

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar  
Környezetmérnöki mesterképzési szak (nappali) MSC  
Munka- tűzvédelem és biztonságtechnika, zajvédelem

# ZAJVÉDELEM

## Zaj- és rezgéscsökkentés

---

**MÁRKUS PÉTER**

ZAJ ÉS REZGÉSVÉDELMI SZAKÉRTŐ

# CSOPORTOS ZAJ ELLENI VÉDELEM

## Építészeti-tervezési módszerek

Épületek és létesítmények tervezésénél alkalmazott célszerű akusztikai döntések

Technológiai berendezések, gépek és szerkezetek célszerű elhelyezése

Munkahelyek célszerű elhelyezés

Szállító eszközök és szalagok alkalmazási területeinek és működési körülményeinek akusztikai tervezése

## Preventív szervezési-műszaki módszerek

Előzetes és időszakos orvosi vizsgálatok

Zajpihenő helyek kijelölése, expozíció csökkentése munkaközi szünetekkel

Zajszegény technológiai folyamatok alkalmazása

Zajos gépek felszerelése távirányító és önműködő ellenőrző eszközökkel

Zajszegény gépek alkalmazása, gépek és szerkezeti elemek módosítása

Zajos munkahelyeken a munka célszerű rendjének kialakítása

Gépek karbantartási és kiszolgálási technológiájának korszerűsítése

# A ZAJ ELLENI VÉDELEM MŰSZAKI AKUSZTIKAI MEGOLDÁSAI

## Hanggátló megoldások

Épületeket és  
helyiségeket  
körülvevő  
szerkezetek

Hanggátló  
burkolatok és  
tokozások

Hangszigetelt  
kezelőfülkék,  
zajvédő gépfülkék

Hangárnyékoló  
falak,  
térrelválasztások

## Hangelnyelő (teremakusztikai) megoldások

Hangelnyelő  
falborítás

Hangelnyelő  
falborítás

Hangelnyelő  
álmennyezet

Térbeli belógatott  
hangelnyelő  
elemrendszerek

## Rezgésszigetelők

Rezgésszigetelő  
