

# **Zaj és rezgésvédelem**

## **2019 – 2020. tanév tavasz**

### **2. előadás**

---

**Bedő Anett egyetemi tanársegéd**  
**SZE, AHJK**  
**Környezetmérnöki tanszék**



# TARTALOM

---

- Példák
- Hangok csoportosítás
- Hangjellemzők



# PÉLDA 1.

---

- Milyen tartományba esik a hallható hangok hullámhossza, ha a hangsebességet  $330 \text{ m/s}$ -nak vesszük? Mekkora a hullámhossza az  $1 \text{ kHz}$ -es hangnak?



# MEGOLDÁS 1.

---

$$\lambda_{\min} = c/f_{\max} \rightarrow \lambda_{\min} = 330 \text{ m/s} / 20000 \text{ Hz}$$

$$\lambda_{\min} = 0,0165 \text{ m} = \underline{16,5 \text{ mm}}$$

$$\lambda_{\max} = c/f_{\min} \rightarrow \lambda_{\max} = 330 \text{ m/s} / 20 \text{ Hz}$$

$$\lambda_{\max} = \underline{16,5 \text{ m}}$$

$$\lambda = c/f \rightarrow \lambda = 330 \text{ m/s} / 1000 \text{ Hz}$$

$$\lambda = 0,33 \text{ m} = \underline{33 \text{ cm}}$$



## PÉLDA 2.

---

- Egy  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  -os szobában mekkora a hang terjedési sebessége ha  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  –on  $331\text{ m/s}$ ?
- Mekkora a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  –os hang hullámhossza mm-ben  $1\text{ kHz}$ -es frekvencián?



# MEGOLDÁS 2.

---

$$C_o = 331 \text{ m/s}$$

$$T_p = 25^\circ \text{C}$$

$$f = 1 \text{ kHz}$$

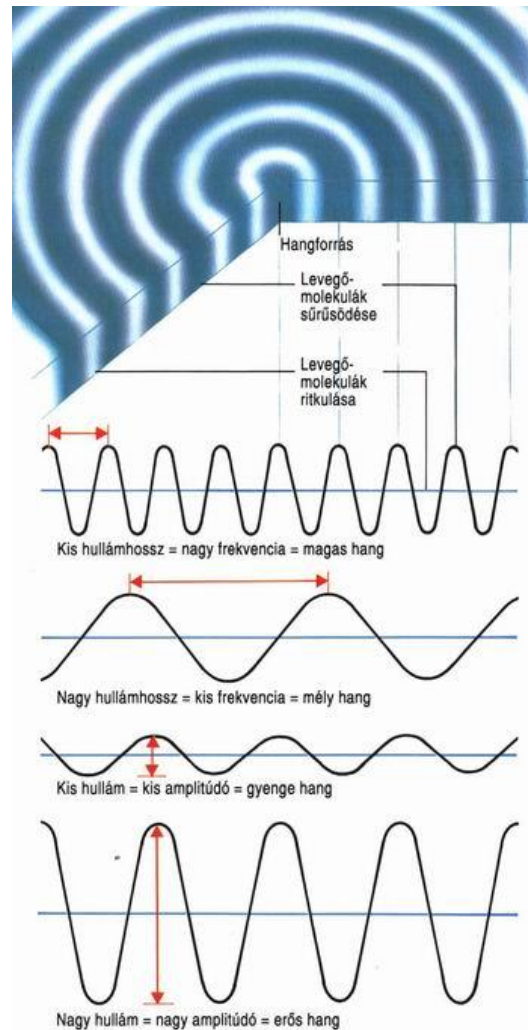
- $c_p = c_o + 0,6 \times T_p = 331 + 0,6 \times 25 = 346 \text{ m/s}$

$$c_p = \underline{346 \text{ m/s}}$$

- $\lambda = c/f = 346/1000 = 0,346 \text{ m} = 346 \text{ mm}$

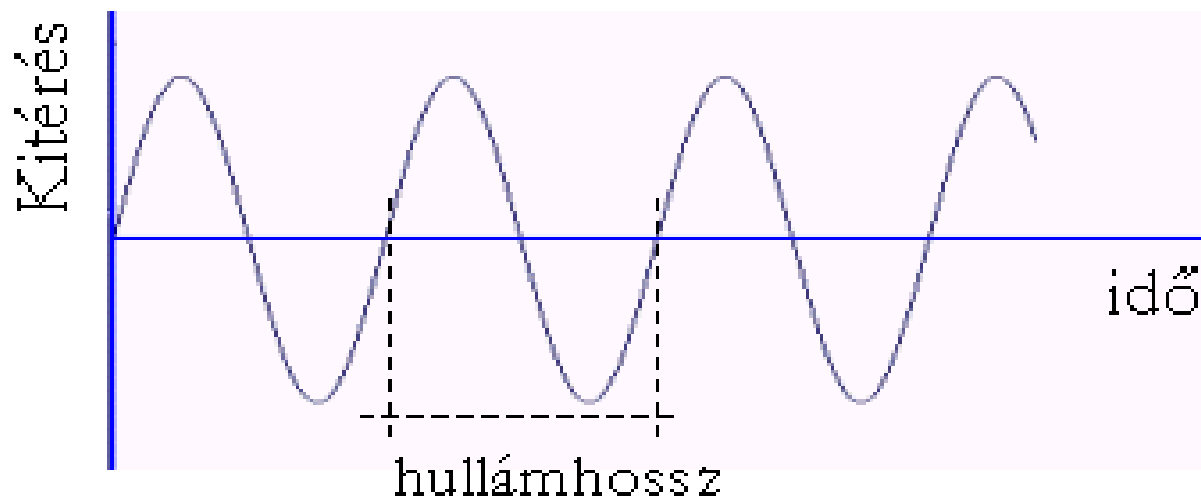
$$\underline{\lambda = 346 \text{ mm}}$$

# HULLÁM JELLEMZŐI



# „TISZTA HANG”

- Tiszta hangnak nevezzük a tiszta szinuszos hangrezgést, azaz azt a hangot, amelynek spektrumában egyetlen vonal van.
- Tiszta hangot keltő mechanikai eszköz a hangvilla.





# „TISZTA HANG”

- A részecskék elmozdulását a nyugalmi helyzethez képest ( $x$ ) az alábbi függvény adja meg:

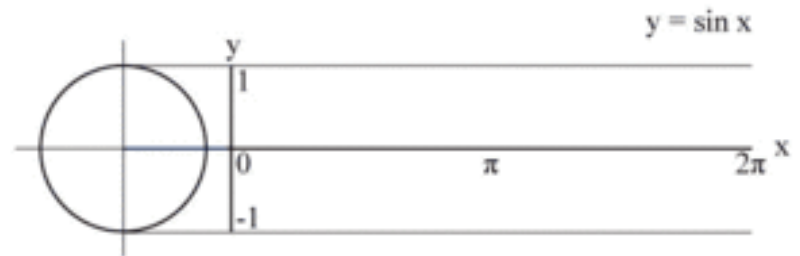
$$x = X \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

ahol:

$X$  – maximális kitérés (amplitúdó)

$f$  – frekvencia [Hz]

$t$  – idő [s]





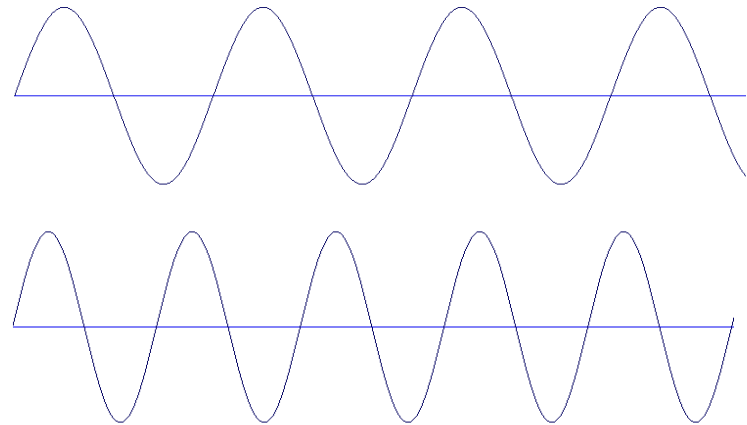
# „ÖSSZETETT HANG”

