

Hangterjedés akadályozott terekben

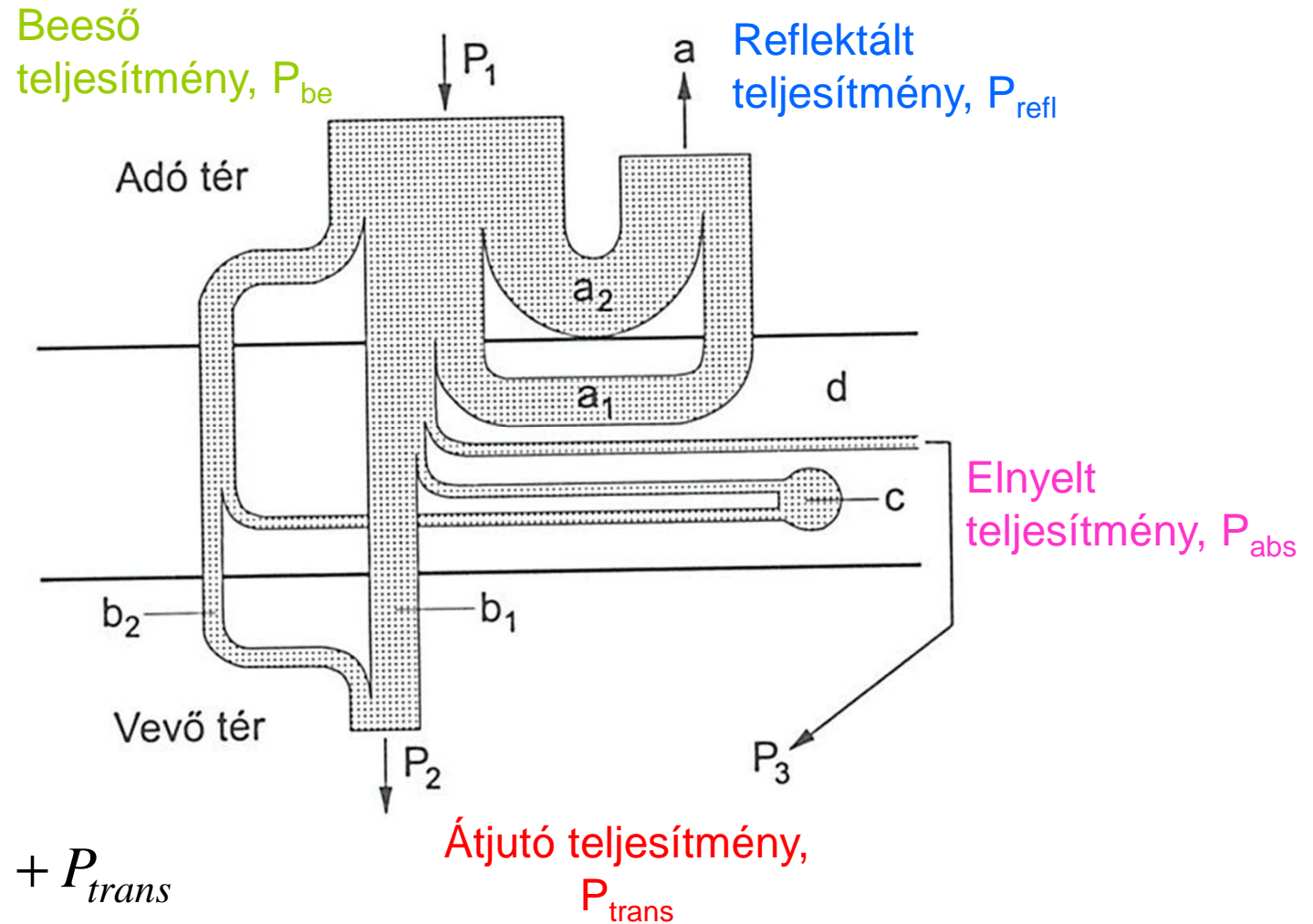
Hangelnyelés, hanggátlás:
hangszigetelés

Augusztinovicz Fülöp

Szakirodalom

- P. Nagy József: A hangszigetelés elmélete és gyakorlata
 - Akadémiai Kiadó, Budapest, 2004.
- Tarnóczy Tamás: Akusztikai tervezés
 - Műszaki Könyvkiadó (cca. 1970)

