

# A hang

## A szellőzés nem szükségszerűen zajos!

Ha használjuk a józan eszünket, valamint gondosan és jó elemekből építjük fel a szellőztető rendszert, akkor elkerülhetjük a problémákat és panaszokat.

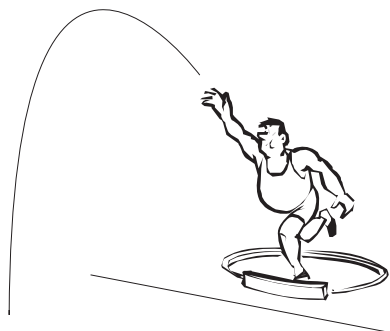
A ventilátor zajt kelt, ez ellen nem tehetünk semmit. Azonban megakadályozhatjuk, hogy a zaj a ventilátortól a légtechnikai rendszeren keresztül a zajtól védendő térbe jusson – elnyelethetjük és csillapíthatjuk a zajt az ide vezető úton.

Ez a leírás nem arról szól, hogyan kell méretezni és zajt csillapítani a légtechnikai rendszert, ezek megtalálhatók szakkönyvekben.

### Forrás

#### Hullámok a víz felületén

Bedobunk egy követ egy tükörsima vízfelületbe.



#### Hullámok a levegőben

Elsütünk egy pisztolyt.



Ez a leírás ismerteti néhány egyszerű szabályt és ad néhány tippet, melyek a józan ész alapján, egyszerűbb esetekben elegendőek.

Ahhoz, hogy a kiválaszthassuk a megfelelő alapvetet és a megfelelő elemeket, szükségünk van némi alapvető tudásra, hogy hol és hogyan keletkezik, terjed és csillapodik a zaj a rendszerben. Egy egyszerű hasonlattal élve: a hangterjedés egy hullámmozgás, amely közegben terjed, például levegőben, és amely láthatatlan számunkra. Ez nagyon hasonló ahhoz, ahogy a vízben terjednek a hullámok.

Egy egyszerű analógiával könnyebben megérthetjük, hogyan csillapítható a hang:

### Terjedés

#### Hullámok a víz felületén

A víz hullámok a felszínen egyre nagyobb koncentrikus körökben terjednek a centrumtól, ahol a kő becsapódott.



#### Hullámok a levegőben

A hanghullámok terjednek a levegőben minden irányban egyre nagyobb gömbfelületen a centrumtól, azaz a pisztolytól.



# A hang

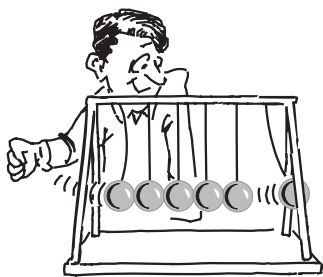
## Energiaátvitel

### Hullámok a víz felületén

A mozgási energia molekuláról molekulára terjed a vízben, egymásnak ütköznek és egymástól visszapattannak. A molekulák ide-oda mozognak, az energia terjed a forrásból.

### Hullámok a levegőben

A mozgási energia molekuláról molekulára terjed a vízben, egymásnak ütköznek és egymástól visszapattannak. A molekulák ide-oda mozognak, az energia terjed a forrásból.



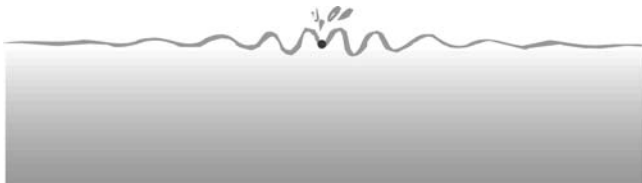
## Távolság

### Hullámok a víz felületén

Amikor a vízhullámok eltávolodnak a centrumtól – a kő becsapódási pontjától, – a hullám magassága egyre kisebb lesz, míg végül nem látjuk, és a vízfelület ismét sima lesz.

### Hullámok a levegőben

Amikor a hanghullámok eltávolodnak a hangforrástól – a pisztolytól, – a hullám magassága egyre kisebb lesz és a hang egyre gyengébb lesz, míg végül nem halljuk.



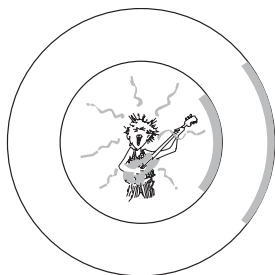
## Intenzitás

### Hullámok a víz felületén

Az az energia, amely elindította a hullámterjedést, vagy az az erő, ami ahhoz szükséges, hogy a terjedést megtartsa, egyre nagyobb felületen oszlik el, ahogy a távolság, a sugár nő.

### Hullámok a levegőben

Az az energia, amely elindította a hullámterjedést, vagy az az erő, ami ahhoz szükséges, hogy a terjedést megtartsa, egyre nagyobb felületen oszlik el, ahogy a távolság, a sugár nő.



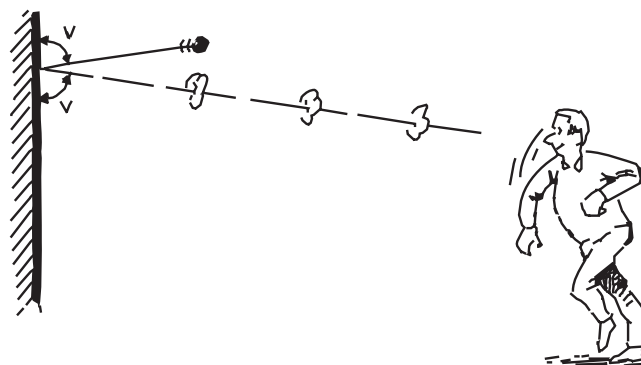
## Akadály az útban

### Hullámok a víz felületén

Ha a vízhullámok nekiütköznek egy hajó oldalának vagy egy mólónak, visszaverődnek ugyanabban a szögben, amilyenben az akadálynak ütköznek.

### Hullámok a levegőben

Ha a hanghullámok nekiütköznek egy falnak, visszaverődnek ugyanabban a szögben, amilyenben az akadálynak ütköznek.



