




**Department of Fluid Mechanics**  
**Budapest University of Technology and Economics**

**Akusztika,  
Zaj- és rezgésvédelem**

Nagy László  
 nagy@ara.bme.hu


Zaj- és rezgésvédelem | 2008/2009. II.

2009. április 23.



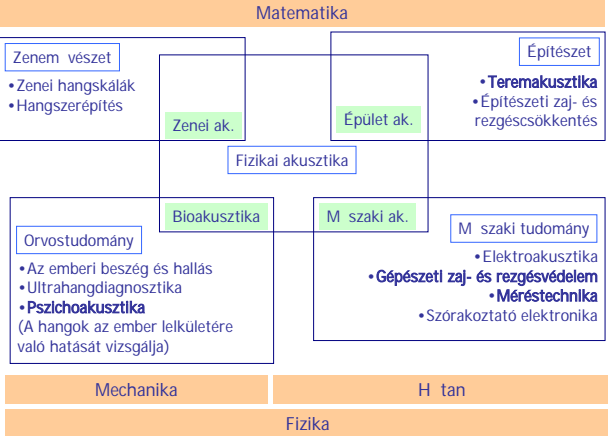
**Az előadás vázlata**

- Akusztika, hangtan
- Alapdefiníciók
- Ingerintenzitás
- Az emberi hallás
- Az emberi hallószerv felépítése, működése, fizikai jellemzők
- Zaj fogalma
- A zaj élettani hatása
- Zaj és rezgésvédelmi mérési számok
- Hangosság, zajosság, beszédérthetőség
- Közúti zaj mérés, jogszabályok, EU projektek
- Szakirodalom



**Az akusztika**

Akusztika, hangtan: A hang keletkezésével, terjedésével és elhalásával illetve az (élő) emberi szervezetre kifejtett hatásával foglalkozó fejezete a mechanikának.




**Matematika**

- Zeneművészet
  - Zenei hangskálák
  - Hangszerépítés
- Zenei ak.
- Építészet
  - Teremakusztika
  - Építészeti zaj- és rezgéscsökkentés
- Épület ak.
- Fizikai akusztika
- Orvostudomány
  - Az emberi beszéd és hallás
  - Ultrahangdiagnosztika
  - Pszichoakusztika  
(A hangok az ember lelkiületére való hatását vizsgálja)
- Bioakusztika
- Műszaki ak.
- Műszaki tudomány
  - Elektroakusztika
  - Gépjármű zaj- és rezgésvédelem
  - Mérés technika
  - Szórakoztató elektronika

**Mechanika** | **Hőtan**

**Fizika**



**A hang kettős természete**

A hang fogalma lehet fizikai, élettani és lélektani jellegű.

**Fizikai meghatározás** szerint a hang valamely rugalmas közeg állapotának egyensúlyi helyzete körüli ingadozása, amely egy rugalmas hordozó közegben tovaterjed.

**Élettani meghatározás** szerint a hang az az érzet, amit a nyomóingadozás a hallószervben kelt.

**A hang kettős természete:**

**Áramlástan** természet: instacionárius, összenyomható, nagy mennyiségű apró megváltozásai;

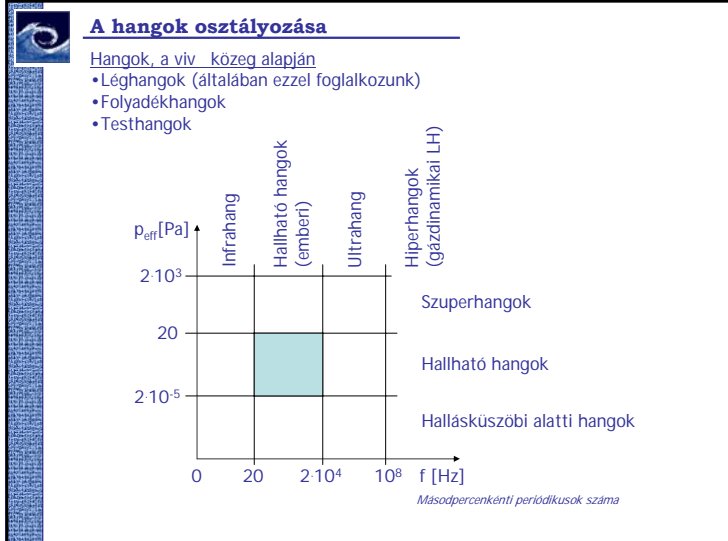
**Hullámtervezés**: Zavarási állapot továbbterjedése, interferencia képesség, képes visszaverődni, képes eltörni, képes elhajolni, szóródni.