alapozás

Rezgéscsillapító  
gépalátétek

Rezgésszigetelő  
réstömítések

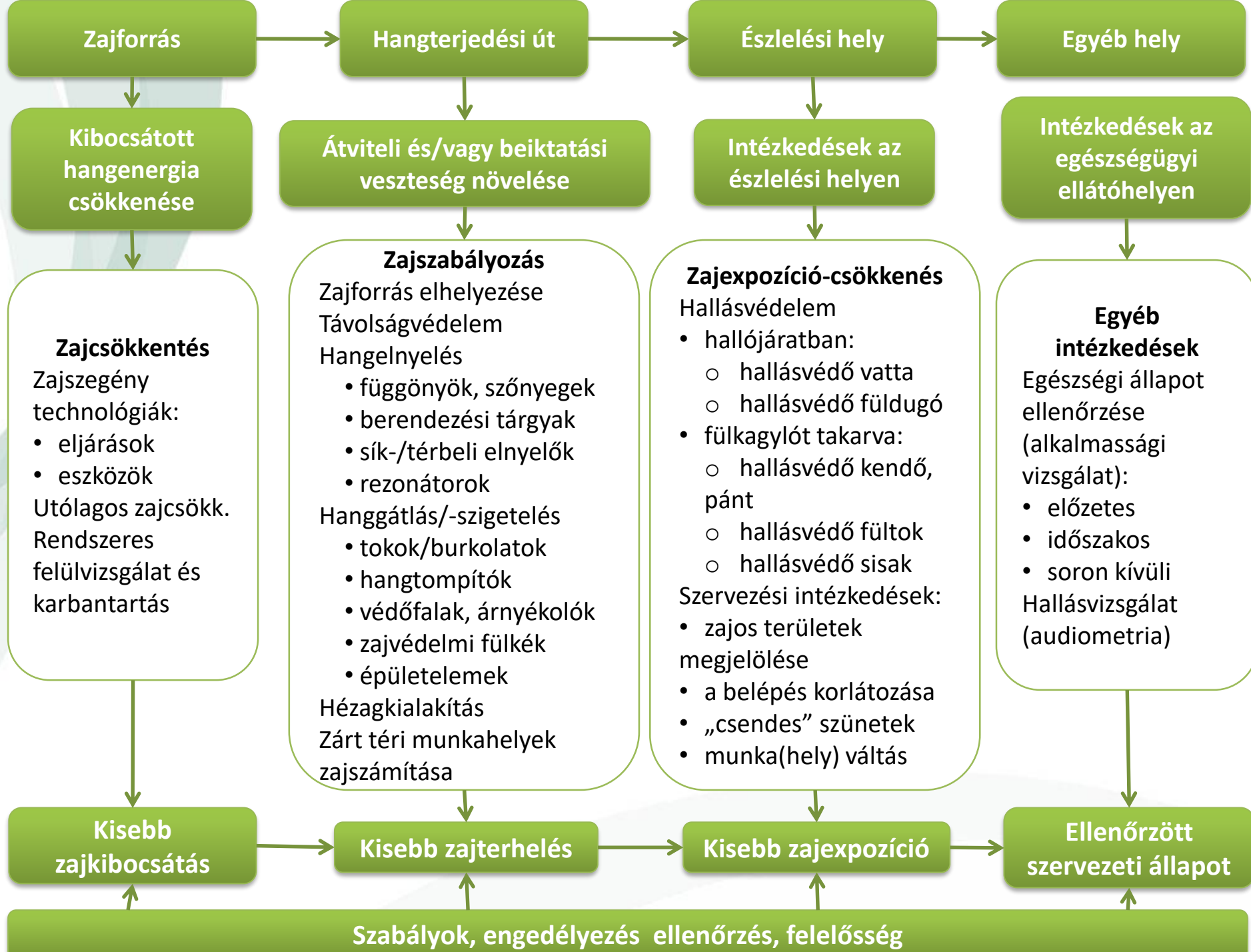
## Hangtompítók

Abszorpciós  
hangtompítók

Reflexiós  
hangtompítók

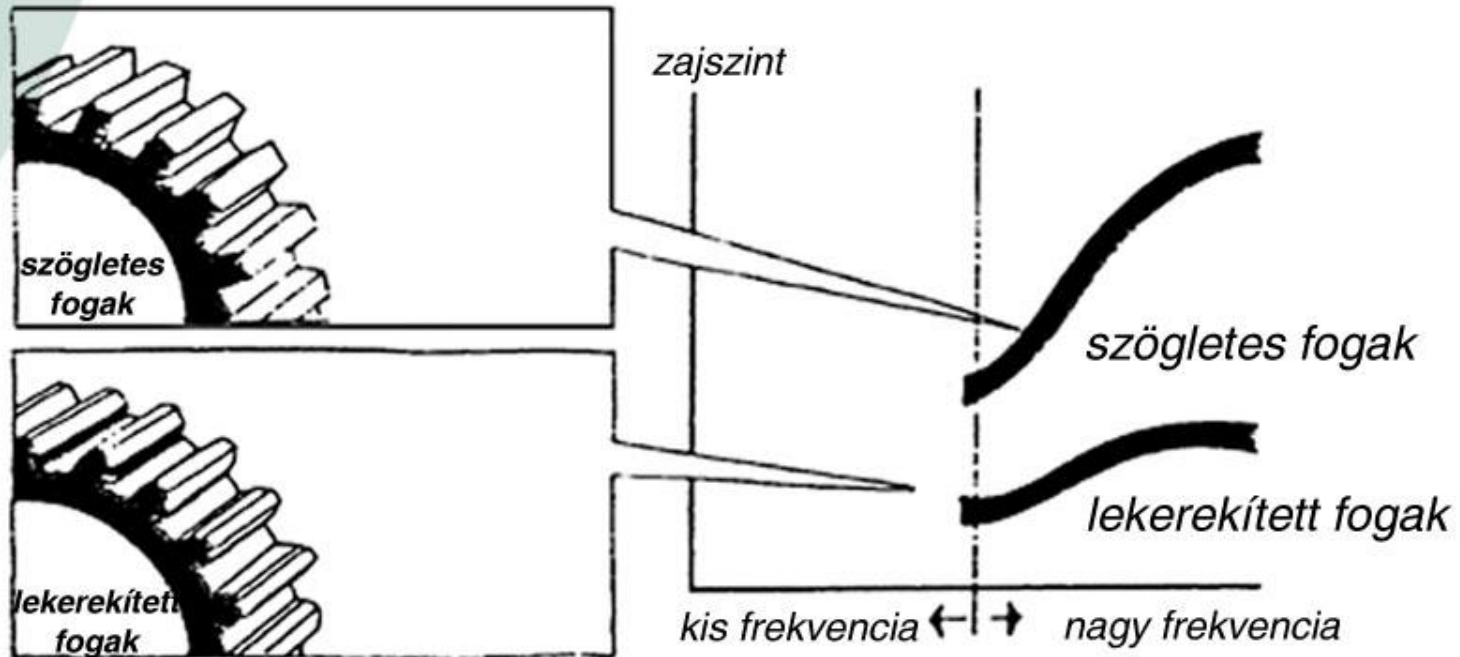
Expanziós  
hangtompítók

Kombinált  
hangtompítók



# Zaj és rezgés elleni védelem

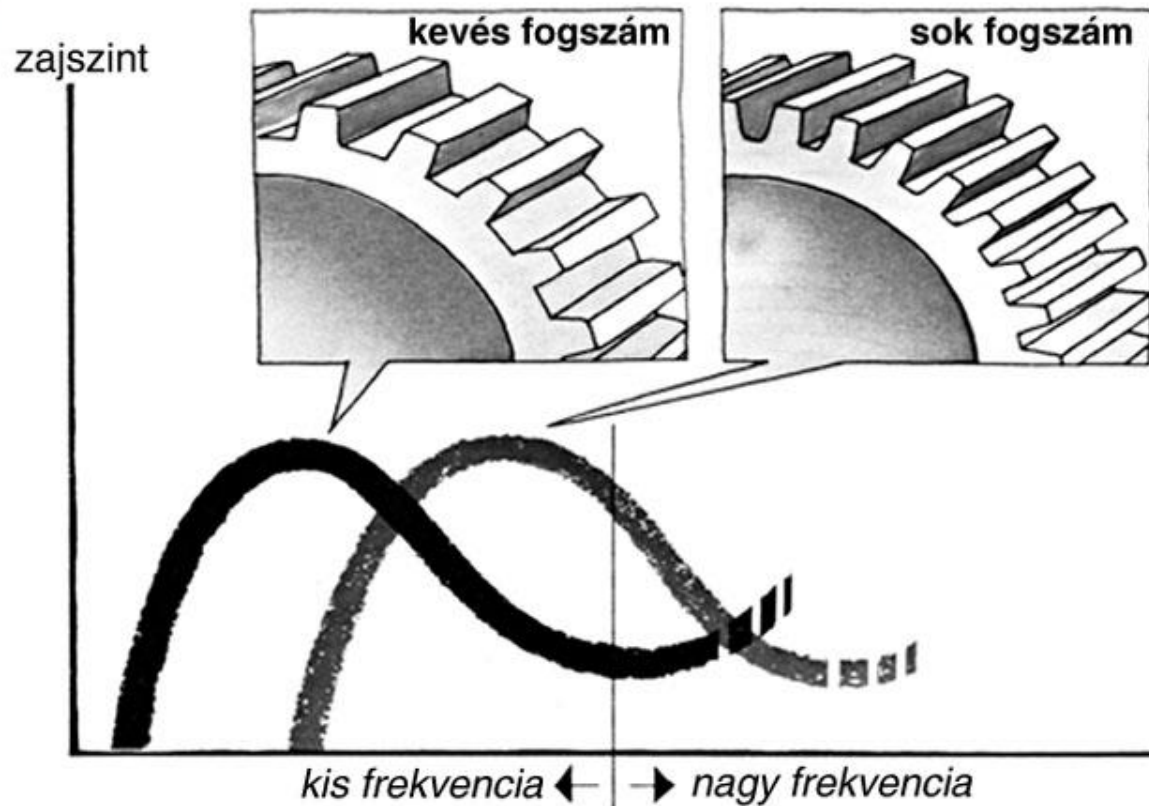
## Mechanikai eredetű zajok csökkentése



**Fogaskerekes hajtómű zajcsökkentése a fogazás megfelelő kialakításával**

# Zaj és rezgés elleni védelem

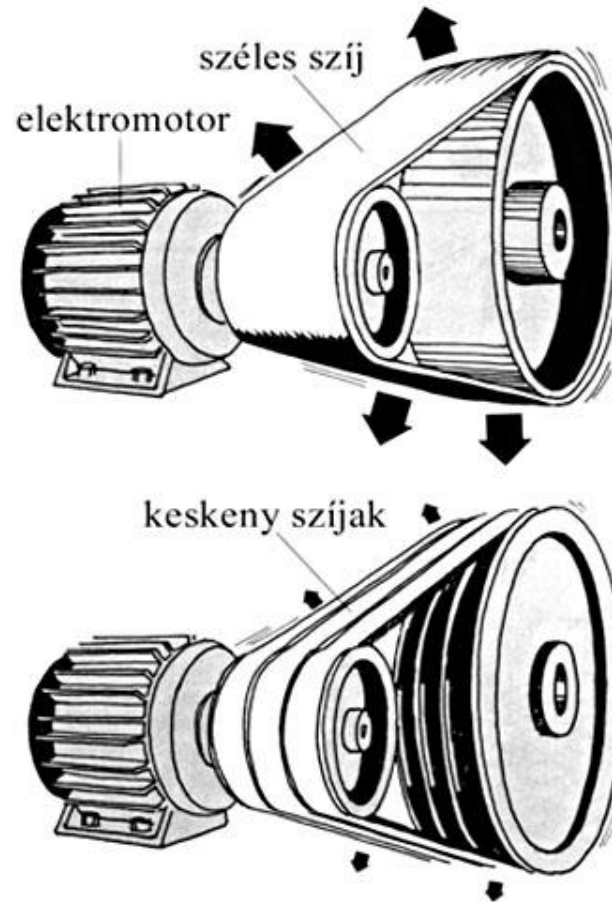
## Mechanikai eredetű zajok csökkentése



**Zaj színekének változtatása a fogaskerék fogszámának megváltoztatásával**

# Zaj és rezgés elleni védelem

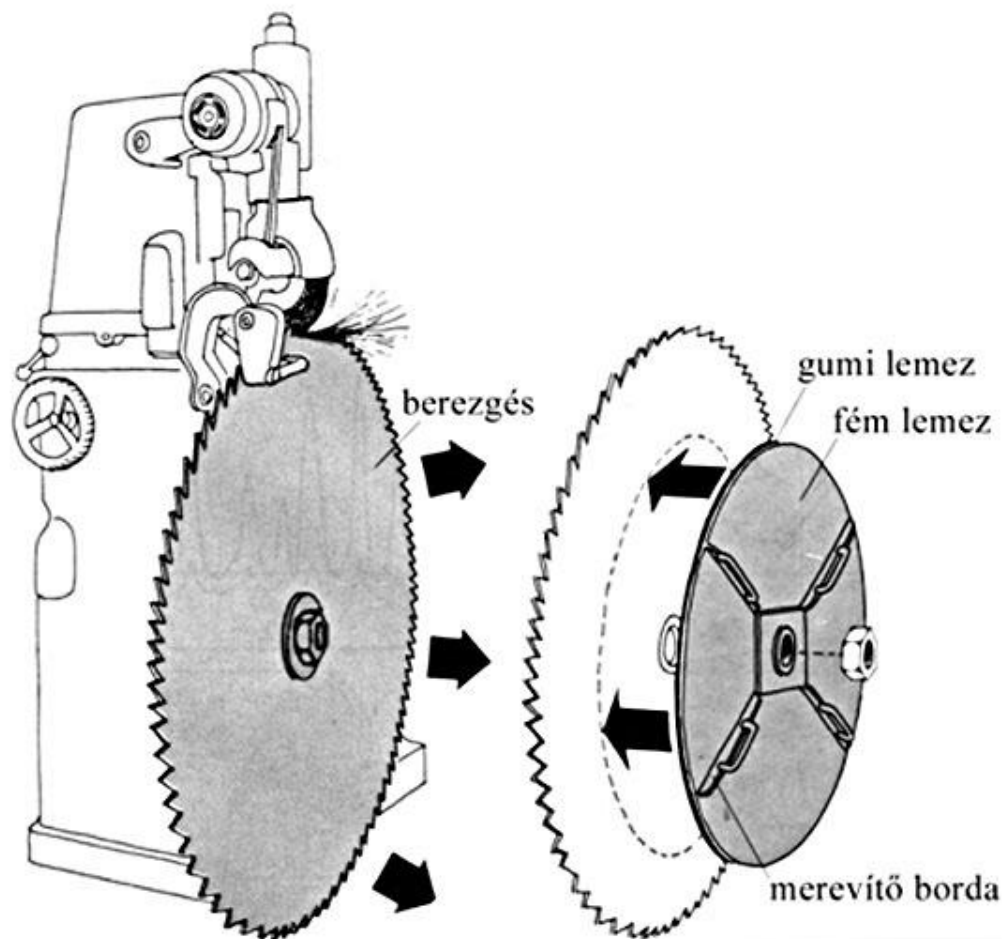
## Mechanikai eredetű zajok csökkentése



**Szíjtárcsás erőátvitel zajcsillapítása**

# Zaj és rezgés elleni védelem

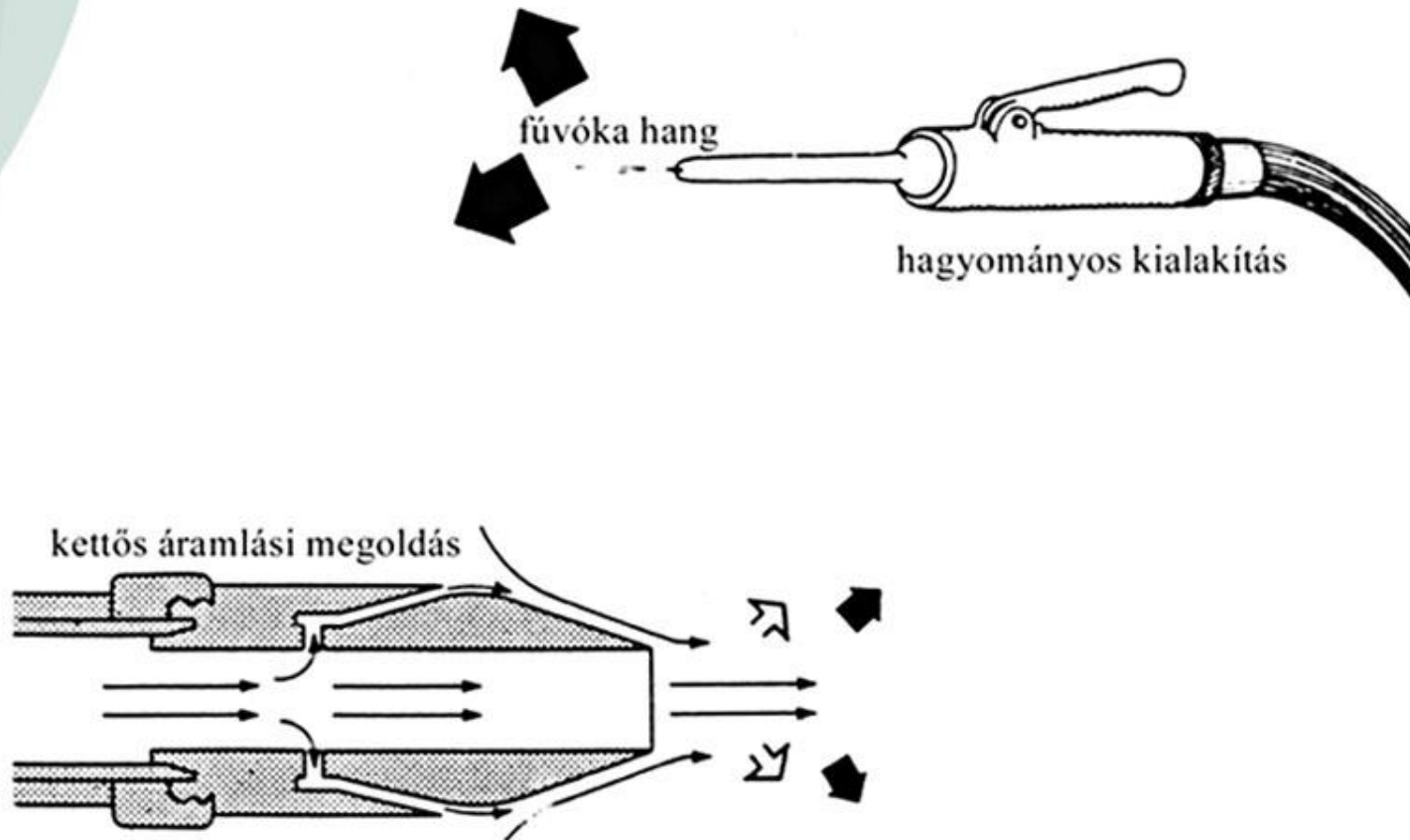
## Mechanikai eredetű zajok csökkentése



**Körfűrész tárcsa zajcsökkentése testhang szigeteléssel**

# Zaj és rezgés elleni védelem

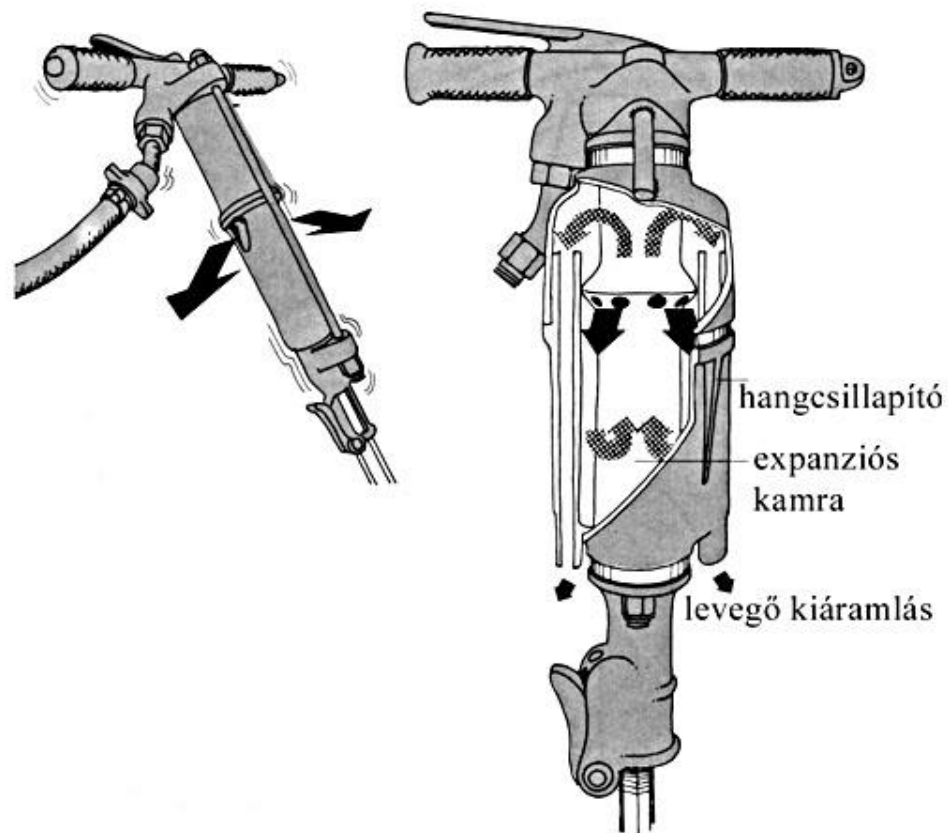
## Mechanikai eredetű zajok csökkentése



**Öntvénytisztító szerszám zajcsökkentése a fúvóka megfelelő kialakításával**

# Zaj és rezgés elleni védelem

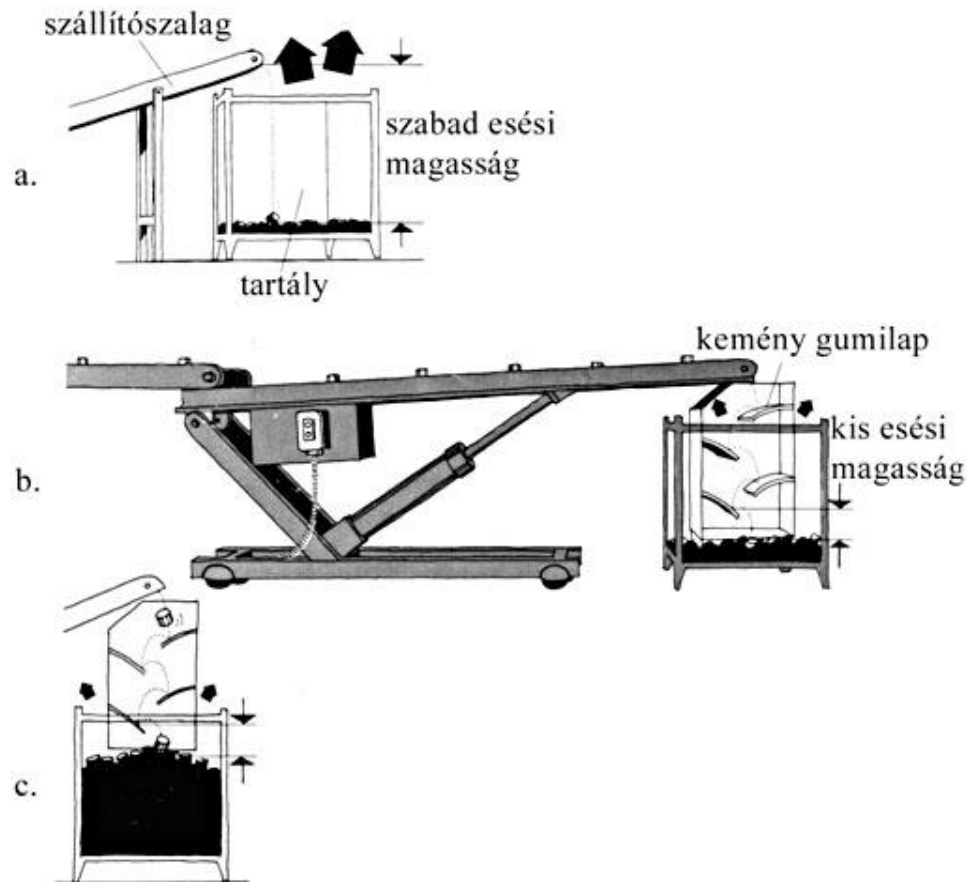
## Mechanikai eredetű zajok csökkentése



**Légkalapács egy csendesebb változatának kialakítása**

# Zaj és rezgés elleni védelem

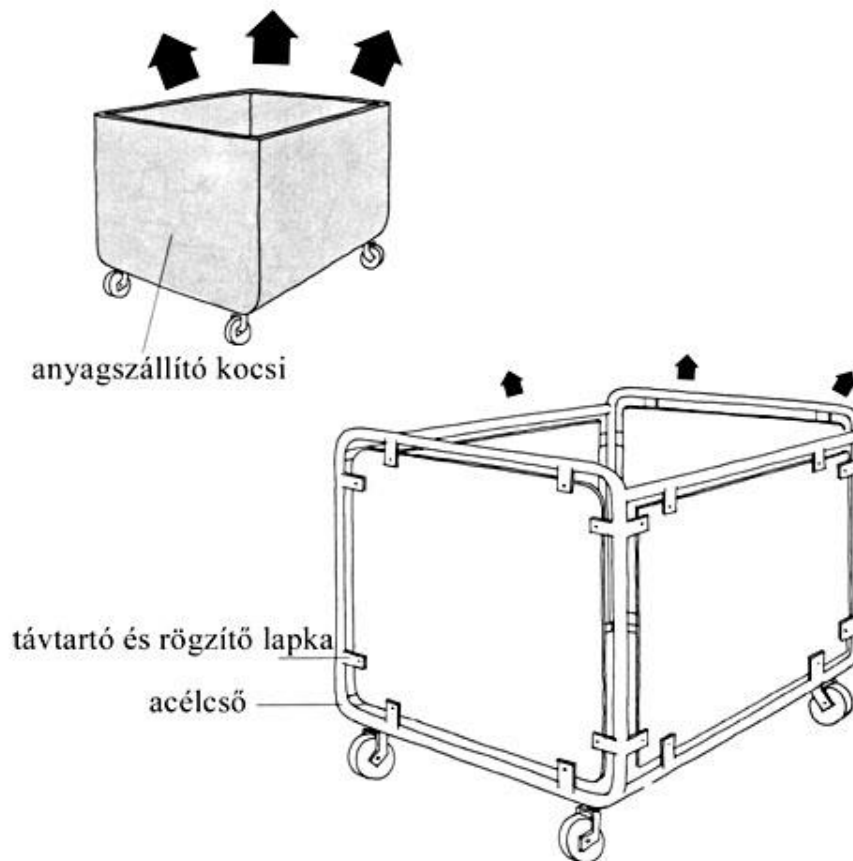
## Mechanikai eredetű zajok csökkentése



**Tartályok csendesebb anyagtöltésének megoldása**

# Zaj és rezgés elleni védelem

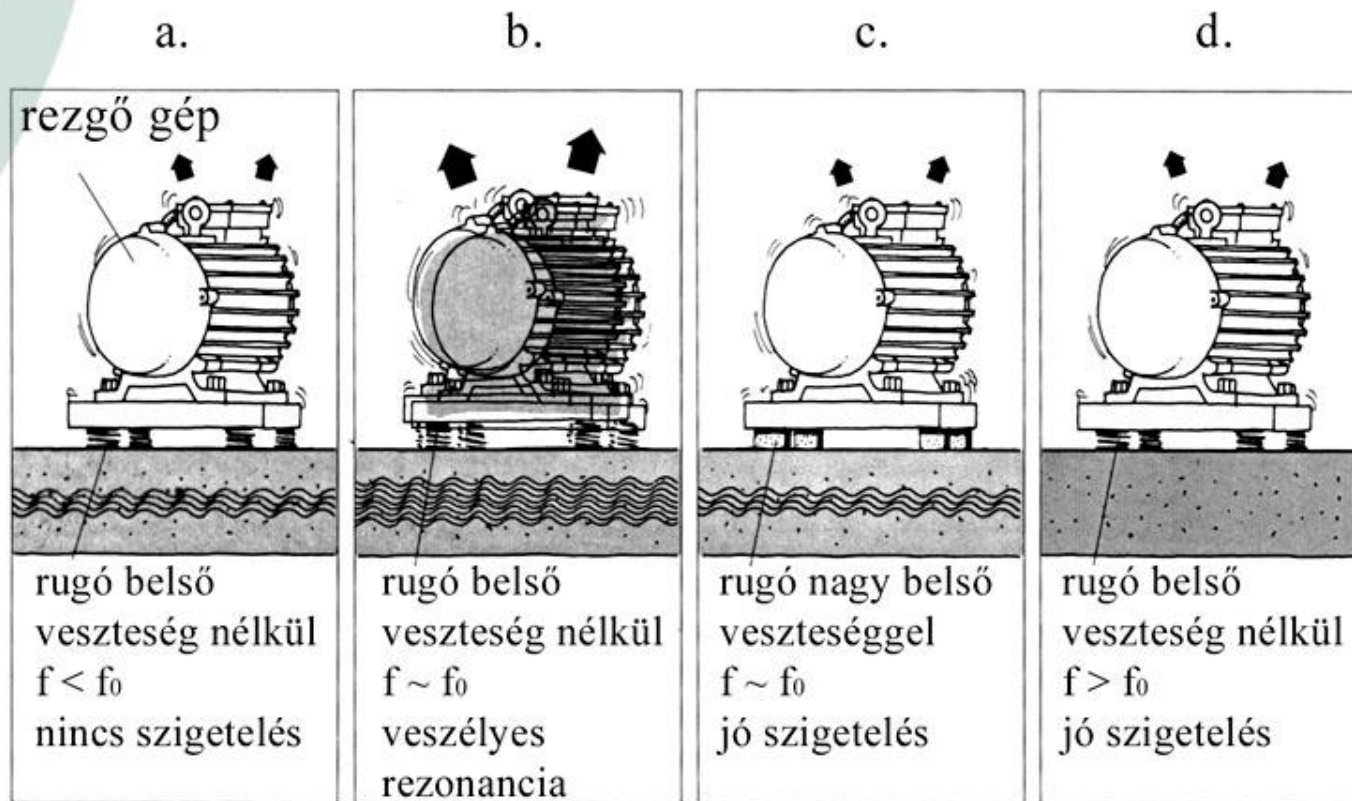
