

**Elektroakusztika -  
elméleti és gyakorlati áttekintés**





**Magyar Mérnöki Kamara  
Kiadványsorozata 99.**

**Elektroakusztika -  
elméleti és gyakorlati áttekintés**

**MMK FAP azonosító:  
2022/207-AT**

**Budapest, 2022. október**

A sorozat szerkesztője:  
**WAGNER ERNŐ**  
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Akusztikai Tagozatának gondozásában, a 2022. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

*Szerzők:*  
**Fürjes Andor Tamás**

*Lektorálta:*  
**dr. Balogh Géza**

**Kiadó:**  
Magyar Mérnöki Kamara  
1117 Budapest, Szerémi út 4.  
[info@mmk.hu](mailto:info@mmk.hu), [www.mmk.hu](http://www.mmk.hu)

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. Bevezető .....</b>	<b>9</b>
1.1. A kiadvány célja .....	9
1.2. A kiadvány felépítése .....	10
<b>2. Akusztikai környezet .....</b>	<b>11</b>
2.1. Az akusztikus jel .....	11
2.2. A hangforrások jellemzése.....	13
2.2.1. A hanghullám terjedése.....	13
2.2.2. A pontforrás.....	14
2.2.3. Valós hangforrások modellje.....	15
2.3. A terek akusztikájának jellemzése – teremakusztika.....	20
2.3.1. A teremakusztikai hatás háttere.....	20
2.3.2. A teremakusztikai hatás jellemzése .....	21
2.3.3. Teremakusztikai paraméterek.....	22
2.4. A terek akusztikájának jellemzése – zajosság.....	25
2.4.1. A zajossággal kapcsolatos alapfogalmak .....	25
2.4.2. A zajosság leírása.....	26
2.4.3. A használati zajhatások leírása .....	27
2.4.4. Rezgésszint-követelmények.....	28
2.5. Az akusztikus jelek érzékelése – hallás.....	29
2.5.1. A hallószerv.....	29
2.5.2. Hangmagasság érzékelése.....	30
2.5.3. Hangosság érzékelése .....	31
2.5.4. Hangszín érzékelése .....	32
2.5.5. Irány érzékelése .....	33
2.5.6. Alapvető pszichoakusztikai jelenségek.....	33
2.5.7. Hallásvédelem.....	35
2.6. Az akusztikus jelek jellemzése .....	37
<b>3. Rendszertechnikai alapfogalmak.....</b>	<b>40</b>
3.1. Az átvitel minőségének jellemzése.....	40
3.1.1. A frekvenciaátvitel .....	40

3.1.2.	A zaj .....	44
3.1.3.	A torzítás.....	44
3.1.4.	A beszédátvitel jellemzése.....	47
3.2.	Analóg jelátvitel .....	50
3.2.1.	Analóg jelszintek.....	50
3.2.2.	Analóg eszközök illesztése .....	51
3.2.3.	A kábelezés hatása .....	52
3.2.4.	A dinamikatartomány értelmezése .....	53
3.3.	Digitális jelátvitel .....	53
3.3.1.	A mintavételezés .....	53
3.3.2.	Kvantálás és számábrázolás.....	54
3.3.3.	Jitter.....	56
3.3.4.	A digitális hanglánc.....	57
3.3.5.	Latency .....	57
3.3.6.	Kódolás.....	58
3.3.7.	Fizikai és logikai formátumok, szinkron .....	58
3.3.8.	Vezeték nélküli rendszerek.....	60
3.4.	Akusztikus/elektromos átalakítók: mikrofonok .....	62
3.4.1.	A mikrofonkapszula szerepe .....	62
3.4.2.	Az átalakítók jellemzői .....	64
3.4.3.	A mikrofonok legfontosabb jellemzői .....	65
3.4.4.	Egyéb szempontok.....	67
3.4.5.	Sokcsatornás mikrofon-elrendezések.....	68
3.4.6.	Mikrofon előerősítő.....	69
3.5.	Elektromos/akusztikus átalakítók: hangsugárzók.....	72
3.5.1.	Hangszórók.....	72
3.5.2.	Hangsugárzók.....	73
3.5.3.	Hangsugárzók meghajtása.....	74
3.5.4.	Hangsugárzók jellemzői.....	76
3.5.5.	Összetett hangsugárzók: cluster („fürt”) és array („tömb”).....	80
3.5.6.	A legnagyobb hangnyomásszint kérdése.....	83
3.5.7.	A térérzet kérdése.....	84
3.5.8.	Hangsugárzó rendszerek jellemzése .....	87
3.5.9.	A B-láncre vonatkozó követelmények.....	89

3.5.10.	Méretezés lefedettségére .....	91
3.5.11.	Méretezés hangtisztaságra .....	94
3.5.12.	Elosztott hangsugárzó rendszerek .....	95
3.5.13.	Fejhallgatók, fülhallgatók .....	97
3.6.	Az akusztikai erősítés, gerjedés.....	98
3.7.	Jelfeldolgozás .....	99
3.8.	Keverő, mátrix.....	100
3.9.	Szintezési struktúra.....	102
3.9.1.	Szintezés analóg láncon .....	102
3.9.2.	Szintezés digitális láncon.....	103
3.9.3.	A dinamikatartomány kezelése.....	103
3.10.	Zavarvédelem .....	104
3.10.1.	Tápellátás.....	104
3.10.2.	Árnyékolás, földelés, nyomvonalak .....	104
3.11.	Vezérlés, szinkronizálás.....	105
3.12.	Monitorozás.....	106
3.13.	Vészeseti szempontok .....	107
<b>4.</b>	<b>A tervezés, szakértés folyamata .....</b>	<b>109</b>
4.1.	Specifikáció .....	109
4.2.	Tervezés, szakértés feltételei.....	110
4.3.	Javasolt tervtartalom .....	111
4.3.1.	Általános szempontok.....	111
4.3.2.	A szakmai dokumentációk minimális tartalma.....	112
4.3.3.	Koncepcionális terv, tanulmányterv, vázlattev .....	113
4.3.4.	Engedélyezési terv .....	113
4.3.5.	Ajánlatkérési terv .....	114
4.3.6.	Kiviteli terv.....	115
4.3.7.	Megvalósulási dokumentáció.....	115
4.3.8.	Szakvélemény.....	116
4.3.9.	Tanácsadás, konzultáció .....	116
4.4.	Kapcsolat más szakágakkal .....	116
<b>5.</b>	<b>Melléklet: Line array elrendezések hangtere.....</b>	<b>118</b>
<b>6.</b>	<b>Melléklet: Eszkőszintű specifikációk.....</b>	<b>122</b>

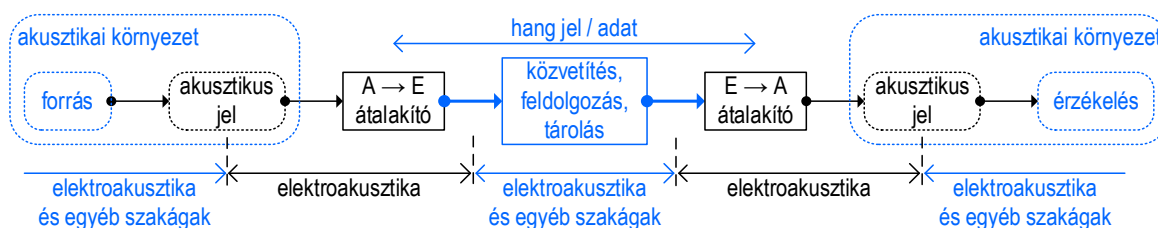
6.1.	Mikrofonok.....	122
6.2.	Mikrofon-előerősítők.....	123
6.3.	Csatlakozó felületek.....	125
6.4.	Kábelek.....	126
6.5.	Keverők, mátrixok .....	126
6.6.	Processzorok.....	128
6.7.	Interfészek.....	130
6.8.	Rögzítők, lejátszók.....	130
6.9.	Végerősítő.....	131
6.10.	Hangsugárzó .....	132
6.11.	Vezeték nélküli rendszerek.....	134
7.	Ajánlott irodalom és szabványok.....	136
8.	Irodalomjegyzék.....	139

## 1. Bevezető

Az elektroakusztika önálló tervezői, mérnöki szakág, de nehezen elválasztható a tervezett eszközök, rendszerek és a környezetük működését meghatározó egyéb szakágaktól, gyakran leegyszerűsítve az audiovizuális témakör részének tekintik.

Egyes meghatározások az elektroakusztika témakörét az elektromos/akusztikus átalakítókra alapozzák, mások a már elektromos jellé alakított hangjelek sajátosságaira alapoznak. A mai technológiai összefonódások („médiakonvergencia”) is nehezítik a tisztán rendszertехnikai szemléletű lehatárolást. Talán ezért nincs olyan mindenki által elfogadott meghatározás, amivel az elektroakusztika egyértelműen körülhatárolható és az érintett szakágaktól elválasztható.

A valóban elektroakusztikai feladatokban közös viszont, hogy akusztikai ismeretek nélkül nem oldható meg jól a feladat (1. ábra). Az akusztikai ismeretek nélkül megoldható feladatokat viszont nagy valószínűséggel más, nem elektroakusztikai szakági tervezők is megfelelően tudják kezelni.



1. ábra: Az elektroakusztikai és más szakágak elválasztása és összefonódásai.

### 1.1. A kiadvány célja

Az elektroakusztikai jellegű feladatok tényleges aránya tervezésben, kivitelezésben, üzemeltetésben jelentősnek mondható. Egyre alapvetőbb elvárás ugyanis még egyszerű közintézmények esetében is, hogy a létesítmények rendeltetését, üzemeltetését, biztonságát az épületek aktívan, informatikai és audiovizuális megoldásokkal, funkciókkal is támogassák.

Az elektroakusztikai eszközök és rendszerek tervezéshez, szakértéshez szükséges jogosultságainak körét az 266/2013 rendelet [1] és a Magyar Mérnöki Kamara (MMK) állásfoglalásai határozzák meg.

A kiadvány célja, hogy a jogosultság megszerzéséhez biztosítsa az elméleti és gyakorlati alapismeretek összefoglalását. A szakágat tekintve a segédlet egyben több évtizedes hiányt is pótol, hiszen átfogó és mérnöki szintű összefoglalás jelenleg nem létezik a hazai szakirodalomban. Mivel a segédlet gyakorlati szempontból is bemutatja az elektroakusztikát érintő kérdéseket, a segédletet a követelmények és elvárások megfogalmazásától, a tervezési folyamaton át a kivitelezésig és az átadás-átvétellel bezárólag lehet használni. A segédlet így azok számára is hasznos lehet, akik csak ismerkednek a témával vagy akik elektroakusztikai rendszer tervezéséhez keresnek szakembert és a feladat meghatározásához keresnek támpontokat.

## **1.2. A kiadvány felépítése**

---

A segédlet a fogalmakat, szempontokat, alapvető ismereteket és összefüggéseket az akusztikai környezet, az átalakítók, végül az egyéb rendszertechnikai elemek sorrendjében tárgyalja. Az összefüggések mellett egyszerű számításokkal mutat példákat.

A segédlet villamosmérnöki vagy gépészmérnöki végzettségnél elvárható tudásra épít és ahol lehet, már meglévő segédletre vagy szakirodalomra hivatkozik.

A segédlet végén a tervezési gyakorlati szempontokat tárgyalja.

## 2. Akusztikai környezet

Az akusztikai környezet részei az akusztikus források, a hatásokat közvetítő közeg és a hatások terjedését befolyásoló akadályok. Az akusztikai környezet és benne az akusztikus jel fogalmainak és összefüggéseinek ismerete a megfelelő elektroakusztikai méretezés alapfeltétele nem csak műszaki értelemben, hanem az akusztikai környezetre vonatkozó szabályozások (rendeletek, előírások) megértése szempontjából is.

### 2.1. Az akusztikus jel

Az akusztikai hatások a levegőben vagy szerkezetekben érzékelhető rezgések. A rezgéseket akusztikus jelként a közvetítő közeg nyugalmi állapotához képesti eltéréssel értelmezzük.

A levegő esetében ez a jel a hangnyomás<sup>1</sup> ( $p$ , mértékegysége  $1 \text{ N/m}^2$  vagy  $1 \text{ Pa}$ ), ami a közel állandó légköri nyomáshoz ( $p_0 \approx 101 \text{ kPa}$ ) képesti eltérést jelenti, így a pillanatnyi légköri nyomás  $p' = p_0 + p$ . A hangnyomás helytől és időtől függő<sup>2</sup> skaláris mennyiség, azaz nincs iránya, csak nagysága.

A nyomásváltozás a levegő részecskéinek elmozdulásával jár és ez az elmozdulás az elmozdulás sebességével jellemezhető, amit részecskesebességnek<sup>3</sup> ( $v$  mértékegysége  $1 \text{ m/s}$ ) nevezünk. A részecskesebesség helytől és időtől függő vektoriális mennyiség, azaz nagysága mellett iránya is van.

A levegő nyugalmi állapotában a pillanatnyi nyomás  $p_0$ , a részecskesebesség pedig 0.

A hangnyomás és részecskesebesség szorzata a hangintenzitás  $I = p \cdot v$  mértékegysége  $1 \text{ W/m}^2$ ), ami az egységnyi felületen átvihető hangteljesítmény, szintén vektoriális mennyiség.

A hangteljesítmény adott  $dS$  felületen értelmezve az intenzitás és a felület szorzata  $P_{dS} = dS \cdot I \cdot n_s$  (mértékegysége  $1 \text{ W}$ ), ahol  $n_s$  a felületre merőleges normális egységvektor. Egy hangforrás hangteljesítménye így a hangforrás körül zárt felületen (pl. gömbfelületen) értelmezhető.

A hangnyomás és a részecskesebesség hányadosa egy felület mentén a specifikus akusztikus impedancia  $z_s = \frac{p}{v \cdot n_s}$  (más néven karakterisztikus impedancia vagy hullámimpedancia, mértékegysége  $1 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$  vagy  $1 \text{ kg} \cdot \text{s/m}^3$ ), ahol  $n_s$  a felületre

<sup>1</sup> angolul: sound pressure

<sup>2</sup> a helytől és időtől való függés jelölését egyszerűsítési céllal elhagyjuk

<sup>3</sup> angolul: particle velocity

merőleges normális egységvektor. A levegőre jellemző specifikus impedancia hőmérséklettől függ, szobahőmérsékleten kb.  $420 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$ .

A fenti fizikai mennyiségek és értelmezésük analóg az elektromosságból megismert mennyiségekkel, így például a hangnyomás a feszültséggel, a részecskesebesség pedig az áramerősséggel analóg közvetlenül. Például ahol a hullámimpedancia megváltozik, a hullámterjedésben veszteséggel, visszaverődéssel is számolni kell (ld. analógia elektromágneses hullámterjedéssel, tápvonalakkal).

A hangnyomás és a részecskesebesség a gázokra jellemző összefüggésekkel átszámolható egymásba és mivel az érzékelésünk (hallásunk) elsősorban a hangnyomásra érzékeny (ld. 2.4. fejezet), a hétköznapi gyakorlatban elsősorban a hangnyomást használjuk a hangjelenségek leírására. A részecskesebesség, az intenzitás és impedancia fogalmainak ismerete az elektroakusztikus átalakítók működése és a visszaverődések (teremakusztika) megértésében fontosabbak.

A műszaki gyakorlatban a szinteket dB mértékkel írjuk le szabványos referenciaszinthez képest viszonyítva.

A hangnyomásszint<sup>4</sup> (SPL) a hangnyomás effektív értékét fejezi ki, a referenciaszint az  $1 \text{ pW/m}^2$  intenzitású síkhullámhoz tartozó effektív hangnyomásszint ( $p_{ref} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ ):

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_{ref}} \quad (1)$$

A részecskesebesség-szint<sup>5</sup> (SVL) a részecskesebesség effektív értékét fejezi ki, a referenciaszint az  $1 \text{ pW/m}^2$  intenzitású síkhullámhoz tartozó effektív hangnyomásszint ( $v_{ref} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ ):

$$L_v = 20 \cdot \log_{10} \frac{|v|}{v_{ref}} \quad (2)$$

A hangteljesítményszint<sup>6</sup> (SWL):

$$L_w = 10 \cdot \log_{10} \frac{P}{P_{ref}} \quad (3)$$

ahol referenciaszintje  $P_{ref} = 10^{-12} \text{ W}$ .

Különleges helyzetekben előfordulhat, hogy a szerkezeti rezgések érzékelése, közvetítése vagy előállítása a tervezési feladat. Ez azonban túlmutat a segédlet

---

<sup>4</sup> angolul: sound pressure level

<sup>5</sup> angolul: particle velocity level

<sup>6</sup> angolul: sound power level

témakörén, ezért a továbbiakban csak a levegőben terjedő hanghoz („léghang”) kapcsolódó szempontokról és összefüggésekről esik szó.

## 2.2. A hangforrások jellemzése

A hangforrás közvetlenül nyomásváltozással vagy részecskék megmozdításával kelthet akusztikus jelet, ami a közegben zavarként tovább terjed.

### 2.2.1. A hanghullám terjedése

A zavar terjedésének módját, a zavart leíró fizikai jellemzők összefüggéseit a hullámegyenletek foglalják össze, aminek egyszerűsített, linearizált megoldása ismert azzal a feltételezéssel, hogy a változó hangnyomás sokkal kisebb, mint a statikus nyomás (azaz  $p_0 \gg p$ ), a közeg (levegő) pedig nyugodt és homogén. A gyakorlatban csak extrém hangnyomásszintek vagy nagy hullámterjedési utak (pl. környezeti zajterhelés vizsgálata) esetén fontosak ezek a korlátok.

A zavar terjedési sebessége a hullámterjedési sebesség, ami hang esetében elsősorban a hőmérséklettől függ, ezért jól közelíthető<sup>7</sup> az alábbi összefüggéssel:

$$c = 331,4 \text{ m/s} + 0,6 \text{ m/s} \cdot \frac{T_c}{1^\circ\text{C}} \quad (4)$$

ahol  $T_c$  a hőmérséklet °C-ban megadva.

A harmonikus (állandósult szinuszos) hullámterjedéssel összefüggő jellemzők:

- hullámhossz: adott  $f$  frekvencián az azonos fázisú pontok távolsága a hullámterjedés irányában  $\lambda = c/f$
- hullámszám: a hullámterjedés irányában egységnyi távolságban előforduló azonos fázisú pontok száma  $k = 2\pi/\lambda$
- körfrekvencia:  $\omega = 2\pi \cdot f$

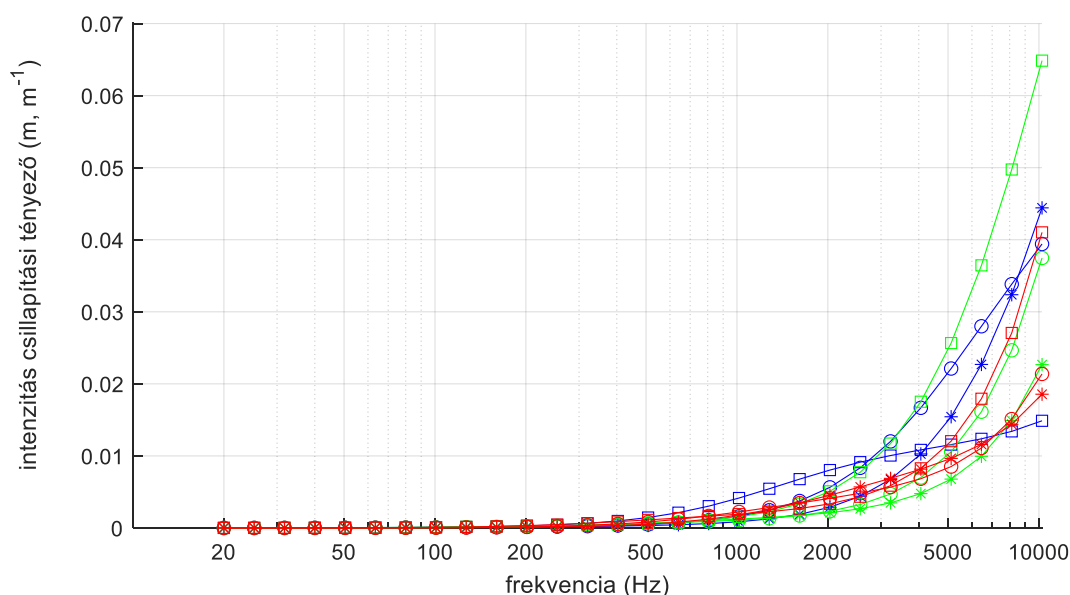
Egyszerű hullámtérben adott frekvencián a terjedés irányában a szinuszos változás  $\varphi$  fázisa az  $r$  távolságtól és a  $t$  időtől is függ:  $\varphi = \omega \cdot \left(t + \frac{r}{c}\right) = \omega \cdot t + k \cdot r$ .

A hullám a közeg tehetetlenségei miatt terjedés közben veszít az intenzitásából, ezt a levegő hangelnyelése (csillapítása) fejezi ki:

$$I_{r,\text{átl.}} = I_{1m,\text{átl.}} \cdot e^{-m \cdot r} \quad (5)$$

<sup>7</sup> MSZ EN ISO 1996-1 szabványban szereplő részletesebb modell alapján levezetett képletet <0,25% hibával közelíti.

ahol  $m$  a levegő intenzitás-csillapítási tényezője, mértékegysége  $1 \text{ m}^{-1}$ , értéke erősen függ a frekvenciától, a hőmérséklettől és a páratartalomtól (ld. 2. ábra).



2. ábra: A levegőre jellemző intenzitás-csillapítási tényező frekvenciafüggése (hőmérsékletet szín jelöli, ahol *kék*: 0°C, *zöld* 20°C, *piros* 40°C hőmérsékleten; relatív páratartalmat pontozás jelöli, ahol □ 20%, ○ 50%, \* pedig 90%).

### 2.2.2. A pontforrás

A legegyszerűbb elméleti hangforrás a pontforrás, amit egyfajta „lélegző gömbként” lehet modellezni. A pontforrás jellemzői, hogy:

- a hanghullámok gömbszimmetrikusak, a hangintenzitás effektív szintje csak a távolságtól függ és az átlagos hangteljesítmény a gömb felületén egyenletesen oszlik el:

$$I_{r, \text{átl.}} = \frac{P_{\text{átl.}}}{4r^2\pi} \quad (6)$$

- a gömbszimmetrikus hullámtérben a hangnyomás és a részecskesebesség hányadosa (specifikus impedancia) egy távolságtól függő komplex érték<sup>8</sup>:

$$\frac{p_r}{v_r} = \rho_0 c \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{jkr}} \quad (7)$$

ahol  $z_{s,0} = \rho_0 c$  a levegő specifikus impedanciája.

A fentiek következménye, hogy

<sup>8</sup> a részecskesebesség iránya a pontforrásból kiinduló sugáriránnyal azonos, a vektoriális jelölést egyszerűsítésből elhagyjuk

- a hangnyomásszint távolságfüggése a pontforrás hangteljesítményéből leírható:

$$L_{p,r} = L_w + 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{4r^2\pi} \approx L_w - 10,9dB - 20 \cdot \log_{10} r \quad (8)$$

- a pontforrás közelterében (ahol  $kr \ll 1$ ) a hangnyomás és a részecskesebesség fázisa között  $90^\circ$  az eltérés ( $p_r/v_r = \rho_0 c \cdot jkr$ )
- a pontforrás távolterében (ahol  $kr \gg 1$ ) a hangnyomás és a részecskesebesség közel azonos fázisban vannak ( $p_r/v_r = \rho_0 c$ ).

A legkönnyebben kezelhető hullámtér a síkhullámtér, ahol a jellemzők csak egy dimenzió mentén (pl.  $x$  irányban) változnak, a hangnyomás és a részecskesebesség<sup>9</sup> azonos fázisban vannak, hányadosuk pedig a levegő specifikus impedanciája, azaz  $p_x/v_x = \rho_0 c$ . Ez azt is jelenti, hogy a síkhullám lényegében a pontforrás távolterével közelíthető.

### 2.2.3. Valós hangforrások modellje

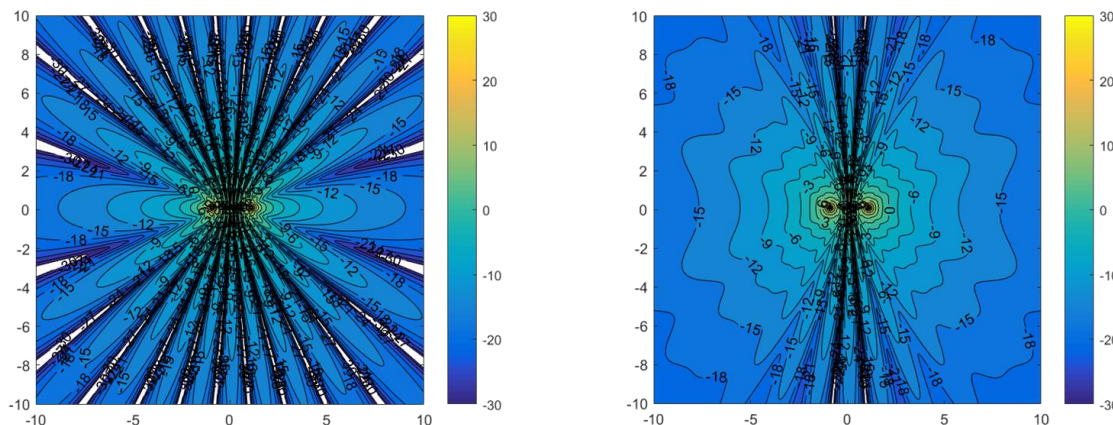
A pontforrás egy nagyon leegyszerűsített elméleti modell, de az összetett hullámterek tetszőleges pontossággal közelíthetők pontforrások összegével (Huygens-Fresnel elv) és a valós hangforrások leírásánál is jól használható.

A valós hangforrások pontforrások összegeként írhatók le, ahol a pontforrások a hangforrás felületén helyezkednek és a pontforrások egymással szinkronban (koherens módon, azaz adott frekvencián állandó fáziseltéréssel) működnek.

Egyetlen frekvencián vizsgálódva a koherens („fázishelyes”) összegzés következményeként azokban a pontokban, ahol a pontforrástól számított távolságok eltérése miatt a fázisok eltérése  $\Delta\varphi$  a  $\pi$  (azaz  $180^\circ$ ) páratlan számú többszöröse, az időtől függetlenül 0 lesz a hangnyomás (kioltás). Más pontokban pedig, ahol a fázisok eltérése a  $2\pi$  egész számú (azaz  $\pi$  páros számú) többszöröse, a hangnyomások azonos fázisban erősítik egymást.

A kialakuló hullámtér mintázata így egy interferenciaképet alkot (3. ábra). Az interferenciakép több egymáshoz közeli frekvencia összességét (frekvenciasávot) véve lényegesen enyhülhet, de továbbra is nagyon karakteres.

<sup>9</sup> a részecskesebesség iránya a síkhullám síkjára merőleges, a vektoriális jelölést egyszerűsítésből elhagyjuk



3. ábra: Két pontforrás ( $d = 2$  m távolságban) eredő hangtere fázishelyes összegzés esetén 1 kHz frekvencián (bal) és 1 kHz 1/3 oktávásvos frekvenciasávban (jobb).

A pontforrások összegének hangterét körbejárva az elrendezés irányfüggése, iránykarakterisztikája vizsgálható (4. ábra). Az iránykarakterisztikát egy választott fő irányhoz képesti szög függvényében az akusztikai középpont körül járva, az akusztikai középponton átmenő síkban lehet mérni és jellemezni.

Felismerhető, hogy a jellemző legnagyobb  $d$  méretével (kiterjedésében két legmesszebb található pontja közötti távolságával) jellemezhető összetett hangforrás

- közelterében az irányfüggés a távolságtól is függ, azaz  $p = p(r, \varphi)$
- távolterében az irányfüggés csak a szögtől függ, míg a távolságfüggés az egyszerű pontforrással azonos, azaz  $p = p(r) \cdot p(\varphi)$ , ahol  $p(r) = p_{1m}/r$  és  $p_{1m}$  a főirányban 1 m távolságra visszaszámolt hangnyomásszint.

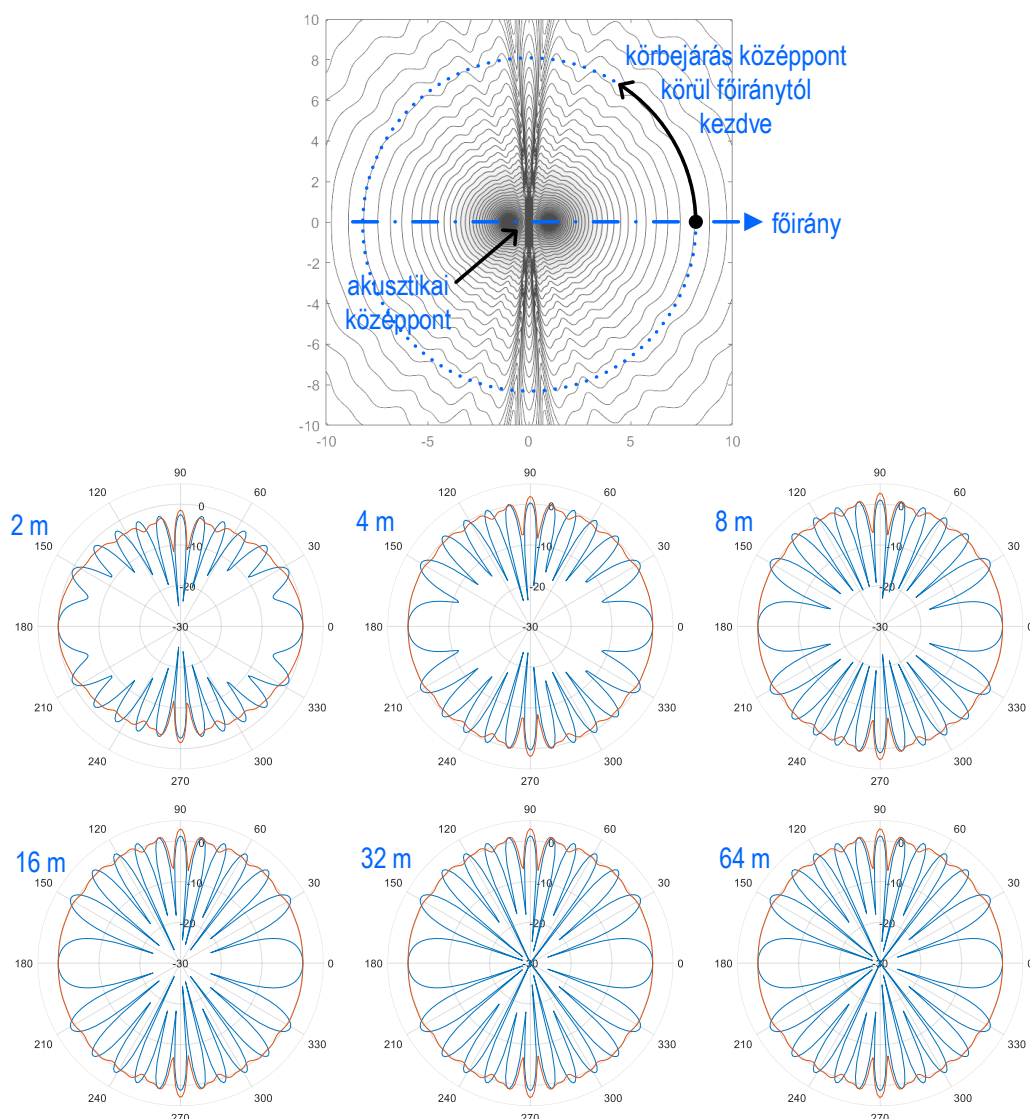
Az összetett hangforrás közeltér/távolter átmenetét jellemző  $r_{N/F}$  távolság

$$r_{N/F} = 0,0015 \cdot f \cdot d^2 \sqrt{1 - \frac{1}{(0,003 \cdot f \cdot d)^2}} \approx 0,0015 \cdot f \cdot d^2 \quad (9)$$

összefüggéssel becsülhető (ld. [3]), ahol  $f$  a kérdéses frekvencia. Például egy  $0,8 \times 0,4 \times 0,4$  m méretű hangsugárzó doboz jellemző mérete  $\sqrt{0,8^2 + 0,4^2 + 0,4^2} m \approx 0,98 m$ , amit 500 Hz-en 0,5...0,7 m körüli távolságon túl, 5 kHz-en viszont már 7,2 m távolságon túl lehet csak teljes biztonsággal pontforrásként kezelni. A 4. ábrán látható példában 1 kHz frekvencián számolt 6 m távolsághoz képest a 8 m távolságon túl valóban távolságtól függetlennek látható az irányfüggés.

A hengerszimmetrikus vagy koaxiális elrendezésű hangforrások esetén jellemzően elegendő egy síkban rögzíteni az iránykarakterisztikát, mert az tengelyszimmetrikus. Általános esetben viszont az irányfüggés vizsgálata nagy mennyiségű adattal írható le kellő pontossággal. Ideális esetben az összetett hangforrások fontosabb forrás-

csoportjairól külön-külön is rendelkezésre állnak irányfüggésről szóló adatok, így esély lehet a közeltéri és távoltéri viselkedés leírása is (ld. [4]).



4. ábra: Két pontforrás ( $d = 2 \text{ m}$  távolságban) eredő hangterében különböző távolságokban felvett iránykarakterisztikák (kék: 1 kHz frekvencián, piros: 1 kHz 1/1 oktávsváiban).

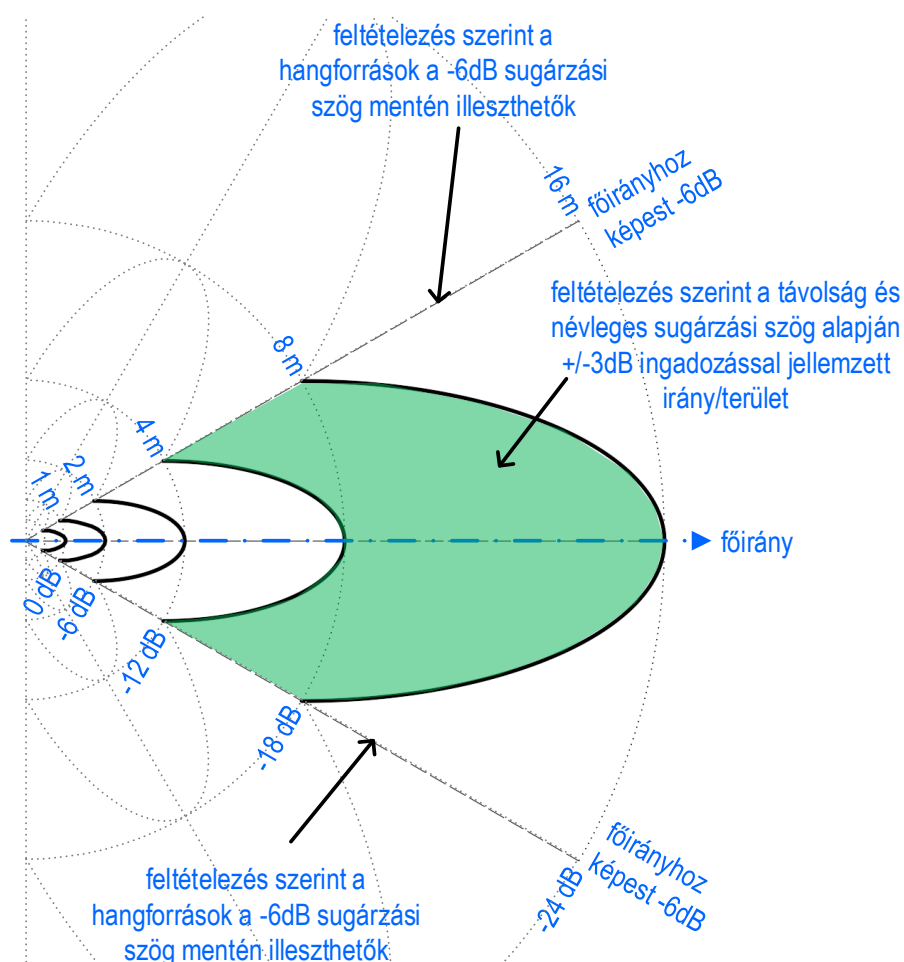
Az irányítottság egyszerűbb jellemzésére alkalmas mennyiségek a sugárzási jóság (irányítottsági tényező)  $Q$ , ami a fő irányban mért hangnyomásszint és a forrás körül az összes irányban mért hangnyomásszintek átlagának hányadosa. Az irányítottsági tényező átszámolható olyan paraméterekre (ld. 1. táblázat), mint a sugárzási hatékonyság (RE), az irányítottsági index (DI) vagy a távolsági tényező (DF).

A fő sugárzási szög általában a legnagyobb hangnyomásszintet is képviseli. Ilyen esetben értelmezhető a névleges sugárzási szög, ami a fő sugárzási irányhoz képest legfeljebb -6 dB csillapítással sugárzott irányok szögtartományát jelenti. Azért a -6 dB

csillapítást használja ez a fogalom, mert abból a feltételezésből indul ki, hogy az egymás mellé helyezett hangforrások a -6 dB szögeknél éppen kiegészítik egymást (a -6 dB 50% hangnyomásszintet jelent a főirányhoz képest, ld. 5. ábra).

alap- iránykarakterisztika elnevezés	RE	$1/RE$	$-10 \cdot \log_{10} RE$	$\sqrt{RE}$
		Q	DI	DF
	-	-	dB	-
szabadtér (gömbi)	1,00	1,0	0,0	1,00
féltér	0,50	2,0	3,0	1,41
negyedtér	0,25	4,0	6,0	2,00
nyolcadtér (sarok)	0,13	8,0	9,0	2,83
dipól (nyolcas)	0,33	3,0	4,8	1,74
kardioid	0,33	3,0	4,8	1,74
hiper kardioid	0,25	4,0	6,0	2,00
szuper kardioid	0,28	3,6	5,6	1,90

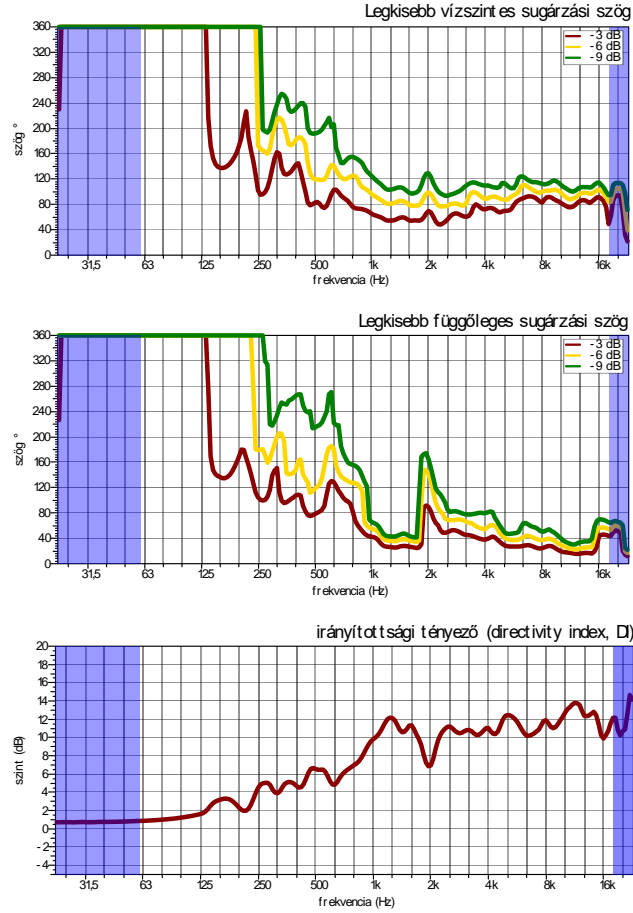
1. táblázat: Alapvető iránykarakterisztikák és jellemző paramétereik.



5. ábra: A névleges (pl. 60°) sugárzási szög értelmezése.

FIGYELEM: hangforrások egymáshoz illesztéséhez túlzottan leegyszerűsítő, ezért nem alkalmazható modell.

Az egy-egy kitüntetett frekvencián vagy frekvenciasávban megállapított névleges sugárzási szög önmagában csak nagyságrendi leírása tud lenni a valós hangforrásoknak. A névleges sugárzási szög és így az irányítottság is erősen függ a frekvenciától (6. ábra).



6. ábra: A hangsugárzó irányfüggése alapján számolt sugárzási szögek (fent: vízszintes síkban, középen: függőleges síkban) és irányítottsági index (DI, lent).

Ha az irányítási tényezőről rendelkezésre áll adat, a (8) összefüggés a főirányban az alábbiak szerint módosul:

$$L_{p,r} = L_w + 10 \cdot \log_{10} \frac{Q}{4r^2\pi} \quad (10)$$

Ha a hangforrásról a főirányban 1 m távolságban ismert (vagy 1 m távolságra visszaszámolt)  $L_{p,1m}$  hangnyomásszint ismert, akkor a főirányban várható hangnyomásszint:

$$L_{p,r} = L_{p,1m} - 20 \cdot \log_{10} r \quad (11)$$

amihez a főiránytól eltérő irányokban az iránykarakterisztika korrekcióját kell adni dB mértékben.

## 2.3. A terek akusztikájának jellemzése – teremakusztika

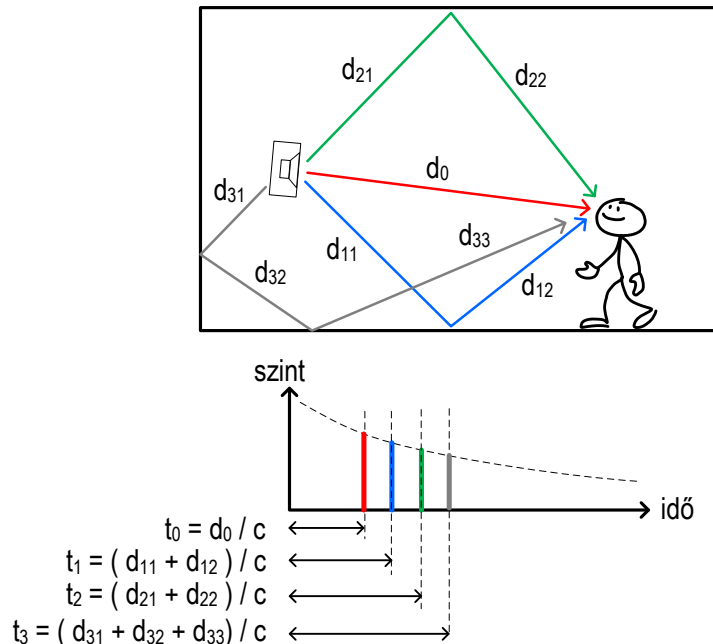
A teremakusztikai hatások háttéréről részletesen a [5] kiadvány foglalkozik részletesen, ezért az alábbiakban csak a kifejezetten teremakusztikai szempontból fontos összefüggéseket mutatjuk be.

### 2.3.1. A teremakusztikai hatás háttere

A teremakusztikai hatás alapja, hogy a hangforrásból kiinduló hang a határoló felületekről visszaverődik, majd a visszaverődések is visszaverődnek és így tovább. A hallgatók a közvetlen (eredeti) hangot, majd azután a visszaverődéseket, mint az eredeti hang elváltozott ismétlődéseiként hallják (7. ábra).

Az ismétlődések késését a távolságok, az ismétlődések csillapodását a hangelnyelések határozzák meg. Az ismétlődésekből így épül fel a lecsengés.

Az ismétlődések elváltozását az okozza, hogy a visszaverő felületek hangelnyelése frekvenciafüggő, illetve a véges méretek és felületi egyenetlenségek miatt a visszaverődés iránya is frekvenciafüggő.

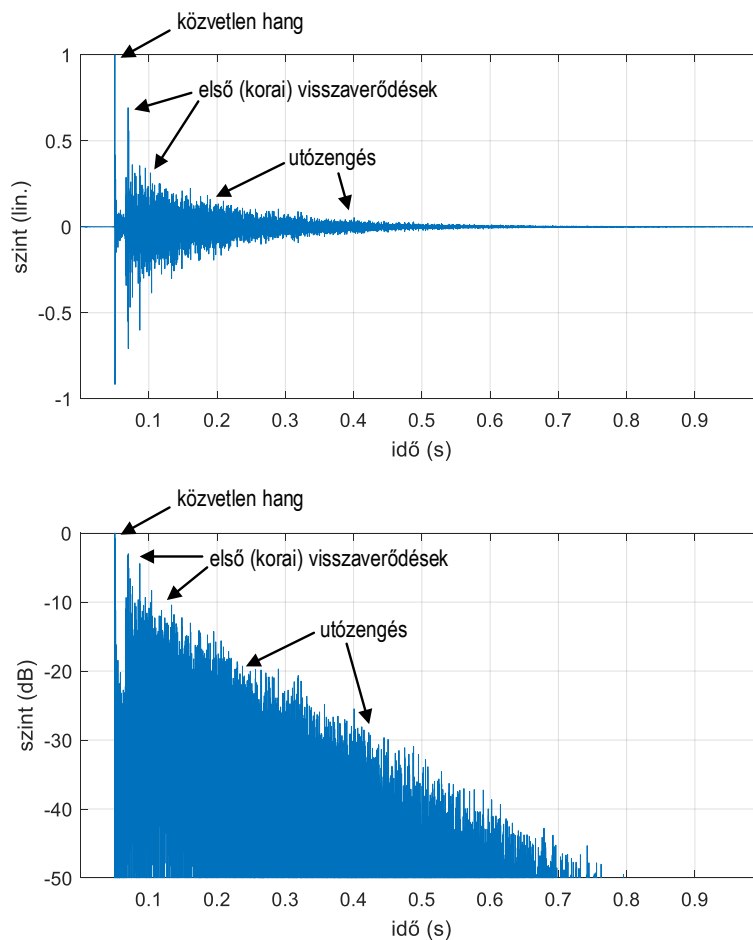


7. ábra: A teremakusztikai hatás alapja az eredeti hang visszaverődéseinek (késleltetett, elváltozott ismétlődéseinek) sorozata.

### 2.3.2. A teremakusztikai hatás jellemzése

A teremakusztikai hatás egy lineáris, időinvariáns és kauzális sok bemenettel és sok kimenettel rendelkező rendszerként fogható fel. A rendszer bemeneteit a hangforrás pozíciói és a hangforrás sugárzási irányai képviselik. A rendszer kimenetei pedig a hangérzékelő pozíciója és az érkező hanghullámok érkezési irányai képviselik. A rendszer tehát akkor is ilyen, ha a hangforrás és az érzékelő működése sem irányfüggő.

A fenti tulajdonságok miatt a teremakusztikai hatás impulzusválasszal leírható és az impulzusválasz (RIR<sup>10</sup>, „teremválasz”) vizsgálatával jellemezhető (8. ábra).



8. ábra: Egy teremakusztikai impulzusválasz.

A hatásmechanizmus következményeként, ha nincsenek tökéletesen hangelnyelő felületek, akkor

- az érzékelő a közvetlen hangot úgy érzékeli, mint a szabad (visszaverődésektől mentes) hangtérben, de mivel

<sup>10</sup> szakirodalomban: room acoustic impulse response

- a hangforrás teljes (minden irányban sugárzott) hangteljesítménye megjelenik minden teremválaszban,
- a közvetlen hangot követően időkéssel az egyéb irányokba sugárzott hang is eljut az érzékelőhöz, mert hosszabb hangutakat jár be.

### 2.3.3. Teremakusztikai paraméterek

A teremátvitel minőségét a teremakusztikai paraméterek jellemzik. A legismertebb és leggyakrabban használt teremakusztikai paramétereket az ISO 3382 szabványsorozat ([6], [7], [8]) mutatja be. Az elektroakusztikai szempontokból legfontosabb paraméterek:

- utózengési idő
- terem erősítés
- hangtisztaság.

A teremakusztikai lecsengést leggyakrabban csak az utózengési idővel jellemzik, ami a lecsengési folyamat 60 dB-es csillapodásához szükséges időt jelenti. Az utózengési időt viszonylag egyszerűen lehet becsülni, ha a felületek egyenletlensége, a helyiség geometriájának szabálytalanságai és a felületi hangelnyelések egyenletesebb eloszlásának köszönhetően elég hamar „zajszerűvé” (jellegtelenné) válik lecsengés, azaz elég diffúz a lecsengés.

A legegyszerűbb (Sabine-féle) összefüggés adott frekvenciasávban az utózengési idő becslésére:

$$T_{Sabine} = \frac{55,3}{c} \cdot \frac{V}{\bar{\alpha} \cdot S + 4 \cdot m \cdot V} = 13,8 \cdot \frac{\bar{l}}{c} \cdot \frac{1}{\bar{\alpha} + m \cdot \bar{l}} \quad (12a)$$

$$T_{Eyring} = \frac{55,3}{c} \cdot \frac{V}{-\ln(1-\bar{\alpha}) \cdot S + 4 \cdot m \cdot V} = 13,8 \cdot \frac{\bar{l}}{c} \cdot \frac{1}{-\ln(1-\bar{\alpha}) + m \cdot \bar{l}} \quad (12b)$$

ahol  $c$  a hang terjedési sebessége,  $V$  a helyiség térfogata,  $S$  a helyiség összes felülete,  $m$  a levegő hangelnyelése (ld. 2. ábra),  $\bar{l} = 4V/S$  pedig a közepes szabad úthossz. Az összefüggésben az első tényező állandó, a második tényező a két visszaverődés közötti átlagos időt, a harmadik tag nevezője a visszaverődés és terjedés csillapítását írja le.