Ugyanúgy, mint amikor a falhoz dobunk egy labdát.

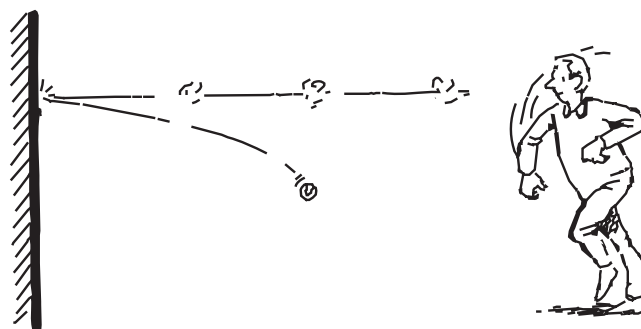
## Energiavesztesség

### Hullámok a víz felületén

A visszavert hullám magassága amplitúdója kisebb, mint a becsapódó hullámé. A mólóval történő ütközés során elnyelődik a mozgási energia egy része a fal anyagában (és hővé alakul).

### Hullámok a levegőben

A visszavert hullám magassága amplitúdója kisebb, mint a becsapódó hullámé. A mólóval történő ütközés során elnyelődik a mozgási energia egy része a fal anyagában (és hővé alakul).



A labda lassabban mozog, amikor visszafelé pattan, mint amikor eltalálja a falat.

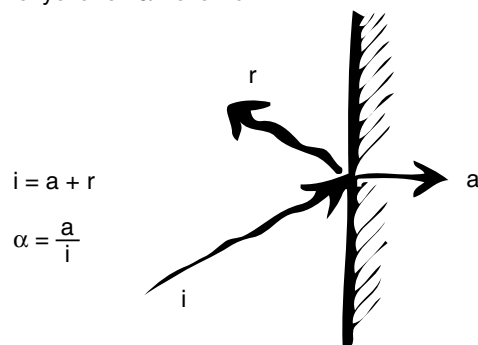
# A hang

## A hangenergiát el lehet nyeletni

Amikor a hanghullámok egy lágy vagy porózus fallal találkoznak (pl. ásványgyapot, stb.), a rezgő levegőmolekulák behatolnak a külső rétegekbe, és ott lefékeződnek az anyag-szálakkal történő súrlódás során.

A hangenergiának ez a része, amely ily módon elnyelődik, hővé alakul az anyagban és a többi visszaverődik a térbe. Ezt a fajta tompítást, amikor a hangot egy lágy anyag külső részén fékezzük le „porózus elnyeletésnek” nevezzük.

A különböző anyagok különböző módon hatásosak a hangelnyeletés terén. Ezt a fajta tulajdonságot hangelnyelési tényezőnek  $\alpha$  nevezzük.



Ha semmi nem nyelődik el, hanem minden visszaverődik  $a = 0$  lesz, következésképpen  $\alpha = 0$

$$i = 0 + r\alpha = \frac{0}{i} = 0$$

Ha minden elnyelődik és semmi nem verődik vissza, úgy  $r = 0$ , következésképpen  $\alpha = 1$ :

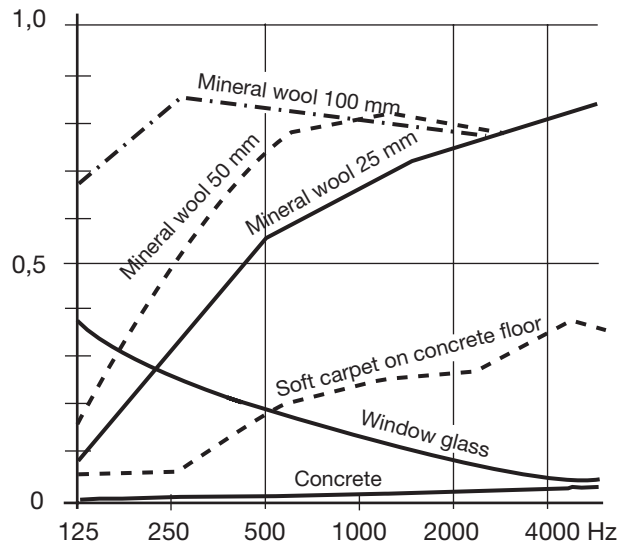
$$i = a + 0\alpha = \frac{a}{a} = 1$$

Egy nyitott ablakra mondhatjuk, hogy  $\alpha = 1$ , minden hang, ami a szobából jön és a nyitott ablakkal találkozik, kint eltűnik.

Kemény anyagokon, például, beton vagy márvány felületeken, szinte semmi hangenergia nem nyelődik el, hanem visszaverődik, itt az  $\alpha$  érték nulla lesz. Olyan helyiségekben, ahol kemény felületek vannak, a hang hosszasan visszaverődik, mielőtt elhal. A helyiségnek hosszú utóhangja van, és így erős és zavaró visszhangot kapunk. A hangszint normál hangforrásból is magas lesz.

Lágy anyagokban, például vastag ásványgyapot lapokban, ugyanez ellentétes módon történik, az  $\alpha$  érték 1-hez közeli lesz. Néha a túlságosan elnyelő, lágy helyek nem megfelelőek – „Az ember nem hallja a saját hangját!” Elkerülve a szélsőségeket, a helyiség funkciójához kell igazítani az utóhangési időt.

$\alpha$ -value



A hang egy légtechnikai rendszerben az áramlás irányával és azzal ellentétesen is hasonlóan könnyen mozog.

A hang, ami egy csatornarendszeren keresztül mozog, többféle módon nyelődik el. Kezdjük a bevonat nélküli csatornalemezzel.

## Még a csatornalemez is csillapít – de csak kevésbé

Amikor a csatornalemez találkozik a hanghullámmal, elkezd rezegni a hang frekvenciájával azonos ütemben.

A mozgások normális esetben nagyon kicsik és szemmel alig láthatók (viszont gyakran könnyebb érezni a rezgést az ujjunkkal megérintve a lemezt).

Ugyanez történik, amikor egy ablak rezegni kezd, amikor egy nehéz teherautó halad el az utcán.

