

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem **Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar**

felsőfokú munkavédelmi szakirányú továbbképzés

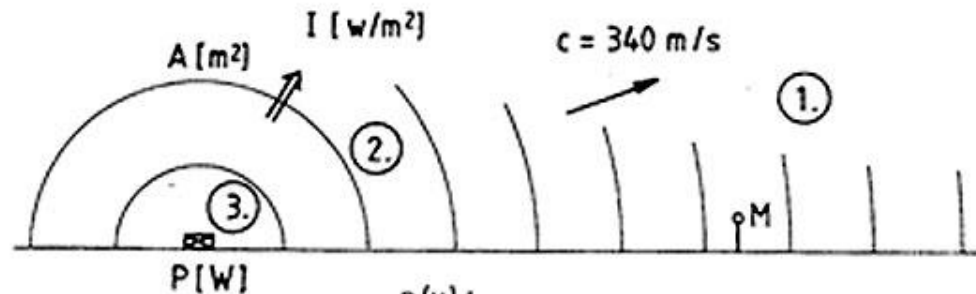
Zaj és rezgésvédelem

Hangterjedés

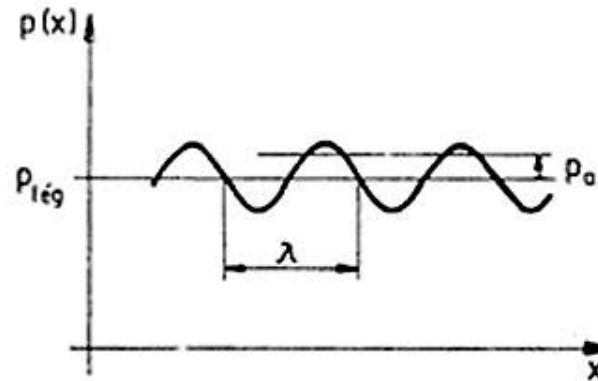
Márkus Miklós

zaj és rezgésvédelmi szakértő

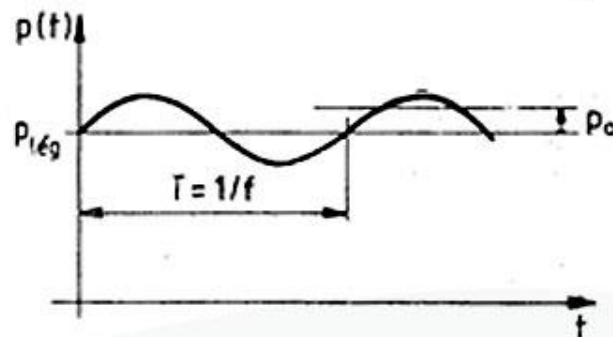
Hangterjedés szabad térben



a) nyomás képe a távolság függvényében



b) nyomás képe az idő függvényében (M pontban)



Hanghullámok terjedése szabad térben

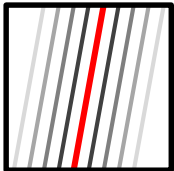
Hangterjedés szabad térben

Szabad hangtér (def.): a hullámterjedést nem befolyásolja semmilyen elnyelő vagy visszaverő felület, azaz a hanghullám a forrásból a tér minden irányában elhajlás, törés és visszaverődés nélkül terjed.

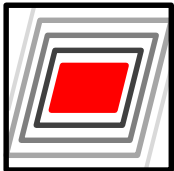
Hangforrások elemi típusai:



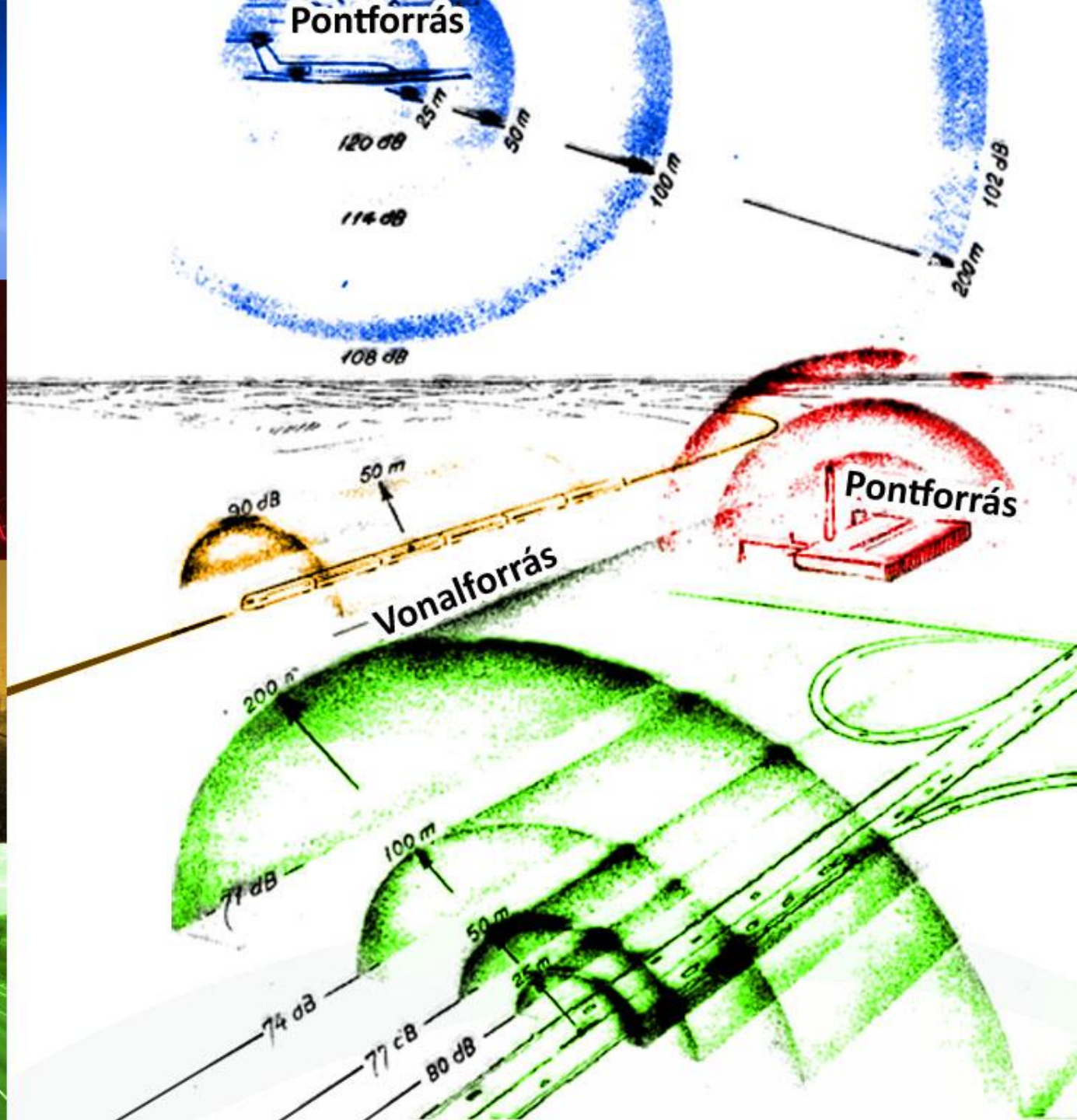
PONTSZERŰ HANGFORRÁS (pontsugárzó)



VONALSZERŰ HANGFORRÁS (vonalsugárzó)



FELÜLETSZERŰ HANGFORRÁS (felületsugárzó)





PONTSZERŰ HANGFORRÁS

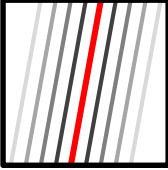
- kiterjedésük elvileg mindhárom irányban végtelen kicsi, és minden irányban azonos teljesítményt adnak le
- ha nincs akadály a térben, akkor a hanghullámok *koncentrikus gömbként* terjednek

A gyakorlatban pontszerűnek tekintjük a hangforrást:

- ha a forrás legnagyobb méretétől (d) legalább 2-szeres távolságra rögzítjük a vizsgálati (megítélési) pontot
- amely a hangforrás által kisugárzott hang hullámhosszának (λ) kétszeresénél is távolabb van

$$2d < r < 2\lambda$$

távoltér > közeltér



VONALSZERŰ HANGFORRÁS

- végtelen hosszú vonal (elméletben), melynek minden eleme hangforrásként működik
- ha nincs akadály a térben, akkor a hanghullámok *hengeres hullám* formájában terjednek

Két alaptípusa:

- *koherens vonalsugárzó*
minden eleme azonos fázisban sugároz
(pl. áramlási zaj csővezetékben)
- *inkoherens vonalsugárzó*
egyidejűleg eltérő fázisban sugárzó elemi pontforrások
(pl. közúti útszakasz)

