

Biofizika gyakorlat AUDIOMETRIA jegyzőkönyv:

A gyakorlat célja

A hang és a hallás vizsgálata. A hang hullámok jobb megértése.

A gyakorlat célja

1. A hallásküszöb vizsgálata. A saját hallásunk összehasonlítása az egészséges hallással.
2. A szubjektív, érzékelt hallás és a mért értékek.

Használt anyagok és eszközök, fontos körülmények

Az alábbi függvénygenerátorral hoztuk létre a mérő jeleinket és a fülünkkel fogtuk fel őket.

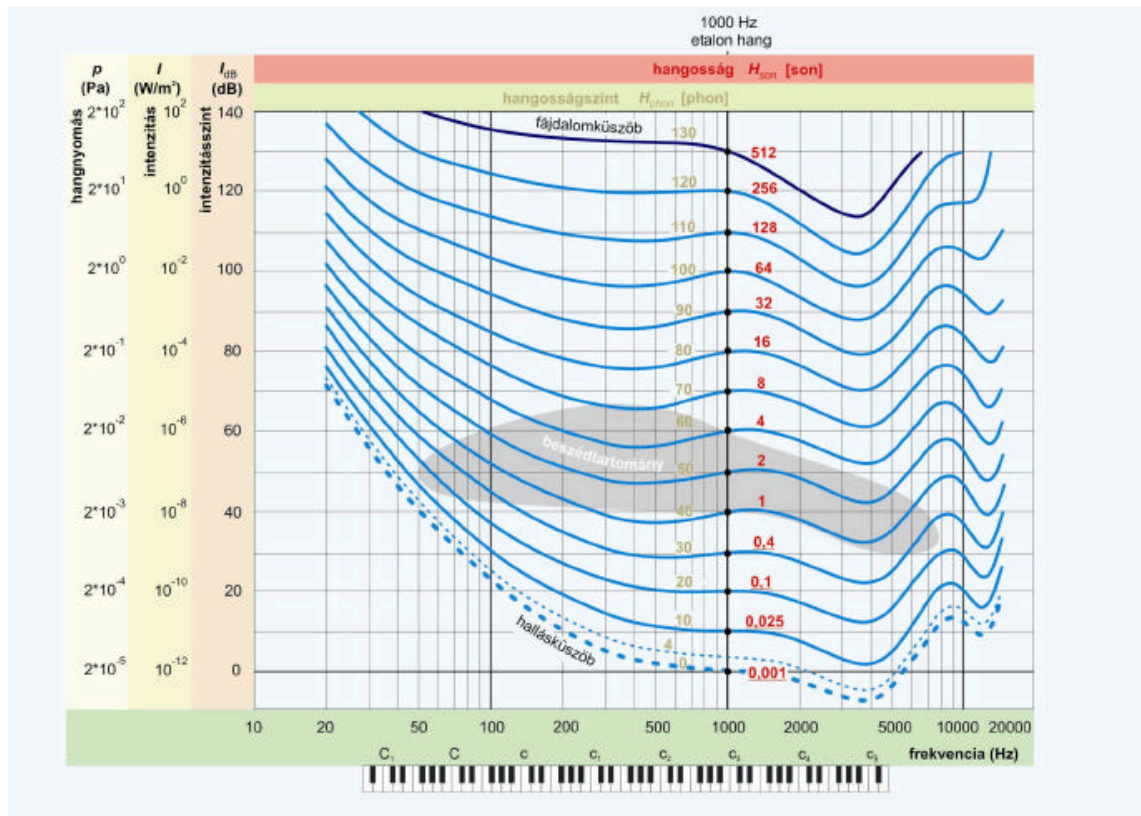


A mérés elméleti alapjai

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 hangérzet-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 hangérzet 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 hangosságintek görbéi. 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 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 hangosságintek egy görbéje.

Az etalonhang még éppen észlelhető hangosságánál (ez az 1000 Hz-es intenzitásnak nevezték. Így, az I intenzitású hang intenzitásszintje (I_{dB}):

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

A különböző frekvenciákhoz tartozó hallásküszöbpontokat összekötő görbét definíciószerűen 0 phon hangosságintűnek nevezzük. Ez a görbesereg legalsó görbéje. Az etalon hang intenzitásszintjét 10, 20, 30, stb. dB-re emelve rendre kimérték a 10, 20, 30, stb. phonos egyenlő hangosságintű görbéket. A hangosságint (H_{phon}) mértékét tehát az etalon hang intenzitásszintjével fejezzük ki.

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

A fentiek szerint a mérendő hang hangosság szintje (H_{phon}) azonos az etalonhang dB-ben kifejezett intenzitás szintjével ($I_{\text{dB } 1000\text{Hz}}$).