A másik alapvető teremakusztikai paraméter azt fejezi ki nagyon egyszerű eszközökkel (hangnyomásszint-változás), hogy a visszaverődések nélküli hangnyomásszinthez képest mekkora változást okoznak a visszaverődések. Ez a teremakusztikai erősítés (gain) paraméter, a visszaverődésekkel mért  $L_{p,direkt+zengő}$  hangnyomásszint és a hangforrástól 10 m távolságban visszaverődések nélkül mérhető  $L_{p,direkt@10m}$  hangnyomásszint különbsége:

$$G = L_{p,direkt+zengő} - L_{p,direkt@10m} \quad (13)$$

A klasszikus teremakusztikai feltételezések szerint a zengő (tisztán visszaverődésekből álló) hangenergia a helyiségben a helytől független, azonban nagyobb vagy erősebben csillapított helyiségekben helytállóbb az alábbi összefüggés:

$$L_{p,direkt+zengő} = L_w + 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{Q}{4r^2\pi} + \frac{4}{S \cdot \bar{\alpha}'} (1 - \bar{\alpha}')^{1+r/\bar{l}} \right] \quad (14)$$

ahol helyiség csillapítottságára jellemző átlagos hangelnyelési tényező  $\bar{\alpha}' = \bar{l} \cdot m + \ln(1 - \bar{\alpha})$ .

Ha ismert a közvetlen és a teljes (közvetlen + visszavert) hangnyomásszint, akkor abból becsülhető a teremakusztikai erősítés:

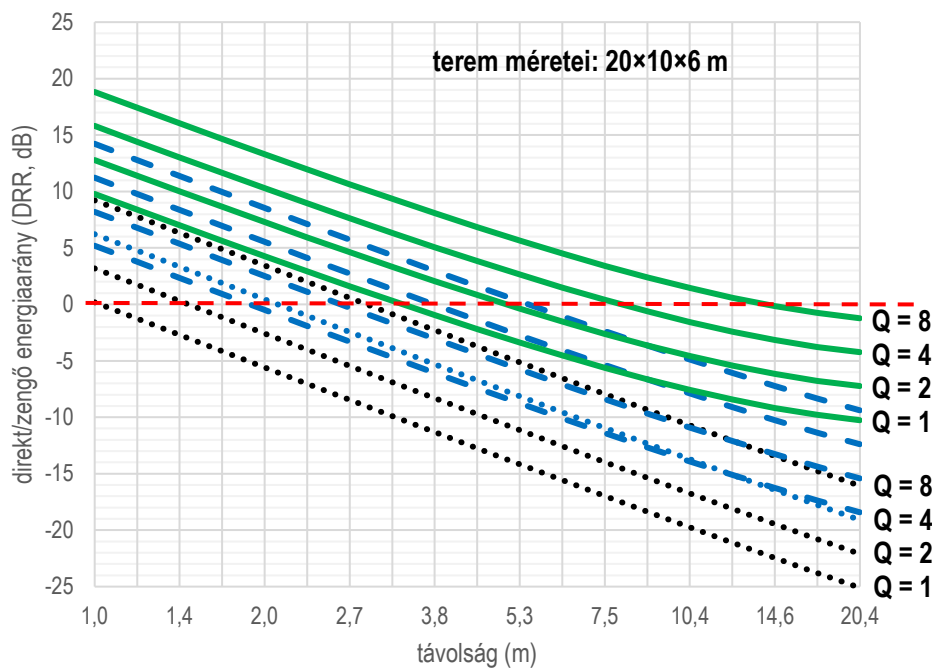
$$G = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{100}{r^2} + \frac{1600\pi}{Q \cdot \bar{\alpha}'} (1 - \bar{\alpha}')^{1+r/\bar{l}} \right] \quad (15)$$

és a közvetlen és zengő (csak visszaverődésekből álló) energiák aránya

$$DRR = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{Q}{4r^2\pi} \right] - 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{4}{S \cdot \bar{\alpha}'} (1 - \bar{\alpha}')^{1+r/\bar{l}} \right] \quad (16)$$

A fentiek szerint számolt eredményeket egy 20×10×6 m méretű terem esetére a 9. ábra mutatja. Az eredmények szerint a direkt-zengő energiaarányt a nagyobb irányítottság és a nagyobb átlagos hangelnyelés is növeli.

A hatás elvét a 10. ábra is szemlélteti: azonos közvetlen hang mellett a zengő energiák arányát a zengés szintje és hossza is befolyásolja.

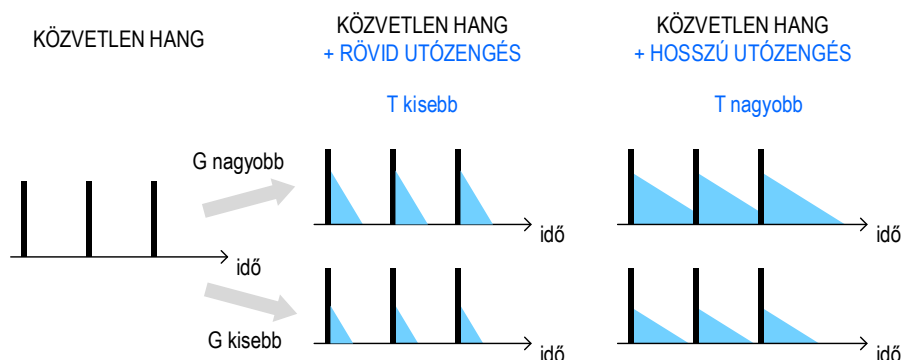


9. ábra: A közvetlen és zengő energiák arányának változása a távolság függvényében, különböző teremállapotok és különböző irányítottságok esetén  
(fekete ...  $\alpha=0,05$   $T\approx0,6$  s, kék --  $\alpha=0,15$   $T\approx1,4$  s, zöld \_  $\alpha=0,05$   $T\approx3,5$  s)

Az a határ, ahol a közvetlen és a visszavert hangok aránya 1:1 (azaz  $DRR = 0$  dB, 9. ábrán piros szaggatott vonal), a teremakusztikai „kritikus távolság”  $r_c$ , ami a fentiekből

$$r_c = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{Q \cdot S \cdot \bar{\alpha}'}{\pi(1-\bar{\alpha}')^{1+r/l}}} \quad (17)$$

A 9. ábrán látható, ahogy a csillapítás (hangelnyelés) és az irányítottság növelésével a kritikus távolság növekszik.



10. ábra: Az utózengés hossza és energiája azonos közvetlen hangnyomásszint mellett befolyásolja a közvetlen és zengő energiák arányát.

A hangtisztasági paraméter<sup>11</sup> a közvetlen/zengő energiaarányhoz hasonlóan energiák arányát fejezi ki. Azonban a hangtisztasági paraméter a közvetlen hang mellett „hasznosnak” tekinti a közvetlen hangot követő első („korai”) 50 ms (zene esetén 80 ms) időben érkező visszaverődéseket és „zavarónak” tekinti az azt követően érkező („késői”) visszaverődéseket.

A hangtisztasághoz hasonló, de a lecsengési idők csoportjába tartozó paraméter a korai lecsengési idő ( $EDT_{10}$ ), ami a közvetlen hang (első hang) és a lecsengés -10 dB pontja közötti meredekséget fejezi ki a 60 dB csillapodáshoz tartozó idővel (tehát pl., ha az első 10 dB esés 0,5 s alatt történik, akkor a korai lecsengési idő  $60 \text{ dB}/10 \text{ dB} \cdot 0,5 \text{ s} = 3,0 \text{ s}$ ). A korai lecsengési idő a hangok (beszéd vagy zene) közben, az utózengési idő pedig a hangok elhallgatása (kikapcsolása) után érzékelt zengés hosszának érzetét fejezi ki inkább.

Sejthető, hogy a hosszabb vagy hangosabb utózengés is nehezebbé teszi az időben különálló hangesemények elkülönítését (ld. hallás 2.5. fejezet, minőségi paraméterek 2.6. fejezet).

<sup>11</sup> MSZ EN ISO 3382-1 szerint Clarity

## 2.4. A terek akusztikájának jellemzése – zajosság

Az akusztikai környezeti feltételek közül a meglévő zajosság (háttérzajszint<sup>12</sup>) több szempontból érintett az elektroakusztikai rendszereknél, mert a működő elektroakusztikai berendezések

- kimenő műsorjel nélkül (készenléti állapot) is lehetnek zajosak
- kimenő műsorjellel a működési, használati zajszintet növelik
- bemenő műsorjében a meglévő háttérzaj is megjelenik.

A fentiek miatt jellemzően olyan elvárások fogalmazódnak meg, hogy a működő elektroakusztikai rendszereknél:

- kimenő műsorjel nélkül (készenléti állapot) nem keletkezhet a helyiségre vonatkozó zajszint-követelménynél nagyobb zajhatás
- kimenő műsorjellel a megcélzott helyiségek vagy területek működési, használati zajszintje nem haladhatja meg a helyiségekre vagy területekre előírt határértéket
- kimenő műsorjellel a védendő helyiségekbe vagy területekre jutó zajhatás kisebb, mint a vonatkozó zajterhelési határérték
- a bemenő műsorjelet a vonatkozó háttérzajra<sup>13</sup> figyelembevettnél nagyobb zajhatás ne terhelje.

### 2.4.1. A zajossággal kapcsolatos alapfogalmak

Az elektroakusztikai rendszerekkel kapcsolatban előforduló és zajhatásokkal kapcsolatos alapfogalmak (ld. [9] 284/2007. kormányrendelet, [10] 27/2008. KvVM-EüM együttes rendelet):

- környezeti zaj- vagy rezgésforrás: üzemi, építési, szabadidős, közlekedési és egyéb létesítmény, gép, berendezés, illetőleg olyan tevékenység, amely a védendő környezetben környezeti zajt vagy környezeti rezgést okoz;
- szabadidős zaj- vagy rezgésforrás: környezeti zajt, rezgést előidéző kulturális, szórakoztató, vendéglátó vagy sportlétesítmény, és az előbbi célú tevékenység, valamint az előbbi célra használt berendezés, gép
- üzemi zaj- vagy rezgésforrás: a közlekedési, építési, szabadidős tevékenységek kivételével a környezeti zajt, rezgést előidéző, termelő, szolgáltató tevékenység, vagy az ilyen tevékenységhez használt, környezeti zajt, rezgést előidéző telephely, gép, berendezés

<sup>12</sup> angolul: background noise

<sup>13</sup> angolul: background noise

- háttérterhelés, háttérzaj: a vizsgált forrás működése nélkül, de a forrás típusának megfelelő zajterhelés;
- alkalmi rendezvény: előre meghatározott alkalomból és időben tartott, legfeljebb 8 napon át tartó esemény, amely olyan helyszínen kerül megrendezésre, amely alaprendeltetése szerint nem az adott jellegű rendezvény tartására szolgál
- védendő (védett) környezet: védendő terület és védendő épület, védendő helyiség, amely emberi tartózkodásra, tevékenység végzésére szolgál, és ahol az emberi tevékenység zavarásának megakadályozása vagy az emberi egészség védelme érdekében a környezeti zaj, rezgés mértékét korlátozni kell
- használati zaj: a helyiség vagy terület rendeltetésszerű használata közben előforduló zajhatások összessége, ideértve a műsorjellel működő elektroakusztikai berendezések hatásait is
- zajterhelési határérték: rendeletben rögzített üzemi és szabadidős határérték
- zajkibocsátási határérték: a zajterhelési határérték szükség szerint hatósági előírás szerint szigorított határértéke
- zajvédelmi hatásterület: a zajvédelmi szempontú hatásterületének (a környezeti zajforrás hatásterületének) határa az a vonal, ahol a zajforrástól származó zajterhelés a vonatkozó rendeletben előírt módon kisebb, mint a zajterhelési határérték vagy a háttérterhelés.

## 2.4.2. A zajosság leírása

A zajosságra vonatkozó szempontok kifejezésére többféle mérték és módszer áll rendelkezésre. Minden esetben javasolt vagy szükséges pontosítani, hogy a zajosságról szóló előírás milyen üzemállapotokban, milyen pozíciókban, milyen szempontot rögzít. Az előírás különleges helyzetben vonatkozhat a zaj forrásának irányára és a zaj vagy jel megkülönböztetését segítő egyéb jellemzőire is (pl., ha a hasznos jel karaktere ismert és az egyéb jeleket jelfeldolgozással vagy irányítottsággal lehet kizárni), de nem ez a jellemző.

A zajszint-követelményeket rendszerint üzemi állapotban, bent tartózkodók nélkül, a lehetséges hallgatási vagy mikrofonozási pozíciókban, vagy ha másként nincs előírva a teljes helyiségen belül átlagolva kell értelmezni.

Jellemző mértékek és nagyságrendek:

- $L_{Aeq}$  (A-súlyozott egyenértékű hangnyomásszint, MSZ EN ISO 1996-1 szabvány [2]): a leggyakrabban használt mérték, ami egy adott időtartam (megfigyelési idő) alatt mért hangnyomásszintek energia szerint vett átlaga. Alapértelmezés szerint (ha másként nem írják körül), a megfigyelési idő

nappali (06-22h) időszakban a legzajosabb 8 h, éjjeli (22-06h) időszakban a legzajosabb 0,5 h. A hosszú idejű zajhatások leírására ez a mérték jól használható, de a színházi előadásokat már rövid idejű hatások is megzavarhatják, ezért ajánlott rövidebb megfigyelési időket (pl. 5 perccel, azaz  $L_{Aeq,5'}$  mértéket) előírni. Például előadó és produkciós terekben a reális elvárások 20...30 dB (hangfelvétel) és 25...35 dB (előadó), illetve 30...40 dB (irodai, tartózkodó).

- Az MSZE 24205-1:2012 szabvány [11] 4.4.5. része szerint a színpadgépészeti berendezéseket úgy kell csillapítani, hogy az „első sor közepén a zajszint a 40 dB-t ne haladja meg”. A követelmény pontatlan, mert nincs megadva a mérték, ami feltehetően A-súlyozott  $L_{Aeq}$  vagy akár  $L_{AS}$  mérték is lehet. Problémás az is, hogy a követelmény egyetlen pontra van előírva.
- $L_{AM}$  (A-súlyozott megítélési hangnyomásszint, MSZ 18150-1 szabvány [12]): az  $L_{Aeq}$  mértékhez adott, a jellemezni kívánt hanghatás impulzusossága ( $K_{imp}$ ) és tonalitása (búgó, füttyülő hangok,  $K_{ton}$ ) alapján hozzáadott, egyenként 0...6 dB szintű korrekciókkal értendő mérték. Az  $L_{AM}$  mérték a berendezettség hatását ( $K_b$ ) is figyelembe veszi, de beltérben azonos megfigyelési feltételek esetén egyenlő vagy nagyobb, mint  $L_{Aeq}$  mérték. Az  $L_{AM}$  mértéket használja a 27/2008. XII. 3. KvVM-EüM együttes rendelet, de abban csak kevés helyiségrendeltetésre szerepel előírás.
- NR (Noise Rating): frekvenciától függő toleranciagörbe, ahol adott toleranciának akkor felel meg a zajhatás, ha a zajszint minden frekvenciasávban a tolerancia-görbe alatt marad (hasonló toleranciák: NC, NCB, RC, PNC)
- SIL (speech interference level): az 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz és 4 kHz oktávcsávokban mért egyenértékű hangnyomásszintek számtani átlaga.

Figyelembe kell venni, hogy a különböző zajhatások inkoherens módon, azaz energiában összegződnek, ezért egy több komponens együttesére vonatkozó zajszint-követelmény csak úgy teljesíthető, ha az egyes zajhatásokra külön-külön kisebb zajszint-követelményre történik a méretezés. Elfogadott gyakorlat, ha az eredő zajszint-követelménynél 3...5 dB-val kisebb zajszint-követelmények vannak megadva a gépészetre, a helyiségen belüli audiovizuális, fénytechnikai vagy színpadtechnikai berendezésekre külön-külön.

### 2.4.3. A használati zajhatások leírása

A használati zajszint megállapításánál lehetőség szerint figyelembe kell venni a műsor hangjel jellegét (sávszélesség, energiatartalom, csúcstényező) és amennyiben ismert, statisztikus jellemzőit (előfordulási gyakoriság) is.

A jellemző gyakorlat (pl. [13] MSZ 15601-1 módosító tényezői alapján):

- általános rendeltetésű használati helyiségben elfogadott használati zajszint-tartomány a 70 dB  $L_{Aeq}$  szint
- háttérzenei hangosítással szerelt vagy nyilvános forgalmú helyiségekben 75 dB  $L_{Aeq}$  (+5 dB-vel magasabb) használati zajszint
- ének-zene tanterem, vegyes műsorú előadóterem, háttérzenei hangosítással vagy kisebb teljesítményű hangosítással szerelt helyiségben 80 dB  $L_{Aeq}$  (+10 dB-vel magasabb) használati zajszint
- nyilvános forgalmú étterem, elektronikusan hangosított háttérzene szolgáltatással 85 dB  $L_{Aeq}$  (+15 dB-vel magasabb) használati zajszint
- szórakozóhely élőzenei hangosítással >90 dB  $L_{Ceq}$  (>+20 dB-vel magasabb) használati zajszint

Könnyűzenei koncerthelyszíneken tapasztalat szerint >100 dB  $L_{Aeq}$  és >105 dB  $L_{Ceq}$  hangnyomásszintek fordulhatnak elő.

#### **2.4.4. Rezgésszint-követelmények**

---

A jól működő elektroakusztikai berendezésekre a normál épületszerkezetekre jellemző rezgésszint-követelmények (ld. 27/2008. rendelet [10] 5. melléklet) teljesülése esetén az épületszerkezeti rezgések elhanyagolható hatással bírnak.

Előfordulhat ugyanakkor, hogy zenei vagy effekt hangjelek reprodukciója olyan közvetlen kisfrekvenciás szerkezeti zavarokat okoz, ami zavaró vagy éppen a komfort-követelmények teljesülését, más (pl. vizuáltechnikai) rendszerek megfelelő működését akadályozza. Ilyen esetekben a megfelelő beavatkozásokkal kell gondoskodni a keletkező szerkezeti zavarok nemkívánatos terjedése ellen.

Előfordulhat olyan eset is, hogy a zenei vagy effekt hangjelek reprodukciója közvetett módon (léghang útján) könnyű szerkezetek (jellemzően vékony fémlemez-burkolatok, zárt fém szelvények) zörgését, szerkezeti utózungását okozza. A nemkívánatos hatásokat ilyen esetben a zörgő, zengő szerkezetekben kell kezelni. Mivel az ilyen hatások értékelésére és kezelésére közvetlenül nincs előírás vagy szakmai konszenzussal elfogadott eljárás, a kockázatokat mindig egyedileg kell felmérni és instrukciókkal, ajánlásokkal kezelni.

## 2.5. Az akusztikus jelek érzékelése – hallás

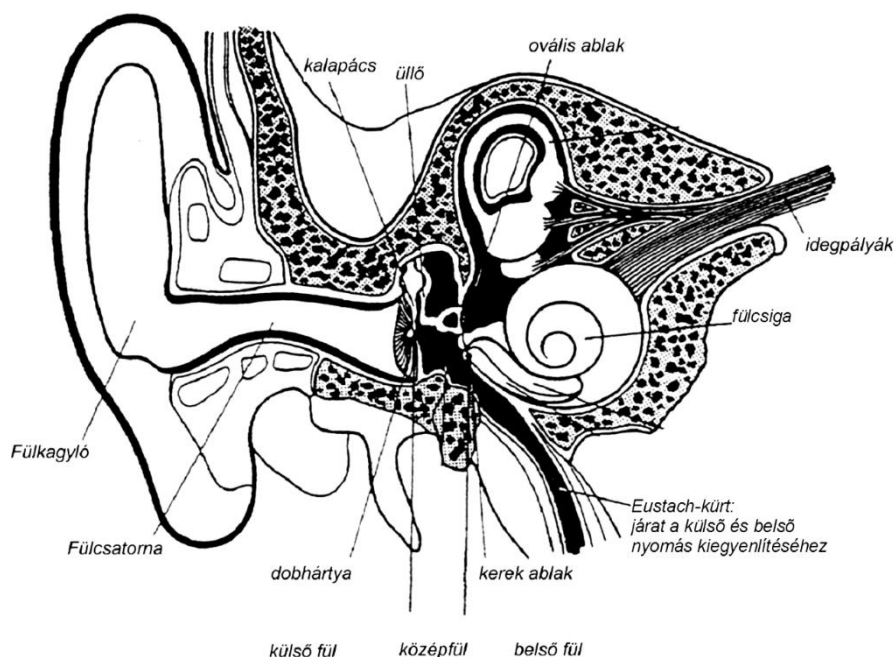
A levegőben terjedő hangot elsősorban a hallószervünkkel érzékeljük. Ezért az általános műszaki alapelveken túl minden elektroakusztikai rendszer méretezésénél fontos szempont a hallás, a hang érzékelés sajátosságainak ismerete.

### 2.5.1. A hallószerv

A hallószerv a külső fülből, a középfülből és a belső fülből áll (11. ábra).

A külső fül szerepe a hang érkezési irányától függő szűrő hatás biztosítása. Az irányfüggő szűrő hatás<sup>14</sup> eredménye, hogy az eredeti hang ismeretében a fülkagyló, a fej és a vállak együttes hatása alapján egyfülű érzékeléssel is becsülhető az eredeti hang iránya. A külső fül a fülcsatornával végződik, ami rezonanciával erősíti a fül érzékenységét 3 kHz körüli frekvenciatartományban.

A középfül a dobhártyával kezdődik, ami a levegő nyomásváltozását mozgássá alakítja. Az elmozdulás mértéke a külső fül és középfülben található dobüreg nyomáskülönbségétől is függ. A nyomás kiegyenlítéséért dobüreg az orrgaratüreggel összekötő Eustach-kürt felel, ami jellemzően csak rövid időkre (pl. nyeléskor) nyílik meg. A dobüregben található csontocskák mechanikai erősítőként közvetítik a dobhártya mozgását a belső fül bejárata felé. A mechanikai erősítés mértékét két kis izom szabályozza, például a túl nagy hangnyomás ellen védve a belső fület.



<sup>14</sup> szakirodalomban head-related transfer function vagy HRTF

### 11. ábra: A hallószerv felépítése.

A belső fül (fülcsiga) bejárata az ovális ablak, amit a kengyel mozgat és a belső fülben lévő folyadékot mozgatja a hang függvényében. A folyadék rezgései a fülcsigát elválasztó membránon található szőrsejteket ingerlik, ami a hang érzetét kelti. Leegyszerűsítve úgy tekinthetjük, hogy a szőrsejtek egy-egy jellemző frekvenciasávban érzékenyek.

A hallás a fenti jelenségek miatt nem „lineáris”. Egy füllel a jó hallású emberek általában 20 Hz és 20 kHz közötti szinuszos hangokat képesek érzékelni. A nem szinuszos, hanem rövid ideig tartó nem ismétlődő impulzív hangok (tranziensek) 20 kHz fölötti összetevőinek hiányát ennek ellenére lehet érzékelni, ezért érdemes a hangrendszereket lehetőség szerint 20 kHz-nél nagyobb frekvenciák átvitelére méretezni.

## 2.5.2. Hangmagasság érzékelése

Az ismétlődő jelekben az ismétlődést hangmagasságként érzékeljük, ha az ismétlődés gyakorisága 30...4000 Hz közötti. A nagyobb frekvenciát magasabb, a kisebb frekvenciát mélyebb hangmagasságnak érzékeljük. A „magas frekvencia” és „mélyfrekvencia” kifejezés hibás, kerülendő.

Az ismétlődő jelek spektruma vonalas és ismétlődő. A legkisebb és jellemzően a hangmagasságot meghatározó frekvencia az alaphang. Ennek egész számú többszörösei a harmonikus frekvenciák. Egymáshoz közeli frekvenciák esetén kialakul a lebegés, („beating” vagy lüktetés), vagy amikor egy a kisebb frekvenciájú ismétlődés (pl. 1000 Hz és 1200 Hz esetén 200 Hz) hamis hangmagasság-érzetet kelthet.

A hangmagasság-eltéréseket (hangköz) körülbelül a frekvenciák arányának logaritmusaival közel arányosan érzékeljük, ezen belül csak bizonyos frekvencia-arányokat (zenében: hangközöket) érzékelünk kellemesnek. A „legtisztább” hangköz a 2:1 arány (1 oktáv), ezt követik a 3:2, 5:3, 4:3, 5:4 arányok. Az arányok ugyanakkor kicsit változnak a hangmagasság függvényében (oktávterpeszkedés).

A hallás összetett jelben a szomszédos frekvenciasávokat csak korlátozott mértékben tudja megkülönböztetni. A pszichoakusztikában a hallás frekvenciasáv-felbontási képességét többféle (pl. hangosság-szemponút, hangelfedés-szemponút) sáv szélességgel jellemzik, de általában az  $1/12$  oktávsnál kisebb (azaz  $f_2/f_1 < 2^{1/12}$ ) kisebb frekvenciasávok ábrázolásának a hang érzékelése szempontjából nincs valódi jelentősége.

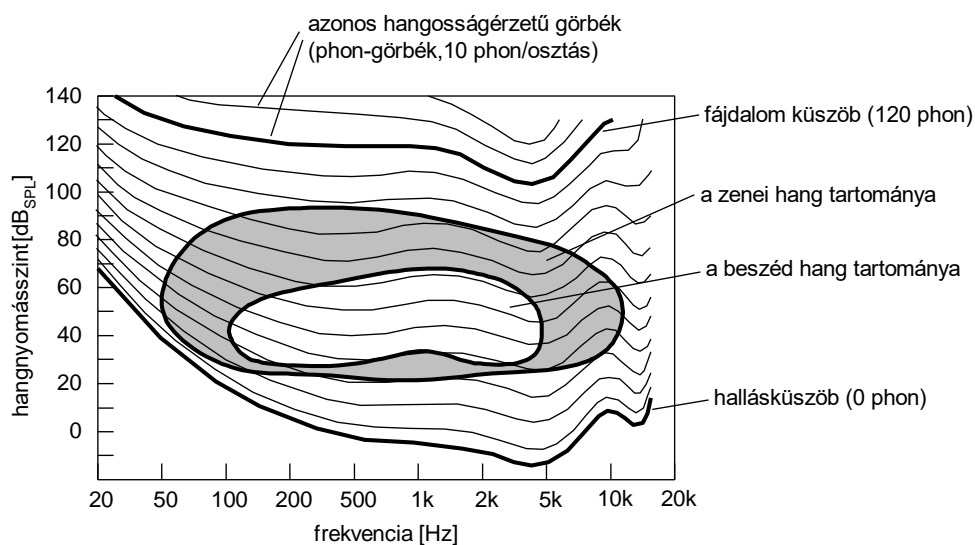
### 2.5.3. Hangosság érzékelése

A hangosság-érzet kialakulása összetett folyamat eredménye, nem egyszerűen csak a hangnyomásszinttől függ. A hangosságot a dB mértékegységhez hasonló „phon” mérték fejezi ki. Azt, hogy egy adott frekvenciájú és adott hangnyomásszintű szinuszos hang milyen hangerősség-érzetet kelt, a hallásgörbékkel (12. ábra) lehet leírni. Látható, hogy a hallás kisfrekvenciás (mély hang) tartományban sokkal kisebb dinamikát képes érzékelni. A hangosságot a „son” mértékkel jellemzik. A különböző mértékeket a 2. táblázat hasonlítja össze. Összetett jelek esetén bonyolult számításokkal lehet a hangosságérzetet becsülni (pl. ITU-R BS.1770-4 [15] szerinti LU azaz loudness unit).

Játékdinamika	dB <sub>SPL,1kHz</sub>	dB <sub>SPL,55 Hz</sub>	Phon	Son
<i>fff</i>	100	113	100	64
<i>f</i>	80	93	80	16
<i>p</i>	60	79	60	4
<i>ppp</i>	40	63	40	2

2. táblázat: A különböző hangosságot kifejező mértékek összevetése.

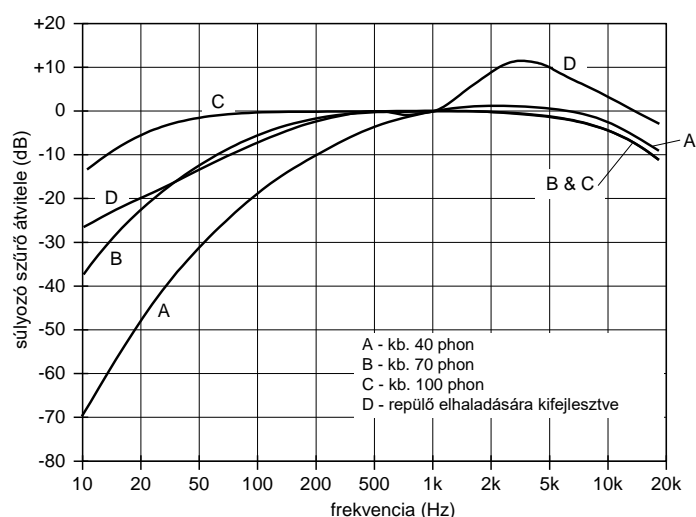
A hallásküszöb (0 phon) azt a legkisebb hangnyomásszintet jelenti, ahol már hangként érzékelhető az akusztikus jel. A hallásküszöbben jól azonosítható a fülcsatorna erősítő hatása 3 kHz körül. A szakirodalom megkülönbözteti a két füllel (binaurális) és az egy füllel érzékelhető (monaurális) hallásküszöböt<sup>15</sup>.



12. ábra: A hallásgörbék (ISO 226 [14]), hallásküszöb, fájdalomküszöb, beszéd és hangjel jellemző tartományai.

<sup>15</sup> ISO 389-7:2019, MAF – minimum audible field, MAP – minimum audible pressure,

A különböző hangosságok egyszerű kifejezése a súlyozott összeg, ami a különböző frekvenciákat eltérő súllyal veszi figyelembe (13. ábra). A legismertebb ezek közül az A-súlyozás, ami a 40 phon hangosság görbét közelítő súllyal veszi figyelembe a hangokat. Az A-súlyozás elterjedtsége ellenére félrevezető, ha ettől eltérő hangosságokra vagy helyzetekre alkalmazzák.



13. ábra: A szabványos egyszerű frekvenciafüggő súlyozások (IEC 61672 [16])

A hangosság ingadozásának érzékelhetősége szintén függ a frekvenciától és az abszolút hangnyomásszinttől. Általában 1 dB ingadozás még nehezen érzékelhető, de a 3 dB ingadozás már határozottan azonosítható.

A hangosságérzet mérése folyamatos és változó műsorjel (közvetítés vagy streaming) esetén a kivezérelhetőség ismeretében különösen fontos. A hangosságérzet jellemzésére ezért többféle mértéket és számítási eljárást szabványosítottak. A LUF<sup>16</sup> (EBU R 128) és LKFS<sup>17</sup> (ITU-T BS.1770) a digitális full-scale (ld. 3.3.2. fejezet) szinthez képest jellemzik a hangosságot, az LU<sup>18</sup> (EBU R 128) mérték viszont referenciaszint nélkül a hangosságok összehasonlítására alkalmas.

#### 2.5.4. Hangszín érzékelése

Meghatározás szerint a hangszín az azonos hangmagasságú, időtartamú és hangosságú hangokat megkülönböztető jellemző. A hangszínre nincs egyszámados jellemző, csak olyan szubjektív leírások, mint a „tompá”, „éles”, „fényes”.

<sup>16</sup> Loudness Unit relative to Full Scale

<sup>17</sup> Loudness K-weighted relative to Full Scale

<sup>18</sup> Loudness Unit

A hangszín műszaki értelemben az összetett jelek spektrális energiatartalmát jellemzi, a hangszín alakítása pedig a spektrális tartalom arányainak állítását jelenti.

### 2.5.5. Irány érzékelése

---

Az irány érzékelését egyszerre több tényező segíti és ezek fontossága a hangjel jellegétől, pozíciójától függően változik.

Egyfülű (monaurális) hallásnál az ismert hangjel hangszínváltozása segíti az irány becslését, aminek az egyénenként változó és irányfüggő szűrőhatás (HRTF) az alapja.

A két fül eltérő pozícióban van, ezért adott pozícióból vagy irányból eltérő időpontban és eltérő szintezéssel érkezik a fülekhez a hang. Az időbeli eltérés<sup>19</sup> (és abból fakadó fáziseltérés) és a szintbeli eltérés<sup>20</sup> szerepe is függ a frekvenciától, de önmagukban a fent/lent érzet kialakulásában sem sokat tudnak segíteni, mert ezek az eltérések (14. ábra) a füleket összekötő tengelyre körszimmetrikusak. Kisfrekvenciás tartományban a jellemzően 17 cm körüli fültávolság sem enged meg határozott fázis- vagy szint-eltéréseket.

Zárt hangtérben a visszaverődések és a visszaverődések fenti tényezők miatti eltérései pontosítják az irány és a távolság érzetét.

### 2.5.6. Alapvető pszichoakusztikai jelenségek

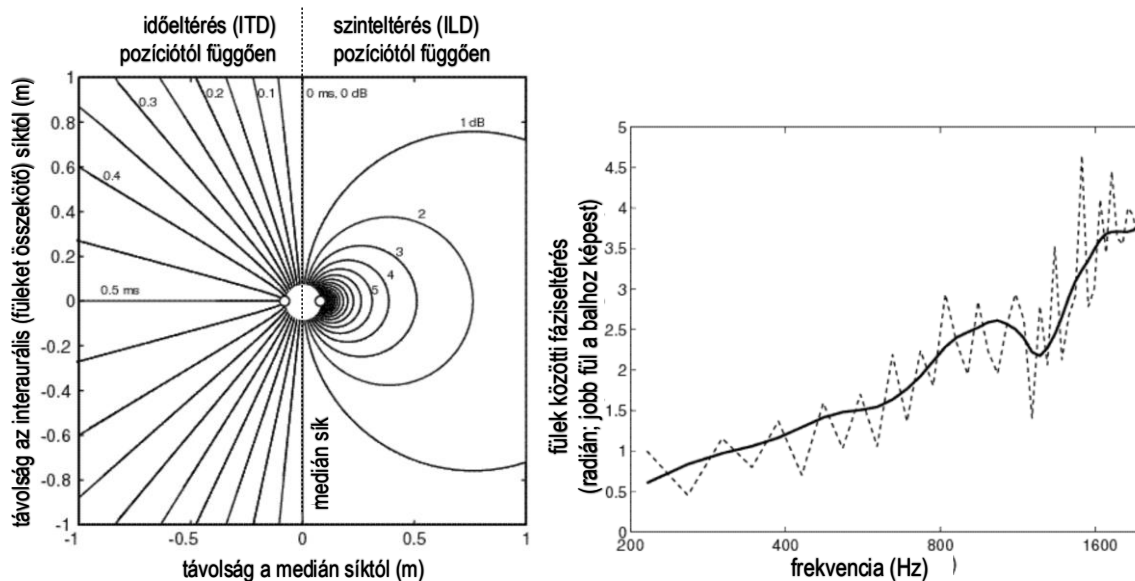
---

A hang érzékelésének megértésében alapvető fontosságúak a fenti jelenségek mellett az érzékelésre jellemző elsőbbségi szempontok. Az időben először érzékelt hangot a később érkező hangok már csak kiegészítik (precedencia-ely). A nagyon hangos hang a hozzá frekvenciában vagy időben közel álló gyengébb ingereket elnyomja (időbeli és frekvencia-tartománybeli maszkolás).

---

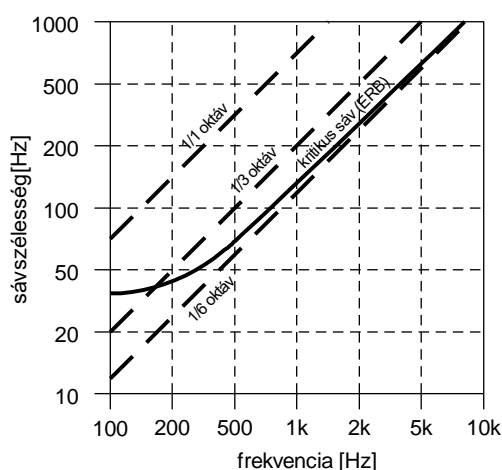
<sup>19</sup> szakirodalomban: interaural time difference, ITD

<sup>20</sup> szakirodalomban: interaural level difference, ILD



14. ábra: A kétfülvű hallás jellegzetességei  
(bal: ITD és ILD vízszintes síkban, a fülek helyzetét  $\circ$  jelöli,  
jobb: a bal/jobbs fülek közötti fáziseltérés IPD mért HRTF-ek alapján)

A frekvencia-tartománybeli maszkolás jelenségének következménye, hogy egy zaj vagy összetett jel sáv szélességét csökkentve a hangosságérzet bizonyos kritikus sáv szélesség alatt nem csökken. Ennek a jelenségnek a hangosságérzet kialakulásában és összetett jelek megítélésénél a frekvenciatartománybeli szelektivitásra is hatással van. A szabványos szűrők sáv szélességét és a hangosságérzet szempontjából egyenértékű zaj-sáv szélesség (ERB<sup>21</sup>) alakulását a 15. ábra mutatja.



15. ábra: Kritikus sáv szélesség és a szűrők sáv szélessége

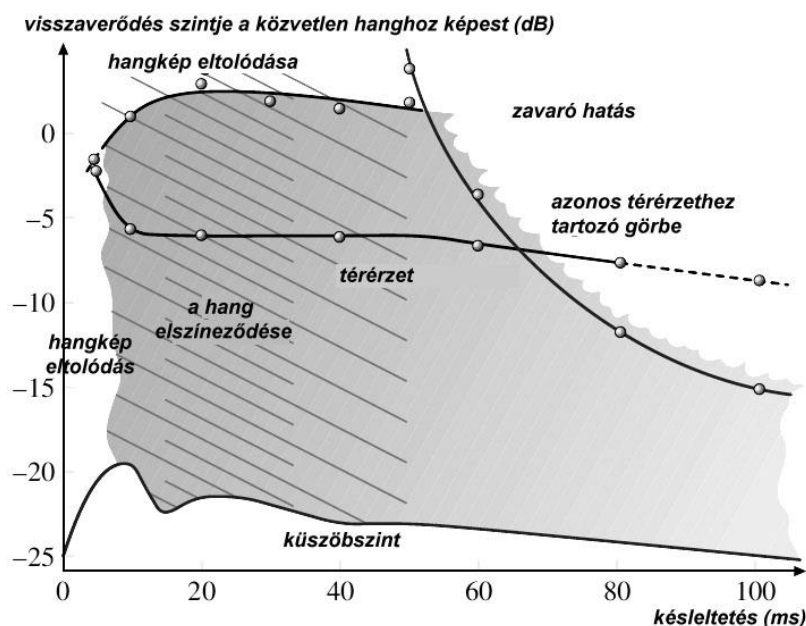
Az érzékelés számára fontos hangjelenségeket az összefüggéseik is segítenek azonosítani. A hangmagasság-érzetet az időbeli ismétlődés, az alaphangfrekvencia

<sup>21</sup> equivalent rectangular bandwidth

azonosítja. Az időben hasonlóan változó hangok frekvencia-arányát hangszíneként érzékeljük. Az eredeti és visszaverődésből származó hangokat is hasonlóságaik alapján tudja azonosítani és értékelni a hallás (16. ábra). Ez magyarázza, hogy a teremakusztikai visszaverődések vagy a hangrendszer működéséből származó ismétlődések a hangérzet minőségét javítani és rontani is tudják. Ugyanígy ez magyarázza, hogy az összefüggéstelen zajok kevésbé zavarók, mint az eredeti jellel összefüggő torzítások.

A fentiekhez hasonló pszichoakusztikai jelenségek alapvetően a hangjelek azonosítását, feldolgozását segítik, de egyben tehetetlenséget is képviselnek, amit a veszteséges tömörítési eljárások használnak ki.

A hangminőség megítélése nem csak egyénfüggő, hanem a környezet, a pszichés állapot, a közeli és távoli múlt (alkalmazkodás, tanulás) is bizonyosan befolyásolja. Az elektroakusztikai méretezésben ezeket a szempontokat nem lehet figyelembe venni, ezért a megismételhető és műszaki értelemben fontos, mérhető jellemzőkre lehet csak biztonsággal támaszkodni.



16. ábra: Egy darab oldalirányú visszaverődés hatása zenei hangjel esetén (Barron).

### 2.5.7. Hallásvédelem

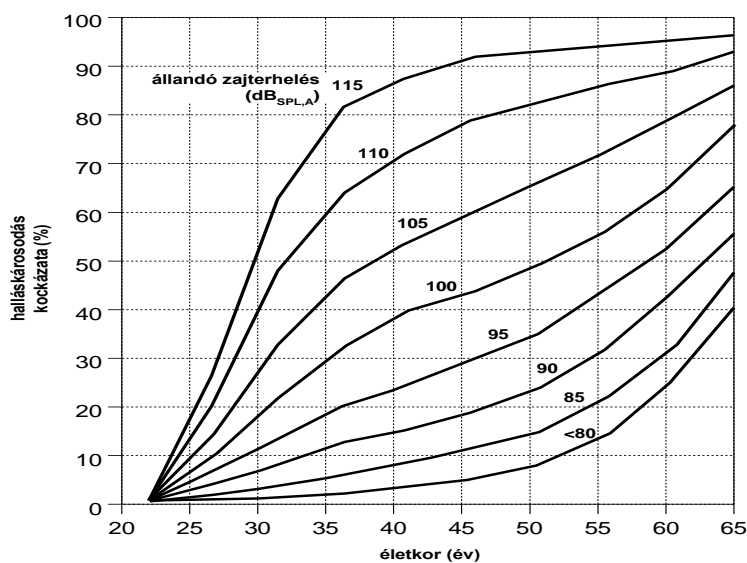
Ismereteink szerint a belső fül érzékelő csillói nem képesek a regenerálódásra. Ezért a korral előre haladva a hallás bizonyosan romlik (17. ábra) és a romlás mértékét a

betegségek vagy a túl nagy és túl gyakori vagy túl hosszú ideig tartó hanghatások (zajexpozíció) is gyorsítják (18. ábra).

A hallás romlásának jelei a hallásküszöb emelkedése és a hallás szelektivitásának romlása (például azonos körülmények között gyengülő beszédértés), a hallás dinamikájának romlása vagy a szelektív túlérzékenység is.

A zenei vagy hangtechnikai szakmákban a hangrendszerek működése vagy akusztikus hangszerek közelsége miatt kifejezetten nagy a kitettség, ezért a hangtechnikai iparágban dolgozóknak rendszeres audiológiai ellenőrzés ajánlott.

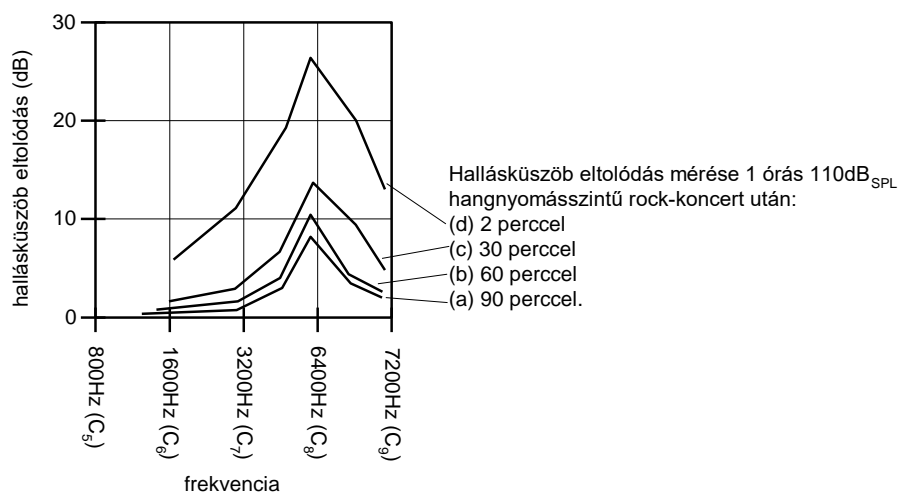
Hasonló okokból fontos a nézők hallásvédelme is fontos. Különösen igaz ez a kiskorúak esetében, akik nagy valószínűséggel nincsenek tudatában a problémának és így önálló védekezésre is csak korlátozottan képesek. Az MTA Akusztikai Osztályközi Állandó Bizottsága a nemzetközi gyakorlatot követve ajánlást adott a rendezvények során használható hangnyomásszintekre a nézők és különösen a kiskorú nézők jelenlétében (3. táblázat).



17. ábra: A tartós halláskárosodás kockázata a hosszan tartó (pl. munkahelyi) zajterhelés és az életkor függvényében.

ország, szervezet	besorolás, megjegyzés	határérték vagy hangnyomásszint-tartomány
Németország	"hangos esemény"	ha $L_{Aeq,30'} > 85\text{dB}$
	hallásvédelmi eszköz	ha $L_{Aeq,30'} > 95\text{dB}$
	túllépni tilos	$L_{Aeq,30'} 99\text{dB}$ vagy $L_{Cpeak,30'} 135\text{dB}$
Olaszország	általános határérték	$L_{Aeq} 95\text{dB}$
Ausztria	általános rendezvény	$L_{Aeq} 93\text{ dB}$
	könnyűzenei koncert	$L_{Aeq} 100\text{ dB}$
Svédország	általános határérték	$L_{Aeq} 100\text{ dB}$
	gyermekek jelenlétében	$L_{Aeq} 90\text{dB}$
Franciaország	általános határérték	$L_{Aeq} 105\text{dB}$
Svájc	kötelező bejelenteni és feltüntetni	$L_{Aeq} 93...100\text{dB}$
	kötelező ingyenes hallásvédelem	$L_{Aeq} 100...125\text{dB}$
MTA ajánlás (2015)	normál hangerő, korlátlan	$L_{Aeq,30'} = 76...81\text{ dB}$
	elfogadható, de 1-2 óra után fárasztó	$L_{Aeq,30'} = 82...87\text{ dB}$
	hangos, 1 óránál hosszabb ideig nem javasolt	$L_{Aeq,30'} = 88...93\text{ dB}$
	veszélyes hangerő, halláskárosodást okozhat, fülvédő szükséges, gyermekeknek nem javasolt!	$L_{Aeq,30'} = 94...99\text{ dB}$
	veszélyes hangerő, halláskárosodást okozhat, fülvédővel sem, gyermekeknek nem javasolt!	$L_{Aeq,30'} > 100\text{ dB}$

3. táblázat: A rendezvényeken a hallásvédelem érdekében megengedett vagy ajánlott hangnyomásszintek [20].



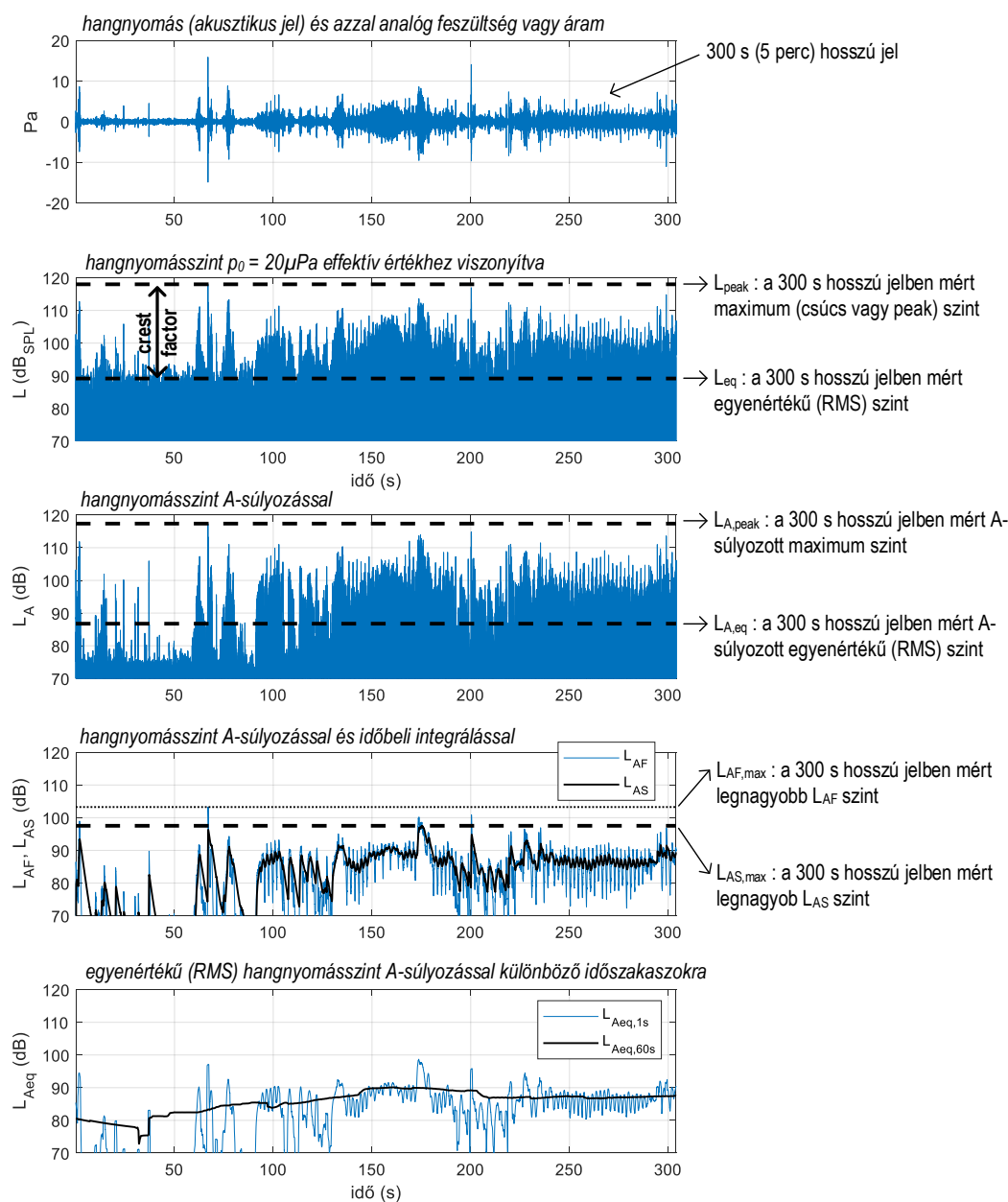
18. ábra: Ideiglenes halláskárosodás (hallásküszöb-eltolódás) [19].

