

Középületek akusztikai tervezése

BMEEPES0614

Mesterházy Beáta

bmesterhazy@epsz.bme.hu

Nagy Attila Balázs

anagy@epsz.bme.hu

Iroda: Stoczek épület fszt. 1.

Labor: DCS épület – a Stoczek oldalkijáratával szemben

Nem publikus változat, kizárólag a tárgy hallgatói részére!

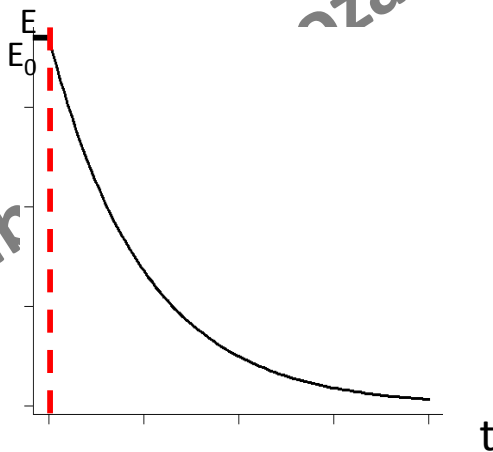
A zárt helyiségekben kialakuló hangtér – 1: A Sabine-féle modell

Feltevések:

- A terem energiatartály.
- A teremben lévő hangenergiát a *hangenergia-sűrűség*gel írjuk le.
- Hangenergiát csak a forrás visz be a terembe.
- A teremben lévő hangenergia a falak hangelnyelő képessége miatt csökken („csap”).
- A hangenergia eloszlása egyenletes (*diffúz hangtér*: a hangenergia lokális térbeli átlaga független a pozíciótól).

A forrás üzemelése közben energiaegyensúly alakul ki (bévitt energia egyenlő a falakon elnyelt energiával).

A forrás kikapcsolását követően a teremben lévő energia exponenciálisan lecsökken – karakterisztikus elhalási idő: τ .



$$E(t) = E_0 e^{-t/\tau}$$

A zárt helyiségekben kialakuló hangtér – 1: A Sabine-féle modell

A hangenergia-csökkenést jellemző mennyiség az utózengési idő.

Sabine-képlet

$$T = \frac{24 \ln 10}{c} \frac{V}{A_s} \approx 0,161 \frac{V}{A_s}$$

Az utózengési idő a (forrás kikapcsolását követően) a kezdeti hangenergia egymilliomod részére csökkenéséhez szükséges idő.

Az utózengési idő függ:

- a terem hangelnyelő képességétől (A_s : ekvivalens elnyelési felület), és
- a terem térfogatától (V).

A zárt helyiségekben kialakuló hangtér – 1: A Sabine-féle modell

A terem elnyelési képessége

Elnyelési tényező (α): a felületre beeső energia mekkora hányada nem verődik vissza.

Elnyelési képesség, ekvivalens elnyelési felület:

$$A_s = A_1 + A_2 + \dots + A_N = \sum_i^N \alpha_i S_i = \bar{\alpha} S_{tot}$$

Például egy ember kb. 0,5 m² elnyelési felületnek felel meg.

Ez a Sabine-féle elnyelési tényező: **irányfüggetlen**, de mint minden, **frekvenciafüggő**.

Mérése: MSZ EN ISO 354:2003 „Akusztika. A hangelnyelés mérése zengő szobában.”

Az energiaszórás egyenletessége

Mennyi adott térfogat esetén 100 visszaverődéshez szüksége idő?
A visszaverődések egy tükörforrás halmazból érkeznek.

$$\sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \sqrt[3]{100} \sqrt[3]{V} = 2.9 \sqrt[3]{V}$$

Azaz kb. $t = 3 l/c$ idő szükséges. (Ha $l = 10$ m, akkor ez 0,1 s.)