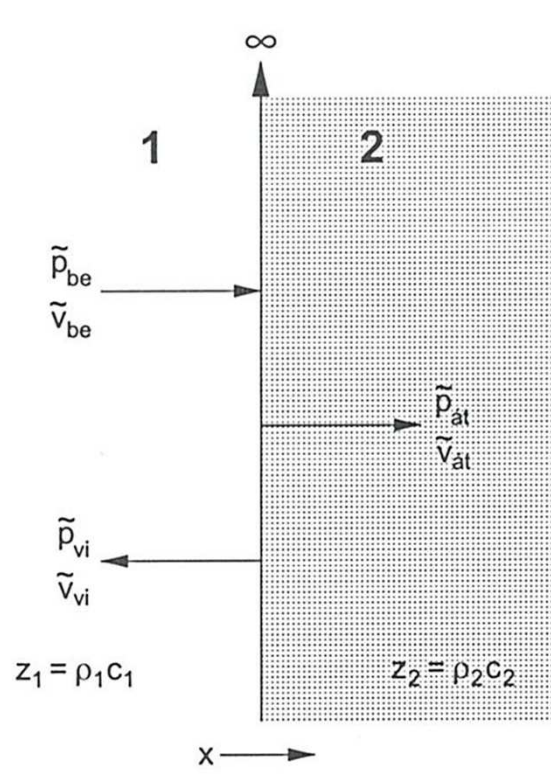
Energiamérleg



$$P_{be} = P_{refl} + P_{abs} + P_{trans}$$

$$1 = \rho + \alpha + \tau$$

Alapösszefüggések



$$r = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1}$$

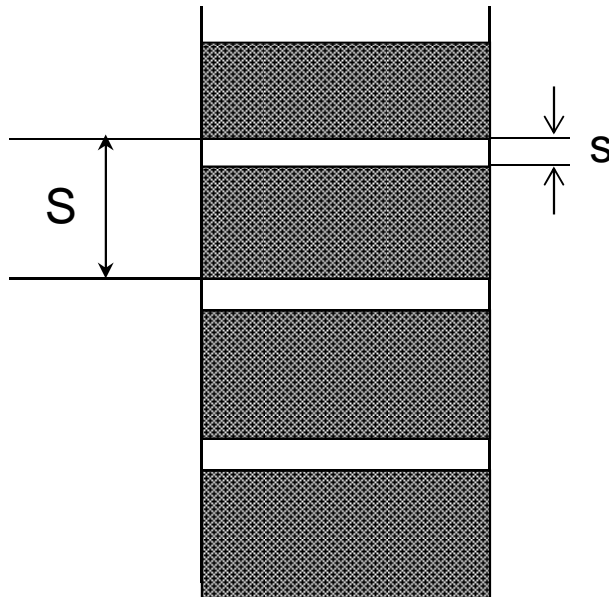
$$\rho = \left(\frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \right)^2$$

$$\alpha = 1 - \rho = 1 - r^2 = 1 - \left(\frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \right)^2$$

Hangelnyelési mechanizmusok

1. Legegyszerűbb modell: áthaladás szűk csatornákon > Rayleigh porozitási modellje

Csak közepes tartományban érvényes!



$$r = \frac{4}{\left(\sqrt{\frac{S}{s}} + \sqrt{\frac{s}{S}} \right)^2}$$

Hangelnyelési mechanizmusok

2. áramlási ellenállás

- súrlódási disszipáció a légtérben

3. a szerkezeti váz is rezgésbe jön

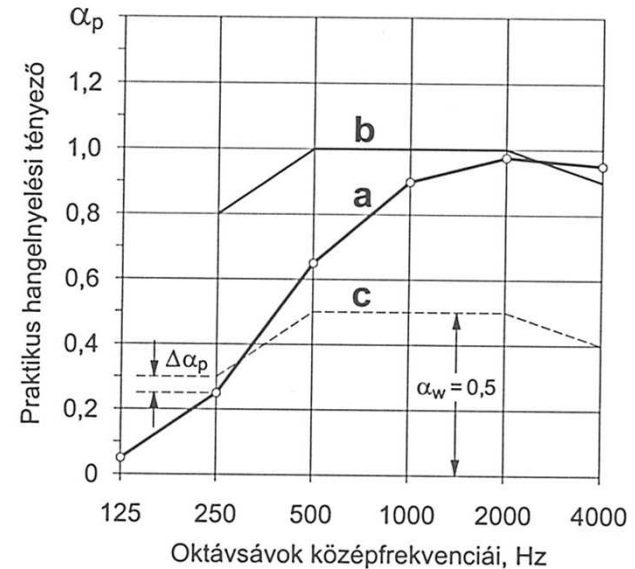
- többletenergia igény
- a szerkezetben is súrlódási disszipáció

Jellemzők

- Makroszintű adatok
 - Hangelnyelési fok/tényező, α
 - Súlyozott hangelnyelési tényező, α_w
- Befolyásoló tényezők
 - Porozitás
 - Áramlási ellenállás
 - Tortuosity

Jellemzők

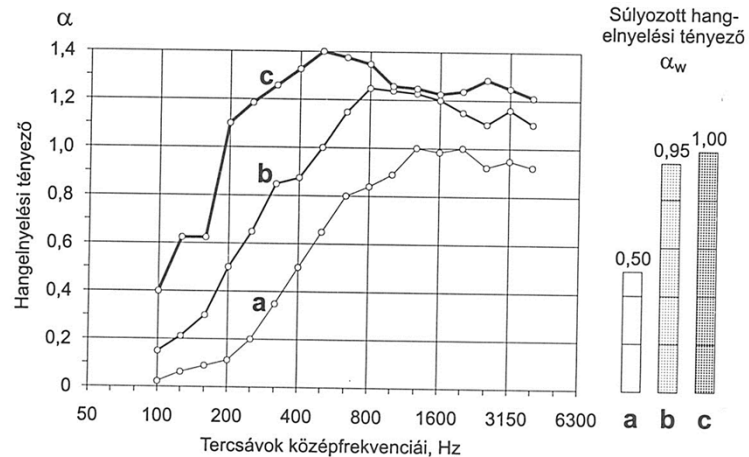
- Frekvenciafüggés
 - Terc- v. oktávsávosan
- Mérőtér
 - Csőben vagy teremben
- Átlagolt hangelnyelés
 - Közöséges átlag
 - Súlyozás
 - B-t addig kell tologatni, hogy a kedvezőtlen eltérések összege $\leq 0,1$ legyen



6.2. ábra

- A 6.1. ábra szerinti üvegyapot lemez súlyozott hangelnyelési tényezőjének meghatározása
- a A súlyozás tárgyát képező α_p értékek függvénye
 - b Súlyozó görbe
 - c b-vel párhuzamosan elmozdított súlyozó görbe

