

Zajvédelem a gyakorlatban

1. alkalom

Major Balázs

majorbalazs@zajmeres.hu

20/323-9804

Szabó Dániel

zajkontroll@gmail.com

70/626-7627

Tematika

1. alkalom

- A hang kialakulása
- A hang tulajdonságai
- A hang mérőszámok
- A Csodálatos decibel
- A hallható zaj

2. alkalom

- Jogszabályi környezet
- Hangterjedés szabad térben
- Föld hatás
- Meteorológiai effektusok
- Akadályok

3. alkalom

- Hogyan mérünk, mit mérünk (mérési szabvány)
- Műszerek áttekintése
- Adatfeldolgozás
- Jegyzőkönyv formai és tartalmi követelményei

4. alkalom

- Akkor irány a mérés (gyakorlati óra a szabadban)
- Házi feladat jegyzőkönyv készítés

Hang kialakulása



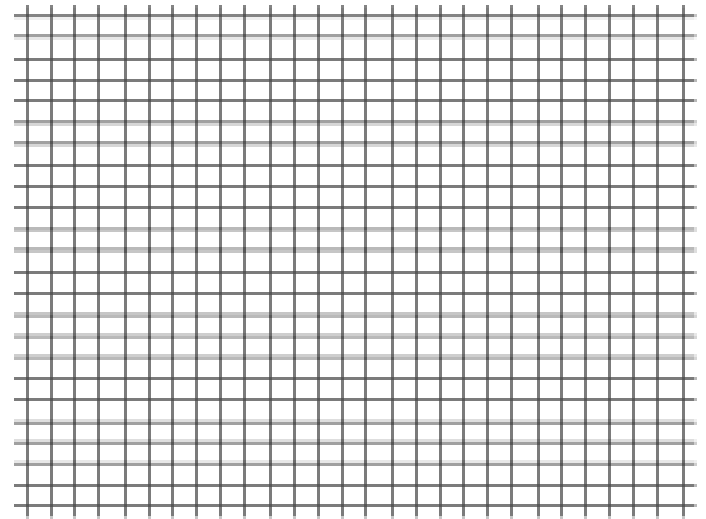
Hang kialakulása

Hang kialakulása

A hang rezgés révén jön létre.

A rezgő húr, gépalkatrész, hangvilla a rezgését átadja a környező levegő molekuláinak úgy, hogy a környező térben a molekulák sűrűsödése és ritkulása jön létre.

Ezeknek a sűrűsödéseknek és ritkulásoknak hatására a környező levegőben folytonos nyomásingadozások alakulnak ki, amelyek a levegő molekuláinak a segítségével, a molekulák egymás közötti rezgési energiájuk átadásával, hanghullámok formájában a levegőben továbbterjednek.



Hang kialakulása

Hang kettős természete

- Megfigyelések szerint a hang kettős, nevezetesen áramlás és hullám természettel rendelkezik.

- Áramlási természet:

Instacioner: időben változó

Összenyomható

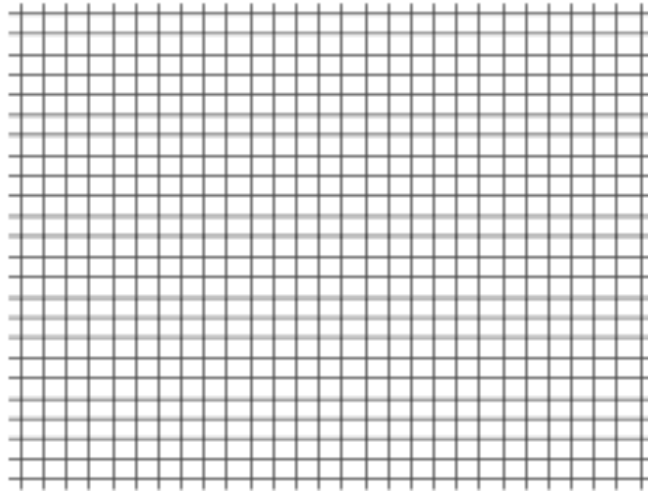
Kis amplitudójú: A hangteret leíró változó megzavart és nyugalmi értékének különbsége a nyugalmihoz képest nagyon kicsi.

Hang kialakulása

Hang kettős természete

- Hullám természet:

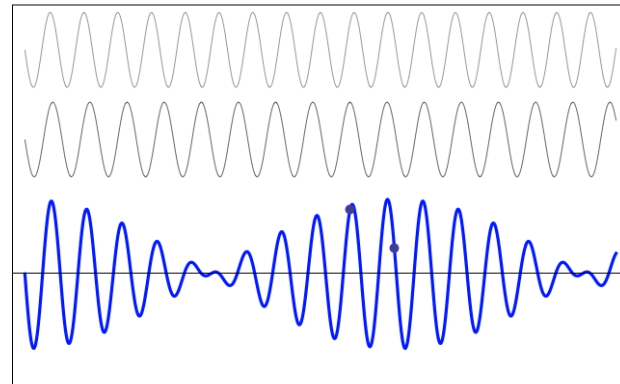
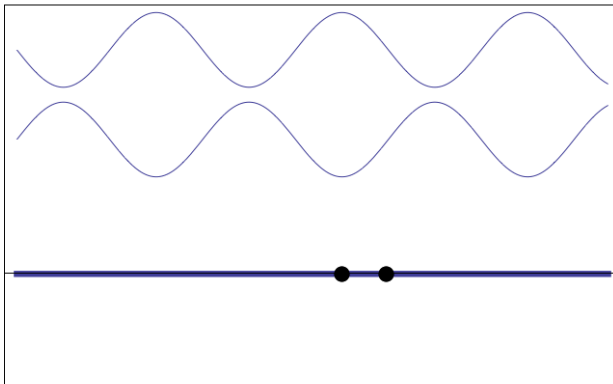
Állapot továbbterjedése: Megváltozott mechanikai állapotok a tér egyik pontjáról egy másikba jutnak el makroszkopikus mozgás nélkül



Hang tulajdonságai

Hang kettős természete

- Hullám természet:
 - Interferencia: Két vagy több azonos frekvenciájú hanghullám találkozásakor a térben állandósult gyengítési és erősödési helyek keletkeznek (pl. állóhullám, lebegés kialakulása)