## Mechanikai eredetű zajok csökkentése



**Tartály vagy anyagszállító kocsi zaj szempontból kedvezőbb kialakítása**

# Zaj és rezgés elleni védelem

## Mechanikai eredetű rezgések csökkentése

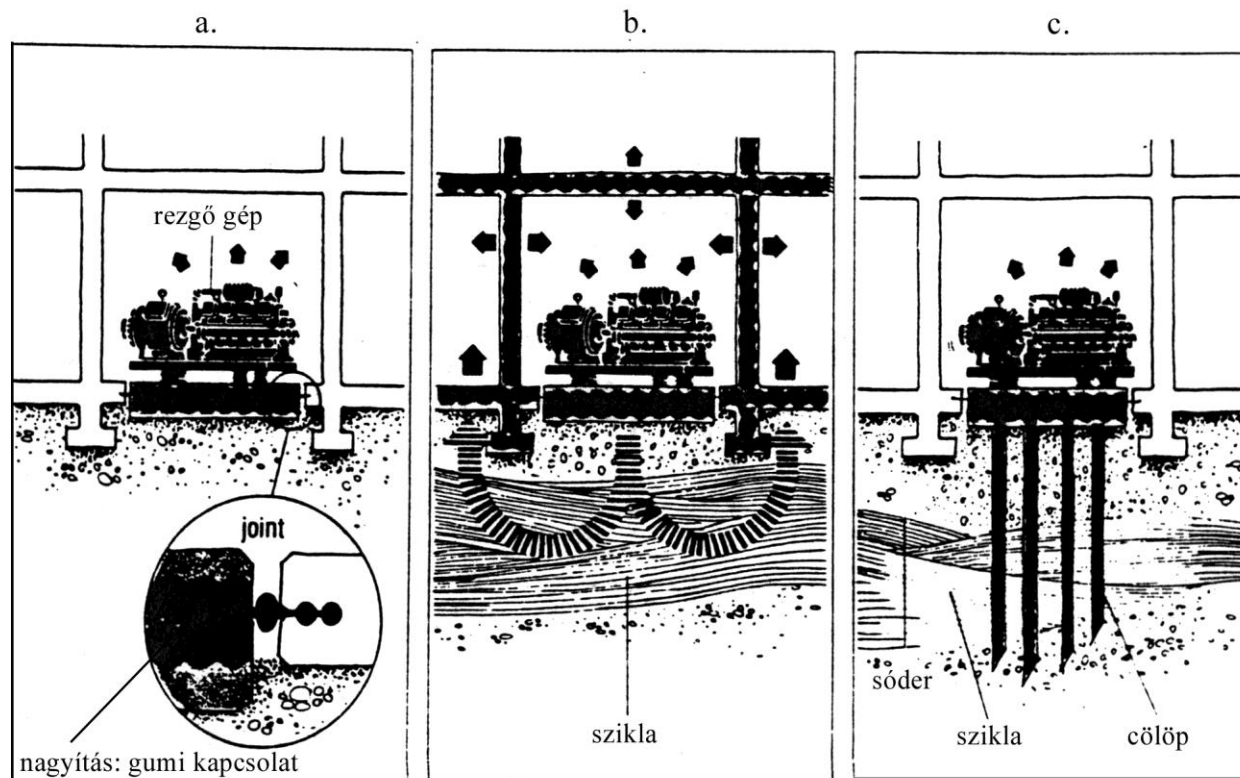


**A gerjesztő- és saját frekvencia egymáshoz viszonyított értékei alapján választott tömeg-rugó rendszerek**

# Zaj és rezgés elleni védelem

## Mechanikai eredetű rezgések csökkentése

- a) kavicsos homokos talaj
- b) sziklás talaj rossz megoldás
- c) sziklás talaj jó megoldás (betoncölöpökkel)



**Földszinten elhelyezett gépek esetében alkalmazott rezgésszigetelési eljárások**

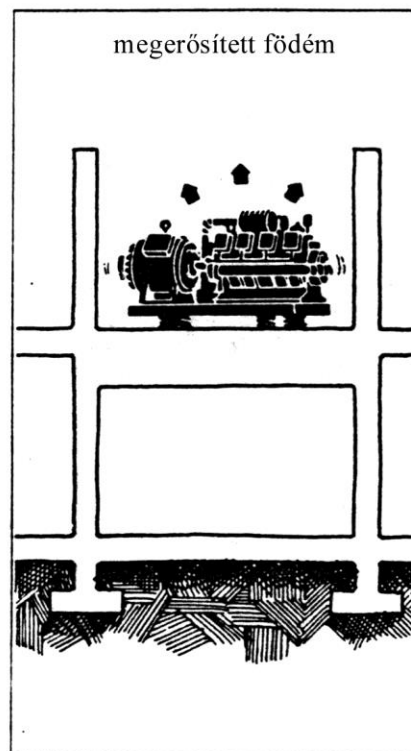
# Zaj és rezgés elleni védelem

## Mechanikai eredetű rezgések csökkentése

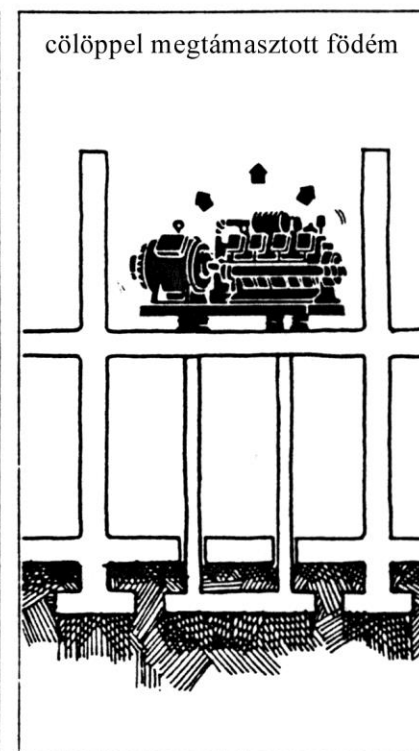
a.



b.



c.

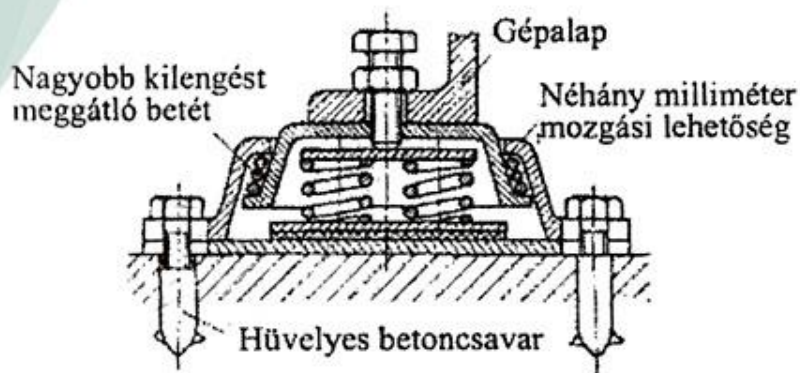


- a) rossz megoldás  
b) és c) jó megoldások

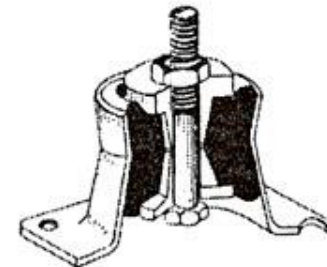
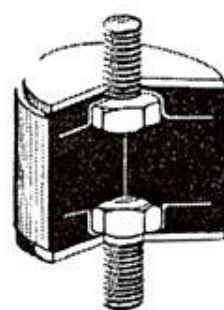
### Emeletre helyezett gépek rezgéscsökkentése

# Zaj és rezgés elleni védelem

## Mechanikai eredetű rezgések csökkentése



a) Acél csavarrugók



b) Gumirugók

**Géprezgések csökkentése rezgéscsillapító gépalátétekkel**

# Zaj és rezgés elleni védelem

## Áramlástechnikai zajok csökkentése

Áramlási zajok legfontosabb elemei:

- Ventilátor és meghajtó egység,
- Légcsatorna,
- Kifúvó, illetve beszívó egységek.

A ventilátor várható hangteljesítménye:

$$L_p = 10 \lg Q + 20 \lg \Delta p_{\text{ö}} + 25 [\text{dB}]$$

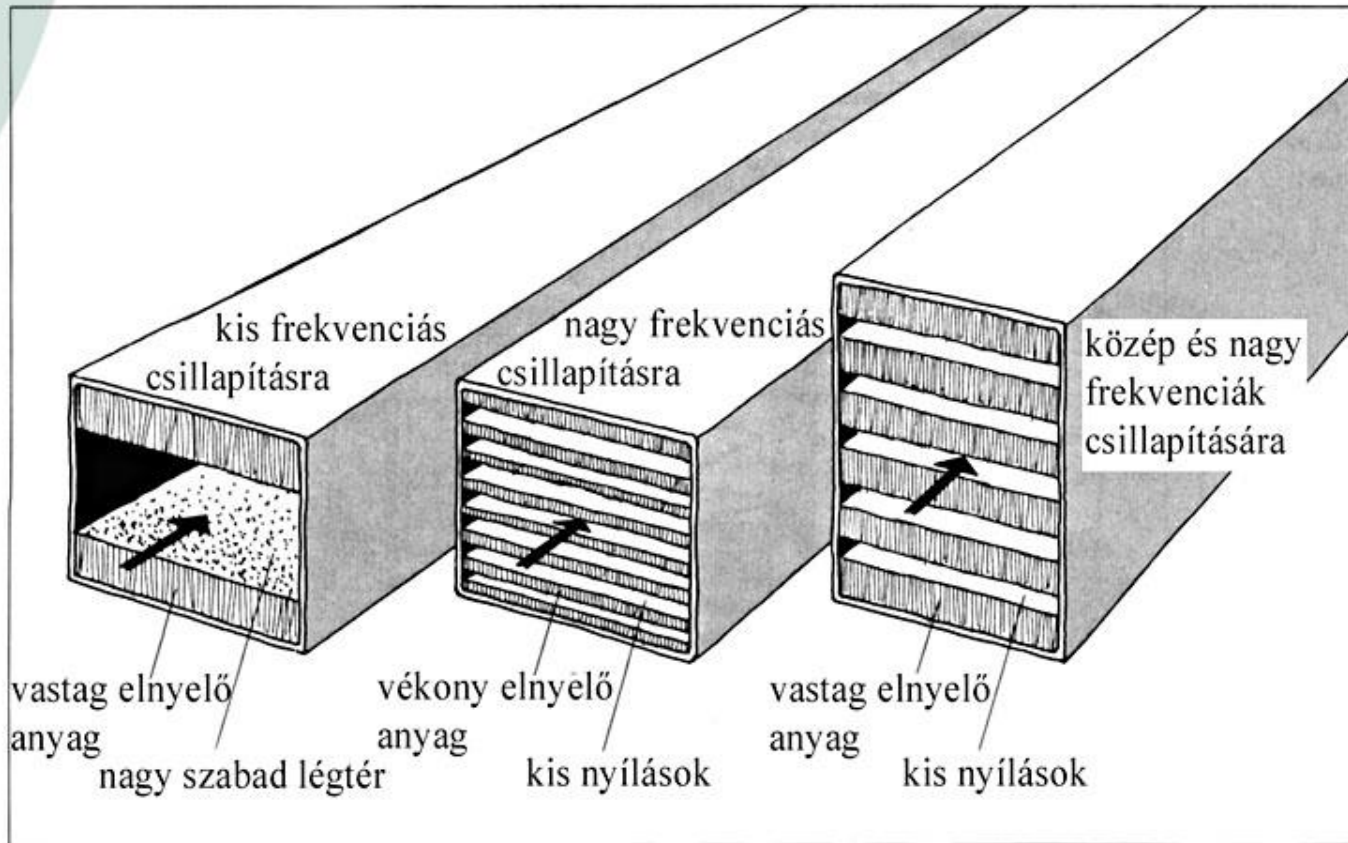
ahol:

$Q$  a szállított levegő mennyiség [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$\Delta p_{\text{ö}}$  az össznyomás-növekedés [ $\text{mm.vg}$ ]

# Zaj és rezgés elleni védelem

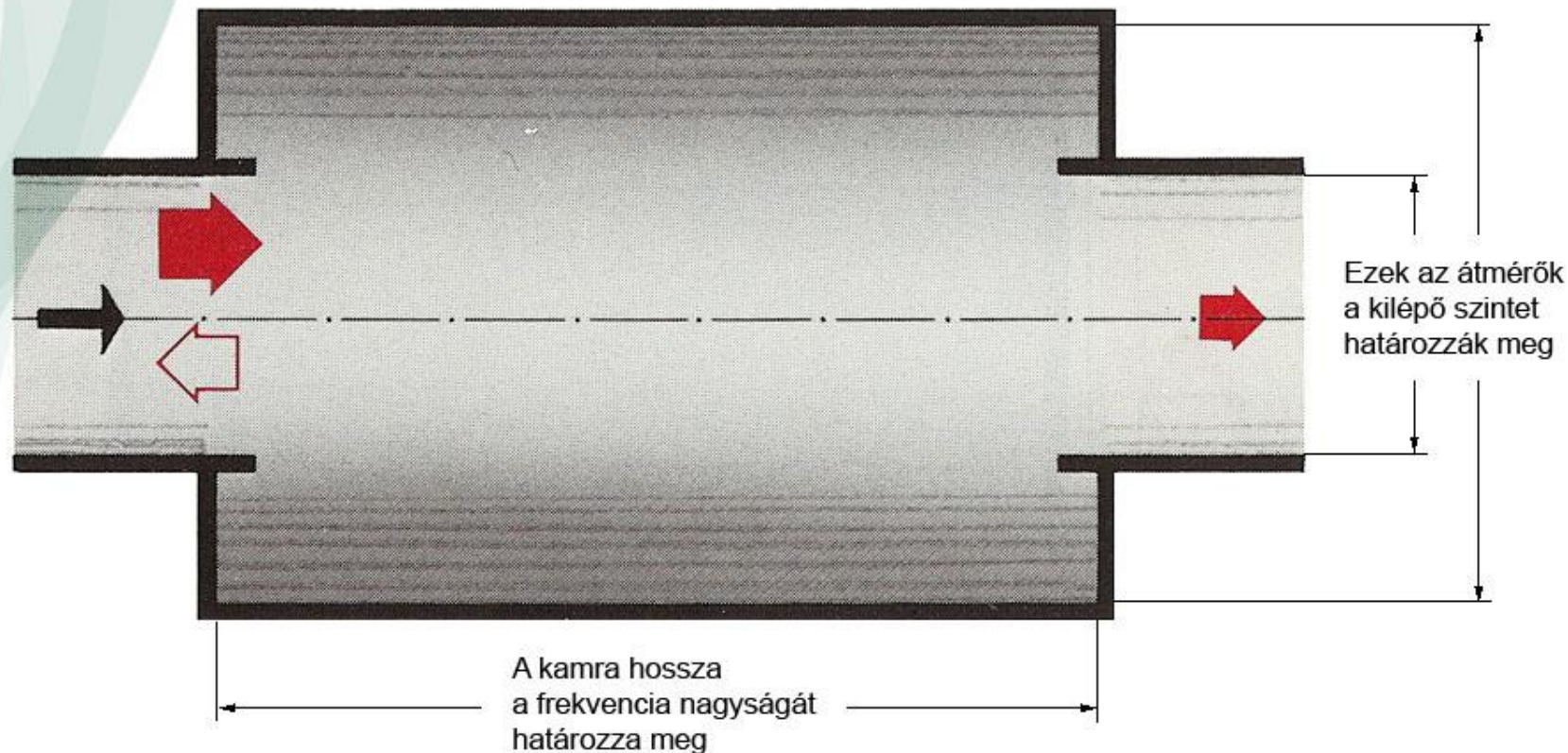
## Áramlástechnikai zajok csökkentése



## Abszorpciós hangtompítók

# Zaj és rezgés elleni védelem

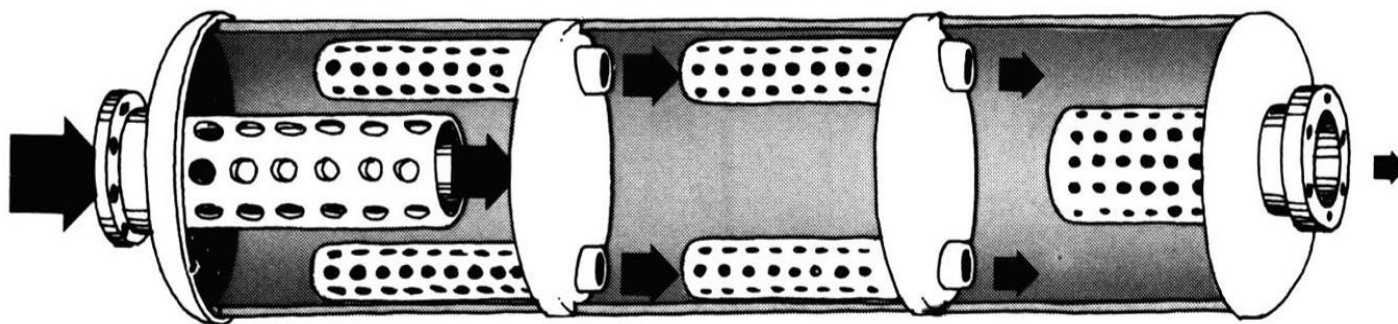
## Áramlástechnikai zajok csökkentése



**Expanziós elven működő hangtompító**

# Zaj és rezgés elleni védelem

## Áramlástechnikai zajok csökkentése

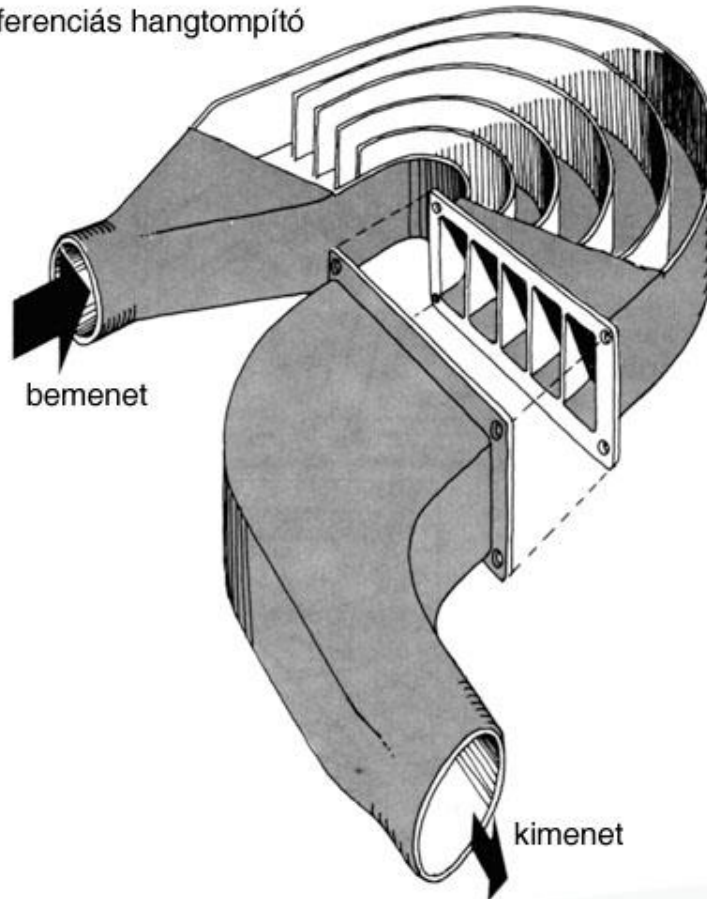


**Többszörös visszaverődéses elven működő expanziós hangtompító**

# Zaj és rezgés elleni védelem

## Áramlástechnikai zajok csökkentése

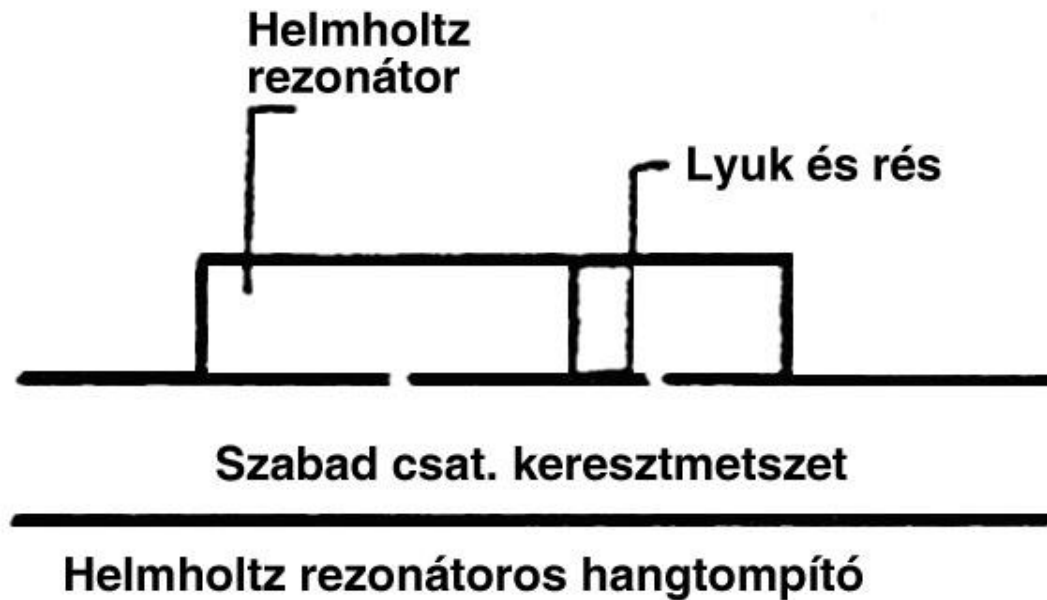
Interferenciás hangtompító



**Interferenciás hangtompító**

# Zaj és rezgés elleni védelem

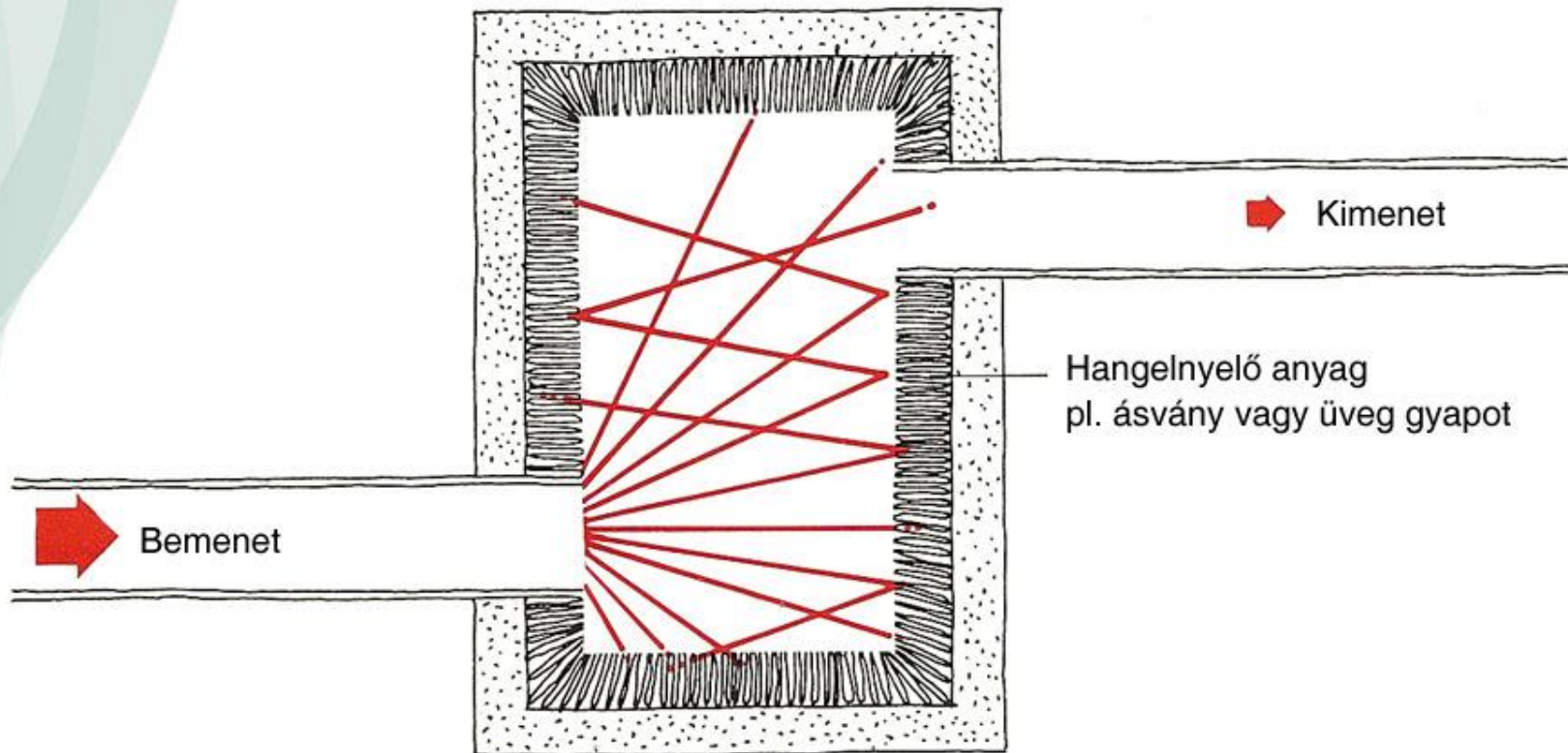
## Áramlástechnikai zajok csökkentése



**Helmholtz rezonátoros elven működő hangtompító**

# Zaj és rezgés elleni védelem

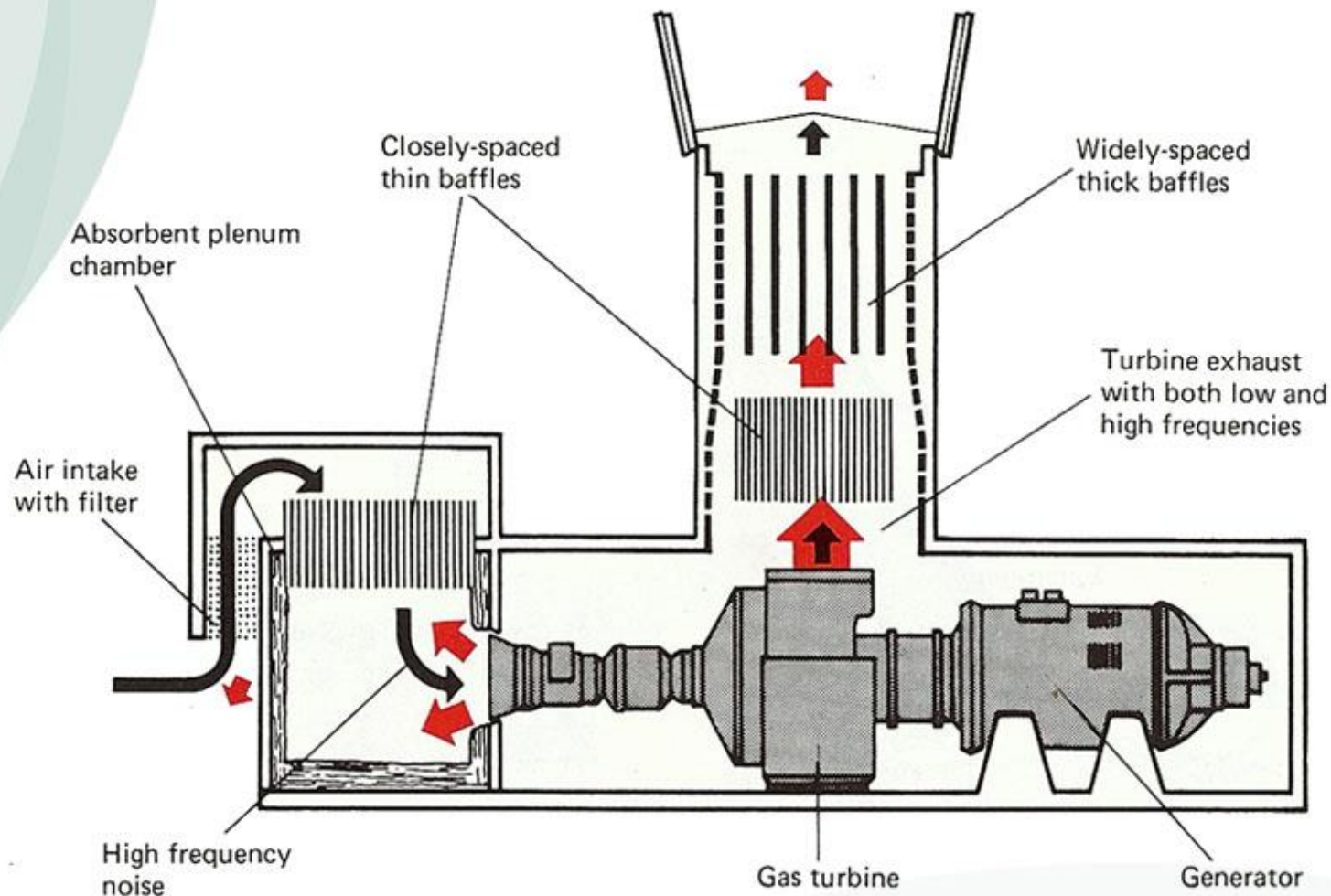
## Áramlástechnikai zajok csökkentése



**Kombinált elnyeléses-expanziós hangtompító**

# Zaj és rezgés elleni védelem

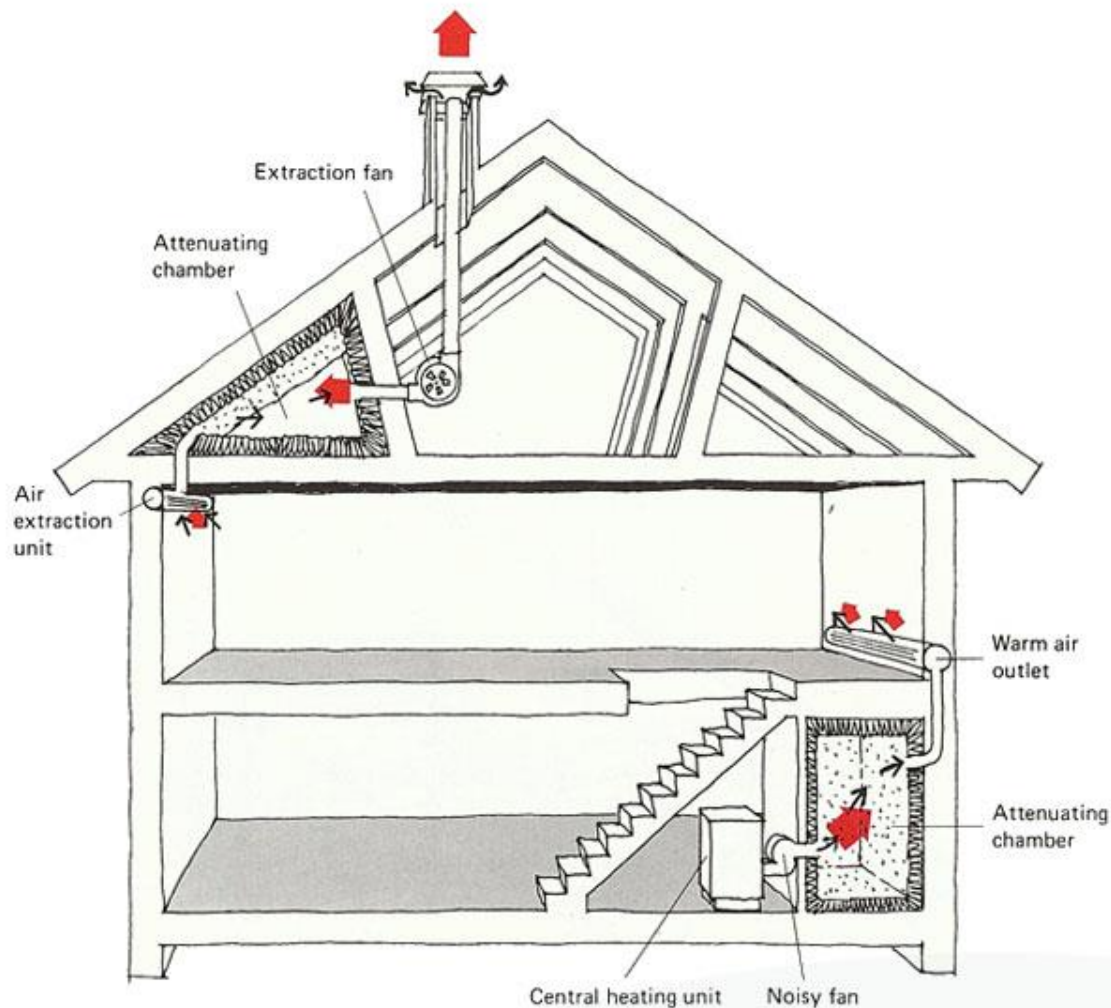
## Áramlástechnikai zajok csökkentése



**Példa: hangtompítók alkalmazása gázturbina zajcsökkentés során**

# Zaj és rezgés elleni védelem

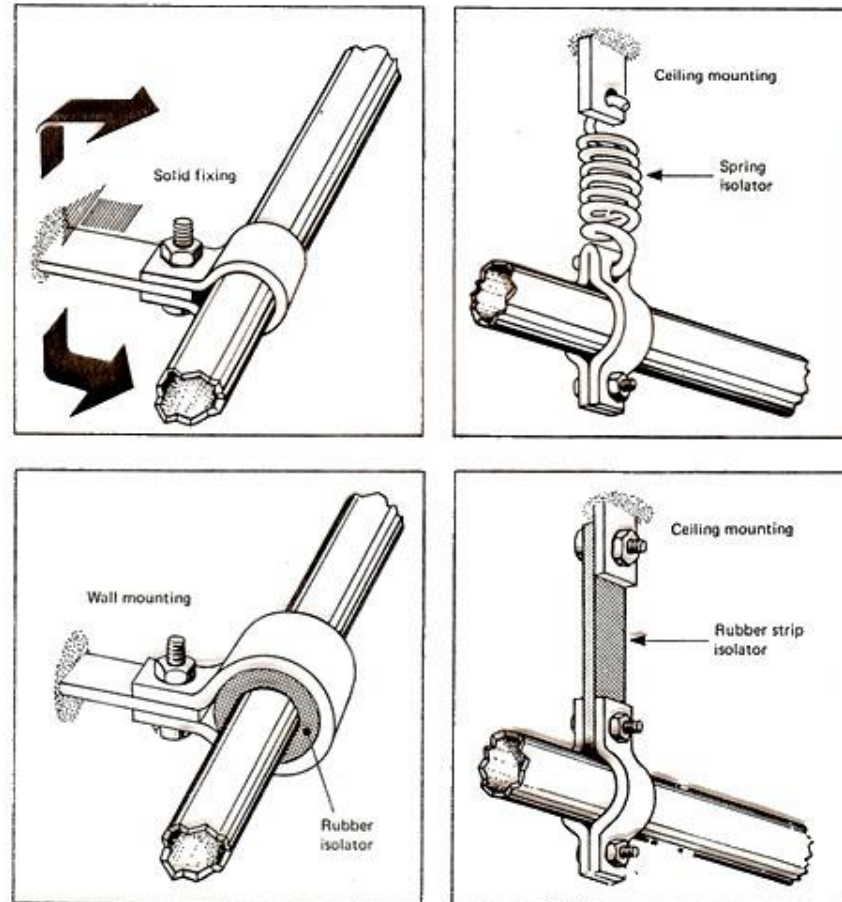
