

Hang és ultrahang

A hang/ultrahang mint hullám

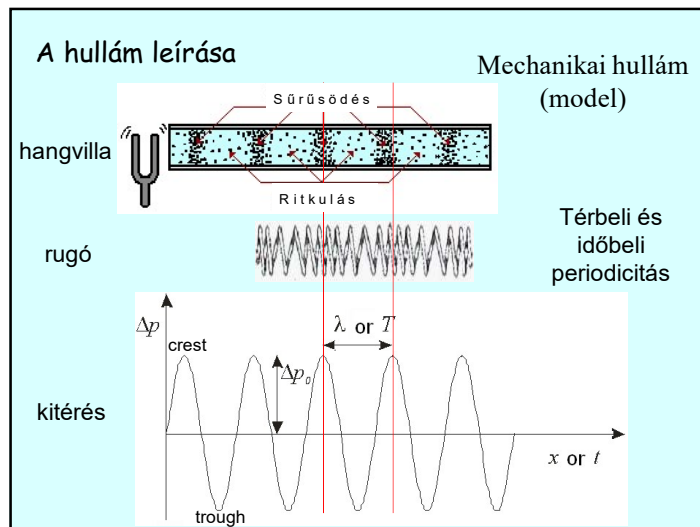
A hang *mechanikai hullám*

Terjedéséhez közegre van szükség – vákuumban nem terjed

Longitudinális vs. transzverzális hullám

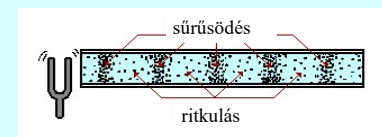
longitudinális hullám
(gázokban és folyadékok belsejében csak ilyen)

transzverzális hullám is kialakulhat
szilárd testekben, folyadékok felszínén



A nyomás periódikus változása

A közeg részecskéinek sűrűsödése és ritkulása a terjedési irány mentén



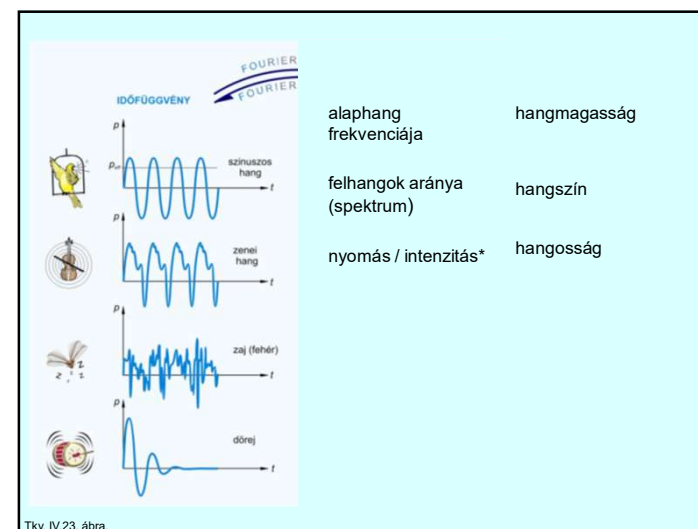
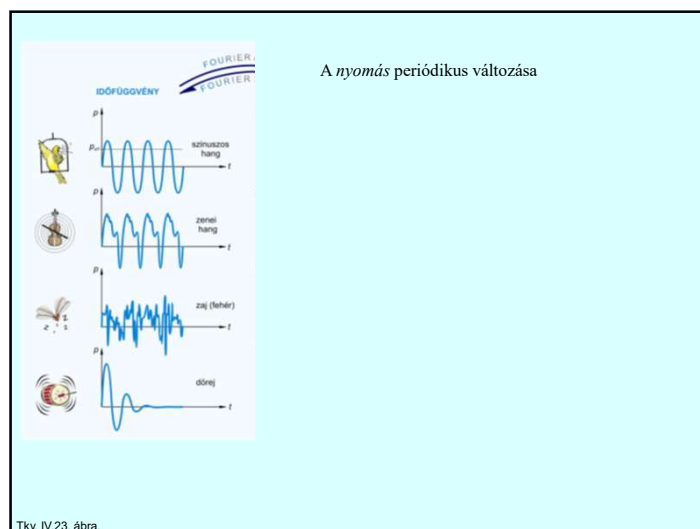
hidrosztatikainyomás