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

Megállapították, hogy kb. 10 phon hangosság 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 hangosság érzetünk változásait. Kétszer, háromszor olyan hangosnak érzékelt hang hangosság-mérőszámának is kétszer, ill. háromszorosan kellene lennie.

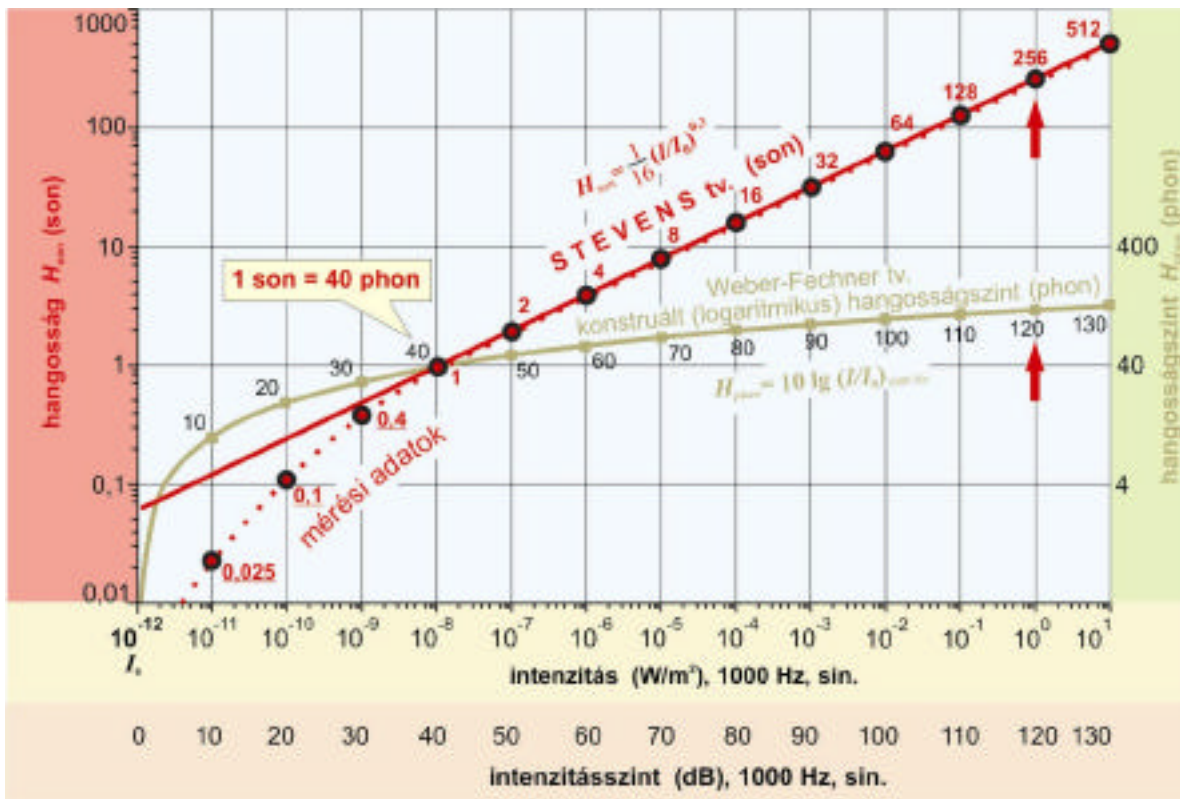
Az egyenlő hangosság szintű görbék változatlanul hagyásával a különböző görbékhez új, a pszichofizikai, lineáris hangérzet változást kifejező ún. son értékeket rendeltek Fletcher és Munson (1933). A hangosság-skála alappontja definíció szerűen az etalon hang 40 dB-es intenzitás szintje, azaz 1 son.

1 son = 40 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. A további értékek az alábbi hatványfüggvényből (Stevens, 1936) számíthatók:

$$H_{\text{son}} = \frac{1}{16} \cdot \left(\frac{I}{I_0} \right)^{0.3}$$

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



Az 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 becsült értékek érvényességét. A logaritmikus Weber-Fechner törvénynek megfelelő „phon-skála” azonban egyáltalán nem illeszkedik a mérési pontokra! Mindazonáltal a „phon-skála”, mint mesterségesen konstruált hangosság szint a dB-skálához hasonlóan jól használható, de nem, mint a hangosság érzetének kifejezője.