**Hanghullámok alapvető tulajdonsága:**

**Longitudinális hullámok** a kialakuló részecske sebesség iránya megegyezik a hang terjedési sebesség irányával (rugó:  $s$   $r$  sődik, ritkul)

**Transzverzális hullámok** a kialakuló részecske sebesség iránya merőleges a hang terjedési sebesség irányára.

Animáció



### Weber és Fechner törvény (Stevens törvény)

Az érzékelhet IngerIntenzitásról

**Weber törvény (1834):**  $k = \frac{\Delta I}{I}$

$\Delta I$ : Relatív ingerküszöb ( $\Delta \Phi$ )  
(éppen észrevehető ingerintenzitás változás)

$I$ : Ingerváltozás ( $\Phi$ )

$k$ : Konstans, értékei különböz inger modalitásokra

látás	0,079
hallás	0,029
nyomás	0,022
ízlelés	0,083


**Fechner törvény (1860):**  $\dot{E} = k * \log(I)$

$\dot{E}$ : Érzet intenzitás ( $\Psi$ )


$k$ : Konstans

$I$ : Ingerintenzitás ( $\Phi$ )

**Stevens törvény (1953):**  $\dot{E} = k * I^n$



Ernst Henrik  
**Weber**




Gustav Theodor  
**Fechner**

Forrás: dr. Kutor László – Intelligens rendszerek elmélete előadása alapján (BMF-NIK, <http://mobil.nik.bmf.hu/tantargyak/ire.html>)

### A hallószerve felépítése (Nobel díj)

- fülkagyló
- küls fülcsatorna (3 kHz rezonancia frekvencia)
- dobhártya
- halócsontok (kalapács, üll, kengyel)
- bels fül




Békésy György  
(1961)

Forrás: dr. Kutor László – Intelligens rendszerek elmélete előadása alapján (BMF-NIK, <http://mobil.nik.bmf.hu/tantargyak/ire.html>)

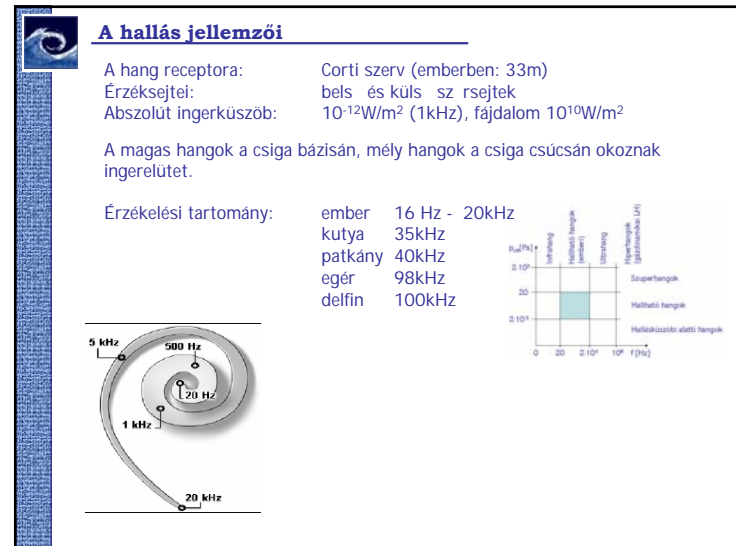
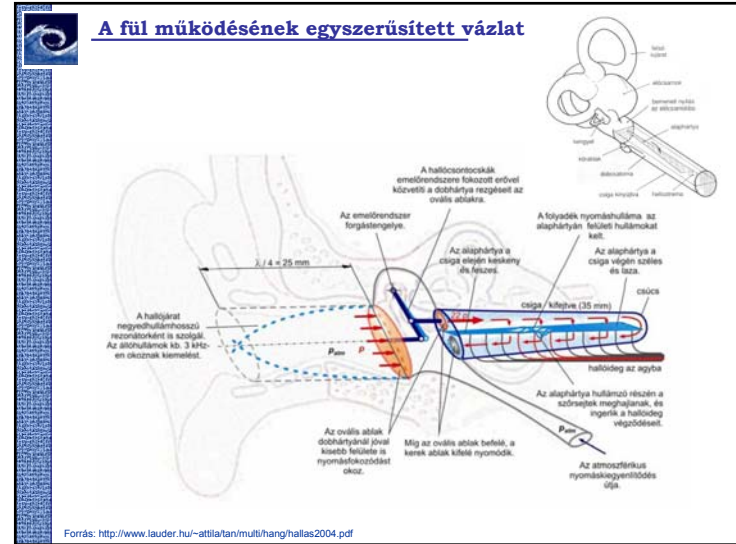
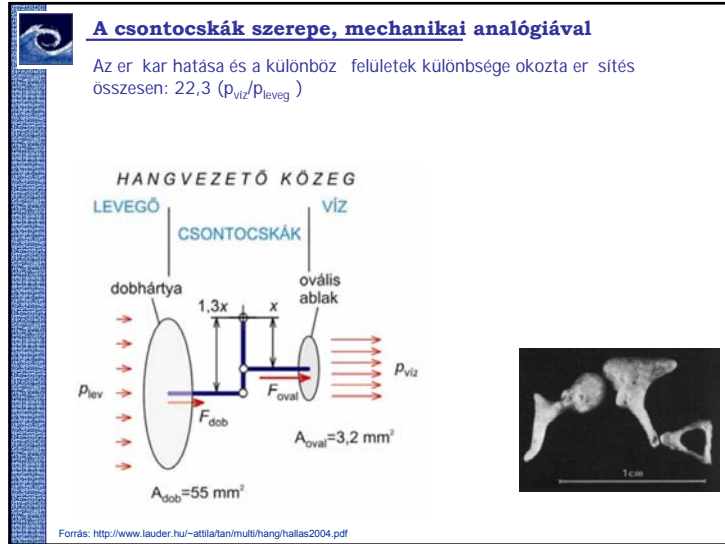
### A hallószerve felépítése (Nobel díj)