nyomásváltozás,
hangnyomás

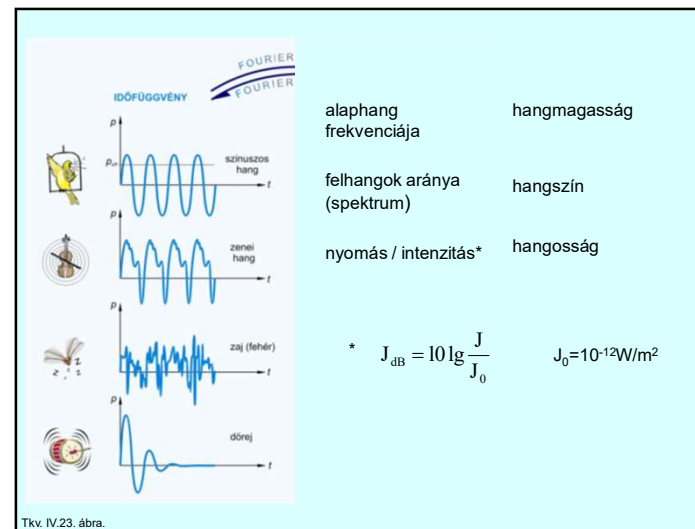
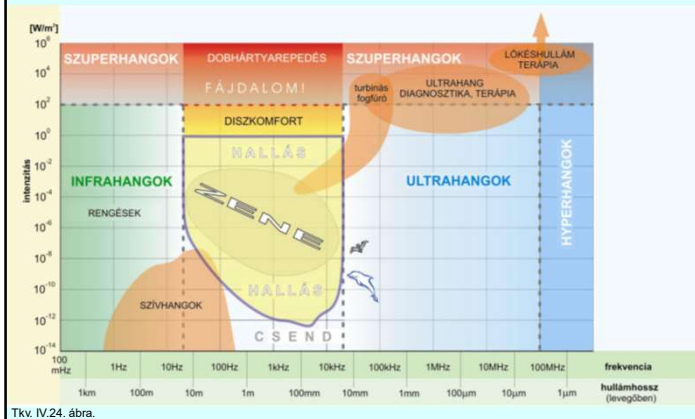
$$p_{\text{teljes}} = p_{\text{hidrosztat}} + \Delta p$$

$$\Delta p(t, x) = \Delta p_{\text{max}} \sin \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

amplitúdó fázis



Mechanikai hullámok tartományai frekvencia és intenzitás alapján



alaphang
frekvenciája

hangmagasság

felhangok aránya
(spektrum)

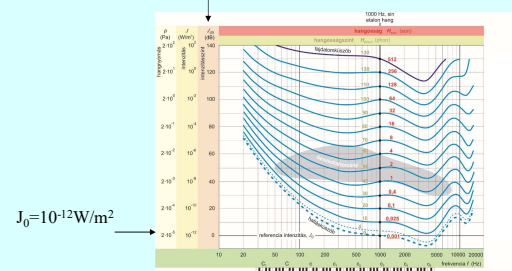
hangszín

nyomás / intenzitás*

hangosság

$$* J_{dB} = 10 \lg \frac{J}{J_0} \quad J_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$J_{dB} = 10 \lg \frac{J}{J_0}$$



Azonos hangosság szintű görbék

Mekkora intenzitású 300 Hz-es hangot hall meg az az ember, akinek a hallásvesztesége ezen a frekvencián 25 dB? A normális hallásküszöb ezen a frekvencián $3 \cdot 10^{-11} \text{ W/m}^2$.

$$J_{dB} = 10 \lg \frac{J}{J_0}$$

$$25 = 10 \lg \frac{J}{3 \cdot 10^{-11}}$$

$$10^{2.5} = \frac{J}{3 \cdot 10^{-11}}$$

$$J = 9,5 \cdot 10^{-9} [\text{Wm}^{-2}]$$

A hang/ultrahang terjedése

A hang *terjedési sebessége* – a rugalmas közeg szerepe

$$c = f\lambda$$



$$\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta p} \right) [\text{Pa}^{-1}]$$

