

Hangteljesítmény

Δp nyomás ellenében V térfogatú közeg kiszorítása: $W = \Delta p \cdot V$

Hullámegegyenletnél volt: $dp = \rho a dv$

$$p' = \rho a v'$$

$$v' = \frac{p'}{\rho a}$$

Hangteljesítmény:

$$P = \frac{\Delta p V}{t} = p' v' A = \frac{p'^2}{\rho a} A$$

$$\frac{V}{t} = v' A$$

Átlagos hangteljesítmény:

$$P_{\text{átl}} = \frac{\overline{p'^2}}{\rho a} A$$

Hangnyomás leírása:
$$p = \underbrace{\hat{p} \cdot \cos(\omega t \pm kx)}_{p'} + p_0$$

A harmonikus részt négyzetre emelve, 0-tól T -ig integrálva és T -vel osztva képezhető a nyomás négyzetének időbeli átlaga:

$$\overline{p'^2} = \frac{\hat{p}^2}{2}$$

Ebből képezhető az effektív hangnyomás:

$$p_{eff} = \frac{\hat{p}}{\sqrt{2}}$$

Effektív hangteljesítmény:

$$P_{eff} = \frac{p_{eff}^2}{\rho a} A$$

1 m²-re jutó hangteljesítmény: hangintenzitás:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{p_{eff}^2}{\rho a}$$

1. feladat

Síkhullám nyomásamplitúdója: $\hat{p} = 10^{-3} \text{ Pa}$

Egyéb adatok: $T = 290 \text{ K}$, $p = 10^5 \text{ Pa}$, $R = 287 \text{ J/kgK}$

$I = ?$

$$I = \frac{p_{eff}^2}{\rho a} \quad p_{eff} = \frac{\hat{p}}{\sqrt{2}} = 7.07 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$$

$$\rho = \frac{p}{RT} = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$a = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T} = 341.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Innen:

$$I = \frac{p_{eff}^2}{\rho a} = 1.22 \cdot 10^{-9} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Hangteljesítmény tartománya:

	Hangteljesítmény [W]
Közepes rakétahajtómű	1 M
	100 k
Gázturbinás hajtómű	10 k
	1 k
.45-ös Colt	100
	10
Fájdalomküszöb	1
Metró	10^{-1}
	10^{-2}
Átlagos otthoni házimozsi szett	10^{-3}
Átlagos üzemcsarnok	10^{-4}
	10^{-5}
Átlagos beszélgetés	10^{-6}
Átlagos iroda	10^{-7}
Csendes lakóövezet	10^{-8}
	10^{-9}
Csendes suttogás	10^{-10}
	10^{-11}
Hallásküszöb	10^{-12}

Hangteljesítmény tartománya igen széles: milyen skálát célszerű használni?

Emberi érzékelés: az érzékelt változás mértéke (Δe) az ingerváltozás (Δi) és az inger (i) hányadosával arányos: $\Delta e \sim \Delta i / i$

Innen az érzet és az inger kapcsolatára adódik: $e \sim \ln \frac{i}{i_0}$ ahol i_0 egy vonatkoztatási inger.

Ezért akusztikában is szinteket használnak:

Hangteljesítményszint:
$$L_w = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} [dB]$$

Hangintenzitás szint:
$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} [dB]$$

Hangnyomásszint:
$$L = 10 \cdot \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} [dB]$$

Szintek:

p_0 : vonatkoztatási hangnyomás

=hallásküszöb:

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa (1 kHz-n)}$$

$$\text{Mivel } \rho_0 = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{és } a_0 = 333 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{és } A_0 = 1 \text{ m}^2$$

$$I_0 = \frac{p_0^2}{\rho_0 a_0} = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$P_0 = I_0 A_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