- fülkagyló
- küls fülcsatorna (3 kHz rezonancia frekvencia)
- dobhártya
- halócsontok (kalapács, üll, kengyel)
- bels fül

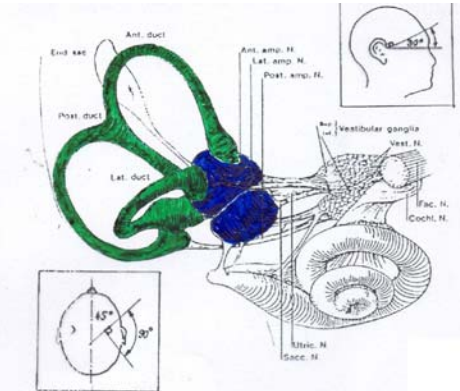


Békésy György  
(1961)

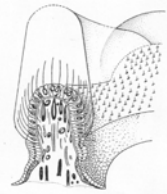
Forrás: <http://www.lauder.hu/~attila/tan/multi/hang/hallas2004.pdf>



## Az egyensúly érzékelése (Nobel díj)

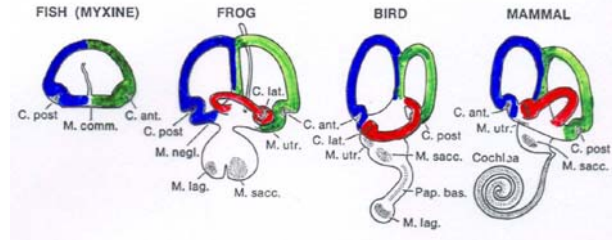


Bárány Róbert  
(1914)



Forrás: dr. Kutor László – Intelligens rendszerek elmélete előadása alapján (BMF-NIK, <http://mobil.nik.bmf.hu/tantargyak/ire.html>)

## Az egyensúly érzékelése az állatokban



Forrás: dr. Kutor László – Intelligens rendszerek elmélete előadása alapján (BMF-NIK, <http://mobil.nik.bmf.hu/tantargyak/ire.html>)

## A zaj- és rezgésvédelem mérőszámai

Zaj- és rezgésjellemezés alatt rendszerint azt a fizikai mennyiséget értjük, amely erősségükre utal.

Zaj → **hangnyomás** (ritkábban intenzitás);  
Rezgés → kitérés, sebesség és a **gyorsulás**.  
Szinuszos jelek / élettani szempontok

Törekvés: a hatások egy számmal történő jellemzése.

