

Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet



Gumihevederes szállítószalag görgők zajteljesítmény-szintjének meghatározása

TDK dolgozat

Készítette:

Matisz Norbert
környezetmérnöki alapszak,
IV. évfolyam

Konzulens:

Dr. Ladányi Gábor
tszv. egyetemi docens
Geotechnikai Berendezések
Intézeti Tanszék

Beadás dátuma: 2014.10.27.

Miskolc, 2014

Eredetiségi nyilatkozat

Eredetiségi nyilatkozat

"Alulírott Matisz Norbert, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem."

Miskolc, 2014.10.27.

.....

a hallgató aláírása

A konzulens nyilatkozata

Konzulensi nyilatkozat

*"Alulírott Dr. Ladányi Gábor, a Miskolci Egyetem Geotechnikai Berendezések Intézeti
Tanszékének tszv. egyetemi docense a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem."*

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2014

.....

a konzulens

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	1
1. Gumihevederes szállítószalagok.....	2
1.1. A szállítószalagok szerkezeti elemei.....	4
1.1.1. Heveder	5
1.1.2. Dobok.....	5
1.1.3. Görgők	5
1.1.4. Hajtószerkezet, feszítőszerkezet, tisztítószerkezet	6
1.1.5. Feladó szerkezet, ledobó szerkezet, vázszerkezet	6
2. A hang és jellemzői	7
2.1. A hang fogalma és csoportosítása	7
2.2. A hang terjedési jellemzői	9
2.3. Szintek	9
2.3.1. Teljesítmény, teljesítményszint	9
2.3.2. Származtatott szintek	11
2.3.3. Intenzitásszint és hangnyomásszint.....	11
2.3.4. Műveletek szintekkel	12
2.4. Akusztikai határfok – akusztikai áttétel	12
2.5. Színkép	13
3. Hangterjedés	16
3.1. Hangterjedés szabad hangtérben	16
3.2. Hangterjedés zárt hangtérben	16
3.3. Hangterjedés falon keresztül	17
3.3.1. Visszaverődés és elnyelődés	17
4. Zajmérés és műszerei	19
4.1. Hangosság.....	19
4.2. Hangosság	19
4.3. Egyenértékű hangnyomásszint	19
4.4. Zajosság mérése	20
4.4.1. Szubjektív mérések	20
4.4.2. Objektív mérések	20
4.5. Zajmérő műszerek	21
4.5.1. Kalibráló készülékek.....	21
4.5.2. Mikrofonok	22
4.5.3. Hangnyomásszint mérők	24
4.5.4. Sávszűrők és frekvenciaelemzők	25
4.5.5. Adattárolók és szintírók	26

5. Szállítószalag görgők zajteljesítmény-szintjének meghatározása	27
Összefoglalás.....	45
Summary	46
Köszönetnyilvánítás	47
Irodalomjegyzék.....	48
Ábrajegyzék	50
Táblázatjegyzék.....	51

Bevezetés

Minden ember másképp vélekedik a zaj fogalmáról, attól függően, hogy miként éli át azt. A fiatalok élvezik a hangos zenét a diszkóban, jól érzik magukat, azonban a közelben élő embereket már zavarja az. A halk hangok is lehetnek zavaróak (pl. a munkára/tanulásra való koncentráció során vagy zavarhatnak a pihenésben, alvásban), vagyis elmondható, hogy a zaj egy szubjektív fogalom. A zaj szintjét decibelben szokás megadni, ami ha a 27/2008 (XII.3.) *KvVM-EüM együttes rendelet* szerint meghaladja a 65dB-t, akkor már zajszennyezésről beszélünk.

TDK dolgozatom témája a gumihevederes szállítószalag görgők zajteljesítmény-szintjének meghatározása. Azért választottam ezt a témát, mert tanulmányaim során felkeltette az érdeklődésemet a zaj és rezgésvédelem, valamint a vele járó problémák, hatások.

Dolgozatom első felében a méréshez szükséges alapvető hangtani ismereteket foglalom össze. Az első fejezetben mutatom be, melyek a gumihevederes szállítószalagok felhasználási területei, szerkezeti elemei, illetve milyen szempontok alapján csoportosíthatjuk őket. A második fejezetben részletezésre kerül a hang fogalma, csoportosítása, terjedési jellemzői, a szintértékek bemutatása. A harmadik fejezetben ismertetem a hangterjedés jellemzőit különböző terekben, majd ezt követően a negyedik fejezetben leírásra kerülnek a zajmérés különböző módszerei, műszerei, a mikrofonok csoportosítása s jellemzői.

Az elméleti rész után következik maga a mérés, a mérési eredmények kiértékelése, amelyet a Miskolci Egyetem Bányászati és Geotechnikai Intézet, Geotechnikai Berendezések Intézeti Tanszék zajlaboratóriumában fogok elvégezni. A mérés során 12db görgőnek mérem meg a hangnyomásszintjét, melyből különböző összefüggések segítségével fogom meghatározni a teljesítményszinteket. Minden görgő esetében 3db mérést végzek három fordulatszámra, s azt vizsgálom, hogy a fordulatszám növelésével hogyan változik az egyes görgők teljesítményszintje.

1. Gumihevederes szállítószalagok

A XX. század második negyedét ipari vonalon az anyagmozgatás, a szállítóberendezések negyedszázadának nevezzük, hiszen a szállítóberendezések legváltozatosabb fajtáit ez idő alatt fejlesztették fel. Minden iparág megteremtette a maga sajátos szállítóberendezését, melyek között természetesen ott szerepel a szállítóberendezések legáltalánosabb válfaja: a gumihevederes szállítószalag. A gumihevederes szállítószalag olyan folytonos üzemű végtelen vonóelemű szállítóberendezés, amely két végdobon átvetve és közben görgőkkel alátámasztva továbbítja a feladott anyagot a feladási helytől a leadás helyéig, miközben a vonó- és egyben szállítóelem a gumiheveder.

A gumihevederes szállítószalagokat főként ömlesztett és darabáruk továbbítására használják fel főként külszíni és földalatti bányászat során, de ezen kívül alkalmazzák még a mezőgazdaságban, kavics/kő/homokbányákban, valamint kikötői áruszállítás során is.

A szállítószalagokat csoportosíthatjuk a hosszuk alapján, elkülönítünk egymástól rövid szalagokat (20m), közepes hosszúságú szalagokat (20-100m), illetve hosszú szalagokat (100m feletti). A gumiheveder szélességi méreteit az MNOSZ 2527-Á sz. szabvány határozza meg, miszerint 200, 250, 300, 400, 500, 650, 800, 1000, 1200 és 1400mm széles hevedereket különböztetünk meg. 200-500mm-es szélességű heveder esetén keskeny, 650-800mm-es széles heveder esetén közepes szélességű, 1000mm feletti széles heveder esetén széles szalagokról beszélhetünk.

Az alkalmazott sebességek általában 0,8-6m/s között mozognak, így az 1m/s-nál alacsonyabb sebességű szalagokat lassú, az 1-2m/s között futó szalagokat közepes, míg a 2m/s-nál nagyobb sebességű szalagokat pedig gyorsjárású szalagoknak nevezzük.

A szállítószalagokat többek között a szállítandó anyag neme szerint csoportosíthatjuk, így megkülönböztethetünk darabárut és ömlesztett anyagot szállító szalagokat. (Zakariás, 1953)

Az alkalmazás helye és módja szerint (Zakariás, 1953):

- üzemi szalagok
- távolsági szalagok
- szállítható szalagok
- szétszedhető szalagok
- bányaszalagok



1. ábra: Lignitet szállító szállítószalag

Forrás: <http://www.theguardian.com/environment/2011/dec/08/european-investment-bank-fossil-fuel>



2. ábra: Föld alatti szállítószalag

Forrás: Prodart Studio Kft. 2011

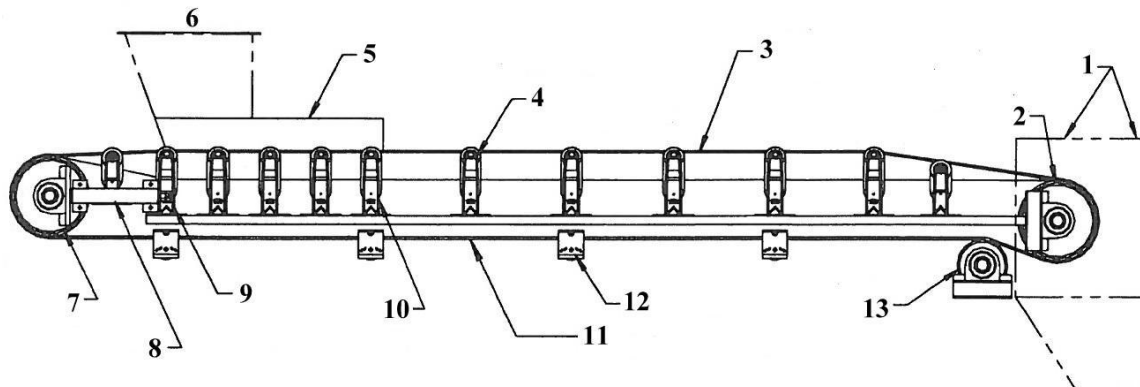


3. ábra: Élelmiszeriparban alkalmazott szállítószalag

Forrás: Lammers Trióda Motor Kft.

1.1. A szállítószalagok szerkezeti elemei

A szállítószalagok felépítését az alábbi ábra szemlélteti, ahol: 1- ledobó garat; 2- fej hajtódob és hajtás; 3- szállítószalag; 4- vályúsító tartógörgők; 5- védőlemez; 6- töltő garat; 7- végdob; 8- csavarorsós feszítés; 9- besűritett görgők a feladásnál; 10- váz; 11- visszatérő ági tartógörgők; 12- terelődob



4. ábra: Szállítószalag felépítése

Forrás: Szerző saját szerkesztése

A szállítószalagok szerkezeti elemei az alábbiak (Zakariás, 1953):

1. heveder
2. dobok
3. görgők
4. hajtószerkezet
5. feszítőszerkezet

6. tisztítószerkezet
7. feladó berendezés
8. ledobó berendezés
9. vázszerkezet

1.1.1. Heveder

A heveder a feladott anyag továbbítására szolgáló elem, amely a szállítószalag legfontosabb és legérzékenyebb része. A hevedernek kettős szerepe van: a hajtódob által közölt húzóerő továbbítása, valamint az anyag szállítása. Alkalmazhatóság alapján megkülönböztetünk textilhevedert, balatahevedert és gumihevedert. A hevederes szállításnál szinte minden esetben gumihevedert alkalmaznak, amelyet görgőkkel támasztanak alá. A heveder szélessége 200-2500 mm lehet, a betétek száma pedig 3 és 10 között változhat. (Zakariás, 1953)

1.1.2. Dobok

A dob az egy olyan henger, amelynek feladata, hogy megváltoztassa a szalag futási irányát. (Zakariás, 1953)

A doboknak négy fajtája van (Zakariás, 1953):

- hajtódob
- feszítődob
- terelődob
- irányváltódob

1.1.3. Görgők

A gumihevederes szállítószalagok meghatározó elemei a hevedert alátámasztó görgők. A görgők a szállítószalagnak a heveder után következő leglényegesebb alkatrésze. Nagyban befolyásolják a szállítószalagok üzembiztos és hosszú távú, gazdaságos üzemeltetését. A jó minőségű szállítószalag görgő csökkenti a berendezések üzemeltetési költségét és emellett a környezet zajterhelésére is kedvező hatással van. A kis futási ellenállás és a kis forgó tömeggel rendelkező szállítószalag görgő csökkenti a szállítószalag energia felhasználását. A futáspontosság pedig a görgő hosszabb élettartamán kívül alacsony zajjal terheli a környezetet. (Bányászati Ipar Technika Kft. honlapja)

Megkülönböztetünk egészen könnyű kivitelű, könnyű kivitelű, valamint nehéz kivitelű görgőket. Az egészen könnyű kivitelű görgőket üzemi szalagoknál és szállítható szalagoknál

használjuk. A nehéz kivitelű görgőket olyan helyeken alkalmazzuk, ahol a szállított anyag erősen koptató hatású és ömlesztett súlya nagy.

A görgőket alkalmazásuk szerint az alábbiak szerint csoportosíthatjuk:

- alátámasztógörgők
- feladógörgők
- terelógörgők
- tisztítógörgők

Az alátámasztógörgők az általános felhasználású görgők, feladatuk a heveder megtartása. A feladógörgőket a feladási pontoknál használják azért, hogy a rázúduló anyag ne tudja tönkretenni a hevedert. A terelógörgők a heveder megfelelő irányban tartására szolgálnak. A tisztítógörgőknek az a feladata, hogy a heveder szennyeződéseinek egy részét eltávolítsa. (Zakariás, 1953)

1.1.4. Hajtószerkezet, feszítőszerkezet, tisztítószerkezet

A gumihevederes szállítószalagok hajtóberendezése a hajtómotorból, a hajtóműből, a hajtódobból, a tengelykapcsolókból, és a fékberendezésből áll. Ezeket együttesen hajtófejnek nevezzük.

A feszítőszerkezet feladata, egyrészt hogy biztosítsa a hevederben a súrlódásos erőátvitelhez szükséges erőt, illetve hogy a heveder feszes maradjon, s ne lógjon a görgők közé.

A gumihevederes szállítószalagok esetében a hevedert és a dobokat kell tisztítani, ennek megfelelően megkülönböztetünk hevedertisztító és dobtisztító berendezéseket. (Zakariás, 1953)

1.1.5. Feladó berendezések, ledobó berendezések, vázszerkezet

A feladó berendezések célja a heveder kímélése, tehát ezek olyan berendezések, amelyek segítségével az anyag a legkisebb koptatóhatással kerül fel a hevederre.

A szalagokon szállított anyagot a hajtódob dobja le a hevederről. Különleges esetekben, pl. kétdobos hajtásnál külön ledobókat alkalmaznak. Ez a leghelyesebb megoldás, mivel így kíméljük leginkább a hevedert.

A vázszerkezetek idomacélból készülnek, a hevedert tartó dobok, valamint a görgők alátámasztására szolgálnak. (Zakariás, 1953)

2. A hang és jellemzői

Ebben a fejezetben írom le mi is az a hang, hiszen mást jelent mind fizikai, élettani, valamint lélektani szempontból. Ezt követően részletesen mutatom be, milyen szempontok alapján csoportosíthatjuk a hangokat, valamint a hang fizikai jellemzőit.

2.1. A hang fogalma és csoportosítása

A zaj olyan hangoknak a zavaró keveréke, amelyek különböző intenzitással és frekvenciával rendelkeznek. A hangok közül azokat, amelyek zavarnak minket, elkülönítjük a többitől, s zajnak nevezzük. A zaj emberi szervezetre gyakorolt hatását az 1. táblázat szemlélteti. Maga a hang a megfigyelőt körülvevő rugalmas közegben előálló nyomásingadozás, amit az emberi fül érzékel. A hang fogalmához többféle jelentéstartalom társul, ennek megfelelően fizikai értelemben hangjelenségről, élettani szempontból hangérzetről, lélektani vonatkoztatásban pedig hangélményről beszélhetünk. (Kováts, 1998)

1. táblázat: A zaj hatása az átlagos emberi szervezetre

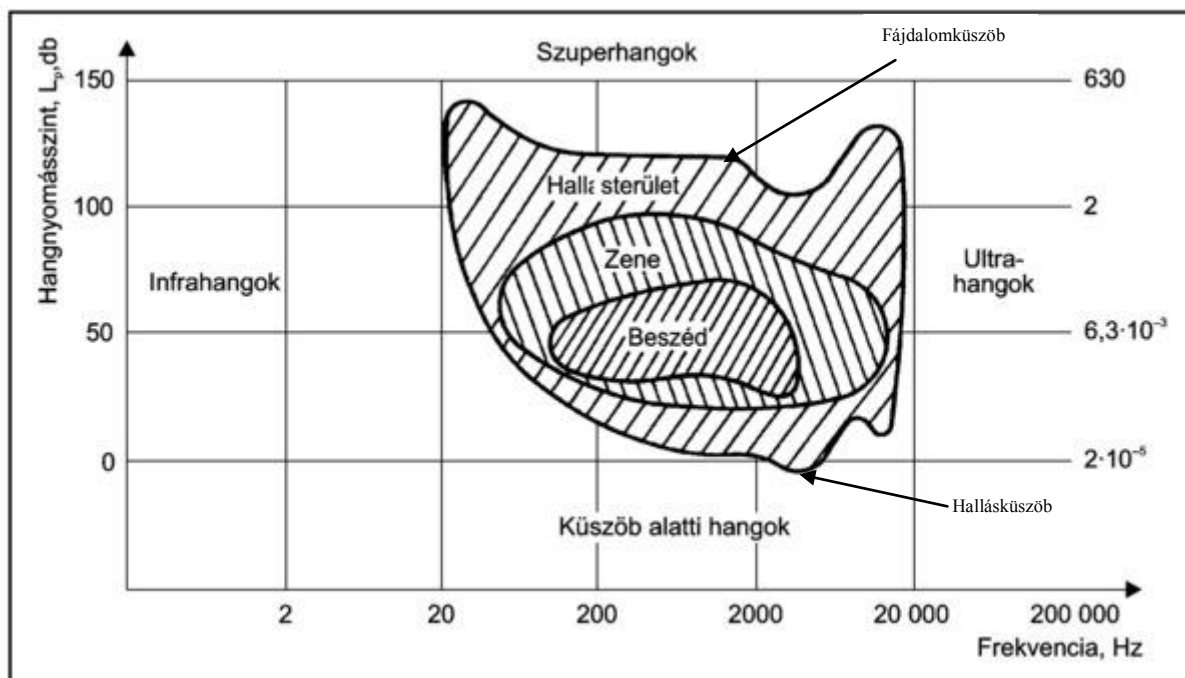
Okozott hatás	Zajsztint
<i>alvás megzavarása</i>	20-30 dB
<i>pszichés terhelés</i>	25-40 dB
<i>beszédérthetőség romlása</i>	40-50 dB
<i>vegetatív idegrendszeri hatások</i>	60-65 dB
<i>halláskárosodás</i>	kb. 85 dB

Forrás: Fiknérné Sulcz Ágnes 2007-es adatai alapján szerző saját szerkesztése

A hangokat csoportosíthatjuk frekvencia, intenzitás, időtartam és időbeli lefolyás szerint. Az első kettő szerinti felosztás szerint megkülönböztetünk infrahangokat, hallható hangokat, illetve ultrahangokat. A hangok frekvencia szerinti csoportosítását az 5. ábra szemlélteti. Az infrahangok frekvenciája kevesebb, mint 16Hz, a hallható hangok frekvenciája 16Hz és 16kHz közötti, intenzitása $1 \frac{\text{pW}}{\text{m}^2}$ és $1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ közé esik. Az ultrahangok frekvenciája nagyobb, mint 16kHz. Azokat a hangokat, melyek intenzitása kisebb, mint $1 \frac{\text{pW}}{\text{m}^2}$, küszöbalatti hangoknak, amelyeknek az intenzitása pedig nagyobb, mint $1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$, superhangoknak nevezzük.