A csatornalemez, és az ablak úgy viselkednek, mint membrán-abszorbensek, lemezek, amelyek rezgésbe jönnek a beérkező hangenergia által. De a mozgások nem történnek súrlódásmentesen, így ezek lefékeződnek a rugalmassági ellenállás által részben a lemezben, de mindenekelőtt a lemez peremei csatlakozásainál. Mint a korrábiakban a porózus elnyeletésnél, a hangenergia egy része hővé alakul – a hang, ami megmarad gyengül és eltompul.

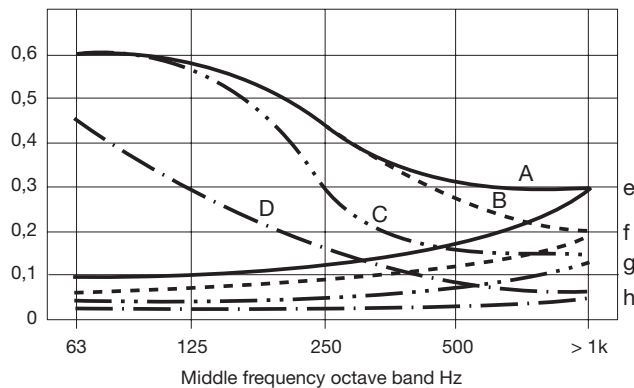
Adott szabad keresztmetszetű csatornafelületek esetében egy kör keresztmetszetű spirálkorcolt légcsatorna merevebb, mint egy négyszög keresztmetszetű, így kevésbé tompít.

Amint a következő oldalon szereplő ábrából kitűnik, a csillapítás a szigetetlen csatornák esetében meglehetősen csekély. Ezért általában ezt nem vesszük figyelembe, amikor egy rendszer zajszintjét számoljuk, hanem biztonsági tartalékként használjuk.

# A hang

## Csillapítás egyenes acéllemez csatornáknál (1 mm lemezvastagság)

Attenuation  
dB per m

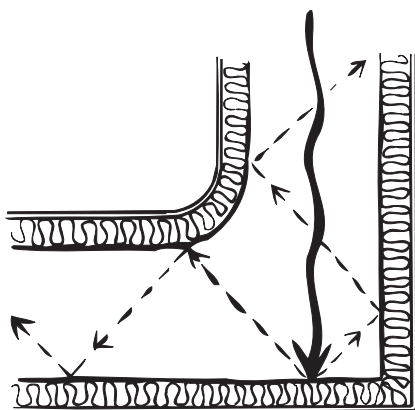


| Duct dimensions               |             |             |             |  |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|--|
| Rectangular sheet metal ducts |             |             |             |  |
| □ 75–200                      | 200–400     | 400–800     | 800–1000    |  |
| A —————                       | B - - - - - | C . . . . . | D — · — · — |  |
| Circular sheet metal ducts    |             |             |             |  |
| Ø75–200                       | 200–400     | 400–800     | 800–1600    |  |
| e —————                       | f - - - - - | g . . . . . | h — · — · — |  |

### A hangelnyelés hatékonyabb

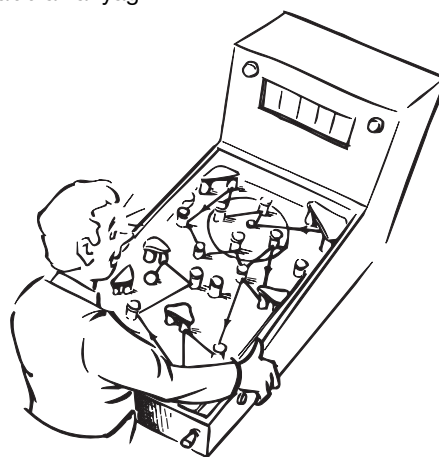
A csillapítás hatékonyabb lesz, ha hangelnyelő anyagot teszünk a légcsatorna rendszerbe. A hang csillapítását már előzőleg leírtuk, a hangenergia egy részét az elnyelő anyag veszi fel, melynek a hang nekiütközik.

Ha a hanghullámok megfelelően sokszor verődnek vissza a porózus felületeken, a megmaradt hangenergia, a mozgási energia, mely megrezgeti a dobhártyánkat, megfelelően alacsony, hogy minket ne zavarjon!

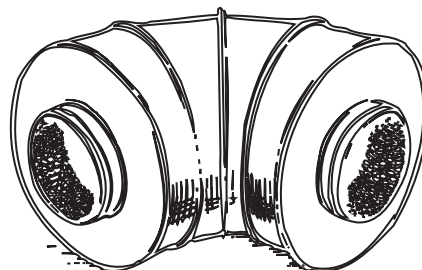


## Hova helyezzük az hangelnyelő anyagot a légcsatornában?

A válasz adott – oda, ahol az anyagot a legtöbb hanghullám éri. A hang, amelyik egy hosszú bevonat nélküli légcsatornában terjed, továbbhalad azáltal, hogy a csatornafalaknak ütközik. Itt az elnyelő anyagot kevésbé célszerű használni, mint könyökidomokban, vagy pl. nyomókamrában, esetleg egyenes légcsatornában közvetlenül a ventilátor után, más szóval oda, ahol „turbulens hangáramlást” tapasztalunk. Minél többször ütődik a hang a puha felületeknek, annál hasznosabb az anyag.



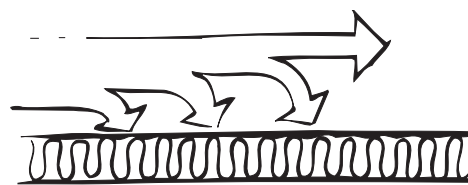
### Ezért olyan hatékony az íves BSLCU hangcsillapító!



### Az egyenes hangcsillapító koncentrálja az elnyelő anyagot

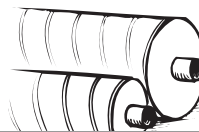
Kiegészítésként a hanghullámokról a fent leírtakhoz. Amikor a hanghullámok előre haladnak egy porózus felület mentén, elhajolnak a felület felé. Ezt az elhajlást „diffrakció”-nak nevezzük.

