

## Környezeti zajszennyezés

Egyes kutatók szerint napjainkban a levegőszennyezés után a zajszennyezés a második legnagyobb környezeti ártalom!

### Mi a zaj ?

Az angol nyelvészek két latin eredetet is adnak a *noise* szónak:

- *nausea* = „tengeri betegség” (rosszullét, hányás stb.)
- *noceo* = „bántalak” (zavarlak)

A „zaj” szó több értelemben is használatos

- köznyelvben: zavaró akusztikus (hang) hatás
- elektronikában: elektronikus zaj (feszültség, ill. áramingadozás)  
pl. sístérés a rádióban, „mákos” kép a TV-n
- számítástechnikában: jelentés nélküli adatok  
(véletlen hatásokra módosult adatok)
- Információ-technológiában: a zaj is információhordozó !

Hatása kommunikációban:

**A zaj elfedheti, vagy módosíthatja az eredeti üzenetet!**

Lényegében minden fizikailag mért mennyiségnek lehet „zaja”:

- hőmérséklet-ingadozás
- nyomás-ingadozás
- atomreaktorban a neutronszám-ingadozás
- stb.

### A zaj frekvencia-spektruma

A zaj valamilyen fizikai mennyiség időbeli változása.

Fourier: minden (idő)függvény

összetehető harmonikus  
függvényekből

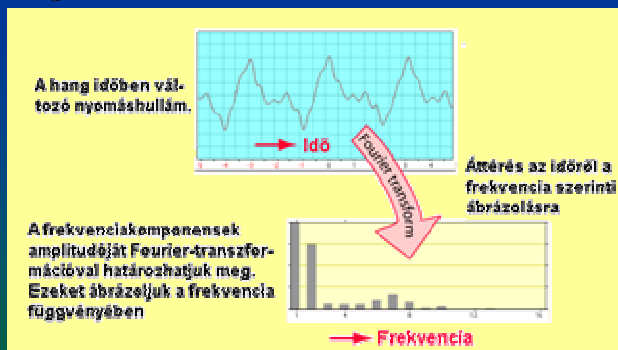
$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} (X_1(\omega) \cdot \sin \omega t + X_2(\omega) \cdot \cos \omega t) d\omega$$

(Fourier transzformáció)

A  $\Phi(\omega) = \frac{1}{2\pi} (X_1^2(\omega) + X_2^2(\omega))$  mennyiség a **teljesítmény-spektrum**

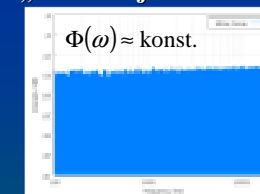
(Mivel a hullám teljesítménye az amplitúdó négyzetével arányos)

## Pl. a hang



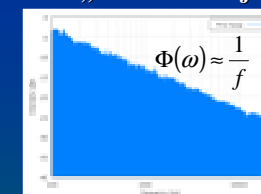
A teljesítmény-spektrum megmutatja, hogy a különböző frekvenciájú komponensek milyen súllyal vannak jelen

## „Fehér” zaj



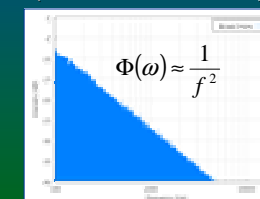
## Néhány példa:

## „Rózsaszín” zaj

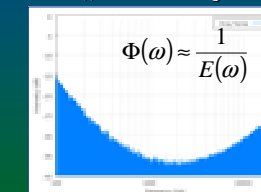


## „Brown” zaj

(R. Brown 1773-1858)



## „Szürke” zaj



$E(\omega)$  = fül frekvencia-érzékenysége

Gyakori a „**termikus zaj**”, amely a részecskék hőmozgásából ered. Ez megszabhatja, hogy egy fizikai rendszerben mi az elérhető mérési pontosság alsó határa (a „jel” elvesz a „zajban”)

Pl. egy ohmikus ellenálláson a teljesítmény-ingadozás egységnyi frekvencia-tartományon:

$$\frac{\Delta W}{\Delta f} = \frac{\Delta(U^2/R)}{\Delta f} = 4kT \quad \text{Ebből kapjuk:} \quad \frac{\Delta U^2}{\Delta f} = 4kT \cdot R \quad (\text{fehér zaj})$$

A „zaj” sok esetben lehet **hasznos** is!

