

Zajártalom vizsgálatok a közlekedésben és mobil zenekészülékek alkalmazásában

Impact of traffic noise and mobile music players on the hearing in various environments

Wersényi György

Széchenyi István Egyetem

Telekom Hochschule für Telekommunikation Leipzig

Absztrakt:

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 partner intézmény közös projektjében nagyvárosok utcai zaját, a különböző tömegközlekedési járművekben fellépő zajterhelést ill. 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. Ekvivalens zajszint (L_{Aeq}) és spektrális kiértékelések mellett audiométeres ellenőrzést is végeztünk.

Abstract:

Impact and effects of everyday sounds and traffic noises are widely investigated. Standards guide us through the measurement procedure and evaluation in order to protect the human hearing system. In 2009 a Hungarian-German study investigated the actual traffic noise situations in urban environments, including vehicle interiors and motorbike helmets. Furthermore, 50 young subjects evaluated a commercially available mp3-player with different music files in order to determine the sound exposure levels, based on the A-weighted equivalent sound level (L_{Aeq}) and spectral representation.

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

Keywords: noise exposure, motorbike, music, mp3, traffic.

1. Bevezető

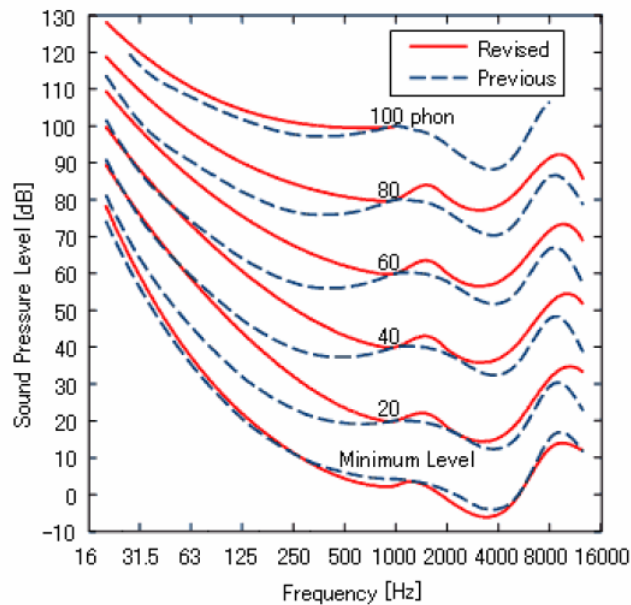
A zajártalom és a különböző zajok, sőt a zenehallgatás hallásra gyakorolt hatása régóta vizsgált terület. A zajszintmérés, a zajvédelem környezeti probléma, mérnöki feladat, míg a hallásvizsgálat már az orvosi terület határait súrolja. Így a zajanalízis, annak mérése és kiértékelése, valamint a műszeres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

Már régóta ismert, hogy mekkora, miféle környezeti zajoknak vagyunk kitéve, és általánosan mekkora dB-ben megadott hangnyomásszintekkel találkozhatunk. A hangnyomásszint 20 μPa -ra vonatkoztatva mondja meg, hogy egy adott hanghatás hol helyezkedik el a 0 dB (hallásküszöb) és a kb. 120 dB körüli fájdalomküszöb szint között. A lineáris skála helyett gyakran az ismert, szabványos ún. A-súlyozó görbét használjuk, amely figyelembe veszi a hallás tulajdonságát, miszerint fülünk a mélyebb frekvenciákon érzéktelenebb. Így egy felüláteresztő súlyozógörbét illeszt a mérésre, ezáltal kiszűrve a gyakran jelentős mélyfrekvenciás rezgéseket (és ez által 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 annyi *phon*, ahány dB a vele azonos hangosságérzetet keltő 1 kHz-es szinuszhang hangnyomásszintje. Lefordítva: azonosan hangosnak észlelünk 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 tartásával a hangerő csökkenni kezd mindaddig, amíg a megfigyelő azt már nem hallja. Ekkor elengedi a gombot, és a hangerőt újra növeli... Az eljárást ismételve a küszöbszint meghatározható (a keresett szint körül fog ingadozni).

A hallásküszöb görbéjén 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 ún. azonos hangerősségű görbék. A két legismertebb, szabványos, de gyakran egymással összekevert görbesereg az alábbiak: a Fletcher-Munson görbéket szinuszos hanggal veszik fel fejhallgatón át (1933), míg az ún. Robinson-Dadson (1956) izofóniás görbéket 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].



1. ábra. A 2003-as szabvány által revidiált görbék [1].

Érdeemes megnéznünk a hallásküszöb teknő-alakú görbéjét, 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 helységekből végzik, szabványos audiométerrel.

Ha zajártalomnak vagyunk kitéve, a hallás károsodhat. Ez lehet ideiglenes, ilyen tapasztalunk pld. 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 treshold 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 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 szint: 30 – 65 dB(A). Halláskárosodás nem lép fel, de pld. a beszélgetést már zavarhatja egy ilyen zaj és éjszakai (el)alvásnál is zavaró lehet, különösen, ha az a percek nagyságrendjében ismétlődik

2 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 szint: 90 – 120 dB(A). A kettes szint eseményein túl, pszichikai szimptómák is előkerülnek, mint pld. a stressz. Hosszabb behatásnál maradandó (PTS) halláskárosodás jöhet létre a Cortiszerv sérülése miatt.

