

**Elektroakusztikai méretezés
gyakorlati példák:**

**Tervezési segédlet a “V” jogosultsággal is
tervezhető hangtechnikai rendszerek
köréről és méretezési helyzeteiről**



**Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata 148.**

**Elektroakusztikai méretezés gyakorlati példák –
Tervezési segédlet a “V” jogosultsággal is tervezhető
hangtechnikai rendszerek köréről és méretezési
helyzeteiről**

**MMK FAP azonosító:
2025/126-AT**

Budapest, 2025. október

A sorozat szerkesztője:
WAGNER ERNŐ
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Akusztikai Tagozatának gondozásában, a 2025. 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.

Szerző:
Fürjes Andor Tamás

Lektorálta:
Ritzl András

Kiadó:
Magyar Mérnöki Kamara
1118 Budapest, Budaörsi út 125/A
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezető.....	6
2. Az elektroakusztikai rendszerek behatárolása.....	7
3. Elméleti összefoglaló	8
3.1. Hangnyomás	8
3.2. Hangforrás	9
3.3. Szabadtéri hangterjedés.....	13
3.1. Visszaverődések hatása.....	13
3.2. Akusztikai komfort jellemzése.....	17
3.2.1. Zajosság.....	17
3.2.2. Utózungés és hangtisztaság.....	18
3.3. Az elektroakusztikai átalakítók jellemzése.....	19
3.4. Az elektroakusztikai átvitel jellemzése	20
3.5. A beszédérthetőség jellemzése.....	22
3.5.1. Az STI paraméter	22
3.5.2. A beszédérthetőségi követelmények.....	22
3.5.3. A teremakusztika hatása a beszédérthetőségre.....	23
3.6. Az érzékelés	24
3.7. A műsorjel.....	26
3.8. Méretezés	27
3.8.1. Méretezés lefedettségre.....	27
3.8.2. Méretezés hangnyomásszintre	30
3.8.3. Méretezés hangtisztaságra	32
3.8.4. Méretezés beszédérthetőségre	35
3.8.5. Méretezés kisfrekvenciás tartományban.....	36
3.9. Rendszertechnikai szempontok.....	38
3.9.1. Hangsugárzó rendszerek típusai.....	38
3.9.2. Kábelezés.....	38
3.9.3. Átvitel késésének hatása kétirányú kommunikációban.....	40
4. Akusztikai vagy AVT jogosultságot igénylő szituációk.....	41

5. Méretezési példák.....	42
5.1. Integrált A/V rendszerek (pl. tárgyaló).....	42
5.2. Egyszerű, nem elosztott hangsugárzó rendszerek (pl. tanterem)	44
5.3. Elosztott hangsugárzó rendszerek (pl. előcsarnok)	47
5.4. Egyszerű mikrofonozási rendszerek (pl. bemondó)	49
6. Dokumentációs ajánlások	51
6.1. Specifikáció	51
6.2. Akusztikai szakági hivatkozás	52
6.3. A megfelelőség igazolása	53
6.4. Telepítési, üzemeltetési instrukciók	53
7. Ajánlott irodalom és szabványok.....	54
8. Irodalomjegyzék	57

1. Bevezető

Az „AVT” jogosultság bevezetésével ([1] 266/2013. (VII. 11.) Korm. rendelet 2023. évi módosítása) az audiovizuális rendszerek tervezése szakterület önálló jogosultságot képvisel. Az AVT jogosultság bevezetésének átmeneti időszakában és azt megelőzően a tervezési gyakorlatban más, leggyakrabban „V” jogosultsággal készítenek kollégák elektroakusztikai terveket. Az a cél, hogy az AVT jogosultság bevezetését követően a műszaki értelemben egyszerű és gyakori szituációkban továbbra is lehessen AVT jogosultság nélkül hangosítási rendszereket tervezni.

Ez a tervezési segédlet segít:

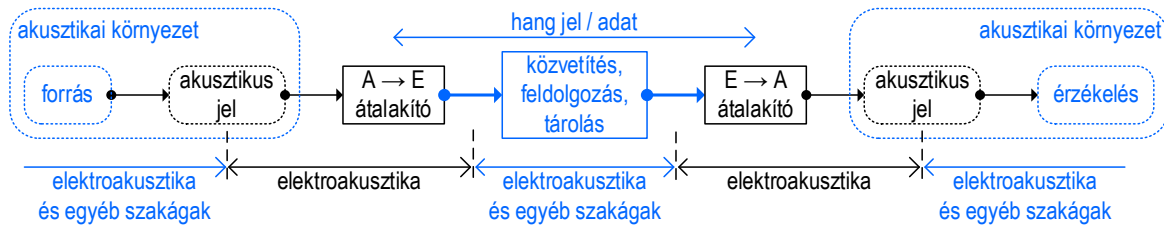
- egyértelművé tenni, hogy mik azok az esetek vagy szempontok, amik az akusztikai vagy „AVT” szakterület bevonását szükségessé teszik
- bemutatni, hogy átfogó akusztikai ismeretek nélkül „V” szakterületen belül milyen egyszerű méretezési módszerrel lehet biztonságosan elektroakusztikai rendszereket tervezni
- a felkészülésben az „AVT” jogosultság megszerzéséhez.

A tervezési segédlet az „Elektroakusztika elméleti és gyakorlati áttekintés” FAP-2022/207-AT kiadványt kiegészítő segédlet, ami a „V” jogosultsággal tervezhető hangrendszerekre fókuszál. Az általánosabb esetek, hangtechnikában előforduló fogalmak megértéséhez javasolt a 2022/207-AT kiadványt is olvasni.

A segédlet villamosmérnöki vagy gépészmérnöki végzettségnél elvárható tudásra épít és a méretezést a gyakorlatban is alkalmazható táblázatokkal, ábrákkal, összefüggésekkel segíti.

2. Az elektroakusztikai rendszerek behatárolása

A hangjel természetes szituációban akusztikus hatásra az akusztikai környezetben terjed és jut el az érzékeléshez. Ha a hangútban az akusztikus jelet elektromos jellé alakító (A/E) elem vagy az elektromos jelet akusztikus jellé alakító (E/A) elem található, a teljes hanglánc elektroakusztikus szakasszal bővül (ld. 2-1. ábra).



2-1. ábra: A hanglánc és az elektroakusztika határai a hangláncban.

Az elektromos jel kezelése és továbbítása önmagában elektrotechnikai kérdéskörnek minősülhet, azonban az átvitelt alapjaiban meghatározza az akusztikai környezet, valamint gyakran az elektromos jel kezelése és feldolgozása is megköveteli az akusztikai környezet, az átalakítók, a források és átalakítók jellemzőinek és egymásra hatásainak ismeretét.

3. Elméleti összefoglaló

Az alábbiakban az összefüggések megértéséhez és a vonatkozó szabályozásban alkalmazott fogalmak megértéséhez szükséges kiinduló alapfogalmakat tisztázzuk. Az elméleti összefoglaló részben a korábbi segédletek (ld. [3], [4], [5]) tartalmát idézi, részben kiegészíti azokat újabb és a témában fontos elemekkel.

3.1. Hangnyomás

Az akusztikus jel fizikai közegben megjelenő és terjedő rezgéseket leíró fizikai mennyiség.

A hanghullám a hallással érzékelhető akusztikus zavar (nyomás vagy kitérés) terjedése az akusztikus közegben (levegő vagy szerkezet).

A hangnyomás a hanghullámot az időben közel állandónak tekinthető légköri nyomáshoz ($p_0 \approx 101\text{kPa}$) képesti eltéréssel kifejező fizikai mennyiség $p(t)$, ami így a pillanatnyi légköri nyomás $p'(t) = p_0 + p(t)$ része. Normál esetben (fájdalomküszöb alatt) a pillanatnyi hangnyomás a légköri hangnyomásnál lényegesen kisebb, ezért az egyszerűsített, linearizált hullámelméleti összefüggéseket érvényesnek lehet tekinteni.

A hangnyomásszint¹ (SPL) a referencia $p_{ref} = 20\mu\text{Pa}$ hangnyomáshoz² viszonyított hangnyomás dB mértékben kifejezve:

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

A hangteljesítményszint³ (SWL) a $P_{ref} = 10^{-12}\text{W}$ referencia teljesítményhez viszonyított hangteljesítmény dB mértékben kifejezve:

$$L_w = 10 \cdot \log_{10} \frac{P}{P_{ref}}. \quad (2)$$

A hanghullám terjedési sebességét közelítő összefüggés

$$c = 331,4 \text{ m/s} + 0,6 \text{ m/s} \cdot \frac{T_c}{1^\circ\text{C}} \quad (3)$$

ahol T_c a hőmérséklet °C-ban megadva.

A hullámhossz $\lambda = c/f$ az adott f frekvencián az azonos fázisú pontok távolsága a hullámterjedés irányában.

¹ angolul: sound pressure level

² A $p_{ref} = 20\mu\text{Pa}$ hangnyomás sík (egy dimenzió mentén terjedő) hullám esetén az 1 pW/m^2 hang-intenzitásnak felel meg.

³ angolul: sound power level

3.2. Hangforrás

A hangforrás az akusztikus jelet keltő elem (pl. beszéd, hangszer, zörejek) a hangláncban.

A pontforrás olyan idealizált (nem valódi) hangforrás, aminek a mérete lényegesen kisebb, mint a hullámhossz vagy mint a hangforrástól mért távolság. A pontforrás gömbszimmetrikus hullámtérrel írható le.

A véges kiterjedésű hangforrás mérete a hullámhosszal összemérhető, ezért különböző irányokban különböző intenzitással sugároz. Az adott távolságban a hangforrás fő irányában mérhető hangintenzitástól való eltérés az iránykarakterisztika. A véges kiterjedésű hangforrás kellően nagy távolságból pontforrással közelíthető és az iránykarakterisztika nem függ a távolságtól. Az iránykarakterisztika erősen frekvenciafüggő.

A fő sugárzási irány ⁴jellemzően az az irány, ahol a hangforrás legnagyobb hangintenzitást produkálja. Nem tengelyszimmetrikusan felépítésű összetett hangforrás esetében elfordulhat, hogy a főirány is függ a frekvenciától, ekkor a különböző frekvenciákon előforduló főirányok átlagát lehet definiálni.

Az irányítási tényező Q a hangforrás irányfüggőséget jellemző paraméter, ami az irányítotttsággal rendelkező hangforrás adott irányba jutó hangintenzitás és az azonos teljesítményű irányítatlan hangforrás hangintenzitás aránya (ld. **3-1. ábra**). Az irányítási tényező erősen frekvenciafüggő. Az irányítási tényező átszámolható olyan paraméterekre, mint a sugárzási hatékonyság ($RE = 1/Q$), az irányítotttsági index ($DI = 10 \cdot \log_{10} Q$) vagy a távolsági tényező ($DF = \sqrt{Q}$). Az elemi tengelyszimmetrikus irányfüggések jellemzőit a **3-1. táblázat** foglalja össze.

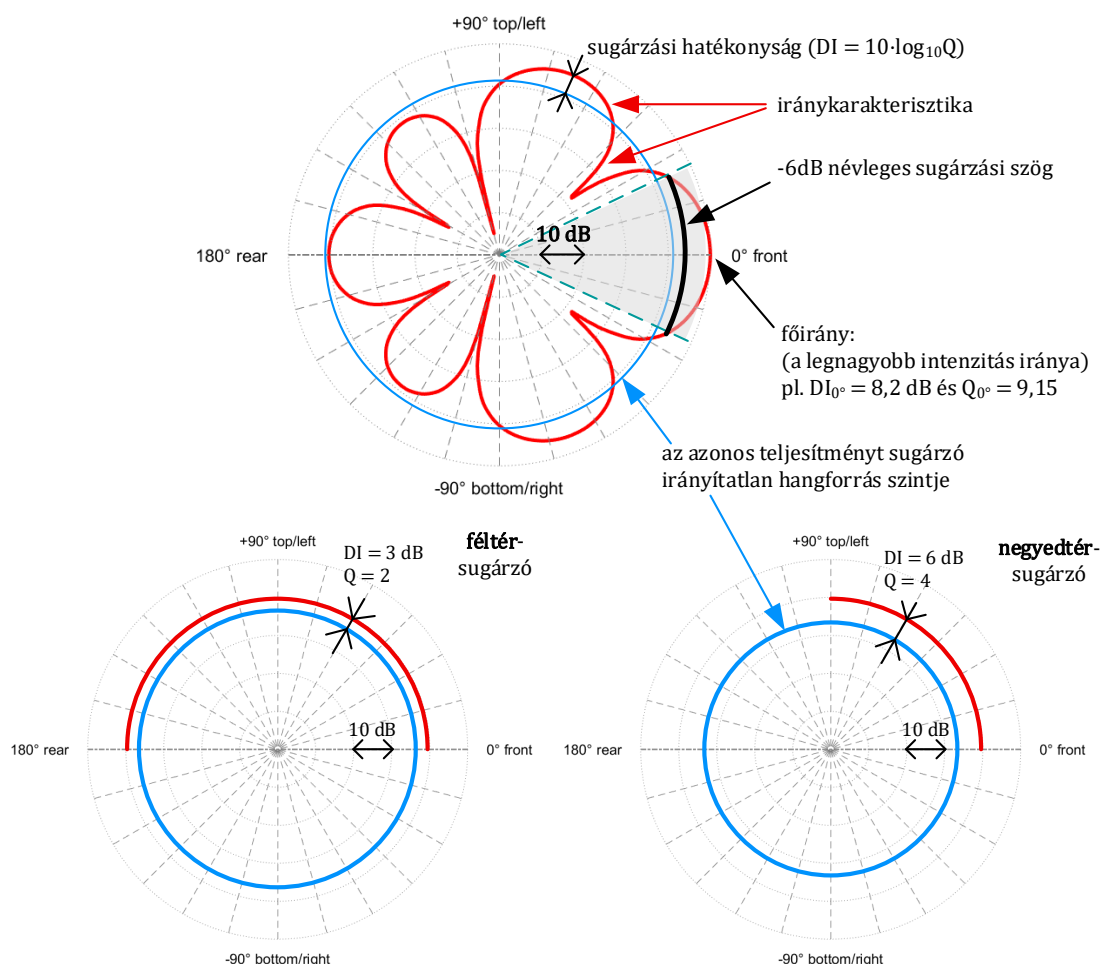
Az irányítási tényezőt nem csak fő irányra lehet értelmezni. Ebben az esetben viszont nem a hangforrást, hanem a hangforráshoz képesti helyzetet (a közvetlen és egyéb irányokba sugárzott hangteljesítmények arányát) jellemzi.

Az irányítási tényező értelmezhető az érzékelők (pl. mikrofonok, hallás) irányfüggésének átfogó kifejezésére is.

A névleges sugárzási szög a fő sugárzási irányhoz képest legfeljebb -6 dB csillapítással sugárzott irányok szögtartományát jelenti. Azért a -6 dB csillapítást használja alapértelmezés szerint ez a fogalom, mert abból a feltételezésből indul ki, hogy ezekben az irányokban az egymás mellé helyezett koherens hangforrások éppen kiegészítik

⁴ „main axis”, „on-axis”

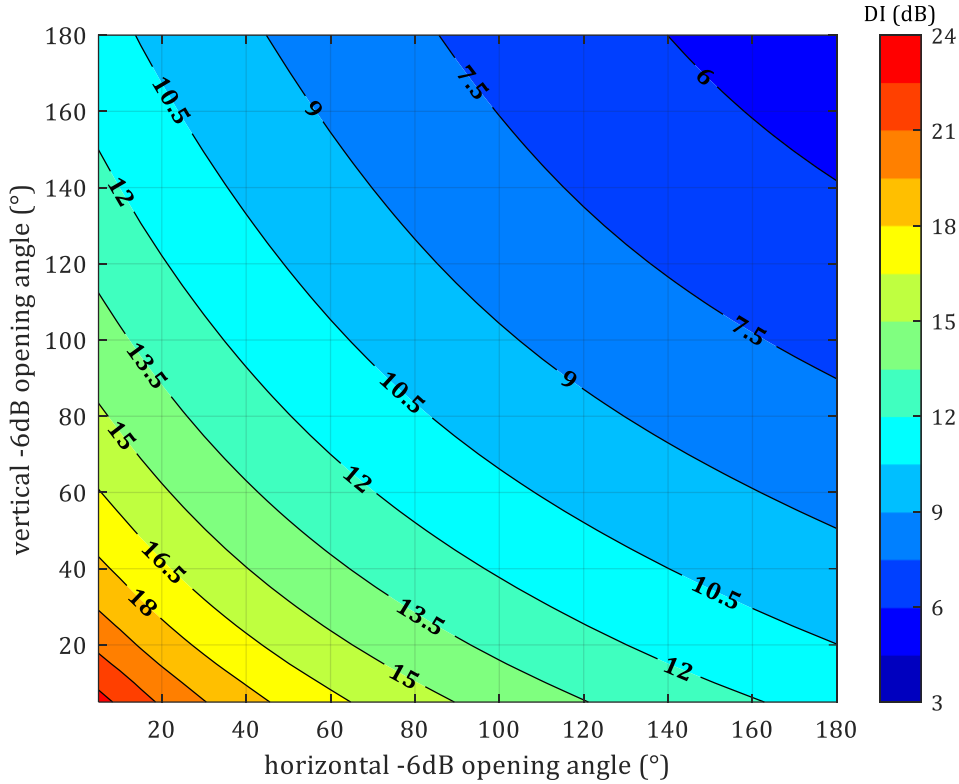
egymást. A névleges sugárzási szöget a vízszintes és függőleges síkban vett iránykarakterisztikája alapján szokás megadni. A névleges sugárzási szög közvetlenül nem számolható át az irányítási tényezőkre, de szűkebb sugárzási szög értelemszerűen nagyobb irányítottságot jelent a főirányban (ld. 3-2. és 3-3. ábra).



3-1. ábra: Az irányítási tényező (Q), irányítottsági index (DI) és névleges sugárzási („nyitási”) szög magyarázata.

alap- iránykarakterisztika elnevezés	RE	$1/RE$	$-10 \cdot \log_{10} RE$	$1/\sqrt{RE}$
		Q	DI	DF
	-	-	dB	-
szabadtér (gömbi)	1,00	1,0	0,0	1,00
félter	0,50	2,0	3,0	1,41
negyedter	0,25	4,0	6,0	2,00
nyolcadter (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

3-1. táblázat: Alapvető iránykarakteristikák és jellemző paramétereik.



3-2. ábra: A névleges sugárzási szög és a főirányban vett irányítási tényező (DI_{0°) összefüggése (0 dB főirányban, -6 dB sugárzási szög és -30 dB@180° irányítottságból számolva).