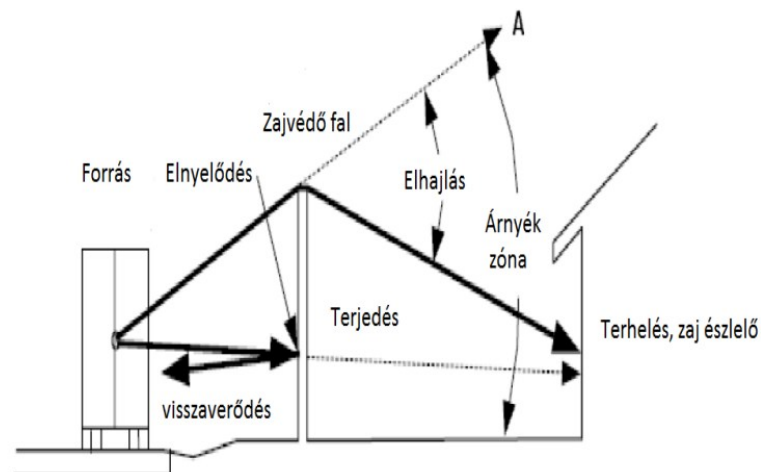
Hang tulajdonságai

Hang kettős természete

- Hullám természet:

Elhajlás:

A hang behatolása az amúgy számára átjárhatatlan objektum geometriai árnyékterébe



Hang tulajdonságai

Hang kettős természete

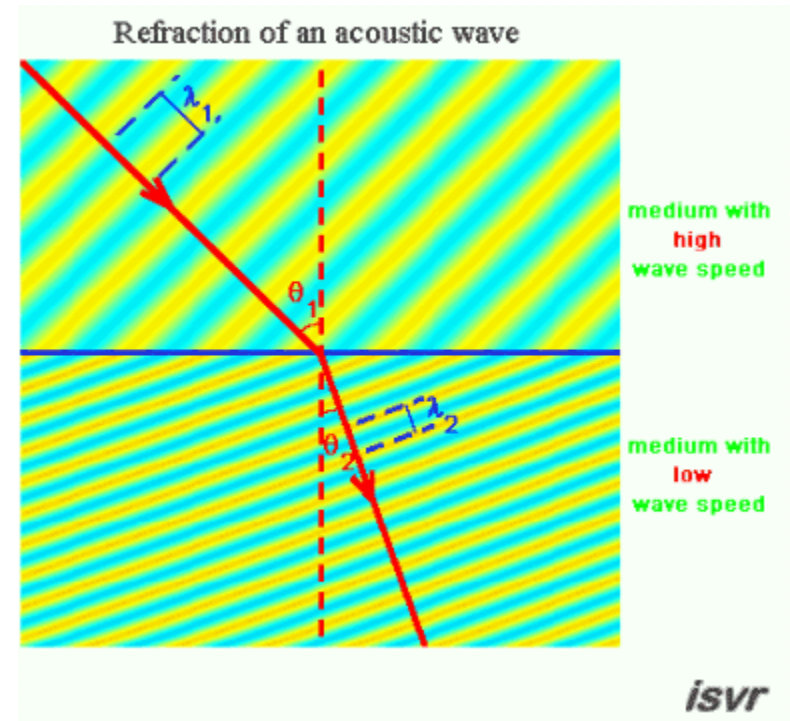
- Hullám természet:

Szóródás

A hang terjedésében a hullámhosszával összemérhető nagyságú objektumon vagy objektumokon az addigi terjedési viszonyokhoz képest bekövetkezett változások összessége.

Törés

A közeghatáron áthaladó hang terjedési irányának ugrásszerű megváltozása



Hang tulajdonságai

Hanghullám jellemzői

- **Sebesség (c (m/s))**

a közegbeli zavar terjedésének sebességét értjük. Ez a sebesség a közeg tulajdonságaitól függ. Pl. hang sebessége normálállapotú levegőben 343 m/s, vízben 1493 m/s, vasban 5950 m/s.

- **Hullámhossz (λ (m))**

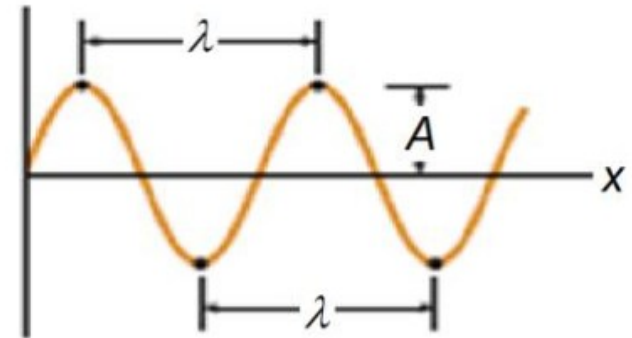
két azonos mozgásállapotú pont legrövidebb távolsága

- **Frekvencia (f (Hz))**

egységnyi idő alatti periódusok száma

- **Amplitúdó**

a közeg részecskéinek egyensúlyi helyzetétől mért maximális kitérése

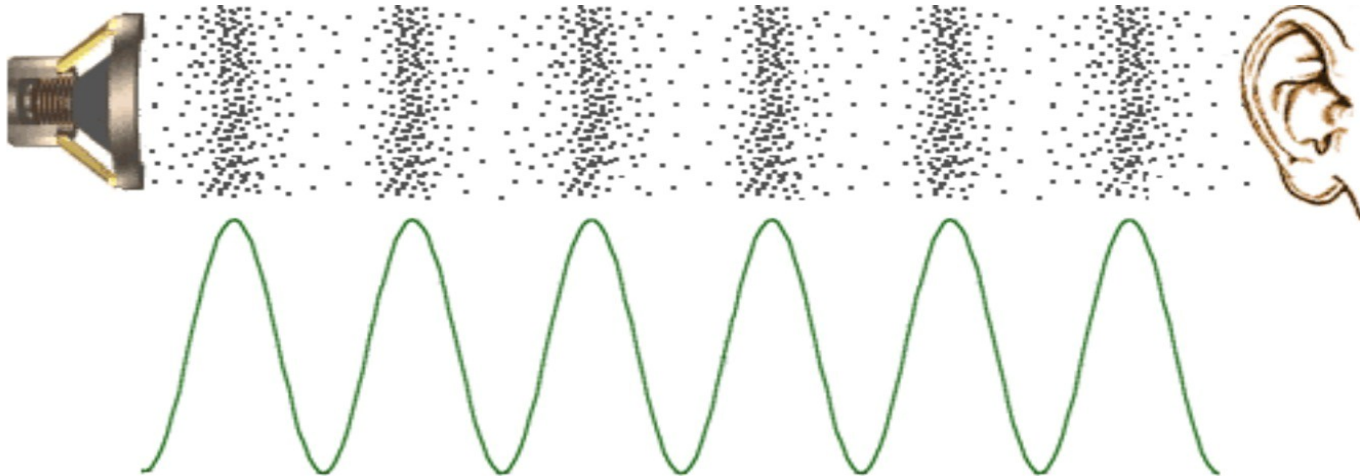


$$c = f * \lambda$$

Hang tulajdonságai

Hang jellemzői

- **Hangmagasság**
rezgés frekvenciájától függ, magasabb hangnak nagyobb frekvencia felel meg
- **Hangerősség**
a hanghullám intenzitása, mely a rezgések amplitúdójától függ

