

# Zajártalom-vizsgálatok a közlekedésben és mobil zenekészülékek alkalmazásában

WERSÉNYI GYÖRGY

Széchenyi István Egyetem  
Telekom Hochschule für Telekommunikation Leipzig  
wersenyi@sze.hu

*Kulcsszavak:* zajterhelés, motorkerékpár, zene, mp3, közlekedés

**A zajártalom, a zajvédelem és a környezetünk zajainak emberi aspektusai régóta mérések tárgya az akusztikában. Szabványok és előírások léteznek arra vonatkozólag, mi az ami megengedhető, ami károsító, hogyan kell ezeket a paramétereket mérni, kiértékelni. 2009 nyarán a győri Széchenyi Egyetem és a lipcsei partnerintézmény közös projektjében nagyvárosok utcai zaját, a különböző tömegközlekedési járművekben fellépő zajterhelést, illetve motorkerékpár sisakban fellépő hangnyomás értékeket vizsgáltunk. Továbbá 50 hallgató részvételével egy átlagos mp3-lejátszó által okozott hangszinteket mértünk meg annak érdekében, hogy következtetéseket vonjunk le a lehetséges zajártalmakról. Az ekvivalens zajszint ( $L_{Aeq}$ ) és spektrális kiértékelések mellett audiométeres ellenőrzést is végeztünk.**

## 1. Bevezetés

A zajártalom és a különböző zajok, sőt a zenehallgatás hallásra gyakorolt hatása régóta vizsgált terület. A zajszintmérés, a zajvédelem környezeti probléma, mérnöki feladat, míg a hallásvizsgálat már az orvosi terület határait súrolja. Így a zajanalízis, annak mérése és kiértékelése, valamint a műszeres audiológia szorosan összekapcsolódnak.

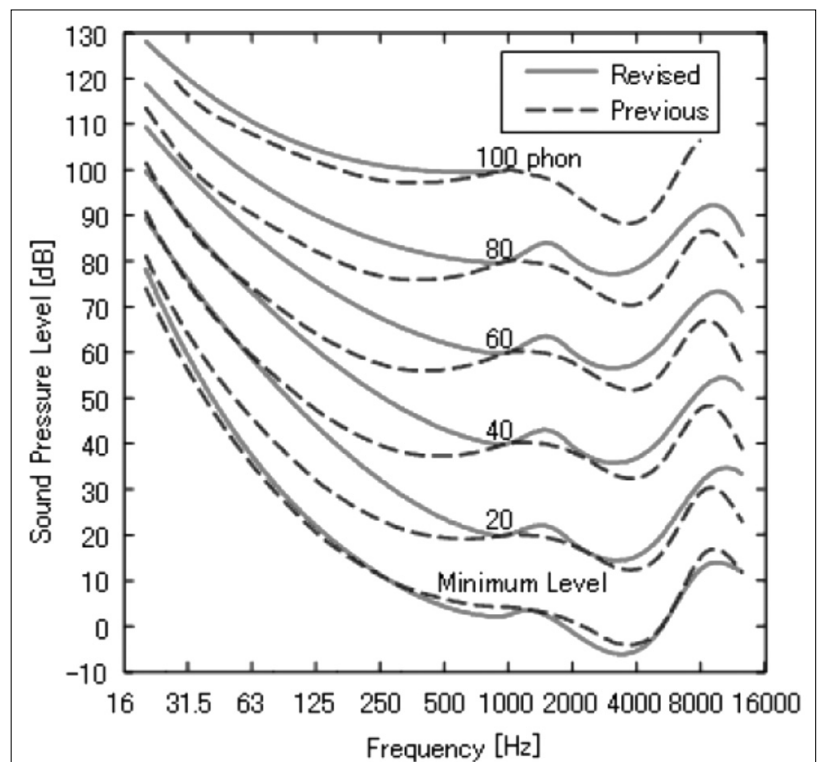
Már régóta ismert, hogy mekkora, miféle környezeti zajoknak vagyunk kitéve, és általánosan mekkora dB-ben megadott hangnyomásszintekkel találkozhatunk. A hangnyomásszint 20  $\mu$ Pa-ra vonatkoztatva mondja meg, hogy egy adott hanghatalás hol helyezkedik el a 0 dB (hallásküszöb) és a körülbelül 120 dB körüli fájdalomküszöb-szint között. A lineáris skála helyett gyakran az ismert, szabványos, úgynevezett A-súlyozó görbét használjuk, amely figyelembe veszi a hallás tulajdonságát, miszerint fülünk a mélyebb frekvenciákon érzéketlenebb. Így egy felüláteresztő súlyozógörbét illeszt a mérésre, ezáltal kiszűrve a gyakran jelentős mélyfrekvenciás rezgéseket (és így kedvezőbb értékeket is kapunk dB(A)-ban). Ha a mérést nem állandó zaj mellett végezzük, akkor a mért dB vagy dB(A) érték is ingadozni fog, így átlagolási időablakokat is be kell állítani.

A dB-értékek azonban frekvenciafüggően hatnak a tényleges érzékelésre: más hangerősségűnek észleljük az azonos hangnyomásszintű, de különböző frekvenciájú (szinuszos) hangokat. A hangerősség, mint pszichoakusztikai mérték alkalmas az összehasonlításra. Egy hang hangerőssége

ge annyi *phon*, ahány dB a vele azonos hangosságérzetet keltő 1 kHz-es szinuszhang hangnyomásszintje. Lefordítva: azonosan hangosnak észleljük minden szinuszhangot, ami pld. 50 phon hangerősségű, de ehhez egy 1 kHz-es szinuszt 50 dB-el, míg egy mélyebb frekvenciájú hangot nagyobb hangnyomásszinttel kell kiadni. A 0 phon-os görbe a hallásküszöb.

A hallásküszöb felvételének egy jó módszere a Békésy-féle lengőkiegyenlítéses vizsgálat: a hangerőt egyenletesen növeljük, amíg a kísérleti személy gombnyomással jelzi, hogy a hangot meghallotta. A gomb nyomva tar-

1. ábra A 2003-as szabvány által revidált görbék



tásával a hangerő csökkenni kezd mindaddig, amíg a megfigyelő azt már nem hallja. Ekkor elengedi a gombot, és a hangerőt újra növeli... Az eljárást ismételve a küszöbszint meghatározható (a keresett szint körül fog ingadozni).

A hallásküszöb görbájén végighaladva olyan pontokat kötünk össze, amelyeket azonosan hangosnak, „éppen meghallhatónak” nevezünk. Ez pontosan a korábban megismert hangerősség fogalma. Azonban nem csak ezt, hanem több, különböző phon-értékhez tartozó azonos hangerősségű görbét is felrajzolhatunk a frekvencia függvényében, ezek az azonos hangerősségű görbék. A legismertebb, szabványos, de gyakran egymással is összekevert görbeseregek az alábbiak: a Fletcher-Munson görbétet szinuszos hanggal veszik fel fejhallgatón át (1933), míg az úgynevezett Robinson-Dadson (1956) izofóniás görbétet szemben irányban elhelyezett hangszórókkal, süketszobában – a két görbesereg nagyon hasonló, de nem identikus. Az ISO-szabvány (1. ábra) 2003-as aktuális kiadása egy harmadik verzió, nem követi a fentiek egyikét sem [1].

Érdeemes megnéznünk a hallásküszöb teknő alakú görbét, ugyanis az audiológia ehhez hasonlítja a betegek halláskárosodását. Ennek mértékegysége a dBHL (dB hearing level loss), azaz dB-ben adja meg bizonyos frekvenciákon a szabványosított „átlagos” hallásküszöb görbéhez képesti eltérést. Ha valakinek szabványosan tökéletes a hallása, akkor egy a frekvenciában konstans 0 dBHL görbét kap, ekkor hallásküszöbe pontosan a szabvány szerinti. Ezeket a méréseket általában süket vagy csendes helyiségekben végzik, szabványos audiométerrel.

Ha zajártalomnak vagyunk kitéve, a hallás károsodhat. Ez lehet ideiglenes, ilyen tapasztalhatunk például koncert vagy diszkó után, amikor cseng a fülünk és nagyothallunk. A hallás védekezik a terhelés ellen: megemeli a biológiai csillapítást a fülben, amely tehetetlensége révén némi idő után áll be az eredeti állapotába (akár órákat is igénybe vehet). Ezt ideiglenes hallásküszöb-eltolódásnak nevezzük (TTS – temporary threshold shift), ez nem maradandó. Ha azonban a zaj erősebb vagy hosszantartó a TTS, maradandó, permanens károsodáshoz vezethet (PTS).

Lehmann-szerint az öt zajkategória (lépcső) az alábbi [2,3]:

0-ás szint: 0-30 dB(A).