Ún. **Egyadatos mérőszámok:**

- Hangosság
- A-hangnyomásszint (A-weighted)
- Hangosság
- Zajosság
- Egyenérték hangnyomásszint ( $L_{Aeq}$ )
- Beszédérthetőség

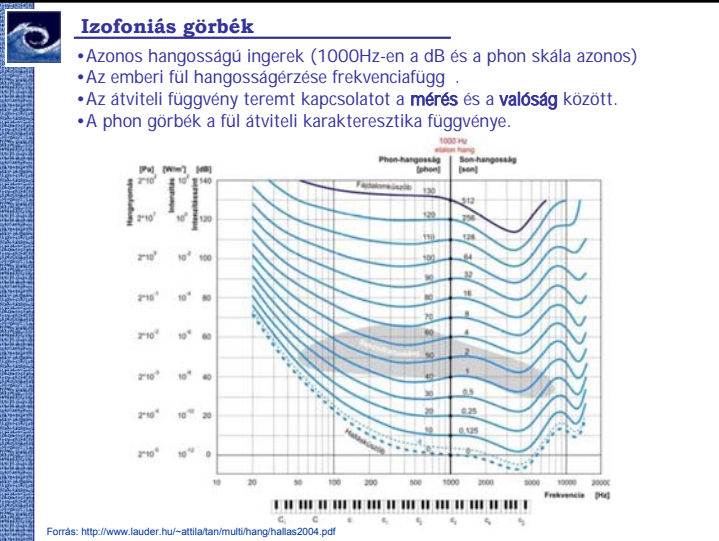
- Súlyozott egyenérték rezgésgyorsulás

## Hangosság

A **hangosság** jellemzésére szolgáló élettani mennyiség. Jele  $L_N$  [phon].

Értelmezés szerint annak az **1kHz frekvenciájú** szabad hangterben szemközt érkező tisztahangnak a hangnyomásszintje, amely **azonos hangérzetet** kelt a kérdéses hanggal.

Ld. Azonos hangosságintélgörbékét. (Phon-görbék)



### Szintek és alapdefiníciók

Hangforrás	Méköznapi, zenei hangosságfogalmak, illetve a halláskárosodás határai	Hangteljesítmény P [W]	Hangteljesítményszint L <sub>w</sub> [dB]	Hangosság [phon]	Hangosság [son]
sűkétscobba	hallásküszöb (emberen, fiatal)			0	0,001
szar szegélye, macskák dorombolása	éppen hallható			10	0,025
szívhangok, rádióadó alapzaja	nagyon halk, ppp (pianississimo)			20	0,1
suttogás, könyvtár, draketyegés	nagyon halk, pp (pianissimo)	10 <sup>-10</sup>	20-30	30	0,4
normális beszélgetés	beszédhangok, p (piano)	10 <sup>-7</sup>	50	40	1
moda, számláló, nyomtató zaja	mp (mezzopiano)			50	2
hangos beszélgetés, WC lezuhás, porzáló	mf (mezzoforte)			60	4
autó belső terének zaja (120 km/óránál)	hangos, f (forte)			70	8
erős városi forgalom, hangos zene	f (fortissimo), 8 órán túli halláskárosodás	10 <sup>-4</sup>	80	80	16
kiabálás (1,5m), áthaladó metrószerevény	ff (fortississimo), 2 órán túli halláskárosodás			90	32
nagyon zajos üzem	nagyon hangos			100	64
légalapács	nagyon hangos	0,1	110	110	128
diszko (a hangfalnál), ordítás a fülbe (20cm)	éppen elviselhető	10	130	120	256
sugárhajtású repülőgép (közvetlen), légitálmű felhalmozások		10 <sup>2</sup>	150	130	512
rakéta, puszkálós (a fül mellett)	döbbényrepedés	10 <sup>8</sup>	190	190	

Hangterek	Hangnyomás P <sub>avr</sub> [Pa]	Hangnyomásszint L <sub>p</sub> [dB]
hallásküszöb (f=1000Hz)	2*10 <sup>-5</sup>	0
hangstúdió háttérzaja	2*10 <sup>-4</sup>	20
csendes lakónegyed, éjeli	2*10 <sup>-3</sup>	40
közepes hangos beszélgetés (étteremben)	2*10 <sup>-2</sup>	60
forgalmas út (közvetlen)	0,2	80
benzinmotoros kocsiz, közelről (0,5m), szabadter	6,3	110
felzáró sugárhajtású repülőgép 10m	63	133
100mm-es katona löveg, elütéskor	630	150

### Hangosság

A **hangosság** a hangnyomás-, illetve a hangosságszinttel szemben lineáris kapcsolatot biztosít az egyes összevont  $k$  között és a **hangosságérzetet** jellemző mennyiség. Jele  $N$  [son].

