

Környezetvédelem műszaki alapjai, akusztika

Nagy László
nagy@ara.bme.hu

Az akusztika egy megközelítése | 2011/2012. II.

2012. Április 19.



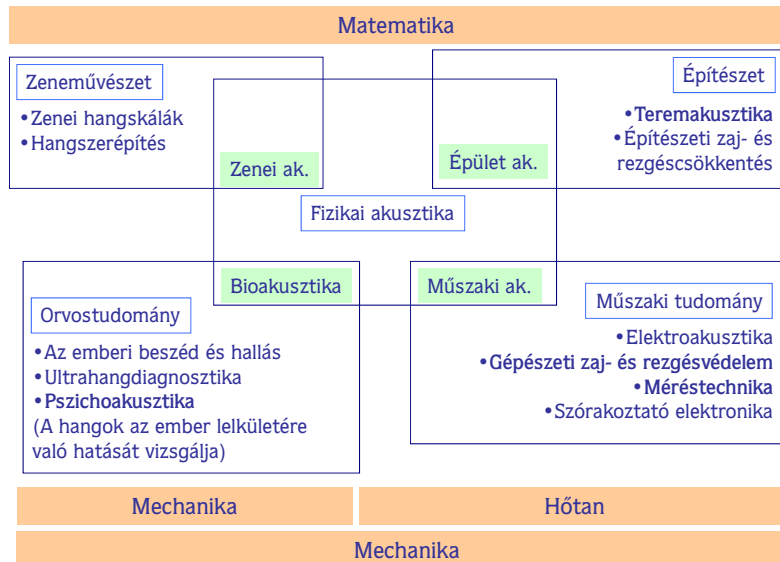
Az előadás vázlata

- Akusztika, hangtan
- Alapdefiníciók
- Ingerintenzitás
- Az emberi hallás
- Az emberi hallószerv felépítése, működése, fizikai jellemzők
- Zaj fogalma
- A zaj élettani hatása
- Zaj és rezgésvédelmi mérőszámok
- 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.



A hang kettős természete

A hang fogalma lehet fizikai és 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 nyomingadozás a hallószervben kelt.

A hang kettős természete:

Áramlástanai természet: instacionárius, összenyomható, nagy mennyiségek apró megváltozásai;

Hullámtermesztet: Zavarási állapot továbbterjedése, interferencia képesség, képes visszaverődni, képes eltörni, képes elhajolni, szóródn.

Hanghullámok alapvető tulajdonsága:

Longitudinális hullámok a kialakuló részecske sebesség iránya megegyezik a hang terjedési sebesség irányával (rugó: sűrűsödik, ritkul)

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

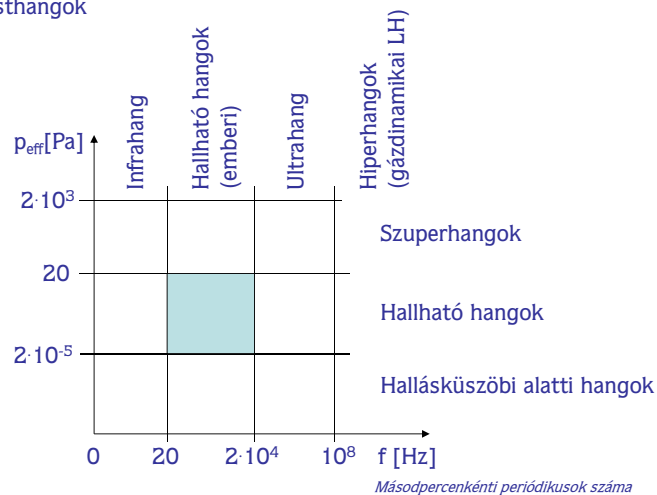
Animáció



A hangok osztályozása

Hangok, a vivő közeg alapján

- Léghangok (általában ezzel foglalkozunk)
- Folyadékhangok
- Testhangok



Szintek és alap definíciók

A hangtanban a szint valamely jellemzőnek és egy adott összehasonlító érték arányának logaritmus. Mértékegysége [*bel*, dB].