A Sabine-képlet korlátai

Nem alakul ki az egyenletes energiaszórás, ha

- a karakterisztikus elhalási idő kicsi (pl. $3 l/c \leq \tau$)
- az átlagos elnyelési tényező túl nagy ($\alpha \approx 0,3$)

Átlagos szabad úthossz és a Norris-Eyring képlet

Az átlagos szabad úthossz:

$$l_k = \frac{4V}{S}$$

(kocka alakú szobára $l_k = 2/3a$, gömb alakú szobára $l_k = 4/3r$)

N ütközés után, azaz $t_N = Nl_k/c$ idő elteltével a megmaradó energiasűrűség:

$$w(t_N) = w_{kezd}(1 - \bar{\alpha})^N$$

$$w(t) = w_{kezd}(1 - \bar{\alpha})^{\frac{ct}{l_k}} = w_{kezd}e^{-t/\tau}$$

$$\tau = \frac{4V}{cS(-\ln(1 - \bar{\alpha}))}$$

Norris-Eyring képlet

$$T \approx 0,161 \frac{V}{S(-\ln(1 - \bar{\alpha}))}$$

A Sabine és Norris-Eyring képletek közötti kapcsolat

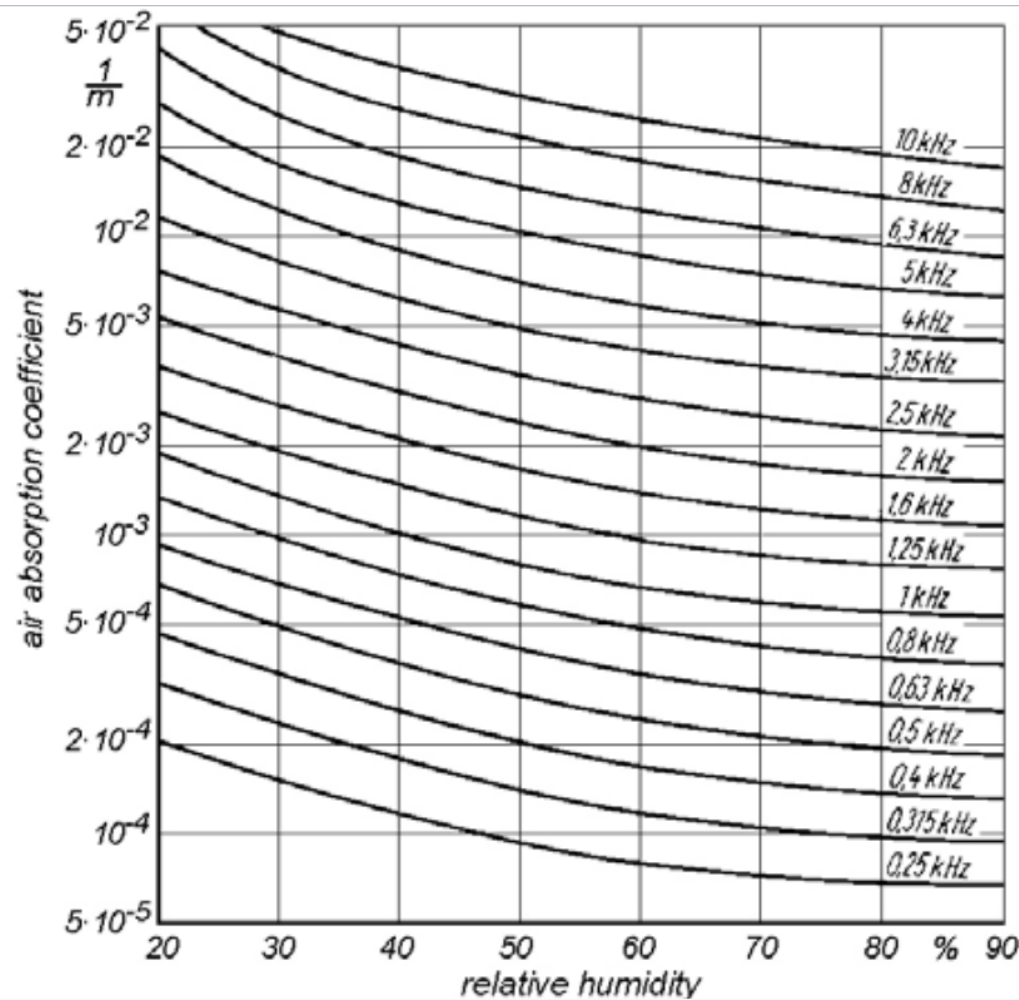
Kis α értékekre:

$$\bar{\alpha} = -\ln(1 - \bar{\alpha}) \approx \bar{\alpha} \left(1 + \frac{\bar{\alpha}}{2}\right)$$

A levegő elnyelésének hatása

$$T \approx 0,161 \frac{V}{A_s + 4mV}$$

$$T \approx 0,161 \frac{V}{S(-\ln(1 - \bar{\alpha})) + 4mV}$$



m: a levegő hangenergiaelnyelő képessége [1/m]
(MSZ EN ISO 12354-6, MSZ EN ISO 9613-1)