	Hangteljesítmény [W]	Hangteljesítményszint [dB]
Közepes rakétahajtómű	1 M	180
	100 k	170
Gázturbinás hajtómű	10 k	160
	1 k	150
.45-ös Colt	100	140
	10	130
Fájdalomküszöb	1	120
Metró	10^{-1}	110
	10^{-2}	100
Átlagos otthoni házimozsi szett	10^{-3}	90
Átlagos üzemcsarnok	10^{-4}	80
	10^{-5}	70
Átlagos beszélgetés	10^{-6}	60
Átlagos iroda	10^{-7}	50
Csendes lakóövezet	10^{-8}	40
	10^{-9}	30
Csendes suttogás	10^{-10}	20
	10^{-11}	10
Hallásküszöb	10^{-12}	0

2. feladat: 1. feladat folytatása:

Síkhullám nyomásamplitúdója: $\hat{p} = 10^{-3} \text{ Pa}$

Egyéb adatok: $T = 290 \text{ K}$, $\rho = 10^5 \text{ Pa}$, $R = 287 \text{ J/kgK}$

$L = ?$, $L_I = ?$

$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} = 31 \text{ dB}$$

$$L = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} = 31 \text{ dB}$$

$$p_{eff} = \frac{\hat{p}}{\sqrt{2}} = 7.07 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$$

$$\rho = \frac{p}{RT} = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$a = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T} = 341.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$I = \frac{p_{eff}^2}{\rho a} = 1.22 \cdot 10^{-9} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Műveletek szintekkel

2 egyenlő hangteljesítményszintű hangforrás (L_w) eredő hangteljesítményszintje:

$$L_{we} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \cdot 2 \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) + 10 \cdot \lg 2 \cong L_w + 3 \text{ dB}$$

2 nem egyenlő hangteljesítményszintű hangforrás (L_{w1}, L_{w2}) eredő hangteljesítményszintje:

$$L_{we} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_1 + P_2}{P_0} \right) = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{L_{w1}}{10}} + 10^{\frac{L_{w2}}{10}} \right) = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{L_{w1}}{10}} \cdot \left(1 + 10^{\frac{L_{w2} - L_{w1}}{10}} \right) \right)$$

$$= L_{w1} + \Delta L_w$$

$$\text{ahol } \Delta L_w = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{1}{10^{\frac{L_{w1} - L_{w2}}{10}}} \right)$$

Ha $L_{w1} - L_{w2} > 10 \text{ dB}$, akkor a kisebb teljesítményű hangforrás hozzájárulása az eredő hangteljesítményszinthez jó közelítéssel elhanyagolható.

3. feladat $L_{w1} = 62 \text{ dB}$

$$L_{w2} = 67 \text{ dB}$$

$$L_{we} = ?$$

$$L_{we} = 10 \cdot \lg\left(10^{\frac{L_{w1}}{10}} + 10^{\frac{L_{w2}}{10}}\right) = 68.2 \text{ dB}$$

$$L_1 = 62 \text{ dB}$$

$$L_2 = 67 \text{ dB}$$

$$L_e = ?$$

$$L_e = 10 \cdot \lg\left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}}\right) = 68.2 \text{ dB}$$

Hangnyomásszintre is ugyanaz a képlet,
mert a teljesítménnyel arányos jellemzők összegezhetők.

Spektrális jellemzés

Hangspektrum: milyen frekvenciájú és amplitúdójú harmonikus jelekből áll a hang.

Tiszta zenei hang: 1 frekvencia, 1 harmonikus összetevő.

Oktávsávós spektrum: 1 oktáv = $f_a \dots f_f$ frekvenciatartomány, ahol $f_f = 2 \cdot f_a$

Középfrekvencia: $f_k = \sqrt{f_f \cdot f_a} = \sqrt{2} \cdot f_a$

Fehérzaj: véletlenszerű zaj: a teljes vizsgált frekvenciatartományban (20 Hz – 20 kHz) állandó a hangnyomásszintje.

Szürke zaj: egy szűk frekvenciatartományban folytonos hangnyomásszint, összes többi frekvencián nem mérhető.