A hangosságszint rendszerhez kötött azonosítási pontja (egységnyi hangosság):  $1 \text{ son} = 40 \text{ phon}$

$$L_N = 40 + 10 \log_2 N$$

A hangosság a valóság érzetnek felel meg, **lineáris mérték**.  
(1 son + 1 son = 2 son)

### Zajosság

A zaj terhelés hatása.  
A zajosság a zajosságérzet jellemzésére használatos. Jele  $Z$  [noy]

A zajosságszint  $L_Z = 40 + \log_2 Z$  [PNdB]

[PNdB]: Perceived noise (észlelhető zaj)

- Ezzel általában a repülőgépek zajkibocsátása és a repterek, illetve a légifolyókat ellenőrzik.
- Rendkívül m szer- és id igényes módszer.
- Ld még a „D” súlyozó sz r .



### Kitérő #1 - Oktávsváv

A harmónikus analízis régen (sáv áteresztés készlet) és most (FFT). FFT: Fast Fourier Transformation.

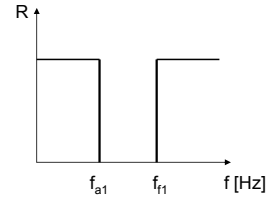
Ahol „R” a sz r elméleti ellenállása (alsó-felső frekvencia határ):  
Illetve csak az f<sub>a1</sub> és az f<sub>r1</sub> frekvencia között enged át.

Az oktávsváv:

$$f_{oktávsváv\_fels} = 2f_{oktávsváv\_also}$$

$$f_{oktávsváv\_közép} = \sqrt{f_{oktávsváv\_also} * f_{oktávsváv\_fels}}$$

$$f_{oktávsváv\_közép} = \sqrt{2}f_{oktávsváv\_also} = \frac{f_{oktávsváv\_fels}}{\sqrt{2}}$$



Nemzetközi szabvány f oktávsváv középfrekvenciák [Hz], a hallható tartományban: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1k; 2k; 4k; 8k; 16k (10db)



### Kitérő #2 - Tercsváv

A harmónikus analízis régen (sáv áteresztés készlet) és most (FFT). FFT: Fast Fourier Transformation.

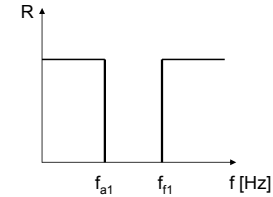
Ahol „R” a sz r elméleti ellenállása (alsó-felső frekvencia határ):  
Illetve csak az f<sub>a1</sub> és az f<sub>r1</sub> frekvencia között enged át.

A harmadoktávsváv (tercsváv):

$$f_{tercsváv\_fels} = \sqrt[3]{2}f_{tercsváv\_also}$$

$$f_{tercsváv\_közép} = \sqrt[3]{f_{tercsváv\_also} * f_{tercsváv\_fels}}$$

$$f_{tercsváv\_közép} = \sqrt[3]{2}f_{tercsváv\_also} = \frac{f_{tercsváv\_fels}}{\sqrt[3]{2}}$$

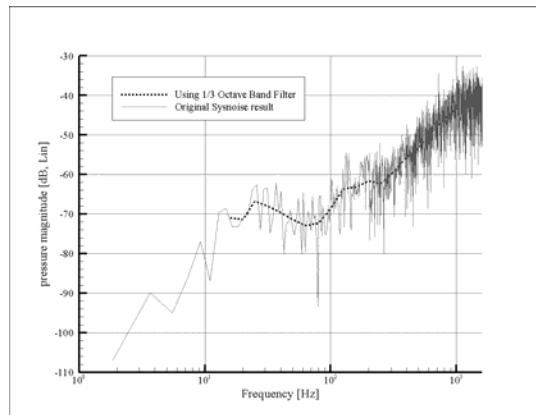


Nemzetközi szabvány f tercsváv középfrekvenciák [Hz], a hallható tartományban: 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; ...



### Kitérő #3 - A jelek szűrése

A különböző filterek (sz r k) alkalmazhatósága:  
Kisimítja az eredményt.



### Beszédérthetőség #1, érthetőségi mutató

Ipari üzemekben: kommunikációs és baleset-elhárítás [jel/zaj viszony].

Az érthetőség a megértett és az összes közölt beszédelem hányadosa.

Jellemzik az érthetőségi mutató:

$$I_e = \sum_{i=1}^n \frac{(B - Z)_i + 20}{50} Y_i$$

B: a beszéd sávszintje

Z: a zaj sávszintje

i-dik oktávsvávban és [dB]-ben

Y: százalékos érthetőség

f <sub>m</sub> [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Y <sub>i</sub> [%]	2	11	23	27	22	13	2



### Beszédérthetőség #2, artikulációs index

További jellemző, mint az artikulációs index:

$$AI = \sum_{i=1}^n g_i \Delta_i$$

$g_i$ : a sáv középfrekvenciától függ súlyozó tényező

$\Delta_i$ : a beszédhangnyomásszint csúcsok és a zavaró zajszint különbsége dB-ben.