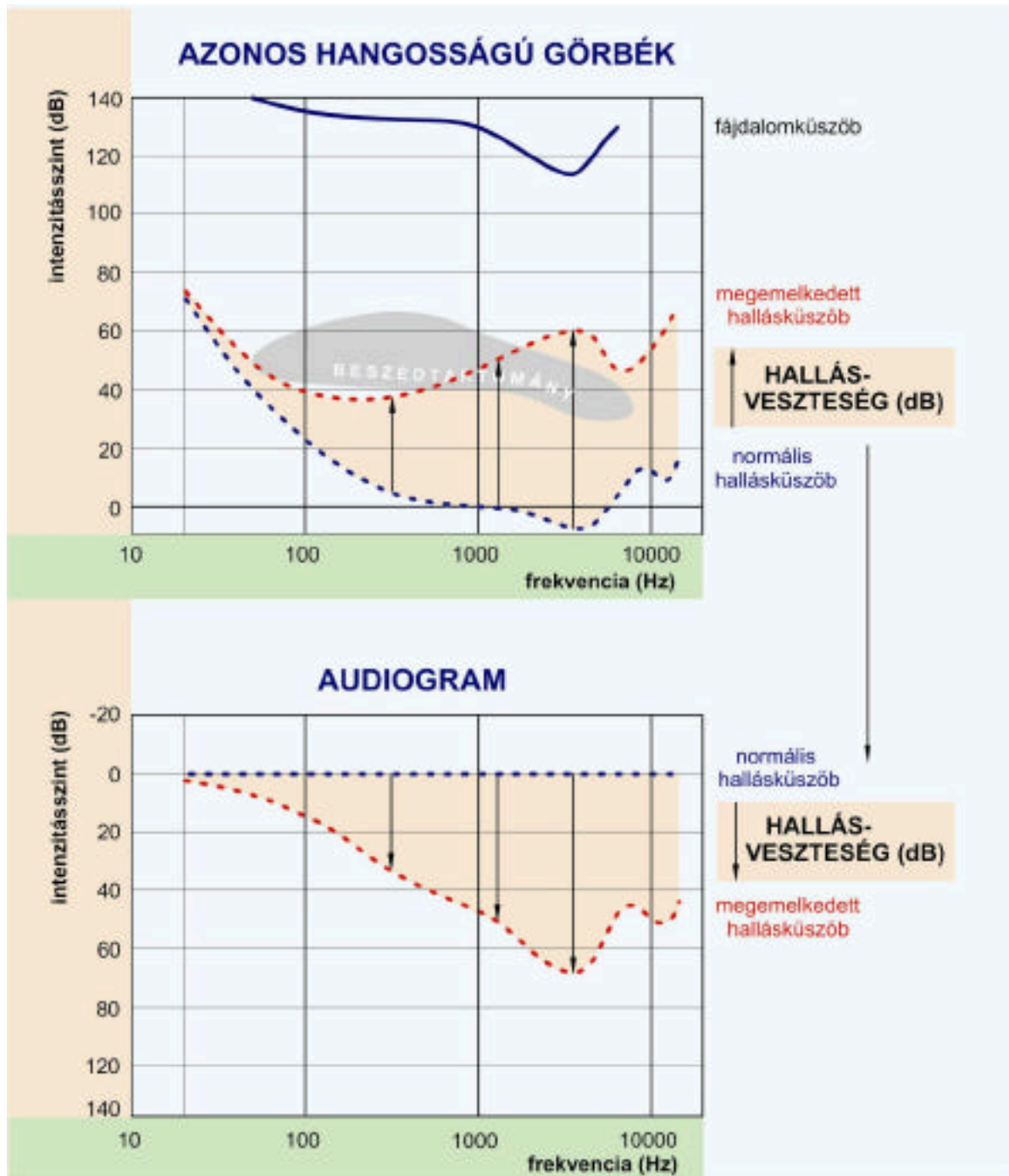
A hangosság felismeréséhez a hallószervnek időre van szüksége. A hangosság szint teljes felismerésére kb. 0,2 s-nál következik be. A hallássérülteknek ennél több időre van szükségük, ezért a hallásvizsgálatokban legalább 1 s időtartamú hangingereket alkalmaznak.

AUDIOMETRIA

Az audiometriás hallásvizsgálatok manapság az orr-, fül- és gégegyógyászat rutinvizsgálatai közé tartoznak. Feladatai: a hallásvesztés 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 (tiszta, szinuszos hangokkal, lásd fentebb) meg lehet állapítani az egyes mérési frekvenciákon a hallásvesztés mértékét. Az ún. hallásküszöb-audiogramon a hallásvesztés decibelben adják meg (I_{dB}), hiszen a phon-skála, vagy son-skála csak normális hallású személyek hallására vonatkozik.

A normális hallásküszöb görbét az audiogram felső részén egy 0 dB-es vízszintes egyenes szemlélteti. Ettől lefelé ábrázolják a megemelkedett hallásküszöb normalistól való eltéréseit.