A hallható hangok tartományát adatfelméréssel állapították meg, miszerint az alsó határgörbe a hallásküszöb, amely minimális értékét 3kHz-en éri el (lásd 5. ábra). Stabil pontja 1kHz frekvencia esetén $1 \frac{\text{pW}}{\text{m}^2}$. A felső határgörbe a fájdalomküszöb, amelynél nagyobb

intenzitás már fájdalomérzetet kelt a megfigyelőben. A fájdalomküszöb a hallásküszöbhez hasonlóan szintén frekvenciafüggő, de a hallásküszöbhez ellentétben a frekvencia csökkenése esetén intenzitásának változása lényegesen kisebb. (Kováts, 1998)



5. ábra: A normális hallásterület

Forrás: Barótfi, 2000

A hallható hangok tartományán kívüli rezgéseket az élő szervezet nem tudja érzékelni, hanem exaurális hatásként működési rendellenességgel jelzi. Ennek megfelelően az infrahangokat a lágy – (pl. agy, máj, szív), az ultrahangokat a szilárd szövetállomány (pl. csont, csonthártya) érzékeli, ha azok intenzitása meghalad egy bizonyos küszöbértéket. Infrahangforrások lehetnek természeti jelenségek (pl. mennydörgés, légköri elektromos kisülés, vulkáni kitörés, földrengés stb.) és technikai berendezések (pl. gázturbinák, hordozó rakéták, sugárhajtóművek). Káros hatásuk nagyrészt idegrendszeri zavarokban nyilvánul meg, de a nagytestű állatok (elefántok, cetek) is használják az egymás közti kommunikációban. Az ultrahangforrások technikai eredetűek, hiszen mind az iparban, mind pedig a gyógyászatban felhasználják. Káros hatásuk egy bizonyos intenzitásérték felett növekedési, működési zavarokban nyilvánul meg. (Kováts, 1998)

A hangok fizikai felosztása az időbeli formára és változására, valamint az időtartamra vonatkozik. Az időbeli forma szerint beszélhetünk tisztahangról, zenei hangról, zörejről és összetett hangról. Az időbeli forma változása alapján elkülönítünk egymástól állandó hangokat, változó hangokat, szakaszos hangokat, egyszeri hangokat. Időtartam szerint pedig

megkülönböztetünk impulzus hangokat, rövid és hosszú idejű hangokat, valamint tartós hangokat. (Tarnóczy, 1984)

2.2. A hang terjedési jellemzői

A zajforrás nem más, mint a rezgést végző elemi részecskék halmaza. A rugalmas közegben terjedő rezgőmozgást nevezzük hullámmozgásnak, melyre nézve igaz az, hogy a tér valamely pontjában keltett zavarás a tér más pontjaira is áttérjed, s így alakul ki a hangtér. A hanghullám is haladó hullám, amely csak olyan közegben alakulhat ki, amelynek tömege és rugalmassága van. A hullámmozgás egyaránt lehet transzverzális és longitudinális. Ha a részecskék a terjedési sebesség irányára merőlegesen rezegnek, akkor transzverzális hullámokról beszélhetünk. Longitudinális hullámmozgás esetében a részecskék a terjedési sebesség irányával párhuzamosan rezegnek. Szilárd közegben a terjedés mindkét módon megvalósulhat, viszont folyadékokban és gázokban csak longitudinális hullám alakulhat ki. A terjedési sebességet a közeg rugalmassági és tehetetlenségi jellemzőivel jellemezhetjük, így az csak a közeg rugalmassági modulusától és a sűrűségtől függ, a hang jellemzőitől (frekvencia, színekpi összetétel, intenzitás) független. (Kováts, 1995)

A hanghullámokat a c [$\frac{m}{s}$] terjedési sebességgel, az f [$\frac{1}{s}$] rezgési frekvenciával, illetve a λ [m] hullámhosszal jellemezhetjük, melyek közötti összefüggés a következő:

$$c = \lambda \cdot f = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}} [\frac{m}{s}],$$

ahol ρ a közeg sűrűsége [Pa], E_v pedig a közegre jellemző rugalmassági modulus [$\frac{N}{m^2}$]. (Kováts, 1995)

2.3. Szintek értelmezése

2.3.1. Teljesítmény, teljesítményszint

A természetben előforduló zajforrások akusztikai teljesítménye több nagyságrenddel eltér egymástól. A gyakorlati tartomány jelenlegi szélessége W mértékegység esetén 15 nagyságrend (látható az 2. táblázatban), ezért a számítások egyszerűsítése céljából bevezették a szint fogalmát, amely egy célszerűen megválasztott alaphoz való viszonyítást jelent logaritmikus rendszerben.

$$L_W = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} [\text{dB}],$$

ahol P az a hangteljesítmény W -ban, melynek szintértékét keressük, P_0 a viszonyítási alap

(referenciaérték), melynek értéke 10^{-12}W , így a téljesítményszint mértékegysége a decibel, jele: dB.

A szintértéket az esetek többségében L -lel jelöljük, de az alsó indexben mindig fel kell tüntetni, hogy melyik fizikai jellemzőre vonatkozik. Így jelen esetben L_W a hangtéljesítményszint. Amennyiben P_0 nemzetközileg rögzített érték, úgy abszolút szintről, ha szabadon megválasztott érték, akkor relatív szintről beszélhetünk. A nemzetközileg rögzített viszonyítási alap $P_0 = 1\text{pW}$. Gyakorlati okokból a szintértékeket a számítások során mindig egész dB-re kell kerekíteni. (Kováts, 1998)

2. táblázat: Jellegzetes hangtéljesítmények

Zajforrás (hangforrás)	Hangtéljesítmény [W]
<i>suttogás</i>	$1 \dots 5 \cdot 10^{-8}$
<i>kis asztali ventilátor</i>	10^{-5}
<i>társalgás</i>	$1 \dots 3 \cdot 10^{-5}$
<i>háztartási gépek</i>	10^{-4}
<i>kiabálás</i>	$6 \dots 8 \cdot 10^{-4}$
<i>hangos kiáltás</i>	$1 \dots 3 \cdot 10^{-3}$
<i>kis szövőszék</i>	10^{-2}
<i>személygépkocsi (80 km/h)</i>	10^{-1}
<i>zongora (forte)</i>	$1 \dots 2 \cdot 10^{-1}$
<i>trombita (forte)</i>	$3 \dots 4 \cdot 10^{-1}$
<i>sűrített levegős kalapácsok</i>	1
<i>autókürt</i>	3...5
<i>kis mezőgazdasági repülőgép</i>	7...8
<i>orgona, 75 tagú szimfonikus zenekar</i>	10
<i>nagy szimfonikus zenekar (forte)</i>	50...70
<i>riasztó sziréna</i>	10^3
<i>4 légszavaros repülőgép</i>	10^4
<i>katonai sugárhajtású repülőgép</i>	10^5
<i>rakétamotor</i>	10^7

Forrás: Kováts, 1998

2.3.1. Származtatott szintek

A gyakorlat az intenzitás- és hangnyomásszinten kívül más teljesítmény jellegű szinteket is értelmez, ezeket nevezzük származtatott szinteknek. Ilyenek pl. a gyorsulásszint, a sebességszint, a kitérésszint, vagy az erőszint, amelyeket elsősorban nem akusztikai feladatok megoldására alkalmazunk, viszont használatuk mérési feladatok kiértékelését, forrásjellemzők elemzését könnyíti meg a számunkra.

A gyorsulásszint:

$$L_a = 20 \cdot \lg \frac{a}{a_0} [\text{dB}],$$

ahol $a_0 = 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

A sebességszint:

$$L_v = 20 \cdot \lg \frac{v}{v_0} [\text{dB}],$$

ahol $v_0 = 10^{-9} \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

A kitérésszint:

$$L_s = 20 \cdot \lg \frac{s}{s_0} [\text{dB}],$$

ahol $s_0 = 10^{-11} \text{ m}$.

Az erőszint:

$$L_F = 20 \cdot \lg \frac{F}{F_0} [\text{dB}],$$

ahol $F_0 = 10^{-6} \text{ N}$. (Kováts, 1998)

2.3.2. Intenzitásszint és hangnyomásszint

A hangintenzitás nem más, mint az egységnyi felületen át közvetített hangteljesítmény, amely a hangteljesítmény és a hangnyomás között teremt kapcsolatot. Az intenzitás a hangerőt határozza meg. Képlettel kifejezve:

$$I = \frac{P}{A} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

A hangteljesítményszinthez hasonlóan képezhető az intenzitásszint is:

$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} [\text{dB}],$$

ahol $I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$, ill. I a hangtér kérdéses pontjában az intenzitás $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ -ben.

Mivel az intenzitás és a teljesítmény a hangnyomás négyzetével arányos, s a szintképzésnél a szabályoknak megfelelően a teljesítménnyel arányos mennyiségek viszonyát kell képezni, ezért a hangnyomásszint:

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \text{ [dB]},$$

ahol p a hangtér kérdéses pontjában a hangnyomás P_a -ban, p_0 a vonatkoztatási alap, amely az 1kHz-es hallásküszöbnek megfelelően $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

A célszerűen megválasztott referenciák miatt levegőben, normál állapotot megközelítő esetben, síkhullámokra az intenzitás- és a hangnyomásszint közel egyenlő. A teljesítmény- és a hangnyomásszint közötti összefüggés e feltételek mellett:

$$L_p = L_w - 10 \cdot \lg \frac{A}{A_0} \text{ [dB]},$$

ahol A m^2 -ben az a felület, amelyben a hangteljesítmény áthalad, $A_0 = 1 m^2$. (Kováts, 1998)

2.3.3. Műveletek szintekkel

A gyakorlatban a hangteret több, egy időben üzemelő hangforrás hozza létre, ezért előforduló feladat lehet, hogy szintek összegzését kell elvégezni. A tér azonos pontjában egyidejűleg üzemelő $P_1, P_2, \dots, P_i$ hangteljesítményű eltérő frekvenciájú tisztahang források eredő teljesítményszintje:

$$L_{w\Sigma} = 10 \cdot \lg \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_i}{P_0} = 10 \cdot \lg \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{P_0} \text{ [dB]},$$

mivel a teljesítmények közvetlenül összeadhatók. (Kováts, 1998)

Ha viszont az egyes források szintként adottak ($L_{w1}, L_{w2}, \dots, L_{wi}$) akkor vissza kell térni a teljesítményre

$$P_i = P_0 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{wi}} \text{ [W]},$$

tehát az eredő teljesítményszint (Kováts, 1998):

$$L_{w\Sigma} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{wi}} \text{ [dB]}$$

2.4. Akusztikai hatásfok – akusztikai áttétel

A mechanikai hatásfokhoz hasonlóan értelmezhető az akusztikai hatásfok vagy áttételi fok is, amely az akusztikai teljesítmény [W] és a mechanikai teljesítmény [W] hányadosával adható meg:

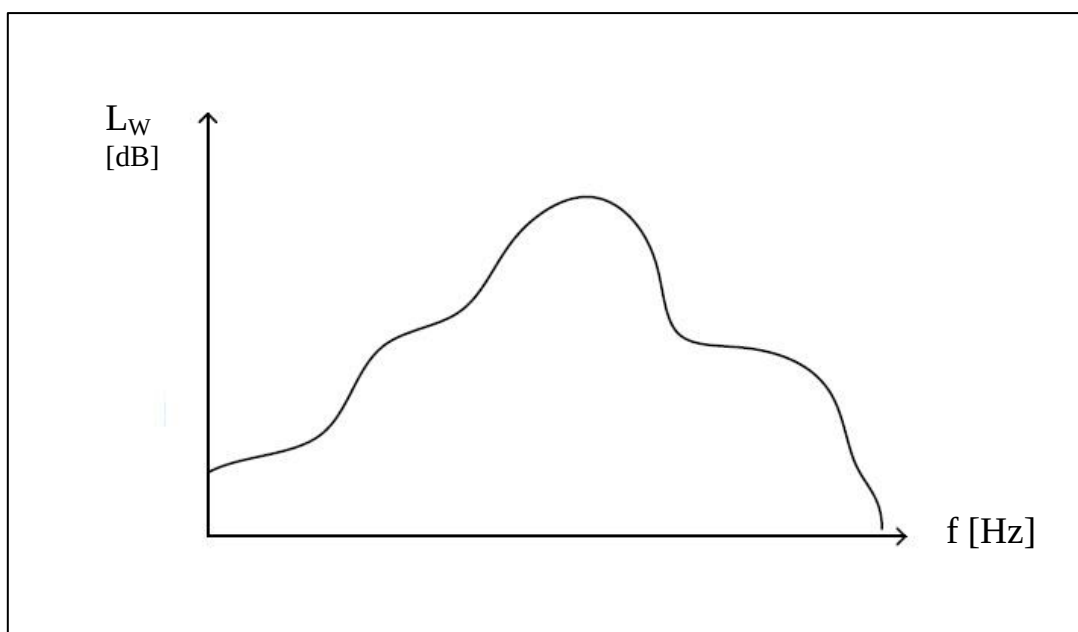
$$\eta_{ak} = \frac{P_{ak}}{P_{mech}},$$

ahol η_{ak} az akusztikai hatásfok, amely egy dimenzió nélküli szám $[\frac{W}{W}]$, de kifejezhetjük %-ban is. (Kováts, 1998)

2.5. Színkép

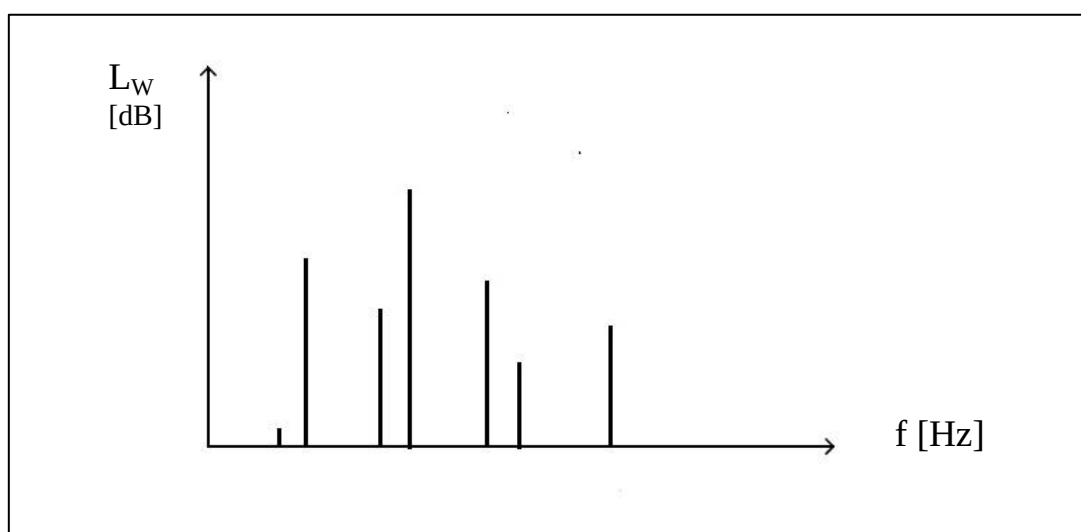
A hangteljesítmény csak a zajforrás erősségére utal, tehát önmagában nem írja le sem a zajforrást, sem a zajforrás által besugárzott teret. A $P(f)$ vagy az $L_W(f)$ függvényt nevezzük színképnek, amit azért vezettek be, mert az érzékelés frekvenciafüggő.

