

Új típusú fülhallgatók objektív és szubjektív kiértékelése

Measurement and evaluation of new design in-ear phones

Wersényi György
Széchenyi István Egyetem

Absztrakt:

A szokványos fejhallgatók és fülhallgatók mellett az utóbbi években megjelent új típusú fülhallgatók (ún. micro-driver elvű) objektív és szubjektív minősítését végeztük el. Ezek az eszközök – a gyártók állítás szerint – jobb mélyhang átvitelt, nagyobb zajszűrést és könnyű súlyuk miatt kényelmes viseletet garantálnak. Süketszobai, műfejes mérésekkel öt gyártó hasonló felépítésű, és egy gyártó szokványos konstrukciójú fülhallgatóját mértük meg és hasonlítottuk össze. Az átviteli függvények meghatározása mellett a külső zajok csillapításának mértékét is vizsgáltuk. Ezt követően szubjektív lehallgatási tesztek során is elvégeztük a minősítést. Megállapítható, hogy a gyártók által ígért paraméterek jórészt teljesülnek, de ez elsősorban a megfelelő illesztés, a cserélhető szivacsok függvénye. Továbbá, hogy a szubjektív tesztek összhangban állnak a mérésekkel, és jó ár-érték arányban találhatunk eszközöket a felhasználási célnak megfelelően.

Abstract

Measurements of headphones and earphones can be made on dummy-heads or on ear simulators. The transfer function of a headphone is defined with the termination, including the earcanal and eardrum (and partly the effect of pinna). This study introduces measurement problems of newly designed in-ear phones, often called as micro-driver equipment. These earphones are smaller than usual earphones, they have a smaller transducer diameter and are equipped with rubber or spongy material to fit best in the earcanal. With this better coupling they may create less sound pressure in the earcanal. This paper presents subjective evaluation of listeners who evaluated five different kinds of in-ear phones as well as objective measurements using a Brüel&Kjaer dummy-head. Measurement problems are highlighted pointing on new aspects of a revised dummy-head standard.

Kulcsszavak: fejhallgató, fülhallgató, átviteli függvény, mérés technika, szubjektív teszt

Keywords: headphone, in-ear phone, micro driver, measurement, transmission, listening test

1. Bevezetés

Hangfelvételeket általában hangszórós lejátszáshoz készítünk. A szokványos, ismert sztereofónikus és a manapság elterjedt többszatornás hangrendszerekhez is olyan felvételeket készítenek, melyeket hangsugárzókon játszunk le. Lejátszás során az adott helységben lévő hangsugárzók átvitele és a helység teremakusztikája határozza meg a végső hangélményt [1]. Ennek része, hogy a csatornák között természetes áthallás legyen (ún. keresztáthallás), hiszen a bal hangsugárzóból érkező hang eljut a bal fülbe és valamivel később a jobb fülbe is, és viszont. A praktikus okok (pld. utazás közbeni zenehallgatás), a környezetünk kizárása és/vagy annak zavartalan működése néha megköveteli a fejhallgató lejátszást. Ennek során a két hangszórót "kellően közel" visszük a fülünkhöz, és a típustól függően jobb-rosszabb minőségben kíséreljük meg a lejátszást. Az elsődleges következmény, hogy azonnal megszűnik a keresztáthallás: a bal csatorna csak a bal fület, a jobb csak a jobb fület fogja gerjeszteni. Továbbá, a fejmozgatásával szerzett információ, mely normál szabadtéri hallásnál jelen van, elveszik: hiába forgatjuk a fejünket, nem jutunk új információhoz, a hangkép együtt mozog a fejmozgatással. Ez a furcsa szituáció megzavarhatja az agyat, kialakítva az egyik legnagyobb hibát, az ún. fejközép-lokalizációt [1-4]. A fejhallgató lejátszó rendszereket gyakran virtuális világnak, valóságnak is nevezzük. Az igazi virtuális szimuláció, mely a tudományos mélységet célozza meg, nem csupán jó minőségű fejhallgatóval dolgozik, hanem annak kiegyenlítésével és egyéb jelfeldolgozási algoritmusokkal is, mint pld. az emberi fül átviteli függvényének reprodukciója [2, 5, 6].

A mindennapi életben azonban fejhallgatót otthon, illetve jórészt utazás közben használunk [7-9]. Elvárjuk a jó minőséget, a kényelmes hosszú távú viseletet, a jó ár-érték arányt, a könnyű súlyt és a környezet zavarásának kölcsönös elkerülését. Egyrészt ki akarjuk zárni a környezet zaját, másrészt a zene kiszűrődését a környezet felé. A gyártók az igényeknek megfelelően eltérő minőségű és célú eszközöket gyártanak. Az otthoni hifi, illetve a stúdiócéltú fejhallgatók jobb minőségűek, drágábbak, mint egy hordozható MP3 lejátszóhoz szállított.

Az elnevezésekben is szokott zavar és félreértés lenni. A fejhallgató (angolul *headphone*) olyan eszköz, mely a fejre illeszkedik, a fület többé-kevésbé betakarja és általában nagyobb méretű. A másik elterjedt típus a fülhallgató (*insert earphone, in-ear phone*), mely a fejre nem illeszkedik, kis méretéből adódóan a hallójárat bemenetéhez, a fülkagylóba illesztjük. Ezek inkább a mobil alkalmazásokhoz, mozgásban, utazáshoz népszerűek. Meglepő módon, a minőségi különbségek nem egyértelműen szólnak egyik típus mellett vagy ellen.

A stúdióban inkább a fejhallgatót részesítik előnyben. A fejhallgatókat két nagy csoportra osztjuk attól függően, milyen az illesztés a fülre. A circum-aurális típus teljesen körülveszi az egész fülkagylót, és a koponyára fekszik fel. Átvitelébe éppen ezért a fülkagyló szűrőhatása is belejátszik majd. A fülre felfekvő, a fülkagylót csak részben fedő típust supra-aurálisnak nevezzük. Egy másik csoportosítás szerint létezik zárt ill. nyitott típus. Ugyanakkor hangosításnál, élő koncerteknél a monitor hangszórók szerepét átvették a miniatűr, fülbe illeszthető, már-már láthatatlan fülhallgatók. A legújabb, néhány éve elterjedt típust több névvel is illetik (*micro-driver, bass-boost, isolating earphones*). Ezek a szokásosnál lényegesen kisebb membránnal és átalakítóval vannak felszerelve, ugyanakkor az akusztikai üregek kiképzése, és különösen a fülhöz való illesztést biztosító gumi-szivacs betétek segítségével erőteljes mélyátvitelt, erős környezeti zajcsillapítást, könnyű súlyt és jó minőséget ígérnek.