Rózsaszín zaj: hangnyomásszintje a *frekvenciával* fordított arányosan esik, vagy a frekvencia *négyzetével* fordított arányosan esik.

Hangtechnikában: teljes vizsgált frekvenciatartományban (20 Hz – 20 kHz) a hangnyomásszintje oktávonként 3 dB-el csökken.

Színes zaj: frekvenciája nem állandó, de jól meghatározható frekvenciasávba esik.

Spektrális jellemzés

Színkép: zaj vagy hang hangnyomásszint értékeinek ábrázolása a frekvencia függvényében.

Folytonos színkép: nagyjából minden frekvencián van valamekkora hangnyomásszint.

Vonalas színkép: csak bizonyos frekvenciákon van hangnyomásszint.

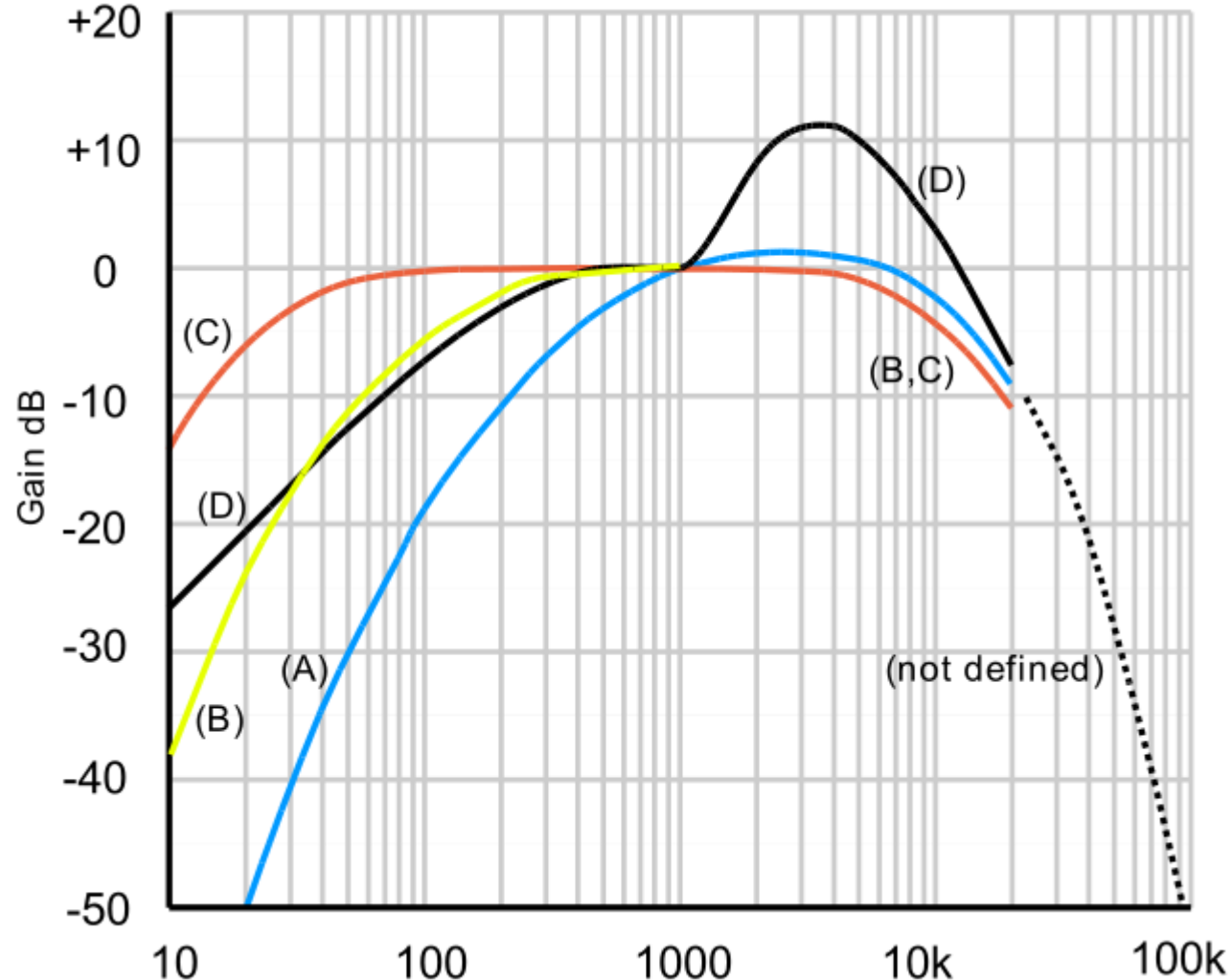
Emberi érzékelés különféleképpen reagál a frekvenciatartományokra:

Legérzékenyebb 3 kHz körül.

Ezért a hangnyomásszinteket súlyozzák: a súlyozott hangnyomásszint hasonló a fül által érzékelt hangerőhöz.

Tipikus súlyozó görbe az "A" jelű. Ekkor jelölés: L_{wa} ill. L_a , mértékegysége dB(A) v. dBA

Súlyozó görbék



Súlyozó görbék

A leggyakrabban használt "A" súlyozó görbe a mélyebb frekvenciák felé közelítve egyre kisebb súllyal veszi figyelembe a komponenseket. Csendes hangokra ad jó eredményt.

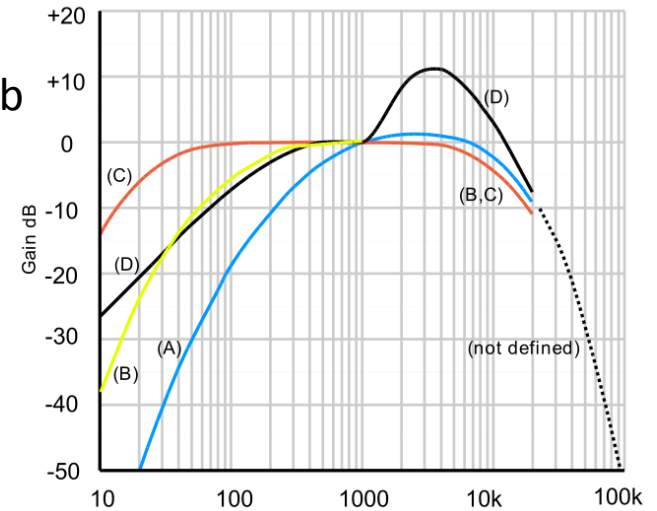
IEC 61672:2003 nemzetközi szabvány.

"B": közepes hangnyomásszintekre.

"C": nagy hangnyomásszintekre (munkahelyi zajok).