Csak ritkán van észlelés, általában meg sem hallható és a való életben ritkán fordul elő ennyire csendes környezet. Legfeljebb impulzusszerű hang okozhat észrevehető zajt.

1-es szint: 30-65 dB(A).

Halláskárosodás nem lép fel, de a beszélgetést már zavarhatja egy ilyen zaj és éjszakai (el)alvásnál is zavaró lehet, különösen, ha az a percek nagyságrendjében ismétlődik.

2-es szint: 65-90 dB(A).

Itt már a hallószerv számára veszélyes zajról beszélünk, mely véráramlászavart és adrenalinlökéseket okozhat. Hosszabb 80-90 dB(A) behatásnál TTS léphet fel.

3-as szint: 90-120 dB(A).

A kettes szint eseményein túl, pszichikai szimptomák is előkerülnek, mint például a stressz. Hosszabb behatásnál maradandó (PTS) halláskárosodás jöhet létre a Corti-szerv sérülése miatt.

4-es szint: >120 dB(A).

A fájdalomküszöb környékén, illetve azt túllépve, hallásvédelmi reflexek kapcsolnak be (mint a fülek befogása vagy az elfutás). Egyensúly- és mozgászavar is felléphet és már rövid idejű behatás is PTS-t okoz.

Az 1. táblázat mutatja a dB(A)-ban értelmezett szint és az ahhoz tartozó maximális hatásideőt, amely még nem okoz TTS-t.

dB(A)	idő	dB(A)	idő
86	6h 21 perc	99	19 perc
87	5h 3 perc	100	15 perc
88	4h	101	12 perc
89	3h 11 perc	102	10 perc
90	2h 32 perc	103	7,5 perc
91	2h	104	6 perc
92	1h 57 perc	105	5 perc
93	1h 16 perc	106	3,7 perc
94	1h	107	3 perc
95	48 perc	108	2,5 perc
96	38 perc	109	2 perc
97	30 perc	110	1,5 perc
98	24 perc	111	0,7 perc

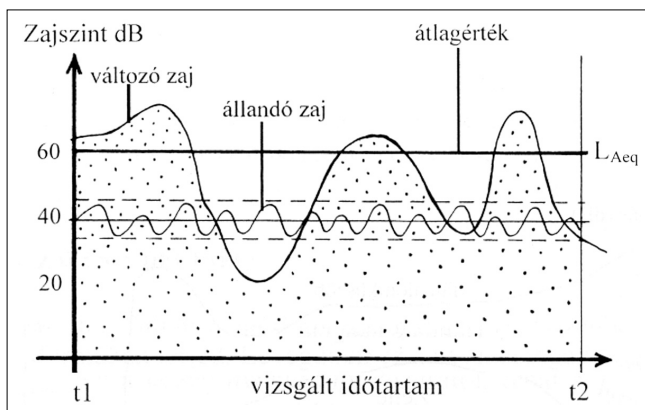
1. táblázat  
Hatásideő és zajszintek TTS elkerülésének érdekében

Az idáig bemutatott mértékek és mérések szinuszos hangok esetén igazak, azokat hasonlítjuk össze. Zajok esetén a helyzet bonyolultabb, hiszen ritka az időben állandó zaj. Egy forgalmas utca vagy éppen egy zene szám hallgatásánál nehéz egyetlen dB-értéket meghatározni, ezért a leggyakrabban a változó zajok és hangok esetén az úgynevezett ekvivalens zajszintet adjuk meg (mérjük meg).

$$L_{Aeq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (t_i 10^{0,1L_i}) \right] \quad (1)$$

A képletben  $T$  a mérési időtartam,  $L_i$  a hangnyomásszint az  $i$ -edik időmintában,  $t_i$  a mintavételezés ideje, a mértékegység dB(A). Jelentése: az a zajszint dB(A)-ban, amely ugyanakkora halláskárosodással (terheléssel) járna, mint a változó zaj esetében (2. ábra).

A modern digitális zajanalizátor készülékek a lineáris dB, az A-súlyozású dB(A) és az  $L_{Aeq}$  mérése és kijelzése mellett tercsávós spektrálanalízisre is képesek. Ezzel felfegyverkezve indulhatunk a méréseknek, a beépített gömbkarakterisztikájú és kalibrált mikrofonja segítségével. Amennyiben valamilyen oknál fogva az emberi irányhallást is figyelembe akarjuk venni, akkor műfejet kell hozzákapcsolni (és kalibrálni).



2. ábra Az ekvivalens zajszint fogalma

A következőkben először közlekedési zaj mérését mutatjuk be, elsősorban különböző járművekben, melyet spektrálisan is kiértékelünk, összehasonlítunk. A folytatásban motorkerékpár sisakján belüli speciális méréseket mutatunk be, végezetül pedig a fenti ismereteket felhasználva zenehallgatási tesztet is végzünk arra vonatkozólag, hogy van-e okunk aggodalomra a hallásunkat illetően.

## 2. Mérési elrendezések és műszerpark

A mérésekhez Brüel Kjaer 2260-as analizátort használtunk, mely tercávanalízisre és az  $L_{eq}$  lineáris és A-súlyozású megjelenítésére is képes. A Qualifier-szoftver a megjelenítéshez és kiértékeléshez nagy segítséget nyújtott. Bizonyos kalibrálási és mérési feladatokhoz a BK 4128-as műfejét vettük igénybe [4].

### 2.1 Közlekedési zajok

Tekintettel arra, hogy rengeteg mérési eredmény áll már rendelkezésre, és bárki saját maga is elvégezheti őket a megfelelő műszerekkel, csak röviden mutatjuk be aktuális eredményeinket a környezeti zajok tekintetében. A méréseket Győrben, Budapesten és Lipcsében végeztük, dB(A) súlyozás melletti  $L_{eq}$  értékekkel, maximális és minimális hangnyomásszint, valamint lineáris súlyozású (azaz frekvenciasúlyozás-mentes) spektrális kiértékeléssel. Előre kell bocsátani, hogy a mérési körülmények ilyen esetben rendkívül változatosak lehetnek és meg sem kísérelhetjük a túl nagy pontosságot, a reprodukálhatóságot, így jórészt tájékoztató jellegűek az eredmények. A 2. táblázatban több mérés átlagát jelenítjük meg.

A spektrális, tercávanalízis további eredményeket szolgáltat (lineáris súlyozás). Az utcazaj először egy lámpás kereszteződésben lett megmérve. Viszonylag szélessávú, bár 2 kHz felett csökkenő a tendencia. Csúcsok

a 63 Hz-es tercáv környékén vannak. Látható, hogy a min-max értékek között elég nagy a szórás, különösen, ha a forgalom szakaszos (piros lámpa, zöld lámpa). Folyamatos forgalom mellett a zaj átlaga is nagyobb és a szórás is kisebb (3. ábra).

Végeztünk néhány mérést a vasúti pályaudvarokon, beérkező és fékező szerelvények esetén a peronon. A szórás itt sem túl nagy, a csúcsok 100-1000 Hz között vannak. A spektrum kis- és nagyfrekvenciák felé is le- vág, noha a fékcsikorgás magasfrekvenciás komponensei megjelennek.

A helyzet változik, amint beszállunk valamilyen járműbe. Ilyenkor zajforrás a jármű motorja (meghajtása, annak rezgései), a külső forgalom zaja, valamint a sebességfüggő menetszél. Gépkocsiban ülve a zajspektrum erősen aluláteresztő jellegű. A kisfrekvenciás rezgések dominálnak, bár itt a hallás kevésbé érzékeny. Látható, hogy a kocszi borítása a magas frekvenciákat szűri és így az utcazaj kevésbé jön be. Hasonlóan, kevésbé megy ki a bent szóló zene, inkább a basszus, amelyet a kocsiszekrény nem szűri (sőt, felerősítheti), ezért halljuk a döngő basszust, amikor egy autó elhalad. Minél több a tényleges utazás, annál közelebb kerül az átlagérték a maximumokhoz, hiszen a minimális értékek állásban adódnak. Ez a megfigyelés igaz a tömegközlekedési járművekre is, ahol a megállókat jelentik a „csend szigetét” (4. ábra).