A fej- és fülhallgatók minőségi paramétereit mérni nehéz. Ezeknek az eszközöknek létezik érzékenysége, annak frekvenciamenete (átviteli függvénye) és egyéb nem műszaki

paramétere. Ezek meghatározása objektíven, reprodukálhatóan, megfelelő műszerezettség mellett sem egyszerű feladat. Ebben a cikkben öt gyártó öt különböző típusú micro-driveres fülhallgatóját hasonlítjuk össze egymással és egy szokványos, kommersz fülhallgató típussal. Objektív átviteli függvény és csillapítás méréseket süketszobában, műfajjal végeztünk. Ezt követően szubjektív tesztnek is alávetettük őket, melynek során 32 tesztalany próbálta ki őket zenehallgatás során, pontozva őket különböző szempontok alapján. Célunk az volt, hogy megállapítsuk, valóban mérhetőek-e a gyártók által hangoztatott átviteli paraméterek és zajszigetelés, illetve, hogy megjelenik-e ez a szubjektív tesztek során. Kitérünk emellett a méréstechnikai nehézségekre, a műfaj méréstechnikai problémájára is lehetséges megoldásokra.

2. Méréstechnika

2.1 Érzékenység és átvitel

A fejhallgató érzékenységének definíciója:

$$e = p/U \quad [\text{Pa/mV}] \quad (1)$$

ahol p valamilyen üregben mért hangnyomás, U pedig a gerjesztő feszültség. Az érzékenységet 1 kHz-en, dB-ben (1mW-ra) szoktuk megadni. Minél nagyobb az eszköz érzékenysége, annál nagyobb hangerősséget tud produkálni azonos bemenő feszültség mellett. Az érzékenység frekvenciamenete az átviteli karakterisztika. A fejhallgatók méréstechnikai leírását emberi fejen és kialakítási kérdéseivel a kilencvenes évek közepén *Moller* foglalkozott, és összefoglaló cikkeiben részletes leírást ad tapasztalatiról [10-14].

2.2. Mérés

Méréskor a fejhallgatót megfelelő módon le kell zárni. A szokványos méréstechnika nem megfelelő, hiszen kérdéses, hogy miként, hova helyezzük el a mérőmikrofont. Ráadásul a fejhallgató üzemi működési körülménye, hogy egy viszonylag zárt üregbe sugároz (hallójárat), melyhez történő illesztése alapjaiban befolyásolja az átvitelt. Mindenki tapasztalta már, hogy amikor a fejtől távol van a fejhallgató, csak a magas frekvenciás hangokat lehet hallani, majd amikor felhelyezzük a fejre, hirtelen „előkerülnek” a mély hangok is. Minél jobban illeszkedik a fejre az eszköz (minél jobban rányomjuk), annál jobb lesz a mélyfrekvenciás átvitel.

Műszaki akusztikai megközelítésből és az elektromechanikai transzformációk elvégzése után matematikailag a lezárás ideális esetben tisztán kapacitív. Amennyiben a tökéletes illesztettség esetével állunk szemben, a membrán által keltett hangenergiából semmi nem vész el, az teljes egészében a hallójáratba áramlik, melynek végén a dobhártya található. Ez akusztikai szempontból egy tökéletes üreg, és mint ilyen, egy mechanikai rugó lezárásnak is tekinthető. Hasonlóan ahhoz, amikor egy a végén befogott fecskendőben a dugattyút benyomjuk: a levegő részben összehúzóható, majd az rugóként viselkedve „visszalöki” a dugattyút. Az ilyen, egy kondenzátorból álló lezáró hálózat átviteli függvénye aluláteresztő szűrő jellegű, ideális esetben egyenáramú átviteltől egy meghatározott felső törésponti frekvenciáig. A kényelmi szempontok (szivacsos illesztés) és egyéb mechanikai megfontolásokkal könnyen belátható, hogy az illesztés a valóságban sosem tökéletes, a fej és a fejhallgató kapcsolódásánál a megmozgatott levegő egy része távozik. A szaknyelv ezt a

jelenséget „kiszuszogásnak” hívja, valós ellenállású akusztikai veszteségnek fogjuk fel (tulajdonképpen ennek következménye, hogy a környezet is hallja a fejhallgatóban szóló zenét, és ami miatt a külső zavarok többé-kevésbé behallatszanak fejhallgatós zenehallgatás során). Ez a lezárás ideális kapacitív jellegét elrontva, a kondenzátor helyett egy RC-tagot helyez az átvitelbe. Ezzel meg is szűnik az ideális aluláteresztő jelleg: egy alsó töréspont is megjelenik. Minél nagyobb ez a valós veszteség, annál magasabbra kerül az alsó törésponti frekvencia, annál jobban „elvesznek” a mély hangok. Ennek szélsőséges esete, amikor levesszük a fejhallgatót és abból csak kevés magas frekvenciás „cicegés” jut el hozzánk.

Ebből az is következik, hogy a méréseket valamilyen üzemi körülményeket utánzó, de ugyanakkor szabványosítható eljárás során végezzük. Speciális eszközök, műfülűregek, műfejek szimulálják az üzemi körülményeket, és szabványok határozzák meg, mekkora erővel kell rányomni az eszközt a mérőműszerre. Természetesen, a felhelyezés a fejre lényeges szempont: feltehetőleg nem lehet kétszer egyformán ugyanazt az eszközt felhelyezni, így több mérés (fel- és levétel) eredményét szoktuk átlagolni és vizsgálni. Végül, a fejhallgató típusától függően, a fülkagyló szűrőhatása az átvitelben megjelenik. Szupra- és circum-aurális típusoknál erőteljesebb ez a hatás, különösen a 3-4 kHz környékén jellemző kiemelés, amely egyértelműen a fülkagyló járatainak hatása [1, 15, 16]. A fülkagylót kevésbé lefedő, a hallójáratba illesztet típusoknál ez nem olyan szembetűnő. Tekintettel arra, hogy a mélyfrekvenciás átvitel jórészt az illesztettség függvénye, a kis hallójáratba illeszthető típusok is meglepően jó, gyakran a nagyobb, drágább eszközöknél is jobb átvitelt produkálhatnak. A micro-driveres eszközök alapötlete is ez: a nagyon jó illesztés eredményeképpen jó mélyhangátvitel és jó külső zajszigetelés.