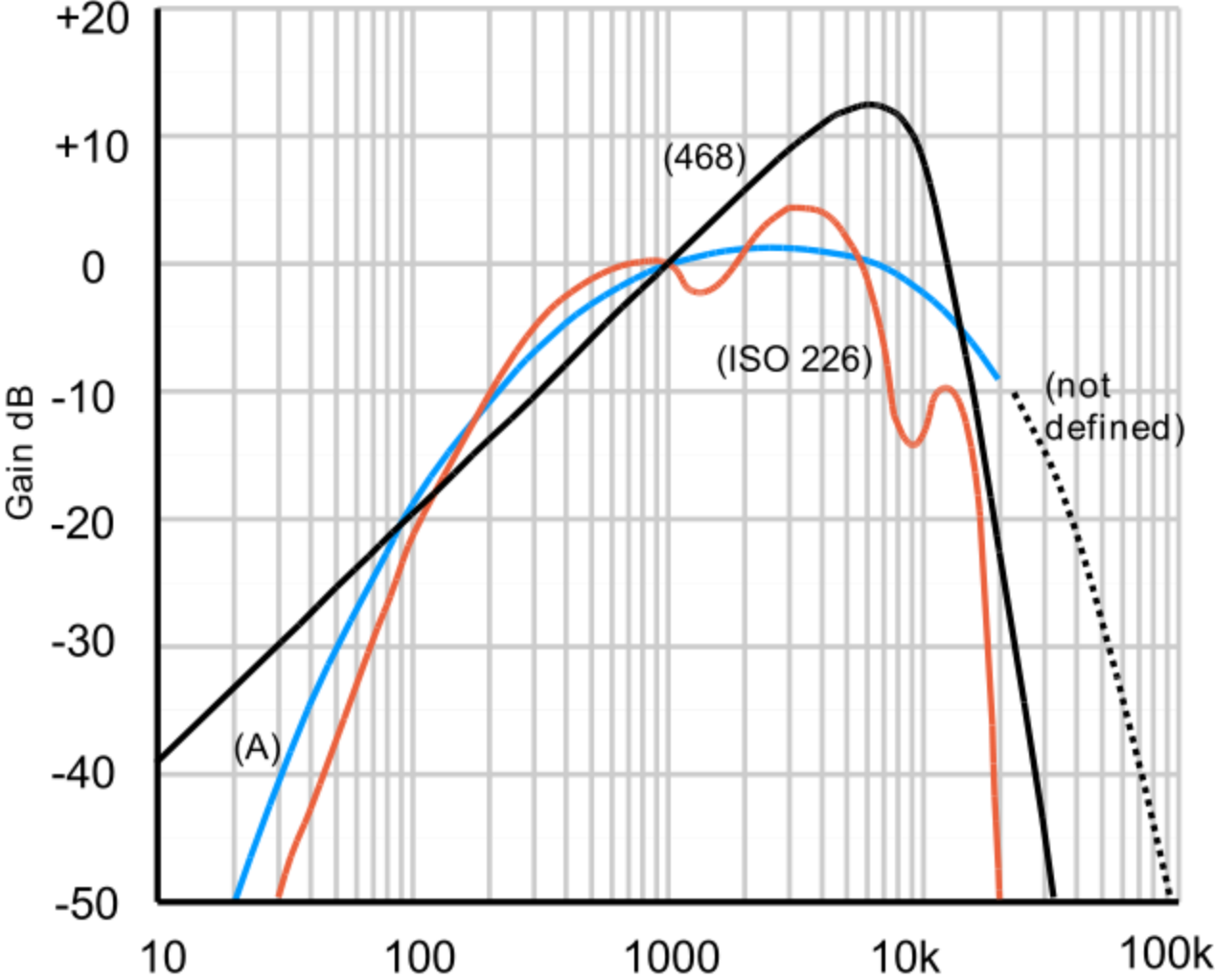
"D": kifejezetten nagy hangnyomásszintekre, pl. gázturbinákhoz, ma már csak harci repülőgépeknél használatos.

Polgári repülőgépeknél "A" van előírva.



Súlyozó görbék

A
ITU-R 468
ISO 226:2003



Súlyozó görbék

Az "A" görbe tiszta hangok felhasználásával készült.

Kevésbé releváns az emberi halláshoz.

