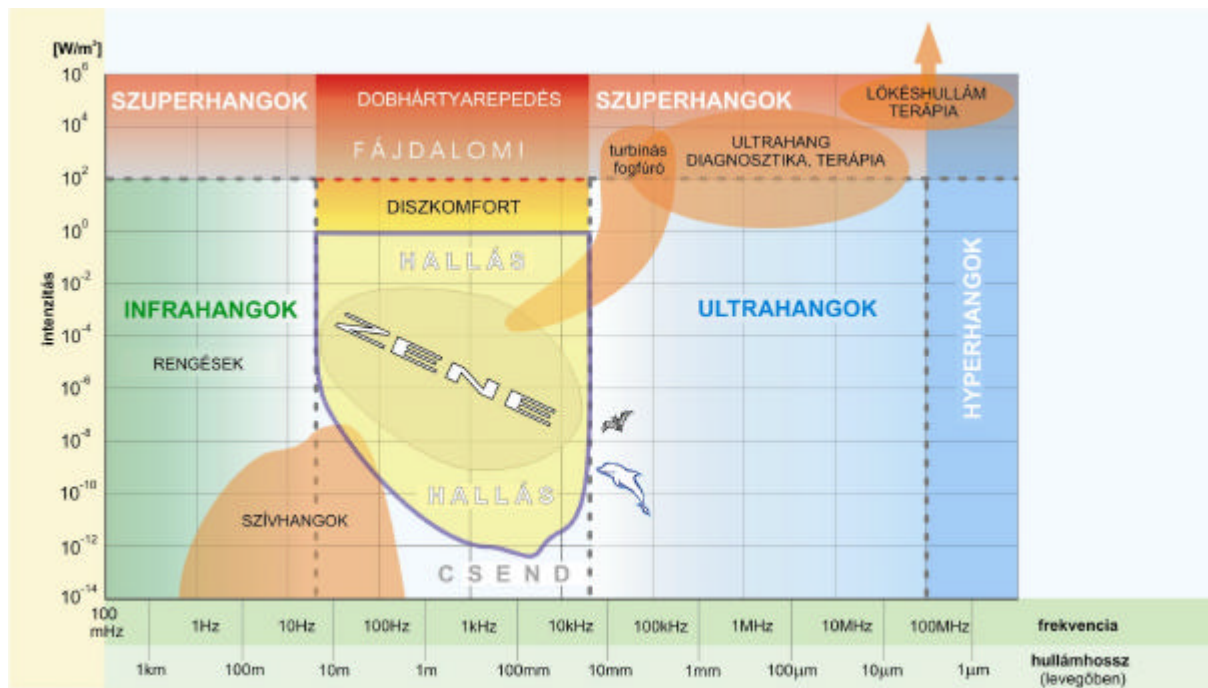
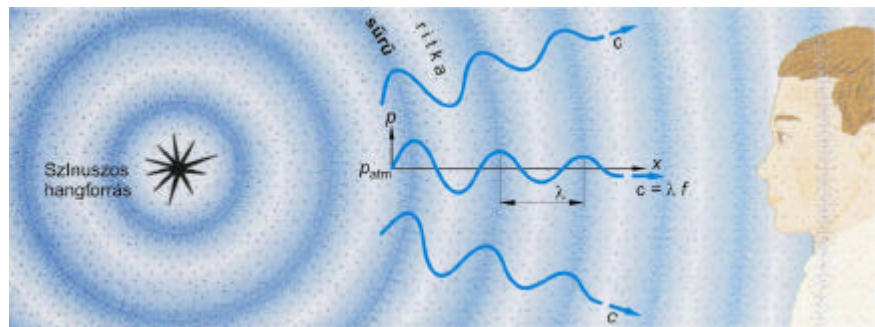


AZ AUDIOMETRIA FIZIKAI ALAPJAI



A MÉRÉS CÉLJA:

Kapcsolódó részek: Függelék 6.,
valamint Rontó-Tarján 6.4.1.

A levegőben terjedő hang nem más, mint a közeg állandó nyomására ($p_{\text{atm}}=101 \text{ kPa}$) szuperponálódott **váltakozó hangnyomás**, pl. $p(t) = p_1 \sin(\omega_0 t)$.

A hang „fizikai” **intenzitása** (I), egy adott felületre merőlegesen belépő hang teljesítménye (P) és a felület (A) hányadosa:

$$I = \frac{P}{A},$$

mértékegysége a W/m^2 .

Az intenzitás (I) a hangnyomás effektív értéke (p_{eff}) négyzetének és az akusztikai impedanciának (Z) hányadosaként is kifejezhető:

$$I = \frac{p_{\text{eff}}^2}{Z}.$$

Az **akusztikai impedancia** a közegre jellemző állandókkal, a hang terjedési sebességével (c) és a közegsűrűséggel (ρ) fejezhető ki:

$$Z = \rho \cdot c.$$

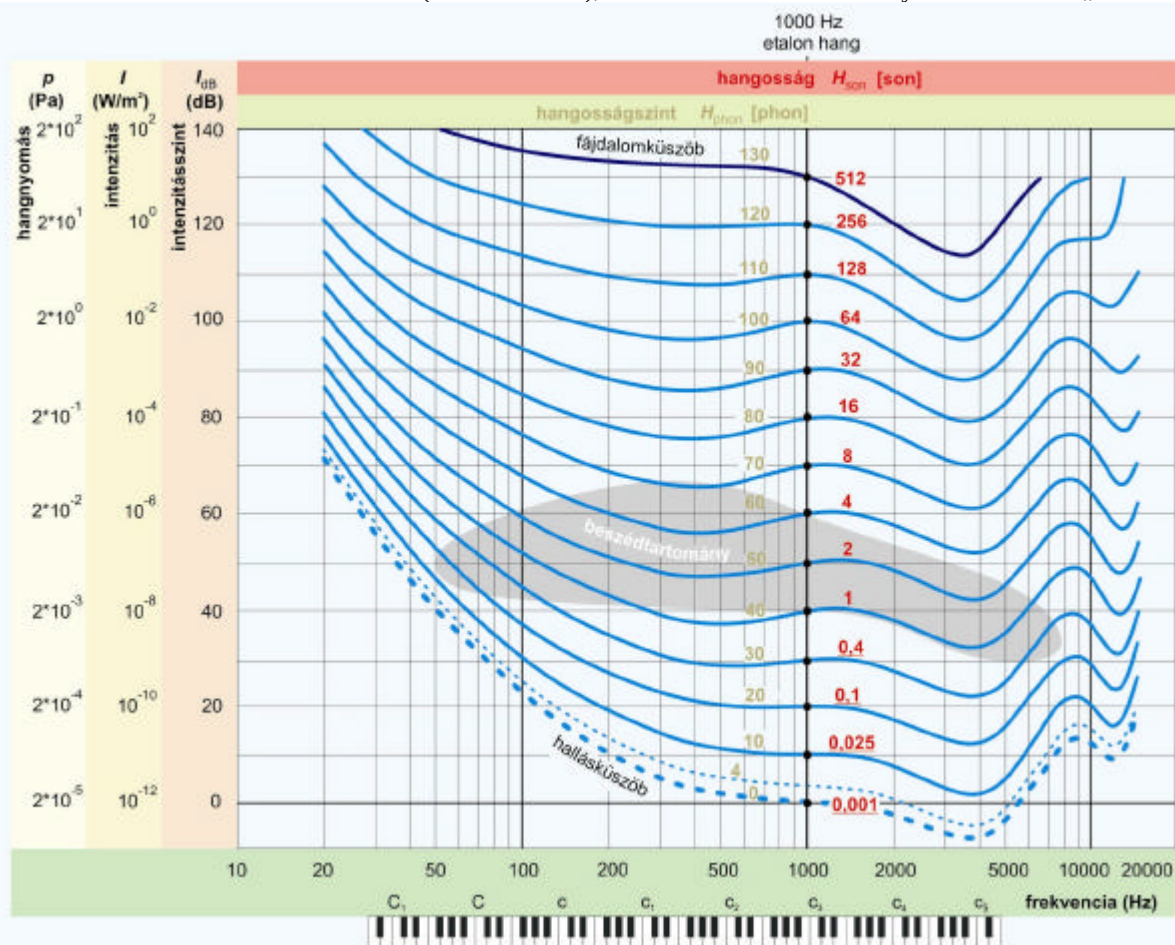
A hangtani bemutatón különböző, a teremben elhangzó hangok időképeinek és spektrumának összefüggését tanulmányozhatjuk. Kísérleti úton állítunk elő hang-interferenciát és lebegést. A hallgatói mérés célja az egyéni hallásküszöbök megmérése a frekvencia függvényében, valamint az egyéni audiogram megszerkesztése.

PSZICHOAKUSZTIKAI ALAPOK

Az általános tapasztalat szerint a nagyobb intenzitású hangok hangosabban szólnak. Az **intenzitástól** (objektív, fizikai intenzitás) megkülönböztetendő a **hangosság** (szubjektív, pszichofizikai intenzitás). Az előbbi az **inger**, az utóbbi az **érzet** erősségét jellemzi.

A hangosság egyrészt a fizikai intenzitástól, másrészt a hang frekvenciájától függ. Azonos intenzitás-változásokhoz azonban nem azonos hangérezet-változások járnak, hiszen a fül csak így képes a 13 nagyságrendet átfogó fizikai ingerek felfogására. Sokáig azt gondolták, a fül logaritmikus választ ad az intenzitás változására (Weber-Fechner törvény). A szubjektív hangérezet erősségének (**hangosság**) intenzitásfüggése azonban pontos mérések alapján **hatványfüggvény** jellegűnek adódott (1933, **son-kála**).

A külső és a középfül rezonanciái még a mechanikus rezgések szintjén megmagyarázzák hallásunk erős frekvenciafüggését. Hogy milyen összefüggés van az érzékelt hangosság, a fizikai intenzitás és a frekvencia között, erre adnak választ az **egyenlő hangosságszintek görbéi** (1. ábra). A görbéket alkotó pontok azonos hangosságú pontokat kötnek össze (izophon görbék). A görbesereget Fletcher és Munson (1927) mérték ki először, nagyszámú, fiatal, normális hallású személynél (kétfüles mérés), ideális szabadtéri körülményeket modellező „süketszobában”.



A legújabb mérések szerint az átlagos hallásküszöb az utóbbi 60 év alatt mintegy 4 dB-t romlott! Így a jelenleg érvényes hallásküszöbgörbe nem 0 phonnál, hanem **4 phonnál** helyezkedik el.

szabvány). A jelenleg érvényes hallásküszöb 4 phonnál van. Minden görbe kétszer hangosabb az alatta lévőnél.

A mérésben két hanggenerátort felváltva alkalmaztak. Az elsővel először egy adott intenzitásszintű (dB) **1000 Hz-es szinuszos hangot** sugároztak. Ennek az ún. **etalon hangnak** a hangosságával kellett összevetni a másik generátor eltérő frekvenciájú hangosságát. A kísérleti személy addig változtatta a második generátor intenzitását, amíg azt azonos hangosságúnak ítélte az etalonhanggal. Minél mélyebb volt a hang, annál nagyobb intenzitás adódott. Az így kapott pontokat összekötve adódott az egyenlő hangosságú szintek egy görbéje.

Az etalonhang még éppen észlelhető hangosságánál (ez az 1000 Hz-es

intenzitásnak nevezték. Így, az I intenzitású hang **intenzitásszintje** (I_{dB}):

$$I_{dB} = 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right).$$

A különböző frekvenciákhoz tartozó hallásküszöbponthoz kötött görbét definiációszerűen **0 phon hangosságú szintűnek** nevezzük. Ez a görbesereg legsó görbéje. Az etalon hang intenzitásszintjét 10, 20, 30, stb. dB-re emelve rendre kimérték a 10, 20, 30, stb. phonos egyenlő hangosságú szintű görbéket. A **hangosságú szint** (H_{phon}) **mértékét tehát az etalon hang intenzitásszintjével fejezzük ki.**

$$H_{phon} = I_{dB 1000Hz}$$

A fentiek szerint a mérendő hang **hangosságú szintje** (H_{phon}) azonos az etalonhang dB-ben kifejezett intenzitásszintjével ($I_{dB 1000Hz}$).

Az egyenlő hangosságú szintek alsó határát a **hallásküszöb (0 phon)**, felső határát pedig a **fájdalomküszöb (130 phon)** alkotja. A hangosságú szint mértékegysége tehát a **phon**.

Megállapították, hogy kb. **10 phon hangosságú szint növekedés felel meg kétszer olyan hangos hangérzetnek**, 20 phon négyszeresnek, 30 phon pedig nyolcszorosnak, és így tovább. Sajnálatosan a „Weber-Fechner-i phon-skála” mérőszámai nem fejezik ki számszerűen, lineárisan hangosságérzetünk változásait. Kétszer, háromszor olyan hangosnak érzékelt hang hangosság-mérőszámának is kétszer, ill. háromszorosan kellene lennie.