A színkép lehet folytonos, vonalas és vegyes. A színkép jellegét tekintve folytonos, ha a zajforrás valamennyi frekvencián sugároz (6. *ábra*), vonalas, ha csak meghatározott frekvenciákon történik a sugárzás (7. *ábra*), vegyes, ha az előző kettőből összetett (8. *ábra*). (Kováts, 1995)



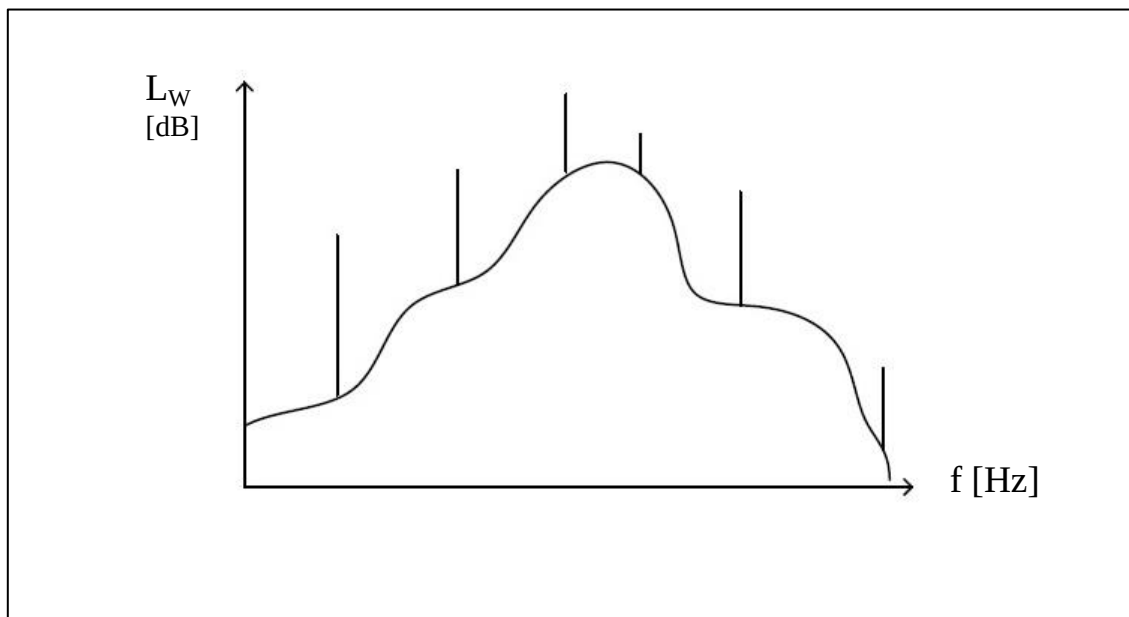
6. *ábra*: Folytonos színkép

Forrás: Horváth, 2011



7. *ábra*: Vonalas színkép

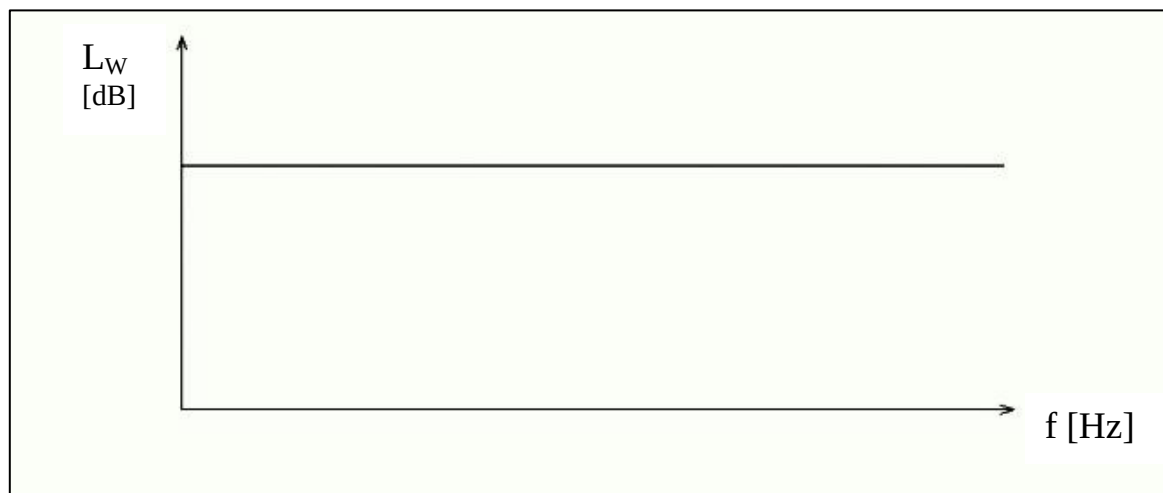
Forrás: Horváth, 2011



8. ábra: Vegyes színekép

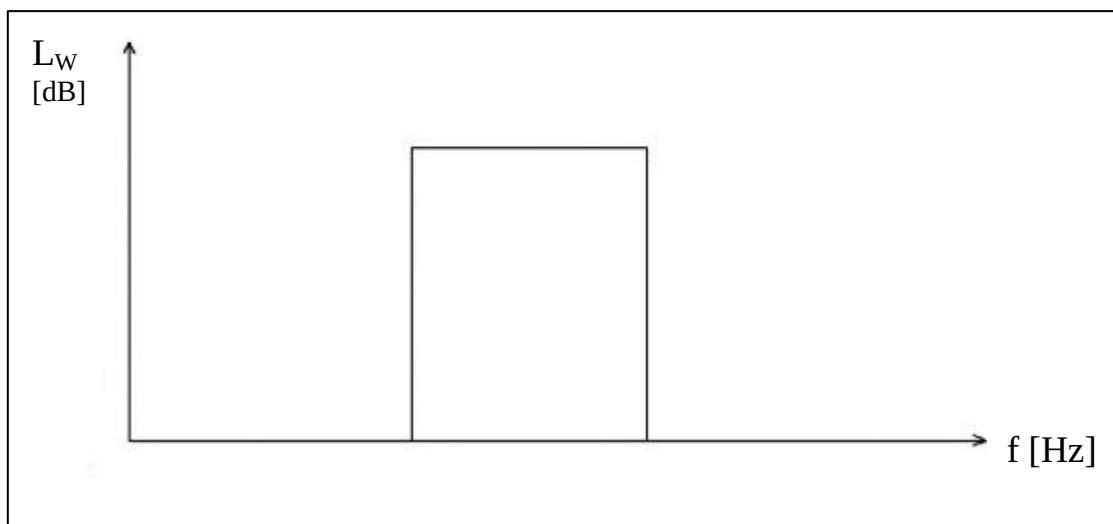
Forrás: Horváth, 2011

A fehér-, a szürke-, és a rózsaszín zajt kitüntetett zajnak nevezzük. A fehér zaj színeképe folytonos és a frekvencia függvényében a teljes tartományban állandó intenzitású (9. ábra). A szürke zaj színeképe folytonos és egyenletes a hangfrekvenciás tartomány valamely sávjában (10. ábra). A rózsaszín zajt általában műszer beállítási célokra használják, a természetben nem fordul elő (11. ábra). (Kováts, 1995)



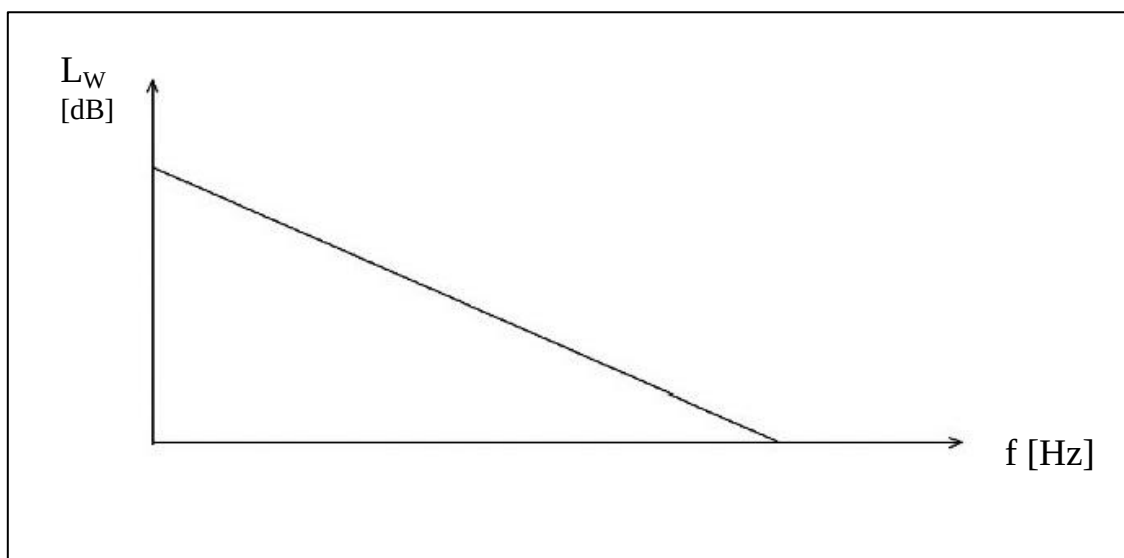
9. ábra: Fehér zaj színeképe

Forrás: Horváth, 2011



10. ábra: Szürke zaj színeképe

Forrás: Horváth, 2011



11. ábra: Rózsaszín zaj színeképe

Forrás: Horváth, 2011

3. Hangterjedés

Szabad és zárt terekben másképp terjednek a hangok, és különböző módon viselkednek. A hangok közeghatárra érve visszaverődhetnek, elnyelődhetnek, illetve áthatolhatnak a közegen.

3.1. Hangterjedés szabad hangtérben

„Lélegző gömbbel” modellezhető pontszerű hangforrás esetén a hang koncentrikus gömbhullámok alakjában terjed. A teljesítmény a távolság négyzetével növekvő felületen oszlik meg, tehát az intenzitás ennek megfelelően az alábbi módon csökken:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Mivel levegőben, normál állapotot megközelítő esetben a célszerűen megválasztott referenciák miatt a hangnyomásszint és az intenzitásszint megegyezik, egyenletes gömbsugárzó esetén a hangnyomásszint és hangteljesítményszint kapcsolata a távolságtól függően:

$$L_p = L_w - 20 \cdot \lg \frac{r}{r_0} - 11 \text{ [dB]}$$

Ha a sugárzás intenzitása valamely irányban az átlagosnak D-szerese:

$$L_p = L_w - 20 \cdot \lg \frac{r}{r_0} - 11 + 10 \cdot \lg D \text{ [dB]}$$

Ez tehát azt jelenti, hogy 6dB hangnyomásszint-csökkenést okoz a távolság megkétszerezése.

Végtelen vonallal jellemezhető vonalforrás esetén a hangenergia a távolsággal lineárisan növekvő hengerfelületen oszlik meg. A hangnyomásszint:

$$L_p = L_w - 10 \cdot \lg \frac{r}{r_0} - 6 \text{ [dB]}$$

Látható, hogy vonalsugárzó esetén csak 3dB csökkenést eredményez a távolság megkétszerezése, vagyis nehezebb a zaj elől menekülni. (Fórián, 1991)

3.2. Hangterjedés zárt térben

Zárt tér esetén, ha a hanghullámok elérnek a határfelülethez, energiájuk egy része elnyelődik, a többi visszaverődik. Egyensúlyi állapotban az időegység alatt elnyelt energia és a hangforrás teljesítménye megegyezik, amiből az következik, hogy a hangforrástól távol a hangnyomásszint csak a határoló felületek $A \text{ [m}^2\text{]}$ nagyságától és az α hangelnyelési tényezőtől függ. Ezekkel számolva a teremállandóra a következő összefüggés érvényes:

$$R_T = A \cdot \frac{\alpha}{1 - \alpha} \text{ [m}^2\text{]}$$

Kis teremállandó esetén a zengő tér, nagy teremállandó esetén a süket szoba kifejezést használjuk a lehallgatási térre.

Visszavert, vagy szórt hangtérben kialakuló hangnyomásszint nagysága:

$$L_p = L_w + 10 \cdot \lg \frac{4}{R_T} \text{ [dB]}$$

A hangforráshoz közel zárt térben a szabad téri terjedésnek megfelelő, közvetlen hangtér hatása érvényesül, így az eredő hangtér:

$$L_p = L_w + 10 \cdot \lg \left(\frac{I}{4\pi r^2} + \frac{4}{R_T} \right) \text{ [dB]}$$

A hangelnyelési tényező a felület anyagától, szerkezetétől, frekvenciájától függ. Jó hangelnyelési tényezővel rendelkeznek a szivacsos, szálás anyagok, mint például: ásvány-üveggyapot, habszivacs. (Fórián, 1991)

Néhány jellegzetes hangelnyelési tényező $f = 1000 \text{ Hz}$ -nél:

3. táblázat: Hangelnyelési tényező 1 kHz esetén

Felület	α
<i>csempe, vízfelület (uszoda)</i>	0,01
<i>vakolt, festett fal</i>	0,04
<i>kőzetgyapot</i>	0,85
<i>100mm vastag nyitott ablak</i>	1,00

Forrás: Fórián, 1991.

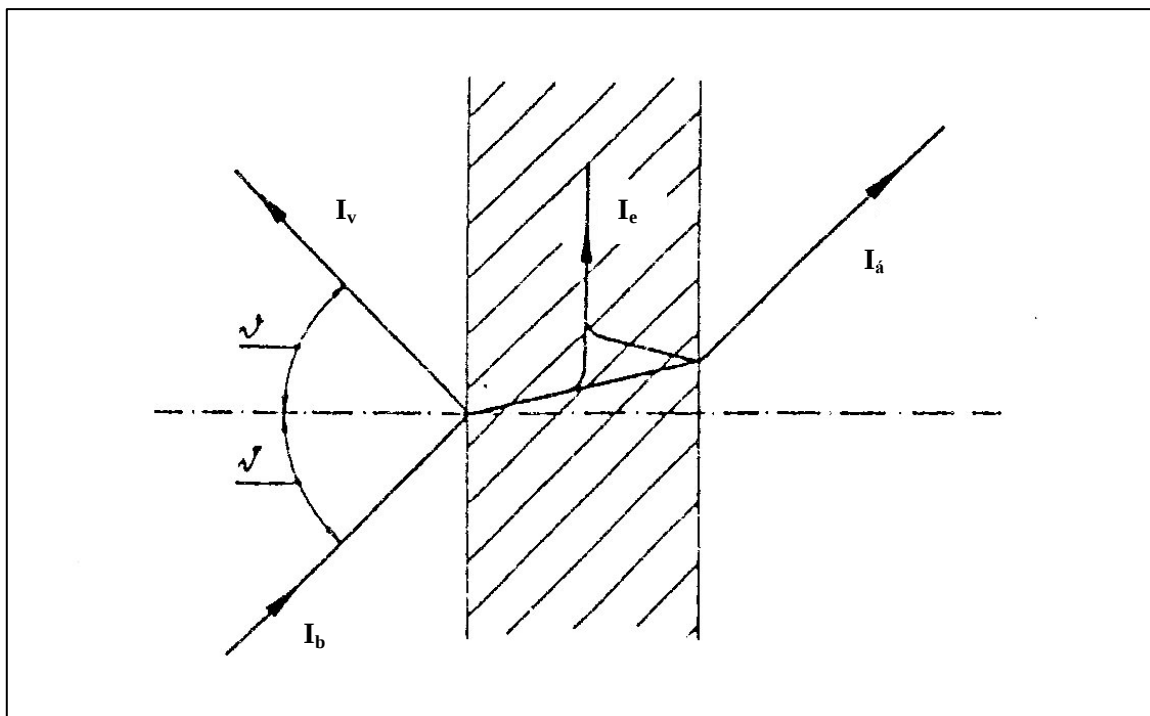
3.3. Hangterjedés falon keresztül

A különböző zajforrások környezetre gyakorolt hatását jelentősen befolyásolják az ezeket lehatároló szerkezetek. Ezeket a szerkezeteket, épületeket az egyszerűség kedvéért falnak nevezzük. (Kováts, 1998)

3.3.1. Visszaverődés és elnyelődés

Valamely falat érő I_b beeső intenzitású hanghullám egyik része visszaverődik (I_v), másik része elnyelődik a falban (I_e), a maradék rész a falon áthaladva a tér másik oldalán kilép (I_a). A jelenséget az 12. ábra szemlélteti. Az energia megmaradásának elvét alkalmazva a beeső intenzitás:

$$I_b = I_v + I_e + I_a \left[\frac{W}{m^2} \right]$$



12. ábra: Hanghullám viselkedése falban

Forrás: Kováts, 1998

A veszteségi tényező (δ) az elnyelt intenzitás és a beeső intenzitás hányadosa:

$$\delta = \frac{I_e}{I_b}$$

A visszaverődési tényező (ρ) a visszavert intenzitás és a beeső intenzitás hányadosa:

$$\rho = \frac{I_v}{I_b}$$

Az átvezetési tényező (τ) a fal túloldalán kilépő intenzitás és a beeső intenzitás hányadosa:

$$\tau = \frac{I_a}{I_b}$$

Az előző összefüggésekből következik, hogy: $\delta + \rho + \tau = 1$.