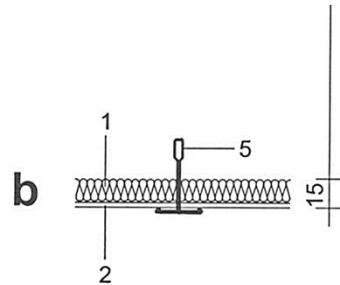
Áramlási ellenállás és d hatása



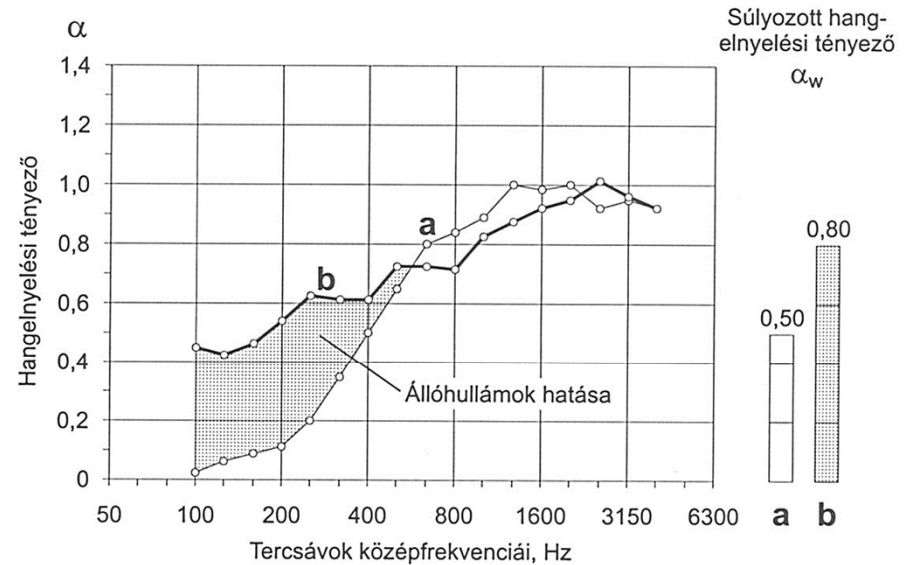
6.8. ábra
Üvegszálszövettel kasírozott üvegyapot lemez
zengő szobában mért hangelnyelési jellemzői^{6.11)} [92]

Műszaki jellemzők	a	b	c
Szálátmérő, μm	6	11	11
Anyagsűrűség, $\rho \text{ kg/m}^3$	100	65	60
Vastagság, $d \text{ m}$	0,015	0,05	0,10
Fajlagos áramlási ellenállás, $r \text{ kPa s/m}^2$	40	20	18
Áramlási ellenállás, $R \text{ kPa s/m}$	0,6	1,0	1,8

Légrés hatása



- 1 üvegyapot lemez:
 $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$, $R = 0,6 \text{ kPa s/m}$
- 2 üvegszálzövet
- 3 üres légtér
- 4 födém alsó síkja
- 5 függesztő szerkezet



6.11. ábra

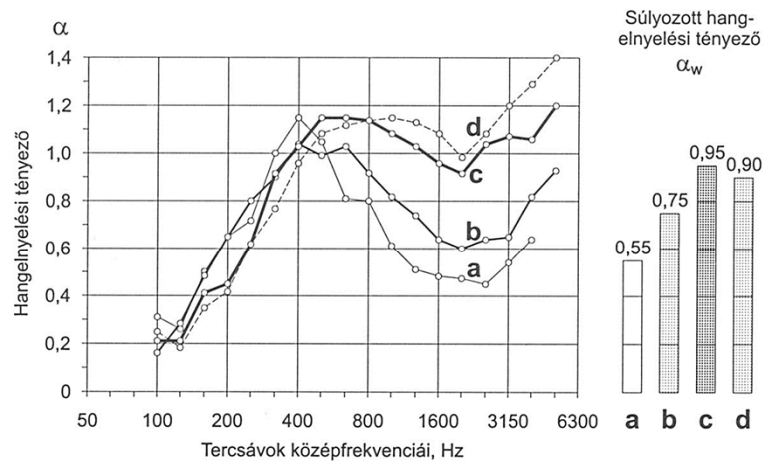
Üvegszálzövettel kasírozott üvegyapot lemezek hangelnyelési jellemzői [92]
 a Merev felületen b Álmennyezetként

6.17) Ezzel függ össze, hogy súlyozott hangelnyelési tényezője is nagyobb.

Perforáció hatása

6.3.2. A perforáció mértékének hatása

A 6.24. ábrával a perforáció mértékének^{6.27)} a hangelnyelési tényezőre gyakorolt hatását szemléltetjük, zengő szobában végzett méréseink [89] alapján. A $\varnothing 6$ és 10 mm lyukakkal különböző mértékben perforált 3 mm vastag kemény farostlemez alatt minden változat esetében 50 mm vastag, üvegszálszövettel kasírozott üvegyapot lemezt helyeztünk el a zengő szoba merev padlóján.