FELÜLETSZERŰ HANGFORRÁS

- a hang nagy felületen sugárzódik le, melynek minden eleme független hangforrásként működik
- ha nincs akadály a térben, akkor a hanghullámok *véletlenszerű fázisban félgömbszerűen* terjednek

A hangenergia sugárzása a távolság függvényében:

- a felület közelében közelítően *síkhullámú hangsugárzó* kissé eltávolodva nem csökken a hangenergia
- a felülettől távolodva először a *vonalszerű hangforrás* törvényszerűségeit követi
- nagyobb távolságban pedig *pontszerű hangforrásnak* tekinthetjük a távolságtörvénynek megfelelően



PONTSZERŰ HANGFORRÁS

- a hangnyomás a felületen oszlik meg
- a hangforrástól távolodva növekszik a felület
- csökken az egységnyi felületre eső hangnyomás
- **a csökkenés a gömbfelület sugarával arányos**

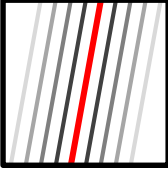
$$I = \frac{P}{4r^2\pi} \quad \text{mely alapján} \quad L = L_w + 10 \cdot \lg \frac{1}{4r^2\pi}$$

ahol:

L a vizsgálati pontban eredő hangnyomásszint [dB]

L_w a zajforrás hangteljesítményszintje [dB]

r a vizsgálati pont távolsága a zajforrástól [m]



VONALSZERŰ HANGFORRÁS

- a hangnyomás a felületen oszlik meg
- a hangforrástól távolodva növekszik a felület
- csökken az egységnyi felületre eső hangnyomás
- **a csökkenés a hengerfelület sugarával arányos**

$$I = \frac{P}{2r\pi} \quad \text{mely alapján} \quad L = L_w + 10 \cdot \lg \frac{1}{2r\pi}$$

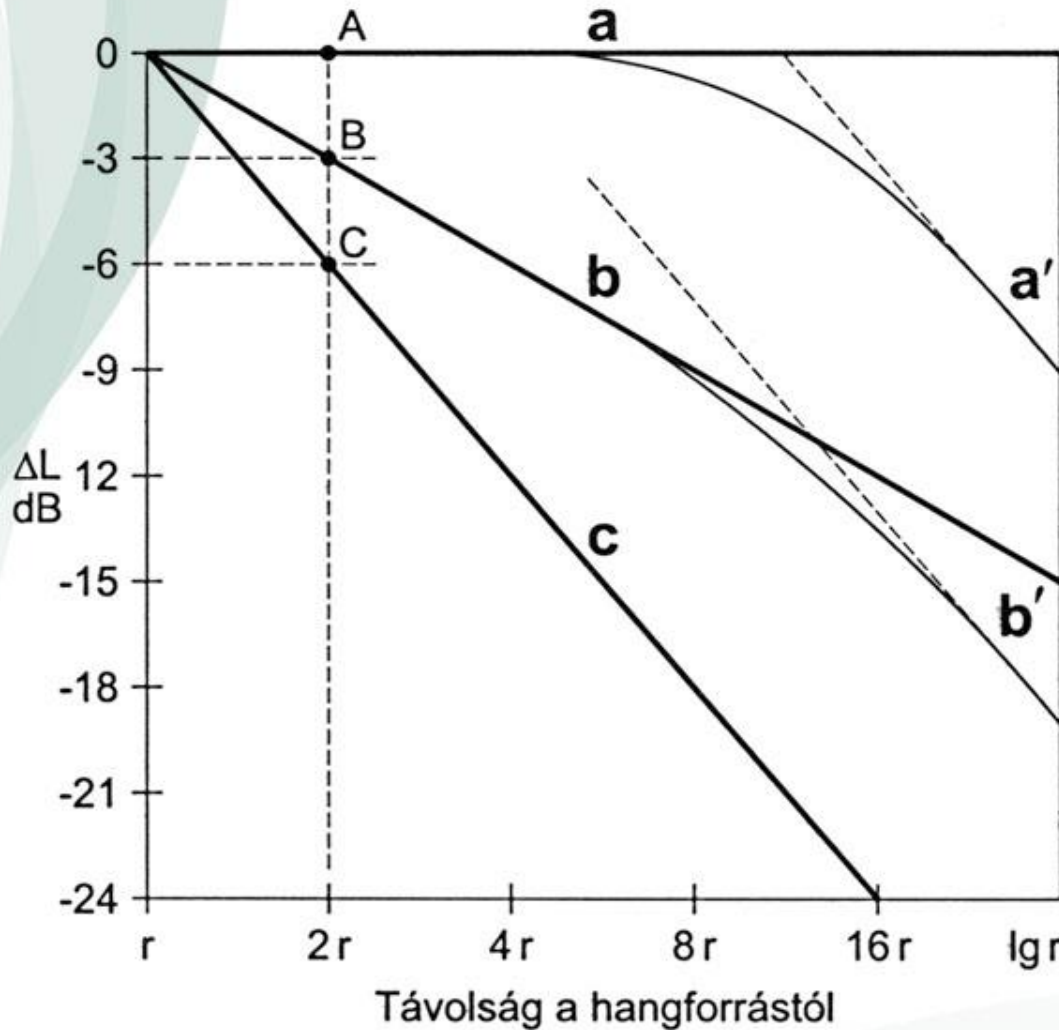
ahol:

L a vizsgálati pontban eredő hangnyomásszint [dB]

L_w a zajforrás hangteljesítményszintje [dB]

r a vizsgálati pont távolsága a zajforrástól [m]

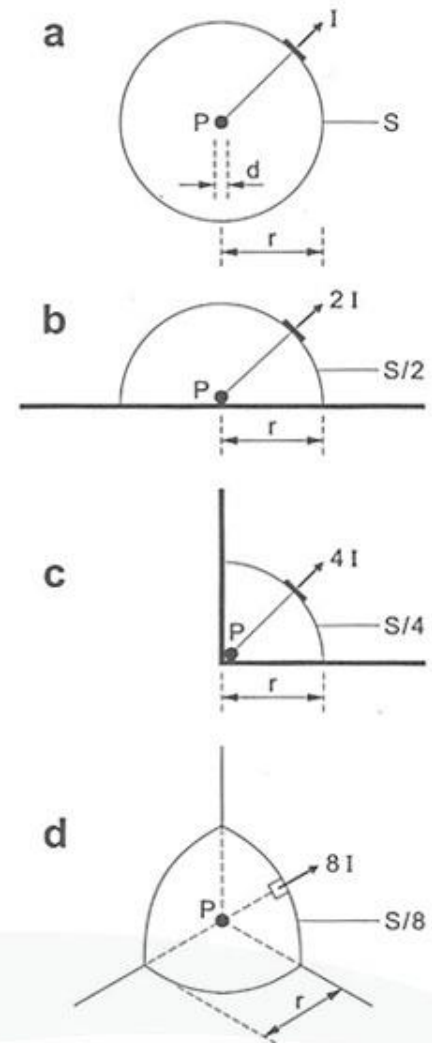
Szabadtéri terjedés számítása



Forrástípusok hangterjedésének geometriai törvényszerűségei

Irányítási tényező (def.): a teljesen gömbszerű terjedéstől való eltérés jellemzésére használják
Jele: D , dimenziója nincs.

- a** teljesen szabad térben (gömb sugárzó):
 $D = 1$
- b** egy visszaverő felület (fél gömb sugárzó):
 $D = 2$
- c** két visszaverő felület (negyed gömb sugárzó):
 $D = 4$
- d** három felület (nyolcad gömb sugárzó):
 $D = 8$



Hangnyomásszint számítása PONTFORRÁS esetén:

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

Hangnyomásszint számítása VONALFORRÁS esetén:

$$L = L_w + 10 \cdot \lg D - 10 \cdot \lg r - 8$$

ahol:

L a vizsgálati pontban eredő hangnyomásszint [dB]

L_w a zajforrás hangteljesítményszintje [dB]

r a vizsgálati pont távolsága a zajforrástól [m]