Moller korábban említett méréseiben megállapította, hogy az átvitel messze nem lineáris, amely alacsony frekvencián elsősorban a fejhallgató érzékenységeinek tudható be. Magasabb frekvenciákon az eltérések oka inkább a személyek közötti individuális eltérésekből adódik, legfeltűnőbbben a kiemeléseknél és a csillapításoknál. Az ingadozás elérheti a 20 dB-t is, néha még struktúra sem ismerhető fel a diagramokon. A függvények blokkolt hallójárat bemeneti mérésnél 7 kHz környékéig felismerhető rendelkeznek jellegzetes átvittel, és 7-12 kHz között is felismerhetők jellegzetességek.

2.3 Mérőrendszer

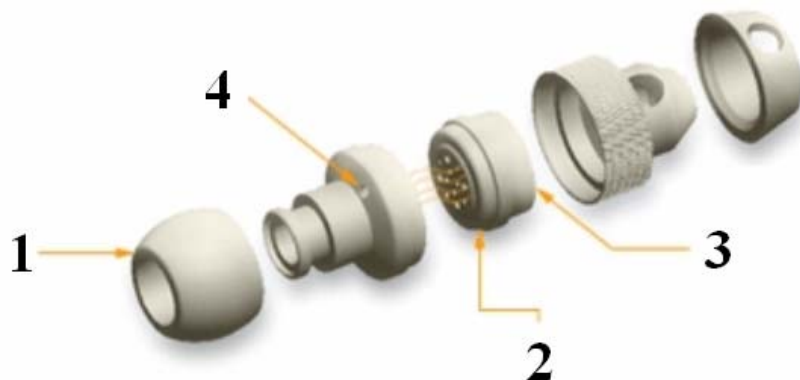
A mérésekhez műfejet vagy műfülűreget használhatunk. A Brüel Kjaer cég Head and Torso Simulator Type 4128 C típusú műfeje a célnak megfelelő [17]. Általános vélekedés, hogy az irányinformációhoz nem szükséges a hallójárat hatása, a blokkolt hallójárat bemenetén lévő mérési pozíció is megfelelő [6]. Ettől függetlenül a műfejes mérések és felvételek virtuális hangtér szimulációhoz nem a legoptimálisabbak [18, 19]. Más cégek is rendelkeznek megfelelő műfejekkel, pld. a Head Acoustics vagy a G.R.A.S. [20, 21].

2.4 A mérendő eszközök

Ahogy korábban már volt róla szó, a micro driveres típusok elsősorban könnyű súlyukkal, kiterjesztett mélyfrekvenciás átvittel és változtatható méretű illesztő szivacsokkal rendelkeznek, a jobb zajszűrés és illesztés céljából. Ez az illesztés döntően fontos a mélyátvitel és zajszűrés szempontjából.

A kis méretből adódóan az elektroakusztikai átalakító és a membrán igen kis méretű. A kis méret mellett, olcsó, könnyű és mégis nagy mágneses erőteret létrehozó mágnesre van szükség. A neodímium a lantán tulajdonságaihoz hasonló, viszonylag ritka földfém. Vas-bór

ötvözete a legerősebb permanens mágnes, melyet tartós nemesfém bevonattal óvnak a korróziótól. Olcsó és könnyű a súlya, de mechanikailag törékeny. Jó minőségű eszközökben ilyet használnak.



1. ábra. Micro-driveres fülhallgató felépítése: 1 – szilikongumi alapú cserélhető illesztő (3 pár), 2 – dinamikus driver, akusztikai illesztő, 3 – neodímium mágnes, 4 – lézeresen kivágott járat 3D hangtér-élmény növeléséhez [22].



2. ábra. Illeszkedés a hallójáratba [22].

Vizsgálatunkban öt gyártó micro-driveres típusa és egy gyártó hagyományos típusa vett részt. Az 1. táblázat tartalmazza a gyártók által megadott műszaki paramétereket, a 3-4. ábrák pedig az eszközök fotóját.

Típus	Shure E3C	Sennheiser CX300	Creative EP635	KOSS Spark Plug	Thomson HED 132N	Sony Twinturbo MDR-E818LP
Átvitel	N.A.	18 Hz–21 kHz	6 Hz–23 kHz	10 Hz–20 kHz	20 Hz–20 kHz	12 Hz – 22 kHz
Érzékenység (SPL 1 kHz)	115 dB	112 dB	106 dB	112 dB	101 dB	108 dB
Impedancia (1 kHz)	26 Ohm	16 Ohm	16 Ohm	16 Ohm	16 Ohm	16 Ohm
Súly	28 g	12 g	12 g	25 g	15 g	15 g
Szivacs	8 pár kül. keménységű és méretű	3 pár kül. méretű, szilikon	3 pár kül. méretű, szilikon	2 pár kül. méretű szivacs	3 pár kül. méretű, szilikon	(szokványos szivacspárna)
Egyéb	Wideband micro-driver		9 mm neodymium mágnes			“turbo megabass” neodymium mágnes

1. táblázat. A gyártók által a használati utasításban megadott specifikációk. A Shure cég sem az adatlapon, sem a honlapon nem adja meg az átviteli tartományt. A Sony terméke nem micro driver elvű, hanem hagyományos fülbe illeszthető fajta.



3. ábra Koss, Sennheiser, Creative.



4. ábra Koss, Thomson, Sony.

3. Objektív tesztek

Objektív, műszaki paraméterek megmérése volt az első feladat. Ez természetesen az átviteli karakterisztika meghatározását jelentette, különös figyelemmel a mélyfrekvenciás tartományokra. Második lépésben a fülhallgatókat gerjesztés nélkül, pusztán fül dugóként használva a külső zajok csillapításának megbecslése következett.