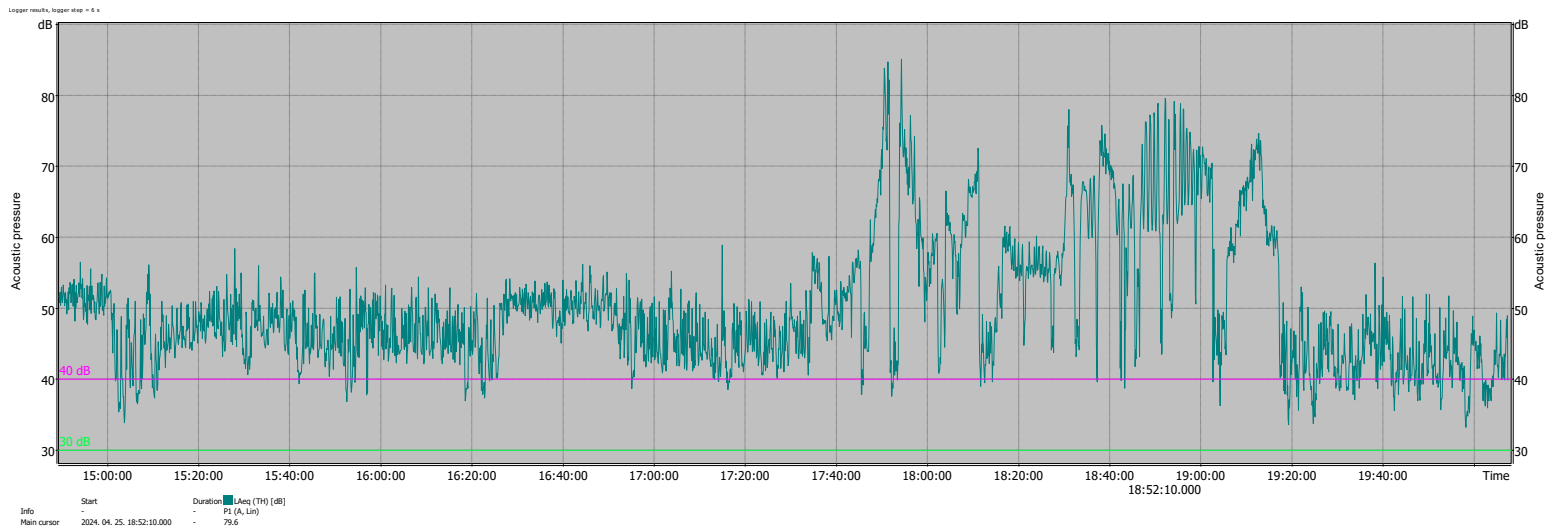


Hang tulajdonságai

Időtartam

A kibocsátás, a hangjel időbeli hossza, amely lehet hosszú, avagy rövid;

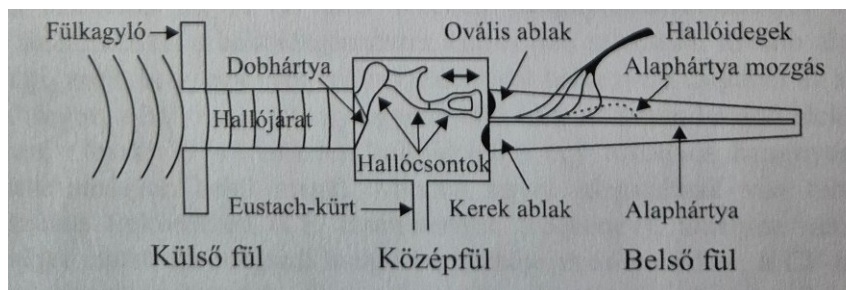
a hang időbeli lefolyása pedig lehet egyenletes/állandó, ingadozó, szakaszosan változó, szabálytalanul változó.



Hang mérőszámok

Hangnyomás

- Az emberi fül által érzékelt akusztikus jelenségek leírásához a legfontosabb fizikai mennyiség a hangnyomás ($p(r,t)$) /Pa/



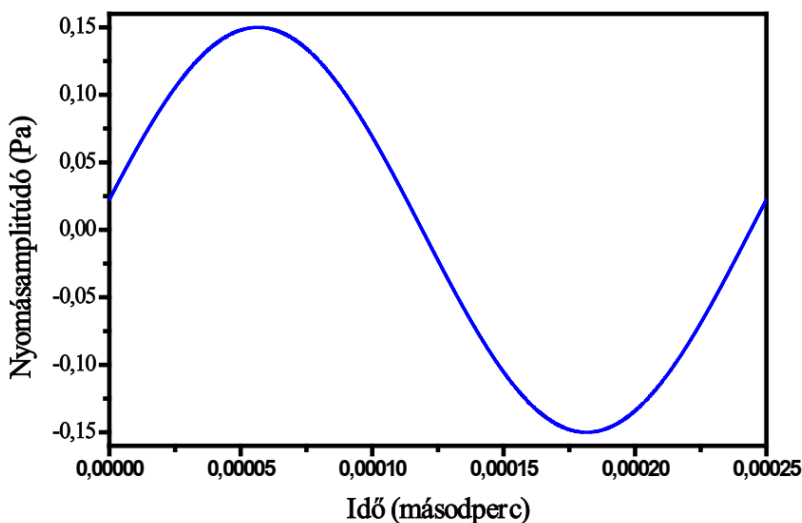
- A tér egy adott pontjában (r_0) az adott pillanatban uralkodó gáznyomás ($p_{akt}(r_0, t)$) és az időben állandónak tekinthető légköri nyomás (p_0) közötti különbség:

$$p(r_0, t) = p_{akt}(r_0, t) - p_0$$

Hang mérőszámok

Hangnyomás

Az A amplitúdó meghatározza azt a nyomástartományt ($-A$ -tól $+A$ -ig), amin belül a hangnyomás változik.