Ezt, a hangterjedéssel együtt, bizonyos turbulencia mozgatja és ez okozza azt, hogy az egyenes hangcsillapítók is nagy elnyelési képességgel rendelkezhetnek.



# A hang

Mint láthatjuk az értékekből, például az SLCU 50 és SLCU 100 esetében, hogy a csillapítás néhány egyszerű szabály szerint változik:



Az alacsony frekvenciák csillapítására (<500 Hz) vastagabb elnyelő anyagra van szükségünk – SLCU 100 hatékonyabb, mint az SLCU 50.

## SLCU 50

| Ød <sub>1</sub><br>nom | l<br>mm | Attenuation in dB for centre frequency Hz |     |     |     |    |    |    |    |
|------------------------|---------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                        |         | 63                                        | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
| 80                     | 300     | 5                                         | 5   | 8   | 15  | 28 | 29 | 23 | 16 |
| 80                     | 600     | 5                                         | 7   | 12  | 26  | 41 | 50 | 48 | 24 |
| 80                     | 900     | 5                                         | 9   | 17  | 37  | 50 | 50 | 50 | 32 |
| 80                     | 1200    | 6                                         | 11  | 21  | 49  | 50 | 50 | 50 | 40 |
| 100                    | 300     | 2                                         | 2   | 6   | 14  | 21 | 25 | 20 | 11 |

## SLCU 100

| Ød <sub>1</sub><br>nom | l<br>mm | Attenuation in dB for centre frequency Hz |     |     |     |    |    |    |    |
|------------------------|---------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                        |         | 63                                        | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
| 80                     | 300     | 10                                        | 8   | 10  | 16  | 21 | 27 | 24 | 16 |
| 80                     | 600     | 12                                        | 13  | 19  | 27  | 37 | 50 | 46 | 24 |
| 80                     | 900     | 14                                        | 18  | 28  | 38  | 50 | 50 | 50 | 33 |
| 80                     | 1200    | 16                                        | 23  | 37  | 49  | 50 | 50 | 50 | 42 |
| 100                    | 300     | 5                                         | 4   | 11  | 14  | 18 | 24 | 20 | 11 |

A magas frekvenciák csillapítására (>500 Hz) elég a vékonyabb elnyelő anyagok alkalmazása. Az SLCU 50 hasonlóan hatékony, mint az SLCU 100.

## SLCU 50

| Ød <sub>1</sub><br>nom | l<br>mm | Attenuation in dB for centre frequency Hz |     |     |     |    |    |    |    |
|------------------------|---------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                        |         | 63                                        | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
| 80                     | 300     | 5                                         | 5   | 8   | 15  | 28 | 29 | 23 | 16 |
| 80                     | 600     | 5                                         | 7   | 12  | 26  | 41 | 50 | 48 | 24 |
| 80                     | 900     | 5                                         | 9   | 17  | 37  | 50 | 50 | 50 | 32 |
| 80                     | 1200    | 6                                         | 11  | 21  | 49  | 50 | 50 | 50 | 40 |
| 100                    | 300     | 2                                         | 2   | 6   | 14  | 21 | 25 | 20 | 11 |

## SLCU 100

| Ød <sub>1</sub><br>nom | l<br>mm | Attenuation in dB for centre frequency Hz |     |     |     |    |    |    |    |
|------------------------|---------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                        |         | 63                                        | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
| 80                     | 300     | 10                                        | 8   | 10  | 16  | 21 | 27 | 24 | 16 |
| 80                     | 600     | 12                                        | 13  | 19  | 27  | 37 | 50 | 46 | 24 |
| 80                     | 900     | 14                                        | 18  | 28  | 38  | 50 | 50 | 50 | 33 |
| 80                     | 1200    | 16                                        | 23  | 37  | 49  | 50 | 50 | 50 | 42 |
| 100                    | 300     | 5                                         | 4   | 11  | 14  | 18 | 24 | 20 | 11 |

Minél hosszabb a hangcsillapító, annál nagyobb a csillapítása. SLCU l = 600 mm jobban csillapít, mint SLCU l = 300 mm.

## SLCU 50

| Ød <sub>1</sub><br>nom | l<br>mm | Attenuation in dB for centre frequency Hz |     |     |     |    |    |    |    |
|------------------------|---------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                        |         | 63                                        | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
| 80                     | 300     | 5                                         | 5   | 8   | 15  | 28 | 29 | 23 | 16 |
| 80                     | 600     | 5                                         | 7   | 12  | 26  | 41 | 50 | 48 | 24 |
| 80                     | 900     | 5                                         | 9   | 17  | 37  | 50 | 50 | 50 | 32 |
| 80                     | 1200    | 6                                         | 11  | 21  | 49  | 50 | 50 | 50 | 40 |
| 100                    | 300     | 2                                         | 2   | 6   | 14  | 21 | 25 | 20 | 11 |

## FIGYELEM!

A csillapítás nem közvetlenül arányos a hosszal. Ennek az oka, hogy plusz csillapítás alakul ki a keresztmetszet változásnál és minden hangcsillapító esetében két ilyen van, a hosszától függetlenül.

Az elnyelő felületek közötti kisebb távolság növeli a csillapítást. Kisebb átmérőjű csillapítók jobban csillapítanak, mint a nagy átmérőjűek. SLCU Ø 80 jobban csillapít, mint SLCU Ø 250.