A -6 dB csillapodáshoz tartozó φ_H és φ_V névleges sugárzási szögek alapján $\pm 0,5$ dB pontossággal becsülhető az irányítottsági index az alábbi összefüggéssel⁵:

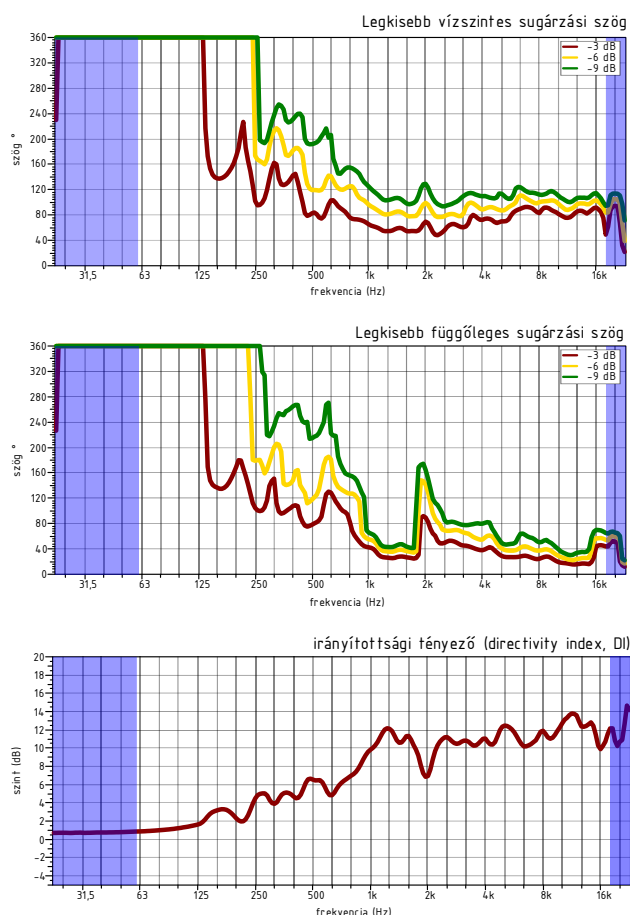
$$DI \approx 30,5 \text{ dB} - 10 \cdot \log_{10} \left[\begin{array}{c} + 0,1900 \cdot (\varphi_H + \varphi_V) \\ 3,96 + 0,0013 \cdot (\varphi_H^2 + \varphi_V^2) \\ + 0,0066 \cdot \varphi_H \cdot \varphi_V \end{array} \right] \quad (4)$$

A koherens hangforrások adott frekvencián időben állandó fáziseltéréssel működnek. A koherens hangforrások együttese ezért adott frekvencián jellegzetes helytől (iránytól és távolságtól) függő hangteret (interferencia) alkot. Ez annak köszönhető, hogy egyes pontokon azonos fázisban összegződik, más pontokon viszont ellentétes fázisban pont kioltja egymást a hangforrások jele. Ha adott frekvenciasávban minden frekvencián koherens a hangforrások működése, akkor a frekvenciánként fázishelyes összegzés miatt a frekvenciasávban frekvencia szerint átlagolt hangnyomásszint is jellegzetes helyfüggést mutat.

⁵ részletes adatok alapján számolt kétváltozós $DI(\varphi_H, \varphi_V)$ függvény polinomiális közelítése

Az inkoherens hangforrások egymástól függetlenül működnek, ezért együttes hangterük nem mutat interferenciát és statisztikus feltételezésekkel élve a hangforrások hangtere teljesítményben összegződik.

Az összetett hangforrás több, jellemzően koherens hangforrás együttese. A természetes és valós méretekkel rendelkező (nem pontszerű) hangforrásokat is koherens hangforrások összességének tekinthetjük, ami adott frekvencián interferenciaképet sugároz. Az összetett hangforrás közelterében az iránykarakterisztika a távolságtól is függ, ezért az iránykarakterisztikát csak az összetett hangforrás távolterében értelmezhetjük.



3-3. ábra: Egy valós hangsugárzó irányfüggése alapján számolt sugárzási szögek (fent: vízszintes síkban, középen: függőleges síkban) és irányítottsági index (DI, lent).

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

$$r_{N/F} = 0,0015 \cdot f \cdot d^2 \sqrt{1 - \frac{1}{(0,003 \cdot f \cdot d)^2}} \approx 0,0015 \cdot f \cdot d^2 \quad (5)$$

összefüggéssel becsülhető (ld. [3]), ahol f a kérdéses frekvencia. Például egy $0,8 \times 0,4 \times 0,4$ m méretű hangsugárzó dobozának jellemző mérete

$\sqrt{0,8^2 + 0,4^2 + 0,4^2}m \approx 0,98m$, 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.

3.3. Szabadtéri hangterjedés

A hangforrásból a hangnyomás-zavar a közeg minőségétől függő sebességgel hullámterjedés formájában terjed. A levegőben a hanghullám terjedésének sebessége

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

ahol T_c a hőmérséklet $^\circ\text{C}$ -ban megadva. Szobahőmérsékleten a $c = 345 \text{ m/s}$ alkalmazható.

A hangforrások távolterében a szabadtéri vagy közvetlen hangnyomásszint a hangteljesítménytől (L_w), az irányítottagságtól (DI) és a távolságtól (r) függ:

$$L_{p,r} = L_w + DI - 20 \cdot \log_{10} r - 10,9 \text{ dB} \quad (7)$$

Ha adott irányban és távolságban (pl. $r_0 = 1\text{m}$) ismert a hangnyomásszint, akkor a távolságfüggés más formában is felírható

$$L_{p,r} = L_{p,r_0} - 20 \cdot \log_{10} \frac{r}{r_0} \quad (8a)$$

összefüggéssel közelíthető.

A levegő a hanghullámot veszteséggel közvetíti

$$L_{p,r} = L_{p,r_0} - 20 \cdot \log_{10} \frac{r}{r_0} + 10 \cdot \log_{10}(1 - m) \cdot r \quad (8b)$$

ahol m a frekvenciától, páratartalomtól, hőmérséklettől függő jellemző.

Az oktávsávós frekvenciasávokra használható dB/100m mértékegységben számolt⁶ hangcsillapítási értékeket a **3-4. ábra** mutatja, az ábrán a 20 $^\circ\text{C}$ hőmérséklethez és 60% páratartalomhoz számolt értékek táblázatos formában is szerepelnek.

3.1. Visszaverődések hatása

A hangforrások szinte biztosan olyan környezetben működnek, ahol a szabad hangterjedést épített vagy természetes akadályok befolyásolják.

Amikor a hanghullámot közvetítő közeg minősége megváltozik, a beeső hangteljesítmény egy része visszaverődik, egy része tovább halad, egy része elnyelődik. Ezeknek a komponenseknek az aránya és fázisviszonya függ a frekvenciától, a beesési

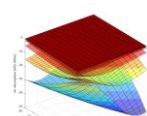
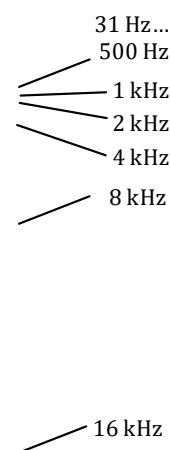
⁶ $A_{\text{levegő},100\text{m}} = 1000 \cdot \log_{10}(1 - m)$, mértékegység dB/100m

szögtől és az anyag akusztikai impedanciájától. A gyakorlatban ezeket a tényezőket nem ismerjük részletesen, ezért egyszerűsített modellel számolunk.

Az egyszerűsített modell alapja, hogy a lehetséges beesési és visszaverődési szögek összességére átlagolt anyagminőséggel, a diffúztéri hangelnyelési tényezővel⁷ (α) és energetikai modellel (inkoherens visszaverődésekkel) számolunk:

$$I_{visszavert} = I_{beeső} - I_{elnyelt} = I_{beeső} - \alpha \cdot I_{beeső} = (1 - \alpha) \cdot I_{beeső} \quad (9)$$

A diffúztéri hangelnyelési tényező szabványosított termékjellemző, amit frekvencia függvényében (leggyakrabban 125 Hz...4 kHz oktávsávokban) adnak meg. Adott szerkezet hangelnyelési tényezője függ a beépítéstől (elsősorban légrés méretétől vagy légrésbe épített egyéb anyagok minőségétől) is.



f		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Hz
20°C	A _{air}	-0,003	-0,010	-0,040	-0,124	-0,278	-0,487	-0,965	-2,711	-9,429	-29,540	dB/100m
60%	m	0,0000	0,0000	0,0001	0,0003	0,0006	0,0011	0,0022	0,0062	0,0215	0,0658	1/m

3-4. ábra: A levegő hangelnyelése a hőmérséklet, páratartalom, frekvencia függvényében.

A hangforrás közvetlen (szabadon terjedő) hangjához képest a visszaverődések időben mindig késve érkeznek. Amikor a hangforrás közelében egy sík, sima felület erősen visszaverő ($\alpha < 0,10$), a hangforrás és a visszaverődés koherens összegződésére is kell számolni és ebben az időkésés jelentős szerepet játszik.

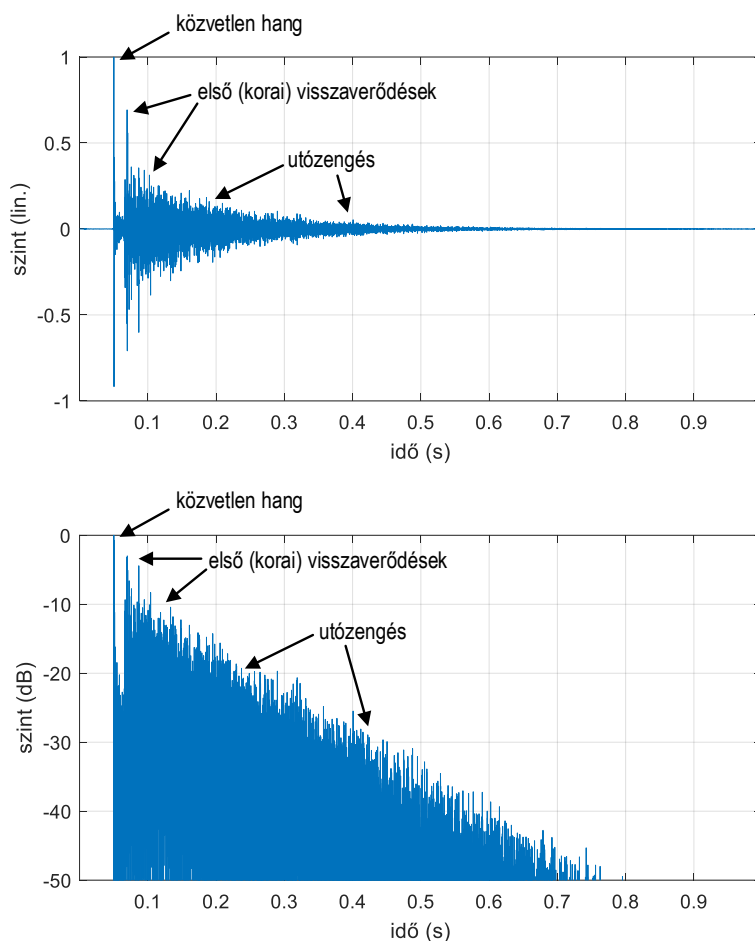
⁷ angolul "random incidence sound absorption coefficient", röviden „sound absorption coefficient”

Több visszaverő felület esetén több visszaverődésre, a visszaverődések ismétlésére kell számítani. Az akusztikai jel és időben eltoltt ismétlődései (a visszaverődések) egy lineáris, időinvariáns, kauzális rendszer válaszának felelnek meg, ezért az ilyen rendszerekre használt fogalmak (impulzusválasz, átviteli függvény) is használhatók. A teremválasz az épített környezetben egy hangforrás és egy hallgatási pont között mérhető akusztikai impulzusválasz (ld. 3-5. ábra).

Mivel a visszaverődések száma az idővel lineárisan nő, de a visszaverődések szintje a hangelnyelés multiplikatív hatásával csökken (geometriai sor), a közvetlen hangot követő visszaverődések sorozata általában már jól közelíthető egy exponenciális lecsengéssel. Az exponenciális lecsengést a visszaverődések átlagos gyakorisága és a visszaverődések átlagos csillapodása határozza meg és a lecsengés hosszával (a -60 dB csillapodáshoz tartozó idővel) jellemezzük:

$$T_{60} = 13,8 \cdot \frac{\bar{l}}{c} \cdot \frac{1}{\bar{\alpha} + m \cdot \bar{l}} \quad (10)$$

ahol $\bar{l}$ a visszaverődések közötti hangutak átlagos hossza (a közepes szabad úthossz), $\bar{\alpha}$ pedig az átlagos hangelnyelési tényező.



3-5. ábra: Egy teremakusztikai impulzusválasz.

Utózengésről beszélünk, amikor az egyes visszaverődések az exponenciális lecsengésben már nem különböztethetők meg. Visszhangról beszélünk, amikor a visszaverődés jól megkülönböztethető a közvetlen hangtól. Csörgő visszhangról beszélünk, amikor a jól kivehető visszaverődések szabályosan ismétlődnek.

A klasszikus feltételezés szerint zárt térben egységnyi határoló felületekre azonos hangintenzitás jut, ezért a hangelnyelés a felületek nagyságával és a hangelnyelési tényezővel arányos, így az átlagos hangelnyelési tényező

$$\bar{\alpha} = \frac{A}{S} = \frac{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n}{S} \quad (11)$$

ahol $\alpha_{1...n}$ a különböző felületek diffúztéri hangelnyelési tényezője, $S_{1...n}$ a különböző felületek nagysága és $S = \sum S_i$ az összes felület, A pedig az összes hangelnyelés.

Téglatest alakú zárt terek esetében a visszaverődések közötti átlagos szabad úthossz

$$\bar{l} = 4 \cdot V / S \quad (12)$$

ahol V a téglatest térfogata. Tapasztalatok szerint a közelítés nem téglatest alakú terekre is jól használható.

A hangforrás $L_{p,r}$ közvetlen hangnyomásszintjéhez a lecsengés által okozott $L_{p,z}$ hangnyomást teljesítményben összegezve kell hozzáadni:

$$L_{p,direkt+zengő} = 10 \cdot \log_{10} (10^{L_{p,r}/10} + 10^{L_{p,z}/10}) \quad (13a)$$

ami részletesen kifejtve

$$L_{p,direkt+zengő} = L_w + 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{Q}{4r^2\pi} + \frac{4}{S \cdot \bar{\alpha}'} (1 - \bar{\alpha}')^{1+r/\bar{l}} \right] \quad (13b)$$

ahol $\bar{\alpha}' = \bar{l} \cdot m + \bar{\alpha}$ a közepes szabad úthosszon várható levegő hangelnyelésével korrigált átlagos hangelnyelés.

A fenti képlet a klasszikus képlettől elsősorban az utolsó tagban tér el. Figyelembe veszi ugyanis azt a hatást, hogy a hangforrástól távolodva a hangforrás egységnyi felületet csökkenő intenzitással tud besugározni („féldiffúz hangtér”).

A hangsugárzó megszólalásának minősége szempontjából meghatározó jellemző a direkt/zengő energiák aránya:

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

A fentiek szerint számolt eredményeket egy 20×10×6 m méretű terem esetére a **3-6. ábra** mutatja. Az eredmények szerint a direkt/zengő energiaarányt a nagyobb irányítottság és a nagyobb átlagos hangelnyelés is növeli.

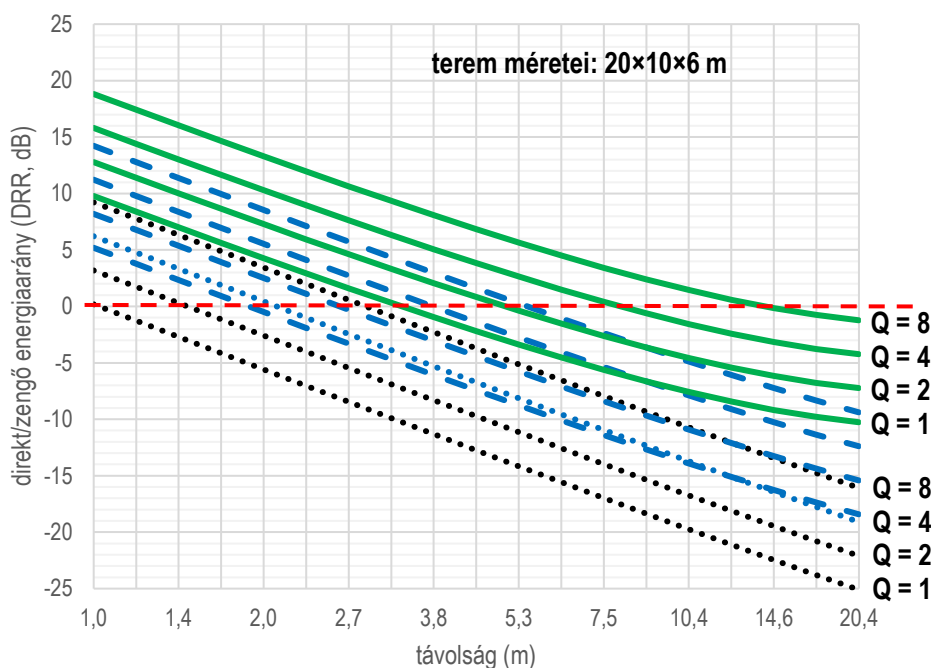
3.2. Akusztikai komfort jellemzése

A komfortérzetet az akusztikai minőség lényegesen befolyásolja. Az akusztikai minőséget jellemző tényezők a zajosság és az utószög.

3.2.1. Zajosság

A kommunikáció szempontjából nem hasznos akusztikai jeleket zajnak tekintjük. A zajokat több komponens együttesen alkotja:

- saját épületen kívülről az épület határoló szerkezetein (pl. homlokzat) át bejutó zajok pl. közlekedési zajhatások
- saját épületen belüli más helyiségekből az épületen belüli határolásokon (pl. válaszfal, födém) át bejutó zajhatások (tevékenységek zajhatása, berendezések zajhatása)
- saját helyiségen belüli zajhatások (tevékenységek zajhatása, berendezések zajhatása).



3-6. ábra: A közvetlen és zengő energiák arányának változása a távolság függvényében, különböző teremállapotok és különböző irányítottságok esetén (fekete ... $\alpha=0,05$ $T\approx 0,6$ s, kék -- $\alpha=0,15$ $T\approx 1,4$ s, zöld _ $\alpha=0,05$ $T\approx 3,5$ s)

A helyiségen belüli tevékenységek zajhatása nélküli zajok összessége az alapteraj. A vizsgált zajforrás nélkül, de a vizsgált zajforráshoz hasonló zajforrások által okozott zajok összessége a hátteraj.

A zajok minőségét a zajhatások hossza, spektrális tartalma (hangszíne), a tonalitás (pl. kiugróan nagy szinuszos összetevők), az időbeli változás jellege is befolyásolja. A [10] rendelet az MSZ18150-1 szabványban definiált L_{AM} megítélési zajszintet, a legtöbb más előírás a különböző megfigyelési időkkel átlagolt L_{Aeq} egyenértékű hangnyomásszintet használja a maximális megengedett zajosság meghatározására.

A munkaegészségügyi határértékeket a [11] rendelet a 87 dB maximális A-súlyozott $L_{A,EX,8h}$ zajexpozícióval és 135...140 dB rövid idejű C-súlyozott maximális $L_{C,peak}$ csúcsértékkel határozza meg. A munkaegészségügyi határértékek mindig magasabbak, mint a jellemző komfort-követelmények.

3.2.2. Utózengés és hangtisztaság

A rövidebb utózengéssel jellemezhető helyiségek jobb hangtisztaságot és adott hangteljesítmény esetén kisebb hangnyomásszintet mutatnak. A szabályozások (pl. MSZ 2080) ezért általában egy határértéknél rövidebb utózengést, a határértéknél nagyobb hangelnyelést írnak elő.

Az utózengési idő követelményt a helyiség különböző pontjain mérhető utózengési idők átlagaként (térbeli átlag) és a közepes frekvenciasávokra átlagolt közepes értékre adják meg. Az MSZ 2080 a 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz oktávsávokból számolt középértékre vonatkoztatja a követelményeit. A $T_{60,m4}$ (vagy rövidebben T_{m4}) közepes utózengési időre vonatkozó becslés a (3) és (10) összefüggések, valamint a levegő hangelnyelésének $m_{m4} = 0,0011 \left[\frac{1}{m} \right]$ átlagértékével számolva:

$$T_{m4} \approx \frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}_{m4} + 0,0044 \cdot V} \quad (15)$$

ahol $\bar{\alpha}_{m4}$ a négy oktávsávban ismert hangelnyelési tényezőkből (adatlapokon pl. NRC érték⁸) számolt átlagos közepes hangelnyelési tényező, V és S pedig a helyiség térfogata illetve felülete.