---

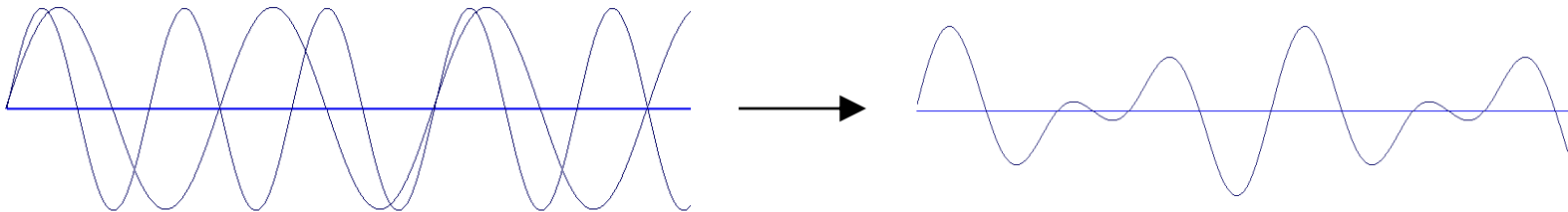
- A gyakorlatban azonban (szinte kizárólag) összetett hangokkal van dolgunk
- Azokat a hangrezgéseket, amelyeknek frekvenciaspektrumában nemcsak egy, hanem több, egymástól különböző frekvenciájú komponensek is találhatóak, összetett hangoknak nevezzük.
- Az összetett hangok két nagy csoportra oszthatók: periodikusak és nemperiodikusak.

# HULLÁMOK ÖSSZETÉTELE

- **egyszerű harmonikus rezgés (tiszta hang):**  
a rezgő részecskék egyensúlyi helyzetből való kitérése az idő függvényében szinuszosan változik



- **több hullám eredője:**





# HANGOK CSOPORTOSÍTÁSA

---

- **Frekvencia szerint**
  - Infrahang  $f < 20 \text{ Hz}$
  - Hallható hang  $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$
  - Ultrahang  $f > 20 \text{ kHz}$
- **A hang időbeli lefolyása**
  - állandó hang: jellege (frekvenciája, erőssége) nem változik: ventilátor, szivattyú
  - változó hang: jellege időben változik
- **A hang lefutása szerint**
  - folytonos: időbeli megszakítások nélküli zaj
  - szakaszos (időszakos): időbeli megszakításokkal, csak időszakosan lép fel
  - egyszeri: egyetlen alkalommal jelentkező zaj



# HANGOK CSOPORTOSÍTÁSA

---

- **Forma (fizikai hullám alakja)**
  - tiszta hang (szinuszos hullám)
  - zenei hang (periodikus)
  - zörej (statikus jellegű)
  - összetett (kevert)
- **A hang időtartama**
  - hanglökés ( $t < 10$  ms)
  - rövididejű hang ( $10 \text{ ms} \leq t \leq 1 \text{ s}$ )
  - tartós hang ( $t > 1 \text{ s}$ )
  - hosszú ( $t > 60 \text{ s}$ )

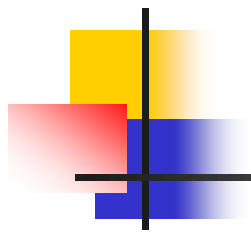


# MITŐL „ZAJ” A HANG?

---

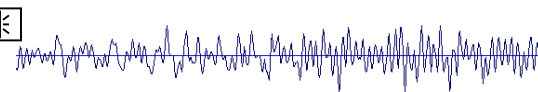
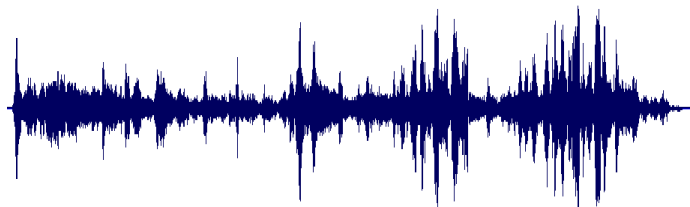
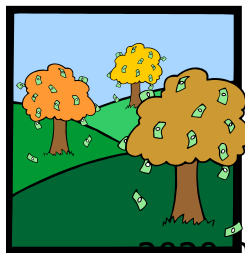
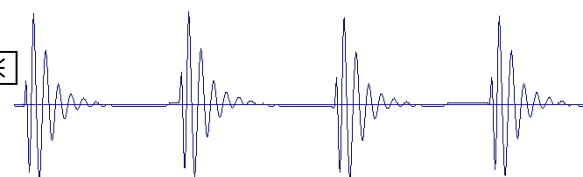
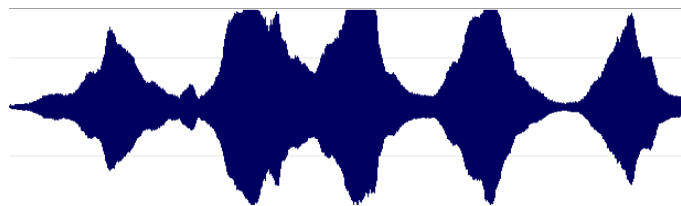
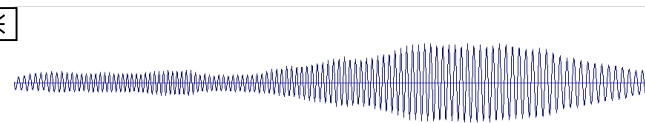
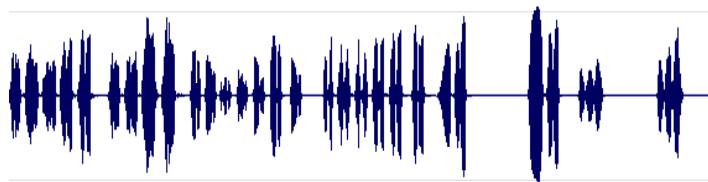
- **Természetes hang:**

forrása valamilyen természeti jelenség, anyagi mozgás vagy élőlény, és megszólalását nem mesterséges beavatkozás váltja ki. Pl. természetes hang a szél, a patakcsobogás, a madárcsicsergés, az állatok hangja, a mennydörgés, az emberi beszéd stb.



# MITŐL „ZAJ” A HANG?

természetes hangok:





# MITŐL „ZAJ” A HANG?

---

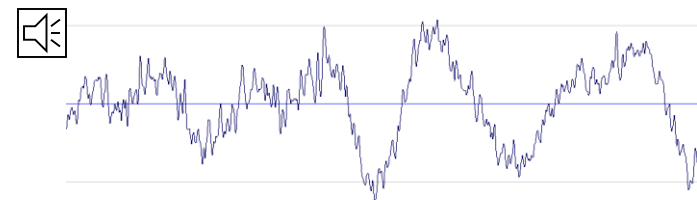
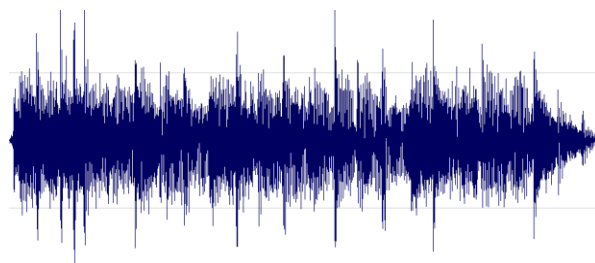
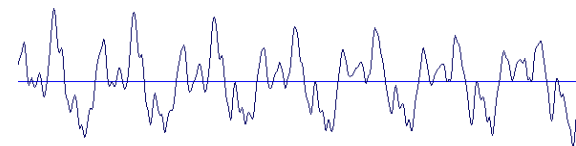
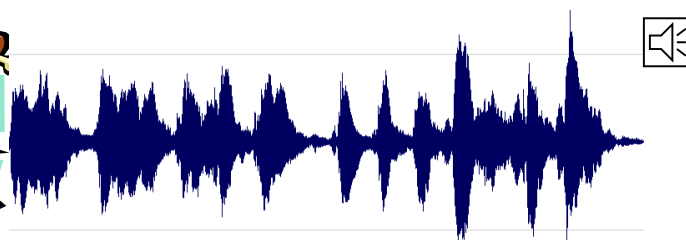
- **Mesterséges hang:**

valamilyen ember alkotta készülék vagy berendezés működése közben keletkezik, vagy ezek működtetésével, megszólaltatásával kelthető. Pl. a gépek zaja, a munkavégzés zaja, a hangszóró hangja, s nem utolsósorban a hangszerek hangja, a zene is mesterséges hang stb.