Az egyenlő hangosságú szintű görbék változatlanul hagyásával a különböző görbékhez új, a pszichofizikai, lineáris hangérzet változást kifejező ún. **son** értékeket rendeltek Fletcher és Munson (1933). A **hangosság-skála** alappontja definiációszerűen az **etalon hang 40 dB-es intenzitásszintje**, azaz **1 son**.

$$1 \text{ son} = 40 \text{ phon}.$$

A kétszer ilyen hangos hang (50 phon) hangossága 2 son, a négyszer hangosabbé (60 phon) 4 son, a nyolcszor hangosabbé (70 phon) pedig 8 son és így tovább (1. ábra). A további értékek az alábbi **hatványfüggvényből** (Stevens, 1936) számíthatók:

$$H_{son} = 1/16 \left(\frac{I}{I_0} \right)^{0,3}.$$

A mért adatok 1 son alatt már eltérnek a Stevens törvénytől, ami azt jelenti, hogy fülünk az egészen halk hangok azonos intenzitásváltozásait erősebb hangosságú változásoknak hallja.

A 2. ábra. mérési pontjait nagyszámú kísérleti alany hangosságbecslései alapján ábrázolták a hangosság-intenzitás összefüggését. A pontokra 9 nagyságrenden keresztül pontosan illeszkedik a Stevens törvény (log-log koordináta-rendszerben ui. a hatványfüggvény egyenest ad). Idegfiziológiai (hallóideg akciós potenciál) mérésekkel is igazolták a fenti becslött értékek érvényességét. A logaritmikus Weber-Fechner törvénynek megfelelő „phon-skála” azonban egyáltalán nem illeszkedik a mérési pontokra! Mindazonáltal a „phon-skála”, mint mesterségesen konstruált hangosságú szint a dB-skálához hasonlóan jól használható, de nem, mint a hangosságérzetének kifejezője.

 intenzitásszint (dB)
 intensity level (dB),
 sound pressure level, SPL (dB)
 Schallpegel (dB)

 hallásküszöb
 threshold of hearing
 Hörschwelle

 fájdalomküszöb
 threshold of pain
 Schmerzgrenze

Hangosságú szint Egy hang annyi „phonos”, ahány „decibeles” az az 1000 Hz-es hang, amit vele azonos hangosságúnak hallunk.

Pl. egy 60 phonos, 50 Hz-es hang, melynek intenzitásszintje 78 dB, a 60 dB-es intenzitásszintű 1000 Hz-es etalon-hanggal azonos hangosságú.

 hangosságú szint (phon)
 loudness level (phon)
 Lautstärke (phone)

 hangosság (son)
 loudness (son)
 Lautheit (sone)

Hifi Pisti: Miska, lecserélem a 10 W-os erősítőt 100 W-osra! Az aztán hangosan fog szólni!

Fizi Miska: Persze, pont kétszer olyan hangosan...

Hifi Pisti: De én legalább négyszer olyan hangos hifit akarok!

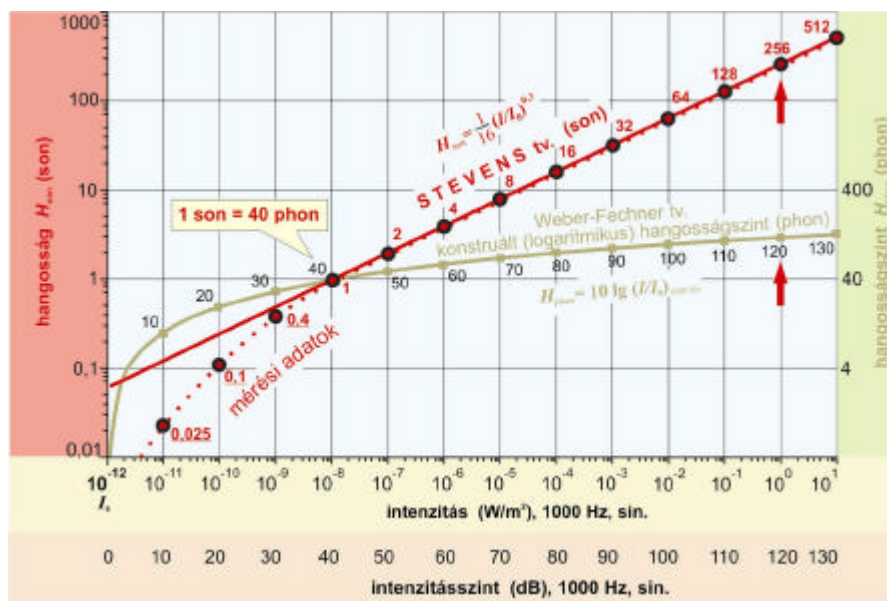
Fizi Miska: Akkor nyugodtan elkezdhet sz gyűjteni, annak ugyanis 1000 W-osnak kell lennie...

A meleg és a hideg érzékelésekor természetesen a bőrünk hőmérsékletéhez viszonyítjuk környezetünk, vagy a tárgyak hőmérsékletét. Így egy természetes skálát alkítottunk ki, úgy mint, jéghideg, hideg, hűvös, semleges, langyos, meleg forró, stb. Ez a skála felel meg a hangosság-érzékelés son-skálájának. A gyakorlatban azonban mégis a Celsius, ill. a Fahrenheit skála mérőszámait használjuk, hasonlóan a hangosságú szint phon-skálájához.

A hangosságszint **phon** értékei az alábbi képlet segítségével **son** értékekké transzformálhatók:

$$H_{son} = 2^{(0,1 \cdot H_{phon} - 4)}$$

Az átalakítás csak 40 phon = 1 son felett érvényes!



mért adataira (piros pontok), míg a Weber-Fechner törvény phon értékei inkább az intenzitátszint mérőszámaival egyeznek meg (1000 Hz-en).

A piros nyilak pl. 1 W/m² intenzitásnál ábrázolják a 120 phon hangosságszintet és az ennek megfelelő 256 son hangosságot.

A hangosság felismeréséhez a hallószervnek **időre** van szüksége. A hangosságszint teljes felismerésére kb. 0,2 s-nál következik be. A hallássérülteknek ennél több időre van szükségük, ezért a hallásvizsgálatokban legalább 1 s időtartamú hangingereket alkalmaznak.