Az utózengési idő frekvenciafüggő jellemző, az MSZ 2080 szabvány a $>250 \text{ m}^3$ térfogatú helyiségekben a frekvenciafüggésre is ad előírást tolerancia formájában.

A fajlagos hangelnyelési szám a térfogategységre eső hangelnyelési szám, azaz A/V érték m^2/m^3 mértékegységben megadva. Az MSZ 2080 szabvány közlekedő területeken, $>3,2 \text{ m}$ -nél nagyobb belmagasságú irodákban, kiállítóterekben stb. adja meg a közepes fajlagos hangelnyelési szám minimális értékét. A hangelnyelési szám

⁸ Az ASTM C423 szabványban bevezetett NRC („noise reduction coefficient”) érték a 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz és 2 kHz oktávsávokban számolt hangelnyelési tényezők átlaga 0,05 értékre kerekítve; a szabvány újabb változata már nem használja, de adatlapokon ma is gyakran előfordul.

előírása egyszerűbben teljesíthető és a hangelnyeléssel elérhető zajcsökkentés hatását jól szabályozza olyan esetekben is, amikor az utózenngési idő nehezebben számolható.

A teremakusztikai értelemben vett hangtisztaságot a közvetlen hangot követő utózenngés korai és késői szakaszában képvisel hangenergiák arányával hozzák összefüggésbe. A beszéd hangtisztasága szempontjából leggyakrabban az utózenngés utáni első 50 ms hangenergiát még hasznosnak, az 50 ms utáni hangenergiát már zavarónak tekintik, ezt a C_{50} („speech clarity”, ld. MSZ EN ISO 3382-1 szabvány) paraméter képviseli:

$$C_{50} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\int_0^{0,05} h^2(t) dt}{\int_{0,05}^{\infty} h^2(t) dt} \quad (16)$$

ahol $h(t)$ a teremátvitel impulzusválasza, illetve abban a 0 s időpont a közvetlen hang érkezésének pillanatát jelöli.

A beszédhangtisztaság az alábbi összefüggéssel közelíthető:

$$C_{50} \approx 10 \cdot \log_{10}(10^B - 1) \quad (17)$$

ahol $B = \log_{10}[1 + 10^{DRR/10}] + 0,3/T_{60}$ a direkt/zengő energiaarányt és az utózenngési idő hatását tartalmazó tényező.

A teremakusztikai tényezőkről részletesebben a [3] segédletben lehet olvasni.

3.3. Az elektroakusztikai átalakítók jellemzése

Az elektroakusztikai átalakítók mindig egy mechanikai átalakítóból (hangnyomás <> mozgás/rezgés) és egy elektromechanikai átalakítóból (mozgás <> elektromos jel) állnak.

Az ideális elektroakusztikai átalakító teljesítményveszteség, elveszteség, késlekedés nélkül képes az akusztikus és elektromos jelek analóg átalakítására. Természetesen ilyen átalakító nem ismert a gyakorlatban, az átalakítás ezért pontatlan, az átalakítás minőségét műszaki paraméterekkel lehet jellemezni.

Az átalakítás (teljesítmény)hatékonyságát az érzékenység fejezi ki:

- elektromos/akusztikus átalakítók (pl. hangszórók) esetében ez dB/W mértékben a fő irányban, jellemzően 1 m távolságban 1 W effektív elektromos teljesítmény hatására keltett egyenértékű hangnyomásszintet jelenti
- akusztikus/elektromos átalakítók (pl. mikrofonok) esetében ez mV/Pa mértékben a fő irányban az átalakító felületére jutó 1 Pa effektív hangnyomás hatására mérhető feszültség szintet jelenti.

Az átalakítás lineáris tartományában az amplitúdó-átvitel, fázisátvitel, impulzusátvitel jellemezhető az ismert módokon. A zajosság és nemlineáris viselkedés következményei is a híradástechnikában megszokott módokon írhatók le.

Az elektroakusztikai átalakítók mérete, tömege, megjelenése változatos egészen az apró átalakítóktól (pl. mobiltelefon) a >10 m magas összeállításokig (pl. koncerthangosítás).

Az átalakító minőségének leírásához minimálisan szükséges információk a fentiekből adódnak:

- minimális érzékenység
- legnagyobb terhelhetőség (max. hangnyomásszint, max. elektromos teljesítmény)
- lineáris működés korlátai (frekvenciatartomány, teljesítmény- vagy szint-tartomány pl. adott legnagyobb harmonikus torzítás vagy csúcstényező mellett)
- lineáris működési tartományon belül jellemző frekvenciaátvitel (ritkán fázisátvitel), adott frekvencia-felbontással (frekvencia-tartományban vett átlagolással) és toleranciával
- irányfüggőség jellemzése (iránykarakterisztika, irányítottsági tényező frekvencia függvényében)
- saját zaj
- üzemszerű működés környezeti feltételei (hőmérséklet, páratartalom, beépíthetőség, rögzítés).

Az átalakítókról részletesebben a [5] segédletben lehet olvasni.

3.4. Az elektroakusztikai átvitel jellemzése

A teljes hanglánc minősége a hangforrástól az átalakítóig terjedő akusztikai hatásokat, az akusztikus/elektromos átalakítás minőségét, az elektromos átvitel minőségét, az elektromos/akusztikus átalakítás minőségét és végül az átalakítótól a hallgatási pontig terjedő akusztikai hatásokat is magában foglalja.

Az egyes komponensek minősége természetesen fontos tényező, de a felhasználás és rendeltetés szempontjából végül a hanglánc egészének vagy rész-szakaszainak eredő minőségét kell biztosítani:

- élőhang rögzítése: akusztikai környezet és akusztikus/elektromos átalakító (A-lánc), jelprocesszálas és adatrögzítés
- rögzített hangjel bejátszása (reprodukció): adatolvasás, jelfeldolgozás, elektromos/akusztikus átalakító, akusztikai környezet
- élőhang hangosítása: a teljes hanglánc.

A „B-lánc” fogalmat az ISO 2969 szabvány alkalmazza a filmszínházak reprodukciós rendszereinél, a végerősítőtől a hallgatási pontig terjedően. Az „A-lánc” fogalmat a hanglánc egyéb részeire használhatjuk.

A hanglánc részeinek minőségét leíró információk a fentiekből adódnak és a kérdéses hanglánc két (elektromos vagy akusztikus) végpontja között értendő:

- lineáris működés korlátai (frekvenciatartomány, teljesítmény- vagy szint-tartomány pl. adott legnagyobb harmonikus torzítás vagy csúcstényező mellett);
- lineáris működési tartományon belül jellemző frekvenciaátvitel (ritkán fázisátvitel), adott frekvencia-felbontással (frekvencia-tartományban vett átlagolással) és toleranciával;
- saját zaj;
- beszédátvitel (ld. STI vagy STIPA).

Ha legalább az egyik végpont akusztikai térben értelmezett, további információk szükségesek a minőség leírásához:

- üzemszerű működés akusztikai feltételei (háttérzaj, utózengés, forrás-vevő távolság stb.);
- teremátvitelre vonatkozó műszaki paraméterek (hangtisztaság, direkt/zengő energiaarány);
- hely- vagy irányfüggőség jellemzése az akusztikai térben (ha a bemenet vagy kimenet akusztikai térben értelmezett);

A hanglánc egyes szakaszainak elektroakusztikai műszaki jellemzéséről részletesebben a [5] segédletben lehet olvasni.

3.5. A beszédérthetőség jellemzése

A hanglánc egészére vagy szakaszaira a szokásos műszaki jellemzők (üzemi jelszint-tartomány, frekvencia-átvitel, jel/zaj viszony, torzítás stb.) mellett a beszédérthetőség érdemel külön magyarázatot.

3.5.1. Az STI paraméter

A beszédátvitel minőségére leginkább elfogadott mérőszám az STI (speech transmission index) érték. Az STI számításának alapja az optikai átvitelből ismert modulációs átviteli tényezők (MTI) vizsgálata. A beszéd szempontjából meghatározó 125 Hz...8 kHz oktávsávokban a beszédre jellemző 0,63 Hz...12,5 Hz 1/3 oktávsávok modulációs frekvenciákból frekvenciafüggő súlyozással számolt 0,00...1,00 érték jól érthető és kommunikálható műszaki paraméter. Az STI számításának, értelmezésének részleteit az EN 60268-16 szabvány részletezi.

A közvetlen eljárás előnye, hogy figyelembe veszi az átviteli lánc nemlineáris hatásait és a zajok hatását is. Hátránya, hogy a mérés nehézkes és lassú (98 db MTI értéket kell szinuszos gerjesztéssel mérni és számolni). Az egyszerűsített STIPA-módszer olyan közvetlen mérési eljárás, ami kevesebb MTI frekvenciakombinációt vizsgál, ezért helyszíni kiértékelésnél jól használható és az STI megfelelésértékelésénél elfogadott kompromisszum.

Ha a nemlineáris hatásokat és a zajok hatását nem vesszük figyelembe, az STI a lineáris átvitel impulzusválaszából is számolható. A közvetett eljárás előnye, hogy könnyen számolható, de a linearitási feltétel miatt csak a normál akusztikai körülmények között és az elektroakusztikai komponensek lineáris működési tartományában alkalmazható.

A teljes STI értékelésnél a szabvány alapján figyelembe lehet venni olyan tényezőket is, mint a hallás jellemzői (frekvenciafüggő és szintfüggő maszkolási hatások), a hallgatók életkora (hallásminősége) vagy anyanyelve.

3.5.2. A beszédérthetőségi követelmények

Az ajánlott STI értéktartományokat különböző esetekre és minőségi elvárásokra a **3-2. táblázat** mutat. A követelményt az értelmezési pontokban mért vagy számolt értékek átlagára, vagy a szórással csökkentett átlagra szokás értelmezni.

Az STI paraméterről további részleteket a [5] segédletből lehet megtudni.

minőségi kategória jele	STI érték			beszédhang			jellemző helyzet	megjegyzés
	min	max	közép	üzenet	szóhasználat	szövegkörnyezet		
A+	0,76	1,00	-	-	-	-	hangfelvételi stúdió	kiváló beszédérthetőség
A	0,72	0,76	0,74	komplex	ismeretlen	-	színház, prózai előadó, parlament, bíróság,	nagyon jó beszédérthetőség
B	0,68	0,72	0,70				színház, prózai előadó, telekonferencia, parlament, bíróság	
C	0,64	0,68	0,66				előadóterem, tanterem, koncertterem	jó beszédérthetőség
D	0,60	0,64	0,62		ismerős			
E	0,56	0,60	0,58		-	ismerős	koncertterem, modern templom	nagyon jó minőségű bemondó rendszer
F	0,52	0,56	0,54				bevásárlóközpont vagy nyilvános iroda bemondó rendszere, vészhangrendszer, katedrális	jó minőségű bemondórendszer
G	0,48	0,52	0,50				bevásárlóközpont vagy nyilvános iroda bemondó rendszere, vészhangrendszer	vészhangrendszer célérték
H	0,44	0,48	0,46	egyszerű	ismerős	-	bemondó vagy vészhangrendszer kedvezőtlen akusztikai környezetben	normál alsó határ vészhangrendszerre
I	0,40	0,44	0,42		-	ismerős	bemondó vagy vészhangrendszer nagyon kedvezőtlen akusztikai környezetben	-
J	0,36	0,40	0,38	-	-	-	nem alkalmas hangosításra	-
U	0,00	0,36	-	-	-	-	nem alkalmas hangosításra	-

3-2. táblázat: A beszédátviteli index (STI) ajánlott követelményértékei (MSZ EN 60268-16).

Előfordulhat, hogy a beszédérthetőségi követelményt CIS⁹ mértékben kell meghatározni, ami az STI-ből átszámolható

$$CIS = 1 + \log_{10} STI \quad (18)$$

összefüggéssel.

3.5.3. A teremakusztika hatása a beszédérthetőségre

A lineáris tartományban az STI várható értéke a hangtisztasági paraméterből nagy számú mérési eredmény alapján becsülhető az alábbi összefüggéssel

$$STI \approx 0,0222 \cdot C_{50,m4} + 0,50 \quad (19)$$

⁹ common intelligibility scale

A teljes STI értékelésnél a szabvány alapján figyelembe lehet venni olyan tényezőket is, mint a hallás jellemzői (frekvenciafüggő és szintfüggő maszkolási hatások), a hallgatók életkora (hallásminősége) vagy anyanyelve.

3.6. Az érzékelés

A levegőben terjedő hangot elsősorban a hallószervünkkel érzékeljük.

A hallásmechanizmus főbb részei:

- külső fül (fülkagyló, füljárat, dobhártya): jellegzetes, személyfüggő iránykarakterisztika biztosítása, érzékenység emelése az 3 kHz körüli frekvenciatartományban, hangnyomás mozgássá alakítása a dobhártyán
- középfül (dobhártya, csontocskák, ovális ablak): dobhártya mozgásának változó áttételű közvetítése a belső fül felé, nyomáskiegyenlítés a szájüregén át
- belső fül (ovális ablak, fülcsiga, fülcsigán belül érzékelő szőrsejtek): az ovális ablakra jutó mozgás a fülcsigán belüli folyadékban hullámokat kelt és a hullámokat adott frekvenciasávokban ingerelhető szőrsejtek alakítják ingerületekké
- az ingerületek feldolgozása az agy temporális lebenyében történik és az ingerületek értelmezése nagyrészt tanuláson és az összefüggések (hosszú és rövid idejű periodicitások, hasonlóságok) keresésén alapul.

Az egyfülű hallás hallásmechanizmusa is erősen nemlineáris, ezt a legjobban az azonos hangosság szint (mértékegysége „phon”) és a hangnyomásszint frekvenciafüggésének görbéi mutatják (ld. **3-7. ábra**). Ezt a jellegzetességet igyekeznek lekövetni az egyszerű frekvencia szerint súlyozó szűrők (ld. **3-8. ábra**).

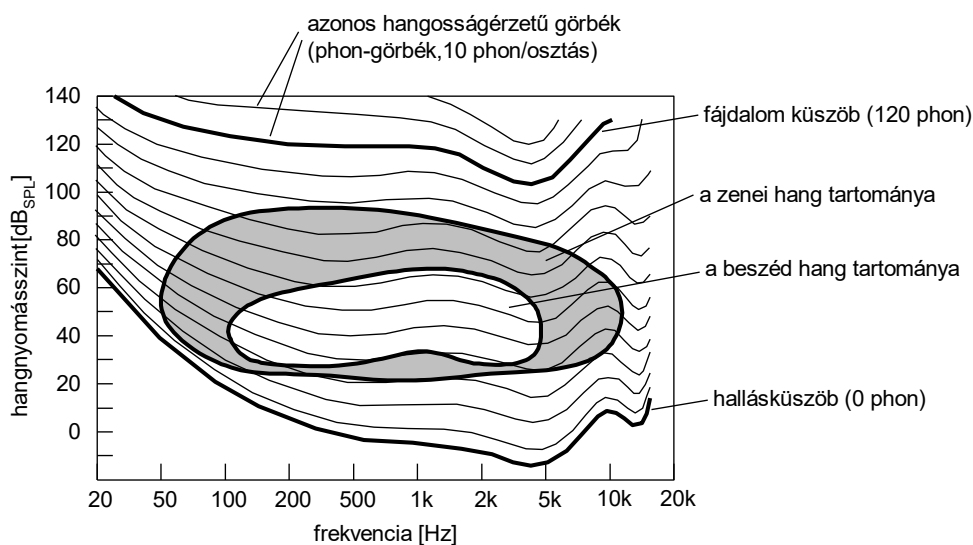
A hangosságérzékelés szempontjából a hallás frekvenciafelbontása kb. 1/6 oktávsáv, de a gyakorlatban 1/3 oktávsáv vagy 1/1 oktávsáv felbontású adatok állnak csak rendelkezésre.

Fontos pszichoakusztikai jelenség a frekvencia-tartománybeli maszkolás, ami a frekvenciában egymáshoz közel álló szőrsejtek közül csak a legerősebb ingerület érvényesülésével magyarázható, valamint a tanult jellegzetességek alapján a hiányzó ingerületek kipótlásának képessége is.

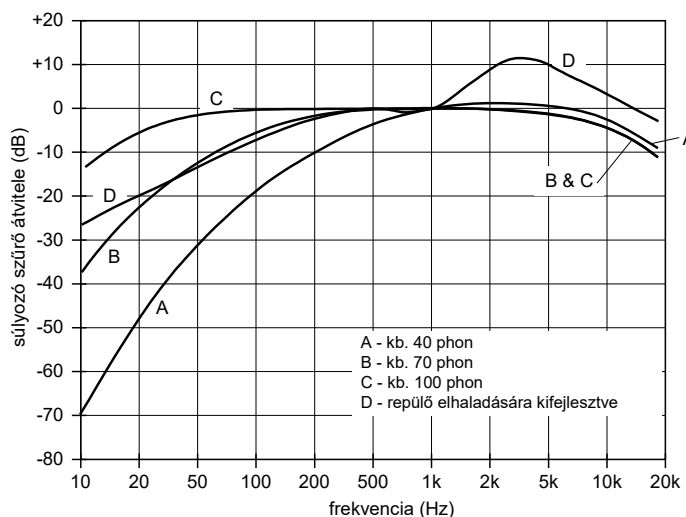
Az irányérzékelés egyfülű hallással is lehetséges (hangszínváltozások alapján, ld. HRTF), de kétfülű hallással (fülbe jutó hangok időkülönbsége ld. ITD, szintkülönbsége ld. ILD) teljes.

Ismert és a méretezés szempontjából fontos tényező, hogy ha a hang vizuális információval párosul (pl. hangos video vagy színpadon álló beszélő hangját hallgatjuk) de a hallás és látás eltérő irányokat érzékel, az információ feldolgozása nagyobb erőfeszítést igényel, fáradtságot okozhat.

A hallás az életkorral, betegségekkel és a zajexpozícióval romlik, ez a tendencia a jelenlegi ismeretek szerint nem fordítható meg. A műszaki tervezésben a hangnyomásszintek korlátozásával, a zajexpozíció csökkentésével, a hangtisztaság javításával lehet a hallásromlással szemben eljárni.



3-7. ábra: A hallásgörbék (ISO 226 [14]), hallásküszöb, fájdalomküszöb, beszéd és hangjel jellemző tartományai.



3-8. ábra: A szabványos egyszerű frekvenciafüggő súlyozások (IEC 61672 [16])

Jellemző szempont lehet a szubjektív (személytől függő, érzeti) minőség kérdése, ami a műszaki paraméterekkel egyértelműen korrelál, de attól eltérhet. Az objektív

minőség szempontjából a hallgató szubjektív megítélése viszont nem lehet méretezési szempont. Ezért kell a méretezésben a szabványos műszaki paraméterekhez ragaszkodni.

Az érzékelés és hallás mechanizmusáról további részleteket a [5] segédletből lehet megtudni.