4 szint: >120 dB(A). A fájdalomküszöb környékén ill. azt túllépve, hallásvédelmi reflexek kapcsolnak be (mint pld 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 hatásidőt, amely még nem okoz TTS-t.

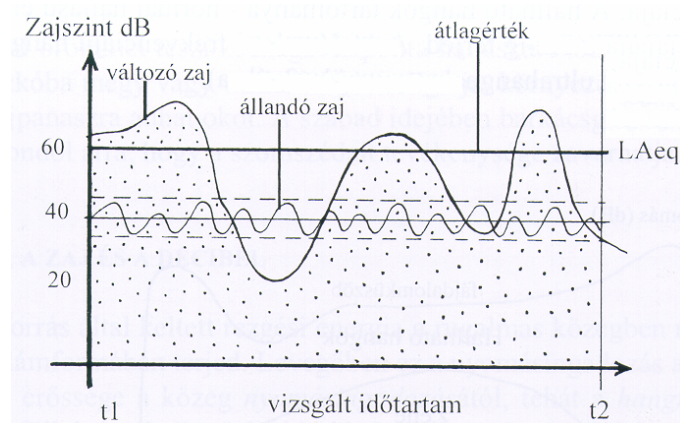
dB(A)	Idő	dB(A)	idő
86	6h 21 perc	99	19
87	5h 3 perc	100	15
88	4h	101	12
89	3h 11 perc	102	10
90	2h 32 perc	103	7,5
91	2 h	104	6
92	1h 57 perc	105	5
93	1h 16 perc	106	3,7
94	60 perc	107	3
95	48	108	2,5
96	38	109	2
97	30	110	1,5
98	24	111	0,7

1. táblázat. Hatásidő 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 zeneszám hallgatásánál nehéz egyetlen dB-értéket meghatározni, ezért a leggyakrabban a változó zajok és hangok esetén az ún. 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 -dik 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).



2. ábra. Az ekvivalens zajszint fogalma.

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).

A következőkben először közlekedési zajt mérünk 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 használtuk, mely tercsávanalízisre és az L_{eq} lineáris ill. A-súlyozású megjelenítésére is képes. A Qualifier-szoftver a megjelenítéshez és kiértékeléshez nagy segítséget nyújtott. Bizonyos kalibrálási és mérési feladatokhoz a BK 4128-as műfaját vettük igénybe [4].

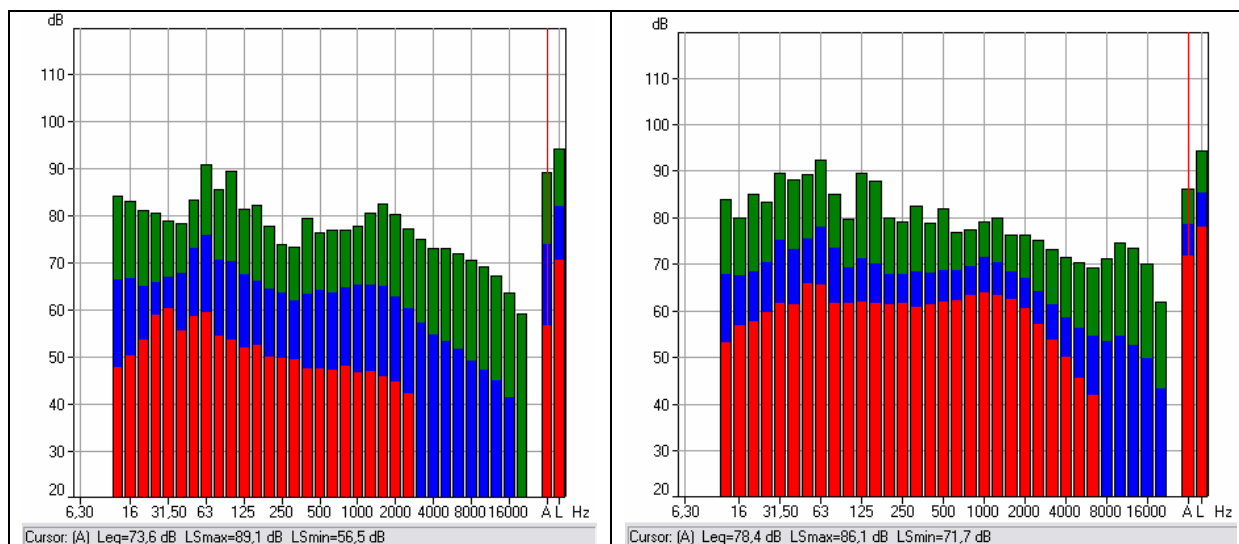
2.1 Közlekedési zajok

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 mellett 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. Több mérés átlagát jelenítjük meg (2. táblázat).