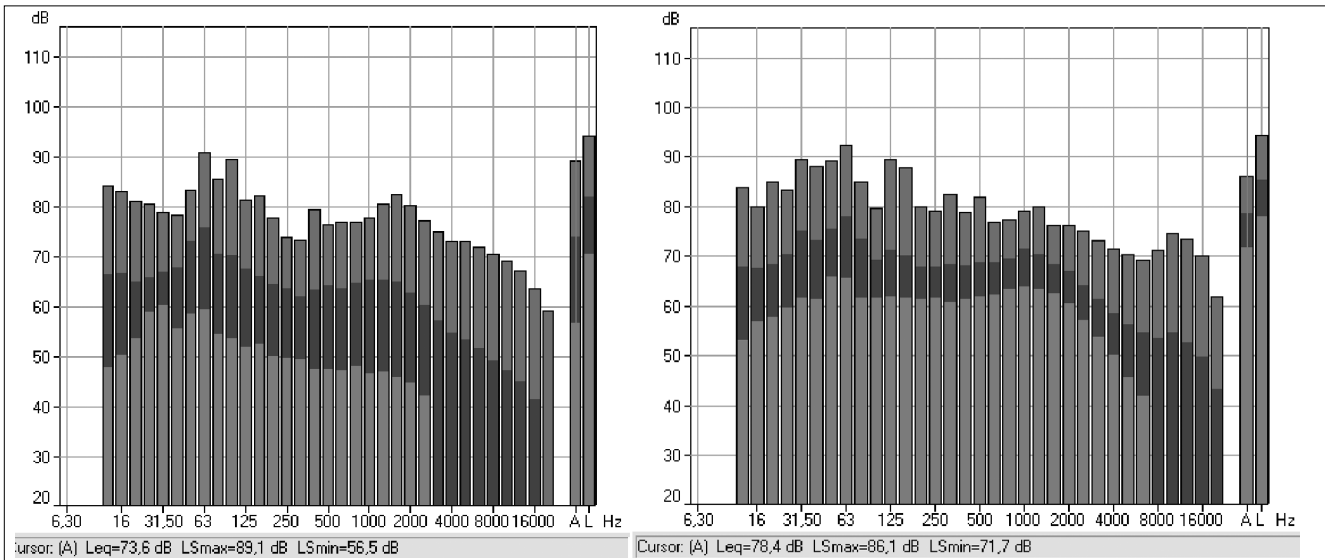
Vonat esetén a saját gép zaj mellett az elhaladó másik vonat jelenti a forgalmi zajt, a fékezések a saját zajhoz járulnak hozzá, illetve itt is van menetszél. A spektrum jellege hasonló az autóhoz, de a mérési paraméterek hatása nagyobb, az eredmények nagyban függenek a vonat típusáról, sebességétől, az ablakok szigetelésétől stb. A mérést három IC/EC szerelvényben mérve a kapott 64,5 dB-es  $L_{eq}$  érték kimondottan jónak tekinthető, de ez a nyitott ablakú és/vagy kevésbé hangszigetelt gyorsvonatok esetén lényegesen rosszabb.

Buszban is hasonló a helyzet, 16-80 Hz körüli maximumokkal, egyenletes, lineáris esésű diagramot kapunk (ezen a frekvenciaskálán ábrázolva). Villamos esetén a rezgések nem a benzinmotorból jönnek, így alapjában csendesebbek a buszoknál. A mérések a megállóban is folytak, így ezekben az esetekben is nagy a min-max különbség. A sofőr, illetve a bemondó által közölt beszéd is elég hangos. Villamos esetén a mély frekvenciák nem olyan jelentősek, mint autó, vonat vagy busz esetén.

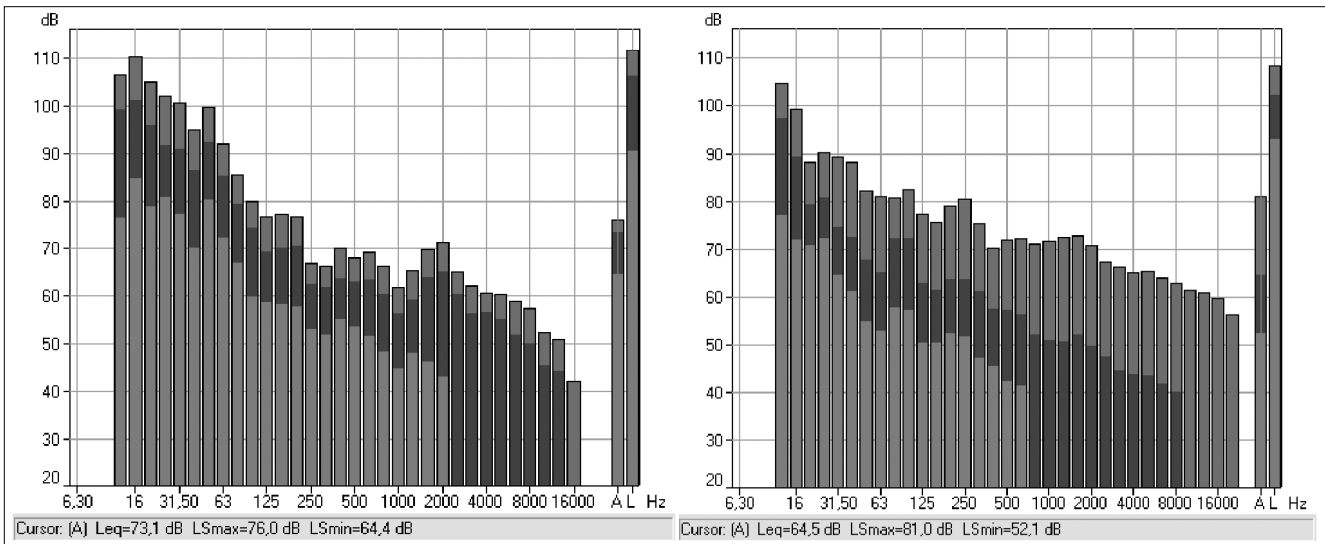
A metró különleges eset, itt ugyanis nagyon erős a zaj, különösen beszédfrekvenciákon. Sokan panaszkodnak arra, hogy a pesti metró utazás közben nagyon hangos, speciálisan a beszédfrekvenciákat „lövi ki” és a zenehallgatást is megnehezíti. Ezt a mérések igazolják. Az 5. ábra egy a megállókat is figyelembe vevő és egy, csak az utazás közben mért átlagos spektrumot mutat.

2. táblázat  
Összefoglaló, átlagos eredmények ekvivalens zajszintre, maximális és minimális határokra

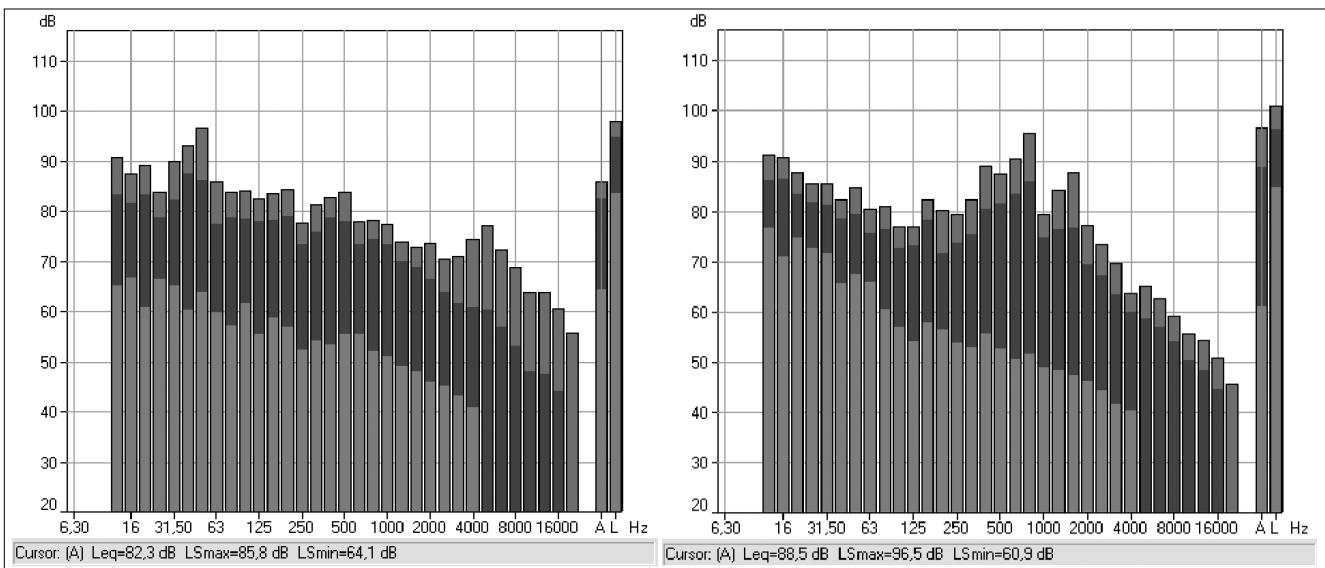
Mért zajszintek	$L_{eq}$ dB(A)	Max dB(A)	Min dB(A)
utcazaj, forgalom (1 m az úttesttől)	70-78	85-90	56-70
vonat belső tere	65-78	81-87	52-64
autóbusz, villamos, autó belseje	69-72	75-85	60-70
budapesti metró belső tere	83-89	86-97	60-66



3. ábra Tercsáv spektrum a győri Árkád áruház lámpás körforgalmánál szakaszos közlekedés mellett (balra), illetve a budapesti Sasadi úti buszmegállóban, állandó forgalom mellett (jobbra)



4. ábra Tercsáv spektrum autóban ülve (balra), illetve EC/IC vonatban ülve (jobbra)



5. ábra Tercsáv spektrum pesti metrózás során a megállókkal együtt (balra), illetve csak utazás közben (jobbra). Az átlag közel van a maximumhoz, nagyjából konstans a zajterhelés, és hangos. Látható a spektrális csúcsok megjelenése a közepes frekvenciák környékén, 90 dB felett.