3.7. A műsorjel

Az akusztikus jeleket műsorjelnek tekinthetjük. Az akusztikus jelek átalakításánál a maximális szintek pontos leírása az elektroakusztikai rendszerek kapacitásainak méretezése szempontjából kritikus. 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 csúcstényező¹⁰ a megfigyelési időben és adott frekvenciasávban mért legnagyobb csúcshint és RMS értékek hányadosa közvetlen vagy dB egységgel megadva (pl. $CF = L_{PK} - L_{eq}$). A csúcstényező jelfeldolgozással szükség szerint alakítható (dinamikaprocesszálas).

A lehetséges akusztikai jelek (potenciális műsorjelek) között a **3-3. táblázat** szerinti kategóriákat célszerű külön kezelni, növekvő sávszélesség, energiatartalom és csúcstényező szerinti sorrendben.¹¹

műsorjel-kategória	sávszélesség		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

3-3. táblázat: A műsorjelek jellemzői.

A táblázatban mutatott adatok csak tapasztalatok és szakirodalmi adatok alapján gyűjtött tájékoztató alap-adatok, ettől a megrendelői, művészi igények vagy szabványi, rendeleti előírások eltérhetnek.

¹⁰ szakirodalomban crest factor (CF) vagy peak-to-RMS ratio

¹¹ tájékoztatásul: az alapvető mérőjelek közül a szinuszos jel csúcstényezője 3 dB, a négyszögjelé 0 dB, a fehérzajé 4...5 dB, sávkorlátozott rózszajé és abból származtatott egyéb zajok esetében 11...15 dB.

Az átvitelben azt is ellenőrizni kell, ha nem csak műsorjelet (hanem pl. 20 kHz pilot jel) kell továbbítani.

3.8. Méretezés

Az elektroakusztikai méretezés sajátosságai az akusztikai környezet, hangforrás vagy hallgató viszonyának figyelembevétele.

3.8.1. Méretezés lefedettségre

A lefedettség hangsugárzó rendszer esetén a hallgatási területre jutó hangnyomásszintek helyfüggését jellemzi. A helyfüggést a különböző pozíciókban mért vagy számolt eredmények maximuma és minimuma különbsége, illetve statisztikai szórása jellemezheti. A cél a minél kisebb ingadozás. Ha a követelményrendszer megengedi, a helyfüggés szempontjából legrosszabb pozíciók az értékelésből elhagyhatók.

A lefedettségre vonatkozó előírások esetében a közvetlen hangra méretezés ajánlott. A zengő energia általában lényegesen kevésbé helyfüggő és a lefedettség jobbnak mutatkozik, de a hallgatási terület ellátását a közvetlen hang képviseli.

A közvetlen hangnyomásszint lefedettségét a hangforrás pozíciója, a hangforrás iránya és irányítottsága, valamint a hallgatási terület pozíciójának viszonya együtt határozzák meg. A 3-9. ábra azt szemlélteti, hogy a nyitási szög ismeretében egy hangsugárzó közvetlen hangterével a lefedettség hogyan ellenőrizhető egyszerű eszközökkel.

Látható, hogy a hangforrás pozíciója és az irányítottsága is méretezési kérdés lehet. Gyakran a peremfeltételek adottak:

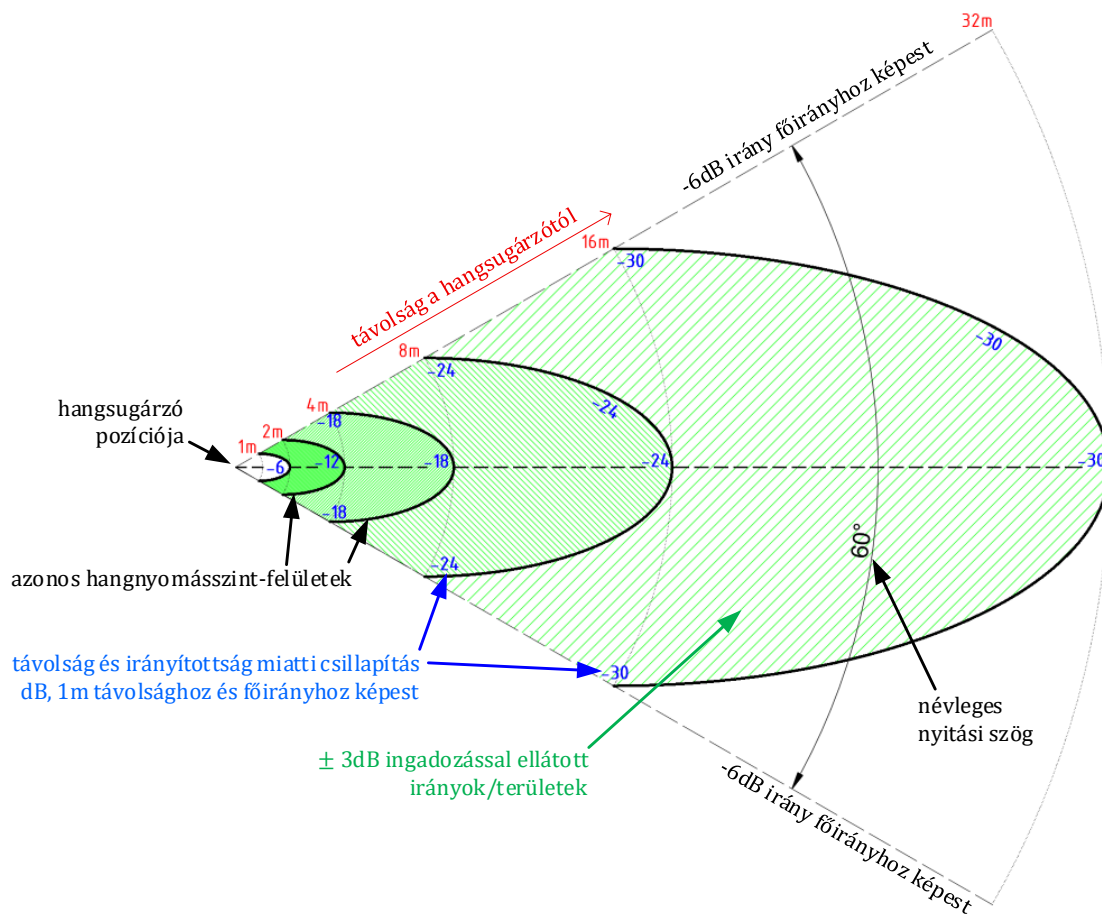
- a) a hallgatási terület ismert: A hallgatási területek kijelölése jellemzően építészeti tervek alapján történik, a padlósík fölött h_2 magasságban. Ültetési helyeken fülmagasságot pl. padlósík +1,0...1,2 m, álló helyeken 1,3...1,7 m vehető fel.
- b) a hangsugárzó pozíciója ismert: A hangsugárzó pozícióját építészeti adottságok vagy a színpad iránya határozhatja meg. Ebben az esetben az iránykarakterisztikát és a főirányt kell méretezni.

A 3-10. ábra egymás alatt egy 40°, 60° és 90°függőleges nyitási szögű hangsugárzó legjobb lefedettségét jelentő függőleges metszetét mutatja, ha a hangforrás pozíciója magas lehet (pl. vetített kép), illetve ha a hangforrás pozícióját lent kell tartani (pl. konferencia előadás). A szerkesztésekből látható, hogy a szűkebb

függőleges névleges nyitási szöggel nagyobb távolságba lehet lefedettséget biztosítani.

A rajzos, vázlatos becslés nem alkalmas méretezésre, ha

- a szükséges irányfüggést speciális hangsugárzó elrendezésekkel (pl. cluster, array) kell felépíteni
- a lényeges műsorjel szempontjából meghatározó frekvenciasávokban az irányfüggés erősen ingadozik.



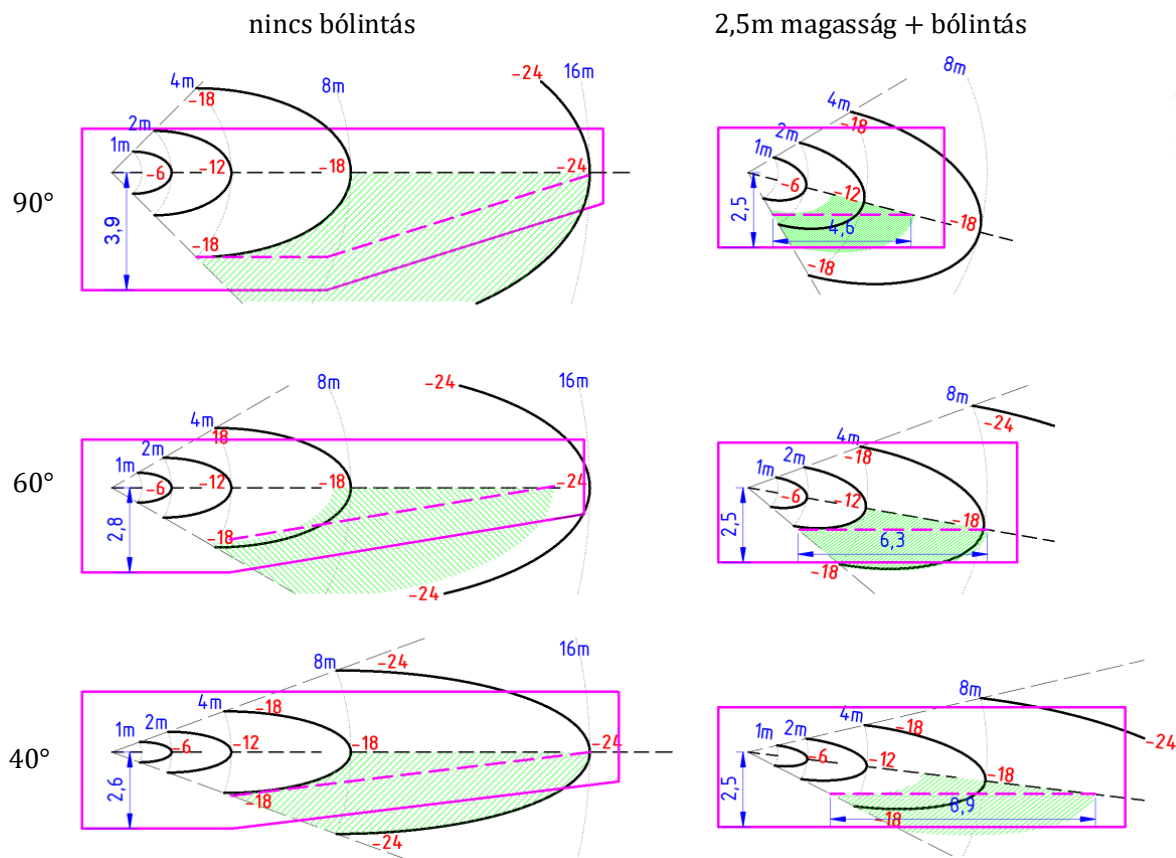
3-9. ábra: A nyitási szög alapján a közvetlen **hangnyomásszint** és adott ingadozással ellátható **hallgatási síkok** becslése, a **távolság** függvényében.

- c) a hangsugárzó irányítottsága ismert: Ha a hangsugárzó irányítottsága ismert és nem pont illeszkedik a hallgatási területre (ld. b) eset és **3-10. ábra**), akkor több hangsugárzó együttesen szükséges a terület lefedéséhez.

A leggyakoribb ilyen helyzet az álmennyezeti elosztott hangsugárzó rendszer (ld. **3-11. ábra**). Ha a θ_{-6dB} nyitási szög és a h_2 hallgatási, h_1 telepítési magasságok

ismertek, a hangsugárzók között megengedett d legnagyobb távolság is számolható:

$$d \leq 2(h_1 - h_2) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\theta_{-6dB}}{2}\right). \quad (20)$$

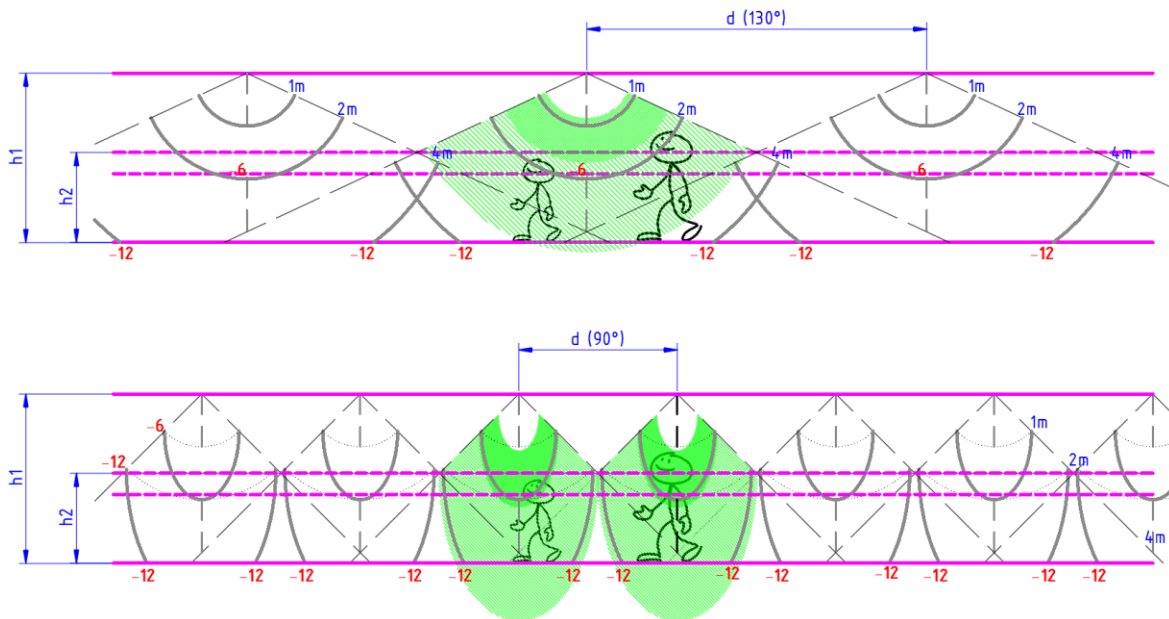


3-10. ábra: Adott nyitási és bólintási szögek esetén eltérő hallgatási területek láthatók el.

Elosztott hangsugárzó rendszerénél a lefedettség érdekében a követelmény szerinti teljes frekvenciatartományban minden frekvenciasáv közül a legszűkebb névleges sugárzási szögre kell méretezni. A nagyobb nyitási szögű frekvenciasávokban viszont átlapolódásra kell számítani, a többlet hangnyomást pedig hangszínszabályozással kell korrigálni.

A legegyszerűsebb lefedettséget egyenletesen elosztott hangsugárzó rendszer esetén a hexagonális raszter biztosítja, de sokszor esztétikai okok (építészeti adottságok) miatt négyszöges raszterben helyezhetők csak a hangszórók.

A lefedettség biztonságos számításához 3D modellező szoftver szükséges, ahol a hangsugárzó típusához tartozó irányfüggést és frekvenciafüggést a gyártó mérési eredményei szerint lehet figyelembe venni (ld. 3-12. ábra).



3-11. ábra: Ha az irányítottság adott, a lefedettséget elosztott hangsugárzó rendszerrel lehet biztosítani.

3.8.2. Méretezés hangnyomásszintre

Ha a hangnyomásszint-ingadozás ismert, a főirányban $r_0 = 1m$ távolságban ismert hangnyomásszintre elegendő méretezni a (8b) összefüggés átrendezésével és $r < 50m$ távolság esetén elhanyagolható levegő hangelnyelési tag elhagyásával:

$$L_{p,1m} = L_{p,r} + 20 \cdot \log_{10} r \quad (21a)$$

A hangsugárzók adatlapján biztosan szerepel az érzékenység¹² $L_{1W,1m}$, ami az $r_0 = 1m$ távolságban főirányban várható hangnyomásszint egységnyi effektív elektromos teljesítmény esetén. Ebből a szükséges effektív P_{rms} elektromos teljesítmény

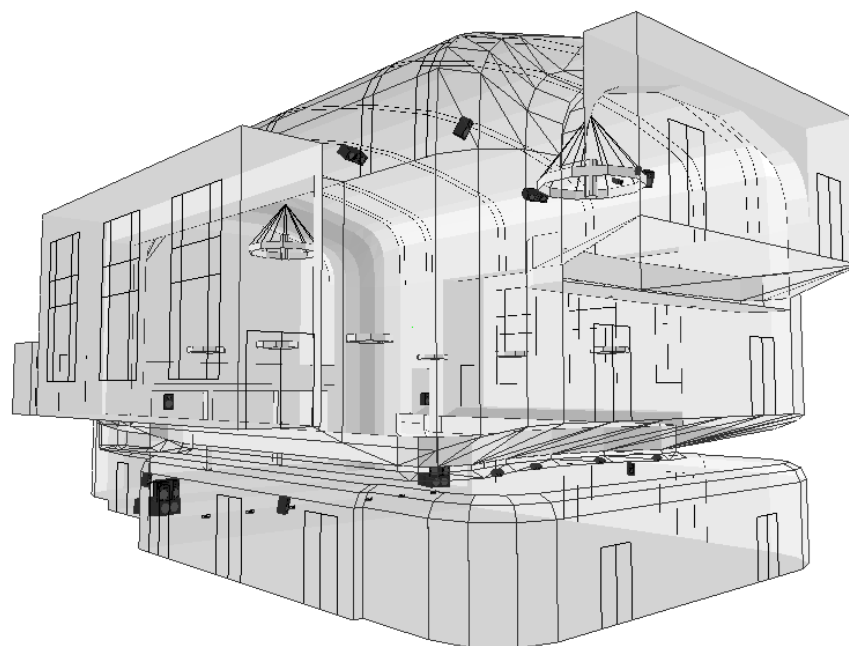
$$P_{rms} = 10^{(L_{p,r} + 20 \cdot \log_{10} r - L_{1W,1m})/10}. \quad (21b)$$

Az effektív teljesítmény szinuszos jelek esetén elfogadható, azonban az akusztikus műsorjelek nem szinuszos jelek, ezért a CF csúcs tényezőt (ld. 3-3. táblázat) is figyelembe kell venni a szükséges elektromos teljesítmény meghatározásánál:

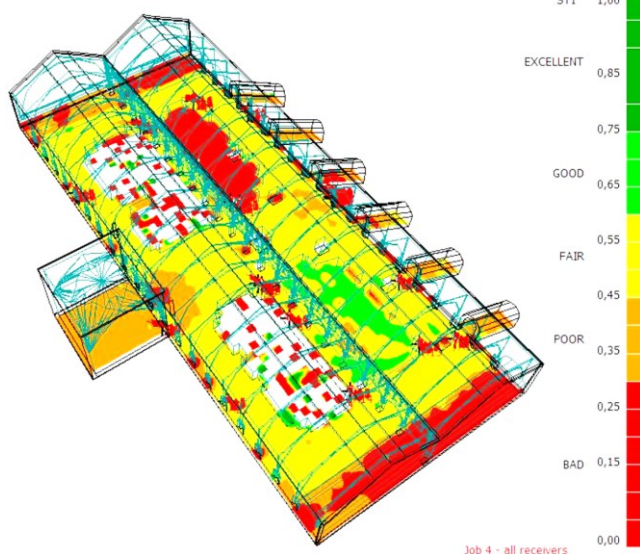
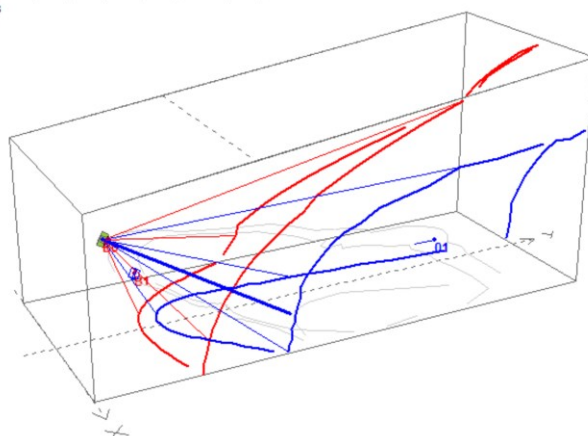
$$P_{peak} = 10^{(L_{p,r} + 20 \cdot \log_{10} r - L_{1W,1m} + CF)/10}. \quad (21c)$$

A fentiek egyetlen hangsugárzó bemenetére vonatkoznak, ezért több hangsugárzó esetén a szükséges teljesítményt a darabszámmal kell szorozni, végül a várható kábelvesztéssel kell korrigálni az elektrotechnikában megismert módszerekkel.