A vissza nem vert energiahányadot elnyelési tényezőnek (α) nevezzük:

$$\alpha = \delta + \tau$$

Az átvezetési tényezőből képzett jellemző a hanggátlás [R] (Kováts, 1998):

$$R = 10 \cdot \lg \frac{1}{\tau} = -10 \cdot \lg \tau = 10 \cdot \lg \frac{I_b}{I_a} \text{ [dB]}$$

4. Zajmérés és műszerei

Ebben a fejezetben a zajmérés különböző módszerei és műszerei kerülnek tárgyalásra. Megkülönböztetünk szubjektív, illetve objektív méréseket, melyek jellemzőit a 4.4. fejezetben mutatom be. A hangnyomásszint mérésére leginkább alkalmas eszközök a mikrofonok, amelyekben belül beszélhetünk kristálymikrofonokról, dinamikus mikrofonokról, valamint kondenzátor mikrofonokról. A mikrofonok jellemzőiről, illetve kalibrálásukról is e fejezetben nyerhetünk betekintést.

4.1. Hangosságszint

A hangosságszint olyan élettani mennyiség, amely a hangosság jellemzésére szolgál. Szabványos egysége a phon, jele: L_N . Értelmezés szerint annak az 1kHz frekvenciájú, szabad hangtérbe érkező tisztahangnak a hangnyomásszintje, amely azonos hangérzetet kelt a vizsgált hanggal. (Kováts, 1998)

4.2. Hangosság

A hangosság a hangosságérzetet jellemző fizikai mennyiség, amely a hangnyomás-, ill. hangosságszinttel ellentétben lineáris kapcsolatot teremt az egyes összetevők között. Jele: N , mértékegység son.

A hangosság – hangosságszint közötti kapcsolat:

$$N = 2^{0,1 \cdot (L_N - 40)} [\text{son}],$$

tehát ha $L_N = 40\text{phon}$, akkor $N = 1\text{son}$, vagyis 10phon növekedés megfelel kb. 2-szeres hangérzet változásnak. (Kováts, 1998)

4.3. Egyenértékű hangnyomásszint

Az egyenértékű hangnyomásszint a zaj erősségén kívül az egyes terhelések behatási idejét is figyelembe veszi, vagyis az időben változó hangnyomásból képzett átlagolt érték.

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

ahol $p(t)$ az időben változó hangnyomás Pa-ban, p_0 a vonatkoztatási hangnyomás, t_1 - t_2 a megfigyelési intervallum s-ban, $T = t_2 - t_1$. (Kováts, 1998)

4.4. Zajosság mérése

A zajforrások zajosságának méréséhez jó néhány olyan paramétert és információt kell ismernünk, amelyek fontosak a mérési módszer szempontjából, valamint segítenek dönteni a mérési adatok további feldolgozásáról. Ilyen fontos információ többek között a zaj spektrumjellege, amely a mérési adatok feldolgozásához szükséges, vagy a zajhatás és a csendes intervallumok időtartalma, amely a zajexpozíció meghatározásához nélkülözhetetlen. Továbbá a mérés során tudnunk kell azt is, hogy milyen a hang jellege, nem befolyásolja-e a háttérzaj a mérési eredményeket, a méréseket közvetlen vagy visszavert hullámok hangterében végezzük-e. (Ctirad, 1975)

Maga a zajosság mérése történhet szubjektív, ill. objektív mérési módszerekkel, amelyeket a továbbiakban mutatok be.

4.4.1. Szubjektív mérések

A szubjektív mérések lényege az, hogy a megfigyelt zajt egy jellel hasonlítjuk össze, melynek szintjét addig változtatjuk, ameddig a megfigyelő a két zajt ugyanolyan hangosnak nem hallja. Az ilyenfajta mérési módszernél a referenciajel lehet: egy 1 kHz frekvenciájú hang, vagy egy tiszta szinuszos jel, vagy egy olyan keskeny sávú zörej jele, amelynek közepes frekvenciája 1kHz és legfeljebb 1/3oktáv a sáv szélessége. Feltétel, hogy a referenciajelnak síkhullám formájában kell érkeznie a megfigyelőhöz, akinek azt mindkét fülével érzékelnie kell. A referenciajelet rendszerint hangosság szintekben phonokban (ph) mérjük, viszont hangnyomásszintekben is mérhetjük, mivel 1kHz frekvenciájúnak kell lennie, s ekkor a referenciajel decibelben megadott hangnyomásszintje egyenlő a phonokban megadott hangosság szinttel. Ezzel szemben az eredő hangosságot sonokban adjuk meg. A szubjektív méréseket csak tudományos kísérleteknél használják, mivel rendkívül idő és műszerigényesek, valamint a zajosság legrégebbi mérései voltak. (Ctirad, 1975)

4.4.2. Objektív mérések

Ebben az esetben az ismeretlen zaj által előidézett hangnyomást mérjük, amit $2 \cdot 10^{-5} \text{Pa}$ referenciaértékre vonatkoztatott szintjével adunk meg. Minden esetben hangnyomásszintet mérünk, attól függetlenül, hogy éppen súlyozó vagy sávszűrőt használunk. A mért hangnyomásszintet a továbbiakban a kívánt hangtani jellemzőre számoljuk át, amelyből az következik, hogy a hangnyomásszintből utólagos számolással meg tudjuk határozni a hangteljesítményt, illetve szintjeit. Az objektív méréseknél tehát mindig azonos fizikai

jellemzőt mérünk, és csak a kiértékelés során végzünk el különböző átszámításokat, átalakításokat vagy transzformációkat. (Ctirad, 1975)

4.5. Zajmérő műszerek

Zajok mérésénél és szabályozásánál a zajjellemzők ismerete elengedhetetlen. Az egyik ilyen legfontosabb jellemző a forrásteljesítmény, amelyet legegyszerűbben hangnyomásszint méréssel lehet meghatározni.

A zaj és rezgésmérésekhez használatos műszerrendszerek alapelemei a következők:

- a. átalakító (zajmérésnél mikrofon)
- b. erősítő és erősítésszabályozó
- c. szűrő (pl. tercszűrő)
- d. adattároló (pl. mérőmagnetofon)
- e. szintmérő (pl. mutató vagy grafikus)

A műszerek kiválasztását befolyásoló tényezők:

- a. a zaj (vagy rezgés) jellege,
- b. a megkívánt felvilágosítás mértéke,
- c. a rendelkezésre álló idő

A zaj jellege szerint lehet állandó fehér zaj (ilyenek a környezeti és áramlási zajok), állandó keskenysávú zajok (pl. transzformátorok, állandó fordulatszámú berendezések zaja), ütközési zaj (lehet robbanás, hanglökések), ismétlődő ütközési zaj (pl. szerszámok, fegyverek zaja), időszakos zaj (közlekedési zaj).

A zaj jellege alapján: állandó vagy fehér zajokhoz általában elegendő egy egyszerű hangnyomásszint mérő vagy annak oktávsvávos elemzővel való kiegészítése, amennyiben ez nem ellentétes a méréshez rendelkezésre álló idővel. Keskenysávú zajokhoz azonban ezeken az eszközökön kívül már terc vagy keskenysávú elemzőkre is szükség van. (Kováts, 1998)

4.5.1. Kalibráló készülékek

Mérés előtt a műszerrendszereket mind az érzékelőre, mind az elektronikus részre vonatkozóan kalibrálni kell. A kalibrálás történhet abszolút, relatív, vagy összehasonlító eljárással. A mikrofonok kalibrálásához ismert jellemzőjű zajgenerátorokat alkalmaznak. Az előállító forrás lehet fehér zaj, illetve szinuszos jel. Az utóbbi az elterjedtebb, mert a használata egyszerűbben kivitelezhető. Két alapvető típus használatos: pisztonfon és gerjesztett rezonátorral működők. (Kováts, 1998)

1. Pisztonfon

Ismert térfogatú kamra, melyben egy mechanikus mozgású dugattyú ismert nyomásingadozást hoz létre. Ekkor a térhez csatlakozik a kalibráló mikrofon. Adiabtikus állapotváltozást feltételezve a gerjesztés hatására kialakuló nyomás

$$\text{effektív értéke: } p(t) = \frac{K \cdot p_{\text{stat}} \cdot A \cdot s}{\sqrt{2} \cdot V_0} [\text{Pa}],$$

ahol K az adiabtikus állapotváltozásra vonatkozó fajhőviszony, p_{stat} a környezeti légnyomás, A a dugattyú felülete, s a dugattyú lökete, V a kamratérfogat.

A pisztonfonok állandó frekvencián működnek általában 200, 250, 400 és 1000Hz-en, s 120...125dB hangnyomásszintet állítanak elő. (Kováts, 1998)

2. gerjesztett rezonátorral működő kalibrátor

1 kHz-en kristályvezérelt oszcillátor állítja elő az alapjelet, melyet egy membrán sugároz a mérőtérbe. Az erősítés üvegrezonátorral történik. Általában 100dB alatti hangnyomásszintet állítanak elő. (Kováts, 1998)

Mindkét típus pontossága $\pm 0,2...0,3\text{dB}$. A hitelesítés a kalibrálásnál pontosabb, igényesebb eljárás. Az előbbi két készülék erre nem alkalmas, erre a célra a reciprocitást vagy összehasonlító eljárást alkalmazzák. (Kováts, 1998)

4.5.2. Mikrofonok

A mikrofon a zajmérő műszer leginkább kritikus része, levehető a műszerről, nagyon érzékeny, a nyomásingadozást alakítja át villamos jellé.

Legfontosabb elvárások a mikrofonokkal szemben (Kováts, 1998):

- széles dinamika-tartomány
- linearitás az egész dinamikatartományban
- teljes mérési sávban egyenletes frekvenciamenet
- viszonylag kis méret
- hosszidejű stabilitás

Három alapvető típus:

a. kristálymikrofon: piezo-elektromos elven működik, azaz mechanikai feszültség hatására töltésjelet képez, jellemzői a következők (Kováts, 1998):

- viszonylag nagy jelet szolgáltat
- rossz a frekvenciamenete
- olcsó
- akusztikai mérésekhez ma már nem használatos

b. **dinamikus mikrofon:** merev kapcsolatban lévő tekercs egy permanens mágnes által létrehozott térben, a mágnes két pólusa között mozog, így feszültség indukálódik a tekercsben, jellemzői a következők (Kováts, 1998):

- kisebb jelet szolgáltat
- alacsony a belső ellenállása (előnyös)
- jól bírja a külső igénybevételeket
- nem elég széles a frekvenciatartománya
- érzékeny a külső zavaró térre

c. **kondenzátor mikrofon:** tulajdonképpen egy kondenzátor, melynek egyik fegyverzete maga membrán, s a másik rögzítetten beépített. A dielektrikum a közeg, amelyben mérünk, tehát ha az áramkörben forrás van, feszültségváltozás jön létre. A kondenzátor mikrofon jellemzői a következők (Kováts, 1998):

- széles tartományban egyenletes a frekvenciamenete
- időtálló konstrukció
- mechanikai sérülésre érzékeny
- segédenergiát igényel
- drága
- igen nagy a dinamika átfogása
- akusztikai mérésekhez ma kizárólag ilyen mikrofont alkalmaznak

A mikrofonokat, mint elektromechanikus átalakítók viselkedését a gyártó jó néhány paraméter megadásával jellemzi, ezek közül az öt legfontosabbat alább adjuk meg (Tarnóczy, 1984):

- *érzékenység*, amely a mikrofon kimenő kapcsán keletkező feszültség és a hangnyomás hányadosa
- *frekvencia-jelleggörbe*, amely az érzékenységi szint változása a frekvencia függvényében
- *irány-jelleggörbe*, amely az érzékenységi szint változása az irány függvényében
- *torzítás*: a mikrofonban keletkező elektromos összetevők effektív értékei az alapjel effektív értékéhez viszonyítva
- *működési tartomány*: a vizsgálható hangnyomás alsó szintje a zavar szint függvényében, felső szintje pedig a torzítás függvényében mérhető.

Természetesen ezeket az adatokat meg is kell mérni! (Tarnóczy, 1984)

A mérőmikrofonok üzemeltetéséhez különböző kiegészítő elemekre is szükség van, amelyeket mikrofontartozékoknak nevezünk. Ilyenek a különféle állványok, csatlakozók,

illetve a légmozgás miatti zavaró hatások kiküszöbölését szolgáló szélvédők. (Kováts, 1998)

4.5.3. Hangnyomásszint mérők

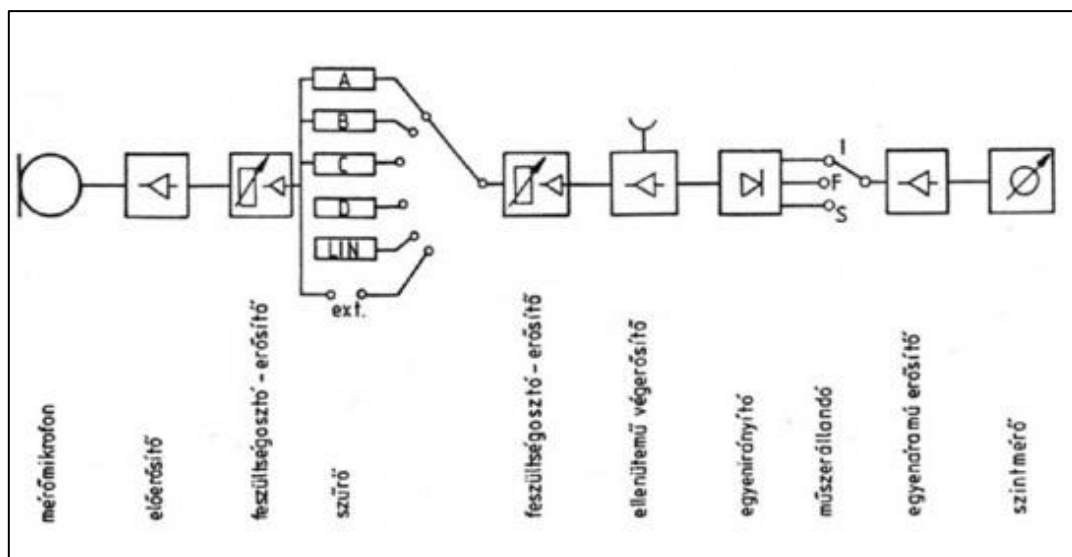
A hangnyomásszint mérő műszer mikrofon – erősítő és erősítésszabályzó – szűrő – szintmérő elemekből áll. A mikrofon a hangnyomással arányos feszültséget szolgáltat, amely az előerősítő fokozat után lépcsőkben kapcsolható feszültségosztókra, majd a második erősítőre kerül. Ezután a jel a szűrőkön halad át, majd a második feszültségosztón, amely az első feszültségosztóval párhuzamosan működik, ezt követően az ellenütemű végerősítőn, végül az egyenirányítón, ahol beállítható a műszer időállandója. Az időállandó a ráfelelést határozza meg, melynek értékei:

- Lassú – Slow (S): 1000 ms, effektív értékhez közeli eredményt ad
- Gyors – Fast (F): 125 ms, fizikailag csúcs- vagy effektív érték
- Impulzus (I): 35 ms, a halláskárosodási határgörbe feletti hangnyomásszinteknél a mért érték közel azonos a csúcserővel

Az ellenütemű végerősítő után az utolsó fokozat a kimeneti erősítő és jelzőműszer.

A hangnyomásszint mérők üzemi és laboratóriumi kivitelben is készülhetnek. Különböző pontosságú súlyozó szűrőkkel rendelkeznek, melyeknek menetét szabványok rögzítik S, F, I időállandóval. Az A-szűrő a 40phonos-görbe 40dB-re vonatkoztatott tükörképe, általában humán-centrikus mérésekhez használják. A B- és C-szűrők használata manapság már ritka, a D-szűrőket repülési zajok megítéléséhez alkalmazzák. A súlyozó szűrők jelölése: dB(A), dB(B) stb.

Az integráló típusú zajmérők az egyenértékű hangnyomásszint (L_{eq}) mérésére is alkalmasak. Az azonos energia elvén működik, többállású, számítógéphez csatlakoztatható. Alkalmas még környezeti és üzemi zajok azonosítására, továbbá a halláskárosodási kockázat felbecsléséhez. (Kováts, 1998)



13. ábra: Hangnyomásszint mérő vázlata

Forrás: Kovács, 1998

4.5.4. Sávszűrők és frekvenciaelemzők

A sávszűrők állandó sáv szélességű és állandó százaléku kivitelben készülnek. Ha a zaj színe folytonos és abban nincsenek tisztahangok, akkor a zaj elemzésére általában az oktáv szűrő alkalmas, amely egy állandó relatív sáv szélességgel működő elemző. Az egyes szűrő sávokat a középfrekvenciájukkal jellemezhetjük, melyek szabványosak.

A középfrekvenciák

$$f_{mi} = 2 \cdot f_{mi-1} = 2^n \cdot f_{m(i-n)},$$

ahol f_{mi} az i -edik áteresztő sáv középfrekvenciája, $f_{m(i-1)}$ az $(i-1)$ -dik sáv középfrekvenciája.