6. ábra  
Bal oldalt: soros négyhengeres, gyári utcai jármű és zárt sisak. Jobbra: cross-motor, cross sisakkal

Látható a megemelkedett rész – a 200-3000 Hz tartományban, ahol elérheti a 95 dB-t is –, amely szinte lehetetlenné teszi a beszédet és a zenehallgatást. Nagy sebességnél ez tovább emelkedik és fűtülő hangot is ad.

A közlekedési zajokat összefoglalva és 20 már átlagolt mérést újra átlagolva az  $L_{eq}$  75,6 dB(A)-t eredményez, amelyet tekinthetünk egyfajta átlagos közlekedési zajnak a városban, különböző járművekben. Ez Pesten 76,6, míg Győrben 74,2, amely nem jelentős különbség. Mivel a körülmények rendkívül változóak lehetnek napszaktól, forgalomtól és egyéb mérési paraméterektől függően, óvatosan kell ezeket az értékeket kezelni és messzemenő következtetéseket nem levonni belőle. Így közvetlenül a zajdózis számítására sem feltétlen elegendők ezek az adatok. Becsléseket azonban lehet végezni, ha a fenti értékeket beszorozzuk a besugárzási idővel (zajdózis). Az ilyesfajta becslések és számítások az átlagérték alapján adnak egyfajta támpontot és ezek az értékek nem mutatnak a veszélyes zóna felé, ami a hallást illeti. Nem szabad azonban elfeledkezni a hirtelen vagy éppen periódikusan visszatérő maximális amplitúdókról sem, amelyek erősen növelhetik a zajterhelést és az ezzel járó pszichés és szervi megterhelést.

Végezetül ne feledkezzünk meg arról, hogy amikor útközben zenét hallgatunk, akkor az aktuális fellépő zajt akarjuk túlszárnyalni, így egyáltalán nem mindegy, mekkora zajnak vagyunk kitéve.

## 2.2 Motorkerékpár

Bizonyos mérési szituációban műfejet is használhatunk a méréshez, például kocsiban ülve az első ülésbe szíjazva. Egy speciális esetben azonban nem hagyatkozhatunk műfejes mérésekre. A fentiekben végig a 2260-as analizátort használtuk, pedig lehetőség lenne binaurális mérésre is. Ekkor a műfejet kell beültetni a járművekbe, amely ezáltal a gömbkarakterisztikájú mikrofon helyett a fül irányhatását is figyelembe veszi, azaz a hangforrások iránytól függően szűr (például 3-4 kHz környékén általában kiemeli, de a fejárnyékban csillapítja).

	MTR/ Yamaha	Shuberth/ Yamaha	Shark cross/ KTM	Shark zárt/ KTM
alapjárat motorhang (1 méterre)	67,6	67,6	86,4	86,4
alapjárat motorhang a sisak alatt	68,2	66,8	86,1	84,1
városban	80,8	76,6	93	89,1
országút	101 (12 p)	93,2 (76 p)	103,2 (7 p)	100 (15 p)
autópálya	102,5 (7,5 p)	94,1 (60 p)	105,7 (3 p)	104,9 (5 p)

3. táblázat

A két motor és a két-két sisak mérési eredménye dB(A)-ban ( $L_{Aeq}$ ). Az utolsó sorokban feltüntettük, hány percig lehetne utazni TTS nélkül.

A városi menet 50 km/h, az országút 80-90 km/h, az autópálya 110-130 km/h folyamatos sebességű haladást jelent.

Tekintettel arra, hogy az ilyen mérés nagyon körülményes és a mérendő mennyiségek szórása a többi paraméter függvényében túlságosan is nagy, sok értelme a binaurális méréseknek nincs abban az esetben, ha az irányinformáció nem olyan fontos (egy állandó helyen ülő ember adott állandó irányból érkező zajterhelésének vizsgálatához hasznos lehet, de egy út szélén állva az elhaladó forgalmzajnál ennek nincs nagy jelentősége).

Azonban ha a jármű olyan, ahol a vezető szerepét is be kell tölteni, a műfej akkor sem alkalmazható, ha szeretnénk. Ennek tipikus esete a motorkerékpár és a bukósisak. Személyes megfigyelés vezetett oda, hogy motorozás közben körülbelül 1 óra folyamatos utazás után TTS lép fel, és a füldugó használata ajánlott (kipróbáltuk a zenehallgatást is menet közben sisak alatt, amely szinte teljesen hallhatatlan).

A megfigyeléseken felbuzdulva két motorkerékpár és két-két sisak zajsűrő képességét mértük meg álló helyzetben, illetve különböző sebességű menet közben. Az egyik jármű egy soros négyhengeres 600 köbcentis gyári típus, a másik egy egyhengeres „cross-motor”. A sisakok közül három teljesen zárt, plexivel fedett, míg egy pleximentes, úgynevezett cross-sisak. A méréshez BK4101-es binaurális fülbe illeszthető mikrofont lehet a BK2260-os csatlakoztatni (kalibrálás után). A berendezést

hátizsákban és időzítővel ellátva viselte a sofőr (6. ábra). A mérési paraméterek, mint a forgalom vagy a sebesség állandóan tartása nem biztosított maximálisan. A motorzaj (sajátzaj), menetszél, illetve a forgalom zajai számítottak a mérésnél. Az időzítés során 2 percenként mért a műszer 1 percen keresztül (3. táblázat).

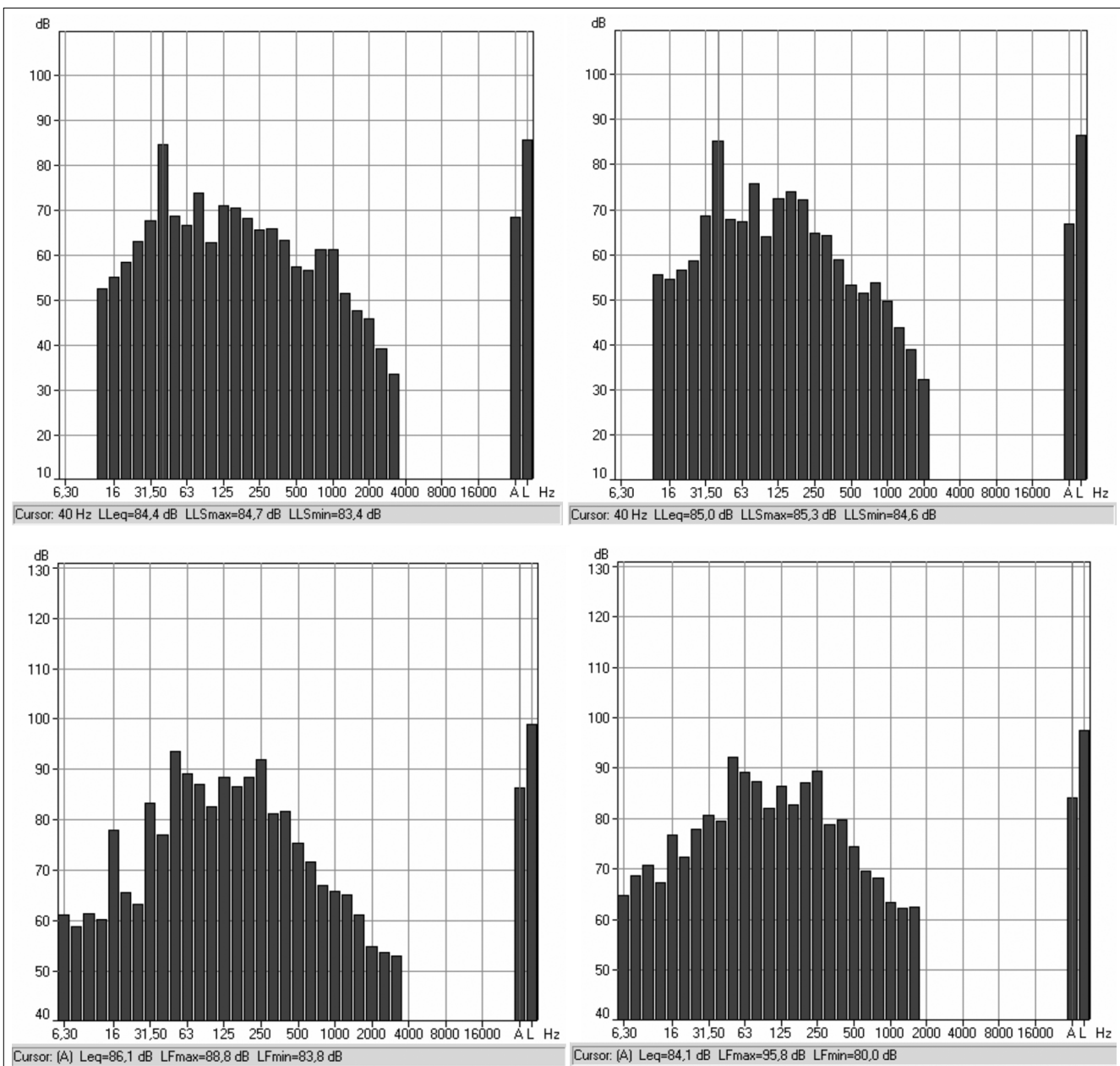
A négyhengeres típusnál a motor alapjáratzaja nem túl hangos (fordulatszám 1500 körüli), a mélyebb frekvenciák dominálnak (7. ábra). Az olcsóbb MTR-sisak 4000 Hz felett levág és alig vannak felette mérhető eredmények. A drágább Shubert-hsisakkal ugyanez már 2000 Hz felett igaz. Minél nagyobb a sebesség, annál nagyobb a menetszél zaja, ami a legfontosabb paraméternek tűnik a vezetés során. Ebben lényegesen jobban teljesít a drágább típus. Az MTR átlagban 5-6 dB-t, míg a Shubert-h 7-9 dB-t csillapít és ez a csillapítás önmagában,