A méréseket a Békésy György Akusztikai Kutatólaboratórium süketszobájában végeztük. A mérőműszer a BK 4128-as műfeje és a hozzá kapcsolódó PULSE rendszer. Az 5. ábrán is látható, a hallójárat bemenete meglehetősen kicsi, mely komoly mérés technikai problémákhoz vezetett.



5. ábra. A BK 4128-as műfej fülkagylója.

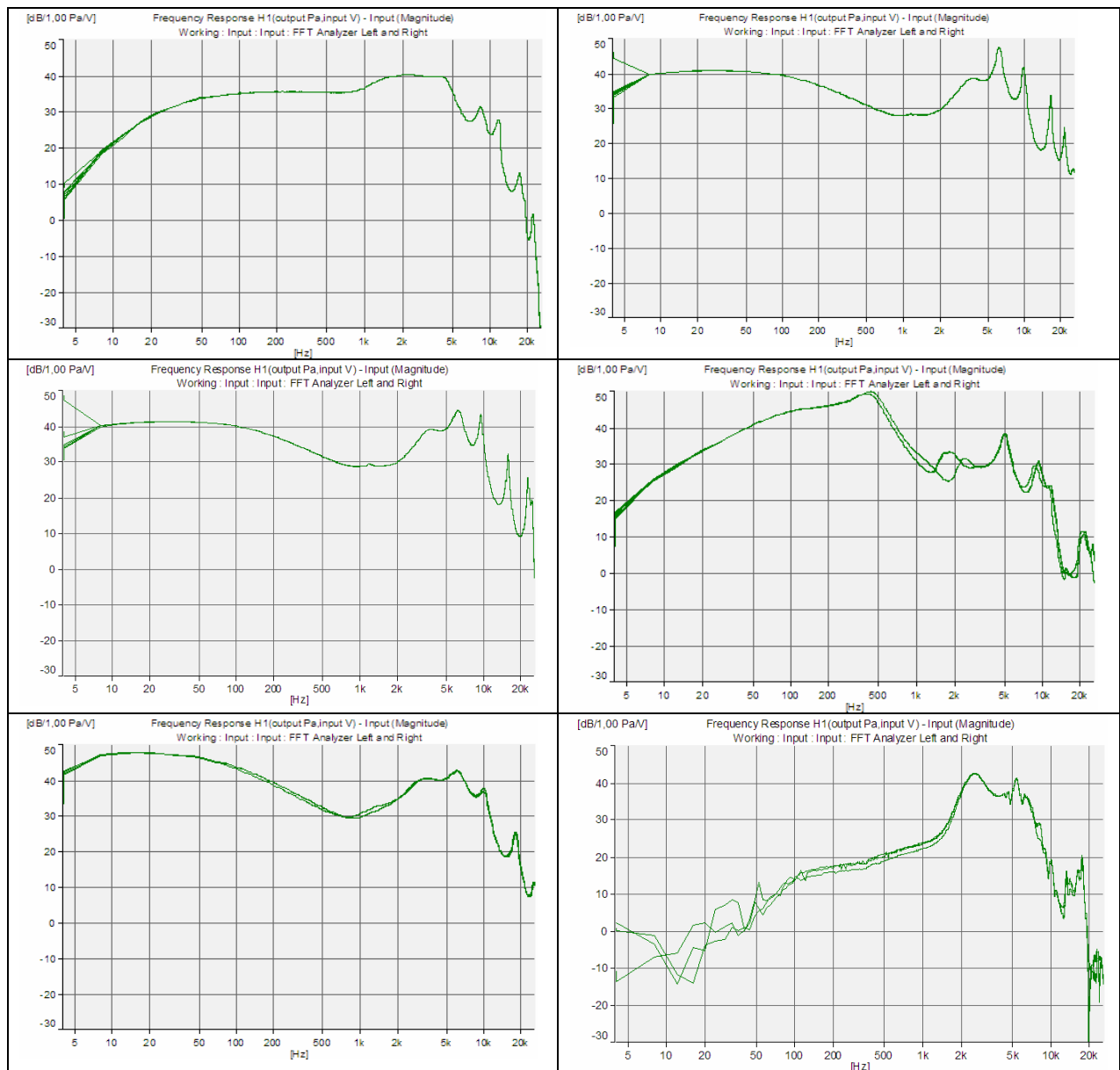
3.1 Átviteli függvények

Az átviteli függvény méréséhez a PULSE LabShop programot és annak “frequency response” üzemmódját használtuk. A két bemenet (Input 1 és 2) spektrális hányadosát számítja és rajzolja ki, ebből egyik a kimeneten megjelenő, visszacsatolt gerjesztő jel, a másik pedig az egyik fülön keresztül mért fülhallgató jele. Egyszerre csak két csatornán lehet mérni, így mivel a visszacsatolt jelre szükségünk van, csak egy fület mérhetünk egyszerre.

Gerjesztő jel a PULSE beépített fehérzaj generátora volt, a mérések eredményét kb. 500 mérései cikluson keresztül átlagoltuk. Egy eszköz összesen tízszer került lemérésre újbóli levétel és felhelyezés után.

Komoly problémát jelentett ugyanakkor a fülhallgatók hallójáratba illesztése. Még a legkisebb gumiszivaccsal sem fért bele, gyakran elmozdult, mérés közben kicsúszott, kiesett. Sajnos, nagyobb hallójárat nyílású fülkagyló nincs a műfejhez, ezt csak házilag lehetett volna barkácsolni (kitágítani). Így a mérés során kénytelenek voltunk rögzíteni az eszközöket a fejen. Ez a probléma tovább is mutat a jelenlegi vizsgálatunknál.

A mérések eredményei a 6. ábrán láthatók.



6. ábra. Átviteli függvények ismételt mérésekből. Balra fent a Shure E3C, jobbra a Sennheiser CX300. Középen balra a Creative EP-635, jobbra mellette a Koss Spark Plug. Alul balra a Thomson HED 132N, jobbra a Sony MDR-E818LP eredményei.