Az abszolút sáv szélesség: $B = f_f - f_a = 2 \cdot f_a - f_a = f_a$

A középfrekvencia: $f_m = \sqrt{f_f \cdot f_a} = \sqrt{2 \cdot f_a \cdot f_a} = f_a \cdot \sqrt{2}$

Ezekből az összefüggésekből következik, hogy a sáv szélesség:

$$B = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot f_m = 0,707 f_m = 70,7 \% f_m$$

Pontosabb elemzés tercszűrővel valósítható meg, ekkor a középfrekvenciák:

$$f_{mi} = 2^{1/3} f_{m(i-1)} = 2^{n/3} f_{m(i-n)},$$

ahol az egyes jelölések az oktáv sávoknál használtakkal megegyeznek.

A keskenysávú szűrők sáv szélessége 3,16 – 1000 Hz. Regisztrálásra alkalmasak, mivel vezérelhető kivitelben készülnek. A jelenlegi mérés technikában szerepük egyre csökken, mert helyettük inkább FFT elemzők kerülnek alkalmazásra, amelyek a spektrum teljes sáv szélességgel történő megjelenítésére alkalmas. Folyamatos és változó zajok elemzésére a frekvenciaelemzők alkalmasak. (Kovács, 1998)

4.5.5. Adattárolók és szintírók

Az adattárolók 2-4 mérőcsatornával rendelkeznek, többnyire mágnesszalagos rendszerűek. A felvételek kis részletekben történő vizsgálatát a beépített hurokadapter teszi lehetővé. Feladatuk a zajjellemzők rögzítése.

A szintírók a mérési eredmények regisztrálására alkalmasak a frekvencia vagy az idő függvényében. A kiírás többféle módon történhet, a kiírási sebesség széles határok között változhat. Kiegészítő tartozékok segítségével polárdiagramok felvételére is alkalmasak, a rögzített jel csúcs-, effektív- vagy számtani középérték lehet. (Kováts, 1998)

5. Gumihevederes szállítószalag görgők zajteljesítmény-szintjének meghatározása

Gumihevederes szállítószalag görgőknek mértem meg a hangnyomásszintjét a Labview nevű program és a hangnyomás egyidejű, több csatornán történő mérésére alkalmas mérőrendszer segítségével. A mért adatokból átlagos hangnyomásszinteket számoltam, majd azokról meghatároztam a zajteljesítmény-szinteket.

Mérés szabad hangtérben

A pontosság lehet: tájékoztató, műszaki, pontos módszer

Műszaki módszer visszaverő felületen, szabad hangtérben:

- A mérés ideje alatt a levegő hőmérséklete ± 10 K-nel, a relatív nedvességtartalom pedig $\pm 15\%$ -kal változhat.
- A használt mikrofonnak alkalmasnak kell lenni szabad hangtérben való mérésre, amelyet a mérés előtt és után kalibrálni szükséges.
- A mérési jegyzőkönyvben fel kell tüntetni a kalibrátor és a készülék gyári számát.
- A mikrofont úgy kell felállítani, hogy az a vizsgálandó pontra irányuljon!
- A mikrofon és a vizsgált gép között nem lehet olyan tárgy, amely a hangteret torzítja!
- A forrás mindig irányított sugárzással bír, tehát nem elegendő egy ponton mérni!
- Minden mérési pontban mérni kell az A-hangnyomásszintet!
- A forrást körül vesszük egy képzeletbeli zárt felülettel és a pontjaiban mérünk hangnyomást. A zárt felület a hangvisszaverő síkra támaszkodik.
- A mérőfelület d mérési távolságban helyezkedik el a mért objektumot magába foglaló derékszögű hasábtól.
- A mérési távolság $d = 1$ m, ami 0,25m távolságig csökkenthető, ha szükséges.
- A mérési távolság minimuma: $d = \frac{L}{f_{\min}}$, $L = \frac{c}{f_{\min}}$
- A mérési pontok száma elsősorban a mérési felülettől függ, de ha van rá lehetőség nem lehet 8-nál kevesebb, valamint ha a legkisebb és legnagyobb mért érték közötti különbség eléri a 8 dB-es értéket, akkor meg kell kétszerezni a mérési pontok számát.
- Mérhetünk lineáris „L” vagy súlyozott „A” értéket.
- A háttérzaj 10 dB-el kell kisebb legyen, mint a gép zaja.
- Az átlagolt érték: $L_m = 10 \cdot \lg\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}\right)$
- A gép teljesítménye: $L_W = L_m + 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0}$, ahol $S_0 = 1 \text{ m}^2$

- A mérőfelület nagysága: $S = 4 \cdot (ab + ac + bc) \cdot \frac{a+b+c}{a+b+c+2d}$
- A mérési eredményeket természetesen minden esetben mérési jegyzőkönyvben kell rögzíteni.

(Forrás: *Magyar Népköztársasági Országos Szabvány, MSZ KGST 1412-78*)

Felhasznált eszközök:

- forgatóegység
- görgők [szabvány méret: L = 315mm, d = 89mm]
- stroboszkóp
- a hangnyomás egyidejű, több csatornán történő mérésére alkalmas mérőrendszer

A mérést a Labview nevű számítógépes program segítségével végeztem el, amelyet az alábbiak jellemeznek:

A LabView egy grafikus programfejlesztő rendszer, amely elsősorban mérés technikai és jelfeldolgozási feladatok megoldására alkalmas. A grafikus programozás viszonylag könnyen követhető programozási módot jelent, mely a hagyományos programnyelveket nem ismerőknek készült. Azonban meg kell jegyezni, hogy a programozás alapvető jellemzői a C programnyelvnél megismertekhez hasonlóak, vagyis bármilyen hagyományos programnyelv alapszintű ismerete segít a kezdeti lépésekben. A Labview program mindenkinek ajánlható, aki gyorsan és egyszerűen szeretne saját mérőprogramot készíteni. A rendszer virtuális műszerezésre szolgál. (Váradiné, 2003)

- 1986 óta használják ezt a szoftvert a mérnökök és tudósok az iparban
- a szoftver alkalmas tervezésre, ellenőrzésre, illetve tesztelésre költséghatékonyan
- többféle típust különböztetünk meg, amelyek többféle funkcióval rendelkeznek
- használata egyszerű
- könnyen elérhető
- alkalmazásával időt takarítunk meg
- a számítógépet nem lassítja le

Mérő modulok (Measurement Modules for NI CompactDAQ):

- többféle detektor közül választhatunk
- a detektor különböző fizikai mennyiségek mérésére alkalmas
- típusai: feszültség, hőmérséklet, ellenállás, nyomás,
- a csatornák száma: 3-32

Dynamic Signal Acquisition (DSA):

- USB, PCI, PXI-ra csatlakoztatható
- mikrofonokkal pontos mérés valósítható meg széleskörű skálán
- széles körben felhasználható az iparban zajok felismerésére vagy audio tesztekre

(Forrás: NI Product Guide)

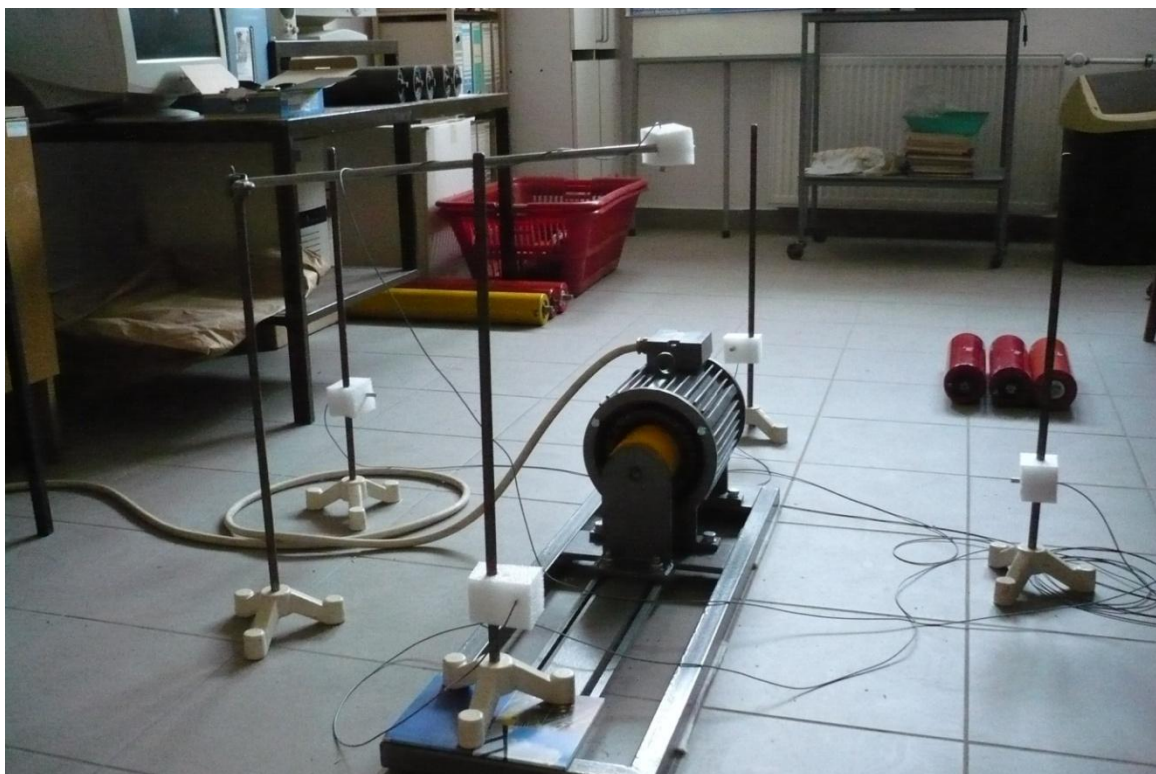
Mérés menete

A mérésre 2014 áprilisában és júniusában került sor. Tizenkettő darab görgőnek vizsgáltam meg a hangnyomásszintjét, ebből 10 használt, 2 pedig még be nem épített görgő volt (lásd: 14. ábra). A mérés során a forgó görgőt egy képzeletbeli felülettel vettem körül, s 5 pontban mértem a hangnyomásszintet, amelyet a 16. ábra szemléltet. ISO MSZ EN 3744 szerint a mikrofonokat kb. 40-50cm-es távolságra helyeztem el a mért objektumtól. Mindegyik görgő esetében 3db mérést végeztem a tápláló transzformátor 10, 15 illetve 30%-os állásában. Az ezen állásokhoz tartozó görgő fordulatszámokat stroboszkóp segítségével mértem meg. A mért hangnyomásszintekből átlag-párokat képeztem, majd ezt követően kiszámoltam az átlagos hangnyomásszintet.



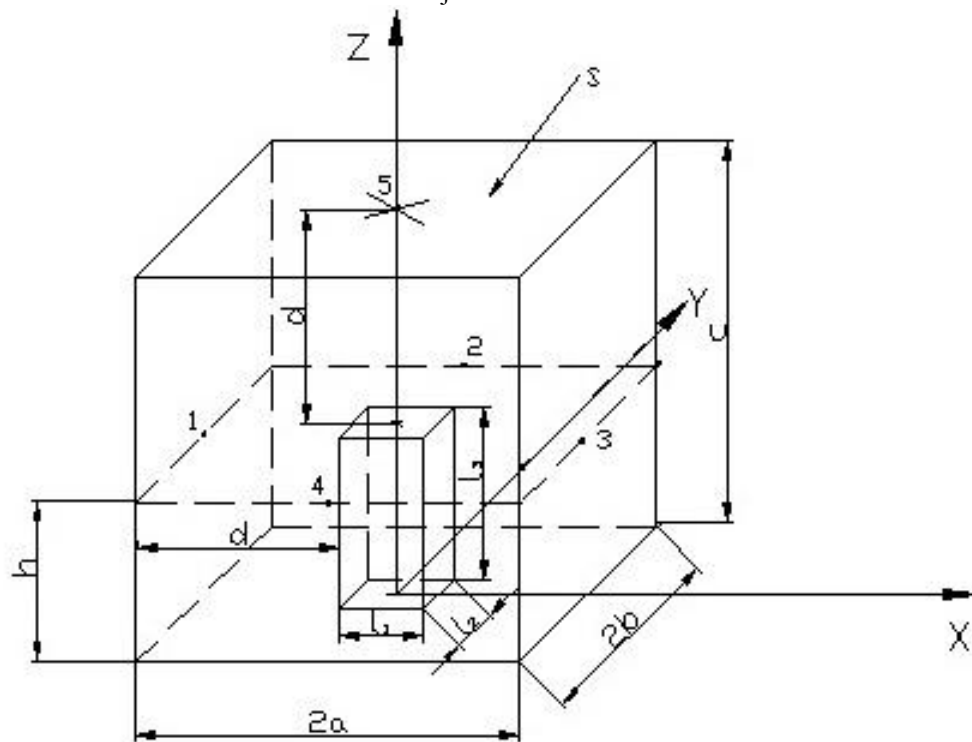
14. ábra: A méréshez használt görgők

Forrás: Szerző saját szerkesztése



14. ábra: Laboratóriumi mérési elrendezés

Forrás: Szerző saját szerkesztése



16. ábra: A mért objektumot körülvevő képzeletbeli felület

Forrás: Szerző saját szerkesztése

A mérőfelület (S) kiszámítása:

$$l_1 = 330\text{mm} = 0,330\text{m}$$

$$l_2 = 100\text{mm} = 0,100\text{m}$$

$$l_3 = 250\text{mm} = 0,250\text{m}$$

$$d = 45\text{cm} = 0,450\text{m}$$

$$a = 0,5 \cdot l_1 + d = 0,5 \cdot 0,330\text{m} + 0,450\text{m} = 0,615\text{m}$$

$$b = 0,5 \cdot l_2 + d = 0,5 \cdot 0,100\text{m} + 0,450\text{m} = 0,500\text{m}$$

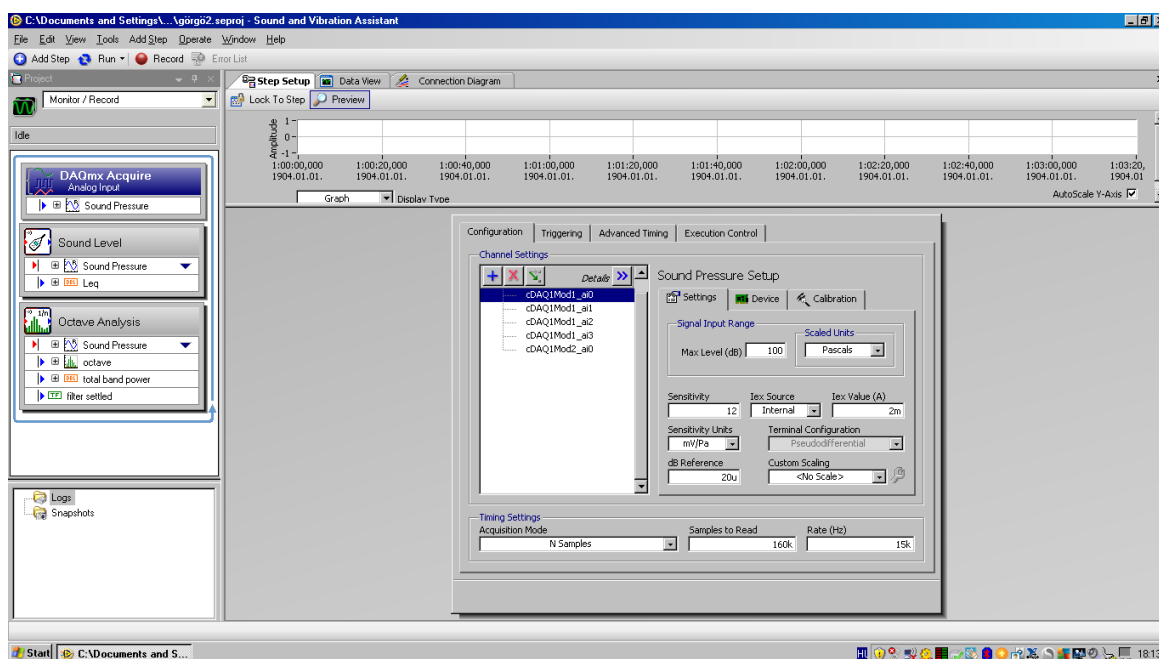
$$c = l_3 + d = 0,250\text{m} + 0,450\text{m} = 0,700\text{m}$$

$$S = 4 \cdot (ab + ac + bc) \cdot \frac{a+b+c}{a+b+c+2d}$$

$$S = 4 \cdot (0,615 \cdot 0,500 + 0,615 \cdot 0,700 + 0,500 \cdot 0,700) \cdot \frac{0,615+0,500+0,700}{0,615+0,500+0,700+2 \cdot 0,450}$$