Mért zajszintek	Leq 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

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

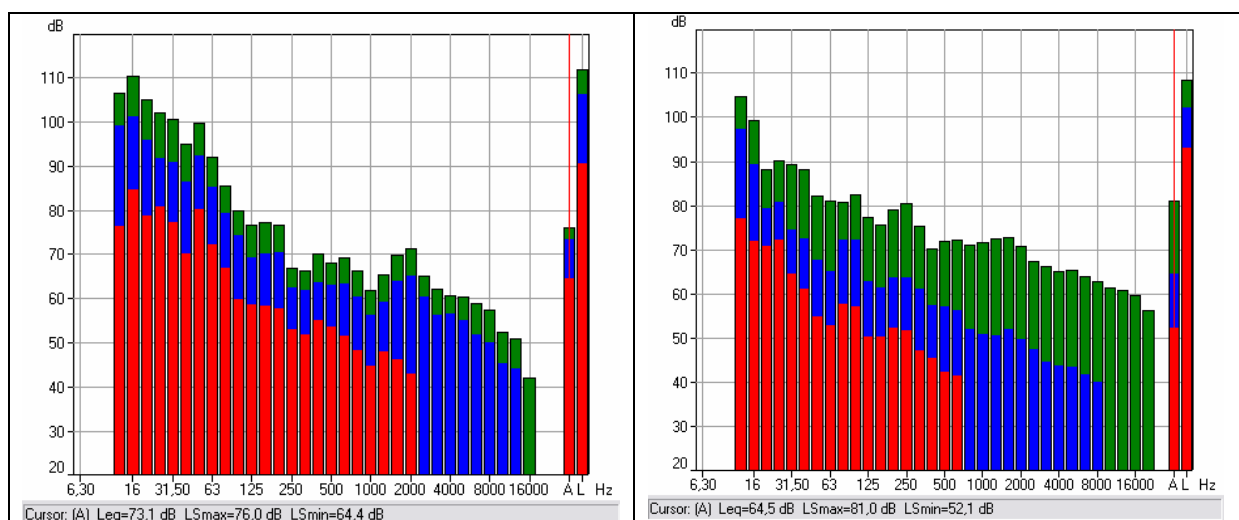
A spektrális, tercsáv-analízis további eredményeket szolgáltat (lineáris súlyozás). Az utcazaj először egy lámpás kereszteződésben lett megmérve. Viszonylag szélessávú, bár 2 kHz felett csökkenő a tendencia. Csúcsok a 63 Hz-es tercsáv környékén vannak. Látható, hogy a min-max értékek között elég nagy a szórás, különösen, ha a forgalom szakaszos (piros lámpa, zöld lámpa). Amennyiben a forgalom folyamatos, a zaj átlaga is nagyobb, és a szórás is kisebb (3. ábra).



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

Végeztük 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 levág, 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 ill. a sebességfüggő menetszél. Gépkocsiban ülve a zajspektrum erősen aluláteresztő jellegű. A kisfrekvenciás rezgések dominálnak, bár itt a hallás kevésbé érzékeny. Látható, hogy a kocsori borítás a magas frekvenciákat szűri és így az utcazaj kevésbé jön be. Hasonlóan, kevésbé megy ki a bent szóló zene, inkább a basszus, amelyet a kaszni nem szűr (sőt, felerősíthet), 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).

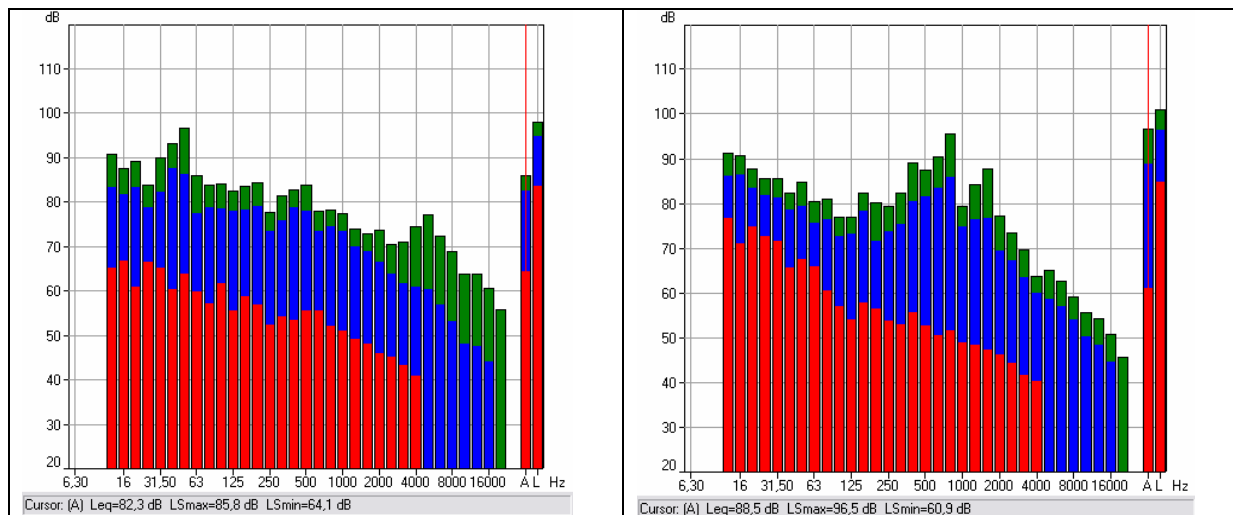


4. ábra. Tercsáv spektrum autóban ülve (balra), illetve EC/IC vonatban ülve (jobbra).