Összevetve a hagyományos felépítésű Sony és a micro driver-es fülhallgatók átviteli görbéit, kiválóan látszik, hogy a mélyhangok terén az utóbbiak sokkal jobban teljesítenek. Már első ránézésre is szembevető a különbség az összevetésben. A micro driver-esek közül a Sennheiser, a Creative és a Thomson mutat jó mélyátvitelt, míg a Koss és a Shure elmarad társaitól a mélyhangok terén. Az első három felépítésében, külalakjában is nagyon hasonló, és ez a felépítés jobbnak bizonyul a másik kettőnél.

3.2 Csillapítás mérések

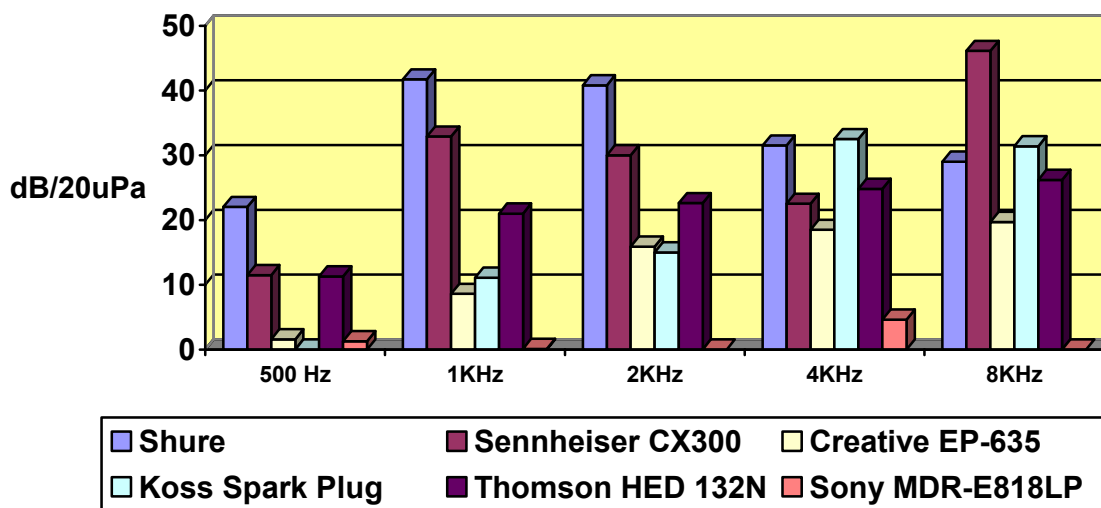
Csillapítás mérésére egyszerű módszert alkalmaztunk, hiszen nem a pontos frekvenciamenetre voltunk kíváncsiak, csak egy becslésre. A gerjesztést egy hangsugárzón keresztül adtuk ki, és mértük a műfajjal vett jel szintjét fülhallgatóval és anélkül. Szemből és oldalirányból is

végeztünk mérést. Az irányok beállítása nem történt pontosan, mindössze szemmértékkel. A méréseket öt különböző frekvencián mértük: 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz és 8 kHz. A fülhallgató ez esetben mint fül dugó funkcionál, gerjesztő jelet nem adunk rá.

Az eredményeket szemből irányból a 2. táblázat és a 7. ábra mutatja. Az itt feltüntetett értékek a csillapítás dB-ben, azaz a fülhallgató nélkül mért jelszint és a fülhallgatóval mért jelszint különbsége.

	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Shure	22	41,7	40,8	31,5	29
Sennheiser	11,5	32,9	30	22,5	46,1
Creative	1,6	8,6	15,9	18,5	19,7
Koss	1,3	11,1	15	32,5	31,4
Thomson	11,3	21	22,6	24,8	26,2
Sony	1,3	0,1	3,3	4,6	0

2. táblázat. Csillapítás értékek szemből irányból (dB).

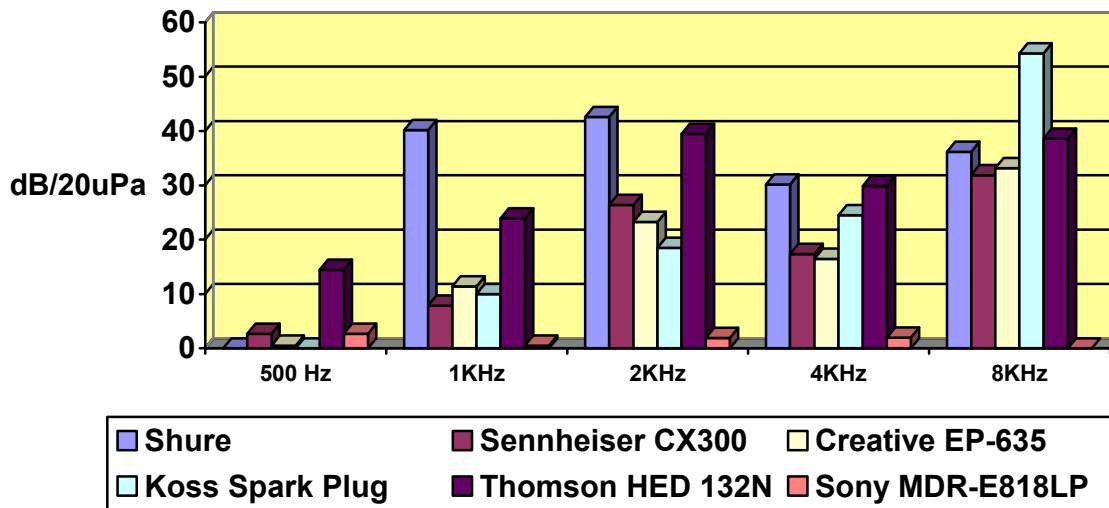


7. ábra. A mérési eredmények összefoglalása (szemből irány).

Az eredmények jól mutatják, hogy megfelelően választott szivacs esetén a micro-driver-es fülhallgatók csillapítása lényegesen nagyobb a szokványos típushoz képest. Utóbbi minimális, néhány dB-es értékei elhanyagolhatók a többihez képest. Kiemelkedő a Shure és a Sennheiser termékek. Oldal irányból az eredmények a 3. táblázatban és az 8. ábrán láthatók.

	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Shure	4,7	40,2	42,6	30,2	36,2
Sennheiser	2,7	7,9	26,4	17,4	31,9
Creative	0,5	11,4	23,3	16,5	33,2
Koss	0,4	10	18,5	24,5	54,3
Thomson	14,5	23,9	39,5	29,9	38,6
Sony	2,7	0,5	1,9	2	0

3. táblázat. Csillapítás értékek oldal irányból (dB).