$f_m$ [Hz]	250	500	1000	2000	4000
$g_i \cdot 10^{-4}$	18	50	75	107	83

Artikulációs index	Beszédérthetőség
0,1	Igen rossz
0,1 – 0,3	Nem megfelelő
0,3 – 0,5	Megfelelő
0,5 – 0,7	Jó
0,7	Igen jó



### Beszédérthetőség #3, beszédzavarási szint

A mindennapi életben használt összefüggés.

A beszédzavarási szint három oktávsvárra vonatkozóan a számtani középérték.

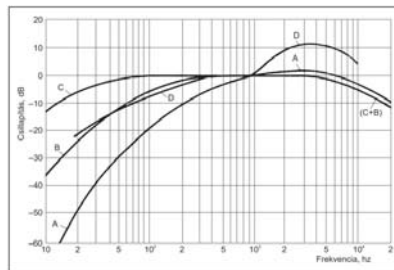
$$L_m = \frac{L_{500\text{Hz}} + L_{1\text{kHz}} + L_{2\text{kHz}}}{3} [\text{dB}]$$

Jó irányértékként alkalmazhat az érthetőség:

- Elfogadható, ha a beszédészint – zajszint különbsége  $\Delta L < -\text{dB(A)}$
- Jó, ha  $\Delta L = 0\text{dB(A)}$
- Igen jó, ha  $\Delta L = +5\text{dB(A)}$



### Akusztikai szűrők



„A” súlyozó szűrő (A-weighting): A zaj emberre gyakorolt hatásának jellemzésére szabványosan az A-hangnyomásszintet alkalmazzuk. Az azonos hangosságú szinguláris hangokhoz viszonyítottan a 40phon. Ember központi. [dB(A)]

„B” súlyozó szűrő : 70phon. [dB(B)]

„C” súlyozó szűrő : 100phon. [dB(C)]

„D” súlyozó szűrő : Nem a zaj hangosságát jelöli, hanem a kellemetlenség érzetét. A D-szűrő repülési zajokhoz használatos. [dB(D)]



### Egyenértékű hangnyomásszint

Az egyenértékű hangnyomásszint a zaj erősségén túlmenően az egyes terhelések behatási idejét is figyelembe veszi. Definíció szerint:

$$L_{eq} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) [\text{dB}]$$

Az A-súlyozott mérések esetén az egyenértékű A-hangnyomásszint adódik  $L_{Aeq}$  [dB(A)]

### Közúti zaj mérése

Ld. Mérési útmutató, MSz, jk.

A jegyzőkönyv tartalmazza a helyszín rajzot, légkör paramétereit, a mérés dátumát, a mérési időtartamot, időjárás állapotát (A mérés nem végezhető el csapadékos időben, mert például az útburkolat nedvessége befolyásolja a járművek zajkeltését.)

Kézi hangnyomásmérmérő pozíciója legyen a talaj felszínétől 1,5m, faltól, zárt kerítéstől lehetőleg szerint legalább 3m távolságban.

A mérés során forgalomszámlálást kell végezni. Ez alapján rögzíteni kell az adott keresztvezékre jellemző haladási lehetőségeket és az irányok kombinációit, az alábbi kategóriákba tartozó járművek száma szerint:

- személygépjárművek, kisbuszok, haszongépjárművek, motorkerékpárok;
- könnyű tehergépjárművek (IFA), autóbuszok;
- nehéz tehergépkocsik (utánfutóval, kamionok), csuklós autóbuszok, lassú járművek (traktor).

Feladat meghatározni a helyszínenkénti egyenértékű hangnyomásméretet, valamint ezt az értéket összehasonlítani az érvényes jogszabályban rögzített, és az adott helyszín besorolására vonatkozó értékkel. Forrásként az internet használható

### Közúti zaj mérése #2

Ld. Mérési útmutató, MSz, jk.