$$\text{Hangteljesítmény: } (P_0 = 10^{-12} \text{W}) \quad L_w = 10 \log \frac{P}{P_0} [\text{dB}]$$

Minden hangforrást jellemez.

$$\text{Hangintenzitás: } (I_0 = 10^{-12} \text{W/m}^2) \quad L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} [\text{dB}]$$

A hangérzet arányos a felfogott hangenergiával. A hangszint kifejezésénél ezért célszerűbb a hangintenzitásból kiindulni. (Weber törvény, Fechner törvény)

$$\text{Hangnyomásszint: } (p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{Pa}) \quad L_p = 10 \log \frac{p_{eff}^2}{p_0^2} [\text{dB}] \quad L_p = 20 \log \frac{p_{eff}}{p_0} [\text{dB}]$$

Minden hangteret jellemez.



Fechner és Weber törvény (Stevens törvény)

Az érzékelhető ingerintenzitásról

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

ΔI : Relatív ingerküszöb ($\Delta \Phi$)

(éppen észrevehető ingerintenzitás változás)

I : Ingerváltozás (Φ)

k : Konstans, értékei különböző 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 (Ψ)

k : Konstans

I : Ingerintenzitás (Φ)

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



Erns Henrik Weber

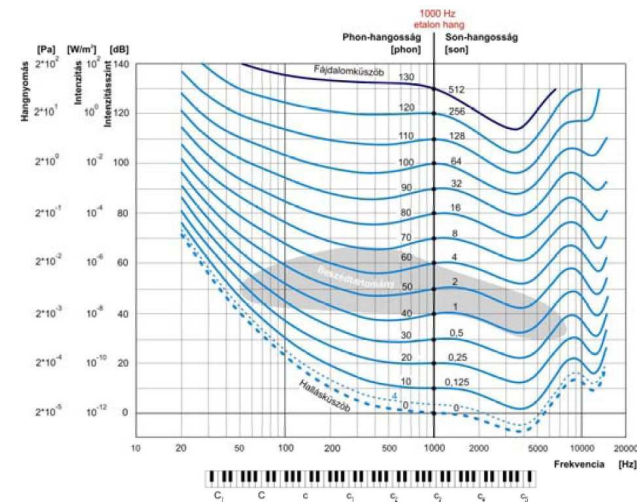


Gustav Theodor Fechner



Izofoniás görbék

- Azonos hangosságú ingerek (1000Hz-en a dB és a phon skála azonos)
- Az emberi fül hangosságérzése frekvenciafüggő.
- Az átviteli függvény teremt kapcsolatot a mérés és a valóság között.
- A phon görbék a fül átviteli karakterisztika függvénye.





Szintek és alapdefiníciók

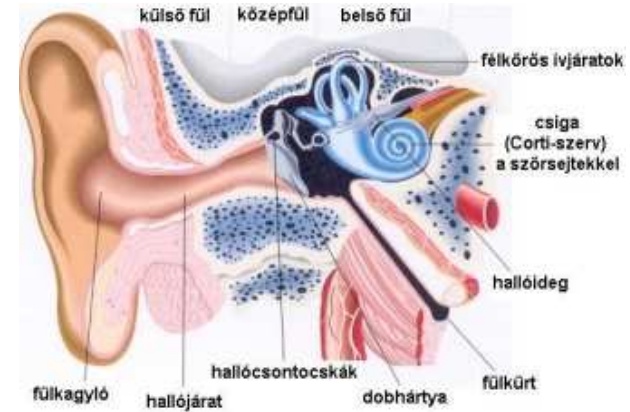
Hangforrás	Hétköznap, zenei hangosságfogalmak, illetve a halláskárosodás határai	Hangteljesítmény P [W]	Hangteljesítmény-szint L_w [dB]	Hangosságszint [phon]	Hangosság [son]
süketzoba	hallásküszöb (femben, fiatal)			0	0,001
avar zizegése, macskás dorombolása	éppen hallható			10	0,025
színhangok, rádióstúdió alapzaja	nagyon halk, pp (pianississimo)			20	0,1
suttogás, könyvtár, óraketyegés	nagyon halk, pp (pianissimo)	10^{-10}	20-30	30	0,4
normális beszélgetés	beszédhangerő, p (piano)	10^{-7}	50	40	1
iroda, számítógé, nyomtató zaja	mp (mezzopiano)			50	2
hangos beszélgetés, WC lehúzás, porszívó	mf (mezzoforte)			60	4
autó belső terének zaja (120 km/óránál)	hangos, f (forte)			70	8
erős városi forgalom, hangos zene	ff (fortissimo), 8 órán túli halláskárosodás	10^{-4}	80	80	16
kiabálás (1,5m), áthaladó metrószerevény	fff (fortississimo), 2 órán túli halláskárosodás			90	32
nagyon zajos üzem	nagyon hangos			100	64
légkalapács	nagyon hangos	0,1	110	110	128
diszko (a hangfalnál), ordítás a fülbe (20cm)	éppen elviselhető	10	130	120	256
sugárhajtású repülőgép (közeli), légoltalmi	dobhártyarepedés	10^3	150	130	512
rakéta, puskalövés (a fül mellett)		10^6	190	180	