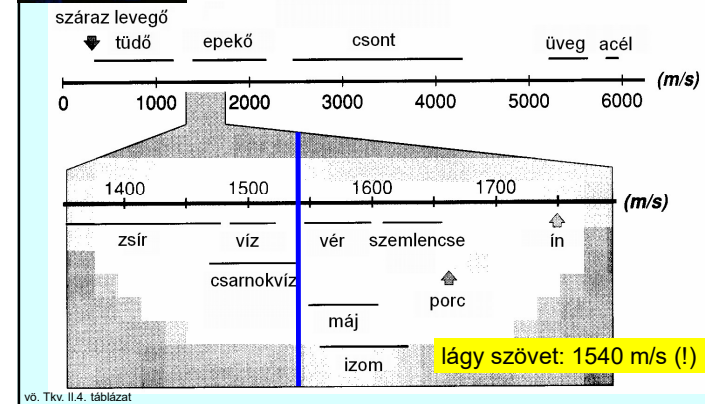
$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho \kappa}}$$

κ a közeg kompresszibilitása
 ρ a közeg sűrűsége

Szilárd anyagokban nagyobb a terjedési sebesség, mint gázokban, mert

$$\rho \uparrow \quad \kappa \downarrow$$

A hang/UH sebessége különféle közegekben



A hang/ultrahang terjedése

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \kappa}}$$



$$\kappa = -\frac{\Delta V / V}{\Delta p}$$

$$Z = \frac{p}{v} = \frac{p_{\max}}{v_{\max}}$$

Akusztikus **impedancia**
(definíció)

$$(Z_{\text{elektronikus}} = \frac{U}{I})$$

$$Z = c\rho = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}}$$

Akusztikus **impedancia**

$$[\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}]$$

Az akusztikus impedancia

mennyire áll ellen a közeg annak, hogy részecskéit rezgésbe hozzuk.

$$Z = \frac{p}{v} = \frac{p_{\max}}{v_{\max}}$$

$$Z = \rho c = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}}$$

akusztikus impedancia/
akusztikus ellenállás/
akusztikus keménység

Mértékegység:

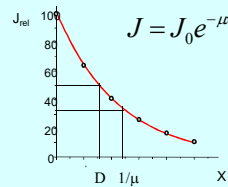
$$[\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}]$$

anyag	ρ [kg/m ³]	κ [1/GPa]	c [m/s]	Z [kg/(m ² s)]
levegő	1,3	7650	331	0,00043·10 ⁶
víz, 20°C	998	0,45	1492	1,49·10 ⁶
aluminium	2700	0,009	6400	17,28·10 ⁶
kvarc	2650	0,011	5736	15,2·10 ⁶

A hang/ultrahang terjedése

Intenzitásgyengülés terjedés közben

$$J = \frac{1}{Z} \Delta p_{\text{eff}}^2$$



$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

csillapítás (dB)