# MITŐL „ZAJ” A HANG?

mesterséges hangok:



# Zenei hangok

Mennyivel érezzük magasabbnak egyik hangot a másiknál?



pl.

200 Hz

250 Hz

440 Hz

500 Hz

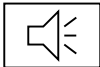
Az első hangköz a nagyobb, pedig ott a különbség csak 50 Hz, míg a másodiknál 60 Hz.

→ **nem a frekvenciák különbsége** határozza meg a hangok egymáshoz viszonyított magasságát, hanem a **frekvenciák aránya**

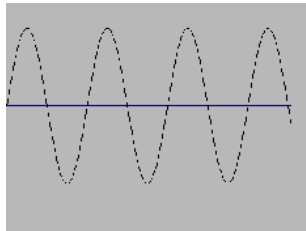
# Zenei hangok

A hangok egymáshoz viszonyított magasságát a **frekvenciák aránya** határozza meg.

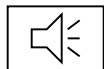
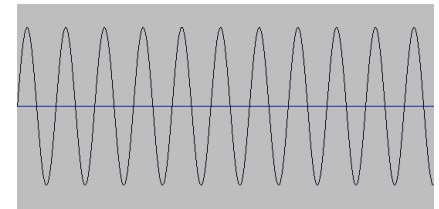
**Oktáv:** a két hang frekvenciájának aránya 2-szeres



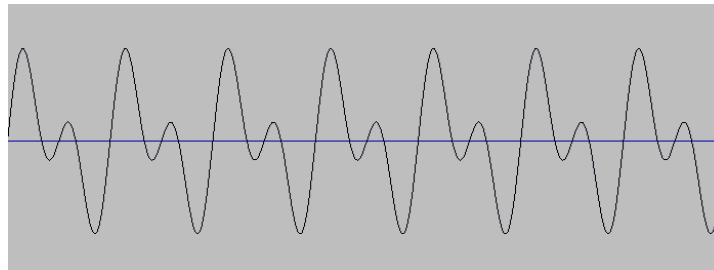
440 Hz:



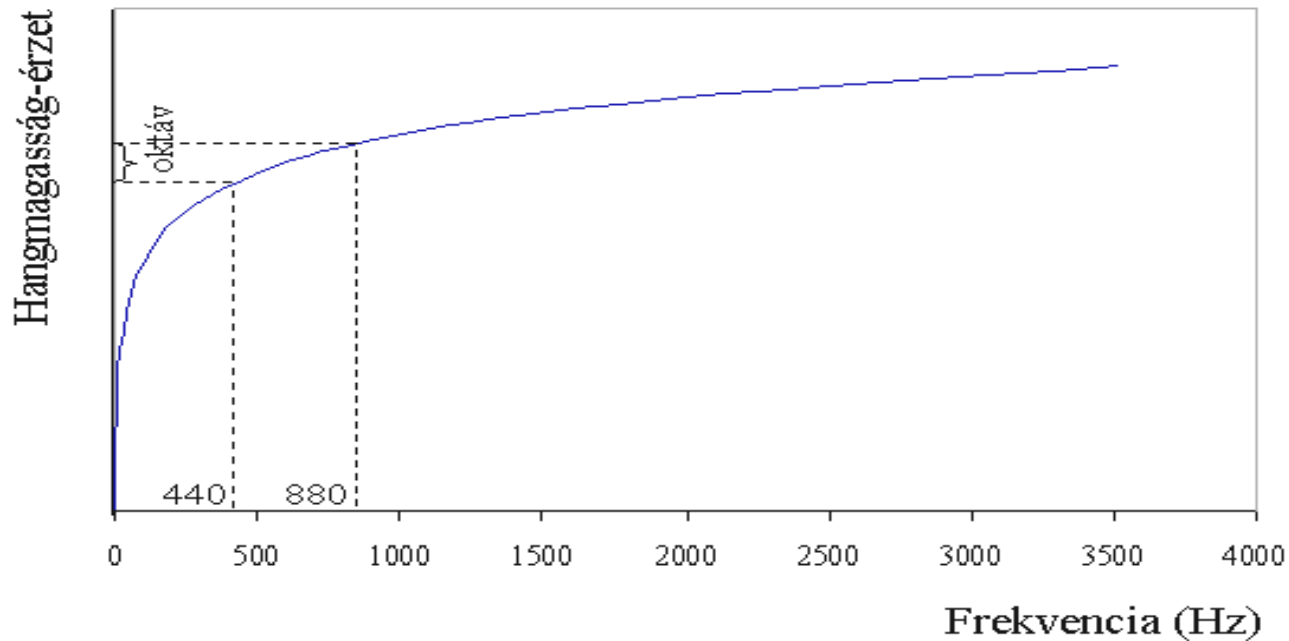
880 Hz:



440+880 Hz:



# Zenei hangok





# Hangközök

- Két zenei hang távolsága
- Egymáshoz viszonyított frekvencia-aránya

Nevezetes hangközök	Frekvenciák aránya
Tiszta Oktáv	2:1
Tiszta Kvint	3:2
Nagy Terc	5:4
Kis Terc	6:5
Nagy Szekund	9:8
Kis Szekund	10:9



# Hangközök

---

**1 oktáv = 12 félhang**



**660 Hz**

**699 Hz**

e – f : 1 félhang távolság (kis szekund)