## Áramlástechnikai zajok csökkentése



**Hangtompítók alkalmazása épületgépészeti berendezések zajcsökkentésére**

# Zaj és rezgés elleni védelem

## Áramlástechnikai zajok csökkentése



**Csővezetékek falhoz rögzítése rezgésszigetelt megoldásokkal**

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Zajcsökkentő burkolatok és tokozások

A tokozások zajcsökkentő hatását a frekvencia függvényében az átlagos beiktatási veszteséggel ( $D_T$ ) jellemzik :

$$D_T = L_{m1} - L_{m2} \text{ [dB]}$$

ahol:

$L_{m1}$  a zajforrás működésekor az előírt mérőponton frekvenciasávonként mért sávhangnyomás-szintek átlaga, ha a tokozás nem burkolja a gépet, [dB]

$L_{m2}$  azonos megítélési ponton frekvenciasávonként mért sávhangnyomás-szintek átlaga, a tokozással burkolt gép működésekor, [dB]

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Zajcsökkentő burkolatok és tokozások

A tokozás várható csillapítása a tok falszerkezetének léghanggátlása ( $R^*$ ) ismeretében:

$$\Delta L = R^* - 10 \lg \frac{S}{\bar{\alpha} S_e}$$

ahol:

$R^*$  a tok falazatának léghanggátlása, [dB]

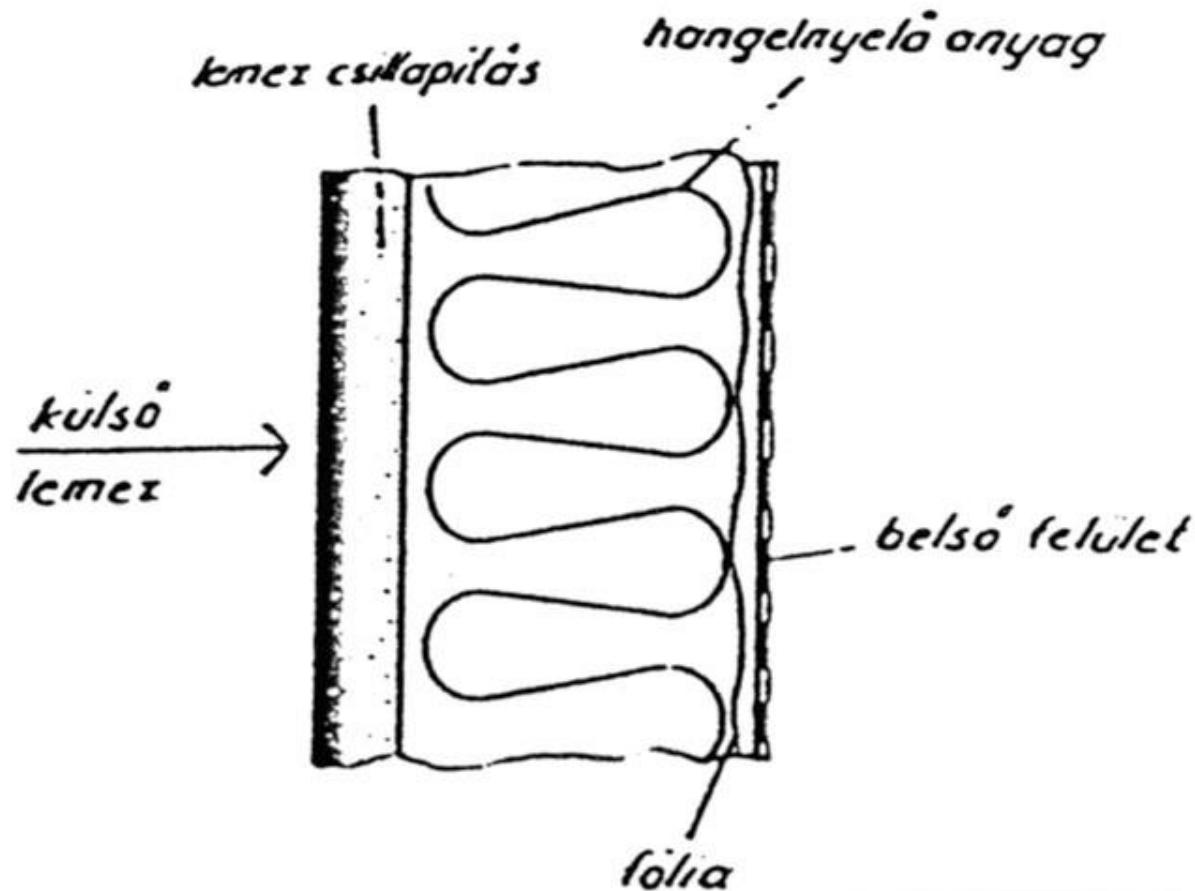
$S$  a tok felülete, [m<sup>2</sup>]

$S_e$  az elnyelő belső burkolat felülete, [m<sup>2</sup>]

$\bar{\alpha}$  a tok belső burkolatának átlagos elnyelési tényezője.