Az f frekvencia az egységnyi idő alatti periódusok számát adja meg, mértékegysége a Hz (ejtsd: hertz).

Ha pl. $f=4000$ Hz akkor a **hangnyomás egy másodperc alatt 4000-szer veszi fel a maximális és ugyanennyi alkalommal a minimális értékét.**

Hang mérőszámok

Hangnyomás

A mindennapi életben legtöbbször fellépő zajeseményekre általában jellemző, hogy bennük a nyomásváltozás nem egyetlen frekvencián történik (sokszor még csak nem is periodikus). Az ilyen zajesemények jellemzésére célszerű bevezetni a hangnyomás ún. effektív értékének fogalmát az alábbi definíció szerint:

$$p_{eff}^2 = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt.$$

Az **effektív hangnyomás** (vagy RMS-hangnyomás) az a nyomásérték, amely ekvivalens lenne az adott hullámforma által kifejtett energia szempontjából egy egyenletes, konstans nyomással.

Az emberi fül is az effektív érték szerint érzékeli a zajeseményeket, azaz, eltekintve néhány speciális esettől, mint pl. a két nagyon közeli frekvenciájú hang együttes hatásakor fellépő lebegés jelensége, a nyomásváltozás időbeli változásait nem érzékeljük.

Hang mérőszámok

Hangintenzitás

A **hangintenzitás** a hangenergia terjedésének mérőszáma, amely megmutatja, hogy adott felületen milyen mértékű hangenergia halad át egységnyi idő alatt.

$$I = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p \cdot v \cdot dt = \overline{p(t) \cdot v(t)} = \frac{p_{eff}^2}{\rho_0 \cdot c_0} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ vagyis } I \sim p_{eff}^2$$

I : hangintenzitás (W/m²)

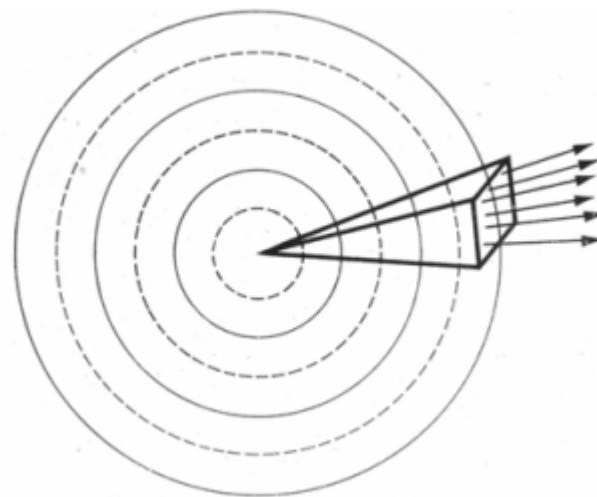
p : hangnyomás (Pa)

v : sebesség (m/s)

p_{eff}^2 : Effektív hangnyomásszint (Pa)

ρ_0 : közeg sűrűsége (kg/m³)

c_0 : hangsebesség (m/s)



Hang mérőszámok

Hangteljesítmény

Egy akusztikus forrás hangteljesítménye a forrás által a térbe, az összes lehetséges irányába egységnyi idő alatt kisugárzott hang energiája.

$$P = \oint_S I_n \cdot dS \text{ [W] vagyis } P = \frac{p_{eff}^2}{\rho_0 \cdot c_0} \cdot S$$

P: hangteljesítmény (W)

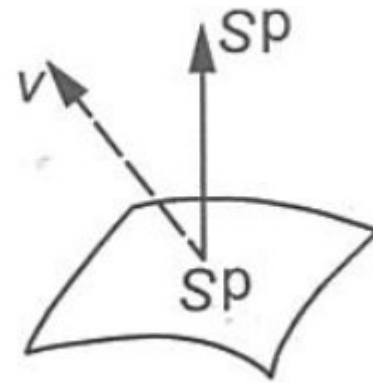
I: hangintenzitás (W/m²)

S: Felület (m²)

p_{eff}^2 : Effektív hangnyomásszint (Pa)

ρ_0 : közeg sűrűsége (kg/m³)

c_0 : hangsebesség (m/s)



A csodálatos decibel

Szintek

- A decibel (dB) fogalmát eredetileg a távközlésben a kábeleken történő jelveszteség mennyiségének meghatározására fejlesztették ki, és az amerikai **Bell Telephone Laboratories** mérnökei vezették be a 20. század elején. A "decibel" maga a **Bell** skálából származik, amelyet Alexander Graham Bell tiszteletére neveztek el.
- A dB-t azért vezették be, hogy kényelmesebben kezelhető legyen a teljesítménymarányok, hangnyomásszintek, illetve más fizikai mennyiségek hatalmas tartománya. Az elsődleges cél az volt, hogy a távközlési jelek csillapítását és erősítését egy logaritmikus skálán egyszerűsítsék.

A csodálatos decibel

Szintek

- A hangnyomás gyakorlatban előforduló értékei Pa-ban 10^6 nagyságrend különbségűek. Az emberi füllel még éppen hallható 2×10^{-5} Pa-tól az ember számára fizikai fájdalmat jelentő 100 Pa-ig terjed.
- zajeseményekben a p_{eff} értéke minden esetben nagyságrendekkel múlja alul a légkör statikus nyomás ($p_0 \approx 10^5$ Pa) értékét.
- A hangteljesítmény [W], a hangnyomással való négyzetes összefüggés miatt 12 nagyságrendet fog át.

Hangforrás	Hangteljesítmény[W]	Hangnyomás 10 m-re (Pa)
Sugárhajtómű	10000	56
Láncfűrész	1	0,56
Kiabálás	0,001	0,02
Hangos beszéd	0,0002	0,01
Normál beszéd	0,00001	0,002
Suttogás	0,000000001	0,00002

A csodálatos decibel

Szintek

az egyszerűbb matematikai kezelhetőség miatt, részben amiatt, hogy hallásunkat közelítőleg jól modellezi, célszerű a hangjelenségek leírása során alkalmazni a decibel skálát

Hangnyomásszint:
$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_{\text{eff}}^2}{p_{\text{ref}}^2} = 20 \log \frac{p_{\text{eff}}}{p_{\text{ref}}}, \text{ ahol } p_{\text{ref}} = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa} .$$

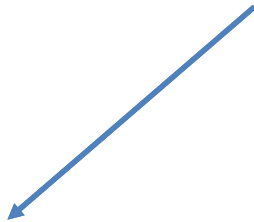
Hangteljesítményszint:
$$L_W = 10 \log_{10} \frac{W}{W_{\text{ref}}} \text{ dB} \quad W_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ W} = 1 \text{ pW} .$$