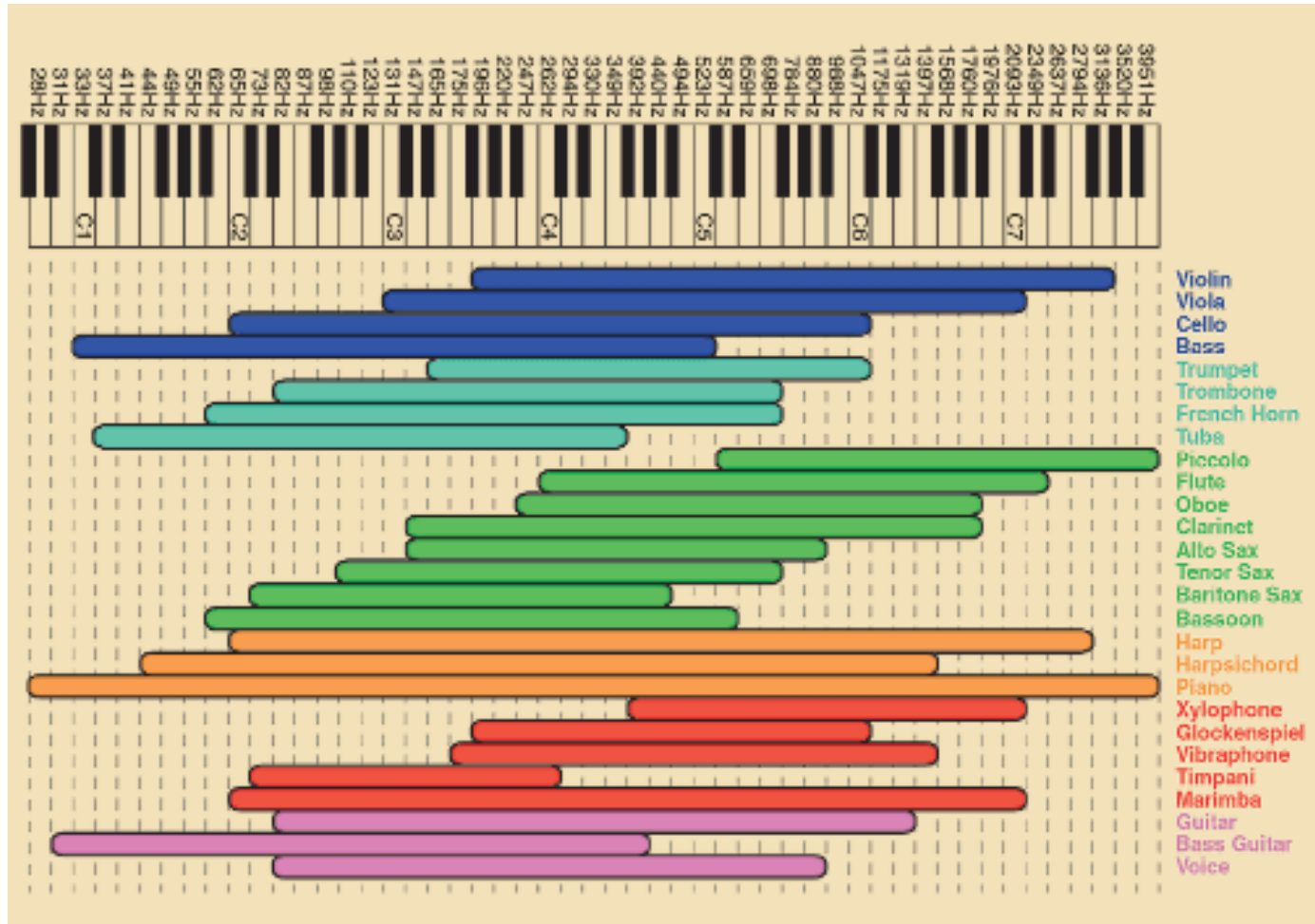


**660 Hz**

**989 Hz**

e – h: 7 félhang távolság (kvint):

# Hangközök



# Hangszerek



2020.03.03.





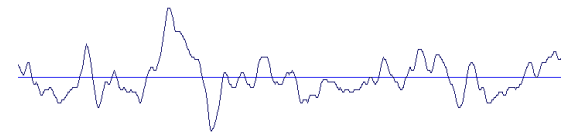
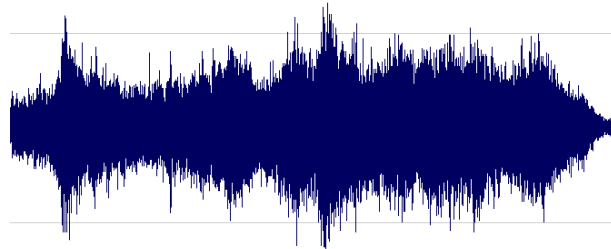
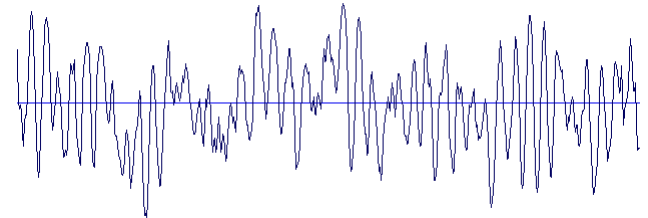
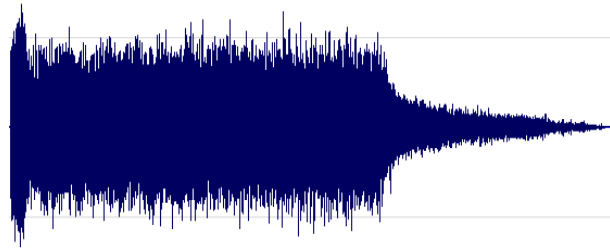
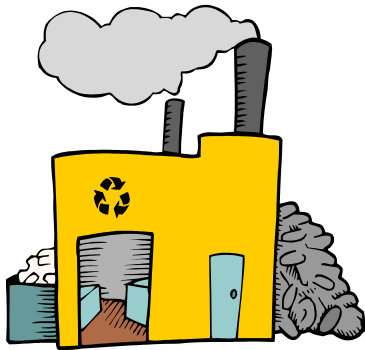
# Érdekességek

---

- A legtöbb oktáv:  $7 \frac{1}{4}$  oktáv volt az eddig legnagyobb hangterjedelem amit ember kiénekelte. (több mint a zongora h.terjedelme)
- Simon Robinson 128 dB-el sikított (egy F1-es autó 125 dB)
- Mark Thomphson Hebbard 90 dB hangosan horkolt! (A város ahol mérték a közlekedés megengedett zajszintje 80 dB...)

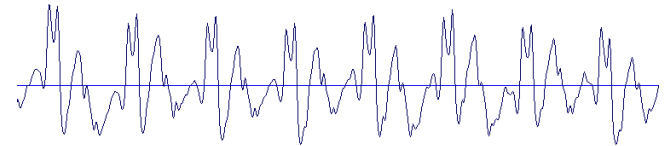
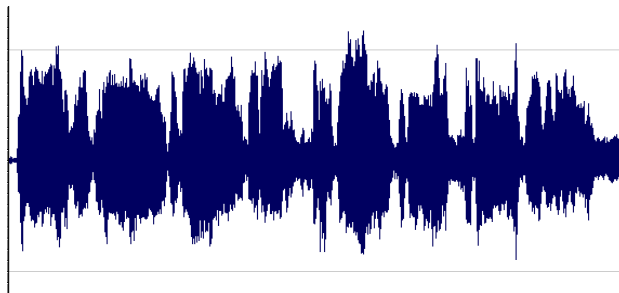
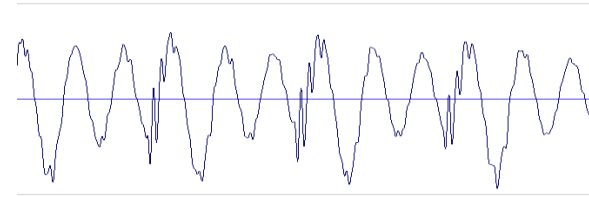
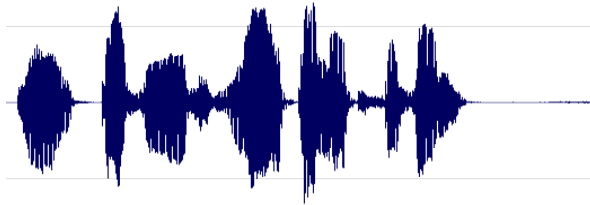
# MITŐL „ZAJ” A HANG?

mesterséges hangok:



# MITŐL „ZAJ” A HANG?

emberi hang:





# MITŐL „ZAJ” A HANG?

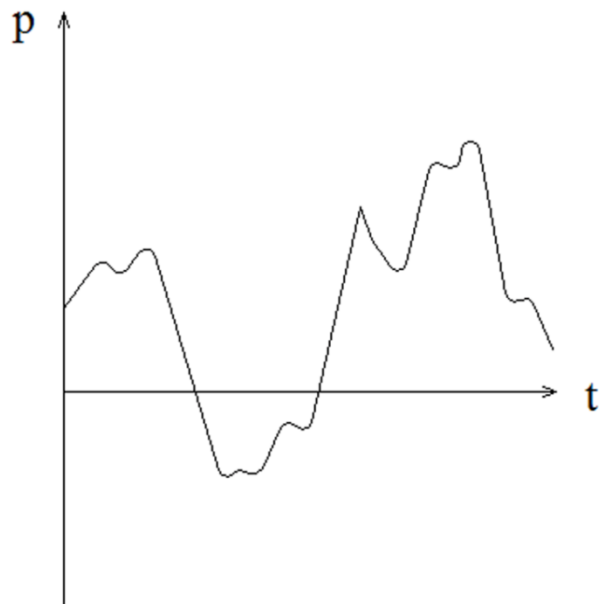
---

## **József Attila: Születésnapomra**

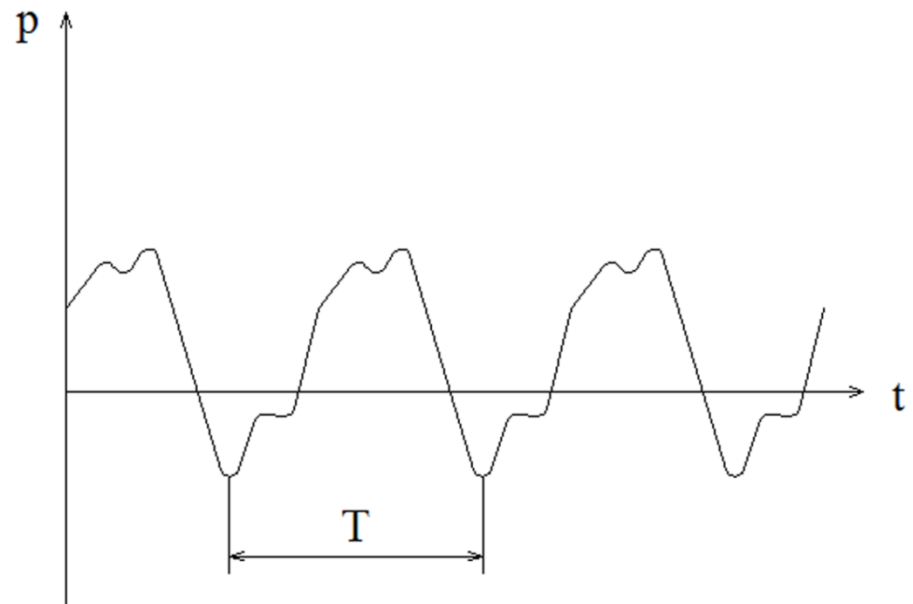
Harminckét éves lettem én meglepetés e költemény csecse becse: ajándék, mellyel meglepem e kávéházi szegleten magam magam. Harminckét évem elszelelt s még havi kétszáz sose telt. Az ám, Hazám! Lehettem volna oktató, nem ily töltőtoll koptató szegény legény. De nem lettem, mert Szegeden eltanácsolt az egyetem fura ura. Intelme gyorsan, nyersen ért a "Nincsen apám" versemért, a hont kivont szablyával óvta ellenem. Ideidézi szellemem hevét s nevét: "Ön, amig szóból értek én, nem lesz tanár e féltekén" gagyog s ragyog. Ha örül Horger Antal úr, hogy költőnk nem nyelvtant tanul, sekély e kéj. Én egész népemmet fogom nem középiskolás fokon tanítani!



# MITŐL „ZAJ” A HANG?



zaj



zenei hang

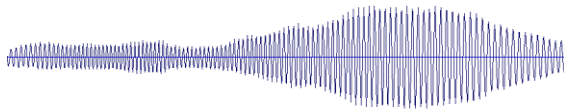


# MITŐL „ZAJ” A HANG?

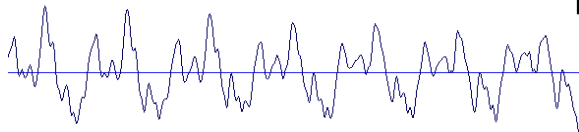
---

## Kellemes hangok

madár

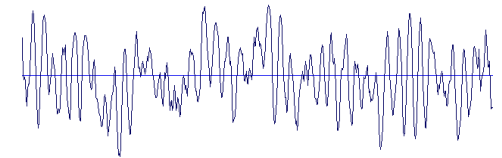


hegedű

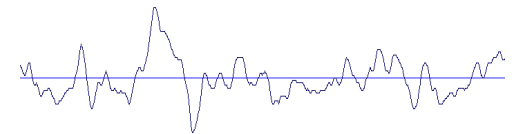


## Zajok

gyár

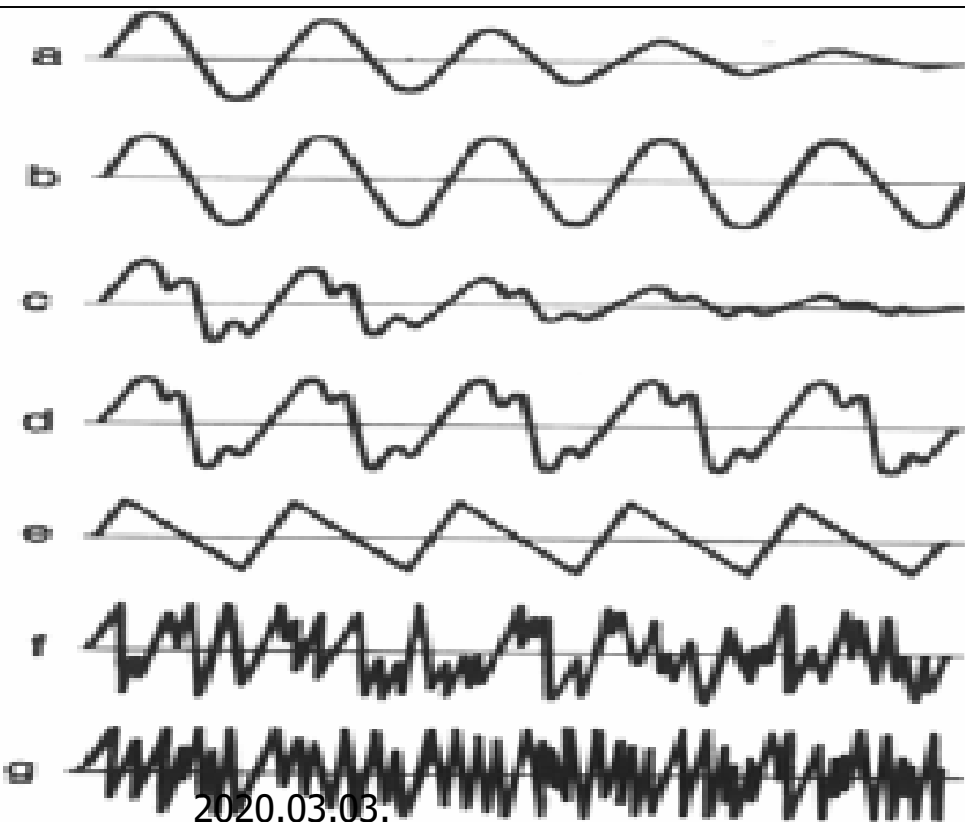


közlekedés





# MITŐL „ZAJ” A HANG?



**Csillapított rezgés**

**Szinuszos hang**

**Lecsengő zenei hang**

**Állandósult zenei hang**

**Öngerjesztett rezgés**

**Keverékhang**

**Zörej**



# MITŐL „ZAJ” A HANG?

---

- **Következtetés:** azoknak a hangoknak, amelyeket zajnak érzünk, az idő-kitérés grafikonja sokkal egyenetlenebb.
- **Zaj:** különböző magasságú és erősségű hangok keveréke, amit az ember kellemetlennek, zavarónak érez (szubjektív fogalom).





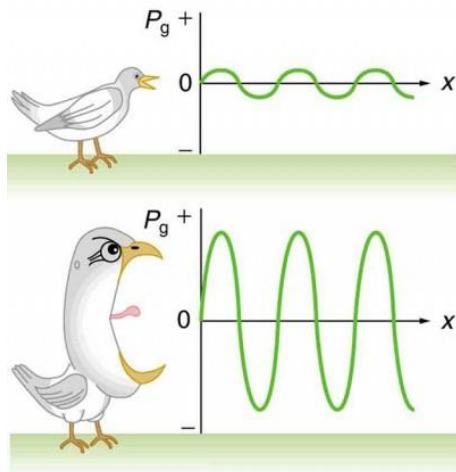
# ALAPFOGALMAK

---

- Az előzőekben objektív, mérhető fogalmakkal ismerkedtünk.
- A hangot azonban az ember szubjektíven érzékeli hol hangosnak, hol magasnak stb.
- Tulajdonképpen **hangnyomás ingadozásokat** érzékelünk.
- Hogy mekkorák ezek az ingadozások, az a **hangforrás energiaközlésétől** függ. Ehhez kapcsolódó fogalmakról lesz szó.