Hangterek	Hangnyomás p_{eff} [Pa]	Hangnyomásszint L_p [dB]
hallásküszöb ($f=1000\text{Hz}$)	$2 \cdot 10^{-5}$	0
hangstúdió háttérzaja	$2 \cdot 10^{-4}$	20
csendes lakónegyed, éjjel	$2 \cdot 10^{-3}$	40
közepes hangos beszélgetés (étteremben)	$2 \cdot 10^{-2}$	60
forgalmas út (közeli)	0,2	80
benzinmotoros fűrés, közeli (0,5m), szabadter	6,3	110
felszálló sugárhajtóműves repülőgép 10m	63	133
100mm-es katonai löveg, elsütéskor	630	150



A hallószerve felépítése (Nobel díj)

- fülkagyló
- külső fülcsatorna (3 kHz rezonancia frekvencia)
- dobhártya
- halócsontok (kalapács, üllő, kengyel)
- belső fül

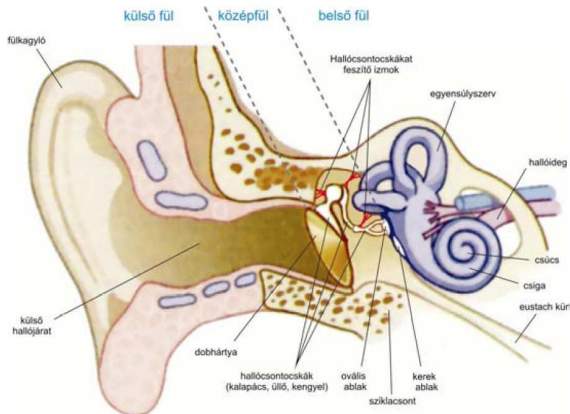


Békés György (1961)



A hallószerve felépítése (Nobel díj)

- fülkagyló
- külső fülcsatorna (3 kHz rezonancia frekvencia)
- dobhártya
- halócsontok (kalapács, üllő, kengyel)
- belső fül

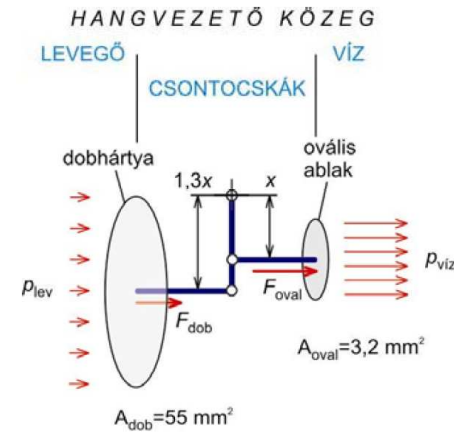


Békés György (1961)



