vizsgáltam, hogy vizuális támpont nélkül, pusztán akusztikai segítséggel a résztvevő, látó és látássérült alanyok képesek-e egyenes vonalban sétálni. Amellett, hogy erre nem vagyunk, vagy csak kis százalékban vagyunk képesek, megállapítottam, hogy látó és látássérült alanyok egyenestartási képességeiben nincs jelentős különbség egyik fél javára sem, függetlenül attól, hogy a látássérültek ehhez hasonló szituációkba nap mint nap kerülhetnek és kerülnek is.

Bebizonyítottam és kísérletekkel alátámasztottam, hogy akusztikai támpont segítségével képesek vagyunk egyenesen menni, vagyis az akusztikus támpont elégséges az egyenestartáshoz, valamint helyettesítheti a vizuális támpontot.

Mivel a kísérletekben látók és látássérültek egyaránt részt vettek ezért dolgozatom elején ismertetem a látás működését, a látással kapcsolatos betegségeket. Mivel a feladatok akusztikai segítséggel végzett lokalizációs feladatok, ezért ismertetem a lokalizáció és echológáció fogalmait és ezek jelentőségét.

Dolgozatban részletesen ismertetésre kerültek a kidolgozott kísérletek, ezek eredményei és a következtetések is.

Távlati cél a látássérültekkel való kísérletek számának növelése és süketszobai mérések elvégzése látókkal és látássérültekkel egyaránt valamint a szatisztikai számítások elvégzése.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Wersényi Györgynek a kutatásom és diplomamunkám elkészítésében nyújtott segítségéért, rendkívül értékes tanácsaiért és türelméért.

Köszönöm a Széchenyi Egyetem hallgatóinak, munkatársainak és a Nyugdíjas Egyetem lelkes hallgatóinak, akik részt vettek a kísérletekben. Szeretném megköszönni az együttműködést a Vakok és Gyengénlátók Baranya Megyei Egyesületének és a Vakok és Gyengénlátók Győr- Moson- Sopron Megyei Egyesületének.

Németországi kutatómunkám elvégzését segítette a Magyar Mérnökakadémia Alapítvány - Rubik Nemzetközi Alapítvány. Segítségüket ezúton is köszönöm, remélem, a későbbiekben is hozzájárulnak kutatásomhoz!

Köszönöm az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Híradástechnikai tanszék tanárának Döring Andrásnak, hogy munkámat mindig segítette.

Külön köszönet édesanyámnak és édesapámnak, hogy erőn felül támogatják tanulmányaimat!

Irodalomjegyzék

- [1] Zenei akusztika jegyzet Forrás: http://titan.physx.u-szeged.hu/~opthome/optics/oktatas/Zenei_akusztika/Eloadas4.pdf Letöltve: 2012-04-10 17:35
- [2] Cser András, Fonetika, Forrás: http://www.btk.ppke.hu/get/document/6003_92d8e6a8cc2c9eda29ac7b44aa12f7759b631615.pdf Letöltve: 2012-04-10 17:22
- [3] Hangintenzitás szint fogalma Forrás: http://atomfizika.elte.hu/Minilexikon/minilexikon.htm#hall_kusz Letöltve: 2012-04-10 17:47
- [4] Frekvencia-hangnyomásszint diagram Forrás: http://www.industrialacoustics.com/uk/reference/bluebook/a_threshold_of_hearing.html Letöltve: 2012-04-13 12:02
- [5] Dr. Bozóki Zoltán, Akusztika előadás Forrás: <http://akusztika.atw.hu/Eloadas3.pdf> Letöltve: 2012-04-10 18:54
- [6] Wersényi György, Térbeli hallás, Elektronikus jegyzet Forrás: <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/Terbeli.pdf> Letöltve: 2011-11-11 11:20
- [7] W. M. Hartmann: How we localize sound. *Physics Today*, pp. 24-29, 1999 November.
- [8] J. Blauert: Spatial Hearing. The MIT Press, MA, 1983.
- [9] E. A. G. Shaw: 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.
- [10] S. Mehrgart, V. Mellert: Transformation characteristics of the external human ear. *J. Acoust. Soc. Am.* 61(6), pp. 1567-1576, 1977.
- [11] *A hallás folyamata* <http://www.starkey.hu/images/sematikus.jpg> Letöltve 2009-11-21
- [12] H. Møller, M. F. Sorensen, D. Hammershøi, C. B. Jensen: Head-Related Transfer Functions of human subjects. *J. Audio Eng. Soc.* 43(5), pp. 300-321, 1995.