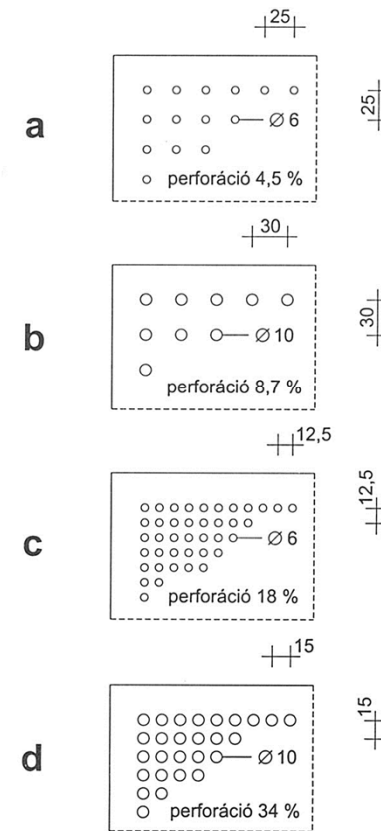
6.24. ábra

A perforáció mértékének hatása a 3 mm vastag kemény farostlemezrel takart, 50 mm vastag üvegyapot lemez hangelnyelési jellemzőire [89]

A 6.24. ábra hangelnyelési görbéinek legfontosabb tanulságai a következők:

- A 400 Hz-nél kisebb középfrekvenciájú tercsávokban minden változat hangelnyelési tényezője a frekvenciával folytonosan növekszik. A $\varnothing 6$ és 10 mm átmérőjű lyukakra nézve egyaránt fennáll a (6.18) egyenlőtlenség.

6.27) A lyukak összes felületének %-os aránya a burkolat felületéhez viszonyítva.



A perforált kemény farostlemezek alatt lévő üvegyapot lemez jellemzőit lásd a 6.23. ábrán

Gyakorlati példa: hangelnyelő álmennyezet



Fugenloses Akustikplattensystem mit feiner Schlussbeschichtung



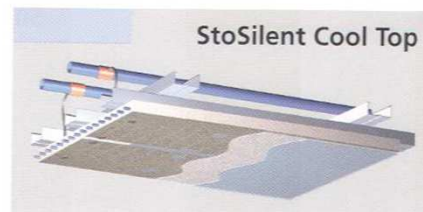
Fugenloses Akustikplattensystem mit rauer Schlussbeschichtung



Fugenloses nichtbrennbares Akustikplattensystem mit feiner Schlussbeschichtung



Fugenloses nichtbrennbares Akustikplattensystem mit rauer Schlussbeschichtung



Fugenloses Akustikplattensystem mit Kühl- und Heizfunktion, feine Oberfläche



Fugenloses Akustikplattensystem mit Kühl- und Heizfunktion, raue Oberfläche

Hangelnyelő álmennyezet - adatlap

- Egy tipikus adatlap:

Technische Kennwerte		
	Abgehängte Akustikplattensysteme	
	StoSilent Top	StoSilent Panel
Absorption	α_w bis 0,60	α_w bis 0,55
Brennbarkeit	schwerentflammbar	schwerentflammbar
Schlussbeschichtung	StoSilent Top	StoSilent Superfein
Tönbarkeit der Schlussbeschichtung	nach StoColor System. Pastellfarbtöne	nach StoColor System Silikatprodukte
Struktur der Schlussbeschichtung	fein	rau
Lichtreflexionsgrad der Schlussbeschichtung	75,4 %	90 %
Hellbezugswert der Schlussbeschichtung	77 %	83 %
Weißgrad der Schlussbeschichtung	69 %	66 %
Wärmeleitfähigkeit	0,089 W/mK	0,082 W/mK
sd-Wert	0,16 m	0,11 m
ph-Wert Beschichtung / Putz	8 - 9	11 - 12
Maximaler Biegeradius	5 m	10 m 5 m (StoSilent Panel Robust Alu)
Systemdicke	28 bzw. 18 mm ohne UK	27 bzw. 17 mm ohne UK
Gewicht (kg/m ²)		8,1

Mérnöki Akusztika oktatási
segédlet, 2012.

Térbeli elemek



6.20. ábra

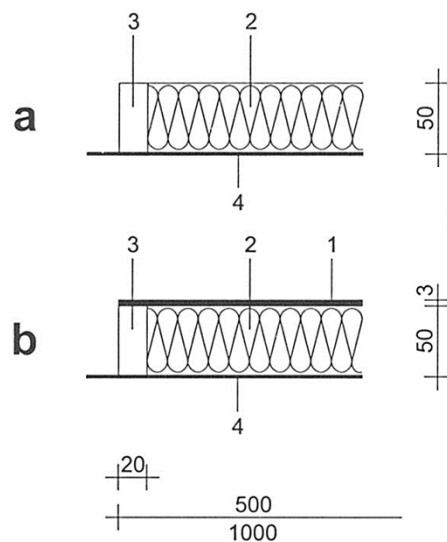
Vízszintesen elhelyezett finompórusú műanyaghab elemek fényképe [99]

Mérnöki Akusztika oktatási
segédlet, 2012.