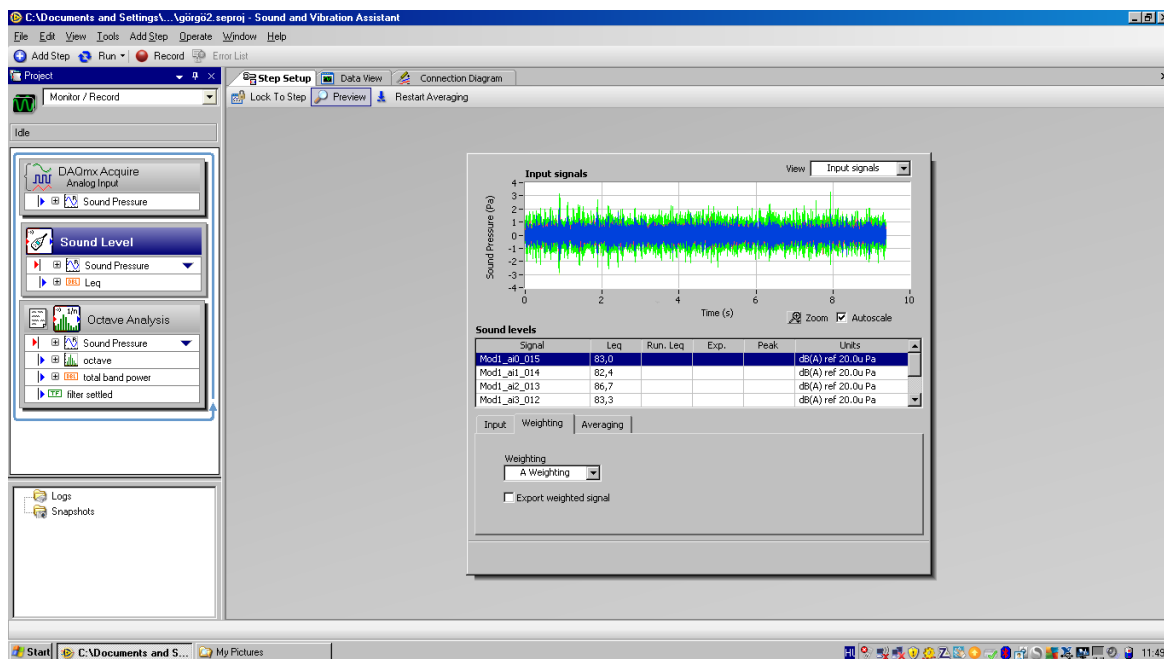
$$S = 2,9\text{m}^2$$

$$10 \cdot \lg\left[\frac{S}{S_0}\right] \text{ értéke } 4,62\text{dB}.$$



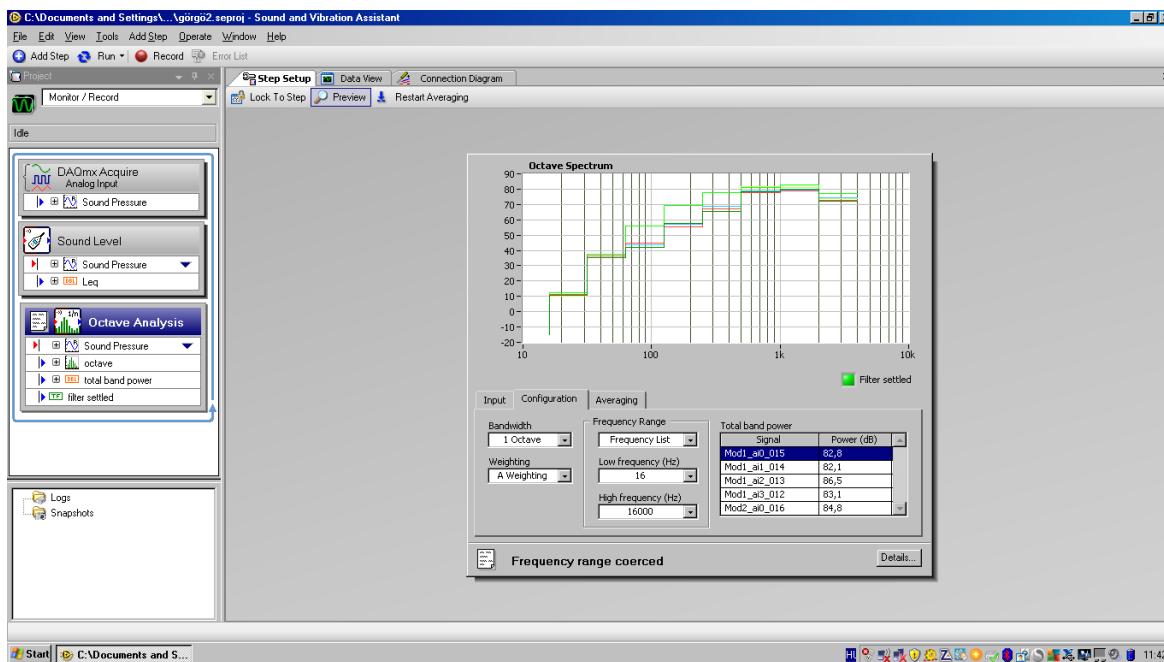
17. ábra: A Labview keretrendszerben szerkesztett program kezelői felülete

Forrás: Szerző saját szerkesztése



18. ábra: Labview ablak, az egyes csatornákhöz tartozó átlagos hangnyomásszintekkel

Forrás: Szerző saját szerkesztése



19. ábra: A mikrofonok jelei, októvósáv bontásban

Forrás: Szerző saját szerkesztése

Mérési eredmények, kiértékelés

$f = 5,6 \frac{1}{s}$ fordulatszám esetében:

A fordulatszámot stroboszkóp segítségével állapítottam meg, ami $5,6 \frac{1}{s}$ volt. Üzem közben a görgő érintkezik a hevederrel, ezért a görgőpalást kerületi sebessége megegyezik a heveder mozgási sebességével, ami az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$v = 2r \cdot \pi \cdot f = d \cdot \pi \cdot f = 0,089 \cdot \pi \cdot 5,6 = 1,56 \frac{m}{s}$$

4. táblázat: Mérési eredmények $1,56 \frac{m}{s}$ heveder sebesség esetén

Görgő	1.mikrofon [dB]		2.mikrofon [dB]		3.mikrofon [dB]		4.mikrofon [dB]		5.mikrofon [dB]	
1.	44,7	44,9	44,6	44,7	44,3	44,4	45,5	45,5	45,5	45,5
2.	44,3	44,4	45,0	45,0	45,2	44,6	45,8	45,8	46,3	46,2
3.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.	45,7	45,4	45,6	45,4	46,4	46,1	46,7	46,3	47,2	46,9
5.	50,4	51,6	49,2	50,5	50,3	51,8	50,5	51,6	51,0	52,3
6.	53,7	53,4	50,8	50,4	53,5	53,0	51,9	51,5	53,4	53,0
7.	51,8	51,1	49,6	49,1	50,3	49,8	50,6	50,1	51,0	50,6
8.	54,6	54,5	52,9	52,9	53,8	53,6	53,8	53,6	54,4	54,3
9.	65,8	65,2	66,1	65,5	68,2	68,2	67,7	66,8	69,0	68,6
10.	54,3	54,1	53,9	56,7	56,6	56,7	54,6	54,6	56,9	57,1
11.	72,8	72,0	72,2	71,1	78,9	77,3	74,0	73,1	74,8	74,1
12.	82,3	81,4	81,8	80,8	85,9	85,0	82,7	81,8	84,0	83,2

Forrás: Szerző saját szerkesztése

Átlagérték-párok képzése:

1-es görgő:

$$L_{p1} = 10 \cdot \lg[0,5 \cdot (10^{4,47} + 10^{4,49})] = 44,80 \text{ dB}$$

$$L_{p2} = 10 \cdot \lg[0,5 \cdot (10^{4,46} + 10^{4,47})] = 44,65 \text{ dB}$$

$$L_{p3} = 10 \cdot \lg[0,5 \cdot (10^{4,43} + 10^{4,44})] = 44,35 \text{ dB}$$

$$L_{p4} = 10 \cdot \lg[0,5 \cdot (10^{4,55} + 10^{4,55})] = 45,50 \text{ dB}$$

$$L_{p5} = 10 \cdot \lg[0,5 \cdot (10^{4,55} + 10^{4,55})] = 45,50 \text{ dB}$$

Az átlagos hangnyomásszint meghatározása az $L_m = 10 \cdot \lg\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i}\right)$ -K összefüggéssel történt, ahol K jelen esetben 0. Minden görgő esetében ezekkel az összefüggésekkel

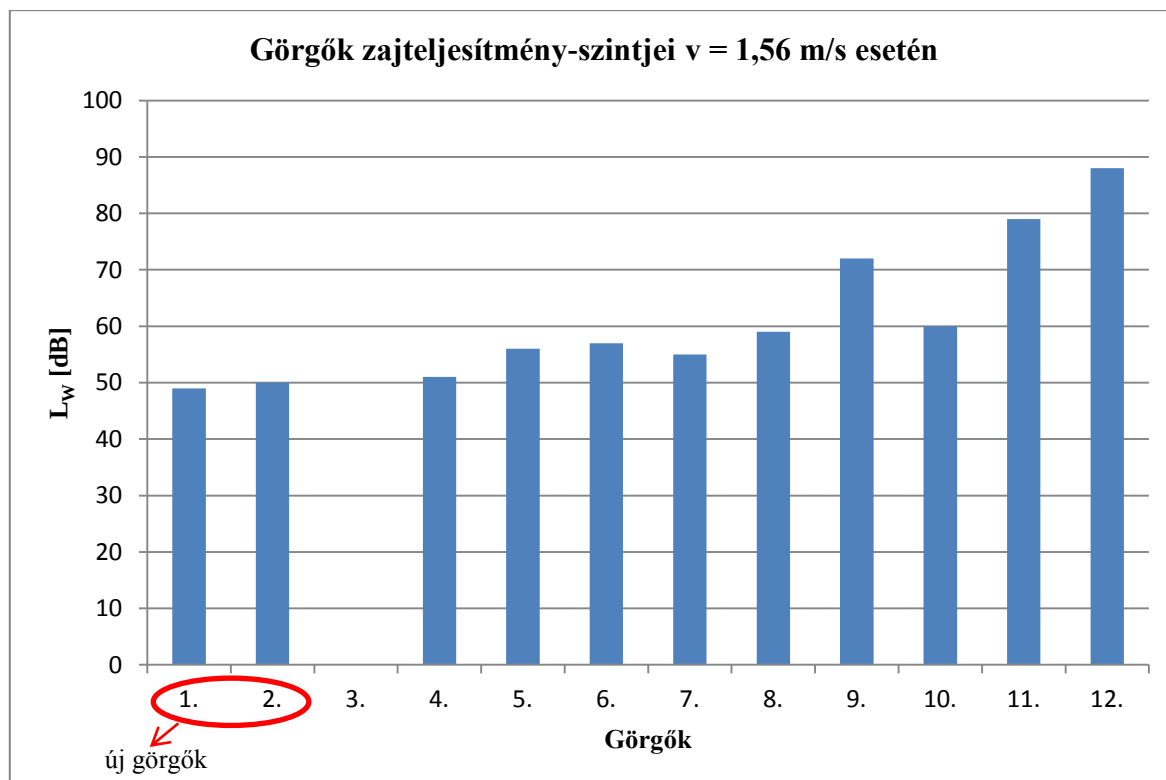
számoltam átlagérték-párokat, valamint átlagos hangnyomásszintet. A teljesítményszintet pedig az $L_w = L_m + 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0}$ képlettel számoltam, ahol S a mérőfelület nagysága m^2 -ben, $S_0 = 1m^2$.

5. táblázat: Görgők zajtelsítmény-szintjei $1,56 \frac{m}{s}$ heveder sebesség esetén

Görgő	L_{p1} [dB]	L_{p2} [dB]	L_{p3} [dB]	L_{p4} [dB]	L_{p5} [dB]	L_m [dB]	L_w [dB]
1.	44,80	44,65	44,35	45,50	45,50	44,78	49
2.	44,35	45,00	44,91	45,80	46,25	45,32	50
3.	-	-	-	-	-	-	-
4.	45,55	45,50	46,25	46,50	47,05	46,21	51
5.	51,04	49,90	51,11	51,08	51,70	51,00	56
6.	53,55	50,60	50,26	51,70	53,20	52,60	57
7.	51,46	49,36	50,06	50,36	50,80	50,46	55
8.	54,55	52,90	53,70	53,70	54,35	53,88	59
9.	65,51	65,81	68,20	67,27	68,80	67,31	72
10.	54,20	55,52	56,65	54,60	57,00	55,73	60
11.	72,42	71,68	78,17	73,57	74,46	74,73	79
12.	81,87	81,33	85,47	82,27	83,62	83,18	88

Forrás: Szerző saját szerkesztése

Az egyes görgők zajteljesítmény-szintjét $1,56 \frac{m}{s}$ heveder sebesség mellett az alábbi diagram szemlélteti:



20. ábra: Görgők zajteljesítmény-szintjei $1,56 \frac{m}{s}$ heveder sebesség esetén

Forrás: Szerző saját szerkesztése

Megállapítható, hogy a használt görgők lényegesen nagyobb zajteljesítmény-szinttel rendelkeznek, mint az újak. A négyes görgő is használt ugyan, viszont látható hogy az új görgőkhöz hasonlóan viselkedik, amiből arra következtethetünk, hogy nincs annyira elhasználódva, mint a többi használt. A hármas görgő a tömszelencék eltömődése miatt nem volt mérhető ezen a fordulatszámon az adott rendszerrel. A tizenkettes görgő volt a legjobban elhasználódva, mert zajteljesítmény-szintje lényegesen magasabb a többinél, majdnem 90dB.

$f = 14,1 \frac{1}{s}$ fordulatszám esetén:

A fordulatszámot stroboszkóp segítségével állapítottam meg, ami $14,1 \frac{1}{s}$ volt. Üzem közben a görgő érintkezik a hevederrel, ezért a görgőpalást kerületi sebessége megegyezik a heveder mozgási sebességével, ami az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$v = 2r \cdot \pi \cdot f = d \cdot \pi \cdot f = 0,089 \cdot \pi \cdot 14,1 = 3,94 \frac{m}{s}$$

6. táblázat: Mérési eredmények $3,94 \frac{m}{s}$ heveder sebesség esetén

Görgő	1.mikrofon [dB]		2.mikrofon [dB]		3.mikrofon [dB]		4.mikrofon [dB]		5.mikrofon [dB]	
1.	47,6	47,8	46,6	46,6	47,9	47,9	47,3	47,3	47,5	47,5
2.	46,9	46,4	47,0	46,2	48,2	47,5	48,1	47,1	48,7	48,1
3.	51,0	53,8	50,8	54,0	53,5	56,0	51,6	54,3	53,8	56,8
4.	49,9	49,7	49,0	49,0	51,6	51,6	50,2	50,3	51,5	51,5
5.	56,1	56,0	54,7	54,6	56,8	56,7	55,8	55,5	56,2	56,0
6.	58,7	59,1	57,4	57,8	60,2	60,7	58,6	59,2	60,7	61,2
7.	55,5	55,4	52,5	53,0	53,7	54,1	53,1	53,6	53,6	53,7
8.	57,5	57,9	55,9	56,1	57,9	57,8	57,0	56,8	58,1	58,0
9.	77,3	77,8	77,3	77,7	79,4	80,0	78,3	78,7	79,9	80,3
10.	60,7	62,9	62,9	61,2	61,2	63,6	61,2	61,7	63,4	64,1
11.	72,2	72,5	71,3	71,7	77,2	77,8	73,1	73,5	74,1	74,5
12.	86,4	86,2	86,0	85,9	90,0	90,0	86,9	86,7	88,0	87,9

Forrás: Szerző saját szerkesztése

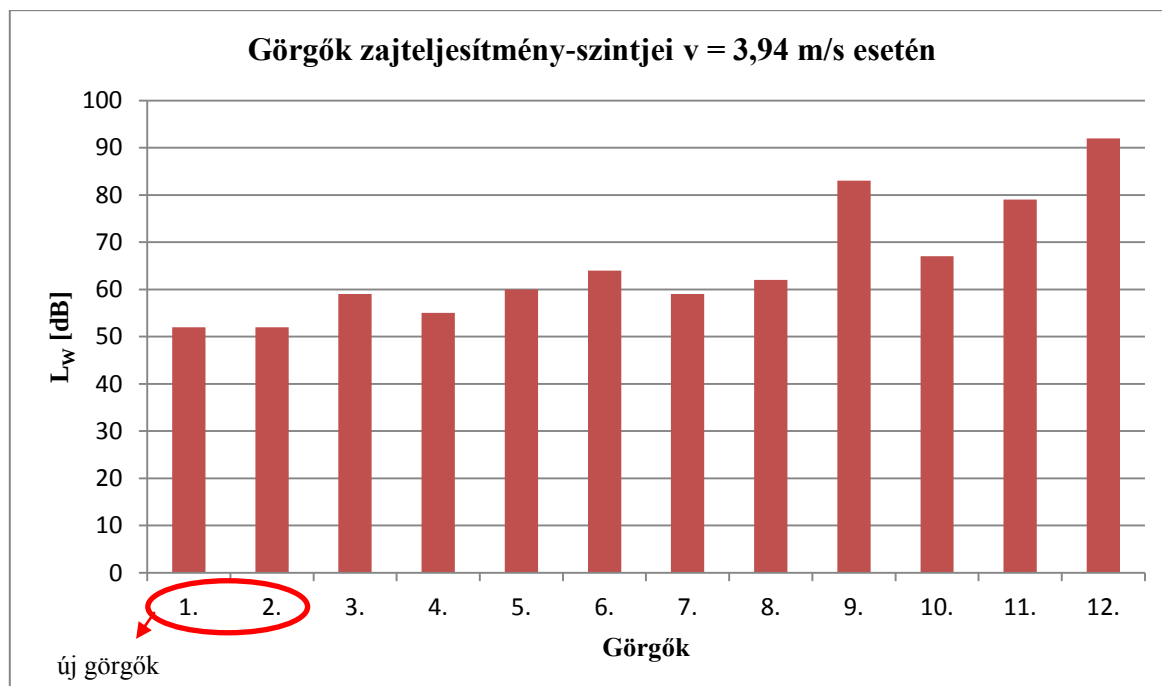
Az átlagérték-párokat, az átlagos hangnyomásszintet, valamint a teljesítményszintet a fentebb említett összefüggésekkel számoltam ki, s az így kapott eredmények a következők:

7. táblázat: Görgők zajteljesítmény-szintjei $3,94 \frac{m}{s}$ heveder sebesség esetén

Görgő	L _{p1} [dB]	L _{p2} [dB]	L _{p3} [dB]	L _{p4} [dB]	L _{p5} [dB]	L _m [dB]	L _w [dB]
1.	47,70	46,60	47,90	47,30	47,50	47,42	52
2.	46,66	46,62	47,86	47,63	48,41	47,49	52
3.	52,62	52,69	54,93	53,16	55,55	53,96	59
4.	49,80	49,00	51,60	50,25	51,50	50,54	55
5.	56,05	54,65	56,75	55,65	56,10	55,89	60
6.	58,90	57,60	60,46	58,91	60,96	59,53	64
7.	55,45	52,75	53,90	53,36	53,65	53,92	59
8.	57,70	56,00	57,85	56,90	58,05	57,36	62
9.	77,56	77,50	79,71	78,50	80,1	78,81	83
10.	61,94	62,13	62,56	61,46	63,76	62,44	67
11.	72,35	71,50	77,51	73,30	74,30	74,34	79
12.	86,30	85,95	90,00	86,80	87,95	87,67	92

Forrás: Szerző saját szerkesztése

Az egyes görgők zajteljesítmény-szintjét $3,94 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ heveder sebesség mellett az alábbi diagram szemlélteti:



21. ábra: Görgők zajteljesítmény-szintjei $3,94 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ heveder sebesség esetén

Forrás: Szerző saját szerkesztése

Megállapítható, hogy a heveder sebesség növelésének hatására az egyes görgők zajteljesítmény-szintje is növekszik. A kilences és a tizenkettes görgő teljesítményszintje jóval eltér a többitől, több mint 80 illetve 90dB.