$$\alpha = 10 \lg \frac{J_0}{J}$$

$$\alpha = 10 \cdot \mu \cdot x \cdot \lg e$$

μ a diagnosztikai frekvencia
tartományban arányos a frekvenciával

$f = 1 \text{ MHz}$ -re

$D_{\text{levegő}} \sim 1 \text{ cm}$

$D_{\text{víz}} \sim 1 \text{ m}$

fajlagos csillapítás

$$\frac{\alpha}{f \cdot x}$$

μ a diagnosztikai
frekvencia
tartományban arányos a
frekvenciával

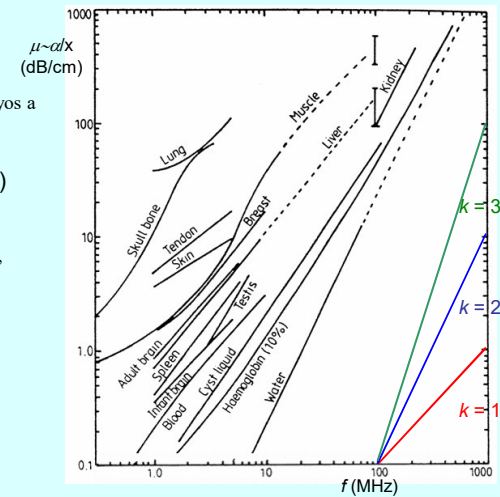
$$\mu \sim f^k, \quad k \sim 1(?)$$

$$\log \mu \sim k \log f$$

ha egyenest kapunk,
akkor jó a
hatványfüggvény
közelítés

**fajlagos csillapítás
lágy szövetre:**

$$\frac{\alpha}{f \cdot x} \sim 1 \frac{\text{dB}}{\text{cm MHz}}$$

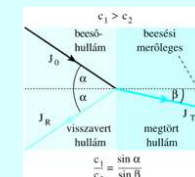


$$\frac{\alpha}{f \cdot x} \sim 1 \frac{\text{dB}}{\text{cm MHz}}$$

szövet	fajlagos csillapítás
Máj	0,6 – 0,9
Vese	0,8 – 1,0
Zsír	1,0 – 2,0
Vér	0,17 – 0,24
csont	16 – 23

A hang/ultrahang terjedése

Törés



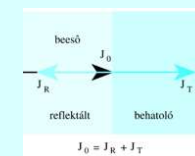
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

Snellius-Descartes

Visszaverődés

$$R = \frac{J_R}{J_0}$$

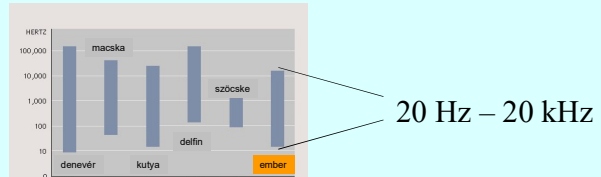
$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$



$$^*c = \sqrt{\frac{1}{\rho \kappa}}$$

Hang - ultrahang

Hallható hangok frekvenciatartománya



Ultrahang: $f > 20 \text{ kHz}$

Gyakorlatban: 0,8 – 15 MHz

Infrahang: $f < 20 \text{ Hz}$

Piezelektromos hatás



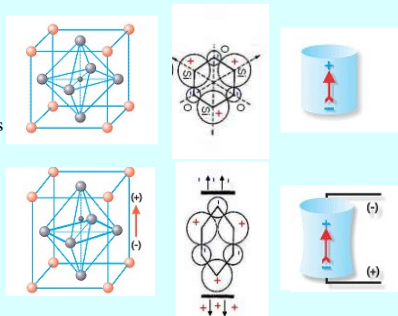
Mechanikai deformáció (nyomás) hatására

elektromos feszültség

Ultrahang előállítás

Inverz piezelektromos hatás

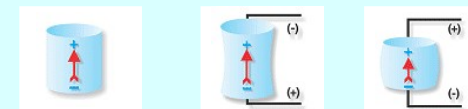
Piezelektromos
kristály tipikus
szerkezet



Az elektromos
potenciál- különbség
deformációt okoz

Ultrahang előállítás

Inverz piezelektromos hatás

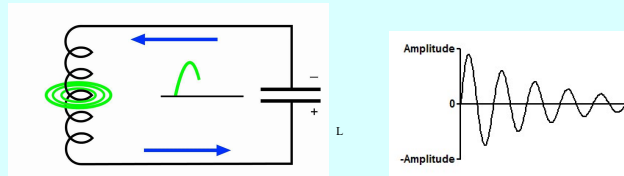


periodikus (szinuszos) elektromos jel

periodikus deformáció rezgés

mechanikai rezgés

Oscillátor – LC-kör



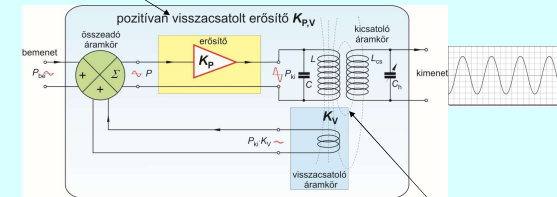
L : induktivitás [H] azaz [$\text{s} \cdot \Omega^{-1}$]

$$L \sim A N^2$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Elektromos jelforrás: szinuszoszcillátor

$$A_f = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{A}{1 - A \cdot \beta}$$



