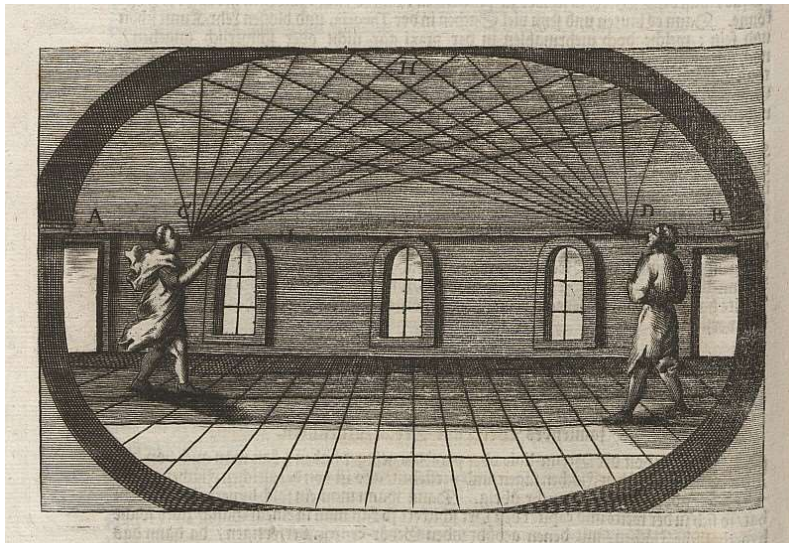


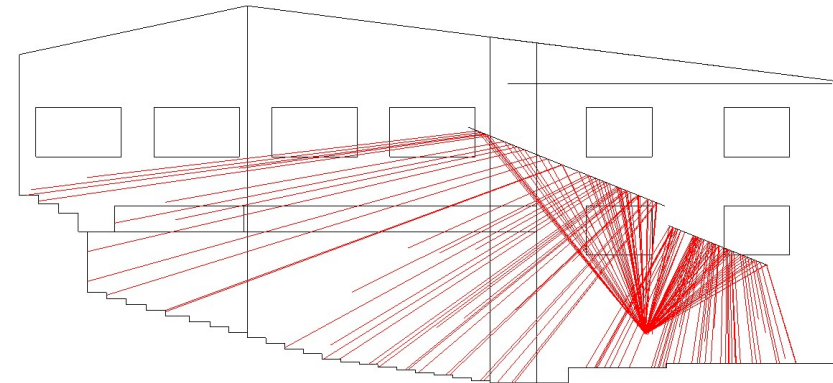
# A teremakusztikai tervezés korszerű módszerei

szempontok az építészeti tervezéskor egészségügyi épületekben

MMK Továbbképzés 2023.11.28.



Quelle: Deutsche Fotothek



Alabárdos Zsuzsanna  
Mobil: +36 20 460 4136  
E-mail: [alabardos.zsuzsanna@gmail.com](mailto:alabardos.zsuzsanna@gmail.com)

# Akusztika

Az akusztika a hanggal, mint fizikai jelenséggel, alkalmazásaival és hatásaival foglalkozó tudományok összessége.

Építészeti akusztika: Teremakusztika  
Épületakusztika

Zajcsökkentés

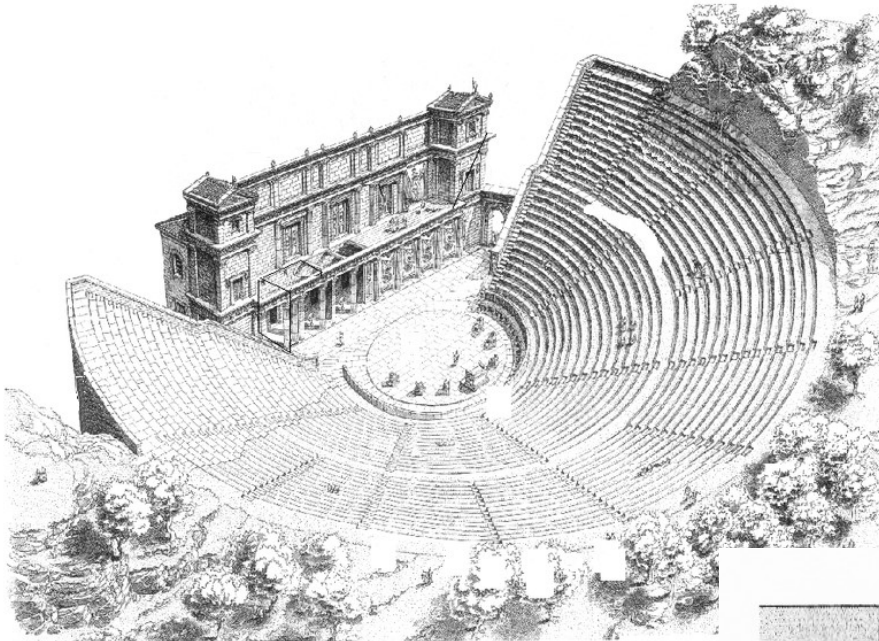
Műszaki akusztika: Elektroakusztika  
Áramlástan akusztika  
Gépészeti akusztika  
Közlekedésakusztika

Zenei akusztika: Hangszerakusztika  
Hangkultúra

Emberi akusztika: Fiziológiai akusztika  
Pszichológiai akusztika

# Tér- és teremakusztika bölcsője

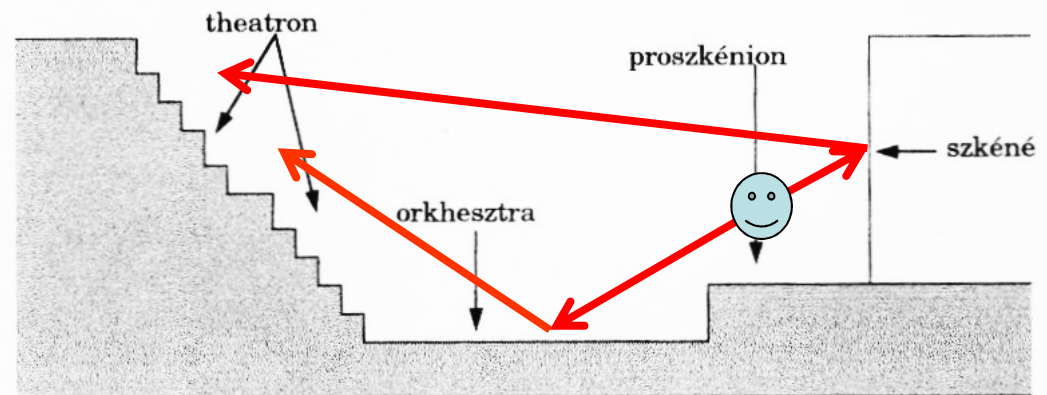
Az ókori görög színházak – az első akusztikai célú épületek



Kr. e. 4. század.

Megfigyelések:

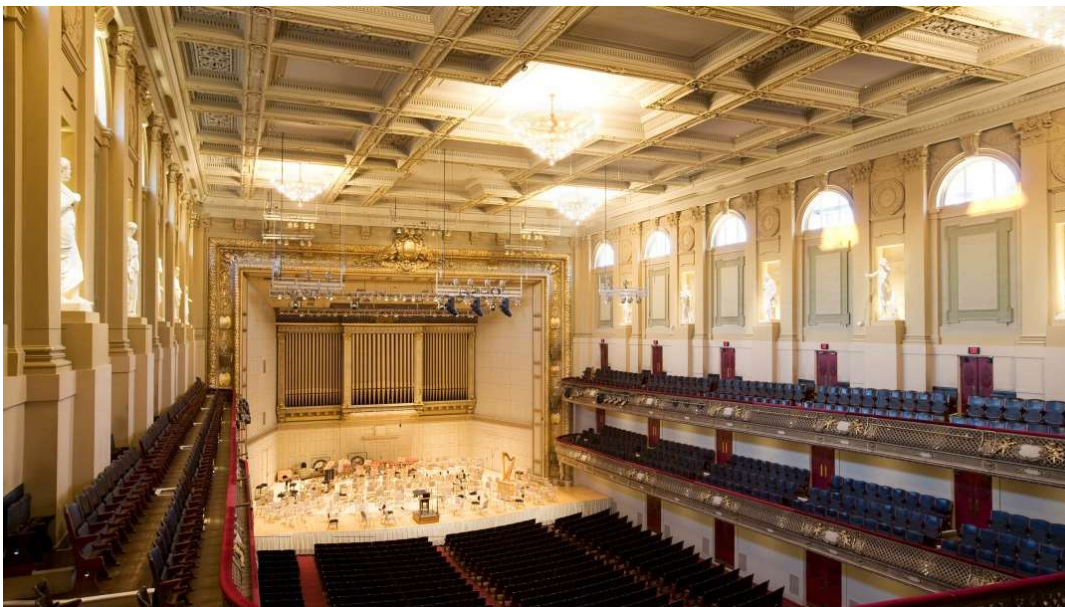
- Hangforrás emelése
- Hangvisszaverődés
- Háttérzaj hatása



# Tér- és teremakusztika alakulása

**XX.sz. eleje: A teremakusztikai tervezés kezdete – Wallace Clement Sabine (1868 – 1919)**

- az utózungési idő jelentőségének felismerése, mérésének bevezetése
- hangelnyelési fok meghatározása, első mérése
- különböző akusztikai jelenségek tudományos elemzése



Az első tervezett hangversenyterem:  
Boston Symphony Hall  
(1900)

# Hangtani alapok

**A hang az alap légköri nyomásban keltett zavar, nyomásingadozás.**

A hangtér törvényszerűségei mind térben, mind időben meghatározzák a hanghullám által keltett nyomásingadozás és részecskesebesség értékét.