Egyenértékű hangnyomásméret:  
Equivalent noise level ("A" weighted sound-pressure level):

$$L'_{Aeq} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{\sum t_i} \sum (t_i \cdot 10^{0,1 \cdot L'_{Aeqi}}) \right] + K$$

- Városi forgalom esetén K=0
- $t_i$  – a mérési időtartam
- $L'_{Aeqi}$  – az i-dik esetben az A-súlyozott hangnyomásméret

$$L'_{AeqM1} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^3 (10^{0,1 \cdot L'_{AeqMi}})$$

$$L'_{AeqM1} = 15,0 + 10 \lg Q_{M1} + 16,7 \lg v_{M1}$$

$$L'_{AeqM2} = 17,3 + 10 \lg Q_{M2} + 19,0 \lg v_{M2}$$

$$L'_{AeqM3} = 13,2 + 10 \lg Q_{M3} + 16,7 \lg v_{M3}$$

- Forgalom mértéke  $Q_{M1}$ - $Q_{M3}$  [autó/óra]
- Átlagos sebesség a különböző kategóriákra ( $v_{M1}$ - $v_{M3}$ )
- $L'_{AeqMi}$  – Az A-súlyozott hangnyomásméret [dB(A)]

### Előírások

Szabályozás: 284/2007. (X.29.) Korm. Rendelet a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályait tartalmazza.

- Környezeti zaj,
- Környezeti rezgés,
- Környezeti zaj- és/vagy rezgésforrás
- Háttérterhelés,
- Megfelelő passzív akusztikai zajvédelem,
- Távlati forgalom (kb. 15 év)
- Védendő terület, helyiség
- ...

27/2008. (XII.3.) KvM-EuM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról szóló jogszabályban a következők vonatkoznak a dolgozat témájára.

- Megítélési szint,
- Rezgésterhelés legnagyobb értéke,
- Vizsgálati küszöbérték,
- Ritkán előforduló rezgésjelenség,
- ...

### Határértékek #1

A közlekedéstől származó zaj terhelési határértékei a zajtől védendő területeken

Zajtól védendő terület	Határérték ( $L_{TH}$ ) az $L_{AM}$ megítélési szintre (dB)					
	Kiszolgáló úrtól, lakóterület szomszédos zaja		Az országos közutakhoz tartozó mellékutakról, a települési önkormányzat tulajdonában lévő gyűjtőutakról és külkerületi községekről, a vasúti mellékvonalokról és pályaszakaszokról, a repülőtérrel, illetve a nem nyilvános fel- és leszállóhelyekről** származó zaja		Az országos közutakhoz tartozó gyorsforgalmi utaktól és főutaktól, a települési önkormányzat tulajdonában lévő belterületi gyorsforgalmi utaktól, belterületi előterületi főutaktól és belterületi másodrendű főutaktól, az autópályaszakaszokról, a vasúti fővonalokról és pályaszakaszokról, a repülőtérrel, illetve a nem nyilvános fel- és leszállóhelyektől*** származó zaja	
	nappal 06-22 óra	éjtel 22-06 óra	nappal 06-22 óra	éjtel 22-06 óra	nappal 06-22 óra	éjtel 22-06 óra
1. Üdülőkert, külkerületi területek közel az egészségügyi terület	50	40	55	45	60	50
2. Lakóterület (külsősoros, kertvárosias, falusias, telepszerű beépítésű), külkerületi területek közel az oktatási létesítmények területén, és a területek, a zöldterületek	55	45	60	50	65	55
3. Lakóterület (nagyvárosias beépítésű), a vegyes terület	60	50	65	55	65	55
4. Gazdasági terület	65	55	65	55	65	55





## Határértékek #2

Az épületek zajtól védendő helyiségeiben

	Zajtól védendő helyiség	Határérték ( $L_{Aeq}$ ) az $L_{Aeq}$ megfigyelt szintre (dB)	
		nappal 06-22 óra	éjjel 22-06 óra
1.	Kórházak és betegszobák	35	30
2.	Tantermek, előadóterem oktatási intézményekben, foglalkoztatási termek, kislétszámú tanterem, bölcsődékben és óvodákban	40	-
3.	Lakószobák lakóépületekben	40	30
4.	Lakószobák szállodákban és szálló jellegű épületekben	45	35
5.	Fikázókonyha, étkezőhelyiség lakóépületekben	45	-
6.	Szállodák, szálló jellegű épületek, kórházok lakószobák közötti helyiségei	50	-
7.	Éttermek, csupesszók	55	-
8.	Nagy- és közkereskedelmi épületek eladói, vendéglátó helyiségek, a városi terem	60	-



## EU stratégiák

Zajkérdéssel kapcsolatosan az Európa Bizottságban több Igazgatási Csoport (Directory Group) foglalkozik.

Pl. a 2000. évi, Környezeti Cselekvési Program melynek célja:

- A lakosság zajterhelése éjszaka sehol sehol se haladja meg a 65dB(A)-t és a zaj a 85dB(A)-t
- Az éjszakai  $L_{Aeq} = 55-65$ dB(A)-s zajban él lakosság helyzete ne romoljon tovább
- Az 55dB(A) határ alatti, csendes környezetben él lakosság terhelése ne emelkedjen e határ fölé.