## SLCU 50

| Ød <sub>1</sub><br>nom | l<br>mm | Attenuation in dB for centre frequency Hz |     |     |     |    |    |    |    |
|------------------------|---------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                        |         | 63                                        | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
| 80                     | 300     | 5                                         | 5   | 8   | 15  | 28 | 29 | 23 | 16 |
| 80                     | 600     | 5                                         | 7   | 12  | 26  | 41 | 50 | 48 | 24 |
| 80                     | 900     | 5                                         | 9   | 17  | 37  | 50 | 50 | 50 | 32 |
| 80                     | 1200    | 6                                         | 11  | 21  | 49  | 50 | 50 | 50 | 40 |
| 100                    | 300     | 2                                         | 2   | 6   | 14  | 21 | 25 | 20 | 11 |

|     |      |   |   |   |    |    |    |    |    |
|-----|------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| 250 | 600  | 3 | 2 | 7 | 13 | 17 | 16 | 8  | 6  |
| 250 | 900  | 3 | 4 | 8 | 20 | 26 | 23 | 10 | 8  |
| 250 | 1200 | 4 | 5 | 9 | 26 | 35 | 30 | 12 | 10 |
| 315 | 600  | 0 | 2 | 6 | 11 | 14 | 9  | 4  | 5  |

Ebből az okból egy hangcsillapító extra kulisszával nagyobb csillapítást ad, mint egy hangcsillapító ugyanolyan méretben kulissza nélkül. Az SLCBU 100 nagyobb csillapítást ad, mint az SLCU 100.

## SLCU 100

| Ød <sub>1</sub><br>nom | l<br>mm | Attenuation in dB for centre frequency Hz |     |     |     |    |    |    |    |
|------------------------|---------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                        |         | 63                                        | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
| 80                     | 300     | 10                                        | 8   | 10  | 16  | 21 | 27 | 24 | 16 |
| 80                     | 600     | 12                                        | 13  | 19  | 27  | 37 | 50 | 46 | 24 |
| 80                     | 900     | 14                                        | 18  | 28  | 38  | 50 | 50 | 50 | 33 |
| 80                     | 1200    | 16                                        | 23  | 37  | 49  | 50 | 50 | 50 | 42 |
| 100                    | 300     | 5                                         | 4   | 11  | 14  | 18 | 24 | 20 | 11 |

|     |      |   |   |    |    |    |    |    |    |
|-----|------|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 250 | 900  | 7 | 7 | 15 | 18 | 25 | 23 | 10 | 9  |
| 250 | 1200 | 7 | 9 | 20 | 25 | 34 | 30 | 13 | 11 |
| 315 | 600  | 1 | 4 | 7  | 9  | 12 | 10 | 5  | 6  |
| 315 | 900  | 2 | 6 | 12 | 14 | 19 | 15 | 7  | 8  |
| 315 | 1200 | 2 | 8 | 16 | 18 | 26 | 21 | 9  | 10 |
| 400 | 600  | 1 | 5 | 5  | 5  | 7  | 4  | 4  | 4  |

## SLCBU 100

| Ød <sub>1</sub><br>nom | l<br>mm | Attenuation in dB for centre frequency Hz |     |     |     |    |    |    |    |
|------------------------|---------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                        |         | 63                                        | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
| 80                     | 300     | 10                                        | 8   | 10  | 16  | 21 | 27 | 24 | 16 |
| 80                     | 600     | 12                                        | 13  | 19  | 27  | 37 | 50 | 46 | 24 |
| 80                     | 900     | 14                                        | 18  | 28  | 38  | 50 | 50 | 50 | 33 |
| 80                     | 1200    | 16                                        | 23  | 37  | 49  | 50 | 50 | 50 | 42 |
| 100                    | 300     | 5                                         | 4   | 11  | 14  | 18 | 24 | 20 | 11 |

|     |      |   |   |    |    |    |    |    |    |
|-----|------|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 315 | 600  | 4 | 6 | 10 | 16 | 22 | 28 | 27 | 18 |
| 315 | 900  | 5 | 7 | 16 | 23 | 30 | 38 | 32 | 22 |
| 315 | 1200 | 7 | 9 | 23 | 30 | 38 | 47 | 37 | 25 |
| 400 | 600  | 4 | 5 | 7  | 9  | 13 | 16 | 15 | 13 |

# A hang

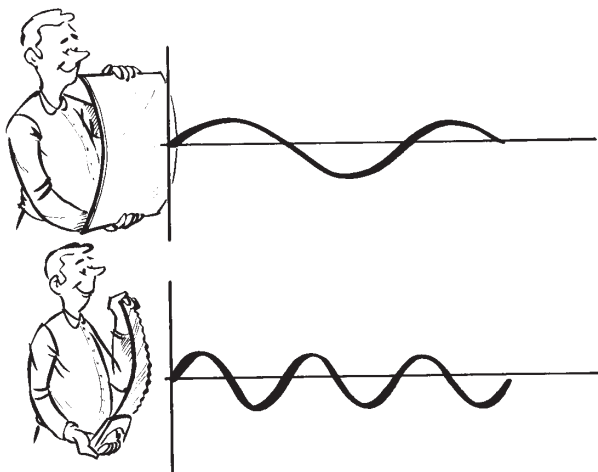
## A zaj frekvenciája befolyásolja a hangcsillapító kiválasztását.

Ahogy azt a fenti táblázatokból is látjuk, a csillapítási képesség változik a hang frekvenciájával. Mielőtt belekezdenénk a csillapító kiválasztásába, hasznos lehet a frekvencia fogalmát részletesebben áttekinteni.

Egy hangforrás a környező levegőre oly módon hat, hogy azt rezgő mozgásba hozza. A hang karaktere a levegőben képződő nyomáskülönbségektől függ.

Tételezzük fel, hogy a hangforrás egy rezgő lemezből áll – a nyomásváltozások, azaz a hang, ugyanazt a frekvenciát kapja, mint a lemez rezgése. A hang erőssége attól függ majd, hogy milyen erősen rezeg a lemez, azaz a mozgás amplitúdójától. Kezdjük az elején:

Egy tiszta tónus esetén, amely egyetlen frekvenciából áll, a nyomás sinus görbe szerint változik, ezért is hívunk egy tiszta hangot sinus hangnak.



A hangterjedés jellemzői:

- frekvencia ( $f$ ), amit Hz-ben mérünk, Hz, (s<sup>-1</sup>), (és megadja, hogy 1 másodperc alatt milyen gyakran érkezik egy új hanghullám).
- hullámhossz ( $\lambda$ , "lambda"), amit méterben mérünk, m, (és megadja a távolságot két hullámcsúcs között a görbén).

valamint

- hangsebesség ( $c$ ) melyet m/s-ban mérünk, (és megadja milyen gyorsan terjed a hanghullám).