D irányítási tényező

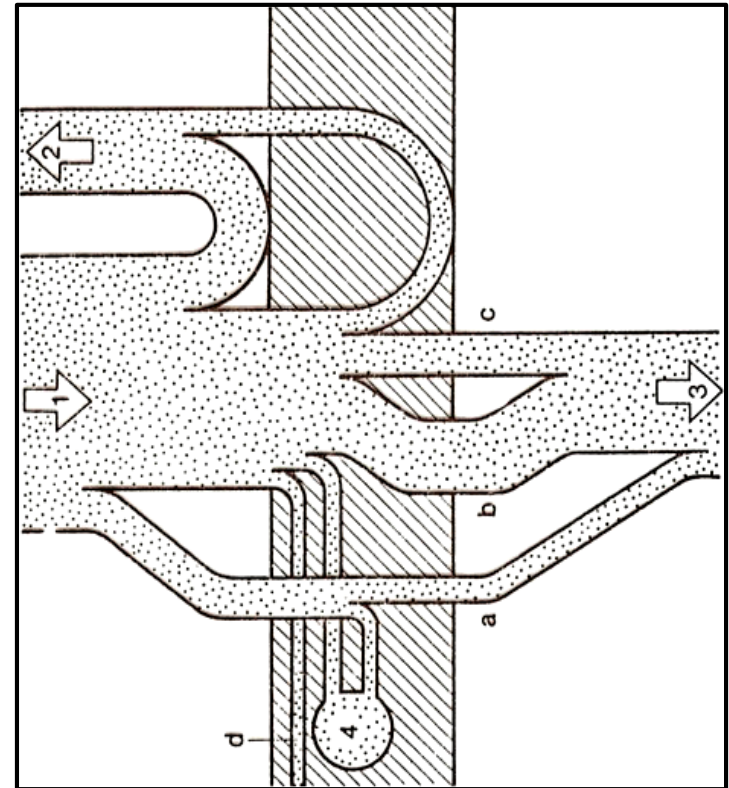
Hangterjedés zárt térben

1. Vegyünk egy pontszerű hangforrást
2. Helyezzük a zajforrást a talajra szabad hangtérben
3. Vegyük körül a zajforrást teljes hangelnyelő falakkal
következmény: a hangenergia teljes egészében elnyelődik
4. Csökkentsük a helyiség falainak elnyelését
következmény: a hangenergia egy része visszaverődik
5. Csökkentsük tovább a helyiség falainak elnyelését
következmény: a hangenergia teljes egészében visszaverődik

A helyiségben kialakuló hangenergiát befolyásoló tényezők :

- a kibocsátott hangenergia (hangteljesítményszint)
- a tér geometriai méretei (térfogata és felülete)
- a felületek hangelnyelő tulajdonsága (elnyelési tényező)

- a hangforrás *energiaforrás*
- a kibocsátott hangenergia (1):
 - részben visszaverődik (2)
 - részben átjut a falon (3)
 - kerülőutakon terjed (a,b,c,d)
 - elnyelődik (4)
- *egyensúlyi helyzet* alakul ki:
 - annyi energia nyelődik el
 - amennyit a hangforrás kisugároz
- létrejön a *diffúz hangtér*:
 - visszavert/szórt/zengő hangtér
 - a hanghullámok által megtett szabad úthossz
 - és a **teremállandó** (R_T) függvénye



$$L = L_W + 10 \cdot \lg \frac{4}{R_T}$$

Hangterjedés zárt térben

Együttesen érzékelhető:

- a **diffúz hangtér** hatása
- a **szabadtéri hangtér** hatása

A két hangtér energiája összeadódik:

$$L = L_W + 10 \cdot \lg \left(\frac{D}{4r^2\pi} + \frac{4}{R_T} \right)$$

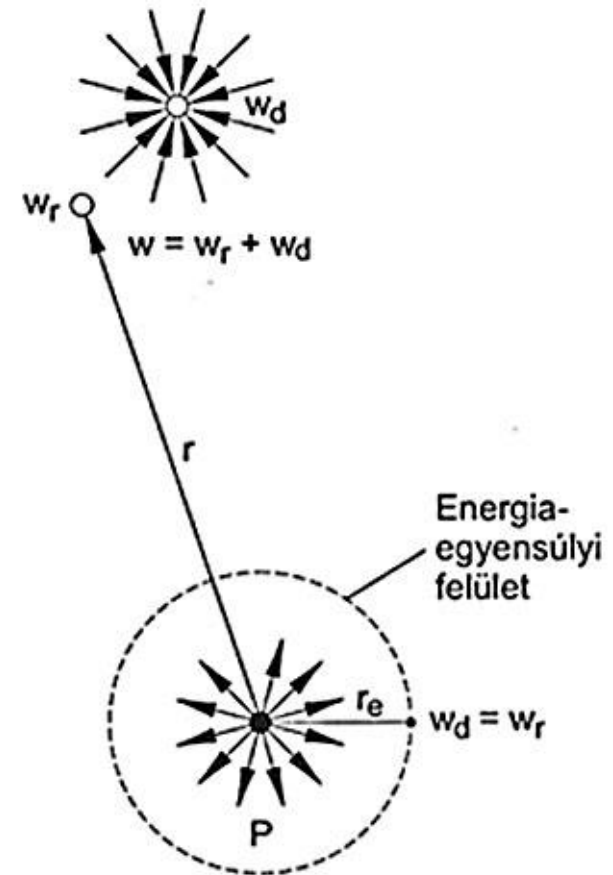
ahol:

L_W hangteljesítményszint [dB]

D irányítási tényező

r a mérési pont távolsága a zajforrástól [m]

R_T a helyiség teremállandója [m²]

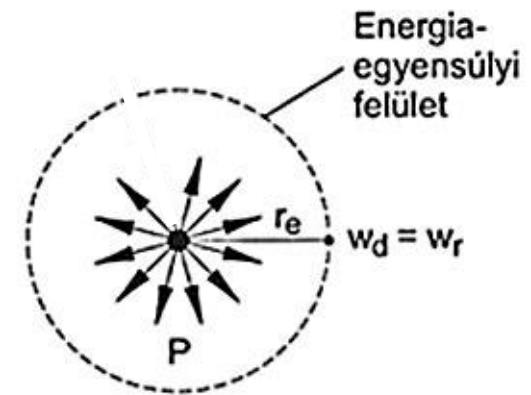


Energiaegyensúlyi felület/sugár (def.): a zajforrástól számított elméleti r_e távolság, ahol a szabadtéri terjedésű hangtérből és a visszavert diffúz hangtérből származó hangenergia egyenlő:

$$\frac{D}{4r_e^2\pi} = \frac{4}{R_T} \quad \text{mely alapján} \quad r_e = \sqrt{\frac{D \cdot R_T}{16\pi}}$$

ahol:

- r_e energiaegyensúlyi sugár [m]
- D irányítási tényező
- R_T a helyiség teremállandója [m²]



Hangelnyelési tényező

Átlagos hangelnyelési tényező (def.): a hangelnyelés mértékét kifejező mérőszám, vagyis a falra eső E hangenergia $\alpha \cdot E$ hányada nyelődik el a falban. Jele: α , dimenziója nincs.

$$\alpha = \frac{E_{\text{beeső}} - E_{\text{visszavert}}}{E_{\text{beeső}}}$$

A hangelnyelési tényező:

- időben állandó
- független a beeső hanghullámok irányától
- független a hangforrás hangteljesítményétől
- csak a fal anyagától és a hang frekvenciájától függ.

Egyenértékű elnyelési felülete (def.): a tér hangelnyelő képességét fejezi ki. Jele: A , mértékegysége: $[m^2]$.

$$A = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \alpha_i = \bar{\alpha} \cdot S$$

Teremállandó (def.): ugyancsak a tér hangelnyelő képességét fejezi ki. Jele: R_T , mértékegysége: $[m^2]$.

$$R_T = \frac{\bar{\alpha} \cdot S}{1 - \bar{\alpha}}$$

ahol:

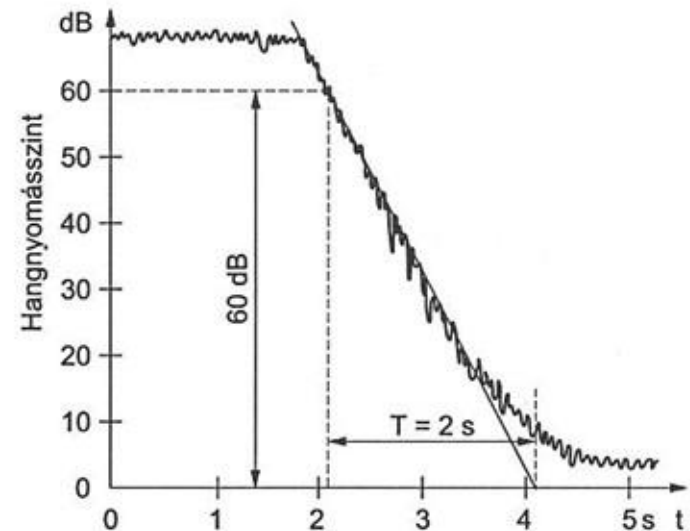
S a helyiség teljes felülete $[m^2]$

α a helyiségre vonatkozó átlagos hangelnyelési tényező

Utózengési idő

Utózengés (lecsengés):

1. hangforrást bekapcsoljuk
2. állandósul az egyensúlyi állapot
3. a hangforrást kikapcsoljuk
4. a hangenergia csökken
5. eléri az alapzaj szintjét



A csökkenés a tér hangelnyelő képességétől függ:

- minél kisebb az elnyelési felület (A)
- annál hosszabb idő (T) alatt hal el a hang (vö. mélygarázs és lakószoba)

Utózungési idő (def.): olyan időtartam, amely alatt a hangforrás kikapcsolása után az energiasűrűség *egymilliomod* részére, a hangnyomásszint *60 decibellel* csökken.