Hangintenzitás szint:
$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_{\text{ref}}} \text{ dB} \quad I_{\text{ref}} = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} .$$

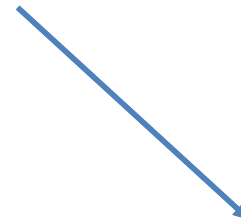
Hangforrás	Hangteljesítmény[W]	Hangteljesítmény szint dB(A)	Hangnyomás 10 m-re (Pa)	Hangnyomásszint 10 m-re dB(A)
Sugárhajtómű	10000	160	56	129
Láncfűrész	1	120	0,56	89
Kiabálás	0,001	90	0,02	59
Hangos beszéd	0,0002	83	0,01	52
Normál beszéd	0,00001	70	0,002	39
Suttogás	0,000000001	30	0,00002	-1

A csodálatos decibel

dB $\neq$ dB



Hangteljesítményszint L_w



Hangnyomásszint L_p

- Hangforrásra jellemző adat,
- hangenergia, amit a zajforrás kibocsát
- közvetlenül nem mérhető

- Hangforrástól adott távolságra okozott zajszint
- Ezt mérjük, ezt halljuk
- Határértékek erre vonatkoznak

A csodálatos decibel

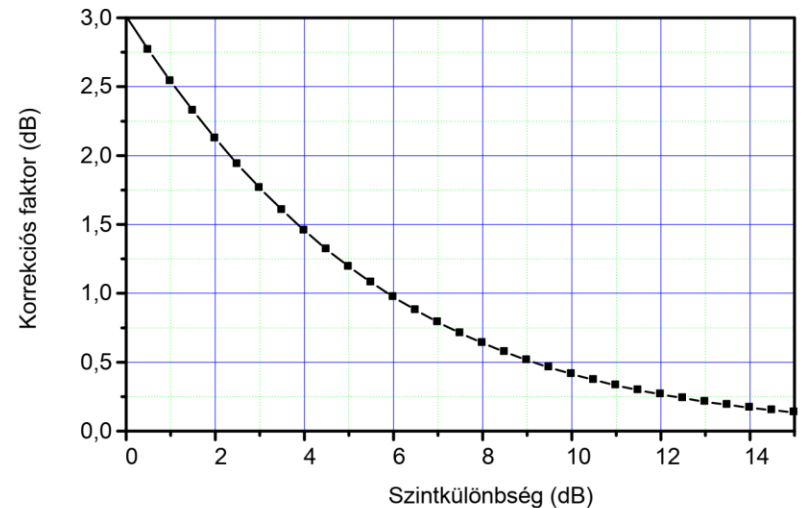
Műveletek szintekkel

Ha két vagy több különböző hangforrásból származó hangot egyszerre detektálunk, akkor az eredő hangnyomásszint a két forrás külön-külön történő méréséből meghatározható

$$L_{\Sigma} = 10 * \log_{10}(10^{0,1*L1} + 10^{0,1*L2} + 10^{0,1*L3} \dots) \quad L_{\Sigma} = L_1 + 10 * \log_{10}n$$

Két független hangforrás esetén:

2x2= néha 5?!



A csodálatos decibel

Műveletek szintekkel

A szintek kombinálására vonatkozó képlet módosítására van szükség, ha pl. egy hangforrást jelentős háttérzaj jelenléte mellett tudunk csak megmérni. Ilyen esetekben, miután megmértük a háttérzaj szintjét ($L_{háttér}$), illetve a forrás és háttér együttes zajsintjét ($L_{összes}$), a két mérés alapján az alábbi képlet segítségével határozható meg a forrás hangnyomásszintje

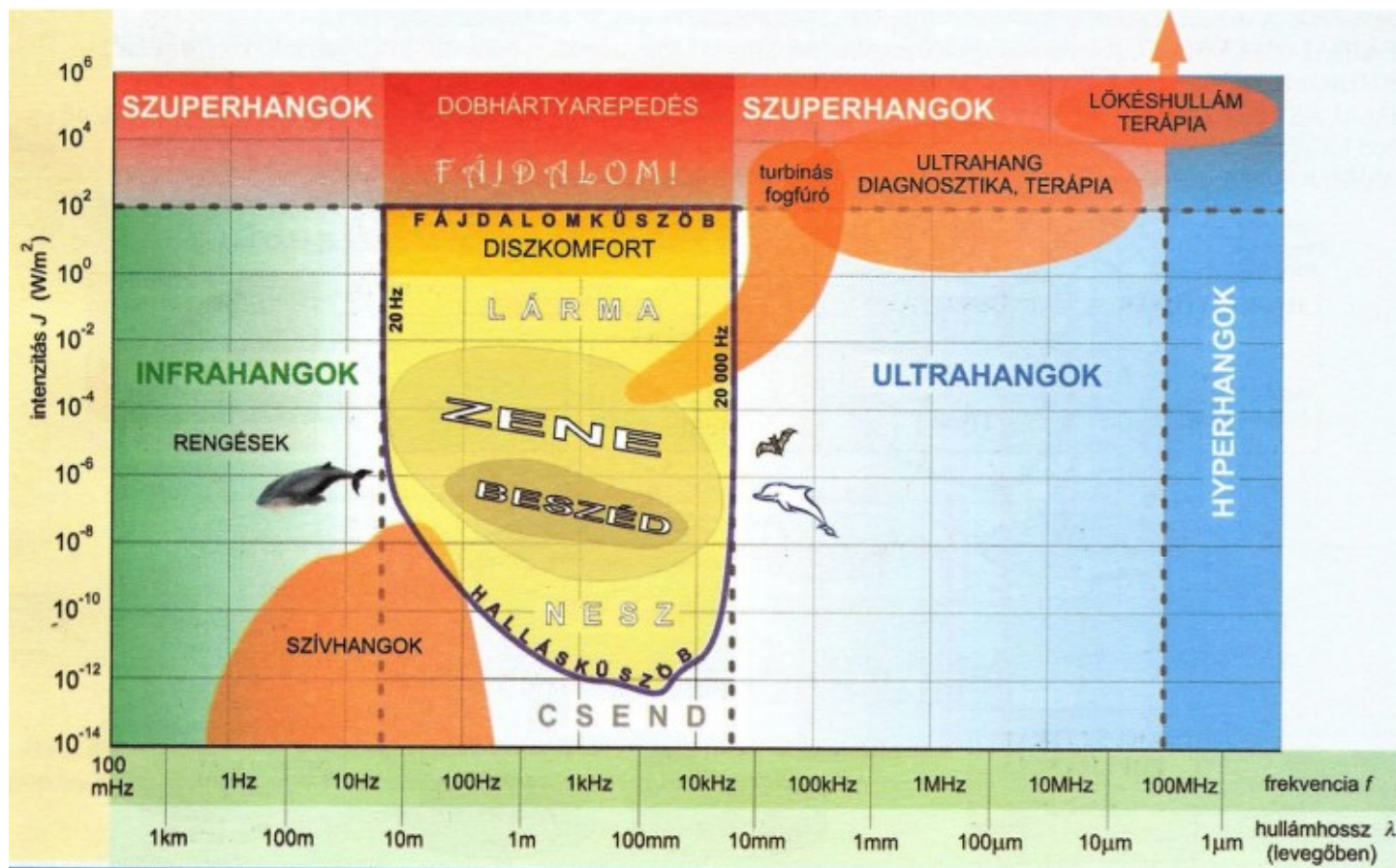
$$L_{forrás} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{összes}}{10}} - 10^{\frac{L_{háttér}}{10}} \right)$$