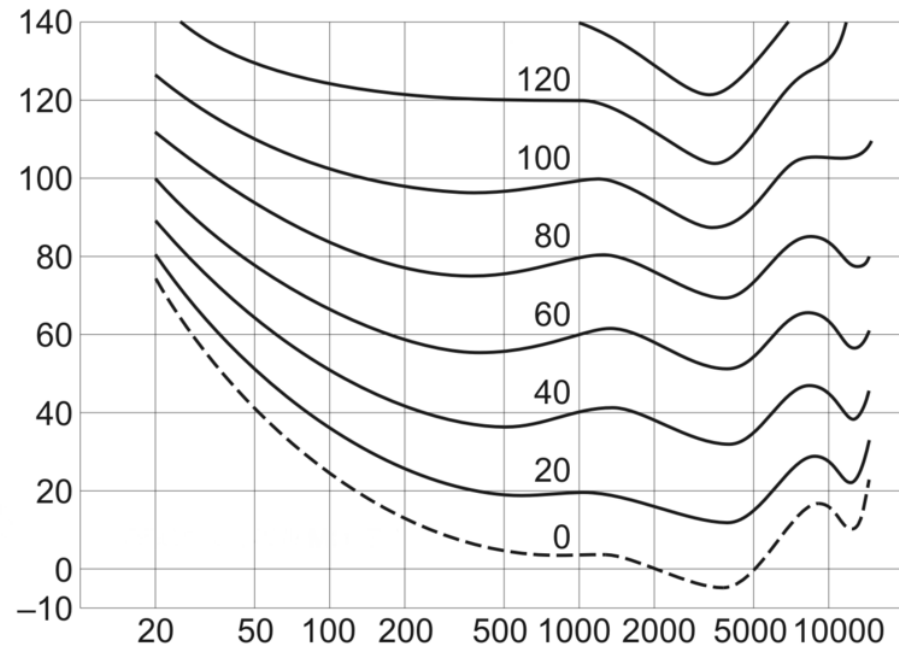
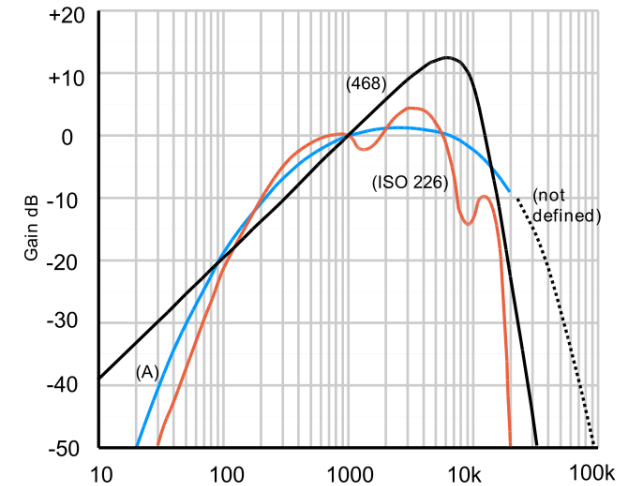
"ITU-R 468" pontosabban adja vissza a fül különféle zajforrásokra való érzékenységét. Ezt alkalmazza pl. a Dolby is.

"ISO 226" az egyenlő hangosságú tiszta hangok alapján.

Hangosság: a hang fül által érzékelt erősségének mértéke.

Szubjektív, frekvencia és spektrumfüggő.

A hangnyomásszint [dB] és a hangosság-szint [phon] 1 kHz-n egyenlő.



Zaj emberi szervezetre gyakorolt hatása

30 dB: pszichés

65 dB: vegetatív problémák

90 dB: hallászervi károsodás

120 dB: fájdalomküszöb

130 dB: maradandó halláskárosodás

140 dB: agyi- és idegrendszeri károsodás

160 dB: dobhártyarepedés

175 dB: halálos

Tartós halláscsökkenés: rendszerint a magasabb frekvenciatartományon kezdődik.

Rendeletben megadott zajexpozíciós értékek:

	Egyszeri	Tartós	
Határérték:	140 dB(C)	87 dB(A)	azonnali beavatkozás
Felső beavatkozás:	137 dB(C)	85 dB(A)	hallásvédő kötelező
Alsó beavatkozás:	135 dB(C)	80 dB(A)	hallásvédő opcionális

Zaj emberi szervezetre gyakorolt hatása

Fülhallgató vs. hangszóró

Hangszóró: a kibocsátott hangok pár m távolságról: (főleg) magas frekvenciák csillapodnak.

Fülhallgató: minden közvetlenül a fülbe jut: a magas frekvenciák is csillapítás nélkül.