- [13] J. Blauert: Untersuchungen zum Richtungshören in der Medianebene bei fixiertem Kopf. Dissertation, Techn. Hochschule Aachen, 1969.
- [14] C. B. Jensen, M. F. Sorensen, D. Hammershøi, H. Møller: Head-Related Transfer Functions: Measurements on 40 human subjects. *Proc. of 6th Int. FASE Conference*, Zürich, pp. 225-228, 1992.
- [15] C. I. Cheng, G. H. Wakefield: Introduction to Head-Related Transfer Functions (HRTFs): Representations of HRTFs in Time, Frequency, and Space. *J. Audio Eng. Soc.* 49, pp. 231- 249, 2001.
- [16] V. Mellert, K. F. Siebrasse, S. Mehrgardt: Determination of the transfer function of the external ear by an impulse response measurement. *J. Acoust. Soc. Am.* 56, pp. 1913-1915, 1974.
- [17] P. Berényi, Gy. Wersényi: A külső fül fejre vonatkoztatott átviteli függvényeinek vizsgálata. *Akusztkai Szemle*, IV.évf., 1.-4.szám, Budapest, (1999), pp. 35-41.
- [18] Gy. Wersényi: HRTFs in Human Localization: Measurement, Spectral Evaluation and Practical Use in Virtual Audio Environment. Ph.D. doctoral thesis, BTU Cottbus, 2002.
- [19] D. Hammershoi, H. Moller: Binaural Technique – Basic Methods for Recording, Synthesis, and Reproduction. In J. Blauert (Editor) *Communication Acoustics*, Springer verlag, 2005, pp 223-254.
- [20] J. Blauert: *Spatial Hearing*. The MIT Press, MA, 1983
- [21] R. H. Domnitz, H. S. Colburn: Lateral position and interaural discrimination. *J. Acoust. Soc. Am.* 61, pp. 1586-1598, 1977.
- [22] Horváth András, Hangtan 1 jegyzet Forrás:
http://www.sze.hu/~bertam/Oktatasi_anyagok/fiz_hangtan1.pdf Letöltve: 2012-04-10 22:43
- [23] P. Berényi, Gy. Wersényi: A külső fül fejre vonatkoztatott átviteli függvényeinek vizsgálata. *Akusztkai Szemle*, IV.évf., 1.-4.szám, Budapest, (1999), pp. 35-41.
- [24] Wersényi Gy: Virtuális hangtér szimuláció és a binaurális technológia. *Híradástechnika*, Vol. LXII, Nr.2, 2007. február, pp. 25-32
http://www.hiradastechnika.hu/data/upload/file/2007/2007_2/HT_0702-5.pdf
- [25] Emberi test. 1. vol. Szerk.: OBÁL Ferenc, Bp.: Gondolat Kiadó, 1982. pp. 352. 439. 472. oldal ISBN 963-281-068-6

[26] Színtévesztés elmélete

<http://www.szintevesztes.com/main.php?lang=HU&page=elm> Letöltve: 2011-10-22 13:11

[27] A szem felépítése Forrás: <http://www.lelekgyogyaszat.hu/szem.JPG> Letöltve: 2011-03-05 14:57

[28] Tömösközi Katalin „A látássérült emberek világa”

http://www.ringmagazin.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=2958:alattasseruelt-emberek-vilaga&catid=172:esely&Itemid=476 Letöltve: 2011-10-22 12:46

[29] Dr. Papp Júlia Színtévesztés és színvakság - A színlátás zavarai

http://www.webbeteg.hu/cikkek/szem_betegsegei/3155/szintevesztes-es-szinvaksag Letöltve: 2011-10-22 13:17