$f = 22,7 \frac{1}{\text{s}}$ fordulatszám esetén:

A fordulatszámot stroboszkóp segítségével állapítottam meg, ami $22,7 \frac{1}{\text{s}}$ volt. Üzem közben a görgő érintkezik a hevederrel, ezért a görgőpalást kerületi sebessége megegyezik a heveder mozgási sebességével, ami az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$v = 2r \cdot \pi \cdot f = d \cdot \pi \cdot f = 0,089 \cdot \pi \cdot 22,7 = 6,34 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

8. táblázat: Mérési eredmények $6,34 \frac{m}{s}$ heveder sebesség esetén

Görgő	1.mikrofon [dB]		2.mikrofon [dB]		3.mikrofon [dB]		4.mikrofon [dB]		5.mikrofon [dB]	
1.	49,8	49,7	48,3	48,4	50,9	50,7	49,3	49,1	49,4	49,4
2.	49,1	50,2	48,0	48,8	49,6	50,3	49,0	49,4	49,8	50,4
3.	63,9	64,3	64,2	64,3	66,0	66,2	64,7	64,9	67,7	67,5
4.	54,0	53,9	53,3	53,2	56,5	56,5	54,4	54,1	56,8	56,4
5.	59,2	59,3	58,0	58,0	60,6	60,7	58,8	58,7	59,9	59,6
6.	63,7	64,1	62,7	63,4	65,3	66,2	63,8	64,9	65,9	66,5
7.	58,0	57,7	55,7	55,3	55,7	57,4	56,5	56,0	56,9	56,6
8.	58,2	58,3	57,4	57,2	59,5	59,3	58,2	57,8	59,7	59,3
9.	83,0	82,8	82,5	82,1	84,2	84,0	82,9	83,1	84,8	84,6
10.	64,4	64,7	67,6	67,6	65,4	67,6	65,4	65,6	67,4	67,5
11.	73,9	73,4	73,2	72,7	78,8	78,5	75,1	74,6	75,8	75,5
12.	87,9	88,2	87,4	87,8	91,5	91,9	88,4	88,7	89,6	89,8

Forrás: Szerző saját szerkesztése

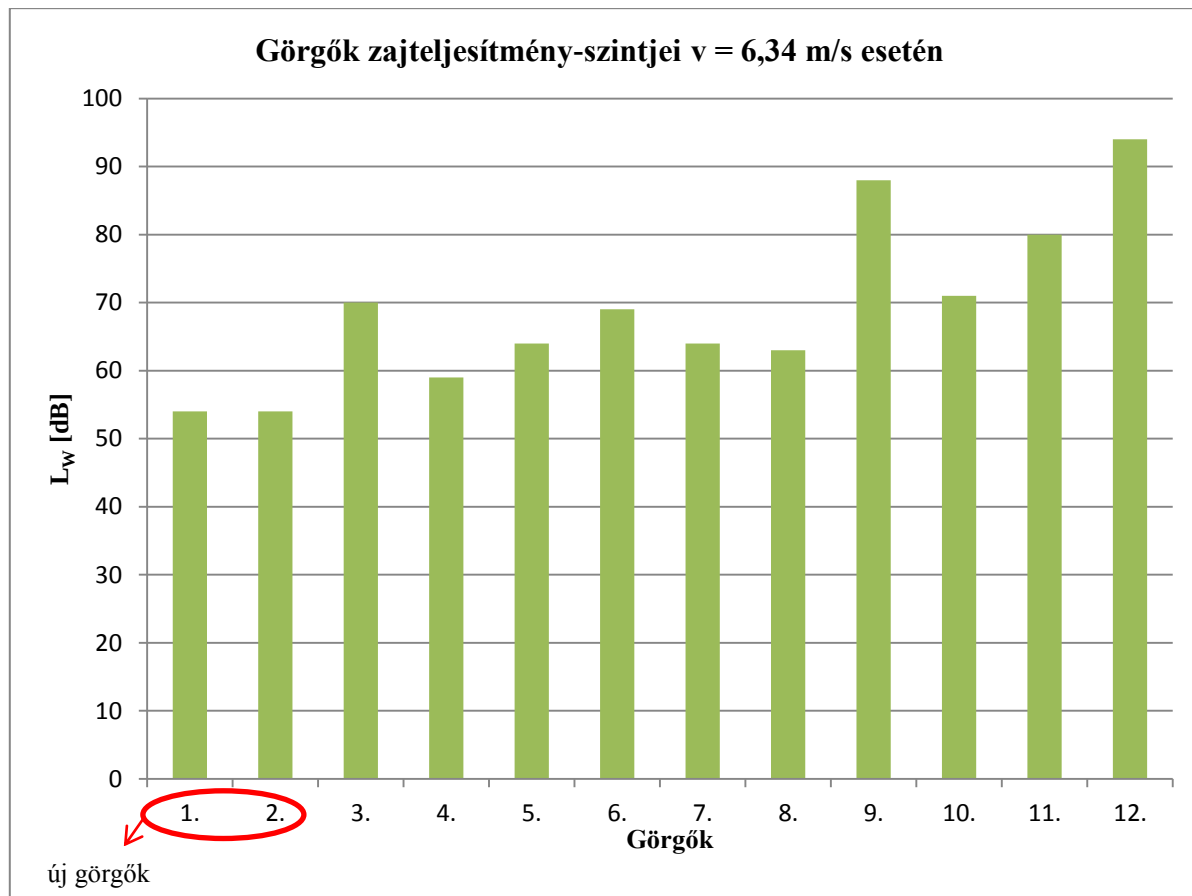
Az átlagérték-párokat, az átlagos hangnyomásszintet, valamint a teljesítményszintet a fentebb említett összefüggésekkel számoltam ki, s az így kapott eredmények a következők:

9. táblázat: Görgők zajteljesítmény-szintjei $6,34 \frac{m}{s}$ heveder sebesség esetén

Görgő	L _{p1} [dB]	L _{p2} [dB]	L _{p3} [dB]	L _{p4} [dB]	L _{p5} [dB]	L _m [dB]	L _w [dB]
1.	49,75	48,35	50,80	49,20	49,40	49,57	54
2.	49,68	48,42	49,96	49,20	50,11	49,52	54
3.	64,10	64,25	66,10	64,80	67,60	65,58	70
4.	53,95	53,25	56,50	54,25	56,60	55,13	59
5.	59,25	58,00	60,65	58,75	59,75	59,37	64
6.	63,90	63,06	65,77	64,38	66,21	64,82	69
7.	57,85	55,50	56,63	56,26	56,75	56,67	64
8	58,25	57,30	59,40	58,00	59,50	58,57	63
9.	82,90	82,30	84,10	83,00	84,70	83,49	88
10.	64,55	67,60	66,64	65,50	67,45	66,50	71
11.	73,66	72,96	78,65	74,86	75,65	75,65	80
12.	88,05	87,60	91,70	88,55	89,70	89,39	94

Forrás: Szerző saját szerkesztése

Az egyes görgők zajteljesítmény-szintjét $6,34 \frac{m}{s}$ heveder sebesség mellett az alábbi diagram szemlélteti:

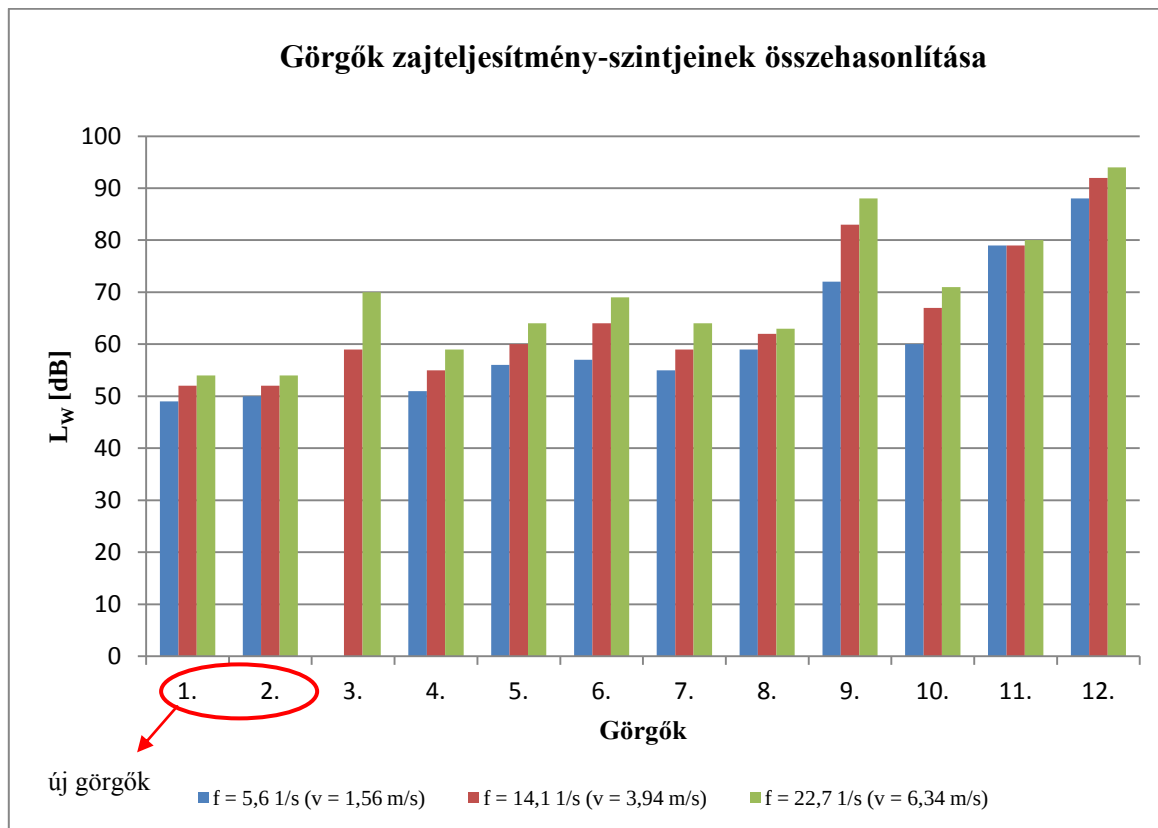


22. ábra: Görgők zajteljesítmény-szintjei $6,34 \frac{m}{s}$ heveder sebesség esetén

Forrás: Szerző saját szerkesztése

A tapasztalatok megegyeznek a másik két fordulatszámra történő mérési sorozattal, ugyanis az újabb görgők kisebb zajjal terhelik a környezetet, mint a használtak, valamint a kilences és a tizenkettes görgő teljesítményszintje magasabb a többinél (majdnem 90-95dB). A hármas görgő zajteljesítmény-szintje jelentős mértékben növekszik a fordulatszám növelésével az „extrém tulajdonságai” miatt.

A mérési eredmények összehasonlítása



23. ábra: Görgők zajteljesítmény-szintjeinek összehasonlítása

Forrás: Szerző saját szerkesztése

Az eredményeket összegző 23. ábra segítségével legalább három következtetés vonható le:

- A használt görgők nagyobb zajteljesítmény-szintet érnek el, mint az újak.
- A fordulatszám növekedésével úgy az új, mint a használt görgők esetében növekszik a zajteljesítmény-szint.
- A használt görgők esetében a zajteljesítmény-szint növekedési üteme gyorsabb, mint ahogy az, az új görgők esetében tapasztalható.

10. táblázat: Összesítő táblázat

	$v = 1,56 \frac{m}{s}$	$v = 3,94 \frac{m}{s}$	$v = 6,34 \frac{m}{s}$
Görgő	L_{w1} [dB]	L_{w2} [dB]	L_{w3} [dB]
1.	49	52	54
2.	50	52	54
3.	-	59	70
4.	51	55	59
5.	56	60	64
6.	57	64	69
7.	55	59	64
8.	59	62	63
9.	72	83	88
10.	60	67	71
11.	79	79	80
12.	88	92	94

Forrás: Szerző saját szerkesztése

Konzulensem Dr. Ladányi Gábor, *egyetemi docens* javaslatára kiszámoltam új és használt görgők esetében a zajteljesítmény-szintek növekedési ütemét, valamint az átlagos zajsztinteket, melyekből az alábbi következtetések vonhatók még le:

Az új görgők zajteljesítmény-szintjének növekedési üteme:

Az egyes görgő zajteljesítmény-szintje először 2dB-el, majd pedig 3dB-el növekedett a fordulatszám növelésével. A kettes görgő az egyes görgőhöz hasonlóan viselkedett, 2-2dB-el növekedett a zajteljesítmény-szintje. Vagyis összességében megállapítható, hogy a két új görgő hasonlóan viselkedett, ugyanis 2-2dB-el növekedett a zajsztintjük a heveder sebesség növelésének hatására.

A használt görgők zajteljesítmény-szintjének növekedési üteme:

Mint ahogy az várható is volt, a heveder sebesség növekedésének irányában valamennyi használt görgő esetében növekedett a zajsztint. Eltérően viselkedett a tizenegyes görgő, ugyanis zajsztintje a heveder sebesség növelése ellenére csak minimális mértékben növekedett, amelynek az üteme kisebb volt (1dB) szemben a két új görgőével (~2dB). Itt fontos megemlítenünk, hogy a használt görgők esetében sajnos nem rendelkezünk a

kiszerezés előtti futási idő adattal, illetve azt sem tudjuk, hogy ezek a görgők mennyi ideig és milyen körülmények között álltak a kiszerezést követően. (gondolhatunk itt meteorológiai viszonyokra)

A használt görgőkről elmondható, hogy zajteljesítmény-szintjeiknek növekedési üteme kb. megegyezik (kivéve a kilences görgő). A hármas görgő méréséből származó eredmények csak korlátozottan voltak használhatók. Ennek oka, hogy ebben a görgőben a tömszelencék nagyon szorosan futottak, sokkal szorosabban, mint ami elvárható volt ettől a görgőtől. A legkisebb fordulatszámon nem is volt mérhető az adott rendszerrel, valamint a zajszint növekedése ennél a görgőnél volt a legnagyobb (11dB). A négyes és ötös görgő zajteljesítmény-szintje 4-4dB-el, a hatosé 7 és 5dB-el, a hetesé 4 és 5dB-el, a nyolcasé 3 és 1dB-el növekedett a frekvencia növekedésével, vagyis ezek a görgők viszonylag hasonlóan viselkedtek. Ezzel szemben a kilences görgő zajteljesítmény-szintje 11 és 5dB-el növekedett, amiből az következik, hogy valószínűleg jobban el volt használódva, mint a többi. A tízes görgő zajteljesítmény-szintje először 7 majd 4dB-el, a tizenkettesé 4 és 2dB-el növekedett. A tizenkettes görgő volt a legjobban elhasználódva, hiszen zajteljesítmény-szintje a mindhárom esetben alkalmazott fordulatszám esetében meghaladta a 90dB-t. Itt szintén ki kell emelnünk azt, hogy a használt görgők esetében sajnos nem rendelkezünk a kiszerezés előtti futási idő adattal, melynek ismerete a következtetések levonásakor finomításokra is adott volna lehetőséget.