Vonat esetén a saját gépzaj 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 minden esetben a megállóban is folytak, így ezekben az esetekben is nagy a min-max különbség. A sofőr ill. a bemondó által közölt beszéd is elég hangos. Villamos esetén a mély frekvenciák nem olyan jelentősek, mint autó, vonat vagy busz esetén.

A metró külön 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 ill. egy csak az utazás közben mért átlagos spektrumot mutat.



5. ábra. Tercsáv spektrum 3 megállónyi utazás során a pesti metróval 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.

Látható a megemelkedett rész a 200-3000 Hz tartományban, ahol elérheti a 95 dB-t is, amely szinte lehetetlenné teszi a beszédet ill. a zenehallgatást. Nagy sebességnél ez emelkedik és füttyülő 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 változók 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 ill. 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, pld. 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 (pld. 3-4 kHz környékén általában kiemeli, de a fejárnyékban csillapítja). 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 (pld. egy állandó helyen ülő ember adott állandó irányból érkező zajterhelésének vizsgálatához hasznos lehet, de egy út szélén állva az elhaladó forgalomzajnál 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 kb. 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 köbcéntis gyári típus, a másik egy egyhengeres „krosszmotor”. A sisakok közül három teljesen zárt, plexivel fedett, míg egy pleximentes ún. 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).



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

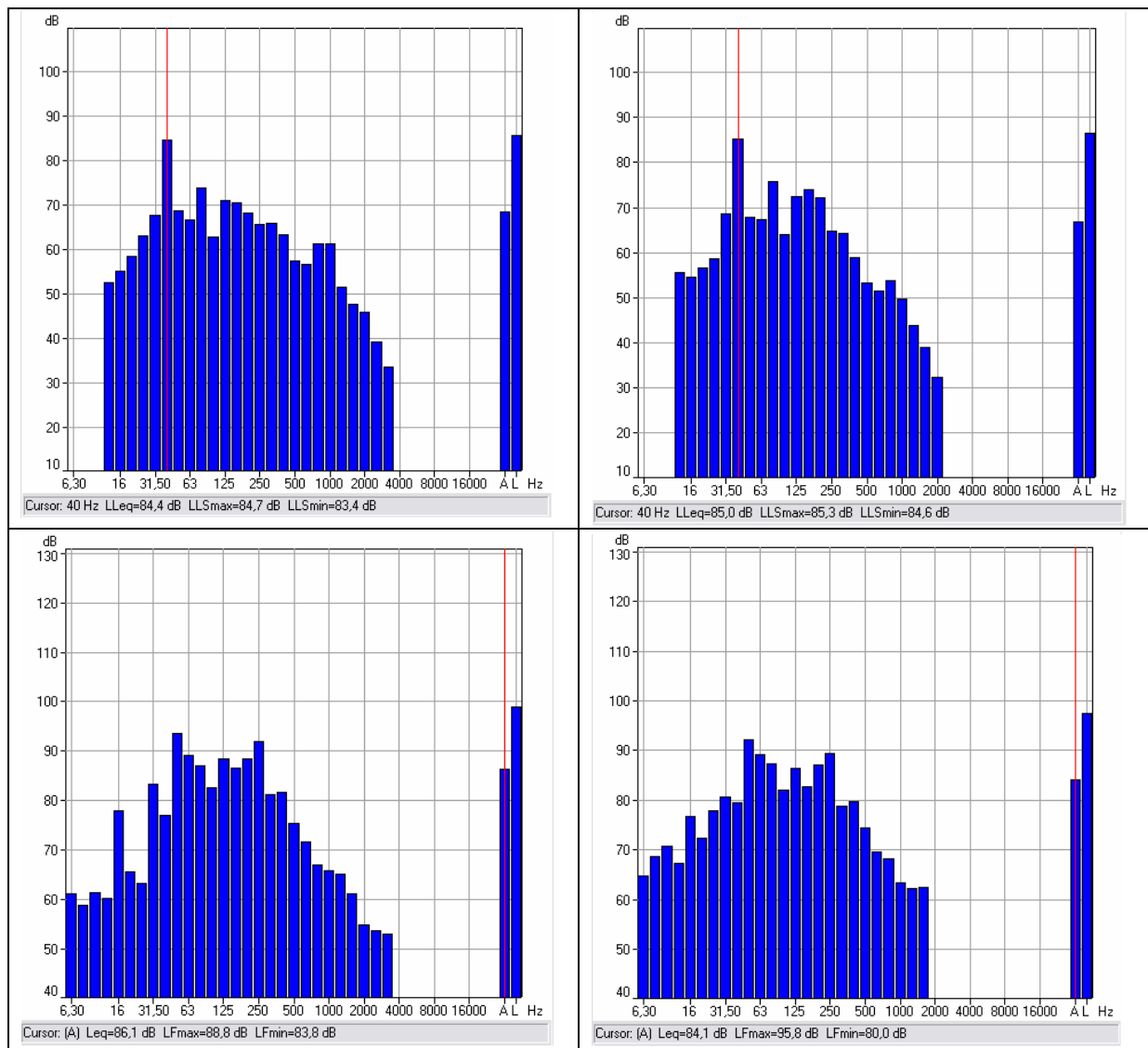
A mérési paraméterek, mint pld. forgalom ill. sebesség állandóan tartása nem biztosított maximálisan. A motorzaj (sajátzaj), menetszél ill. a forgalom zajai számítanak a mérésnél. Az időzítés során 2 percenként mért a műszer 1 percen keresztül.