[30] Teljes színekör http://www.webbeteg.hu/uploads/hirek/teljes_szk250.jpg Letöltve: 2011-10-22 13:30

[31] Vörös-színvak színekör http://www.webbeteg.hu/uploads/hirek/voros_szt250.jpg Letöltve: 2011-10-22 13:30

[32] Zöld-színvak színekör http://www.webbeteg.hu/uploads/hirek/zold_szt250.jpg Letöltve: 2011-10-22 13:30

[33] Origo Kislexikon http://egeszseg.origo.hu/kislexikon/aloldal_kislexikon_1.html Letöltve: 2011-03-05 16:48

[34] Dr. Papp Júlia A látásélesség-vizsgálat

http://www.webbeteg.hu/cikkek/szem_betegsegei/3244/lataselesseg-vizsgalat Letöltve: 2011-10-22 13:44

[35] Kettesy féle látás-vizsgálótábla

<http://www.webbeteg.hu/uploads/hirek/kettesy200.jpg> Letöltve: 2011-10-22 13:51

[36] Dr. Horváth András, A vizuális észlelés fizikája, Széchenyi István Egyetemi jegyzet, Győr, 2009-12-10

[37] Dávid Andrea, Dr. Gadó Márta, Csákvári Judit „Látássérült emberek elemi és foglalkoztatási rehabilitációja” 19-21. old. 2008 ISBN 978-963-87899-6-9

[38] A látássérült hallgatók speciális igényei a felsőoktatásban, megsegítésük

lehetőségei Forrás: http://www.btk.elte.hu/file/latasserult_hallgatok.pdf Letöltve: 2011-07-29 16:41

- [39] 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.
- [40] 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 Letöltve: 2011-09-22 15:28
- [41] Degenhardt, H.- Murol, H. Mozgástréning vakok számára. Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Főiskola, Budapest, 1992
- [42] Jacobson, W. H. The art and science of teaching orientation and mobility to persons with visual impairments. AFB Press, New York 1993
- [43] Benedekfi Ibolya, Az echolokáció kialakítása látássérült személyeknél Forrás: <http://epsz.pszichologia.ubbcluj.ro/archive/epsz220104.pdf> Letöltve: 2011-07-29 19:08
- [44] Laurent A. Renier, Irina Anurova, Anne G. De Volder, Synnöve Carlson, John VanMeter, Josef P. Rauschecker, "Preserved Functional Specialization for Spatial Processing in the Middle Occipital Gyrus of the Early Blind", Neuron, Vol. 68, No. 1, pp. 138-148, 2010 October
- [45] Borsics József, Agyi plaszticitás - a vakok látókérge részt vesz a hallásban és a tapintásban, <http://www.mrns.hu/index.php?page=content/hirek.php&nid=279> 2011-02-03 15:07
- [46] Atkinson, R. Pszichológia. Osiris, Budapest, 2005
- [47] 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
- [48] Kish, D., Bleier, H. (2000). 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
- [49] "Hallok erre egy házat" - Kiderült, hogyan tud denevér lenni az ember, Forrás: <http://www.origo.hu/egeszseg/20110526-emberi-ekholokacio-hallok-erre-egy-hazat-vakok-tajekozodas.html> Letöltve: 2011-08-07 22:16
- [50] 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

[51] Kaski, "Revision: Is visual perception a requisite for visual imagery?," Perception, vol. 31, no. 6, pp. 717–731, 2002.

[52] Répás J, Látók és látássérültek összehasonlítása sarok-észlelés vizsgálatokban, akusztikai információk alapján. Bolyai Szemle, Vol. XII. Nr. 1. pp.169-180.

[53] Koncsag Előd, Biometria madártávlatból, 2006. Forrás:

<http://www.scribd.com/doc/33467956/Biometria-madartavlatbol>

Letöltve: 2012-02-05 16:36

[54] Huzsvai László, Statisztika, 2011 Debrecen, Forrás:

http://www.agr.unideb.hu/~huzsvai/okt/mtb60057/Partium_Statisztika.pdf Letöltve:

2012-04-11 16:22