Az 5. Környezetvédelmi Cselekvési Program irányelvei (Zöld könyvben)

- Zajkataszter készítése
- Zajcsökkentési program
- A személygépkocsik, tehergépkocsik, **repülőgépek (FP6, FP7)**, különböző gépi berendezések zajemissziójának csökkentése, irányelvek kidolgozása,
- Zajmérés, értékelés szabványosítás.
- Zajcsökkentést eredményező intézkedések, mint pl.
  - Gépkocsi használat korlátozása
  - Éjszakai repülés megtiltása
  - Éjszakai ipari tevékenység korlátozása, tiltása
- Tereleltrendezéssel, infrastruktúra fejlesztéssel összefüggő intézkedések.



## EU projektek

...  
 6<sup>th</sup> Framework Programme 2002-2006 (total € 18 billion)  
 7<sup>th</sup> Framework Programme 2006-2010  
 Clean Sky Transport / Aeronautics € 4.1 billion  
 VITAL Project (acoustic, aerodynamics, material engineering)  
 ...

Nyitott szemmel járni!  
Pályázatok



## Tanszéki lehetőségek,

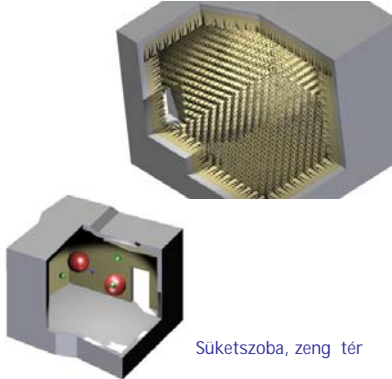
A tanszék segíthet az alábbi konzultálásban:

- Diplomatervezés
  - városi zajtérképek
  - városi zajmérések
  - ipari zajtérképek
  - rezgésmérések
  - gépészeti berendezések akusztikai vizsgálata
- Nyári munka
- Akusztikai numerikus szimuláció (soundplan, sysnoise, fluent, miskam)
- Akusztikai laboratóriumi mérések (süket szoba, zengő tér)
- Mélyebb tudományos munka, kutatás
  - szabad sugár vizsgálatok
  - szárny körüli áramlások vizsgálata
  - ventilátor akusztikai vizsgálata
  - ...



### Akusztikai kutatások (mérés)

Békésy György Akusztikai Laboratórium  
<http://www.akusztikalabor.hu>  
BME Áramlástan & BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék  
Budaörsi út 45.



Süketszoba, zeng tér



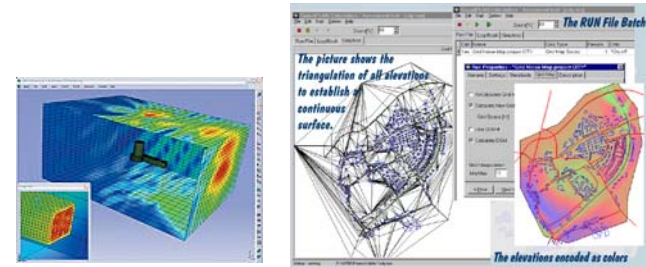
### Akusztikai kutatások (szimuláció)

SoundPlan,  
Synnoise (VirtualLab),  
Ansys Fluent

[www.soundplan.com](http://www.soundplan.com)

[www.lmsintl.com](http://www.lmsintl.com)

[www.fluent.com](http://www.fluent.com)



### Elérhetőségek

BME Áramlástan Tanszék  
AE épület 1. emelet 12. szoba  
463 3465

Majd: [www.ara.bme.hu/~nagy](http://www.ara.bme.hu/~nagy) (teaching, akusztika)  
[nagy@ara.bme.hu](mailto:nagy@ara.bme.hu)

#### Szakirodalom

- [1] Tarnóczy Tamás: Akusztika. Akadémiai Kiadó, 1963
- [2] Pap János: Hang-Ember-hang. Vince Kiadó, 2002
- [3] Tarnóczy Tamás: Hangnyomás, hangosság, zajosság. Akadémiai Kiadó, 1984
- [4] C. Smetana: Zaj- és rezgésmérés. M. szaki Könyvkiadó, 1975
- [5] Bauer Miklós, Czigner Jen, Lampé István: Fül-, orr-, gégegyógyászat. Medicina 1990
- [6] <http://www.tankonyvtar.hu/konyvek/kornyezettechnika/kornyezettechnika-6-1>