## 2.6. Az akusztikus jelek jellemzése

Az akusztikus jelek azonosítása és jellemzőinek előzetes ismerete a használati zajszint, a háttérzajszint, zajterhelés stb. megállapításában és értelmezésében fontos. A jellemző mértékek a frekvenciataralom súlyozásával (szűréssel) és az időbeli súlyozással (átlagolással) értendők:

- súlyozás (például **A**, **C** ld. 13. ábra) vagy súlyozatlan (**Z**)
- lassú (**S**), gyors (**F**), impulzusos (**I**) átlagolás 1 s, 125 ms, illetve 35 ms időállandóval,
- egyenértékű (**eq**) átlagolás vagy közvetlen csúcsérték (**PK** vagy **peak**) a megfigyelési időn belül
- minimum és maximum értékek időállandóval súlyozott értékeknél a megfigyelési időn belül
- statisztikus eloszlások (pl. percentilis) a megfigyelési időn belül.

A különböző mértékeket és jelentésüket a 19. ábra szemlélteti.



19. ábra: Ideiglenes halláskárosodás (hallásküszöb-eltolódás) [19].

Az akusztikus jeleket műsorjeleknek tekinthetjük, ezért az akusztikus jelek átalakításánál a maximális szintek pontos leírása az elektroakusztikai rendszerek kapacitásainak méretezése szempontjából. Reprodukció esetén az egyenértékű szintek az elektromos rendszerekben a tartós, a maximális szintek pedig inkább a rövid idejű terhelhetőséggel és teljesítmény-kapacitással állnak összefüggésben.

A hallás tulajdonságai alapján az elméleti dinamikatartomány kb. 100 dB, ami a hallásküszöb (0 phon) és a még komfortosan elviselhető 100 phon hangosság között vehető fel. Ezt a gyakorlatban csökkenti a háttérzaj (nappali/éjjeli időszakban jellemzően nem kisebb, mint 35/25 dB), de növeli az akusztikus jelenségekre jellemző 10...25 dB csúcstényező.

A csúcstényező<sup>22</sup> a megfigyelési időben mért legnagyobb csúcsszint és RMS értékek hányadosa közvetlen vagy dB egységgel megadva (pl.  $CF = L_{PK} - L_{eq}$ ). Az akusztikus jelek csúcstényezője elektromos átalakítás után alakítható (dinamikaprocesszálás).

A lehetséges akusztikus jelek (potenciális műsorjelek) között a 4. táblázat szerinti kategóriákat célszerű külön kezelni, növekvő sáv szélesség, energiatartalom és csúcstényező szerinti sorrendben.

műsorjel-kategória	sáv szélesség		dinamika	csúcstényező
	alsó határ (maximum)	felső határ (minimum)	tipikus	tipikus
	Hz	kHz	dB	dB
hallható hangjelzés	200...500	3...10	>20	>3
beszédhang	100...315	3...10	40	10...14
zenei hang	40...80	8...16	80	10...20
effekthang	<80	>10	>60	>15

4. táblázat: A műsorjelek jellemzői tapasztalat.

A táblázatban szereplő adatok csak tapasztalatok és szakirodalmi adatok (pl. 12. ábra) alapján gyűjtött tájékoztató alap-adatok, amiktől a megrendelői, művészi igények vagy szabványi, rendeleti előírások természetesen eltérhetnek. A nem hallható jelzések (pl. pilot hang) vagy mérőjelek jellemzően nem a hallás jellegzetességeiből indulnak ki.

A feldolgozott, processzált vagy szintetizált műsorjel sáv szélessége, dinamikája és csúcstényezője méretezési, művészeti kérdés és lényegesen eltérhet a természetes hangjelektől.

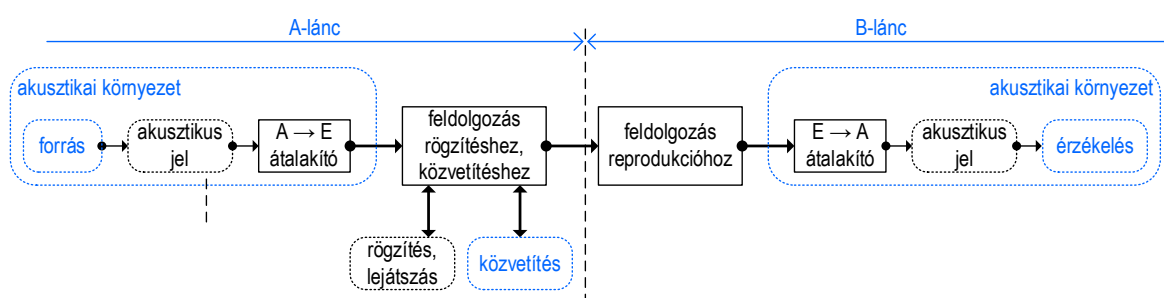
<sup>22</sup> szakirodalomban crest factor (CF), peak-to-RMS ratio

### 3. Rendszertехnikai alapfogalmak

A hangrendszerek rendszertехnikai tárgyalásánál a funkcionális elvárásokat és a műszaki követelményeket, a műszaki követelményeken belül pedig a minőségi és kapacitásra vonatkozó követelményeket érdemes külön vizsgálni.

Az 1. ábra kiegészítésével a hangláncot (csatornát) ábrázolhatjuk (18. ábra), ahol megkülönböztethetjük a hanglánc A és B szakaszát. Az elnevezés és felosztás az ANSI/SMPTE-202M-1991 és az ISO 2969:2015 szabványokból származtatható, amik ugyan eredetileg csak a filmszínházak hangreprodukciós szempontjait kezelik, de szemléletükben jól elkülönítik, hogy a hanglánc (20. ábra)

- első szakasza („A-lánc”) a műsorjel létrehozásához, a műsorjel forrása felől szükséges korrekciók végrehajtásához,
- második szakasza („B-lánc”) pedig a műsorjel reprodukciójához, a műsorjel hallgató felől szükséges korrekciók végrehajtásához kapcsolódik.



20. ábra: A hanglánc javasolt felosztása A-lánc és B-lánc szakaszra.

#### 3.1. Az átvitel minőségének jellemzése

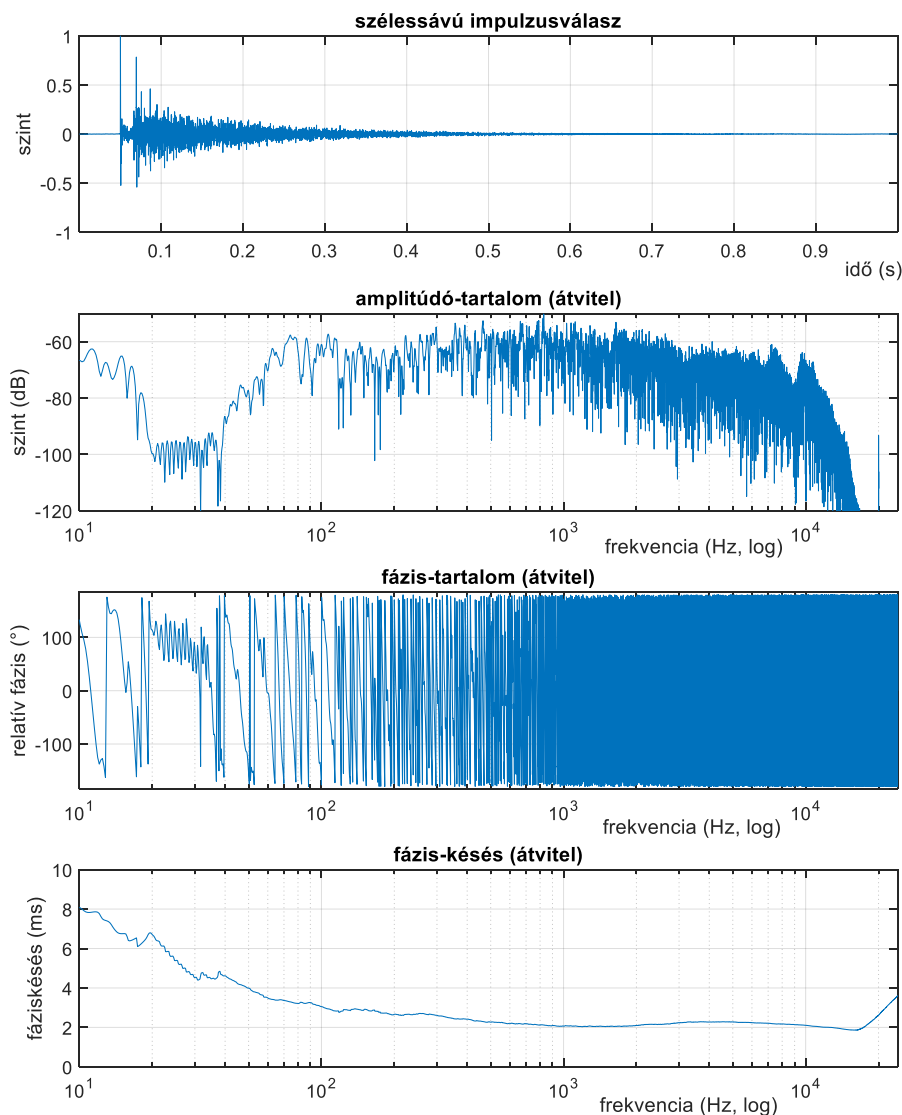
Ideális esetben a hanglánc minden eleme minden bemenetükre jutó és a műsorjel szempontjából fontos részletet hibátlanul közvetítenek. A hanglánc egészének és elemeinek minőségét az átviteli jellemzők írják körül.

##### 3.1.1. A frekvenciaátvitel

A lineáris, kauzális, időinvariáns átvitelt az impulzusválasz  $h(t)$  és a Fourier-transzformációval ebből kölcsönösen egyértelműen átszámolható  $\hat{H}(\omega)$  komplex átviteli függvény teljes mértékben jellemzik.

$$\hat{H}(\omega) = \int_0^\infty h(t) \cdot e^{-j\omega t} dt = |\hat{H}(\omega)| \cdot e^{j\angle\hat{H}(\omega)} \quad (18)$$

ahol  $\omega = 2\pi f$  a körfrekvencia,  $|\hat{H}(\omega)|$  az amplitúdóátvitel,  $\angle\hat{H}(\omega)$  pedig a fázisátvitel.



21. ábra: Az impulzusválasz és a frekvenciaátvitel (amplitúdó átvitel, fázisátvitel és fáziskésés).

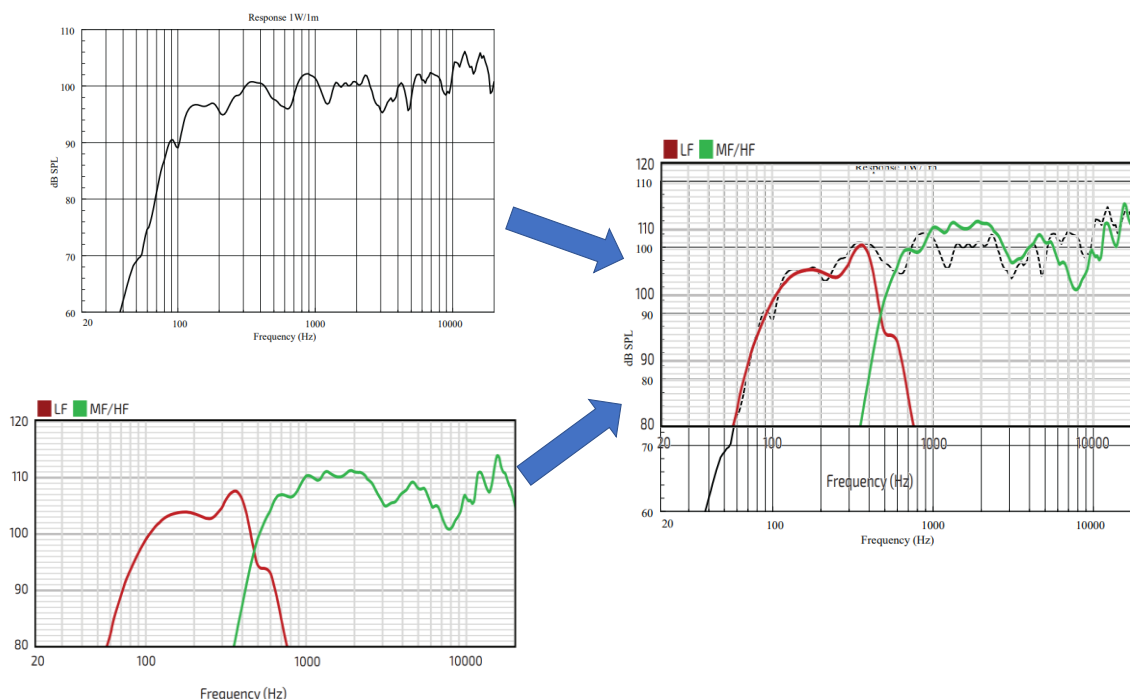
A frekvenciaátvitelből leggyakrabban csak az amplitúdóátvitelről esik szó, csak azt dokumentálják az adatlapok. Az amplitúdóátvitelt a hallás jellegzetességeinek megfelelően frekvenciasávokra simítva érdemes vizsgálni, ahol az amplitúdó-átvitel

$$a(f) = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} |\hat{H}(\omega)|^2 df \right] \quad (19)$$

ahol a sávközép-frekvencia  $f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$  és a sáv szélesség oktávban megadva az  $\log_2(f_2/f_1)$  összefüggéssel számolható.

Az 1/9 oktávsávnál finomabb (pl. 1/12, 1/48, 1/96) felbontást a hallás korlátai nem indokolják, az 1/3 oktávsávnál durvább (pl. 1/1, 2/1) felbontás viszont fontos jelenségeket fed el.

Az amplitúdóátvitel ábrázolására nincs szabványi előírás, ezért az amplitúdóátvitel ábrái csak akkor hasonlíthatók össze, ha a skálák, léptékek és határok is azonosak. A 22. ábra két különböző gyártó adatlapjáról származó és elsőre jelentősen eltérő amplitúdóátvitelt mutat. Az ábrák skáláinak és határainak összeillesztése után azonban láthatóan közel sem olyan jelentős az eltérés, ennek ellenére sok kérdés megválaszolatlan marad az átvitelekről.

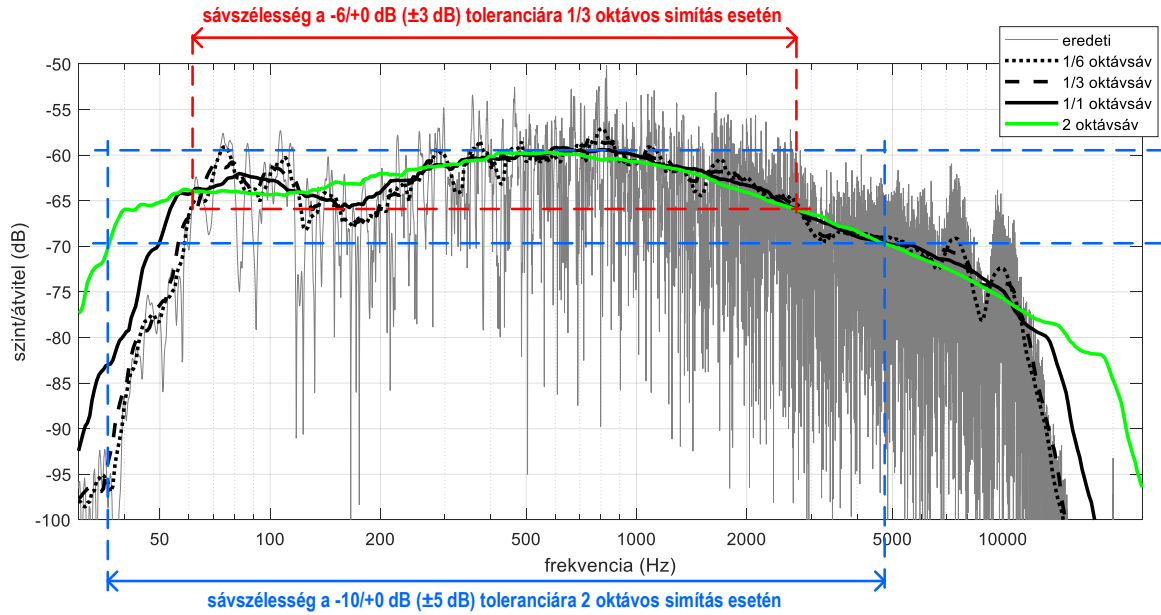


*22. ábra: Az amplitúdóátvitel csak azonos skálázás és határok esetén hasonlítható össze.  
A felső ábra feltehetően simított és mért átvitel,  
az alsó ábra feltehetően 1/3 oktávsávossal mért átvitel.*

Az amplitúdóátvitelről legegyszerűbben valamilyen toleranciasémával összevetve lehet nyilatkozni. A toleranciasémán túl ugyanakkor azt is elő kell írni, hogy azt milyen frekvenciasáv-felbontású vagy simított átvittel kell hasonlítani. A 23. ábra azt szemlélteti, hogy ugyanaz az átvitel különböző simításokkal mennyire más eredményt ad.

Egy pontos leírás ezért úgy néz ki, hogy „50 Hz-16 kHz  $\pm 5$  dB 1/3 oktávsáv”. Ha bármelyik adat hiányzik, akkor a leírás pontatlan és ezért összehasonlításra sem használható. Javasolt a leírásban a határfrekvenciák megjelölésénél a simítás vagy sáv szélesség szabványos sávközép-frekvenciáit használni akkor is, ha a gyártmány adatlapján ettől eltérő adatok szerepelnek (pl. a 68 Hz helyett 1/1 vagy 1/3 oktávsáv esetén 63 Hz, 1/6 oktávsáv felbontás esetén 66,7 Hz, értelmezhető).

Szabványokban előfordulnak szigorúbb toleranciasémák (pl. ISO2969 X-Curve), amiket úgy kell kiértékelni, hogy szinteltolással az átvitelre a legjobb eredményt adja.



23. ábra: Amplitúdó-átvitel jellemzése egyszerű toleranciával.  
A leírás csak a simítás és a toleranciaséma megadásával lehet egyértelmű és hasonlítható.

A hatásos sáv szélesség<sup>23</sup> a hangsugárzókra vonatkozó IEC EN 60268-5 szabvány szerint az az alsó és felső frekvencia, ami legfeljebb 10 dB-vel kisebb, mint a legnagyobb szintet képviselő frekvenciasávban mért átlagos szint. Az átlagos szint megállapításához használt sáv szélessége jellemzően 1/1 oktáv, de nagyobb is lehet. Az 1/9 oktávsnál keskenyebb eltéréseket nem kell figyelembe venni.

A fázis frekvenciafüggését a nagy értéktartomány miatt közvetlenül ritkán ábrázolják, gyakrabban a fázist a  $-\pi$  és  $+\pi$  tartományba forgatják (ld. 19. ábra). A fázis csak adott frekvencián értelmezhető, ezért véges sáv szélességben szemléletesebb a fáziskésés

$$\tau_{\phi}(\omega) = -\frac{\angle \hat{H}(\omega)}{\omega} \quad (20a)$$

vagy csoportkésés

$$\tau_g(\omega) = -\frac{d\angle \hat{H}(\omega)}{d\omega} \quad (20b)$$

ábrázolása.

A fázisátvitel minőségét például a fázistorzítással lehet kifejezni [23]:

$$\varphi(\omega) = \Delta\tau \cdot f \cdot 360^\circ \quad (20c)$$

ahol  $\Delta\tau = \tau_{\phi}(\omega) - \tau_g(\omega)$  a differenciális időkésés torzítás<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> effective frequency range

<sup>24</sup> differential time-delay distortion (ld. [23])

A fázisátvitel minőségét a gyártók kifejezetten ritkán dokumentálják.

### 3.1.2. A zaj

A zaj kifejezést más értelemben is használjuk. Például környezeti adottságra azt, hogy háttérzaj vagy véletlenszerű jelre azt, hogy „fehér zaj”. Az átvitel minőségének jellemzésénél a zaj viszont a hasznos jeltől független additív hibajelek összességét jelenti.

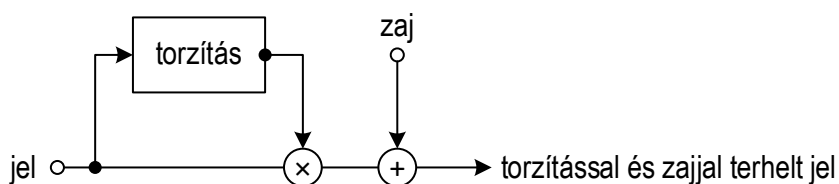
A kimeneti jel/zaj viszony adott kimeneti jelben a hibajel arányát fejezi ki.

Az egyenértékű bemeneti jelszint (EIN <sup>25</sup>) azt a bemeneti jelszintet jelenti, ami a kimeneten hibaként megjelenő zaj szintjével azonos szintet produkálna egy zajtalan készülék kimenetén.

### 3.1.3. A torzítás

A torzítás meghatározására nincs teljes konszenzus a szakirodalomban. A klasszikus meghatározás szerint a torzítás a jelalak megváltozása. Más meghatározás szerint torzítás minden olyan elváltozás, ami a jel alakját vagy a frekvencia összetevők viszonyát megváltoztatja.

A torzításra minden esetben az jellemző (és az különbözteti meg a zajtól), hogy az elváltozás a jellel szoros összefüggésben áll. A zaj és a torzítás modelljét a 24. ábra mutatja.



24. ábra: A zaj- és a torzítás modelljének összehasonlítása.

A torzítások között megkülönböztethetünk

- lineáris torzítást (pl. szűrés)
- nemlineáris torzítást (pl. harmonikus torzítás).

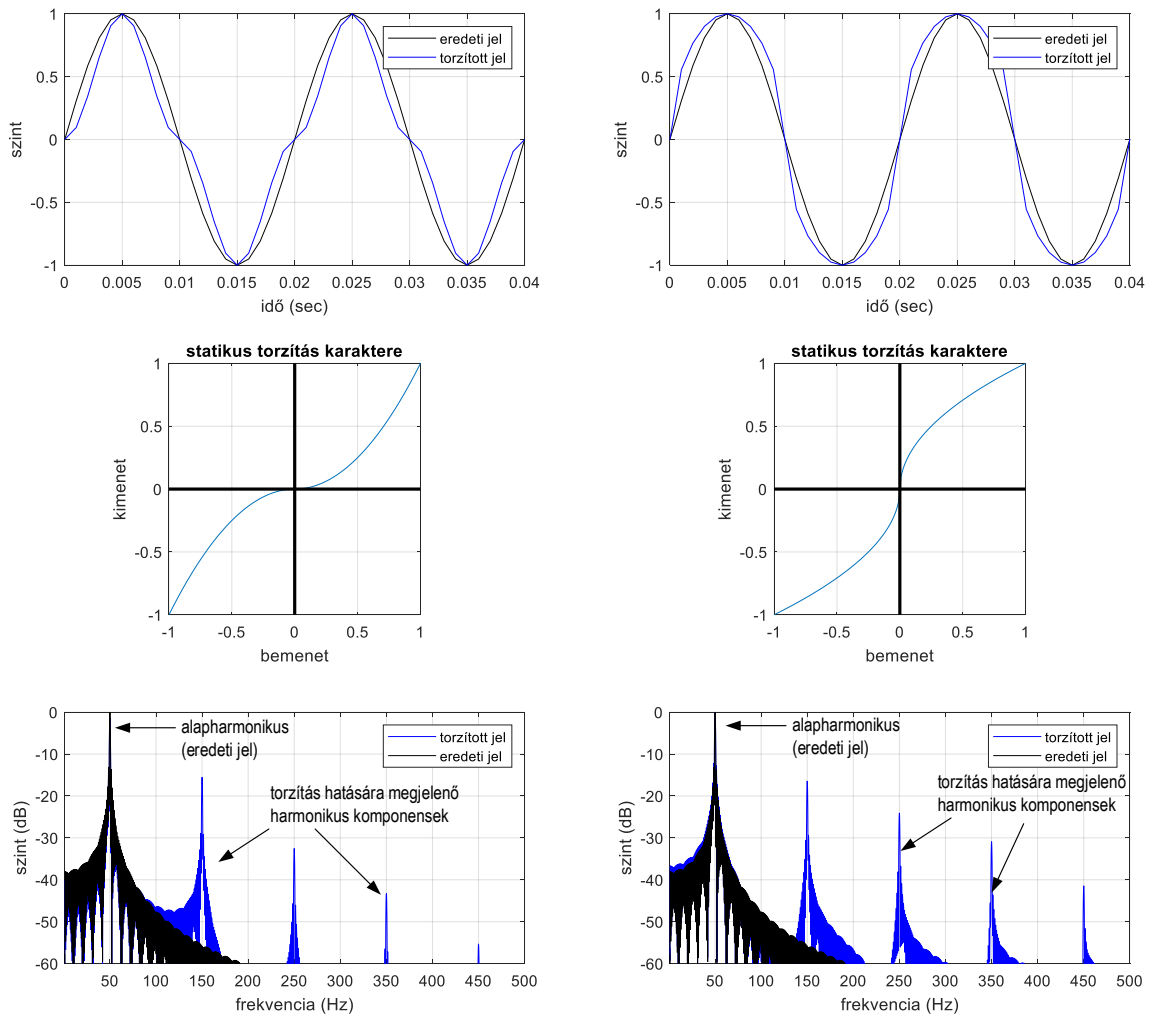
A lineáris torzítás korrigálható. A nemlineáris torzítás nem korrigálható.

<sup>25</sup> equivalent input noise level

Ha a nemlineáris torzítás statikus, akkor a torzítás nemlineáris átmenettel modellezhető és az eredmény szinuszos bemenő jel esetén a szinuszos bemenő jel frekvenciáinak többszörösein jelenik meg, azaz harmonikus torzítást képvisel (25. ábra). A harmonikus torzítást jellemző paraméter a  $THD$  <sup>26</sup>:

$$THD = 100\% \cdot \frac{\sqrt{k_1^2 + k_2^2 + \dots + k_n^2}}{k_0} \quad (21a)$$

ahol a tiszta  $k_0$  amplitúdójú szinuszos jelre adott válaszból a  $k_i$  az  $i$ -edik harmonikus frekvencián megjelenő szinuszos torzítási komponens amplitúdója. A THD dB mértékben is kifejezhető.



25. ábra: A harmonikus torzítás modellje és jellemzése statikus nemlineáris átmenettel.

A nem statikus torzítási hibajel nem csak a pillanatnyi jeltől függ, hanem a korábbi állapotoktól:

<sup>26</sup> total harmonic distortion

- intermodulációs torzítás (pl. IMD SMPTE RP120-1983, DFD IEC 60118 vagy IEC 60268-5 szabványokban), amit hiszterézises átmenet vagy Doppler-hatás is okozhat; a másodrendű torzítási termékre IEC 60268-5 szabvány szerint például

$$IMD = 100\% \cdot \frac{k_{f_2-f_1}}{k_{f_1}+k_{f_2}} \quad (21b)$$

ahol  $k_{f_2-f_1}$  a másodrendű intermodulációs torzítási komponens  $f_2 - f_1$  frekvencián, amikor a bemenetre  $f_1$  és  $f_2$  frekvenciájú szinuszos jelek kerülnek.

- teljes torzítás és zaj ( $TD + N$ ) hasonló torzítási mechanizmusokra általánosítva, tetszőleges alaphfrekvenciára (multitone) és kiterjesztve a zajosságra is

$$TD + N = 100\% \cdot \sqrt{\frac{K_{total}^2 - \sum_{i=1}^M k_i^2}{\sum_{i=1}^M k_i^2}} \quad (21c)$$

ahol  $K_{total}$  tartalmazza a kimeneten megjelenő összes komponenst (alaphfrekvenciák, zaj, torzítási komponensek),  $k_i$  pedig a mérésben bemeneten mérőjelben használt  $i$ -edik alaphfrekvencia

- dinamikus intermodulációs torzítás ( $DIM$ , pl. IEC 60268-3): ha a torzítási mechanizmus erősen frekvenciafüggő nemlinearitáson alapul (ld. még SID<sup>27</sup>, TIM<sup>28</sup>):

$$DIM = 100\% \cdot \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^9 k_i^2}}{K_s} \quad (21d)$$

ahol  $k_i$  az  $i$ -edik intermodulációs termék és  $K_s$  a 15 kHz-es szinuszos jel amplitúdója, miközben a bemenő jel egy 3,15 kHz-es pl. 30 kHz-re sávkorlátozott négyszögjel és mellett egy 15 Hz-es 6 dB-vel kisebb amplitúdójú szinuszos jel.

A torzítási mechanizmusok és mértékek egymásból nem fejezhetők ki, egymástól független hibajelenségeket írnak le, ennek ellenére a gyakorlatban jellemzően csak a THD, ritkábban THD+N vagy TD+N értékelések fordulnak elő.

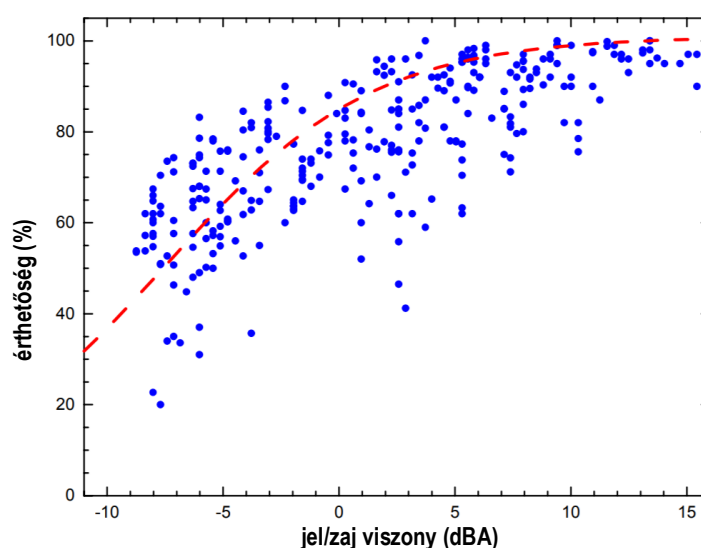
<sup>27</sup> slew induced distortion

<sup>28</sup> transient intermodulation distortion

### 3.1.4. A beszédátvitel jellemzése

A hanglánc célja nagyon gyakran a beszédhang megfelelő közlése, a megfelelő beszédérthetőség biztosítása. Történetileg a beszédérthetőséget a számos alany bevonásával, szótagértést, szóértést vagy mondatértést ellenőrző tesztek kitöltésével, vizsgálták és az eredmény %-ban fejezte ki a beszédérthetőséget. Ez azonban költséges és lassú eljárás, és eredmény az alanyok felkészültségétől, előéletétől, még akár a nyelvtől is függhet, ezért a megállapítások megismételhetősége nagyobb szórást mutat.

A korai megfigyelések is igazolták, hogy a beszéd érthetősége szorosan összefügg a jel/zaj viszonyal (26. ábra), ez volt a korai SIL<sup>29</sup> vagy SII<sup>30</sup> mérték alapja.



26. ábra: A beszédérthetőség és a jel/zaj viszony összefüggése<sup>31</sup>.

Az STI<sup>32</sup> módszer az optikából megismert modulációs átviteleket (MTF<sup>33</sup>) értékeli és az értékelés végén egy 0,00...1,00 tartományba eső számmal fejezi ki a beszédérthetőséget. A számítási módszer (ld. MSZ EN 60268-16) 125 Hz...8 kHz oktávsávban oktávsávonként 14 db modulációs frekvenciával (0,63 Hz...12,5 Hz 1/3 oktávsáv) számol modulációs átvitelt, ebből effektív jel/zaj viszonyt ( $SNR_{eff}$ ), átviteli indexet ( $T_I$ ) vagy oktávsávonként 1-1 modulációs átviteli indexet ( $MTI$ ). A végeredményhez korrekció formájában figyelembe veszi:

- spektrális maszkolási korrekció: mert a mélyebb hangok nagyobb aránya a magasabb hangok kivehetőségét rontja

<sup>29</sup> speech interference level

<sup>30</sup> speech interference index

<sup>31</sup> hasonló összefüggéseket több publikációban is találni [25] vagy [26]

<sup>32</sup> speech intelligibility index

<sup>33</sup> modulation transfer function

- hangnyomásszint-korrekción: mert a túl kicsi (<40 dBA) vagy túl nagy (>85 dBA) abszolút hangnyomásszint rontja a beszédérthetőséget
- háttérzaj-korrekción: mert a hasznos jellel összemérhető háttérzaj rontja a beszédérthetőséget
- a beszéd forrás spektrumának fajtáját: mert a férfi vagy női beszédhangban mások az arányok (a női hang általában jobb beszédérthetőséget tesz lehetővé).

Az eredmény értékelését az 5. táblázat mutatja. Az eredmény értékelésében figyelembe lehet venni az idegennyelvűséget vagy akár a halláskárosodást. Az MSZ EN 60268-16 szabvány a 0,00...1,00 értékhez U...A+ betűjelzéseket rendel és a betűjelzések felhasználására ad javaslatot.

Beszédérthetőségi index besorolása	STI	szóérthetőség (%)
kiváló (Excellent)	> 0,75	> 98
jó (Good)	0,60...0,75	93...98
elfogadható (Fair)	0,45...0,60	80...93
gyenge (Poor)	0,30...0,45	60...80
rossz (Bad)	< 0,30	< 60

5. táblázat: A beszédátviteli index (STI) értékelése

Az STI mérték előnyei:

- könnyen értelmezhető eredmény
- nemlinearítások (torzítás, dinamikaprocesszálás) hatásait is figyelembe veheti
- számos szabvány alkalmazza vagy hivatkozik rá (MSZ 2082, MSZ EN 50849, MSZ EN ISO 7240, NFPA 72<sup>34</sup>, BS 5839<sup>35</sup>, MSZ EN ISO 9921)
- egyszerűsített változata (STI PA<sup>36</sup>) kézi műszerrel közvetlenül mérhető
- alkalmas az A-lánc és B-lánc minősítésére külön-külön és együttesen is (27. ábra)

Az STI mérték hátrányai:

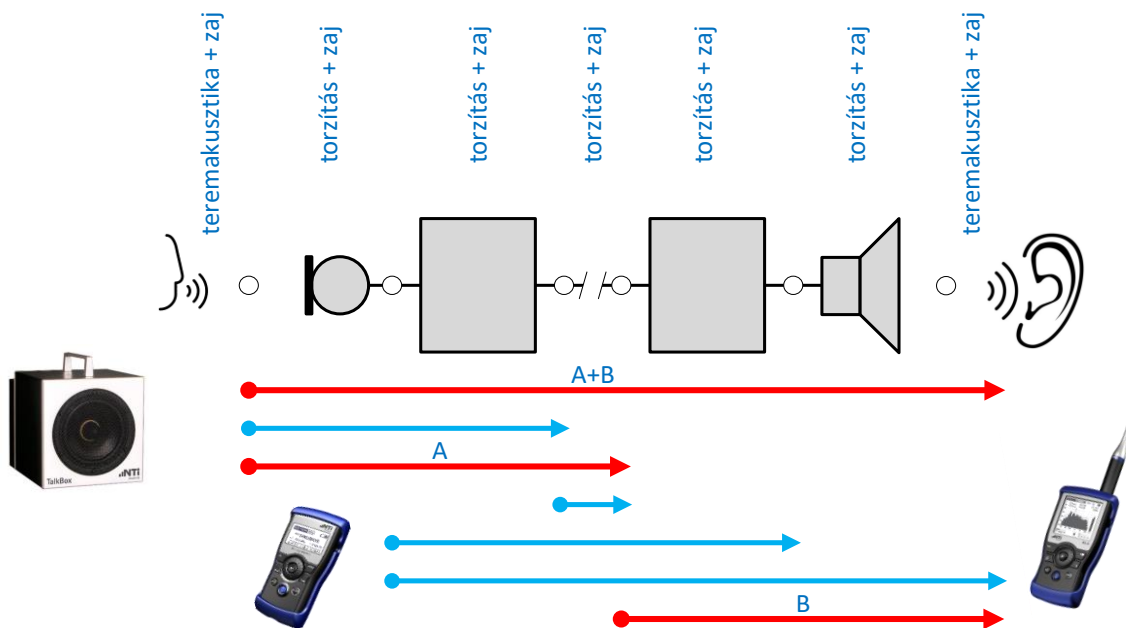
- közvetlen mérési módszer (szinuszos modulációk mérése egymás után) nem praktikus, nehézkes; ezért széles körben elfogadott egyszerűsített alternatív mérési módszerként a STIPA használatos

<sup>34</sup> National Fire Protect Association – nemzetközi gyakorlatban rendszeresen hivatkozott tűzvédelmi előírások

<sup>35</sup> British Standard

<sup>36</sup> STI PA – STI public address, 7×14 darab moduláció egymás utáni vizsgálata helyett összesen 14 db átvitel egyidejű vizsgálata

- a közvetett mérési módszer (impulzusválasz mérése) a nemlineáris hatások (torzítás, dinamikaprocesszálás) hatását nem tudja képviselni
- időbeliséggel a módszer kevésbé foglalkozik, ezért teremakusztikai körülmények és jelenségek leírására nem alkalmas
- csak konkrét hangforrás és hallgató között értelmezhető,
- a hallás hibajavító képességét (pl. kétfülű észlelés) nem veszi figyelembe.



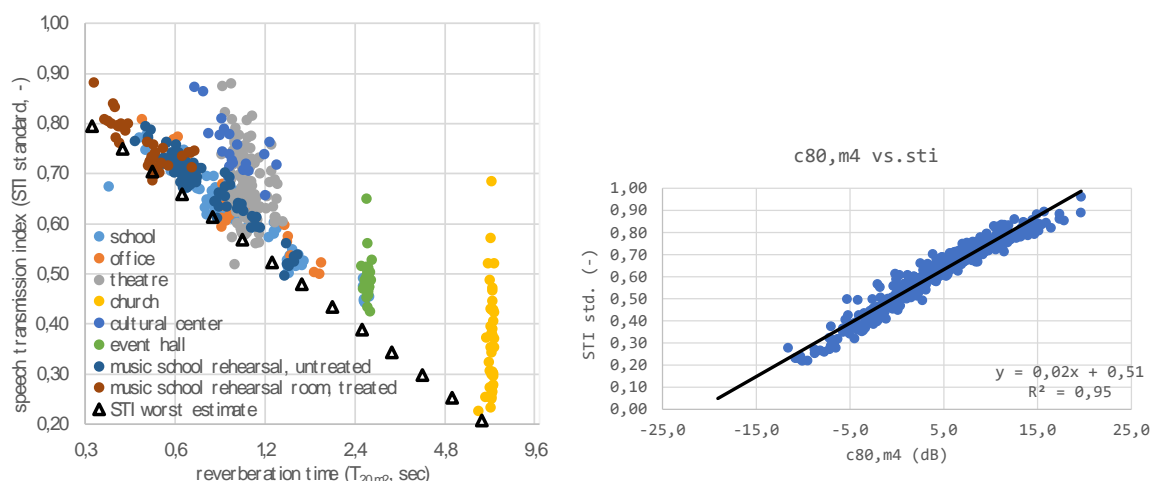
27. ábra: Az STI módszer a hanglánc különböző szakaszainak vizsgálatára is alkalmas.  
*A forrás lehet műszárj (akusztikus forrás) vagy jelgenerátor,  
 a vevő lehet mérőműszer vagy mikrofon (és mérőműszer).*

Az STI követelmény megállapítása akkor pontos, ha rögzíti az elvárt minimumértéket és hogy az milyen feltételekkel (korrekciók, üzemállapot stb.) értendő. A minimumérték is többféleképpen értelmezhető és ezek az értelmezések jelentősen eltérést jelenthetnek a gyakorlatban:

- abszolút követelmény a vizsgált hallgatási pontokban (pl. „STI minden pontban legalább 0,50”);
- átlagérték-követelmény a vizsgált hallgatási pontok összességére (pl. „STI átlagértéke legalább 0,50”);
- korrigált átlagérték-követelmény a vizsgált hallgatási pontok összességére (pl. „STI szórással csökkentett átlagértéke legalább 0,50”);
- a fentiek kivételekkel (pl. „STI átlagértéke legalább 0,50 a legrosszabb 10% mérés elhagyása után”).

Az STI eredmények nem jól függenek össze az utózungési idővel, de jól korrelálnak a tényleges beszédérthetőség-érzettel. Az STI módszert és minősítést ezért sajnos a

szakirodalom és néha szabványok is a teremakusztikai körülményeket minősítő paraméterként használják fel annak ellenére, hogy az STI nem teremakusztikai paraméter. A mérési eredmények szerint az STI jól korrelál más teremakusztikai paraméterekkel (pl. EDT<sub>10</sub>, C<sub>50</sub>, C<sub>80</sub>) és az utózungési idő is csak jól meghatározott korlátot képvisel a beszédérthetőség alsó határára (28. ábra), tehát az STI megadása nem szükséges és hiba egy teremakusztikai specifikációban.



28. ábra: Az STI paraméter és a teremakusztikai paraméterek összefüggései [24].  
 Bal: az utózungési idő a lehetséges STI értékek alsó határával függ össze, adott utózungési idő mellett az STI az irányítottságtól vagy a hangforrás távolságától függően jobb lehet.  
 Jobb: a zenei hangtisztaság (C<sub>80</sub>) közepes értéke jól korrelál az STI paraméterrel.

Előfordulhat, hogy a beszédérthetőségi követelményt CIS<sup>37</sup> mértékben kell meghatározni, ami az STI-ből átszámolható

$$CIS = 1 + \log_{10} STI \quad (22)$$

összefüggéssel.

## 3.2. Analóg jelátvitel

Az analóg jelátvitel alapja az akusztikus jellel azonosan változó feszültség vagy áramerősség.

### 3.2.1. Analóg jelszintek

A jelszinteket különböző referenciaszintekhez hasonlítva jellemzően dB mértékben adják meg. Ezek közül az ismertebb, gyakrabban előforduló mértékek:

- **dBW**: az 1 W referenciaszinthez mért teljesítményszintet jelöli

<sup>37</sup> common intelligibility scale

- **dBm**: az 1 mW referenciaszinthez mért teljesítményszintet jelöli, ami feszültségben 0,775 V<sub>rms</sub> (tehát effektív) szintet jelent 600 Ω impedancián
- **dBu**: a 0,775 V<sub>rms</sub> referenciaszinthez mért effektív feszültséghez jelöli, impedanciától függetlenül
- **dBV**: az 1 V<sub>rms</sub> referenciaszinthez mért effektív feszültséghez jelöli (10 dBV kb. -7,8 dBu)

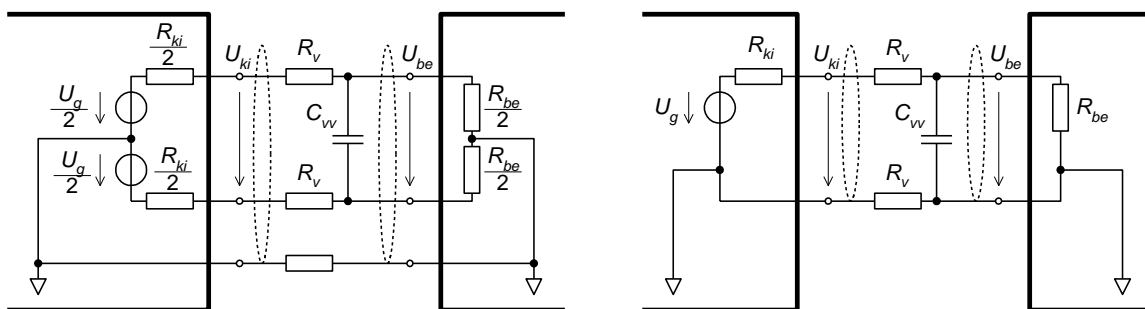
### 3.2.2. Analóg eszközök illesztése

Az analóg jelkapcsolat minőségét két kapcsolódó eszköz esetén a kimeneti és bemeneti jellemzők a kapcsolatot biztosító kábelrel együttesen határozzák meg.

Az elektromos eszközök között lehet áramvezérelt, feszültségvezérelt és teljesítményillesztett kapcsolatokról beszélni. A korszerű hangtechnikában az eszközök közötti kisjelű átvitelnél a jobb minőség érdekében feszültséggenerátoros illesztést alkalmaznak, ahol a jelet a vezető szálak közötti feszültség határozza meg. Nagyjelű átvitelnél vagy nagy távolságokat átfogó kapcsolatoknál ezzel szemben a minél kisebb veszteség érdekében teljesítményillesztés, nagyfrekvenciás jeltartalomnál impedanciaillesztés szükséges.

Feszültségvezérelt kapcsolatban aszimmetrikus kábelezésnél az árnyékolás és a referenciaszint azonosak, ezért az árnyékoláson megjelenő zavarjel a vevő oldalon is megjelenik. Ha a kábel nem árnyékolott, akkor aszimmetrikus kábelezésnél a kábelek eltérő geometriája miatt jelenhet meg a bemeneten a zavarfeszültség. A kábelek eltérő geometriájából fakadó aszimmetriát a csavart érpáras kialakítás vagy csavart dupla érpáras („star-quad”) csökkentheti.

Ha a jelet nem az árnyékoláshoz viszonyított, hanem egy ellentétes előjellel (szimmetrikusan) vezérelt vezető szálak közötti feszültségként értelmezzük, akkor a kábel mentén külső elektromágneses hatásból eredő azonos előjelű („közös módusú”) zavar bármely kábel felépítés esetén lényegesen csökkenthető (29. ábra).



29. ábra: A szimmetrikus (bal) és aszimmetrikus (jobb) analóg jelkapcsolatok elemei.

### 3.2.3. A kábelezés hatása

A kábelek hatásának jellemzői a vezető szálak ellenállása ( $R_v$ ) és induktivitása ( $L_v$ ), valamint a vezető szálak közötti kapacitás ( $C_{vv}$ ) és vezetőképesség ( $G_{vv}$ ). Ezek együtt határozzák meg a kábel impedanciáját ( $Z_0$ ). Analóg jelvezetésnél hangfrekvenciás tartományban a vezető szál induktivitása és a szálak közötti vezetőképesség kevésbé számottevő. A kábel átvitelét a kábel impedanciája, a kábelhez kapcsolódó analóg eszközök kimeneti ( $Z_{ki}$ ) és bemeneti ( $Z_{be}$ ) impedanciája együttesen határozzák meg. Egyszerűsítésként az impedancia helyett itt csak az ellenállás hatását jelöljük.

A vezető szál ellenállását a szál fajlagos ellenállás ( $\rho$ , réz esetén  $\rho = 0,0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ ), hossza ( $l$ ) és keresztmetszete ( $A$ ) határozza meg, például réz esetén, ha a keresztmetszet  $\text{mm}^2$ -ben, a hossz pedig méterben van megadva:

$$R_v = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (23)$$

A kábel kapacitása az ellenállásokkal együtt elsőfokú aluláteresztő szűrőként modellezhető. A törésponti frekvencia egyszerűen közelíthető, ha a bemeneti impedancia nagy (jellemzően  $>1,5 \text{ k}\Omega$ )

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot C_{vv} \cdot (R_{ki} + 2R_v)} \quad (24)$$

azaz, ha a nagyfrekvenciás átvitel fontos, akkor a kisebb kapacitású, kisebb ellenállású kábelek előnyösebbek és a kimeneti impedanciát is érdemes alacsonyan (jellemzően  $<150 \Omega$ ) tartani.

A nagyobb kábelkapacitás hátránya az is, hogy ha a kábelre  $f$  frekvencián  $U_p$  amplitúdójú szinuszos jelet kell küldeni, akkor ahhoz  $I_p = 2\pi \cdot f \cdot U_p \cdot C_{vv}$  áram szükséges. Ha a kimenet nem képes ezt az áramot biztosítani, akkor a kimeneten dinamikus torzítások (pl. slew-rate induced distortion) lépnek fel. A kimeneteken ezt a korlátot a legnagyobb leadható áramerősség jellemzi.

A kábelen az ellenállások miatt jelszint-veszteség lép fel:

$$\Delta L = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{R_{be}}{2R_v + R_{be}} \right) \quad (25)$$

A kimenet által leadott teljesítmény akkor a legnagyobb, ha  $R_{ki} = 2R_v + R_{be}$ .

Ha a cél elsősorban a veszteségek csökkentése, akkor a vezető szálakénál lényegesen nagyobb bemeneti impedanciákkal ( $R_{be} \gg 2R_v$ ) is, azaz ugyanakkora teljesítményszint mellett nagyobb feszültségekkel és kisebb áramokkal érdemes méretezni. Ezek az emelt feszültségű rendszerek, ahol a nagyobb impedanciát transzformátorokkal lehet biztosítani és a névleges feszültség jellemzően  $>70 \text{ V}$ ,

Európában leggyakrabban 100 V (innen az elnevezés „100V-os rendszer”). Az emelt feszültségű rendszerek jellemző hátránya a transzformátorok alkalmazásából adódik: korlátozott sávszélesség, korlátozott teljesítmény-tartomány, gyengébb minőségű transzformátorok esetében jelentősebb torzítás.