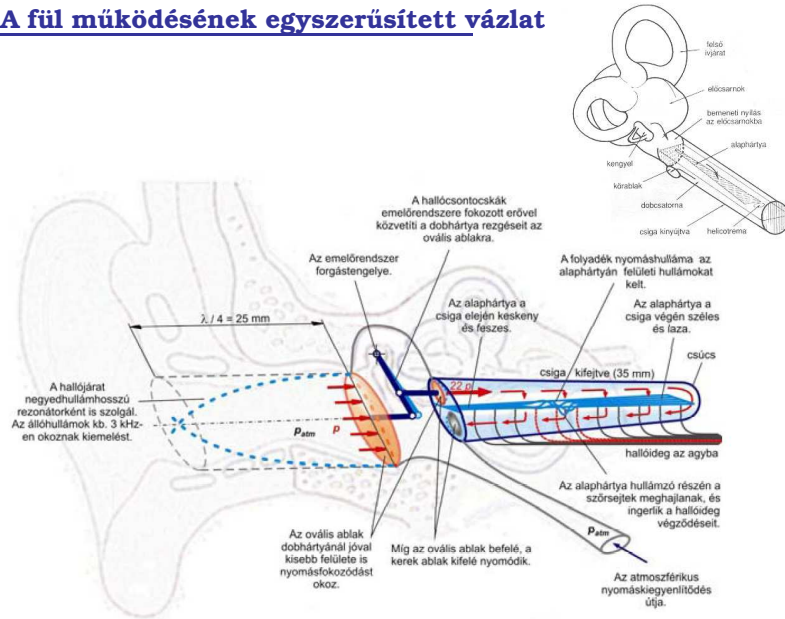
A csontocskák szerepe, mechanikai analógiával

Az erőkar hatása és a különböző felületek különbsége okozta erősítés összesen: $22,3 (p_{v\acute{e}z}/p_{lev\acute{e}g\acute{o}})$

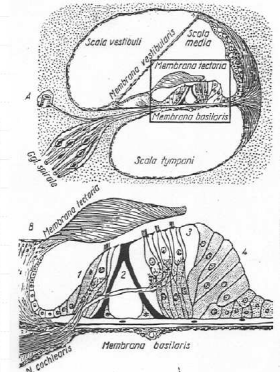
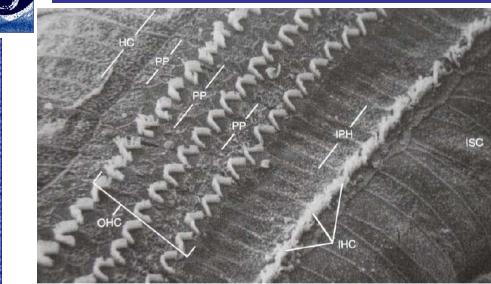




A fül működésének egyszerűsített vázlat



A hallószerv érzéksejtjei, a zaj hatása



9.76. ábra. A: emberi cochleán egy „lértérű” keresztmetszet. B: egy teljes járat; C: a felső ábra bekeretezett része kiegészítve. D: belső szőrsejtek; E: pillérsejtek; F: külső szőrsejtek; G: úrmegsejtek.

Felül egy emberi érzéksejt.

Alul egy tengerimalac ép és a 24 órás 120dB-lel terhelt sérült szőrsejt szekciója.



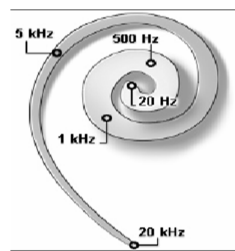
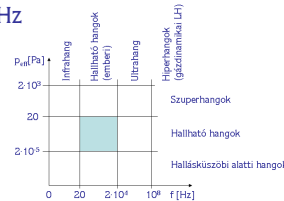
A hallás jellemzői

A hang receptora: Corti szerv (emberben: 33m)
 Érzéksejtjei: belső és külső szőrsejtek
 Abszolút ingerküszöb: 10^{-12}W/m^2 (1kHz), fájdalom 10^{10}W/m^2