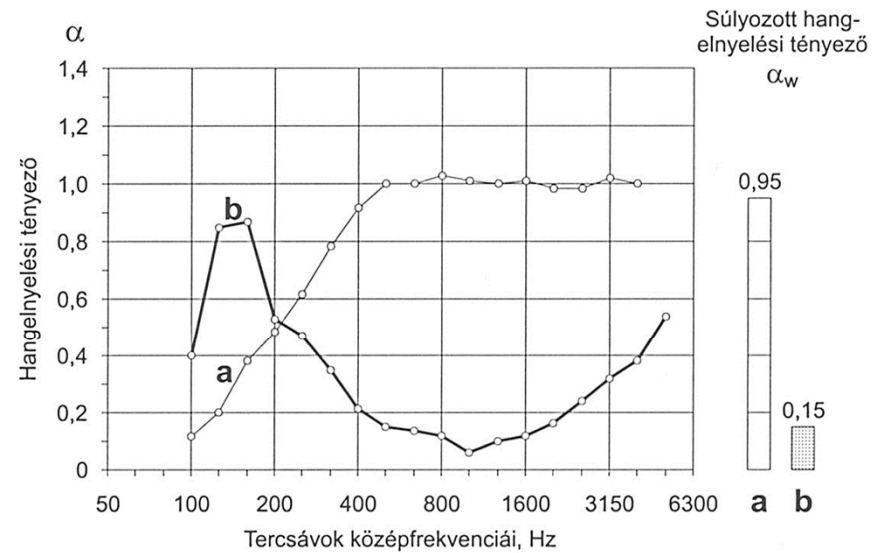
Membránrezonátor

6.27. ábra

Nehéz (a) és könnyű (b) PVC fólia alkalmazásával kialakított hajlékony lemezrezonátorok metszetei és hangnyelési görbéi [6]



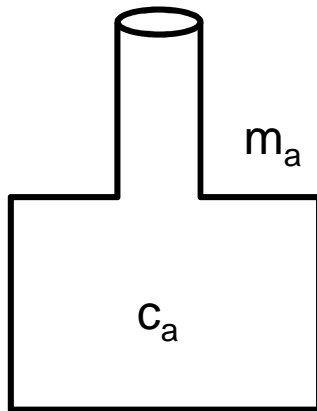
jellemzői hasonlóság össze.



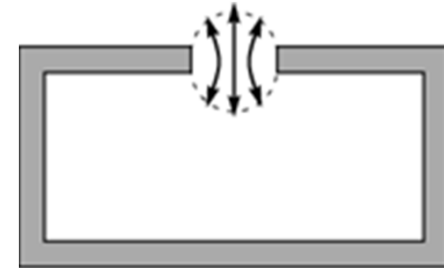
6.28. ábra

Egy hajlékony lemezrezonátor és a benne elhelyezett üvegyapot lemez hangnyelési jellemzőinek összehasonlítása [89]

Helmholtz-rezonátor



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{m_a c_a}}$$



Helmholtz-rezonátor építése



Mérnöki Akusztika oktatási
segédlet, 2012.

Tovább egy lépéssel:

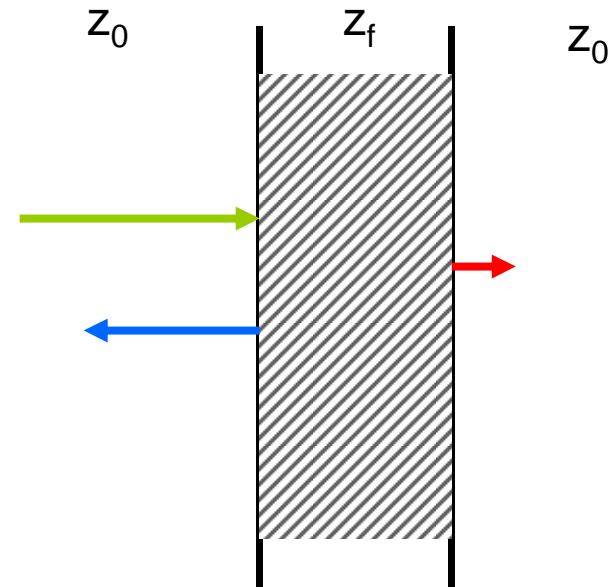
- Nem csak egy, hanem két közeghatár
- Transzmisszió, átvezetés, hanggátlás:

$$\tau = \frac{P_{trans}}{P_{be}}$$

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau}$$

Alapösszefüggés: a tömegtörvény

- Feltételek:
 - a fal végtelen
 - (egyelőre) merőleges beesés

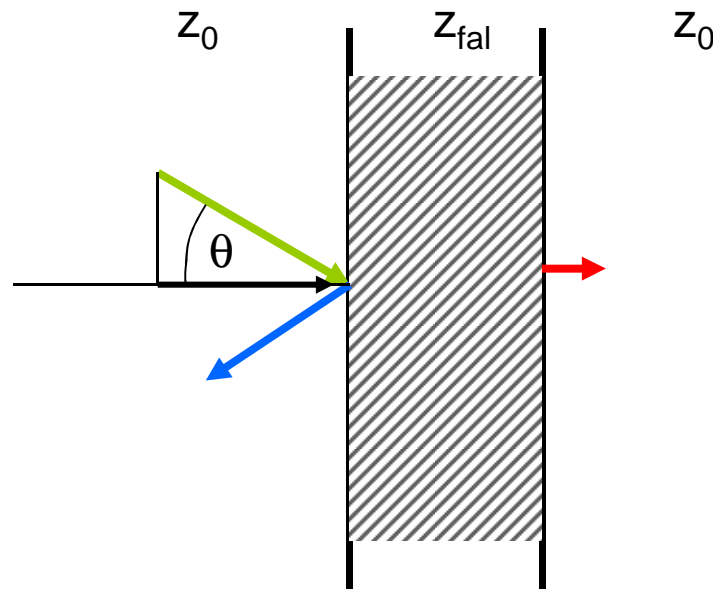


$$R = 20 \lg \frac{\omega m''}{2 \rho_0 c_0} = 20 \lg \frac{2\pi}{2 \rho_0 c_0} + 20 \lg f m'' = 20 \lg f m'' - 42 \text{ dB}$$