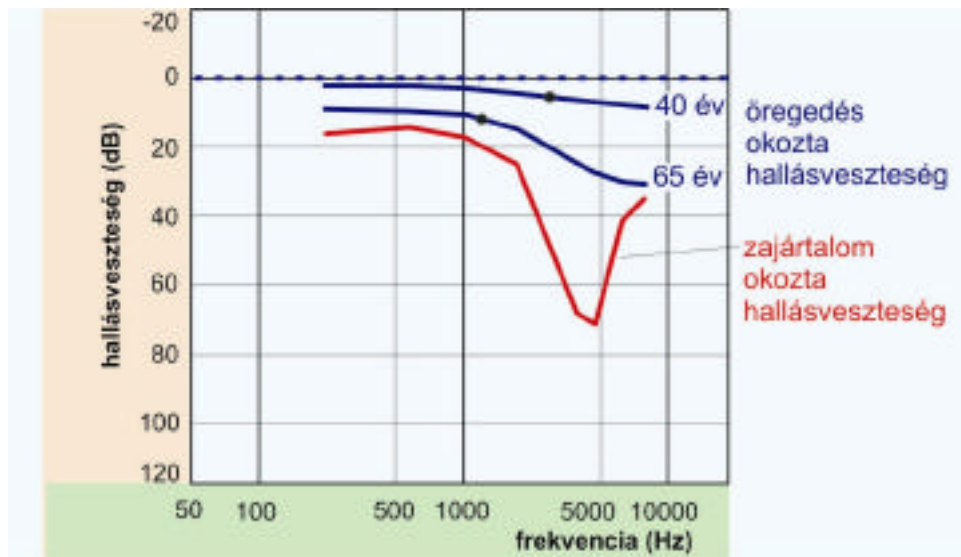
A hangaudiométer egy olyan hanggenerátor, amelynek változtatható szinuszos kimeneti feszültsége egy légvezetéses (ui. van csontvezetéses is) fejhallgatóra jut. A mérési frekvenciák majdnem az egész hallástartományt átfedik, és oktávonként állíthatók be. A fejhallgatóban keletkező hang intenzitásintje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

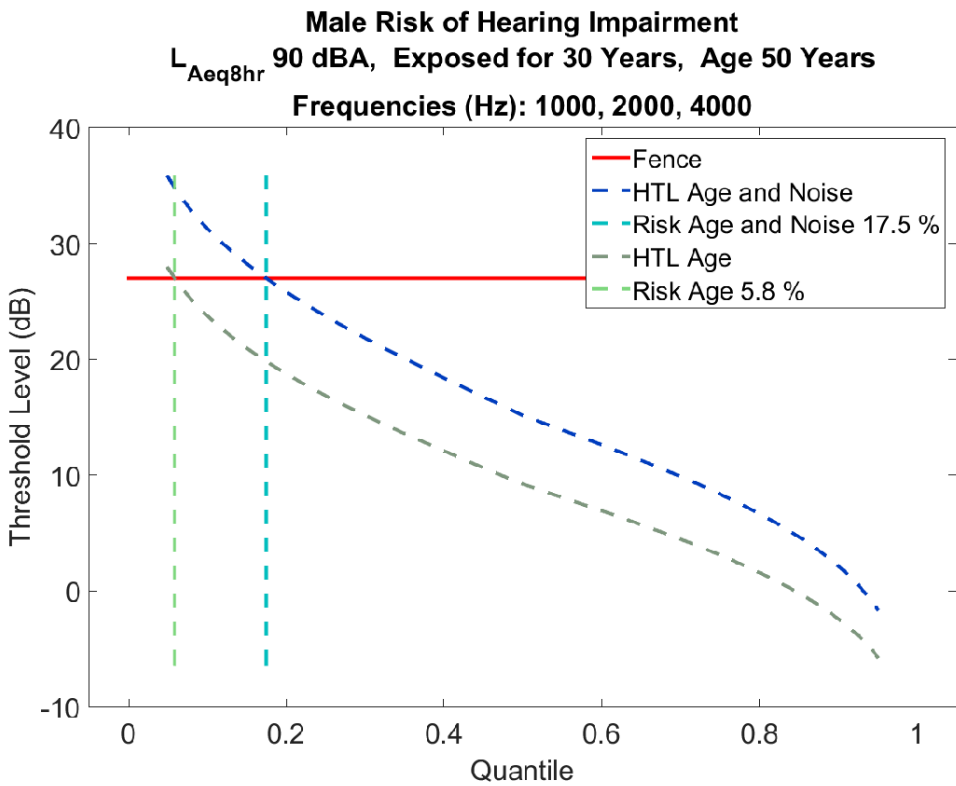
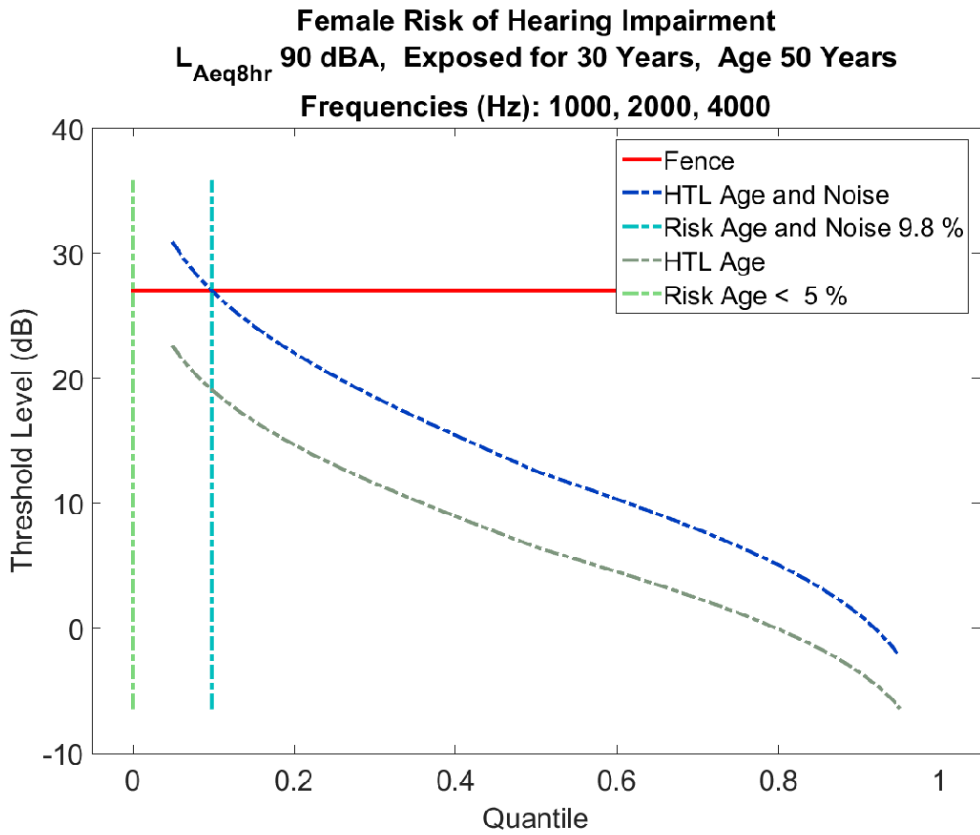
Az audiogramok felvételéhez előnyömtatott audiogram-úrlapokat használnak. A vizsgált személy aktív közreműködésével az audiogramot a bal és a jobb fülre külön veszik fel. A légvezetéses hallásküszöb mérése után a csontvezetéses hallásküszöböt mérik meg, mely kizárja a hallás folyamatából a külső- és középfület.