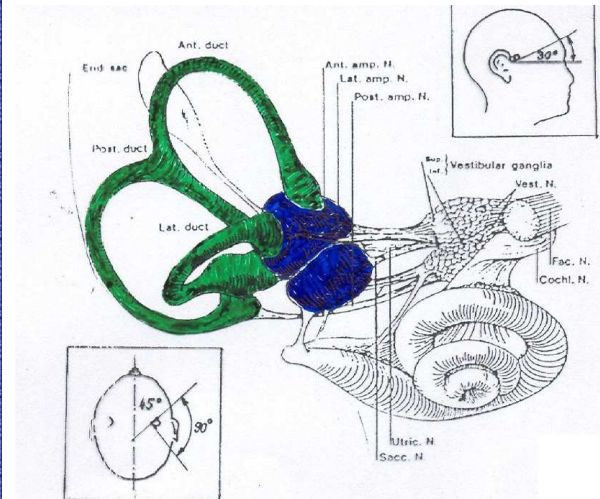
A magas hangok a csiga bázisán, mély hangok a csiga csúcán okoznak ingerelületet.

Érzékelési tartomány:

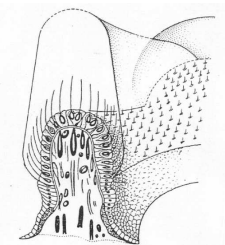
ember	16 Hz - 20kHz
kutya	35kHz
patkány	40kHz
egér	98kHz
delfin	100kHz



Az egyensúly érzékelése (Nobel díj)

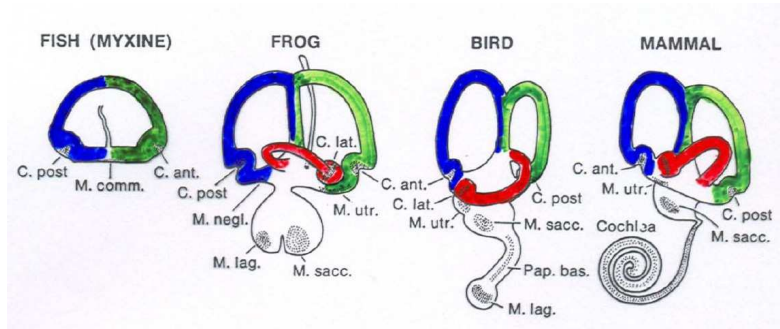


Bárány Róbert (1914)





Az egyensúly érzékelése az állatokban



A zaj- és rezgésvédelem mérőszámai

Zaj- és rezgésjellemző 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:

- Hangosságszint
 - A-hangnyomásszint (A-weighted)
 - Zajosság
 - Egyenértékű hangnyomásszint (L_{Aeq})
 - Beszédérthetőség
- Súlyozott egyenértékű rezgésgyorsulás



Hangosságszint

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

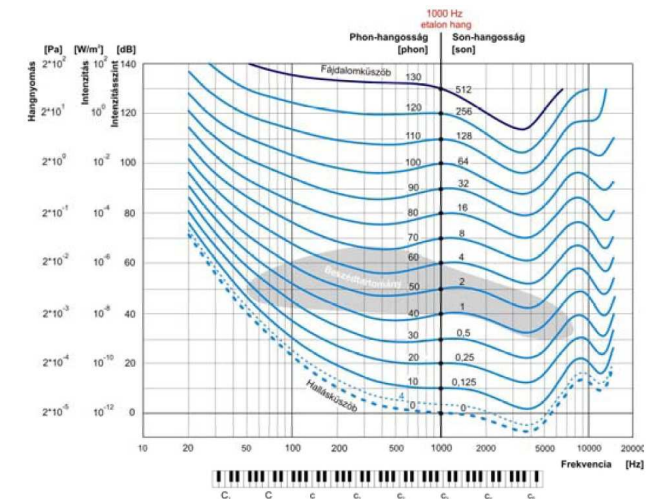
Értelmezés szerint annak az 1kHz frekvenciájú szabad hangtérben szemközt érkező tisztahangnak a hangnyomásszintje, amely azonos hangérzetet kelt a kérdéses hanggal.

Ld. Azonos hangosságszintgörbékét. (Phon-görbék)



Izofoniás görbék

- Azonos hangosságú ingerek (1000Hz-en a dB és a phon skála azonos)
- Az emberi fül hangosságérzése frekvenciafüggő.
- Az átviteli függvény teremt kapcsolatot a mérés és a valóság között.
- A phon görbék a fül átviteli karakterisztika függvénye.