A hangosságszint és a hangosság különböző értékeit az alábbi táblázat érzékeltetheti:

HANGFORRÁS	Hétköznapi, zenei hangosságfogalmak, ill. a halláskárosodás határai	HANGOSSÁGSZINT [phon]	HANGOSSÁG [son]
rakéta, puskalövés (a fül mellett)	dobhártyarepedés	180	
sugárhajtású repülőgép (közelről)	fájdalomküszöb	130	512
diszkó (a hangfalnál), ordítás a fülbe (20cm)	éppen elviselhető	120	256
légkalapács	nagyon hangos	110	128
nagyon zajos üzem	nagyon hangos	100	64
kiabálás (1,5 m), áthaladó metrószerelvény	fff (fortississimo), 2 órán túl halláskárosodás	90	32
erős városi forgalom, hangos zene	ff (fortissimo), 8 órán túli halláskárosodás	80	16
autó belső terének zaja (kb. 120 km/óránál)	hangos, f (forte)	70	8
hangos beszélgetés, WC lehúzás, porszívó	mf (mezzoforte)	60	4
iroda, számítógép, nyomtató zaja	mp (mezzopiano)	50	2
normális beszélgetés	beszédhangerő, p (piano)	40	1
suttogás, könyvtár, óraketyegés	nagyon halk pp (pianissimo)	30	0,4
szívhangok, rádióstúdió alapzaja	nagyon halk, ppp (pianississimo)	20	0,1
avar zizegése, macska dorombolása	éppen hallható	10	0,025
süketszoba	hallásküszöb (ember, fiatal)	0	0,001

A **hangosságnak** az ingererősségtől való függése nem logaritmikus, hanem 0,3 kitevőjű hatványfüggvény. Ez jellegében a köbgyökfüggvényhez hasonlít. A legtöbb érzékünk, úgymint a súly, a meleg, a hideg, az íz, vagy a fény érzékelése a hangétól eltérő, de általában egynél kisebb kitevőjű hatványfüggvényt követ. Az áramításra viszont roppant érzékenyek vagyunk, itt a kitevő 3,5.

Az intenzitás és a hangosság közötti összefüggés jól illeszkedik a **Stevens féle hatványkitevős általános pszichofizikai törvényhez**, amely az inger-érzet közötti összefüggést minden érzékszervre kiterjedően írja le:

$$S = \text{konst} \left(\frac{I}{I_0} \right)^n$$

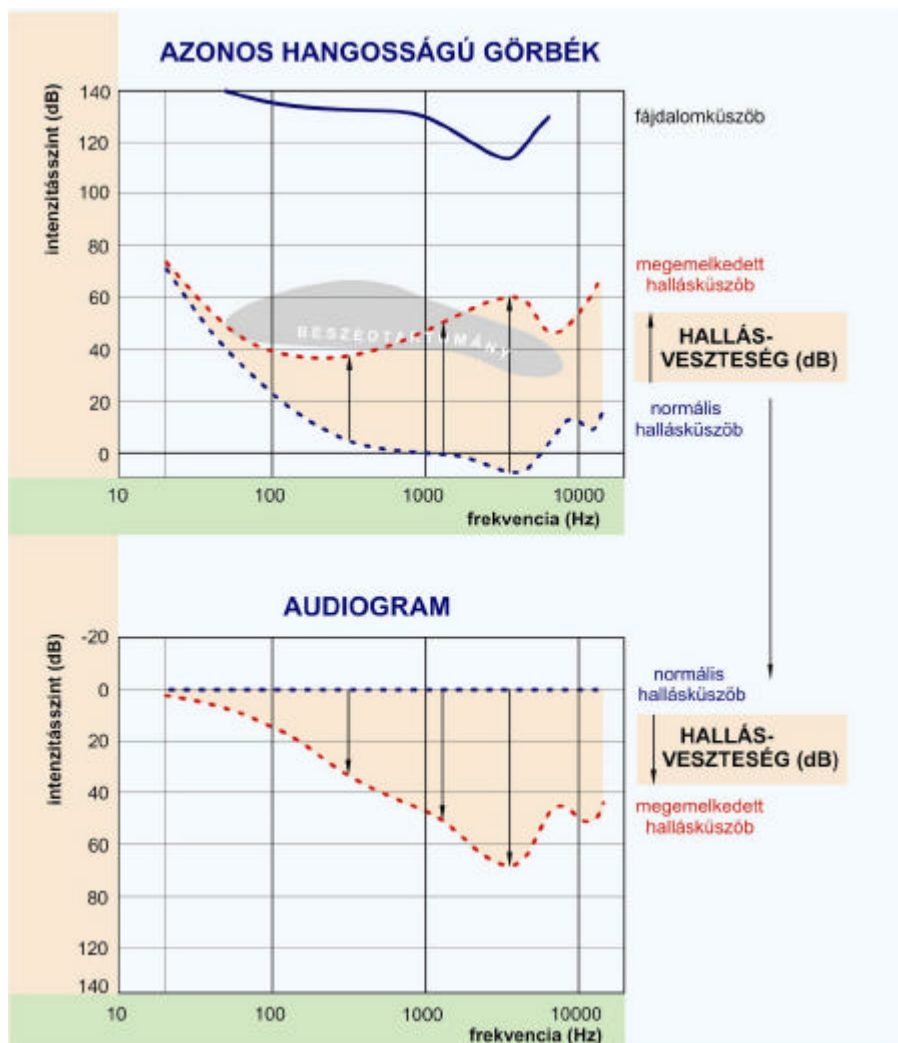
ahol S az érzeterősség, míg n az egyes érzékszerveknek megfelelő hatványkitevő.

AUDIOMETRIA

Az **audiometriás hallásvizsgálatok** manapság az orr-, fül- és gégegyógyászat rutinvizsgálatai közé tartoznak. Feladatai: a **hallásvesztesség megállapítása**, bizonyos foglalkozási ágak dolgozóinak **zajártalmi hallássérüléseinek** vizsgálata, vagy a nagyothalló személy egyéni adottságainak megfelelő hallókészülék beállítása. Egyáltalán nem közömbös, hogy a nagyothalló személynek hangvezetési nagyothallása van, vagy pedig a belső fülével kapcsolatosan nagyothalló. Az audiometria **hangaudiometriára** és **beszédaudiometriára** oszlik fel, mi csak az előbbivel foglalkozunk.