### 3.2.4. A dinamikatartomány értelmezése

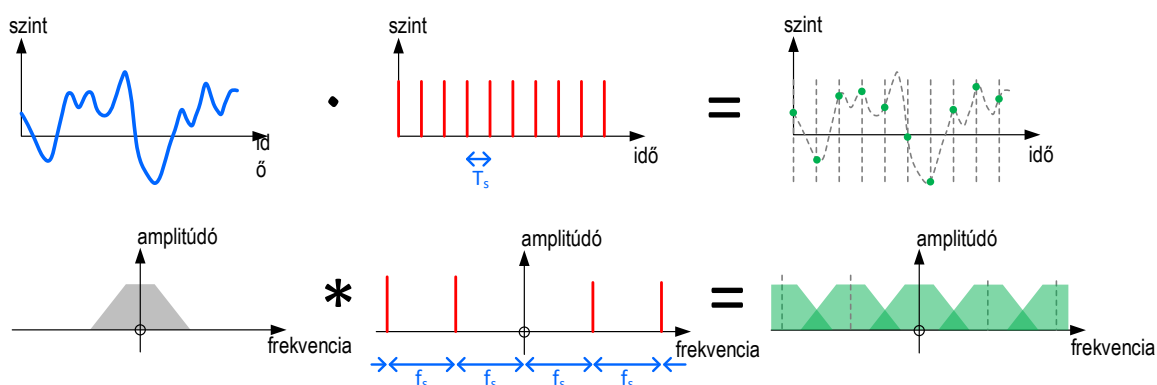
A dinamikatartomány az adott feltételek (pl. megengedett torzítás) mellett legnagyobb jelszint és a tisztán zajos jel szintje közötti különbség. Analóg átvitelben a dinamikatartomány a feltételek tisztázása nélkül nem összehasonlítható vagy használható. A zavarmentes dinamikatartomány<sup>38</sup> ettől eltérő, inkább a torzításhoz hasonló mérték, mert a hibátlan jel és a legnagyobb hibajel effektív szintje közötti eltérést fejezi ki.

## 3.3. Digitális jelátvitel

A digitalizálás az analóg jelet számsorozatokkal közelíti. A digitalizálás lépései a mintavételezés és a kvantálás.

### 3.3.1. A mintavételezés

A mintavételezés következményeként az  $f_s = 1/T_s$  mintavételi frekvencia felénél nagyobb frekvenciájú tartalom átlapolódik (30. ábra) és nem korrigálható torzítást okoz (aliasing). A mintavételezés nem okoz hibát, ha a mintavételezett jel  $f_{max}$  sávkorlátozott és ehhez az  $f_s$  mintavételi frekvencia elég nagy ( $f_s > 2 \cdot f_{max}$ , Nyquist-Shannon szabály).



30. ábra: A mintavételezés a mintavételező jel (fent) és a mintavételezett jel (lent) időbeli szorzata, azaz frekvenciatartománybeli konvolúciója.

<sup>38</sup> spurious-free dynamic range

A mintavételezés nem okoz hibát, ha a mintavételezett jel  $f_{max}$  sávkorlátozott és ehhez az  $f_s$  mintavételi frekvencia elég nagy ( $f_s > 2 \cdot f_{max}$ , Nyquist-Shannon szabály). A sávkorlátozást a mintavételezés előtti aluláteresztő szűréssel<sup>39</sup> lehet biztosítani.

Ha ez a feltétel teljesül, a mintavételezett jelből az eredeti jel úgy állítható vissza, ha az alapsáv fölötti tartományt aluláteresztő szűréssel<sup>40</sup> eltávolítjuk.

### 3.3.2. Kvantálás és számábrázolás

A kvantálás következményeként az egységekben kifejezett szintek és a mintavételezett szintek közötti eltérés kvantálási hibaként jelenik meg. A kvantálási hiba annál kisebb, minél kisebbek az egységek, azaz minél több értéket lehet megkülönböztetni az értelmezési tartományon belül. Az értelmezési tartomány az ábrázolható legnagyobb szint (full scale), ami digitális rendszereken belül a 0 dBFS-nek felel meg.

A kvantálási hiba torzításnak minősül, de a hibajel teljesítménye eloszlik a frekvenciatartományban, ezért akár zajként is kezelhetjük és így a kvantálási hibát egy jel-zaj viszonytal fejezhetjük ki.

Ha a számábrázolás a kettes számrendszeren alapul és fixpontos, akkor a kvantálás egyenletes és  $N$ -bites szóhosszak esetén a jel/zaj viszony

$$SNR_N \approx 6,02 \frac{dB}{bit} \cdot N + 1,76 dB \quad (26a)$$

összefüggéssel, a legnagyobb és legkisebb kifejezhető szintek arányát kifejező dinamikatartományt pedig

$$DR = 20 \cdot \log_{10} \frac{2^{N-1}}{2^{-1}} = 20 \cdot N \cdot \log_{10} 2 \approx 6,02 \frac{dB}{bit} \cdot N dB \quad (26b)$$

összefüggéssel becsülhetjük.

Az egyenletes kvantálás pillanatnyi hibajele a jelszinttől erősen függ (kb.  $L_{FS} - 6 \cdot N$ , ld. 31. ábra), amin nemlineáris kvantálással lehet segíteni.

A nemlineáris kvantálás lehet például egyszerű logaritmikus összefüggésű, de gyakrabban a lebegőpontos számábrázoláshoz kapcsolódik. Ha az  $N$ -bites szóhossz  $M$ -bit mantissza és  $E$ -bit exponens tagokból áll ( $N = M + E$ ), akkor a kvantálás miatti jel/zaj viszony csak a mantisszától függ

$$SNR_{N+M} \leq 6,02 \cdot M + 1,76 dB \quad (27a)$$

miközben a dinamikatartomány nagyságrendekkel nagyobb lehet.

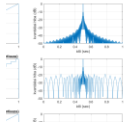
<sup>39</sup> anti-aliasing filter

<sup>40</sup> anti imaging filter

Ha az első bit az előjel, akkor a legnagyobb és legkisebb elviekben ábrázolható számérték aránya:

$$DR = 20 \cdot \log_{10} \left[ \frac{(2^{M-1}-1)}{1} \cdot \frac{2^{+(2^{E-1}-1)}}{2^{-(2^{E-1}-1)}} \right] = 20 \cdot \log_{10} [(2^{M-1}-1) \cdot 2^{(2^{E-1}-1)}] \quad (27b)$$

lehet.



*31. ábra: A lineáris fix-pontos és a lebegő-pontos számábrázolás jel/zaj viszonyának összehasonlítása. (A tényleges jel-zaj viszony lebegőpontos számábrázolásnál is csak a mantissza felbontásától függ.).*

A gyakorlatban a bitek értelmezése miatt a legnagyobb és legkisebb leírható szám aránya kisebb lehet, például IEEE 754 bináris kódolásánál (ld. lebegőpontos .wav audio formátum) a mantissza legnagyobb értéke  $1 + (2^M - 1)/2^M$ , legkisebb értéke 1, az exponens legnagyobb értéke  $2^{(E-1)} - 1$ , legkisebb értéke pedig  $2 - 2^{(E-1)}$  lehet.

A lebegőpontos számábrázolás ezért önmagában nem feltétlenül pontosabb, mint a fixpontos számábrázolás, miközben az összehasonlíthatósághoz nem elég a szóhossz ismerete, ismerni kell a számábrázolás módját is.

A kvantáláshoz kapcsolódóan fontos kérdés a kivezérlés, ugyanis nem előre rögzített műsorjel esetén a pillanatnyi csúcsértékek nem megfelelő szintezésnél rövid időkre is túlvezérlést (digitális hangjelben „clipping”) okozhatnak. A műsorjel jellegétől függően -12...-18 dB<sub>FS</sub> kivezérlés megszokott az effektív (vagy ahhoz közeli) szinteket tekintve, így 12...18 dB csúcstényező esetén van kellő tartalék a dinamikatartomány terhére.

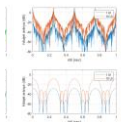
### 3.3.3. Jitter

A digitalizálás pontosságát nem csak a számaábrázolás és a mintavétel gyakorisága, hanem a mintavétel időzítéseinek pontossága is befolyásolja (32. ábra).

Az időzítési hibákat összefoglaló néven jitter-nek nevezzük:

- sampling jitter: a mintavétel pontatlansága az analóg>digitális átalakítás során okoz hibát
- konverziós jitter: az analóg>digitális vagy digitális>analóg átalakítás közben keletkező időzítési hibák
- interfész jitter: az eszközök közötti kapcsolatokban keletkező időzítési hibák

A jitter mértékegysége az UI (unit interval), ami a két minta közötti időt (mintavételi periódus) jelenti.



32. ábra: A jitter a mintavételezés időpontjának pontatlansága, ami hibajelet (torzítás) okoz.  
(fent: ha a jitter szélessávú zaj, lent: ha a jitter szinuszos jel)

A mintavételezés ritmusát központi órajele (master clock) vagy az eszköz saját órajele (internal clock) határozza meg és adott esetben az órajelet a digitális adatfolyam

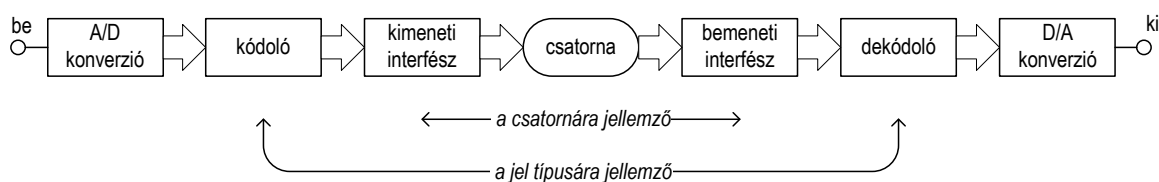
(embedded clock) is hordozhatja. Az órajel pontosságát (és így a jitter mértékét) ppm (parts per million) mértékben adják meg. Megfigyelések szerint a 700 ppm-nél nagyobb jitter már érzékelhető, de eszközök szintjén legfeljebb 200 ppm engedhető meg, eszközök közötti kapcsolatban pedig a  $\pm 150$  ppm mértékű jittert lehet korrigálni (órajel-regenerálás) hallható zavarok, például minta-kihagyások („drop out”) nélkül. A legjobb órajel-generátorok  $<10$  ppm pontosságra is képesek, de eszközök közötti kapcsolatokban a  $\pm 50$  ppm már jónak tekinthető.

### 3.3.4. A digitális hanglánc

A digitális hanglánc az analóg>digitális (A/D) átalakítóval kezdődik és az digitális>analóg (D/A) átalakítóval végződik (33. ábra).

A kódoló és dekódoló feladata a hangjel típusának (pl. beszéd, zene) megfelelő jelfeldolgozás (pl. tömörítés, javítás stb.), ha az szükséges. A kimeneti és bemeneti interfészek feladata a hibajavító kódolás, a csatornára jellemző kódolás és a csatornához való illesztés.

A csatorna lehet egyszerű kábeles vagy vezeték nélküli kapcsolat, de lehet hangrögzítő, lejátszó vagy jelfeldolgozó eszköz is.



33. ábra: A digitális hanglánc elemei.

A D/A és A/D konverzió pontossága (felbontása) elvileg tetszőlegesen növelhető és a csatorna átvitele ideális esetben hibátlan lehet.

### 3.3.5. Latency

A digitális rendszerekben a kódolás/dekódolás és az interfész is külön-külön időt igénylő műveletek, így a bemenet és kimenet között jelentősebb időkéés („latency”) alakulhat ki. Ez rögzítésnél nem okoz problémát. Lejátszásnál csak akkor, ha a lejátszás indításától számítva jelentős a késés. Egyszerű valós idejű átvitelnél azonban figyelembe kell venni a késések hatását, különösen például monitorozásnál, amikor az előadó egy digitális hangláncon keresztül késéssel hallja vissza önmagát. Az 5 ms vagy kisebb latency jellemzően nem okoz zavart az előadónál, de a nagyobb latency már zavaró lehet.

Komoly probléma, ha egy sokcsatornás rendszerben a latency a hangjel tartalmától vagy a jelfeldolgozás beállításaitól függően csatornánként eltérő késéssel jut a bemenetről a kimenetre. Ilyenkor ugyanis a jelek között fennálló eredeti szinkron (koherencia) felborul, a sokcsatornás rendszer nem „fáziskoherens”.

### 3.3.6. Kódolás

---

A hangjel jellegzetességeihez illeszkedő kódolás (forrás kódolás) célja a hangjel jellemzőinek ismeretében a lényeg kiemelése, a hangjelben felismert zavarok csökkentése, szükség esetén a lényegtelennek ítélt információk elhagyása. A forráskódolás célja így lényegében a tömörítés, ami lehet veszteséges és veszteségmentes is.

A veszteségmentes tömörítés (pl. FLAC, ALAC) hiba nélkül helyreállítható.

A veszteséges tömörítés (pl. MP3, AAC) általában olyan hibákat tartalmaz, amik mérhetők, de a hallás jellegzetességei miatt (pl. elfedések időben vagy frekvenciában) csak szélsőséges helyzetben (pl. nagy hangerő) vagy megengedett mértékben érzékelhetők (pl. mobiltelefonos kapcsolatban a beszéd hangjel érthetősége fontos, nem a minősége).

A csatorna jellegzetességeihez illeszkedő kódolás (csatorna kódolás) célja az átviteli közegre jellemző hibák és kockázatok ismeretében a csatornára jutó jelek kódolása úgy, hogy az átvitel kockázatait, lehetséges hibáit megelőzze és a hibátlan átvitel esélyeit javítsa. Az alkalmazott csatornakódolást az adott csatlakozó és adatformátum része.

Az összetettebb kódolás, dekódolás a csatorna késését jelentősen befolyásolhatja, ezért a latency jellemzéséhez a kódolásra vonatkozó beállításokat is egyértelművé kell tenni.

### 3.3.7. Fizikai és logikai formátumok, szinkron

---

A digitális hangjel továbbítására számos formátum áll rendelkezésre. Ezek részletes ismertetése túlmutat a segédlet keretein, ezért csak a legfontosabb szempontokról esik szó.

A kifejezetten digitális hangjel közvetítésére szolgáló interfészek közül az egyedi gyártói formátumok többsége (pl. ADAT, TDIF, YDIF) már ritkán és csak zárt rendszerekben (pl. StageTec Nexus) fordul elő. A leggyakoribb és gyártótól független szakmai szervezetek (AES-2id, IEC 60958) által is támogatott formátum a kétcsatornás AES3 (és azzal kompatibilis SP/DIF), valamint sokcsatornás változata az AES10 (MADI). A fizikai formátumok változatosak, az adatformátum az egyszerű soros

átviteltől a csomagkapcsolt (SMPTE 2110-31) és más média formátumba ágyazott (SMPTE 302M-2007) implementációig terjed.

Ha a csatorna adatátviteli sebessége sokkal gyorsabb (pl. korszerű hálózatok esetében >100 Mbps <sup>41</sup>), mint amit a hang igényel (16 bit 48 kHz kétcsatornás audio jelfolyam kb. 1,5 Mbps, 16 bit 48 kHz 64-csatornás audio jelfolyam kb. 47 Mbps), akkor lehetőség van a csomagkapcsolt átvitelre. Ez azt jelenti, hogy egy adott időszület hangmintáit nem a hang jel megszólalásával szinkronban, hanem csoportokban, aszinkron módon küldi el a hálózat. Ma már számos formátum létezik arra a feladatra, hogy általános (számítástechnikai) adathálózaton valós idejű hangátvitellel kapcsolódjanak audio eszközök.

A hangjelek IP alapú (AoIP<sup>42</sup> vagy AoE<sup>43</sup>) csomagkapcsolt átvitelhez kapcsolódóan is többféle protokoll ismert. Vannak zárt (csak egy gyártó által támogatott és implementált) és licenszelhető (több gyártó által támogatott és implementált) protokollok. Utóbbiak közül a Dante Audio tekinthető a legelterjedtebbnek és legelfogadottabbnak. A különböző formátumok közötti kommunikáció érdekében hozták létre az AES 67 szabványt.

A jövő rendszereiben a különböző protokollok előnyei és más média-adatok is egyesülnek

A digitális hangrendszerek szinkron vagy aszinkron kapcsolatban állhatnak. Ahol a latency alacsonyan tartása kritikus (jellemzően produkciós rendszerek), a szinkron kapcsolat biztonságosabb (pl. MADI). A szinkron kapcsolatban a készülékek közös külső órajelet vagy a kapcsolatban kijelölt eszközből származó órajelet (master clock) használnak, így azonos ütemben működhetnek.

Aszinkron kapcsolat állhat fenn akkor, ha a készülékek közötti kapcsolat csomagkapcsolt vagy ha a bemeneteken mintavételi frekvencia konverter (sample rate converter, SRC) működik. A mintavételi frekvencia konverter lényegében egy integrált D/A-A/D eszköz, amiben a D/A és A/D elem eltérő szinkronban működhetnek és így az órajelek szinkronizálása nem feltétlenül szükséges. Az SRC elem értelemszerűen némileg rontja a hangminőséget és valamekkora késést is okoz, de ha az órajel vagy a mintavételi frekvencia ismeretlen vagy bizonytalan, nincs más mód a biztonságos kapcsolódásra.

---

<sup>41</sup> Mbps – megabit másodpercenként, azaz 2<sup>20</sup> bit/s.

<sup>42</sup> audio over IP

<sup>43</sup> audio over Ethernet

Nagysebességű csomagkapcsolt hálózatokban a szinkron kapcsolattal azonos működés érhető el, ha a bemenet kellő méretű pufferrel (ideiglenes tárolóval) rendelkezik és az átvitel a szinkront biztosító órajel átvitelére is alkalmas (pl. IEEE 1588 Precision Time Protocol vagy PTP).

A digitális rendszerekben a hangjel adatai mellett adatok formájában a jelet leíró egyéb adatok (metaadatok) és vezérlő adatok közlése sem jelent problémát. A metaadatok akár szöveges leíró információk is lehetnek. A vezérlő adatok a felhasználói beavatkozásokról (például indítás, leállítás), a kívánt állapotváltozásokról (például halkítás, hangszínállítás) szólnak, amik az érkező hangjellel együtt vagy attól függetlenül hatnak az adatokat értő eszközök működésére.

### **3.3.8. Vezeték nélküli rendszerek**

---

A műsorjel átvitele vezeték nélküli („wireless”, „W/L”) módon is lehetséges. A gyakorlatban rádiófrekvenciás (RF) és infravörös (IR) átvitel fordul elő.

A vezeték nélküli csatornák adottságai miatt a hangjel dinamikatartományát az adó oldalon jelentősen csökkenteni kell (kompresszor), amit a vevő oldalon kompenzálnak (expander).

Az infravörös átvitel korlátozottabb minőségű, a jellemzően beszédátvitelre használják. Az átvitel feltétele a vizuális láthatóság, ezért helyiségeken belülre korlátozott, de éppen ezért a környezet felé védettebb. Az átvitelt hőforrások (pl. halogén izzók) és optikai akadályok zavarhatják.

A rádiófrekvenciás átvitelben a kompander (kompresszor + expander) nemlineáris torzítása, a rádiós átvitelből eredő zajok, valamint az erőfeszítések ellenére viszonylag nagy RF sávszélesség-igény miatt az analóg FM megoldások mellett egyre elterjedtebbek a digitális RF W/L mikrofonrendszerek. A digitális átvitel robusztusabb és az átvitel hibája is kisebb, viszont a 3...5 ms körüli latency és adott esetben a kisebb sávszélesség érdekében alkalmazott veszteséges tömörítés gyengíthetik az élményt.

Az RF W/L rendszerek kényelmesek lehetnek, ha az adó vagy a vevő pozíciója változik vagy ha a kábelezésre nincs lehetőség. Az RF rendszerek üzemeltetését az előre beállított sémák és az akár más rendszerekből is elérhető monitorozás (akku állapota, jelerősség stb.) segítik. Ennek ellenére, ha egy szituációt meg lehet oldani vezetékes mikrofonozással, nem ajánlott a W/L rendszer.

Az RF W/L rendszer folyamatos felügyeletet igényel, mert:

- a környezetből és az épületen belül működő egyéb rendszerekből származó RF zavarok jellege és szintje is változhat;
- nagyobb csatornaszám esetén az adó/vevő rendszerek RF nemlineáris torzításai miatt az RF csatornák közötti áthallás a csatornák kiosztásának jól átgondolt tervezését teszi szükségessé;
- a helyfüggő RF zavarok és árnyékolás ellen a vevő oldali antennák kettőzése (diverzitása) segíthet, de csak ha az A/B antennák pozíciói, irányított antennák esetén az antennák iránya is jól van beállítva és a rendszer valódi diverzitásos rendszer (azaz a teljes vevő oldali hanglánc kettőzve van, az A/B döntés csak a hanglánc végén történik);
- az adó oldalon is aktív eszközök akkumulátoros vagy elemes táplálása folyamatos felügyeletet igényel előadások közben is;
- a mikrofonok és adók elhelyezése az előadó ruházatával, megjelenésével összhangban kell történjen, ami színpad közelében külön helyiséget („portozó szoba”) és embert igényel.

Az RF W/L rendszereknél a hangátvitel jellemzői mellett lényeges műszaki jellemzők:

- zavarérzékenység (szelektivitás) a működési sávba eső zavarokkal szemben;
- redundáns (diverzitásos) antennarendszer, ahol a valódi diverzitás nem csak több antennát, de antennánkénti vevőegységet is jelent, hogy elég legyen legalább az egyik antennáról elegendően jó jelet fogni;
- RF kompatibilitás a mindenkorai szabályozásokkal és az épületben vagy közelben működő egyéb rendszerekkel, zavarforrásokkal együtt.

A hazai szakmában a rádiós vezeték nélküli mikrofonrendszereket „mikroportnak” nevezik a Sennheiser és elődjeként működő Lab W cég első vezeték nélküli rendszerei nyomán.

Ahol a műfaji és akusztikai okok (pl. hangosított zene mellett a nem hangosított zene vagy próza nem érvényesül) miatt az előadók mikrofonozását és hangosítását nem lehet elkerülni, a vezeték nélküli rendszerek megkerülhetetlenek. A ruházatba, hajba stb. rejtett miniatűr mikrofonok stabil és láthatatlan elhelyezése és karbantartása, az adóegységek töltöttségének és beállításainak szinte önálló munkakör.

A vezeték-nélküli átvitel a személyi (előadóra egyénileg szabott) monitorozásban is hasznos, ha a monitorozás a nézők felé egyébként zavarná az előadást. Az IEM (in-ear monitoring, azaz fülhallgató monitor) rendszerek felépítése és működési elve azonos, csak az adó oldal vonalszintű jelet (vagy digitális adatot) fogad és a vevő kicsi (pl. zsebvevő).

A vezeték nélküli rendszerek elemei:

- vezeték-nélküli adó (transmitter)
- vevő antennarendszer
- vevő egység (receiver).

A rendszerek méretezésénél és beállításánál az antennák pozíciója, irányítása, a frekvenciák kiosztása kritikus feladatok.

A produkciós rádiós vezeték-nélküli hangrendszerek (PMSE<sup>44</sup>) használatának feltételeit az NMHH ellenőrzésével nemzetközi szabályozási környezethez illeszkedve ellenőrzi, lásd például 2/2013. (I. 7.) NMHH rendelet, 7/2015. (XI. 13.) NMHH rendelet.

Az akadálymentesítési céllal működő indukciós hurok<sup>45</sup> felületbe (pl. padló, bútor, előlap) szerelt vezető szállal képezett hurkot vagy hurokrendszert jelent, ami körül áram hatására a hangjellel arányos elektromágneses tér keletkezik. Az elektromágneses tér változásait a hallássegítő vevőegységei alakítják vissza és erősítik fel akusztikus jelként. A telepített hurok méretezésénél a kijelölt terület ellátottsága, a kijelölt területen kívüli szóródás mértéke, a hurokerősítő kiválasztása, a vonatkozó szabványnak (pl. IEC 60118-4) való megfeleltetés a fő szempontok. Mobil indukciós hurkokkal szűkebb, de jól lokalizálható területen alkalmilag lehet a hallássegítő rendszert működtetni. Az indukciós hurkok működését feliratokkal, táblákkal kell jelezni.

### **3.4. Akusztikus/elektromos átalakítók: mikrofonok**

A mikrofonok a levegőben terjedő hangból (akusztikus jelből) állítanak elő elektromos jelet.

#### **3.4.1. A mikrofonkapszula szerepe**

A mikrofonok két fő eleme a kapszula és az elektronika. A kapszula feladata a levegőben terjedő hang rezgéseinek mozgássá majd elektromos jellé alakítása, az elektronika feladata az így kinyert elektromos jel illesztése a megszokott csatlakozási paraméterek szerint. A levegő rezgéseit a kapszula membránja alakítja mozgássá.

A mikrofonkapszulák két alaptípusa ismert (34. ábra):

- a nyomásérzékeny kapszulában a membrán a hangnyomást alakítja elektromos jellé: a hangnyomásnak nincs iránya (a nyomás skaláris

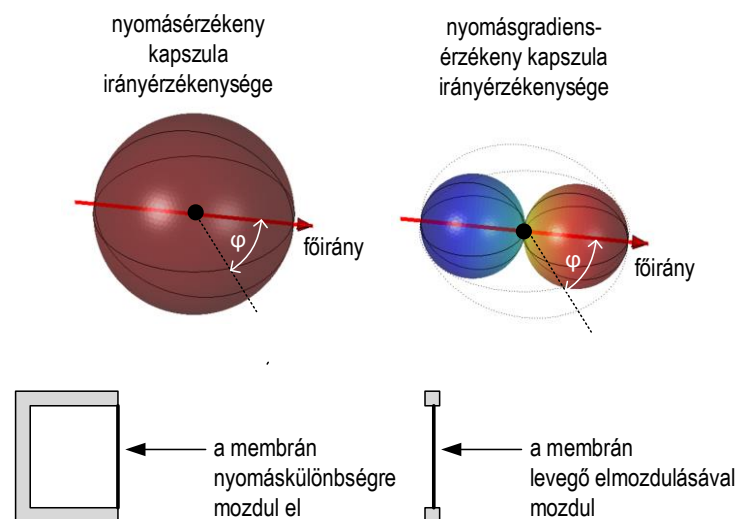
<sup>44</sup> Progam Making and Special Events

<sup>45</sup> Assistive listening system

menyiség) ezért a nyomásérzékeny kapszulák iránytól függetlenül érzékelik a hangnyomást, iránykarakterisztikájuk gömbi („omnidirectional”) mikrofonok.

- a nyomásgradiens-érzékeny kapszulában a membrán a részecskesebességet alakítja elektromos jellé: a hang részecskesebességnek van iránya (vektoriális mennyiség), a nyomásgradiens-érzékeny kapszulák a fő irányban érzékenyek, arra merőleges irányban érzéketlenek a részecskesebességre, iránykarakterisztikájuk dipól vagy „nyolcas” („figure of 8”, „bidirectional”).

A nyomásérzékeny kapszula kevésbé érzékeny a szerkezeti zavarokra (testhang, „handling noise”), azonban a nyomás és részecskesebesség fázis- és amplitúdó-eltérései miatt a nyomásgradiens kapszulára jellemző a közeltéri hatás (proximity effect).

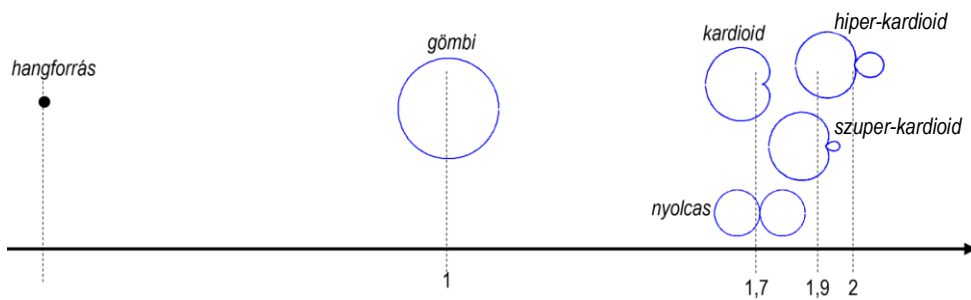


34. ábra: A nyomásérzékeny és a nyomásgradiens-érzékeny kapszulák

A kétféle kapszula akusztikusan vagy elektronikusan kombinálható, az irányfüggés ebben az esetben:

$$y(a, \varphi) = a - (1 - a) \cdot \cos \varphi \quad (28)$$

ahol  $a$  a gömbi komponens aránya,  $\varphi$  pedig a főiránnyal bezárt szög (6. táblázat). A táblázatban a forrásoknál megismert irányfüggést leíró paraméterek is szerepelnek. A távolsági tényező itt azt mondja meg, hogy az iránykarakterisztikát mennyivel messzebb lehet letenni a gömbi iránykarakterisztikához képest úgy, hogy a főirány és egyéb irányokban érzékelt hangok aránya azonos maradjon (35. ábra).




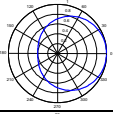
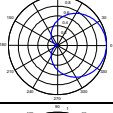
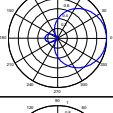
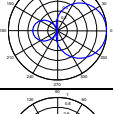
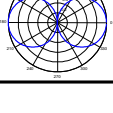
35. ábra: A távolsági tényező értelmezése az iránykarakterisztika függvényében.

### 3.4.2. Az átalakítók jellemzői

Az akusztikus/elektromos átalakítás jellemző típusai:

- az elektrodinamikus átalakító („dinamikus mikrofon”): hang hatására mozgó tekercsben indukálódik áram,
- a kondenzátoros átalakító: hang hatására egy kondenzátor fegyverzete mozog és a változó kapacitás kelt elektromos áram-jelet.

A kondenzátoros átalakító tápellátást igényel. Az egyszerűbb tápellátás érdekében a kondenzátor egyik fegyverzete állandó töltéssel rendelkezhet, ezek az elektret kondenzátoros mikrofonok. A jellemzően 5...48 V táplálás történhet beépített elemmel vagy akkumulátorral, de professzionális környezetben a tápellátást a mikrofon kábelezése továbbítja. Ez általános (nem gyártó-specifikus) környezetben 48 V közös módusú egyenfeszültséget jelent (fantomtáp), ami a szimmetrikus jelvezetésben nem okoz zavart.

Íránykarakterisztika neve	Íránykar.	Íránykarakterisztika egyenlete	A csillapított irány	Távolsági tényező
gömbi ("omnidirectional")		1	-	1
szubkardioid ("subcardioid")		$0,700 + 0,300 \cos(\varphi)$	-	1,3
kardioid vagy vese ("cardioid")		$0,500 + 0,500 \cos(\varphi)$	180°	1,7
szuperkardioid vagy szupervese ("super cardioid")		$0,375 + 0,625 \cos(\varphi)$	126°	1,9
hiperkardioid vagy hipervese ("hyper cardioid")		$0,250 + 0,750 \cdot \cos(\varphi)$	110°	2
nyolcas ("figure of 8" vagy "bidirectional")		$\cos(\varphi)$	90°	1,7

6. táblázat: A mikrofonkapszulára jellemző legfontosabb iránykarakterisztikák.

### 3.4.3. A mikrofonok legfontosabb jellemzői

A mikrofonok alkalmazhatóságát az alábbi főbb szempontok határozzák meg:

- érzékenység:  
Az érzékenység mértékegysége mV/Pa, a nagyobb érték érzékenyebb (kisebb erősítést igénylő) mikrofont jelent.
- maximális hangnyomásszint:  
Általában az a legnagyobb hangnyomásszint, aminél a THD legfeljebb 1%; az érzékenyebb mikrofonok jellemzően kisebb maximális hangnyomásszintet viselnek el.
- saját zaj:  
A mikrofon kimenetén megjelenő zajt egyenértékű hangnyomásszintben (equivalent noise level) adják meg, mintha a zaj egy adott hangnyomásszintű akusztikus zajforrásból származna és a mikrofonnak nem volna saját zaja. A mikrofonban a kapszula inkább kisfrekvenciás, az elektronika inkább nagyfrekvenciás zajt generál.
- íránykarakterisztika:  
Az irányfüggés szempontjából legfontosabb jellemzők a legérzékenyebb irány, a kioltási irány(ok) és hogy az iránykarakterisztika frekvenciafüggése

minél kisebb, minél egyenletesebb maradjon (pl. a mikrofon előtt elhaladó hangforrás hangszíne ne változzon).

- frekvencia-átvitel:

A kismembrános kondenzátoros mikrofonok kivételével a mikrofonok jellemzően karakteres amplitúdó-átvitellel rendelkeznek, amit a főirányban mért frekvenciafüggéssel jellemeznek. A kizárólag főirányban mért átvitel (szabadtéri<sup>46</sup>) és a mindenféle irányból mért átvitelek átlagaként felvett átvitel (diffúztéri<sup>47</sup>) annál jobban eltérnek egymástól, minél irányítottabb a mikrofon. Épületakusztikai méréseknél, vagy ha a diffúz hangzást (pl. közönséghang) kell rögzíteni, a diffúztéri átvitel a fontosabb. Ha a hangforrás a főirány felől szól, a szabadtéri átvitel minősége fontosabb.

- méret és alak:

A nagyobb méretű mikrofonok nagyobb (érzékenyebb) kapszulát, jobb minőségű elektronikát tartalmazhatnak, de nehezebbek kevésbé rejthetők, miközben a mikrofon testénél kisebb hullámhosszokon az irányítottságot a mikrofon teste is befolyásolja.

A legtöbb mikrofon önálló mikrofon (kézi mikrofon, hangszermikrofon, függeszthető mikrofon stb.).

A felületbe vagy felületre helyezhető határfelületi mikrofonok a felület visszaverő hatásával együtt vannak minősítve.

Kapcsolódó paraméter a mikrofon tömege, mert nagyobb tömegű mikrofont nehezebb tartósan pozícionálni.

A moduláris mikrofonokban a kapszula és az elektronika többféleképpen, többféle formában is párosítható.

Miniatűr mikrofonok egyszerűen rögzíthetők (csíptethető, ragasztható) a hangforrásra (hangszer vagy előadó).

- zavarérzékenység:

Külső zavarok lehetnek a testhangok, amik ellen beépített vagy a megfogásba, kengyelbe épített rezgésvédelemmel („shock-mount”, pók) lehet védekezni.

Külső zavarok lehetnek a rádiófrekvenciás zavarok (akár mobil telefon is).

Zavarok lehetnek a fantomtáplálásban is, amiket szűrni kell. Ezeket a tulajdonságokat műszaki paraméterrel általában nem jellemzik, így tesztelés nélkül nem összehasonlíthatók.

- meghajtó képesség (legnagyobb kimeneti áramerősség):

A meghajtó képességben gyakran az ajánlott leghosszabb mikrofonkábel hosszát, ami a mikrofon kimenetének képességeivel függ össze. A hosszabb

---

<sup>46</sup> on-axis response, free field response

<sup>47</sup> diffuse field response

kábelek ugyanis nem csak az átvitelt rontják, hanem veszteségeket okoznak a jelben és a tápellátásban is, zavarokat vehetnek fel.

- szerelhetőség, tisztíthatóság:

Ha a mikrofon erős mechanikai hatásoknak (pl. kézi mikrofonok, hangszermikrofonok), szennyeződéseknek (smink, izzadtság) van kitéve, a megbízható működés érdekében a tisztíthatóság és takaríthatóság, robusztus felépítés (pl. leejtés) kiemelkedő szempontokká válnak.

### **3.4.4. Egyéb szempontok**

---

A mikrofonok sokféleségére tekintettel az alapvető műszaki paraméterek mellett számos egyéb szempontot kell tudni mérlegelni.

Színpadi helyzetben a mikrofon a hangforráshoz lehető legközelebb kerül, mert így a lehető legjobban el lehet különíteni a hangforrások hangját egymástól és a direkt hang dominál. A hangforrásokhoz nagyon közel (a hangforrás közelterében, „near field”) más hangzás vehető, mint a természetes távolságból. Ezért fontos hangforrásonként megtalálni a megfelelő pozíciót, kiválasztani a megfelelő mikrofonkapszulát és a szükséges korrekciós beállításokat.

A csíptethető vagy hangszertestre rögzíthető mikrofonok előnye, hogy a hangforrás és a mikrofon pozíciója egymáshoz közel állandó. Ha a mikrofon a hangforráshoz közel van, de ahhoz nem rögzíthető, akkor az előadó figyelmét érdemes felhívni, hogy a mikrofontól távolodva, elfordulva, kézi mikrofonnál különböző fogásokkal stb. elváltozik a mikrofonból kinyerhető hangjel minősége. Professzionális előadó ezt a hatást tudatosan használja dinamika- és hangszínszabályozásra.

A köztéri hatás gyakran hasznos, de hangszínszabályozással szükség szerint korrigálható.

Távolról mikrofonozva hangtisztaságot (jobb közvetlen/zengő arányú hangot) csak erősen irányított mikrofonokkal (pl. alakja után elnevezett „puskamikrofon”) lehet nyerni. Az irányított mikrofonok helye és iránya azért is kritikus, mert csak akkor működnek jól, ha a hangforrás a főirányban található.

A mozgó (pl. előadóra csíptethető) mikrofonok esetén a közelmikrofonozás ellenére számolni kell az időben változó jellegű és intenzitású háttérzajokra és fésűszűrő hatásra is.

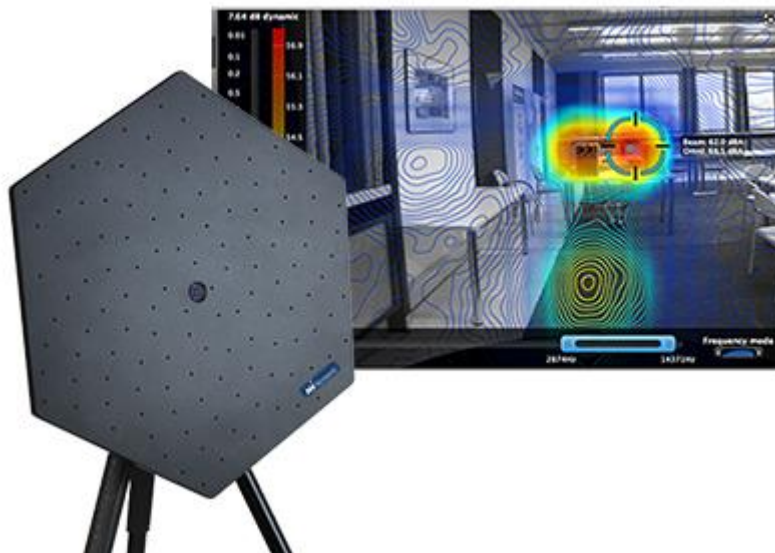
### 3.4.5. Sokcsatornás mikrofon-elrendezések

A kiadvány keretein túlmutat mindaz a művészeti és műszaki szempont, ami a mikrofonozási technikák körébe tartozik, azonban néhány fontos szempontot érdemes kiemelni.

A hangforrástól, előadótól távolodva több zengő hangot, több környezeti hangot (teremhang, közönséghang, háttérzaj stb.) lehet venni. A hangfelvétel gyakorlatában ezért akusztikus megszólalású (nem hangosított) előadásoknál ritkábban fordul elő közelmikrofonozás és nagyobb hangsúlyt kaphat a térélmény átadása is.

A beszédátvitelnél ilyen művészi szempontok nem számítanak, a beszéd érthetősége és hangtisztasága az elsődleges szempont.

Ahol fizikailag nem vihető a mikrofon a hangforráshoz közel, esetleg egyszerre többféle és akár változó irányokból, alkalmazkodva kell tudni szelektíven érzékelni a hangteret, a több mikrofonból álló mikrofon-tömbök segítenek (36. ábra). A vonal mentén elhelyezett mikrofontömb a vonalra merőleges irányban 1 dimenzió mentén (ld. 5. fejezet), a felületen elhelyezett mikrofontömb viszont a felület normálisához képest 2 dimenzióban képes hangolható szelektivitásra (ld. 36. ábra).



36. ábra: A 2D mikrofon-tömb a hangforrás irányát és távolságát is becsülheti. A képen egy 2D akusztikus kamera és a mérés eredménye látható a kamera képére vetítve (forrás: Norsonic).

A mikrofontömbök komplexitásuk ellenére elterjedtek (pl. kihangosítók). Tárgyalótermi mennyezetre szerelt mikrofontömbök automatikusan vagy előre

megadott módon képesek az asztal körül ülők hangja közül választani, vagy az érzékelt irány (DOA<sup>48</sup>) alapján vezérlő jelet adni pl. kamerának.

Ha ugyanazt a hangot egynél több mikrofonnal veszik és a mikrofonok jelét külön csatornán rögzítik, közlik és reprodukálják, térhatású (sztereó) rendszerről beszélhetünk. A sztereó mikrofonozás alapja, hogy a hallásunk a két fülbe eltérő módon érkező hangok alapján értékeli az akusztikai teret és a hangforrások eredeti pozícióit.

A sztereó mikrofonozási technikák csoportjai:

- koincidens (egy pontba eső) elrendezések: ha a mikrofonkapszulák közötti távolság elég kicsi, az eltérő távolságok miatti fáziseltérések minimálisak (jobb monokompatibilitás) és a különböző irányokból érkező hangokat az iránykarakterisztikákkal, illetve az abból eredő irányfüggő szintkülönbségek alapján lehet megkülönböztetni;
- közel coincidens (közel egy pontba eső, jellemzően <30 cm távolságba helyezett) elrendezések: a fej méretéből adódóan a fülek közötti távolság kb. 17 cm, így, ha a halláshoz illeszkedő sztereó hatásra törekszünk, az irányokat nem csak a szintekkel, hanem fáziseltéréssel lehet megkülönböztetni;
- AB elrendezések: a mikrofonok közötti távolság nagyobb annál, minthogy a hallás összefüggéseket érzékeljen.

Kettő- vagy többcsatornás sztereó mikrofon-csoportok (készletek) esetén a mikrofonok közötti eltérések okozhatnak problémát, amit a válogatott és kalibrált mikrofonok eltéréseivel lehet jellemezni.

#### 3.4.6. Mikrofon előerősítő

A mikrofonok működése, a mikrofonok minősége szempontjából meghatározók a mikrofon előerősítők. A mikrofon előerősítő feladata a mikrofonok általában kis szintű jelének illesztése, erősítése, adott esetben előfeldolgozása a további eszközök által fogadható formátumokban. Az előfeldolgozás jelenthet

- szűrést: jellemzően felüláteresztő (kisfrekvenciás tartalmat csillapító, „high pass filter”, HPF) karakterű szűrő akár az előerősítő fokozat védelmében is szükséges lehet
- digitalizálást, digitalizáláshoz kapcsolódóan sávkorlátozást aluláteresztő (nagyfrekvenciás tartalmat kizáró) szűrőt, kompresszálást (limitálást) a digitális túlvezérlés elkerülése érdekében

---

<sup>48</sup> direction of arrival

- egyszerű polaritásváltást: hibás kábelbekötés vagy a mikrofon sajátossága is lehet, hogy + hangnyomásra nem + feszültség, hanem – feszültség jut a bemenetre, amiről azonos hangforrás jeleinek összegzésénél a mély hangok kioltása árulkodik és amit polaritásváltással lehet korrigálni.

A mikrofon előerősítők lényeges műszaki paraméterei a bemeneteken:

- maximális bemeneti jelszint: a mikrofonszintű jelek jellemzően <10 dBu jelszintet képviselnek, de a mikrofonszintű bemeneteket vonalszintű jelek fogadására is fel kell készíteni, így a minimálisan elvárható követelmény a maximális bemeneti jelszintre >+20 dBu, de inkább >+30 dBu
- erősítési tartomány: a szükséges erősítést (Gain) úgy kell megválasztani, hogy az adott szituációban (hangforrás, akusztikai környezet, mikrofon, kábel együttese) elérje a 0 dBu körüli jelszintet, de szélsőséges helyzetben se haladja meg a maximális bemeneti jelszintet, jellemző tartomány 40...60 dB, jobb esetben >70 dB
- bemeneti impedancia: a nagyobb bemeneti impedancia (>3 k $\Omega$ ) alkalmasabb a feszültségvezérelt kapcsolatok kezelésére, ugyanakkor a mikrofonok gyakran 150...300  $\Omega$  körüli forrásimpedanciája mellett az optimális teljesítményátvitel hasonló nagyságrendű bemeneti impedanciával érhető el
- kapcsolható fantomtáplálás: kondenzátoros és elektret kondenzátoros mikrofonok tápfeszültségét (szabványosan +48 V egyenfeszültség) professzionális eszközön bemenetenként kell tudni kapcsolni, a fantomtáplálás stabilitását garantálni kell akkor is, ha minden bemeneten be van kapcsolva a fantomtáplálás és esetleg az egyik bemenet zárlatos; a gyártók rendszerint ezt a műszaki kérdést nem publikálják, mert a tápfeszültség minimális követelményeit szabvány (IEC 61938:2018) rögzíti
- saját zaj: ismert forrásimpedancia (jellemzően 150  $\Omega$ ) mellett adott erősítésnél (jellemzően 0 dB) de jobb esetben többféle erősítésnél az előerősítő kimenetén mért egyenértékű bemeneti zajszint (equivalent input noise, EIN) dBu mértékben kifejezve; jellemzően az érték mellett frekvenciafüggő súlyozás (pl. A-súlyozás) sincs feltüntetve és a zajspektrum sincs pontosan megadva, ezért azonos dBu értékek sem feltétlenül összehasonlíthatók
- frekvencia-átvitel: a frekvencia-átvitelt a törésponti alsó és felső határfrekvenciákkal és a toleranciával (például „10 Hz-20 kHz  $\pm$ 0,5 dB @0 dB gain”), ismert erősítés és a forrásimpedancia mellett illik megadni, de ezek közül gyakran csak egy „től-ig” paraméter van feltüntetve az adatlapon, így a termékspecifikációk ritkán hasonlíthatók össze korrektül;

- zavarérzékenység: mivel a szimmetrikus jelvezetés lényege a közös módusú zavarok elnyomása, a kábelben beérkező zavarokkal szembeni immunitást a közösmodusú elnyomás („common mode rejection”, CMRR) paraméter fejezi ki, dB mértékben, ideális esetben frekvenciafüggő módon megadva, például  $CMRR > 90 \text{ dB@50 Hz} - 6 \text{ dB/oktáv}$  frekvenciafüggéssel;
- torzítás: a harmonikus torzítást (THD) adott bementi jelszint mellett mérhető harmonikus torzítás % mértékkel megadva, néha zajjal együtt (THD+N mérték), de az egyéb torzítási termékekről ritkán ad információt a specifikáció;
- galvanikus elválasztás: ha a kábelben nagyfeszültségű zavar érkezik vagy olyan mértékű a közös módusú hangfrekvenciás zavar, akkor a galvanikus elválasztás (például transzformátoros leválasztás) segíthet, jellemzően valamelyik átviteli minőségi paraméter rovására
- bemenetek közötti áthallás: ha az eszköz több analóg bemenettel is rendelkezik, a bejutó jel a galvanikus vagy RF interferencián keresztül a szomszédos bemeneteken is megjelenhet, ennek mértékét az áthallási csillapítással és a frekvenciatartomány vagy erősítés megadásával (ajánlott például „>80 dB 20 Hz...20 kHz”) lehet körülírni és összehasonlítani.

Ha a mikrofon előerősítő egyben digitalizálást is végez, az analóg előerősítő erősítése fontos tényező a jel digitalizálásának sikerességében és a digitalizálást minőségét leíró paraméterek (mintavételi frekvencia, kvantálás utáni szóhossz, latency) is szükségesek az összehasonlíthatósághoz.

Gyakran előfordul, hogy a bemenet jelét több ponton is felhasználják (például külön az előadóteremben, külön a közvetítéshez és külön a színpadi monitorozáshoz), de ezekben ugyanaz a mikrofonjel eltérő szintezéssel szükséges. Ha a szintezés az analóg fokozatban történik az analóg Gain paraméter állításával, ilyen esetben is csak egyféle erősítés állítható be, a többi felhasználási ponton ezt a beállítást már csak analóg vagy digitális módon lehet korrigálni, ami digitális esetben dinamikavesztéssel járhat.

Nincs ilyen probléma, ha a konverter önállóan szintezhető előerősítő fokozat nélkül a teljes jelszint-tartományt közvetlenül alakítja digitális jellé, azaz a hasznos 16...24 bites dinamikájú kimenet utólagos szintezéssel bárholnan kinyerhető. Ez műszakilag több összehangoltan működő konverterből álló nagy dinamikájú konverterrel lehetséges (pl. StageTec Truematch, Sound Devices MixPre, Zoom F6 eszközök), az adatfolyam és a rögzített jel is jellemzően 32-bites lebegőpontos számábrázolású.

A digitális konverterrel rendelkező mikrofonbemeneteket is jellemzi a latency, de ezt nem önmagában, hanem a teljes hangláncsal együtt érdemes vizsgálni. Lehetséges ugyanakkor a késés szándékos növelése (input delay), például, hogy szinkronba

lehesen hozni vagy éppen szándékosan el lehessen tolni eltérő késleltetésű bemeneteket.

A vonalszintű bemenetek a mikrofon-bemenetekéhez hasonló paraméterekkel írhatók le, de értelemszerűen fantomtáp, felüláteresztő szűrő, polaritásválasztás funkciókra nincsen szükség.

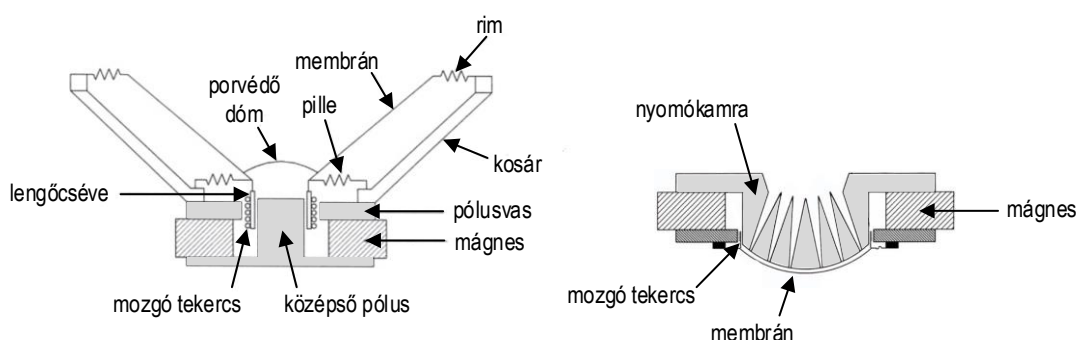
Az analóg kimeneteken lényeges műszaki paraméterek hasonlóak a bemenetekhez: legnagyobb jelszint, kimeneti impedancia (vonalszintű kapcsolatban kisebb jobb), áthallás, szimmetriapontosság (közös módusú elnyomás ellenpárja), saját zaj, frekvenciaátvitel.