A csontvezetéses hallásküszöb sokkal magasabb, mint a légvezetéses (kb. 40-60 dB-lel érzéketlenebb). Az egyik fül mögötti sziklacsomhoz szorított csontvezetéses hallgatóval mérik, miközben a másik fül hallását légvezetéses zaj hozzáadásával zárják ki. A csontvezetéses 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.

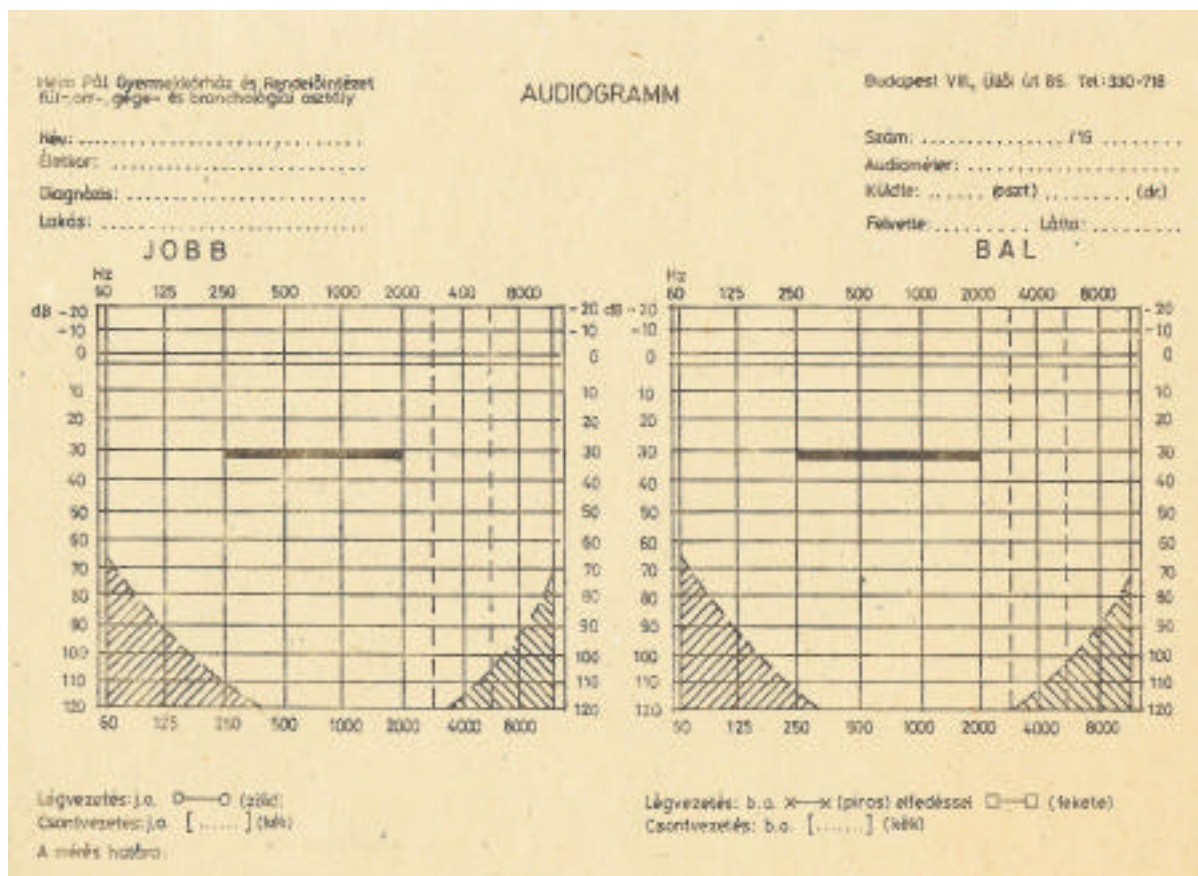
A hallás károsodása egy bizonyos intenzitásszint felett arányos az elszorított szorzatával arányos ($D = I \cdot t$). Kísérleti állatokon kimutatták a szőrsejtek pusztulását a Corti szervben. A sérülés az alkalmazott hangfrekvenciáknak megfelelő helyeken volt jelentős.