¹² Az érzékenység jelölésének betűjelére nincs hivatalos ajánlás.



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



3-12. 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).

3.8.3. Méretezés hangtisztaságra

A hangtisztaságot lineáris átviteli tartományban csak az akusztikus környezet rontja.

A C_{50} beszéd-hangtisztaságból a (17) összefüggés alapján számolható a szükséges direkt/zengő energiaarány, figyelembe véve az akusztikai tér minőségét leíró utózengési időt:

$$DRR \approx 10 \cdot \log_{10} \left\{ 10^{\left[\log_{10}(1+10^{C_{50}/10}) - \frac{0,3}{T} \right]} - 1 \right\} \quad (22a)$$

Végül a (10), (14) összefüggésekből a hangsugárzó szükséges irányítottsága számolható:

$$DI \geq DRR + 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{4}{S \cdot \bar{\alpha}'} (1 - \bar{\alpha}')^{1+r/\bar{l}} \right] + 10 \cdot \log_{10}(4r^2\pi) \quad (22b)$$

A számításokat mindenféle méretű helyiségre elvégezve a **3-13. ábra** segíti a gyorsabb kiválasztást: például, ha a távolság 6 m és az utózengési idő 1,0 s, az STI 0,60 beszédérthetőséghez $DI > 12$ dB irányítottság szükséges, amit a **3-2. ábra** szerint $90 \times 50^\circ$ névleges nyitási szögű hangsugárzóval már el lehet érni. Az STI 0,80 beszédérthetőséghez viszont már $DI > 18$ dB irányítottság, kb. $40 \times 12^\circ$ névleges nyitási szögű megoldás szükséges.

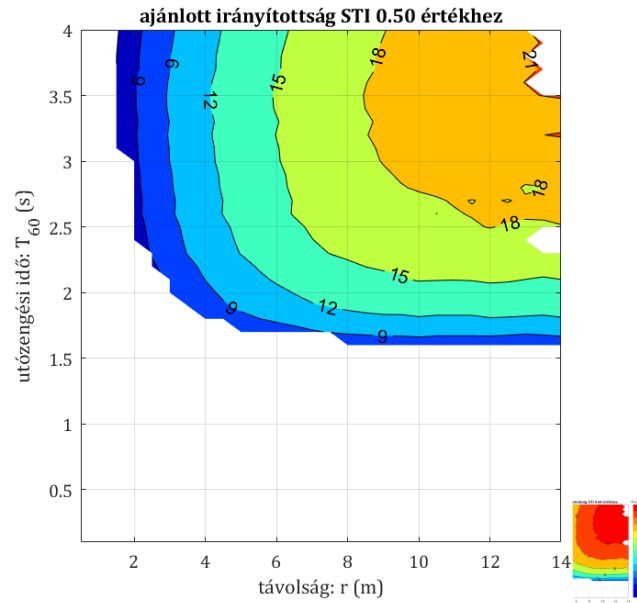
Amikor egynél több hangsugárzóból szól ugyanaz a műsorjel, a koherens működés miatt egyrészt interferenciával is számolni kell, de a távolabbi hangsugárzók hangjelét a hallgató visszaverődésként érzékeli. A jelenség elosztott hangsugárzó rendszer esetén egyszerűen számolható, mert a hangtér az egyes hangsugárzók saját terének többszörözéseként fogható fel (ld. **3-14. ábra**). Emiatt a $\bar{l}''$ látszólagos közepes szabad úthossz lerövidül és a α'' látszólagos hangelnyelés is lecsökken, mert

$$\bar{l}'' = \frac{1}{\frac{1}{2H} + \sqrt{\frac{n}{S_f}}} \quad (23a)$$

és

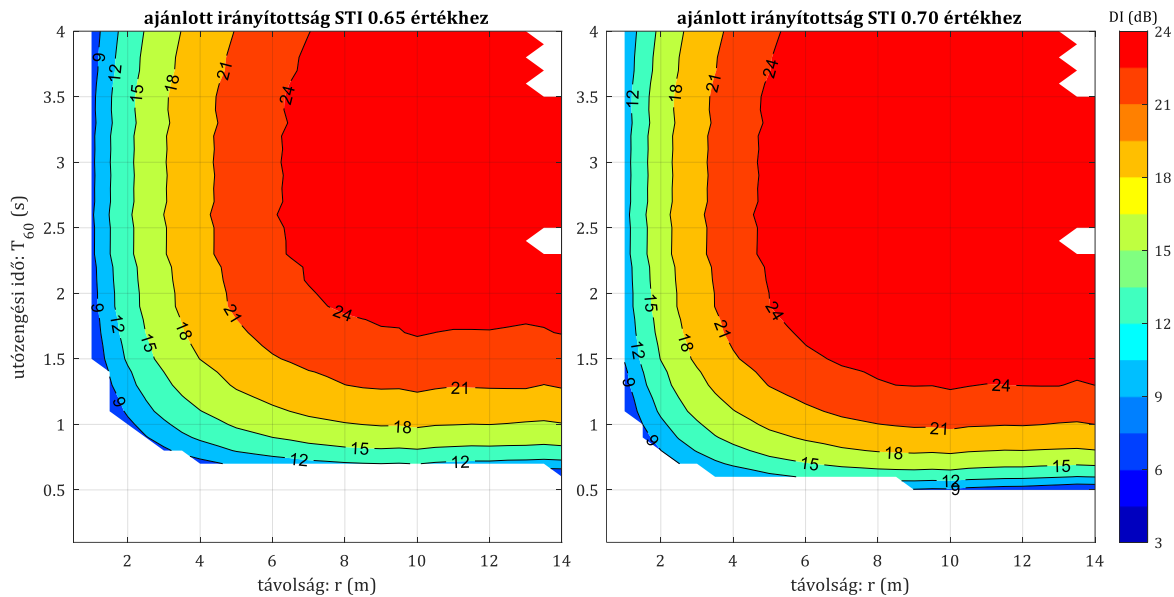
$$\alpha'' = \frac{\alpha_{padló} + \alpha_{mennyezet} + 4 \cdot H \cdot m}{2 + 4 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{n}{S_f}}} \quad (23b)$$

ahol n a szabályos raszterben működő hangsugárzók száma, S_f a helyiség alapterülete, H a helyiség belmagassága, $\alpha_{padló} + \alpha_{mennyezet}$ pedig a padló és a mennyezet hangelnyelési tényezőinek összege.



a

b



c

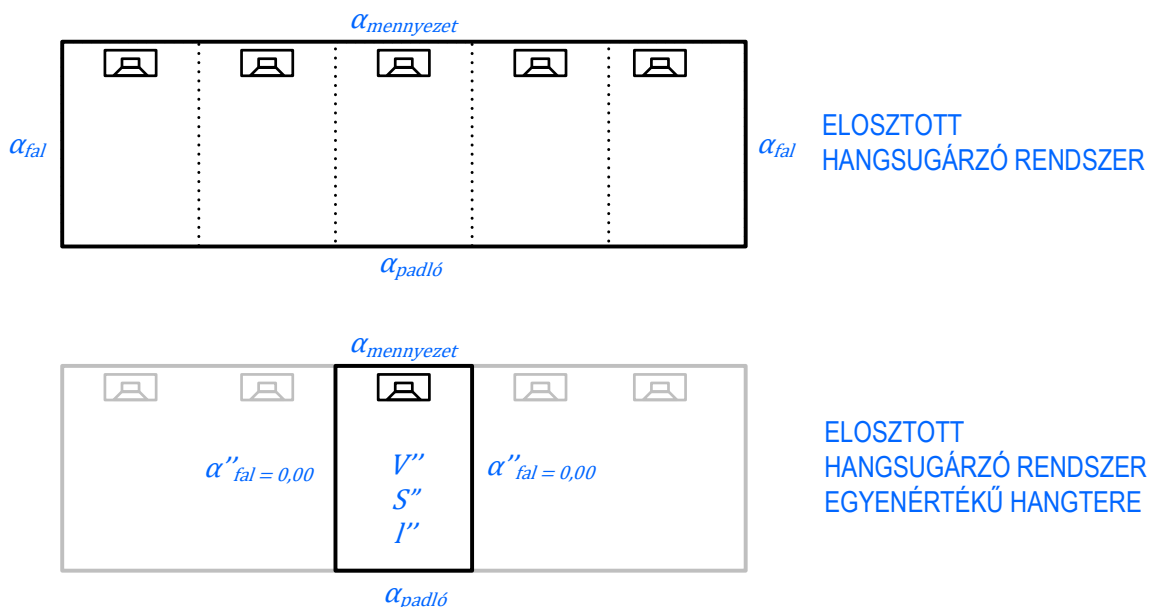
d

3-13. ábra: Az STI (beszédátviteli index) különböző értékeihez szükséges irányítási tényező ajánlott minimuma 1 db hangsugárzó esetén, a távolság és az utószögési idő függvényében. A színezéssel és kontúrvonallal megjelölnél kisebb távolságok vagy rövidebb utószögési idők esetén az irányítottságra nem vonatkozik számítással igazolható követelmény.

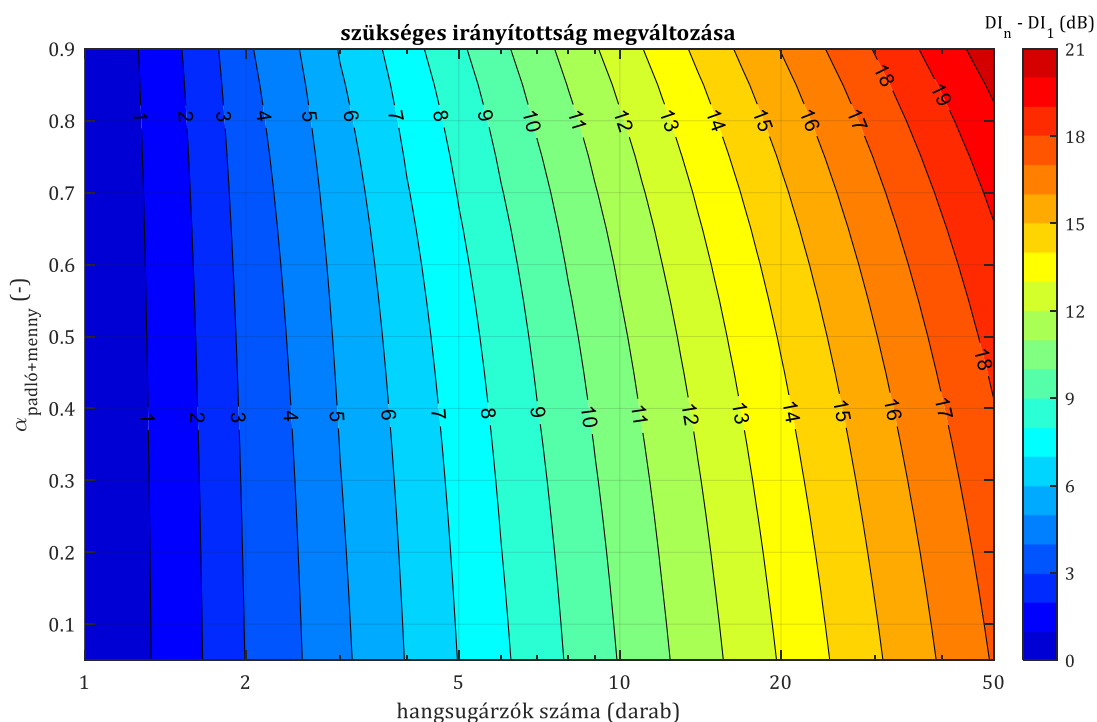
A fenti összefüggések alapján az adott hangtisztasághoz szükséges irányítottság (direkt/zengő energiaarány) megváltozik, több hangsugárzó esetén nő. Az irányítottság növelésének szükséges mértékét sok helyiségméret eredményeinek átlagai alapján számolva a 3-15. ábra szemlélteti.

A tendenciák legfontosabb tanulsága, hogy a lefedettség javítása érdekében növelt hangsugárzó darabszám a beszédérthetőséget rontja. Ez nem probléma, ha az

utózengési idő $< 1,5$ s és a követelmény STI 0,50 (ld. 13.a ábra). Ugyanakkor az STI 0,60 biztosításához már $< 1,0$ s utózengési idő szükséges (ld. 13.b) és STI 0,70 vagy nagyobb követelményhez már valószínűtlenül rövid utózengési idő volna szükséges egy elosztott hangsugárzó rendszerrel.



3-14. ábra: A szabályos raszterben elosztott hangsugárzó rendszer és az azzal egyenértékű hangtér.



3-15. ábra: Elosztott hangsugárzó rendszerénél a hangsugárzók számának növelésével nő az adott beszédérthetőséghez szükséges irányítottsági követelmény (pesszimista becslés).

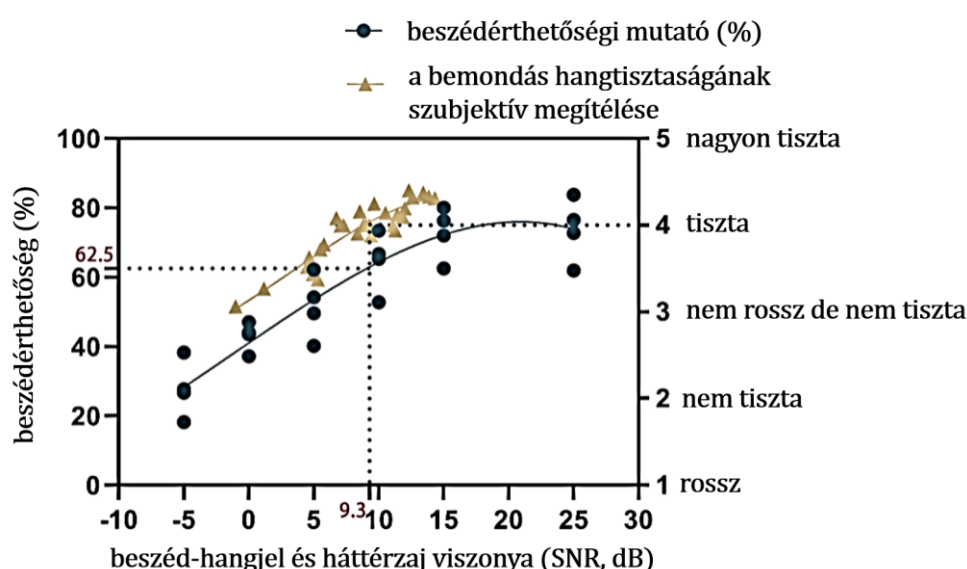
3.8.4. Méretezés beszédérthetőségre

A beszédérthetőség jól korrelál a beszéd-hangtisztsággal a (19) összefüggés szerint. A beszédérthetőséget ugyanakkor befolyásolják nemlineáris tényezők és a jel/zaj viszony is.

Tapasztalatok szerint, ha a háttérzajhoz képest a jel szintje a beszédátvitel szempontjából kritikus frekvenciasávokban legalább 10 dB-el nagyobb, a beszédérthetőséget a háttérzaj nem rontja (ld. **3-16. ábra**).

Az EN60268-16 (ld. [14]) szabvány szerint, ha a hangosított jel szintje 40...80 dB L_{Aeq} közé esik (ld. **3-17. ábra**) és a frekvenciaátvitel kiegyenlített, akkor a beszédérthetőséget nem rontják a maszkolási hatások sem.

A fentiek miatt egy beszédérthetőségi követelmény esetén egyszerre szükséges a méretezés lefedettségre, hangnyomásszintre és beszédérthetőségre.



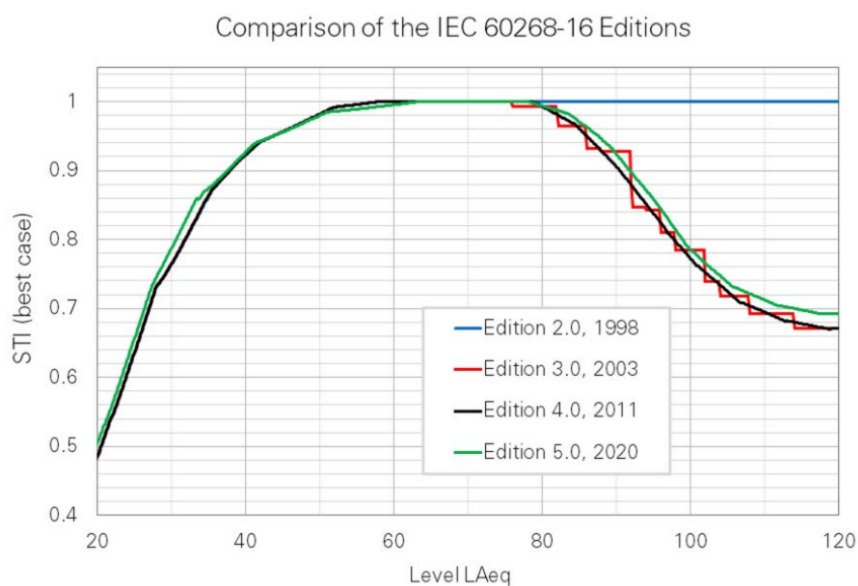
3-16. ábra: A beszédérthetőség jel/zaj viszony kapcsolata (mért értékek).

Nagy számú mérés alapján a teremakusztika hatása beszédérthetőséget gyengítő hatása az utózengési idő függvényében is becsülhető. A **3-18. ábra** szemlélteti, hogy mért utózengési idők a beszédátviteli index alsó becslését adhatják:

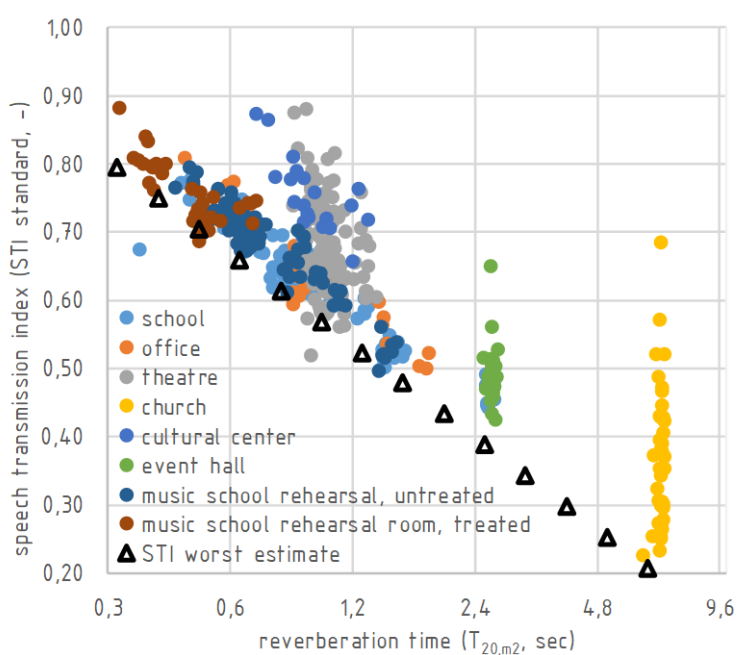
$$STI_{T_{20}} \geq -0,2 \cdot \ln(T_{20,m4}) + 0,55 \quad (24)$$

ahol $T_{20,m4}$ a 20 dB lecsengéshez igazított mért utózengési idő közepes értéke.