A normális hallású személyekhez képest a sérült hallású személyek hallását a magasabb hallásküszöb jellemzi. Hangaudiometriával (tisztá, szinuszos hangokkal, lásd fentebb) meg lehet állapítani az egyes mérési frekvenciákon a **hallásvesztesség** mértékét. Az ún. **hallásküszöb-audiogramon** a hallásvesztességet decibelben adják meg (I_{dB}), hiszen a phon-skála, vagy son-skála csak normális hallású személyek hallására vonatkozik. A normális hallásküszöb görbáját az audiogram felső részén egy 0 dB-es vízszintes egyenes szemlélteti (3. ábra.). Ettől lefelé ábrázolják a megemelkedett hallásküszöb normálistól való eltéréseit.

 hallásvesztesség (dB)
 hearing loss (dB)
 Hörverlust (dB HL)



A megemelkedett hallásküszöb azt jelenti, hogy a halláskárosult csak a hallásküszöbnél nagyobb intenzitású hangokat kezd el hallani. A 3. ábrán bemutatott eset olyan súlyos, hogy a normális beszéd tartomány tetemes része a hallásküszöb alá került. Az ilyen személlyel sajnos csak kiabálva lehet kommunikálni. Azonban megfelelő erősítésű hallókészülékkel az ilyen fokú hallásvesztés még sikerrel kompenzálható.

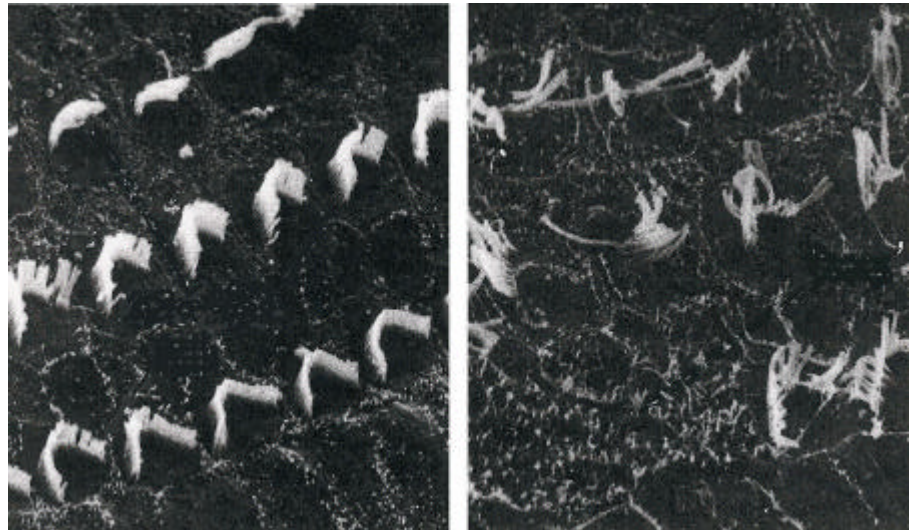
A **hangaudiométer** egy olyan hanggenerátor, amelynek változtatható szinuszos kimeneti feszültsége egy légvezetési (ui. van csontvezetési is) fejhallgatóra jut. A mérési frekvenciák majdnem az egész hallástartományt átfedik, és oktávonként állíthatók be. A fejhallgatóban keletkező hang intenzitásszintje a hanggenerátor kimenőfeszültségével szabályozható.

Az audiogramok felvételéhez előnyomtatott audiogram-úrlapokat használnak (6. ábra). A vizsgált személy aktív közreműködésével az audiogramot a bal és a jobb fülre külön veszik fel. A **légvezetési hallásküszöb** mérése után a **csontvezetési**

hallásküszöböt mérik meg, mely kizárja a hallás folyamatából a külső- és középfület. A csontvezetési hallásküszöb sokkal magasabb, mint a légvezetési (kb. 40-60 dB-lel érzéketlenebb). Az egyik fül mögötti sziklacsonthoz szorított **csontvezetési hallgatóval** mérik, miközben a másik fül hallását légvezetési zaj hozzáadásával zárják ki. A csontvezetési fülhallgató úgy van kalibrálva, hogy normális hallású személyeknél a kétfajta hallásküszöb szintjei az audiogramon azonos egyenesen (0 dB) jelenjenek meg. Így a két audiogram eltérése a középfül sérüléseire utal.

A **hallás károsodása** egy bizonyos intenzitásszint felett arányos az elszennvedett

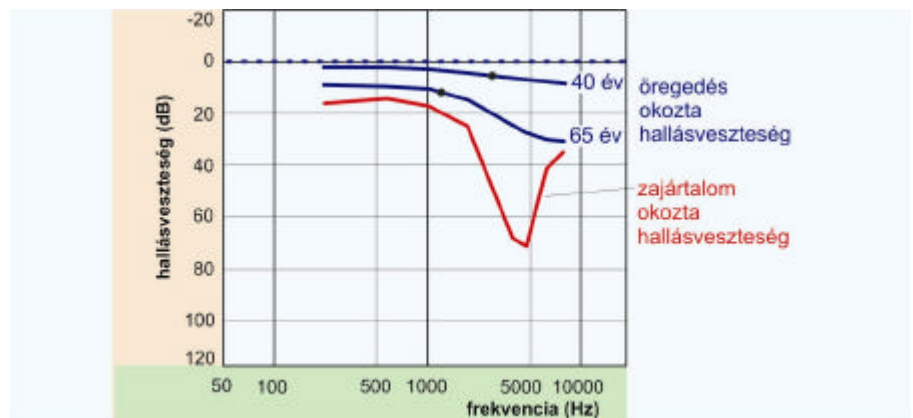
szorzatával arányos ($D=I \times t$). Kísérleti állatokon kimutatták a szőrsejtek pusztulását a Corti szervben (4. ábra). A sérülés az alkalmazott hangfrekvenciáknak megfelelő helyeken volt jelentős.



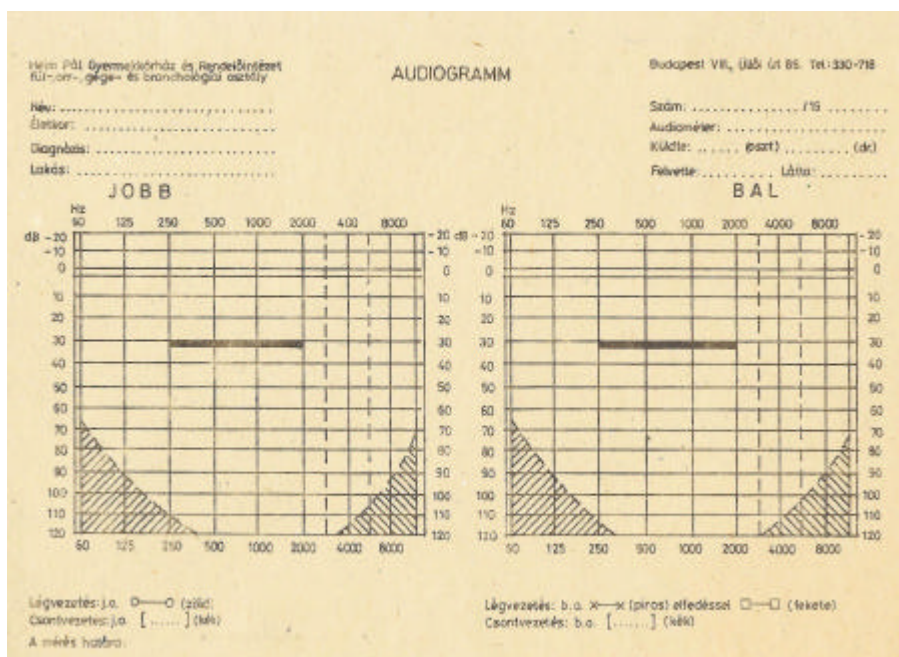
„besugárzás” előtt és után.