- Szlavin-törvény, Berger-törvény, mass law, Massengesetz

Tömegtörvény /2

Ferde beesésre:



$$R = 20 \lg \frac{\omega m''}{2 \rho_0 c_0} \cos \vartheta$$

Tömegtörvény

- Befolyásoló paraméterek: m'' , f , ϑ

Fajlagos tömeg	100	100	100	100	100	100	kg/m ²
frekvencia	125	250	500	1000	2000	4000	Hz
körfrekvencia	785	1570	3140	6280	12560	25120	1/s
beesési szög (\perp -hez)	60	60	60	60	60	60	fok

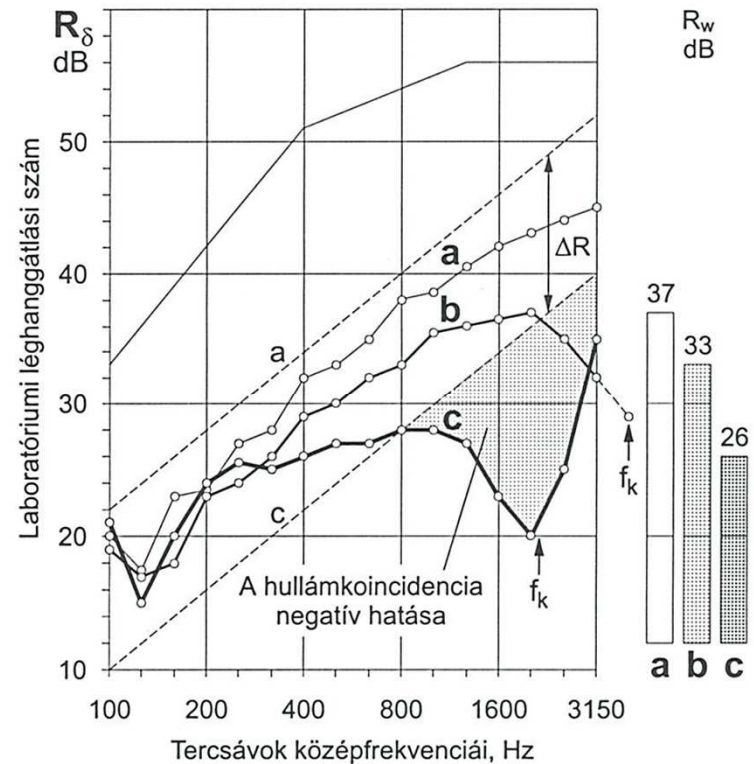
$$R = 20 \log \frac{m\omega}{2\rho_0 c_0} \cos \vartheta$$

Főbb befolyásoló paraméterek

$$R = 20 \lg \frac{\omega m'}{2 \rho_0 c_0} \cos \vartheta$$

8.12. ábra

A példában szereplő 6,5 mm vastag üveg léghanggátlási jellemzői merőleges beesés (a), illetve $\delta = 45^\circ$ (b) és $\delta = 75^\circ$ (c) esetén
 ----- Elméleti tömegtvény (8.17)



Hullámkoincidencia

$$c_{\text{levegő}} = \rho c = \text{const}$$

$$c_{\text{hajlító}} = \sqrt{\omega^4 \frac{B'}{m''}}$$

ahol B' az 1 m széles lemezsáv hajlítómerevsége,
 m'' a lemez négyzetméterenkénti tömege;
nem független a frekvenciától!

Következmény: lehetséges egy kitüntetett frekvencia, ahol a levegőben és a lemezben terjedő hullám hullámhossza megegyezik > erős csatolás!

Demo

Kritikus v. határfrekvencia

- Cremer, 1942:

$$f_c = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m''}{B'}} \frac{1}{\sin^2 \vartheta}$$

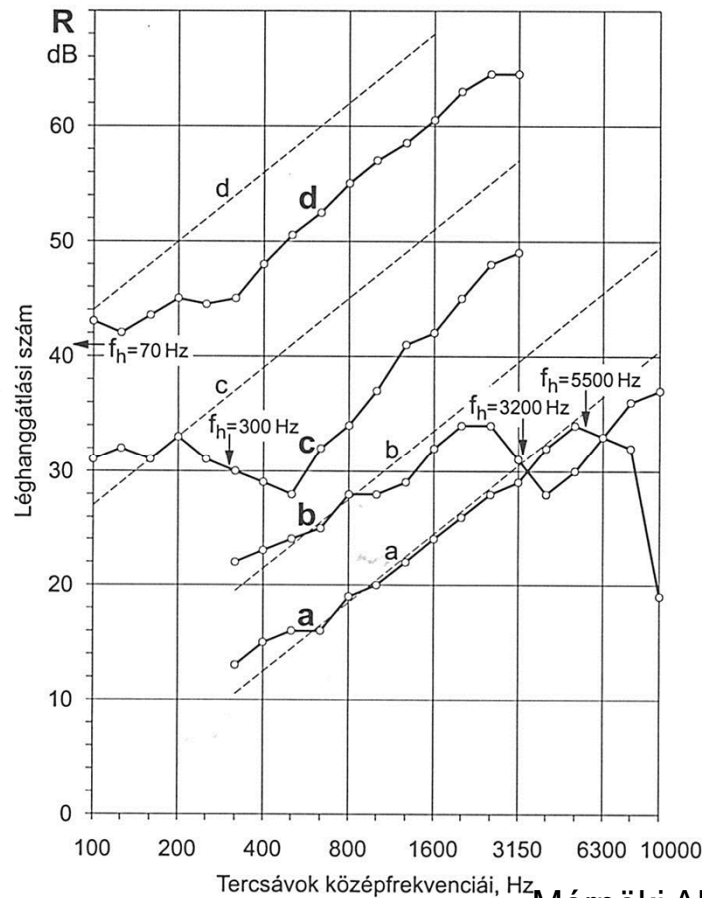


- ennek a lehetséges legalacsonyabb értéke a koincidencia **határfrekvenciája** v. **kritikus frekvenciája**, ha merőleges a beesés:

$$f_h = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m''}{B'}}$$

Gyakorlati példák

- Hajlékonyság és fajlagos tömeg hatása



tömegű téglát laboratóriumban mért legkisebb léghanggátlási száma a 125 középfrekvenciájú tercívban: 42 dB.