Ez a közelítés nem veszi figyelembe a hangforrás távolságát vagy irányítottságát, de irányadó követelményt adhat a teremben megengedhető legnagyobb utózengési időnek irányítatlan hangforrások esetén.



3-17. ábra: A beszédátviteli index és az abszolút hangnyomásszint kapcsolata (EN 60268-16 szabvány szerint „continuous level auditory masking”, forrás: NTI Audio).



3-18. ábra: A beszédátviteli index és az utózungési idő kapcsolata nagy számú mérés (ld. [15]) alapján.

3.8.5. Méretezés kisfrekvenciás tartományban

A teremakusztikai hatás gyakorlatilag egy visszacsatolás eredménye. A visszacsatolásban a késést a visszaverődések közötti idő, azaz a helyiség méretei és alakja határozza meg. A visszacsatolásban a csillapítást a hangelnyelés határozza meg. A visszacsatolások minden esetben valamilyen rezonanciát is képviselnek, de ezek

közepes- és nagyfrekvenciás tartományban egymástól nem függetlenek, ezért lehetséges energia-alapú és statisztikus számításokkal közelíteni a folyamatokat.

Kisfrekvenciás tartományban ugyanakkor a sajátfrekvenciák önállóan, egymástól függetlenül képesek megjelenni és hatni, aminek erősen frekvenciafüggő és helyfüggő teremválasz az eredménye.

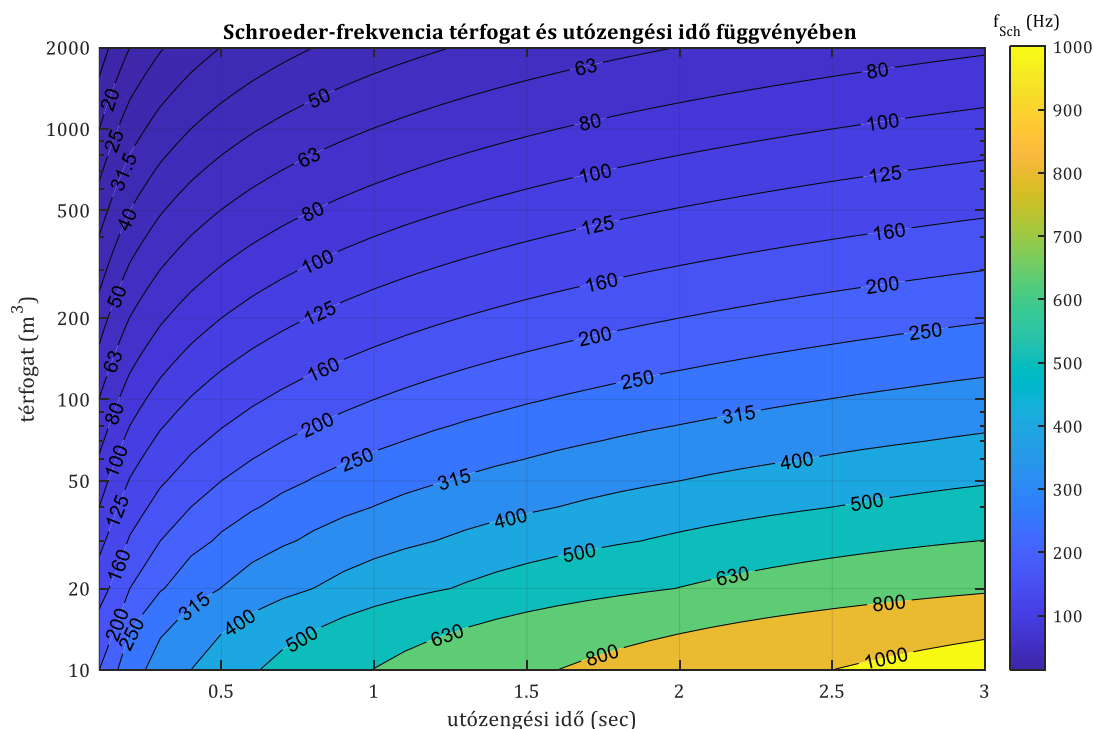
A teremakusztikában a statisztikus és energia-alapú közelítések érvényességi határának az ún. Schroeder-frekvenciát tekintjük (ld. **3-19. ábra**):

$$f_{Sch} \approx 2000\sqrt{T_{60}/V} \quad (25)$$

ahol T_{60} a lecsengési idő, V a térfogat.

Például, ha egy $9 \times 6 \times 3$ m teremben 125 Hz frekvencián a számított utózengési idő 0,7 s, akkor mivel $f_{Sch} = 131,5 \text{ Hz}$ és ez a frekvencia a 125 Hz oktávsvába esik, a 125 Hz-en számolt utózengési időt nem tekinthetjük biztonságosan érvényesnek és a 125 Hz vagy kisebb frekvenciájú oktávsvabokba eső gerjesztés esetén számíthatunk a modális viselkedésre, erősen helyfüggő teremválaszra. Adott térfogatban az utózengési idő rövidítésével lehet a Schroeder-frekvenciát csökkenteni (pl. 125 Hz oktávsvában a fenti példában $T_{60} < 0,3$ s esetén a statisztikus közelítések újra használhatók lennének).

Ezt a korlátot azért fontos figyelembe venni, mert az eddig bemutatott összefüggések nem érvényesek a Schroeder-frekvencia alatt.



3-19. ábra: A Schroeder-frekvencia a térfogat és utózengési idő függvényében.

3.9. Rendszerteknikai szempontok

3.9.1. Hangsugárzó rendszerek típusai

A hangsugárzó rendszereket elrendezés és csatornaszám szerint csoportosíthatjuk. A különböző elrendezéseket a **3-20. ábra** szemlélteti:

- a monó hangsugárzó rendszerben egyetlen hangsugárzó szól a műsorjel; az irányérzet határozott
- a sokcsatornás hangsugárzó rendszerben eltérő műsorjelek szólnak minden hangsugárzóban; a rendszer sztereó, ha az eltérések a térérzet vagy hangforrás hangsugárzótól eltérő pozíciójának érzetét keltik; a független hangcsatornák jele teljesítményben összegződik, az irányérzet műsorjelenként határozott;
- elosztott hangsugárzó rendszerben ugyanaz a műsorjel több hangsugárzóban szólal meg és a hallgatási pontban interferenciaképpen összegződik; nincs vagy erősen ingadozó térérzet (legközelebbi/lehangosabb hangsugárzó a meghatározó)
- késleltetéssel korrigált elosztott hangsugárzó rendszerben adott pontokra lehet úgy korrigálni az azonos műsorjelek érkezését (fázisát), hogy a precedencia-elv¹³ 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.

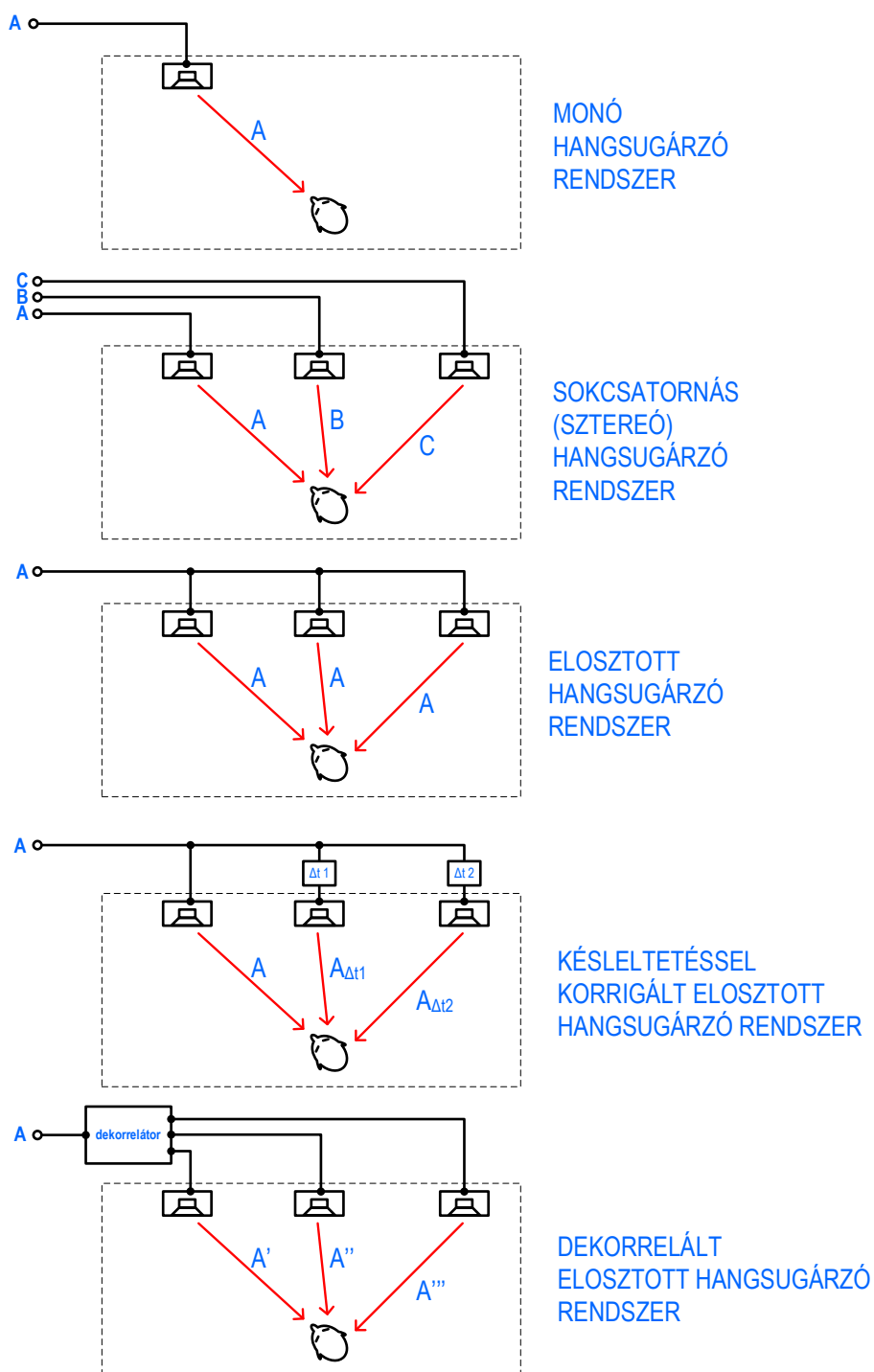
A műsorjel tartalmától és a rendszer beállításától függően a fenti jellemzések keveredhetnek. Például sokcsatornás sztereó hangrendszerben előfordulhat, hogy a műsorjelben a csatornák tartalma kisfrekvencián közös és csak nagyobb frekvenciákon tér el.

3.9.2. Kábelezés

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

¹³ pszichoakusztikai jelenség: az eredeti hangot rövid időn (jellemzően <20 ms) belül érkező ismétlődései a hangminőség- és irányérzetet nem befolyásolják, a hangosságérzetet növelik

eszközök kimeneti (Z_{ki}) és bemeneti (Z_{be}) impedanciája együttesen határozzák meg. Egyszerűsítésként az impedancia helyett itt csak az ellenállás hatását jelöljük.



3-20. ábra: A hangsugárzó rendszerek csoportosítása csatornaszám szerint.

A kábelben az ellenállások miatt jelszint-veszteség lép fel:

$$\Delta L = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{R_{be}}{2R_v + R_{be}} \right) \quad (26)$$

ahol R_{be} a berendezés bemenő ellenállása, $R_v = \rho \cdot l/A$ a vezeték ellenállása (ρ a kábel anyagának fajlagos ellenállása, l a vezeték hossza, A a vezeték keresztmetszete).

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 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.

A kábel kapacitása az ellenállásokkal együtt elsőfokú aluláteresztő szűrőként viselkedik. A törésponti frekvencia egyszerűen közelíthető, ha a bemeneti impedancia nagy (jellemzően $>1,5$ k Ω)

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot C_{vv} \cdot (R_{ki} + 2R_v)} \quad (27)$$

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

A kábelkapacitás következménye az is, hogy a kábelre f frekvencián U_p amplitúdójú szinuszos jel küldéséhez $I_p = 2\pi \cdot f \cdot U_p \cdot C_{vv}$ 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.

3.9.3. Átvitel késésének hatása kétirányú kommunikációban

Az átviteli rendszer, különösen telekommunikációs hálózatokon jelentős késést (latency) szenvedhet el. Elektroakusztikai szempontból ez azért érdemel figyelmet, mert nem megfelelően méretezett akusztikai környezetben a kihangosított kétirányú kommunikációban visszhangot okozhat. A visszhangot ebben az esetben az okozza, hogy a kihangosított hang a mikrofonba visszajut (közvetlen hang + teremakusztikai hatás), majd ez a kétirányú kommunikáció mindkét végén ismétlődik (visszhang), ahol az ismétlődések közötti időt a két végpont közötti átvitel késése okozza.

Az ilyen típusú visszhangosságot jelfeldolgozással (AEC „acoustic echo cancellation”, AES „acoustic echo suppression”) lehet csillapítani, de jobb eredményt lehet elérni megfelelőbb mikrofon és hangsugárzó elrendezéssel, teremakusztikai csillapítással.

4. Akusztikai vagy AVT jogosultságot igénylő szituációk

Az ebben a segédletben leírtak felhasználásával V (Építményvillamossági tervezési szakterület, egyéb gyengeáramú rendszerek) jogosultsággal a leggyakoribb épülethangosítási eset méretezhető.

Az épületakusztikai vagy környezeti zaj- és rezgésvédelmi szempontok miatt viszont AVT (Audiovizuális rendszerek és berendezések tervezése szakterület) vagy A (Építészeti akusztikai tervezési szakterület) jogosultságok vagy jogosultsággal rendelkező szakértő, tervező bevonása szükséges az alábbi szituációk esetén:

- Ha a hangsugárzó rendszer zajosságát kell igazolni (pl. helyiségek közötti áthallás, környezetbe jutó zajhatások). Ilyen rendszerek a jellemzően 87 dB L_{Aeq} beltéri üzemi használati zajszintet produkáló hangsugárzó rendszerek vagy tetszőleges üzemi használati zajszintet produkáló szabadtéri hangsugárzó rendszerek. A 87 dB L_{Aeq} a 8h használat esetén adódó zajexpozíciónak felel meg.
- Ha a hangsugárzó rendszer rezgésszigetelését kell igazolni, de a gyártmányhoz nincs megfeleléségi igazolás (rezgésszintekről, rezgésszigetelés meglétéről, rezgésszint-követelményeknek való megfelelésegről).
- Ha a hangsugárzó rendszer frontális hangsugárzó rendszer és a helyiség térfogata $>250\text{ m}^3$ és a gyártmányhoz nincs egyértelmű megfeleléségi igazolás (frekvencia-átvitel, hangnyomásszint-eloszlás, beszédérthetőség) az adott akusztikai környezetre vonatkozóan. A 250 m^3 korlát az [MSZ2080] szabványból származik.
- Ha a rendszer egy $>250\text{ m}^3$ helyiségen belül egyszerre működő mikrofonokat és hangsugárzókat is tartalmaz, de a gyártmány a gerjedékenységről a gyártmány saját megoldásai vagy a gyártó nyilatkozata alapján nem ad igazolást.
- Ha a hangsugárzó rendszer irányítottságát méretezni kell, mert a gyártmány erről nem rendelkezik és a rendszer működésének az irányítottság kritikus része (pl. hangtisztaság biztosítása érdekében).
- Ha a hangsugárzó rendszer vagy mikrofonrendszer működését akusztikai modellezéssel kell vizsgálni egyéb előírás (rendelet, pl. MSZ2080 szabvány, szakági ajánlás, gyártó instrukció) szerint.
- Ha a hangsugárzó vagy elektroakusztikai jelző rendszer követelmény szerinti észlelhetőségét, átviteli minőségét és hallhatóságát takarácson (pl. árnyékoló paraván, bútorzat, válaszfal stb.) keresztül kell igazolni.
- Ha a hangsugárzó rendszer a Schroeder-frekvencia alatt működik (a helyiségben függetlenül megjelenő sajátfrekvenciák tartománya).

5. Méretezési példák

A bemutatott példák olyan tipikus elektroakusztikai rendszer-tervezési helyzeteket mutatnak, amik a segédletben bemutatott összefüggésekkel és szempontok figyelembevételével akusztikai szakértői vagy tervezői jogosultság nélkül is tervezhetők.

5.1. Integrált A/V rendszerek (pl. tárgyaló)

Az integrált A/V rendszerek jellemzője, hogy a hangsugárzó, a mikrofon és sokszor még a kamera is egy kész termék dedikált hardverrel és szoftverrel. Jellemzően kis előadótermek, tárgyalók, tantermek megoldásai.

Az ilyen rendszerek külön elektroakusztikai méretezése nem indokolt,

- a) ha a gyártó a kész termék vagy rendszer mellett pontosan definiálja, hogy adott műszaki minőség (frekvencia-átvitel, dinamika, zaj, beszédátvitel stb.) biztosításához:
 - milyen méretek, távolságok és szögtartományok betartása szükséges
 - milyen akusztikai környezet szükséges (zajszint, utózengési idő),
- b) az építészeti, berendezési terv igazolja a méretek, távolságok és szögtartományok feltételeinek teljesülését
- c) az akusztikai szakági méretezés igazolja az akusztikai környezetre vonatkozó feltételek teljesülését.

Példa: Egy $5,0 \times 4,0 \times 2,7$ m tárgyaló helyiségben telekonferencia rendszer telepítésére van szükség és ehhez egy integrált hangsugárzó, mikrofon megoldás szükséges.

A **3-3. táblázat** szerint a jó minőségű beszédátvitelhez min. 40 dB dinamika és 100 Hz...10 kHz átvitel szükséges. A 3.8.4. rész szerint a beszédátvitelhez 80 dB L_{Aeq} hangnyomásszintnél nagyobb hangnyomásszint nem szükséges, de a **3-3. táblázat** alapján a rendszernek ezen felül min. 10 dB rövid idejű tartalékkal kell rendelkeznie.

A **3-2. táblázat** szerint a beszédátviteli index legalább C kategória, azaz $STI > 0,64$ kell legyen. A minimálisan elvárt utózengési idő a (24) összefüggés szerint a helyiségben így $T_{20,m4} < 0,6$ s, ezért az [MSZ2080] szerint telekonferenciára használt tárgyalók esetén elvárható $T_{m4} \leq 0,5$ s utózengési idővel ez a követelmény teljesül, a beszédérthetőségnek nem a teremakusztikai környezet ad korlátot.

A 80 dB L_{Aeq} hangnyomásszint és 40 dB dinamika alapján a helyiségben legfeljebb $80\text{ dB} - 40\text{ dB} = 40\text{ dB } L_{Aeq}$ háttérzajszint engedhető meg, de természetesen az ennél kisebb háttérzaj sokkal előnyösebb.