Hangosság

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

A hangosságszint rendszerhez kötött azonosítási pontja (egységnyi hangosság): 1 son = 40 phon

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

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



Oktávsváv

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

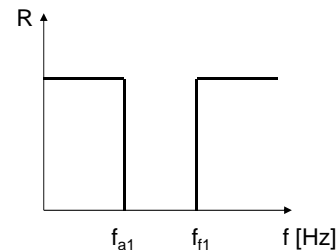
Ahol „R” a szűrő elméleti ellenállása (alsó-felső frekvencia határ):
Illetve csak az f_{a1} és az f_{f1} frekvencia között enged át.

Az oktávsváv:

$$f_{\text{oktávsváv_felső}} = 2f_{\text{oktávsváv_alsó}}$$

$$f_{\text{oktávsváv_közép}} = \sqrt{f_{\text{oktávsváv_alsó}} * f_{\text{oktávsváv_felső}}}$$

$$f_{\text{oktávsváv_közép}} = \sqrt{2}f_{\text{oktávsváv_alsó}} = \frac{f_{\text{oktávsváv_felső}}}{\sqrt{2}}$$



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



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 (észlehető zaj)

- Ezzel általában a repülőgépek zajkibocsátása és a repterek, illetve a légifolyósokat ellenőrzik.
- Rendkívül műszer- és időigényes módszer.
- Ld még a „D” súlyozó szűrő.



Teracsáv

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

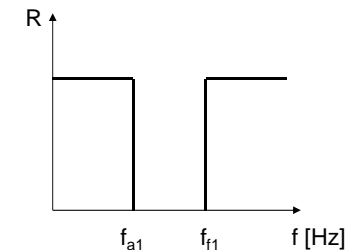
Ahol „R” a szűrő elméleti ellenállása (alsó-felső frekvencia határ):
Illetve csak az f_{a1} és az f_{f1} frekvencia között enged át.

A harmadoktávsváv (tercsáv):

$$f_{\text{tercsáv_felső}} = \sqrt[3]{2}f_{\text{tercsáv_alsó}}$$

$$f_{\text{tercsáv_közép}} = \sqrt{f_{\text{tercsáv_alsó}} * f_{\text{tercsáv_felső}}}$$

$$f_{\text{tercsáv_közép}} = \sqrt[6]{2}f_{\text{tercsáv_alsó}} = \frac{f_{\text{tercsáv_felső}}}{\sqrt[6]{2}}$$

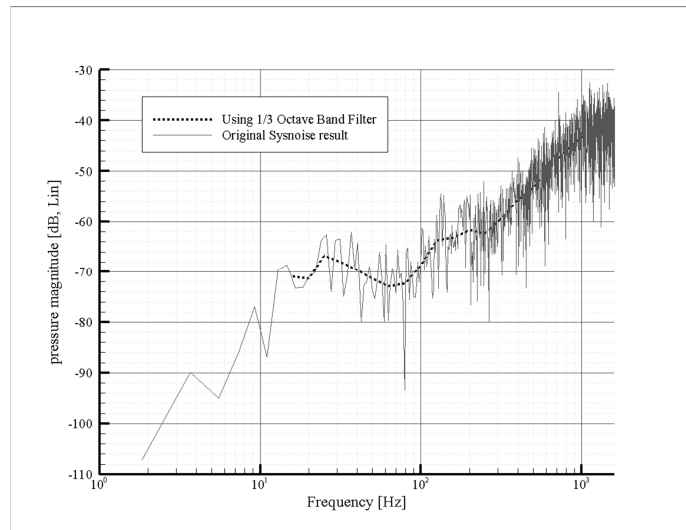


Nemzetközi szabvány f tercsáv középfrekvenciák [Hz], a hallható tartományban: 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; ...