Pl. a zajok analízisének alapuló **diagnosztika**

**Diagnosztika** alapelve:

A rendszert „píszkáljuk”  $\xrightarrow{\text{kérdő jel}}$  **Rendszer**  $\xrightarrow{\text{válaszjel}}$  és a választ értékeljük

**Zajdiagnosztika:** nincs szükség „kérdező” jelre, a rendszer a saját zajára „válaszol”, és ebből következtetünk az állapotára

Amikor környezeti zajszennyezésről beszélünk, akkor kizárólag **akusztikus** zajokra gondolunk.

Megjegyzés: a „zaj” szubjektív kategória is.

(Pl. dübörgő rock and roll vagy diszkó zene csak az aludni vágyó szomszédnak zaj, a bulizóknak nem zavaró, sőt...)

## A hang

-Levegőben: a levegő **nyomásingadozása**, amely **longitudinális** hullámok formájában terjed tova

- Folyadékban és szilárd testekben: **longitudinális** és **transzverzális** (vegyes) hullám formájában (is) terjed(het).

Mindegyik hullám **energiát** továbbít.

**Intenzitás:** a hullám által felületegységre vitt teljesítmény  $\frac{W}{m^2}$

A hang erősségének jellemzése: **decibelekben**

**Definíció:**

$$X_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{X}{X_0} \right)$$

valamilyen „teljesítmény”  
referencia-teljesítmény

A decibel logaritmikus, **relatív** egység. Ezért többféle definíció van, ezeket a „referencia” különbözteti meg:

- Hangintenzitás:  $X_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$  (ez kb. a „hallásküszöb” levegőben)

- Hangteljesítmény:  $X_0 = 10^{-12} W$  (teljesítmény  $\sim p^2$ )

- Hangnyomással kifejezve:  $L_p = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right)$

A leghalkabb hang nyomása, amit egy ember még meghall:

- Levegőben:  $p_0 = 20 \mu Pa = 2 \cdot 10^{-5} Pa$

- Folyadékban és szilárd testben:  $p_0 = 1 \mu Pa = 10^{-6} Pa$

## Miért logaritmikus?

**Weber-Fechner törvény** (általános fizikai ingerre adott válasz) (Ernst Heinrich Weber /1795-1878/, Gustav Theodor Fechner /1801-1887/)

Az érzékelés az inger **relatív** megváltozását észleli:

$$dp = k \cdot \frac{dS}{S}$$

Inger változása  
Érzékelés változása  
Inger

Az egyenletet integrálva kapjuk:  $p = k \cdot \ln S + C$

Legyen  $S_0$  az **érzékelési küszöb**, vagyis az az inger, amelyre  $p=0$

Ebből kapjuk:  $0 = k \cdot \ln S_0 + C$  amiből  $C = -k \cdot \ln S_0$  adódik.

Ezt visszahelyettesítve kapjuk:  $p = k \cdot \ln \frac{S}{S_0}$

A legtöbb érzékünk így működik – a hallás is.

Hangforrás	Nyomás (Pa)	Decibel (20 µPa-hoz)
Fájdalomküszöb	100	134
Halláskárosodás (rövid időn belül)	20	~ 120
Sugárhajtású repülőgép (100 m-ről)	6 - 200	110 - 140
Légkalapács (1 m-ről), ill. diszkó	2	~ 100
Halláskárosodás (hosszú idő alatt)	0,6	kb. 90
Autópálya 10 m-ről	0,2 - 0,6	80 - 90
Személyautó 10 m-ről	0,02 - 0,2	60 - 80
TV otthon 1 m-ről	0,02 - 0,1	~ 60
Normál beszéd 1 m-ről	0,002 - 0,02	40 - 60
Nagyon csendes szoba	0,0002 - 0,0006	20 - 30
Levélzizegés, csendes légzés	0,00006	10
Hallásküszöb 2 kHz-en	0,00002	0

A környezetvédelem alapjai 14. előadás 9/20

## A hang érzékelése, az emberi fül működésének fizikai alapjai

A fül feladatai nagyon sokrétűek:

- antenna (összegyűjti a hangot)
- erősítő ( $10^{13}$ -szoros dinamikus tartomány!)
- impedancia-illesztő (levegő-folyadék)
- frekvencia-analizátor
- térbeli lokátor (lokalizálja a hangforrás helyét)
- sajáthang-elnyomás
- védelem a túl erős hangok ellen (adaptáció)
- ...