	MTR/Yamaha	Shuberth/Yamaha	SharkCross/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
Városi menet	80,8	76,6	93	89,1
Országút	101 (12 perc)	93,2 (76 perc)	103,2 (7 perc)	100 (15 perc)
Autópálya	102,5 (7,5 perc)	94,1 (60 perc)	105,7 (3 perc)	104,9 (5 perc)

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.

A négyhengeres típusnál a motor alapjáratzaja nem túl hangos (fordulatszám 1500 körüli), a mélyebb frekvenciák dominálnak (7. ábra). Az olcsóbb MTR-sisak kb. 4000 Hz felett levág és alig vannak felette mérhető eredmények. A drágább Shuberth-sisakkal 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 Shuberth 7-9 dB-t csillapít, és ez a csillapítás önmagában ill. egymáshoz képest is kb. 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 ún. cross-sisak pedig alig csillapít bármit is. Érdekes a spektrum alapján, hogy még ez a sisak is aluláteresztő jellegű, és kb. 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 kb. 2000 Hz-nél vág.



7. ábra. Két motor és négy sisak összehasonlítása. Fent a négyhengeres motor és az MTR (balra) ill. a drágább Shuberth (jobbra) sisak tercsávós spektruma. Alul a krosszmotor és a cross sisak (balra), valamint a zárt (jobbra) sisak eredményei.

A motorozást illetően megállapíthatjuk, hogy a zajterhelés nagy lehet, különösen az alpból hangosabb típusoknál. Füldugó nélkül akár néhány percesre is zsugorodhat a vezetési idő, ha a TTS-t el akarjuk kerülni. A nyitott sisakok alig csillapítanak, és a zárt típusok között is komoly eltérés mutatkozik (érdemesebb lehet a drágábbat megvenni, mert az halkabb). Füldugó 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 váltak 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 fejhallgatós 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 (belevéve 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, kb. 10 dB-es növekményre van szükség ehhez.

3.1 Mérési elrendezés

Vizsgálatunkban 50 ember vett részt, jórészt 30 évesnél fiatalabbak egy csendes szobában (max. háttérzaj 50 dB(A)). A lejátszó egy olcsóbb, általános fajtájú „mpman” mp3 lejátszó volt, de hozzá nem a gyárilag szállított, hanem a Technics RP-F800 típusú fejhallgatót kapcsoltuk. Harminc másodperces hangmintákat rögzítettünk rá, ebből három zene (pop, rock, klasszikus) illetve 1 kHz-es szinuszjel valamint fehérzaj. A 128 kbps-os mp3 észlelhetően rosszabb volt az eredeti wave adatoknál (különösen nagyfrekvencián szűrt), de a 320 kbps egyenértékű volt a wave minőséggel. Mind az öt fájlt wave editorral kb. azonos hangerősségre (kivezérlésre) állítottuk, 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. csop: 1 óra/hó
2. csop: 1 óra/hét
3. csop: 3-5 óra/hét
4. csop: napi 1 óra
5. csop: 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 műfejvel kalibráltuk a rendszert (8. ábra).



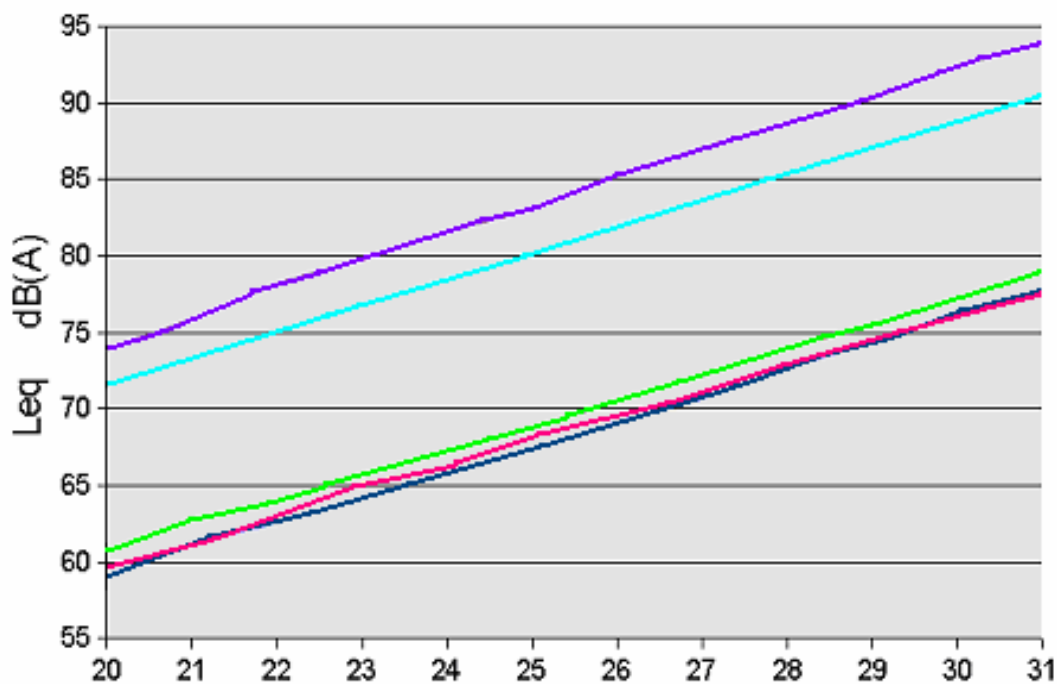
8. ábra. A BK 2128-as műfej és a mérendő eszköz.