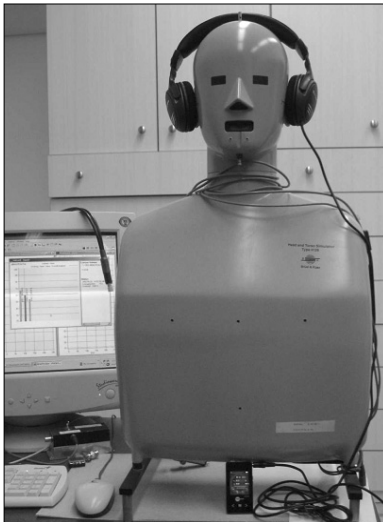
illetve egymáshoz képest is közel lineárisan emelkedik a sebesség függvényében. Földugó javasolt, amelyek átlagban további 15-25 dB-es csillapítással szolgálhatnak.

Látható, hogy a másik motorkerékpár alapjáraton is hangosabb (elsősorban a kipufogó miatt), a nyitott cross-sisak pedig alig csillapít bármit is. Érdekes a spektrum alapján, hogy még ez a sisak is aluláteresztő jellegű, és körülbelül 3500 Hz felett szűr. A motor 16 Hz-nél mutat alaprezgéseket (egyhengeres motor, 1000-es fordulatszámának megfelelően). A négyhengeres motornál 50 Hz-nél volt a magas spektrumvonal, de itt nehezebb az egyes ütemek miatt hozzárendelni a fordulatszámhoz. A zárt (integrál) sisak hasonlóan viselkedik, mint a másik kettő, közepes csillapítás mellett és 2000 Hz körül vág.

7. ábra Két motor és négy sisak összehasonlítása.

Fent a négyhengeres motor és az MTR (balra), illetve a drágább Shubert-h sisak (jobbra) tercsávós spektruma. Alul a cross-motor és a cross-sisak (balra), valamint a zárt sisak (jobbra) eredményei.





8. ábra  
A BK 2128-as műfej  
és a mérendő eszköz

Lépcsők	klasszikus	rock	pop	1 kHz	zaj
20	59,1	60,7	59,6	71,5	73,9
21	61,3	62,8	61	73,4	75,8
22	62,5	63,9	62,9	75,1	78,2
23	64,2	65,7	65,2	76,9	79,8
24	65,8	67,2	66,2	78,6	81,6
25	67,4	68,7	68,2	80,1	83,1
26	69,2	70,6	69,5	82,1	85,2
27	70,7	72,2	71,1	83,7	87,1
28	72,7	74	72,9	85,5	88,7
29	74,3	75,5	74,4	87,1	90,3
30	76,3	77,2	76,1	88,9	92,4
31	77,6	79	77,8	90,5	93,9

4. táblázat  
Hangerősség-lépcsők és az öt hangminta kapcsolata  
a műfej dobhártyájának helyén ( $L_{Aeq}$ , dB)

A motorozást illetően megállapíthatjuk, hogy a zajterhelés nagy lehet, különösen az alpból hangosabb típusoknál. Földugó nélkül akár néhány percesre is zsu-gorodhat a vezetési idő, ha a TTS-t el akarjuk kerülni. A nyitott sisakok alig csillapítanak és a zárt típusok között is komoly eltérés mutatkozik (értelmesebb lehet a drágábbat megvenni, mert az halkabb). Földugó viselése mindenképpen javasolt, hiszen 85-95 dB(A) szintek mellett utazunk, de a csúcserőterek meghaladhatják a 100 dB-t is.

### 3. Zenehallgatás hordozható lejátszón

A hordozható zenehallgatást a 80-as évek slágere, a walkman teremtette meg. Később ezt követték a CD-alapú discman-ek, manapság pedig a mobil telefonok vagy az iPOD terjedésével mindennapossá válták a memórialapú mp3-lejátszók. Utóbbiak sikere egyértelmű, hiszen kicsik, könnyűek, hatalmas a tárolókapacitásuk, nincs bennük mozgóalkatrész és az elemek élettartama is jelentős, így tényleg igazi mobil eszközként funkcionálhatnak akár mozgás, sportolás vagy éppen utazás közben (a ma kapható autórádiók már rendelkeznek SD-kártya vagy éppen USB bemenettel). Éppen ezért a fejhallgató zenehallgatás hallásra gyakorolt hatása a mai napig aktuális téma, különösen a fenti közlekedési zajok figyelembe vételével.

Ahhoz, hogy a zenét élvezzük, a környezet zaját túl kell lépnünk hangerősségben (beleértve a fejhallgató zajszűrő-csillapító hatását is). Már ismerjük a szabályt: a kétszer olyan hangos „valami” 10 phon-os növekedéssel jár együtt. Kis közelítéssel azt is mondhatjuk, körülbelül 10 dB-es növekményre van szükség ehhez.

#### 3.1 Mérési elrendezés

Vizsgálatunkban 50 ember vett részt, jórészt 30 évesnél fiatalabbak egy csendes szobában (maximális háttérzaj 50 dB(A)). A lejátszó egy olcsóbb, általános fajtájú „mp

man” mp3 lejátszó volt, de hozzá nem a gyárilag szálított, hanem a Technics RP-F800 típusú fejhallgatót kapcsolunk.

Harminc másodperces hangmintákat rögzítettünk rá, ebből három zene (pop, rock, klasszikus) illetve 1 kHz-es szinuszjel valamint fehérzaj. A 128 kbit/s-os mp3 észlelhetően rosszabb volt az eredeti wave adatoknál (különösen nagyfrekvencián szűrt), de a 320 kbit/s egyenértékű volt a wave minőséggel. Mind az öt fájlt közel azonos hangerősségre (kivezélésre) állítottuk wave editorral, így sem közben, sem az átmenetek során nem volt komolyabb hangerő ingadozás. Ezzel próbáltuk garantálni, hogy a 30 mp-en belül ne kelljen a hangerőt szabályozni a zene tartalma miatt.

Az alanyokat csoportosítottuk nem, életkor és zenehallgatási gyakoriság szerint. Utóbbi alapján öt csoportot határoztunk meg:

1. csoport: 1 óra/hó
2. csoport: 1 óra/hét
3. csoport: 3-5 óra/hét
4. csoport: napi 1 óra
5. csoport: napi több, mint 2 óra zenehallgatás fejhallgatón át.

