

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Felsőfokú munkavédelmi szakirányú továbbképzés

ZAJVÉDELEM

Rezgéstan és hangtan

MÁRKUS MIKLÓS

zaj és rezgésvédelmi szakértő

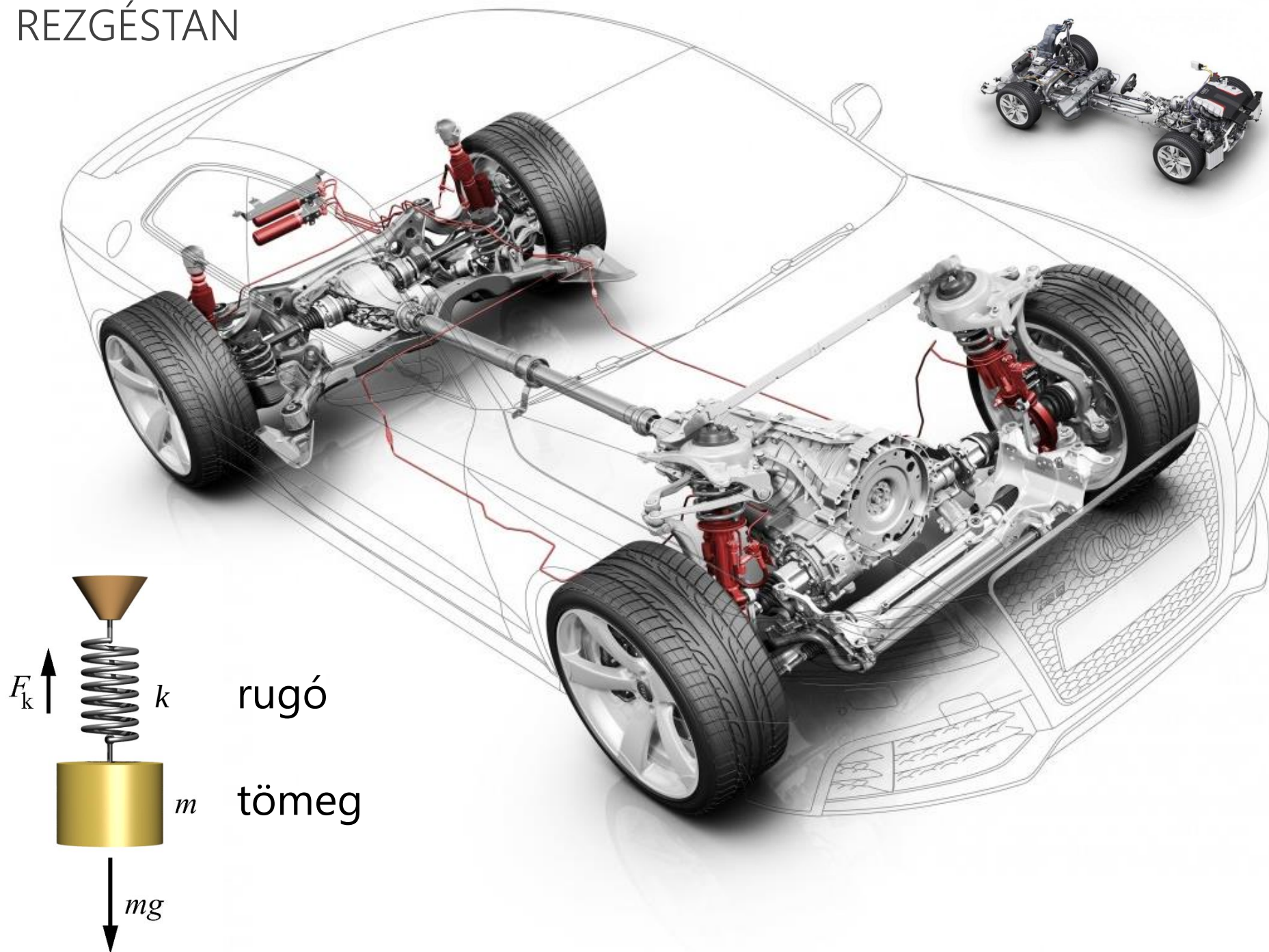
 markusmiklos@fonor.hu

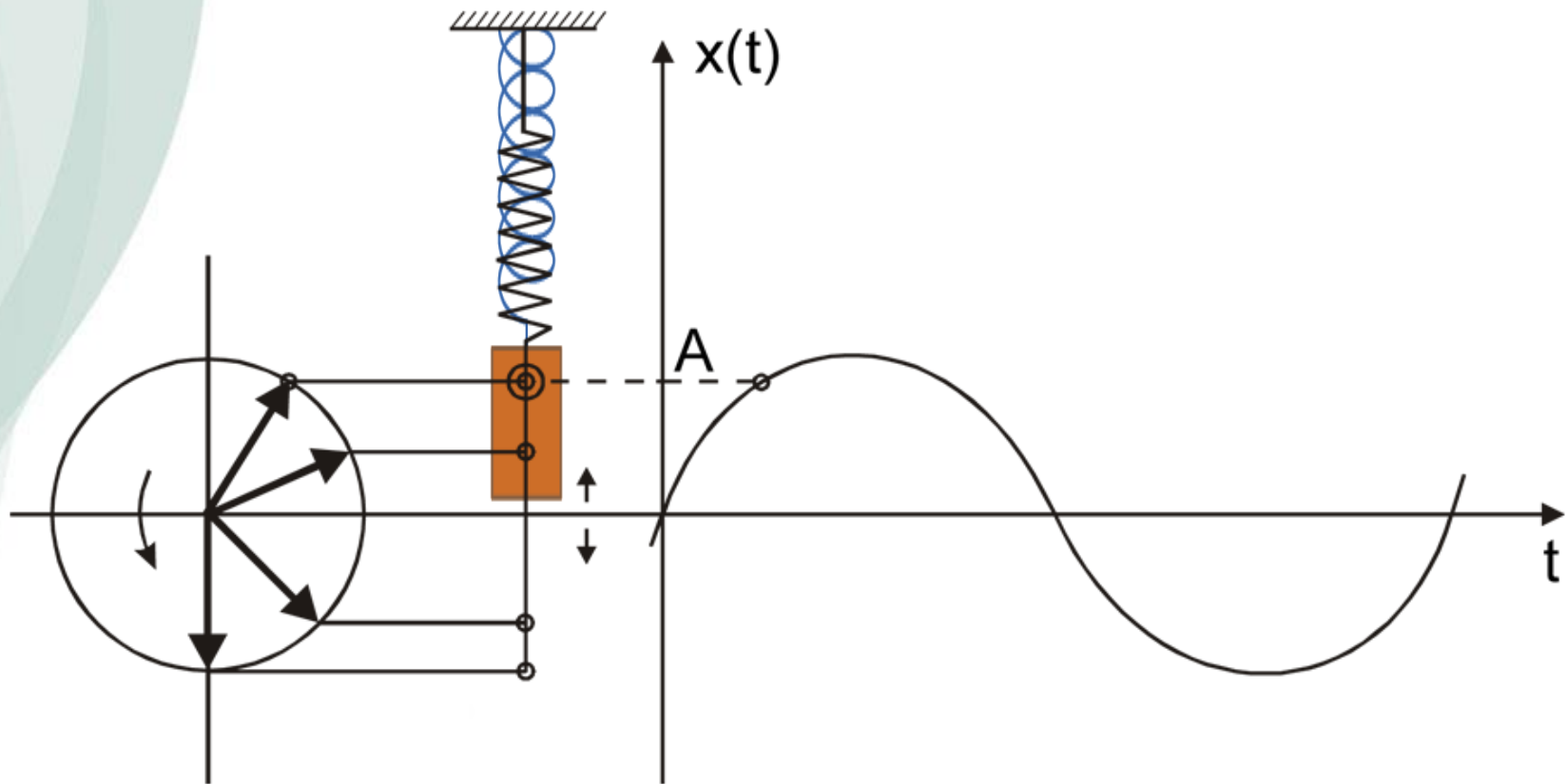


REZGÉSTAN



REZGÉSTAN





forgó
vektor

tényleges
kitérés

a kitérés időfüggvénye

Egyszerű harmonikus (szinuszos)
egydimenziós (egy szabadságfokú)
periodikus csillapítatlan rezgés időfüggvénye:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

ahol:

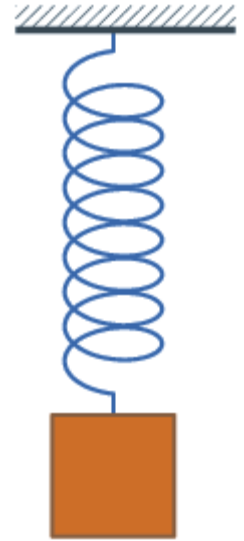
A – kitérés amplitúdója (m)

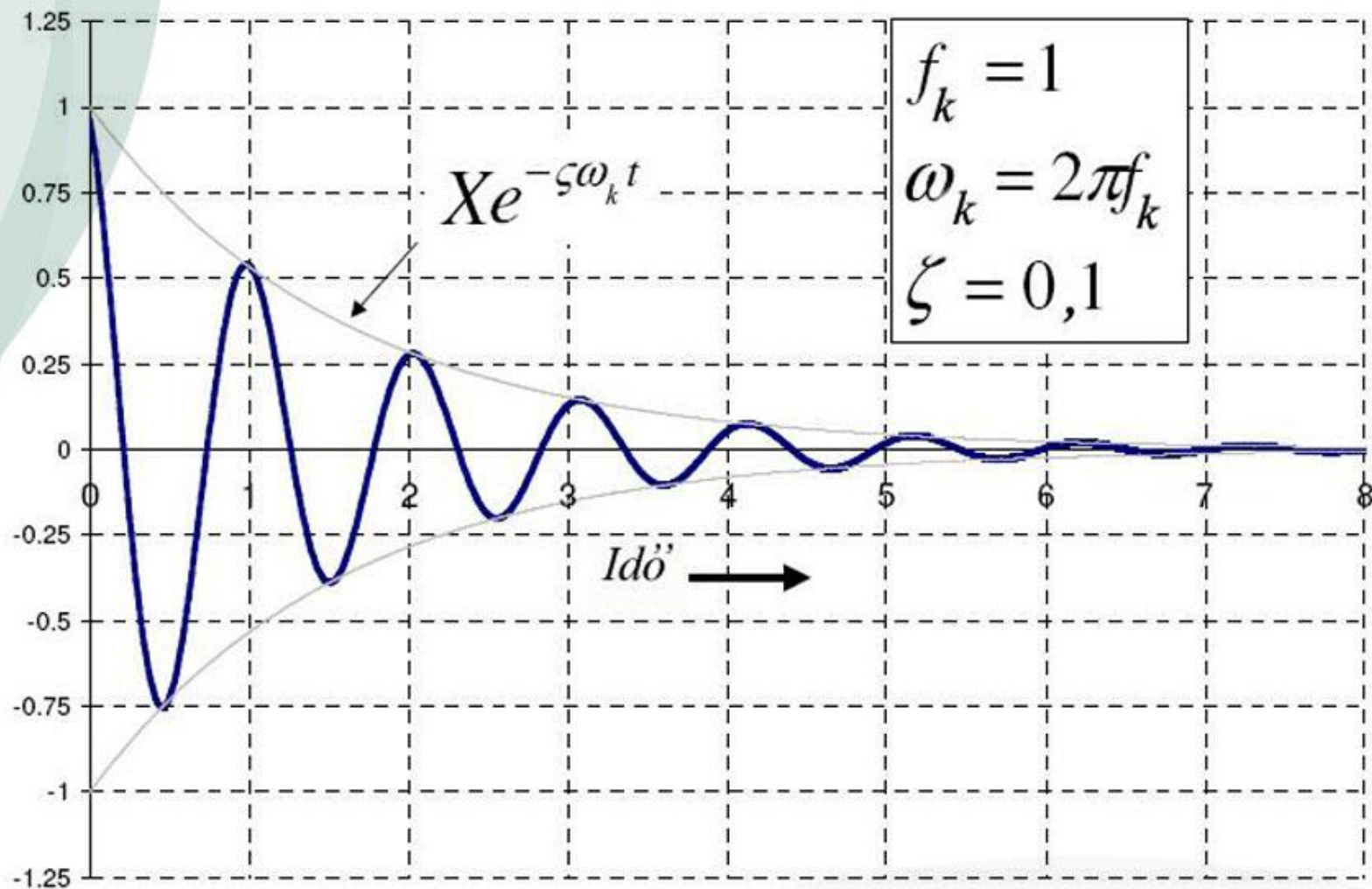
t – idő (s)