A méréshez a BK 4128-as műfejet és a PULSE LabShop programot használtuk dB(A) illetve L_{Aeq} üzemmódú 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 eredmény az adott fejhallgatóhoz tartozik, hiszen annak csillapítása is benne van: másik fejhallgató esetén új mérésre volna szükség.

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).

Megfigyelhető, hogy egy lépcsőnyi hangerősségváltoztatás 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 logaritmikus tengely mentén (lineárisan ez exponenciális változásnak felel meg).



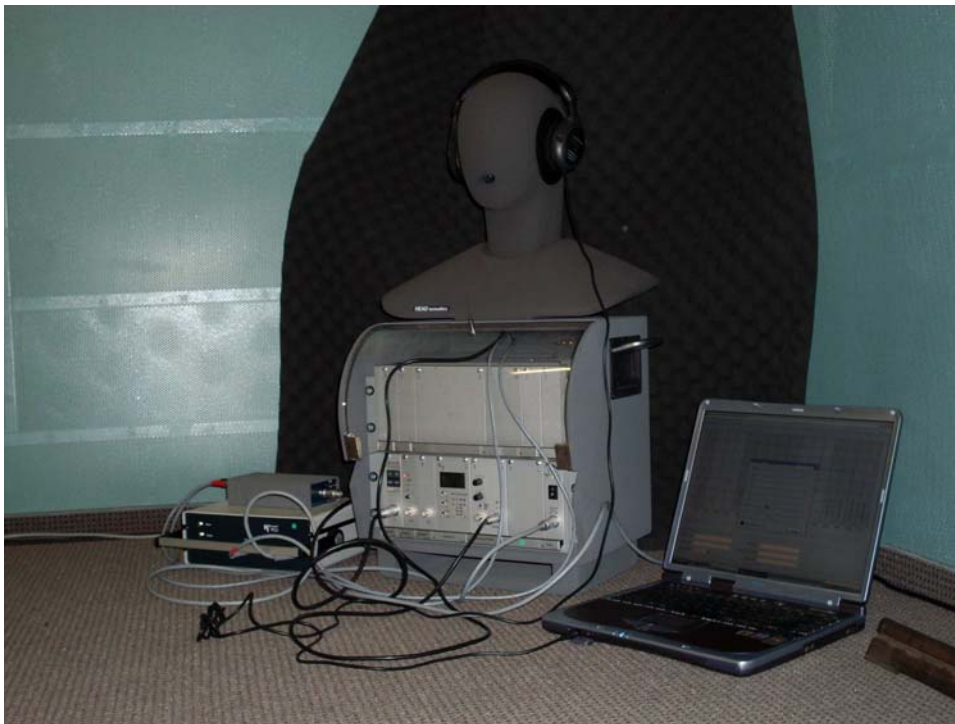
9. ábra. A hangnyomásszint változása a lépcsők függvényében az öt jelre, logaritmikus ábrázolásban (legfelül zaj, alatta szinusz, középen rock, alatta pop, legalul klasszikus zene).

Tekintettel arra, hogy a legnagyobb, 31-es fokozat sem túl hangos, megfigyeltük, hogy sokan még ennél is hangosabbra állítanak az eszközt. Ilyenkor egy járulékos lineáris hangfrekvenciás erősítő közbeiktatásával dolgozhatunk. Ennek oka lehet, hogy vagy a fejhallgató csillapítása túl nagy (egy másik fejhallgatóval nagyobb értékeket értünk el, így ez bizonyosan közrejátszik), illetve, hogy az eszközökbe beleépítenek egy védelmi funkciót. Ennél az eszköznél erre nem találtunk utalást, de ilyen eljárást pld. 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].