A hanghullám három jellemzője:

- hangterjedési sebesség –  $c$  (m/s)
- hullámhossz -  $\lambda$  (m)
- rezgésszám, frekvencia –  $f$  (Hz)

A három mennyiség közötti összefüggés:

$$c = f * \lambda$$

A hangsebesség a vivőközeg jellemzőitől függő mennyiség.

- Levegőben:  $c_{\text{lev}} = 342$  m/s
- Vízben :  $c_{\text{víz}} = 1450$  m/s
- Acélban:  $c_{\text{acél}} = 5170$  m/s
- A hanghullám terjedési sebessége függ a hőmérséklettől is

# A hang spektruma

**Tiszta hang** - 1 szinuszhullám

**Természetes hangok** – több szinuszhullám

- alaphang
- felhangok (harmonikusok)

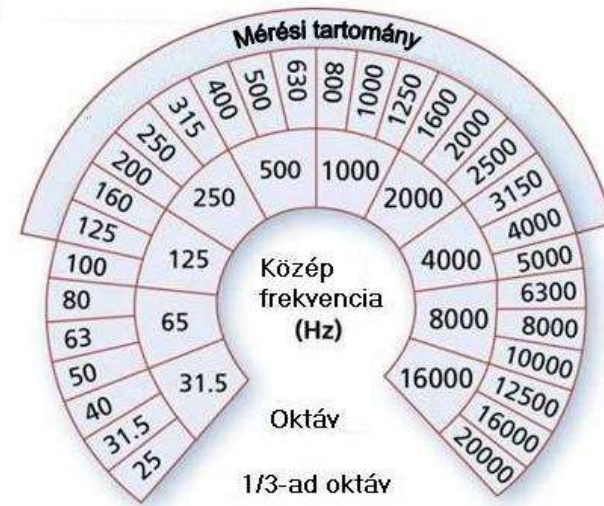
**Zenei hangok – zörejhangok**

Felhangok viszonya, arány - hangszínezet

Hallható frekvenciatartomány: 20-20000 Hz

Zenei hangok: ~30 Hz-8000 Hz

Beszédhang: ~250 Hz-3000 Hz magánhangzók  
~8-10 kHz mássalhangzók



# A hangérzet

Nem a fülünkben, hanem az agyunkban jön létre!

Korlátozottan mérhető, befolyásoló tényezők (fáradtság, halláskárosodás, vizuális élmény stb...)

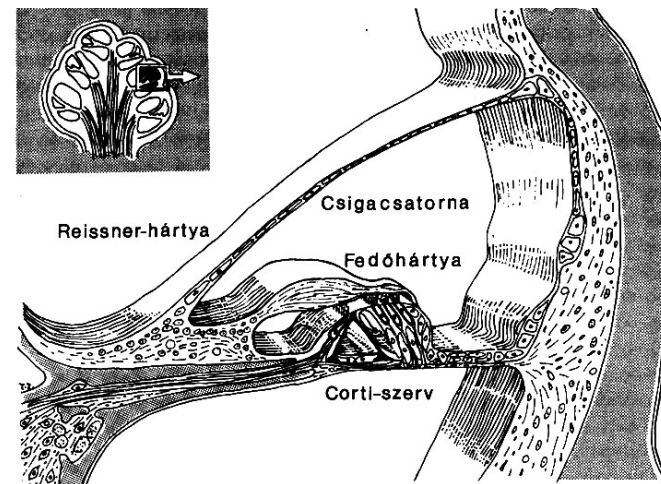
Folyamatos kommunikáció az agy és a fül között (visszamenő idegpályák)

Érzékelt hangerő

Érzékelt hangmagasság

Hangszínezet – tranziens szakasz

Elfedési jelenségek



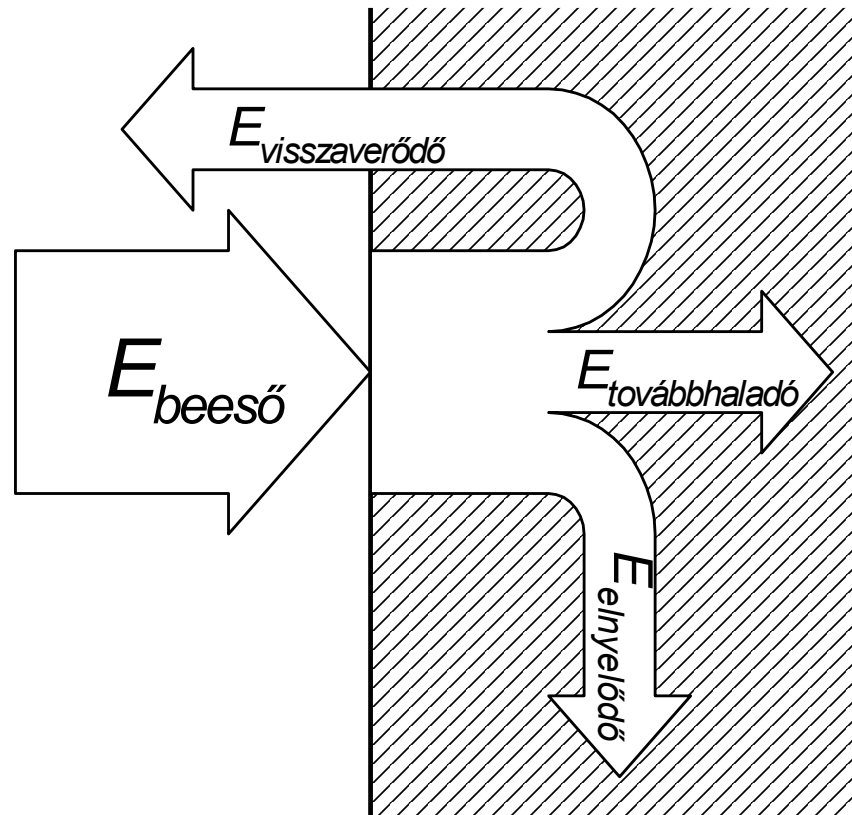
Forrás: Tarnóczy Tamás: Teremakusztika I.

Zavaró vagy nem zavaró hangok – Kinek? Mikor? pl. vízcsobogás

# A hang útjában lévő akadály

A beeső hangenergia:

- Visszaverődik
- Elnyelődik
- Továbbhalad

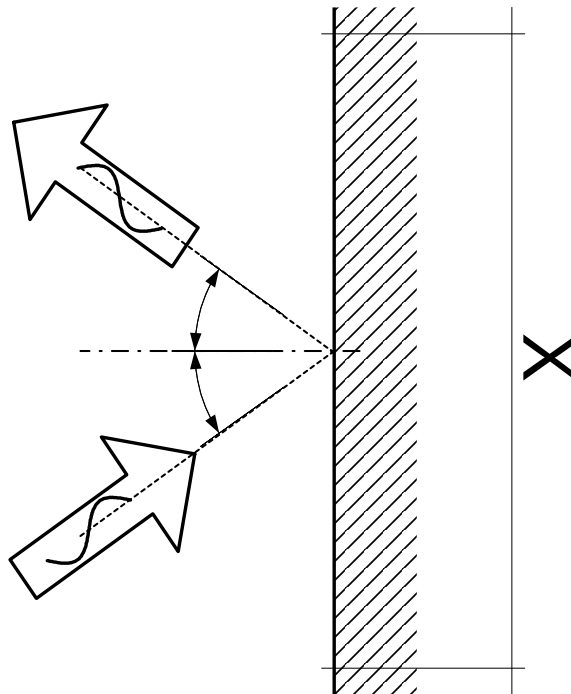




# Hangvisszaverődés jelenségei

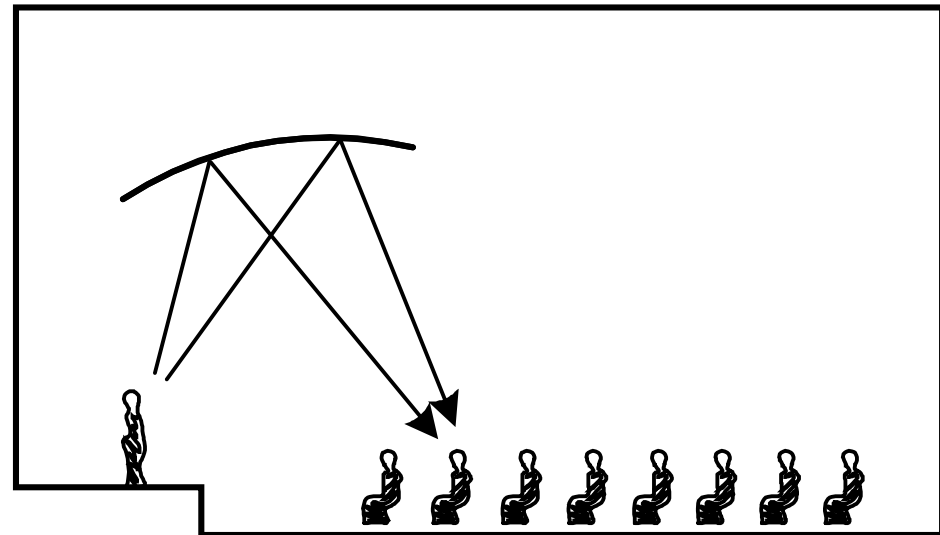
## Hangvisszaverődés

A visszaverő felület fizikai méretei ( $x$ ) 3..4 szer nagyobbak kell lennie a beérkező hang hullámhosszánál ( $\lambda$ ). A beérkező hang normálissal bezárt szöge azonos a visszavert hang szögével.  
Feltétel: a visszaverő felület sík és elegendően merev.