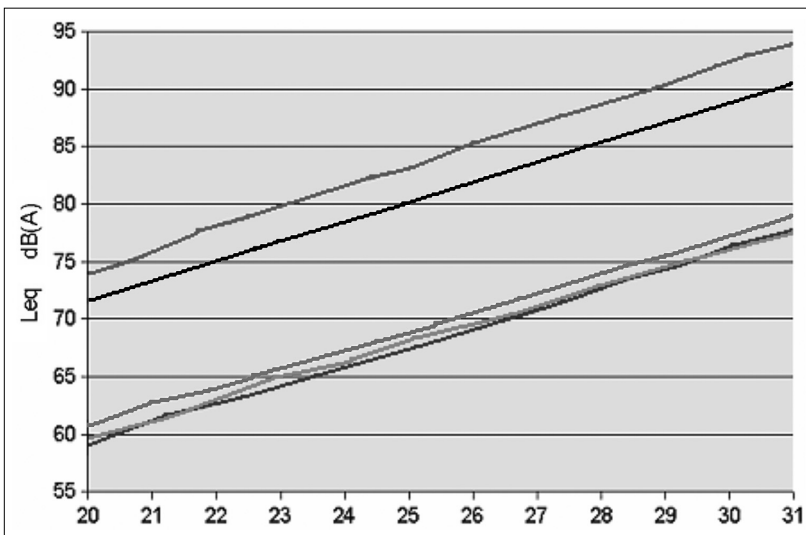
Az alanyokat szabványos audiométeres tesztelésnek is alávetettük, ugyanabban a csendes (de nem süket) szobában [6,7]. A feladatuk az volt, hogy e körülmények mellett mind az öt mintához állítsák be azt a hangerősséget, amellyel szívesen hallgatnák az adott hangot. Az eszköz hangereje lépésenként szabályozható, a legkisebb értékelhető a 20-as, a maximális a 31-es szintnek felelt meg. Ahhoz, hogy ezekhez a lépcsőértékekhez konkrét hangnyomásszintet rendelhessünk, süketszobában műfajjal kalibráltuk a rendszert (8. ábra).

A méréshez a BK 4128-as műfejet és a PULSE Lab Shop programot használtuk dB(A) illetve  $L_{Aeq}$  üzemmó-dú szintméréshez. Szinusz és zaj esetén a mérés elég egyszerű, zene esetén átlagolásra is szükség volt.

A 4. táblázat mutatja az átlagos értékeket a dobhártya helyén az adott lépcsőhöz viszonyítva. Egy ilyen ered-

mény az adott fejhallgatóhoz tartozik, hiszen annak csillapítása is benne van: másik fejhallgató esetén új mérésre volna szükség.

A 9. ábrán megfigyelhető, hogy egy lépcsőnyi hangereősségváltoztatás 1,66 dB-es különbségnek felel meg zenénél átlagosan (21%-os hangnyomásszint növekmény); 1,73 dB szinusznál és 1,81 dB a zajnál, de mindhárom esetben lineáris a változás a logaritmusos tengely mentén (lineárisan ez exponenciális változásnak felel meg).



9. ábra

A hangnyomásszint változása a lépcsők függvényében az öt jelre, logaritmusos ábrázolásban (legfelül zaj, alatta szinusz, középen rock, alatta pop, legalul klasszikus zene)

Tekintettel arra, hogy a legnagyobb, 31-es fokozat sem túl hangos, megfigyeltük, hogy sokan még ennél is hangosabbra állítanák az eszközt. Ilyenkor egy járulékos lineáris hangfrekvenciás erősítő közbeiktatásával dolgozhatunk. Ennek oka lehet, hogy vagy a fejhallgató csillapítása túl nagy (egy másik fülhallgatóval nagyobb értékeket értünk el, így ez bizonyosan közrejátszik), illetve, hogy az eszközökbe beleépítenek egy védelmi funkciót. Ennél az eszköznél erre nem találtunk utalást, de hasonló eljárást az iPod is alkalmaz, ahol menüben maximalizálható a hangerősség a hallás védelmének céljából.

### 3.2 Audiométeres tesztelés

Az audiométeres vizsgálat a szokványos módon történt, hogy összehasonlítsuk az esetleges halláskárosodást az eredményekkel. Ehhez egy PC-n futó és egy másik műfajjal kalibrált szoftveres audiométer programot használtunk: a Home Audiometer 2.0-t [8].

Érdemes megjegyezni itt, hogy a kalibrálás a szoftveres és PC-alapú eszközknél nem egyszerű feladat. Olyan programra van szükség, amely rendelkezik ilyen (ön)kalibrációs funkcióval, hi-

szén az adott esetben a ténylegesen kibocsátott szinuszhangok erőssége függ a PC beállításoktól, annak hangerejétől. Egy számítógép aktuális hangereje nehezen állítható reprodukálható módon (csúszkával, egérrel), a különböző film- és zeneprogramok elállítják, így minden használatkor újra kellene kalibrálni. Jelen esetben a 94 dB-es 1 kHz-es szinuszhanghoz kalibráltuk a rendszert a lipcsei süketszobában egy HEAD Acoustics műfajjal (10. ábra).

### 3.3 Az eredmények kiértékelése

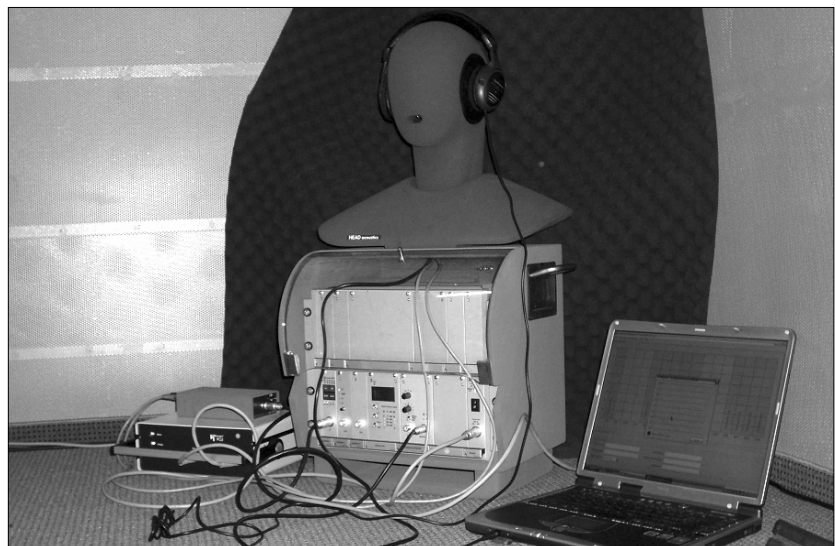
A legfontosabb az átlageredmény ötven ember alapján, az egyes hangfajokra nézve. Ezek az eredmények nem mutatnak a hallás számára veszélyes értékeket. Klasszikus zenéhez 63,8; popzenéhez 64,1; rockzenéhez 69,2; szinuszjelhez 58,7; míg fehérzajhoz 57,4 dB(A) átlagok tartoznak.

A 11. ábra (a következő oldalon) mutatja, hogy az egyes hangerőlépcsők (10-34-ig) milyen gyakorisággal (darab) lettek beállítva zeneszámok esetén. A vízszintes tengelyen a dB(A) értékek is felvannak tüntetve. 31 felettieket járulékos erősítővel lehet beállítani.