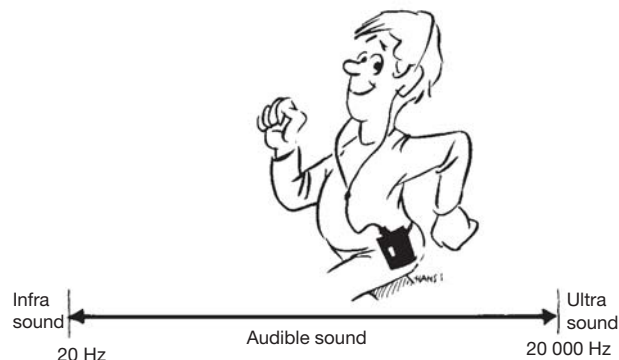
A három tényező között a következő összefüggés áll fenn:

$$c = f \cdot \lambda$$

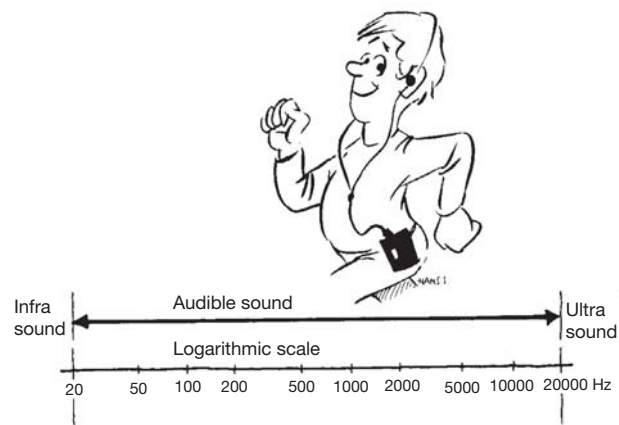
A hang terjedési sebessége levegőben azonban függ a nyomástól és a hőmérséklettől.

Normál légnyomáson és + 20 °C-on  $c \approx 340$  m/s.

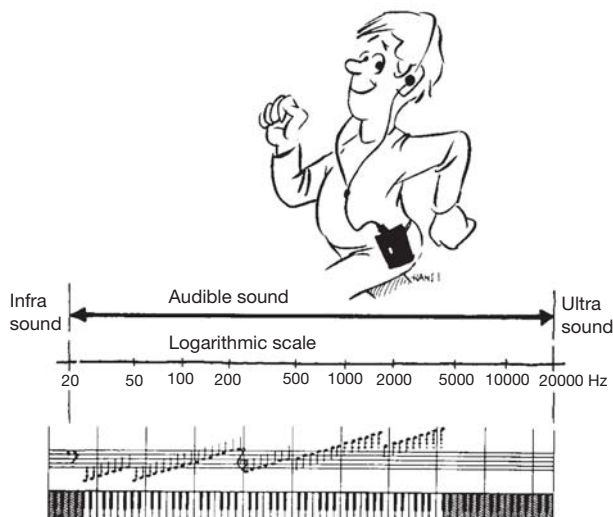
Egy fiatal, átlagos hallású ember a 20-20 000 Hz közötti frekvenciatartományban képes érzékelni a hangot, azaz (levegőben) kb. 17 m-es hullámhossztól (20 Hz-en) a kb. 17 mm-ig (20 kHz-en).



Egy hang frekvenciájának változásait logaritmikus skála szerint érzékeljük, azaz a relatív frekvencia és nem a köztük lévő abszolút különbség Hz-ben az, ami eldönti, a hang változását hogy érzékeljük. A frekvencia duplázódását azonosnak érezzük, függetlenül attól, hogy 100-ról 200 Hz-re, 1000-ról 2000 Hz-re vagy 10-ről 20 kHz-re változik.

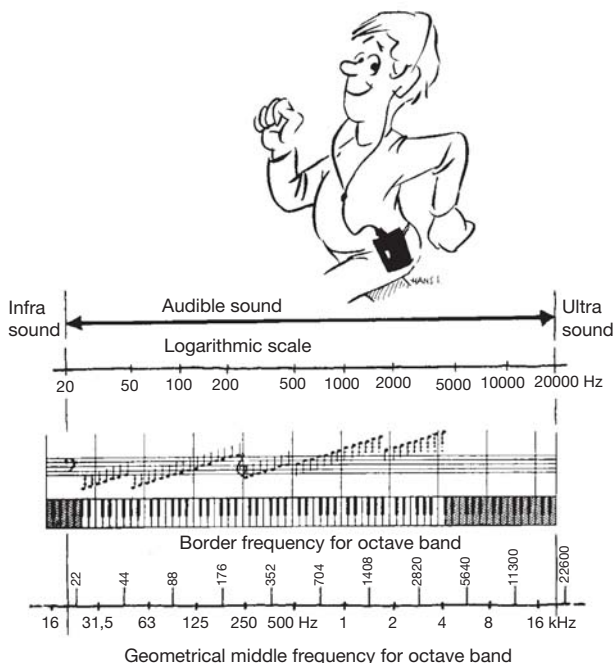


A logaritmikus skálát általában oktávsávokra bontjuk, ahol egy sáv felső határfrekvenciája kétszer olyan magas, mint az alsó. Így volt ez már régen a zenében is.



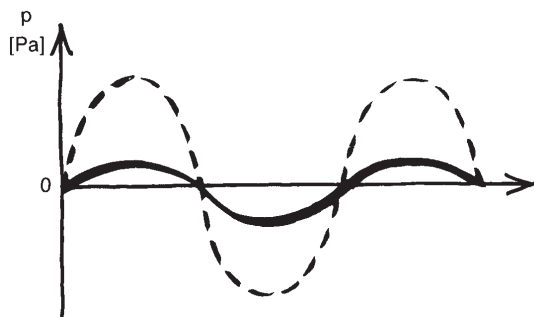
# A hang

És a mérnöki területeken is.



## A decibel fogalma [dB]

Minél erősebb a kibocsátott hang, annál erősebben fognak a levegőrészecskék egymásnak ütközni.