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



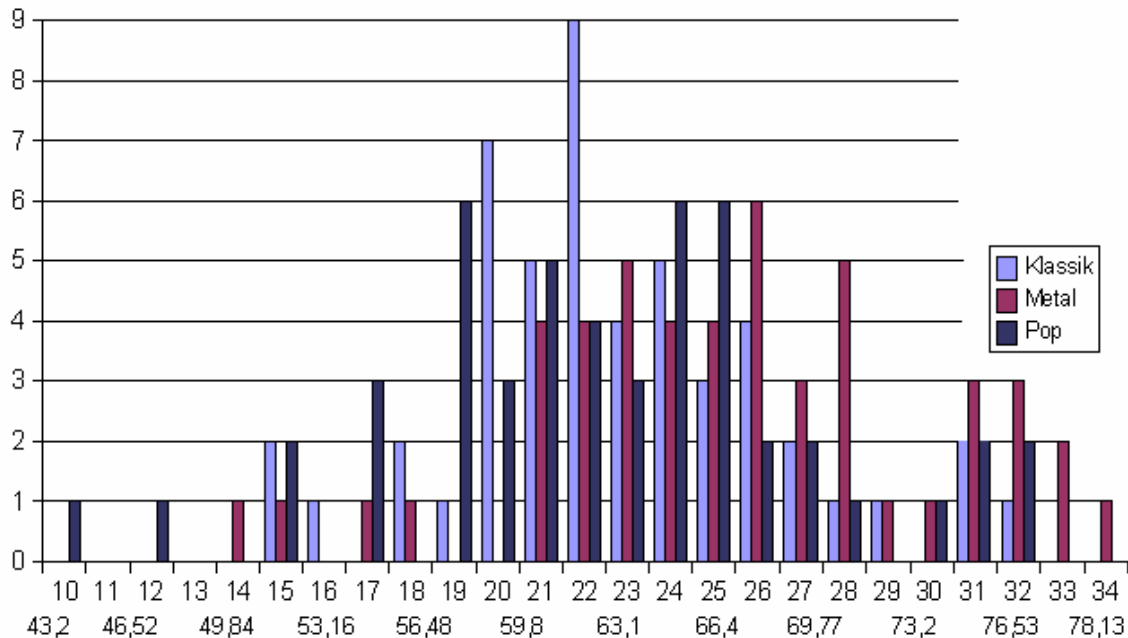
10. ábra. Süketszobai műfejes kalibráció a laptopon futó audiométer program számára.

3.3 Az eredmények kiértékelése

A legfontosabb az átlageredmény 50 ember alapján, az egyes hangfajokra nézve. Ezek az eredmények nem mutatnak a hallás számára veszélyes értékeket. Klasszikus zenéhez 63,8;

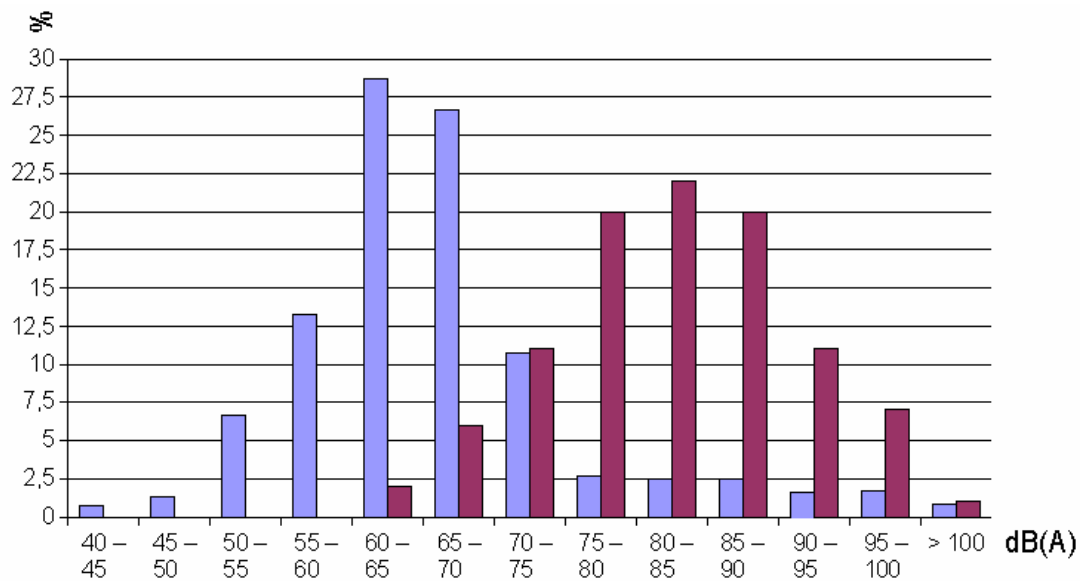
popzenéhez 64,1; rockzenéhez 69,2; szinuszjelhez 58,7 míg fehérzajhoz 57,4 dB(A) átlagok tartoznak.

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



11. ábra. Gyakoriság (darab) a hangerő-lépcsők ill. a hozzájuk tartozó dB(A) értékek függvényében zeneszámok esetén.

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 számolnunk. 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!



12. ábra. A hangnyomásszintek eloszlása egy korábbi német vizsgálat (vörös oszlopok) és a saját aktuális vizsgálatunkban (kék oszlopok). Hasonló eloszlás mellett, az eltolódás oka a zajos ill. csendes szobai környezetből adódik.

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).