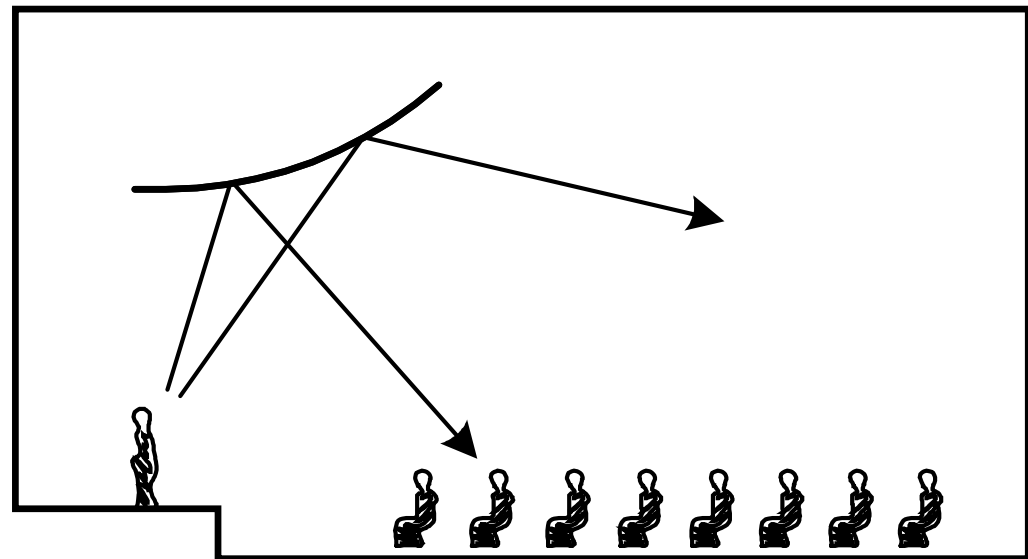
# Hangvisszaverődés jelenségei

Konkáv reflektáló felület azok a kemény visszaverő felületek, melyek fókuszálják azaz összegyűjtik a hangot. Ezzel egyenetlen hangeloszlást okoznak, káros visszhangjelenséget produkálhatnak



# Hangvisszaverődés jelenségei

Konvex reflektáló felületek azok a kemény visszaverő felületek, melyek megfelelően nagy fizikai kiterjedésűek ahhoz, hogy hatásosan és egyenletesen verjék vissza úgy a hangot, hogy a diffuzitást is fokozzák.

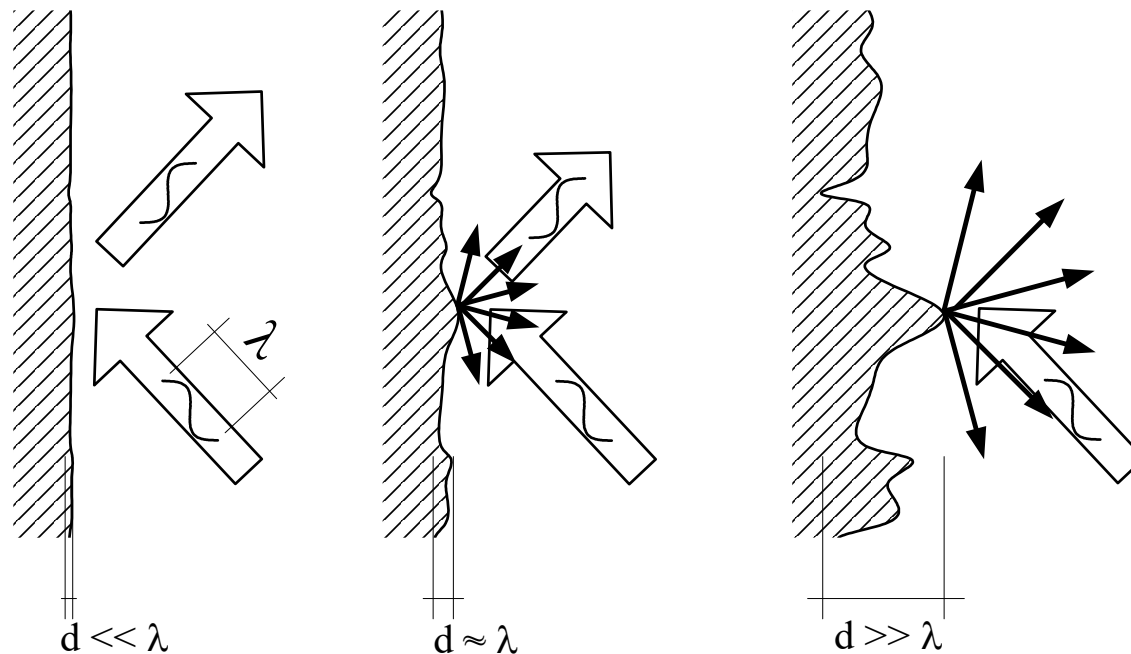


# Hangvisszaverődés jelenségei

## Nem geometriai visszaverődések

### Diffúz visszaverődés

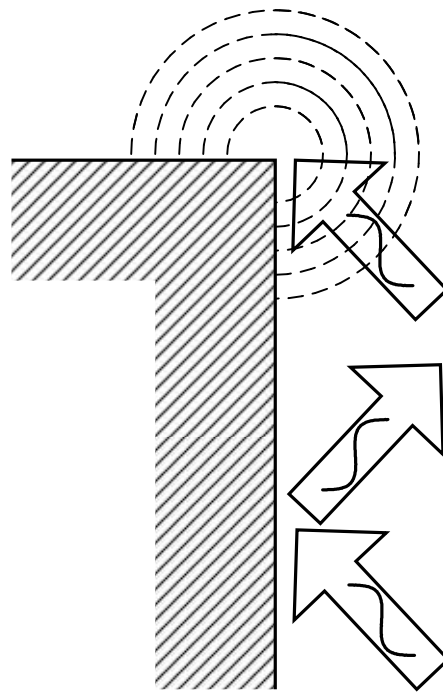
A diffúzió a hanghullám véletlenszerű, szórt visszaverődése. Mélységében változó felületeken, melyeken a változás mérete összemérhető a hang hullámhosszával.



# Hangvisszaverődés jelenségei

## Diffrakció

Véges méretű felület: pl. peremek, élek mentén ún. „diffrakciós” hullámok keletkeznek.



# Felületi hangelnyelés

A hangelnyelő anyagok a hangenergia egy részét eleméztik, illetve továbbítják.

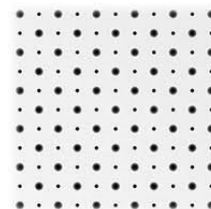
## Nyitott pórusú, szálas anyagok

Üveggyapot, fagyapot, szivacsok



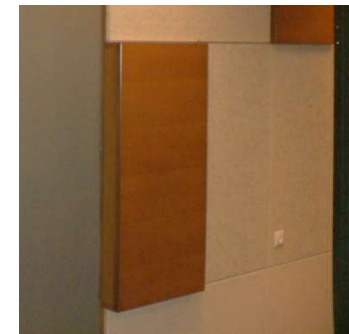
## Rezonátorok

Perforált lemezek, hangolhatók a légrés méretével és a perforáció mértékével



## Membránok

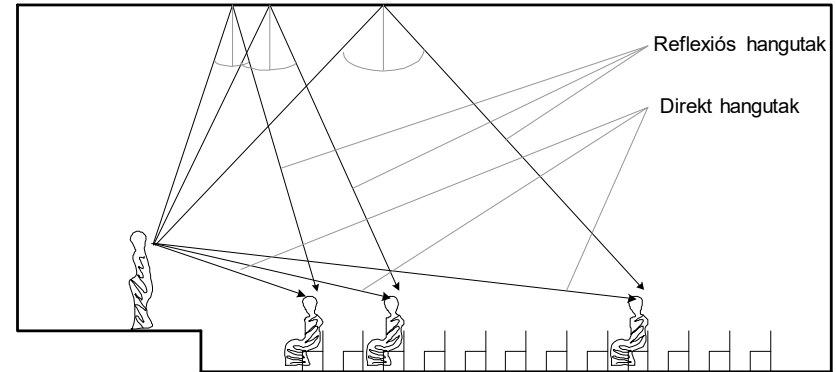
Alacsony frekvenciás hangok elnyelésére képesek, rezonancia frekvenciájuk hangolható



# A hangtér felépülése

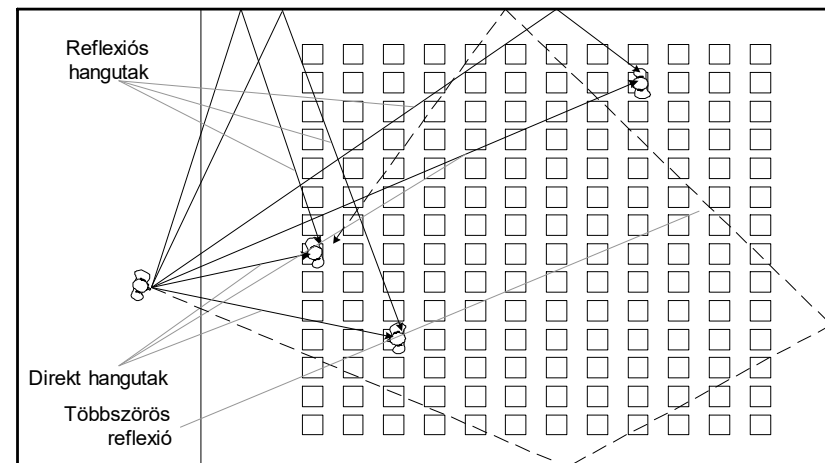
**Zárt térben** a hangforrásból kiindulva:

- Visszaverődő
- Részben elnyelődő
- A visszaverő felületek szélein elhajló („diffrakció”)



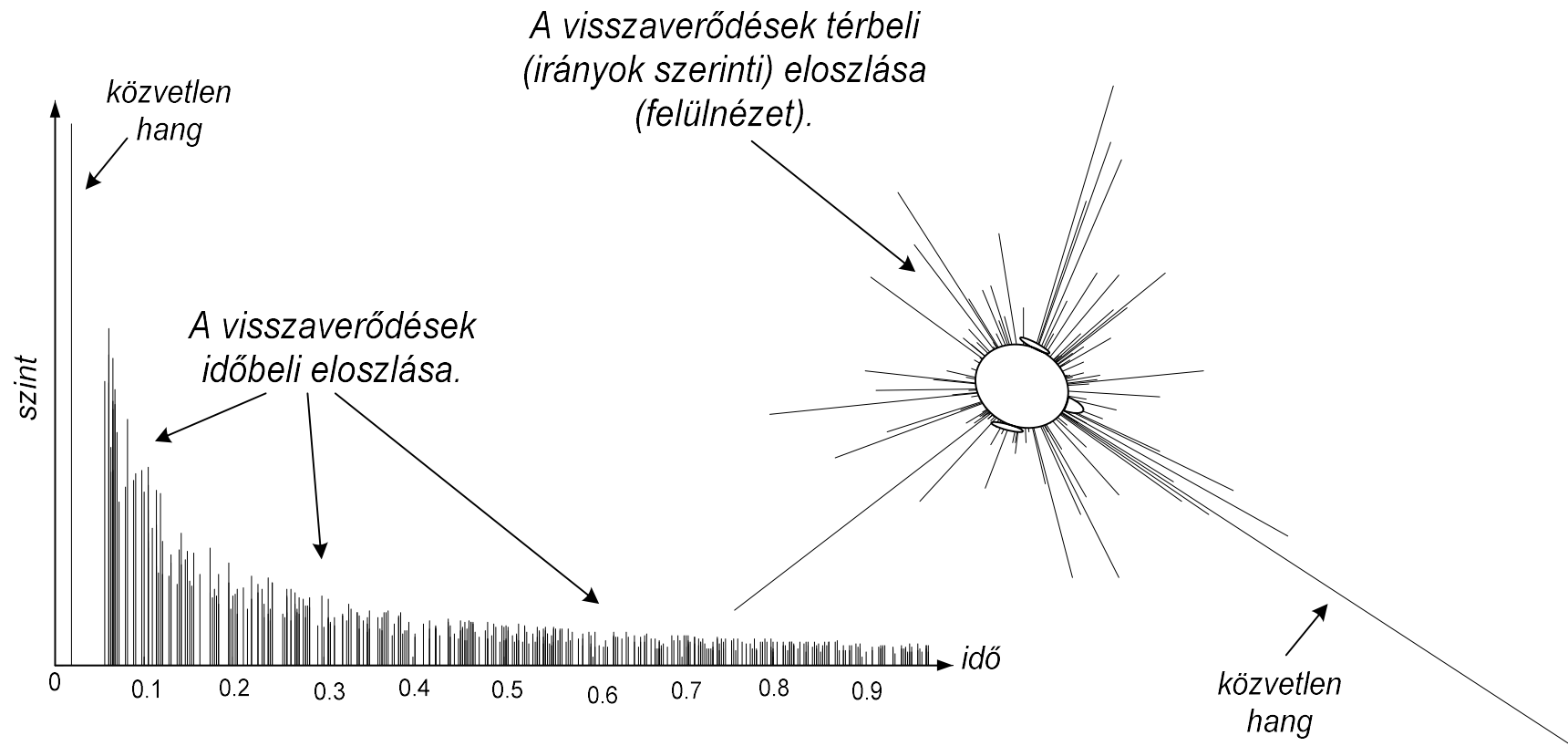
A hallgatási pozícióba többszörösen, többféle úton eltérő időkéssel és irányokból érkeznek hanghullámok.

Ezek időbeli és iránybeli eloszlása kelti a teremérzetet.



# A hangtér felépülése

## A direkt hang után érkező reflexiók



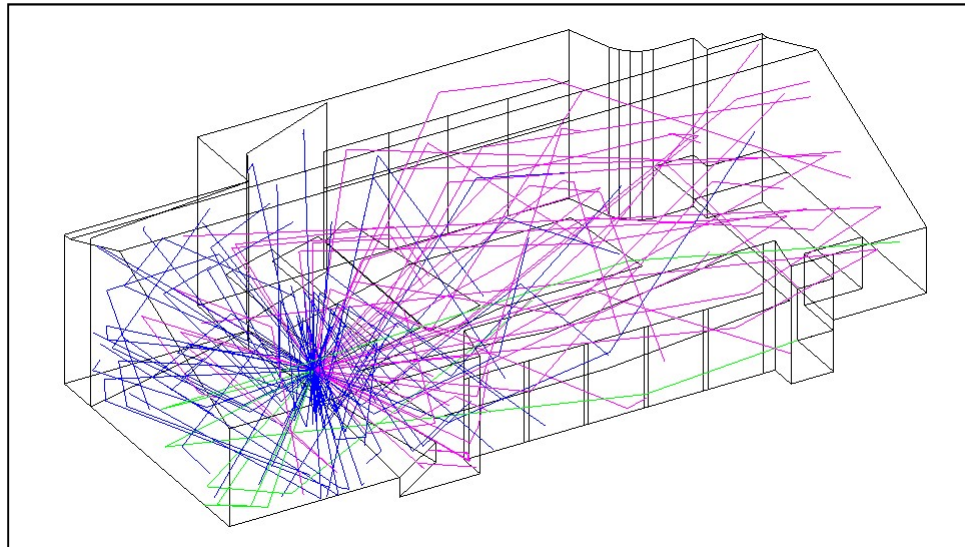


# Teremakusztika

Az optimális hangzás funkciófüggő!

Függ:

- a terem méretétől
- a terem formájától
- a teremben lévő anyagoktól, azok elhelyezkedésétől.



# Teremakusztikai paraméterek

Utózungési idő ( $T_{60}$ ):

Legismertebb és legfontosabb paraméter, mely frekvenciafüggő jellemző. Azt az időt nevezzük utózungési időnek, mely alatt a hangforrás működésének megszüntetése után a hangnyomásszint 60 dB-lel csökken.

A közepes utózungési idő számítása:

Nagy térfogatú  
helyiségeknél:

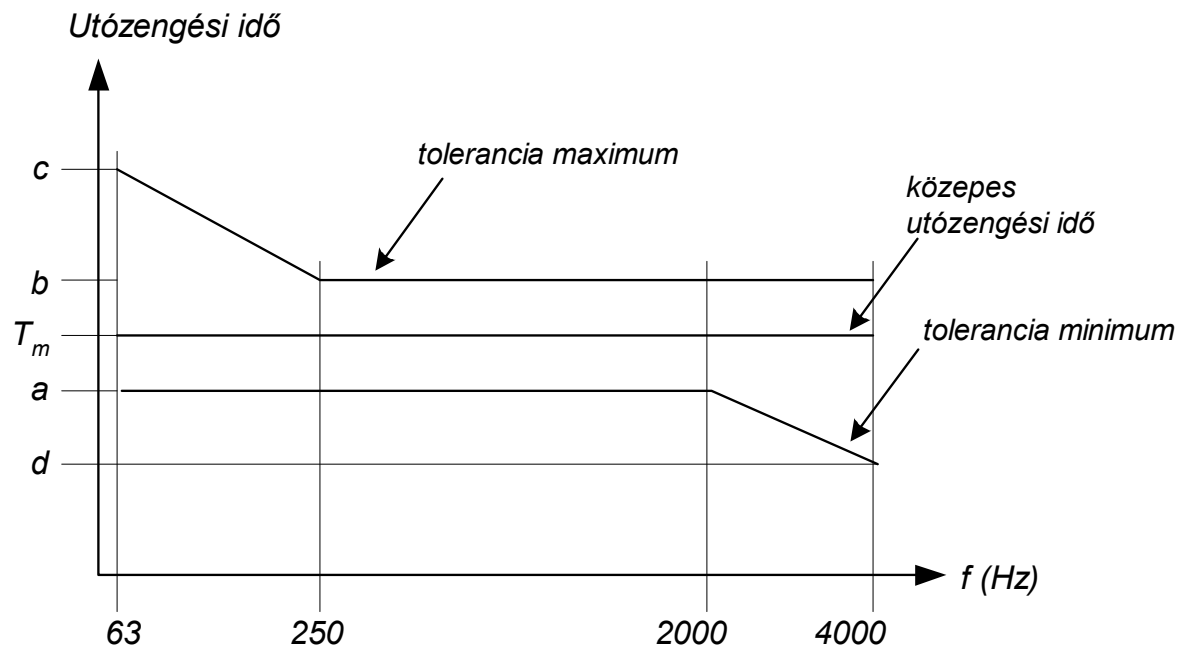
$$T_m = \frac{T_{500} + T_{1000}}{2}$$

Kis térfogatú  
helyiségeknél:

$$T_m = \frac{T_{250} + T_{500} + T_{1000} + T_{2000}}{4}$$

# Utózungési idő

A szabványokban különböző ajánlások vannak a közepes utózungési idő értékből kiindulva meghatározni egy bizonyos tolerancia határt is, amit az utózungési idő nem léphet át.