Az öregedés természetes módon a hallás fokozatos romlásával jár. Ez a romlás kb. 20 éves kortól indul és elsősorban a hallás felső határfrekvenciájának (-3 dB-es pont, lásd ERŐSÍTŐ gyak.) csökkenésében nyilvánul meg (5. ábra).

Egy normális hallású, 20 éves ember hallásának felső határfrekvenciája kb. 20000 Hz. 70 éves korban ez az érték kb. 2000 Hz-re romlik. Számítsa ki, hogy naponta átlagosan hány Hz-el csökken hallásunk felső határfrekvenciája?

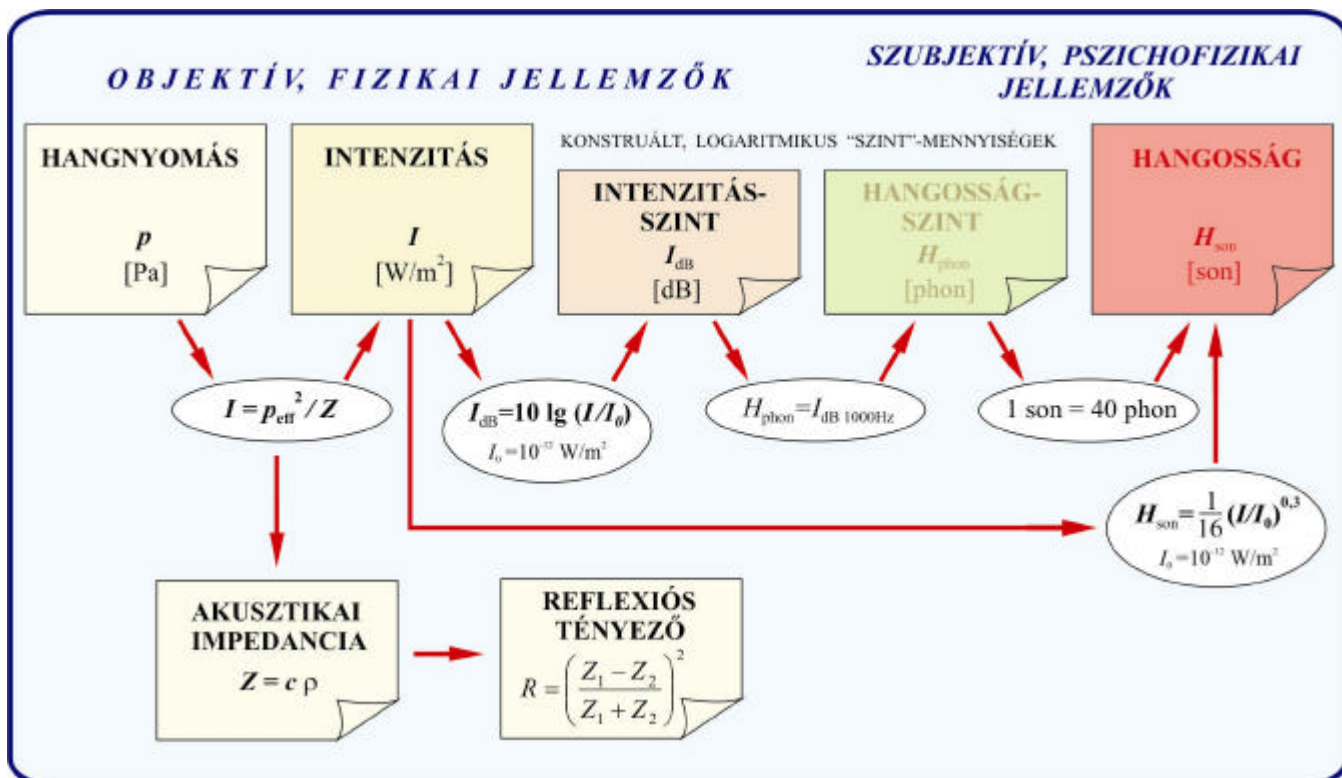


határfrekvenciát (-3 dB) jelölik.



Halláskárosodásról 30 dB-nél nagyobb hallásvesztesség esetén beszélünk, ezt a határt jelzi a vastag vízszintes vonal (6. ábra). A szaggatott függőleges vonalak a zajártalom leggyakoribb frekvenciartományát jelölik ki. A ferdén vonalkázott terület görbe vonalai a normális fájdalomküszöbnek felelnek meg.

ÖSSZEFOGLALÁS



A **HANG TERJEDÉSI SEBESSÉGE** a hullámhossz és a frekvencia szorzata: $c = \lambda f$.

A **HANGNYOMÁS** a közeg állandó nyomására (p_{atm}) szuperponálódott váltakozó hangnyomás, $p(t) = p_1 \sin(\omega_0 t + \varphi)$.

Az **AKUSZTIKAI IMPEDANCIA** a hangot hullámként vezető közegre jellemző ellenállás jellegű mennyiség: $Z = c \cdot \rho$.

A **HANG INTENZITÁSA** a merőlegesen belépő hang teljesítménye (P) és az adott felület (A) hányadosa: $I = \frac{P}{A}$, vagy másképpen, a hangnyomás effektív értéke (p_{eff}) négyzetének és az **AKUSZTIKAI IMPEDANCIÁNAK** (Z) hányadosa:
$$I = \frac{p_{\text{eff}}^2}{Z}.$$

A **REFLEXIÓS TÉNYEZŐ** a visszavert és a beeső intenzitás hányadosa, és a közegek akusztikai impedanciájából számítható ki:
$$R = \frac{I_{\text{refl}}}{I_0} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2.$$

A **HANG MAGASSÁGA** pszichofizikai jellemző, a frekvencia logaritmikus függvénye (kb. 1 kHz-ig): $n_{\text{oktáv}} = \log_2 \frac{f_2}{f_1}$

Az **ETALON HANG** 1000 Hz frekvenciájú szinuszos mérőhang.