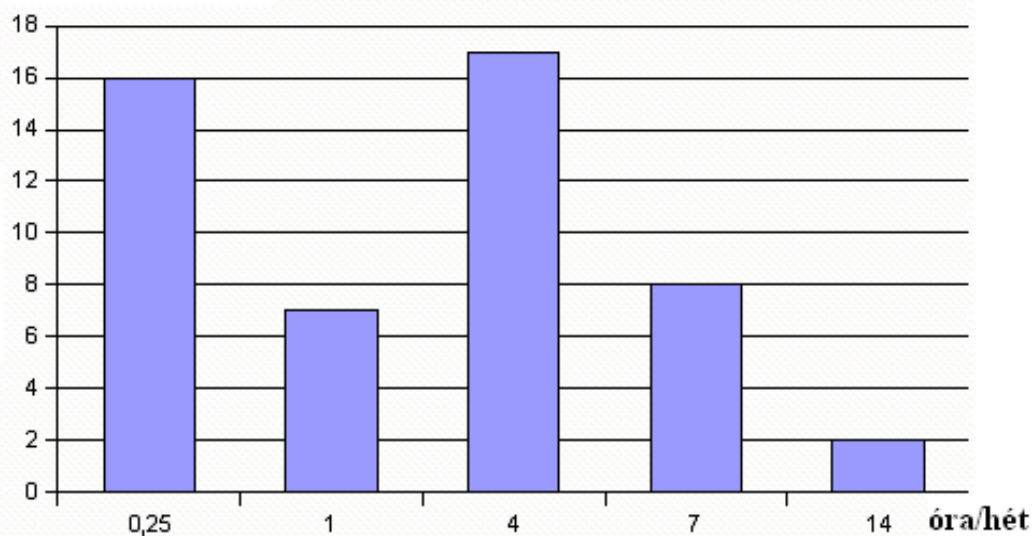
Életkor alapján beható vizsgálatot nem lehet tenni, mert a lényegi korcsoportok 19-22, illetve 22-28 között voltak, és csak néhányan 30 felett, akiket most kihagyunk az analízisből. Így nagy különbség nincs a 22 év alattiak és felettek között, utóbbiak 1,6 dB-el hangosabban hallgatnak zenét, de ez feltehetőleg 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 (5-6 dB)

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

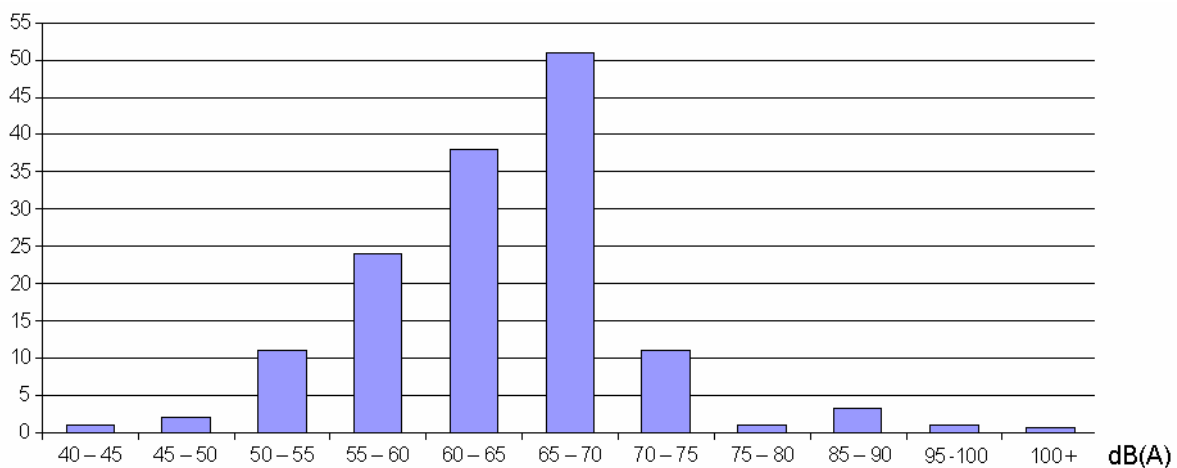
Ha az eloszlást nézzük, akkor kiderül, hogy óra/hét-re lebontva milyen gyakorisággal fordulnak elő felhasználók. A legtöbben a hármas csoportba a kb. 4 óra/hét-be tartoznak, illetve ennél valamivel többet vagy kevesebbet. Feltűnő, hogy sokan vannak a vizsgálatban, akik igencsak ritkán teszik ezt, őket bizonyos statisztikákból érdemes kihagyni. Ez az eredmény a német 97-es vizsgálatnál egybecseng, ott is az 1-4 óra/hét volt a leggyakoribb.

Gyakoriság (darab)



13. ábra. Az 50 alany eloszlása a zenehallgatási gyakoriság szempontjából (óra/hét).

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 a fenti ábrát normáljuk, azaz a „tetszési indexet” kivonjuk belőle, és úgy módosítjuk, hogy az adott alanynak tetsző zenéhez tartozó értékből levonjuk az átlagos plusz növekményt, egy lényegileg hasonló eloszlást kapunk. Pld., 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. Korrigált ábra a zenei ízlést kiküszöbölve.

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 zenefajta, 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} ill. spektrális 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 50 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.

5. Irodalom

[1] ISO 226:2003 szabvány

[2] K. O. Gundermann: Umwelt und Gesundheit. C.H.Beck Verlag, 1997, 135 oldal.

[3] E. Klotzbücher: Zum Einfluß des Lärms auf Leistung bei geistiger Arbeit und ausgewählte physiologische Funktionen. International Archives of Occupational and Environmental Health, Volume 37, Number 2 / June, 1976, pp. 139-155.

[4] T. Knabe: Realisierung von Hörtests und Auswirkungen im Hinblick auf Umweltlärm mit Auswertungen. BSc tézisdolgozat, Lipcse, 2009.

[5] E. Hochenburger: Gyakorlati audiológia kézikönyve. Kossuth Kiadó Rt., 2003, 215 oldal.

[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.