A képlet nem alkalmazható, ha az együttes hangszint kevesebb, mint 3 dB-lel nagyobb, mint a háttér zaj szintje.

Amennyiben a háttérzaj több mint 10 dB-lel kisebb, mint az együttes zaj, akkor nincs szükség a képlet alkalmazására, a mért $L_{összes}$ érték gyakorlatilag megegyezik a forrás hangszintjével.

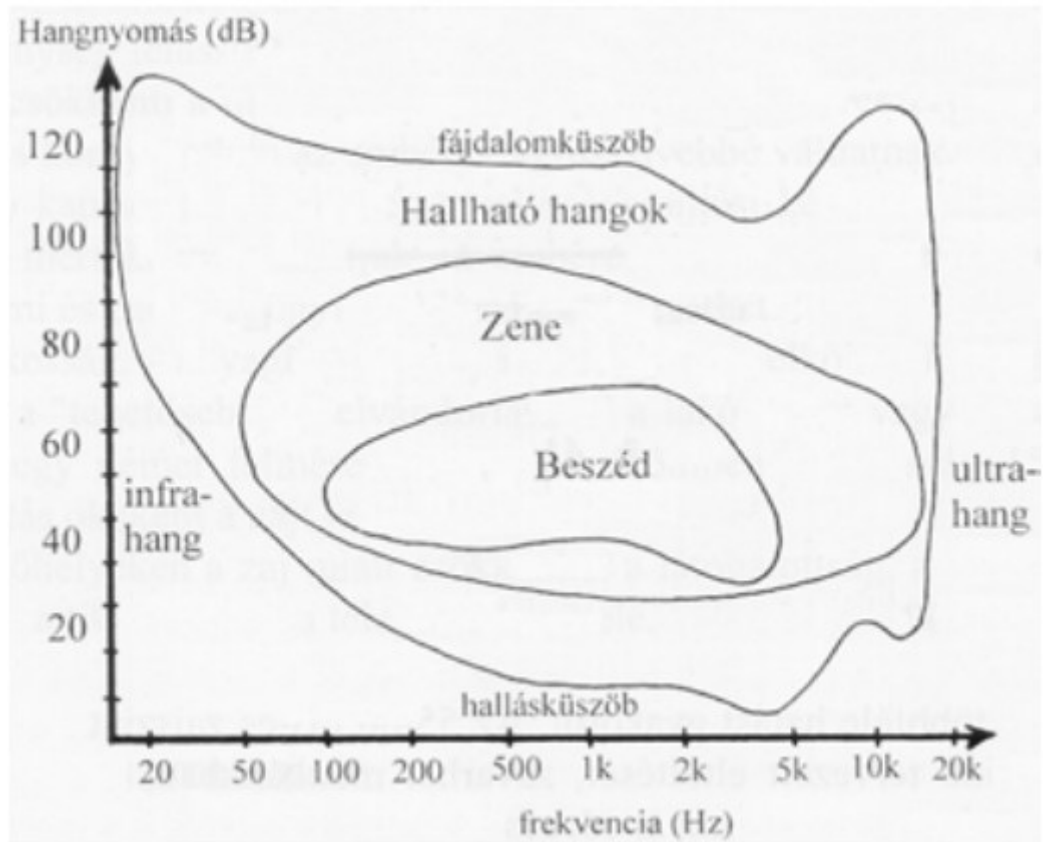
A hallható zaj

A hallható zaj



A hallható zaj

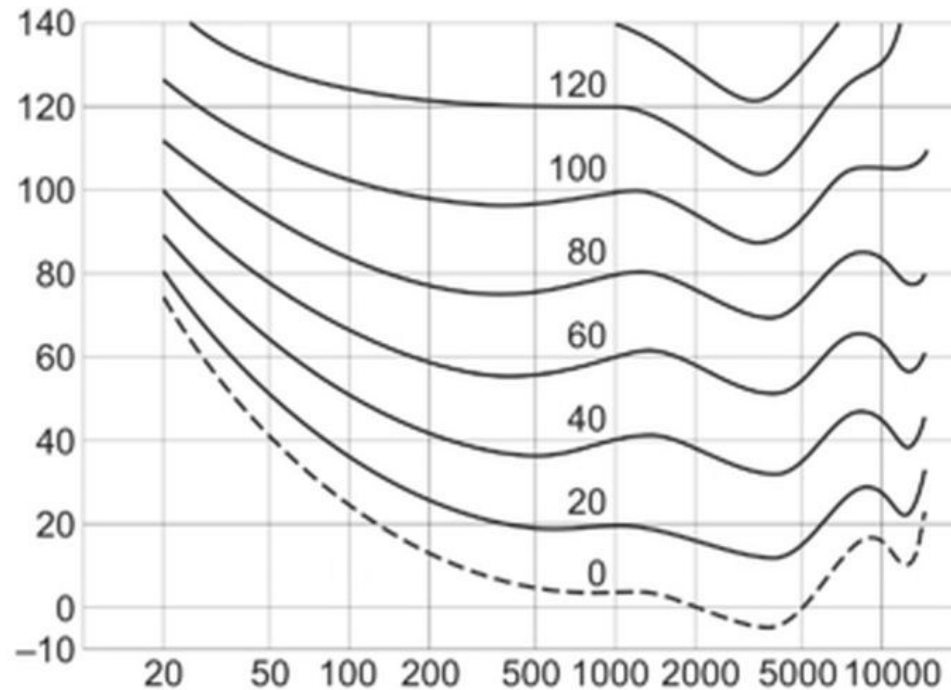
A hallható zaj



A hallható zaj

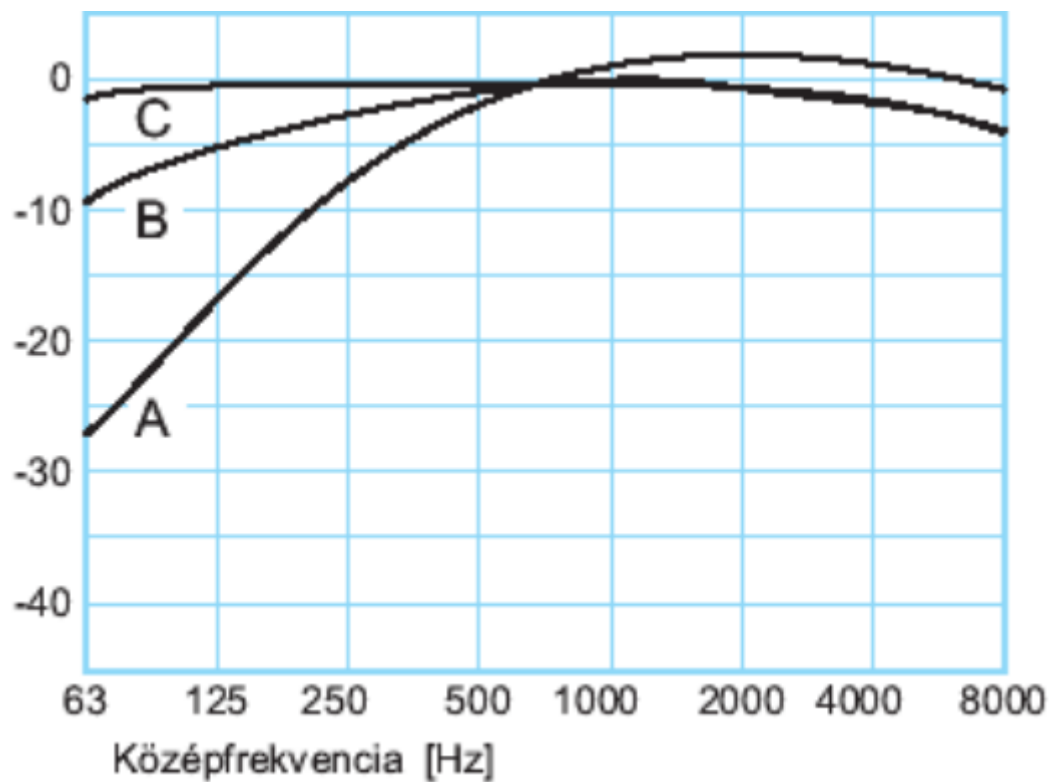
A hallható zaj

Fletcher és Munson (1933) végzett kísérleteket, melyek eredményeként meghatározták az ún. egyenlő hangosság görbék



A hallható zaj

Szűrők



A hallható zaj

Frekvencia sávok