### 3.5. Elektromos/akusztikus átalakítók: hangsugárzók

A hangsugárzók elektromos jelből állítanak elő levegőben terjedő hangot (akusztikus jelet).

#### 3.5.1. Hangszórók

A hang reprodukcióját az elektromos/akusztikus átalakítók teszik lehetővé, amik az elektromos jelekből a levegő elmozdításával keltenek hanghullámokat. A hangszórók többféle elven működhetnek (ld. EN 60268-5), ezek közül szinte kizárólag a dinamikus átalakítókkal lehet találkozni (37. ábra), ahol a lengő tekercs áram hatására az állandó mágnes terében elmozdul és magával mozdtítja a membránt is.



37. ábra: A dinamikus hangszóró felépítése (bal: hagyományos, jobb: nyomókamrás).

Az elektrodinamikus átalakító a meghajtással szemben áramfelvétellel működik, a jobb hatásfok érdekében könnyű és így viszonylag kis elektromos impedanciájú tekercsel, ezért a kábelezésnél a kábel (hangszórókábel) ellenállása okozhatja a veszteségek nagy részét.

Az átalakító elektromos terhelhetőségét a tekercs hőterhelése korlátozza, mechanikai terhelhetőségét pedig a membrán legnagyobb kitérése. A nyomókamrás megoldás kis

kitérésekkel tud nagy hangnyomást elérni, de ezzel torzítás is jár, ezért a nyomókamra („phase plug”) kialakítása kulcsfontosságú a minőség szempontjából.

Számos más elven működő hangszóró létezik, de a professzionális hangtechnikában a hagyományos felépítésű hangszórón kívül csak a szalag (ribbon) sugárzó fordul elő.

### 3.5.2. Hangsugárzók

---

A hangszórók különösen kisfrekvenciás tartományban önmagukban rossz hatásfokkal adják át a levegőnek a hangot, ezért a hangszórót dobozba építik. A nagyfrekvenciás hatásfokot az átalakító elé helyezett tölcsérrel lehet javítani. A doboz kisfrekvenciás hangolása szempontjából lehet nyitott (pl. bass-reflex) vagy zárt, ami az átvitelt az alsó határfrekvencia környékén befolyásolja.

A hangszórók a kiegészítőkkal (doboz, tölcsér stb.) általában a teljes hallható frekvenciatartománynak csak egy részét tudják jó hatásfokkal és jó minőségben megszólaltatni, ezért a teljes frekvenciatartomány visszaadásához egy hangdobozba többféle hangszóró kerülhet (többutas rendszer). A hangszórók frekvencia szerinti elosztását és arányait a keresztváltók („crossover” szűrők) szabályozzák. Az összeépített hangszórók és hangdobozok a hangsugárzók<sup>49</sup>.

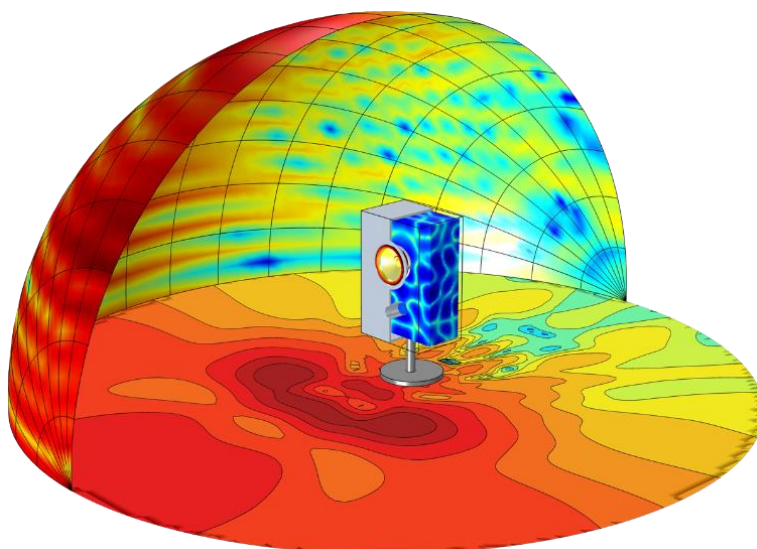
A hangsugárzók a saját méreteik miatt irányonként eltérő módon viselkednek, amikor a hullámhossz a hangsugárzó saját méretével összemérhető vagy kisebb (ld. 2.2.3. fejezet). Az akusztikus forrásokhoz hasonlóan a hangsugárzók esetében is ezt a viselkedést az irányfüggéssel lehet leírni.

A hangsugárzók közelterében nagyon összetett hangtér alakul ki, ami az egyes hangszórók és a hangdoboz felületének rezgéseiből adódik össze (38. ábra).

A hangsugárzók irányfüggését általában csak a távoltage adják meg. Bizonyos hangsugárzó elrendezése viszont a méretük vagy éppen a koncepciójuk miatt (ld. line-array) nagy köztérrel rendelkeznek és a köztéri viselkedés a meghatározó.

---

<sup>49</sup> A „hangfal” vagy „hangláda” elnevezés hibás, kerülendő.



38. ábra: A hangsugárzók irányfüggő lesugárzása  
a hangsugárzó közelterében a távolságtól is függ (kép forrása: Comsol).

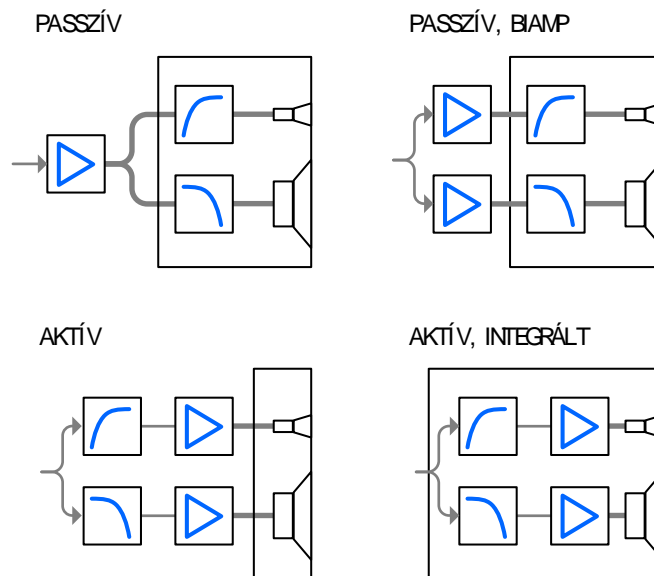
A hangsugárzók irányfüggését kisfrekvenciás tartományban úgy lehet hangolni, ha az egyszerre működő hangszórók közötti legnagyobb távolság legalább összemérhető a nagyobb hullámhosszokkal vagy nagyobb. Közepes és nagy frekvenciákon a kisebb hullámhosszal összemérhető méretű kisebb terelő elem (waveguide) használható az irányítottság hangolására. A tölcsér olyan waveguide, ami nem csak az irányítottságot, hanem az akusztikus hatékonyságot is befolyásolja. Ha csak egy irányban vagy síkban kell kioltással előnyösebbé tenni az irányfüggést, akkor ellenfázisban működő hangszóró is használható (kardiod szub).

### 3.5.3. Hangsugárzók meghajtása

A hangsugárzók működéséhez végerősítőkre van szükség. A végerősítő és a keresztváltók helyzete szerint beszélhetünk aktív és passzív hangsugárzóról (39. ábra):

- a passzív hangsugárzók végerősítője a hangsugárzótól független egység, a keresztváltók az erősített jelszinteket kezelik
- az aktív hangsugárzók végerősítője a hangsugárzóba épített vagy attól független egység, de a keresztváltók a végerősítő előtt vonalszinten működnek és külön tápellátást igényelnek.

Műszaki szempontból az aktív megoldás jobb, mert az aktív keresztváltók jobb minőségűek. Az egyszerű (nem integrált) aktív felépítés hátránya, hogy több hangszórókábel szükséges és ebből fakadó hiba lehetséges.



39. ábra: A hangsugárzók besorolása a végerősítő és a keresztváltó (pl. ) helyzete alapján.

Az integrált felépítés műszaki értelemben a tökéletes megoldás, mert az alkatrészek a lehető legjobban összehangolhatók. Előnye még, hogy elegendő a vonalszintű kábelezést kiépíteni, de közben ezt ki kell egészíteni a tápellátással és meghibásodás esetén az elektronikához nehezebb hozzáférni.

A hangsugárzók működésének szerves részei a végerősítők. A végerősítők értelemszerűen fontos jellemzői az általános átviteli jellemzőkön (frekvencia átvitel, torzítás, saját zaj, csatornák közötti áthallás, szimmetrikus bemenet közös móduszú elnyomása) felül:

- bemeneti érzékenység (dBu, dBV): a még túlvezérlés nélkül kezelhető legnagyobb bemeneti jelszint
- erősítés (dB): a kimeneti és bemeneti szintek aránya dB-ben megadva
- függetlenül működő csatornák száma
- üzemmódok: a csatornák páronként hídba kapcsolhatók (ellenfázisban hajtva a kimeneten az eredő szint és teljesítmény kétszerese lehet a normál üzemmódhoz képest)
- leadott teljesítmény (W): rövid idejű és tartós teljesítmény a lehetséges terhelések (kisimpedanciás és nagyimpedanciás esetek külön) függvényében
- a csillapítási tényező (damping factor, DF): a terhelés (hangsugárzó és kábel) impedanciája osztva az erősítő kimeneti impedanciájával fejezi ki, hogy az áramingadozásokat (pl. mélyhang-membránok tehetetlensége) mennyire tudja csillapítani a végerősítő; a minimális elvárás a valós terhelésnél 10, az 50-nél nagyobb csillapítási tényezőnek a szakirodalom szerint nincs jelentősége

- hűtés módja (ventilátoros vagy passzív) és a leadott hőmennyiség (Btu vagy kW)
- speciális funkciók: digitális bemenetek, DSP, távvezérlés és távmonitorozás, védelmi funkciók (limitálás, rövidzár elleni védelem stb.).

### 3.5.4. Hangsugárzók jellemzői

A hangsugárzók hangtechnikai műszaki szempontból releváns jellemzőiről szabvány (IEC 60268-5) és iparági ajánlások állnak rendelkezésre. A legfontosabbak ezek közül:

- frekvencia-átvitel:

A frekvencia-átvitelt fő sugárzási irányban szokás megadni a hangsugárzó normál üzemállapotában (terhelésénél), rózsazaj vagy más szabványos mérőjel gerjesztésre. A frekvencia-átvitelt a korábban (ld. 3.1.1.) leírtak szerint lehet értelmezni és hasonlítani.

- érzékenység:

Ha a hangsugárzó passzív felépítésű, az érzékenység a kimeneti hangnyomásszintet a bemenetre jutó elektromos teljesítmény függvényében adja meg. Például a  $96 \text{ dB}_{\text{SPL}@1 m, 1W}$  azt jelenti, hogy a hangsugárzó  $1 \text{ W}_{\text{RMS}}$  elektromos teljesítmény hatására  $1 \text{ m}$  távolságban  $96 \text{ dB}_{\text{SPL RMS}} (L_{\text{eq}})$  hangnyomásszintet produkál. Általánosan:

$$L_{\text{eq},r} = K_{1W,1m} + 10 \cdot \log_{10} P_{\text{RMS}} - 20 \cdot \log_{10} \frac{r}{r_{\text{ref}}} \quad (29a)$$

ahol  $K_{1W,1m}$  az érzékenység,  $P_{\text{RMS}}$  a hangsugárzó bemenetére jutó teljesítmény,  $r$  a hangsugárzótól mért távolság,  $r_{\text{ref}} = 1 \text{ m}$  a viszonyítási alap.

Ha a hangsugárzó aktív felépítésű, az érzékenység a kimeneti hangnyomásszintet a bemenetre jutó feszültséggel függvényében adja meg.

$$L_{\text{eq},r} = L_{1m} - L_{\text{ref}} - 20 \cdot \log_{10} \frac{r}{r_{\text{ref}}} \quad (29b)$$

ahol  $L_{1m}$  az adatlap szerinti hangnyomásszint (érzékenység, pl.  $100 \text{ dB}_{1m, +4\text{dBu}}$ ),  $L_{\text{ref}}$  pedig az ehhez tartozó bemeneti referenciaszint (pl.  $+4 \text{ dBu}$ ).

- elektromos terhelhetőség:

A hangszóró terhelhetősége a mozgótekercs terhelhetőségétől függ, mert terhelésen a tekercs felmelegedik, túlterhelésen túlmelegedhet és károsodhat.

- impedancia

A végerősítők a hangsugárzókat a hangsugárzók impedanciáján keresztül érzékelik, a jó működés feltétele a megfelelő illesztés.

Az impedancia a hangszóró és passzív hangsugárzó esetben a keresztváltó elektromos elemeitől és a mechanikai elemek frekvenciafüggő hatásaitól is függ. A névleges impedancia a hangszóró működési tartományában mérhető legkisebb impedancia.

A teljesítmény-átvitel hatásfoka %-ban kifejezve a terhelés (hangsugárzó bemenet)  $Z_t$ , a forrás (végerősítő kimenet)  $Z_f$  és a kábel vezető szálainak  $Z_v$  impedanciájából számolható:

$$\eta = 100\% \cdot \left( \frac{Z_t}{Z_t + 2 \cdot Z_v + Z_f} \right)^2 \quad (30)$$

Kisebb impedancián kisebb feszültséggel és nagyobb árammal lehet ugyanakkora teljesítményt átadni, ezért, ha a kábel ellenállása sokkal kisebb tud lenni (azaz  $Z_t \gg 2 \cdot Z_v + Z_f$ ), akkor a kisebb (biztonságosabb) feszültség érdekében kisimpedanciás (4...32  $\Omega$ ) hangsugárzókat érdemesebb használni.

Ha a telepítés miatt a nagy kábelhosszakat nem lehet elkerülni, akkor a nagyobb kábel-ellenállás miatt a teljesítmény-átadás hatásfokának megőrzése érdekében a hangsugárzók impedanciáját és ehhez vonali feszültséget is növelni kell. Az impedancia-növelés legegyszerűbb módszere a transzformátoros illesztés, azonban hangfrekvenciás tartományban jó minőségű és nagy teljesítményű transzformátor nem nagyon van, ezért a transzformátoros illesztésű, emelt feszültségű rendszerek csak kisebb teljesítményű (jellemzően  $< 200 W_{rms}$ ) hangszórókhoz és hangsugárzókhoz, gyengébb minőségű rendszerekhez ajánlottak.

Az emelt feszültségű rendszerek elterjedt elnevezése a „100 V-os rendszer”. A transzformátorok és emelt impedanciák lehetővé teszik, hogy a végerősítő párhuzamosan kötött hangszórókat hajtson meg, mert az eredő impedancia még így is nagyobb a kábel impedanciájánál, azaz nagyobb távolságokban hatékonyan használhatók elosztott hangrendszerekben.

- legnagyobb hangnyomásszint

A legnagyobb tartós („continuous”) hangnyomásszintet egy adott mérőjellel (pl. IEC 20268-5) a hangsugárzó károsodása nélkül elérhető hangnyomásszinttel lehet jellemezni.

Szinuszos jel esetén egyszerűen számolható a legnagyobb tartós hangnyomásszint az elektromos terhelhetőségből. A szinuszos jel csúcs tényezője 3 dB. Összetett jel esetén a csúcs tényező nagyobb, így rövid időkre a tartós szinuszos terheléshez képest nagyobb hangnyomásszinteket produkálhat a hangszóró károsodás nélkül.

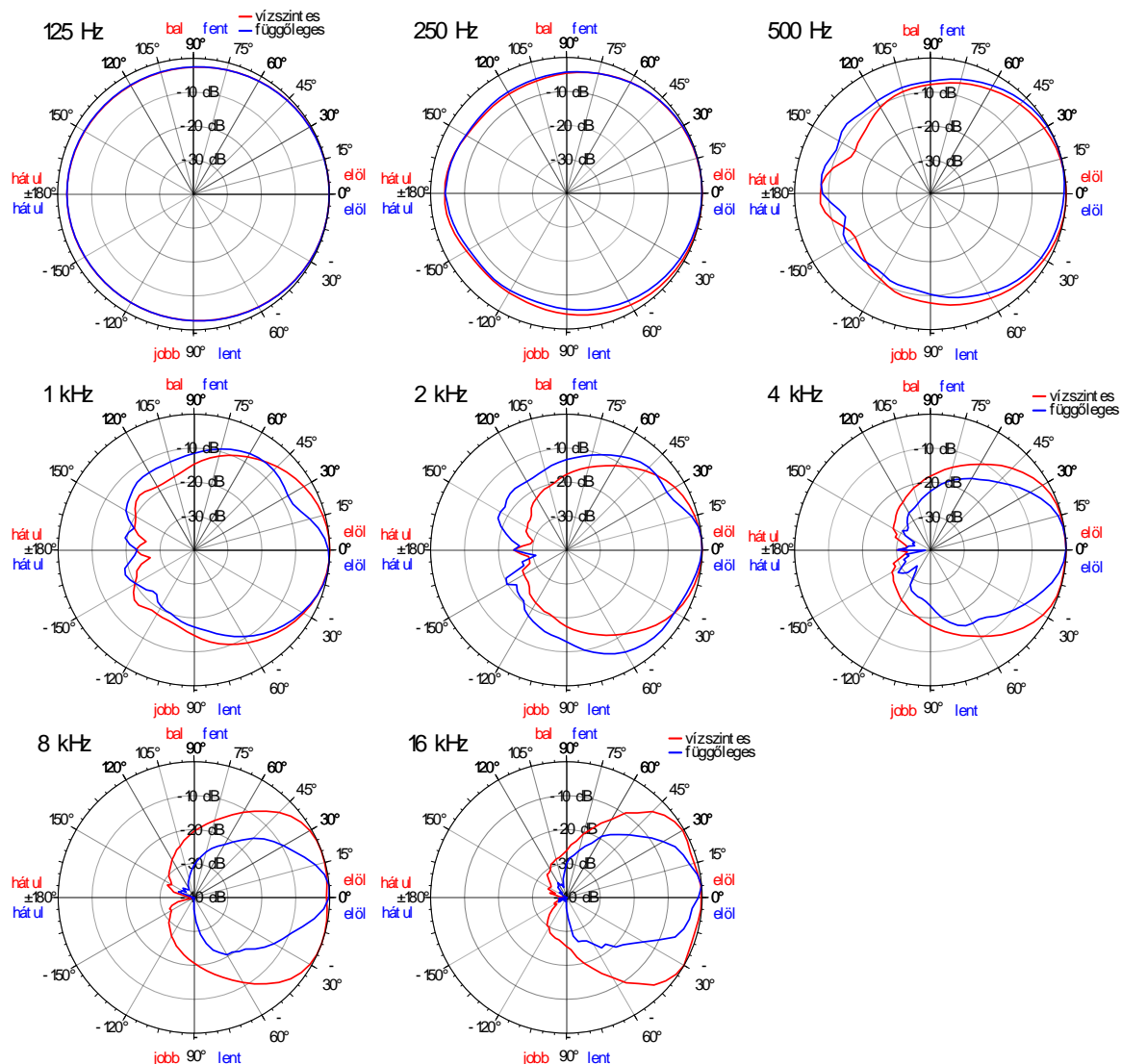
Szokás megadni a tartós legnagyobb hangnyomásszint mellett legnagyobb „program” (vagy zenei) hangnyomás (+3 dB) és hozzátartozó terhelést ( $\times 2$  teljesítmény), valamint legnagyobb csúcs hangnyomás (+6 dB) és hozzátartozó terhelést ( $\times 4$  teljesítmény) is.

- irányfüggőség

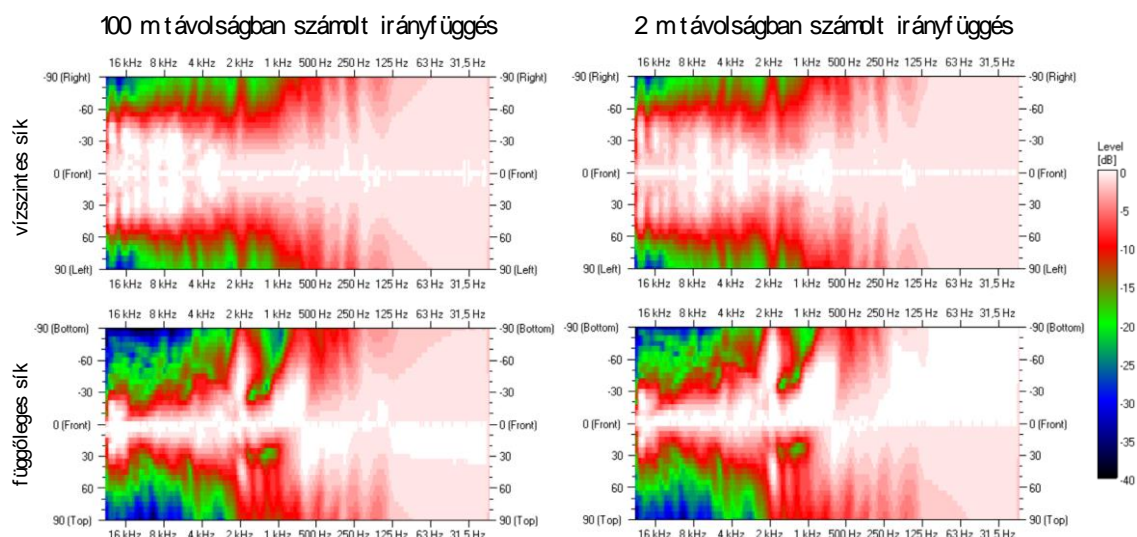
Az irányfüggőséget jellemzően a főirányhoz képesti eltéréssel a hangsugárzók távolterében adják meg és modellezik (37. ábra). A korszerű szoftverek (pl. EASE .gll formátum) a hangsugárzókon belüli fő hangforrásokat önállóan kezelik és így a

hangsugárzók közelterét is pontosabban tudják modellezni (41. ábra), akár a keresztváltók frekvenciafüggő amplitúdó és fázisátvitelét is figyelembe véve.

A sugárzási szög és ezért az irányítottság is frekvenciafüggő (40. ábra). Ezért hiányos és félrevezető, ha csak a névleges sugárzási szög szerepel a specifikációban. Általában elvárható, hogy a legnagyobb sugárzás iránya és a sugárzási szög se ingadozzon a frekvencia függvényében. Ideális esetben az irányítottság frekvenciától független („constant Q”), mert így a hangsugárzó frekvenciától függetlenül közel azonosan gerjeszt visszaverődéseket zárt térben, így a direkt/zengő energiaarány kevésbé függ a frekvenciától.



40. ábra: Egy kétutas kompakt hangsugárzó távoltéri iránykarakterisztikája  
1/1 oktávsávonként (EASE GLL viewer, MeyerSound UPA-1P).



41. ábra: Egy kétutas kompakt hangsugárzó távolféri (100 m) és közeltéri (2 m) irányfüggése lényegesen eltérő (1/6 oktávás 5° felbontás 1 dB lépték, EASE GLL viewer, MeyerSound UPA-1P).

- felépítés

A megjelenést tekintve a hangsugárzók többnyire trapéz hasáb alakú dobozzal készülnek. A méreteken és arányokon ezen belül az tesz különbséget, hogy a hangsugárzó önálló működésre alkalmas („szélessávú” vagy „kompakt”), más hangsugárzókkal kiegészíthető-e (fürt vagy „cluster”) vagy esetleg azonos típusú koherens módon hajtott tömbökbe („array”) rendezhető.

Speciális felépítésű hangsugárzók is előfordulnak: színpadi lábmonitor (alakja után „wedge” azaz ék), függesztett („pendant”), felületbe süllyesztett („flush mount”, „soffit mount”).

- méret és tömeg

Építészeti szempontból az észrevehetetlenül kicsi, statikai szempontból a tömeg nélküli hangsugárzó volna ideális, ilyen azonban nem létezik. Ha a nézőtér és a műfaj professzionális hangosítást igényel, a nagyobb teljesítményhez és jobb minőséghez nagyobb tömegek és nagyobb felületek szükségesek. A hangsugárzók helyét és méretét, valamint a függesztés, megfogás módját éppen ezért az építészeti és tartószerkezeti tervezőkkel együttműködésben kell megválasztani.

Méret és tömeg szempontjából a szubmély (<80 Hz frekvenciatartomány) azért nem tud kicsi és könnyű lenni, mert nagy amplitúdójú kis hullámhosszú hangok keltésére nagyobb felületű membránok és nagyobb teljesítményű hangszórók szükségesek.

- csatlakozási pontok

A felépítéssel és az elhelyezéssel szoros összefüggésben tartószerkezeti, gépészeti vagy színpadtechnikai méretezési feladat a hangsugárzók, vagy hangsugárzó csoportok (cluster, array) tartószerkezeti elemeinek méretezése („riggelés”).

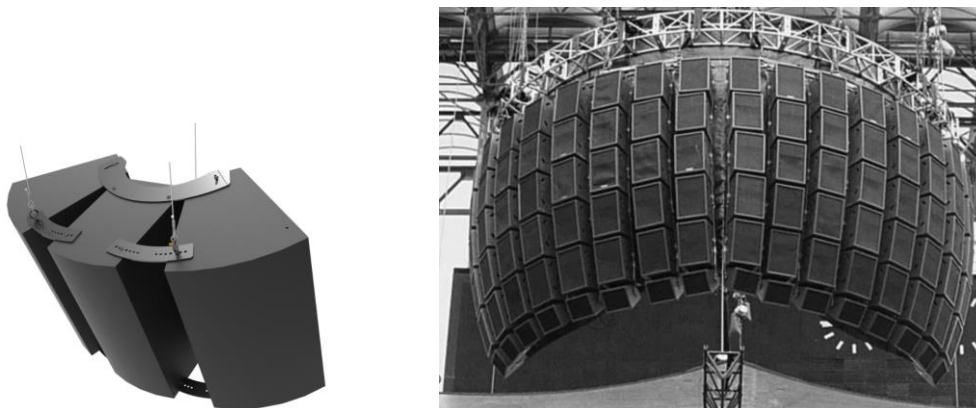
Előfordulhat, hogy zaj- és rezgésvédelmi okból a hangsugárzókat (jellemzően a szubmély hangsugárzókat) rugalmas függesztéssel vagy támasztással kell szerelni.

A függesztő és támasztó szerkezetek méretezése nem elektroakusztikai feladat.

### 3.5.5. Összetett hangsugárzók: cluster („fürt”) és array („tömb”)

---

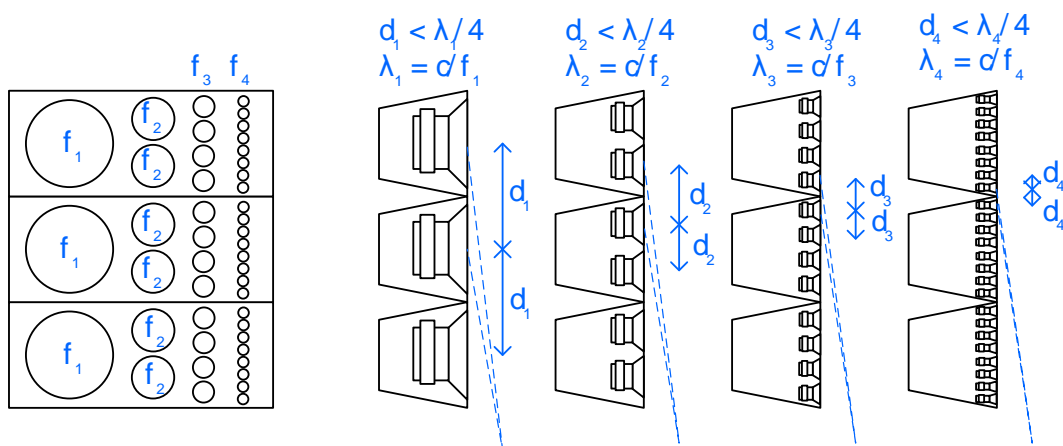
A cluster-ek esetén a hangsugárzó iránykarakterisztikája úgy van tervezve, hogy a rendszerhez tartozó hangsugárzók iránykarakterisztikái kiegészítsék és ne keresztezzék egymást így az eredő hullámfront egy pontszerű forrás hullámfrontját közelítse (42. ábra).



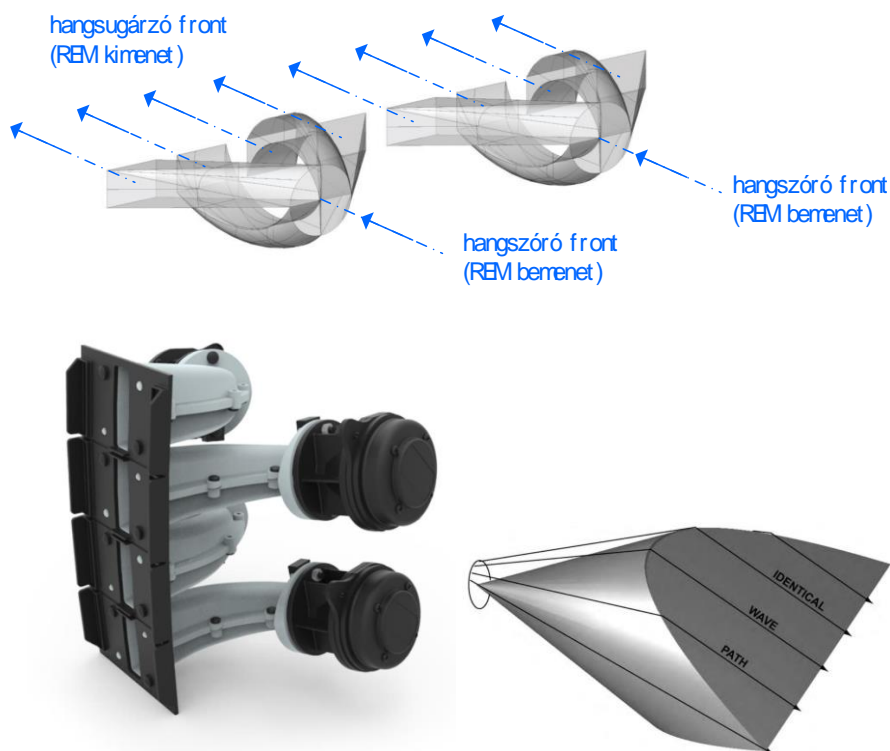
42. ábra: Hangsugárzó cluster („fürt”, „csoport”).

A line array esetében az egyes hangsugárzók önálló iránykarakterisztikája kevésbé értelmezhető, mert úgy vannak tervezve, hogy több array-elem együttesen biztosítson megfelelő lefedettséget és egyenletes irányítottságot. Ennek alapfeltétele, hogy a hangsugárzók közel azonosan, egymáshoz képest minimális eltéréssel (átvitel, teljesítmény, torzítás stb.) működjenek a számunkra fontos frekvenciatartományban.

Ahhoz, hogy a line-array elemek együttes hangtere egyenletes legyen és ne legyen kioltás egy irányban sem, adott frekvencián a frekvencián működő hangszórók közötti távolság kisebb kell legyen, mint a hullámhossz negyede (43. ábra). Ez nagyfrekvencián nehezen kivitelezhető, ezért jelentettek áttörést az olyan megoldások, amik a hagyományos hangszórók kimenetén a gömbi hullámfrontot „waveguide” elemek alakítják át vonalszerű hullámfronttá (pl. V-DOSC, REM, 44. ábra).



43. ábra: A vonalsugárzó (line-array) működéséhez a hangszórók közötti távolság kisebb kell legyen, mint a hullámhossz negyede, hogy a függőleges iránykarakterisztika egyenletes legyen.



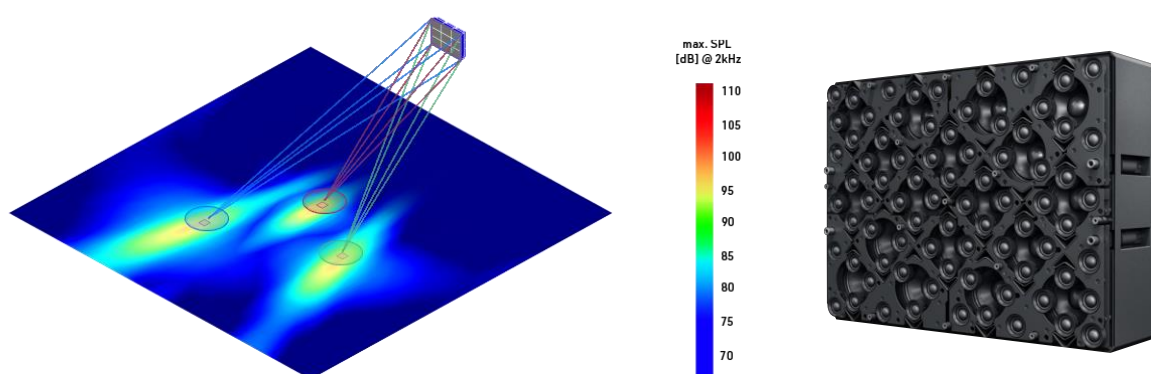
44. ábra: A vonalsugárzó közelítése (fent: Meyer Sound REM „ribbon emulator”, lent bal: Bose Room Match Waveguide, lent jobb: L-Acoustics V-DOSC Waveguide).

A hangszóró legnagyobb mérete (line-array esetében ez a line-array hossza  $L$ ) határozza meg, hogy milyen kis frekvenciáig tudja irányítottan sugározni a hangot. A hosszabb line-array kisebb frekvenciákon is irányítottabb tud lenni, mert a hallgatási távolság  $r$  még a teljes elrendezés közelterébe esik, ha  $r < 2L/\lambda$  azaz, ha  $f > r \cdot c/(2L)$ .

A line-array méretezés gyakran csak függőleges síkú metszeten történik a szögek és darabszámok hangolásával. A line-array elemek szintezésével („level tapping”) és késleltetésével („delay tapping”) tovább lehet hangolni az elrendezés függőleges sugárzási karakterét. Léteznek műszaki megoldások, amik részletekbe menően képesek hangolni a függőleges iránykarakterisztikát a kívánt lesugárzási és kioltási irányok megadásával (pl. Duran/Harman DDS), de a digitális processzálás a rendszer dinamikáját gyengítheti.

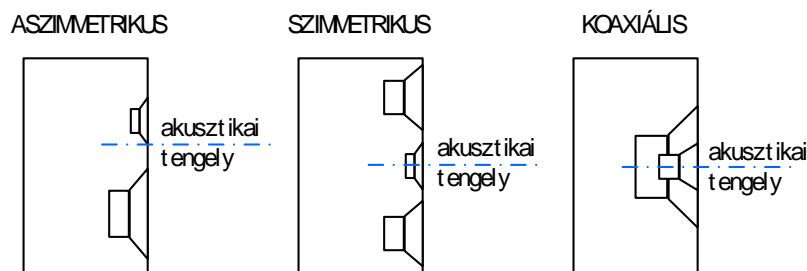
Az array technológia és a helyzethez legalkalmasabb vízszintes irányú iránykarakterisztika kombinációja is lehetséges, ha egymás alá függőleges irányban jól illeszthető, vízszintes irányban eltérő sugárzási szögre tervezett hangsugárzók kerülnek az array-ben (pl. Bose Room Match, MeyerSound Panther).

A felületen elhelyezett hangszórókkal vagy hangsugárzókkal még szorosabb kontroll érhető el és akár egy hangsugárzó több többféle műsorjelet tud küldeni különböző irányokba (45. ábra) vagy körbejárható virtuális akusztikus hangforrás hatását keltheti (akusztikai holográfia).



*45. ábra: Kétdimenziós hangszóró tömbbel még kontrolláltabb irányfüggés, fókuszálás stb. lehetséges (forrás: [www.holoplot.com](http://www.holoplot.com)).*

A hangszórók hangsugárzón belüli elrendezése szerint koaxiális és nem koaxiális elrendezést, a nem koaxiális elrendezésen belül pedig szimmetrikus (pl. D’Appolito vagy MTM) és aszimmetrikus elrendezést lehet megkülönböztetni (46. ábra). A koaxiális elrendezés célja, hogy a hullámfront egy tengelyből induljon ki és így az akusztikai középpont ne változzon a frekvencia függvényében. Az akusztikai középpontot adott frekvencián a távoltéri (eredő) hullámfront fázisa határozza meg.



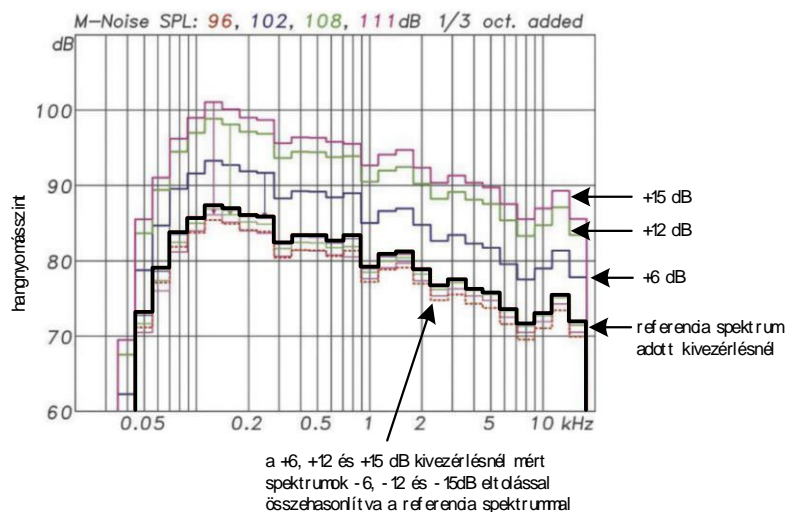
46. ábra: A hangszórók elhelyezése és az akusztikai tengely a hangsugárzóban.

### 3.5.6. A legnagyobb hangnyomásszint kérdése

A jelenlegi szabványok szerint mért legnagyobb hangnyomásszint érhető okokból nem azonos azzal a legnagyobb hangnyomásszinttel, amit a hangsugárzó még zavaró torzítás nélkül képes produkálni. A hatékonyság a teljesítménnyel és hangnyomásszinttel összefüggésben csökken, mert a nagyobb terhelésen melegedő tekercsek ellenállása megnő („power compression”, azaz teljesítmény-kompresszió) és mert a lineáris átvitelhez szükséges kitérést és gyorsulást a membrán nagyobb frekvencián rosszabb hatásfokkal tudja közelíteni.

Ez a hatás azzal azonosítható, ahogy a frekvencia-átvitel a nagyobb hangnyomásszintek felé megváltozik (47. ábra), az erősítéshez képest kevésbé nő a hangnyomásszint vagy hogy az erősítőn beadott jel csúcstényezőjéhez képest a mért hangnyomásszint-jel csúcstényezője csökken.

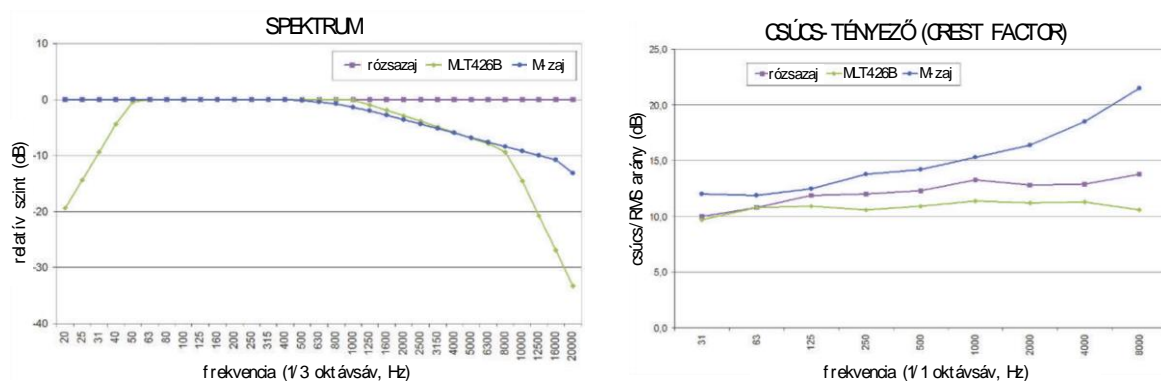
A klasszikus mérőjelek kevésbé alkalmasak a valós helyzet szemléltetésére (48. ábra), mert míg akusztikus jelforrás esetén  $>10$  kHz nagyfrekvencián a csúcstényező akár  $>20$  dB is lehet, a rózsazaj és abból származtatott mérőjelek esetén a csúcstényező a frekvenciától lényegében független. A valós zenei jel csúcs/RMS arányát jobban közelíti például az M-noise, amit az új AES75-2022 szabvány is felhasznál.



47. ábra: A mért hangnyomásszint eltérése a bemeneti jeltől (Produktion Partner).

A kérdés azért érdekel több odafigyelést, mert ajánlatkérésnél visszatérő probléma a hangsugárzó rendszerek teljesítményeinek összevetése, az indokolt hangnyomásszintek rögzítése. A korábbi szabványos mérési módszerek (pl. IEC 60268-5, EIA426-B) nem elég jók a hangsugárzók összehasonlítására, a valóban (azaz durva hangminőség-romlás nélkül) használható hangosság-maximumok kifejezésére. Ezért is javasolt a megfelelő tartalékok fenntartása és a rendszerek színtezésének gondos beállítása (ld. még rendezvények hangosságára vonatkozó ajánlások).

Az AES 75-2022 szabvány szerint kifejezett legnagyobb hangnyomásszint újdonsága miatt még nem szerepel az adatlapokon, de biztosan kisebb, mint az egyéb szabványok szerint mért vagy számított legnagyobb hangnyomásszint. Ennek oka, hogy az új szabvány adott torzításig vagy a teljesítménykompresszió megjelenéséig engedi a terhelhetőséget és nem azon túl, a tartós károsodással még nem járó műszaki (de már biztosan nem használható minőségű) terhelhetőségig.



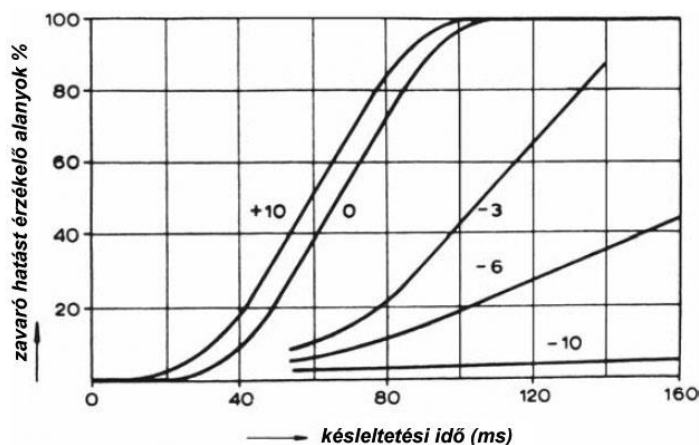
48. ábra: A ismert mérőjelek spektruma és csúcs-tényezője (Produktion Partner).

### 3.5.7. A térérzet kérdése

Ha egy hangjel egyetlen hangsugárzón szólal meg, az irányérzet határozott lehet és a hangzasképet csak az akusztikai környezet (visszaverődések) zavarhatják.

Ha ugyanaz a hangjel több hangsugárzón szólal meg egyszerre, nem alakulhat ki határozott irányérzet, mert a legközelebbi hangsugárzó még azonosítható, de a távolabbiak zavaró ismétlődésként jelennek meg a hallgatási pontban. A hangzásélményt és hangminőséget az ilyenkor fellépő interferencia-hatások is gyengítik. Ha a hangforrás nem mono, a sztereó hangjel összegzése minőségvesztést okoz. Alacsonyabb prioritású háttérzenei rendszereknél ez nem probléma, de egyéb esetekben érdemes a forrás csatornaszámának reprodukciójára törekedni.

Ha a hallgatási pont vagy terület irányába a hangszugárzók késleltetéssel úgy vannak hangolva, hogy a hangszugárzók jelei egymást szorosan követve érjenek a hallgatási pontba, akkor az először érzékelt hang határozhatja meg az irányt és a hangminőség-érzetet is (precedencia-elv, 50. ábra).



50. ábra: Az ismétlődés zavaró hatására, észlelhetőségére vonatkozó vizsgálatok eredménye (Haas).

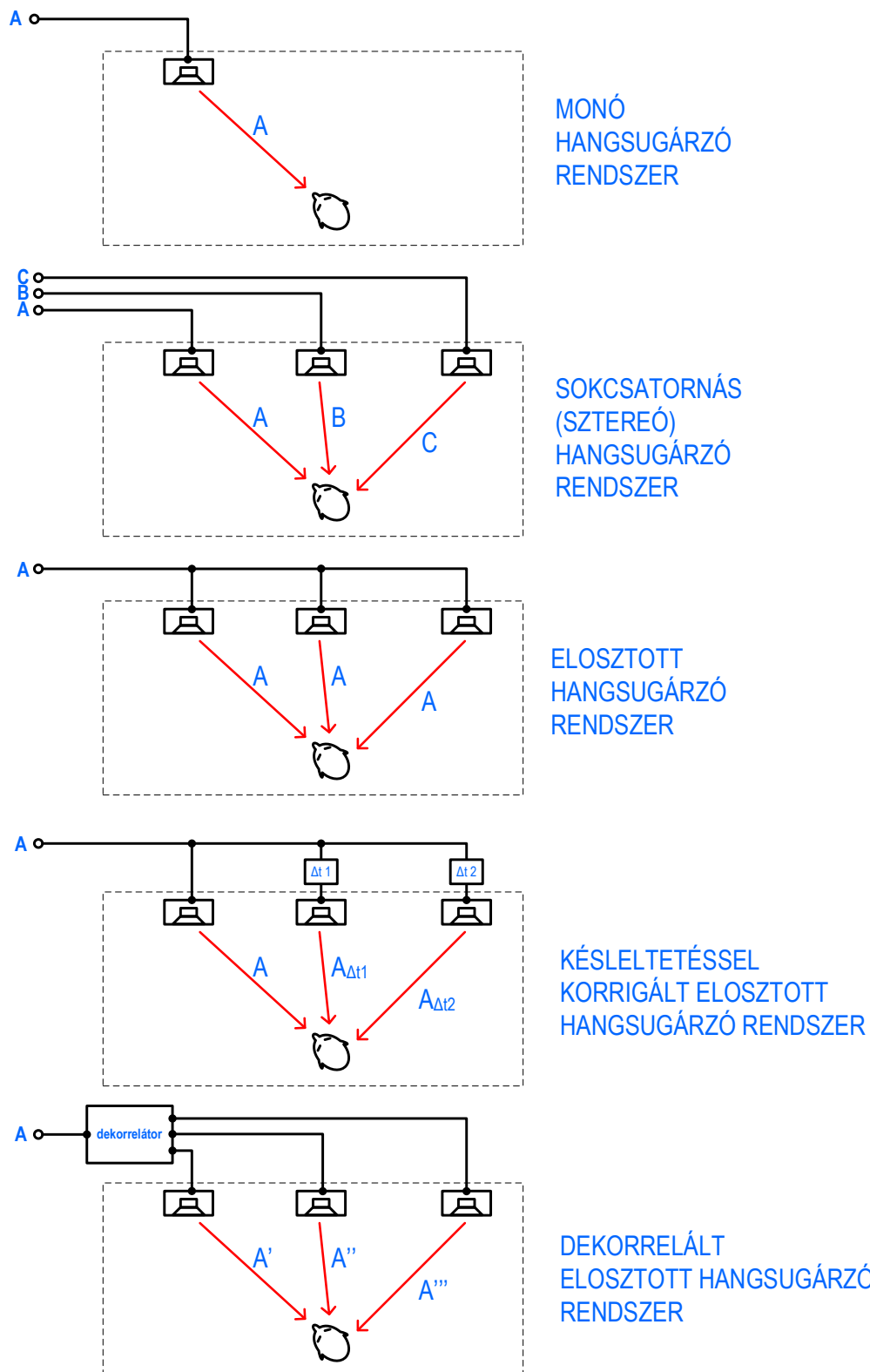
Ha a hallgatási pontban a legközelebbi hangszugárzókból a hangjel kis eltérésekkel jut el, a zavaró hatás és az interferencia-hatás kisebb, de határozott irányérzet helyett úgy tűnik, mintha a hang egyszerre több helyről szólna. A hangjel kis eltérései ideális esetben összegezve is jó minőségű hangzást adnak, ezért az hallgatási pontban akusztikus összegzéssel is elfogadhatók. A kis eltéréseket egycsatornás hangjelből (pl. beszédjel) dekorrelációval lehet biztosítani (dekorreláció, álsztereoó, pseudo-sztereoó, pl. Dolby Surround effektcsatornák).