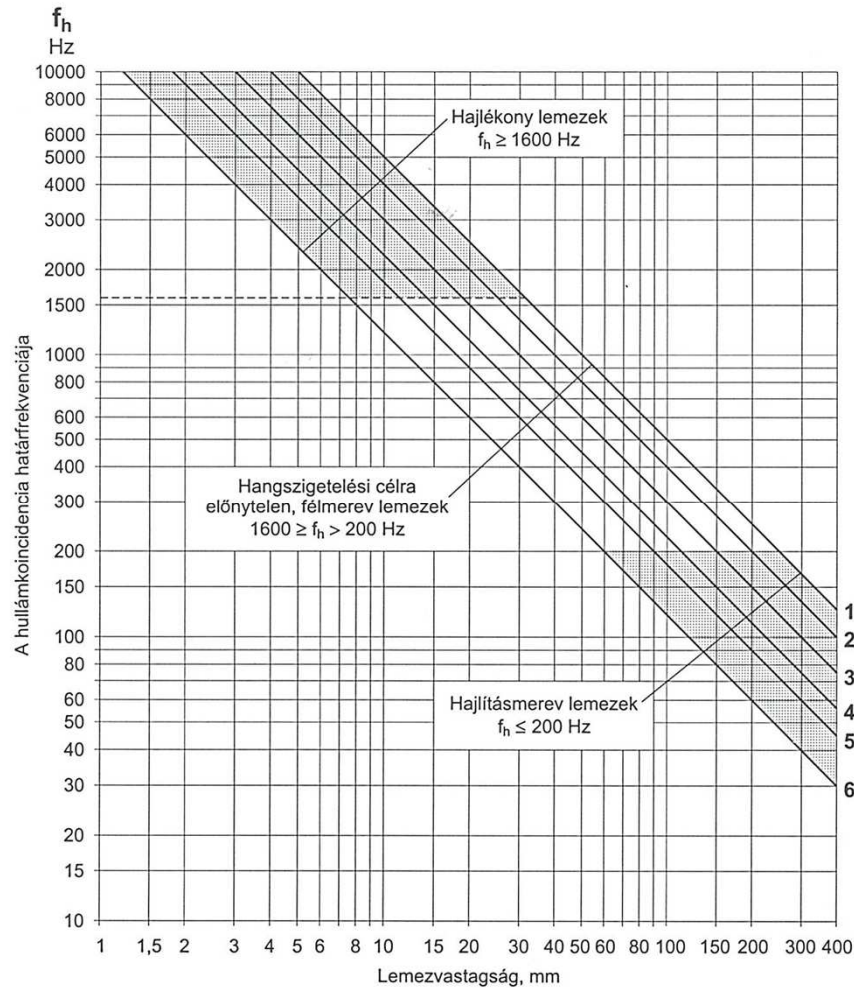
8.16. ábra

Hajlékony- (a és b), hangszigetelési szempontból előnytelen- (c) és hajlításmerev (d) lemezek laboratóriumban mért és a (8.28) formulával számított léghanggátlási függvényei

----- Gyakorlati tömegtörvény (8.28)

Jel	Anyag	Vastagság mm	Tömeg kg/m^2	A mért adatok forrása
a	Kemény farostlemez	4	3,2	[89]
b	Gipszkarton lemez	8	8	[89]
c	Gipszperlit	80	64	[149]
d	24 cm tömörtégla + 2×1,5 cm vakolat	270	450	[147]

Optimális anyagválasztás



MéRNÖKI Akusztika oktatási
segédlet, 2012.

$$\frac{15^\circ}{5^\circ} = \frac{15}{317}$$

8.40) A 8.14. ábra szerinti segédlet számítások alapján készült. Elsőként Cremer közölt ilyen függvényeket 1942-ben [20].

8.14. ábra

Segédlet a határfrekvencia közelítő értékének meghatározásához

(Az adatok forrása: 1, 3, 4, 5, 6 [145]; 2 [42])

- 1 ólom
- 2 gázbeton
- 3 gipszkarton-, vagy kemény farostlemez
- 4 téglafal
- 5 beton
- 6 acél, üveg, alumínium

Megjegyzés:

A segédlettel meghatározott f_h értékéből kiszámíthatjuk az ismert δ beesési szöghöz tartozó, a (8.25) formulával értelmezett f_k ko incidencia-frekvenciát:

$$f_k = f_h \frac{1}{\sin^2 \delta} \text{ Hz.}$$

Például 6 mm vastag üveg esetén:

$$f_h = 2000 \text{ Hz, } \delta = 45^\circ$$

$$f_k = 2000 \frac{1}{\sin^2 45^\circ} = 4000 \text{ Hz.}$$

Javítási lehetőségek

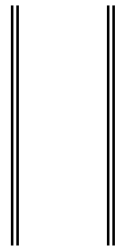
- Rétegelés

– Rétegek:	$1r$	$4x$	4 réteg
– Tömeg:	m'	$4m'$	$4m'$
– Hajlítóm:	B'	$64B'$	$4B'$
– Határfrekv:	f_h	$f_{h/4}$	f_h