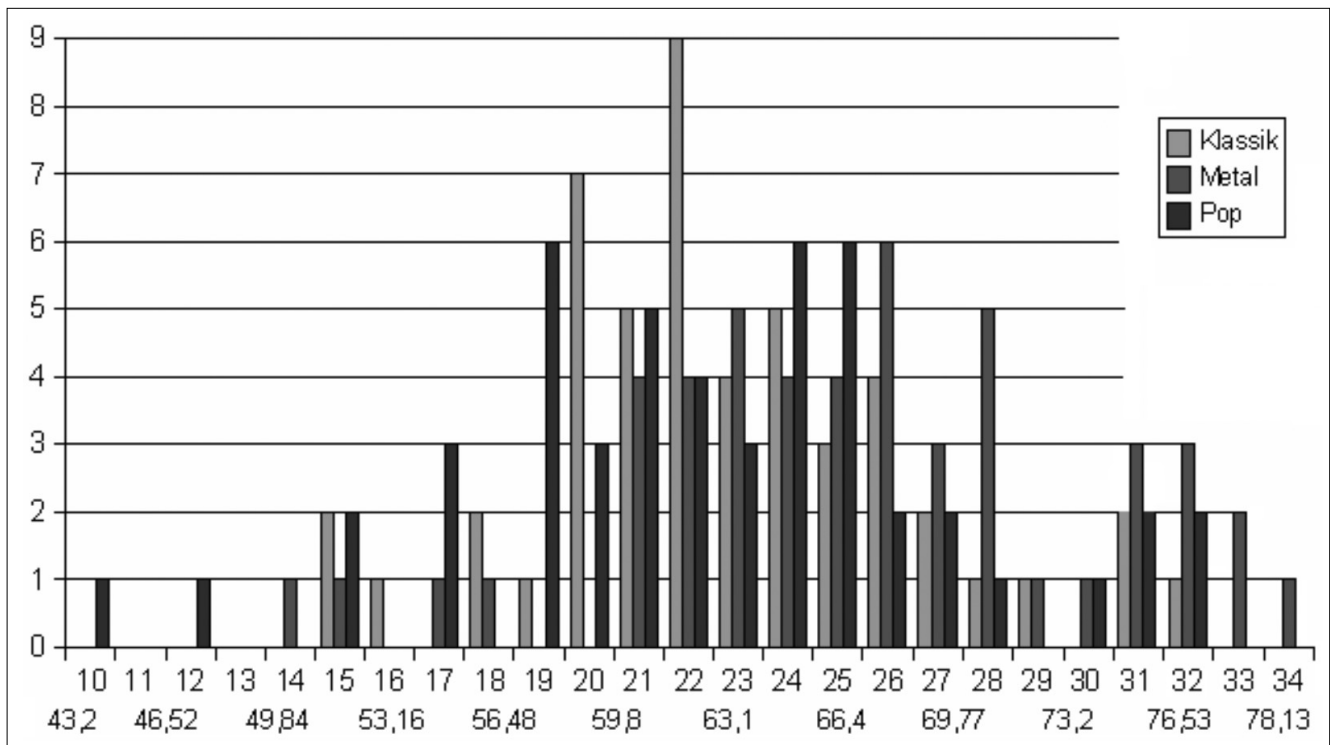
Az eredmények összehasonlítása érdekében egy korábbi vizsgálat eredményeivel egy diagramba rajzoltuk a mostaniakat. A korábbi, 1997-es német vizsgálatban walkman-t használtak és 10-23 év közötti iskolásokat egy zajos utcai környezetben [9]. A mi vizsgálatunkban jórészt 20-30 közötti fiatalok voltak, csendes környezetben, amely különbség jól látható az eltolódáson: a kék, saját mérések oszlopai rendre eltolódtak az alacsonyabb dB-értékek felé, noha mindkét vizsgálatban nagyjából gaussi-jellegű az eloszlás. Ebből az ábrából képet kaphatunk arról is, hogy adott utcazaj mellett mekkora eltolódással kell számol-

10. ábra

Süketszobai műfajes kalibráció a laptopon futó audiométer program számára







11. ábra

Gyakoriság (darab) a hangerő-lépcsők, illetve a hozzájuk tartozó dB(A) értékek függvényében zeneszámok esetén

nunk. Így bár a saját méréseink nem utalnak ebben a környezetben veszélyre, mihelyst az alanyokat közlekedési zajnak tesszük ki, hamar a veszélyes zónában találhatjuk az értékeket!

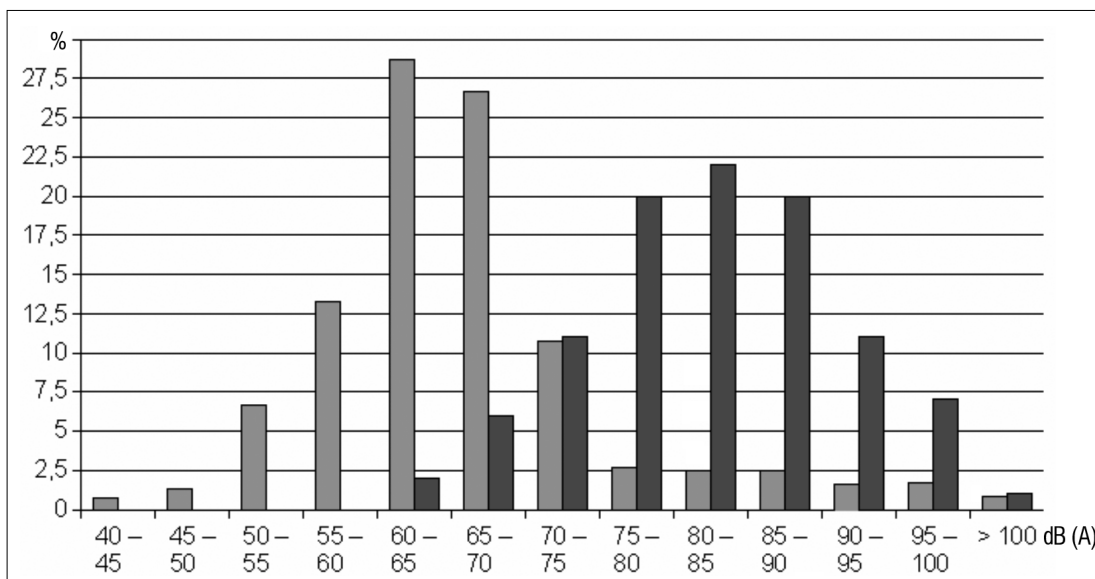
A nemek között nincs nagy különbség: 1-2 dB a zenénél, noha a zajt és a szinuszt a férfiak átlagban 8-9 dB-el hangosabban hallgatnák (illetve bírják elviselni).

Életkor alapján beható vizsgálatot nem lehet tenni, mert a lényegi korcsoportok 19-22, illetve 22-28 között voltak, és csak néhányan 30 felett, akiket most kihagyunk az analízisből. Így nagy különbség nincs a 22 év alattiak és felettiek között, utóbbiak 1,6 dB-el hangosabban hallgatnak zenét, de ez feltehetőleg statisztikailag nem számottevő.

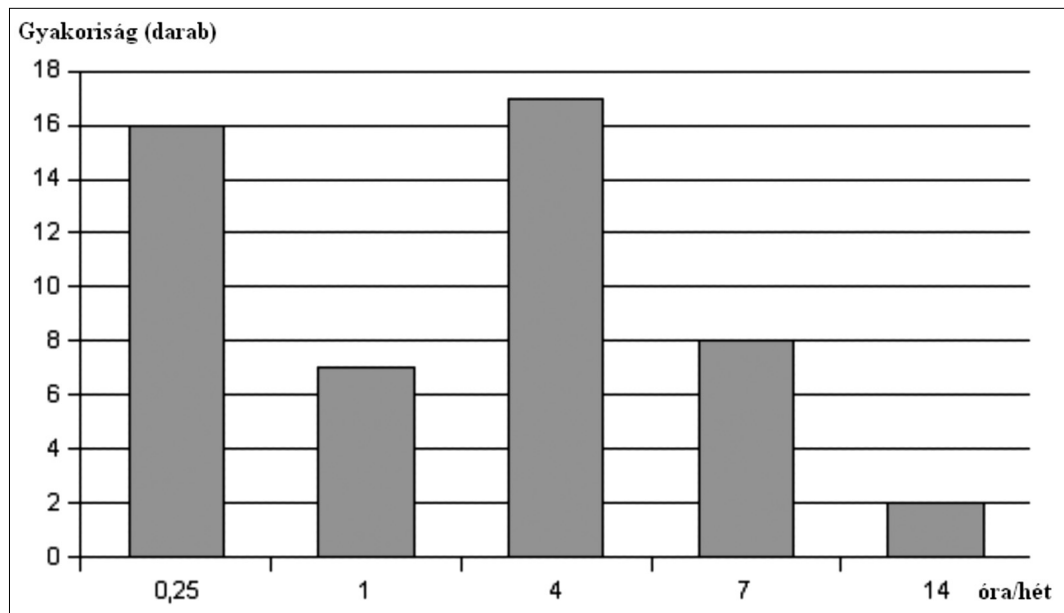
Hallgatási gyakoriságban sincs eltérés nagy a fenti öt csoport között. Mindössze az ötös, a leggyakrabban zenét hallgató csoport átlagértéke lóg ki valamelyest (12. ábra):

- 1. csoport: 65 dB(A)
- 2. csoport: 64,6 dB(A)
- 3. csoport: 66,3 dB(A)
- 4. csoport: 65,3 dB(A)
- 5. csoport: 70 dB(A)

Ha az eloszlást nézzük, akkor kiderül, hogy óra/hétre lebontva milyen gyakorisággal fordulnak elő felhasználók. A legtöbben a hármas csoportba (4 óra/hét) tartoznak, illetve ennél valamivel többet vagy kevesebbet. Fel-tűnő, hogy sokan vannak a vizsgálatban, akik igencsak ritkán teszik ezt, őket bizonyos statisztikákból érdemes



12. ábra  
A hangnyomás-szintek eloszlása egy korábbi német vizsgálat (sötét oszlopok) és a saját aktuális vizsgálatainkban (világos oszlopok). Hasonló eloszlás oka a zajos, illetve csendes szobai környezetből adódik.