A különböző elrendezéseket az 51. ábra szemlélteti:

- a mono hangszugárzó rendszerben egyetlen hangszugárzó szól a műsorjel; az irányérzet határozott
- a sokcsatornás hangszugárzó rendszerben eltérő műsorjelek szólnak minden hangszugárzóban; a rendszer sztereoó, ha az eltérések a térérzet vagy hangforrás hangszugárzótól eltérő pozíciójának érzetét keltik; a független hangcsatornák jele teljesítményben összegződik, az irányérzet műsorjelenként határozott;
- elosztott hangszugárzó rendszerben ugyanaz a műsorjel több hangszugárzóban szólal meg és a hallgatási pontban interferenciaképpen összegződik; nincs vagy erősen ingadozó térérzet (legközelebbi/leghangosabb hangszugárzó a meghatározó)
- késleltetéssel korrigált elosztott hangszugárzó rendszerben adott pontokra lehet úgy korrigálni az azonos műsorjelek érkezését (fázisát), hogy a precedencia-elv miatt a

késleltetett műsorjelek az eredeti műsorjel hangosságát növeli, hangminőségét nem rontják jelentősen; a késleltetéssel hangolt pontokban az irányérzet határozott;

- a műsorjel dekorrelációjával az elosztott rendszerekre jellemző interferencia-hatás a hangtisztaság rovására csökkenthető; nincs irányérzet, de háttérzenei vagy háttérzaj műsorjel esetén ez nem probléma.



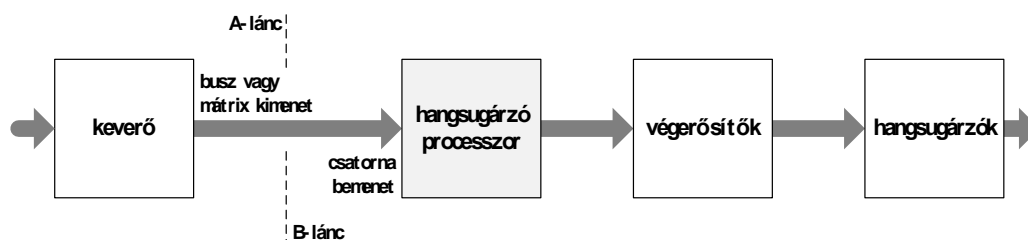
### 3.5.8. Hangsugárzó rendszerek jellemzése

Gyakran egy terület hangosítására nem elegendő egyetlen hangsugárzó és végerősítő, ezért hangsugárzókból és erősítőkből álló rendszerek méretezése szükséges. A hangsugárzó rendszerek jellemzésére a hangsugárzóknál és végerősítőknél bemutatott jellemzőkön felül az alábbi szempontokat kell tisztázni:

- **hallgatási terület:**  
A nézőtéren ülőmagasságban, jellemzően padlósint +1,0 m és álló közönség esetén padlósint +2,0 m közötti terület.
- **kizárási terület:**  
Ideális esetben a hangsugárzó rendszer oda és csak oda sugároz hangot, ahol arra szükség van, mert minden más irányban sugárzott hang zavart okozhat a mikrofonozásban és a késői visszaverődéseken keresztül a hallgatási területen, valamint a hallgatási területen kívül (környezeti zajterhelés). A kizárási vagy maszkolási irányok (pl. erősen visszaverő falfelület vagy ablak) és területek (pl. előszínpad) kijelölése ugyanúgy méretezési feladat, mint a hallgatási terület lefedettségének biztosítása.
- **átviteli jellemzők a teremakusztikai hatások figyelembevételével:**  
A legnagyobb hangnyomásszint, a frekvencia-átvitel, a hangtisztaság és beszédátvitel (STI, ld. MSZ EN 60268-16) nagy mértékben függ a teremakusztikai adottságoktól is. A teremakusztikai hatások az irányítottság növelésével mérsékelhetők, de ekkor megnőhet a visszhangosság, mert csak az irányítottsággal kitüntetett irányokból indul ki a lecsengés.
- **lefedettség jellemzése:**  
A hallgatási területen és a kizárási területen megengedett vagy elvárt minimális, maximális vagy átlagos értékek különböző átviteli jellemzőkre.
- **hangsugárzó rendszer csatornáinak száma és célja:**  
A hangsugárzó rendszer csatornáinak tekinthetjük azokat az önálló bemeneteket (ld. 51. ábra), amikhez egy vagy több hangsugárzó is tartozhat, de csak egy-egy funkciót látnak el. A funkció lehet konkrét irány (például front jobb) felőli hanghatás vagy konkrét irányérzet nélküli hanghatás (atmoszféra, effekt, háttérzajszint-emelés). Minden esetben a cél az, hogy az önálló funkciójú csatornák a teljes hallgatási területen érvényesüljenek.  
A keverő rendszer kimenete és a hangsugárzó rendszer csatornái között a hangsugárzó processzor működik (52. ábra). A keverő rendszeren a választott

sztereó rendszeren belül panorámázással és a kimeneti mátrix beállításával lehet a hangsugárzó csatornát elérni.

A csatornák száma alapján a legegyszerűbb szélsőség a mono rendszer, amikor az egyetlen hangosított jel a hangsugárzó rendszer egyetlen csatornáján szól és a teljes hallgatási területen érvényesül. A legtöbb esetben ez egyetlen hangsugárzóval is megvalósítható akár. Ha ez konkrét irányt képvisel, akkor a bal/jobbszimmetria megtartása miatt középre kell helyezni.



52. ábra: A hangsugárzó rendszer csatornái a hangsugárzó processzor bemenetei.

A szimmetrikusan elhelyezett két mono rendszer a 2.0 rendszer, ami, ha irányt képvisel, a hagyományos bal/jobbszimmetria (L/R) sztereó elrendezésnek felel meg.

Ha széles az előadótér és a bal/jobbszimmetria elrendezések iránya a középen elől ülők számára zavaró, akkor önálló közepső mono csatorna is ajánlott. Ez a 3.0 vagy LCR elrendezés. Az LCR rendszer előnye, hogy a bal/jobbszimmetria irány szempontjából kevésbé kitüntetett zenei és a közepső irányt igénylő beszéd- vagy ének-hang önálló csatornára keverhető, így jobb lehet az elválasztás akusztikai értelemben is.

További csatornákkal további színpadi irányok azonosíthatók vagy effektek (hátsó, oldalsó, felső stb.) színpadizálhatók meg.

Az „immerzív” rendszerek műszaki értelemben ennél sokkal több csatornát és hangsugárzót igényelnek, hogy akár tetszőleges irányba tudják pozícionálni a hanghatást (pl. VBAP azaz vektor alapú panorámázás vagy akusztikai holográfia).

A szubmély (<100 Hz) tartomány gyakran önálló csatorna, mivel ebben a frekvenciatartományban nincs irányérzet és a szélessávú hangsugárzóktól, így lényegesen eltérő konstrukciók (méretek, tömegek) és elhelyezési szempontok jellemzők.

- hangsugárzó rendszer irányai:

Ha a hangsugárzó rendszernek konkrét irányt is kell képviselnie, akkor önálló csatornát képez és minden iránynak önállóan a teljes hallgatási területet el kell látnia. A sztereó (térhatású) hangrendszerek esetében legalább két irányt kell képviselni (bal és jobb). A sokcsatornás sztereó hangrendszerekben kettőnél több csatorna és irány található.

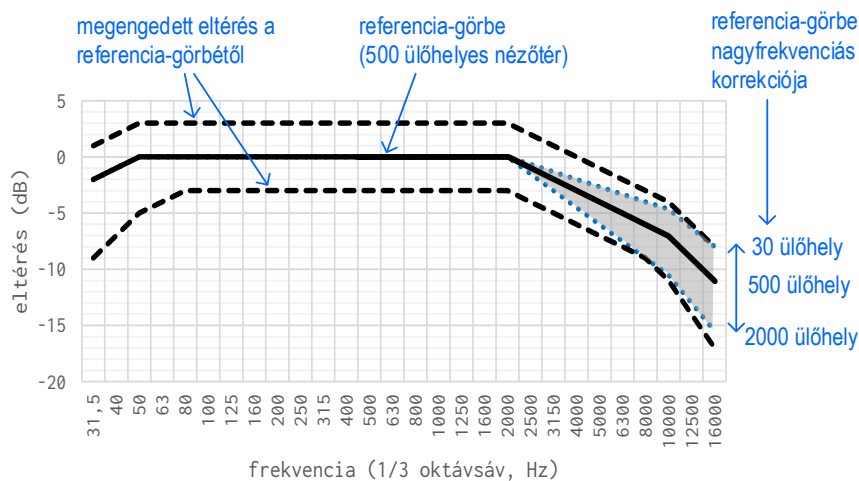
Sokcsatornás sztereó rendszerek felépítését számmal azonosítjuk. Az első szám a szélessávú csatornák, a második szám a szubmély-csatornák számát mondja meg (pl. „2.1”, „5.1”, „22.2”).

Ahhoz, hogy a hangsugárzó rendszer közel pontszerű irányérzetet tudjon kelteni, bármely hallgatási pontban garantálni kell, hogy először az irányt meghatározó hangsugárzó legyen érzékelhető, a lefedettséghez esetlegesen szükséges további hangsugárzó pedig időben ezt szorosan követve szólaljon csak meg. Ezt a szelektivitást a hangsugárzók helyével, irányával, irányítottságával és késleltetésével lehet elérni, méretezési és beállítási feladat.

### 3.5.9. A B-láncre vonatkozó követelmények

A hangsugárzó rendszer (B-lánckok) felépítését és beállítását sokszor szubjektív benyomások alakítják, de objektív szempontok alapján szükséges a méretezés csatornánként külön-külön:

- legnagyobb hangnyomásszint és ingadozása a hallgatási területen  
A korrekt specifikációhoz a tartós és rövid idejű legnagyobb hangnyomásszintet is rögzíteni kell. Javasolt a C-súlyozás, de elfogadható az A-súlyozás.  
A területi ingadozást állandó bemeneti zaj esetén mért legkisebb és legnagyobb értékekkel vagy középértékkel és megengedett ingadozással javasolt megadni dB mértékben, a figyelembe vett súlyozás meghatározásával.  
A szubmély csatornára zenei reprodukció esetén jellemzően 10 dB-vel nagyobb tartalékot lehet elvárni.
- frekvenciaátvitel és ingadozása a hallgatási területen  
Adott szélessávú mérőjel (pl. rózsazaj) esetén a hallgatási területen mért hangnyomásszint frekvenciafüggését a frekvenciasávonként elvárt minimum, maximum vagy átlag és eltérés paraméterekkel lehet specifikálni.  
Az elvárt tolerancia lehet egyedi, de kiindulásként ajánlott figyelembe venni az ISO 2269 filmszínházak hangrendszerének B-láncre vonatkozó frekvenciafüggő referenciagörbét és toleranciát (53. ábra).



*53. ábra: Az ISO 2296 B-láncokra vonatkozó referencia frekvenciafüggő toleranciája szélessávú rózsazaj gerjesztésre, 85 dBC átlagos hangnyomásszint mellett, hangsugárzó rendszer csatornáira.*

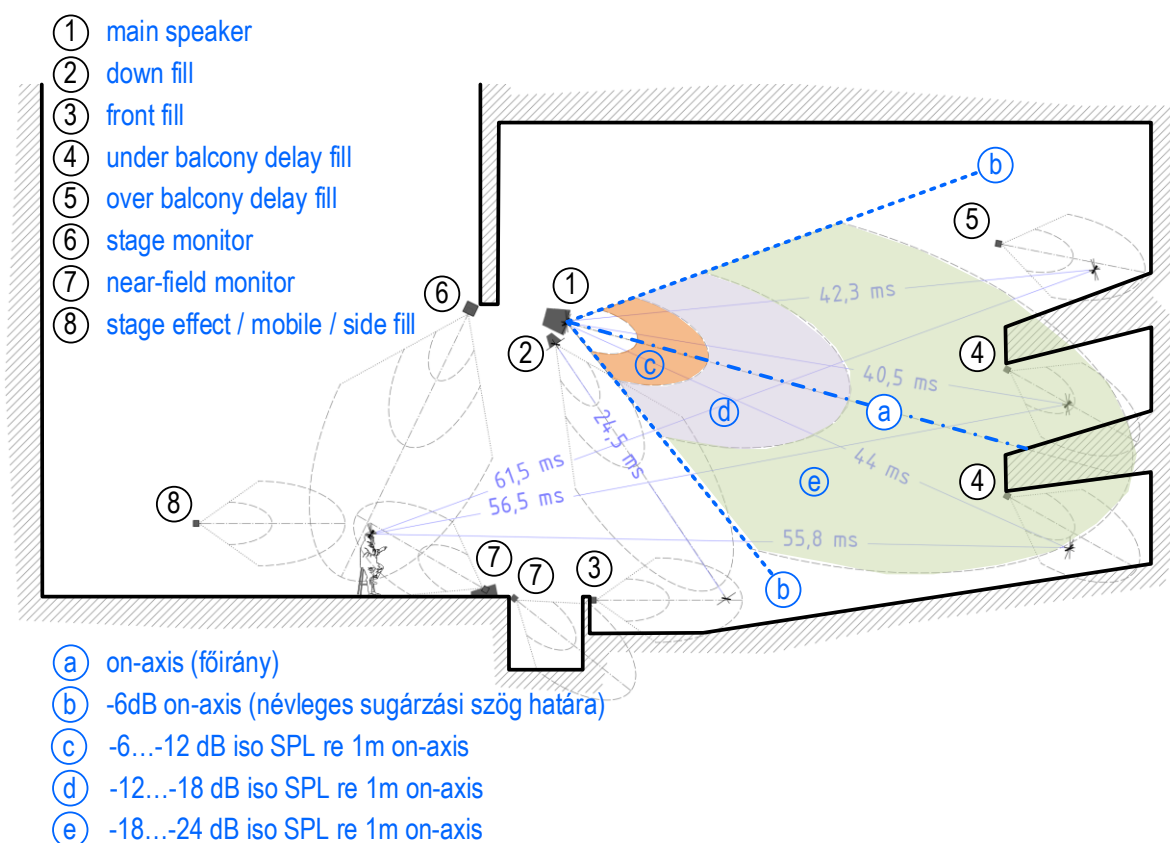
- beszédátviteli index (STI) és ingadozása a hallgatási területen  
Az STI minimumértékét az STI paraméterre vonatkozó szempontok (maszkolások, területre megengedett eltérések stb.) megadásával lehet korrektül megadni.  
Vészeseti hangrendszerek esetében előfordul a hallgatási terület legjobban ellátott 90% részén mért eredmények átlaga, de a produkciós területen (pl. előadóterem nézőtér) ilyen specifikáció nem ajánlott, minden ülőhely azonosan fontos kell legyen.  
A specifikáció csak akkor pontos, ha a fenti szempontokat egyértelműen tisztázza.
- legnagyobb megengedhető saját zaj  
A hangsugárzó rendszerek saját zaja és a hangrendszer egyéb bemeneteinek saját zaja együttesen sem lehet nagyobb, mint ami az akusztikai komfort-követelményekben elő van írva.
- legnagyobb torzítás  
A B-láncra vonatkozóan a legnagyobb megengedett torzításra nincsenek széles körben elfogadott határértékek. A harmonikus torzítást az üzemállapottal és a főirányban adott frekvenciákon mérhető megengedett THD % értékével lehetséges előírni. A referencia lehallgatási környezetről szóló EBU 3276 például 40 Hz-en 3% (-30 dB), 250 Hz-en és fölötte 1% (-40 dB) harmonikus torzítást enged meg.
- védelem és monitorozás  
A hangsugárzó rendszerek védelme, a hangsugárzó rendszer elemeinek állapotát jelző vagy alkalmanként ellenőrző funkciók a tartós és konzisztens üzemállapot fenntartásához szükségesek.
- megjelenés, telepíthetőség  
A hangsugárzó rendszereknél gyakran ellentétesek az építészeti-esztétikai elvárások és az elektroakusztikai, fizikai és produkciós igények. Műemléki környezetben még érzékenyebb kérdés, hogy a kábelezés, a tartó elemek milyen bontással járnak és a hangsugárzók milyen felületeket takarnak.  
Ugyanakkor a hangminőség szempontjából szükséges feltétel, hogy a hangsugárzókat az ellátandó terület felé ne takarják sem építészeti elemek (hangvetők, drapériák, erkélyek stb.) sem pedig más színházi elemek (lámpák, tartók stb.).

### 3.5.10. Méretezés lefedettségre

A hangsugárzó rendszerekben az egy hangcsatornához tartozó hangsugárzókkal elérendő lefedettséget a hangsugárzók pozíciója és részletes iránykarakterisztikája alapján lehet méretezni.

Kiindulásként vagy egyszerű esetekre a hagyományos, alaprajzra vagy metszetre vetített szerkesztés (pl. 55. ábra) elfogadható, de tényleges ellenőrzés vagy igazolás csak 3D modellezéssel tekinthető érvényesnek.

A hangsugárzó gyártók által kínált modellezési megoldások rendszerint nagy felbontású iránykarakterisztika adatbázisból indulnak ki. A visszaverődések, összetettebb teremakusztikai jelenségek, légköri jelenségek hatásaival viszont nem számolnak, mert azokért nem tudnak felelősséget vállalni.



55. ábra: Egy színházi hangsugárzó rendszer jellegzetes elemei: (1...5) nézőtéri hangsugárzó rendszer, (6...8) színpadi és monitor hangsugárzó rendszer. A távolságokat a közvetlen hangút megtételéhez szükséges idővel ábrázoltuk.

A gyártótól független, kifejezetten az akusztikai környezet modellezésére készült modellező szoftverek (pl. EASE, Odeon, CATT, Ulysses) eltérő részletezettséggel

képesek a hangterjedést befolyásoló jelenségek modellezésére és változó pontosságú adatbázisokból indulnak ki (pl. 56. ábra).

A legelterjedtebben ismert .gll <sup>50</sup> adatbázis formátum jogait az AFMG GmbH. kezeli, elvileg gyártófüggetlen, de csak az EASE szoftver tudja olvasni. Szögfelbontása 1° lehet, irányonként impulzusválaszból komplex frekvenciaátvitelt is tárolhat, hangsugárzónként több hangforrásból (tehát akár hangszórónként). A .gll olyan metaadatokat is tárol, mint a hangsugárzók impedanciája, dobozai, súlya, aktív megoldások esetén a processzálishoz beépített algoritmusok stb.

Szintén gyártótól független és több modellező szoftverbe felhasználni szánt, hasonlóan nagyfelbontású formátum a CLF <sup>51</sup>, aminek felhasználási jogai fölött azonban a CATT modellező szoftver fejlesztője rendelkezik.

Számos egyéb formátum érhető el, amik azonban jellemzően csak amplitúdót (fázist nem), legfeljebb 1/3 oktávsávós adatokat és jellemzően 5° vagy nagyobb szögfelbontást nyújtanak.

A nagyobb szögfelbontás, a fázisviszonyok ismerete közelebbi viszonyok és interferencia-hatások vizsgálata esetén jelentős előnyt képvisel, de ez teremakusztikai paraméterekben, beszédérthetőségi vizsgálatokban kevésbé érvényesül.

Komoly probléma a jelenleg elérhető modellező szoftverekben és adatbázisokban, hogy

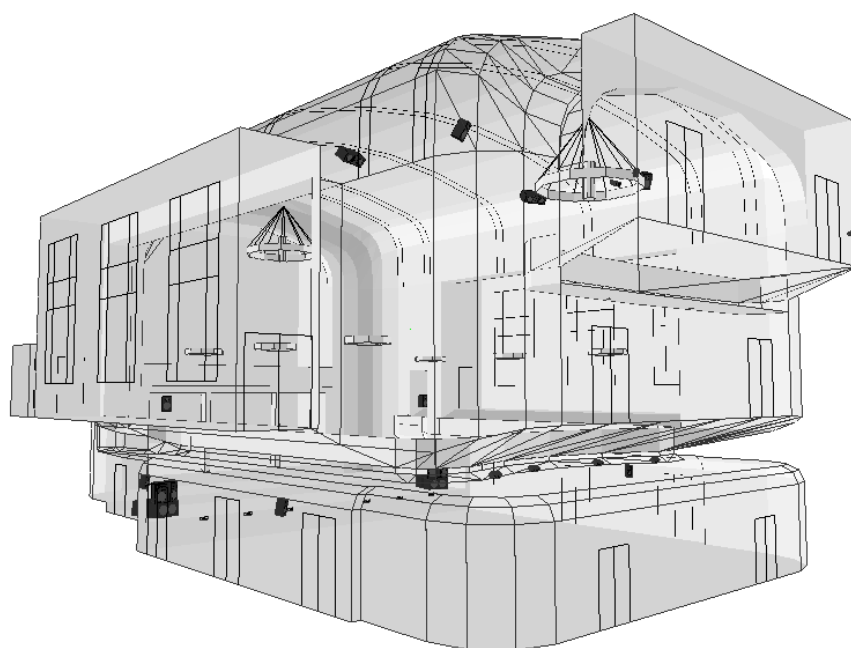
- nem egységes a szoftverek között az ábrázolt paraméterek köre, a paraméterek értelmezése
- nem egységes, gyártónként és akár gyártmányonként is változó az adatbázisok alapján számított eredmények értelmezhetősége (pl., hogy a számított hangnyomásszint RMS, RMS+3dB azaz „program” vagy RMS+6dB azaz „peak”?).

Mindenkor a szoftver felhasználójának a felelőssége a bizonytalanságok ellenőrzése, tisztázása (pl. adatlapok és számítási eredmények összevetése), a számítási beállítások és egyszerűsítések dokumentálása, végül a feloldatlan bizonytalanságok kommunikációja. Ennek hiányában a modellezési eredmény nem értelmezhető közvetlenül.

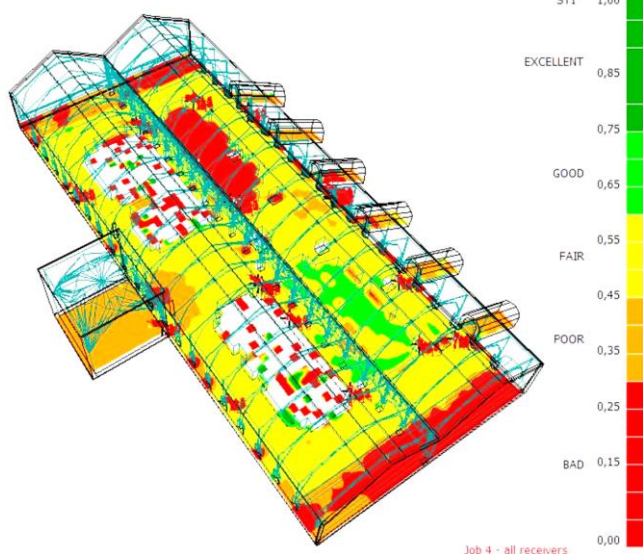
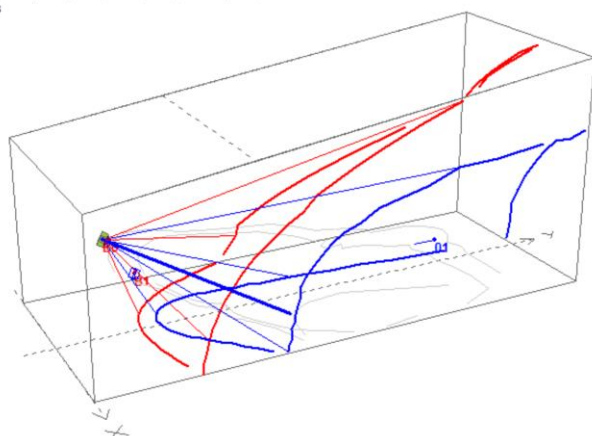
---

<sup>50</sup> generic loudspeaker library

<sup>51</sup> common loudspeaker format



B0 -2,0 3,0 3,7 JBL15.SD0 0,0 7,0 1,7 ( 26,6°; 24,1°) -3 dB contours @ 1k 2k Hz  
 Lp1m\_a =< 51,2 57,2 59,8 53,5 48,8 43,8 : 38,8 33,8 > dB  
 Lp1m\_ea=< 71,2 77,2 79,8 73,5 68,8 63,8 : 58,8 53,8 > dB  
 Delay = 0,000 ms



56. ábra: Példák méretezést segítő akusztikai modellező szoftverekre (fentről: EASE hangsugárzó rendszer Liszt Ferenc Zeneművészeti Egyetem; CATT Acoustics névleges sugárzási szögek 3D vetítése; ODEON STI mapping).

Javasolt gyakorlat az akusztikai környezetet leíró modell (geometria, hangelnyelési és diffúziós tényezők) közlése és megosztása a tervezők, ajánlattevők között, hogy a különböző megoldások valóban összehasonlíthatók legyenek.

### 3.5.11. Méretezés hangtisztaságra

Ha a lefedettség biztosított, a hangtisztaság azzal biztosítható, hogy a lefedettséghez szükséges irányokon kívül más irányokba nem küld hangot a hangforrás.

A szükséges irányítottság számításához a hangtisztasági paraméterek ( $C_{50}$ ,  $C_{80}$ ,  $EDT_{10}$ ) vagy a beszédátviteli index (STI) követelményéből lehet kiindulni. A számítást elvileg frekvenciasávonként is el lehet végezni, de az STI paraméterhez kapcsolódó súlyozás (frekvenciasávok fontossága) alapján elfogadható egyszerűsítés, ha a 250 Hz...4 kHz oktávsávokra vett átlagértéket tekintjük.

A számos mérés alapján felvett korrelációból számolhatók át ezek a paraméterek:

$$STI \approx 0,0222 \cdot C_{50} + 0,6088 \quad (31a)$$

$$STI \approx 0,0195 \cdot C_{80} + 0,5472 \quad (31b)$$

$$STI \approx -0,1765 \cdot \ln(EDT_{10}) + 0,6178 \quad (31c)$$

A hangtisztasági adatokból és a  $T$  utózungési időből becsülhető a szükséges közvetlen/zengő energiaarány  $DRR$ , például

$$DRR \approx 10 \cdot \log_{10} \left\{ 10^{\left[ \log_{10}(1+10^{C_{50}/10}) - \frac{0,3}{T} \right]} - 1 \right\} \quad (32)$$

A szükséges irányítottság  $DI$  ezután a legnagyobb  $r$  hallgatási távolság, a zárt hangtér  $S$  felülete, a  $V$  térfogat, a közepes szabad úthossz  $\bar{l} = 4V/S$  és a levegő hangelnyelésével korrigált átlagos hangelnyelési tényező  $\bar{\alpha}' = \bar{\alpha} + m \cdot \bar{l}$  adatokból számolható a (16) összefüggés átrendezésével:

$$DI \geq DRR + 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{4}{S \cdot \bar{\alpha}'} (1 - \bar{\alpha}')^{1+r/\bar{l}} \right] + 10 \cdot \log_{10}(4r^2\pi) \quad (33)$$

Például egy  $20 \times 10 \times 6$  m méretű helyiségben, ahol  $NRC = 0,20$  az átlagos hangelnyelési tényező és  $r = 15$  m távolságban szeretnénk  $0,60$  STI értéket elérni, akkor

- a geometriai adatok  $S = 760m^2$  felület,  $V = 1200m^3$  térfogat és  $\bar{l} = 6,3m$  közepes szabad úthossz
- az utózungési idő  $T = 1,27$  s
- a beszédátviteli indexnek megfelelő hangtisztaság  $C_{50} \geq -0,4dB$
- a szükséges direkt-zengő energiaarány  $DRR \geq -9,6dB$

- amiből a szükséges irányítottság  $DI \geq 5,9dB$ , amit a 6. ábrával jellemzett hangsugárzó 500 Hz sávban és fölötte tud teljesíteni, a 125 Hz és 250 Hz sávokban viszont még nem.

Ha a (32) összefüggésben  $C_{50} < 10 \cdot \log_{10}(10^{0,3/T} - 1)$ , akkor a kívánt  $C_{50}$  érték a rövid utózungés miatt garantált. Ha a (33) összefüggés eredménye  $DI < 0$  (ami csak úgy fordulhat elő, ha a hallgatótól elfordítjuk az irányított hangforrást), akkor az adott pozícióban a kívánt  $DRR$  érték a közelség miatt garantált.

A beszédátviteli indexet gyakran hibásan az utózungési idővel hozzák szoros összefüggésben, miközben az utózungés hossza csak alsó korlátot ad a hangtisztaságra és így a beszédátviteli indexre. Számos mérés és az elméleti összefüggések felhasználásával a  $T_m$  közepes utózungési idő és a beszédátviteli index alsó határára az alábbi tapasztalati becslés adható:

$$STI \geq 0,35 \cdot \log_{10}(10^{0,3/T_m} - 1) + 0,58 \quad (34)$$

Ennél nagyobb értékek eléréséhez  $Q > 1$  (azaz  $DI > 0dB$ ) irányítottságú hangforrás szükséges. Ennél kisebb értékek akkor fordulhatnak elő, ha a jel/zaj viszony kicsi a hangforrás kis teljesítménye vagy a háttérzaj nagy szintje miatt.

A fenti egyszerűsített számítási eljárás csak tájékoztató jellegű vagy kiindulásnak tekinthető, ha akusztikai modellező szoftver is rendelkezésre áll.

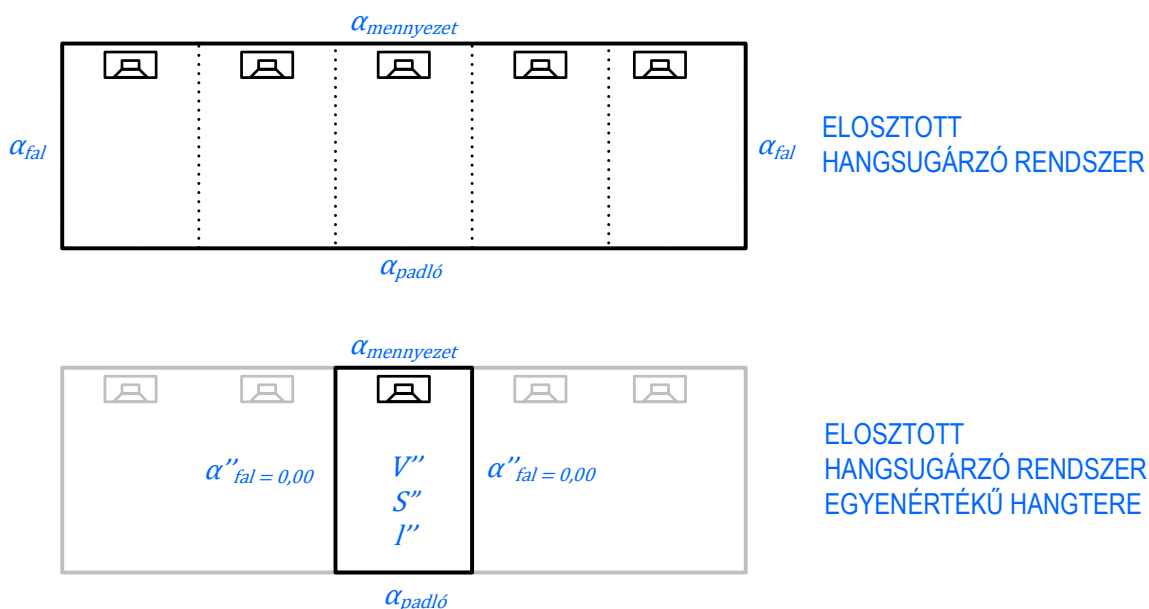
### 3.5.12. Elosztott hangsugárzó rendszerek

Elosztott hangsugárzó rendszerekben ugyanaz a hangjel a tér különböző pontjain egyidejűleg szólal meg (51. ábra). Elosztott hangsugárzó rendszerek például jellemzően a háttérzenei hangsugárzó rendszerek, stadionok, utastájékoztató rendszerek stb. A késleltetéssel és irányítottsággal korrigált hangsugárzó rendszerek nem tartoznak ebbe a csoportba.

Elosztott hangsugárzó rendszerekre ott van szükség, ahol nagy területet kell ellátni és a nagy terület egyetlen pontból nem belátható vagy a távolságok és csillapítások (távolság, levegő hangelnyelése) miatt aránytalanul nagy lenne a szükséges hangteljesítmény.

Az elosztott hangsugárzó rendszerek minőségének megítélésében az okoz félreértést, hogy a lefedettség még interferencia-hatásokkal együtt is viszonylag egyszerűen teljesül, viszont a hangtisztaságot jelentősen rontja, hogy a hallgatási pontokban többszörösen nagy késleltetéssel ismételve érzékelhető ugyanaz az akusztikus jel.

Az 57. ábra szemlélteti a helyzetet, miszerint egy szabályos raszterben elhelyezett hangsugárzókból álló elosztott rendszer megszólalása műszaki értelemben egyenértékű azzal, mintha csak egyetlen hangsugárzó működne egy a hangsugárzóhoz tartozó effektív térfogatú tökéletesen visszaverő falú helyiségben. Az elosztott rendszer többi hangsugárzóinak hatása ilyen esetben az oldalfali visszaverődések tükörforrásaiként foghatók fel.



57. ábra: Az elosztott hangsugárzó rendszer és az azzal egyenértékű hangtér.

Egy ilyen helyzetben a korábban megismert összefüggésekben a helyiség egészére jellemző adatok helyett az egyenértékű térfogatra vonatkozó adatokat kell használni. A közelítések egyszerű helyzetben (a helyiség mennyezetén egyenletesen elosztva  $n$  darab hangsugárzó működik) az alábbi összefüggéseket lehet használni:

$$V'' = \frac{V}{n} \quad (35a)$$

$$S'' = 2 \frac{L \cdot W}{n} + H \cdot 4 \sqrt{\frac{L \cdot W}{n}} \quad (35b)$$

$$\bar{l}'' = 4 \frac{V''}{S''} \quad (35c)$$

$$\alpha'' = \frac{\frac{L \cdot W}{n} (\alpha_{pado} + \alpha_{mennyezet})}{S''} + m \cdot \bar{l}'' \quad (35d)$$

ahol  $V$  a helyiség eredeti térfogata,  $L$  a helyiség hossza,  $W$  a helyiség szélessége,  $H$  a helyiség magassága.

A fentiek hatására a számított hangtisztasági mutatók romlanak. A tanulság az, hogy elosztott hangsugárzó rendszerben a lefedettség mindig a hangtisztaság és beszédérthetőség kárára javul.

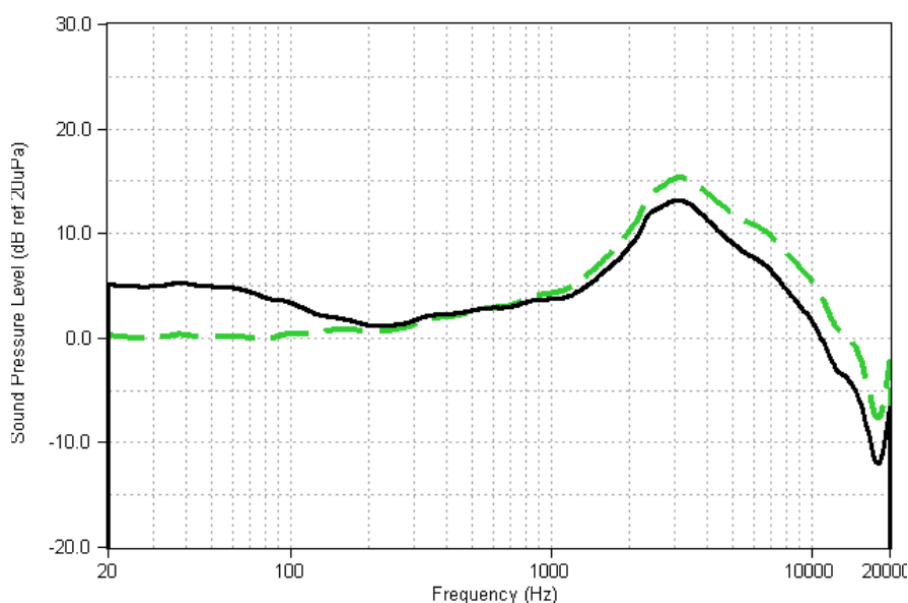
Hasonló a tendencia akkor is, ha nem teljesen egyenletesen helyezkednek el az elosztott hangsugárzók vagy ha a hangtér nem teljesen zárt (pl. stadionok lelátóinak hangosítása).

### 3.5.13. Fejhallgatók, fülhallgatók

A fejhallgatós (fülre tett hangszóró) és fülhallgatós (közvetlenül fülcsatornába vezetett) hallgatásokra jellemző, hogy a bal és jobb hangcsatorna egymástól biztonsággal elkülönül (binaural), a csatornák között nincs olyan áthallás, mint ami akár a közeltéri monitoroknál is normális.

A másik jellegzetesség, hogy a fej és a fülkagyló hatásával nem vagy másként kell számolni. A fülhallgatók esetében a fülcsatorna hatásával is másként kell számolni. Mindkét esetben komoly hatással van a hangszóró működésére a hangszóró előtti (hangszórótól dobhártyáig tartó) jellemzően zártnak tekinthető térfogat és a hangszóró mögötti térfogat (zárt vagy nyitott fejhallgató).

A fentiek eredményeként egyrészt a sztereó hangkép teljesen más, másrészt a hangszín-érzékelés is megváltozik. A hangszínérzékelés szempontjából kísérletek igazolták, hogy hangsugárzók esetén valóban a minimális ingadozású, minél nagyobb sáv szélességű átvitelt preferálják és találják természetesnek a hallgatók. A fejhallgatók esetén azonban lényegesen eltérő frekvenciamenetet tartanak semlegesnek a hallgatók. A kísérletsorozatok egyik ismert eredményét („Harman-görbe”) az 58. ábra mutatja, ami a dobhártyánál vett referenciaponton mért átvitelre vonatkozik.



58. ábra: A fejhallgatókra vonatkozó, kísérletek szerint semlegesnek ítélt hangzáshoz tartozó átvitel (fekete) a dobhártyánál vett referenciaponton (DRP), ami közel egyezik a hangsugárzóból mért átvittel (zöld), ld. [30].

A fejhallgatók és fülhallgatók esetében ezért a frekvenciaátvitelre vonatkozó követelmények és tolerancia értékelése eltér a hangsugárzóknál látottaktól és például az 58. ábrán látható átvitelhez lehet viszonyítani.

### 3.6. Az akusztikai erősítés, gerjedés

Ha a hangjel forrása és a hallgató azonos térben található és a hangrendszer feladata a hangjel felerősítése (hangosítás), a hangosított jel a mikrofon bemenetére jutva a visszacsatolás útján a rendszer gerjedését (feedback) okozhatja. A jelenség vizsgálatára használatos az akusztikai erősítés<sup>52</sup> fogalma, ami az elektroakusztikai megoldással hangosított (hangosabbá tett) és az eredeti hangjel viszonyát fejezi ki.

A nemzetközi szakirodalomban az akusztikai erősítéshez kapcsolódóan ismert alapfogalmak (59. ábra, ld. [21]):

- egyenértékű akusztikai távolság ( $EAD$  <sup>53</sup>): az az  $r_0$  távolság, aminél a hangjel forrása jól hallható elektroakusztikai rendszer (hangosítás) nélkül, figyelembe véve a szükséges pl. 15...25 dB jel/zaj viszonyt az adott háttérzaj mellett (tehát az  $r_0$  távolságban a hangforrásból származó hangnyomásszint legalább 15...25 dB-vel nagyobb, mint a háttérzaj);
- szükséges akusztikai erősítés ( $NAG$  <sup>54</sup>): az  $r_0$  egyenértékű akusztikai távolságban értelmezett jó hallhatósághoz szükséges erősítés a hangjel forrásától vett  $r_1$  távolságban:

$$NAG = 20 \cdot \log_{10} \frac{r_1}{r_0} \quad (18)$$

- nyitott mikrofonok száma ( $NOM$  <sup>55</sup>): a bekapcsolt és elméletileg a hangforrást azonos mértékben érzékelő mikrofonok száma
- visszacsatolás stabilitási határ ( $FSM$  <sup>56</sup>): a gerjedést okozó erősítéshez képesti tartalék (jellemző értéke beállított hangrendszer esetén 6 dB, beállíthatatlan hangrendszeren 12 dB)
- potenciális akusztikai erősítés ( $PAG$  <sup>57</sup>):

$$PAG = 20 \cdot \log_{10} \frac{r_1 \cdot r_L}{r_S \cdot r_2} - 10 \cdot \log_{10} NOM - FSM \quad (19)$$

<sup>52</sup> acoustic gain

<sup>53</sup> equivalent acoustic distance

<sup>54</sup> needed acoustic gain

<sup>55</sup> number of open microphones

<sup>56</sup> feedback stability margin

<sup>57</sup> potential acoustic gain

ahol  $r_L$  a mikrofon és a hozzá legközelebbi hangszugárzó közötti távolság,  $r_S$  a mikrofon és a hangforrás közötti távolság,  $r_2$  pedig a hallgató és a hozzá legközelebbi hangszugárzó és közötti távolság.

A fenti fogalmak és megközelítés szerint nem kell gerjedésre számítani, ha

$$PAG \geq NAG \quad (20)$$

59. ábra: Az akusztikai erősítést befolyásoló tényezők szemléltetése.

Ez a megközelítés a nemzetközi gyakorlatban annak ellenére használatos, hogy a tényleges viszonyokat nagyon leegyszerűsítve kezeli, gyakorlatilag a teremakusztikai hatásokat figyelmen kívül hagyva és a hangforrásokat egyszerű irányítatlan pontforrásnak kezelve.

### 3.7. Jelfeldolgozás

A processzálás vagy hangjel-feldolgozás célja lehet:

- korrekciós processzálás: a hangjel ismert hibáját (pl. hangszín) vagy problémáját (pl. dinamika) korrigáló beavatkozásnál a minőség megtartása vagy helyreállítása a cél
- kreatív processzálás: a hangjelet művészi célból módosító beavatkozások.

A hangjel processzálására számtalan konkrét megoldás, algoritmus és koncepció létezik, de alapvetően megkülönböztethetők a lineáris processzálás, a nemlineáris processzálás és ezek kombinációi.

A lineáris processzálásra példák:

- hangszínekorrekció (EQ, „equalizer” = kiegyenlítő) szűrés: a hangjel frekvenciataralma arányainak módosítása (HPF = felüláteresztő szűrő, LPF = aluláteresztő szűrő, BPF = sáváteresztő szűrő, PEQ = parametrikus equalizer, SEQ = shelving vagy „lepke” EQ, GEQ = grafikus EQ, „crossover” = keresztváltó szűrők)

- statikus késleltető alapú eljárások: késleltetők (delay), nem modulált zengetők.

A nemlineáris processzáásra példák:

- modulációs effektek: időben változó szűrés (pl. wah-wah), erősítés (tremoló) vagy késleltetés (pl. Chorus, Flanger, Ensemble, modulált zengető, pitch shifter, vibrato)
- statikus vagy modulált torzítás
- dinamikaprocesszálas: jeltartalomtól függő időben lassan változó erősítés (kompresszor, limiter, expander) a csúcstényező alakítására;
- komplex vagy egyedi algoritmusok (pl. formáns-korrigált pitch-shifter és Autotune).

A processzorok lehetnek önálló hardveres eszközök vonalszintű analóg vagy digitális bemenetekkel és kimenetekkel, saját kezelőfelülettel, modulációs és vezérlő bemenetekkel.

Egyre gyakrabban azonban a processzálas szoftveresen történik az eszköz (pl. keverő) szerves részeként (pl. parametrikus EQ, HPF, dinamikaprocesszálas stb.) vagy a számítógépen (DAW plug-in). A szoftveres alapú processzálas számításigényes feladatait dedikált külső hardver segítheti (pl. Waves Soundgrid, ProTools HDX).

A processzált jel („wet”) jel és az eredeti („dry”) jel aránya a kreatív processzálásnál hasznos, korrekciós processzálásnál és bizonyos esetekben (pl. szűrők) viszont mindig a processzált (azaz 100% wet) jelre van szükség.

A korrekciós processzálásnál a késés (latency) minimalizálása is szempont, míg a kreatív processzálásnál sokszor éppen a késések és késleltetések a hatás alapjai. Az is előfordulhat, hogy a műsorjel késleltetése ad lehetőséget a megfelelő beavatkozásra („look-ahead” processzálas).

### **3.8. Keverő, mátrix**

---

A hangrendszerekben a hangjel több forrásból származhat és több helyre lehet szükség ezeket eljuttatni. A hangjel útját (signal path, signal route) a rendszer célja és tényleges felhasználása szerint előre beállítva, felhasználó által állítható módon vagy akár automatizáltan kell tudni szabályozni. Azon kívül, hogy a rendszer elemeinek bemenetei és kimenetei között kapcsolatot biztosít („routing”), a keverő a hangjelek feldolgozásához is kereteket ad és integrál funkciókat.

A hangkeverők és mátrixok jellemzően a hangrendszerek központjai. A hangkeverők számos formában jelenhetnek meg, de csak asztali keverő vagy keverő felület formájában feltűnők.

A keverők általános felépítése (60. ábra):

- a bemeneti és kimeneti interfészek (I/F) feladata a mechanikai, elektromos- és adatformátum szerinti illesztés, hogy a hangjel kölcsönösen értelmezhető legyen;
- a bemeneti kondicionálás feladata (pl. szintezés, késleltetés, polaritásváltás, limitálás) hogy a különböző forrásokból származó hangok közel azonos minőségre és szintre legyenek hozva már a kreatív keverés (kimeneten kívánt hangerőarányok hangolása) előtt;
- a kreatív processzási funkciók (pl. hangszínszabályozó, dinamikaprocesszáls, zengetés stb., jellemzően „insert effect”) feladata, hogy a bemeneti vagy kimeneti jeleket a produkció igényei szerint alakítsák;
- a mátrix a bemenetek és kimenetek közötti kapcsolatot rendeli össze a jelek kapcsolásával, összegzésével és szintezésével;
- a kreatív processzáls (pl. hangszínszabályozó, dinamika-processzáls, zengetés) és a kimeneti kondicionálás (pl. monitorozáshoz, rögzítéshez stb.) a bemenethez hasonló funkciót láthatnak el.

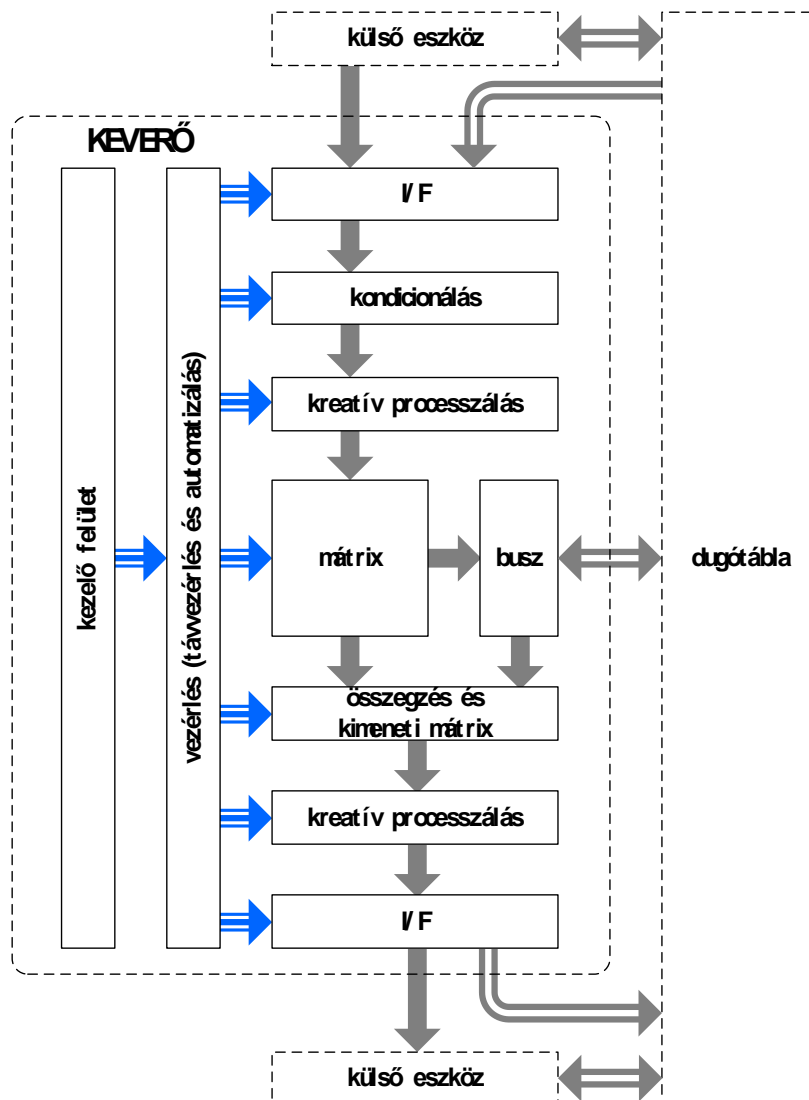
A keverők mellett szükségesek a csatlakozó felületek és dugótáblák is, hogy a külső eszközök a lehető legváltozatosabb módon tudjanak kapcsolódni.

A keverőkre leginkább sajátos eleme a mátrix. A legegyszerűbb mátrixban a bemenetek és kimenetek egyenrangúak. Hangsugárzó rendszerekhez a mátrix késleltetővel egészülhet ki („gain-delay matrix”).

Gyakran a keverők kitüntetett csatornákkal („buszok”) és csatlakozási pontokkal segítik a nagy számú hangforrás és eszközök közötti kapcsolatok átláthatóságát:

- insert: a hangútba közbeiktatható processzáls helye
- send, return: a külső processzáls bekötéséhez használt kimenet (send) és bemenet (return)
- group: hangjel-csoportok összevont kezelés buszok segítségével
- aux („auxiliary”) busz: lehetővé teszi bemenetek csoportosítását, kivezetését („aux send”) és visszavezetését („aux return”) a csatorna szintezés előtt (prefader) vagy után (post-fader) monitorozás vagy effektezés céljából
- kimeneti mátrix: a kimenetek csoportosítása különböző célú kimenetekhez (split, monitor, ügyelői műsorhang stb.).

Korszerű keverőkben a beavatkozás helye és a tényleges jelfeldolgozás fizikailag elkülönülhet (távvezérlés).



60. ábra: A keverők elvi felépítése és kapcsolódása a hangrendszer egyéb elemeihez.