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

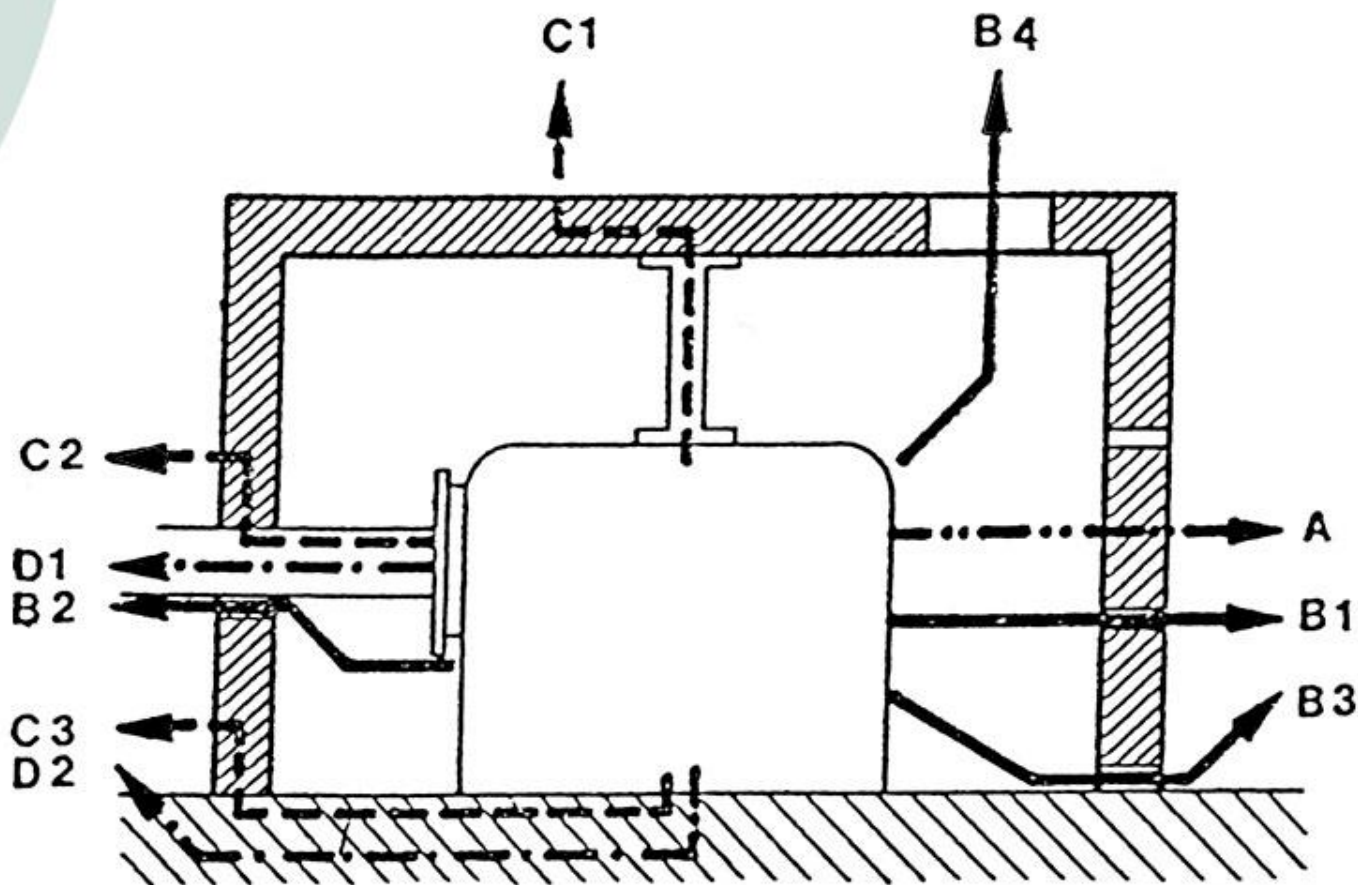
## Zajcsökkentő burkolatok és tokozások



Tokozások és fülkék tipikus, többrétegű falszerkezete

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

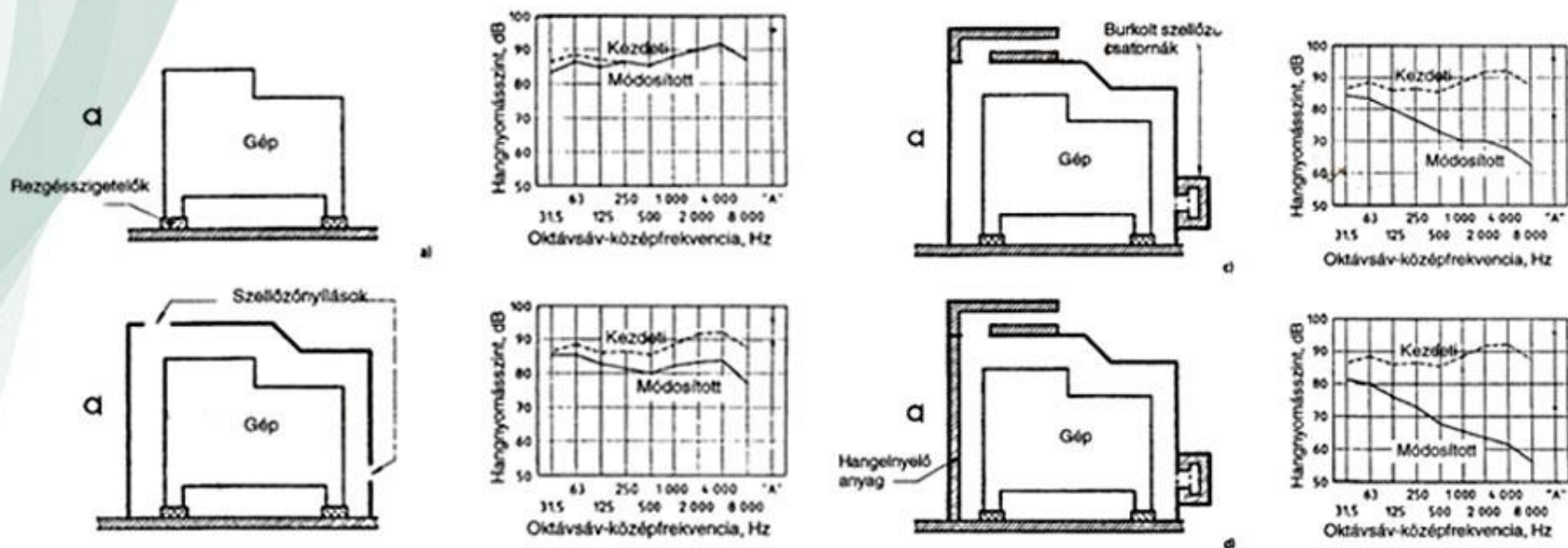
## Zajcsökkentő burkolatok és tokozások



## Géptokozás kialakításának tipikus akusztikai hibái

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

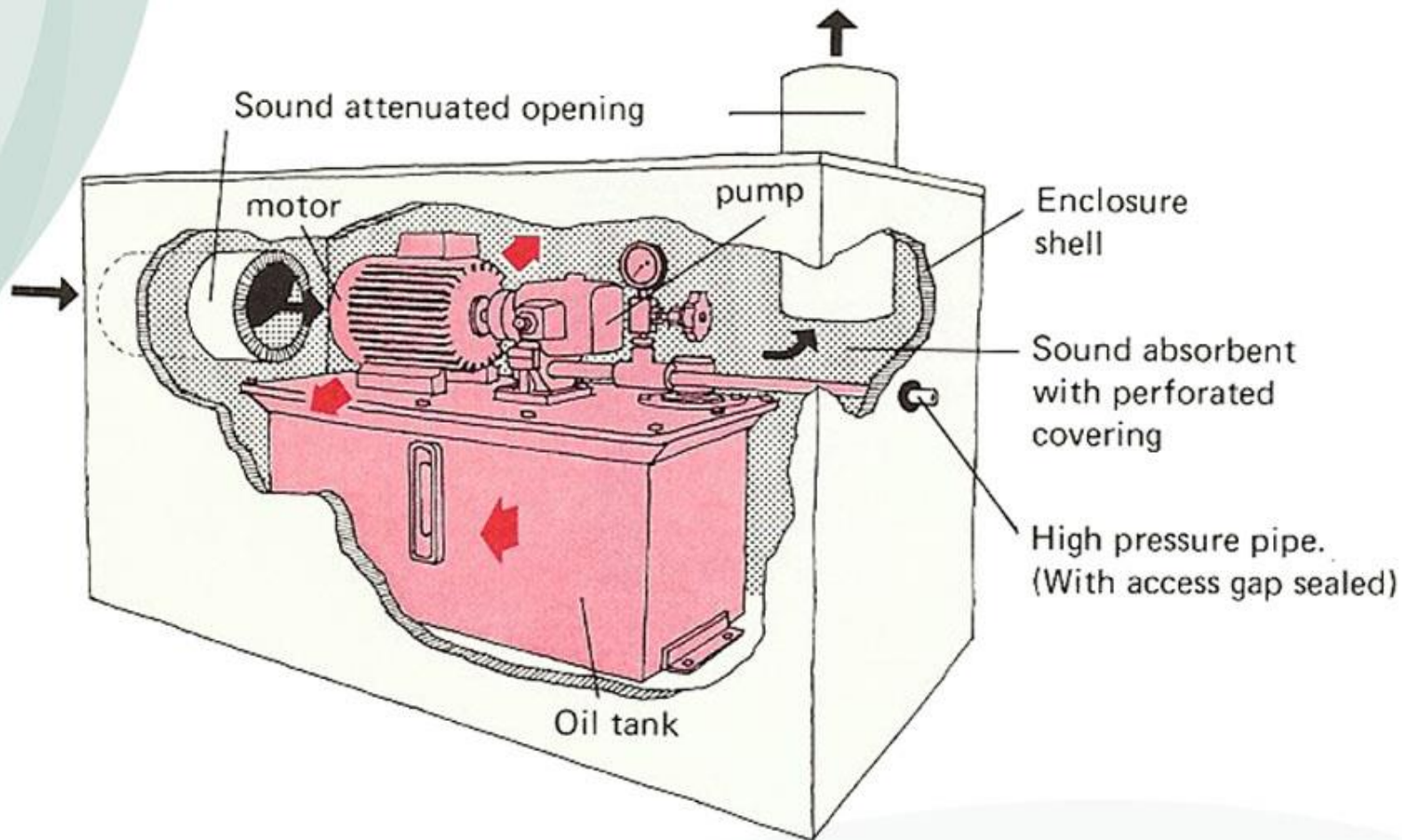
## Zajcsökkentő burkolatok és tokozások



A tokozás kialakításának hatása a beiktatási veszteségre

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

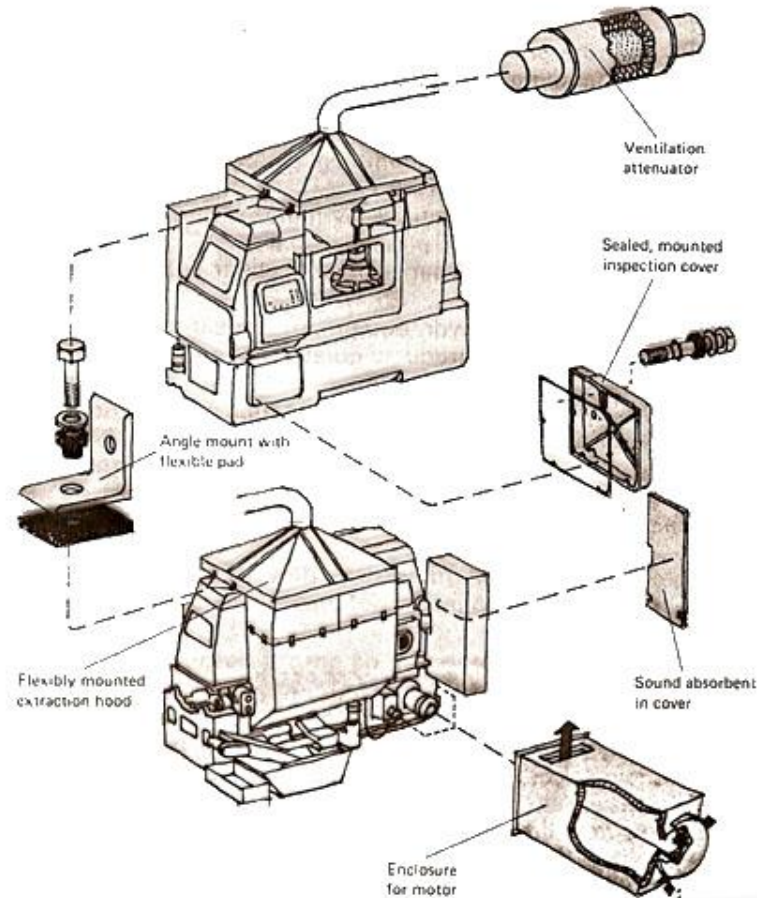
## Zajcsökkentő burkolatok és tokozások



**Példa: hidraulikus tápegység tokozása**

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

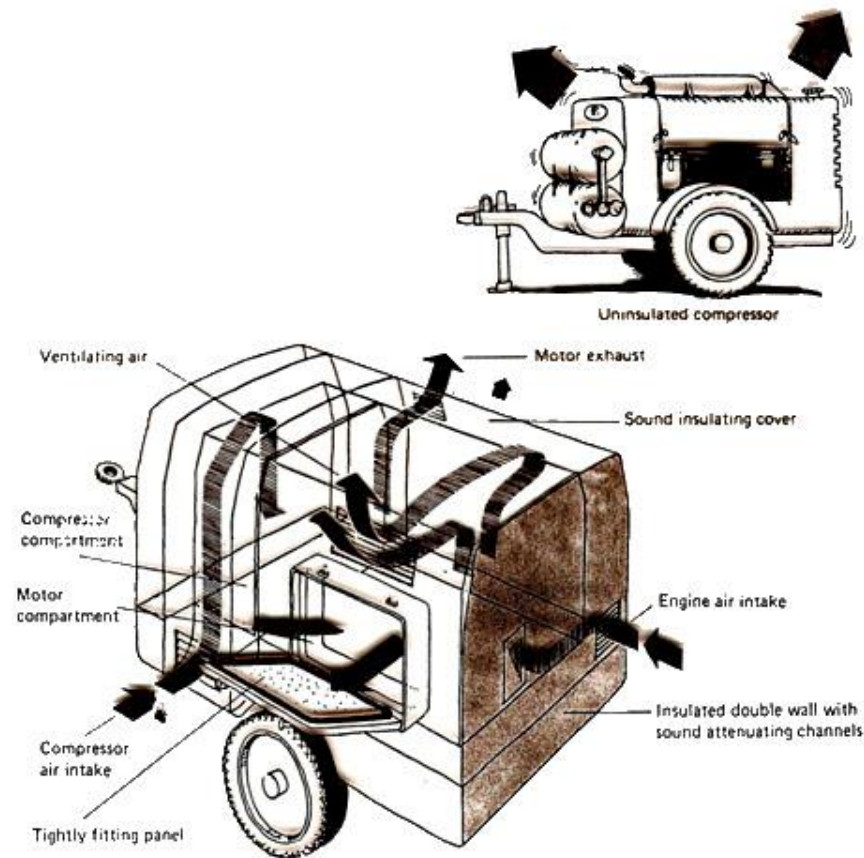
## Zajcsökkentő burkolatok és tokozások



**Példa: bonyolult gép zajcsökkentő tokozása**

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

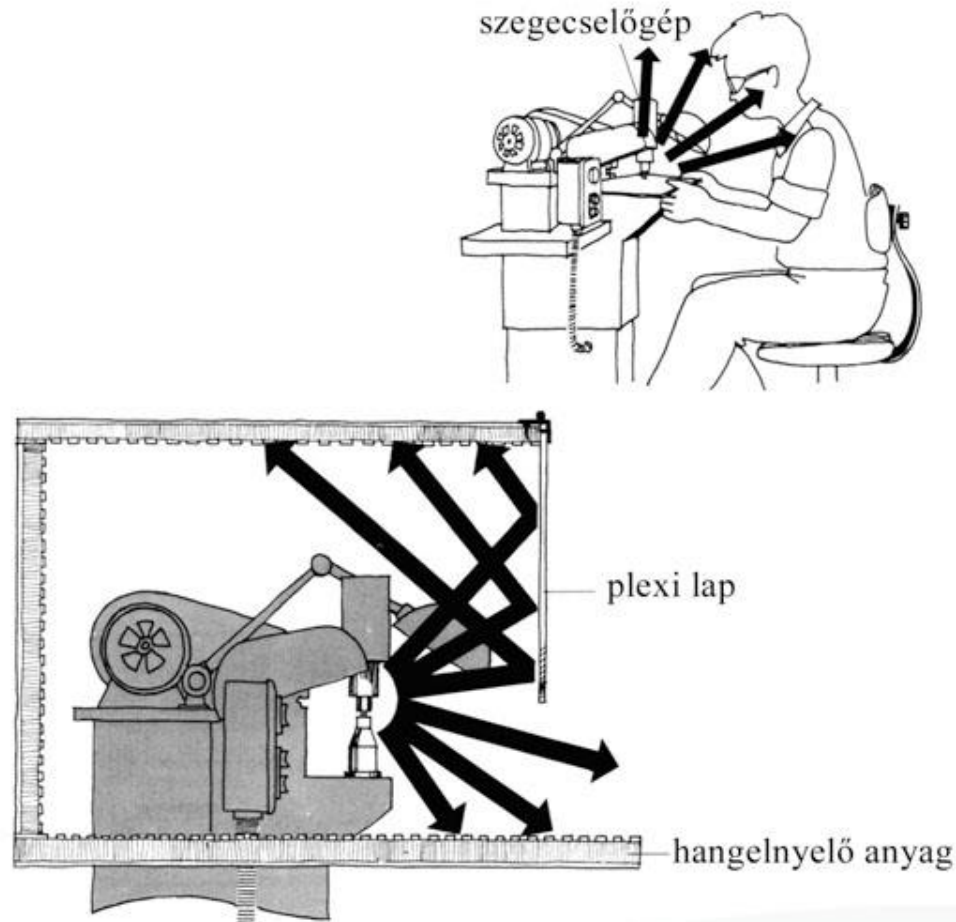
## Zajcsökkentő burkolatok és tokozások



## Mobil kompresszor zajcsökkentő burkolása

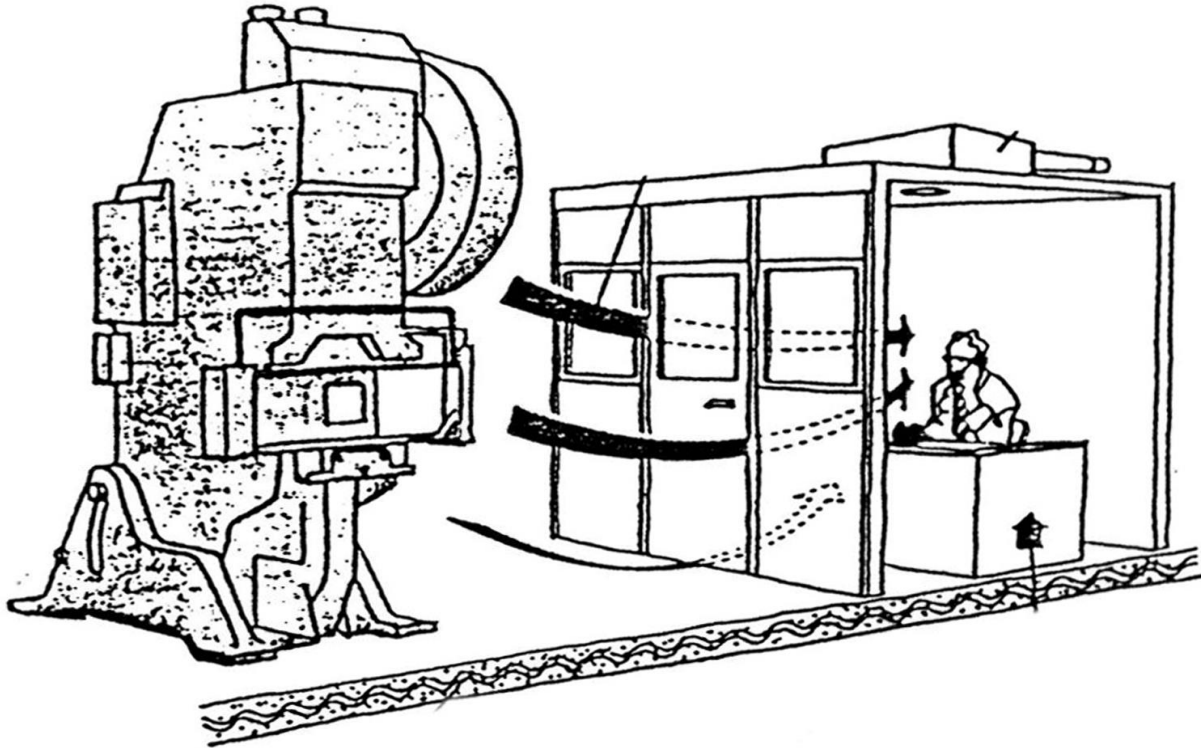
# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Zajcsökkentő burkolatok és tokozások



### Részleges zajcsökkentő tokozás

# A zajcsökkentés műszaki módszerei



**Zajcsökkentő kezelő fülkék**

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Zajcsökkentő kezelő fülkék