Bútorzat hatása

$$V' = V (1 - \Psi)$$

$$\text{Térfogatarány: } \Psi = \frac{\sum V_{tárgy}}{V}$$

Emberek, tárgyak, levegő és bútorzat hatása együtt:

$$T \approx 0,161 \frac{V}{A_s + A_{tárgy} + NA_{ember} + 4mV'} (1 - \Psi)$$

$$T \approx 0,161 \frac{V}{S(-\ln(1 - \bar{\alpha})) + A_{tárgy} + NA_{ember} + 4mV'} (1 - \Psi)$$

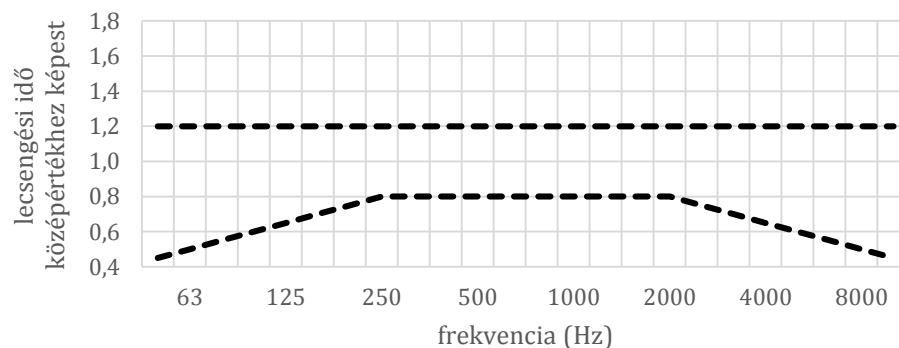
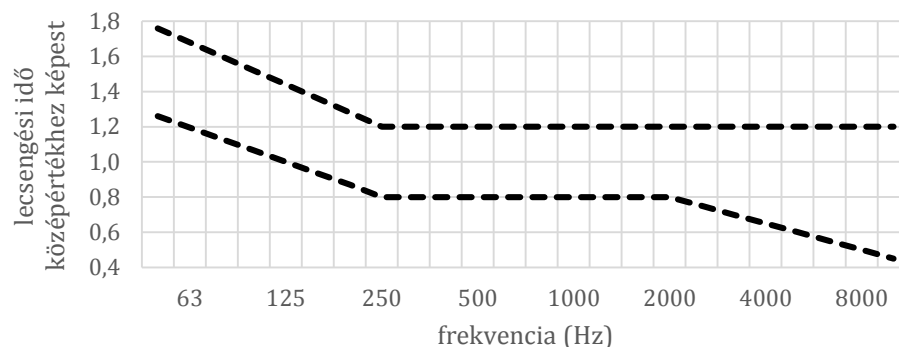
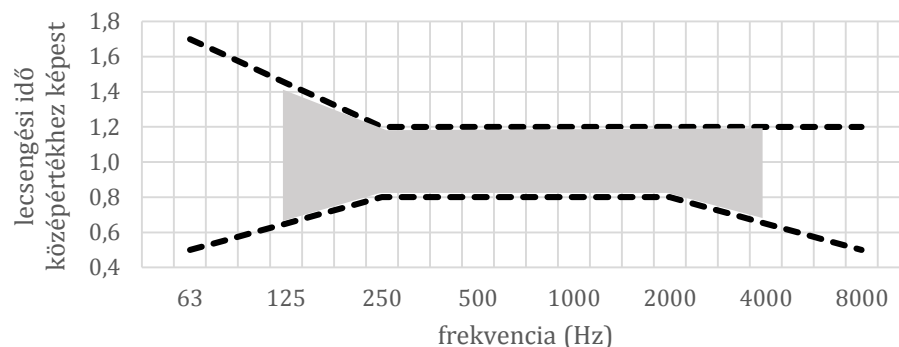
Utózungési idő követelmények

$$T_m = \frac{T_{500 \text{ Hz}} + T_{1000 \text{ Hz}}}{2}$$

Fent: DIN 18041:2016 általános

ÖNORM B8115-3:2005
zenei előadóterem

ÖNORM B8115-3:2005
zenei próbaterem vagy beszéd



Forrás: MMK Tervezési segédlet – Fürjes Andor (előkészületben)