Az a,b,c és d értékek különböző rendeltetésű helyiségek esetén eltérőek.

# Utózungési idő képlet

Az utózungési idő a helyiség méreteiből, a burkolati jellemzőkből kiszámítható.

Sabine: összefüggés a térfogat, a terem belső felülete és a hangelnyelési fok között

$$T_{Sabine} = \frac{V}{S \times \bar{\alpha}} \quad \bar{\alpha} = \frac{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + S_3 \alpha_3 + \dots + S_n \alpha_n}{\sum_1^n S_n}$$

$\bar{\alpha}$  átlagos hangelnyelési fok, a különböző felületek elnyelési fokából számolható.

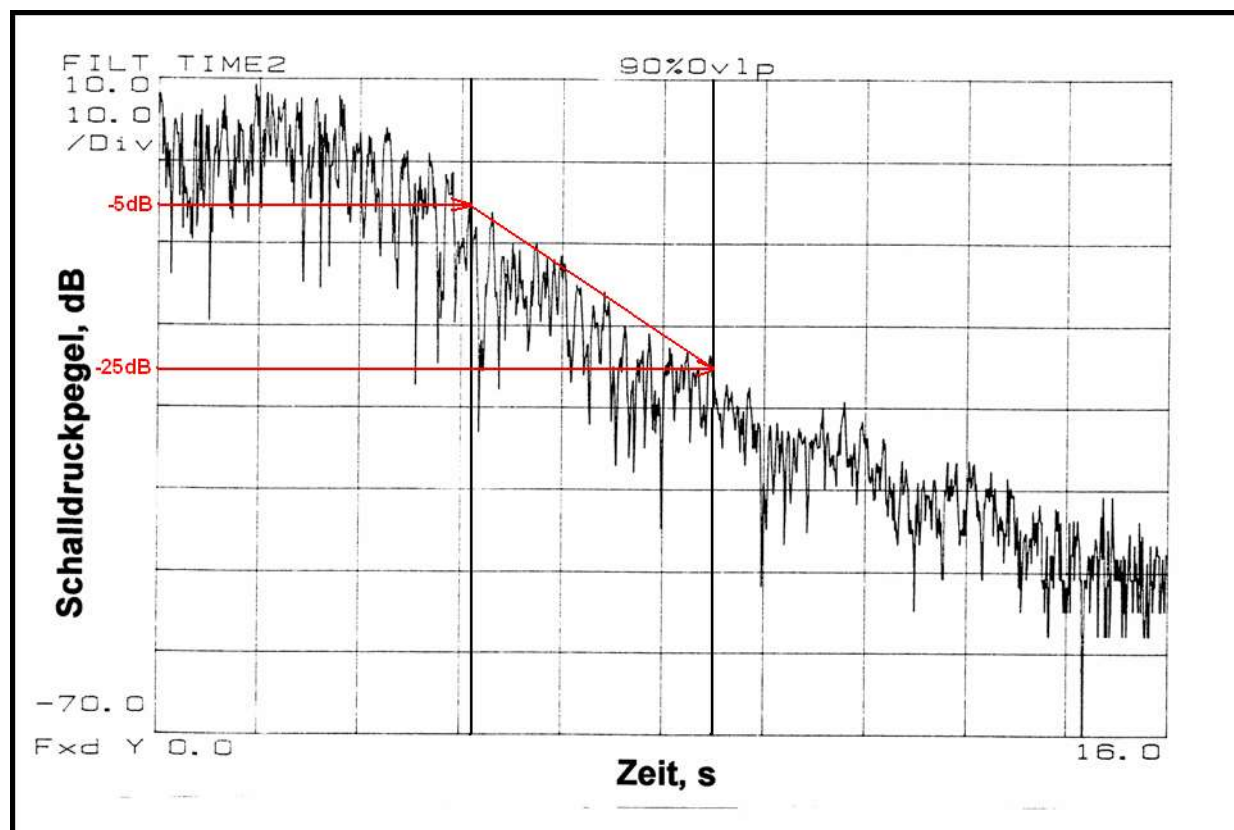
# Utózungési idő képlet

*Norris-Eyring féle képlet:*

$$T_{\text{Norris-Eyring}} = -0,163x \frac{V}{S \times \ln(1-\bar{\alpha})}$$

Kis értékeknél a Sabine és a Norris-Eyring képlet azonos eredményt ad, nagy esetén nagy az eltérés. (Stúdiók!)

# Példa az utózungési folyamat rögzítésére számítása -5 és -25 dB közötti értékekből

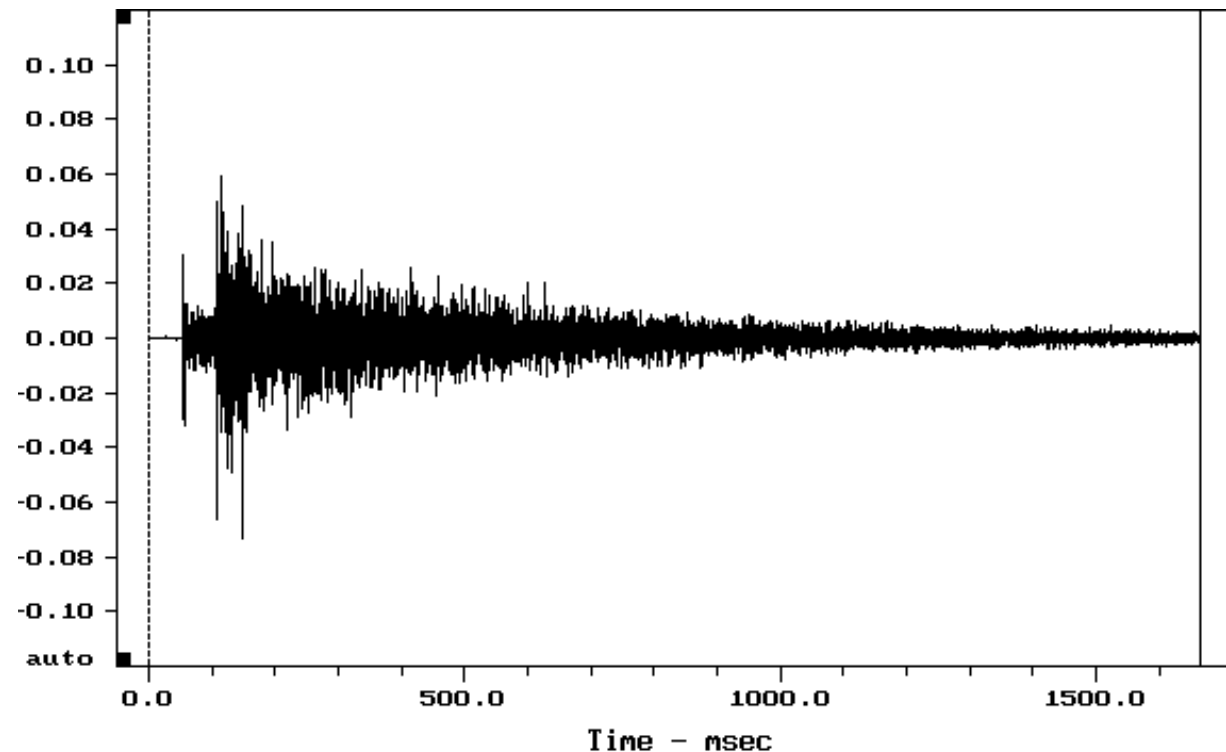


# További, impulzusválaszból számítható teremakusztikai paraméterek

## Impulzusválasz

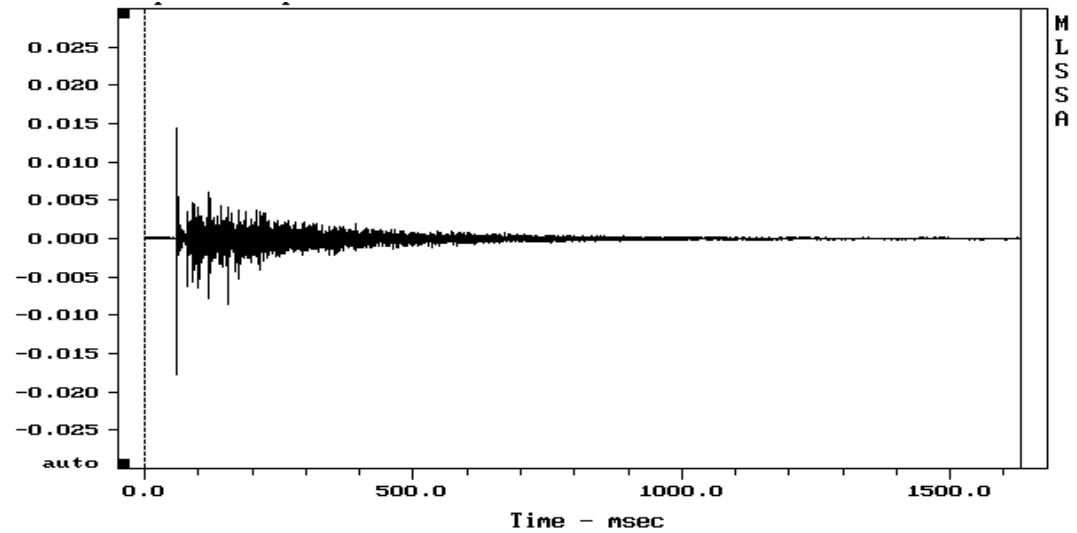
Zárt tér szélessávú gerjesztésre adott válasza. Az impulzusválasz önmagában is sok információt tartalmaz, a direkt hang után beérkező reflexiók mennyiségéből, nagyságából különböző akusztikai jelenségekre lehet következtetni.