Jele: T , mértékegysége: [s].

A helyiség elnyelési felülete a **Sabine-képlet** segítségével:

$$A = 0,163 \cdot \frac{V}{T}$$

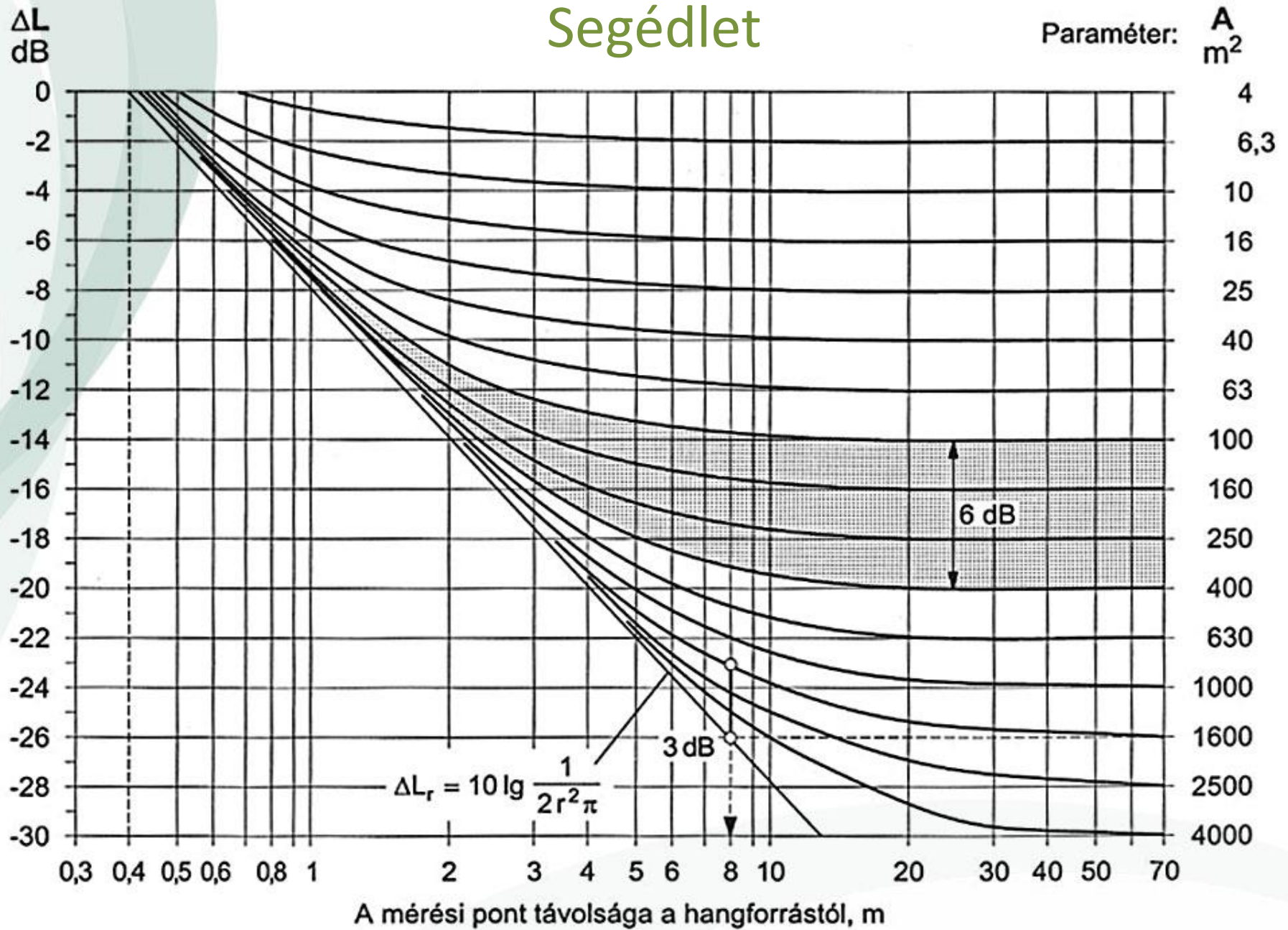
ahol:

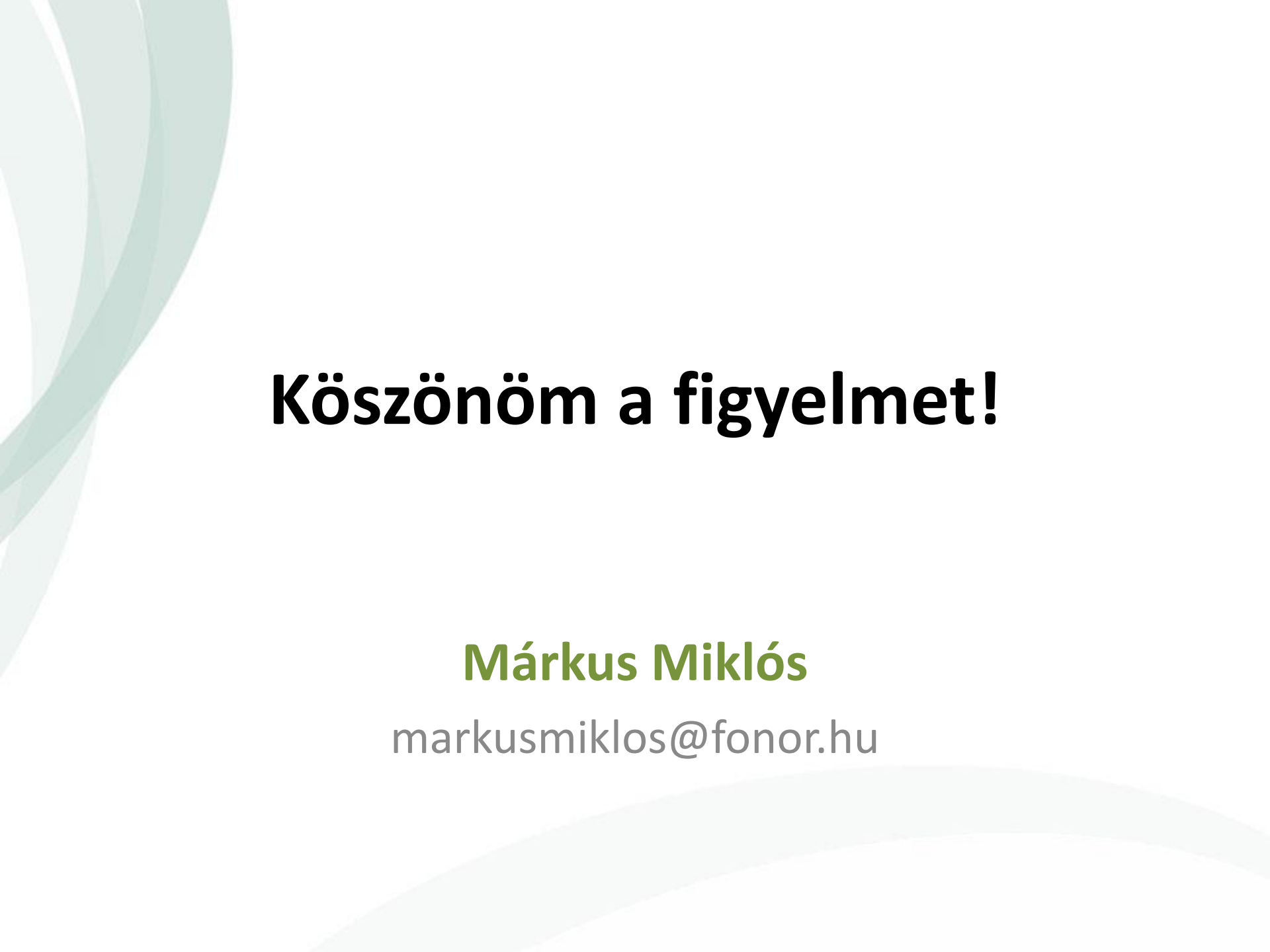
T utózungési idő [s]

V a helyiség térfogata [m^3]

A a helyiség egyenértékű elnyelési felülete [m^2]

Segédlet





Köszönöm a figyelmet!

Márkus Miklós

markusmiklos@fonor.hu