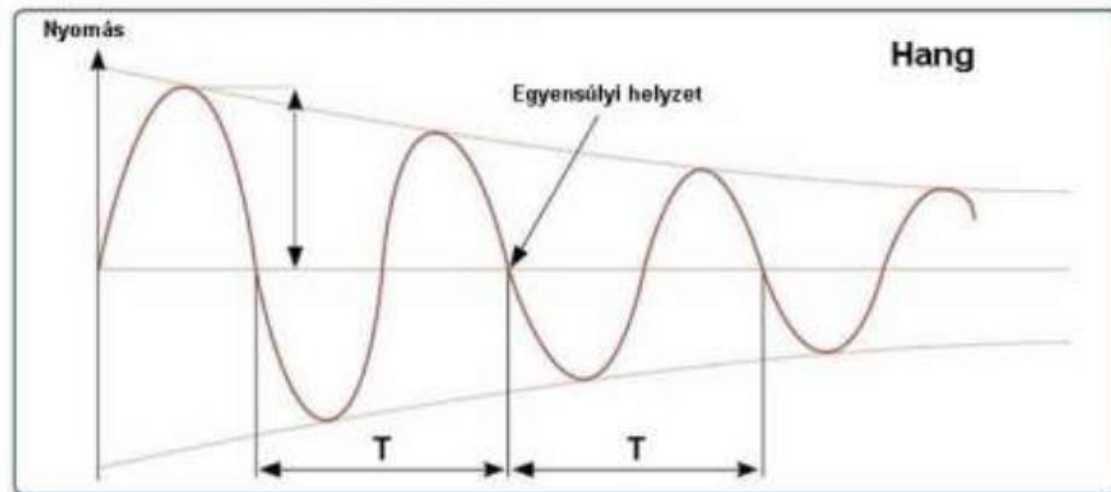
# ALAPFOGALMAK

- A hangerősség objektíven mérhető fizikai mennyiség.
- A hangerősséget vagy
  - hangnyomásban fejezik ki,
  - vagy intenzitásként, az egységnyi felületre jutó hangteljesítményben adják meg.



# ALAPFOGALMAK

- A hallható hangot a levegő nyomásának ingadozása hozza létre. A rezgő test mozgásba hozza a levegőrészecskéket és hangot kelt.
- A hangerősség tulajdonképpen a hanghullám által kifejtett nyomást jelenti, ezt hangnyomásnak nevezzük.





# HANGNYOMÁS

---

A hangnyomás a hangrezgések által a közegben keltett nyomás. A légköri nyomás nyugalmi értékétől való eltérés a hangnyomás.

jele:  $p$

$$p = p' - p_0 \quad [Pa], [N/m^2]$$

$p = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa a legkisebb hangnyomás különbség amit egy egészséges átlagember füle érzékel 1000 Hz frekvencia esetén.

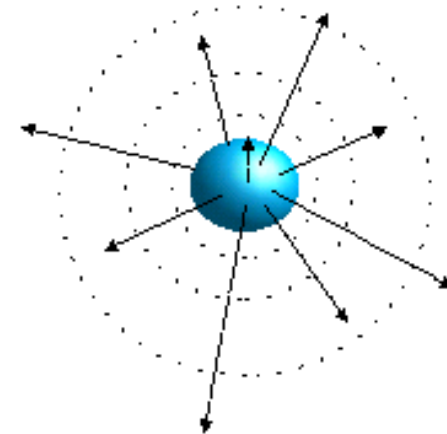
# HANGTELJESÍTMÉNY

Adott felületen egységnyi idő alatt a felületre merőlegesen átáramló energia.

jele: **W, P**

mértékegysége: **Watt**

Forrásra jellemző érték.



# HANGINTENZITÁS

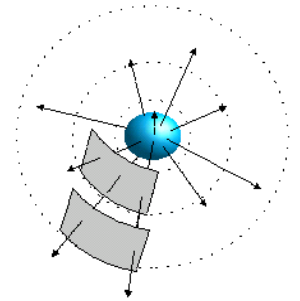
- Egységnyi felületen egységnyi idő alatt merőlegesen átáramló energia azaz, a felületegységre eső hangteljesítmény

- jele:  $I$

- mértékegysége:  $W / m^2$

- a hangteljesítmény és az intenzitás közötti összefüggés:  $P = I \cdot F$

ahol  $F$  az a teljes felület, amelyen a hangenergia átáramlik.

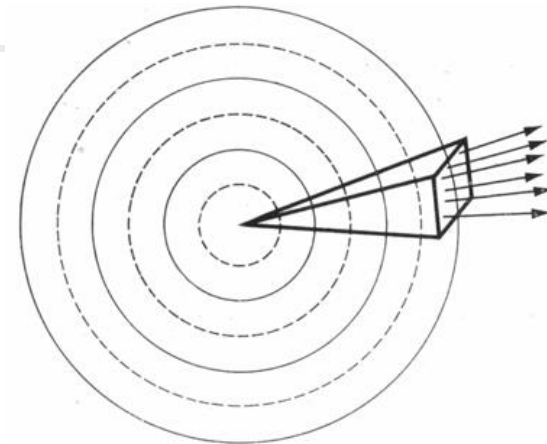


# HANGINTENZITÁS

$$P = \iint I \, dF \quad P_{\text{sík}} = I \cdot F \quad P_{\text{gömb}} = I \cdot 4r^2\pi$$

F = felület [m<sup>2</sup>]

I = intenzitás [W/m<sup>2</sup>]



- Az intenzitás a távolság négyzetével csökken!
- Intenzitás mértékét a fülünk dönti el, hogy hogyan érzékeli:

hallja- e

elviseli- e

- hallásküszöb

- fájdalomküszöb

**Hallásküszöb**

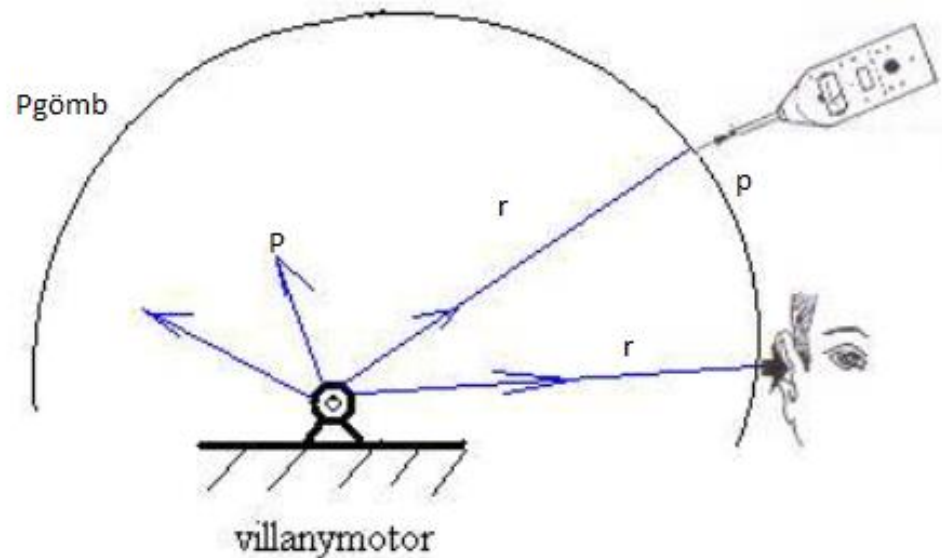
$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

2020.03.03.

**Fájdalomküszöb**

$$I_{\text{max}} = 10 \text{ W/m}^2$$

# HANGINTENZITÁS



- Hangteljesítmény :  $P$  (Watt)
- Hangintenzitás:  $I = P/A_{\text{gömb}} = P/(4r^2 \cdot 3,14) \text{ W/m}^2$
- Hangnyomás (ingadozás)  $p$  (Pa)





# HANGINTENZITÁS

---

$$I = p^2 / (\rho \cdot c)$$

ahol:  $\rho$  : sűrűség

$c$  : a hang sebessége

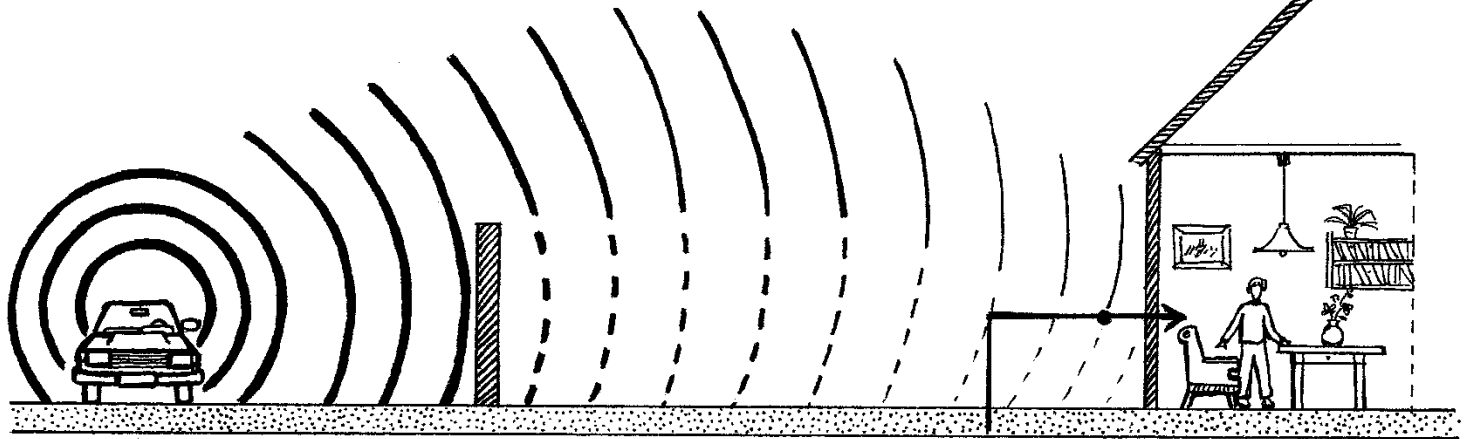
$p$  : hangnyomás

# MEGJEGYZÉS

KIBOCSÁTÁS

TERJEDÉS

TERHELÉS



FORRÁS

ÁRNYÉKOLÁS

KÜLSŐ-, BELSŐ  
ZAJ

emisszió

immisszió

# SZINTÉRTÉK

- Hallásküszöb  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  Fájdalomküszöb  $I_{\max} = 10 \text{ W/m}^2$   
nagyon széles tartomány, ezzel dolgozni, számolni nehéz, a mindennapi életben előforduló –hallható hangot kibocsátó zajforrások teljesítménye 13 nagyságrend széles tartományban mozog.
- Az érzékelés, a hallásunk logaritmikus érzékenységű, az ún. szubjektív hangosság érzet a mennyiségek logaritmusával arányos.
- A minimum és maximum határok nagyon nagyok frekvenciában és amplitúdóban is, ezért a logaritmikus skálázás könnyebb.
- A számolás egyszerűbb.
- Ezért kellett a hang erősségének jellemzésére a szintértékeket bevezetni.



# SZINTÉRTÉK

---

■ Meghatározott alaphoz való viszonyítás logaritmikus rendszerben, azaz két azonos mértékegységű, teljesítményarányos jellemző hányadosának 10-es alapú logaritmus

Jele:  $L_i$

Mértékegysége: **(bel), decibel dB**

$i$  = a jellemző jelölése

pl.:  $L_p$   $L_I$   $L_{W,P}$



# HANGNYOMÁSSZINT ( $L_p$ )

(mivel szint képzésénél teljesítményarányos mennyiségek hányadosát kell alapul venni, és  $I \sim p^2$ )

$$L_p = \lg (p/p_0)^2 \text{ Bel}$$

A bel nem elég érzékeny, tizedes is gyakran előfordulhat, hogy könnyebben számolhassunk, ennek az értéknek a tizedrészével fejezzük ki a szintértékeket.

1 bel = 10 decibel, 10 dB

$$L_p = 10 \cdot \lg (p/p_0)^2 \text{ dB}$$

$$L_p = 20 \cdot \lg p/p_0 \text{ dB}$$

2020.03.03.

A hangnyomásszint függ

- a hangforrás helyétől
- a környezeti feltételektől
- a mérési ponttól való távolságtól

# HANGINTENZITÁSSZINT ( $L_I$ )

- A hangkeltéskor keletkező hangnyomás változással van összefüggésben.
- A hangintenzitást úgy számolják, hogy arányt képeznek a vizsgált és a referencia hangnyomás között, majd az aránynak veszik a logaritmusát.
  - **$L_I = \lg I / I_0$  Bel (Graham Bell) 1 bel = 10 dB – decibel**
    - $I_0 = 10^{-12} \text{ W / m}^2$
    - $I$  = jelenlegi sugárzó hang intenzitása



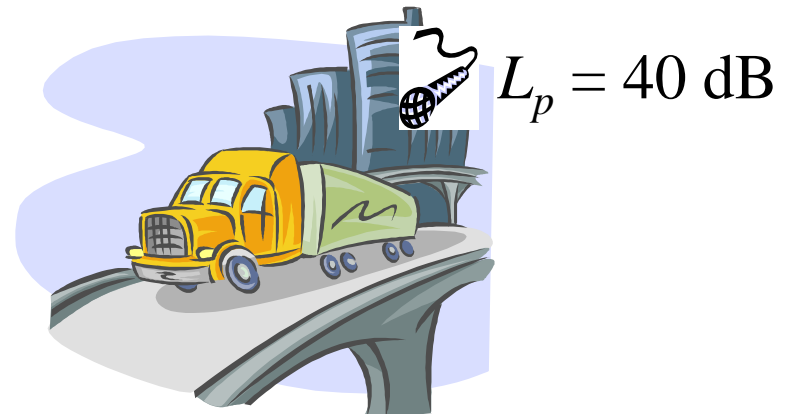
$$L_I = 10 \lg (I/I_0) \text{ dB}$$

# MEGJEGYZÉS

A hangintenzitásszint és a hangnyomásszint a hangtér egy adott pontjában mérhető mennyiségek, a zaj által okozott terhelést mérik, **immissziós** jellemzők.

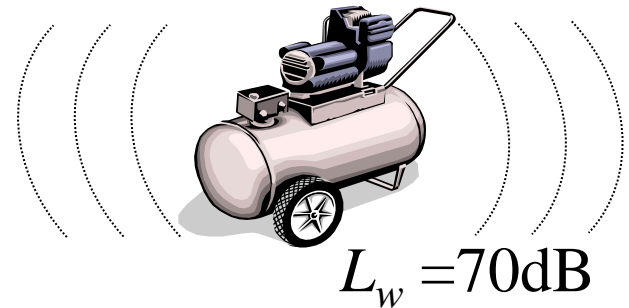
A gyakorlatban inkább a hangnyomásszint használatos.