A Sennheiser TeamConnect Bar S típusú integrált megoldás specifikációja szerint:

- a maximális hangnyomásszint „80 dB SPL”, de nem adja meg, hogy ez milyen spektrumra (pl. rózsazaj, beszéd, egyéb mérőjel), milyen korlát (pl. elektronikusan limitált, hangszóró terhelhetőség, torzítási maximum) esetén értendő és hogy a „dB SPL” súlyozott (pl. A-súlyozás) vagy más mértéket jelöl
- a hangsugárzó iránykarakterisztikája nem ismert, frekvencia-átvitele 100 Hz...18 kHz megfelelő, harmonikus torzítása (feltehetően legnagyobb hangnyomásszint mellett) <5%, ami még elfogadható.
- a mikrofon iránykarakterisztikája nem ismert, de 4 db mikrofonnal nyálábformált, frekvencia-átvitele 100 Hz...14,5 kHz megfelelő, dinamika tartománya 69 dB(A) megfelelő
- a mikrofon specifikációja szerint „4 m” távolságig alkalmas a beszéd vételére, ami ugyan nem egy jól definiált műszaki paraméter, de feltehetően arra utal, hogy
- a készülék az akusztikai környezetre nem ad követelményt vagy feltételt, de az alkalmazástechnikai leírásban a rajzok az elhelyezést egyértelműen megadják
- a mikrofon specifikációja szerint „4 m” távolságig alkalmas a beszéd vételére, ami ugyan nem egy jól definiált műszaki paraméter, de feltehetően arra utal, hogy a hangsugárzóval szemben legfeljebb 4 m távolságba ültethető a beszélő, így az 5,0×4,0 m alapterületű tárgyaló esetén ez a feltétel teljesül.

A fentiek szerint, bár nincs termékadatlapon műszaki adat a hangsugárzó és a mikrofon irányfüggőségére és az adott akusztikai környezetben várható beszédátviteli minőségre, az adatlap szerint várható hangnyomásszint, dinamikatartomány, frekvencia-átvitel egy megfelelően méretezett tárgyaló helyiségben elfogadható minőséget produkál.

5.2. Egyszerű, nem elosztott hangsugárzó rendszerek (pl. tanterem)

Az egyszerű, nem elosztott hangsugárzó rendszerek jellemzője, hogy adott irányból adott területre biztosítanak lesugárzást kompakt hangsugárzókból. A rendszer lehet monó vagy kétcsatornás (bal-jobb) sztereó. Leggyakrabban hangfelvételek bejátszása a feladat, vagy ha élő beszéd esetén a hangosítás nélküli beszédhang az előadótól távolabb már nem biztosít elég jel/zaj viszonyt.

Példa: Egy $9,0 \times 6,0 \times 3,0$ m tanteremben helyiségben zenei hangsugárzó rendszer telepítésére van szükség.

A 3-3. táblázat szerint a jó minőségű beszédátvitelhez min. 40 dB dinamika és 100 Hz...10 kHz átvitel, a zenei megszólaláshoz viszont kisebb alsó határfrekvencia (40...80 Hz) szükséges. A 3.8.4. rész szerint a beszédátvitelhez 80 dB L_{Aeq} hangnyomásszintnél nagyobb hangnyomásszint nem szükséges, de a 3-3. táblázat alapján a rendszernek ezen felül min. 10 dB rövid idejű tartalékkal kell rendelkeznie, míg a zenei minőségű átvitel ennél nagyobb tartós hangnyomásszint is indokolt lehet.

A 3-2. táblázat szerint a beszédátviteli index legalább D kategóriájú, azaz $STI > 0,60$ kell legyen. A minimálisan elvárt utózungési idő a (24) összefüggés szerint a helyiségben így $T_{20,m4} < 0,8$ s, ezért az [MSZ2080] szerint tantermek esetén elvárható $T_{m4} \leq 0,7$ s utózungési idővel ez a követelmény teljesül, a beszédérthetőségnek nem a teremakusztikai környezet ad korlátot, az irányítotttságot a beszédérthetőség érdekében nem kell növelni.

A > 80 dB L_{Aeq} zajszint és 40 dB dinamika alapján a helyiségben legfeljebb 80 dB-40 dB = 40 dB L_{Aeq} háttérzajszint engedhető meg, de természetesen az ennél kisebb háttérzaj sokkal előnyösebb.

A hallgatási területet jellemzően a falaktól 1 m távolságban, a padlótól 1,1 m távolságban (ülő ember fülmagassága), a front (előadó) falától 2 m távolságban állapíthatjuk meg (ld. 5-1. ábra).

Ha a hangsugárzó a padlósík fölött 2,5 m magasságban a falra kerül, a hangsugárzótól a hallgató legnagyobb és legkisebb távolsága ezek alapján a hangsugárzó telepítési magasságától függ:

$$d_{max} \leq \sqrt{(L-1)^2 + (W-2)^2 + (2,5m-1,1m)^2} = 9,1m \quad (28a)$$

$$d_{min} \geq \sqrt{(2)^2 + (0)^2 + (2,5m-1,1m)^2} = 2,4m \quad (28b)$$

Mivel $d_{min} > d_{max}/4$, az irányszögek szempontjából a d_{min} távolságot lehet figyelembe venni a -6 dB iránynak és d_{max} távolságot a 0 dB iránynak.

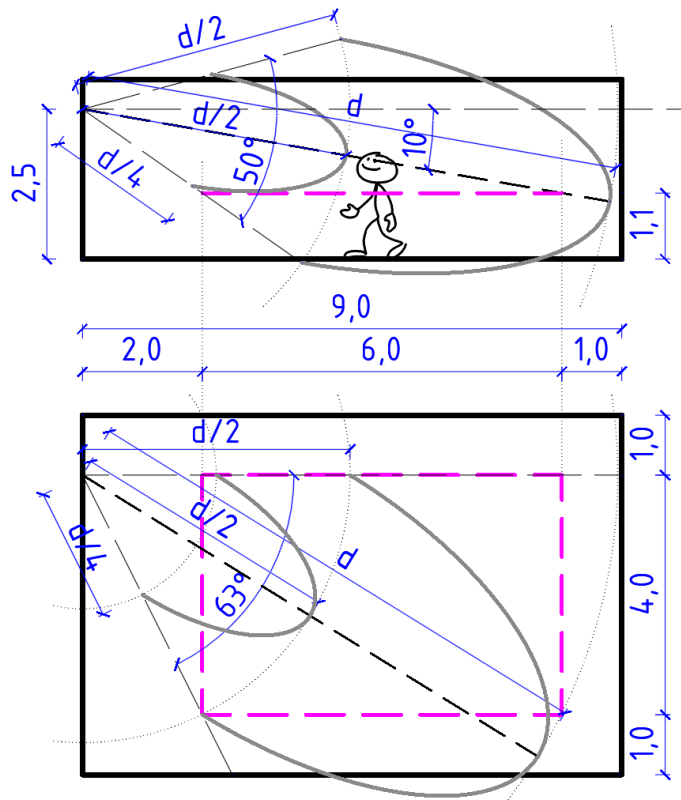
A 3-9. ábrán és 3-10. ábrán látható szerkesztési elvek szerint a minimálisan szükséges függőleges nyitási szög becslése a főirányban vett síkon a legtávolabbi ponthoz képest a legközelebbi ponton -6 dB esést megengedve:

$$\theta_v \geq 2 \cdot \left[\operatorname{atan} \left(\frac{L-1}{2,5m-1,1m} \right) - \operatorname{atan} \left(\frac{2m}{2,5m-1,1m} \right) \right] \approx 50^\circ \quad (29a)$$

$$\theta_v \leq 2 \cdot \operatorname{atan} \left(\frac{2,5m-1,1m}{2} \right) \approx 70^\circ \quad (29b)$$

A minimális vízszintes nyitási szög a hallgatási terület látószöge ugyanebből a pontból:

$$\theta_h \approx \operatorname{atan} \left(\frac{W-2}{2,0m} \right) \approx 63^\circ \quad (29c)$$



5-1. ábra: Egy 9×6×3 m méretű helyiség hangosításához szükséges nyitási szögek szerkesztése, ha az elvárás ± 3 dB lefedettség a közvetlen hangra.

A fentiek szerint egy kb. 50...70° függőleges sugárzási szögű és egy min. 63° vízszintes sugárzási szögű hangsugárzóval a közvetlen hang ± 3 dB lefedettséget tud biztosítani. Nagyobb függőleges nyitási szög a beszédérthetőség szempontjából még megengedhető, de a közvetlen hangnyomásszint lefedettségben nagyobb ingadozást okozna. Irányítottság szempontjából

megfelel például egy LD Systems LDSAT62G2 típusú hangsugárzó 60×60° névleges sugárzási szögekkel.

Mivel 9,1 m távolságban kell a min. 80 dB hangnyomásszintet produkálni, a hangsugárzótól 1 m távolságban elvárt hangnyomásszint:

$$L_{1m} \geq 80\text{dB} + 20 \cdot \log_{10} 9,1\text{m} = 99\text{dB}. \quad (30)$$

Az irányítottság alapján választott LDSAT42G2 hangsugárzó adatlap szerint 108 dB@1 m maximális hangnyomást tud 80 W_{rms} bemenő teljesítmény esetén, így ennek a követelménynek is megfelel.

Passzív hangsugárzó esetén a végerősítő szükséges teljesítményét is meg kell határozni:

$$P \geq 10^{(L_{1m} - L_{1m,1W} + CF)/10} \quad (31)$$

ahol az érzékenység mértékegysége dB/W mértékben van meghatározva. Az LDSAT42G2 hangsugárzó adatlap szerint 89 dB/W érzékenységű, így a szükséges teljesítmény 125 W_{peak} vagy 12,5 W_{rms}., amihez érdemes kábelveszteségekre min. 10% tartalékot képezni, tehát egy min. 150 W rövid idejű csúcsteljesítményre képes végerősítőre van szükség.

Aktív hangsugárzó változat esetén azt kell ellenőrizni, hogy az analóg hangjelet biztosító eszköz kellő feszültséget tudjon a hangsugárzó nagyimpedanciás bemenetére küldeni. A példában kiválasztott hangsugárzó aktív típusváltozata LDSAT42AG2 ugyanúgy képes a 108 dB@1 m maximális hangnyomásra és a nagyimpedanciás vonalszintű bemenetének szintezésével állítható be a szükséges erősítés.

A példában kiválasztott LDSAT42G2 vagy LDSAT42AG2 hangsugárzó frekvenciaátvittele adatlap szerint 55 Hz...20 kHz, de ehhez toleranciát vagy szabványi hivatkozást az adatlap nem ad meg. Javasolt ilyenkor a gyártóhoz, forgalmazóhoz fordulni az adatok pontosítása érdekében. A hangszínszabályozással a szükséges frekvenciaátvitel általában jól megközelíthető, de a hangszínszabályozás jellemzően a lineáris üzemi tartomány (maximális hangnyomásszint) csökkenésével jár.

Opcionálisan a még zeneibb hangminőség érdekében szub-mély hangsugárzóval is kiegészíthető a rendszer, de ez jelentős költségtöbbletet jelent, mivel a plusz hangsugárzó mellé további végerősítő és a frekvencia-tartományt a közép-magas és mély hangsugárzók felé szétválasztó „keresztváltó” eszközre is szükség van.

A helyiség szimmetrikus elrendezésű, ezért bal/jobbsztereó hangszóró rendszerhez elegendő 1-1 db a fentiek szerint választott hangszóró tükörszimmetrikus elhelyezésére.

5.3. Elosztott hangszóró rendszerek (pl. előcsarnok)

Az egyszerű elosztott hangszóró rendszerek jellemzője, hogy nagy területet kell ellátni, de a megszólaló hang iránya lényegtelen, így azonos típusú hangszórók adott raszterben biztosíthatják a lesugárzást. A rendszer lehet monó vagy kétcsatornás sztereó. Szinte kizárólag hangfelvételek bejátszása vagy más helyiségben mikrofonozott élőszó (bemondás) hangosítása a feladat.

Példa: Egy 100×20×5,0 m előcsarnokban háttérzenei és bemondó hangszóró rendszer telepítésére van szükség.

A **3-3. táblázat** szerint a jó minőségű beszédátvitelhez min. 40 dB dinamika és 100 Hz...10 kHz átvitel, a zenei megszólaláshoz viszont kisebb alsó határfrekvencia (40...80 Hz) szükséges. A 3.8.4. rész szerint a beszédátvitelhez 80 dB L_{Aeq} hangnyomásszintnél nagyobb hangnyomásszint nem szükséges, de a **3-3. táblázat** alapján a rendszernek ezen felül min. 10 dB rövid idejű tartalékkal kell rendelkeznie. A zenei minőségű átvitel ennél nagyobb tartós hangnyomásszint is indokolt lehet, de itt csak háttérzenei és nem produkciós vagy prezentációs megszólalásra kell készülni. Beszédérthetőségi elvárásként a **3-2. táblázat** szerinti E kategóriát, $STI > 0,58$ alapkövetelményt határozzuk meg.

A kiválasztott hangszóró a Biamp CM20T típus. Az adatlap szerint a sugárzási szög 1 kHz-en 180°, de a lefedettséget a zenei és beszéd műsorjel miatt 8 kHz-en is szeretnénk biztosítani és az adatlapon szereplő polárdiagram szerint a -6 dB sugárzási szög 8 kHz frekvenciasávban kb. 70°, miközben a 4 kHz frekvenciasávban 60°.

A lefedettség szempontjából a várható hallgatási magasságok közül a nagyobb a nehezebben teljesíthető, ez alapján a telepítés átlagos távolságát a (20) összefüggés alapján $d \leq 3,8$ m. A lefedettség a hexagonális raszterben jobb minőségű, mert a várható sugárzási szögek a hallgatási magasságban szorosabban fedik le az alapterületet (ld. **5-2. ábra**).

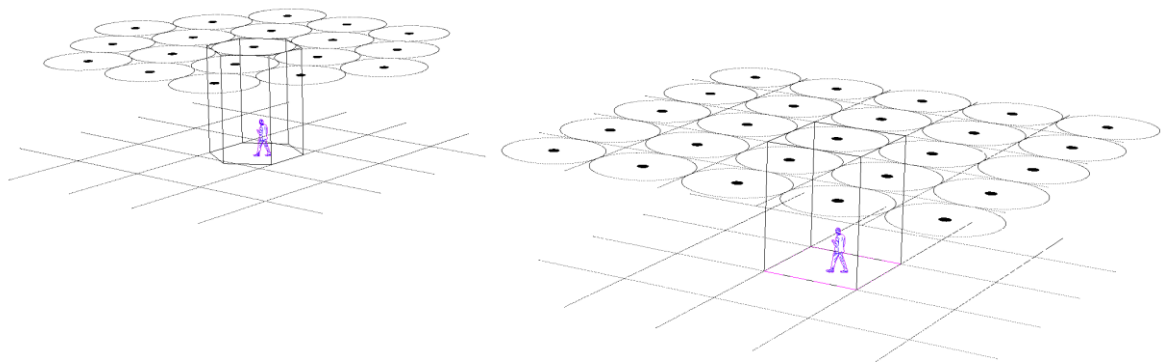
AZ MSZ 2080 szerint egy $> 3,2$ m magas közlekedő térben elvárt fajlagos hangelnyelés $A_{m4}/V > 0,15$ m²/m³, amiből a padló és mennyezet hangelnyelésére vonatkozó követelmény H belmagasság esetén $\alpha_p + \alpha_m > 0,75$, mert

$$\frac{A_{m4}}{V} = \frac{S_0(\alpha_p + \alpha_m)}{S_0 \cdot H} = \frac{(\alpha_p + \alpha_m)}{H} > 0,15 \frac{m^2}{m^3} \quad (32)$$

Az utózungési idő az egyenértékű térfogatra rasztertől függetlenül kb. 1,1 s, amiből a **3-13. ábra** szerint az $STI > 0,60$ követelmény teljesítéséhez $r = 5 \text{ m} - 1,3 \text{ m} = 3,7 \text{ m}$ távolságban $DI = 9 \dots 12 \text{ dB}$ elegendő.

Másrészt a (19) összefüggés, a (22a) és (22b) összefüggések alapján az $STI > 0,58$ beszédátviteli indexhez szükséges irányítotttság ilyen körülmények között négyzetes raszterű telepítés esetén $DI \geq 9,8$, hexagonális raszter esetén $DI \geq 10,4 \text{ dB}$. A $70 \times 70^\circ$ sugárzási szög esetén **3-2. ábra** szerint elérhető a $DI > 10 \text{ dB}$ követelmény, így a beszédérthetőségi elvárás teljesül.

A fentiek alapján a beszédérthetőségi követelmény teljesül.



5-2. ábra: A példában szereplő 5 m magas előcsarnokban hexagonális (bal) és négyzetes (jobb) raszterben telepített hangszórók egyenértékű térfogatai.

A $80 \text{ dB } L_{Aeq}$ hangnyomásszint-követelményhez (30) összefüggés szerint $L_{1m} \geq 90,4 \text{ dB}$ hangnyomásszint szükséges.

A kiválasztott hangszóró adatlapja szerint max. 104 dB SPL hangnyomásszintet tud 1 m távolságban, így elegendő ($> 12 \text{ dB}$) tartalékkal rendelkezik.

A hangszóró meghajtásához az adatlap szerinti $86 \text{ dB } L_{1m,1W}$ érzékenységgel számolva $P \geq 2,75 \text{ W}_{rms}$ tartós teljesítmény és $27,5 \text{ W}$ csúcsteljesítmény szükséges.

A hangszórót 100 V nagyimpedanciás meghajtásnál ezek alapján elegendő 5 W teljesítményre bekötni.

A $100 \times 20 \text{ m}$ alapterületre négyzetes raszter esetén 137 db , hexagonális raszter esetén 159 db hangszóró szükséges.

A zenei minőség miatt javasolt a kétcsatornás sztereó meghajtás, ahol a hangszórók váltakozva vannak a bal/jobbs csatornákra bekötve. Csatornánként így négyzetes raszter esetén $344 W_{\text{rms}}$, hexagonális raszter esetén $398 W_{\text{rms}}$ hasznos teljesítményre van szükség.

A 100×20 m alapterülethez min. $100 + 20$ m kábelezéssel kell számolni. A réz fajlagos ellenállásával, a 100 V névleges feszültség és 5 W alapján hangszórónként $2 \text{ k}\Omega$ és kb. 160 db hangszóró esetén $12,6 \Omega$ eredő terheléssel számolva $0,75 \text{ mm}^2$ kábelezés esetén $-0,4$ dB veszteséggel lehet számolni, így a végerősítőn $+8\%$ teljesítmény szükséges.

A fentiek alapján a rendszer meghajtásához min. $2 \times 432 W_{\text{rms}}$ kétcsatornás 100 V végerősítő szükséges. Ha a kábelezés vékonyabb, nagyobb a kábelveszteség és pl. $0,25 \text{ mm}^2$ esetén min. $2 \times 507 W_{\text{rms}}$ végerősítő szükséges.

5.4. Egyszerű mikrofonozási rendszerek (pl. bemondó)

A beszédátvitelt gyengítő tényezők a hangláncban a zajossághoz hasonlóan halmozódva adódnak egymáshoz, ezért a hanglánc bemenetén (pl. mikrofon) nagyon jó beszédérthetőséget kell tudni biztosítani, különben az elfogadható beszédérthetőséget a teljes hangláncra nehezen lehet csak biztosítani.

Példa: *$5 \times 8 \times 3$ m méretű csillapítatlan raktárhelyiségben kell PTT (push-to-talk) mikrofont telepíteni.*

A beszédérthetőségi elvárásra nincs szabvány vagy előírás hasonló szituációban.

Az utózengési idő a leírt méretű csillapítatlan térben kb. $\bar{\alpha}_{m4} = NRC \approx 0,07$ átlagos hangelnyeléssel (15) alapján kb. $T_{m4} \approx 1,7$ s.