A környezetvédelem alapjai 14. előadás 10/20

### A fül felépítése:

A környezetvédelem alapjai 14. előadás 11/20

### A külső fül

- egyik végén nyitott
- másik végén zárt (dobhártya)

Modell: egyik végén zárt cső „sajátfrekvenciák”

#### A külső fül erősítésének frekvenciafüggése

Eredő  
Hallójárat, mint rezonátor  
Fülkagyló, mint antenna

A környezetvédelem alapjai 14. előadás 12/20

### A középfül:

A dobhártya rezgéseit továbbítja a belső fül felé.

Modell: „mechanikai emelők”

### Illesztő

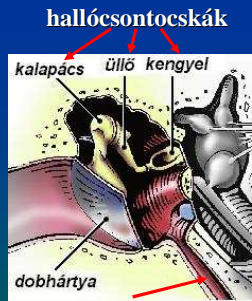
Ha a levegő nyomáshullámaival közvetlenül venné át a belső fül folyadéka, az energia 99,9%-a visszaverődne a gáz-folyadék határon !!

### Erősítő

Dobhártya felülete: 0,6 cm<sup>2</sup>

Belső fül bejáratának felülete: 0,03 cm<sup>2</sup>

A hallócsontocskák „áttétele”: 1:1,3



Nyomás-kiegyenlítés (Eustach-kürt)

Eredő erősítés: ~26 dB

### A belső fül:

„Frekvencia-analizátor”

A mozgást idegimpulzusokká alakítja.

Hogyan működik?

Ismert, hogy  $D$  rugóállandójú,  $M$  tömegű rendszer saját-

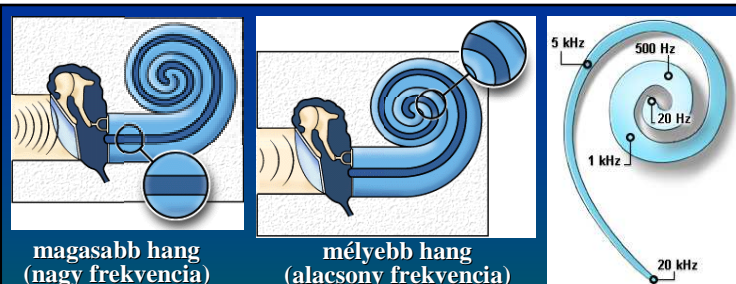
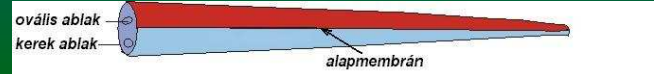
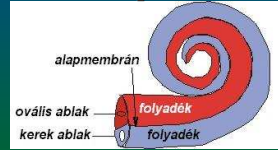
frekvenciája:  $2\pi \cdot f_0 = \omega_0 = \sqrt{\frac{D}{M}}$

Az alapmembrán tulajdonságai (feszesség  $/D/$ , és vastagság  $/M/$ ) a csiga mentén változnak → különböző helyeken más frekvenciára rezonál !

Egyensúly-szerv



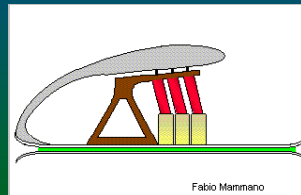
Belső felépítés



magasabb hang (nagy frekvencia)

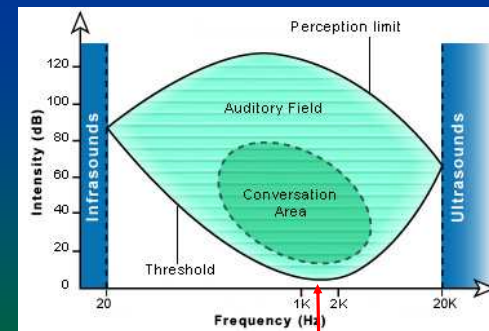
mélyebb hang (alacsony frekvencia)

A rezgő membrán pedig a „hallószőröcskéket” ingerli, amelyek az ingerületet aztán továbbítják a hallóideg(köteg)en keresztül az agyba.