Elméletileg egy akusztikus zajesemény teljes leírásához minden (az emberi fül által hallható) frekvencián ismerni kell az adott frekvenciához tartozó hangnyomásszintet. A gyakorlati életben, a legtöbb esetben azonban ilyen részletes ismeretére a zajnak nincs szükség, mivel egymáshoz közeli frekvenciákon a legtöbb esetben nincs jelentős változás a hangnyomásszintekben.

Oktávsáv

$$f_b = 2 f_a$$

$$f_k = \sqrt{f_a * f_b}$$

$$f_k = \sqrt{2} f_a$$

f_k : Sávközépfrekvencia

f_a : Alsó határfrekvencia

f_b : Felső határfrekvencia

Tercsáv

$$f_b = 2^{1/3} f_a$$

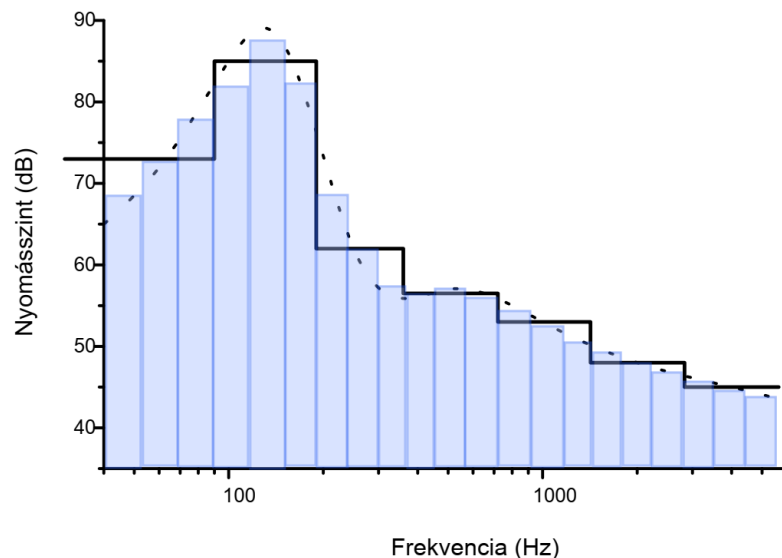
$$f_k = \sqrt{f_a * f_b}$$

$$f_k = 2^{1/6} f_a$$

f_k : Sávközépfrekvencia

f_a : Alsó határfrekvencia

f_b : Felső határfrekvencia



A hallható zaj

A hallható zaj

Azért, hogy a mért zajt az emberi érzékeléshez közelítsük, A' szűrőt alkalmazunk.