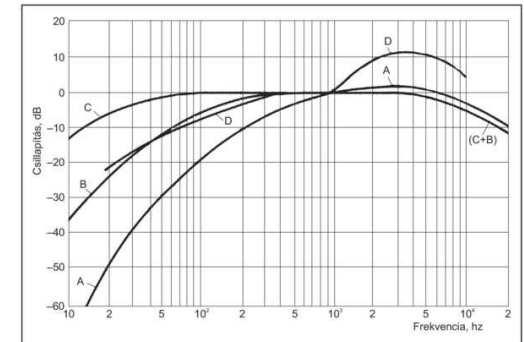


A jelek szűrése

A különböző filterek (szűrők) alkalmazhatósága:
Kisimítja az eredményt.



Akusztikai szűrők



„A” súlyozó szűrő (A-weighting): A zaj emberre gyakorolt hatásának jellemzésére szabványosan az A-hangnyomásszintet alkalmazzuk. Az azonos hangosságint-görbékből vezették le (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:

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) [dB]$$

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 hangnyomásszintmérő pozíciója legyen a talaj felszínétől 1,5m, faltól, zárt kerítéstől lehetőség szerint legalább 3m távolságban.

A mérés során forgalomszámlálást kell végezni. Ez alapján rögzíteni kell az adott kereszteződésre 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 hangnyomásszintet, 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 hangnyommátszint:

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

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

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

$$L'_{Aeqm} = 10 * \lg \sum_{i=1}^3 (10^{0,1 * L'_{Aeqmi}})$$

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

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

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

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



Beszédérthetőség #2, artikulációs index

További jellemzők, mint az artikulációs index:

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

g_i : a sáv középfrekvenciától függő súlyozó tényező

Δ_i : a beszédhangnyommátszint csúcsok és a zavaró zajszint különbsége dB-ben.

f_m [Hz]	250	500	1000	2000	4000
$g_i * 10^{-4}$	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 #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 oktávsávban és [dB]-ben

Y: százalékos érthetőség

f_m [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Y_i [%]	2	11	23	27	22	13	2



Beszédérthetőség #3, beszédzavarási szint

A mindennapi életben használt összefüggés.

A beszédzavarási szint három oktávsávra vonatkozóan a számtani középérték.

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

Jó irányértékként alkalmazhat az érthetőségre:

- Elfogadható, ha a beszédsszint – zajszint különbsége $\Delta L < -dB$ db(A)
- Jó, ha $\Delta L = 0$ db(A)
- Igen jó, ha $\Delta L = +5$ 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-EüM 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 úttól, lakóúttól származó zajra		Az országos közúthálózatba tartozó mellékutaktól, a települési önkormányzat tulajdonában lévő gyűjtőutaktól és külterületi közműutaktól, a vasúti mellékvonaltól és pályaudvarától, a repülőtérnél, illetve a nem nyilvános fel- és leszállóhelyekről** származó zajra		Az országos közúthálózatba tartozó gyorsforgalmi utaktól és főutaktól, a települési önkormányzat tulajdonában lévő belterületi gyorsforgalmi utaktól, belterületi elsőrendű főutaktól és belterületi másodrendű főutaktól, az autóbusz-pályaudvartól, a vasúti fővonalától és pályaudvartól, a repülőtérnél, illetve a nem nyilvános fel- és leszállóhelyekről*** származó zajra	
		nappal 06-22 óra	éjjel 22-06 óra	nappal 06-22 óra	éjjel 22-06 óra	nappal 06-22 óra	éjjel 22-06 óra
1.	Údülőtérlet, különleges területek közül az egészségügyi terület	50	40	55	45	60	50
2.	Lakóterület (kisvárosias, kertvárosias, falusias, telepvezérvonal beépítésű), különleges területek közül az oktatási létesítmények területei, és a temetők, a zöldterület	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 zajtől védendő helyiségeiben