8. ábra. A mérési eredmények összefoglalása (oldal irány).

Oldalirányból érkező zaj esetén átlagosan még nagyobb csillapítási értéket produkáltak a fülhallgatók. A legnagyobb csillapítási értékkel rendelkező eszköz ismét a Shure és a Sennheiser volt. Előbbihez a gyártó mellékelte nyolcféle különböző méretű és anyagú fülpárnát, amivel így mindenki megtalálja a neki legalkalmasabbat és legkomfortosabbat.

3.3 Méréstechnikai probléma

Ahogy korábban említettük, a műfülkagyló nem volt igazán alkalmas a kényelmes mérésre a bejárat szűkossége miatt. Jelenleg is folyamatban van egy nemzetközi szabványosítási eljárás, amely újragondolná a már elég régi (ANSI S3.36/ASA58-1985) műfej szabványokat. A bizottság jelenlegi (még el nem fogadott) javaslata alapján kétféle műfej típus lenne szabványos. Az egyik a fejhallgatómérések számára, ahol a fülkagyló és a fej egyéb geometriája kellően egyszerű, elnagyolt. Tulajdonképpen “visszafejlődésről” van szó: felesleges komoly energiát fordítani a geometriára, hiszen egy műfülűreg is elégséges lehet. A végeredmény egy feltehetőleg gömb alakú fej, egyszerűsített fülkagylóval és a hallójárat bemenetén elhelyezett mikrofonnal lesz. Ez egyszerűsíti a műfejet, hiszen nem kell a hallójáratot modellezni. Ezek az eszközök azonban nem alkalmasak ilyen mérésekre, mert csupán a fejhallgatók illeszthetők rá, a fülhallgatók és a micro-driveres eszközök egyáltalán nem. Célszerű lenne tehát a mikrofont a dobhártya helyén elhelyezni, egy viszonylag egyszerű hallójárat modellt (akusztikai impedancia közelítő betartásával) létrehozni és különböző átmérőjű (cserélhető) hallójárat bemeneteket alkotni. Felmerülhet a kérdés, ha az ilyen eszközöket műfej helyett műfülűreggel mérjük, mi a létjogosultsága a műfejnek? A válasz kettős: egyrészt a műfülűreg kevésbé alkalmas nagyméretű fejhallgatók mérésére, melyeket egy fejre kell ráhelyezni. Továbbá, a műfejek nem csupán fejhallgatókat mérnek, hanem sokszor pld. telefonkagylókat, head-set-eket, mobilkészülékeket. Ezekhez is szükség van valamilyen fejre. A mérések egy részénél pedig arra is szükség van, hogy a műfej „beszéljen”: szájszimulátorával és beépített hangszórójával mérőjeleket szolgáltatson.

A műfejek másik típusa ezzel szemben már-már individuális lenne. A mai számítástechnika lézeres letapogatással, MRI felvételekkel készült individuális fejméretet és fejformát tud digitálisan tárolni, és az alapján műfejet legyártani. Ez a már végtelenségig kifinomult, egyénre szabott megoldás célja nem a méréstechnika lenne, hanem a térhallás vizsgálatok, lokalizációs problémák, a HRTF függvények felvételének és binaurális felvételek

készítésének világa [2]. Itt már felmerül olyan kérdés, hogy mennyire legyen aprólékos a kidolgozás, legyen-e haj, ruházat, esetleg méretarányosan kisebb fejek is megfelelnek-e [23]. A szájszimulátor megléte itt már nem feltétlenül szükséges.

4. Szubjektív tesztek

A szubjektív vizsgálat célja, hogy megállapítsuk objektíven meg nem határozható paraméterek fontosságát, illetve azok kapcsolatát az objektív eredményekkel. A kísérletben 32 különböző korú és nemű, eltérő zenei ízlésű alany vett részt. A hallgatás során egyedül a hangerősség szabályozása volt megengedett a lejátszó készüléken. A lejátszáshoz egy Panasonic Discman-t használtuk, melybe audio CD-t helyeztünk. A lemezen különböző stílusú zeneszámokat gyűjtöttünk össze. A lehallgatás a győri Széchenyi Egyetem hangstúdiójában végeztük el, mely erősen csillapított, akusztikailag is szabályozott helység. Az alanyok minden típushoz kiválaszthatták a számukra optimális méretű szivacsot, majd kb. fél órán keresztül szabadon választott sorrendben és tetszőleges mennyiségben próbálhatták ki (ugyanazt többször is) az eszközöket. A vizsgálat során egy kérdőívet töltöttek ki, négy szempont alapján minősítve az eszközöket. Ezek az alábbiak voltak: komfort és kényelem, mélyhangátvitel, külső zajok szigetelése, teljes átviteli tartomány. Az egyes paramétereket 1-10-ig pontozták, ahol 1 a legrosszabb, 10 a legjobb. A zajszigetelésnél megkértük őket, hogy ne kapcsolják be a zenét és csak fül dugóként használják azokat. A kérdőív végén lehetőség volt minden típust szövegesen is röviden értékelni.

A 4. táblázat mutatja az átlagos eredményeket.

	Komfort	Mélyhang átvitel	Külső zaj szűrése	Teljes átvitel	Átlag
Sennheiser	8,03	8,25	8,53	8,38	8,30
Creative	8,22	8,25	8,28	8,41	8,29
Thomson	7,28	7,47	7,91	7,41	7,52
Koss	4,59	8,25	8,13	5,06	6,51
Shure	5,41	5,50	7,59	6,38	6,22
Átlag	6,71	7,55	8,10	7,13	
Sony	4,53	4,38	2,84	5,41	4,29

4. táblázat. Összesített értékelés 32 eredmény átlaga alapján. Az egyes paraméterek átlagából kihagytuk a Sony-t, mert az nem micro driver-es típus. Az egyes típusok alapján előálló összesített sorrend szerint rendeztük a táblázat sorait.