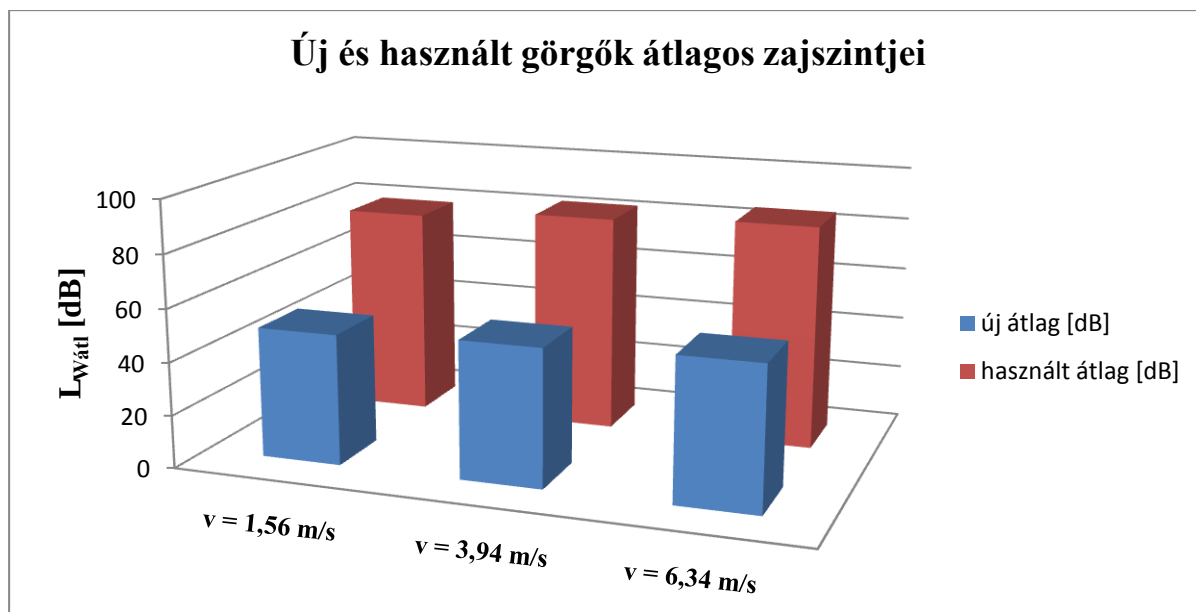
Az új és használt görgők átlagos zajszintjeinek összehasonlítása:

Figyelem felkeltőbb lehet, ha az új és használt görgők zajteljesítmény-szintjét kiátlagoljuk, amelyet a 11. táblázat, valamint a 24. ábra tartalmaz az alkalmazott heveder sebességek esetén.

11. táblázat: Zajszintek növekedési aránya új és használt görgők esetében

Sebesség [$\frac{m}{s}$]	1,56	3,94	6,34
<i>új átlag [dB]</i>	49,5	52	54
<i>használt átlag [dB]</i>	79,1	82,7	85,2
<i>növekedés [dB]</i>	29,6	30,7	31,2
növekedési arány	912	1174	1318

Forrás: Szerző saját szerkesztése



24. táblázat: Szállítószalag görgők átlagos zajszintjei

Forrás: Szerző saját szerkesztése

Itt fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a táblázatban szereplő átlagos értékek nem matematikai átlagok, hanem energetikai átlagok, tehát $1,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ heveder sebesség esetében:

$$L_{W\text{haszn.átlag}} = 10 \cdot \lg\left[\frac{1}{9} \cdot (10^{5,1} + 10^{5,6} + 10^{5,7} + 10^{5,5} + 10^{5,9} + 10^{7,2} + 10^{6,0} + 10^{7,9} + 10^{8,8})\right] = 79,1 \text{ dB}$$

$$L_{W\text{új.átlag}} = 10 \cdot \lg\left[\frac{1}{2} \cdot (10^{4,9} + 10^{5,0})\right] = 49,5 \text{ dB}$$

Tehát a használt görgők zajteljesítmény-szintjének átlagos értéke 79,1 dB, míg az új görgők átlagos zajszintje 49,5 dB, vagyis a növekedés 29,6 dB. A szintképzés szabályainak megfelelően a zajszintekből számoljuk vissza a zajteljesítményeket $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$ referenciaértékre vonatkoztatva! Ennek megfelelően az átlagos zajteljesítmények:

$$P_{\text{haszn}} = 10^{-12} \cdot 10^{7,91} = 8,13 \cdot 10^{-5} \text{ W}$$

$$P_{\text{új}} = 10^{-12} \cdot 10^{4,95} = 8,91 \cdot 10^{-8} \text{ W}$$

$$\text{A többszöröződés nagysága: } \frac{8,13 \cdot 10^{-5}}{8,91 \cdot 10^{-8}} = 912$$

Láthatjuk, hogy a legalacsonyabb heveder sebesség mellett a zaj energiájának növekedése is jelentős mértékű, 912szeres.

Összehasonlítási alapként nézzük meg azt, hogy a legmagasabb heveder sebesség mellett mekkora lesz a növekedési arány! Ennek megfelelően $6,34 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ heveder sebesség esetén:

$$L_{W\text{haszn.átlag}} = 10 \cdot \lg\left[\frac{1}{10} \cdot (10^{7,0} + 10^{5,9} + 10^{6,4} + 10^{6,9} + 10^{6,4} + 10^{6,3} + 10^{8,8} + 10^{7,1} + 10^{8,0} + 10^{9,4})\right] = 85,2 \text{ dB}$$

$$L_{W\text{új.átlag}} = 10 \cdot \lg\left[\frac{1}{2} \cdot (10^{5,4} + 10^{5,4})\right] = 49,5 \text{ dB}$$

Tehát a használt görgők zajteljesítmény-szintjének átlagos értéke 85,2dB, míg az új görgők átlagos zajszintje 54dB, vagyis a növekedés 31,2dB. A szintképzés szabályainak megfelelően a zajszintekből számoljuk vissza a zajteljesítményeket $P_0 = 10^{-12} \text{W}$ referenciaértékre vonatkoztatva! Ennek megfelelően az átlagos zajteljesítmények:

$$P_{\text{haszn}} = 10^{-12} \cdot 10^{8,52} = 3,31 \cdot 10^{-4} \text{W}$$

$$P_{\text{új}} = 10^{-12} \cdot 10^{5,4} = 2,51 \cdot 10^{-7} \text{W}$$

A többszöröződés nagysága: $\frac{3,31 \cdot 10^{-4}}{2,51 \cdot 10^{-7}} = 1318$

Láthatjuk, hogy a legmagasabb heveder sebesség mellett a zaj energiájának növekedése bőven több mint 1000szoros, 1318szoros. Tehát a zaj energiája jelentős mértékben megnőtt, miközben a heveder sebességek aránya (v_3/v_1) „csupán” kb. 4szoros arányt takar.

Mint ahogy már fentebb említettem az új görgők zajszintje 2dB-el növekedett a fordulatszám növelésével. Vizsgáljuk meg azt, hogy a használt görgők átlagos zajszintjei milyen növekedést mutatnak! A 11. táblázat tartalmazza a használt és új görgők átlagos zajszintjét, melynek segítségével láthatjuk, hogy a használt görgők esetében az átlagos növekedés $\Delta L_1 = 3,6\text{dB}$ és $\Delta L_2 = 2,5\text{dB}$ volt. Ha ebben az esetben is visszaszámoljuk a zajteljesítményeket a szintképzés szabályainak megfelelően ($P_{\text{haszn1}} = 8,13 \cdot 10^{-5} \text{W}$, $P_{\text{haszn2}} = 1,86 \cdot 10^{-4} \text{W}$, $P_{\text{haszn3}} = 3,31 \cdot 10^{-4} \text{W}$), akkor látható, hogy amíg $\Delta L_1 = 3,6\text{dB} \sim 2,3\text{szoros}$, addig a $\Delta L_2 = 2,5\text{dB} \sim 1,8\text{szoros}$ átlagos növekedésnek felel meg.

A mérési eredmények kiértékelése alapján összességében megállapíthatjuk, hogy a zaj energiájának növekedésének oka elsősorban a görgők elhasználódásában rejlik, a heveder sebesség növelése kisebb hatással van a zajszint növekedésére. Az eredményekből azt is láthatjuk, hogy a futásidő jelentős mértékben hozzájárul a zaj növekedéséhez („minél több ideig alkalmaztak egy görgőt, annál nagyobb zajjal terheli a környezetet”), viszont arra nem tudunk következtetni, hogy a zajszint milyen függvény szerint növekszik a futásidő függvényében.

Ahhoz, hogy az iparban ne forduljanak elő üzemi károk, balesetek, görgő tönkremenetelek az elhasználódott görgőket az előírásoknak megfelelően kellene karban tartani, ill. cserélni.

Összefoglalás

TDK dolgozatom témájának kidolgozása során laboratóriumi méréseket végeztem új és használt szállítószalag görgőkön három fordulatszámmon. A mérési eredmények alapján többek között azt vizsgáltam, hogy a fordulatszám növelésével hogyan változott az egyes görgők zajteljesítmény-szintje. A kapott eredmények alapján megállapítható – mint ahogy az várható volt - hogy a használt görgők nagyobb zajteljesítmény-szintet értek el, mint az újak. A fordulatszám növelésével mind az új, mind pedig a használt görgők esetében növekedett a zajteljesítmény-szint, valamint a használt görgők esetében a zajteljesítmény-szint növekedési üteme gyorsabb volt, mint az új görgők esetében. A hármas görgő méréséből származó eredmények csak korlátozottan voltak használhatók. Ennek oka, hogy ebben a görgőben a tömszelencék nagyon szorosan futottak, sokkal szorosabban, mint ami elvárható volt ettől a görgőtől. Emiatt ez a görgő a legkisebb fordulatszámmon az adott rendszerrel nem volt mérhető. Sajnos a használt görgők esetében nem volt információnk a futási idő adatról, melynek ismerete természetesen további következtetésekre adott volna lehetőséget.

Összességében megállapítható, hogy az újabb görgők kisebb zajjal terhelik a környezetet, mint a régebbiek, vagyis ezekből is látható, hogy az elhasznált görgőket minden esetben újakra kellene cserélni, így elkerülhetőek lennének a különböző üzemi károk. Manapság sajnos kevés helyen cserélik ki ezeket az elhasználódott görgőket, mert a mai gazdasági helyzetben a különböző bányák nem engedhetik meg maguknak a gyakori cserét.

Summary

In my Scientific Students' Associations, I have made laboratory measurements on new and used rolls with three revolution numbers. Based on measurement I investigated the change in certain rolls' noise power level by increasing the revolution number. Based on the obtained results, as expected, it can be stated that the used rolls reached a higher noise power level than the new ones. The level of noise power has increased both in the case of the new and used rolls. Moreover, in the case of the used rolls, the pace of the noise power increase was quicker than in the case of the new ones. The results of the measurements of the roll n°3 allowed only a limited use. The reason is that the packing-glands were running very closely, more closely than it was expected of this roll. As a consequence, this roll could not be measured at the lowest revolution number with the given system. Unfortunately, in the case of the used rolls we did not have information on runtime data, knowledge of which would have given the opportunity for further conclusions.

It can be concluded that the new rolls pollute the environment with noise to a smaller extent than the used ones. These old rolls should be replaced in every case to avoid malfunction. Nowadays, these rolls are replaced in a very few places as it is expensive and the different mines cannot afford the frequent replacement in today's economic situation.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek és tanáromnak, Dr. Ladányi Gábornak a segítőkészségéért, a türelméért, a hasznos tanácsaiért, a méréshez nyújtott segítségéért. Emellett szeretném megköszönni az ösztönzését, a folyamatos konzultációkat, valamint hogy ellenőrizte a TDK dolgozatomat.

Köszönettel tartozom családomnak az egyetemi éveim alatt nyújtott támogatásért, biztatásért. Bátorításuk, folyamatos biztatásuk segítette tanulmányaimat, illetve megkönnyebbítette az elmúlt három év nehézségeit.

Továbbá köszönöm mindazon ismerőseimnek, barátaimnak, akik elolvasták a dolgozatomat, s megosztották velem a véleményüket róla.

Irodalomjegyzék

1. Könyvek

- Barótfi I. (2000): Környezettechnika. (Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2000) 808.
- Ctirad S. (1975): Zaj- és rezgésmérés. (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975) 59., 66-72.
- Dr. Fórián Szabó P. (1991): Zaj és rezgés elleni védelem. (Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest, 1991) 19-25.
- Horváth R. (2011): Zajvédelmi alapok. In: Dr. Domokos E. és Horváth B. (szerk.) (2011): Környezetmérnöki Tudástár 13. kötete Zaj- és rezgésvédelem (Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2011) 40-42.
- Dr. Kovács A. (1995): Zaj- és rezgésvédelem. (Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1995) 7-15.
- Kovács A. (1998): Zaj és vibráció. (Miskolci Egyetem Bányamérnöki Kar, Miskolc, 1998) 1-5., 22., 34-36., 50-62.
- Tarnóczy T. (1984): Hangnyomás, hangosság, zajosság. (Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984) 13-14., 73-76.
- Zakariás Z. (1953): Gumihevederes szállítószalagok. (Nehézipari Könyv és Folyóiratkiadó Vállalat, Budapest, 1953) 3-12., 14-53.

2. Egyéb források

- Magyar Népköztársasági Országos Szabvány, MSZ KGST 1412-78
- 27/2008 (XII.3.) KvVM-EüM együttes rendelet
- Bányászat Ipar Technika Kft. Tatabánya: http://www.bitkft.hu/content/szallitoszalag_gorgok
letöltés időpontja: 2014. 03.30.
- Lammels Trióda Motor Kft.
www.triodamotor.hu/frekvenciavalto_lagyindito-11/delta_vfd_1_frekvenciavalto-324/
letöltés dátuma: 2014.09.17.
- Műszaki Fórum (Fiknérné Sulcz Ágnes, 2007)
<http://www.muszakiforum.hu/?fejezet=5&cid=35887&wa=hk07> letöltés dátuma: 2014.10.12.
- NI Product Guide:
http://www.tevetllc.com/backend/Images/site/2689_N_Product_Guide_2011.pdf letöltés
időpontja: 2014.04.07.
- Prodart Studio Kft.
<http://www.prodart.hu/akiknek> letöltés időpontja: 2014.09.17
- Váradiné Szarka Éva: Labview bevezető kezdőknek (Miskolci Egyetem, Elektrotechnika – Elektronikai Tanszék, 2003)

egyetem.szatmarnet.hu/dl.php?id=115, letöltés dátuma: 2014. 04.06.

- <http://www.theguardian.com/environment/2011/dec/08/european-investment-bank-fossil-fuel>
letöltés dátuma: 2014.09.17.

Ábrajegyzék

1. ábra: Lignitet szállító szállítószalag	3
2. ábra: Földalatti szállítószalag	3
3. ábra: Élelmiszeriparban használatos szállítószalag	4
4. ábra: Szállítószalag felépítése	4
5. ábra: A normális hallásterület	8
6. ábra: Folytonos színekép	13
7. ábra: Vonalas színekép	13
8. ábra: Vegyes színekép	14
9. ábra: Fehér zaj színeképe	14
10. ábra: Szürke zaj színeképe	15
11. ábra: Rózsaszín zaj színeképe	15
12. ábra: Hanghullám viselkedése falban.....	18
13. ábra: Hangnyomásszint mérő vázlata.....	25
14. ábra: A méréshez használt görgők	29
15. ábra: Laboratóriumi mérési elrendezés	30
16. ábra: A mért objektumot körülvevő képzeletbeli felület	30
17. ábra: A Labview keretrendszerben szerkesztett program kezelői felülete	31
18. ábra: Labview ablak, az egyes csatornához tartozó hangnyomásszintekkel	32
19. ábra: A mikrofonok jelei oktávsváros bontásban	32
20. ábra: Görgők zajteljesítmény-szintjei 5,6 ¹ /s fordulatszámon	35
21. ábra: Görgők zajteljesítmény-szintjei 14,1 ¹ /s fordulatszámon	37
22. ábra: Görgők zajteljesítmény-szintjei 22,7 ¹ /s fordulatszámon	39
23. ábra: Görgők zajteljesítmény-szintjeinek összehasonlítása.....	40
24. ábra: Szállítószalag görgők átlagos zajsztintjei	43

Táblázatjegyzék

1. táblázat: A zaj hatása az általános emberi szervezetre	7
2. táblázat: Jellegzetes hangteljesítmények	10
3. táblázat: Hangelnyelési tényező 1 kHz esetén	17
4. táblázat: Mérési eredmények 5,6 ¹ /s fordulatszámon	33
5. táblázat: Görgők zajteljesítmény-szintje 5,6 ¹ /s fordulatszámon.....	34
6. táblázat: Mérési eredmények 14,1 ¹ /s fordulatszámon	36
7. táblázat: Görgők zajteljesítmény-szintje 14,1 ¹ /s fordulatszámon.....	36
8. táblázat: Mérési eredmények 22,7 ¹ /s fordulatszámon	38
9. táblázat: Görgők zajteljesítmény-szintje 22,7 ¹ /s fordulatszámon.....	38
10. táblázat: Összesítő táblázat	41
11. táblázat: Zajsztint növekedési aránya új és használt görgők esetében.....	42