ω – körfrekvencia (rad/s) = $2\pi f$

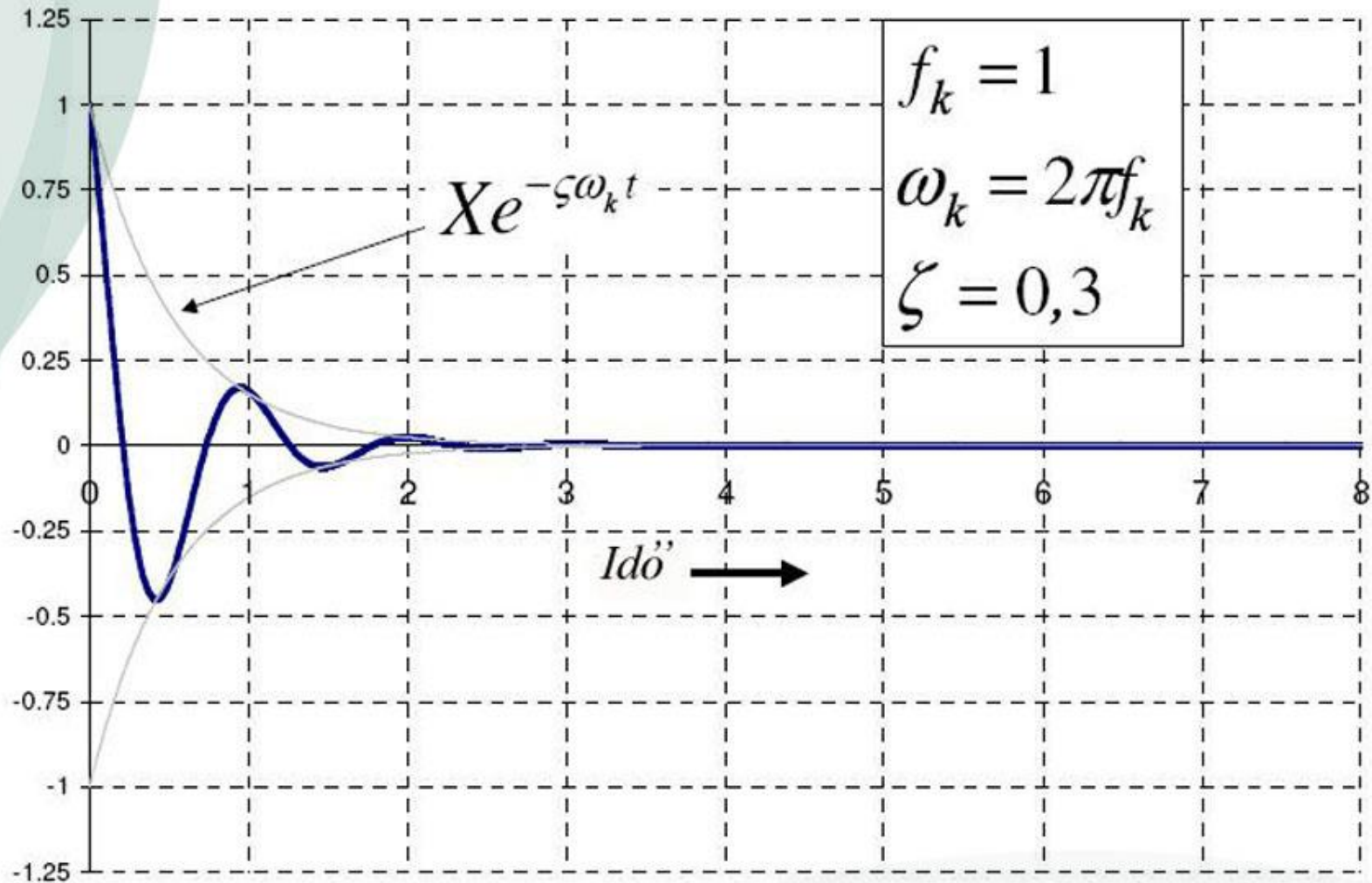
f – frekvencia, a másodpercenkénti rezgések száma (Hz)

φ – a fázisszög kezdeti értéke (rad)





Csillapított szabadrezgés 0,1-es csillapítási tényezővel



Csillapított szabadrezgés 0,3-as csillapítási tényezővel

Rezonanciafrekvencia (def.): más néven sajátfrekvencia (f_0) a gerjesztett rendszer olyan jellemzője ahol a rezgés-amplitúdónak (a legnagyobb kitérésnek) maximuma van (rezonancia lép fel).

$$f_0 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{m \cdot C}}$$

ahol:

f_0 – a rendszer sajátfrekvenciája (Hz)

ω – körfrekvencia (rad/s)

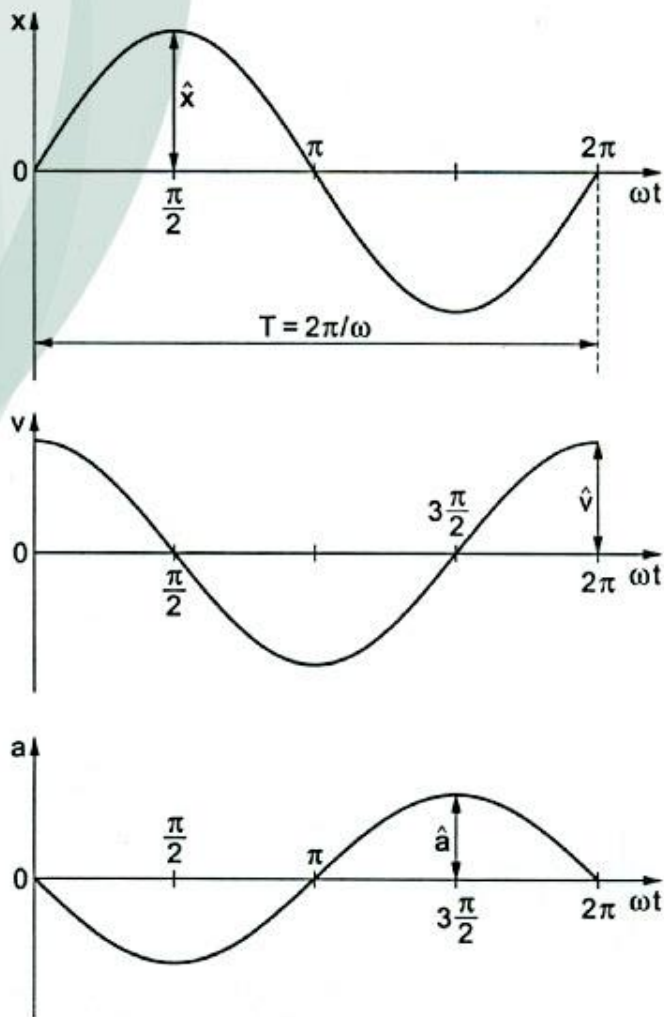
m – rezgő tömeg (kg)

k – rugómerevség (N/m)

C – rugóengedékenység (m/N)



RESONANCE



$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$$

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t)$$

Rezgésjellemzők időfüggvénye

HANGTAN



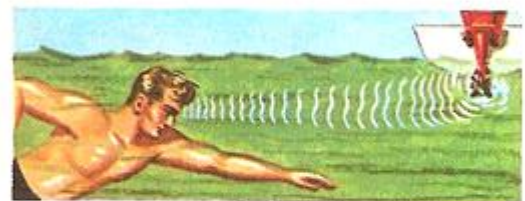
Hang (def.): valamilyen **rugalmas** közegben **nyomáshullám** (mechanikai hullám) formájában terjedő **rezgés**.

Hangforrás (energiaforrás) >
léghang / **folyadékhang** / **testhang**

Zaj (def.): **szubjektív** megítélés szerint nem kívánt / kellemetlen / **zavaró** / káros hatású **hang**.



Vibrations travel through SOLIDS
You can hear through a solid because it too transmits vibrations.



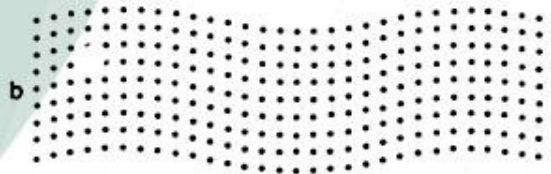
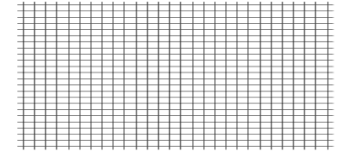
Vibrations travel through LIQUIDS
A liquid also transmits vibrations, making it possible to hear underwater, for instance.



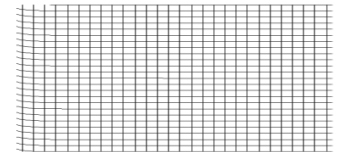
... But NOT through a VACUUM
You cannot hear through a vacuum; there is nothing to carry the vibrations (sound) to your ears.



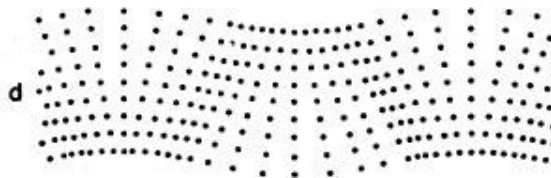
longitudinális (hosszanti) hullám



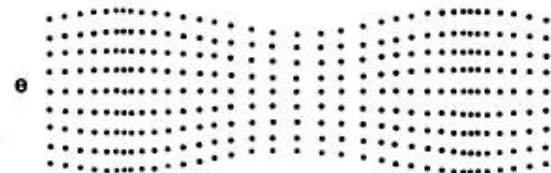
transzverzális (merőleges) hullám



Rayleigh-féle hullám



hajlítási hullám



tágulási hullám

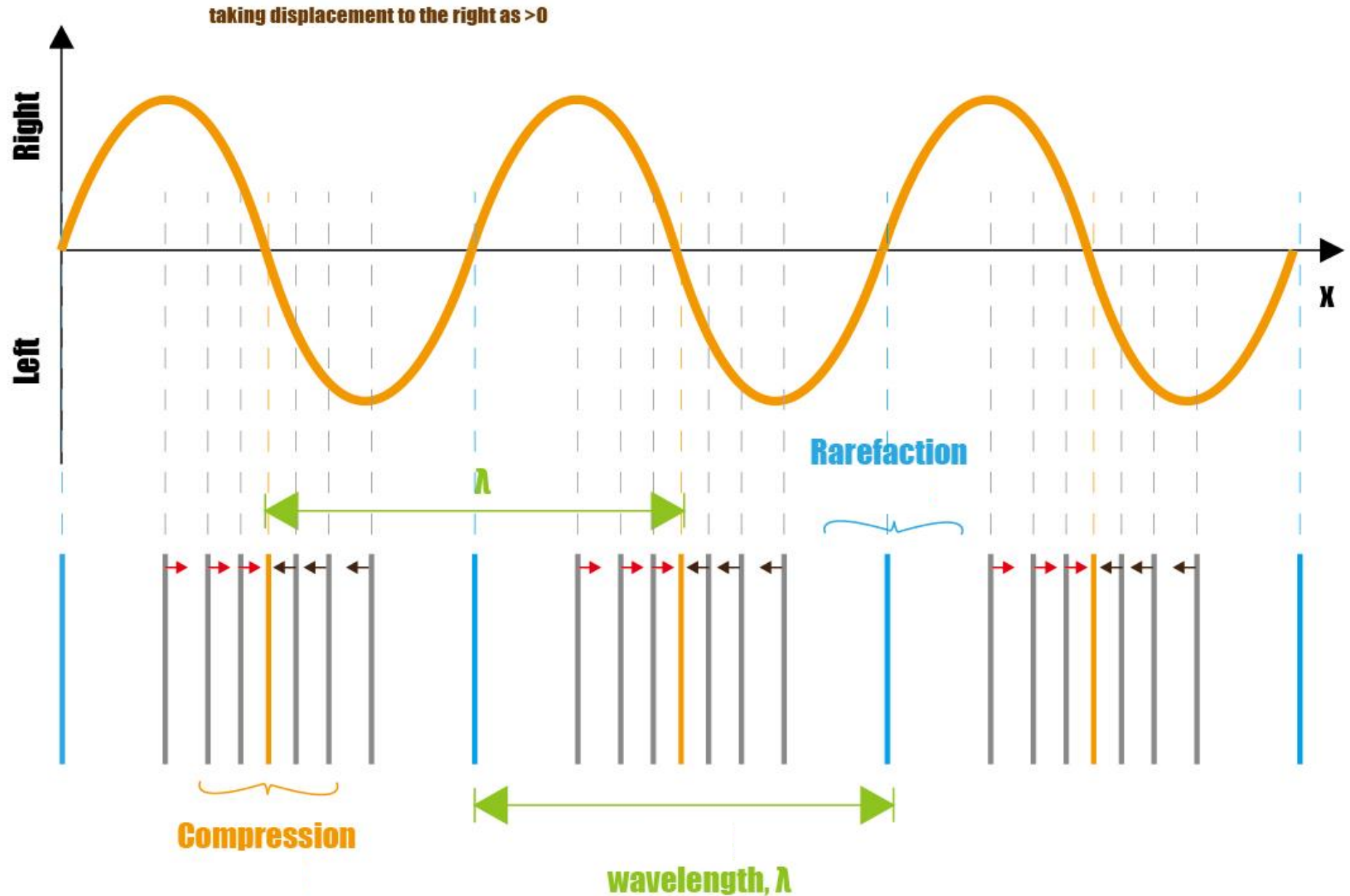
Hullámterjedés formái



Transverse Wave



Longitudinal Wave



Hangnyomás (def.): a *hangforrás* folyamatosan mechanikai energiát ad át a körülötte lévő közegnek, így *a közegben nyomásingadozást okoz* (tehát hangot kelt), ennek következtében a $p_{\text{lég}}$ légköri nyomáshoz egy kismértékű nyomásingadozás adódik, melyet **hangnyomásnak** nevezzük.