A PTT mikrofonokhoz min. karnyújtásnyira kell közel menni, így a távolság kb. $r < 0,7$ m.

A **3-13. ábra** ebben a tartományban nem ad egyértelmű előírást, ezért a (22a) és (22b) összefüggést használhatjuk a szükséges irányítottsági tényező számításához. Az egyszerű mikrofonok esetében ugyanakkor az irányítottsági tényező nem választható tetszőlegesen, a **3-1. táblázat** alapján egyszerű irányítatlan (pl. felületbe épített) mikrofon esetén csak 3 dB irányítottsági tényezővel lehet számolni. A megadott távolság, 3 dB irányítási tényező esetén ilyen környezetben legfeljebb STI $0,62$ körüli beszédérthetőség érhető el.

Ha az utózengési időt sikerül 1 s alá csillapítani, ugyanez az elrendezés STI $0,70$ beszédérthetőséget produkál.

Természetesen, ha a mikrofon irányítottabb (pl. gégecsöves kardioid mikrofon), akkor az elérhető irányítottsági tényező 5...6 dB-re nő és a beszélő és mikrofon közötti távolság is csökken, így az A-lánc beszédátviteli indexe is lényegesen javul. Például egy 30 cm-es gégecsőre szerelt kardioid ($DI = 4,8$ dB) mikrofonnal a legnagyobb távolság $0,7\text{ m} - 0,3\text{ m} = 0,4\text{ m}$ -re csökkenhet, így a beszédérthetőség STI 0,74-re javul.

Ha az emberi beszéd 1 m főirányban várható $L_{A,b,1m}$ hangnyomásszintjéből (ISO 3382-3 alapján $L_{A,b,1m} = 59,5$ dB), kb. $DI_b \approx 2\text{ dB}$ irányítási tényezőjéből, r beszélő és mikrofon közötti távolságból, DI_m mikrofonra jellemző irányítási tényezőből és $L_{A,zaj}$ háttérzajból az alábbi összefüggéssel becsülhetjük a jel-zaj viszonyt:

$$SNR_{A-lánc} = L_{A,b,1m} - 20 \cdot \log_{10} r - L_{A,zaj} + DI_b + DI_m. \quad (33)$$

Az összefüggésben a közepes szabad úthossznál lényegesen kisebb távolság miatt a zengő energia szintjét elhanyagoltuk.

Mivel DI_b kb. 2...3 dB, a 0,4 m távolság esetén felületbe szerelt 3 dB irányítottságú mikrofonnal a kívánatos 15 dB jel-zaj viszony (ld. **3-16. ábra**) akkor érhető el, ha a háttérzaj nem nagyobb, mint 57 dB L_{Aeq} . Irodai környezetben (pl. recepció) ez a követelmény teljesíthető, de egy ipari zajos környezetben pl. 70 dB L_{Aeq} háttérzaj esetén ezért kell még kardioid mikrofon esetén is max. 0,1 m távolságból a mikrofonba beszélni.

A fenti példa azt szemlélteti, hogy még ilyen „igénytelen” szituációban is sokat számít a mikrofon oldalán az irányítottsági index és még ilyen rövid távolságok esetén is sokat számít az akusztikai környezetben az utózengési idő, illetve háttérzaj.

6. Dokumentációs ajánlások

A különböző tervfajták, tervezéshez kapcsolódó dokumentációk, a tervek tartalmi követelményei kérdéseket az MMK külön dokumentumban szabályozza. Az elektroakusztikai méretezésre jellemző sajátos szempontokat az [5] segédlet részletezi.

Az alábbiakban csak az elektroakusztikai szakág sajátosságai szempontjából lényeges dokumentációs ajánlásokat mutatjuk be.

6.1. Specifikáció

Az elektroakusztikai rendszerek funkcionális üzemeltetési igényeit és a minőségi elvárásokat tükröző műszaki követelményrendszert kell a specifikációban rögzíteni. 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.

Az elektroakusztikai átvitel műszaki követelményeiben az alábbiak rögzítése szükséges:

- lineáris átviteli tartomány meghatározása:

Az A-lánc esetén ez a mikrofonok által kezelt hangnyomásszint-tartomány, az átalakítás után a hanglánc elektromos elemeinek jelszint- és dinamikatartományát, a B-lánc esetén a hangsugárzó rendszertől elvárt legnagyobb hangnyomásszintet és megengedett legnagyobb saját zaj szintet jelenti. A követelményeket az akusztikai környezet (szükséges jel-zaj viszonyok, előforduló hangnyomásszintek) és a műsorjel minőségéhez (frekvenciatartomány, dinamika) illesztve kell meghatározni.

- frekvencia-átvitel

A lineáris működési tartományon belül a frekvencia-átvitelt toleranciával (frekvencia-felbontás, minimum és maximum érték) kell meghatározni.

- akusztikai környezeti feltételek

Az elektroakusztikai rendszer minőségét bemeneti és kimeneti oldalon is meghatározza az akusztikai környezet minősége. A specifikációnak ezért rögzítenie kell, hogy az eredő átviteli minőség és szintek milyen akusztikai környezet esetén érhetők el. Az akusztikai környezet minőségét bemeneti oldalon minimum az alapzaj, utózengetési idő, legnagyobb bemeneti

hangnyomásszint és akusztikai hangforrástól mikrofonig tartó távolság jellemzésével határozhatjuk meg. Az akusztikai környezet minőségét kimeneti oldalon minimum a hallgatási területen várható utószengéssel és a megengedhető legnagyobb hangnyomásszinttel kell meghatározni.

- beszédérthetőség

Ha a rendszer beszéd célú vagy beszéd átvitelére is alkalmas, a lineáris és nemlineáris hatások, valamint a beszédátviteli index (STI) vonatkozó szabvány szerinti tényezőit (pl. beszélő hang spektruma, hallgatók életkora és anyanyelve stb.) figyelembe véve kell a beszédátvitel minőségét meghatározni. Az A-lánc esetén jellemzően a dinamikasabályozás és az akusztikai környezet, a B-lánc esetén a reprodukciós rendszer torzításai és az akusztikai környezet korlátozza a beszédérthetőséget.

- az átviteli lánc képességei

Az átviteli csatornák száma, az átvitel késése, a tárolás és jelfeldolgozás kapacitásai, az akusztikai minőséget lényegesen befolyásoló tényezők.

A vészeseti hangrendszerekre ezen felül külön előírások szerint kell a megfelelő redundanciákat, monitorozási képességeket biztosítani.

6.2. Akusztikai szakági hivatkozás

Az elektroakusztikai tervek sajátossága, hogy a rendszer megfelelő működése több tervezési szakág összehangolását feltételezi. A tápellátás, vezetékezés, elektromos zavarvédelem, eszköztelepítés, infokommunikációs átviteli vagy vezérlési kapcsolódások stb. az elektrotechnikai tervekben megszokott szakági kapcsolódások, nem csak az elektroakusztikai rendszerek esetében fordulnak elő.

Azonban ahol a méretezés az akusztikai környezettel számol (mert mikrofon vagy hangsugárzó szerepel a tervben), az akusztikai környezetre vonatkozó feltételeket és az akusztikai környezet feltételeit igazoló dokumentum (pl. akusztikai szakvélemény, akusztikai szakági terv) hivatkozását is dokumentálni kell.

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:

- építészeti, belsőépítészeti: 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

6.3. A megfelelőség igazolása

Az akusztikai szakértői vagy tervezői jogosultság nélkül dokumentálható szituációk méretezéséhez szükséges összefüggések a segédletben megtalálhatók, hivatkozhatók, egyszerű táblázatkezelő szoftverrel gyorsan alkalmazhatók.

Tervdokumentációban a méretezéshez felhasznált összefüggéseket és bemenő adatokat meg kell hivatkozni, ezen felül konkrét méretezés bemutatása csak ajánlott.

Szakvéleményben a méretezést olyan részletezettséggel kell bemutatni és dokumentálni, hogy a szakvélemény olvasója a következtetéseket és eredményeket tételelesen tudja ellenőrizni.

6.4. Telepítési, üzemeltetési instrukciók

Az elektroakusztikai rendszerek működésének megfelelősége az akusztikai környezet minőségétől függ. Az akusztikai környezet minőségét tervezés, méretezés szintjén figyelembe lehet venni, de a megfelelő beállítás csak helyszíni mérésekkel garantálható. A tervekben ezért elő kell írni a kivitelezést követő méréssel ellenőrzött beállítást, a beállítások rögzítését megvalósulási dokumentációban és az üzemeltető számára javasolni kell a független minőségellenőrzést.

A kültéri hatásoknak kitett vagy más módon erősen igénybevett (pl. folyamatosan nagy teljesítményen üzemeltetett) elektroakusztikai rendszerek üzemeltetésében javasolni kell a rendszeres ellenőrző mérést.

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
- „AV Design Reference Manual”, infoComm International ISBN 1-928886-34-5
- **MSZ 2080:2020** Akusztika. Teremakusztikai követelmények és tervezési ajánlások.
- **MSZ 2082:2020** Elektroakusztika. Beszédérthetőségi 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: Hangriasztású vezérlő- és jelzőberendezések
- **MSZ EN-54-24:2008** Tűzjelző berendezések 24. rész: Hangriasztású 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] A. T. Fürjes, A. Kotschy, A. B. Nagy, R. Csott (2019). „Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban”, MMK FAP2019/112-AT.
- [4] A. T. Fürjes, A. É. Borsiné, A. B. Balázs, L. Ilyés, G. Borsi (2020). „Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban - Példatár”, MMK FAP2020/108-AT.
- [5] A. T. Fürjes (2022). „Elektroakusztika elméleti és gyakorlati áttekintés”, MMK FAP2022/207-AT.
- [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: Utószabási 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] 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet a munkavállalókat érő zajexpozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről
- [12] MSZ 18150-1:1998: A környezeti zaj vizsgálata és értékelése
- [13] MSZ 15601-1: 2007: Épületakusztika 1. rész: Épületen belüli hangszigetelési követelmények
- [14] EN 60268-16: Sound System Equipment. Part 16. Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index
- [15] 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

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.-2022.

A korábbi kiadványokat keresse a kamara weboldalán (www.mmk.hu), a FAP pályaműveket tartalmazó menüben.

2023.

101.	SZILÁGYI Zsombor Dr.,	Az energiahordozók jövője
102.	BLAZSOVSZKY László	Szakmai útmutató felhasználási helyek gázellátását biztosító elosztóvezeték leágazásának létesítéséhez
103.	ÁKOSHEGYI György Dr., BORBÉLY Tibor, DIÓS András, EÖRDÖGH Zsolt	Medencés fürdők vízgépészeti tereinek tervezési szempontjai
104.	KISS Jenő dr., METZING Ferenc dr., CSERMELY Gábor, dr. HEGYI Dezső, KÖNCZÖL Gyula, DEZSŐ Zsigmond	Szakmai Útmutató az épületek, épületszerkezetek bontásához
105.	MÓGA István Dr.	Atomerőművi alapok
106.	BAK Edina, FEJES Gábor, HONTI Imre, HUDACSEK Péter, SCHELL Péter	Talajmechanikai laboratóriumi vizsgálatok, azok megtervezése és eredményeinek felhasználása a geotechnikai tervezői gyakorlatban
107.	EGRI Sándor, BUZÁS Zoltán	AutoCAD alapon készített tervdokumentációkból EHO szerinti XML fájl készítése (objektumsablon készítése)
108.	BONDOR Gabriella, CSORDÁS Szilveszter, KANOSIK Ilona, PÓLYA Endre, VARJÚ József	Szakmai ismeretek a jogosultsági vizsgára
109.	KAKUK Ilona	Az Informatikai Tervező Szakmai Útmutatója (109./1-2-3.)
110.	GIORIS Nikolaos, MENYHÁRT István Zsolt, OLÁH Róbert, TAKÁCS Bence dr., VASS Imre	Digitális mellékletek készítése az M.2 (2021.) mérnökgeodéziai tervezési segédlethez
111.	ZSIDAI László Dr., SARANKÓ Ádám Dr., SZABÓ Péter	Az additív technológiák terméktervezési és technológiai sajátosságai
112.	REINIGER Róbert, BARNÁ Sándor, BITE PÁLNÉ DR. PÁLFFY Mária, MIHICS Dalma, PINTÉR István	A Li-ion alapú akkumulátor, illetve akkumulátor részegység gyártás környezetvédelmi hatósági engedélyezésének környezetvédelmi alapkövetelményei - Szakmai segédlet környezetvédelmi szakértők, illetve hatósági eljárási szereplők részére
113.	TOKODY Dániel Dr., SCHOTTNER Károly, HADDAD Richárd, ADY László, ÁGOSTON Gergő, DRABIK Gergő, HAN Xiaoping, CSAPÓ Dániel, SZÚCS Marcell, FELHŐS Dávid Dr.	Napelemes rendszerekkel együttműködő energiatárolók létesítése
114.	GYIMESI András Dr., BOHÁCS Gábor Dr., SÜLLE Miklós, GÓDOR Balázs	Építőgépész mesteriskola tantárgyi felépítés és a hozzá kapcsolódó tematika kidolgozása
115.	BOROS János	Az atomerőművi rendszerek és rendszerelemek tervezésénél figyelembe vett elvek összefoglalása
116.	PRIMUSZ Péter Dr.	Hajlékony útpályaszerkezetek szükséges erősítőrétegének meghatározása roncsolásmentes teherbírásmérés alapján

117. EGRI Sándor, BUZÁS Zoltán AutoCAD alapon készített tervdokumentációkból EHO szerinti XML fájl készítése (objektumsablon készítése)

2024.

- | | | |
|------|---|--|
| 118. | SZABÓ Kinga Dr., ÓMAJTÉNYI András, TÓTH Péter, ZSIGMONDI András | A beruházáslebonyolító tevékenysége - Szakmai ajánlás a beruházáslebonyolító fogalmának meghatározására, felelősségére és jogosultságának szabályozására |
| 119. | SZILÁGYI Zsombor Dr., | Feladatok a klímacélok teljesítéséhez |
| 120. | BLAZSOVSZKY László | A csatlakozóvezetékek és a felhasználói berendezések létesítésével kapcsolatos gyakorlat, és a változtatás szükségességének elemzése |
| 121. | PÓLYA Endre, BALOGH Attila, ERDEI Tímea, VARJÚ József | Műszaki segédlet az orvostechikai eszközpark üzemeltetéshez - Tervezési segédlet, szakmai útmutató, tananyag az MMK kötelező szakmai továbbképzéshez, valamint dokumentum egészségügyi létesítménymenedzsment és minőségmenedzsment részére. |
| 122. | BOROS János, CSALLÓKÖZI Zoltán, DOBÓ István, HUNYADI Sándor, KÁLLAI-BORIK Róbert, PODONYI Gábor, SZITA Gábor, DR. SZÜCS Botond, PERGERNÉ NAGY Edit, GYŐRI Csaba | Magyarország villamosenergia ellátásának lehetőségei |
| 123. | DR. TAKÁCS Bence, HRUTKA Bence Péter, TAKÁCS Regina | Szakmai útmutató vonalas létesítmények 3D modellezéséhez (geodéziai tervezők részére) |
| 124. | LIPOVICS Tamás, SZENDEFY János, VÁSÁRHELYI Balázs | Kockázatok elemzése a mélyépítésben |
| 125. | KAKUKK Ilona Klára, NÓGRÁDI Gábor | Informatikai Tervező Szakmai Útmutató |
| 126. | EGRI Sándor | Az NMHH ESZTER aktuális verziójának használata során feltárt hiányosságok, problémák kezelése az AutoCAD programozási eszköztárával |
| 127. | DR. HANCZ Gabriella, DR. ENGI Zsuzsanna, JANCsó Béla | A kék-zöld infrastruktúra elemek tervezési irányelvei |
| 128. | HAJNAL János, DR. KOREN Csaba, LITKEI Bálint, VÁLÓCZI Dénes György | A Közúti biztonsági auditjelentések szerepe az önkormányzatok pályázati gyakorlatában |
| 129. | HÓZ Erzsébet, BORBOLÁNÉ KOVÁCS Gabriella, DR. MILETICS Dániel, PÁL Péter, VÁLÓCZI Dénes, VEDRŐDI Tamás | Személyi sérüléses közúti közlekedési balesetek adatgyűjtési módszertana |
| 130. | SZOMOLÁNYI Tiborné, LAKATOS István, LUKÁCS Tamás | Segédlet a megvalósulási dokumentációk készítéséhez, használatbavételi, fennmaradási és bontási engedélyek dokumentációinak elkészítési segédlete |
| 131. | KATONA Gábor, FÜZÉR Ferenc, MOLNÁR Béla | Hírközlési hálózatok építési technológiai gyűjtemény - Bontások, úttárfúrások, anyag és munkaigények összefoglaló tervezői anyag |
| 132. | KOVÁCS József, NAGY Benedek, SZABÓ László, DR. SZEPESHÁZI Attila | Geotechnikai és tartószerkezeti tervező együttműködése talaj és felszerkezet egymásra hatásának vizsgálata esetén |

133. MÁRKUS Miklós, MUNTAG András Ipari zajmodell adatszolgáltatási segédlet - Segédlet szakági tervezők részére környezeti zajmodell készítéséhez

2025.

-
134. TUCZAI Attila, PÓLYA Endre, KERESÉ János, BELÁNYI Zsolt, TUCZAI Péter Műtők klimatizálása
135. SZILÁGYI Zsombor Dr., A kőolaj és a földgáz szerepének változása
136. BLAZSOVSZKY László Gázfogyasztó készülékek égéstermék-elvezetésének szabályozási anomáliái, és annak hátrányos gyakorlati következményei
137. FELFÖLDI Krisztina, GÓDOR Balázs, NAGY Pál Javaslat az Emelőgépek Biztonsági Szabályzat módosítására, korszerűsítésére
138. BABOS Rezső, FARKAS Éva, PAPP Imre, VARRÓ Beáta Farontó gombok határozója - Segédlet károsodási helyen való meghatározáshoz
139. CSERMELY Gábor JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület megvalósításának – tervezés és építés – módszerére
140. CSERMELY Gábor, RÉPÁS Balázs Szakmai Útmutató a függesztett homlokzati szerkezetekről, ezen belül a kőburkolatú homlokzatokról
141. ANTÓK Péter, TÖRÖK János, GALLYAS András, LUKÁCS Tamás Hírközlő hálózatok. Ajánlott létesítési technológiák általános keretrendszere
142. CSÖRGITS Péter, LEHOCZKY Máté, MOLNÁR Bálint, STENZEL Sándor Pontfelhők kiértékelése a mérnöki gyakorlatban - Szakmai útmutató pontfelhők általános kezelésére és azokból történő vektoros kiértékelés támogatására
143. SZILVÁGYI Zsolt Dr. A második generációs Eurocode 8-5 szabvány honosításának előkészítése
144. SZILVÁGYI Zsolt Dr. A második generációs Eurocode 7-3 szabvány honosításának előkészítése
145. SZILVÁGYI Zsolt Dr. Terminológiai adatbázis a második generációs Eurocode 7 szabványsorozat honosításához
146. KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint Körforgalmak valós kapacitásának elemzése szimulációs és AI módszerekkel
147. MOCSÁRI Tibor Dr., HÓZ Erzsébet, KOVÁCS Ákos, NAGY Péter Dávid, ZAKARIÁS Márton Hálózati szintű közlekedésbiztonsági felmérés - módszertani ajánlás
148. FÜRJES Andor Tamás Elektroakusztikai méretezés gyakorlati példák