Probléma 1: a fülék alkalmazkodnak: a hangerő könnyen veszélyes értékre emelkedhet.

Probléma 2: utcán hallgatva emelt hangerő a környezeti zajok kiszorítása érdekében:
jelentős halláskárosodási kockázat.

Probléma 3: edzés közben a vér a végtagokba áramlik, a belsőfül vérellátása csökken:
ugyanakkora hangosságérzethez nagyobb hangteljesítmény szükséges:
jelentős halláskárosodási kockázat.

	Egyszeri	Tartós	
Határérték:	140 dB(C)	87 dB(A)	azonnali beavatkozás
Felső beavatkozás:	137 dB(C)	85 dB(A)	hallásvédő kötelező
Alsó beavatkozás:	135 dB(C)	80 dB(A)	hallásvédő opcionális

Irányítottság

Pontszerű hangforrás végtelen nagy térben: minden irányban egyformán sugároz.

Ekkor R sugarú gömb felszínén az intenzitás:
$$I_g = \frac{P}{4R^2\pi} = \frac{p_g^2}{\rho a}$$

Ha részben határolt tér ami tökéletesen visszaveri a hangot: irányítási tényező $D = \frac{I}{I_g}$

$$D = \frac{I}{I_g} = \frac{\frac{p^2}{\rho a}}{\frac{p_g^2}{\rho a}} = \frac{p^2}{p_g^2} \cdot \frac{4R^2\pi}{P} = \frac{A_t}{A_{SZ}} \quad \text{ahol}$$

A_t : a teljes keresztmetszet melyen át határoló nélkül sugározna. R távolságban $A_t = 4R^2\pi$

A_{SZ} : a szabad keresztmetszet R távolságban, amelyen keresztül sugároz.

Pontszerű hangforrás	végtelen térben:	$D=1$
	síkfelületen:	$D=2$
	két sík metszésvonalában:	$D=4$
	három sík metszéspontjában:	$D=8$
	(sarok)	

Irányítottság

$$\text{Mivel } I_g = \frac{P}{4R^2\pi} \quad \text{és} \quad D = \frac{p^2}{\rho a} \cdot \frac{4R^2\pi}{P}$$

$$\text{Ezért } I = D \cdot I_g = D \frac{P}{4R^2\pi} = \frac{p^2}{\rho a}$$

$$I_0 = \frac{p_0^2}{(\rho a)_0} = \frac{P_0}{R_0^2} \quad \text{ahol } R_0 = 1 \text{ m}$$

$$\frac{I}{I_0} = D \frac{P}{4R^2\pi} \frac{R_0^2}{P_0} = \frac{p^2}{\rho a} \frac{(\rho a)_0}{p_0^2}$$

$$\frac{P}{P_0} = \frac{p^2}{p_0^2} \frac{(\rho a)_0}{\rho a} \frac{4R^2\pi}{R_0^2} \frac{1}{D} \quad / \quad 10 \cdot \lg()$$

$$L_w = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} = 10 \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2} + 10 \cdot \lg \frac{(\rho a)_0}{\rho a} + 10 \cdot \lg(4\pi) + 10 \cdot \lg \frac{R^2}{R_0^2} - 10 \cdot \lg D$$

Levegőben $(\rho a)_0 \cong \rho a$

$$L_w = L + 20 \cdot \lg R - 10 \cdot \lg D + 11$$

4. feladat

Nagyméretű üres terem közepén padlóra helyezett rádió.

$R = 1.2$ m távolságban a hangnyomásszint $L = 50$ dB.

a) $L_w = ?$

b) $L = ?$ ha a sarokba helyezzük és R továbbra is 1.2 m?

$$L_w = L + 20 \cdot \lg R - 10 \cdot \lg D + 11 = 59.6 \text{ dB}$$

$$L = L_w - 20 \cdot \lg R + 10 \cdot \lg D - 11 = 56 \text{ dB}$$