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) csökkenésében nyilvánul meg.





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



Ez alapján tehát a mérési, adatok és az ebből számított értékek:

```

also_meres = readtable("audiometria.xlsx","ReadVariableNames",true,"Sheet","meres1");
also_meres.U = also_meres.Ucoarse .* also_meres.Ufine * 5;
also_meres.Jsajat = 1E-5 * (also_meres.U).^2;
  
```

A megadott referencia intenzitás.

```

J0 = 1E-12;
also_meres.Jdbsajat = 10 * log10(also_meres.Jsajat/J0);
also_meres.Jdiff = also_meres.Jdbsajat-also_meres.Jdbnorm;
disp(also_meres)
  
```

frekvencia	Ucoarse	Ufine	Jdbnorm	U	Jsajat	Jdbsajat	Jdiff
32	1	0.6	68	3	9e-05	79.542	11.542
64	0.1	0.9	47	0.45	2.025e-06	63.064	16.064
125	0.01	0.6	28	0.03	9e-09	39.542	11.542
250	0.001	0.9	12	0.0045	2.025e-10	23.064	11.064
500	0.001	0.4	2	0.002	4e-11	16.021	14.021
1000	0.0001	0.6	0	0.0003	9e-13	-0.45757	-0.45757
2000	0.0001	0.7	2	0.00035	1.225e-12	0.88136	-1.1186
4000	0.001	0.1	4	0.0005	2.5e-12	3.9794	-0.0206
8000	0.001	0.6	22	0.003	9e-11	19.542	-2.4576
16000	1	0.9	51	4.5	0.0002025	83.064	32.064

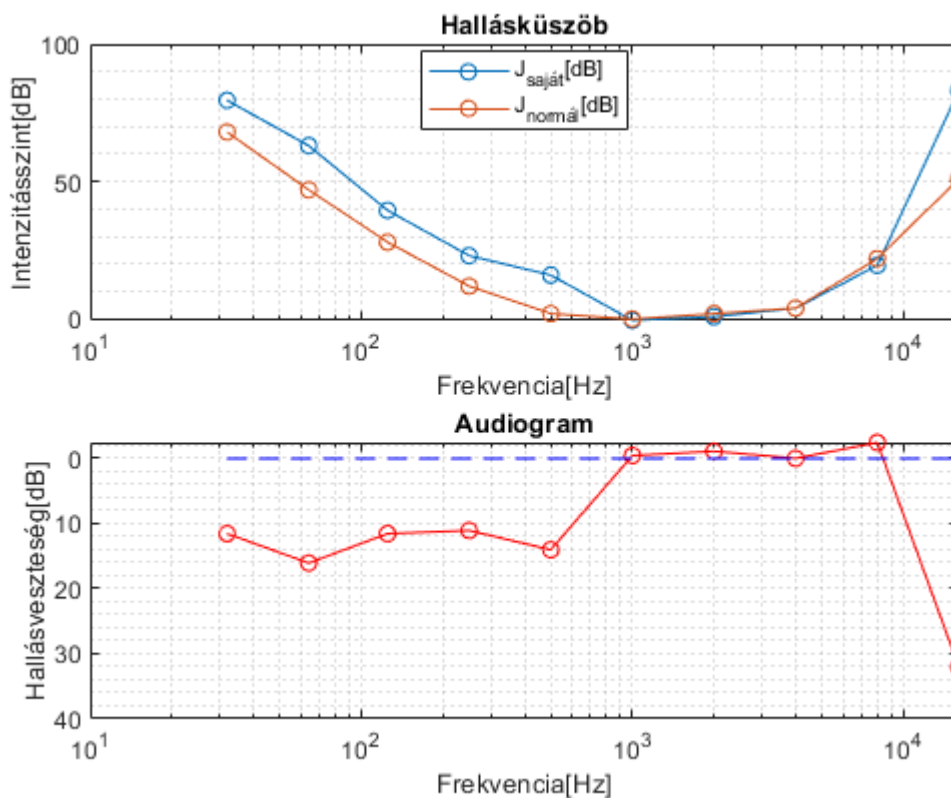
Ábrázoljuk ezt grafikonon.

