

Zaj- és rezgés

Törvényszerűségek

Törvényszerűségek

A hang valamilyen közegben létrejövő rezgés. A vivőközeg szerint megkülönböztetünk: léghangot (a vivőközeg gáz, leggyakrabban levegő); folyadékhangot (a vivőközeg folyadék, leggyakrabban víz); testhangot (a vivőközeg valamilyen szilárd test).

A hang a közegben hullám alakban terjed. Gázokban és folyadékokban csak hosszanti (longitudinális) hullámok keletkeznek, szilárd testekben ezen kívül más hullámtípusok is fellépnek: pl. haránt-, nyomási, hajlító-, csavaró, felületi (Rayleigh-)hullámok.

A térnek azt a részét, amelyben a hanghullámok terjednek, hangtérnek nevezzük. A hangtér a hely és idő függvényében két mennyiséggel írható le, a gyakorlatban rendszerint a hangnyomást és a részecskesebességet adjuk meg. A hangnyomás a hangtér mérhető adata. A részecskesebesség a vivőközeg elemi részecskéinek váltakozó (rezgés-)sebessége, amellyel azok nyugalmi helyzetük körül rezegnek.. A szomszédos részecskék egymásnak adják át energiájukat, így történik a hullámterjedés.

A hangsebesség a hullám terjedési sebessége. A c hangsebesség, m/s, a közeg tulajdonságaitól függ. Gázokban

$$c = \sqrt{\frac{\kappa \cdot p_0}{\rho_0}}$$

ahol:

κ – a fajhőviszony,

p_0 – a közeg statikus nyomása, Pa,

ρ_0 – a közeg nyugalmi sűrűsége, kg/m³.

Levegőben a hangsebesség lényegében az abszolút hőmérséklettől függ:

$$c = 20,05 \cdot \sqrt{T}$$

ahol:

T – a levegő abszolút hőmérséklete, K.

Törvényszerűségek

A hangsebesség nagyságát különböző hőmérsékletű levegőben, néhány gázban és folyadékokban az alábbi táblázat tartalmazza.

A közeg megnevezése	Hőmérséklet, (°C)	Hangsebesség, (m/s)
Levegő	-50	299
	-10	325
	0	331
	+10	337
	+15	340
	+20	343
	+50	360
	+100	387
Nitrogén	+20	337
Oxigén	+20	326
Szén-dioxid	+20	268
Metán	+20	445
Hélium	+20	1005
Hidrogén	+20	1310
	+20	1180
Benzin	+20	1120
Meti-alkohol	+20	1450
Higany	0	1440
Víz	+10	1480
	+15	1498

A hangsebesség különböző hőmérsékletű levegőben, néhány gázban és folyadékokban (Heckl-Müller 1975 ill. Rieländer 1982 szerint)

Törvényszerűségek

Szilárd testekben a hangsebesség a hullámtípustól is függ. Legnagyobb sebességgel a tiszta longitudinális hullámok terjednek. Sebességük rudakban, c_L , m/s:

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

ahol:

E – az anyag rugalmassági modulusa, Pa,

ρ – az anyag sűrűsége, kg/m³.

Az anyagjellemzőket néhány fémre és építési anyagra az alábbi táblázat foglalja össze:

Az anyag megnevezése	Sűrűség, ρ , 10 ³ kg/m ³	Rugalmassági modulus, E , 10 ⁹ N/m ²	A hosszanti hullámok sebessége, c_L , m/s	Veszteségi tényező, η , 10 ⁻³
Alumínium	2,7	72	5,2	0,03...0,1
Acél	7,8	210	5,2	0,02...0,3
Réz	8,5	95	3,3	≈2
Ólom	11,3	17	1,2	2...30
Azbesztcement	2,0	28	3,7	7...20
Gipsz	1,2	7	2,4	≈6
Beton	2,3	26	3,4	4...8
Könnyűbeton	1,3	4	1,7	10...15
Tégla	1,8...2,0	≈16	2,5...3,0	10...20
Tölgyfa	0,7...1,0	2...10	1,5...3,5	10
Fenyőfa	0,4...0,7	1...5	»2,5	8
Plexi	1,2	5,6	2,2	20...40
Üveg	2,5	60	4,9	0,6...2

Néhány anyag sűrűsége, rugalmassági modulusa, veszteségi tényezője és a hosszanti hullámok terjedési sebessége (Heckl 1975 és Fasold 1973 szerint)