A hangnyomás változások a hallható tartományon belül nagyon széles határok között változhatnak. A hangok egy része olyan gyenge, hogy mi nem is érzékeljük. Az ún. hallásküszöb frekvenciafüggő és 1000 Hz körül kb. 20  $\mu$ Pa.

Más hangok olyan erősek, hogy akár halláskárosodást is szenvedhetünk. A **fájdalomküszöb** az a hangnyomás, amelynél fájdalmat érzünk a fülünkben a hangtól, szintén függ a frekvenciától, 1000 Hz körül kb. 20 Pa, azaz 1 milliószor erősebb, mint a leggyengébb hang, amit érzékelünk.

A hangnyomásban történő változásokat is logaritmikus skála szerint érzékeljük. Ennek kifejezésére használjuk a decibel mértékegységet (dB), mellyel referencia értékhez hasonlíthatva kifejezhető.

A dB mértékegység, melynek sok különböző alkalmazása van, általánosan úgy definiálható, mint:  $10 \cdot \log(X/X_0)$ , ahol X a mért érték, pl. a hangnyomás, és  $X_0$  egy referenciaszint ugyanabban a mértékegységben kifejezve. Az  $X/X_0$  tört így mértékegység nélküli. Helyette megadjuk azt a referencia szintet, ami alapján a dB mértékegység adott, azaz a szintet

tisztán, általánosan fejezzük ki dB-ben ( $X_0$  felett).

## A mi hangérzékelésünk

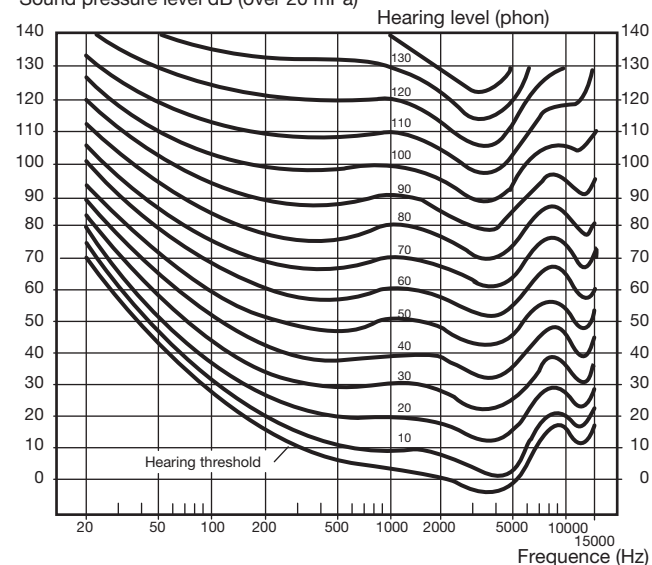
Különböző módon reagálunk két hangra, melynek azonos a hangnyomás mértéke, de különböző a frekvenciája.



Sok emberen végzett kutatás alapján készült azon görbesereg, amely leírja, hogy az ember hogy érzékeli a különböző erősségű és frekvenciájú hangokat. A görbék pontokat kötnek össze, hangnyomás és frekvencia értékek kombinációit, melyeket hasonló erősségűeként érzékelünk. Ezek az ún. hallásszint-görbék az 1 kHz-es frekvencián kapott hangnyomásszint érték alapján nevezték el. A görbék mértékegysége a phon.

## Hallásszint-görbék

Sound pressure level dB (over 20 mPa)

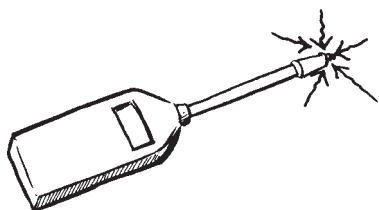


Példa:

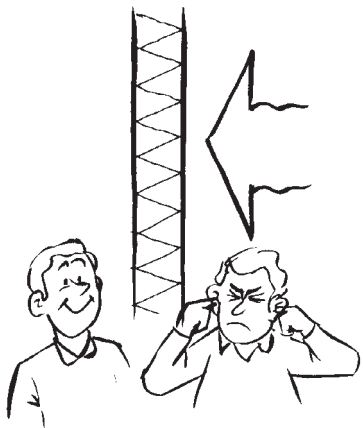
**A 70 dB hangnyomásszintet 50 Hz-en általában nem érezzük erősebbnek, mint 50 dB-t 1000 Hz-en.**

# A hang

## Hangszintek

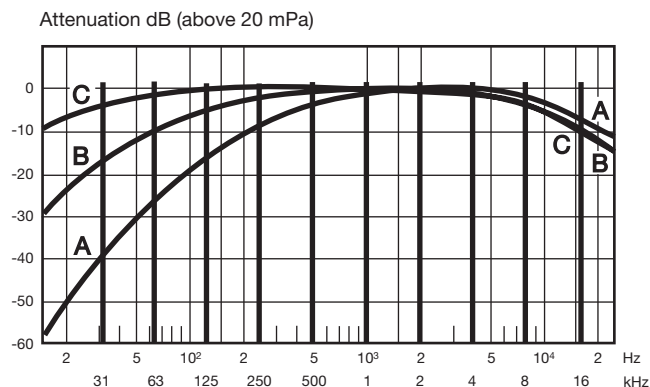


Több módszer létezik, amit használhatunk, ha össze akarjuk hasonlítani azt, hogy két hang mennyire zavaró és, hogy mennyire hasonlítanak arra a hangra, amit már a fül zajként fog fel.



A legegyszerűbb, ha összehasonlítjuk az ún. súlyozott hangszintjeiket. A beérkező hangot elektromos szűrővel megszűrjük, mely csökkenti elsősorban az alacsony frekvenciás összetevőket, melyekre a fül kevésbé érzékeny és erősíti az összetevőket 1 és 4 kHz között, amelyekre érzékenyebbek vagyunk.

A hangmérőt általában háromféle elektromos szűrővel használják: "A", "B" és "C" szűrővel. Napjainkban elsősorban az A-szűrőt használjuk, ahol az ún. súlyozott zajszintet dB(A)-ban adjuk meg.