### 3.9. Szintezési struktúra

A hanglánc elemeinél az erősítésekkel és szintezésekkel kell biztosítani, hogy a minél nagyobb jelszinteket engedve a jel/zaj viszony a lehető legjobb maradjon, de ne forduljon elő túlvezérlés és ehhez kapcsolódóan torzítás. Analóg eszközökben a zajosság és túlvezérléshez kapcsolódó torzítás változatos formákban, de digitális eszközökben jól kiszámítható módon jelenhet meg.

#### 3.9.1. Szintezés analóg láncon

A bemeneti érzékenység a névleges kimeneti szinthez vagy teljesítményhez tartozó bemeneti jelszintet fejezi ki, de alapértelmezés szerint szinuszos jelek effektív értékére

vonatkozik. A bemeneti érzékenységnak megfelelő, de nem szinuszos műsorjelek ezért rövid időkre túlvezérlést okozhatnak a bemeneteken. Az eszközök közötti szintezést ezért a kimeneti jelszint vagy a bemeneti érzékenység szabályozásával lehet megfelelően beállítani.

### 3.9.2. Szintezés digitális láncon

---

Digitális rendszeren belül a szóhosszak képviselik az ábrázolható dinamikatartományt, de a tényleges képességeket és korlátokat csak úgy lehet pontosan felmérni, ha a számábrázolás módja is ismert. Ezek nem csak készülékről készülékre lehetnek eltérők, hanem a készülékek közötti kapcsolatokban is. A bemenetek és kimenetek megfelelő szintezése ezért digitális rendszerekben is feladat.

Például a Dante Audio protokoll 32 bit fix pontos számábrázolású adatfolyamból egy 24 bitet fogadó eszközben a legkisebb helyiértékű 8 bit elhagyását jelenti, ami primitív kerekítésnek számít és nem megfelelő szintezésnél zavaró hibát okozhat. Az AES/EBU, ADAT és még sok más formátum többféle, de legfeljebb 24 bites fixpontos számábrázolással továbbítja a hangadatokat. A .wav fájlformátum 16, 24 vagy 32 bitet, fix és 32 bites lebegőpontos számábrázolást tud rögzíteni.

Az átjárás a különböző formátumok között nem feltétlenül veszteségmentes és végül a legszűkebb formátum lehet meghatározó. Az audio CD 16 bitet rögzít, ezért kritikus, hogy a legfontosabb 16 bit a legigényesebb kerekítéssel kerüljön a CD-re előkészített adatfolyamba.

### 3.9.3. A dinamikatartomány kezelése

---

A túlvezérlések elkerülése érdekében ismerni kell a műsorjel effektív értékét és csúcstényezőjét is. Ha csak az effektív érték ismert, a csúcstényezőt becsléssel, tartalékképzéssel lehet figyelembe venni.

A csúcstényező mesterségesen alakítható dinamikaprocesszálassal. Ha a felfutási idő kicsi, akkor a detektor a csúcsszintekre reagál és beállítástól függően csökkenti (kompresszor) vagy növeli (expander) a csúcstényezőt. A lassú felfutási idejű dinamikaprocesszálas a csúcstényezőt érdemben nem befolyásolja és inkább automatikus szintezésként (AGC) működik. A dinamikaprocesszálas szélsőséges esete vagy a nemkívánt jelek kizárásának módja a zajzár (gate) vagy az automatikus keverés (ha az erősítés vezérlő jele másik hangjelből vagy több hangjel összességéből származik, pl. automix, ducking).

Az effektív érték vagy a rövid idejű csúcstényező különböző időállandójú vagy ballisztikájú szintmérőkkel közelíthető (ld. PPM és VU mérők). A valódi csúcstényező

(true peak) vizsgálata és értékelése valós idejű rendszerekben csak utólag vagy időkésések megengedésével („look-ahead processing”) történhet.

### **3.10.Zavarvédelem**

---

A zavarvédelem célja az üzemszerű működés fenntartása és a zavaró jelek leválasztása a hasznos jelekről.

#### **3.10.1.Tápellátás**

---

Az üzemszerű működés alapfeltétele a megfelelő tápellátás biztosítása. A tápellátás stabilitását (feszültségingadozások, feszültségkimaradás stb.), zavarvédelmét (szűrés, túlfeszültségvédelem stb.) a vonatkozó szabványok szerint az erősáramú szakág méretezi.

#### **3.10.2.Árnyékolás, földelés, nyomvonalak**

---

Az árnyékolás célja, hogy a jelvezetékben külső elektromágneses zavarok hatására ne jöjjön létre zavarjel. Az árnyékolást (Faraday-kalitka) a fém készüléktest és annak folytatásaként a kábelek árnyékolása biztosítja. Ehhez az árnyékolást mindkét végén a készüléktesthez kell kötni ([AES48-2019], [28]).

Ha a két készüléktest a védőföldelésen keresztül is össze van kapcsolva, a két eltérő nyomvonalból kialakul a földhurok, ami az elektromágneses zavart a jelföldelésen keresztül a hasznos jelben is megjeleníti. A földhurok teljes megszakítása („ground lift”) nem biztonságos megoldás (az árnyékolás hosszú nyomvonalon antennaként működhet, ld. SCIN<sup>58</sup>), ezért például a bemeneten az árnyékolás egy kis kapacitással köthető be.

Az árnyékoláson felül a szimmetrikus jelvezetés is segít a készülékek közötti kapcsolatokat zavaró hatások kiszűrésében. A szimmetrikus jelátvitel zavaraszűrő képességét a jelátvitelben megjelenő közös móduszú (azonos fázisú) zavar csillapítása (CMRR – common mode rejection ratio) fejezi ki. Például egy 200 mV (-11,8 dBu) zavarfeszültség -90 dBu szintre csökkentéséhez 78,2 dB CMRR szükséges. A közös móduszú elnyomás frekvenciafüggő, nagyobb frekvenciák felé csökken. A transzformátoros leválasztás kisfrekvenciás tartományban hatásos (akár >100 dB <100 Hz), míg megfelelő nagyfrekvenciás elnyomáshoz a bemeneti kapacitások szimmetriáját kell pontosan trimmelni.

---

<sup>58</sup> shield-current induced noise

A digitális jelátvitelben az optikai kapcsolatokkal lehet garantálni az átvitel zavarvédeltségét.

A nyomvonalak kialakításában a szükséges keresztmetszetek a kábelek darabszámából és átmérőjéből számolhatók (pl. [29] szerint 1 db kábel legfeljebb 53%, 2 db kábel legfeljebb 31%, 2-nél több kábel legfeljebb 40% keresztmetszetet tölthet ki).

A nyomvonalak tervezésénél figyelembe kell venni a nyomvonalak bonthatósága, hozzáférhetősége, mechanikai védelme, az épületszerkezeti áttörések tömítései (tűzvédelem, léghanggátlás) szempontjait is.

### **3.11.Vezérlés, szinkronizálás**

---

A korszerű hangrendszerekben a hangjel feldolgozása és a feldolgozás működését befolyásoló paraméterek és beállítások felületei egymástól elválaszthatók és így lehetőség van a működés távirányítására, szinkronizálására, automatizálására, valamint ezekkel összefüggésben más rendszerek (pl. világítás, fénytechnika) funkcióinak összerendelésére, különböző rendszerek kezelőszerveinek integrációjára.

A távfelügyelet, vezérlések, szinkronok információinak átvitelére számtalan fizikai és logikai formátum fordul elő. A leggyakrabban előforduló típusok fejlettség szerint:

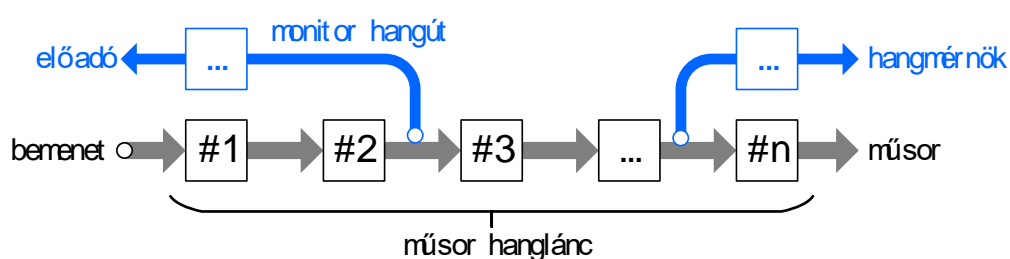
- közvetlen relés kontakt kapcsolat
- GPI (general purpose interface): párhuzamos kontakt interfész, ki/bekapcsolások vezérlése
- IR (infravörös): egyirányú soros kapcsolat
- MIDI (musical instrument digital interface): egyirányú soros kapcsolat, kifejezetten elektronikus hangszerekre kifejlesztve, de általános célú hang- és fénytechnikai berendezések távvezérlésére, idő kód továbbítására is alkalmas;
- RS232, RS-422, RS-485: kétirányú általános célú soros kapcsolat, utasítások és lekérdezések
- USB: általános célú nagy sebességű soros adatátvitel rövid távolságokra
- Bluetooth RF: általános célú nagy sebességű RF vezeték nélküli adatátvitel rövid távolságokra
- TCP/IP: számítógépes hálózati (LAN, WAN) protokoll, csomagkapcsolt, nagysebességű adatátvitel

Összetettebb rendszerek vezérléseinek, az előre beállított jelenetek vagy helyzetek kezelésének (pl. email-értesítés) és felismerésének (pl. jelenlétérzékelő), a különböző

eszközök állapotinak lekérdezése és eredményeinek bemutatása feladata az érintett szakágak rendszereit összefogva akár önálló kivitelezői szakágnak is tekinthető.

### 3.12. Monitorozás

A monitor hangrendszerek feladata a hangjel megfigyelése vagy megmutatása az alkotók, a technikusok vagy előadók számára a produkció támogatása vagy a hangjel minőségének ellenőrzése. A monitor hangrendszer ezért a hangjel útjának választott pontjáról vett hangot mutat meg (61. ábra).



61. ábra: A monitorozás helye a produkcióban.

A legegyszerűbb monitorozási lehetőség a hangjel meglétének vagy szintjének ellenőrzése.

Az eredmény vagy várható eredmény meghallgatása is monitorozás. Ez az egyszerű fejhallgatós behallgatás vagy a stúdiókban megismert referencia monitor hangsugárzó rendszer is lehet.

Az előadó számára visszaadott hangjel akár előadónként eltérő módon kevert hangjel szólalhat meg:

- a monitor hangsugárzó rendszerben (55. ábra)
- vezetékes fejhallgatóban
- vezeték nélküli fülhallgatóban (IEM azaz in-ear monitor rendszer).

Az előadó monitorjele lehet zenei műsorhangjel visszaadás (foldback monitor) vagy csak az előadásban résztvevők szinkronizálását segítő műsor hangjel (cue monitor). Nagyobb produkcióknál az előadóknak szánt hangjeleket külön technikus keveri (pl. színpadi monitor keverőállás) vagy az előadók maguknak állítják be a számukra legalkalmasabb arányokat (personal monitor).

A hangmérnök vagy technikus mérheti a hangjelet (pl. mérőhíd) vagy meghallgathatja a hangjelet fejhallgatón vagy saját monitor hangrendszeren.

A referencia (viszonyítási alapként használt) monitor hangsugárzó rendszer általában kisebb teljesítményű, mert kisebb távolságból kell hallgatni és csak a hangtechnikus pozíciójára kell optimalizálni. Ha a távolság kisebb, mint a teremakusztikai közeltér/távoltér határa, akkor közeltéri monitor (near-field monitor) hangsugárzóról beszélünk. Ha a távolság közel azonos, akkor mid-field monitor, ha nagyobb akkor távoltéri (far-field) monitor hangsugárzó rendszerről beszélünk. Minél távolabbról történik a monitorozás, annál nagyobb teljesítményű és méretű a hangsugárzó. A monitorozás referencia körülményeit az [EBU 3276] ajánlás rögzíti.

Nagyobb létesítményekben a hangmérnök úgy tud a nézők számára legjobb hangzást keverni, ha azt hallja, amit a nézők, tehát a keverő felület és az ahhoz tartozó munkaterület az építészeti szempontokkal ütközve a nézőtéren van (FOH<sup>59</sup>). A vezérlő pozíció korszerű keverőrendszereknél mobil kezelőfelülettel, távvezérlővel kiegészítve könnyen változtatható.

### 3.13. Vészeseti szempontok

---

Az érzékelések közül a hallásnak és tapintásnak kitüntetett szerepe van. A levegő és a testünkkel érintett szerkezetek a rezgések átadásával közvetítenek információt az akusztikus eseményekről és a környezet minőségéről is. Az akusztikus események jellege, távolsága, iránya minden irányból és bőven látótávolságon túlról azonosítható.

Ez a képesség nem csak az élményszerzésben és kommunikációjában, hanem a veszély-érzékelésben is meghatározó.

A vészeseti rendszerek működésében meghatározó szempontok:

- kommunikáció: jelzés vagy szöveges információ
- rendelkezésre állás, stabilitás, robusztusság, redundanciák
- üzemállapot monitorozása, távfelügyelete
- kapcsolat más vészeseti rendszerekkel.

A hazai előírás ([OTSZ] hangjelzést és hangbemondást különböztet meg. Arról, hogy melyiket milyen esetben és hogyan kell alkalmazni, az [OTSZ] rendelet, hatósági előírás és a tűzvédelmi terv dönt.

Ha csak a hangjelzést kell biztosítani, akkor a hangrendszer B-láncának méretezésénél elegendő a hangjelzés hallhatóságát ellenőrizni.

---

<sup>59</sup> front of house

Ha hangbemondás kell biztosítani, akkor a hangrendszer B-láncának méretezésénél a hallhatóság mellett a beszédérthetőséget kell ellenőrizni. A beszédérthetőség ellenőrzésénél az STI mértéket lehet használni, a háttérzaj és a maszkolási hatások figyelembevételével, speciális esetben az idegennyelvűsége vagy halláskárosodásra vonatkozó korrekciókkal (ld. MSZ EN 60268-16).

A vészeseti hangosítási rendszerek működését legalább 30 perc hosszan kell tudni fenntartani biztosítani és a rendszer üzemállapotát, rendelkezésre állását időszakos vizsgálatokkal, távfelügyelettel kell garantálni.

## 4. A tervezés, szakértés folyamata

---

A hangrendszerek életciklusa más gyengeáramú rendszerekhez hasonló. Meghatározza a szereplők felkészültsége, a jogi környezet, a technológiai fejlődés és a rendeltetésszerű használatból eredő elhasználódás.

Ebben a fejezetben a főbb szempontokat és ajánlásokat vizsgáljuk a teljes életciklus döntéshozatal szempontjából meghatározó pontjain:

- specifikáció
- tervezés
- kivitelezés
- üzemeltetés.

A fejezetben leírtak egyéb előírás hiányában részben szakmai ajánlásnak tekinthetők, más részük (jogosultságok, etikai szempontok) létező előírásokban szerepelnek.

### 4.1. Specifikáció

---

A specifikáció, azaz a követelmények megfogalmazása elsősorban megrendelői feladat, de ebben a bevont szakértők is segíthetnek. A követelményeket két csoportra kell osztani, amiknek egymással arányban kell állni:

- funkcionális és üzemeltetési igények
- műszaki követelményrendszer.

A funkcionális és üzemeltetési igények szükségesek a rendszerek azonosításában, elhatárolásában, a fő kapacitások meghatározásában. Itt figyelembe kell venni a létesítmények, állandó funkciók jellemző igényeit, a befogadó építészeti infrastruktúra adottságait és korlátait egyaránt.

A műszaki követelményrendszer meghatározása olyan szempontból egyszerűbb feladat, hogy a műszaki színvonal rendszerint a költségekkel arányban áll, így a rendelkezésre álló költségkeret a műszaki színvonal meghatározásában irányt adhat. A mai technológiai lehetőségek mellett sokszor a műszaki színvonal nem elsősorban az átviteli jellemzők és hangminőség, hanem sokkal inkább a stabilitásról, megbízhatóságról, tartósságról, a gyártói vagy forgalmazói rendelkezésre állásról szól.

Az ajánlott gyakorlat szerint a beépülő és várhatóan hosszabb távon nem változó, valamint az infrastruktúra szempontjából kritikus műszaki tartalom esetében nem

ajánlott már a specifikációban korlátozni a műszaki színvonalat és kapacitásokat. A könnyen cserélhető, bővíthető, konfigurálható, kevésbé helyszín-specifikus elemek esetében engedhetőbb meg az ilyen a kompromisszum.

Tapasztalat alapján az alábbi fontosságban csökkenő sorrend állítható fel:

- a kábelezés, csatlakozó felületek: sem a vezetékek számában, sem a vezetékek minőségében nem ajánlott kompromisszumokat keresni, mert a kábelezés és a csatlakozó felületek a legnehezebben cserélhető rendszerelemek
- b hangsugárzók (B-lánc): a hangsugárzók technológiája évtizedek alatt sem változik lényegesen és a hangsugárzók az építészeti környezetbe szervesen illeszkedő, az akusztikai környezethez megfelelően választott, rendszerin nagy értékű és nehezen cserélhető rendszerelemek
- c mikrofonok, előerősítők: a mikrofonok technológiája évtizedek alatt sem változik lényegesen, a hangrendszerbe bekerülő hang minőségéért felelnek, ezért csak annyiban érdemes kompromisszumra törekedni, hogy a mikrofonok és az előerősítők is általában könnyen cserélhető rendszerelemek
- d mátrix, routing, processzálás, rögzítők és bejátszók formátumai, távvezérlés és szinkron formátumai eltérő ütemben, de még viszonylag gyorsan fejlődnek és ha a fejlődés a fenti pontokat nem érinti, ezek az elemek viszonylag könnyen cserélhetők.

## **4.2. Tervezés, szakértés feltételei**

---

A tervező és szakértő feladata a megrendelő (építtető vagy intézmény) érdekeinek szakmai képviselete és a műszaki megoldás szakszerű kommunikációja tervdokumentáció és szakvélemények formájában.

Tervezői vagy szakértői tevékenységet folytatni Magyarországon a 266/2013. kormányrendelet szerint tervezni csak Magyar Mérnöki Kamarai (MMK) Tagsággal és a szakágra jellemző jogosultsággal megengedett.

Létesítményen belüli hangrendszerekhez kapcsolódó tervezői vagy szakértői feladatokat 266/2013. kormányrendelet szerint AVT azaz „audiovizuális rendszerek tervezése” szakterület vagy V azaz „Építményvillamossági tervezési” szakterület) láthat el.

A dokumentációk és tervfajták a feladat vagy a beruházás állapota függvényében az alábbiak közül kerülnek ki:

- **tanulmányterv, koncepcióterv, vázlat**
- **engedélyezési terv**
- **ajánlatkérési terv**
- **kiviteli terv**
- **megvalósulási dokumentáció**
- **szakvélemény**
- **tanácsadás, konzultáció**

A tanácsadás (vagy konzultáció) a szakvéleményhez hasonló célú dokumentáció, konkrétan megfogalmazott szakmai kérdésre adott válasz, de a hitelesség igazolásához szükséges dokumentációs részletek igénye nélkül.

Ha ismert, hogy a koncepcióterv, jóváhagyási terv vagy engedélyezési terv a kivitelezők ajánlatkérésének műszaki tartalma (pl. „design & build” konstrukció) lesz, a követelményeket az adott tervfajtnál meghatározott elemeken túl olyan részletezettséggel kell dokumentálni, hogy az elvárt minőség az építtető és a kivitelező számára is egyértelműen, későbbiekben számonkérhető módon legyen rögzítve. Ilyen helyzetben javasolt már olyan instrukciókat is a tervbe foglalni, amik a kivitelezés közbeni vagy kivitelezést követő minőség-ellenőrzés lépéseit vázolják.

### **4.3. Javasolt tervtartalom**

---

A fenti tervek, dokumentációkra vonatkozó tartalmi elvárásokról hatályos szakmai ajánlás Magyarországon egyelőre nem létezik, ezért az alábbiakban a kapcsolódó szakágakra már létező vagy nemzetközi gyakorlatban előforduló analógiák alapján foglaljuk össze a legfontosabb jellemzőket.

#### **4.3.1. Általános szempontok**

---

A terv lényegében a megrendelő igényeinek átfogalmazása műszaki nyelvre. A specifikáció akkor korrekt, ha a rendszer egésze szempontjából lényeges műszaki és funkcionális elvárásokat jól írja körül és kizárja azokat a megoldásokat, amik műszaki vagy funkcionális szempontból nem fogadhatók el.

A terv hiányos vagy hibás, ha ezeket a feladatokat nem látja el, mert például túl laza és ezzel gyenge műszaki tartalmat is megenged. Hibás a terv akkor is, ha olyan

szempontokat is előír, aminek a műszaki igények szempontjából nincs valódi jelentősége, viszont alkalmas arra, hogy a műszaki szempontból már elfogadható és esetleg más objektív szempontból alkalmasabb (gazdaságosabb, egyéb funkciókban jobb stb.) megoldást zár ki. Hibás az a terv is, ami nem teszi lehetővé a különböző megoldások (ajánlatok) objektív összehasonlíthatóságát, például mert olyan elvárást támaszt, ami szabványban nem szerepel és így pontosan nem értelmezhető vagy szinte senki sem publikál.

A terv megfelelőségéért a felelősséget ezért megfelelő jogosultsággal és tapasztalattal rendelkező, a megvalósításban vagy beszerzésben gazdaságilag nem érdekelt szakértőre vagy tervezőre kell bízni.

Az üzemeltetésben előforduló és a fellépők igényeit felsoroló „rider” vagy a „rider-kompatibilitás” nem tekinthető műszaki specifikációnak, mert az csak a fellépők vélt, feltételezett vagy jellemző műszaki igényeinek való megfelelés körülírása eszközlista, preferált gyártók listája megadásával.

#### **4.3.2. A szakmai dokumentációk minimális tartalma**

---

A szakmai dokumentációk mindenkori minimális tartalma:

- tervjegyzék, műszaki leírás esetén tartalomjegyzék
- megrendelő adatai
- a dokumentáció tárgyának adatai, a terv területi hatálya
- a dokumentáció fajtájának és céljának meghatározása
- a dokumentáció céljából lényeges adottságok rögzítése
- az alkalmazott rendeletek, szabványok, szakmai előírások, nemzetközi ajánlások, publikációk felsorolása, az alkalmazás súlyának és jellegének (normatív vagy informatív) megjelölésével
- nyilatkozat arról, hogy a terv vagy vizsgálat célja teljesül, milyen bizonytalanságokkal teljesül, milyen okból nem teljesül
- nyilatkozat a szerző(k) és felelős tervező vagy szakértő személyéről
- nyilatkozat a felelős tervező vagy szakértő jogosultságáról és annak érvényességéről.
- nyilatkozat a felelős tervező vagy szakértő elfogulatlanságáról (ld. MMK Etikai kódex)
- nyilatkozat a dokumentáció felhasználhatóságáról (szerzői és felhasználási jogok)

Ha ismert, hogy a koncepcióterv, jóváhagyási terv vagy engedélyezési terv a kivitelezők ajánlatkérésének műszaki tartalma (pl. „design & build” konstrukció) lesz, a

követelményeket az adott tervfajtánál meghatározott elemeken túl olyan részletezettséggel kell dokumentálni, hogy az elvárt minőség az építető és a kivitelező számára is egyértelműen, későbbiekben számonkérhető módon legyen rögzítve. Ilyen helyzetben javasolt már olyan instrukciókat is a tervbe foglalni, amik a kivitelezés közbeni vagy kivitelezést követő minőség-ellenőrzés lépéseit vázolják.

Ha a terv nem önálló terv, hanem más szakágakkal közösen egy tervdokumentáció része (pl. szakági tervfejezet), a tervben nyilatkozni kell arról, hogy:

- ha a terv méretezési eredménye más tervben jelenik meg
- a terv a tervcsomag egyéb terveivel összhangban készült és ellentmondás esetén melyik szempontból melyik terv a meghatározó.

A felelős tervező által elfogadott, jóváhagyott dokumentációkat az aláírásával hitelesíti. Ez a megállapítás más szakágak tervpecsétjein szereplő aláírások esetén is igaz. Nem ajánlott a szkennelt aláírás közzététele, mert a szkennelt aláírás ellenőrizetlen felhasználásával olyan látszatot lehet kelteni, mintha a tervet minden aláíró látta vagy jóváhagyta volna, tehát mintha a tervért felelősséget vállalna és a felelősségen osztozna.

### **4.3.3. Konceptcionális terv, tanulmányterv, vázlaterv**

---

A tanulmányterv, koncepcióterv vagy vázlaterv hangrendszerekről szóló munkarésze a megrendelői, vagy tervezői döntés megalapozásához szükséges kidolgozottsággal tartalmazza a vizsgált elektroakusztikai kérdéskörben érintett szempontokat, valamint a szükséges építészeti, elektromos és akusztikai feltételeket.

Ajánlott tervtartalom a fentiekben felül:

- üzemállapotok azonosítása, megnevezése
- fő funkcionális igények megnevezése
- fő funkcionális igények megvalósításához szükséges fő rendszerek azonosítása, megnevezése
- fő rendszerek alapkövetelményeinek rögzítése
- alrendszerek azonosítása, megnevezése
- fő rendszerek és alrendszerek koncepcionális kapcsolódásai (rendszertechnikai vagy helyiségkapcsolati ábrák)

### **4.3.4. Engedélyezési terv**

---

Az engedélyezési tervdokumentáció hangrendszerekről szóló munkarésze az engedélyezési hatósági döntés megalapozásához szükséges kidolgozottsággal

tartalmazza a vizsgált elektroakusztikai kérdéskörben érintett szempontokat, szerkezeteket, építményeket, létesítményeket.

Ha a hangrendszer életvédelmi célokat is szolgál (pl. vészeseti hangrendszer) vagy kifejezetten beszédcélú hangrendszernek számít, akkor a vonatkozó szabványok követelményeit hatóság előírhatja, a követelményektől való eltérést komolyabban kell indokolni.

Ajánlott tervtartalom a koncepcionális terv tervtartalmán (ld. 4.3.3.) felül:

- üzemállapotok környezeti hatásának vizsgálata és nyilatkozat a létesítmény környezetére vonatkozó előírások (pl. környezeti zajterhelés) teljesülésének feltételeiről (ha alkalmazható)
- nyilatkozat a vészeseti működés, akadálymentesség, energiahatékonyság stb. előírásoknak való megfelelésről (ha alkalmazható)

#### **4.3.5. Ajánlatkérési terv**

---

Az ajánlatkérési terv a létesítmény megvalósításához szükséges feladatok várható költségeinek megállapítására, a megvalósításról szóló megállapodás műszaki tartalmának rögzítésére alkalmas dokumentáció.

Az ajánlatkérési terv elkészítésénél figyelembe kell venni az ajánlatkérési folyamatra jellemző egyéb előírásokat is, mint például a közbeszerzésekről szóló 2015. évi CXLI. törvény.

Ajánlott tervtartalom az engedélyezési terv tervtartalmán (ld. 4.3.4.) felül:

- fő rendszerek, alrendszerek rendszerszintű specifikációja
- eszközszintű specifikáció
- legalább egyvonalas kapcsolási rajz az eszközök és az eszközök közötti kapcsolódást biztosító elemek azonosíthatóságával (ld. ANSI-J-STD-710)
- az eszközök vagy eszközcsoportok helyének, hangsugárzók esetén irányok jelölése legalább alaprajzokon, szükség esetén metszeteken
- a rendszer elemeinek telepítésére vonatkozó előírások (vázlatrajzok)
- tételes kiírás
- nyilatkozat egyenértékűség, alternatív megoldások elfogadhatóságának műszaki feltételeiről
- költségbecslés (ha megrendelő igényli)
- a megvalósítás műszaki megvalósítását befolyásoló tényezők (vállalási határok, garanciális feltételek, üzemeltetést segítő szolgáltatások feltételei stb.) meghatározása (ha más dokumentumban nem szerepel)

Az ajánlatkérési dokumentációban nem helyes az olyan gyakorlat, ami

- olyan műszaki követelményeket ír elő, amik nem ellenőrizhetők (pl. mert az adott műszaki paraméter nem elterjedten használt) vagy amik a szakági méretezés szempontjából lényegtelenek;
- olyan módon határozza meg a termékjellemzők minimálisan elvárt követelményeit, ami alapján alternatív megoldás nem azonosítható vagy egyenértékűség nem állapítható meg objektív módon;
- csak és kizárólag gyártmány és típus meghatározást dokumentál, de nem részletezi a szakági méretezés szempontjából lényeges vagy az egyenértékűség megállapítására használható műszaki paramétereket.

#### 4.3.6. Kiviteli terv

---

A kiviteli terv a tervezett létesítmény kivitelezésre alkalmas dokumentációja, ami a tervezés tárgyának megvalósításához minden olyan részletet meghatároz, ami az általánosan elvárható kivitelezői gyakorlatban vagy a hivatkozott gyártmányok és szerkezetek, illetve anyagok alkalmazástechnikai előírásaiban nincs dokumentálva, nem elvárható szakismeret, nem közismert tény, vagy nem nyilvánosan hivatkozható és hozzáférhető információ.

Ajánlott tervtartalom az ajánlatkérési terv tervtartalmán (ld. 4.3.5.) felül:

- legalább egyvonalas kapcsolási rajz az eszközök és az eszközök közötti kapcsolódást biztosító elemek azonosíthatóságával és a kapcsolódási pontok (kimenetek, bemenetek) megnevezésével
- kimutatás a kábelezés, nyomvonal azonosításával a kábelezés, nyomvonal műszaki feltételeiről
- nyomvonalak feltüntetése alaprajzokon
- műszaki leírás kiegészítése a kivitelezésre, megvalósításra, átadás-átvétel módjára, a teljesítés műszaki feltételeinek ellenőrzésére vonatkozó instrukciókkal
- részletes tételes eszközkiírás a gyártmányok, típusok feltüntetésével

#### 4.3.7. Megvalósulási dokumentáció

---

A megvalósulási dokumentáció a megvalósult állapotot rögzíti, ideértve a korábban elfogadott tervektől való esetleges eltérések okait és körülményeit, hatásait, a ténylegesen elért (méréssel ellenőrzött) minőségi jellemzőket, valamint a megvalósult állapot fenntartásához szükséges instrukciókat.

A megvalósulási dokumentáció javasolt tartalma:

- a megvalósult állapot szakági leírása (ld. kiviteli terv tervtartalom),
- a korábban elfogadott tervek, tervtől eltérő megállapodásra való hivatkozások,
- a korábban elfogadott tervektől való esetleges eltérések okai és körülményei, hatásai
- a ténylegesen elért (méréssel ellenőrzött) minőségi jellemzők (mérési, átadási jegyzőkönyvek)
- a megvalósult állapot fenntartásához szükséges instrukciók
- részletes tételes eszközlista, sorozatszámokkal (ahol értelmezhető)

Hangrendszerek esetén a megvalósulási dokumentáció kiemelten fontos eleme az ellenőrző és beállító mérésekről szóló jegyzőkönyv, a beállított állapotok rögzítése (pl. processzorok beállításai, akár elektronikus melléklettel).

#### **4.3.8. Szakvélemény**

---

A szakvélemény konkrétan megfogalmazott szakmai kérdésre adott hiteles szakértői válasz dokumentáció. Alapelv szerint a szakvéleményben ezért minden olyan adatot rögzíteni kell, ami a szakvélemény megállapításának ellenőrzésére, a számított eredmény rekonstrukciójára alkalmas. Ha ezt az elvi feltételt nem teljesíti a dokumentáció, akkor a szakvélemény nem tekinthető hitelesnek.

#### **4.3.9. Tanácsadás, konzultáció**

---

A tanácsadás (vagy konzultáció) a szakvéleményhez hasonló célú dokumentáció, konkrétan megfogalmazott szakmai kérdésre adott válasz, de a hitelesség igazolásához szükséges dokumentációs részletek igénye nélkül. A kidolgozottság mértéke változó, de a felmerült kérdésre vonatkozóan a tervekhez vagy szakvéleményhez hasonlóan határozott állásfoglalást kell dokumentálni.

### **4.4. Kapcsolat más szakágakkal**

---

Az akusztikai környezet kérdésében jellemzően kapcsolódó szakágak:

- épületakusztika: helyiségen belüli vagy helyiségek közötti akusztikai hatások
- környezetvédelem: kültéri vagy kültérre jutó akusztikai hatások.

Az eszközök és rendszer-elemek kérdésében jellemzően kapcsolódó szakágak:

- építészet, belsőépítészet: elhelyezhetőség, látszó elemek megjelenése,

- statika: függesztések és támasztások állékonysága
- épületakusztika: függesztések, támasztások szerepe a zavarátvitelben
- erősáram: tápellátás, zavarvédelem, nyomvonalak
- gyengeáram, informatika: vezérlés és szinkronizálás, adatátvitel, nyomvonalak

Az érzékelések közül a hallásnak és tapintásnak kitüntetett szerepe van. A levegő és a testünkkel érintett szerkezetek a rezgések átadásával közvetítenek információt az akusztikus eseményekről és a környezet minőségéről is. Az akusztikus események jellege, távolsága, iránya minden irányból és bőven látótávolságon túlról azonosítható. Ez a képesség a veszély-érzékelésben, a kommunikációban és az élményszerzésben is meghatározó.

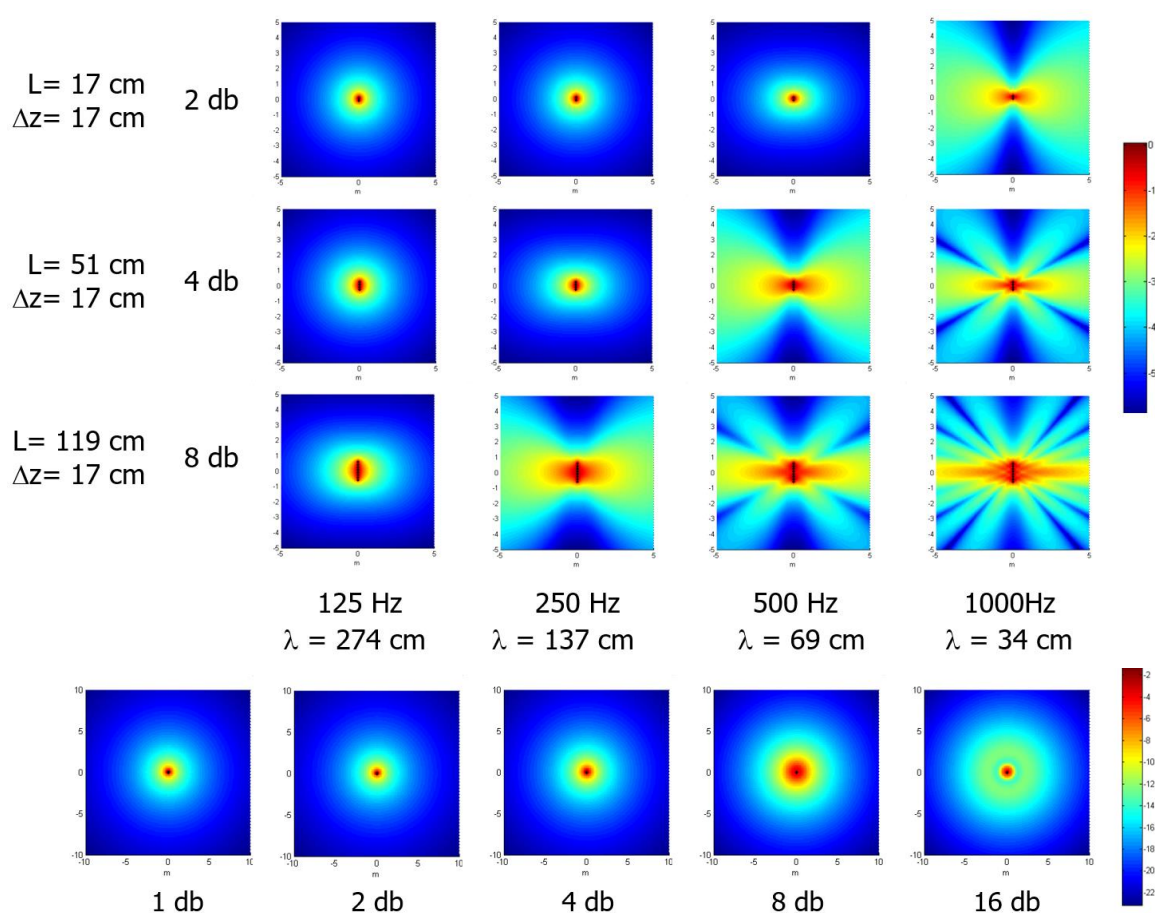
## 5. Melléklet: Line array elrendezések hangtere

Az alábbi ábrásorozat a line-array hangsugárzó elrendezések hangterét szemlélteti az alábbi szempontok szerint:

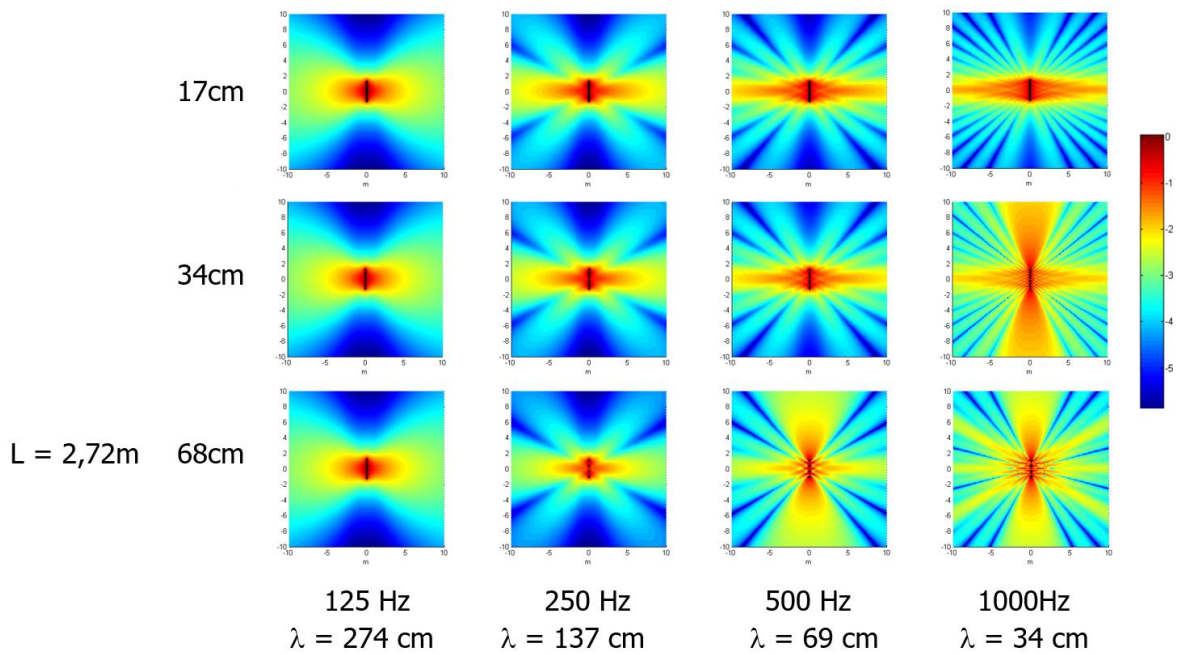
- az array-ben működő hangsugárzók darabszámának hatása
- az array-ben működő hangsugárzók egymáshoz képesti távolságának hatása
- az array-ben működő hangsugárzók irányítottságának hatása
- az array geometriájának hatása (hangsugárzók szögének változtatása)
- az array elemei közötti hangerőszabályozás hatása („gain tapping”)
- az array elemei közötti késleltetés hatása („delay tapping”).

Az ábrásorozat az interferenciahatást szemlélteti, a színskala egysége dB.

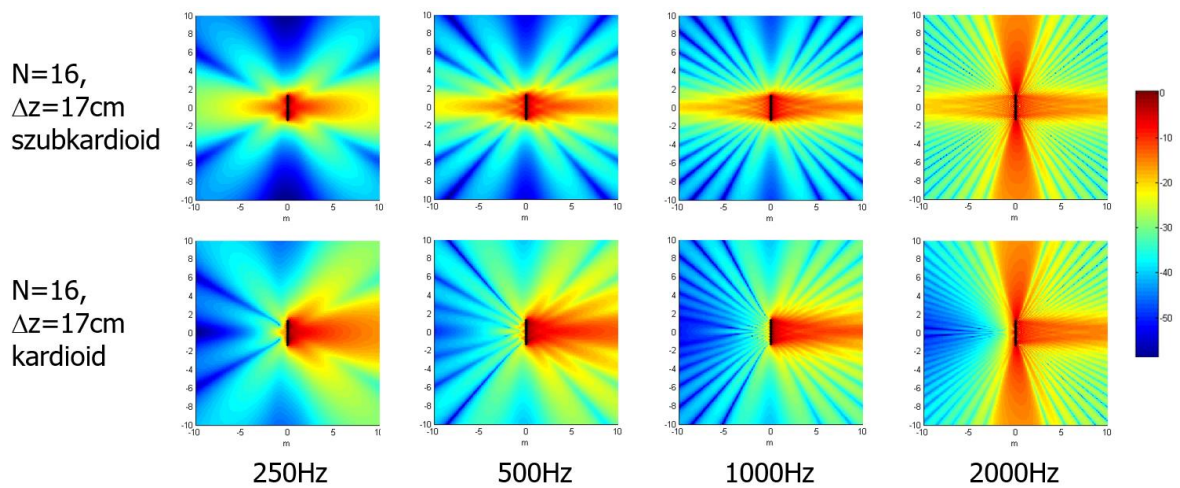
A hatás a reciprocitás elvei szerint a mikrofonom és érzékelők azonos elrendezésének (pl. mikrofonom-tömb) érzékenysége is igaz.



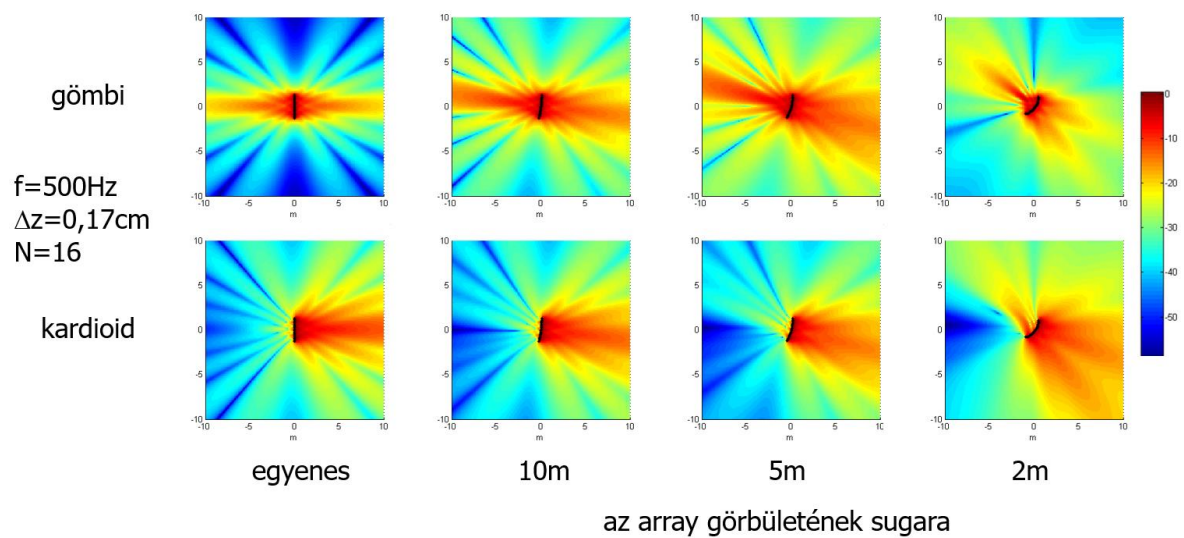
5-1. Line-array működése: az array-ben működő hangsugárzók darabszámának hatása (felső ábrásor: függőleges hosszanti sík mentén; alsó ábrásor: vízszintes sík mentén)



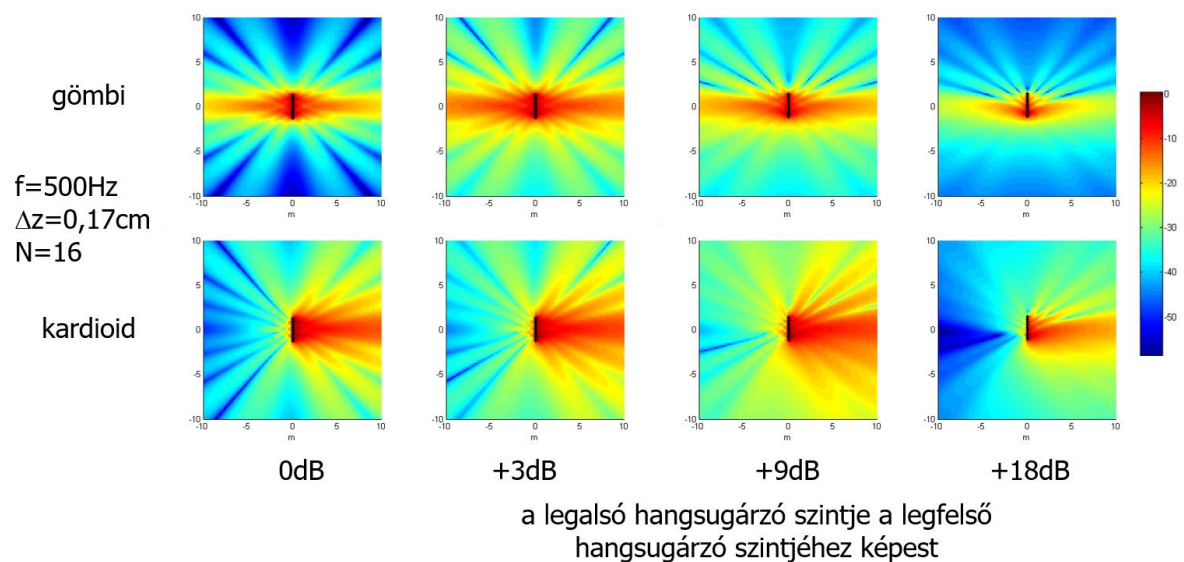
5-2. ábra: Line-array működése: az array-ben működő hangsugárzók egymáshoz képesti távolságának hatása (függőleges hosszanti sík mentén).



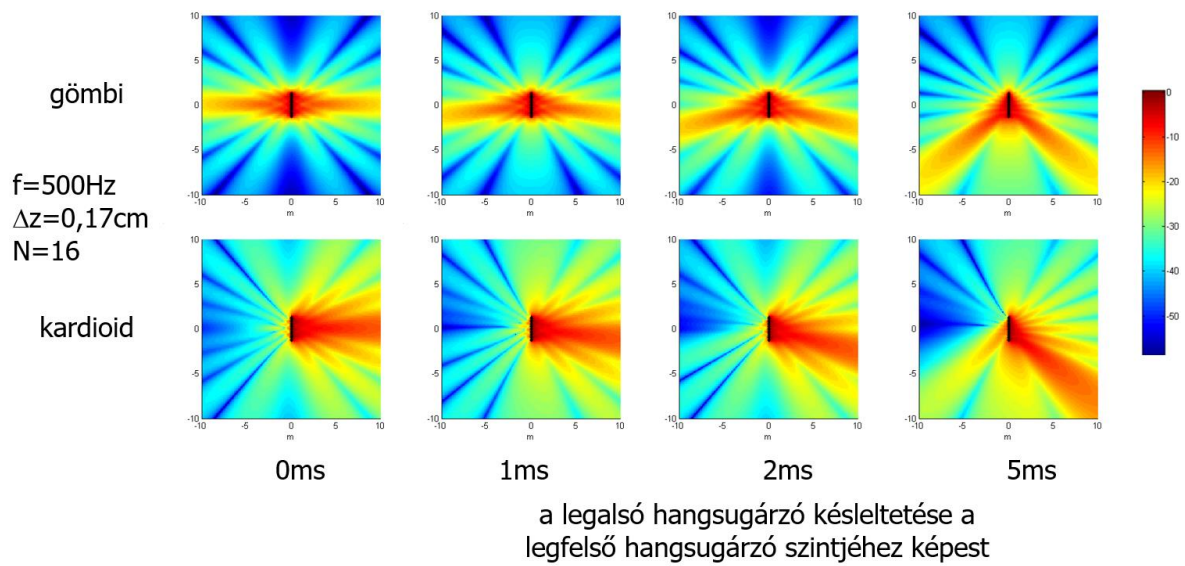
5-3. ábra: Line-array működése: az array-ben működő hangsugárzók irányítottságának hatása (függőleges hosszanti sík mentén).



5-4. ábra: Line-array működése: az array geometriájának hatása (hangsugárzók szögének változtatása; függőleges hosszanti sík mentén számolva).



5-5. ábra: Line-array működése: az array elemei közötti hangerőszabályozás hatása („gain tapping”)



5-6. ábra: Line-array működése: az array elemei közötti késleltetés hatása („delay tapping”)

## 6. Melléklet: Eszközzintű specifikációk

---

A hangrendszerben előforduló jellemző eszközcsoportok eszközzintű specifikációinak lényegesnek tekinthető szempontjait az alábbiakban foglaljuk össze. A szempontok készlete ajánlásnak tekinthető, hogy az eszközök teljesítőképessége megítélhető és ténylegesen összehasonlítható legyen.

A felsorolt műszaki jellemzőkről és funkciókról gyakran nem nyilatkozik egyértelműen a gyártó vagy szabványos/konszenzusos jellemző nem áll rendelkezésre. Ilyenkor a tervező vagy szakértő felelőssége jelezni, hogy mely jellemzők tekinthetők az egyenértékűség megállapításának szükséges feltételeinek.