Törvényszerűségek

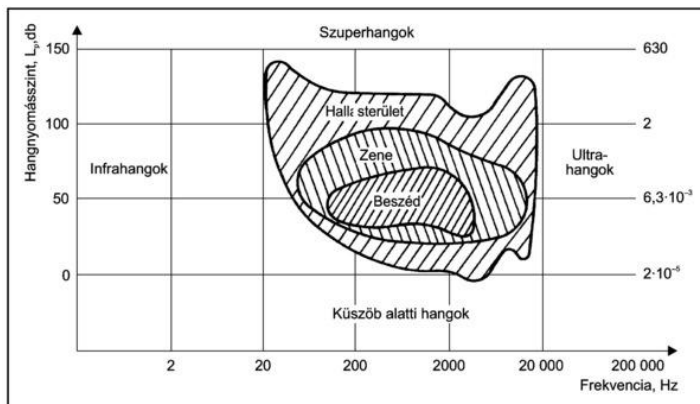
A T periódusidő az a legrövidebb idő, amely alatt a rezgés periodikusan ismétlődik. A hang f frekvenciája az egy másodpercre eső teljes rezgések száma, mértékegysége a hertz (Hz). A frekvencia a periódusidő reciproka:

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)}$$

A hangsebességből és a frekvenciából számítható a hullámhossz:

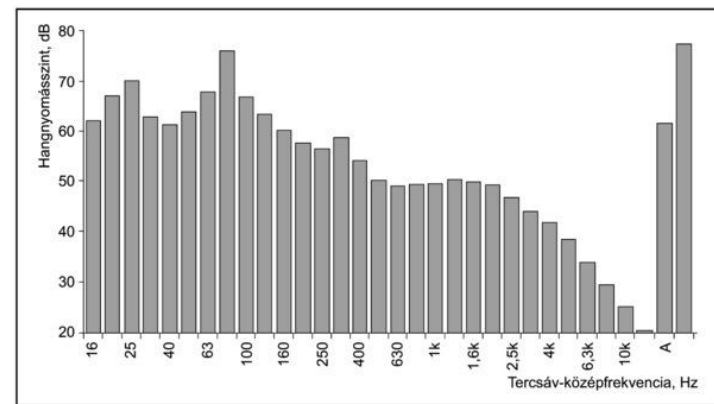
$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ (m)}$$

Az emberi fül a 20...16 000 (kivételesen a 16...20 000) Hz frekvenciatartományba eső hangokat érzékeli. Az ennél kisebb frekvenciájú hangokat infrahangnak, míg a hallástartomány fölé eső hangokat ultrahangnak nevezzük (6.1.ábra). Az érzékelésnek nem csak frekvencia-, hanem hangnyomás korlátai is vannak. A még éppen hallható hangok frekvenciafüggvényét hallásküszöbnek nevezzük. A legkisebb hallható hang hangnyomása kb $1,4 \cdot 10^{-5}$ Pa. A hallásküszöb alá eső hangok a küszöb alatti hangok. A hang erősségét növelve elérjük a fájdalomküszöböt. A fájdalomküszöb is függ a frekvenciától, de kisebb mértékben, mint a hallásküszöb. A fájdalomküszöb feletti hangokat szuperhangnak hívjuk.



A normális hallásterület

Forrás: Akusztika Mérnöki Iroda Kft.



Méréskor rögzített hangszínekép

Forrás: Akusztika Mérnöki Iroda Kft.

Törvényszerűségek

A gyakorlatban általában a hangnyomás effektív értékét használjuk, a műszerek is elsősorban ezt mérik. A hangnyomás effektív értékének p_e jeléből az „e” indexet rendszerint elhagyjuk, és p hangnyomáson annak effektív értékét értjük. Ennek matematikai kifejezése:

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

ahol:

T – az integrálási idő (időállandó).

Szinuszos tisztahang esetén az effektív érték:

$$p_e = \frac{p_{\max}}{\sqrt{2}}$$

ahol:

p_{\max} – a hangnyomás legnagyobb pillanatnyi értéke (amplitúdója), Pa.

A hangtér másik fontos jellemzőjének, a részecskesebességnek az effektív értéke hasonlóképp írható fel:

$$v_e^2 = \frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt$$

A hanghullám I intenzitása, W/m², a hangnyomás és a részecskesebesség szorzatának időbeli átlagával egyenlő:

$$I = \overline{p(t) \cdot v(t)}$$

ahol a felülvonás az időbeli átlagolást jelenti.

A hanghullám W teljesítménye, W, a hangforrást körülvevő teljes felület és az intenzitás szorzatával egyenlő.

$$W = \int IdS = \int \overline{p(t)v(t)} dS$$

Törvényszerűségek

A közeg nyugalmi sűrűségének és a hullám sebességének szorzatát Z_0 fajlagos akusztikai impedanciának, más néven akusztikai keménységnek nevezzük, Pa s/m:

$$Z_0 = \frac{p}{v} = \rho_0 c$$

ahol:

ρ_0 – a közeg nyugalmi sűrűsége, kg/m³,

c – a hangsebesség, m/s.

Az intenzitás és a hangnyomás közötti összefüggés síkhullám esetén:

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 c}$$

Az S felületen áthaladó teljesítmény:

$$W = I \cdot S = \frac{p^2}{\rho_0 c} S$$