13. ábra  
Az 50 alany eloszlása  
a zenehallgatási  
gyakoriság  
szempontjából

kihagyni. Ez az eredmény egybecseng az 1997-es német vizsgálattal is, ahol szintén az 1-4 óra/hét volt a leggyakoribb (13. ábra).

Megvizsgáltuk a zenei ízlés hatását és beigazolódott, amit előzetesen vártunk: a hallgatók hangosabban hallgatják a neki tetsző zenét (és nem meglepő módon nem túl hangosan a szinuszjelet és a zajt). Ennek során 14-szer a klasszikus, 32-szer a rock és 15-ször a pop lett megnevezve, mint kedvenc, de sokszor egy alanynak több zene is tetszett. Ha az ábrát normáljuk, azaz a „tetszési indexet” kivonjuk belőle, és úgy módosítjuk, hogy az adott alany tetsző zenéhez tartozó értékből levonjuk az átlagos plusz növekményt, egy lényegileg hasonló eloszlást kapunk. Például ha valaki a rockot szereti és azt 85 dB-re állította és az átlagos rockrajongó 2,5 dB-vel hangosabban hallgatja ezt a fajta zenét, akkor a módosított érték 82,5 dB-re változik (14. ábra).

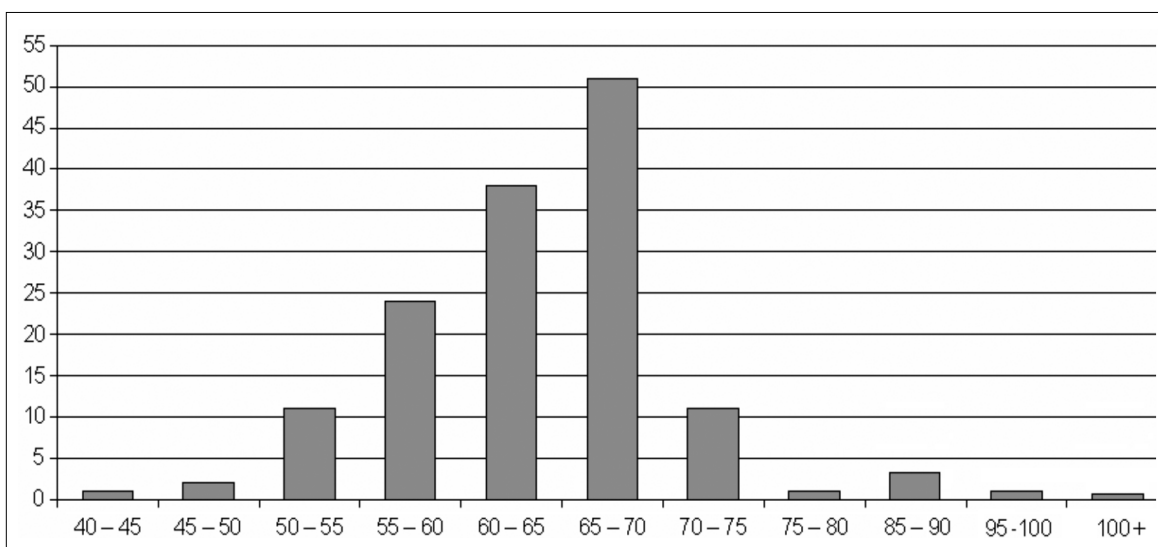
Végezetül az audiométeres tesztelésre kell kitérnünk. Jó hír, hogy a vizsgált alanyok mindegyike belül volt a 20 dBHL-es értéken nagyjából, azaz nem tekinthetők halláskárosultnak. Így arra következtetni nem tudunk, hogy

vajon egy esetleges halláskárosodás megjelenik-e a hangosabb zenehallgatásban. Ehhez feltehetőleg lényegesen nagyobb, 40-55 dBHL károsodásra lenne szükség, ilyen alanyunk nem volt. Az audiogramokat egymással is össze lehetne vetni (ezzel kiejtve az esetleges kalibrációs hibákat is), hogy vajon aki hangosabban hallgatja a zenét, az ugyanannyival rosszabbul hall-e, de erre utaló bizonyítékot nem találtunk.

Az, hogy valaki hangosan vagy halkán hallgatja a zenét, nem feltétlenül van összefüggésben a hallás(károsodás)sal. Ami tetszik, azt hangosabban hallgatjuk, továbbá a műfaj is okozhat hangerőváltozást (a rock tipikusan olyan zene, amit hangosan „illik” hallgatni). A szinusz és a zaj már halkabban is zavaró és kellemetlen, ezért ezeket jóval halkabban hallgatják, mint a zenét.

#### 4. Összefoglalás

Városi utcazaj, illetve különböző járművekben zajszintanalízist végeztünk. Ennek során  $L_{Aeq}$  illetve spektrá-



14. ábra  
Korrigált  
ábra a zenei  
ízlést  
kiküszöbölve

lis kiértékelés és összehasonlítás történt. Megállapítható, hogy 70-80 dB-es átlagos közlekedési zaj mellett nagy, impulzusszerű csúcsok is lehetnek, amelyek a 90-95 dB-t is elérik. Járműveken belül egyrészt a kocsitest aluláteresztő szűrése, másrészt a mélyfrekvenciás rezgések megemelkedése dominál. Motorkerékpár esetén a típus és a sisak fajtája erősen befolyásolja a zajterhelést, még a zárt sisakok között is nagy lehet a különbség. A mért értékek alapján javasolt a füldugó viselése motorozás közben.

Mobil zenehallgatásnál ötven fiatal eredményét csendes szobában megvizsgálva nem tapasztaltunk veszélyes értékeket, ez azonban erősen megnőhet, ha a környezeti zajt kell „legyőzni”. A fejhallgató többé-kevésbé füldugóként is funkcionál, így csillapítja a zajt, típustól függően 10-25 dB értékben. Nemek, életkor és felhasználói gyakoriság függvényében sem találtunk lényeges eltérést.

### A szerzőről



**WERSÉNYI GYÖRGY** 1975-ben született Győrben. 1998-ban a Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett okleveles villamosmérnöki diplomát. 1998 és 2002 között a Távközlési és Telematikai Tanszék doktorandusza a „Békésy György” Akusztikai Kutatólaborban, kutatási témája az emberi térhallás vizsgálatok és műfejes mérés technika voltak. Egy évet DAAD ösztöndíjjal a cottbusi egyetemen töltött, ahol 2002-ben PhD fokozatot is szerzett. 1998 óta tanít a Széchenyi István Egyetem Távközlési Tanszékén stúdiótechnikát, műszaki akusztikát, telekommunikációt és TV technikát. 2005-től egyetemi docens, a HTE győri tagozatának titkára, TDK- és államvizsgafelelős, az Audio- és Videotechnika Labor vezetője. 2004-től vendégelőadó a Lipcsei Telekom Főiskolán. 2002-ben Huszty Dénes Emlékdíjat kapott, 2003-ban és 2007-ben egyetemi Publikációs Nívódíjat. 1997-től tagja az OPAKFI-nak, 2000-től az Audio Engineering Society-nek, 2004-től a HTE-nek, valamint 2007-től az International Community for Auditory Display (ICAD)-nak. Kutatási területe a lokalizáció, virtuális valóság- és hangtér-szimulációs megoldások, hallásmodellelés, vakokat segítő projektek, binaurális rendszerek.

### Irodalom

- [1] ISO 226:2003 szabvány
- [2] K.O. Gundermann, Umwelt und Gesundheit. C.H. Beck Verlag, 1997.
- [3] E. Klotzbücher, Zum Einfluß des Lärms auf Leistung bei geistiger Arbeit und ausgewählte physiologische Funktionen. International Archives of Occupational and Environmental Health, Vol. 37, Nr. 2, June, 1976. pp.139–155.
- [4] T. Knabe, Realisierung von Hörtests und Auswirkungen im Hinblick auf Umweltilärm mit Auswertungen. BSc tézisdolgozat, Lipcse, 2009.
- [5] E. Hochenburger, Gyakorlati audiológia kézikönyve. Kossuth Kiadó Rt., 2003.
- [6] M. Kompis, Audiologie. Bern Huber, 2. kiadás, 2009.
- [7] T. Esser, Audio Software, Home Audiometer Gehörtest. Internet: <http://www.esseraudio.com/home-audiometer-geh%C3%B6rtesth%C3%B6rtest-deutsch-software-f%C3%BCr-windows.htm>
- [8] I. Felchin, B.W. Hohmann, Gefährdung durch Walkman-Geräte. DAGA konferencia, Kiel, Germany, 1997. pp.493–494.