## A hangcsillapítók kiválasztása

Egy szellőztetőrendszerben a ventilátor a primer hangforrás, de a zavaró zajt a rosszul kiválasztott légcsatorna elemek és anemosztátok is okozhatják.

$$L_w = 40 + 10 \cdot \log q + 20 \cdot \log p_t \text{ dB (1 pW felett)}$$

$q$  = térfogatáram ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) a ventilátoron keresztül

$p_t$  = teljes nyomáseselés (Pa) a ventilátoron

40 = "specifikus hangteljesítményszint", amely figyelembe veszi a ventilátor hatásfokát a munkaponton, és a  $q$  és  $p_t$  SI mértékegységeit.

A ventilátor által keltett zajt a légcsatorna hálózatban kell csillapítani, a helyiségben elhelyezett anemosztátig. A csillapítás egy része természetes, a korábbi példák szerint. Ez a csillapítás gyakran nem elég, így a légcsatorna hálózatot hangcsillapítóval is kiegészíthetjük. Lehetőség szerint a gerincvezetékbe a ventilátorhoz közel helyezzük el, hogy annak a zajszintjét már az összes leágazás előtt csökkentsük, vagy mellékágakba, hogy egy-egy különösen érzékeny helyiség zajszintjét csökkentsük.

Célszerű alacsony légsebességet alkalmazni a légcsatornában, hogy semmilyen helyiséget ne zavarjon a rendszerből eredő zaj.

- Adott légmennyiség esetén az áramlási sebesség megkétszerezése körülbelül 12 dB zajszint emelkedéssel jár.

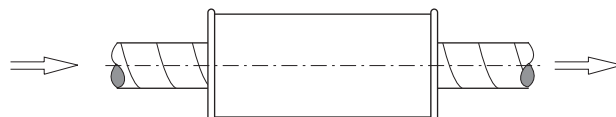
Az alacsony légsebesség csökkenti az üzemeltetési költségeket is.

- Adott légmennyiségnél a ventilátor energiaszükséglete négyzetesen nő a sebességgel.

Az alábbi példa azt mutatja, hogy a meglévő csillapítás nem elegendő a légcsatorna rendszerben. Több csillapításra van szükség a táblázat szerint – melyiket válasszuk?

### Példa

Duct Ø315



|           | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |    |
|-----------|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
| Előtte    | X  | X   | X   | X   | X  | X  | X  | X  | dB |
| Utána     | X  | X   | X   | X   | X  | X  | X  | X  | dB |
| Különbség | 1  | 4   | 8   | 13  | 20 | 16 | 7  | 7  | dB |

A Lindab a hangcsillapítók széles termékskálájával rendelkezik különböző karakterisztikával és méretekkel. Nézzük, melyik lesz megfelelő a példában!

# A hang

| SLCU 50 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
|---------|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| 600     | 0  | 2   | 6   | 11  | 14 | 9  | 4  | 5  |
| 900     | 1  | 3   | 7   | 16  | 22 | 12 | 6  | 7  |
| 1200    | 1  | 3   | 8   | 22  | 30 | 16 | 7  | 9  |

Ez a legkeskenyebb hangcsillapító. Ahhoz, hogy megfeleljen a követelményeknek, válasszuk a leghosszabb, 1200 mm-eset. Az eltérés a 125 Hz-es frekvencián mindössze 1 dB, ami nem lesz észrevehető. Ez egy a lehetséges alternatívák közül.

| SLCU 100 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
|----------|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| 600      | 1  | 4   | 7   | 9   | 12 | 10 | 5  | 6  |
| 900      | 2  | 6   | 12  | 14  | 19 | 15 | 7  | 8  |
| 1200     | 2  | 8   | 16  | 18  | 26 | 21 | 9  | 10 |

Ez a hangcsillapító vastagabb hangelnyelő réteggel készül (100 mm az 50 mm helyett), ami alacsony frekvenciákon jobban csillapít, de a külső átmérője nagyobb, mint az SLCU 50-é. Ahhoz, hogy megfeleljen a követelményeknek, válasszuk a 900 mm hosszút. Az eltérés a 500 Hz-es és 1 kHz-es frekvencián mindössze 1 dB, ami nem lesz észrevehető. Ez is egy a lehetséges alternatívák közül.

| SLCBU 100 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k |
|-----------|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| 600       | 4  | 6   | 10  | 16  | 22 | 28 | 27 | 18 |
| 900       | 5  | 7   | 16  | 23  | 30 | 38 | 32 | 22 |
| 1200      | 7  | 9   | 23  | 30  | 38 | 47 | 37 | 25 |

A hangelnyelő réteg vastagsága megegyezik az előbbi, SLCU 100 típussal (100 mm), ebben a típusban azonban egy 100 mm vastag kulissza is található, ami növeli a csillapítást (de a nyomásest is a hangcsillapítón keresztül). Ahhoz, hogy megfeleljen a követelményeknek, válasszuk a legrövidebb, 500 mm hosszút. A hangcsillapító minden októrsávon megfelelően csillapít. Ez is egy lehetséges alternatíva!

A különböző alternatívák közötti végső kiválasztás az egyéb körülményektől függ:

- **SLCU 50 1200**  
ha hosszában sok hely áll rendelkezésre (de kevesebb magasságban).
- **SLCU 100 900**  
rövidebb, de magasságban több helyet igényel.
- **SLCBU 100 600**  
ha a méret hosszában behatárolt és a csekély nyomásest növekedés nem számít – például egy mellékágban, ahol a rendelkezésre álló nyomás egy részét egyébként is le kell fojtani a beszabályozás során.

Döntse el, hogy mennyire pontosak az akusztikai számításai, és válasszon hangcsillapítót ennek megfelelő biztonsággal. Mindig drágább és nehezebb, ha utólag akarjuk pótolni azt a csillapítást, ami az elején hiányzott. Ha a helyszíni felhasználók egyszer elégedetlenek voltak a zajjal, nehéz utólag megváltoztatni a véleményüket!

A termékek a Hangcsillapítók fejezetben találhatóak.