A zajcsökkentő fulke kialakításának szempontjai:

- Méretezett rezgéscsillapítással kell telepíteni;
- Lényeges az ajtók és az ablakok helyes akusztikai méretezése és kivitelezése (két, vagy többretegű ablakok, résszigetelés, megfelelő hanggátlású ajtó, stb.);
- Gondoskodni kell a folyamatos légcseréről, fűtésről, klimatizálásról. Mindezeket akusztikailag is kezelni kell!
- Figyelembe kell venni mindazon előírásokat és követelményeket, amelyek a munkahelyek létesítésére vonatkoznak (légtér, világítás, klímaviszonyok, színdinamika).

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Zajcsökkentő kezelő fülkék

A zajcsökkentő fülke határoló szerkezeteit úgy kell méretezni, hogy a falak eredő hanggátlása ( $R_e^*$ ) a következők szerint számított legyen:

$$R_e^* \geq L_K - L_B + 10 \lg \frac{S}{V} + 10 \lg T - 8 \text{ [dB]}$$

ahol:

$R_e^*$ : a választott szerkezet eredő hanggátlása, a tömör falak, ablakok, ajtók, szellőzés és nyílások figyelembe vételével [dB];

$L_K$ : a zajos helyiség fülkén kívüli zajszintje [dB];

$L_B$ : a fülke rendelet szerint előírt belső zajszintje [dB] (kezelő fülke esetében 65 dB, vezénylő fülke esetében 70 dB);

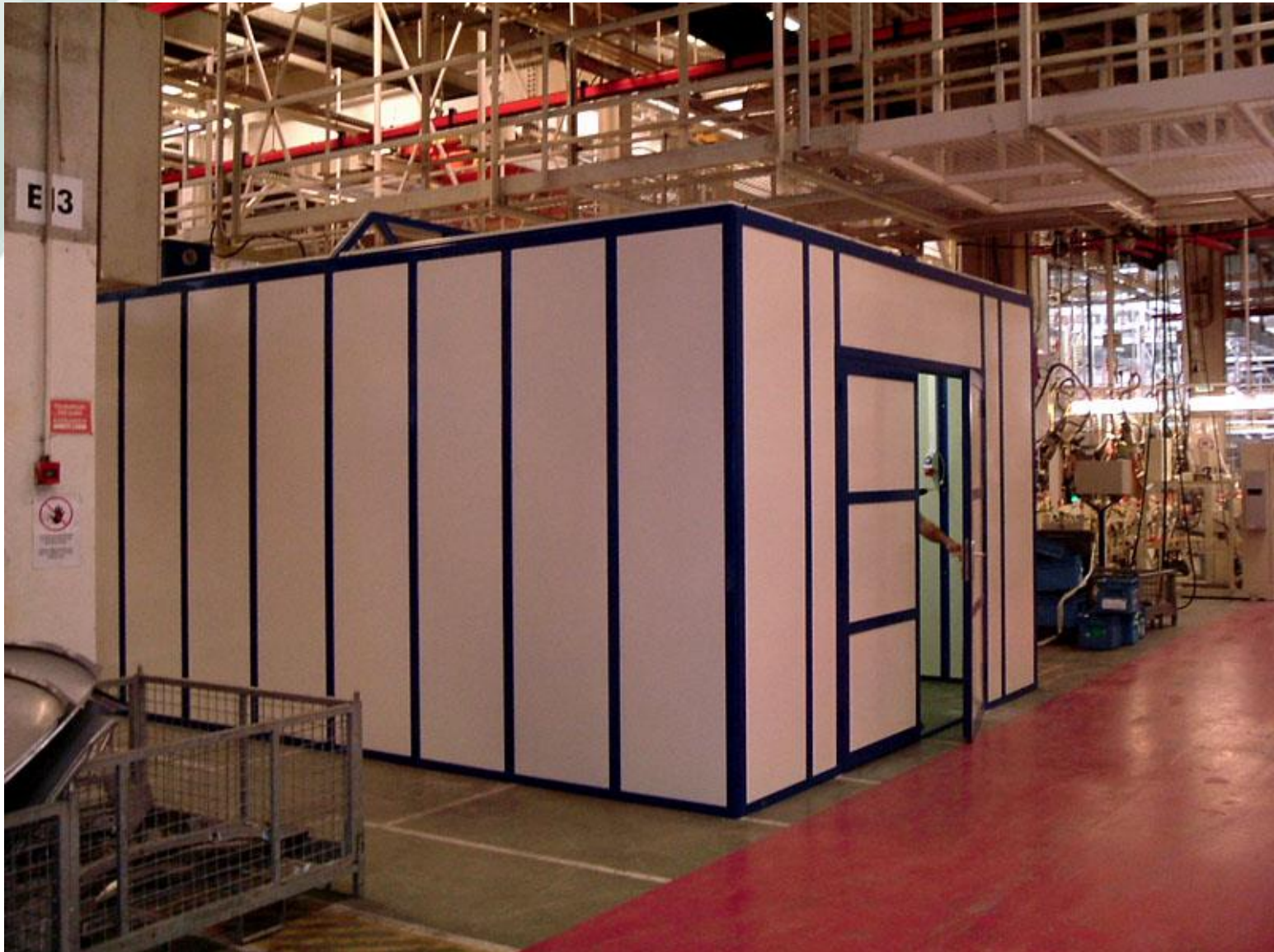
$S$ : a fülke határoló felülete [ $\text{m}^2$ ];

$V$ : a fülke térfogata [ $\text{m}^3$ ];

$T$ : a fülke belső utózengési ideje [s].