FOURIER tétele kimondja, hogy minden rezgés (hang) felbontható megfelelő frekvenciájú, amplitúdójú és fázisú tiszta szinuszos rezgésekre (hangokra), ill. ezek összege visszaadja az eredeti rezgést (hangot).

A **HANG SZÍNEZETE** az ún. Fourier összetevők frekvencia- és amplitúdó értékei határozzák meg. Így megkülönböztethetünk tiszta szinuszos hangokat, zenei hangokat, zajokat ill. dőrejeket.

Az **INTENZITÁSSZINT** az intenzitások arányának logaritmus: $I_{\text{dB}} = 10 \lg \left(\frac{I_1}{I_2} \right)$, vagy: $I_{\text{dB}} = 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right)$,

ahol a **REFERENCIA INTENZITÁS**: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Mértékegysége a decibel (dB).

A **HANGOSSÁGSZINT (phon)**: Különböző frekvenciájú hangok más-más intenzitásnál lesznek azonos hangosságúak. Ezt fejezi ki az egyenlő hangosság szintek görbeserege. Egy tetszőleges frekvenciájú hang annyi phonos, ahány decibel az intenzitása az azonos hangosságú etalon hangnak (1000 Hz, sin). $H_{\text{phon}} = I_{\text{dB } 1000\text{Hz}}$

A **HANGOSSÁG (son)** pszichofizikai jellemző, melynek mérőszáma azt fejezi ki, milyen hangosnak hallunk egy adott intenzitású hangot. $H_{\text{son}} = 1/16 (I/I_0)^{0.3}$. (Stevens tv.). 1 son = 40 phon. 10 phononként megkétszereződik a hangosság és így a son érték is.

A **HALLÁS KÁROSODÁSA** egy bizonyos intenzitásszint felett arányos az elszorított hangdózissal, az intenzitás és az idő szorzatával ($D = I \cdot t$).

HALLÁSKÜSZÖB: A legkisebb intenzitású hangot, amit az emberi fül érzékelni képes hallásküszöbnek nevezzük.

FÁJDALOMKÜSZÖB: Az a maximális intenzitás, amit rövid ideig még károsodás nélkül elviselünk (kb. 10 W/m^2).

Az **AUDIOMETRIA** feladata a hallásvesztesség megállapítása hallásküszöbgörbe fevételével.

A **HALLÁSVESZTESÉG** a hallás romlását egy adott frekvencián a normális hallásküszöbvel veti össze. A különbség dB-ben kifejezett értéke a hallásvesztesség.

Az **AUDIOGRAM** a frekvencia függvényében dB-ben ábrázolt hallásvesztesség.

A MÉRÉS LEÍRÁSA

A gyakorlaton a hangtani bemutató után mindenki a saját hallásküszöb-görbéjét fogja kimérni, majd a megadott normális hallásküszöbgörbével való összehasonlítás alapján elkészítik a saját audiogramjukat.

A hangtani bemutató:

1. Különböző frekvenciájú tisztahangok rezgésképe és spektruma oszcilloszkópon és hangjuk hangszóró által.
Felhasznált eszközök: hanggenerátor, erősítő, hangszóró, oszcilloszkóp.
2. Azonos frekvenciájú, de különböző alakú rezgések (szinuszos-, háromszög-, fűrész-, négyszögrezgések) képe, spektruma és hangja.
Felhasznált eszközök: függvénygenerátor, erősítő, hangszóró, analóg-digitális átalakító, digitális oszcilloszkóp, digitális spektrum analízátor.
3. Mikrofon közvetítéssel beszédhangok, fütty stb. képe és spektruma (M1. ábra). A saját hang **időfüggvénye** és **spektruma** kinyomtatható és a jegyzőkönyvbe illeszthető.
Felhasznált eszközök: mikrofon, analóg-digitális átalakító, digitális oszcilloszkóp, digitális spektrum analízátor.
4. Különböző frekvenciájú tisztahangok eredőjének (interferencia, lebegés) képe és hangja. (Itt emlékeztetünk a különbségi frekvencia szerepére az UH-Doppler eljárásokban.)

Felhasznált eszközök: 2 db hanggenerátor, erősítő, hangszóró, oszcilloszkóp.

Elvi összefüggések:

Hanggenerátorként egy többfunkciós függvénygenerátort használunk szinuszoszcillátor üzemmódban, amelynek ismertetése a függelék 6. pontjában található (M2. ábra).

A fejhallgatóra kapcsolt feszültség (U_{eff}) és a fejhallgatóból a fülbe jutó hangintenzitás (I) között a következő összefüggés áll fenn:

$$I = h \cdot \frac{U_{\text{eff}}^2}{R}, \quad (1)$$

ahol:

$U_{\text{eff}} = 0,707 \cdot U$, az U amplitúdójú szinuszos váltakozó feszültség effektív értéke,

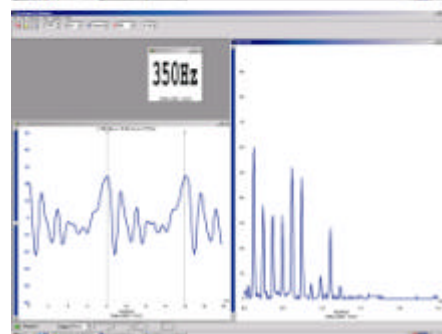
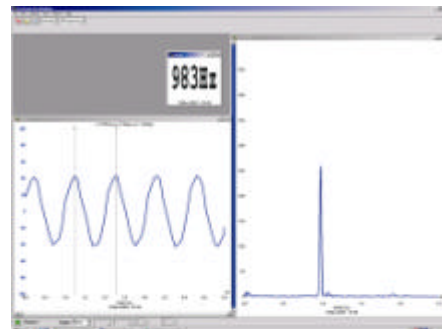
R a fejhallgató ellenállása,

h az elektromos teljesítmény hangintenzitássá alakításának hatásfoka.

Az (1) képlet állandóit egy A konstansba összevonva kapjuk:

$$I_{\text{saját}} = A U^2, \quad (2)$$

ahol $A = 5 \cdot 10^{-7} \text{ W/V}^2 \text{ m}^2$ értékű, a saját hallásküszöbhöz ($I_{\text{saját}}$) tartozó U feszültség meghatározása pedig a mérés feladata.



M1. ábradő és frekvenciaképe.



M2. ábra függvénygenerátor és fejhallgató.