(Pl. egy lakóház homlokzatánál a közlekedési zaj hangnyomásszintje 40 dB)



# HANGTELJESÍTMÉNYSZINT ( $L_w$ )

$$L_w = 10 \cdot \lg W/W_0 \quad (\text{dB})$$



ahol  $W$ : a hangforrás teljesítménye

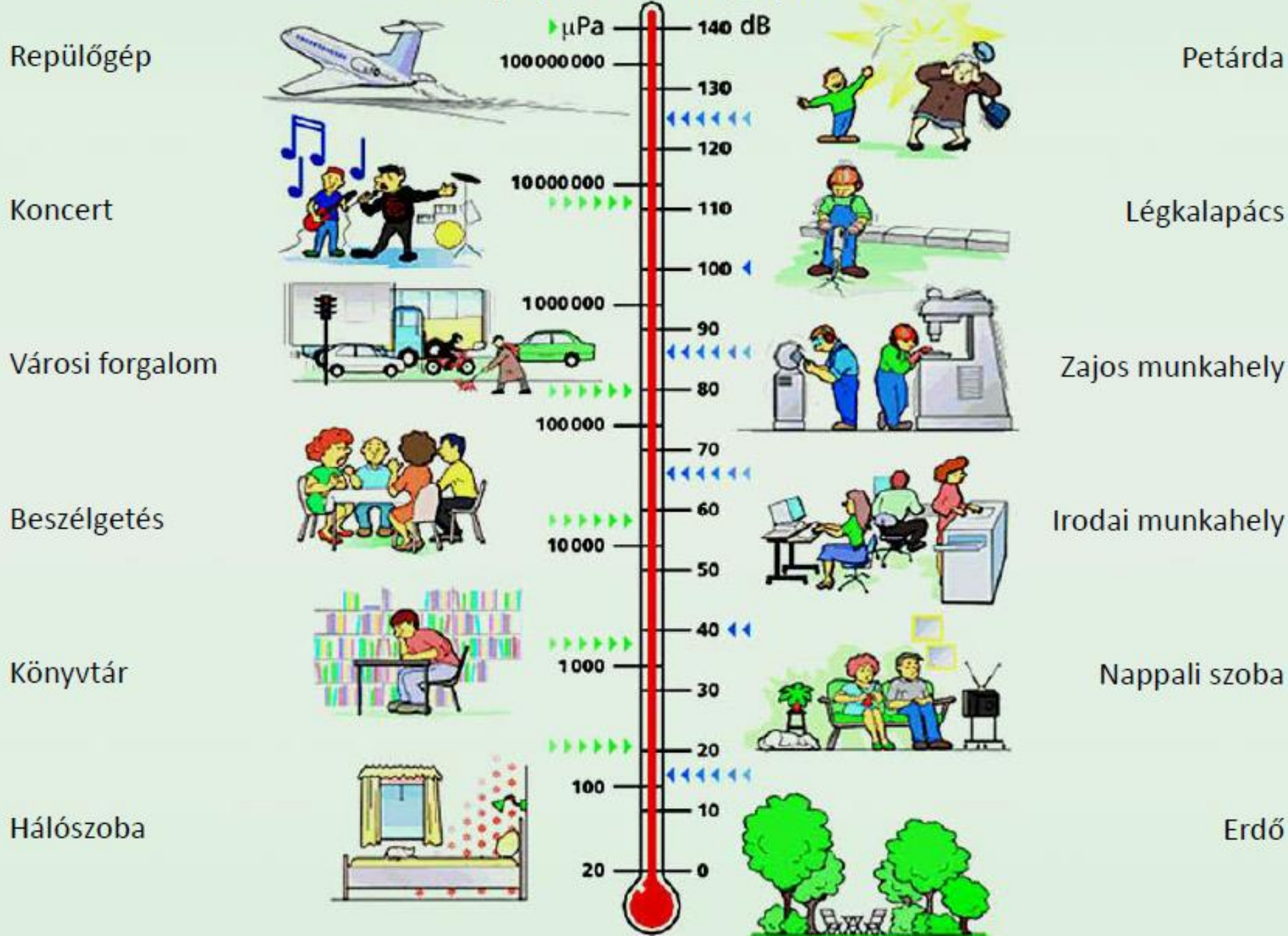
$W_0$ : viszonyítási alap:  $10^{-12}$  Watt, 1 pW

(Pl. egy ipari berendezés hangteljesítmény-szintje 70 dB)

A hangteljesítményszint a hangforrásra jellemző mennyiség, a kibocsátott teljesítményt méri → emissziós jellemző.



# Hangnyomás Hangnyomásszint





## PÉLDA 3.

---

Mekkora a hallásküszöbhez  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  – hez tartozó hangnyomás? ( $p_0$ )

**Levegő esetén:**

$$\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 340 \text{ m/s}$$



# MEGOLDÁS 3.

---

$$I_0 = p^2 / (\rho_0 \cdot c)$$

$$10^{-12} \text{ (Nm/sm}^2 \text{ )} = p_0^2 \text{ (N/m}^2\text{)}^2 / (1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)} * 340 \text{ m/s)}$$

$$p_0 = 20,19 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2$$

$$\mathbf{p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2}$$

$$I = W/\text{m}^2 \quad W = \text{Joule/s} \quad J = \text{Nm} \quad N = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$



# PÉLDA 4.

---

- Mekkora az éppen hallható és a maximális elviselhető hang hangintenzitás szintje?



# MEGOLDÁS 4.

---

- $L_{I_{\min}} = I_0 / I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 / 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 0 \text{ dB}$
- **$L_{I_{\min}} = 0 \text{ dB}$**
  
- $L_{I_{\max}} = I_{\max} / I_0 = 10 \text{ W/m}^2 / 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 130 \text{ dB}$
- **$L_{I_{\max}} = 130 \text{ dB}$**



# PÉLDA 5.

---

- **1. Mekkora teljesítményszintnek felel meg  $3 \mu\text{W}$ ?**



# MEGOLDÁS 5.

---

- $3 \mu\text{W} = 3 \times 10^{-6} \text{ W}$
- $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$
- $L_W = 10 \lg W/W_0 = 64,8 \text{ dB} = 65 \text{ dB}$
- **$L_W = 65 \text{ dB}$**



## PÉLDA 6.

---

- Határozzuk meg  $P=1,35$  mW hangteljesítményű zajforrás abszolút és  $P_0=1$  nW-ra vonatkoztatott relatív teljesítményszintjét
- Egy hangszóró  $1,5$  W teljesítménnyel sugározza a hangot a tér minden irányában. Mekkora a hangintenzitása és a hangintenzitás szintje tőle  $5$  m távolságban.





# MEGOLDÁS 6.

---

- $L_p = 10 \log P / 10^{-12} \text{ W}$
- $L_p = 10 \log / 1,35 * 10^{-3} \text{ W} / 10^{-12} \text{ W} = 91,3 \text{ dB}$
- **$L_p = 91 \text{ dB}$**
  
- $L_p = 10 \log P / 10^{-9} \text{ W}$
- $L_p = 10 \log / 1,35 * 10^{-3} \text{ W} / 10^{-9} \text{ W} = 61,3 \text{ dB}$
- **$L_p = 61 \text{ dB}$**



# MEGOLDÁS 6.

---

- $I = P/A = P/4\pi R^2$
- **$I = 4,77 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$**
  
- $L_I = 10 \log I/I_0$
- $L_I = 10 \log * 4,77 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2 / 10^{-12} \text{ W/m}^2$
- **$L_I = 97 \text{ dB}$**



# PÉLDA 7.

---

- Egy forgalmas autót közelében 90 dB az átlagos hangintenzitás. Mekkora a hangintenzitás?
- Hány  $\text{m}^2$ -ről kellene a hangot összegyűjteni és árammá alakítani, hogy egy 100W-os izzót működtetni lehessen vele?



# MEGOLDÁS 7.

---

- $L_I = 10 \log I/I_0$
- $90 \text{ dB} = 10 \log I/10^{-12} \text{ W/m}^2$
- **$I = 10^{-3} \text{ W/m}^2$**
  
- $I = P/A$
- $A = P/I = 100 \text{ W} / 10^{-3} \text{ W/m}^2$
- **$A = 10^5 \text{ m}^2$**



## PÉLDA 8.

---

- $P_1 = 10^{12} \text{ W}$
- $P_2 = 10^6 \text{ W}$
  
- Mennyi a szintkülönbség B-ben és dB-ben?



# MEGOLDÁS 8.

---

- $L_p = \log P_1/P_2 = \log 10^{12} \text{ W}/10^6 \text{ W} = 6 \text{ B}$
- **$L_p = 6 \text{ B}$**
  
- $L_p = 10 \log P_1/P_2 = 10 \log 10^{12} \text{ W}/10^6 \text{ W} = 60 \text{ dB}$
- **$L_p = 60 \text{ dB}$**



**Köszönöm a figyelmet!**

---