	Zajtól védendő helyiség	Határérték (L_{TH}) az L_{AM} megítélési szintre (dB)	
		nappal 06-22 óra	éjjel 22-06 óra
1.	Kórtérlek és betegszobák	35	30
2.	Tantermek, előadótermek oktatási intézményekben, foglalkoztató termek, hallóhelyiségek békésidőben és óvodákban	40	-
3.	Lakószobák lakóépületekben	40	30
4.	Lakószobák szállodákban és szálló jellegű épületekben	45	35
5.	Étkezőkonyha, étkezőhelyiség lakóépületekben	45	-
6.	Szállodák, szálló jellegű épületek, közösségi lakóépületek közös helyiségei	50	-
7.	Éttermek, eszpresszók	55	-
8.	Nagy- és kiskereskedelmi épületek eladói, vendéglátó helyiségei, a váróterem	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} =55-65dB(A)-s zajban élő lakosság helyzete ne romoljon tovább
- Az 55dB(A) határ alatti, csendes környezetben élő 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 géi berendezések zajemissziójának csökkentése, irányelvek kidolgozása,
- Zajmérés, értékelés szabványosítás.
- Zajcsökkentést eredményező intézkedések, mint pl.
 - Gépkocsi használat korlátozása
 - Éjszakai repülés megtiltása
 - Éjszakai ipari tevékenység korlátozása, tiltása
- Tereletrendezéssel, infrastruktúra fejlesztéssel összefüggő intézkedések.



EU projektek

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

Nyitott szemmel járni!
 Pályázatok



Lehetőségek

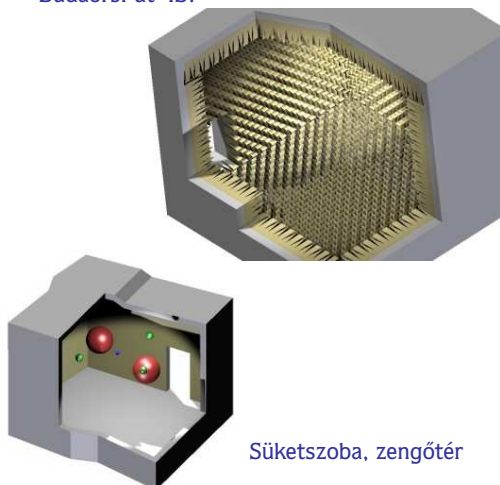
A tanszék segíthet konzultálásban:

- Diplomaterv
 - városi zajtérképek
 - városi zajmérések
 - ipari zajtérképek
 - rezgésmérések
 - gépészeti berendezések vizsgálata
- Nyári munka
- Akusztikai numerikus szimulációban (soundplan, sysnoise, fluent, miskam)
- Akusztikai laboratóriumi mérésekben (süket szoba, zengőtér)
- 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 Médiainformaticai Tanszék
 Budaörsi út 45.



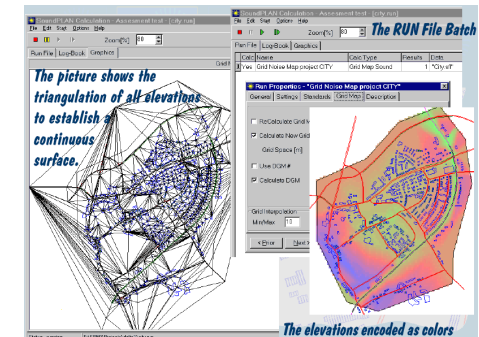
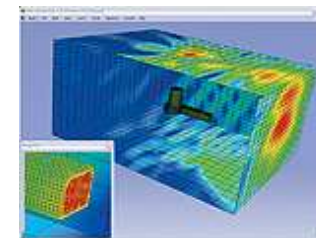
Süketzsoba, zengőtér



Akusztikai kutatások (szimuláció)

SoundPlan,
 Sysnoise (VirtuaLab),
 Ansys Fluent

www.soundplan.com
www.lmsintl.com
www.fluent.com





Elérhetőségek

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

Majd: www.ara.bme.hu/~nagy (teaching, akusztika)
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. Műszaki Könyvkiadó, 1975
- [5] Bauer Miklós, Czigner Jenő, Lampé István: Fül-, orr-, gégegyógyászat. Medicina 1990
- [6] <http://www.tankonyvtar.hu/konyvek/kornyezettechnika/kornyezettechnika-6-2-2> (kulcsszó: környezettechnika, tankönyvtár)
- [7] <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/MA1.pdf> (kulcsszó: WersényiGyörgy Muszaki akusztika)