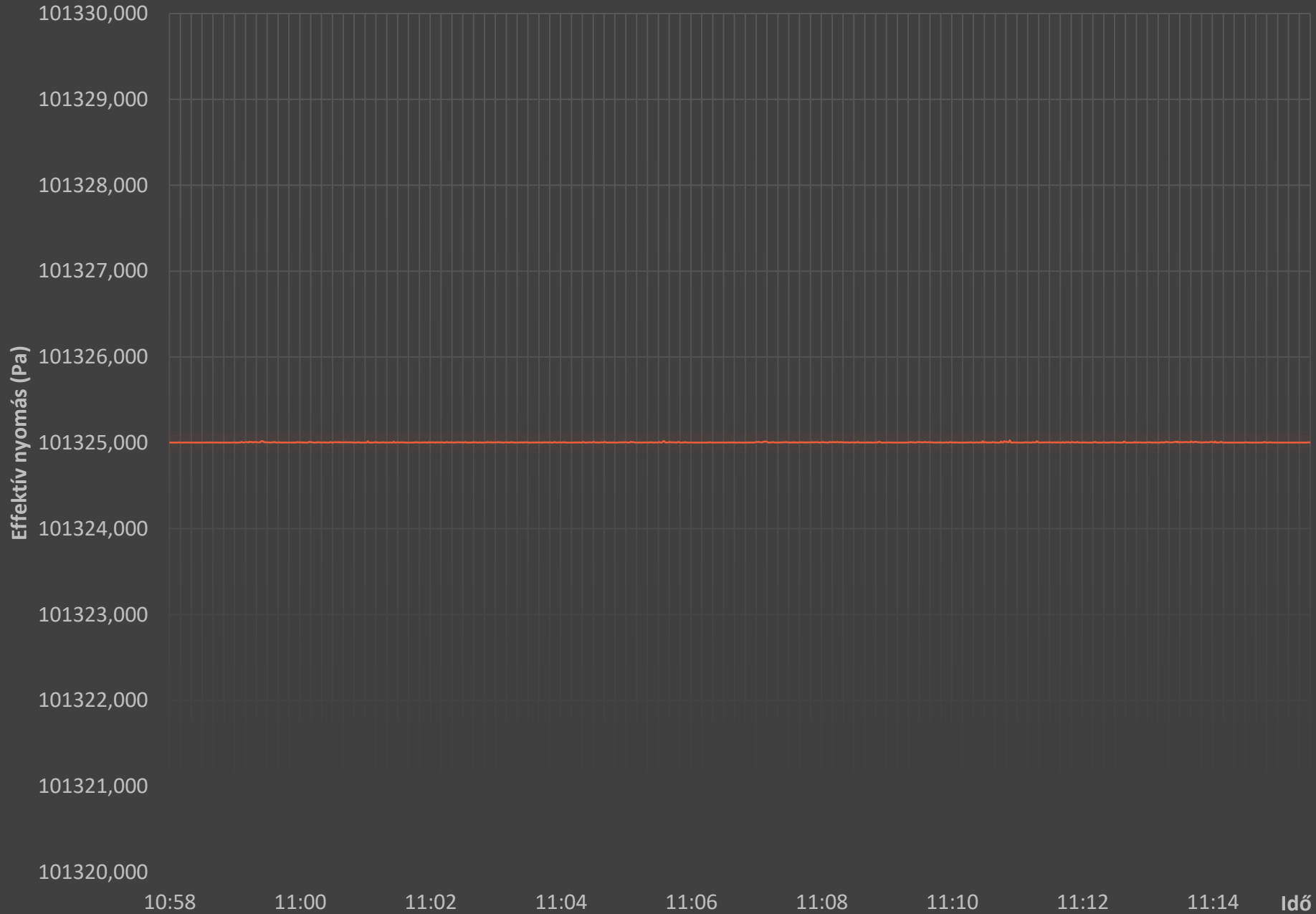
Jele: p , mértékegysége: Pascal [Pa].

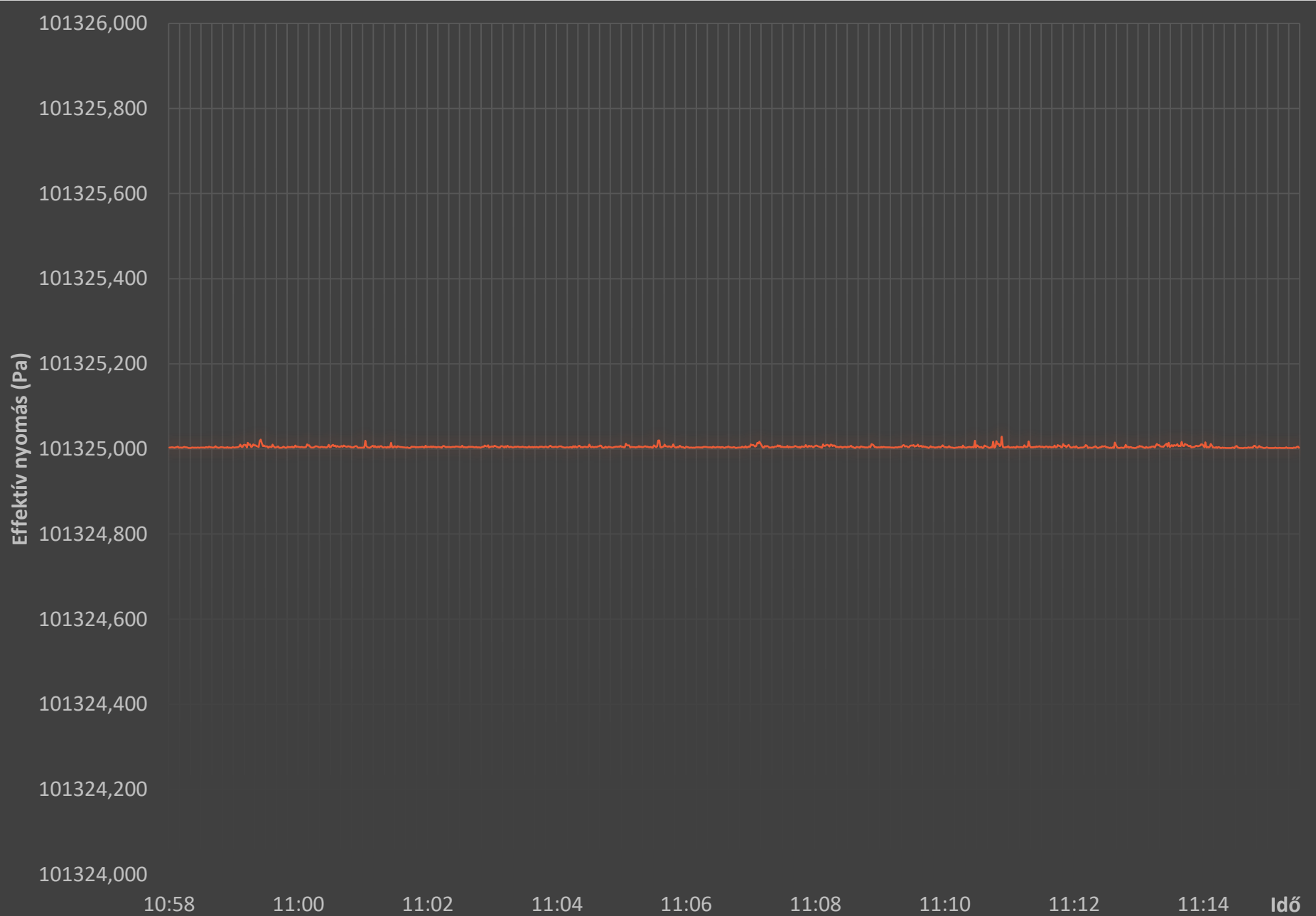


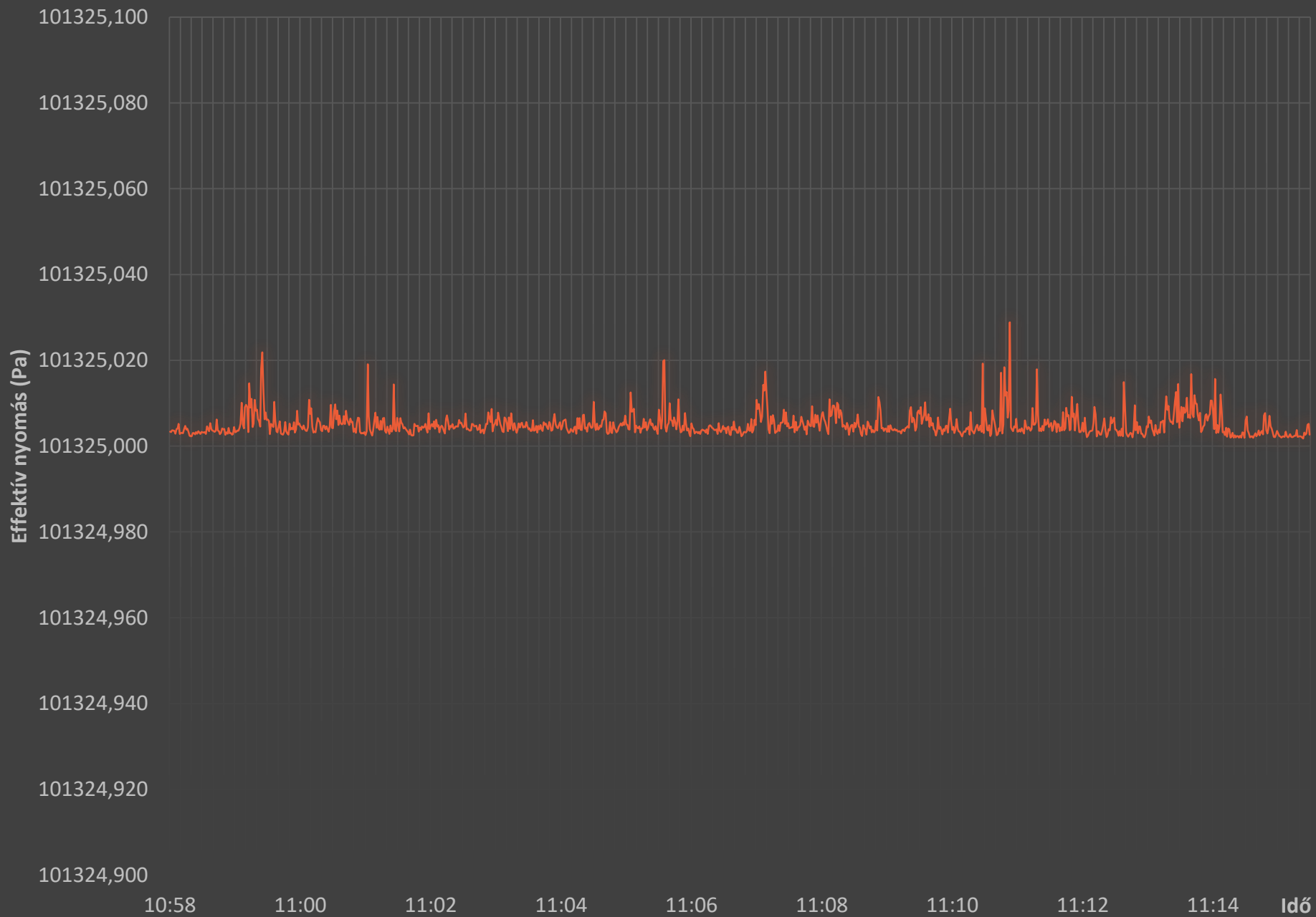
A normál légköri nyomás: $p_{\text{lég}} = 101325 \text{ Pa} \approx 10^5 \text{ Pa}$

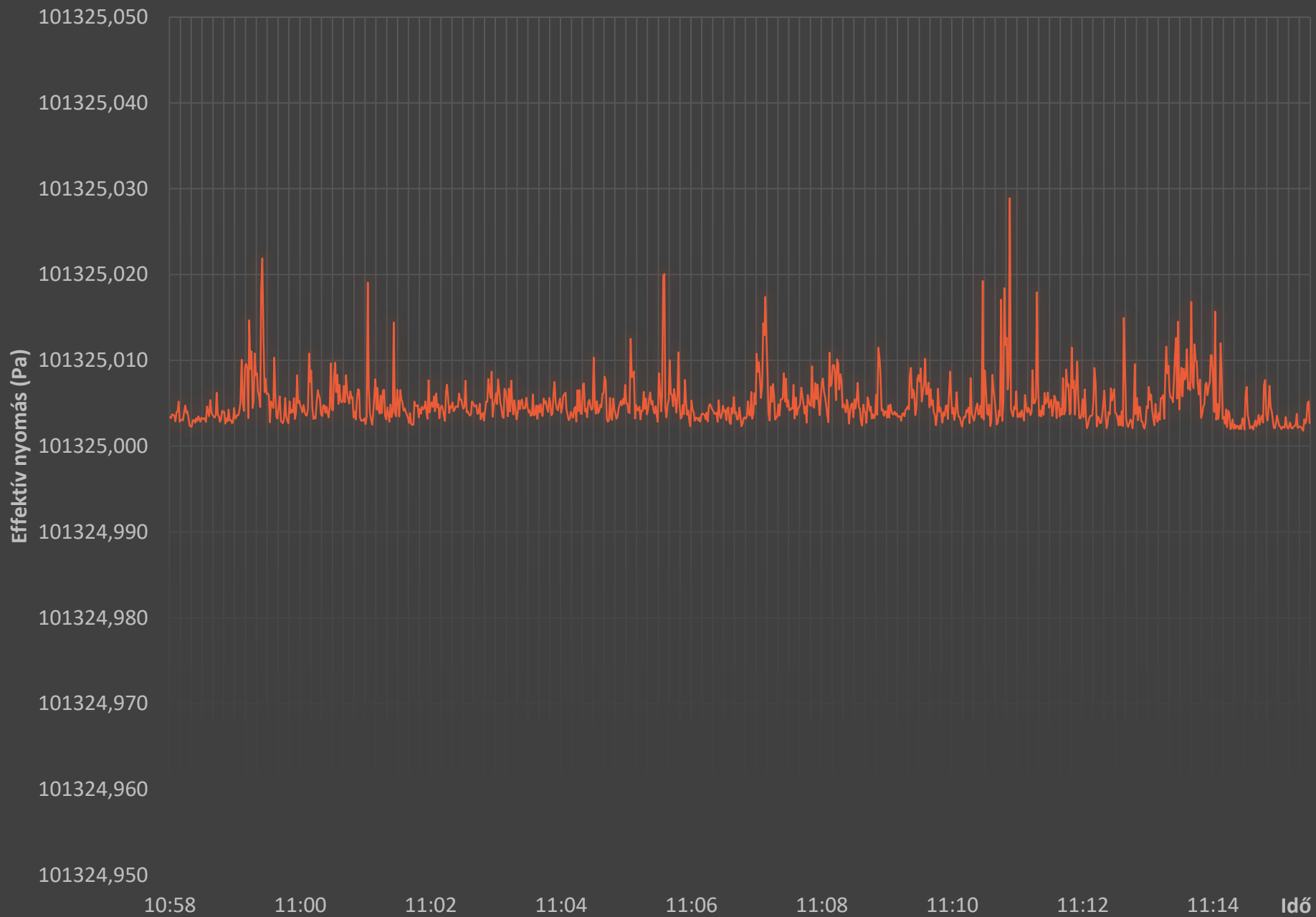
Az éppen meghallható hangnyomás: $p_0 = 0,00002 \text{ Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