A táblázat az összes pontszám és paraméter átlagos értékeit mutatja, melyet érdemes összehasonlítani az objektív mérések eredményeivel. Külső zaj szűrésében a szubjektív pontokban kisebb a szórás, mint az objektív eredményekben, érdekes módon a mérések alapján győztes Shure termék itt az utolsó helyre szorult az öt közül, míg második versenytársa az első lett. Jobb a korreláció az átvitel szempontjából: láthatólag a mélyhangok átvitele rendkívül fontos a felhasználónak. Az objektív tesztben rosszul teljesítő két típus itt is az utolsó helyre szorult. A hiányzó mélyhang átvitel szintén erősen összefügg a teljes átvitel paraméterrel: csak arra az eszközre mondták az alanyok, hogy „jól szól”, melyben a mélyhang tartomány erőteljesen jelen volt. Megállapítható, hogy a legfontosabb feladat valóban a mélyhangok „kicsihilása” az eszközökből, amely a kis membránméret miatt gyakorlatilag a jó illesztés megvalósításával egyenértékű. A Shure és a Koss típusnak a membrán mérete lényegesen kisebb, mint az első háromé, így levonhatjuk a következtetést, hogy a membránméret még mindig rendkívül fontos szempont a mélyátvitel során. A Shure típusánál mindent elkövettek a dizájn, a sok fajta cserélhető szivacs szállításával – nem sok sikerrel.

Sem a mélyhang átvitel, sem a teljes tartományú átvitel nem éri el a kívánt minőséget ráadásul mindez a komfort rovására is megy. A komfort kérdése a szivacs méretével és így a zajszűrő képességgel függ össze: minél jobb az illesztés, annál jobb a zajszigetelés. A szokványos fülhallgatókhoz szokott felhasználóknak eleinte zavaró a nagy csend és ezt hajlamosak diszkomfort érzéssel párosítani. Különösen veszélyes lehet ez utcán való közlekedésnél, így a gyártók sokszor felhívják a figyelmet arra, hogy kellő óvatossággal közlekedjünk. A jó zajszigetelés egy másik jó hatása, hogy a hangerőt nem szükséges olyan mértékben felerősíteni, ahogy korábbi típusoknál, ahol muszáj túlharsogni a környezetből beszűrődő zajokat. Az ember azt gondolná, ez magával vonja a hallórendszer védelmét is, azonban ez megtévesztő lehet, hiszen a jobb illesztés kevesebb veszteséggel jár, erőteljesebb mélyátvitellel párosul, és nem feltétlenül lesz jelentős hangnyomásszint csökkenés a dobhártyán.

Ezek alapján a Sennheiser és a Creative terméke került ki győztesen, gyakorlatilag azonos eredménnyel. Kedvező árú és jó objektív és szubjektív megítélés alapján is az első két helyre kerültek. Jól szerepelt még a Thomson hasonló felépítésű eszköze. A Koss elsősorban a komfort és részben a teljes átvitelen szerzett kevés pontot. A hallgatók nem kedvelték a hosszúkás, kényelmetlen szivacs típust. A Shure annak ellenére, hogy messze a legdrágább eszköz (a vásárlás idején többbe került, mint a másik öt együttvéve) igencsak elbukott a mélyhangátvitelen és a komfortérzet sem volt túl jó. A fülhallgatóhoz jár azonban nyolc pár szivacs, bőrtok is. Végezetül, utolsó helyre szorult a Sony fülhallgató, messze lemaradva a többitől az összes paramétert figyelembe véve. Mindenképpen jegyezzük meg, hogy ez nem a Sony típus sajátja, hanem egymaga reprezentálta a vizsgálatban a hasonló felépítésű, szokványos fülhallgató típusok mindegyikét. Választásunk eshetett volna más gyártó vagy ugyanezen gyártó más típusára is. Így lehetséges, hogy hasonló típusok ennél jobb (vagy még rosszabb) eredményeket szolgáltattak volna.

5. Összefoglalás

Vizsgálatunk célja volt, hogy öt különböző gyártó, hasonló elven működő, ún. micro-driver-es, hallójáratba illeszthető fülhallgató típusait megvizsgáljuk. A gyártók az új típus mellett felsorakoztatott érvei között szerepelt a jó mélyhang átvitel és a külső zajok erős szigetelése – összehasonlítva a szokványos fülhallgató típusokkal. Süketszobai, műfejes átviteli függvény mérésekkel objektív kiértékelés során határoztuk meg az átviteli karakterisztikákat, illetve szemből és oldal irányból történő csillapítást néhány jellemző frekvencián. Az eredmények – bár az egyes típusok között volt eltérés – alapján igazolták a fenti elvárásokat. Összehasonlításához egy gyártó egy szokványos típusú eszközét használtuk.

Szubjektív tesztek során 32 tesztalany CD audio zenehallgatás mellett értékelte a komfortot, a mély- és teljes tartományú átvitelt, valamint a zajszigetelő hatást. A micro driver-es típusok jobb megítélés alá estek a szokványos típusnál, de a paraméterek alapján erősen eltérő minősítést is kaptak.

Eredményeink igazolják, hogy ez az új típusú, felépítésű fülhallgató a szokványos eszközökhöz képest jobban szigeteli a külső zajokat, noha ez a kényelmi szempontok rovására is mehet. A mélyfrekvenciás átvitelük objektíven és szubjektíven is jobb a korábbi típusoknál, és mindez erőteljesen függ az alkalmazott szivacs méretétől. Nem megfelelő illesztés esetén a mélyhang átvitel erősen leromlik és a szubjektív megítélés is erőteljesen leromlik. Kedvező, versenyképes árú miatt jó alternatívák lehetnek a hagyományos fülhallgatókkal szemben.