figure


```

subplot(2,1,1)
semilogx(első_mérés.frekvencia,első_mérés.Jdb saját,'o-',...
        első_mérés.frekvencia,első_mérés.Jdb normál,'o-')
title("Hallásküszöb")
xlabel("Frekvencia[Hz]")
ylabel("Intenzitás szint[dB]")
legend(["J_{saját}[dB]", "J_{normál}[dB]"], "Location", "best")
grid minor
subplot(2,1,2)
semilogx(első_mérés.frekvencia,első_mérés.Jdiff,'ro-',...
        első_mérés.frekvencia,zeros(length(első_mérés.frekvencia)), 'b--')
title("Audiogram")
xlabel("Frekvencia[Hz]")
ylabel("Hallásveszteség[dB]")
grid minor
set(gca, 'YDir', 'reverse')

```



Sajnos jelentős hallásveszteség látszik.

Hallás érzet

A mérési, adatok és az ebből számított értékek:

```

masodik_mérés = readtable("audiometria.xlsx", "ReadVariableNames", true, "Sheet", "meres2");
masodik_mérés.U = masodik_mérés.Ucoarse .* masodik_mérés.Ufine * 5;
masodik_mérés.Jsaját = 1E-5 * (masodik_mérés.U).^2;
masodik_mérés.Intenzitas = (masodik_mérés.Ucoarse .* masodik_mérés.Ufine).^2;
intenzitas0 = masodik_mérés.Intenzitas(1);

```

```
disp(intenzitas0)
```

```
1.0000e-04
```

```
masodik_meres.relativIntenzitas = masodik_meres.Intenzitas / intenzitas0;  
disp(masodik_meres)
```

Ucoarse	Ufine	erzet	U	Jszak	Intenzitas	relativIntenzitas
0.01	1	1	0.05	2.5e-08	0.0001	1
0.1	1	5	0.5	2.5e-06	0.01	100
0.001	1	0.5	0.005	2.5e-10	1e-06	0.01
1	1	30	5	0.00025	1	10000
0.01	0.8	0.9	0.04	1.6e-08	6.4e-05	0.64
0.1	0.5	3	0.25	6.25e-07	0.0025	25
0.1	0.2	2	0.1	1e-07	0.0004	4
0.001	0.3	0.2	0.0015	2.25e-11	9e-08	0.0009
1	0.2	10	1	1e-05	0.04	400
0.01	0.3	0.8	0.015	2.25e-09	9e-06	0.09
1	0.5	20	2.5	6.25e-05	0.25	2500
0.001	0.8	0.6	0.004	1.6e-10	6.4e-07	0.0064
0.01	0.2	0.6	0.01	1e-09	4e-06	0.04
0.1	0.3	3	0.15	2.25e-07	0.0009	9
1	0.3	15	1.5	2.25e-05	0.09	900
1	0.7	20	3.5	0.0001225	0.49	4900
1	0.4	15	2	4e-05	0.16	1600
0.01	0.5	0.8	0.025	6.25e-09	2.5e-05	0.25
0.001	0.4	0.3	0.002	4e-11	1.6e-07	0.0016
0.1	0.7	4	0.35	1.225e-06	0.0049	49

Definiáljunk egy hatvány modellt és illesszük rá a mérési pontokra.

```
f_hatvany_model = fitttype({'x^0.3'});  
disp(f_hatvany_model)
```

```
Linear model:  
f_hatvany_model(a,x) = a*x^0.3
```

```
[f_hatvany, gof_hatvany] = fit(masodik_meres.relativIntenzitas,...  
    masodik_meres.erzet,f_hatvany_model);  
disp(f_hatvany)
```

```
Linear model:  
f_hatvany(x) = a*x^0.3  
Coefficients (with 95% confidence bounds):  
a = 1.752 (1.659, 1.846)
```