A mérés módja és a kiértékelés:

A mérő-összeállítás a M2. ábrán látható. Kapcsoljuk be a függvénygenerátort és válasszuk a szinuszos hullámformát (**FUNCTION=SIN**). Szabályozzuk minimálisra a kimenőfeszültséget (**AMPLITUDE, COARSE=10⁻⁴, FINE=0,1**) forgatógombokkal. Csatlakoztassunk a generátor kimenetére a fejhallgató „jack” dugóját. Helyezzük a fejünkre a fejhallgatót úgy, hogy a párnák a lehető legjobb hangszigetelést biztosítsák.

Állítsunk be egy mérőfrekvenciát (elsőként az 1000 Hz-es etalon hang ajánlható). Szabályozzuk a fejhallgatóra jutó feszültséget a „**COARSE**”, ill. a „**FINE**” gombokkal úgy, hogy **éppen halljuk a hangot**. A forgatógombok állásából az U feszültség kiszámítható:

$$U = 5 \text{ (V)} \times U_{\text{coarse}} \times U_{\text{fine}}. \quad (3)$$

Számítsuk ki az $I_{\text{saját}}$ hallásküszöb-intenzitást,

$$I_{\text{saját}} = 5 \cdot 10^{-7} \times U^2, \quad (4)$$

majd számítsuk át azokat intenzitás szintekre ($I_{\text{dB saját}}$):

$$I_{\text{dB saját}} = 10 \lg (I_{\text{saját}} / I_0), \quad (5)$$

ahol I_0 az 1kHz-es átlagos hallásküszöb (referencia intenzitás, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$).

A „**FREQUENCY**” gomb segítségével a táblázatban megadott frekvenciákat állíthatjuk be, amelyeken a hallásküszöb mérést a megadott frekvenciákon megismétljük. A mérésekből kiszámolt $I_{\text{dB saját}}$ értékeket a frekvencia függvényében a „**NORMÁLIS HALLÁSKÜSZÖBGÖRBE**” feliratú grafikonban ábrázoljuk. A kapott görbét hasonlítsuk össze a gyakorlaton megadott normális hallásküszöbgörbével, és az egyes mérőfrekvenciákon olvassuk le az eltéréseket dB-ben. Ezeket a dB-értékeket vigyük át az „**AUDIOGRAM**” űrlapra, azaz szerkesszük meg az eltérés-görbét, az **audiogramot**.

Egyéni feladatok:

1. Határozzuk meg az ajánlott mérőfrekvenciákon a hallásküszöbnek megfelelő feszültségeket (U), (3) képlet.

A méréssorozat jobb és bal fülre külön-külön is elvégezhető. A fejhallgató korlátozott frekvencia-átvittele, ill. a külső zaj miatt a legmélyebb és legmagasabb hangoknál a mérés nem mindig sikeres.

2. Az 1. pontban meghatározott feszültségekből a (4) képlet szerint számítsuk ki a hallásküszöb-intenzitásokat ($I_{\text{saját}}$), és számítsuk át ezeket dB értékekre ($I_{\text{dB saját}}$), (5) képlet.

3. Rajzoljuk meg a saját hallásküszöb-görbét, a „**NORMÁLIS HALLÁSKÜSZÖBGÖRBÉVEL**” közös koordináta-rendszerben (M3. felső ábra).

A megadott „fejhallgató” hallásküszöbgörbe kissé eltér a szabadtéri hallásküszöb-görbétől, u. i. a fejhallgató erősen csillapítja a hallójárat rezonanciáit!

4. Olvassuk le a normális hallásküszöb-görbéről a mérőfrekvenciákhoz tartozó $I_{\text{dB norm}}$ értékeket és képezzük az $I_{\text{dB saját}} - I_{\text{dB norm}}$ különbségeket.
5. Rajzoljuk meg az eltérés-görbét, az „**AUDIOGRAMOT**” (M3. alsó ábra).

A jegyzőkönyv táblázata:

frekvencia (Hz)	U_{coarse}	U_{fine}	$I_{\text{dB saját}} - I_{\text{dB norm}}$ (dB)
32			
64			
125			
250			
500			
1000			
2000			
4000			
8000			
16000			

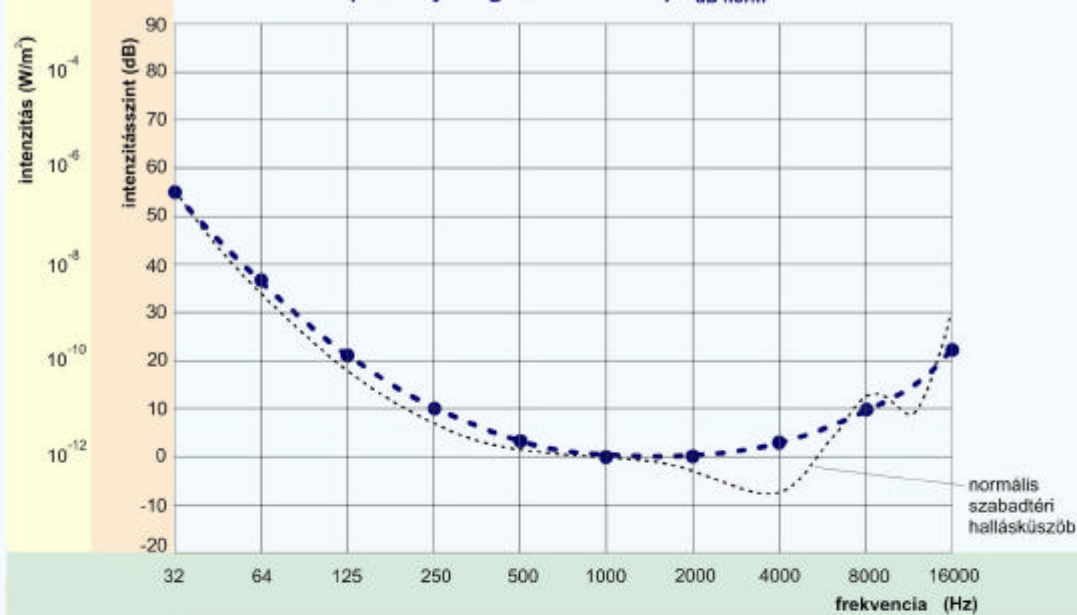
$$U = 5 \text{ (V)} \times U_{\text{coarse}} \times U_{\text{fine}}$$

$$I_{\text{saját}} = 5 \cdot 10^{-7} \times U^2$$

$$I_{\text{dB saját}} = 10 \lg (I_{\text{saját}} / I_0)$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

NORMÁLIS HALLÁSKÜSZÖBGÖRBE
(zárt fejhallgatóra - - -) $I_{\text{dB norm}}$



AUDIOGRAM

$$I_{\text{dB saját}} - I_{\text{dB norm}}$$