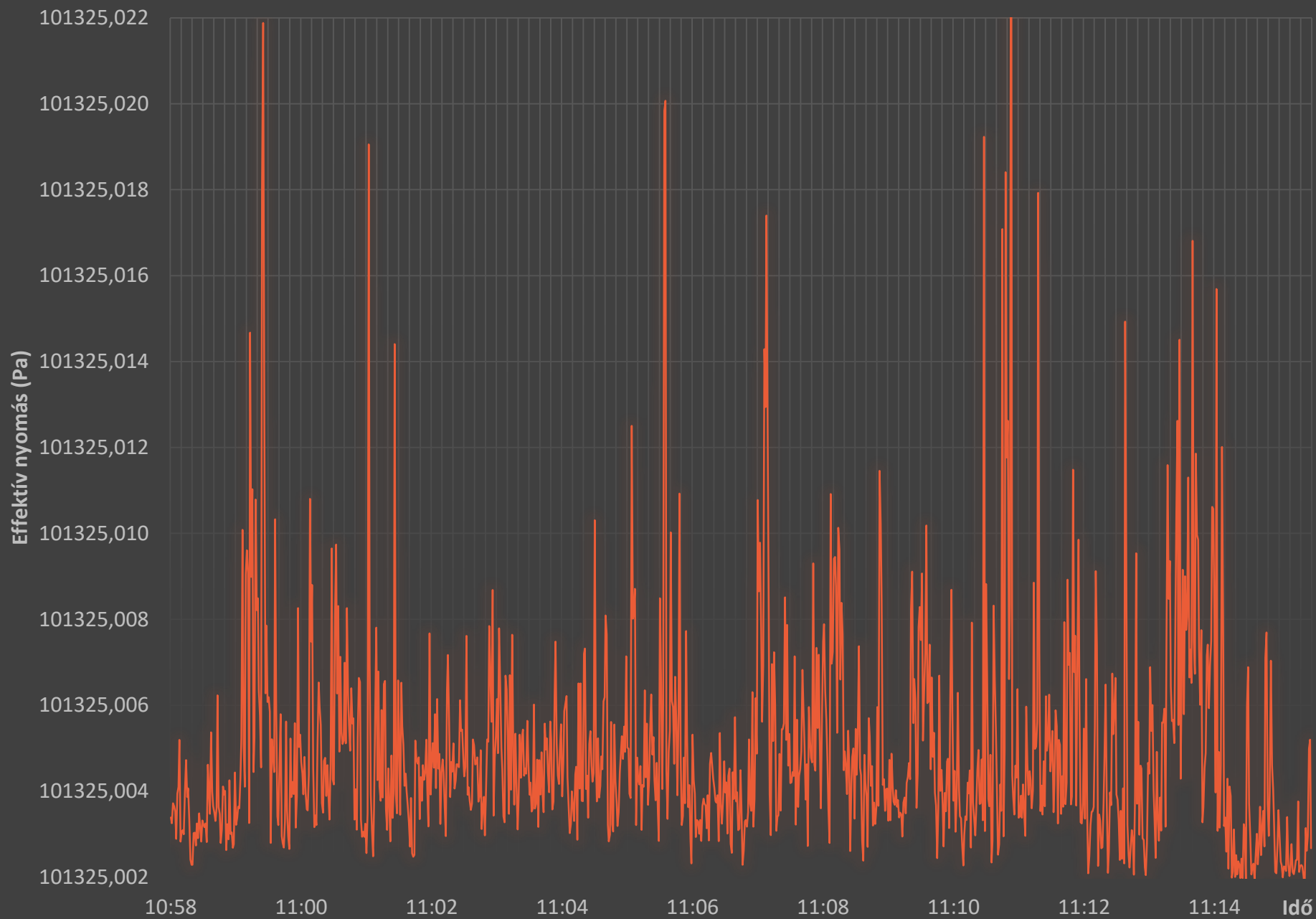
A **20 Pa** nagyságrendű hangnyomás már fájdalomérzetet kelthet!











A hangnyomás effektív értéke (def.): a hang fizikai jellemzésére leggyakrabban használt érték, mely a hangnyomás $p(t)$ időfüggvényének négyzetes középértéke (*RMS értéke*):

$$p_{eff} = \sqrt{p^2(t)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

Szinuszosan változó hangnyomás esetén:

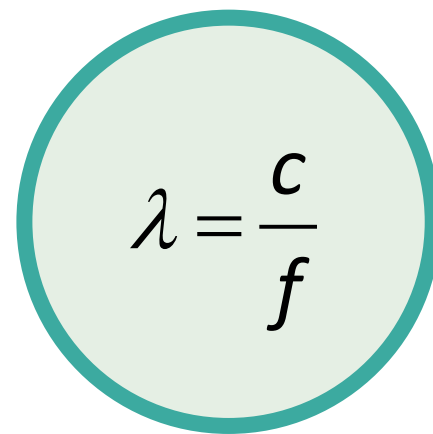
$$\int_0^T \hat{p}^2(t) dt = T \frac{\hat{p}^2}{2} \quad \text{mely alapján} \quad p_{eff} = \frac{\hat{p}}{\sqrt{2}} = 0,707 \hat{p}$$

Frekvencia (def.): a másodpercenként ismétlődő teljes hullámperiódusok száma, az *időbeli periodicitás* jellemzője.

Jele: f , mértékegysége: [Hz].

Hullámhossz (def.): a hullám azonos fázisú pontjainak távolsága, a *térbeli periodicitás* jellemzője.

Jele: λ , mértékegysége: méter [m].


$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Hangsebesség (def.): a hullámterjedés sebessége a közegben, mely alapvetően a *közeg sűrűségének a függvénye*.

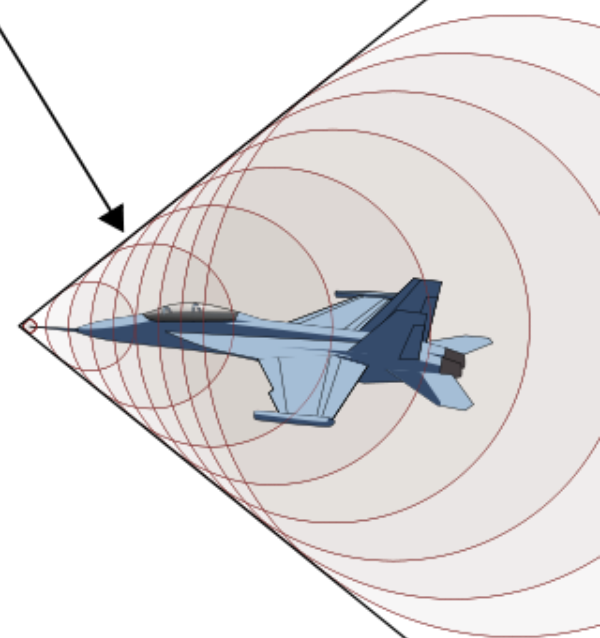
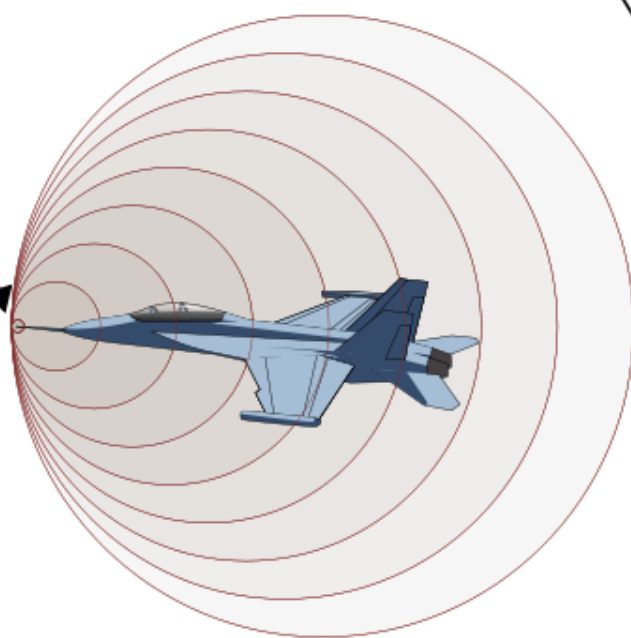
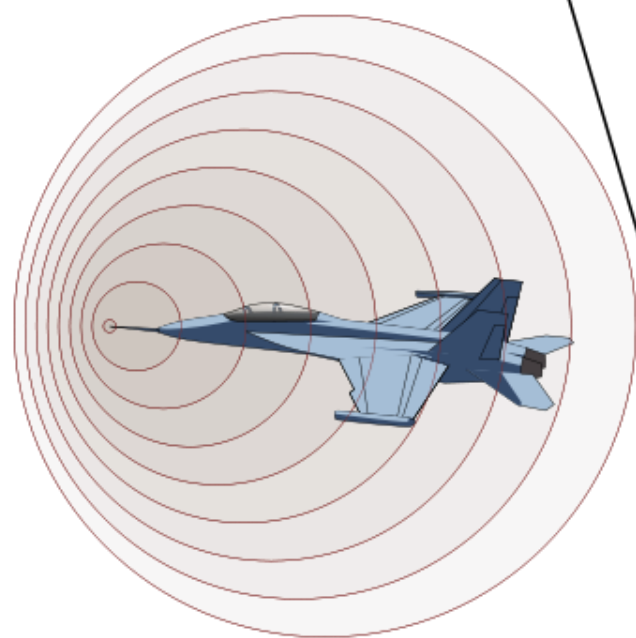
Nem a közeg részecskéinek pillanatnyi rezgése sebessége (v)!

Jele: c , mértékegysége: [m/s].