Definiáljunk egy logaritmikus modellt és illesszük rá a mérési pontokra.

```
f_log_model = fitttype({'log10(x)'});  
disp(f_log_model)
```

```
Linear model:  
f_log_model(a,x) = a*log10(x)
```

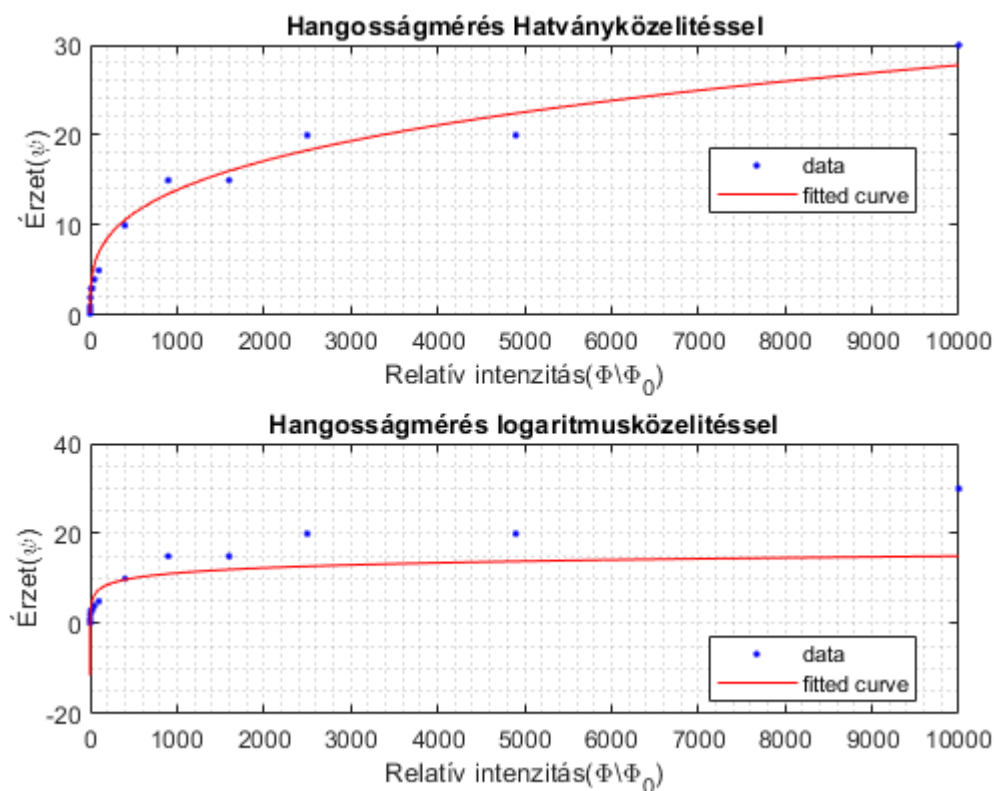
```
[f_log, gof_log] = fit(masodik_meres.relativIntenzitas,masodik_meres.erzet, f_log_model);  
disp(f_log)
```

```
Linear model:  
f_log(x) = a*log10(x)
```

Coefficients (with 95% confidence bounds):
a = 3.752 (2.419, 5.085)

Most nézzük meg a két illesztést.

```
figure
subplot(2,1,1)
plot(f_hatvany,masodik_meres.relativIntenzitas,masodik_meres.erzet)
%set(gca, 'XScale', 'log')
title("Hangosság mérés Hatványközelítéssel")
xlabel("Relatív intenzitás(\Phi\Phi_0)")
ylabel("Érzet(\psi)")
legend("Location","best")
grid minor
subplot(2,1,2)
plot(f_log,masodik_meres.relativIntenzitas,masodik_meres.erzet)
%set(gca, 'XScale', 'log')
title("Hangosság mérés logaritmusközelítéssel")
xlabel("Relatív intenzitás(\Phi\Phi_0)")
ylabel("Érzet(\psi)")
legend("Location","best")
grid minor
```



Hasonlítsuk össze a két közelítés hibáját, amit fent már láttunk.

```
disp(gof_hatvany)
```

```
sse: 28.1858
rsquare: 0.9804
dfe: 19
```

```
adjrsquare: 0.9804  
rmse: 1.2180
```

```
disp(gof_log)
```

```
sse: 819.8353  
rsquare: 0.4294  
dfe: 19  
adjrsquare: 0.4294  
rmse: 6.5688
```

Egyrészt a hatványközelítés szemre is jobbnak tűnik. Másrészt, ha megnézzük a hibát, akkor látszik, hogy a hiba értékek tekintetében is jobb. A négyzetes hiba tekintetében a hatványközelítés 1.21, míg a logaritmusnál 6.56.