A számadattal megadott jellemzők egyértelmű értékeléséhez meg kell adni, hogy az adott jellemzőnél nagyobb vagy kisebb értékek fogadhatók el, vagy hogy a méretezési értéktől milyen eltérés fogadható el.

Az eszközzintű jellemzők a megrendelő vagy beruházó számára egyfajta ellenőrző listaként is használhatók.

Ha az egyenértékűséget tervben megadott konkrét típushoz kell hasonlítani, akkor az itt felsorolt szempontok adhatnak iránymutatást, hogy milyen jellemzők tekinthetők műszaki értelemben lényeges szempontnak.

### 6.1. Mikrofonok

---

A mikrofonok lényeges és megkülönböztető műszaki paraméterei:

- kapszula típusa (dinamikus, kondenzátoros, elektret kondenzátoros stb.)
- membrán mérete (a frekvencia-átvitel, érzékenység, irányítottság lehetőségeit befolyásoló tényező)
- forma (kézi, állványba fogható, asztali, határfelületi, csíptethető, függeszthető stb.)
- iránykarakterisztika
  - kategória (gömbi, kardioid, szubkardioid stb.)
  - fő kioltási irány (ha kategória alapján nem egyértelmű)
  - iránykarakterisztika állíthatósága (ha értelmezhető)
- legnagyobb hangnyomásszint főirányban vagy diffúztéren adott (pl. 1%) torzításhoz
- frekvencia-átvitel főirány(ok)ban és diffúztéren (ha értelmezhető);
  - főirányban (jellemző kiemelések, csillapítások, kis- és nagyfrekvenciás átvitel)

- kioltási irányokban, eltérés a főirányhoz képest
- saját zaj: jel/zaj viszony vagy egyenértékű hangnyomásszint
- kimeneti impedancia
- kapszula rezgéscsillapítás (testhangcsillapítás)
- tápellátás igénye (ha van; fantomtáp, elem)
- kapcsolható funkciók:
  - felüláteresztő szűrők
  - iránykarakterisztika
  - érzékenység (csillapítás)
- modularitás (külön erősítő és kapszula szerelhető)
- digitális kimenet esetén:
  - csatlakozási és adat-formátum (AES-42:2019)
  - mintavételi frekvencia és kvantálás szóhossza
  - tömörítés (ha van)
  - távfelügyelet, távvezérlés, egyéb beépített funkciók
  - latency
- stabilitás: környezeti feltételek és élettartam szerint
- RF, EMI védelem
- kábelmeghajtás képessége (jellemző kábel hosszban vagy legnagyobb áramerősségben megadva)
- tömeg
- szín
- állékonyság és védelem:
  - mechanikai hatásokkal szemben (leesés, ütés, koszolódás stb.)
  - klimatikus viszonyokkal szemben (páraállóság, kültéri viszonyok stb.)
  - kémiai
- gyártási stabilitás: szórás a fenti paraméterekben, sztereó vagy tömb (array) felhasználás esetén összeválogatás lehetősége
- tartozékok (fix kengyel, rugalmas kengyel, szélvédő szivacs stb.)

## 6.2. Mikrofon-előerősítők

---

A mikrofon előerősítő feladata a mikrofonok általában kis szintű jelének illesztése, erősítése és kondicionálása a további eszközök által fogadható formátumokban.

A mikrofon előerősítők lényeges műszaki paraméterei:

- csatornák (bemenetek) száma

- analóg bemeneten:
  - maximális bemeneti jelszint (feszültség),
  - erősítési tartomány
  - bemeneti impedancia
  - saját zaj (egyenértékű vagy adott jelszinthez tartozó jel/zaj viszony)
  - torzítás (vagy TD+N)
  - frekvencia-átvitel adott erősítésnél
  - zavarérzékenység (CMRR)
  - bemenetek közötti áthallás (cross-talk)
  - galvanikus elválasztás (pl. transzformátoros bemenet)
- digitális bemenet esetén:
  - csatlakozási és adat-formátum (AES-42:2019)
  - jitter-tolerancia
- kondicionálás bemeneten:
  - fantom táplálás megléte, kompatibilitása (IEC 61938:2018, AES-42:2019), kapcsolhatósága
  - polaritásváltás
  - szűrés
  - dinamika-processzálás (pl. limiter, gate)
- analóg kimenet esetén:
  - maximális kimeneti jelszint (feszültség és áramerősség)
  - frekvencia-átvitel
  - saját zaj (egyenértékű vagy adott jelszinthez tartozó jel/zaj viszony)
  - kimeneti impedancia
  - szimmetriapontosság
  - galvanikus elválasztás (pl. transzformátoros kimenet)
  - kimenetek közötti áthallás (cross-talk)
- digitális kimenet esetén:
  - órajel-szinkron bemenet
  - jitter-tolerancia
  - csatlakozási és adat-formátum
- digitális bemenet vagy kimenet esetén:
  - mintavételi frekvencia, szóhossz
  - latency
- telepítési feltételek:

- készülék formátuma (rack, asztali, beépíthető stb.)
- tápellátás
- hőleadás
- monitorozás, távvezérlés lehetősége:

### 6.3. Csatlakozó felületek

---

A csatlakozó felületek csatlakozó pontjaira, a kábelek bekötésére iparági szabványok vonatkoznak (ld. szabványok listája), ezektől eltérni csak a gyártó kifejezett utasítása esetén érdemes.

A csatlakozó felületekre vonatkozó jellemzők:

- megjelenés helye: fal, padló, mennyezet, konzolra szerelt
- kialakítás módja: önálló, felületre szerelt felületbe süllyesztett, rejtett
- padló és fali csatlakozó esetén:
  - mechanikai állékonyság, terhelhetőség
  - koszolódás, felázás és beázás elleni védelem
- fedlap esetén: kábelkivezetés módja, fedél zárhatósága
- kültéri kivitel esetén: állékonyság kültéri viszonyokkal szemben
- csatlakozás módja: lengő vezeték, lengő csatlakozó, felületre szerelt csatlakozó, felületbe süllyesztett csatlakozó stb.
- bekötés módja: forrasztott, krimpelt, csavarozható stb.
- csatlakozó tehermentesítése
- csatlakozó felület funkciója: dugótábla (patch panel) vagy eszközbekötés
- dugótábla esetén: normalizált, félig normalizált vagy nem normalizált csatlakozó-pár
- csatlakozó aljzatok és dugók elektromos jellemzői:
  - kontakt ellenállás
  - kontaktok közötti kapacitás
  - szigetelési ellenállás
- csatlakozó aljzatok és dugók mechanikai jellemzői:
  - beköthető kábel vezető keresztmetszete
  - csatlakozást biztosító, reteszelő mechanika
  - élettartam (csatlakoztatások száma)
  - húzóerő

## 6.4. Kábelek

---

A tápellátás, informatikai és RF kábelezésre az erősáramú, informatikai és hírközlési normákat kell alkalmazni. A digitális és analóg audio kábelezés esetén a kábelezésre jellemző szempontok:

- mechanikai kialakítás: vezető ér kialakítása, anyaga, szigetelő és kitöltő anyagok, külső átmérő/keresztmetszet, tehermentesítő szál, hajlítási sugár, maximális húzóerő
- elektromos jellemzők: vezető ér ellenállása ( $R'_v$ ), vezetők közötti vezetőképesség ( $G'_{vv}$ ), vezető szálak közötti kapacitás ( $C'_{vv}$ ), nagyfrekvenciás átvitelnél hullámimpedancia ( $Z_0$ )
- szimmetrikus kábelezés esetén: érpárok geometriája, szimmetriája
- árnyékolás anyaga, helye (pl. kettős szőtt árnyékolás)
- ha a csatornák (független jelek) száma egynél több: csatornák közötti áthallás
- telepíthetőség helye: installációs, színpadi, függesztésre alkalmas (tehermentesítő szál, csavarodásmentes kivitel stb.)

A gyártókra jellemző, iparági szabvánnyal nem támogatott egyedi kábelezések és bekötések csak indokolt esetben fogadhatók el.

## 6.5. Keverők, mátrixok

---

A keverők és mátrixok esetében a kapacitásra vonatkozó és funkcionális elvárások a műszaki és minőségi elvárásokkal párhuzamosan, de egymásban összefüggésben írják körül a készülék képességeit és minőségét.

A keverők esetében a kapacitás egyértelműen a csatlakoztatható és a keverőn belül kezelhető csatornák számával jellemezhető.

Az analóg keverők esetében egyértelműen azonosíthatók a hangfeldolgozási lehetőségek és azok nem választhatók el a keverő hangminőségétől. Az analóg bemenetek és kimenetek minőségét leíró jellemzők azonosak a mikrofon előerősítőknél leírtakkal.

A digitális keverők felé átmenetet képeznek a hibrid keverők, amikben a digitális keverőkre jellemző funkciók és integráció is előfordul.

Ma már inkább teljesen digitális keverők fordulnak elő a telepített rendszereknél. A digitális keverőkben az A/D konverzió után és D/A konverzió előtt a hangminőséget kizárólag a hangfeldolgozó processzor kapacitása, a számábrázolás pontossága és a jelfeldolgozó algoritmusok igényessége korlátozza.

A keverők műszaki szempontjait az alábbi csoportokban érdemes kezelni:

- analóg bemenetek és kimenetek jellemzői: ld. mikrofon előerősítők
- digitális bemenetek és kimenetek jellemzői: ld. mikrofon előerősítők
- átviteli jellemzők tetszőleges analóg bemenet és kimenet között: ld. mikrofon előerősítők
- külső eszközök beállításainak megjelenítése
- hangjel feldolgozási lehetőségek:
  - kondicionálás: ld. mikrofon előerősítők
  - korrekciós és kreatív processzálás csatornákon és buszokon: dinamika processzálás, hangszínszabályozás, insert és send/return effektutak támogatása
  - korrekciós és kreatív processzálás kimeneteken
- digitális keverőnél:
  - konverterek és belső szóhosszak eltérése esetén az átváltás módja
  - bemenetek és kimenetek közötti átvitel késés (latency) esetleges függése a beállításoktól (elvárás, hogy a latency ne függjön a keverő beállításaitól)
  - órajelek és szinkronizálás, kapcsolódás aszinkron hálózatokhoz, jitter-hibák kezelése, viselkedés (folyamatos hangolás, némítás, drop-out, újraindulás) órajelvesztés vagy -kiesés esetén
- csatlakoztathatóság és kezelt jelek mennyiségét jellemző paraméterek:
  - egyidejűleg használható bemenetek és kimenetek száma
  - egyidejűleg használható buszok száma
  - digitális eszköznél: a fentiek mintavételi frekvenciától függenek-e?
- kezelő felület minőségét jellemző paraméterek:
  - közvetlen beavatkozási szabályozó elemek (tekerő vagy húzó potméterek, kapcsolók stb.) bemeneti csatornáknként, buszonként, kimenetenként
  - a szabályozó elemek közvetlen vagy közvetett (pl. VCA)
  - szabályozó elemek körüli jelzések, feliratok, világítási színek állíthatósága
  - külső eszközök (pl. W/L mikrofonok, digitális mikrofonok, külső hardveres vagy szoftveres plug-in alapú effektprocesszorok, DAW stb.) beállításainak megjelenítése és kezelése
  - digitális eszköz esetén: konfigurálhatóság, tárolható beállítások száma, paraméterek eléréséhez szükséges gombnyomások/menük száma

- méret, hordozhatóság
- kezelő szervek motoros mozgatása
- automatizálás, szinkronizálás, külső funkciók és rendszerek integrációja
- bővítési lehetőségek, kompatibilitás
- integrált funkciók (pl. hangrögzítés) vagy közvetlen számítógépes kapcsolódás (pl. USB audio interfész)
- működés stabilitása: redundanciák a tápellátásban és átvitelben vagy kiesés esetén digitális rendszereknél az újraindítás („reboot”) gyorsasága
- kijelzők típusa, mérete, funkciói, mérőhíd mérete, funkciói, láthatósága
- telepítési feltételek:
  - készülék formátuma (rack, asztali, beépíthető stb.)
  - tápellátás
  - hőleadás

Korszerű keverőrendszerekben a hangjelek bemenetei és kimenetei, valamint a kezelőszervek önálló egységeket képeznek és adott bemenetet több kezelőszervről is el lehet érni. A hozzáférés módja és korlátai jellemzik, hogy egyetlen integrált keverőrendszer mennyiben tud egyszerre például nézőtéri (FOH) keverést, közvetítést, színpadi monitor-keverést és zenekari árokban zenészek saját monitor keverést megengedni önálló kezelő felületekről egyszerre. Analóg rendszerekben ezt a fő keverő rendszer bemeneteiről leosztott jelekből lehetett megoldani. Digitális rendszerekben ez bizonyos szempontból egyszerűbb lehet, de a bemeneti szintezést néhány rendszer kivételével csak a kiválasztott keverő felületről lehet szabályozni.

A keverő rendszerek összetettsége miatt javasolt a specifikációban a működési módokat és célokat is pontosan definiálni.

## 6.6. Processzorok

---

A hangjel feldolgozását végző különböző processzorok képességeit nehéz jól körülírni, különösen, ha a processzor a kreatív processzálasban használatos és bizonyos jellemzők vagy jellegzetességek szubjektíven kíváncsók vagy problémások. A korrekciós processzálasban sem egyértelmű akár az átviteli tényezők összehasonlítása is, ha egyébként a készülék eleve az átvitel alakításával operál.

A processzorok általános esetben vett lényeges paraméterei:

- analóg bemenetek és kimenetek jellemzői: ld. mikrofon előerősítők
- digitális bemenetek és kimenetek jellemzői: ld. mikrofon előerősítők

- átviteli jellemzők tetszőleges analóg bemenet és kimenet között kikapcsolt (bypass) processzási funkciók mellett: ld. mikrofon előerősítők, keverők
- egyidejűleg használható bemenetek és kimenetek száma
- processzási funkciók
  - szükséges hangfeldolgozó funkciók
  - hangfeldolgozó funkciók közötti kapcsolatok konfigurálhatósága (a nem konfigurálható és a szabadon konfigurálható között bármilyen kombinációban)
  - összes késleltetési memória (ha értelmezhető)
  - processzor számítási kapacitás egyidejűleg működő funkciók maximális darabszámában megadva
- kezelő felület minőségét jellemző paraméterek:
  - közvetlen beavatkozási szabályozó elemek (tekerő vagy húzó potméterek, kapcsolók stb.) bemeneti csatornánként, buszonként, kimenetenként
  - a szabályozó elemek közvetlen vagy közvetett (pl. VCA)
  - szabályozó elemek körüli jelzések, feliratok, világítási színek állíthatósága
  - digitális eszköz esetén: konfigurálhatóság, tárolható beállítások száma, paraméterek eléréséhez szükséges gombnyomások/menük száma
  - méret, hordozhatóság
- automatizálás, szinkronizálás, külső funkciók és rendszerek integrációja
- bővítési lehetőségek, kompatibilitás
- integrált funkciók (pl. hangrögzítés) vagy közvetlen számítógépes kapcsolódás (pl. USB audio interfész)
- működés stabilitása: redundanciák a tápellátásban és átvitelben vagy kiesés esetén digitális rendszereknél az újraindítás („reboot”) gyorsasága
- kijelző típusa, mérete, funkciói, láthatósága
- kompatibilitás vagy integráció vezérlő rendszerekkel
- szoftverek
- telepítési feltételek:
  - készülék formátuma (rack, asztali, beépíthető stb.)
  - tápellátás
  - hőleadás

## 6.7. Interfészek

---

Az interfész különböző elektronikai vagy logikai formátumok közötti átalakításban segíthet. Az ideális interfész a szükséges átalakításon túl a jelet átengedi, érdemi zajt, torzítást és késést nem ad hozzá.

Az interfészek általánosan alkalmazható jellemzői:

- tisztán analóg eszközöknél (pl. DI boks, splitter)
  - csatlakozások
  - impedancia és/vagy feszültségillesztés, leválasztás
  - aktív (tápellátást igénylő) vagy passzív (tápellátást nem igénylő) kivitel
  - átviteli jellemzők
- digitális eszközöknél
  - csatlakozási formátumok és protokollok
  - jelábrázolás minősége, mintavételi frekvencia vagy kvantálás konverzióánál alkalmazott megoldások
  - latency
  - órajel-szinkron, jitter tolerancia és stabilitás
  - szoftverek
- bővítési lehetőségek, kompatibilitás
- működés stabilitása: redundanciák a tápellátásban és átvitelben vagy kiesés esetén digitális rendszereknél az újraindítás („reboot”) gyorsasága
- kijelző típusa, mérete, funkciói, láthatósága
- telepítési feltételek:
  - készülék formátuma (rack, asztali, beépíthető stb.)
  - tápellátás
  - hőleadás

## 6.8. Rögzítők, lejátszók

---

A rögzítők és bejátszók gyakran egyben az utómunka vagy előkészítő feladatok központjai is. Ebből a szempontból előnyösebbek lehetnek a számítógépes alapú DAW (digital audio workstation) szoftverek. Bejátszásoknál a beavatkozás gyorsasága és a működés stabilitása fontos, ezért a hardveres megoldások (indítók) lehetnek praktikusabbak (nyomógombos felületek, lámpedálok stb.).

A több játszóhellyel vagy hangtechnikai munkahellyel rendelkező intézményekben előnyös a központi fájl-szerver alapú tárolás (NAS), amit rövid távon archívumként

lehet kezelni. Az adatbiztonság érdekében a hosszútávú archiválást hagyományos informatikai eszközökkel kell megoldani.

A legfontosabb megkülönböztető jellemzők:

- csatlakozó felületek, digitális és analóg csatlakozási formátumok,
- analóg csatlakozó felületnél ld. mikrofon előerősítők
- digitális csatlakozási formátumok: kompatibilitás, szóhosszak, órajel-szinkron, jitter-tolerancia
- rögzítési formátum: szóhosszak, metaadatok, kompatibilitás máshol készült fájlokkal való kompatibilitás
- adathordozó: formátumok (belső, külső), kapacitás, tárolható és egyszerre lejátszható/rögzíthető csatornák száma, redundancia (pl. RAID)
- távvezérlési, szinkronizálási, automatizálási lehetőségek, automatizálási fájlok kompatibilitása
- indítás és újraindítás gyorsasága és stabilitása
- szoftverek
- telepítési feltételek:
  - készülék formátuma (rack, asztali, beépíthető stb.)
  - tápellátás
  - hőleadás

## 6.9. Végerősítő

---

A végerősítők egyik legfontosabb paramétere az erősítés mértéke, amit leggyakrabban a leadott teljesítménnyel írnak körül. Sajnos a leadott teljesítmény mértéke és értelmezése körül sok lehet az ellentmondás, ezért érdemes a

A végerősítőkre jellemző lényeges paraméterek:

- független csatornák (bemenet/kimenet párok) száma
- analóg bemenet: ld. processzorok
- digitális bemenet: ld. processzorok
- átviteli jellemzők:
  - frekvencia-átvitel
  - torzítás
  - zaj
- többcsatornás kivitel esetén: áthallás csatornák között
- többcsatornás kivitel esetén: kimenetek páronkénti hídba kapcsolása

- névleges kimeneti teljesítmény (pl. adott ohmikus terhelés mellett, vonatkozó szabvány szerint effektív feszültségszintből számolt)
- bemeneti érzékenység (névleges kimeneti teljesítményhez tartozó szinuszos bemenet effektív értéke)
- kimeneti impedancia (damping factor)
- beépített funkciók
  - processzálás, dekódolás
  - hangsugárzó védelem (bemeneti oldal, kimeneti oldal)
  - túlterhelés elleni védelem (DC, HF, rövidzár, túlmelegedés stb.)
  - távvezérlés, távfelügyelet, kompatibilitás vezérlő rendszerekkel
- bővítési lehetőségek, kompatibilitás
- működés stabilitása: redundanciák a tápellátásban és átvitelben vagy kiesés esetén digitális rendszereknél az újraindítás („reboot”) gyorsasága
- kijelző típusa, mérete, funkciói, láthatósága
- telepítési feltételek:
  - készülék formátuma (rack, asztali, beépíthető stb.)
  - tápellátás, hatékonyság, áramfelvétel (pillanatnyi legnagyobb áramfelvétel)
  - hőleadás
  - hűtés típusa, hűtés zajhatása
  - tömeg

## 6.10. Hangsugárzó

---

A hangsugárzók működésének lényeges része az akusztikai környezet, de az azt magába foglaló szakasz követelményeit a B-lánc írja körül. A hangsugárzókat eszköz szinten az akusztikai környezettől függetlenül kell specifikálni.

A hangsugárzókra jellemző lényeges jellemzők:

- tengelyben mért frekvencia-átvitel toleranciával vagy szabványi hivatkozással értelmezve
- iránykarakterisztika (elvárás szerint csökkenő, pontosság szerint növekvő sorrendben):
  - névleges sugárzási szög
  - sugárzási szögek frekvenciafüggése
  - irányítottság (DI vagy Q) frekvenciafüggése
  - van-e adatbázis modellező szoftverbe
- legnagyobb hangnyomásszint 1 m távolságra visszaszámolva

- szabványos mérőjelre (pl. EIA 463-5) adott válaszban névleges átvitelhez szükséges processzálassal<sup>60</sup>
  - tartós, károsodás nélküli terhelhetőség
  - névleges átvitelhez (minőséghez) tartozó legnagyobb terhelhetőség (AES 75-2022)
- csatlakozás(ok) formátuma
  - beépített végerősítő nélküli felépítés esetén:
    - terhelhetőség (teljes rendszerre, biamp/triamp esetben utanként)
    - impedancia
    - a névleges átvitelhez tartozó processzálas specifikációja
  - beépített végerősítővel szerelt aktív felépítés esetén:
    - csatlakozás formátuma
    - hűtés módja, leadott hőmennyiség
    - tápellátás teljesítményfelvétel, áramfelvétel igény
    - processzálas
    - bemeneti impedancia
    - monitorozhatóság, távvezérelhetőség
    - ha van beépített akkumulátor: töltési idő, tipikus üzemidő, akku élettartam, akku cserélhetősége
    - zaj: aktív hűtésből és hangsugárzóból külön
  - emelt feszültségszintű kivitel esetén:
    - beépített transzformátor
    - beépített transzformátorral együtt érvényes átvitel
  - mechanikai jellemzők:
    - tömeg
    - befoglaló méret
    - beépíthető, önálló, fűrtbe vagy tömbbe sorolható kivitel
    - megfogási, rögzítési pontok telepítéshez vagy mozgatáshoz
    - saját vagy integrált tartószerkezet, konzol, talp
    - ellenállóképesség környezeti hatásokkal szemben (vandálbiztos vagy labdaálló felépítés, UV-állóság, IP besorolás stb.)

---

<sup>60</sup> A névleges átvitelhez szükséges processzálas nélküli legnagyobb hangnyomásszint a komponenseket jellemzi, nem a hangsugárzót, a felhasználó és a tényleges teljesítőképesség szempontjából ezért nem vehető figyelembe

## 6.11.Vezeték nélküli rendszerek

---

A vezeték nélküli átvitel mindig nagyobb kitettséget és korlátozottabb kapacitást jelent az átvitelben. A vezeték nélküli rendszerek alkalmazása ezért csak ott ajánlott, ahol az átvitel vezetékes megoldással nem lehetséges.

- átvitel közege: RF vagy IR
- átvitel frekvenciatartománya, függetlenül egyidejűleg használható csatornák maximális száma
- adó teljesítménye, tipikus hatótávolsága
- kompatibilitás hatósági, rendeleti, szabványi előírásokkal
- adó-vevő kompatibilitás
- hangátvitel minősége: frekvenciaátvitel, dinamika, jel/zaj viszony
- hangjel feldolgozása átvitelhez:
  - kompendálás, sávkorlátozás
  - digitális esetben: tömörítés veszteségessége, latency
- vevőrendszer:
  - diverzitásos felépítés: teljes diverzitás (vagy csak több antenna
  - érzékelők vagy antennák: irányítottság, tápellátás, méret, tömeg, rögzítés, szín
  - érzékelők vagy antennák rendszerének felépítése: erősítők, összegzők, elosztók, kábelezés
- egyéb:
  - távvezérelhetőség, monitorozhatóság
  - ha van beépített akkumulátor: töltési idő, tipikus üzemidő, akku élettartam, akku cserélhetősége
  - redundanciák

Akadálymentesítési céllal telepített indukciós hurok esetén:

- kompatibilitás vonatkozó szabvánnyal
- ellátott terület és hatótávolság, szóródás
- mobil vagy telepített kivitel



## 7. Ajánlott irodalom és szabványok

---

- G. Ballou, „A Sound Engineer’s Guide to Audio Test and Measurement”, ISBN 978-0-240-81265-6
- J. Watkinson, „The Art of Digital Audio”, ISBN 0-240-51587-0
- „Audio Engineering – Know it All” ISBN 978-1-85617-526-5
- „Audio Engineer’s Reference Book” ISBN 0-240-51528-5
- G. Ballou, „Electroacoustic Devices – Microphones and Loudspeakers”, ISBN 978-0-240-81267-0
- G. Ballou, „Handbook for Sound Engineers”, ISBN 978-0-240-80969-4
- J. Borwick, „Loudspeaker and Headphone Handbook”, ISBN 0-240-51578-1
- R. A. Rayburn, „Eargle’s Microphone Book”, ISBN 978-0-240-82075-0
- B. McCarthy, „Sound System: Design and Optimization” ISBN-13:978-0-240-52020-9
- G. Davis, R. Jones, „Sound Reinforcement Handbook” ISBN 0-88188-900-8
- M. Long, „Architectural Acoustics” ISBN-13:978-0-12-455551-8
- M. Ermann, „Architectural Acoustics – Illustrated” ISBN 978-1-118-56849-1
- L. L. Beranek, „Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics and Architecture”, ISBN 978-1-4419-3038-5
- **MSZ 2080:2020** Akusztika. Teremakusztikai követelmények és tervezési ajánlások.
- **MSZ 2082:2020** Elektroakusztika. Beszéderthetőségi követelmények.
- **IEC EN 60268-1.** Sound System Equipment. Part 1. General
- **IEC EN 60268-2.** Sound System Equipment. Part 2. Explanation of general terms and calculation methods
- **IEC EN 60268-3.** Sound System Equipment. Part 3. Amplifiers.
- **IEC EN 60268-4.** Sound System Equipment. Part 4. Microphones.
- **IEC EN 60268-5.** Sound System Equipment. Part 5. Loudspeakers
- **IEC EN 60268-6.** Sound System Equipment. Part 6. Auxiliary passive elements
- **IEC EN 60268-7.** Sound System Equipment. Part 7. Headphones and earphones
- **IEC EN 60268-8.** Sound System Equipment. Part 8. Automatic gain control
- **IEC EN 60268-9.** Sound System Equipment. Part 9. Artificial reverberation, time delay and frequency shift equipment
- **IEC EN 60268-10.** Sound System Equipment. Part 10. Peak programme level meters
- **IEC EN 60268-11.** Sound System Equipment. Part 11. Application of connectors for the interconnection of sound system components
- **IEC EN 60268-12.** Sound System Equipment. Part 12. Application of connectors for broadcast and similar use

- **IEC EN 60268-13.** Sound System Equipment. Part 13. Listening tests on loudspeakers
- **IEC EN 60268-16:** Sound System Equipment. Part 16. Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index
- **IEC EN 60268-17.** Sound System Equipment. Part 17. Standard volume indicators
- **IEC EN 60268-18.** Sound System Equipment. Part 18. Peak programme level meters -Digital audio peak level meter
- **IEC EN 60268-21.** Sound System Equipment. Part 21. Acoustical (output-based) measurements
- **IEC EN 61938** Multimédia-rendszerek. Útmutató az analóg interfészek együttműködő képességének eléréséhez ajánlott jellemzőkre
- **MSZ EN ISO 3382-1.** Akusztika. Helyiségek akusztikai jellemzőinek mérése. 1. rész. Előadótermek.
- **EN ISO 2969:2015.** Cinematography — B-chain electro-acoustic response of motion-picture control rooms and indoor theatres — Specifications and measurements
- **ITU-R BS.1770-4,** „Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level”
- **ANSI/SMPTE 202M-1991.** SMPTE Standard for Motion-Pictures – B-Chain Electroacoustic Response – Dubbing Theaters, Review Rooms, and Indoor Theatres
- **IEC 60958:** Digital Audio Interface. Part 1: General. Part 3: Consumer Applications. Part 4: Professional applications - Physical and electrical parameters, Part 5: Consumer application enhancement
- **AES-2id-2020:** AES information document for digital audio engineering — Guidelines for the use of the AES3 interface
- **SMPTE 2110-31:** Professional Media Over Managed IP Networks: AES3 Transparent Transport
- **SMPTE 302M-2007:** Television - Mapping of AES3 Data into MPEG-2 Transport Stream
- **AES 67-2018:** AES standard for audio applications of networks - High-performance streaming audio-over-IP interoperability
- **IEC 61938-2018:** Multimedia systems - Guide to the recommended characteristics of analogue interfaces to achieve interoperability (GMT)
- **AES 75-2022:** AES standard for acoustics — Measuring loudspeaker maximum linear sound levels using noise
- **AES 48-2019:** AES Standard on interconnections – Grounding and EMC practices – Shields of connectors in audio equipment containing active circuitry

- **AES 42-2019:** AES standard for acoustics — Digital interface for microphones
- Az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról **(OTSZ)** szóló 54/2014. (XII.5.) BM rendelet
- **DIN 14675-1:2020-01** Fire detection and fire alarm systems - Part 1: Design and operation
- **DIN VDE 0833 -4:2014-10** Alarm systems for fire, intrusion and hold-up Part 4: Requirements for voice alarm systems in case of fire
- **MSZ EN 50849:2017** Hangrendszerek veszélyhelyzetekhez
- **MSZ EN-54-4:2010** Tűzjelző berendezések 4. rész: Tápegységek
- **MSZ EN-54-16:2008** Tűzjelző berendezések 16. rész: Hang-riasztású vezérlő- és jelzőberendezések
- **MSZ EN-54-24:2008** Tűzjelző berendezések 24. rész: Hang-riasztású rendszerek részei. Hangszórók.
- **MSZ CEN/TS 54-32:2019** Tűzjelző berendezések. 32. rész: Vészhangosító rendszerek tervezése, kivitelezése, létesítése, üzembe helyezése, használata és karbantartása
- **MSZ CEN/TS 54-14:2019** (Tűzjelző berendezések. 14. rész: Irányelvek a tervezéshez, kivitelezéshez, létesítéshez, üzembe helyezéshez, használathoz és karbantartáshoz)
- **IEC 60118-4:2014** Electroacoustics - Hearing aids - Part 4: Induction-loop systems for hearing aid purposes - System performance requirements
- **ANSI-J-STD-710 (CEA/CEDIA-2039) (2015):** Audio, Video and Control Architectural Drawing Symbols Standard (ANSI/CEA/CEDIA/InfoComm Standard)

## 8. Irodalomjegyzék

---

- [1] 266/2013. (VII. 11.) Korm. rendelet az építésügyi és az építésüggyel összefüggő szakmagyakorlási tevékenységekről
- [2] MSZ EN ISO 1996-1:2016 Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures
- [3] M.Urban (2003). „Waverfront Sculpture Technology” Journal of Audio Engineering Society, Vol. 51, No 10, 2003 October pp912-932
- [4] S. Feistel (2013). „Modeling the radiation of modern sound reinforcement systems in high resolution”, PhD Thesis, RWTH-CONV-145171, Aachen
- [5] A. T. Fürjes, A. Kotschy, A. B. Nagy, R. Csott (2019). „Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban”, MMK FAP2019/42.
- [6] MSZ EN ISO 3382-1: Akusztika. Helyiségek akusztikai jellemzőinek mérése, 1. rész: Előadótermek
- [7] MSZ EN ISO 3382-2: Akusztika. Helyiségek akusztikai jellemzőinek mérése, 2. rész: Utóhangési idő általános rendeltetésű helyiségekben
- [8] MSZ EN ISO 3382-3: Akusztika. Helyiségek akusztikai jellemzőinek mérése, 3. rész: Egyterű irodák
- [9] 284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól
- [10] 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról
- [11] MSZE 24205-1:2012 Előadó-művészeti létesítmények. rész: Általános tervezési előírások
- [12] MSZ 18150-1:1998: A környezeti zaj vizsgálata és értékelése
- [13] MSZ 15601-1: 2007: Épületakusztika 1. rész: Épületen belüli hangszigetelési követelmények
- [14] ISO 226:2003 - Normal equal-loudness-level contours
- [15] ITU-R BS.1770-4 - Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level
- [16] IEC (International Electrotechnical Commission) 61672:2003
- [17] ISO 389-7:2019 Acoustics — Reference zero for the calibration of audiometric equipment — Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions
- [18] B. Shinn-Cunningham (2000), „Learning Reverberation: Consideration for Spatial Auditory Displays”, proc. International Conferenc on Auditory Display, April 2-5 2000., pp126-134
- [19] Campbell and Greated, “The Musicians Guide to Acoustics”, Rintelman et. al., 1972
- [20] Az Akusztikai Osztályközi Állandó Bizottság beszámolója az MTA Műszaki Tudományok Osztályának (2015), „Gyermekek hallásvédelmének stratégiája: A gyermekrendezvények hangerősítésének vizsgálata és törvényi szabályozása, a gyermekek hallásvédelme és hallásnevelésük érdekében”

- [21] D. Davis (1969), „Analyzing Loudspeaker Locations for Sound Reinforcement Systems”, Journal of Audio Engineering Society, vol. 17 No. 6
- [22] D. Davis, E. Patronis, P. Brown, „Sound System Engineering” ISBN 978-0-240-81846-4
- [23] W. M. Leach (1989) „The Differential Time-Delay Distortion and Differential Phase-Shift Distortion as Measures of Phase Linearity” (Journal of Audio Engineering Society, vol. 37. no. 9., 1989, pp709-715)
- [24] A. T. Fürjes, A. B. Nagy, „Tales of more than One Thousand and One Measurements (STI vs. room acoustic parameters – a study on extensive measurement data)”, white paper, 10.13140/RG.2.2.15781.01760, www.researchgate.net
- [25] J. S. Bradley (1985) “Uniform deviation of optimum conditions for speech in rooms” (Building Research Note BRN 239, 1985, Canada)
- [26] J. Peng et. al (2017) “Chinese speech intelligibility of children in noisy and reverberant environments” (Indoor and Built Environment, vol. 27. issue 10)
- [27] Fürjes Andor Tamás (2022) „Hangtechnika a színházban”, Színháztechnikai kézikönyv 1. kötet, ISBN 978-615-01-4533-4, K fejezet
- [28] S. Macatee (2002) „Grounding and shielding audio devices”, Rane Note 151
- [29] „AV Design Reference Manual”, infoComm International ISBN 1-928886-34-5
- [30] S. E. Olive, T. Welti, E. McMullin (2015) „Listener Preferences for In-Room Loudspeaker and Headphone Target Responses”, Journal of Audio Engineering Society, 135th Convention 2013 paper 8994
- [31] P. Arasin (2013) „A Sennheiser hangakadémia vezetékek nélküli rendszerek kézikönyve”, Sennheiser

## A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

### 2017.

- |    |  |   |
|----|--|---|
| 1. | NÉMETH András, MILÁVECZ Richárd  | Iparban használatos vízminőségek  |
| 2. | SZILÁGYI Zsombor Dr, SZUNYOG István Dr.  | Mérések a gáziparban  |
| 3. | BARNA Lajos Dr., EÖRDÖGHNÉ MIKLÓS Mária Dr., SZÁNTHÓ Zoltán, BALLA József Dr.      | A biztonságos ívóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei                              |
| 4. | BORBÁS Lajos Dr.   | Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben                                  |
| 5. | BERENCSE Miklós, BERECZKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFFY Krisztina | Kerékpárosbarát közlekedéstervezés  |
| 6. | TÜDŐS Tibor, VARJÚ György Dr., PETRI Kornél Dr., GÁBOR András                      | A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet) |
| 7. | GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., VÁRADI András                                 | Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal                   |
| 8. | KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó              | A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv                              |

### 2018.

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 9.  | BLAZSOVSZKY László  | A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai   |
| 10. | CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter | Orvostechológiai továbbképzés ismeretanyaga   |
| 11. | NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza                 | A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és ügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer |
| 12. | SZILÁGYI Zsombor Dr., HORÁNSZKY Beáta   | Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)   |
| 13. | SZILÁGYI Zsombor Dr.  | Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók  |
| 14. | S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté  | Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével   |
| 15. | BALIKÓ Sándor Dr., CSÚRÖK Tibor Dr., NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, ZSEBIK Albin Dr.    | Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai  |
| 16. | DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor                | Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet   |
| 17. | TÜDŐS Tibor, KRUPPA Attila  | Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató   |
| 18. | FENYVESI Zsolt  | Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása   |

19.	GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás	Nagyméretű informatikai beruházásoknál (fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet)
20.	DIVÓS Ferenc Dr.	Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek
21.	KARÁCSONYI Zsolt Dr.	Faanyagok tartós szilárdsága
22.	BARNA Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula	Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez
23.	ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András	Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye
24.	JANCSÓ Béla, KULCSÁR Alexandra Dr., NÉMETH Gábor, VÍMI Zoltán Dr., DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső	Vízjogi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján
25.	TAKÁCS Bence Dr., SIKI Zoltán Dr., ÉGETŐ Csaba Dr., BÉNYI László	Mérnökegeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal
26.	MÓCZÁR Balázs Dr., LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos	Korszerű támszerkezetek tervezése
27.	HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán	Különböző funkciójú épületek klimatechnikája II.
28.	KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint	Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata
29.	GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz	Hőteljesítményátviteli tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében
30.	GARBAI László Dr., SÁNTA Róbert Dr., JASPER Andor Dr.	A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés
31.	LADÁNYI Gábor Dr.	Diagnosztika a karbantartásban
32.	MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András	KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018)
<b>2019.</b>		
33.	BLAZSOVSZKY László	Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése
34.	DR. SZILÁGYI Zsombor	A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon
35.	FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEGGER Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj.	Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechnológia terén
36.	VARRÓ Beáta, KIS András Dr.	Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával
37.	MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György	Munkatér határoló szerkezetek
38.	KORSÓS András, RÁDULY Zsolt	A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei
39.	GERGELY Edit, BEZEGH András Dr.	Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 40. | BEZEGH András Dr., BITE Pálné Dr.,<br>GERGELY Edit  | Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok)  |
| 41. | GÓDOR Balázs, KÁSA László Dr.,<br>SZÉKELY Bence   | Híddaruk méretezési segédlete (2019.)   |
| 42. | FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY<br>András, NAGY Attila Balázs, CSOTT<br>Róbert                      | Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló<br>szituációkban   |
| 43. | KARÁCSONYI Zsolt Dr.  | Faanyagok tartós szilárdsága<br>Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében  |
| 44. | BALIKÓ Sándor Dr., ORBÁN Tibor,<br>VARGA Péter, ZSEBIK Albin Dr.                                | Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek<br>egyszerű energetikai és gazdasági számításai  |
| 45. | PRIMUSZ Péter, PhD.   | Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése<br>talajstabilizációk figyelembevételével   |
| 46. | NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor,<br>KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért                                   | Különböző funkciójú épületek klimatechnikája III.<br>Segédlet ipari épületek lég- és klimatechnikai<br>rendszereinek tervezése  |
| 47. | JANCSÓ Béla, KAVECZKI Gergely,<br>KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás,<br>KNOLMÁR Marcell, RAUM László | Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei<br>Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető<br>rendszereket   |
| 48. | DOHÁNY Máté, SCHVANNER Norbert  | Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás<br>csomópontokban   |
| 49. | JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit   | Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi<br>utakon  |
| 50. | ZSEBIK Albin Dr., NOVÁK Dániel  | Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok<br>projektlapjai   |
| 51. | MÓGA István Dr.   | Beruházási projektek szabályozási és szabvány<br>környezete, Tervezési követelmények meghatározása  |
| 52. | GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH<br>József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY<br>Tamás                    | Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere<br>(Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök<br>Kamarai működési rendbe és rendszerekbe)<br><br>I. kötet: Koncepció és modell<br>II. kötet: Modell illesztése<br>III. kötet: Tudástár |
| 53. | VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán,<br>SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt, ORCSI<br>Attila                | Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész<br>értelmezése a szakmai gyakorlatban<br>Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I.   |

#### 2020.

- |     |                               |  |
|-----|-------------------------------|--|
| 54. | KISS Jenő Dr., CSERMELY Gábor | JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület<br>megvalósításának – tervezés építés – módszerére |
|-----|-------------------------------|--|

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 55. | SZILÁGYI Zsombor Dr.  | A hidrogén a környezetbarát energiahordozó, Hidrogén az energetikában   |
| 56. | VARGA Tamás, SZEDENIK Norbert Dr., KOVÁCS Károly Dr., KRUPPA Attila, KULCSÁR Lajos, KAPITOR György, TURI Ádám | A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére |
| 57. | KÁDI Ottó   | A gyalogosközlekedés közúti keresztezései   |
| 58. | MOLNÁR Szabolcs   | „Hulladékból konnektorba” A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának lehetőségei   |
| 59. | VÁRDAI Attila   | Segédlet szabadidős létesítmények tartószerkezeti tervezéséhez  |
| 60. | BEJÓ László Dr.   | Szénlábnyom-elemzés készítése a faiparban   |
| 61. | JANCSÓ Béla, NÉMETH Gábor, SZIMANDEL Dezső  | Szakmai útmutató vízálléscímény tervezők számára a 2020 január 1-én hatályba lépett „VIZEK keretrendszer” használatához   |
| 62. | FELLEGI Zsóka, KARAFI Balázs, KOCH Edina, KOVÁCS Gábor, MURINKÓ Gergő, TÓTH Gergely József                    | Munkagödrök és földművek víztelenítése  |
| 63. | HOLÉCZY Ernő, OLÁH Róbert, SIKI Zoltán Dr., TAKÁCS Bence Dr., TÓTH Zoltán Dr., VARGA Tibor                    | Módszertani útmutató az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek korszerű technológiákkal végzett felújításához   |
| 64. | DR. GÁBORI László, DR. MOLNÁR Bálint, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás   | Az Informatikai Tervező tervezési segédlete   |
| 65. | NÁDASDY Tamás, TOMASCHEK Tamás, PALÁSTY István, SZECSŐ Dániel Géza  | Dinamikus forgalomirányítás tervezői segédlete gyorsforgalmi úthálózat esetén   |
| 66. | LENGYEL István  | Szakmai útmutató szolgalmi jogok alapításához (mérnöki segédlet)  |
| 67. | NÉMETH Balázs, SZLOVÁK Krisztián, VÍGH Gellért  | Épületgépészeti tervezéshez praktikus, gyakorlati adatbázis   |
| 68. | FÜRJES Andor Tamás, BORSINÉ Arató Éva, NAGY Attila Balázs, ILLYÉS László, BORSI Gergely                       | Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (példatár)   |
| 69. | BORBÁS Lajos Dr., GONDA Zoltán  | Optikai feszültségvizsgálat – Kísérleti eljárás a konstrukció fejlesztésére, szerkezetek anyagfelhasználásának és teherviselésének optimalizálására                 |

## 2021.

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 70. | BLAZSOVSZKY László  | A gázipar és a kéményseprő-ipar határterületeinek szabályozási anomáliái a szakmagyakorlók és a felhasználók szemszögéből |
| 71. | FORGÁCS Lajos Dr., NAGY Gábor, RÉV Zoltán   | Kórháztervezés új szempontjai a 21. században - Korszerű kórházak infrastrukturális egységei                              |
| 72. | HOLÉCZY Ernő, KISS Albert Miklós, KOVÁCS István, TAKÁCS Bence Géza Dr., TÓTH Zoltán Dr. | M.2.-2021. Mérnökgeodéziai tervezési segédlet   |
| 73. | BEJÓ László Dr.   | Az ipar 4.0 alkalmazási lehetőségei a faipar területén  |

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 74. | BORBÉLY Dániel, HUDACSEK Péter, KARNER Balázs, KOVÁCS László, SÁNDOR Csaba  | Monitoring, a geotechnikai kockázatkezelés eszköze  |
| 75. | FELFÖLDI Krisztina, JÁMBOR András, TÓTH Sándor, BÜKI Gábor, GÓDOR Balázs  | Emelőgépek időszakos vizsgálatának eljárásrendje  |
| 76. | GYURKOVICS Zoltán, RÉBAY Lajos, NAGY Bernát   | Szakmai útmutató az épületgépész felelős műszaki vezetők és műszaki ellenőrök számára   |
| 77. | ZSEBIK Albin Dr., NOVÁK Dániel, PAPP Ábrahám  | Hulladék hő hasznosítás - hűtés és fűtés összekapcsolása<br>Segédlet az elemzéshez és gyakorlati példák bemutatása  |
| 78. | CZINE Ferenc, HIRKÓ György  | Elektromos meghajtású mikromobilitási eszközök -<br>Jellemző paraméterek  |
| 79. | KALMÁR Tamás, LÁNYI Péter Dr., HÓZ Erzsébet   | Kerékpárút hálózatok vizsgálata a fejlesztések és úthasználók tapasztalatai alapján   |
| 80. | VARGA Tamás, FARKAS Péter János, TOKODY Dániel Dr., ZSARNOVSZKI Attila, MÉSZÁROS Tamás, VERESS Árpád  | Építmény villamossági tervezés robbanásveszélyes környezetben   |
| 81. | VONA Márton Dr., BALATONYI László Dr., TÉCSŐY István  | Dombvidéki víz visszatartás, kisvízfolyások szabályozása természet közeli megoldásokkal<br>Kisléptékű víz visszatartás, kistelepülés-léptékű vízmegtartó megoldások |
| 82. | ZANATHY Valéria, BUZÁS Györgyi, TÓTH László   | Acélszerkezetek korrózió elleni védelme –<br>Acélszerkezetek korrózió elleni védelmére vonatkozó szabványok, előírások, szakmai tapasztalatok összefoglalása        |
| 83. | JÓZSA Bálint, DOHÁNY Máté   | DDI, avagy a fordított gyémánt csomópontok vizsgálata és magyarországi alkalmazhatósága   |
| 84. | SZÉPSZÓ Gabriella, ALLAGA-ZSEBEHÁZI Gabriella, LAKATOS Mónika, SZENTES Olivér, TAKSZ Lilla, SELMECZI János Pál, CZIRA Tamás Dr., CSÓKA Gergely, BAKA György | Éghajlatvédelmi vizsgálatok módszertana és az azt megalapozó adatbázisok alkalmazása  |
| 85. | ZSIGMONDI András, MARIÁN Gábor, WÉBER László  | A műszaki egyenértékűség és helyettesítő termék egyenértékűségének megállapítási módjai   |
| 86. | NAGY János, HORVÁTH Rita, KAPITOR György, MERTLI Ferenc, PAPP Ábrahám, SITKU György, ZSEBIK Albin Dr.   | Világítástechnika - segédlet az EKR dokumentáció készítéséhez – Alapismeretek és mintapéldák  |
| 87. | CSENDES János, VELLER Tamás   | Épületautomatika – Összefüggésben az Energiahatékonysági Kötelezettségi Rendszerrel   |

## 2022.

- |     |  |   |
|-----|--|---|
| 88. | FÖLDI László József Dr., BERENCSI Bence    | Ipari gépek CE jelölése és biztonsága az EU-s és hazai szabályozás tükrében |
| 89. | SZILÁGYI Zsombor Dr., VADÁSZI Marianna Dr. | Irányelv új földgáz- és villamos energia szerződés kötéshez                 |

90. MÓCZÁR Balázs Dr., CSORBA Gábor, GRITSCH Ákos, KRISTON Gábor, MIHUCZ Tibor, SZENDEFY János Dr., SZILÁGYI Katalin Segédlet ipari padlók geotechnikai és statikai tervezéséhez, kivitelezéséhez
91. FELFÖLDI Krisztina, GÓDOR Balázs, NAGY Pál, RADVÁNYI G. Levente G-D-36 Tanúsítvány kiadásához kompetencia-követelmények kidolgozása
92. BUZÁS Zoltán, KÁLMÁN Miklós, BÖLSEI Tamás, LUKÁCS Tamás A tervdokumentációk tartalmi és formai követelményeinek átdolgozása, különös tekintettel a Hír-Közmű bevezetésére. A Tervezés, Engedélyezés, Kivitelezés segédlet módosítása (92./1-2-3.)
93. SIKI Zoltán Dr., CSEMNICZKY László, HOLÉCZYNÉ KAJTÁR Dóra, LEHOCZKY Máté, RÉPÁS Zoltán, TÓTH István Szakmai útmutató digitális tervezési alaptérképek készítéséhez. A minőségi mérnöki munka segítése, a jó gyakorlat bemutatása, javaslat a térképek rétegszerkezetére és az alkalmazandó jelkulcsokra
94. CSERMELY Gábor, TÓTH Péter Szakmai útmutató a magasépítési kivitelezési munkák minőségellenőrzésére
95. MARIÁN Gábor, ZSIGMONDI András Az építési beruházások műszaki átadás-átvételi eljárása – Szakmai ajánlás az építési beruházások műszaki átadás-átvételi eljárására
96. BARNA Sándor, MOLNÁR Tibor Dr. Segédlet az AERMOD view szoftver használatához a légszennyező anyagok terjedési modellezéséhez
97. BAKA György A talajnak, mint természeti erőforrásnak a védelme a beruházások megvalósítása során
98. BLAZSOVSZKY László A gázipari szakmagyakorlók megváltozott felelőssége, hatásköre és a mindennapok gyakorlatának anomáliái a megváltozott jogszabályi környezetben
99. FÜRJES Andor Tamás Elektroakusztika elméleti és gyakorlati áttekintés
100. RÁCZ Tibor, KUN Csaba, BALATONYI László Dr. ITVT Integrált Települési Vízgazdálkodási Terv tervezési segédlet