6. Irodalom

- [1] J. Blauert: Spatial Hearing. The MIT Press, MA, 1983.
- [2] Gy. Wersényi: Virtuális hangtér-szimuláció és a binaurális technológia. Híradástechnika, Vol. LXII, Nr.2, pp. 25-32, 2007.
- [3] M. Kleiner, B. I. Dalenbäck, P. Svensson: Auralization – an overview. J. Audio Eng. Soc. Vol. 41, pp. 861-875, 1993.
- [4] D. R. Begault: 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia. Academic Press, London, UK, 1994.
- [5] V. Larcher, J.-M. Jot, G. Vandernoot: Equalization Methods in Binaural Technology. AES Preprint #4858, 105th convention, San Francisco, 1998.
- [6] H. Møller: Fundamentals of binaural technology. Applied Acoustics, Vol. 36, pp. 171-218, 1992.
- [7] <http://www.headwize.com/faqs.htm>
- [8] <http://www.headphone.com/>
- [9] J. Borwick: The Loudspeaker and Headphone Handbook, 1994 (2nd ed) Focal Press.
- [10] J. V. Hundeboll, K. A. Larsen, H. Møller, D. Hammershøi: Transfer characteristics of headphones. Proc. of 6th Int. FASE Conference, Zürich, pp. 161-164, 1992.
- [11] H. Møller, D. Hammershøi, C.B. Jensen, M. F. Sørensen: Transfer Characteristics of Headphones Measured on Human Ears. Journal of AES, Vol 43, No 4, pp. 203 -217, 1995.
- [12] H. Møller, C.B. Jensen, D. Hammershøi, M.F. Sørensen: Design Criteria for Headphones,. J. Audio Eng. Soc., Vol. 43, No.4, pp. 218-232, 1995.
- [13] H. Møller, M. F. Sørensen, C. B. Jensen, D. Hammershøi: Binaural Technique: Do We Need Individual Recordings? J. Audio Eng. Soc., Vol. 44, No.6, pp. 451-469, 1996.
- [14] M. Zollner, E. Zwicker: Elektroakustik. Springer Verlag, Berlin, 1998.
- [15] E. A. G. Shaw: Transformation of sound pressure level from the free-field to the eardrum in the horizontal plane. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 56(6), pp. 1848-1861, 1974.
- [16] S. Mehrgart, V. Mellert: Transformation characteristics of the external human ear. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 61(6), pp. 1567-1576, 1977.
- [17] <http://www.bksv.com/>
- [18] A. Illényi, Gy. Wersényi: Environmental Influence on the fine Structure of Dummy-head HRTFs. Proceedings of the Forum Acusticum 2005, Budapest, pp. 2529-2534.
- [19] H. Møller, D. Hammershøi, C. B. Jensen, M. F. Sørensen: Evaluation of artificial heads in listening tests. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 47(3), pp. 83-100, 1999.
- [20] <http://www.headacoustics.com/>
- [21] <http://www.gras.dk/>
- [22] V-Moda Vibe Duo Earbuds/In-ear phones Users Manual
- [23] T. Hirahara, H. Sagara, M. Otani: Sound localization with scaled dummy-heads on a TeleHead. Proceedings of ICA 2007, Madrid, Spain.

7. Kiegészítés

A Brüel Kjaer cég Head and Torso Simulator Type 4128 C és D típusú műfeje beépített száj- és fülszimulátorral is rendelkezik. Megpróbálja a valósághoz hűen reprodukálni az átlagos emberi felsőtest, fej és fülkagyló geometriáját, valamint a dobhártya helyén elhelyezett mikrofonok esetén a hallójárat akusztikai tulajdonságait (impedancia, illesztés, geometria). Létezik az eszköznek olyan változata is, melynek mikrofonjai a blokkolt hallójárat bemenetén találhatóak. Ez a megoldás kevésbé alkalmas fülbe illeszthető eszközök, fülhallgatók, fülugók mérésére, jórészt az irányhallás és binaurális felvételek során kapnak nagyobb szerepet. Általános vélekedés, hogy az irányinformációhoz nem szükséges a hallójárat hatása, a blokkolt hallójárat bemenetén lévő mérési pozíció is megfelelő. Ettől függetlenül a műfejes mérések és felvételek virtuális hangtér szimulációhoz nem a legoptimálisabbak. A gyártó nyújt megoldást hallójáratba illeszthető eszközök mérésre is a 4152 és 4153-as fülszimulátorral. Ezek akusztikai csatolóval, kondenzátor mikrofonillesztővel és egy rászorító mechanikai füllel rendelkeznek. Utóbbi 2-10 Newton között tud erőt kifejteni (ANSI szabványnak megfelelően). Három gumilábon áll a rezgések és elmozdulások elkerülése végett. A két típus különböző kiegészítőkkel, szűkítőkkel, csatolókkal és térfogattal rendelkezik. A 4157-es fülszimulátor is hasonló célt szolgál, kimondottan hallójáratba illeszthető mérésekhez. Itt rászorító kar nincs, helyette egy referencia sík határozza meg a mérés menetét. A kérdés itt is az, hogy elegendően nagy átmérő határok között lehet-e változtatni a csatolókat, hogy a különböző típusok beleférjenek. A 4195-ös, ahogy fenti társai is, jórészt telefonos mérésekre valók, noha rendelkeznek különböző csatolókkal, üregekkel, egyik sem alkalmas kimondottan az itt tárgyalt feladat elvégzésére.

A Head Acoustics cég által gyártott HMS II.3 HEAD is teljesíti a szabványokat (ITU-T P.58, IEC 711) de csak a jobb oldal füléhez szállítják a csatolót, a bal fülé opcionálisan rendelhető. A fülkagyló az ITU-T P.57 Type 3.3 ill. Type 3.4 szabványnak felel meg, a II.3 és II.4 fejhez is rendelhető. A 3.4-es típus egyszerűsített forma melyet az olyan mérésekhez ajánlanak, ahol az átvitel függ a nyomástól.

A G.R.A.S. cég műfeje a KEMAR Manikin Type 45BA (ANSI S3.36/ASA58-1985) a teljes körű akusztikai vizsgálatok céljára. Gyártanak műfület is, öt különböző típus létezik (Artificial Ear Type 43). A 43AC verziót szánják fülhallgatók és hallójáratba illeszthető mérésekhez. A torzó mellett létezik csak fej- és fül szimulátor is (Ear and Cheek Simulator). Nyolc különböző fülkagylót lehet felhasználni (kicsi-nagy, bal-jobb, puha-nagyon puha) attól függően, melyikre van szükségünk. Tipikusan a női, illetve ázsiai fülek a kisebbek.

A BK 4128C, a KEMAR és a Head Acoustics HMS II dobhártya helyén elhelyezett mikrofont tartalmaz; míg a BK 4100 ill. a HMS III a blokkolt bejáraton lévő.



A BK 4128 mŕfej.



HEAD Acoustics HMS II fej.