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Zajcsökkentő kezelő fülkék



# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Zajcsökkentő kezelő fülkék



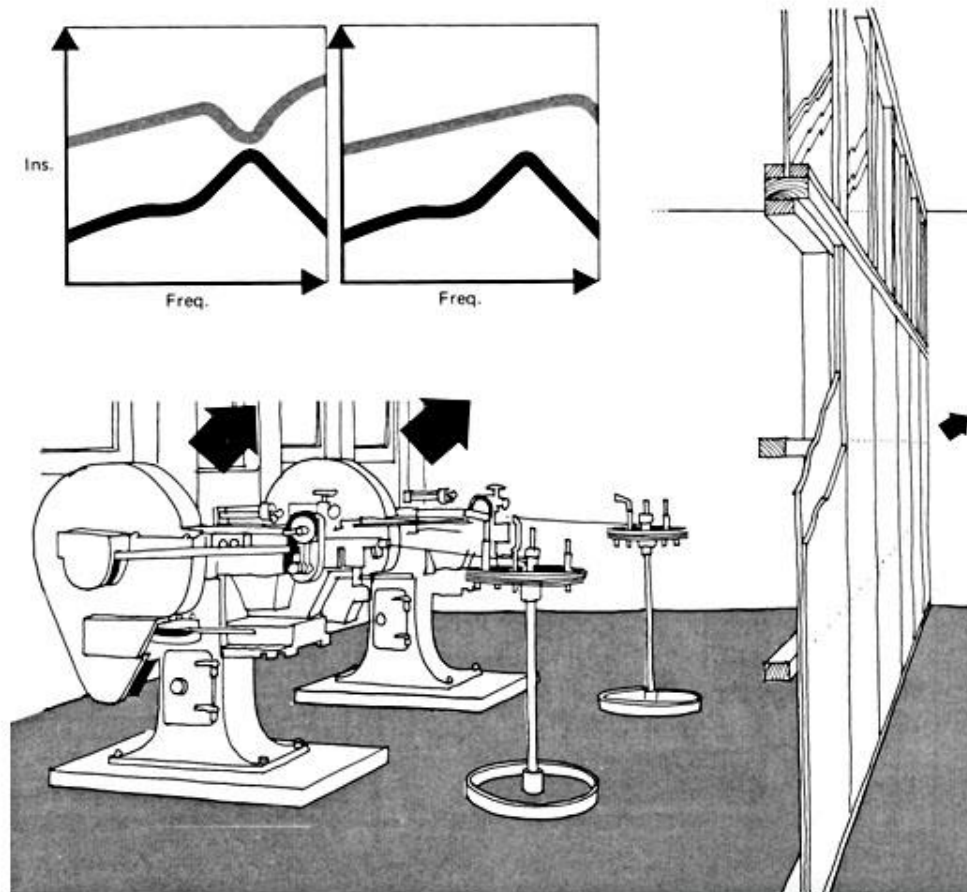
# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Zajcsökkentő kezelő fülkék



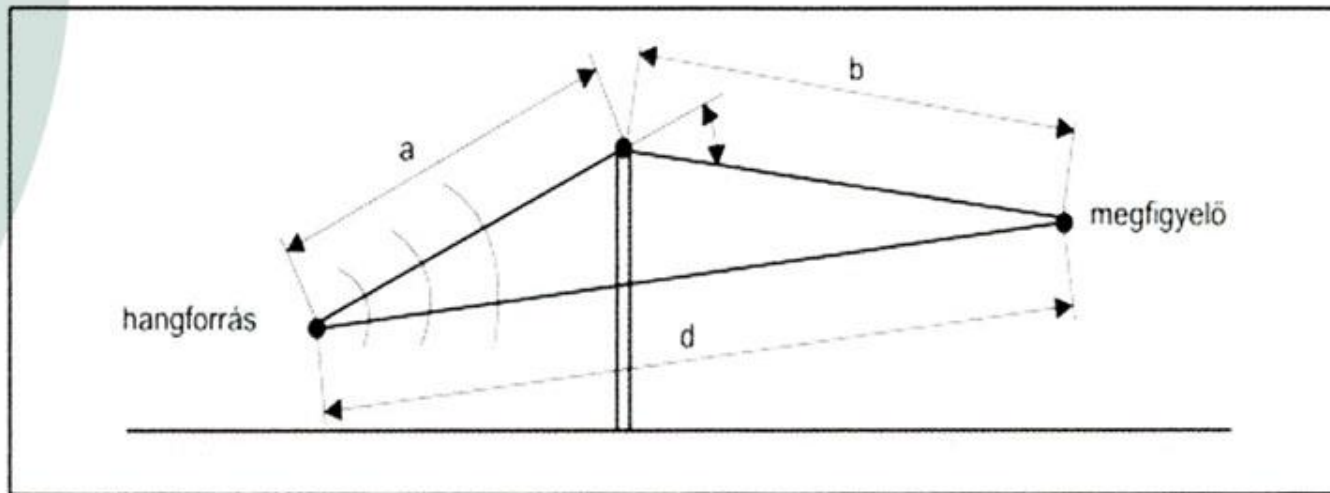
# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Zajcsökkentés árnyékolással



**Utólagos térelválasztás a zajos és védendő terek elválasztására**

# Zajcsökkentés árnyékolással



$$\Delta L_b = L_{fa\text{lnélkül}} - L_{fallal}$$

$$\Delta L_b = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi \cdot N}}{\operatorname{tgh} \sqrt{2\pi \cdot N}} + 5 \text{ [dB]}$$

ahol:

$\Delta L_b$ : a fal beiktatási vesztesége [dB];

N: a Fresnel-szám, mely az alábbiak szerint határozható:

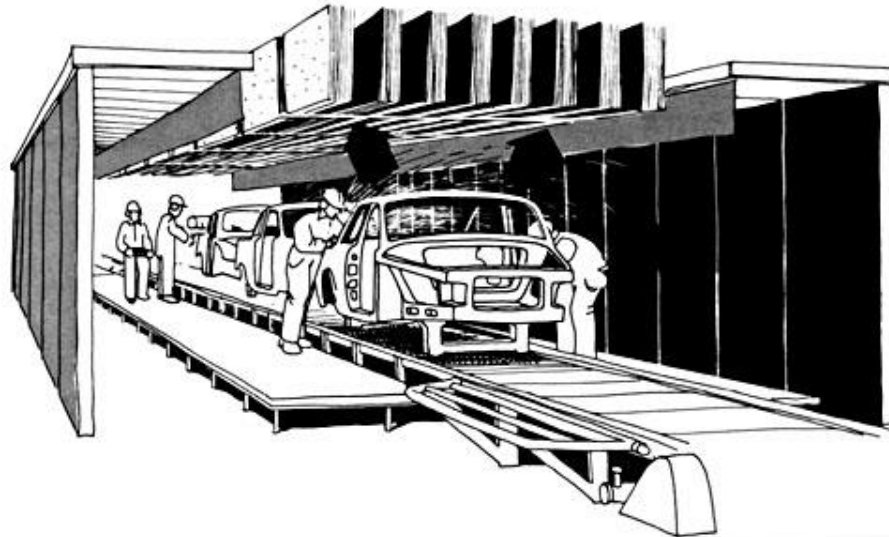
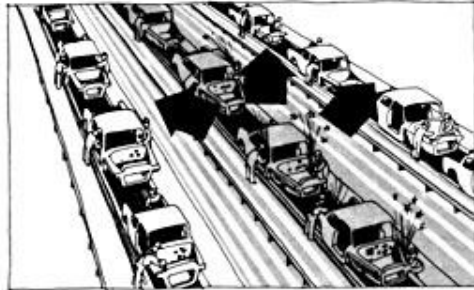
$$N = \frac{2}{\lambda} (a + b - d)$$

ahol:

$\lambda$ : a hullámhossz [m];

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Zajcsökkentés árnyékolással

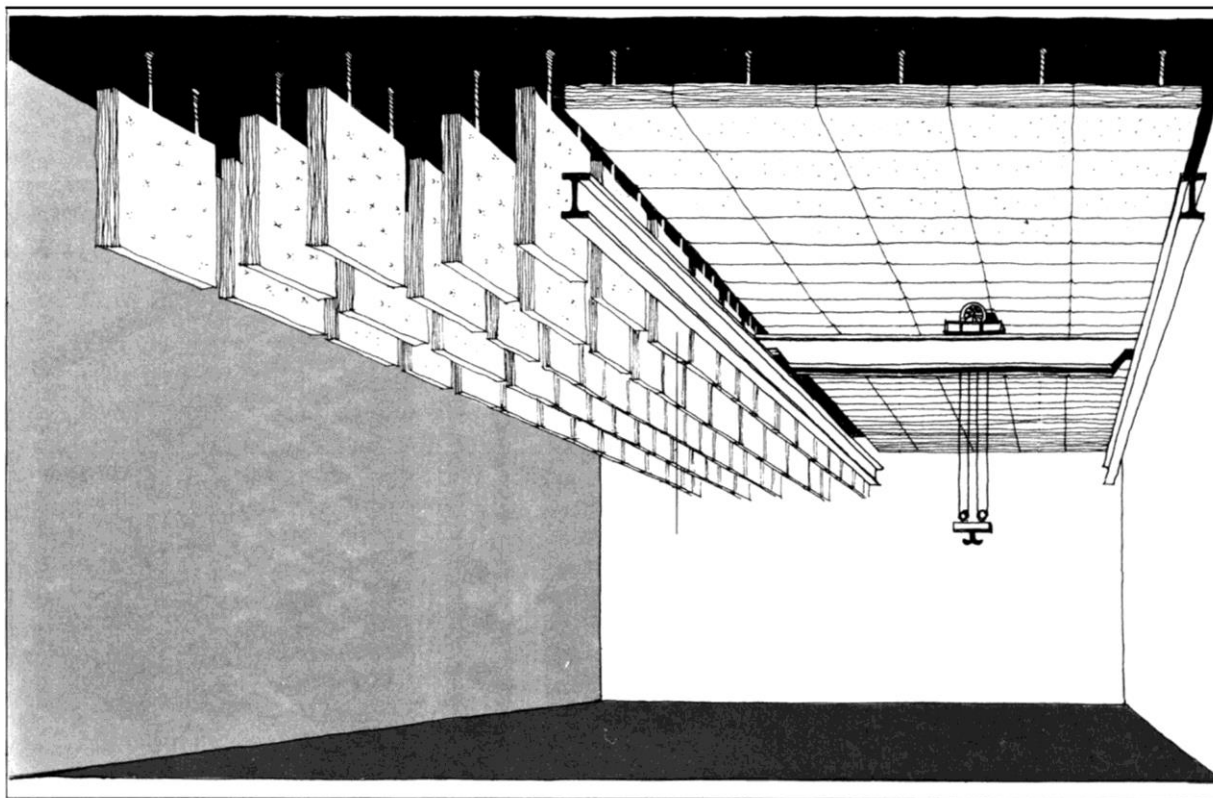


**Zajos és nem zajos gyártósorok elválasztása**

# A zajcsökkentés műszaki módszerei

## Teremakusztikai megoldások

A térben észlelhető csillapítás:  $\Delta L = 10 \lg \frac{\bar{\alpha}_2}{\bar{\alpha}_1}$



**Hangelnyelő falborítások, mennyezetborítás, vagy álmennyezet, belógatott hangelnyelő szerkezetek.**

# EGYÉNI ZAJVÉDŐ ESZKÖZÖK

## Zajvédő fültokok

Zajvédő fültokok

Különálló fültokok,  
merev vagy lágy  
rögzítéssel

Sisakba vagy más  
védőberendezésbe  
szerelt fültokok

## Hallásvédők

Többször használható  
hallásvédők

Egyszer használható  
hallásvédők

## Zajvédő sisakok

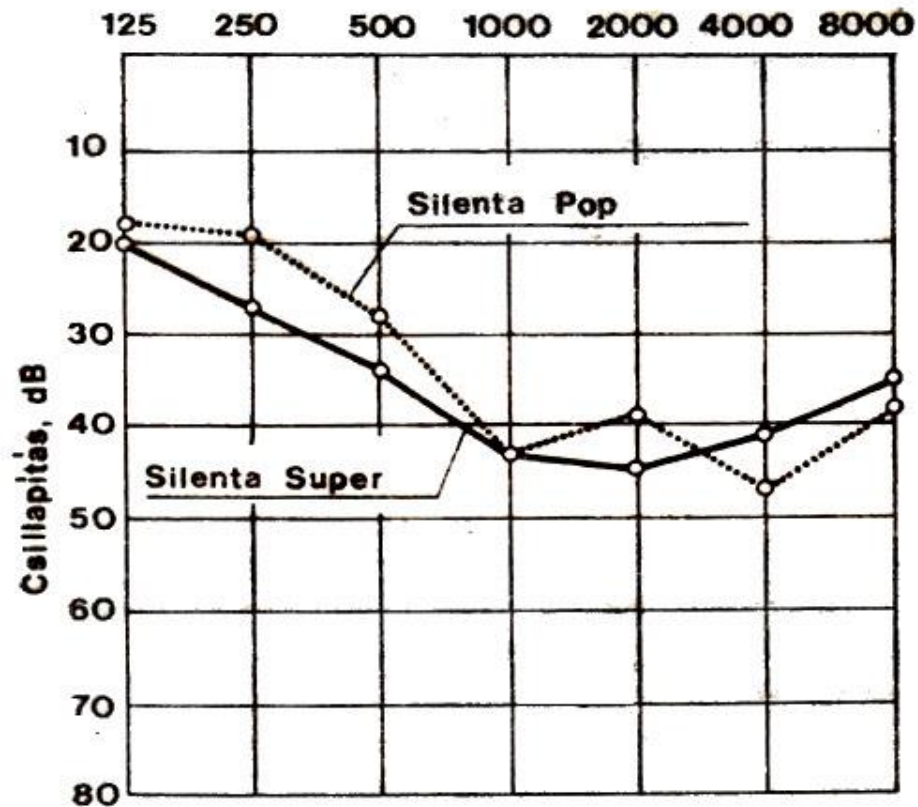
## Zajvédő ruhák

Kialakított hallásvédő  
füldugók

Alakítható hallásvédő  
füldugók

Szálas anyagú  
hallásvédő vatták

# Zaj ellen védő egyéni védőeszközök



Oktávsávcsillapítási görbe

# Zaj ellen védő egyéni védőeszközök

Hallásvédő eszköz kiválasztása a 66/2005.(XII.22.) EüM rendelet alapján az un. SNR módszerrel:

$$L_{AM} = L_{Ceq} - SNR$$

ahol:

$L_{Ceq}$ : az értékelési időre meghatározott egyenértékű C-hangnyomás szint;

SNR: az alkalmazott egyéni hallásvédő legalább eszköz 80%-os szinten számított hangcsillapítása, azaz  $x \geq 80 \% (SNR_{80})$

- Zajvédő fültok: MSZ EN 352-1:2003.
- Zajvédő füldugó: MSZ EN 352-2:2003.
- Zajvédő védősisak: MSZ EN 352-3:2003.

# A szakemberek feladatai a zaj- és rezgésvédelem területén