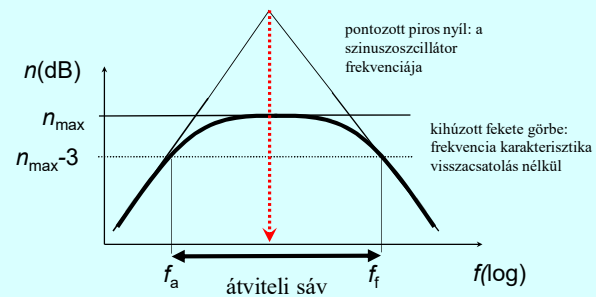
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Elektromos jelforrás: szinuszoszcillátor

pozitív módon visszacsatolt erősítő

$$A_{U, \text{visszacsatolt}} = \frac{A_U}{1 - \beta A_U}$$

$\beta A_U = 1$, erősítés= „végtelen“ \Rightarrow szinuszoszcillátor
bemenő jel: nincs, kimenet: szinuszos feszültség



Ultraszhang detektálása

Piezelektromos hatás



Mechanikai deformáció (nyomás) hatására

elektromos feszültség

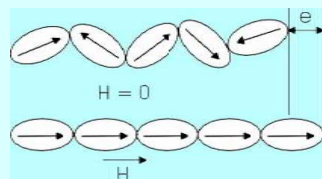
Ultraszhang transzducer kettős funkciója:

Adás – elektromos jelből ultrahang (inverz piezelektromos hatás)

Vétel – ultrahangból elektromos jel (piezelektromos hatás)

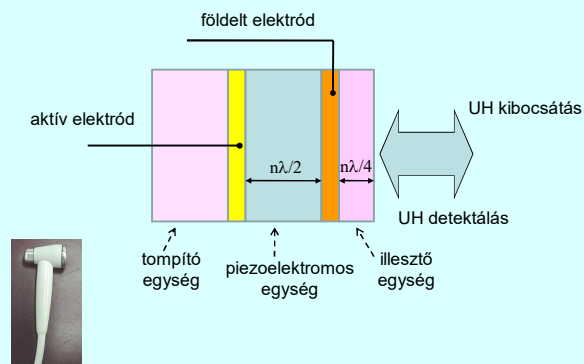
Ultrahang előállítás

Magnetostrikció



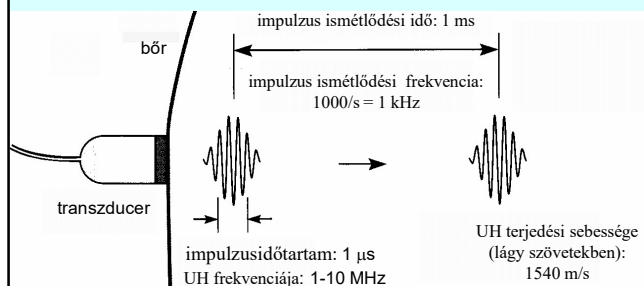
ferromágneses anyagok (pl. Co) viselkedése
mágneses térben.

Az ultrahang-fej felépítése



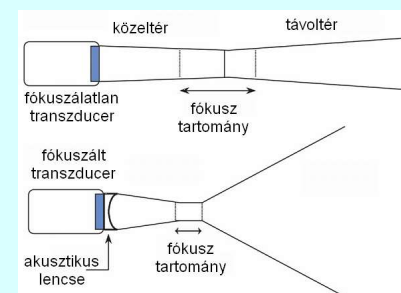
Az UH impulzusok jellemzői

transzducer: adó és vevő egyben
időbeli szétválasztás – folyamatos hullám helyett impulzusok



Tkv. VIII.32. ábra

Fókuszálás



Fókuszáláskor a nyaláb divergenciája nő a távoltérben és
romlik a mélységélesség.

V6. Tkv. 500.o. 1. ábra

Kapcsolódó fejezetek:

Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika

II. 2.4.

VIII. 4.2.