Fabio Mammiano

Végeredményben a hallás érzékenysége a különböző frekvenciákon



Békésy György (1899-1972)

Nobel-díj 1961

„A belső fül működésére vonatkozó kutatásaiért”

Itt a legérzékenyebb a fül

## Zajszennyezés

Legfontosabb zajforrások:

- Közlekedési eszközök:  
közút  
repülés  
vasút



- Ipari, munkahelyi zaj  
Nagyteljesítményű szerszámok, gépek  
(légalapács, flex, körfűrész, útvefúró stb..)  
Irodai gépek (nyomtató, másoló stb.)
- fényforrások zaja („neon-csővek”)
- szórakoztató elektronika  
(walkman, discman, autórádió, TV, CD, DVD, házimozzi...)
- üdülőhelyeken a szórakozást szolgáló járművek (pl. quad)
- ...

A környezetvédelem alapjai 14. előadás

17/20

## Közúti zaj

Külső zaj  
függ

Belső zaj

Az utazók kevésbé  
érzékenyek a jármű  
zajára

- a járművek sebességétől
- a motor típusától (hibrid járművek!)
- a gumik minőségétől
- az úttest minőségétől (beton a legkevésbé zajos)
- a gépjárművek típusától (személygk, kamion, busz...)
- az út geometriájától és a környező tereptárgyaktól  
(„árnyékolás” és visszaverődés kettős hatása)
- mikrometeorológiai viszonyoktól  
(a hang visszaverődhet egy inverziós rétegen)



Zajmérő eszköz

Védekezés: árnyékoló falak, sebességkorlátozás, nyomvonal jó kiválasztása, járműpark, burkolat modernizálása, stb...

A környezetvédelem alapjai 14. előadás

18/20

## Egészségügyi hatások

### Halláskárosodás

(az iparosodott országok lakosságának kb. 10%-a halláskárosodott)

Első téveszme: „csak nagyon hangos zaj károsít”

Újabban kimutatták, hogy hosszú időn (éveken) át tartó, közepes erősségű (~ 70 dB) hang is okoz halláskárosodást

Második téveszme: „az öregedés nagyobb hatású, mint a zaj”

Azok, akik életük során tartósan zajos környezetben éltek, kevésbé jól hallanak, mint a csendes környezetben élők.  
A nem-iparosodott országok lakói között alig van halláskárosodott!

### Szív- és érrendszeri betegségek

Erős hanghatás megnöveli az adrenalin-szintet (disco !)

Ez szűkíti az ereket és emeli a vérnyomást. Ha ez tartós, érrendszeri betegségekhez vezet.

### Egyéb hatások

Fejfájás, fáradtság, gyomorfekély, magzat fejlődési rendellenességek

Nagyon erős hanghatás halált is okozhat („hangfegyver”)

A környezetvédelem alapjai 14. előadás

19/20

### Pszichológiai hatások

Milyen zajt tartanak „zavarónak”? (szubjektivitás)

Függ:

- a zaj erősségétől (tipikusan 40-60 dB-től kezdve)
  - látható-e a zaj forrása
  - állandó-e, vagy löktető
  - megfelel-e az adott környezetnek
  - kontrollálható-e az egyén által
  - kontrollálható-e más által (pl. rendőrség)
  - akadályoz-e valamilyen cselekvést (pl. alvást)
  - milyen napszakban hallatszik (éjjel érzékenyebbek vagyunk)
- Tartós zajban élőknel gyakoribbak
- álmatlanság,
  - agresszivitás,
  - mentális zavarok (üldözési mánia, paranoia, depresszió)
  - gyerekeknél kommunikációs zavarok

A hallás egyik legfontosabb érzékszervünk.

Vigyázzunk saját hallásunkra, és legyünk tekintettel másokra is!

Mérsékeljük a zajszennyezést !

A környezetvédelem alapjai 14. előadás

20/20