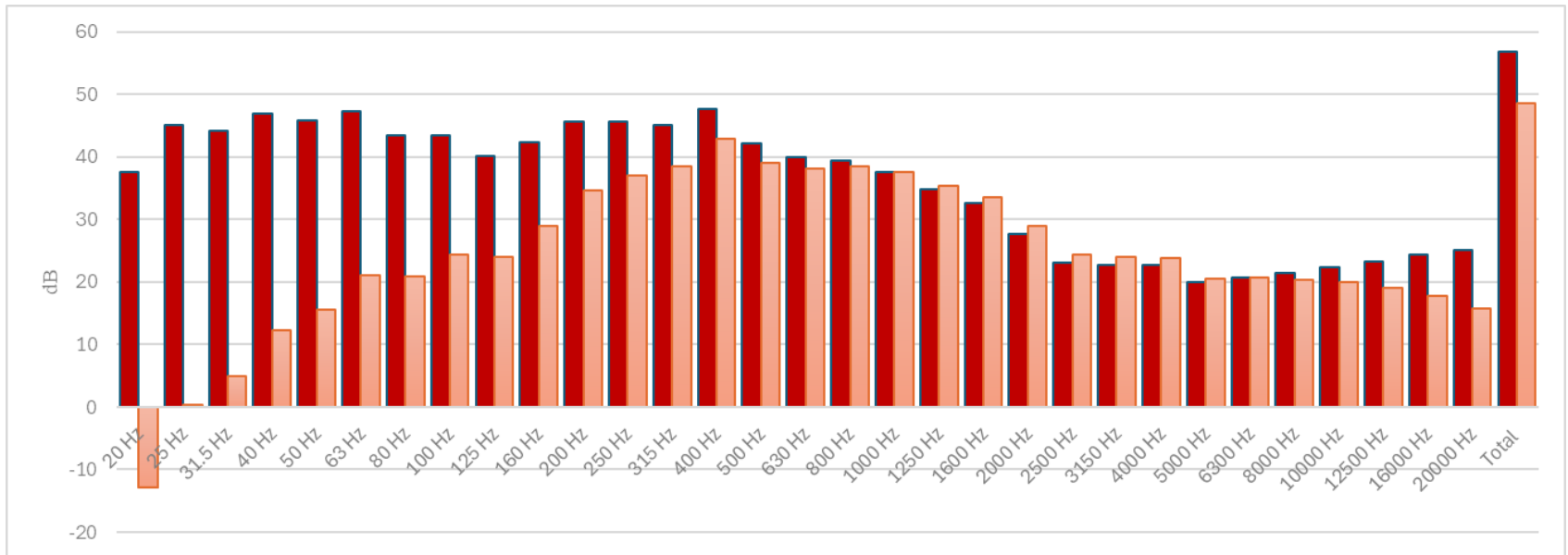
Oktáv-sáv- középfrekvencia (Hz)	Tercsáv- középfrekvencia (Hz)	A szűrő (dB)
63	50	-30,2
	63	-26,2
	80	-22,5
125	100	-19,1
	125	-16,1
	160	-13,4
250	200	-10,9
	250	-8,6
	315	-6,6
500	400	-4,8
	500	-3,2
	630	-1,9

Oktáv-sáv- középfrekvencia (Hz)	Tercsáv- középfrekvencia (Hz)	A szűrő (dB)
1000	800	-0,8
	1000	0
	1250	0,6
2000	1600	1
	2000	1,2
	2500	1,3
4000	3150	1,2
	4000	1
	5000	0,5
8000	6300	-0,1
	8000	-1,1
	10000	-2,5
16000	12500	-4,3
	16000	-6,6
	20000	-9,3

A hallható zaj

A hallható zaj

Azért, hogy a mért zajt az emberi érzékeléshez közelítsük, A' szűrőt alkalmazunk.



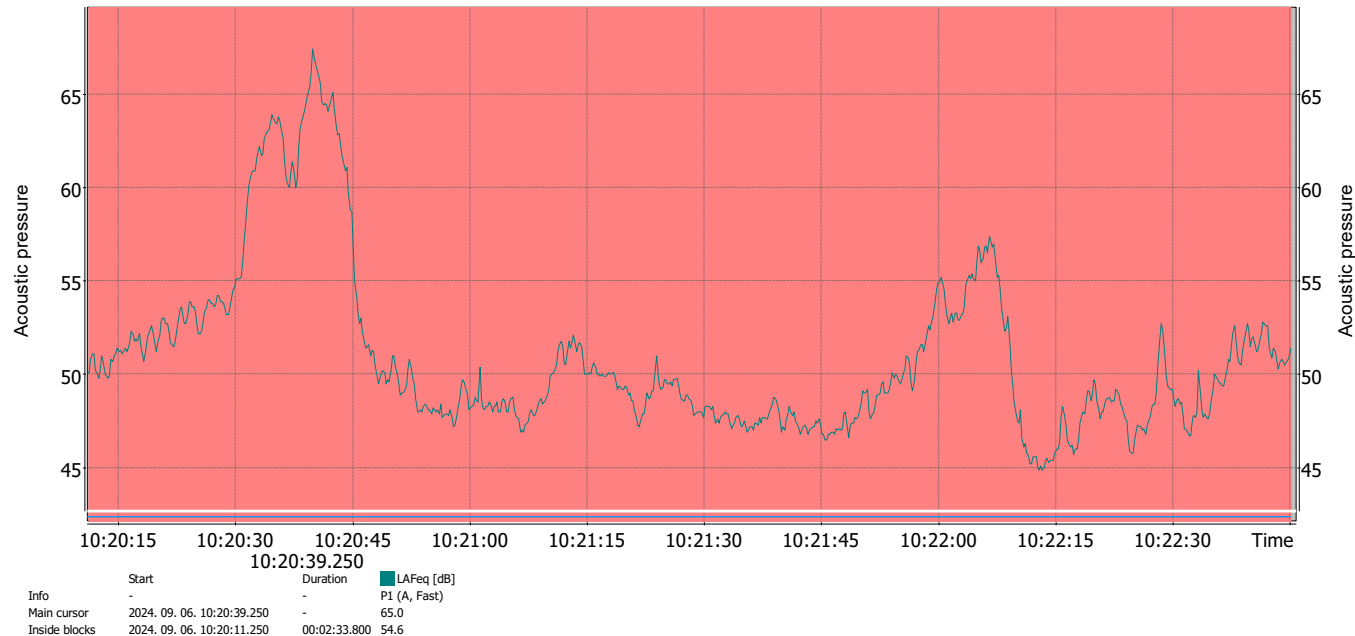
A hallható zaj

Egyenértékű hangnyomásszint Laeq

Egyenértékű A-hangnyomásszint: az időben változó zajok egyszámjegyű jellemzője, olyan mérőszám, amellyel jól jellemezhető a zaj emberre gyakorolt hatása.

T időtartam alatt mért átlagérték, melyet futó integrállal képezünk.

Logger results, pixels per sample = 2



A hallható zaj

Egyenértékű hangnyomásszint L_{Aeq}

27/2008. (XII. 3.) KvVM–EüM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról

1. §

a) megítélési szint (LAM): a vizsgált zajforrás egyenértékű A-hangnyomásszintjéből korrekciós tényezőkkel számított, a teljes megítélési időre vonatkoztatott érték, amelynek mértékegysége: dB,

Vége az első résznek