Overlapping

Shock Cone

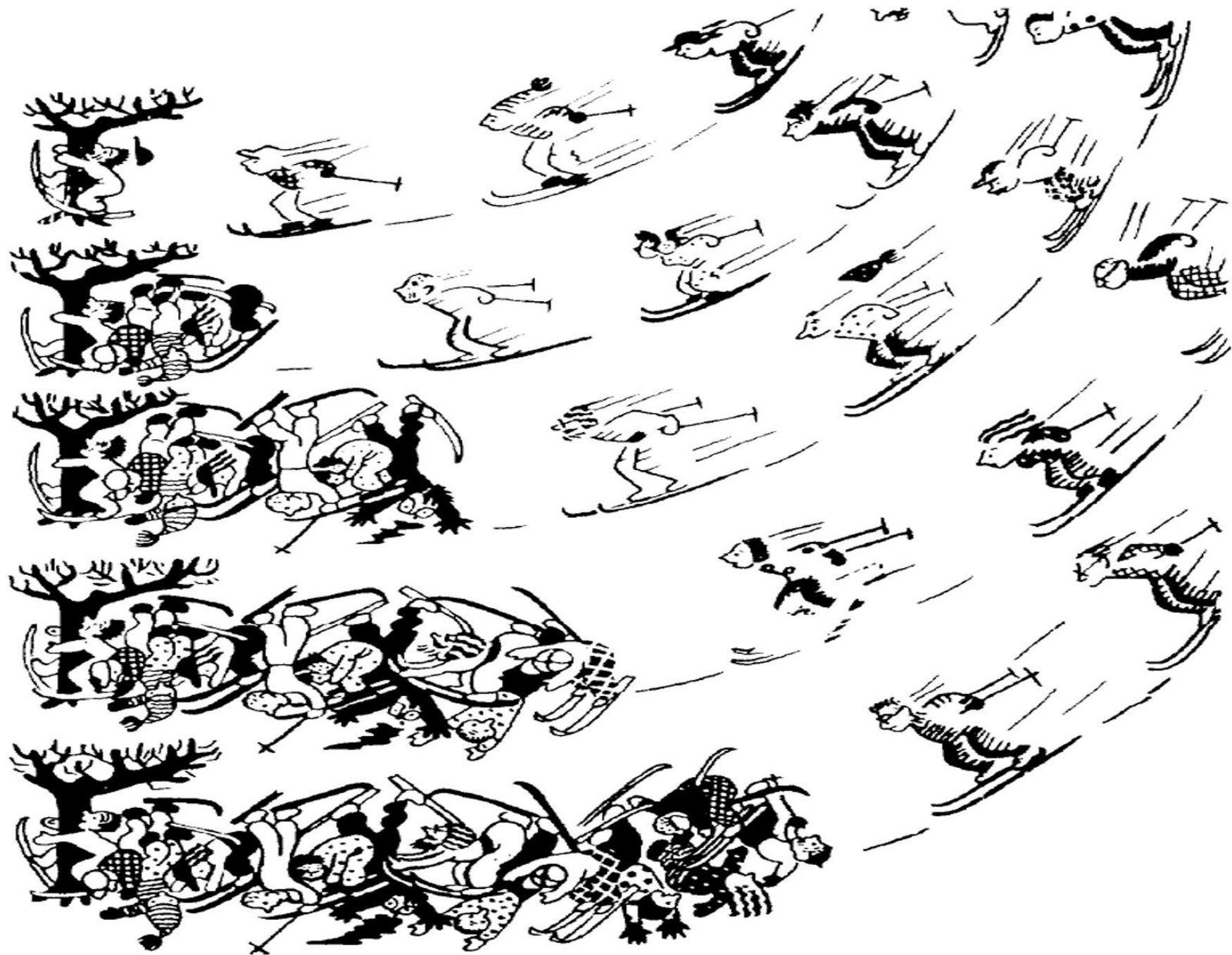


Wavefronts

Subsonic
speed

Mach
One

Supersonic
speed



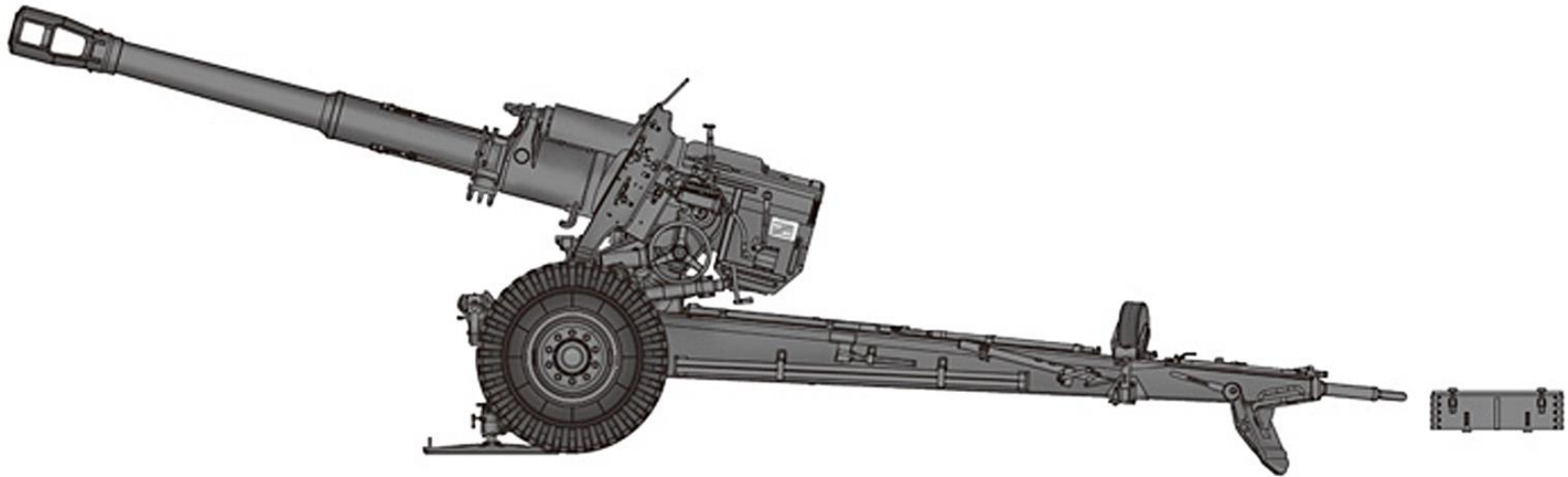


A ZAJFORRÁS

D-20 152 mm tarackágyú

D-20 152 mm tarackágyú

1950-től gyártott szovjet gyártmányú vontatott tüzérségi löveg



ZAJFORRÁS:

saját tömeg: **5700 kg**

lőszer tömege: **43,51 kg**

lövedék kezdősebessége: **600 m/s**

maximális lőtávolság: **17,4 km**

HELYSZÍN:

MH BHK **Bakonykúti** Kiképző bázis

25. Klapka György Lövészdandár

kezelő személyzet: **6 fő**

lőszer: **2-es és 4-es töltet**

Mérőrendszer

BK 2250



1,2" mikrofón



1,2" mikrofón



1/8" mikrofón

< 184 dB







KEZELŐ

CSAK PIHEN

MÉRÉSI PONT

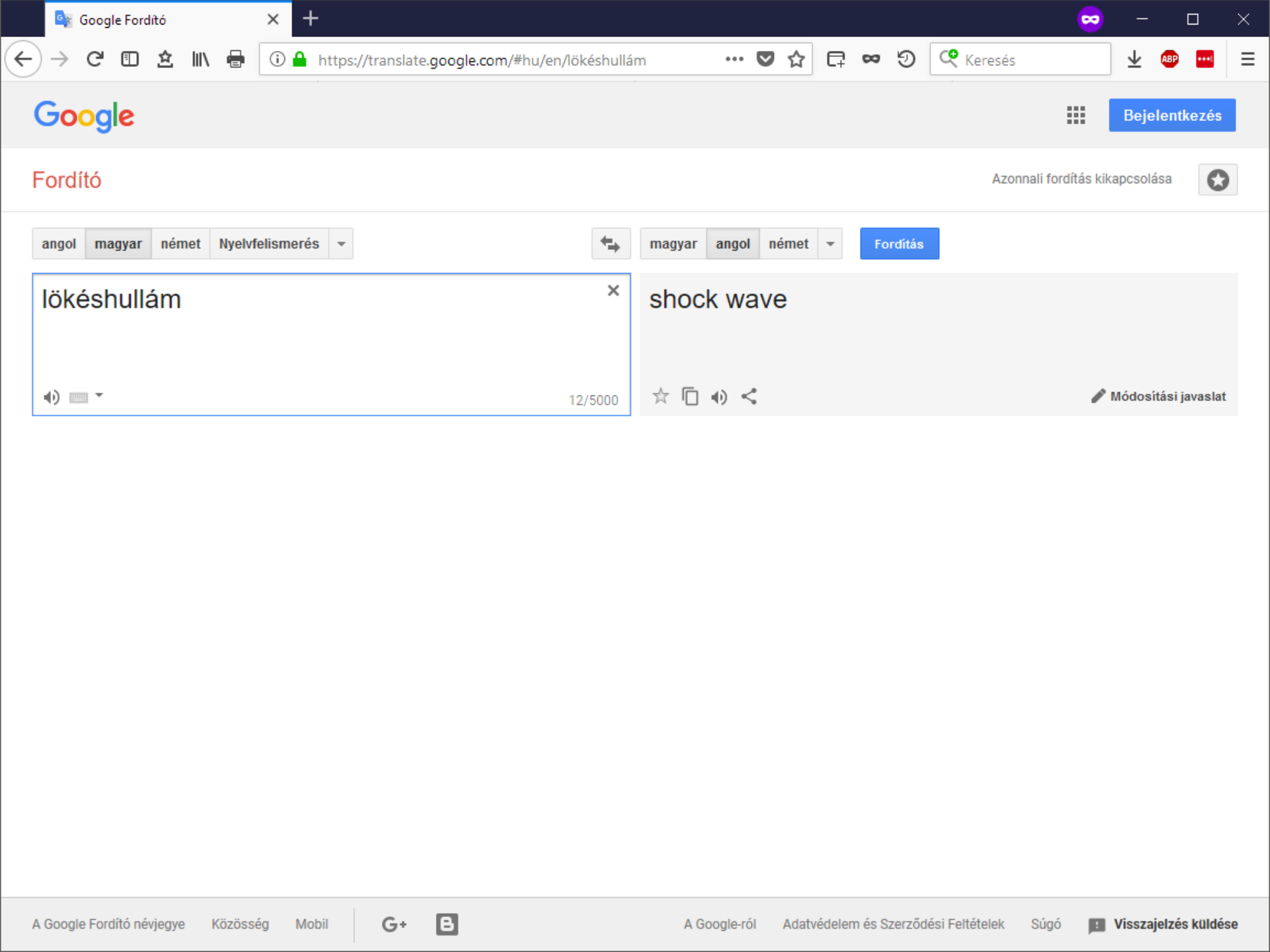


Robbanás?

Nyomáshullám?

Lökéshullám?

Hanghullám?





SHOCKWAVE

A MICHAEL BAY FILM

TRANSFORMERS

DARK OF THE MOON



Hugoboss, Transformers, and all other characters are trademarks of Hasbro. © 2011 Hasbro. All Rights Reserved.

TransformersMovie.com

IMAX 3D is a registered trademark of IMAX Corporation.



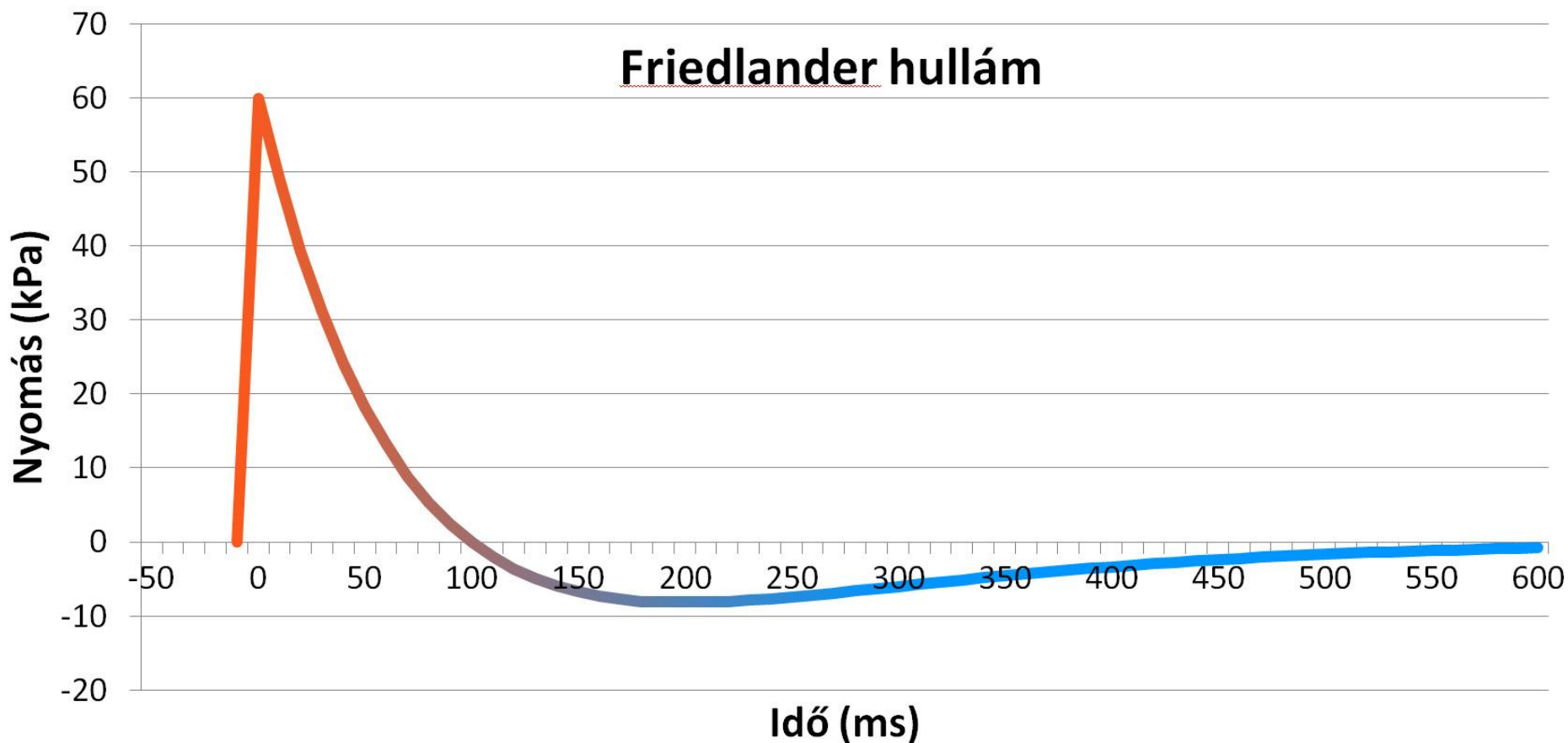
© 2011 Paramount Pictures. All Rights Reserved.