Templom (~50000 m<sup>3</sup>)

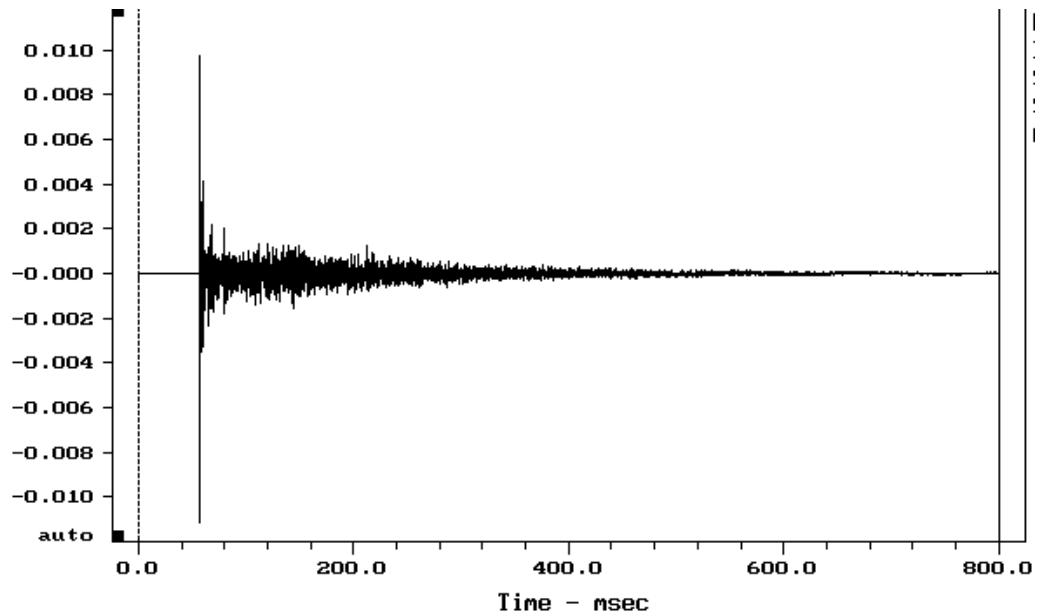


# Impulzusválasz

Hangversenyterem  
(~23000 m<sup>3</sup>)



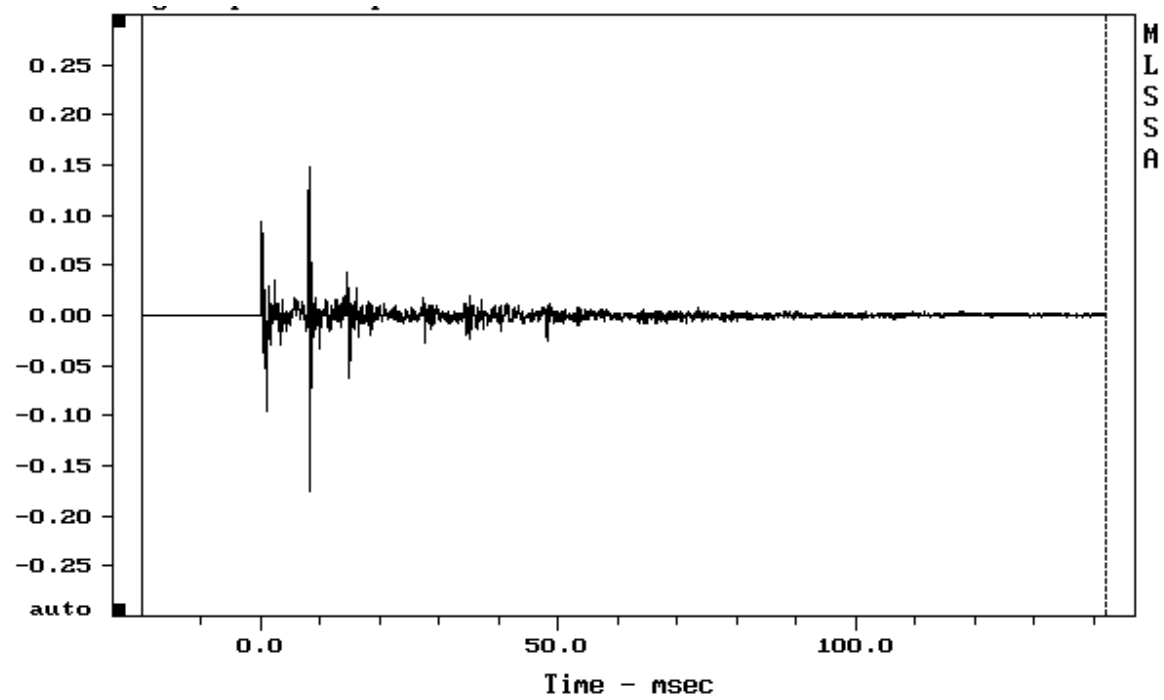
Színház (~8500 m<sup>3</sup>)





# Impulzusválasz

Az  
impulzusválaszokból  
zavaró jelenségekre  
lehet következtetni.  
Pl.: csörgővisszhang



# Hangtisztasági fok

*Korai-késői energia-arány dB-ben*

ez a hangtisztasági fok: Clarity. Jele: C

Definíció szerint:

$$C(t_e) = 10 \times \lg \left[ \frac{\int_0^{t_e} p^2(\tau) dt}{\int_{t_e}^{\infty} p^2(\tau) dt} \right]$$

Nagyméretű zenei célú termekben:  $t_e = 80$  msec,  
kisebb méretű terek esetén 50 msec.

Beszéd-célú tereknél  $C_{50} \geq 0$  dB

# Beszédérthetőségi index

Beszédérthetőségi index. Jelölése: STI (Speech Transmission Index)

Ha egy hangforrás által keltett zajt alacsonyfrekvenciásan modulálunk, a moduláltságnak mértéke a reflexiók, és a háttérzaj következtében csökken.

Azt, hogy mekkora hányada maradt meg a modulációnak, a *modulációs átviteli függvény* írja le. Ezt hét oktávsávra számolva kapjuk meg a *modulációs átviteli indexet*. Ezen hét érték súlyozott átlaga az STI.

Az index 0 és 1 közötti értékeket vehet fel, a kettő közötti átmenetet felosztva a következő kategóriákat kapjuk:

0,75 – 1	kiváló
0,6 – 0,75	jó
0,45 – 0,6	megfelelő
0,3 – 0,45	rossz
0 – 0,3	elfogadhatatlan

# Teremakusztikai szabványok

## **Mérésre:**

**MSZ EN ISO 18233** Akusztika. Új mérési módszerek alkalmazása az épület- és teremakusztikában

**MSZ EN ISO 3382-1:2009** Akusztika. Helyiségek akusztikai jellemzőinek mérése.

## **A követelményekre 2020 szeptember 1-én megjelent szabvány:**

**MSZ 2080** Akusztika. Teremakusztikai követelmények és tervezési ajánlások

# MSZ 2080 számú szabvány

Összefoglalás:

- Alkalmazási terület – funkció és térfogat
- Szakkifejezések ismertetése - hiánypótló
- Alkalmazás lépései – segít a szabvány áttekintésében, használatában
- **Követelmények – helyiségtípusonként** térfogatkorlással, toleranciahatárt is ad
- **Megfelelőség értékelése** – tervezési fázisban és kivitelezést követően

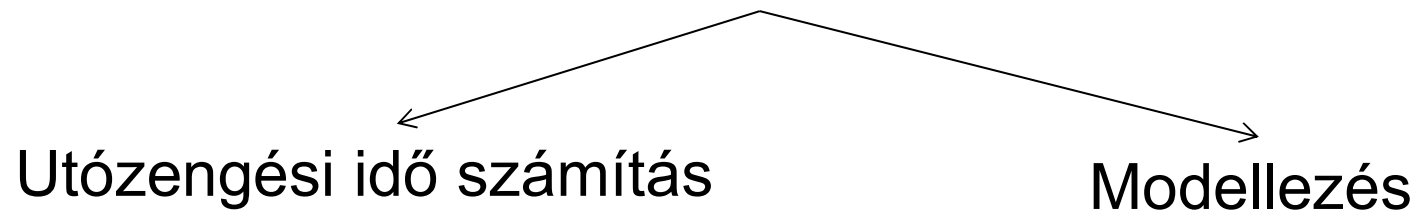
Mellékeltek:

- **Tervfázisok akusztikai feladatai**
- Termek méretei, arányai
- Hangelnyelő-visszaverő felületek elhelyezése
- Teremakusztikai kialakítás – feladattól függően
- Beszédérthetőség ajánlott követelményei

# Teremakusztikai tervezés a gyakorlatban

Tervezési módszerek:

- Számolható és mérhető paraméterek mentén



- Funkció és térfogat figyelembe vételével
- Belsőépítészeti elvárások figyelembe vételével

# Teremakusztikai tervezés a gyakorlatban

Teremakusztikai burkolatok

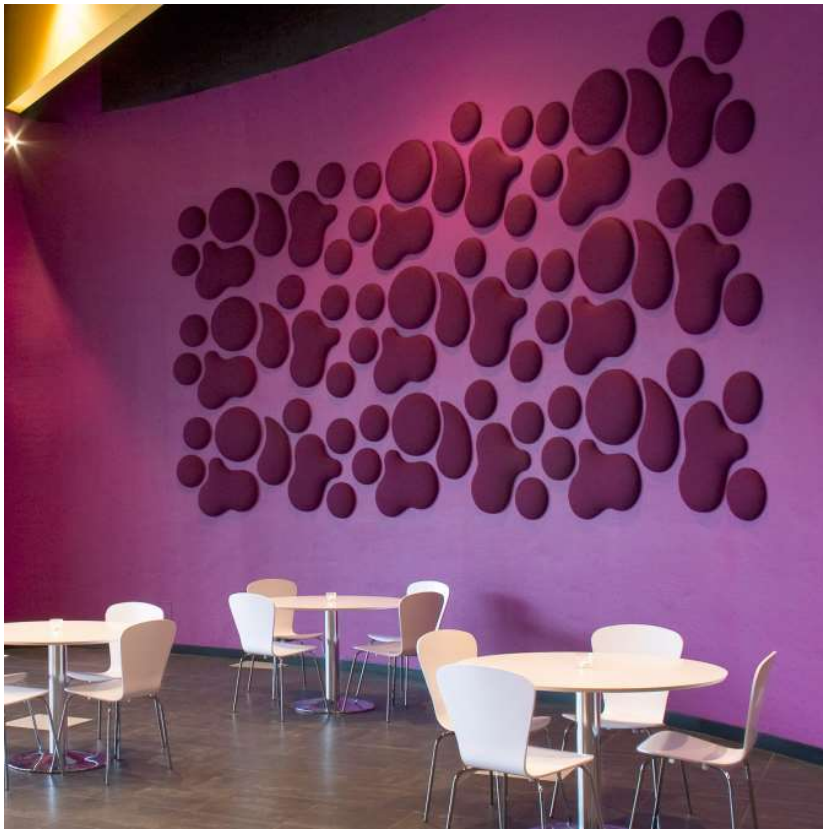
## 1. Nyitott pórusú hangelnyelők



Szivacs textillel burkolva vagy üveggyapot kasírozással

# Teremakusztikai burkolatok

Különleges kialakítások, belsőépítészeti elemként





# Teremakusztikai burkolatok

## 2. Rezonátorok

Rejtett vagy egyedi perforáció



# Teremakusztikai burkolatok

## 3. Membránok

Műbőr membrán

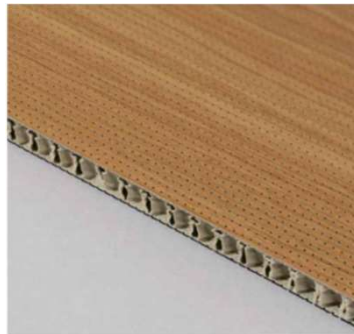


# Teremakusztikai burkolatok

## 4. Akusztikus bútorok



szekrény



deskscreen

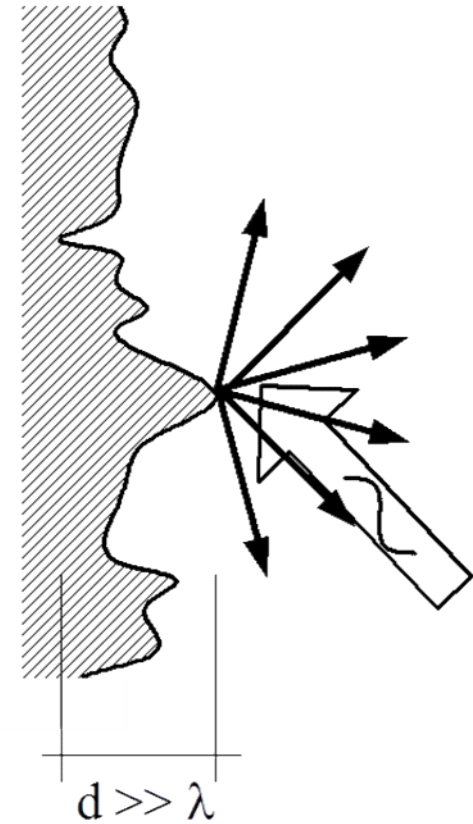


phonebox



# Teremakusztikai burkolatok

## 5. Diffúzorok



# Akusztikai burkolatok alkalmazása

## **Egészségügyi intézmények:**

Általános probléma: a kommunikációt nagyban nehezíti, hogy a rossz akusztikai körülmények **miatt rossz a beszédérthetőség**



Hangosabban beszélnek, nő a termekben az átlagos hangnyomásszint.



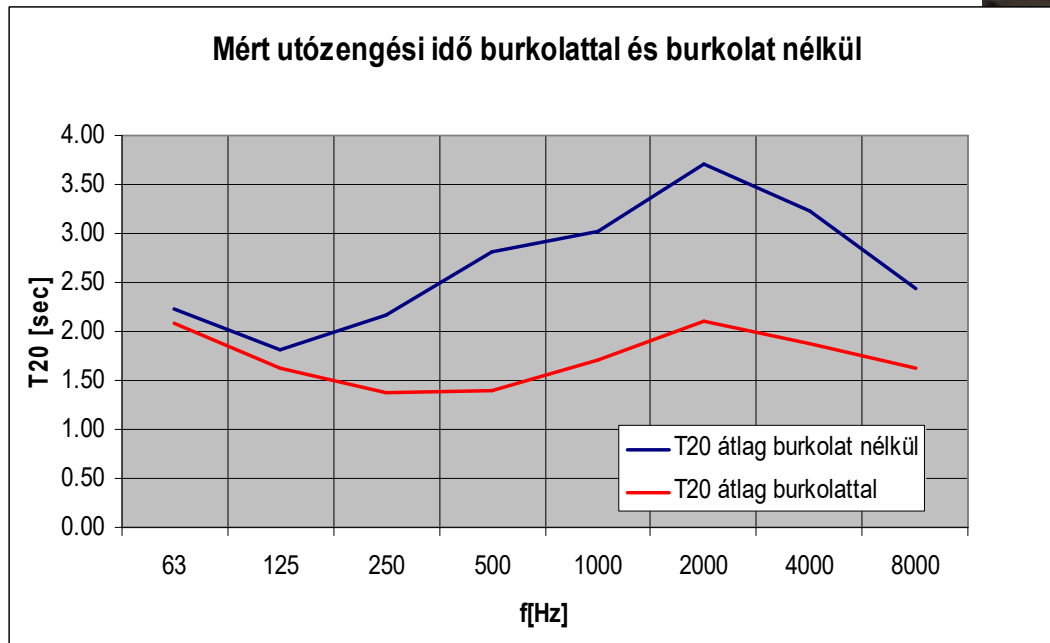
1-2 óra után **fáradtságot** eredményez, **csökken a figyelem**, ezzel a teljesítés hatásfoka. Hosszútávon **egészségügyi problémákat** okoz, és hozzájárulhat a **hallás csökkenéséhez**.

# Akusztikai burkolat alkalmazása

Tornaterem: fokozott zajterhelés! A hangelnyelő anyagok jól csökkentik az utózengési időt. Példa:

Térfogat  $8100 \text{ m}^3$       Alapterület:  $736 \text{ m}^2$        $T_{\text{műres}} = 2,9 \text{ sec}$

Burkolat:  $540 \text{ m}^2 \rightarrow T_{\text{mburk}} = 1,55 \text{ sec.}$



# Akusztikai burkolat alkalmazása

Aula

Térfogat  $3900 \text{ m}^3$       $T_{\text{műres}} = 2,4 \text{ sec}$

Alapterület:  $300 \text{ m}^2$

Burkolat:  $500 \text{ m}^2 \rightarrow T_{\text{mburk}} = 1,27 \text{ sec}$



Tanterem:

Alapterület:  $\sim 20 \text{ m}^2$

Térfogat:  $\sim 60 \text{ m}^3$

$T_{\text{műres}} = 0,88 \text{ sec}$

Álmennyezettel  $\rightarrow T_{\text{mburk}} = 0,5 \text{ sec}$

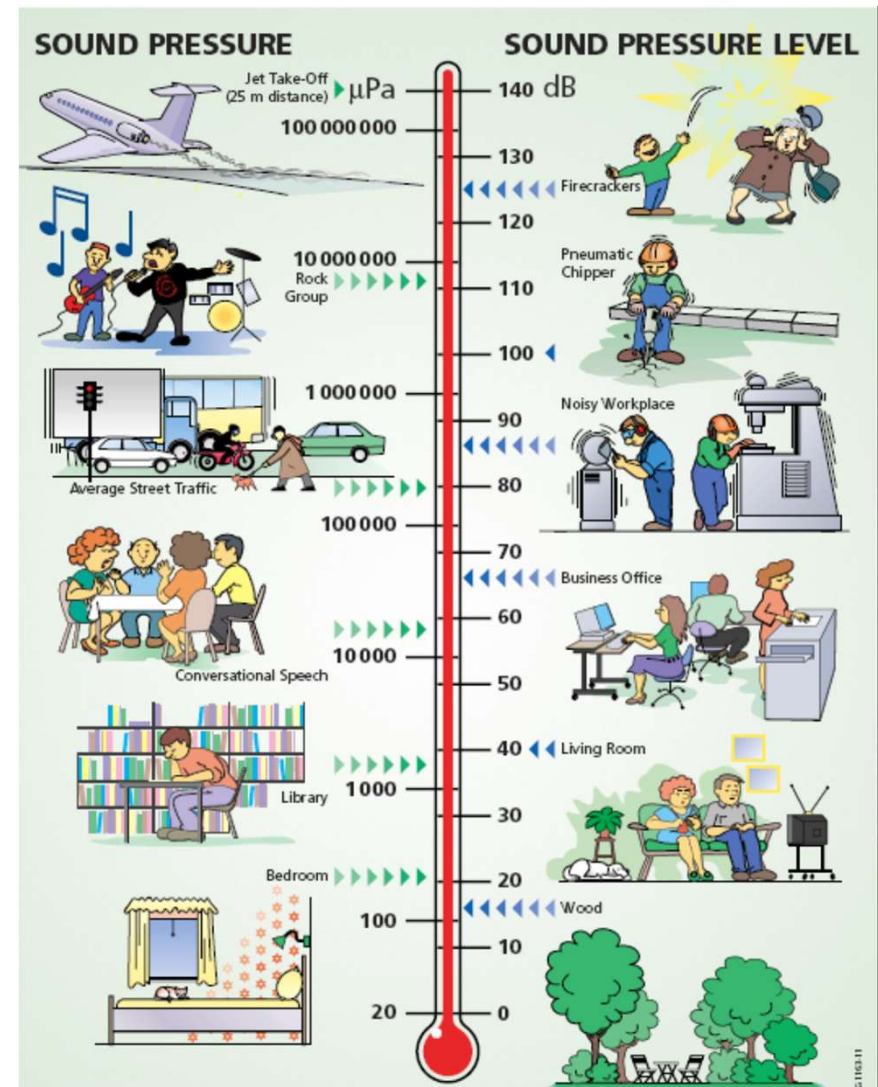


# Zajcsökkentés

Egy Tornaterem és iskolai  
Aula zajcsökkentése:

Mért zajszint értékek:

	LAeq [dB]		$\Delta$ LAeq [dB]
	Burkolás előtt	Burkolás után	
Aula	74	67	7
Tornaterem	71	58	13





# Hangelnyelés-hanggátlás



Zengő tér → zajosnak érzékeljük (pl. tornaterem)

csillapított tér → csöndesnek érzékeljük (pl. könyvtár, textilüzlet)

Ha hangelnyelő anyagot helyezünk el, az **csökkenti a használati zajszintet**. Ezzel együtt kisebb zajterhelést kap a térelválasztó szerkezet, így közvetve szerepet játszik a hanggátlás javításában.

Hangelnyelés  $\neq$  Hanggátlás (hangszigetelés)

Tojástartó – semmilyen hatással sincs a hanggátlásra!

# Összefoglalva

Általánosan

Rossz akusztikájú, zajos térben:

- A zaj fáradttá és ingerlékennyé tesz
- A rövid távú memóriára negatív hatással van
- Romlik a szövegértés, lassul az olvasási sebesség
- „Elfedő” hatás → erősen kell koncentrálni → hangosabb beszéd → magasabb zajszint



A jó akusztikai környezet hatására:

- ❖ jobb teljesítőképeség
- ❖ nyugodtabb munkavégzés
- ❖ hosszabb ideig tartó koncentrált figyelem

# Szívklinika - Képző Központ Esettanulmány



# Teremakusztikai követelmények

Követelmények az MSZ 2080-as szabvány 1. táblázata szerint:

Helyiségtípus	Utózengési idő: $T_{m, \max}$ [sec]	Egyenértékű hangelnyelési felület $(A_m/V)_{\min}$ [1/m]
Egészségügyi intézmények vizsgáló- és ápolási helyisége, betegszoba	0,7	-
Betegváró	-	0,2
Közlekedő	-	0,2
Tárgyaló	0,7	-
Előadóterem	0,7	-

Teremakusztika –ajánlott utózengési idő különböző helyiségekben

# Kialakítás - kihívások

1. A szabvány elfogadtatása: betegváró, közlekedő terek kezelése – nagy mennyiség, költség, de fontos zajcsökkentő feladat!
2. Magas higiéniai követelményű helyiségekben alkalmas anyaghasználat – szűk anyagválaszték, szigorú tisztítási módszerek
3. Oktatási épületrész, mint kiemelt akusztikai tervezési terület – vizualitás, enteriőr előtérbe kerül a építész tervezőknél

# Kialakítás - megoldások

1. Egyszerű kivitelű hangelnyelő álmennyezetek - költséghatékony

Pl: kazettás vagy perforált típusok



Forrás:<https://www.knaufceilingssolutions.com/en/products/amf-thermatex-alpha-hd-30mm/>

<https://www.rigips.hu/perforalt-akusztikus-gipszkartonok>

# Kialakítás - megoldások

## 2. Anyagválasztás - minősítések

Nedves tisztításnak ellenálljon

Napi rendszeres vegyszeres tisztítást bírja

Részecskék és víz számára áthatolhatatlan fedőréteg.

HPV tisztítást bírja (száraz füstgáz-tisztítási eljárás)



Műtőkbe így sem találtunk megfelelő terméket!!!

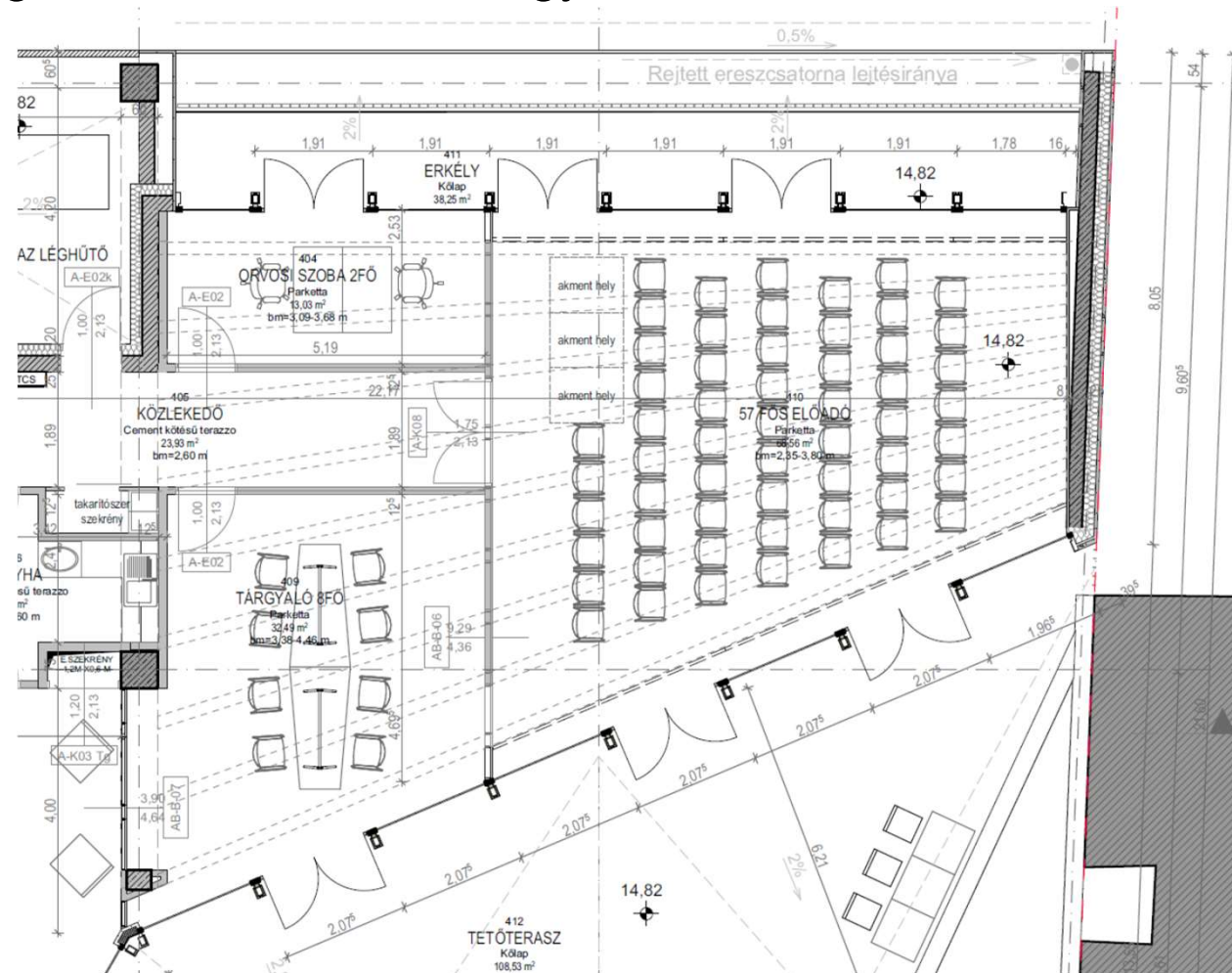
Forrás: <https://www.ecophon.com/hu/ecophon/modular-ceilings/hygiene/>

# Kialakítás - megoldások

## 3. Oktatási helyiségek – Előadóterem, tárgyaló

57 fős  
előadóterem  
~200 m<sup>3</sup>  
8 fős tárgyaló  
~95 m<sup>3</sup>

Geometria  
Üveg felületek  
Nyílászárók





# Kialakítás - megoldások

## 3. Oktatási helyiségek – Előadóterem

Hangelnyelő anyagok:  
Hangelnyelő függöny



Álmennyezet – grillrács típusú kialakítás

# Összefoglalás

A teremakusztikai tervezés, **követelmények érvényesítése** nem zenei célú épületnél még mindig kihívás.

Teremakusztika, mint **zajcsökkentő megoldás** hangsúlyozása.

A megfelelően tisztítható, **egészségügyi minősítéssel** rendelkező hangelnyelő anyagok elérhetősége kérdéses.

# Források

Mérési eredmények és tervezési adatok:

Arató Akusztikai Kft.

Borsiné Arató Éva

Borsi Gergely

Alabárdos Zsuzsanna