Javítási lehetőségek /2

- Kétrétegű falak
 - Hatása háromféle tartományban különböző
 - Tömeg-rugó-tömeg rezonancia:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho c^2}{d} \left(\frac{1}{m_1'} + \frac{1}{m_2'} \right)}$$



$$f < f_0$$

$$f \cong f_0$$

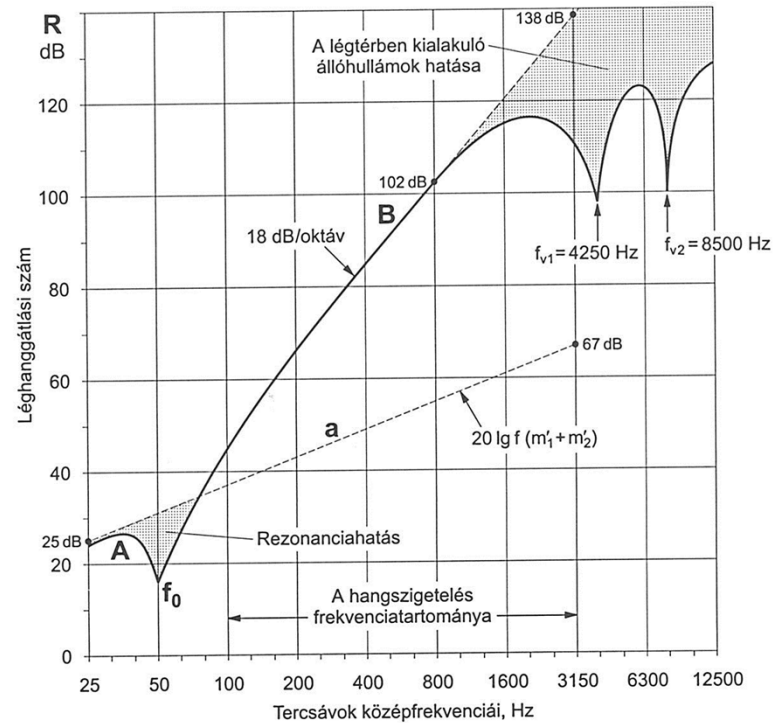
$$f > f_0$$

$$R = 20 \lg \frac{\omega (m_1' + m_2')}{2 \rho_0 c_0}$$

$$R \text{ akár } \cong 0$$

$$R = 20 \lg \frac{\omega^3 m_1' m_2' d}{2 \rho^2 c^3}$$

Kétrétegű fal hanggátlása



Negatív hatású: légrétegben állóhullámok
Mernöki Akusztika oktatási
segédlet, 2012.

Hanggátlások összefoglalása

- Elméleti tömegtvény ∞ lemezre
 \perp beesésre: $R = 20\lg(fm') - 42\text{dB}$

- \angle beesésre: $R = 20\lg(fm') - 45\text{dB}$

- átlagos beesésre: $R = 20\lg(fm') - 49\text{dB}$

- nem végtelen lemezre: $R = 20\lg(fm') - 42\text{dB}$

- Hajlítóhullámot is figyelembe véve: $f_{koinc} = 18400 \sqrt{\frac{m'}{B'}} \frac{1}{\sin^2 \vartheta}$,

$$f_{krit} = 18400 \sqrt{\frac{m'}{B'}}$$

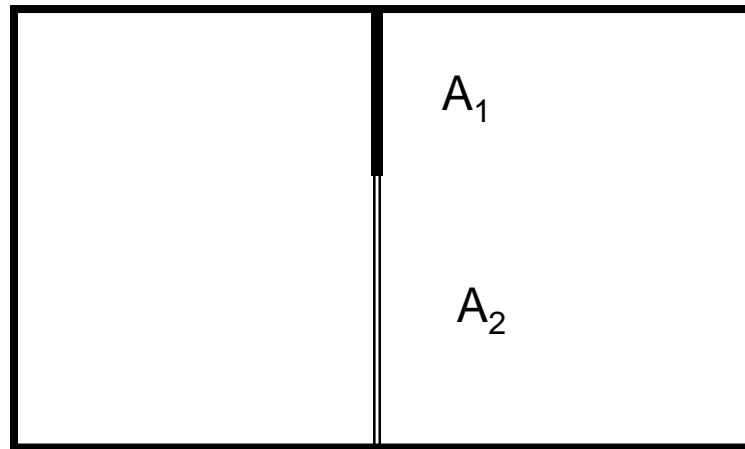
- Kétrétegű falak: $R = 60\lg f + 20\lg m'_1 m'_2 + 20\lg d - 113$

2rétegű falak további jellemzői

- Hangelnyelő anyag: javít
- Merev összefogás: ront
- Hanghíd: nagyon ronthat
- Kis kerek lyuk: ront
- Rész: nagyon ront
- Kerülőútas terjedés: nagyon ront
(pl. álmennyezet!)

Kombinált falszerkezetek

- Ha nem egyenlő a fal részeinek hanggátlása:



$$R_{eredő} = 10 \log \frac{\sum A}{A_1 \tau_1 + A_2 \tau_2 + \dots + A_n \tau_n}$$

Szám példa