Lökéshullám hullámfrontja

- hirtelen fellépő nagy túlnyomás
- adiabatikus folyamat
- nagy felületi hőmérséklet
- **szuperszonikus** terjedés

Dekompressziós zóna

- légnyomáscsökkenés
- szívóhatás
- **szubszonikus** terjedés



LÖKÉSHULLÁM RECEPT

Robbanás feltételei:

- éghető anyag **koncentrációja**
- közeg: **oxigénforrás**
- gyújtóhatás: **hőenergia**
- égés sebessége **>100 m/s**

Lökéshullám feltételei:

- elegendően **nagy energia**
(amplitúdó)
- elegendően **nagy sebesség**
(szuperszonikus)





Hangintenzitás (def.): a hanghullám akusztikai energiát szállít terjedésének irányában, az egységnyi idő alatt egységnyi felületen merőlegesen átáramló hangenergia a hangintenzitás (vektormennyiség). Jele: I , mértékegysége: $[W/m^2]$.

$$I = \lim \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p \cdot v \cdot dt = \overline{p(t) \cdot v(t)} = \frac{p_{eff}^2}{\rho_0 \cdot c_0} \quad \text{vagyis} \quad I \sim p_{eff}^2$$

Hangteljesítmény (def.): valamely hangforrás hangteljesítménye a hangforrás által az időegység alatt minden irányban kisugárzott hangenergia. Jele: P , mértékegysége: Watt [W].

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

A hangteljesítmény *forrásjellemző* (zajemisszió), mely **nem** távolságfüggő.

SZINTEK

Szint (def.): két mennyiség arányának *logaritmikus* mértéke, amit széles körben használnak az akusztika, a fizika és az elektronika területén.

Jele: L , alapvetően *dimenzió nélküli mennyiség*, azonban a *tíztes alapú logaritmussal* meghatározott szint mértékegysége: bel [B], ennek tizede a **decibel** [dB].

$$L = 10 \cdot \lg \frac{\text{paraméter}}{\text{alapérték}} = 10 \cdot \lg \frac{x}{x_0}$$

Hangnyomásszint:

Jele: L

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

$$L = 10 \cdot \lg \frac{\overline{p^2(t)}}{p_0^2} = 20 \cdot \lg \frac{p_{eff}}{p_0}$$

Hangteljesítményszint:

Jele: L_W

$$P_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

$$L_W = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0}$$

Hangintenzitás szint:

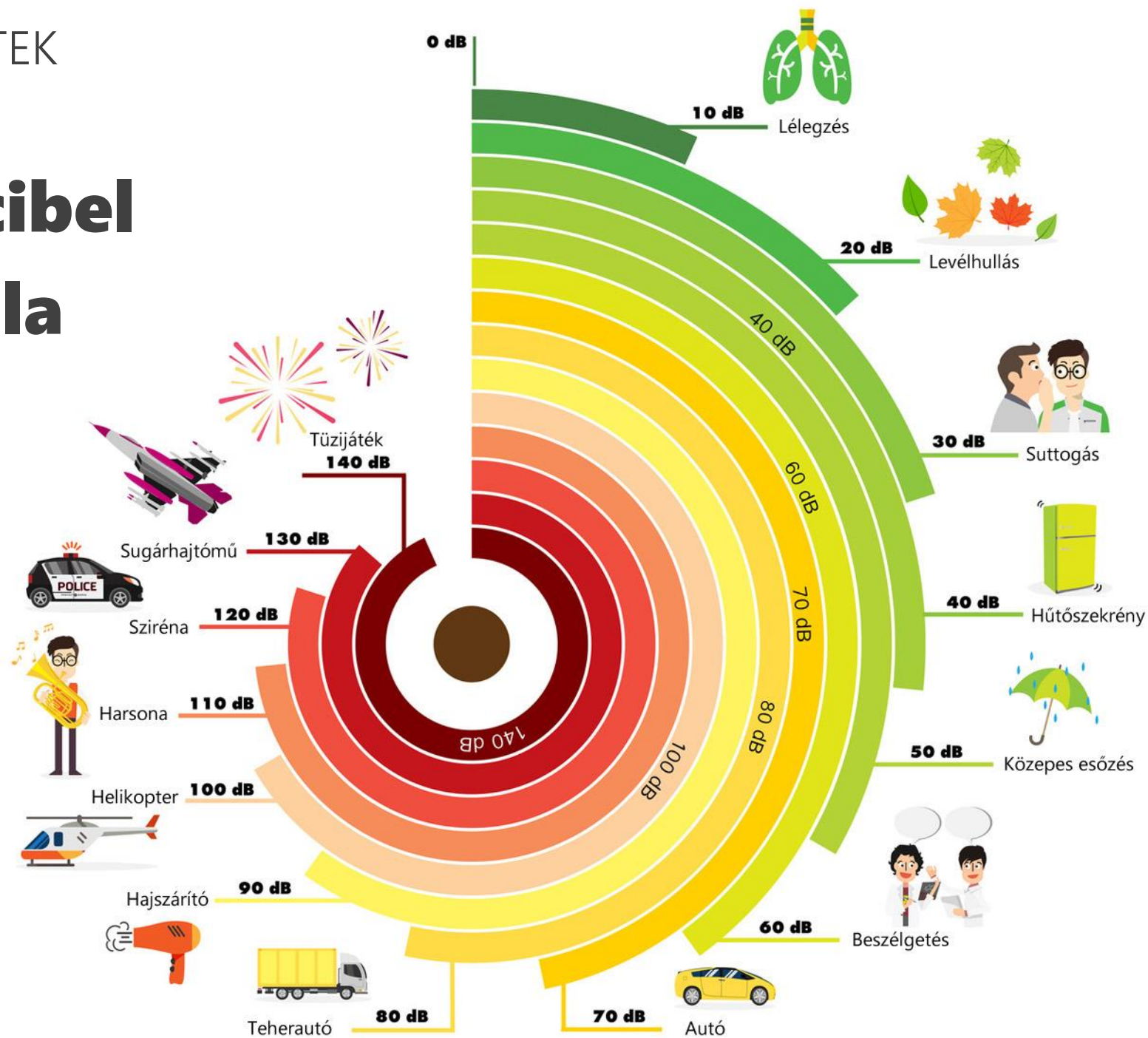
Jele: L_I

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

$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0}$$

SZINTEK

decibel skála





HEARING DAMAGE

NHRA Dragsters



155-160dB

Gunfire



145-155dB

Fireworks



145-150dB

Loudest Rock Concert



135-145dB

Loudest Human Scream
(BY THE UK'S JILL DRAKE IN LONDON, 2000)



128dB

Vuvuzela



127dB

Trumpet



115dB

Baby crying



110dB

Michelle Larcher de Brito
(THE LOUDEST TENNIS GRUNT!)



109dB

Loudest Recorded Burp



107dB



HEARING DAMAGE
WITH REPETITION



MOSTLY OK, BUT
HEARING DAMAGE
WITH REPEATED
EXPOSURE

Mérőszám visszaszámítása:

$$L = 10 \cdot \lg 10^{0,1 \cdot L}$$

Szintek összeadása:

$$L_{\Sigma} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot L_1} + \dots + 10^{0,1 \cdot L_n}) = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i}$$

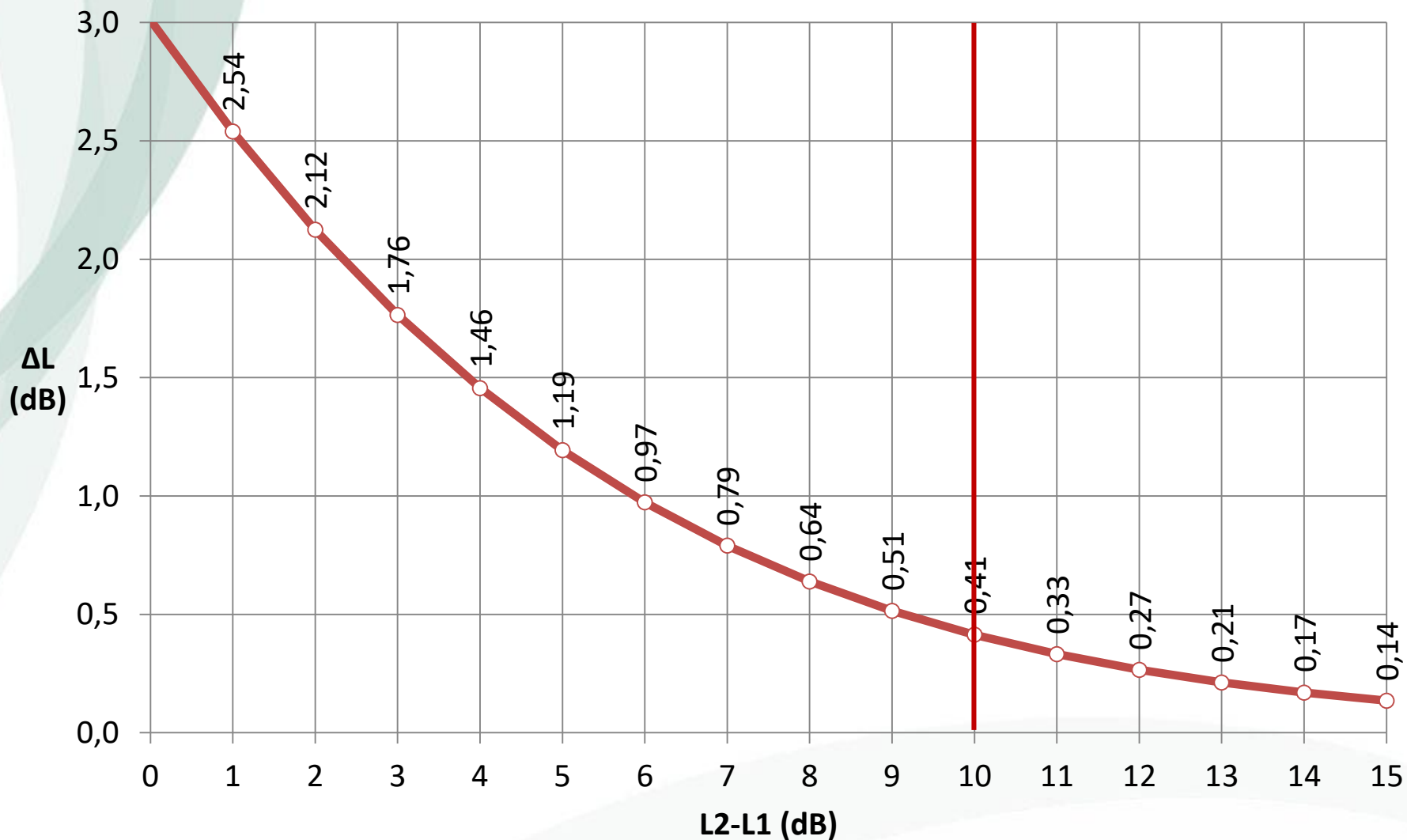
Szintek többszöröse:

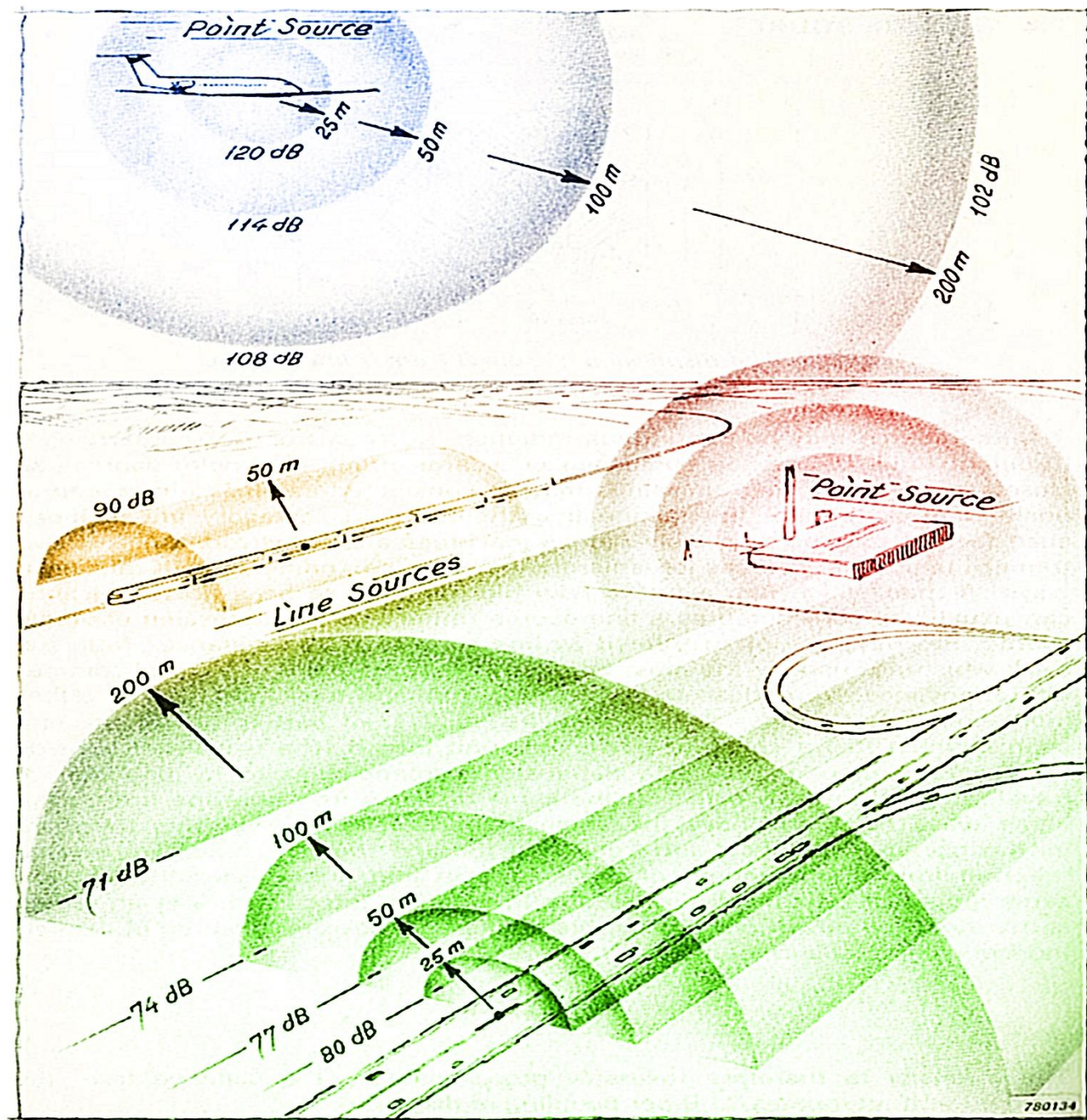
$$L_{\Sigma} = 10 \cdot \lg(n \cdot 10^{0,1 \cdot L_1}) = L_1 + 10 \cdot \lg n$$

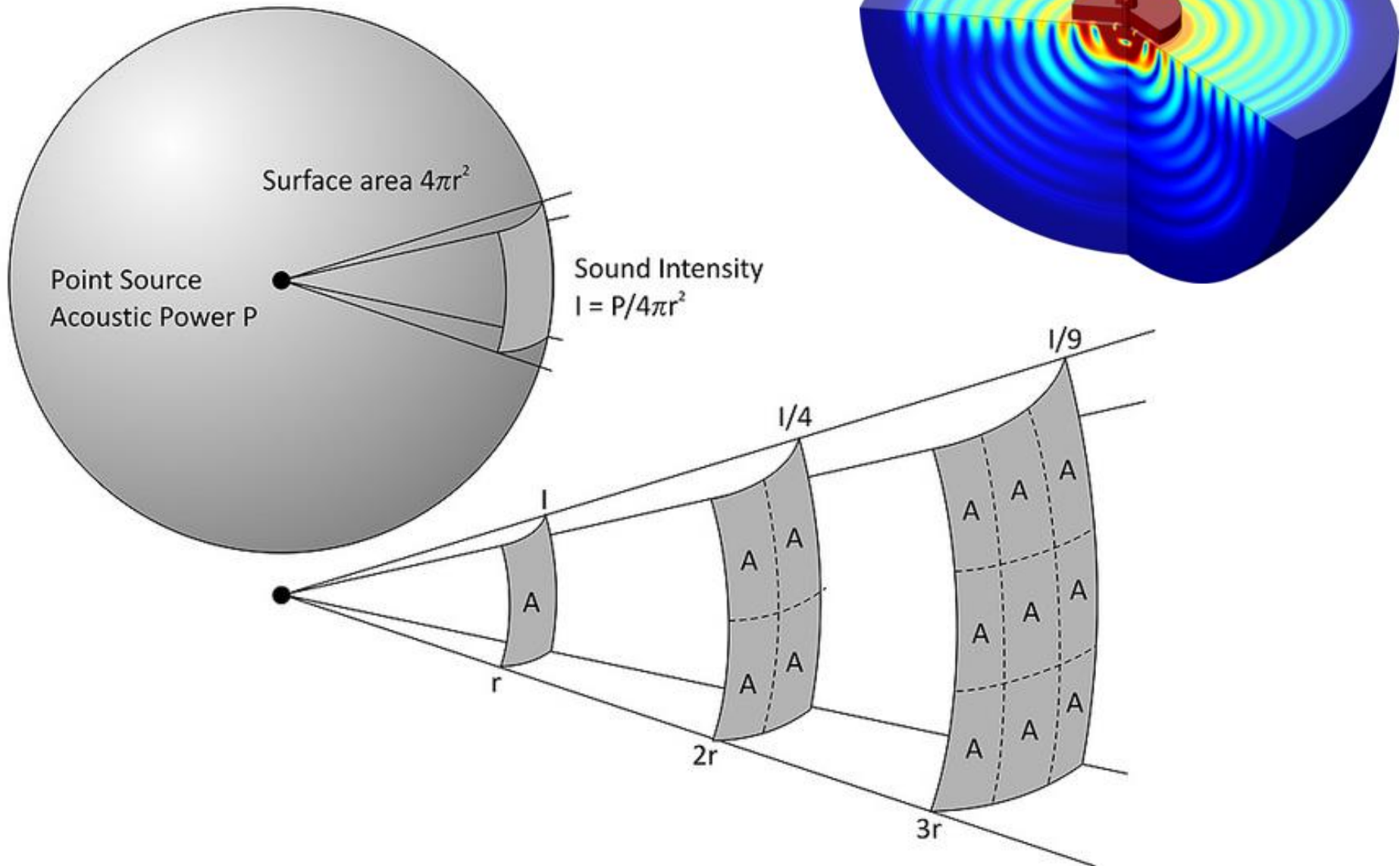
Szintek átlaga:

$$\bar{L}_{\Sigma} = 10 \cdot \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i}$$

Diagram két szint energetikai összegzéséhez







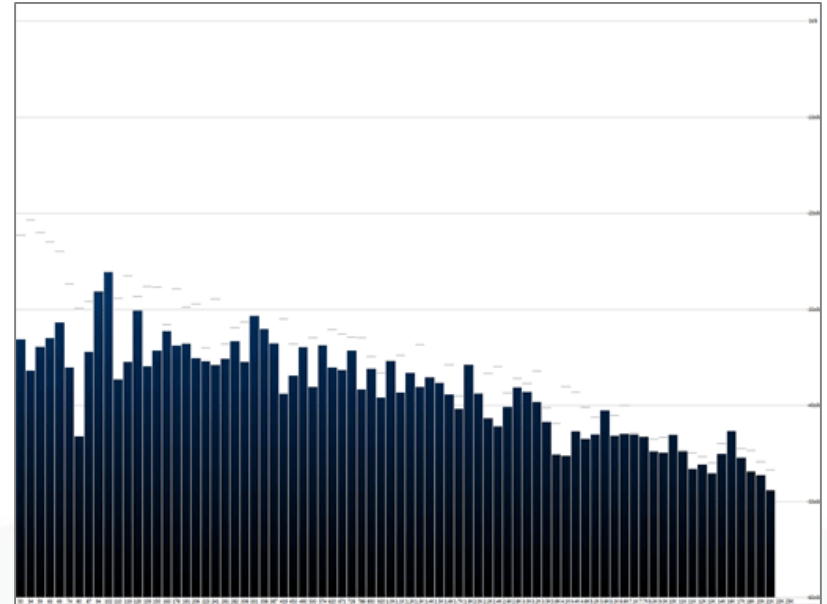
FREKVENCIA ANALÍZIS

FREQUENCY
BAND

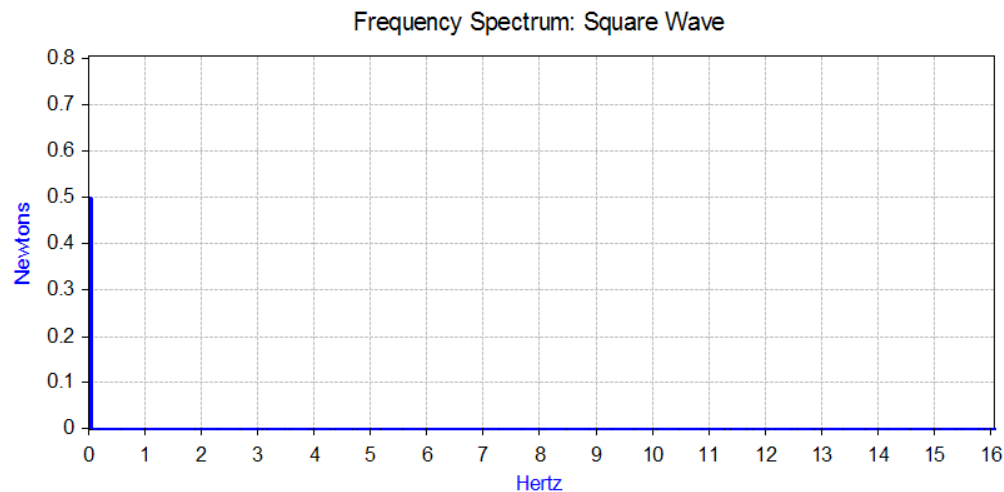
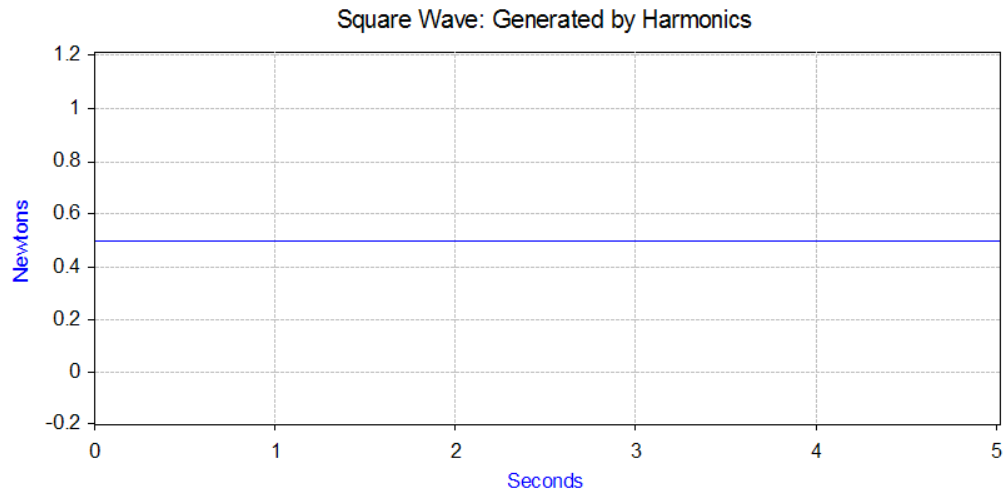


FREKVENCIA ANALÍZIS

Hangszínekép (def.): az összetett hang (nem szinuszos *tisztahang*) részhangjainak jellemzésére használatos eljárás, mely a részhangok energiájának frekvencia szerinti megadása, gyakori megnevezése a *spektrum*. Megkülönböztetünk **vonalas** (diszkrét részhangokat tartalmazó) és **folytonos** (folytonosan eloszló részhangokat tartalmazó) hangszíneképet:

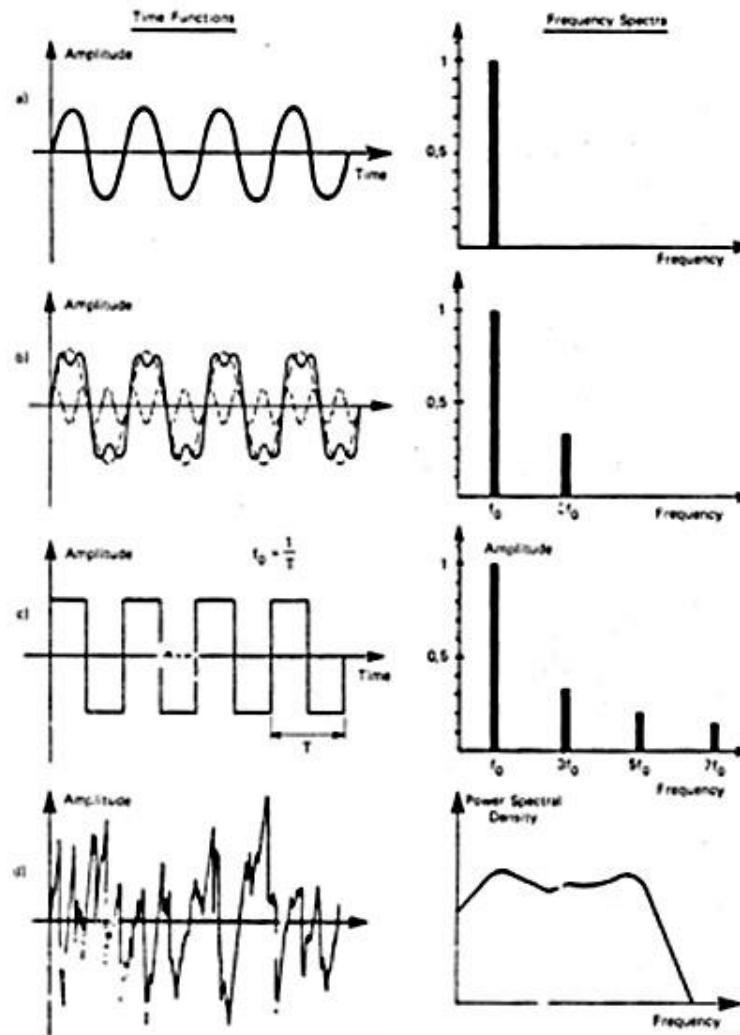


FREKVENCIA ANALÍZIS



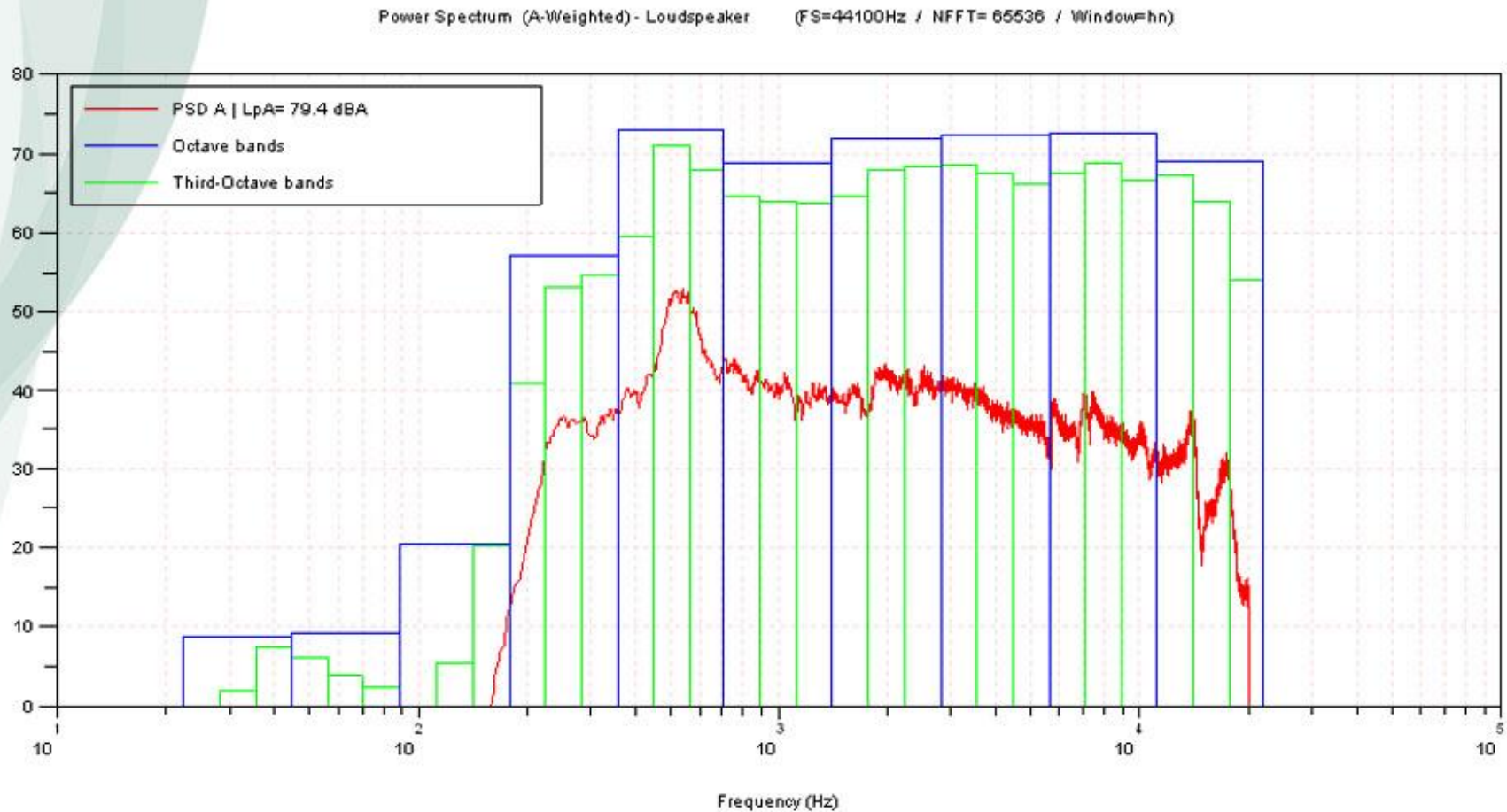
Színkép előállítása Fourier-transzformációval

FREKVENCIA ANALÍZIS



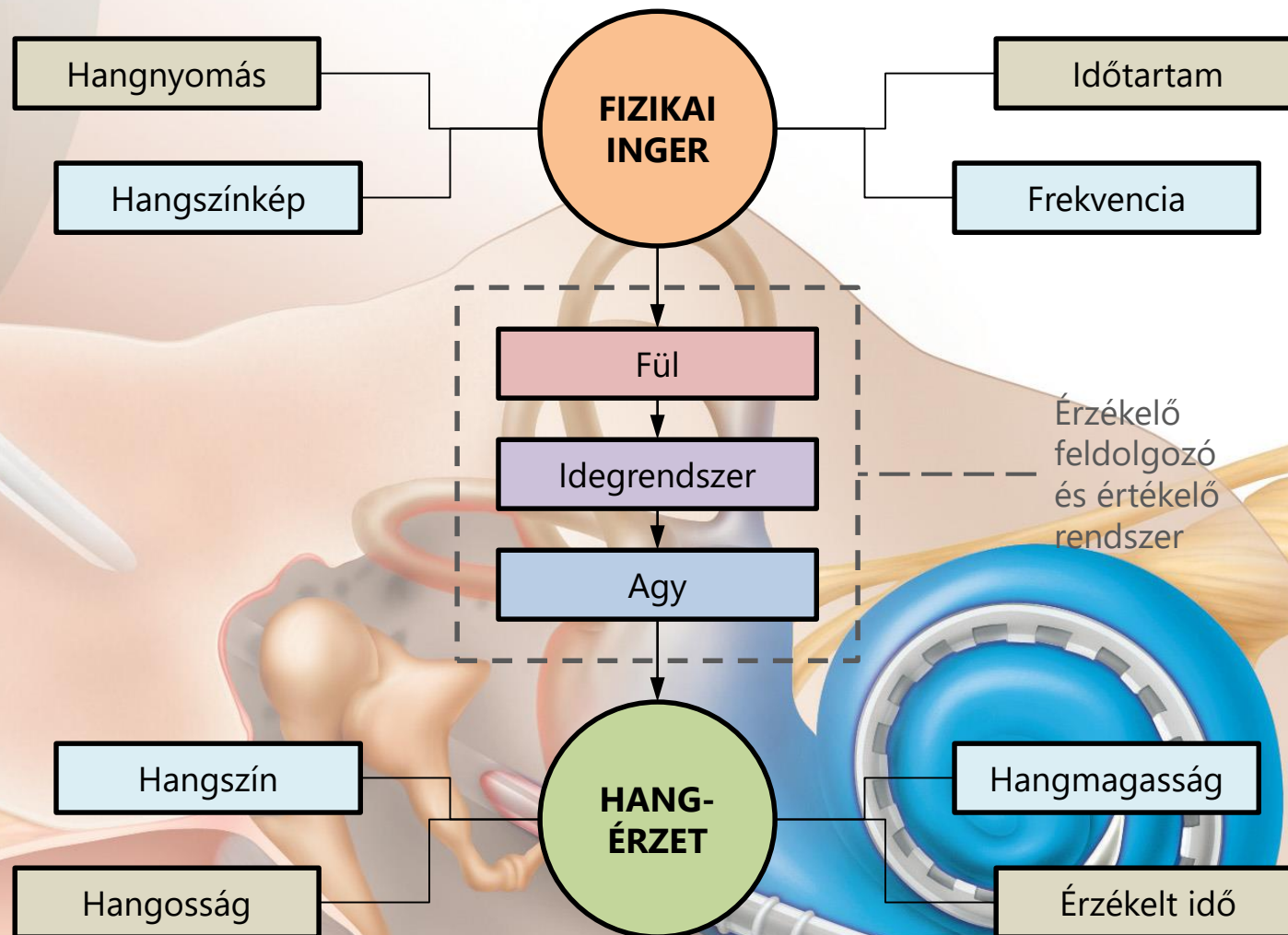
Jelformák és színeképek

FREKVENCIA ANALÍZIS



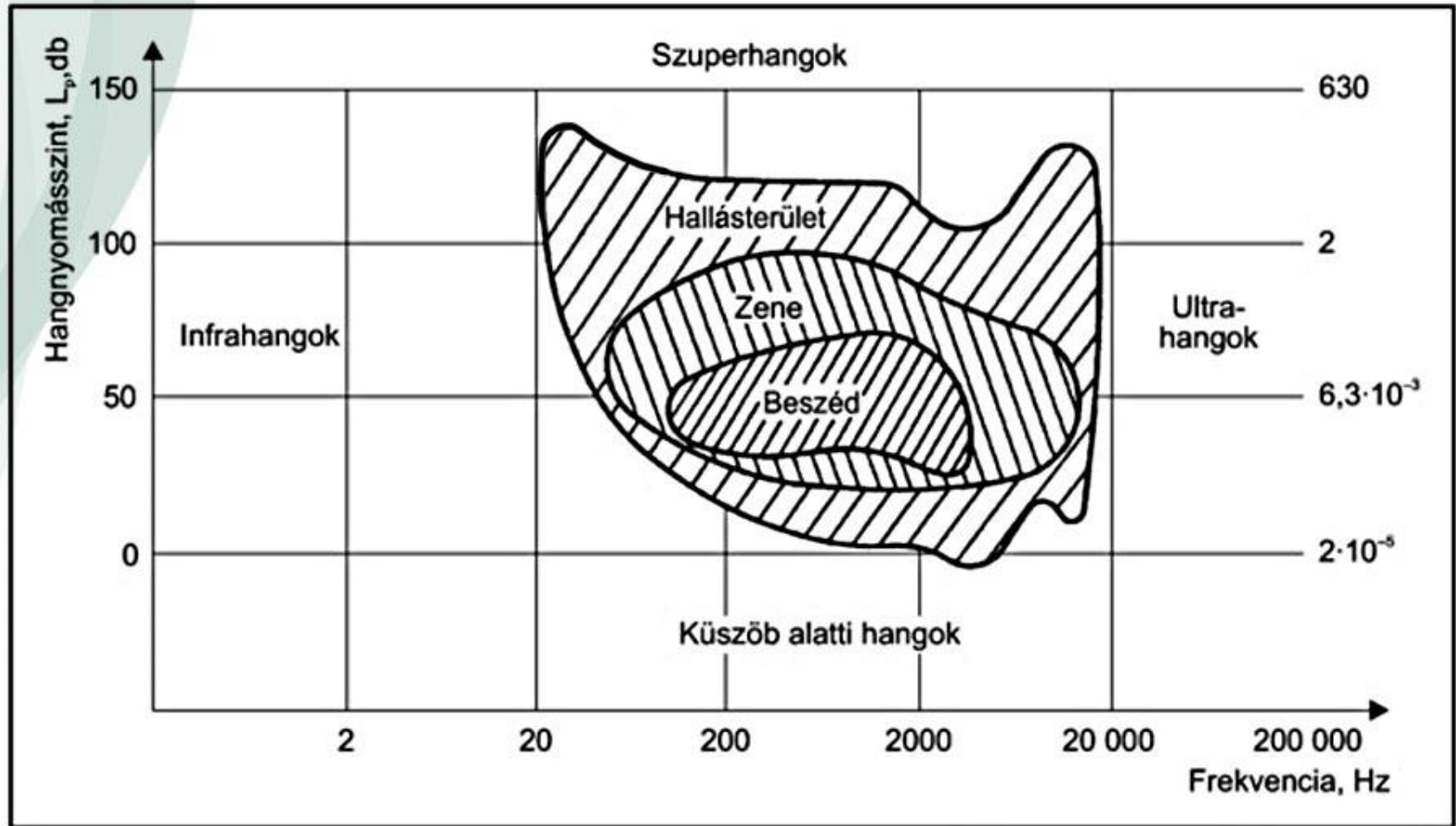
Oktáv és tercsáv spektrum felbontás

FREKVENCIA ANALÍZIS



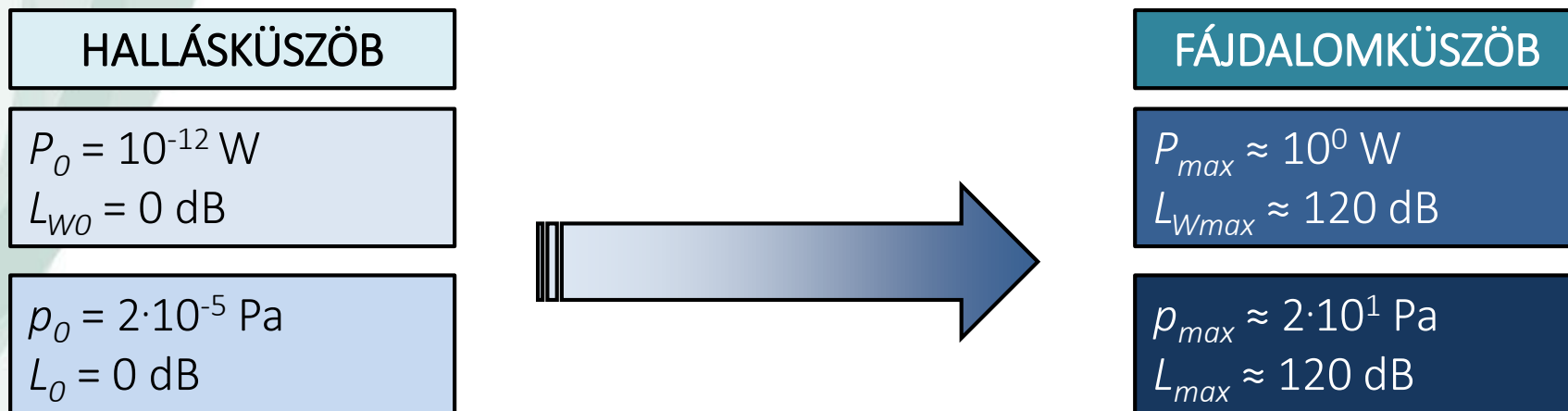
A hangérzet kialakulása (*Tarnóczy Tamás*)

FREKVENCIA ANALÍZIS



Az emberi hallástartomány

Az emberi hallás dinamikatartománya:



Az emberi hallás frekvenciatartománya:

