MIKOVINY SÁMUEL
FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

A doktori iskola vezetője:
Dr.h.c.mult.Dr. Kovács Ferenc
akadémikus

ELJÁRÁSTECHNIKAI BERENDEZÉSEK ZAJA ÉS TECHNOLÓGIAI-MŰSZAKI JELLEMZŐI ÖSSZEFÜGGÉSEINEK KUTATÁSA KÜLÖNÖS TEKINTETTEL AZ APRÍTÓGÉPEKRE

Doktori értekezés

PhD fokozat elnyeréséhez

Kutatóhely: Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Eljárástechnikai Tanszék

Tud. vezetők: Prof. Dr.habil. Csőke Barnabás
tanszékvezető egyetemi tanár
Dr. Ladányi Gábor
tanszékvezető egyetemi docens

Kocsis Edit
okl. gépészmérnök

2006.

TARTALOMJEGYZÉK

oldal

1.	**BEVEZETÉS**	**1**
2.	**TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK, CÉLKITŰZÉSEK**	**3**
2.1.	**A zajkibocsátás vizsgálata a gép környezetében keltett zajterhelés szempontjából**	**3**
2.2.	**A zajkibocsátás vizsgálata a gép működése szempontjából**	**5**
2.3.	**A szakirodalom összefoglaló értékelése**	**9**
2.4.	**Az értekezés célja**	**10**
3.	**ALKALMAZOTT VIZSGÁLATOK ÉS ÉRTÉKELÉSI MÓDSZEREK**	**11**
4.	**A HANG, ZAJ FOGALMA, FIZIKAI JELLEMZŐI**	**15**
4.1.	**A hang, zaj fogalma**	**15**
4.2.	**Fizikai jellemzők**	**16**
5.	**ZAJMÉRÉSI MÓDSZEREK**	**21**
5.1.	**Mérőberendezés**	**21**
5.2.	**A hangnyomásszint mérése**	**23**
5.3.	**A hangteljesítményszint meghatározása**	**23**
6.	**APRÍTÓGÉPEK ZAJKIBOCSÁTÁSA ÉS TECHNOLÓGAI-MŰSZAKI JELLEMZŐI ÖSSZEFÜGGÉSEINEK VIZSGÁLATA**	**28**
6.1.	**Az aprítógépek működési mód és zajkibocsátás szempontjából történő átfogó, előzetes értékelése, rendszerbe foglalása**	**30**
6.2.	**Kísérleti berendezések**	**32**
6.2.1.	**A Prall malom működése és zajforrásai**	**32**
6.2.2.	**A pofástörő működése és zajforrásai**	**34**
6.2.3.	**Üzemi aprítógépek működése**	**38**
6.3.	**Mérések Prall malommal**	**40**
6.3.1.	**A Prall malom mérésének leírása**	**40**
6.4.	**Mérések pofástörővel**	**51**
6.4.1.	**A BÉM pofástörő mérésének leírása**	**51**
6.4.2.	**Az egyetemi pofástörő mérésének leírása**	**60**

6.5. Mérések bányákban és osztályozókban, üzemi körülmények között 63
6.5.1. ÁNTSZ által végzett mérések 63
6.5.2. Saját mérések 73
7. ÖSSZEFOGLALÁS 94
FELHASZNÁLT IRODALOM
MELLÉKLETEK

1. BEVEZETÉS

Az eljárástechnikai gépeket az ipar számos területén használják. Feladatuk, hogy a feladott anyagot fizikai eljárással átalakítva nyerjék el a végterméket. Ez az eljárás lehet többek között aprítás, dúsítás, agglomerálás, keverés, szemcseméret szerinti szétválasztás (osztályozás).

Az értekezés – tekintettel az eljárástechnika és berendezései sokrétűségére – az aprítógépekkel foglalkozik.

Az aprítógépek működése típustól és a technológiai jellemzőktől függően különböző mértékű zajkibocsátással jár. A zaj zavaró hatása elsősorban a berendezés közvetlen közelében, a munkahelyeken észlelhető. Minél összetettebb egy berendezés, annál több része jelenik meg zajforrásként. Ha a berendezéshez előkészítő, kiszolgáló stb. részek is csatlakoznak, a zajforrás egyre bonyolultabbá válik.

A gépek, berendezések zajkibocsátásának vizsgálatát több ok is indokolja. Leginkább ismert ok a munkahelyi zajvédelem. A gép mellett dolgozó embert védeni kell a zajhatásoktól, hogy elkerülhessük az egészségkárosodást, mely legközvetlenebbül a hallás területén jelentkezik. Ez természetesen függ az ember zajjal szembeni egyéni érzékenységétől is. Kezdetben a halláscsökkenés csak átmeneti, és önmagától regenerálódik. Ha a dolgozót érő zajhatás az egészségügyi határértékeket a vonatkoztatási időben meghaladja, halláscsökkenés, majd maradandó halláskárosodás állhat elő. A zaj nem közvetlenül jelentkező hatásai például a vérnyomás-emelkedés, fáradékonyság növekedése, fejfájás, a koncentrálóképesség csökkenése. A zajos környezetben dolgozó ember munkaképessége romolhat, teljesítménye csökkenthet, ez kihat az általa előállított termék minőségére is. Ezek miatt is indokolt a gépek zajkibocsátásának rendszeres ellenőrzése, és a határérték feletti zajjal terhelt munkavállalót valamilyen védelemmel kell ellátni (zajszigetelt fülke, a munkaidő egy részében csendes helyen való egyéb tevékenység végeztetése, egyéni hallásvédelmi eszköz alkalmazása). Munkahelyi zajméréseket az üzemek a munkavállalót a megítélési időben érő mértékadó zajterhelés meghatározására végeztetnek. Ezek az eredmények a műszakidőre vonatkozó egyenértékű megítélési zajszintet (L_{AD}) és a legnagyobb impulzusos zajszintet (L_{AImax}) jelentik. A mérési adatok nem tartalmazzák a különféle üzemállapotokat, nem adnak információt változó zaj esetén a részidők zajszintjéről. L_{AD} megengedett értéke 85 dB, L_{AImax} megengedett értéke 125 dB. Ezen terhelésértékek fölött fennáll a halláskárosodás veszélye.

Másik ok a gépek zajkibocsátásának vizsgálatára az, ha a működésből származó zaj már nem csak a munkahelyeken, hanem nagyobb távolságban, a környezetben lévő lakó- és egyéb védendő területeken is jelentkezik, és meghaladja az ott érvényes határértékeket. Ez jelentkezhet lakossági panaszok formájában, de kiderülhet a környezetvédelmi hatóság ellenőrzésekor is. A határérték túllépést a környezetvédelmi hatóságok szankcionálják zajbírság formájában.

Ilyen esetekben az üzem köteles zajcsökkentő intézkedéseket végrehajtani egyrészt a határérték betartásának érdekében, másrészt az ismételt bírságok elkerülésére. A zajcsökkentés megvalósítható a terjedés közbeni beavatkozással (pl. töltés, zajvédő fal, hangtompító berendezés, hangtompító burkolat, jó hangszigetelésű nyílászáró, stb.) és közvetlenül a forrásnál, azaz a gépnél (pl. konstrukciós változtatással).

Harmadik ok a gépek zajkibocsátásának vizsgálatára az üzemelési körülmények és a zajkibocsátás közötti összefüggés meghatározása. Az üzemközbeni zajkibocsátás nagyságából következtetést lehet levonni a gép üzemállapotára, esetleges kopásokra, töltési fok, sebesség, tömegáram megfelelőségére. Pl. golyósmalmok esetében szokásos eljárás a zajkibocsátás és a töltöttség között az összefüggés meghatározása.

A zajkibocsátás csökkentésének megtervezéséhez elengedhetetlen a gép zajkibocsátásának részletes vizsgálata. A spektrumelemzések alapján meghatározható az a frekvenciatartomány, amelynél a változtatás szükséges.

Előfordul, hogy a környezet zajterhelésének csökkentése érdekében az üzemet lakóterülettől távol eső helyre telepítik.

Az eljárástechnikai berendezések zaja és technológiai jellemzői összefüggéseinek kutatására OTKA pályázat is készült, melynek témavezetője prof. Dr. Csőke Barnabás a Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszékének vezetője. A pályázatban résztvevő további kutatók a Miskolci Egyetemről Dr. Ladányi Gábor a Geotechnikai Berendezések Tanszék vezetője, Antal Gábor az Eljárástechnikai Tanszék munkatársa, az ÉMI KÖFE-ről én és Nagy Imre kollegám. A pályázat programját közösen dolgoztuk ki. A pályázat során munkamegosztás alakult ki. Az én feladatom a „Kísérleti vizsgálatok üzemi körülmények között” téma felelőseként bányákban és osztályozókban mérések végzése, és a laboratóriumban feltárt összefüggések üzemi viszonyok közötti ellenőrzése, valamint a laboratóriumi modell vizsgálatokban közreműködés. Dr. Ladányi Gábor a „Gépkonstrukció elemzése a zajkibocsátás és eljárástechnikai szempontból” és a „Laboratóriumi modell-vizsgálatok” témafelelőse, aki egy röpítőtörő üzemét vizsgálta zajkibocsátása alapján [F8].

2. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK, CÉLKITŰZÉSEK

A gépek környezetében előidézett zajterhelés adatokról információkat leginkább folyóiratcikkekben, internetes honlapokon találunk. Emellett ilyen adatok találhatók az egyes üzemek által végeztetett munkahelyi zajvizsgálati jegyzőkönyvekben és környezetvédelmi hatóságok hivatalos zajmérési jegyzőkönyveiben.

2.1. A zajkibocsátás vizsgálata a gép környezetében keltett zajterhelés szempontjából a szakirodalom alapján

A gép közvetlen közelében keltett zajterhelés leginkább annak megállapítására szolgál, hogy az ott tevékenykedő dolgozót mekkora zajdózis éri. Ez azért fontos, hogy elkerüljék a megengedett megítélési szint túllépését a vonatkoztatási időben. A vonatkoztatási idő rendszerint a dolgozó műszakidejével egyenlő. Elkerülendő továbbá az egyszeri, megengedett csúcsértéket meghaladó zajterhelés is [18/2001. (IV.28.) EüM rend. R1]. Ezen értékhatárok túllépése a dolgozó egészségkárosodásához vezet.

A mérések általában a géptől 1 m-re történnek a dolgozó fülmagasságában. Ilyen méréseket minden üzem végeztet, természetesen az aprítógépeket működtetők is. A mérések az aprítógép folyamatos üzeme mellett történnek, figyelembe véve, hogy a munkavállaló mennyi időt tölt a berendezés mellett a műszakidejéből [munkahelyi zajmérési jegyzőkönyvek: M1-M6].

Az aprítógépgyártók is végeztetnek méréseket [munkahelyi zajmérési jegyzőkönyvek: M7, M8,; Retsch GmbH I1, I3; GENEQ Material Testing I5]. Ezek általában a géptől 1 m-re kialakult hangnyomásszint adatot közlik, de a mérési pont pontos helyét nem adják meg. Ez egy nagyobb berendezés esetén korántsem mindegy, mivel a berendezés másképp sugározhatja a zajt különféle irányokban.

Bővebb információt ad a gépről, ha nemcsak a terhelés közbeni zajszintet adják meg, hanem az üresjáratit is [munkahelyi zajmérési jegyzőkönyvek: M7, M8].

Egyes gépek prospektusai a munkahelyi hangnyomásszintek közlésén túl hivatkoznak arra a szabványra, irányelvre is, amely szerint a mérést végezték [Retsch GmbH I1, I3], ezáltal a mérési módszerről és ezzel a mérés helyéről pontos képet kapunk.

Washington Állam vizsgálatot végeztetett a kőbányákban dolgozó munkavállalókat érő zajterhelés meghatározására [Noise and Silica Exposures I7]. Erre azért került sor, mert új szabályozást vezettek be a munkahelyi zajvédelem területén. Az előkészítő és osztályozó

műveletek zajvizsgálatán túl két törőtípus zajkibocsátását vizsgálták, a kúpos- és a pofástörőkét. A zajdózismérőket a dolgozó - a domináns kéz - vállmagasságában helyezték el. A megengedett csúcsértéket meghaladó zajterhelést a törőket üzemeltető munkavállalóknál regisztráltak. Ilyen helyeken egyéni hallásvédő eszköz használata és időszakos hallásvizsgálat végeztetése kötelező.

A gépek műszaki adataihoz hozzá kell tartozzanak zajkibocsátási adatai is. A munkahelyi zajterhelési értékek az adott pontban érvényesek, és információt szolgáltatnak a dolgozó védelme érdekében. A zajteljesítményszint adatok a zajforrás olyan jellemzői, mely értékekből a géptől adott távolságra a hangnyomásszint adatok kiszámíthatók. Ez fontos a közeli és a távolabbi környezetet érő zajterhelés meghatározása szempontjából. A zajteljesítményszint adatok feltüntetése a Magyarországon forgalomba kerülő gépek esetében kötelező [140/2001. (VIII.8.) Korm. rend. R3].

A cementgyártással kapcsolatos nyersanyag-kitermelés és aprítás zajkibocsátását vizsgálja Dupuis [F6]. Az akusztikai alapfogalmak bemutatása után megadja az egyes munkafázisok zajforrásait, a zaj keletkezésének okát. A vizsgálatok célja a munkahelyi zajterhelés mértékének meghatározása. Táblázatosan közli az egyes munkahelyek zajterhelési adatait, a megengedett zajdózis nagyságát valamint a rakodógépek és az előtörő zajteljesítményszintjét.

GENEQ Material Testing [I5] feltünteti a munkahelyi hangnyomásszintet és a hangteljesítményszintet is a méréshez használt szabvány nevével egyetemben, megadja továbbá, hogy a pofástörő milyen keménységű anyagok aprítására alkalmas, mekkora a feladási szemcseméret és mekkora a töret mérete, mekkora a maximális anyagáram, mekkorák a gép befoglaló méretei és mekkora a súlya.

Külszíni fejtéseken alkalmazott gépek Németországban érvényes zajemissziós irányértékeiről (zajteljesítményszintjeiről) ad tájékoztatást Zenker [F7]. Lánctalpas egyengetők, láncműves rakodók, kompresszorok, kerekes rakodók és kotrók esetében terheletlen állapotban, helyváltoztatás közben és munka közben érvényes adatokat ad meg két különböző mechanikai teljesítmény, kompresszorok esetén háromféle tömegáram esetében.

Az építési-bontási hulladékok közül a betontörmelék elhelyezése igen kedvezőtlen, ha a darabokat nem aprítják fel. A probléma megoldására az USA Energiaügyi Minisztérium FUSRAP rövidítésnevű akcióprogramja vásárolt egy mobil törőberendezést, amely a hulladéklerakó területén a betontörmeléket talajhoz hasonló konzisztenciájúvá aprítja. Ezen törőberendezés jellemzőit adja meg Seay cikke [I8]**:** a gép kapacitását (t/óra), a betáplált anyag szemcseméretét kemény kőzetre és betonra vonatkoztatva, valamint a törőtől 3 és 12

lábnyira mért hangnyomásszinteket. A gépet üzemeltetők egyéni hallásvédő eszközt kell használjanak, és az egymás közti kommunikáció fejhallgatós rádión keresztül történik.

A környezeti zajmérések célja a géptől távol, a lakókörnyezetben okozott zajterhelés vizsgálata. A gép és az üzem által a lakóházak előtt keltett zajterhelés nagysága maximalizálva van [8/2002. (III.22.) KöM-EüM rend. R2]. A környezeti zajmérések esetében mindig a legkedvezőtlenebb, azaz a legnagyobb zajterheléssel járó állapotot kell vizsgálni [MSZ-13-111-85. SZ2], így nincsenek zajterhelési adatok a különféle üzemállapotokra, üresjárati működésre [környezeti zajmérési jegyzőkönyv KM1].

Egy Borsod megyei ásványfeldolgozó üzem által a lakókörnyezetben okozott zajterhelését vizsgálta az illetékes környezetvédelmi hatóság [KM1], a legkedvezőtlenebb üzemállapot figyelembe vételével, nappali időszakban. Ekkor három törő-osztályzó sor működött, és a határérték túllépése miatt zajcsökkentési célú kötelezés kiadására került sor.

Egy külszíni kőbánya környezetének zajvizsgálatával foglalkozik Zouboff [F1], bemutatva a zajforrásoktól különböző távolságban mért zajterhelés és alapzaj értékeket három különböző nappali időszakban.

Zajcsökkentési célzattal végeztek méréseket Norrköpingben az AB Mataki kőbánya feldolgozó üzemében. Egy osztályozó berendezés zajcsökkentésére gumiborítással látták el az etetőgaratot és a kihordó-csúszdákat kopásálló gumival borították, és az egész osztályozó berendezés acélborítását gumival cserélték fel. Ez a megoldás 18 dB zajcsökkenést eredményezett a 40 m-re lévő mérési pontban.

A többek között kőbányászatban alkalmazott zsákos porszűrők – a feldolgozási folyamat egyik részegységeként tekinthetők - tisztítása külön e célra tervezett hangforrással is történhet, melynek jellemzője, hogy 370 Hz-en a hangforrástól 1 m-re 142 dB hangintenzitást idéz elő [F2]. Ez az eljárás minimálisra csökkenti a működési költségeket, de elterjedését visszafogta a jelentős mértékű hangintenzitás. 140 dB-es intenzitás közelében az infrahangok kellemetlen egészségügyi hatásának elkerülésére szükséges a zajcsökkentés a frekvencia hallásküszöb alá, és a hangintenzitás 140 dB-ről 110-re történő csökkentésével a hatékonyság megmarad, hangszigetelés pedig többé nem szükséges.

2.2. A zajkibocsátás vizsgálata a gép működése szempontjából

Randolph Pax., a JKMRC, University of Queensland kutatója az eddigiektől merőben eltérően vizsgálja a félautogén (SAG) malmokat [F4, F5, I2]. Tapasztalatai szerint [I2] a

szokásos vizsgálati módszerek foglalkoznak a betáplált vízmennyiséggel, a teljes malomterheléssel, a malom energiafelhasználásával, de nem adnak választ arra, hogy mi történik a malom belsejében. Évek óta folynak vizsgálatok arra vonatkozóan, hogy a malomban lezajló folyamatokra a belsőtér zajkibocsátásának vizsgálatával vonhassanak le következtetéseket. A mérések során a zaj időbeli változását vizsgálták. Frekvenciaelemzéseket végeztek a töltési állapot és/vagy a páncélzat kopásának meghatározására. Az alapvizsgálat a malom terhelésének és más, malmon belüli működési jellemzők meghatározása volt, és ezek összevetése a zaj spektrumszínképével. Sajnos a fizikai jelenségek, amelyek a jellemző kibocsátásokat idézik elő, a terheléstől és a működő egység egyéb más jellemzőitől függenek, így a zajkibocsátás frekvenciaszínképe nem állandó. A vizsgálatok során golyó-golyó, golyó-kőzet, kőzet-kőzet és páncélzat kölcsönhatást figyelték meg.

A XXII. International Mineral Processing Congress alkalmával R. Pax [F5] előadta, hogy a félautogén malmoknál a terhelés, a porelszívás, az acélterhelés, a nyersanyag tömegárama, a vízhozzáadási arány, és mostanában a betáplált anyag szemcseméret eloszlása képezi a vizsgálatok tárgyát. A malom működése szempontjából a belsőtérben lejátszódó folyamatok lényegesek, melyek egy adott áthaladási tömegáramot és egy adott aprított szemcseméretet biztosítanak. Ezen folyamatok zajkibocsátása bőséges információt ad a működésre vonatkozóan. A zajmérési adatok alkalmasak a matematikai diszkrét-elem-modellezésre (DEM). A modell a részecskék egymásra hatását mint dinamikus folyamatot vizsgálja. Az érintkezéskor fellépő erőket és a részecskehalmazok elmozdulását az egyes részecskék mozgását követve vizsgálják.

Az akusztikai vizsgálati módszert Pax fejlesztette ki 2001-ben. A malom belsejéből kibocsátott zajt vizsgálták, azonos idejű elemzővel. Precíziós mikrofonokat helyeztek el a malom közelében. Legalább háromféle akusztikai jellemzőt vizsgáltak. Ezek:

- két vagy több részecske ütközésekor keletkező hang;
- a részecskéről vagy a felületéről kiinduló káros rezgés;
- harmadikként az anyag törésével összefüggő zajkibocsátás.

Az előadás az első akusztikai jellemző vizsgálatát mutatta be, következtetések levonása nélkül.

A vizsgálathoz egy 1 m átmérőjű valós malmot, és egy 5 m átmérőjű matematikai-modell malmot használtak. A modell-malomban négyszögszelvényű emelők voltak. Az 1 m átmérőjű valós malom belső terének bevonata gumi volt, és 9 db, egyenletesen elosztott

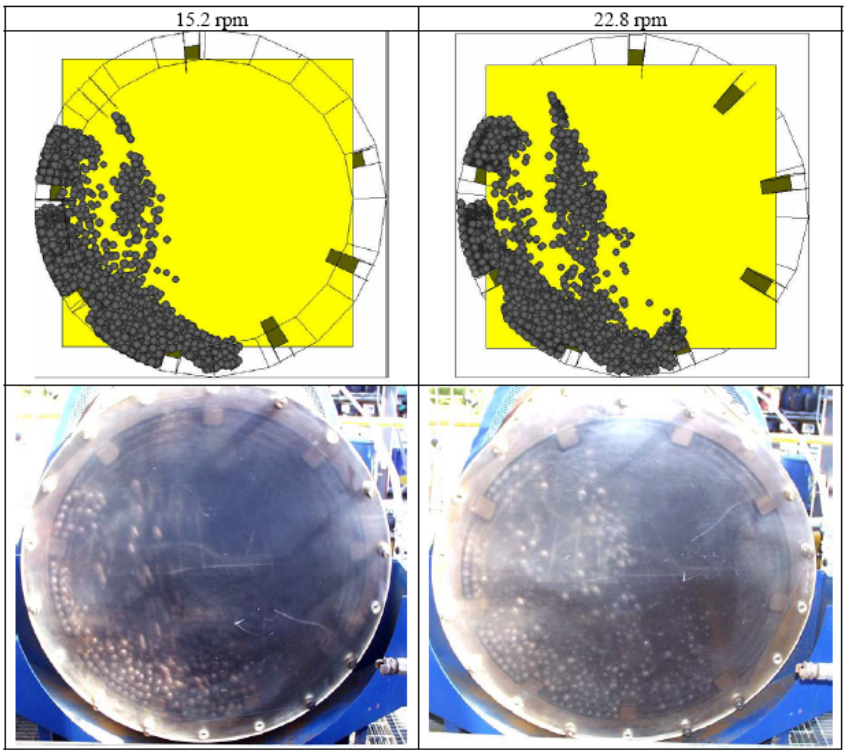
45 mm négyszög-szelvényű emelő volt benne. A valós és az elméleti modell-malom is 500 db 28 mm névleges átmérőjű acélgolyóval volt töltve. Hagyományos, lineáris kontakt modellt használtak. A súrlódási tényezőt folyamatosan mérték, értéke 0,17 volt. Az ütközési tényező 0,25 volt.

Kezdetben viszkózus csillapítást alkalmaztak, de azt állapították meg, hogy a lezuhanó acélgolyók összetapadnak. Hiszterézis-csillapítással sokkal lazább összetapadás volt elérhető. A viszkózus csillapítás feltételezi, hogy az ütközésnél elnyelt energia arányos a részecskék sebességével. A hiszterézis-csillapítás feltételezi, hogy az elnyelt energia arányos az ütköző egységek halmazai mennyiségével. A hiszterézis-csillapítás sokkal alkalmasabb a modellezett helyzet leírására.

A malom forgását a malom elemeihez (burkolat és emelők) képest állandó sebességgel modellezték Az állandósult modell-állapot elérése után a malom és a golyók különféle paramétereit vizsgálták. A paramétereket az idő függvényében, különböző forgási sebességeknél, különböző darabszámú emelő és golyó esetén határozták meg. Ezek a paraméterek az erőfüggvény, a sebességvektor diagram és a teljesítmény-felvétel volt. A hatás-erőfüggvényt frekvenciaspektrum meghatározására használták, ami elősegítette a malomban lezajló modellfolyamatok bemutatását. A teljesítményfelvételt összehasonlították a kísérleti malom energia-felvételével, hogy lehetővé tegyék az érvényesség teljeskörű kiterjesztését.

A malom sebességvizsgálata feltárta a malomban előforduló helyzeteket. A malom sebessége lényeges, mivel meghatározza a hatások természetét az alsó zóna környezetében. Ha a sebesség túl nagy, a lezuhanó golyók nem ütköznek az alsó zónában lévő anyagrészecskékkel, de érintkezni fognak a malom falával és az emelőkkel, megnövelve a kopást. Ha a malom sebessége túl kicsi, az anyagtöltet állandóan visszagördül az egyenetlen felületű malomtölteten. Egyik esetben sem lesz meg a nagy kődarabok kívánt törési aránya a malomban. Az 1. ábra mutatja pl. az 1 m átmérőjű kísérleti malom töltetének viselkedését az Itasca cég által kifejlesztett PFC3D szoftver alkalmazásával, két malomsebesség esetén. A felső ábra a modell, az alsó ábra a valós malom.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a PFC3D DEM szimuláció helyesen írta le a malomban zajló folyamatokat, és korrekten előre jelezte a malom alacsonyfrekvenciás jellemzőit.



1. ábra. Az 1 m átmérőjű malom töltetének viselkedése két különböző sebesség esetén

R. Pax a SAG 2001 konferencián Vancouverben szintén a félautogén malmok zajméréséről tartott előadást [F4]. A malmok optimális működését kísérletsorozattal szokás beállítani, mivel nem állnak rendelkezésre adatok arra vonatkozóan, hogy mi történik a malom belsejében üzem közben. Az előadás tárgya a malom zajkibocsátásának vizsgálata volt, melyből következtetések vonhatók le a belső térben lejátszódó folyamatokra. A malom közelében elhelyezett mikrofonokkal felvett zaj beesési iránya véletlenszerű (random). A zajmérés frekvenciaeredményeit Fourier transzformációval állították elő. A mérés eredményei szerint 100 Hz-nél megjelenik egy frekvenciacsúcs, ami a belsőtéri kopásra utal. A 300 Hz-nél megjelenő csúcs a malmon belüli ütközési folyamatokat jelzi. Az ütközési folyamatokat a malmon belül golyó-kőzet, kőzet-kőzet, golyó-golyó, golyó-burkolat és kőzet-burkolat csoportokra osztották fel. A mérési eredményeket idő-zaj függvényben ábrázolták. Egyik eredmény a normál-malom üzemmenetre, a másik a „kicsiszolt” azaz az elkoptatott belső malomfelületre vonatkozik. Külön ábrázolták az átlagos ütközések (a forgódobban) és a malom aljára történő ütközések zajhatását. Egy másik közelítő vizsgálatnál a mikrofonokat a malom alsó részének közelében helyezték el több pozícióban. Az előadás azt vázolta fel, hogy a malmon kívüli zajvizsgálattal hogyan lehet párhuzamot vonni a malomban végbemenő folyamatokkal. Lehetőség volt a teljes lekopási idő, a golyó-kőzet arány és az ütközések

részletes vizsgálatára. Az emelőbütykök szögét változtatni lehetett. A töltéseloszlás zavarának megszüntetése után új információ nyerésére volt lehetőség.

Ladányi G. 2005-ben végzett olyan vizsgálatokat, melyek egy röpítőtörő üzemi jellemzői és zajkibocsátása között keresett összefüggéseket [F8]. Összefüggéseket tárt fel a tömegáram és a zajkibocsátás valamint a kopás hatása és a zajkibocsátás között.

2.3. A szakirodalom összefoglaló értékelése

a) A könyvekben, tankönyvekben a legkevesebb az utalás a gépek működés közbeni zajkibocsátására [Fejes 3, Csőke 4, Pahl 7, Schultz 8, Pethő 9]. A gépek működésének leírása igen részletes, de a gép egyes zajforrásairól, a technológia keltette zajkibocsátásról nem esik szó. Néhány soros utalás előfordul a munkakörnyezetben megengedhető zajterhelés nagyságára [Pahl 7]. Ennek oka nyilvánvalóan az, hogy a könyvek tárgya alapvetően a gép működésének bemutatása, az ott fellépő erők vizsgálata.

b) A különféle gépek, berendezések zajvizsgálata általában a munkahelyi és a környezeti zajvédelem területén jellemző.

   A munkahelyi vizsgálatoknál jellemzően a dolgozó munkavégzésének helyén mért zajszintadatokat közölnek, melyek annak a megállapítására szolgálnak, hogy a munkavállalót éri-e a megítélési idő (ez általában a műszakidő) alatt olyan zajdózis, mely egészségkárosodást okoz.

   A környezeti zajvizsgálatok az üzem környezetében lévő lakóházak, intézmények védendő homlokzata előtt történnek, és a határértékek betartásának ellenőrzését szolgálják.

c) R. Pax végzett olyan vizsgálatokat, melyek a gép működése és zajkibocsátása között keres összefüggéseket. Az ő vizsgálatai golyósmalmokra terjednek ki, és számítógépes szoftvervizsgálattal modellezte a valós aprítási folyamatokat.

d) Ladányi G. vizsgálatai már az üzemi jellemzők és a zajkibocsátás összefüggésére vonatkoztak.

e) A megkutatott szakirodalomban általában nem a gép működése és üzemi körülményei ill. a zajkibocsátás közötti összefüggéseket vizsgálták.

2.4. Az értekezés célja

A szakirodalmat áttekintve látható, hogy a gép műszaki állapota, technológiai jellemzői és zajkibocsátása közötti összefüggés vizsgálata máig kevésbé megkutatott terület. Egyértelműen igaz ez az aprítógépekre is. Zajkibocsátásuk meghatározására kevés mérést végeztek, ráadásul a mérési eredmények általános publicitása nem széleskörű.

Az előbbiek miatt az értekezés az aprítógépek új szempontokból történő zajvizsgálatát tűzi ki célul, hogy információkat szerezzünk a működési körülmények és a zajkibocsátás közötti összefüggések feltárására és következtetések levonására, amely lehetővé teszi a berendezés zajának előzetes becslését és szabályozását.

A jelenlegi ismeretek nem nyújtanak elegendő információt arról, hogy a zaj szabályozásában mi a teendő az előkészítő rendszerek gépészeti és technológiai tervezése során (az eljárás és a berendezés kiválasztása, a terhelés tervezése), mint ahogy ahhoz sem, hogy a gép zaja az üzemelés jellemzőivel milyen módon befolyásolható.

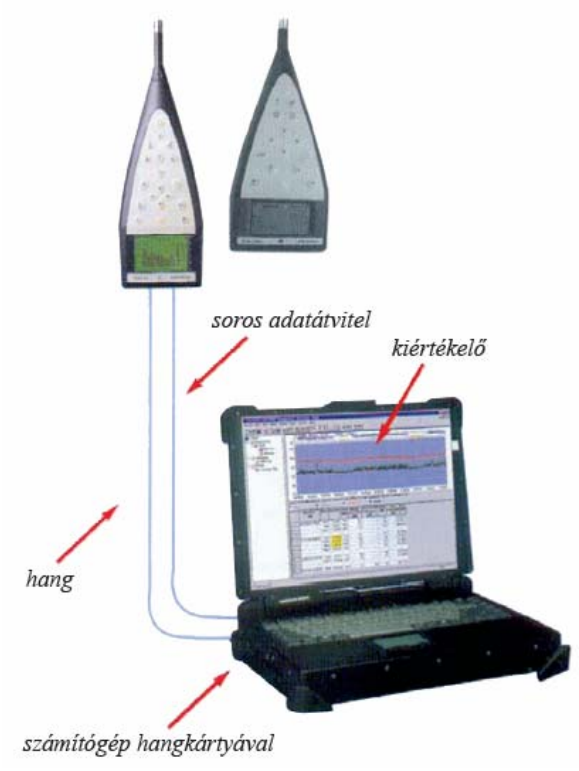
3. AZ ALKALMAZOTT VIZSGÁLATOK ÉS ÉRTÉKELÉSI MÓDSZEREK

A kutatómunka első része laboratóriumi modell-vizsgálatokat foglal magába, melyben nem volt lehetőség valamennyi géptípus bevonására. A mérések időigényesek, az aprításokhoz több gép esetében nagy mennyiségű aprítandó anyagra van szükség, melyet a vizsgálat színhelyére kell szállítani, ennek a költségkihatása is jelentős. A gépekhez szükség van kiszolgáló személyzetre is, melynek rendelkezésre állása nem korlátlan. Mindezek figyelembevételével kép géptípust választottam ki, melyek méréséhez az üzemeltetők biztosították a feltételeket.

Az első vizsgált géptípus egy Prall malom volt, mely a Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszék laboratóriumában található.

A feladat kivitelezéséhez aprítandó anyagként mészkő került beszerzésre, melyet a vizsgálathoz digitális mérlegen lemértem, részmintákra osztottam, majd ezek tömegét is digitális mérlegen lemértem. Az aprítandó anyagot kézzel adagoltuk a malomba. A tömegáramot az adagoló-rés állításával változtattam. A tömegáram meghatározásához stopperrel mértem az aprítási időt, a részminta tömege és az idő hányadosa adta a tömegáramot.

Összeállítottam a zajmérő rendszert (2. ábra), mely egy 2260 típusú Brüel & Kjær típusú műszer volt BZ 7206 modullal vezérelve, mellyel egyidejűleg lehetett több zajjellemzőt is vizsgálni, ezzel jelentősen lerövidítve a vizsgálat idejét. A műszer alkalmas a mérési adatok tárolására. Az eredményeket számítógépbe töltöttem be, és Brüel & Kjær Noise Explorer Type 7815 version 3.31 szoftver segítségével értékeltem ki, a mérési adatokat táblázatos formába rendezve. Valamennyi laborvizsgálatnál ezt a műszerösszeállítást használtam.



2. ábra. Zajmérő rendszer

A Prall malom első vizsgálata során a zajkibocsátást különböző üzemváltozatok – üresjárat a mérés-sorozat elején, aprítás különböző tömegáramok esetén, üresjárat a mérés-sorozat végén – vizsgáltam meg. Az üresjárati méréseknél a gépet burkoló hasábbal párhuzamos, tőle 0,5 m-re felvett mérőfelületen 5 ponton hangnyomásszintet mértem, majd a zajteljesítményszintet kiszámoltam. Az aprítások idején történő méréseknél a géppel szemközt, tengelymagasságban, a géptől 1 m-re hangnyomásszinteket mértem tercsávos bontásban. A kapott zajszint-idő függvényből azon időtartam hangnyomásszintjét vettem jellemzőnek az aprításra, amikor az állandó volt (azaz az aprítás eleji felfutási és a végén a lecsengési időszakot az értékelésből kihagytam).

A Prall malom második vizsgálatakor először üresjárat során, majd három különböző tömegáram esetén határoztam meg a zajteljesítményszintet.

Választ kerestem arra, hogy

- **a tömegáram nagysága hogyan befolyásolja a zajkibocsátást-zajteljesítményszintet, ill. mely tömegáram esetén a legcsendesebb az aprítás**
- **változott-e a malom üresjárati zajteljesítményszintje a törés után**

A második kísérleti berendezés pofástörő volt.

Az első pofástörő a BÉM Borsodi Ércelőkészítő Mű RT laborépületében található. Vizsgáltam az amúgy rendszeres használat alatt nem álló törő zajkibocsátását üresjáratban, majd három különféle anyag – érc-zsugorítvány, építési tégla és magnezit tégla - aprítása során, végül ismét üresjáratban.

Az aprítandó anyagok tömegét lemértem. Az anyag pofástörőn való áthaladásának idejét stopperrel mértem, a tömegáramot a tömeg és az idő hányadosaként határoztam meg.

Ezen vizsgálatnál azt tártam fel, hogy

- a különféle minőségű, állagú, keménységű anyagok aprítása hogyan befolyásolja a törő zajkibocsátását,

- az aprítások után az üresjárati zajkibocsátás milyen mértékben változik.

A második vizsgált törő a Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszék laboratóriumában található. Ezen pofástörőnél üresjáratban majd három különböző tömegáramnál határoztam meg a zajteljesítményszintet. Az aprított anyag mészkő volt.

A vizsgálat során választ kerestem arra, hogy az üresjárati zajteljesítményszinthez képest hogyan változik a zajteljesítményszint az aprítás során, ill. a különböző tömegáramok esetén.

A kutatómunka második részében **számos, különféle típusú törőberendezés zajkibocsátását vizsgáltam az üzemelés helyén (bányákban, feldolgozóüzemekben) ill. kiértékeltem az ÁNTSZ által végzett munkahelyi zajmérések eredményeit.**

Az ÁNTSZ vizsgálatok célja a dolgozót érő zajterhelés meghatározása, ezért a méréseket a dolgozó tartózkodási helyén, a gép mellett általában 1 m-re , fülmagasságban szokás végezni. A mérési eredmények bizonytalanságát okozza, hogy a rendelkezésre álló jegyzőkönyvek nem rögzítik pontosan a mérés körülményeit, egyes gépek már nem is találhatók meg az üzemekben, mert helyettük újakat állítottak üzembe, így az üzemeltető által rendelkezésre bocsátott adatokat utólag pontosítani, esetleg korrigálni nem mindig tudtam.

Részletesebb és pontosabb adatok nyerése érdekében méréseket végeztem 2004. októberben és 2005. március-júliusban. Több géptípust vizsgáltam. Ezek a gépek termelő berendezések voltak, így a folyamatokba való beavatkozásra nem volt lehetőség, az üzemállapotokat változtatni nem lehetett, néhány gép esetében azonban meg tudtam mérni az üresjárati és terhelési hangnyomásszintet is.

A méréseket a törőktől 1 m-re, 1,5 m magasságban, a legnagyobb zajkibocsátású oldalon mértem. Egyenértékű A-hangnyomásszinteket és tájékozódásképpen maximális impulzusos hangnyomásszinteket is mértem

A vizsgált törőberendezések tömegáram, rotorfordulatszám, motorfordulatszám, gép villamos teljesítmény, motor villamos teljesítmény, lökethossz, rotor/henger-átmérő adatait, feladási és végtermék méreteket és a berendezés befoglaló méreteit az üzemeltetők adták meg. Az igénybevételi sebességet a rendelkezésre álló adatokból számoltam, pofás- és kúpostörőknél a lökethosszból és a rotorfordulatszámból (egy fordulat idejéből), a többi törőnél a rotorfordulatszámból és a rotorátmérőből.

A mért A-hangnyomásszinteket megvizsgáltam a tömegáram, az igénybevételi sebesség, a feladott anyag fajtája, az aprított anyag szemcseméret finomsága, a törés módja és a törők típusának függvényében. A mérési eredményeket és trendjüket diagramokban ábrázoltam.

4. A HANG, ZAJ FOGALMA, FIZIKAI JELLEMZŐI

A kiválasztott aprítógépek vizsgálata során a működés közben az egyes technológiai folyamatok keltette zajkibocsátást mértem, ezért először az akusztikai alapfogalmakat, majd a zaj fizikai jellemzőit mutatom be.

4.1. Hang, zaj fogalma

A hang [1]

A „hang” szó három jelentéstartalmat hordoz. A hang mint fizikai jelenség valamely rugalmas közeg mechanikai zavarásállapota, amely a közeg rugalmassága és tehetetlensége miatt a rendelkezésre álló térben tovaterjed. A zavarási állapot gáznemű és folyékony közegben nyomásingadozás, szilárd testekben lényegesen bonyolultabb rugalmas alakváltozási folyamat. A támadási hely a zavar forrása, vagyis a hangforrás.

A jelentés másik tartalma : a hang mint hallható, vagyis füllel érzékelhető külső inger. A fizikai hangfogalom sokkal szélesebb terjedelmű – akár frekvenciában, akár intenzitásban – mint az élettani. Ezért beszélünk infrahangokról (20 Hz alatti frekvenciájú rezgések), ultrahangokról (16 kHz fölötti frekvenciájú rezgések), sőt hiperhangokról (10^9 Hz fölötti frekvenciájú rezgések) is. Ezek fizikai jelenléte kétségtelen, de az átmeneti helyektől eltekintve nem hallhatók, egyéb élettani hatásuk pedig csak igen nagy intenzitás esetén tapasztalható.

A „hang” harmadik jelentése az érzelmi és esztétikai hatása. A fizikai és hallható hangtól való megkülönböztetésül hangélménynek is szokás nevezni.

Zaj

Zajnak a kellemetlen, nem kívánt hangjelenséget nevezzük. Pontos meghatározása nem adható meg, mivel a megítélés erősen szubjektív jellegű. A megítélés függhet az egészségi állapottól, a fáradtságtól, a zaj mibenlététől (pl. a hangos zenét a diszkóban levők élvezik, jól érzik magukat, a környéken lakókat viszont jelentősen zavarhatja, különösen az éjszakai időszakban). Zavarhatja a tanulást, alkotómunkát, a pihenést, akadályozhatja a beszédértést. Betegségek kialakulását is előidézheti, így pl. magas vérnyomást, gyomorfekélyt, fejfájást, idegi panaszokat okozhat.

Ugyanakkor szükséges is, mert hiánya balesetveszélyt is okozhat. Pl.: ha nem halljuk meg, hogy jön a villamos vagy egy autó. Jelzi ugyanakkor pl. egy gép üzemállapotát is.

4.2. Fizikai jellemzők [2]

a) A hang hullámjelenség.

Hullámmozgásról akkor beszélünk, ha egy rezgésállapot terjed a térben. Fontos tudni azt, hogy a hullámban csupán rezgési (mechanikai) energia terjed. A közeg tömegrészecskéi nyugalmi helyzetük körül rezgőmozgást végeznek, miközben energiájukat a hangforrásból kiindulva egymásnak átadják.

A hullám: legfontosabb jellemzői:

- a hullámhossz: λ [m]
- a hullám terjedési sebessége: c [$\frac{m}{s}$]
- a terjedő rezgés frekvenciája: f [$\frac{1}{s}$ = Hz]
- A jellemzők között a következő összefüggés van:
- $\lambda = \frac{c}{f}$ (1)

A gázokban és a folyadékokban csak hosszanti, vagyis longitudinális hullámok alakjában terjedhet a hang. A közeg részecskéinek rezgésiránya ez esetben egybeesik a hang terjedési irányával.

Szilárd testekben a rugalmas nyúlással egyidejűleg a nyúlás irányára merőleges irányban össze is húzódik az anyag, és ennek következménye a transzverzális hullám. A transzverzális hullámokban a hang terjedési irányára merőleges irányban rezegnek az egyes részecskék.

b) A hang terjedési sebessége

A hang terjedési sebessége attól függ, hogy milyen közegben terjed. Gázok esetében függ a fajhők viszonyától, a közeg nyomásától és a közeg sűrűségétől.

Szilárd anyagokban a legnagyobb sebesség a longitudinális hullámban alakul ki. Ez a terjedési sebesség a közeg rugalmassági modulusától és a közeg sűrűségétől függ.

c) A hangspektrum vagy hangszínkép

A hangjelenségeknek csak kisebb csoportját képezik a tiszta hangok, amelyeket csak egyetlen *„f”* frekvenciával ill. *„λ”* hullámhosszal tudunk jellemezni.

A gyakorlatban előforduló hangok túlnyomó többsége összetett hang, azaz a tiszta hangok megszámlálható vagy végtelen sorozatából áll.

A hang legjellemzőbb adata a frekvencia függvényében felvett amplitudó diagram, amit másképpen hangspektrumnak vagy hangszínképnek nevezünk.

d) Hangnyomás

A hanghullámok terjedése a levegőben nem más, mint a levegőmolekulák sűrűsödésének és ritkulásának változása a hanghullámterjedés irányában. A sűrűsödések és ritkulások következtében a levegőben nyomásingadozások keletkeznek. Ezeket a nyomásváltozásokat hangnyomásnak nevezzük. A hangnyomás hozzáadódik a légköri nyomáshoz.

A hangnyomás jele: ***p***, mértékegysége: Pa (Pascal).

e) Hangintenzitás

A hangintenzitás alatt a hullámtérben a terjedés irányára merőlegesen elhelyezett egységnyi felületen egységnyi idő alatt átáramló energiát értjük.

Jele: $\boldsymbol{I}$, mértékegysége : $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$

A hangintenzitás és a hangnyomás (p) között távoltérben a következő az összefüggés:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \qquad (2)$$

ahol

ρ a közeg sűrűsége kg/m^3-ben, amelyben a hang terjed,

c a hang terjedési sebessége a közegben $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$-ban.

f) Hangteljesítmény

Hangteljesítménynek az adott felületen (*S*), rá merőlegesen, az időegység alatt átáramló hangenergia-mennyiség átlagos értékét nevezzük.

Jele : $\boldsymbol{W}$, mértékegysége: watt (W)

A hangteljesítmény és az intenzitás között az alábbi összefüggés van:

$$W = I\,S \qquad (3)$$

g) Irányítási tényező

A hangforrás irányításának számszerű mértéke az irányítási tényező. Adott Θ térszögbe sugárzó hangforrástól adott távolságban mérhető intenzitásnak (I_Θ) és annak az intenzitásnak a hányadosát, amelyet egy ugyanakkora hangteljesítményű, minden irányban, a teljes térbe egyenletesen sugárzó pontszerű hangforrás a vizsgált pontban keltene (I_g), irányítási tényezőnek nevezzük.

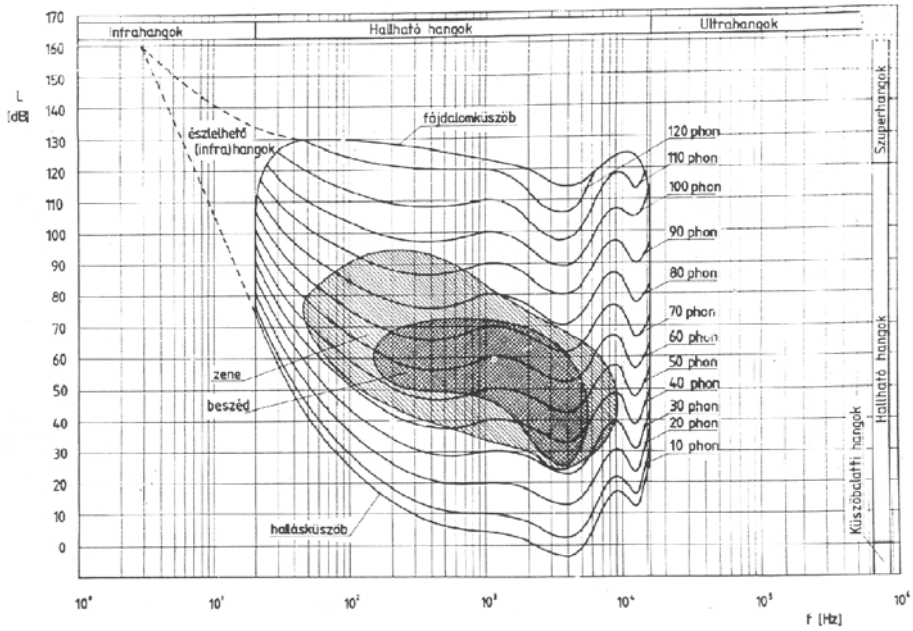
Jele: ***D***

$$D = \frac{I_\Theta}{I_g} \qquad (4)$$

h) Szintértékek

A gyakorlati életben előforduló hangforrások hangteljesítményüket, intenzitásukat, hangnyomásukat tekintve igen széles tartományt fognak át. Az emberben hangérzet akkor keletkezik, ha a hang frekvenciája 20 – 16.000 Hz közötti, intenzitása $10^{-12} - 1\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$ közötti tartományba esik. A hallástartománynak ezt a 12 nagyságrendű skáláját lineáris léptékben összefogni igen nehéz lenne, ezért bevezették a logaritmikus léptéket.

Az emberi hallástartományt dB-ben a frekvencia függvényében a 3. ábra mutatja.



3. ábra. Az emberi hallástartomány [Kováts A.]

A szint két azonos mértékegységű jellemző mennyiség hányadosának logaritmusa.
Matematikai jelölése: ***L***

Akusztikában a szint mértékegysége tizesalapú logaritmus esetén bel, jele **B.**

A gyakorlatban ennek a tizedrésze, a decibel használatos, jele **dB.**

Relatív szint:

$$L = 10 \lg \frac{W_1}{W_2} \text{ [dB]} \tag{5}$$

ahol

W_1 az egyik teljesítményjellegű mennyiség,

W_2 a másik teljesítményjellegű mennyiség.

Abszolút szintről beszélünk, ha a vonatkoztatási szint (W_2, I_2, p_2) 1000 Hz-en az emberi hallásküszöbnek megfelelő érték.

A dB-skála másik előnye az, hogy az emberi fül érzékenységével szorosabb kapcsolatban van, mint a Pa-skála. A Weber-Fechner-féle pszichofizikai alaptörvény szerint az érzet foka az ingererősség hatványával arányos:

$$\Psi = (\Phi - \Phi_0)^n, \tag{6}$$

ahol Ψ az érzet, Φ az inger és Φ_0 a küszöbinger. „n” értéke kétfülű hallás esetén hangnyomásra 0,6 [Kováts A.]

A hangnyomásszint és a hangteljesítményszint

A hangnyomásszint (L_p) a hangtér bármelyik pontjában értelmezhető mennyiség. Az emberi hallásérzékeléssel szoros kapcsolatban van, és megfelelő műszerrel nehézség nélkül, pontosan mérhető.

Ezzel szemben a hangteljesítményszint (L_w) nem egy pontra, hanem valamely felületre értelmezett mennyiség. Amennyiben ez a felület zárt, és belsejében zajforrás van, a zárt felületre meghatározott teljesítményszint a zajforrás teljesítményszintjét adja meg.

A hangnyomásszint és a hangteljesítményszint közötti kapcsolat szabad gömbhullámra a következő képlettel fejezhető ki:

$$L_w = L_p + 10 \lg \frac{4\pi r^2}{S_0} \tag{7}$$

ahol

L_w hangteljesítményszint,

L_p hangnyomásszint,

r a gömbfelület sugara, amelyre a teljesítményszintet értelmezzük [m],

S_0 1 m^2.

Ha a zajforrás nem a teljes térbe sugároz, akkor az irányítási tényező (D) figyelembevételével a hangteljesítményszint:

$$L_w = L_p + 10 \lg \frac{4\pi r^2}{DS_0} \tag{8}$$

A teljesítményszint mint a zajforrás jellemzője

A teljesítményszint tehát a zajforrás akusztikai minősítésére, jellemzésére alkalmas, mert a teret az irányítási tényező ismeretében egyértelműen meghatározza.

A zajcsökkentési tervezéshez is szükséges a zajforrás zajteljesítményszintjének ismerete. Ezen adat birtokában a zajforrástól adott távolságban a hangnyomásszint számítható, és az összehasonlítható a határértékkel. A zajteljesítményszint tehát forrásadat, a hangnyomásszint pedig a forrástól való távolságtól függő adat.

A teljesítményszint meghatározásának korlátai vannak. A pontos méréshez laboratóriumi körülményeket kell biztosítani. Amennyiben a méréseket a műszaki gyakorlat kívánta pontossággal kívánjuk elvégezni, akkor általános célú teremben vagy szabadban is végezhetünk méréseket.

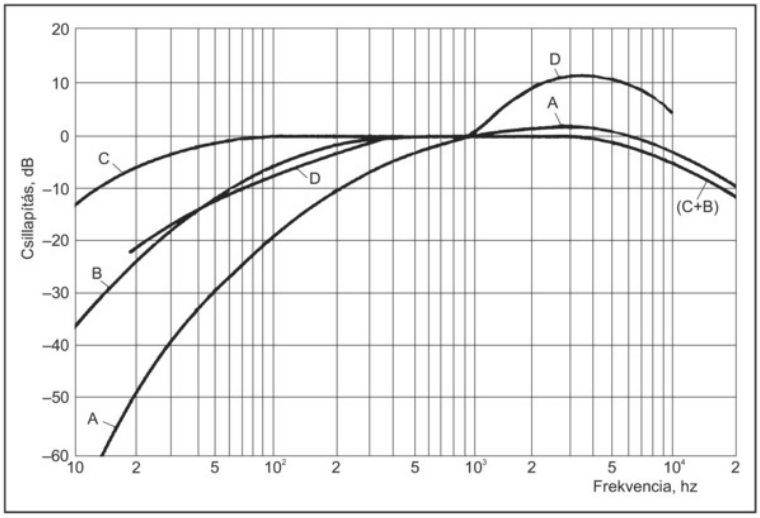
Amennyiben a mérést az üzemeltetés helyszínén, esetleg akusztikailag kedvezőtlen körülmények között kell végezni, a mérés tájékoztató jellegű lesz.

5. ZAJMÉRÉSI MÓDSZEREK

A levegőben terjedő hangot mint a levegő nyomásingadozását érzékeljük. Ezért a hangnyomásszint mérésekor tulajdonképpen nyomást mérünk, és a mérőműszer alakítja át a mért jelet és jelzi ki a hangnyomásszintet.

5.1. Mérőberendezés

A műszerek az emberi fül hallását közelítve érzékelik a levegő nyomásváltozásait. A hangnyomásszint-mérő egyik legfontosabb eleme a hangnyomással arányos villamos feszültséget szolgáltató mérőmikrofon. Ez a mikrofon rendszerint kondenzátormikrofon. A mikrofon által szolgáltatott váltófeszültséget megfelelő erősítők segítségével felerősítik, egyenirányítják és dB-ben skálázott műszer segítségével mérik. Az így felépített műszer a zaj mérésére már alkalmas, de a frekvenciafüggő hallásjellemzőket nem veszi figyelembe. Ehhez olyan korrekciós áramkörre van szükség, ami az emberi fül hallásmechanizmusának megfelelően közepes frekvenciákon biztosítja a műszer legnagyobb érzékenységét, magas és mély frekvenciákon pedig a közepes frekvenciánál alkalmazottól kisebb mértékű csillapítást biztosít. Erre ma általános célokra kizárólag az „A” frekvenciaszűrőt használják. Az A-szűrő átviteli görbéje az 4. ábrán látható.



4. ábra. A-szűrő átviteli görbéje [I9]

A súlyozószűrő alkalmazása igen egyszerű, de nem minden esetben kielégítő megoldás. A zajok egyszámadatos jellemzése elfedi, „összemossa” a hang eredeti jellemzőit. A

zajtechnikai tervezés, méretezés szempontjából ugyanis egyáltalán nem mindegy, hogy egy zaj milyen: magas és mély hangokat tartalmazó összetett hang, mélyhangú búgás vagy éles, sivító, magas hang volt-e, hiába azonos a három zaj A-szintje.

A zajok jellemzéséhez ezért olyan áramköröket, ún. szűrőket is használunk, amelyek csak egy-egy, többé-kevésbé szűk frekvenciasávot engednek át. Az ilyen szűrőket folyamatosan vagy lépésenként az egész méréstartományban végigléptetve a zaj színképét, azaz spektrumát kapjuk meg. A spektrum meghatározása tervezési feladatoknál, méretezésnél, a megfelelő hallásvédő eszközök kiválasztásánál elengedhetetlen.

A gyakorlatban leggyakrabban az oktáv- vagy tercspektrumokra van szükségünk, ezért oktáv- vagy tercszűrőket használunk.

Amennyiben az oktáv- vagy tercszűrő által nyújtott felbontás sem elegendő, akkor még részletesebb, ún. keskenysávú frekvenciaelemzést kell végezni.

A korszerű műszerek esetében a mérőberendezés magában foglalja a különféle típusú szűrőket, és ezekkel egyidejűleg tud mérni. Ezek a műszerek alkalmasak arra is, hogy ugyanazon mérésből az S; F; és I időállandónak megfelelő zajjellemzőt megadják. Ez nagymértékben lecsökkenti a mérési időt, nem kell az időállandót egy-egy méréssorozat után átkapcsolva a mérést megismételni. Ugyanez érvényes a frekvenciaelemző vizsgálatoknál is az egyidejű mérésre nézve.

A méréseimnél használt, BZ7206 modullal vezérelt Brüel & Kjær 2260 típusú műszer – melynek vázlatos rajzát az 5. ábra mutatja -, alkalmas azonos idejű elemzésre, azaz egyidejűleg mérhető vele az

L_{min} a mérés idején előforduló legkisebb hangnyomásszint,

L_{max} a mérés idején előforduló legnagyobb hangnyomásszint,

L(I) impulzusos időállandóval mért hangnyomásszint,

L(F) gyors időállandóval mért hangnyomásszint,

L(S) lassú időállandóval mért hangnyomásszint,

SPL pillanatnyi hangnyomásszint,

L_{eq} egyenértékű hangnyomásszint (egy időintervallum integrál átlaga),

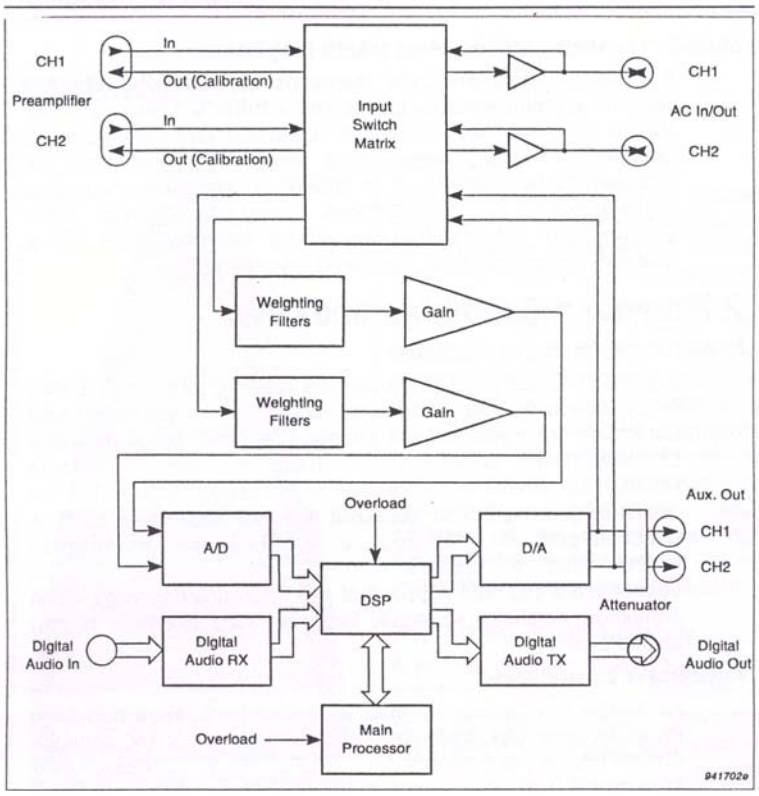
L_{terc} tercelemzővel mért hangnyomásszint,

L_{okt} oktávszűrővel mért hangnyomásszint,

L_{lin} szűrő nélkül mért hangnyomásszint,

L_A A-szűrővel mért hangnyomásszint

értéke.



5. ábra. Brüel & Kjær 2260 típusú műszer vázlatos rajza

5.2. A hangnyomásszint mérése

A hangnyomásszint mérése a teljesítményszint méréséhez képest egyszerű, mert az érték a műszerről leolvasható. A leolvasott érték általában még nem a végeredmény, a mért értéket a mérési körülményektől függően korrigálni kell, pl. alapzaj, impulzitás, tonalitás miatt.

5.3. A hangteljesítményszint meghatározása [Augusztinovicz 5, MSZ-KGST 1413-78 SZ1]

A hangteljesítményszint közvetlenül nem mérhető. Meghatározásának módját szabványok írják elő. A meghatározás módja lehet pontos, műszaki és tájékoztató jellegű. A mérés helyszíne szerint szabadtéri és zengőtéri méréseket különböztetünk meg.

A szabadtéri mérések történhetnek hangvisszaverő sík felett és az üzemeltetés helyén. A zengőtéri méréseket laboratóriumi zengő szobában ill. speciális helyiségben lehet végezni. A mérések akusztikai körülményei és az egyes módszerek együttesen határozzák meg az elérhető mérési pontosságot.

A műszaki gyakorlatban felmerülő problémák legnagyobb részénél általában elegendő a műszaki módszerek által biztosított pontosság. A hangvisszaverő sík feletti szabad térben végzett műszaki mérés feltételeit megfelelő méretű ipari helyiségben általában könnyen biztosítani lehet.

A tájékoztató módszert általában akkor alkalmazzuk, ha az üzemeltetés helyén az akusztikai körülmények nem teszik lehetővé a műszaki mérést, és a gépet nem lehet akusztikailag kedvezőbb körülmények közé helyezni, vagy amikor valamilyen más oknál fogva nem szükséges a nagyobb ráfordítást igénylő műszaki módszert alkalmazni. A tájékoztató mérés elvileg ugyancsak hangvisszaverő sík feletti szabad térben történik, de a tér ellenőrzésekor, a mérési pontok kiválasztásakor és az alapzaj hatásának figyelembevételekor a műszaki módszernél jóval lazábbak a feltételek.

A hangteljesítményszint meghatározásának elve a hangteljesítményszint és a hangnyomásszint közötti összefüggésből adódik:

$$L_W = L_m + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad \text{[dB]}, \tag{9}$$

ahol

L_m a mérőfelületen mért hangnyomásszintek vagy sáv-hangnyomásszintek átlagértéke [dB],

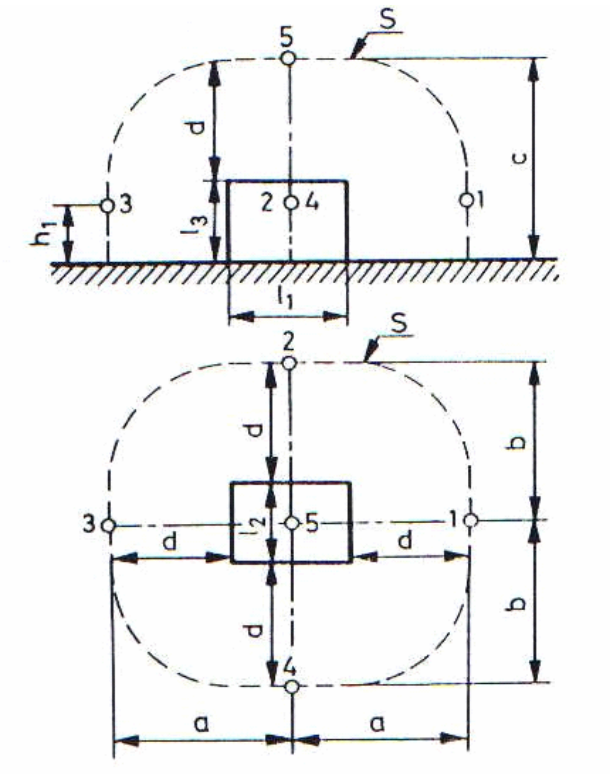
S a mérőfelület nagysága [m^2],

S_0 1 m^2.

Az alábbiakban a tájékoztató mérési módszert ismertetem a zajteljesítményszint meghatározására [SZ1] alapján, mivel laboratóriumi méréseimet ezen módszer szerint végeztem.

A mérések elvégzéséhez általában a 6. ábrán látható összetett mérőfelület használandó.

A mérési pontok száma 5-nél kevesebb nem lehet. 5-nél több mérési pontra akkor van szükség, ha az 1.-5. pontokban mért legnagyobb és legkisebb A-hangnyomásszintek közti különbség a 8 dB-t meghaladja.



S	mérőfelület
1-5	mérési pontok
l_1, l_2, l_3	m gépet magába foglaló derékszögű hasáb méretei
d	mérési távolság

6. ábra. Összetett mérőfelület tájékoztató mérésnél

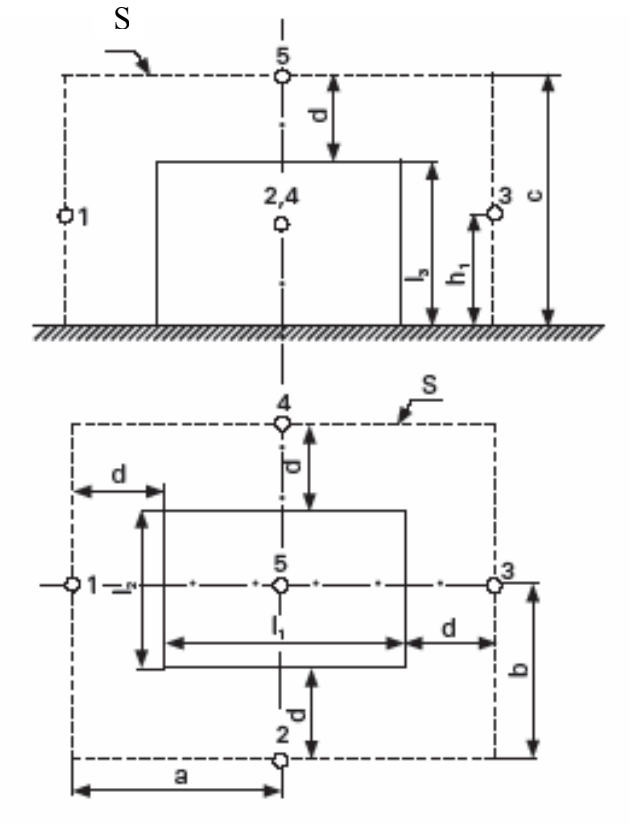
Az ISO 3746 3.2.3. szakasz szerint összetett mérőfelület helyett derékszögű hasáb alakú mérőfelület is használható, ha $d \leq 1{,}5\ l_{max}$,

ahol

d a mérési távolság [m],

l_{max} a gép l_1 és l_3 méretei közül a nagyobb [m].

A derékszögű hasáb alakú mérőfelület a 7. ábrán látható:



S	mérőfelület
1-5	mérési pontok
l_1, l_2, l_3	a gépet magába foglaló derékszögű hasáb mérete
d	mérési távolság, minimális értéke 0,25 m
h_1 =	0,5 c

7. ábra. Derékszögű hasáb alakú mérőfelület

Ebben az esetben az S mérőfelület nagyságát a következő képlettel kell számolni:

$$S = 4\,(ab + bc + ca)\ \ [\mathrm{m}^2] \qquad (10)$$

A mérőfelület párhuzamos a befoglaló hasábbal. Minden mérési ponton mérni kell az A-hangnyomásszintet és – szükség esetén - a *100 Hz – 10000 Hz közötti* középfrekvenciájú tercsávokban a hangnyomásszintet (oktávsávos és tercnél keskenyebb sávokban történő mérés is lehetséges).

Az átlagos hangnyomásszint az alábbiak szerint számítandó:

$$L_m = 10\,\lg\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} 10^{0,1 L_i}\right] - K\ \ [\mathrm{dB}], \qquad (11)$$

ahol

L_i az i-edik mérési pontban mért hangnyomásszint (A- vagy sáv-hangnyomásszint) [dB],

n a mérési pontok száma,

K az [SZ1] 3.4. szakasz szerinti állandó, [dB], mely a vizsgálati helyiségben fellépő hangvisszaverődés hatásának figyelembevételét szolgálja. Zárt helyiségben végzett mérés akkor felel meg az [SZ1] szerinti módszenek, ha *K* < 7. Szabadban végzett mérésnél *K*=0.

Ha a mérést helyiségben végezzük, K értékét az alábbi képlettel kell számítani:

$$K = 10 \lg \left[1 + 4 \frac{A}{S} \left(1 - \frac{A}{S_v}\right) \right], \qquad (12)$$

ahol

S a mérőfelület nagysága [m^2],

S_v a vizsgálati helyiséget határoló felületek összege (beleértve a padlót is) [m^2],

A a vizsgálati helyiség egyenértékű elnyelési felülete: $A = \alpha_s S_v$ [dB],

α_s a helyiség átlagos elnyelési tényezője.

A hangteljesítményszint számítására így az alábbi képlet adódik az előbbiek alapján:

$$L_w = 10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1 L_i} \right] - K + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad [dB] \qquad (13)$$

Laboratóriumi vizsgálataim során azért alkalmaztam a zajteljesítményszint meghatározására az MSZ-KGST 1413-78 szabvány szerinti tájékoztató módszert, mert

- nem a vizsgált gépek zajteljesítményszintjének pontos módszer szerinti meghatározása volt a cél, melyhez nem állt rendelkezésre akusztikailag megfelelő laboratórium (zengő szoba, süket szoba),
- a vizsgált berendezések kis méretűek voltak, az 5 ponton mért A-hangnyomásszint értékek közti különbség a 8 dB-t nem haladta meg, ezért elegendőnek találtam az 5 ponton történő hangnyomásszint mérést a teljesítményszint meghatározásához,
- egy-egy üzemi jellemző (Q, v) változtatása során meghatározott zajteljesítményszintek összehasonlításával kívántam következtetéseket levonni.

Jellemzően az A-zajteljesítményszinteket hasonlítottam össze, így közeltér-távoltér meghatározást nem végeztem. Augusztinovicz szerint a géptől 0,25 m távolságban is kielégítő pontosságú eredményeket lehet kapni, ha csak A-teljesítményszintet kívánunk meghatározni, mivel az alacsony frekvenciás komponensek ritkán befolyásolják döntően az eredő A-teljesítményszintet.

6. APRÍTÓGÉPEK ZAJKIBOCSÁTÁSA ÉS TECHNOLÓGIAI-MŰSZAKI JELLEMZŐIK KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK VIZSGÁLATA

Az aprítógépek az eljárástechnikai gépek azon csoportja, melyek a feladott anyag nagyobb méretű darabjaiból, szemcséiből kisebbeket állítanak elő.

A 0,5…1 mm-nél nagyobb szemcséket eredményező aprítást törésnek nevezzük, gépei a törők. A törők terméke a töret.

A 0,5…1 mm-nél kisebb szemcséjű terméket előállító aprítás az őrlés, gépei a malmok, termékük az őrlemény.

Az aprítást rendszerint több, egymást követő törési ill. őrlési fokozatban valósítják meg. Az aprítás mértéke, a töret ill. az őrlemény szemcseösszetétele azok felhasználási céljától függ. A diszperz anyagok előállítását szolgáló aprítás az egyik legszélesebb körben – a vegyiparban, a gyógyszer- és élelmiszeriparban, építőipari alapanyaggyárátásban, az ásványelőkészítésben és ásványfeldolgozásban egyaránt – alkalmazott anyagátalakító ipari eljárás.

Az aprítás célja lehet:

- a végtermék kívánt halmazskálájának az elérése, pl. jó folyási tulajdonságok, megfelelő töltéssűrűség, magas színhatás, kellemes íz,
- a további feldolgozás által igényelt szemcseméret előállítása,
- keverékrendszerekben az alkotók fizikai feltárása:
  - ásványelőkészítésben: a kőzetben az ásványok összenőve fordulnak elő, szétválsztásuk feltétele az ásványok egymástól való elválásának (feltárásának) aprítással történő biztosítása,
  - hulladékelőkészítésben: e vonatkozásban az aprítás célja az egyes komponensek (pl. kábelek esetében a fémek és műanyag, gumi) egymástól való megszabadítása.

A kőzetek ásványai és a hulladék-komponensek egymástól való elválasztását megelőzően tehát biztosítani kell az egyes alkotók (ásványok ill. szerkezeti anyagok) egymástól való fizikai elkülönülését, azaz a mechanikai szétválasztást az alkotók aprítással történő fizikai feltárásának kell megelőznie.

A szemek törési igénybevétele történhetik:

a) Két szilárd felület között: fokozatos nyomás, ütés, nyírás, vágás, dörzsölés a fő erőhatások. A *két felület* közötti törésnél a kemény szemcsék belenyomódnak a törőfelületbe. E benyomódás relatív mélysége a szemnagyság csökkenésével nő, bizonyos szemnagyság

alatt a szemcse teljesen beágyazódik a két felületbe. Ekkor a közölt energia nagy része a szemcse rugalmas alakváltozása helyett a törőfelületek plasztikus deformálására fordítódik. Ha sok finom szem van jelen, ezek a törőfelületekbe tapadva több réteg vastagságú bevonatot képezhetnek. A szemcsék igénybevételét e rétegen át közölt erőhatások határozzák meg; az energia nagy része a szemcsék egymáson csúszásának súrlódásában használódik el. E tapadás felületaktív anyagokkal befolyásolható.

Két felület között törő berendezések az alábbiak:

A *pofástörők* és *körtörők* a kemény, koptató, rideg anyagok durva törésére valók elsősorban, de középaprításra szerkesztett gépek is vannak. Két meredek, alul hegyesszöget bezáró törőfelületük van; az egyik áll, a másik ehhez váltakozva közeledik-távolodik.

A *kúpostörők* a kemény anyagok középaprítására a legelterjedtebb gépek. A kúpos törőfej alkotói nagyjából függőleges irányban közelednek-távolodnak – nagy kilengéssel – az álló törőfelülethez, míg a körtörők mozgó kúpja vízszintes síkban – kis kilengéssel – köröz.

A *kalapácsos törők* lágy és törékeny vagy szívós, de nem koptató vagy szálas anyagok aprítására alkalmas gépek. Durvatörésre is, finomaprításra, sőt száraz őrlésre is használhatók.

A *sima* (vagy kissé recézett) *hengerpár* kemény (és lágy) anyagok finom- és középaprítására használható.

Fogazott vagy *tüskés hengerek* a lágy (~középkemény) anyagok durvatörésére valók. Egy- és kéthengeres kivitelben készülnek.

A *görgőjárat* középkemény és lágy anyagok finomaprítására-őrlésére való.

A *gyűrűsmalmokban* őrlőkúpok vagy golyók – a centrifugális erő vagy rugók hatására – őrlőgyűrűnek szorulnak. Vagy a gyűrű forog, vagy az őrlőtestek köröznek a gyűrűn. Középkemény és lágy, nem koptató, törékeny anyagok száraz őrlésére valók elsősorban.

A *dobmalmok, rudasmalmok* és *golyósmalmok* kemény és lágy anyagok száraz és nedves őrlésére egyaránt alkalmas, nagy teljesítményű gépek. A rugós alátámasztású *rezgőmalmok* apró golyótöltése főleg ütéssel őrli nagy finomságúra szárazon vagy nedvesen a kemény vagy lágy feladott anyagot.

Az *őrlőtárcsák* vagy *dörzsölőmalmok* egyes vagy kettős járatúak aszerint, hogy egyik tárcsájuk áll-e vagy mindkettő – ellenkező irányban – forog. Lágy anyagok száraz vagy nedves őrlésére használhatók.

b) Egy szilárd felületen: ütközés. *Egy felületen*, ütközéssel való törésnél a légellenállás akadályozza meg a finom szemek megfelelő nagyságú ütközési sebességét. (Vákuumban történő röpítő őrléssel lehet ezen segíteni.)

Egy felületen őrlő gépek az alábbiak:

A *röpítőtörők* „ütközéssel”, egyetlen felülettel érintkezve aprítanak. Forgó rotor dobólécei eltaszítják a feladott darabokat, s azok álló páncéllemezeken ütköznek. Durva-, közép- és finomaprításra egyaránt alkalmas gépek. Kemény, rideg anyagok aprítására használhatók.
A finomaprításra és őrlésre szerkesztett *ütőmalmokban* a lengő kalapácsokat merev ütőtestek (verőpálcák, verőcsapok, verőlapok, verőorrok) helyettesítik. Vízszintes vagy függőleges tengelyük lehet. Többkalitkás verőpálcás ütőmalom a *dezintegrátor*. Verőlapok vannak a *ventilátormalmokban*. Ezek is ütéssel-ütközéssel aprítanak, vagyis tágabb értelemben a kalapácsmalmok közé sorolandók.
c) Szilárd felülettel való érintkezés nélkül: a szemcsék valamely közegben történő mozgása létesíti az igénybevételt. Szilárd felülettel való *érintkezés nélkül*, a közegben fellépő igénybevételek általában kis intenzitásúak, főleg csupán dezagglomerálásra elegendőek.
Szilárd testekkel való érintkezés nélkül aprító gépek:
A *sugármalmokban* nagy sebességű közeg (levegő vagy túlhevített gőz) kinetikai energiája őröl középkemény-lágy anyagokat néhány μm átlagszemnagyságra. Mozgó része nincs e malmoknak.

A feladás darabnagyságától a végtermékig legtöbbször egymást követő több lépcsőben aprítják az anyagot. A különböző szemnagyságok továbbaprítására más és más géptípusok lesznek a legalkalmasabbak.

A durva-, közép- és finomaprítás a gyakorlatban csaknem mindig szárazon megy végbe, az őrlés ellenben gyakran nedvesen történik.
A nedves őrlés előnyei:
- kisebb a fajlagos energiaszükséglete
- nagyobb a fajlagos teljesítőképessége
- szállópor nem képződik
- olcsóbb és hatásosabb zárt körfolyam alkalmazható, stb.

A száraz őrlés előnyei:
- kisebb az őrlőtestek és a malompáncélzat kopása
- kisebb az őrlemény vasszennyeződése
- kevesebb a malom karbantartási költsége, stb.

6.1. Az aprítógépek működési mód, hatásfok és zajkibocsátás szempontjából történő átfogó, előzetes értékelése

Az aprítógépek csoportosítása a befektetett és hasznosított energia függvényében:

a) Lassú járatú törők

Ezeket a gépeket általában kemény, rideg anyagok törésére használják. Ebbe a csoportba tartoznak a pofás-, kúpos-, kör- és hengertörők. Ezeket a törőket Stieβ [11] a nagy hatásfokúak (η = 70-100 %) közé sorolja. Az aprításra használt energia közvetlenül az anyag törésére fordítódik. A törés összes energiájából az aprított anyagra eső részlegek: a felületi energia növelése, a kristályrács átrendeződése, rugalmas és plasztikus deformációk. Ha csak a törést – és nem az egész gép működését tekintjük -, a bevezetett energia elnyelődik, az anyag törésére fordítódik. Kismértékű súrlódás is fellép az anyag szemcséi között ill. az anyag szemcséi és a törőfelület között.

b) Nagysebességű törők

Ebbe a csoportba tartoznak a golyósmalmok, röpítőtörők, kalapácsos törők. Hatásfokuk Stieβ [11] szerint 6-40 % között van. A golyósmalmokat (η = 6-9 %) kemény és lágy anyagok őrlésére, a röpítőtörőket (η = 25-40 %) kemény és rideg anyagok durva-, közép- és finomtörésére, a kalapácsos törőket (η = 17-25 %) lágy- és törékeny anyagok durva- és finomtörésére használják.

A golyósmalmoknál a visszagördülő-visszaeső golyók az anyagot ütéssel-dörzsöléssel aprítják. Az ütközés hanghatással jár, a dörzsölés során hő keletkezik. A röpítőtörőknél az anyag a dobólécre kerül, a sebességtől függően már itt eltörik és továbbrepülve a fal páncélzatán tovább aprózódik, vagy csak a falon törik el, majd a törő aljába zuhan. A falról való lepattanáskor még az anyag szemcséivel is ütközhet, így minden egyes ütközés során zaj keletkezik. A befektetett munka törésre, alakváltozásra, ezen felül –súrlódás révén – hő, ill. ütközésnél hang keletkezésére fordítódik.

Hasonló módon történik az energia felhasználása a kalapácsos malomban, mint a röpítőtörőnél. A csuklósan rögzített ütőtest az anyagdarabot megüti, az a kalapácson vagy a malom páncélzatán eltörik. Mindezek és a szemcsék egymáshoz történő ütközése zaj keletkezésével jár. Ezekben a gyorsjáratú gépekben az aprításra befektetett munka egy része nem törésre fordítódik.

Mind a lassújáratú, mind a gyorsjáratú törőknél, az anyag törése révén hangenergia is felszabadul.

Az igénybevételi sebesség és a tömegáram változásának a berendezés zajára gyakorolt hatásának vizsgálatára elvégeztem egy Prall malom és két pofástörő laborban történő mérését, összefüggéseket keresve az üzemállapotok és a zajkibocsátás között.

Az értekezés a két géptípus részletesebb zajvizsgálatára terjed ki, majd nagyszámú, különféle típusú törők üzemelés helyén történő vizsgálatát és az azokból levont következtetéseket mutatja be.

6.2. Kísérleti berendezések

6.2.1. A Prall malom működése és zajforrásai

A Prall malom a röpítőtörők közé tartozik, melyeket kemény és rideg anyagok durva-, közép- és finomtörésére használnak. E gépekben ütközés (Prall) létesíti a törőerőt, amikor a darabok igénybevétele egy érintkező felületen és nem két felület között történik. A darabok nagy sebességgel a gép valamely ütköző elemének vagy egymásnak ütődnek, s az ütközéskor rendelkezésre álló kinetikai energia egy része szolgáltatja az aprításhoz szükséges munkát. Nagysága az ütközés módjától és az ütköző elemek szilárdsági sajátságaitól függ. A rugalmas alakváltozás kedvező, a plasztikus kedvezőtlen a törés szempontjából. A lassú igénybevételeknél többé-kevésbé képlékeny testek is rideg anyagként viselkednek a nagy sebességű igénybevétellel szemben.

A rotoros gépek gyorsan forgó vízszintes tengelyű rotorán több (2-8 db) könnyen kicserélhető, kopásnak jól ellenálló acélötvözetből készített dobóléc van. A gép házának belsejében állítható vagy fixen beépített ütközőlemezek vagy –rudak vannak. A töret finomságát és az energiaszükségletet a rotor dobóléceinek az ütközőlemezektől való távolsága nagymértékben befolyásolja. Pálcás malmoknál a töret finomságát a pálcák fajtája, a pálcasorok száma, a fordulatszám és a tömegáram határozza meg. A tengelyátmérők 100 – 900 mm között szokásosak, a kerületi sebesség általában 60 m/s és 170 m/s között van.

Megfelelő nagy sebességnél már a dobólécek ütése is eltörheti a feladott darabokat, amelyek egyébként az ütközőlemezeken – vagy az ezekről visszahulló kőzet darabjainak ütközve – törnek el. Alkalmasan állított ütközőlemezekről az anyag ismét a rotor felé pattan vissza, úgyhogy a kőzetdarabok többször is ütközhetnek, mielőtt a gépből eltávoznak. Így nagy aprítási fok érhető el, az egyéb aprítóberendezésekénél kedvezőbb fajlagos munkaszükséglettel.

A v relatív sebességkülönbséggel ütköző testnek $\frac{mv^2}{2}$ kinetikai energiája van, amely részben aprításra, részben hőfejlesztésre fordítódik, részben a test törmelékeinek az ütközés utáni kinetikai energiáját fedezi. A test eltöréséhez ütközésnél egy bizonyos $v > v_{krit}$ relatív

sebességkülönbségre van szükség. Ha a dobóléc $v' > v_{krit}$ sebességgel üti meg a kőzetet, ez eltörik és a törmelék darabjai ~ v' sebességgel, ~ $\frac{mv'^2}{2}$ kinetikai energiával repülnek tovább. Ha a dobóléc $v' < v_{krit}$ sebességgel üti meg a testet, egyenes centrális ütés esetében ez $v = v'(1+\varepsilon)$ sebességgel repül el, ahol ε az ütközés rugalmassági tényezője. Ha $v' < v_{krit} < v$, a dobóléc v' sebességű ütésétől a darab nem törik el, de az ütközőlemezen eltörik a $v = v'(1+\varepsilon)$ sebességgel ütköző kőzetdarab.

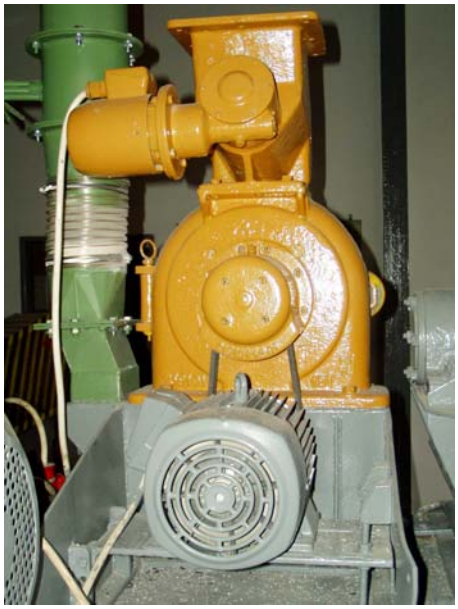
A törési feszültség Stieβ [11] szerint arányos a v relatív sebességkülönbséggel:

$$\frac{\sigma_{max}}{E} = const \cdot \left(\frac{mv^2}{Er^3} \right)^{\frac{1}{5}}, \tag{14}$$

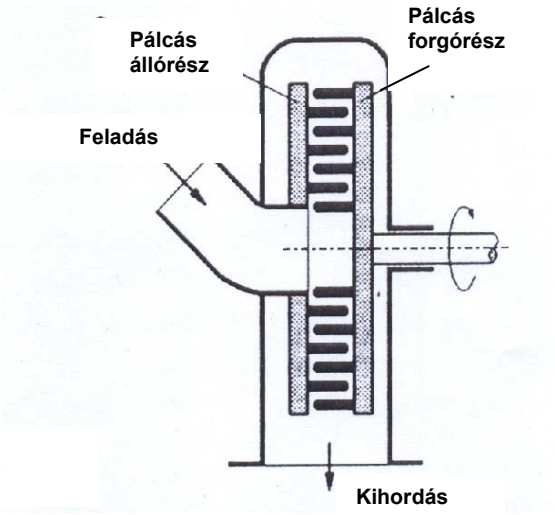
ahol

σ_{max}	a törési feszültség,
E	rugalmassági modulus,
m	a szemcse tömege,
r	a szemcse sugara.

A vizsgált Prall malom vízszintes tengelyű. Az igénybevétel úgy az állórészen mind a forgótárcsán koncentrikusan elhelyezett pálcasorok között történik. Az anyag adagolása centrikusan történik, és a töret radiális irányban távozik. Adagolása géppel és kézzel is megoldható. A kitárolás zsákba vagy tálcára történhet. A malomhoz elszívórendszer is csatlakozik. A meghajtómotor 4 kW teljesítményű, egypólusú, 50 Hz tápláló frekvencián névleges fordulatszáma n_1 = 2930 1/min. Az ékszíjáttétel gyorsítási aránya 1,5. A malom 40 Hz és 30 Hz táplálófrekvencián is működtethető. A malom két nézetét a 8. ábra, elvi vázlatát és a nyitott malom képét a 9. ábra mutatja.



8. ábra. A vizsgált Prall malom



9. ábra. A pálcás Prall malom elvi metszeti ábrája [Stieβ 11] és képe nyitott állapotban

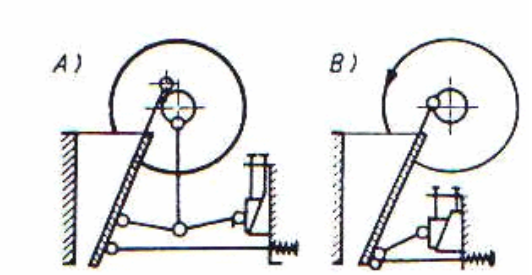
A vizsgált malom zajforrásai

A malom esetében zajforrásként az aprítás jelentkezett, mivel az adagolás kézzel történt, a porelszívó berendezést nem működtettük és a kitárolás zsákba történt, hogy járulékos zaj ne jelentkezzen.

6.2.2-A pofástörő működése [3, 4] és zajforrásai

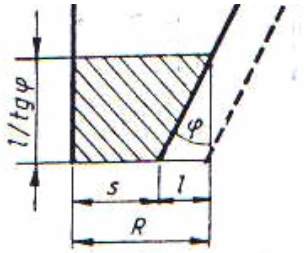
A pofástörők a lassú járatú, nagy hatásfokú aprítógépek közé tartoznak. Kemény, koptató, rideg anyagok durvatörésére alkalmazzák, de középaprításra szerkesztett gépeik is

vannak. Két, meredek, alul hegyesszöget bezáró törőfelületük van; az egyik áll, a másik ehhez váltakozva közeledik-távolodik. A mozgó pofa mozgatásának módja szerint különböző típusok vannak. Az egyingás és kétingás törő vázlatos rajza a 10. ábrán látható:



10. ábra. Pofástörők vonalas vázlata: A kétingás (Blake-,) B egyingás törő,

A BÉM egyingás törője egy álló és egy ingamozgást végző törőpofa között végzi az aprítást. Az excentertengely forgatásával a mozgó pofa az állóhoz közeledik, majd távolodik. A törőnek tehát egy munkalökete és egy üres lökete van. A munkalöket alatt az ékalakú törőtérben lévő anyag széttörik, a pofa visszafelé mozgatásakor az apró anyag a súlyerő hatására lefelé csúszik. Az alsó rés méreténél kisebb anyagszemcsék kihullanak, a nagyobbakat a közeledő mozgó pofa ismét befogja, és tovább aprítja. A résnyílás egy állító szerkezettel szabályozható. A pofástörők törőlapjainak egymással bezárt szöge, a „törőszög” (φ) kisebb kell legyen a súrlódási szög (ρ = arc tg$f$) kétszeresénél ($\varphi \leq 2\rho$), hogy a darabok a garat felé csússzanak (11. ábra).



11. ábra. A legalsó szelet a résnél [Fejes 3]

A töréshez szükséges munka egységnyi térfogatú anyag esetén

$$W_t = \frac{\sigma^2}{2E} \tag{15}$$

ahol

σ törőfeszültség = $E\,\varepsilon$,

E = rugalmassági modulus,

$\varepsilon = \dfrac{\Delta l}{l}$ relatív nyúlás (összenyomódás).

A törőtér térfogata:

$$V_{sz} = L\,\frac{G+R}{2}\,H \tag{16}$$

ahol

L = a rés (garat) hossza

G és R a rés legnagyobb és legkisebb mérete, $G\text{-}R = l$ (löket)

$$H = \text{a törőtér magassága} = \frac{G-R}{tg\varphi} \tag{17}$$

Ekkor a V_{sz} térfogatú anyag esetén a törési munka, figyelembe véve, hogy az aprítandó anyag nem tölti ki teljesen a törőtér térfogatát, valamint azt, hogy aprításra csak a résnél nagyobb szemnagyságú anyag kerül egy ε térkitöltési tényezővel és egy k redukálófaktorral:

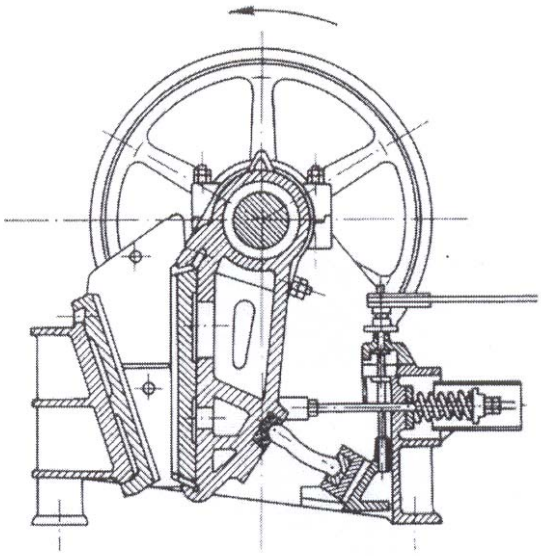
$$W_{sz} = V_{sz}\;W_t\,\varepsilon\,k \tag{18}$$

A törés során a fő erőhatás a nyomás. A befektetett energia az anyag összenyomására, törésére fordítódik. A törés összes energiájából az aprított anyagra eső részlegek: a felületi energia növelése, a kristályrács átrendeződése, rugalmas és plasztikus deformációk. Ha csak a törést és nem az egész gép működését tekintjük, a bevezetett energia elnyelődik, az anyag törésére fordítódik. Kismértékű súrlódás is fellép az anyag szemcséi között ill. az anyag szemcséi és a törőfelület között.

Az első vizsgált pofástörő BÉM RT laborjában található, PE 02 típusú egyingás pofástörő a Jászberényi Aprítógépgyár terméke. Kemény, főleg rideg anyagok aprítására használják. A végtermék szemnagysága a beállított réstől függően 0-30 mm-ig terjed. A törő adatai:

szájnyílás		250x150 mm,
a kiömlőrés mérete		20-30 mm,
teljesítménye		1-3 $\frac{m^3}{h}$,
az excentertengely fordulatszáma		280 $\frac{1}{min}$,
a lendkerék átmérője		700 mm,
az elektromotor	típusa	VZ 160 M6,
	teljesítménye	7,5 kW,
	fordulatszáma	970 1/min.

A BÉM pofástörő metszeti képe a 12. ábrán látható.

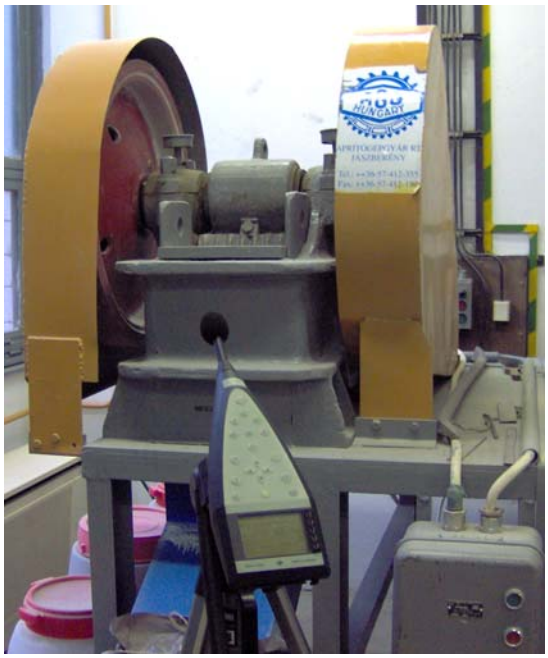


12. ábra. Egyingás pofástörő [G1]

A BÉM törőjének képe a 13. ábrán látható.

13. ábra. A BÉM RT pofástörője

A vizsgált egyetemi pofástörő műszaki adatai megegyeznek a BÉM Rt pofástörőjének adataival. A kiömlőrés legnagyobb mérete 50 mm. A törő a képe a 14. ábrán látható:



14. ábra. PE 02 pofástörő az egyetemi laborban

A vizsgált pofástörők zajforrásai

A törők működésekor zajforrásként magát a törési műveletet lehet figyelembe venni, melynek során az aprítandó darabok egymáshoz és a törőpofákhoz nyomódnak. Az adagolás kézzel történt.

6.2.3.Üzemi aprítógépek működése

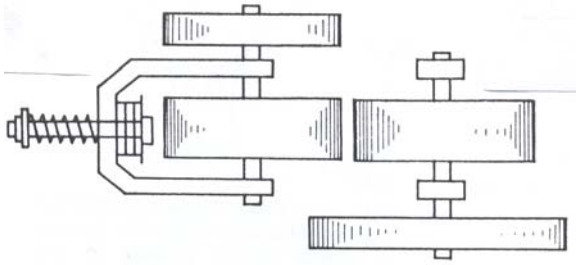
A bányákban és osztályozókban alábbi fajtájú gépek zajkibocsátását vizsgáltam:

- pofástörő
- kúpostörő
- kéthengeres törő
- röpítőtörő
- kalapácsos törő és -malom

A pofástörő és röpítőtörő működéséről és zajforrásairól a 6.2.1. és 6.2.2. fejezetekben írtam. A kúpostörő („végtelenített pofástörő”) működése a pofástörőéhez hasonló. Szükséges még szót ejteni a hengertörő és a kalapácsos törő működéséről.

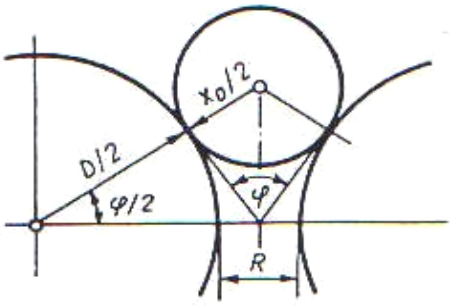
Hengertörők

A hengertörőkben két egymással szemben forgó henger között történik az aprítás. A hengerek felülete sima, recézett vagy fogakkal, bütykökkel ellátott. Főleg nyomással, esetleg nyírással, a gyorsjáratúak ütéssel is aprítanak. A hengerek közötti rés változtatható. Egyes törőkben a hengerek különböző sebességgel forognak. A hengertörő vázlatos rajzát a 15. ábra mutatja.



15. ábra. Hengertörő vázlatos rajza

A hengerek a feladott darabokat behúzzák maguk közé, ha a kőzetdarab felfekvési pontjában a hengerekhez húzott érintők által képzett törőszög (φ) kisebb a súrlódási szög (ρ = arc tg f) kétszeresénél: $\varphi \leq 2\,\rho$, vagyis tg $\frac{\varphi}{2} \leq f$.



16. ábra. A hengerek behúzzák maguk közé a kőzetdarabot, ha a törőszög (φ) kisebb a súrlódási szög kétszeresénél

A 16. ábra szerint:

$$\cos\frac{\varphi}{2} = \frac{D/2 + R/2}{D/2 + x_0/2} \qquad (19)$$

vagyis

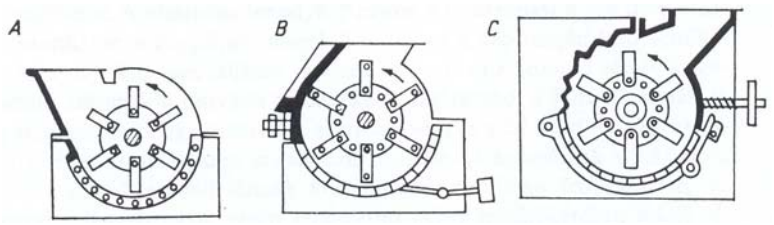
$$D \leq \frac{x_0 \cos\varphi/2 - R}{1 - \cos\varphi/2} \qquad (20)$$

ahol D a hengerátmérő, R a rés és x_0 a feladott kőzetdarabok maximális vastagsága.

Kalapácsos törők

E gépekben a körben forgó kalapácsok (ütőtestek) ütéssel-ütközéssel aprítják a munkatérbe feladott lágy-középkemény anyagot. A munkatérben forgó rotorhoz csuklósan kapcsolódó kalapácsok üzem közben – a centrifugális erő következtében –radiálisan helyezkednek el. A kőzetdarabok szabad mozgása a kalapácsos törők munkaterében jóval korlátozottabb, mint a röpítőtörőkben, ezért bennük inkább ütéssel mint ütközéssel történik az aprítás. Durvatörésre kisebb kerületi sebességet és súlyosabb kalapácsokat alkalmaznak, mint

finomaprításra. Többféle kialakításúak. Az ütés a kalapácsokkal történhet lefelé, vízszintesen és felfelé. A lengőkalapácsos törők vázlatos rajzát a 17. ábra mutatja.



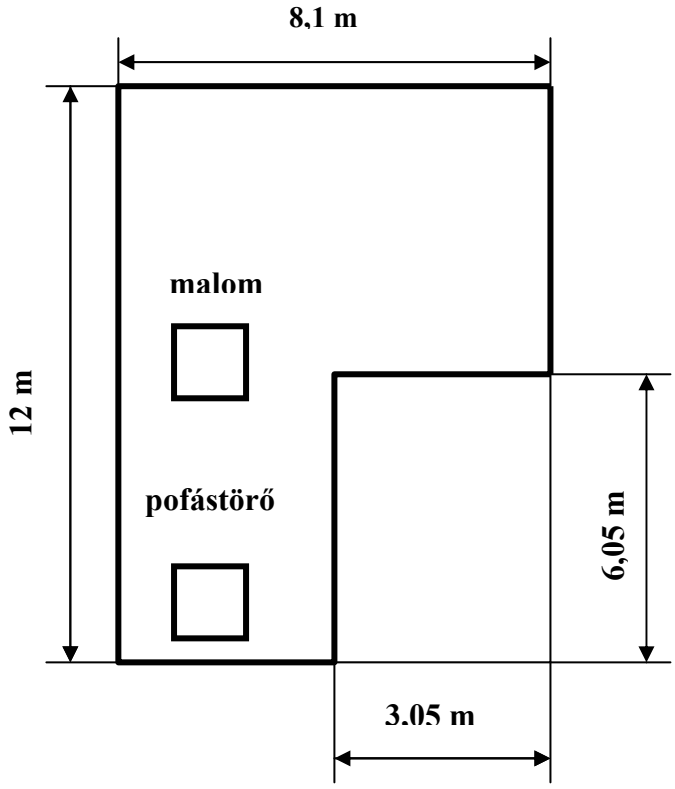
17. ábra. Lengőkalapácsos törők vázlatos rajza: A lefelé ütő, B vízszintesen ütő, C felfelé ütő kalapácsokkal

Az üzemi mérések során vizsgált gépek műszaki adatai a melléklet 13-23. táblázataiban találhatók. A vizsgált gépek fotói szintén a mellékletben láthatók.

6.3. Mérések Prall malommal

6.3.1. A Prall malom mérésének leírása

A malom egy L-alakú laborhelyiségben található. Elhelyezkedését és a helyiség alaprajzát a 18. ábra mutatja. A helyiségben a vizsgált malmon kívül egyéb berendezések, elszívóvezetékek és kevés bútor is van.



18. ábra. A Prall malom elhelyezkedése a laborhelyiségben

Méréseket végeztem üresjáratban és aprításkor az alábbiak szerint:

a) Üresjárati zajmérések$_1$

Ezen mérések során 3 különböző fordulatszámnál határoztam meg a malom zajteljesítményszintjét.

b) Terheléses mérések

Különböző tömegáramok és fordulatszámok esetén a malom homlokfrontjától 1 m-re hangnyomásszint méréseket végeztem aprítás közben.

Az aprított anyag 1-4 mm feladási szemcseméretű mészkő volt.

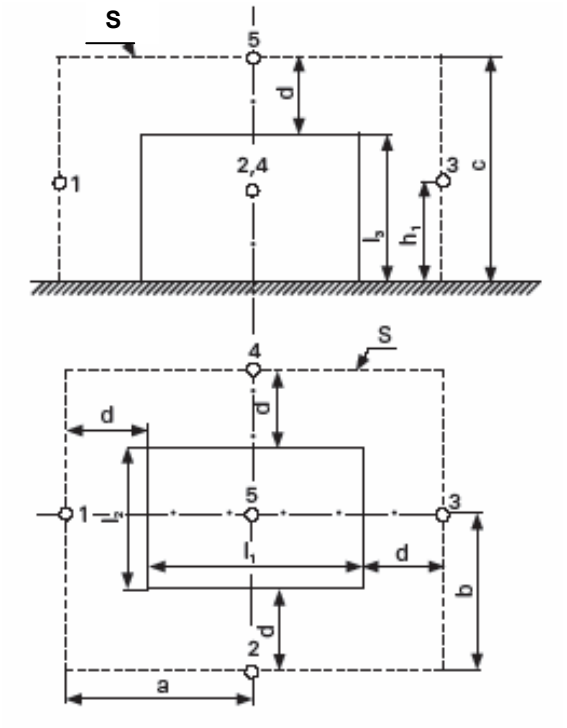
c) Üresjárati mérések$_2$

Az aprítások után ismét meghatároztam a malom zajteljesítményszintjét.

Ezen mérés célja annak megállapítása volt, hogy az aprítás okozott-e a berendezésben olyan változást, ami a zajkibocsátását befolyásolja.

a) és c) Üresjárati mérések$_{1,2}$

Az üresjárati zajteljesítményszintet az 5.3. fejezetben leírtak szerint határoztam meg. 5 mérési pontot vettem fel a mérőhasáb felületén. Számozásukat, helyüket, a malom befoglaló méreteit, a mérőhasáb adatait és a mérési távolságot (d) a 19. ábra mutatja.



$l_1 = 0{,}9$ m	a = 0,95 m	$h_1 = 0{,}75$ m
$l_2 = 0{,}65$ m	b = 0,825 m	d = 0,5 m
$l_3 = 1$ m	c = 1,5 m	S = 4 (ab + bc + cd)

19. ábra. A Prall malom mérőfelülete

A méréseket a malom 3 különböző fordulatszámánál végeztem el, majd az aprítások után ismét $n_{1v} = n_1$ fordulatszámnál.

motortengely:

$n_1 = 2930 \ \frac{1}{\text{min}}$; $n_2 = 2344 \ \frac{1}{\text{min}}$; $n_3 = 1758 \ \frac{1}{\text{min}}$

malomtengely:

$n_1 = 4395 \ \frac{1}{\text{min}}$; $n_2 = 3516 \ \frac{1}{\text{min}}$; $n_3 = 2637 \ \frac{1}{\text{min}}$

Egyes mérési pontokon 1-1 percet mértem. A zaj ingadozása 5 dB-en belüli volt, tehát állandónak volt tekinthető. A mérési adatokat n_1 fordulatszámnál a melléklet 1. táblázata, n_2-nél 2. táblázata, n_3-nál 3. táblázata, n_{1v}-nél a melléklet 4. táblázata tartalmazza.

Az átlagos hangnyomásszint kiszámításához a *K*, helyiségben végzett mérés miatti korrekciós tényező értékét a (12) képlettel határoztam meg.

A terem közepes elnyelési tényezője a [SZ1] F.1. 3. táblázata 2. sora szerint sima beton, tégla, stb. részben üres helyiségben

$$\alpha_s = 0{,}1$$

A szabvány α_s-re csak egy adatot ad meg (nem oktávsávok szerint), ezért mindegyik frekvenciatartományban ezt veszem alapul.

A mérőfelület nagysága $S = 13{,}785\ m^2$.

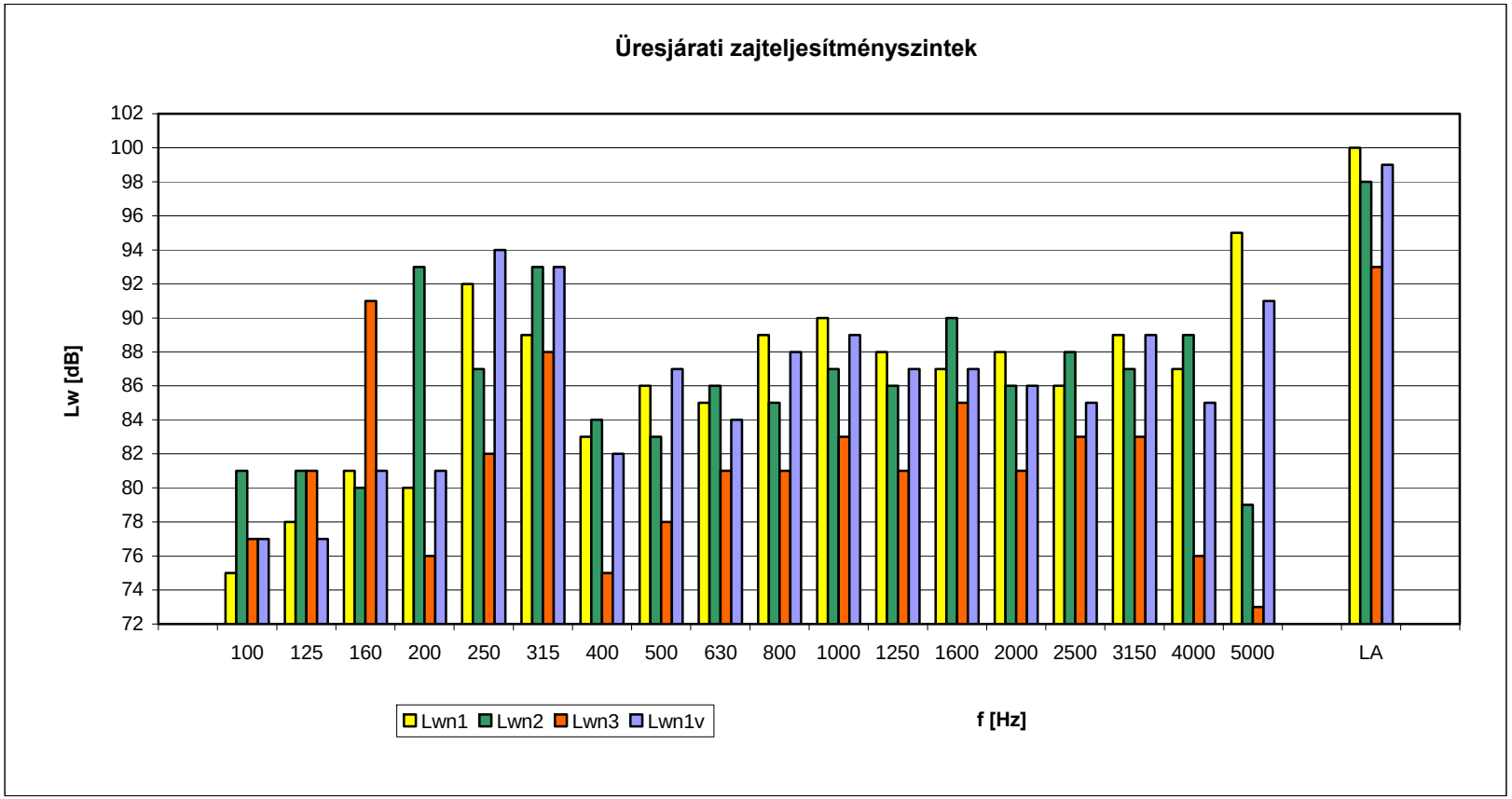
A vizsgálati helyiséget határoló felület $S_v = 300{,}25\ m^2$

A vizsgálati helyiség egyenértékű elnyelési felülete $A = \alpha\, S_v = 30{,}025\ m^2$

$K = 4{,}237082 \approx 4{,}237$ $\quad 10 \lg \frac{S}{S_0}$ értéke = 11,394.

A (13) képlet $10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1 L_i} \right]$ tagját $L_á$ –val jelölve a melléklet 1 - 4. táblázataiban megadtam.

Az üresjárati zajteljesítményszint adatokat a melléklet 5. táblázatában foglaltam össze. A műszer mérési tartománya igen széles, ezért a mérési eredményeket az áttekinthetőség kedvéért egy kisebb, a 100 Hz – 5000 Hz tartományt mutatom be ill. ábrázolom az 1. diagramban.



1. diagram. Prall malom üresjárati $L_{wn1\text{-}3\text{-}1v}$ tercsávos és L_A zajteljesítményszintjei n_1, n_2, n_3, n_{1v} fordulatszámnál

A Prall malom üresjárati zajteljesítményszint mérésének összefoglaló értékelése

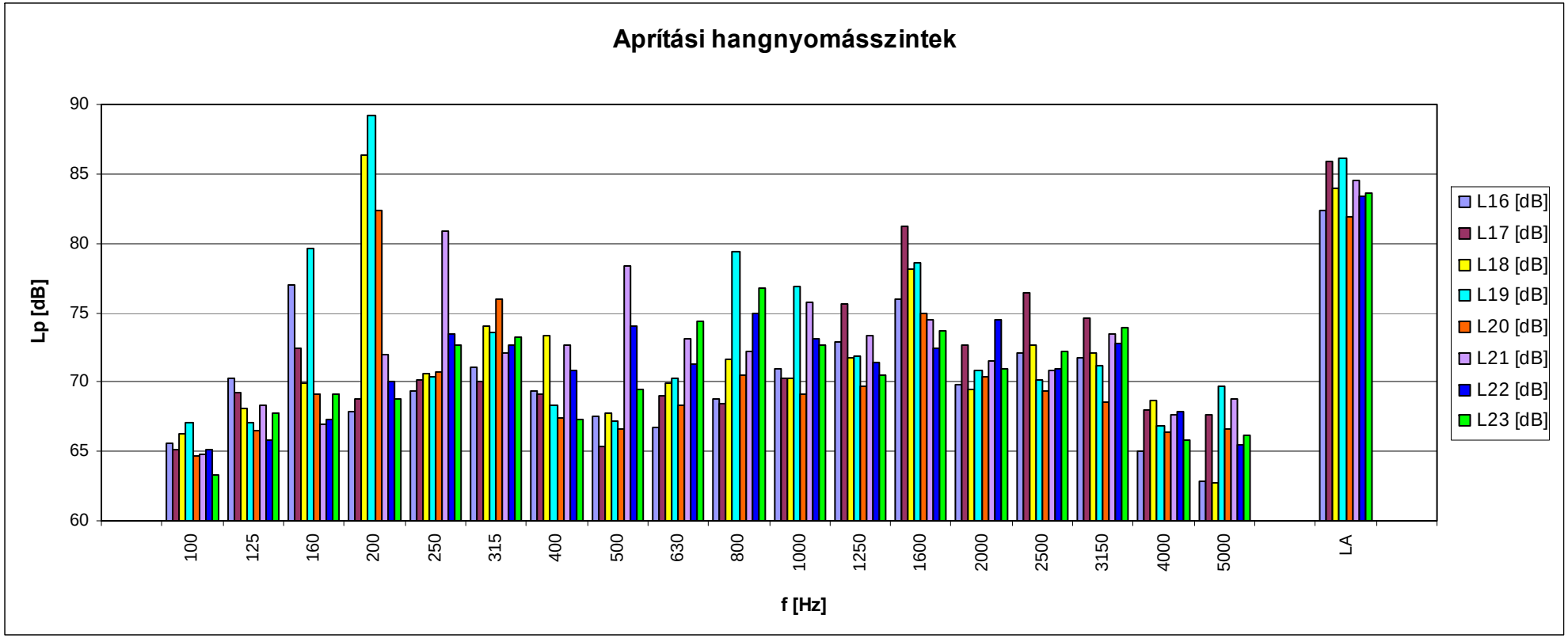
Az üresjárati zajteljesítményszintek meghatározásához az aprítások előtt és után is végeztem vizsgálatot. A cél az volt, hogy megállapítsam, mi határozza meg a gép zajteljesítményszintjét, és változik-e az aprítások után.

1. Az 1. diagramon látható, hogy a fordulatszám csökkenésével ($n_1 \rightarrow n_3$) 250, 500, 800, 1000, 1250, 2000, 3150és 5000 Hz-en és L_A szinten a teljesítményszint csökken, mivel üresjáratban a malom zajteljesítményszintjét a motor zajkibocsátása határozza meg.
2. A motor fordulatszámának megfelelő frekvencia-felharmonikusok megjelennek: az n_1 fordulatszámhoz tartozó 250 Hz-nél, az n_2 fordulatszámhoz tartozó 200 Hz-nél és az n_3 fordulatszámhoz tartozó 160 Hz-nél az ötödik felharmonikus jellemzően kiemelkedik.
3. Az 1,5 –es hajtás-áttételnek megfelelő felharmonikusok közül az n_1 fordulatszámhoz tartozó negyedik, az n_2 fordulatszámhoz tartozó harmadik és az n_3 fordulatszámhoz tartozó hetedik 315 Hz-nél kiemelkedik.
4. Az aprítás előtti és utáni üresjárati zajteljesítményszinteket n_1 fordulatszámnál összehasonlítva (n_2 és n_3 fordulatszámnál csak aprítás előtt mértem)megállapítható, hogy tercsávos bontásban nem minden esetben a törés után magasabb a teljesítményszint. A-teljesítményszintben az aprítás utáni állapot 1 dB-lel alacsonyabb. Ilyen kis mértékű eltérés esetén azt mondhatjuk, hogy az aprítás után a malom zajteljesítményszintje nem változott.

Az üresjárati zajteljesítményszint a gép egyik jellemző adata. Akusztikai szempontból a gép teljes jellemzéséhez az aprítás zajteljesítményszintjének megadására is szükség van.

b) Aprításkor nyolc különböző üzemváltozatban a gép homlokfrontjától 1 m-re, a gép tengelymagasságában hangnyomásszintet mértem. A tömegáramot és a fordulatszámot változtattam. A rendelkezésre álló anyagmennyiség nem volt elegendő zajteljesítményszint meghatározására. Ilyen jellegű vizsgálat elvégzésére később került sor.

Az egyes mérések adatait a műszer memóriájába, számozott fájlokba mentettem el (L16 – L23), az üzemváltozat jellemzőit és mérési adatait a melléklet 6. táblázata tartalmazza. A mérési adatokat a frekvencia függvényében ill. az A-hangnyomásszintet a 2. diagramban ábrázoltam a 100 Hz – 5000 Hz tartományban.



2.diagram. A Prall malom tercsávos és L_A hangnyomásszintjei aprításkor

L16: 16-os fájl adatai: táplálófrekvencia: 30 Hz, malom-tengely fordulatszám **n3** = 2637 1/min, tömegáram: 0,28 kg/sec
L17: 17-es fájl adatai: táplálófrekvencia: 30 Hz, malom-tengely fordulatszám **n3** = 2637 1/min, tömegáram: 0,2 kg/sec
L18: 18-as fájl adatai: táplálófrekvencia: 40 Hz, malom-tengely fordulatszám **n2** = 3516 1/min, tömegáram: 0,467 kg/sec
L19: 19-es fájl adatai: táplálófrekvencia: 40 Hz, malom-tengely fordulatszám **n2** = 3516 1/min, tömegáram: 0,389 kg/sec
L20: 20-as fájl adatai: táplálófrekvencia: 40 Hz, malom-tengely fordulatszám: **n2** = 3516 1/min, tömegáram: 0,25 kg/sec
L21: 21-es fájl adatai: táplálófrekvencia: 50 Hz, malom-tengely fordulatszám: **n1** = 4395 1/min, tömegáram: 0,7 kg/sec
L22: 22-es fájl adatai: táplálófrekvencia: 50 Hz, malom-tengely fordulatszám: **n1** = 4395 1/min, tömegáram: 0,467 kg/sec
L23: 23-as fájl adatai: táplálófrekvencia: 50 Hz, malom-tengely fordulatszám: **n1** = 4395 1/min, tömegáram: 0,233 kg/sec

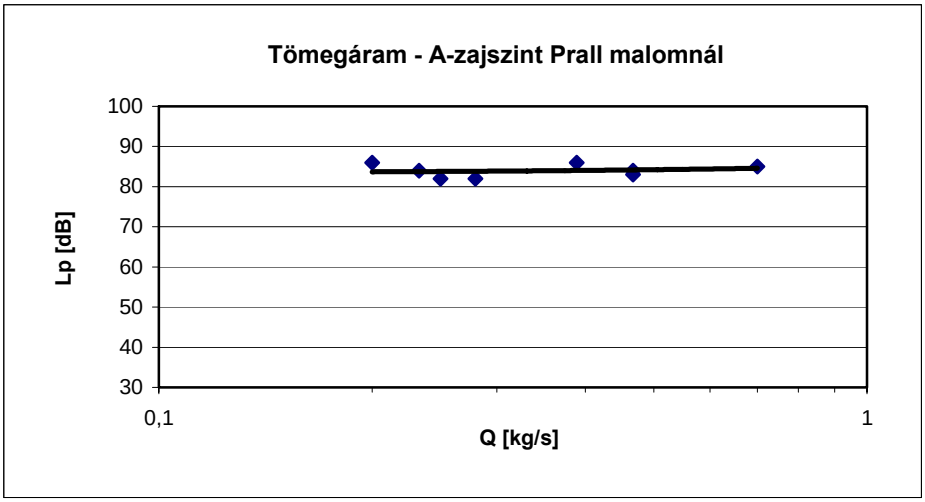
A Prall malom aprítási hangnyomásszint mérésének összefoglaló értékelése

Aprításkor 8 különféle üzemváltozat vizsgálatát végeztem el, három esetben n_1, három esetben n_2, két esetben n_3 fordulatszámnál. A tömegáramot mindegyik esetben változtattam. Az üzemváltozatok hangnyomásszintjeit 100 Hz és 5000 Hz közötti tartományban a melléklet 5. táblázata és a 2. diagram tartalmazza. Az aprítási zajszintek függenek a motorfordulatszámtól (így az igénybevételi sebességtől) és a tömegáramtól is. Először a zajszint fordulatszámtól való függését értékelem ki.

1. A legmagasabb hangnyomásszintek – mintegy 10 dB-es kiugrás a többi szintekhez képest - 200 Hz-nél adódnak n_2=39/s motorfordulatszámnál tömegáramtól függetlenül. n_2 fordulatszámnál a kiugrás megjelenik 800 és 1600 Hz-nél is. Feltehetőleg ezen fordulatszámnak megfelelő frekvencia a gép sajátfrekvenciájával esik egybe, vagy ahhoz közel van, ez okozza, hogy akár üresjáratban, akár terhelt állapotban a többi fordulatszámhoz képest magasabb hangnyomásszintet.
2. Az n_1 = 49/s motorfordulatszámhoz tartozó – a többi szintekhez képest ~ 3-10 dB-es - kiugró hangnyomásszintek jellemzően 250 Hz-nél, 500 Hz-nél és 630 Hz-nél jelentkeznek. Ezeken a frekvenciákon az n_1 fordulatszámhoz tartozó zajszintek magasabbak az n_2 és n_3 fordulatszámokhoz tartozó zajszinteknél.
3. Az n_3 = 29/s motorfordulatszámhoz tartozó kiugró hangnyomásszintek jellemzően 160 Hz-nél és 1600 Hz-nél jelentkeznek.
4. Az aprítás során kialakuló hangnyomásszintek kiugró értékei az üresjáratban is kiemelkedő, fordulatszámnak megfelelő felharmonikusoknál jelentkeznek.
5. Összességében az látható, hogy az L16, 18-21. üzemváltozatoknál 200 Hz közelében, az L17, 22, 23. üzemváltozatoknál 1600 Hz körül a legmagasabb a keltett zaj hangnyomásszintje. Az egyes üzemváltozatok A-hangnyomásszintjeit összevetve az L19-nél (n_2 ford.) jelentkezett a legmagasabb zajszint (lásd 2. diagram).

A mérések során 8 tömegáram változat fordult elő. Az aprítási zajszinteket a tömegáram (Q) függvényében a 3. excel-diagram ábrázolja. A trendvonal Q = 0 kg/s-nál (üresjárat) nincs értelmezve.

A mérési adatok a zajszint-trend kismértékű növekedését mutatják a tömegáram függvényében. A mérési adatok relatív szórása (σ_r) 2 %.



3. diagram. Prall malom aprítási A-hangnyomásszintjei a tömegáram függvényében

$$\sigma_r = \frac{\sigma}{L_{p,átl}} \tag{21}$$

ahol a szórásnégyzetet a legkisebb eltérés-négyzetek elve alapján számoltam:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\Delta L_{pi})^2}{n}, \qquad L_{p,átl} = \frac{\Sigma_{i=1}^{n} L_{pi}}{n}, \text{ és}$$

L_{pi} az i-edik hangnyomásszint érték,

ΔL_{pi} az i-edik hangnyomásszint érték és a lineáris közelítő egyenes függvényérték különbsége ugyanazon tömegáram (Q) értéknél,

n a mérési adatok száma.

A mechanikai ütközés okozta zaj az ütközési energia függvénye (Kováts, [14]). Az ütközési energia arányos a kinetikai energiával, tehát a részecske tömegével és sebességének négyzetével. A tömegáram növekedésével nő az ütköző részecskék és ezáltal az ütközések száma. A 3. diagram a hangnyomásszinteket a tömegáram függvényében mutatja, az aprítás sebessége azonban nem volt azonos minden esetben. Mivel az ütközési energia függ az ütközés sebességétől is, a tömegáram-hangnyomásszint közötti összefüggés nem írható fel közvetlenül. Az aprítás hangnyomásszintje más anyag aprításakor eltérő lehet, ezért a 3. diagram adatai és trendje csak mészkő aprításakor érvényesek.

Egy későbbi alkalommal újabb méréseket végeztem a Prall malommal. A méréssorozat első mérése alkalmával az üresjárati zajteljesítményszint meghatározása során 1000 Hz-en kiugróan magas hangnyomásszintet mértem, értéke 124 dB volt. Ez az érték meghatározó volt a hangteljesítményszint szempontjából. A hang jellege csapágyhibára utalt. Az aprítási

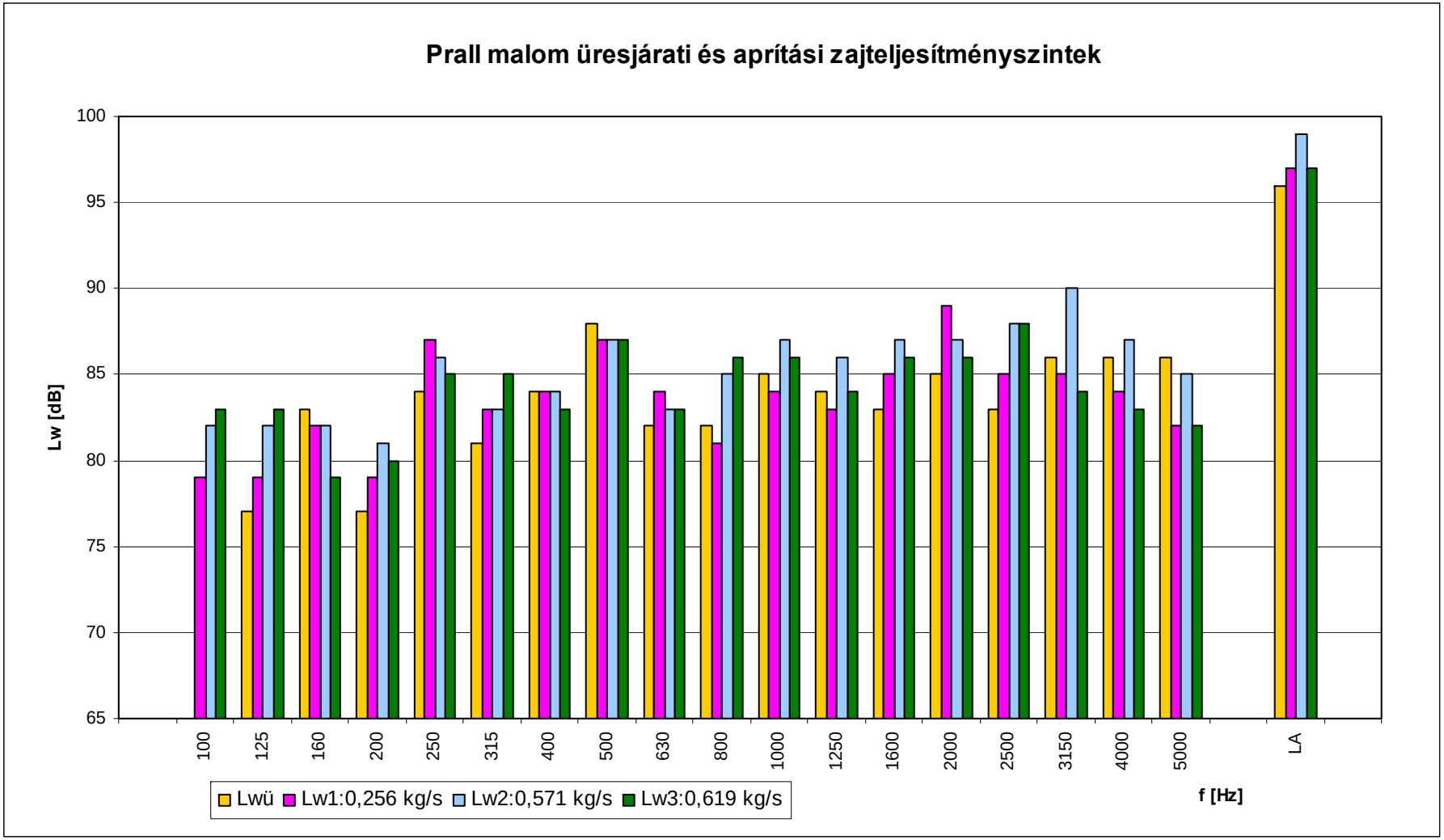
mérések megkezdésekor a malom meghibásodott, a méréseket el kellett halasztani. A következő alkalommal az 1000 Hz-es kiugró hang nem jelentkezett. Ezúttal ismét meghatároztam üresjáratban a berendezés zajteljesítményszintjét, majd három különböző tömegáram esetén is. A mérési eredményeket a melléklet 7. táblázata és a 10. diagram mutatja.

A mérések idején a porelszívó működött, melynek zaját alapzajnak tekintve amikor szükséges volt, az [SZ1] 3.5.2 szerint a mérési eredményeknél korrekciót alkalmaztam. 100 Hz-nél a malom zaja az alapzajból nem emelkedett ki, ezen a frekvencián a mérés nem volt értékelhető, a diagramon Lwü (üresjárati zajteljesítményszint adat) oszlop emiatt nincs.

A zajteljesítményszintet az 5.3. fejezetben leírtak szerint határoztam meg. A mérőfelület és a mérési távolság a 19. ábrán látható.

A Prall malom második mérése, üresjárati és aprítási zajteljesítményszint adatok összefoglaló értékelése

1. Üresjáratban az n_1 = 2930/min motorfordulatszámnak megfelelő tizedik – 500 Hz - felharmonikusnál, aprításkor az ötödik – 250 Hz - és tizedik – 500 Hz – felharmonikusnál jelentkeznek a szomszédos frekvenciákhoz képest kiemelkedő értékek.
2. Az üresjárati zajteljesítményszinthez képest az aprítási A-teljesítményszintek 1-3 dB-lel magasabbak (4. diagram).
3. A tömegáram növekedésével a teljesítményszint először nőtt, majd csökkent. A tömegáram növekedésével együtt nőtt az aprítandó anyag mennyisége, több szemcse ütközött egymással és a fémfelülettel, a több ütközés révén nőtt a teljesítményszint. A legnagyobb rés és ezzel a legnagyobb tömegáram előállításakor a tömegáram meghaladta a malom feldolgozóképességét, az anyag feltorlódott az adagolónyílásnál. Az aprítási térben túl sok anyag volt, kevesebb fémes ütközésre került sor, helyette inkább a mészkőszemcsék egymásnak ütköztek. Emellett az anyagmennyiség növelésével és annak feltorlódásával valamelyest csökkenhetett a motor fordulatszáma (100 és 125 Hz-nél a többihez képest kiemelkedő terc-zajteljesítményszint), így csökkent az ütközés sebessége is, ami az ütközési energia csökkenését eredményezte, és a zajszint csökkent.



4. diagram. Prall malom második mérése. $L_{wü}$ üresjárati zajteljesítményszint, L_{w1}, L_{w2}, L_{w3} különböző tömegáramokhoz tartozó és L_A zajteljesítményszintek

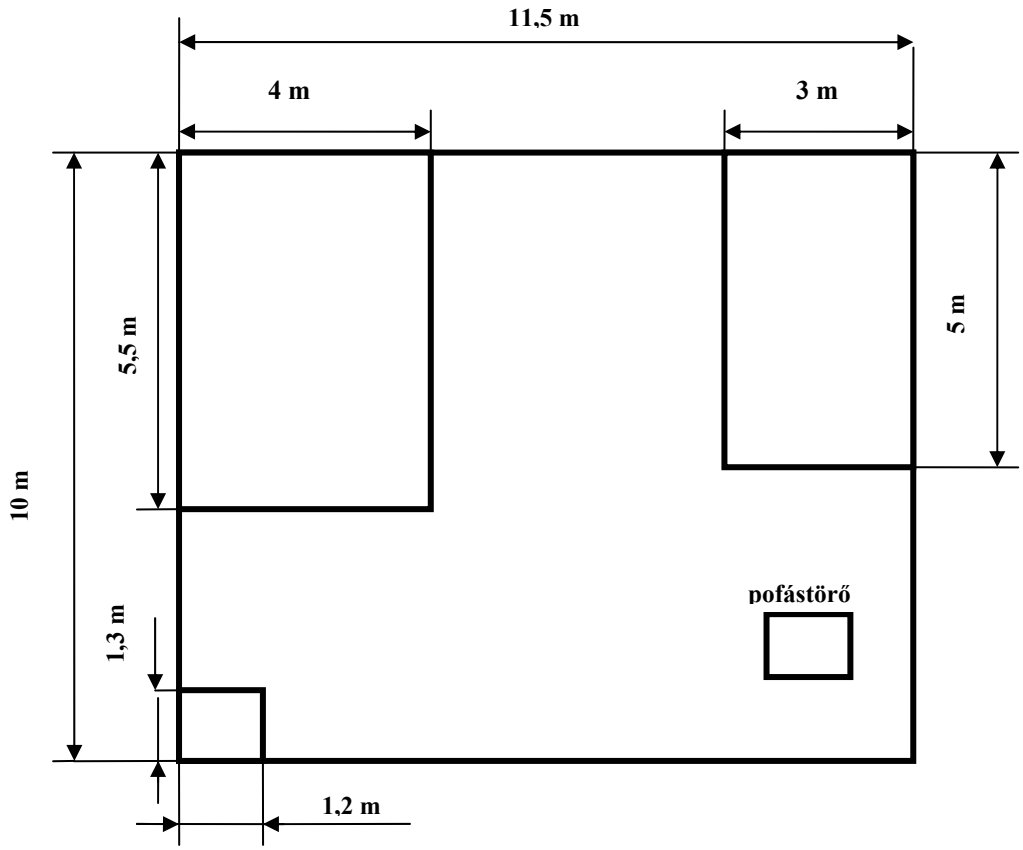
6.4. Mérések pofástörővel

6.4.1.BÉM pofástörő mérésének leírása

A vizsgált pofástörő a BÉM Borsodi Ércelőkészítő Mű RT labor épületében található. A pofástörő kis méretű, ritka esetekben, egyedi feladatra használják.

Vizsgálataim során zajteljesítményszint és hangnyomásszint méréseket végeztem, mivel a törőről akusztikai adatok nem állnak rendelkezésre.

A laborhelyiség alaprajzát a 20. ábra mutatja, bejelölve rajta a törő helyzetét.



20. ábra. A BÉM RT laborhelyiségének alaprajza és a törő elhelyezkedése

A helyiségben egyéb, rendszeresen nem használt gépek (Koller-járat, stb.) is találhatók. A laborhelyiségből 3 rész le van választva. A padló simított beton, az oldalfalak vakolt, meszelt állapotúak.

Méréseket végeztem üresjáratban és aprításkor az alábbiak szerint:

a) Üresjárati mérések$_1$

Ezen mérések során meghatároztam a malom zajteljesítmény-szintjét [SZ1] szerint, valamint hangnyomásszintet mértem a törőpofa előtt 1 m-re 1,5 m magasságban.

b) Terheléses mérések

Három, különböző anyag törésekor a törőpofától 1 m-re, 1,5 m magasságban hangnyomásszint mérést végeztem. Az aprítandó anyag adagolása minden esetben kézzel történt. Az aprított anyagok kohászati zsugorítvány, B 30 tégla és magnezit tégla voltak.

A mérést megelőzően külön anyagmintákon megvizsgáltuk az aprítandó anyagok őrölhetőségi jellemzőit, melyeket az alábbi táblázatban foglaltam össze:

Aprítandó anyag	Vizsgált anyag-mennyiség [kg]	Hard-grove index	Számított Bond-index [kWh/t]	Vizsgált anyag-mennyiség [kg]	Hard-grove index	Számított Bond-index [kWh/t]
zsugorít-vány	6,58	58,60	16,62	6,84	60,40	16,21
tégla	13,78	108,50	10,03	14,20	111,41	9,81
magnezit tégla	12,94	102,67	10,49	13,35	105,52	10,26

Aprítandó anyag	Hardgrove index átlag	Számított Bond-index átlag [kWh/t]
zsugorítvány	59,5	16,42
tégla	109,95	9,92
magnezit tégla	104,1	10,38

Az anyagok közül a zsugorítvány a Bond index alapján a nehezen aprítható, a másik két anyag a könnyen aprítható anyagok közé tartozik.

c) Üresjárati mérések$_2$

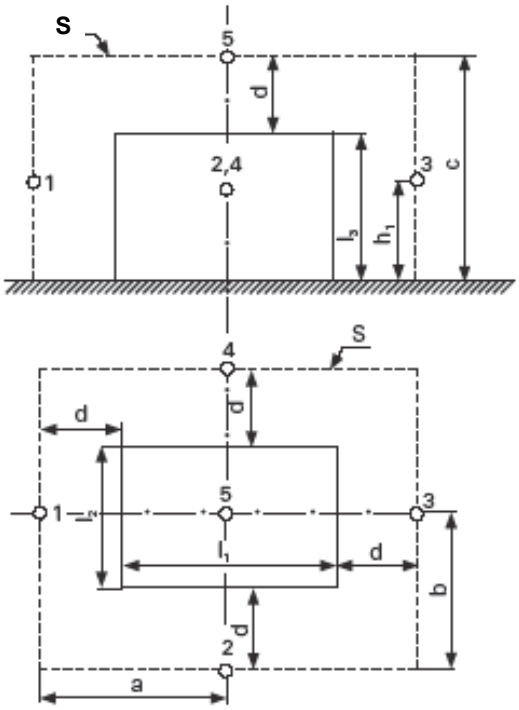
Az aprítások után ismét zajteljesítmény-szintet és hangnyomásszintet mértem.

Ezen mérés célja annak megállapítása volt, hogy az aprítás okozott-e a berendezésben olyan változást, ami a zajkibocsátását befolyásolja.

a) és c) Üresjárati mérések$_{1,2}$

A zajteljesítményszintet az 5.3. fejezetben leírtak szerint határoztam meg.

5 mérési pontot vettem fel a mérőhasáb felületén. Számozásukat, helyüket, a pofástörő befoglaló méreteit, a mérőhasáb adatait és a mérési távolságot (d) a 21. ábra mutatja.



l_1 = 1 m	a = 0,75 m	h_1 = 0,975 m
l_2 = 0,84 m	b = 0,67 m	d = 0,25 m
l_3 = 1,7 m	c = 1,95m	S = 4 (ab + bc + cd)

21. ábra. A BÉM RT pofástörőjének mérőfelülete

Az egyes mérési pontokon 1-1 percet mértem. A zaj ingadozása itt is 5 dB-en belüli volt, tehát állandónak tekinthető. Az átlagos hangnyomásszint kiszámításához a K korrekciós tényező értékét a (11) képlettel határoztam meg. A terem közepes elnyelési tényezője a [SZ1] F.1. 3. táblázata 2. sora szerint sima beton, tégla, stb. részben üres helyiségben

$$\alpha_s = 0{,}1$$

A szabvány α_s-re csak egy adatot ad meg (nem oktávsávok szerint), ezért mindegyik frekvenciatartományban ezt veszem alapul.

A mérőfelület nagysága S = 13,086 m^2.

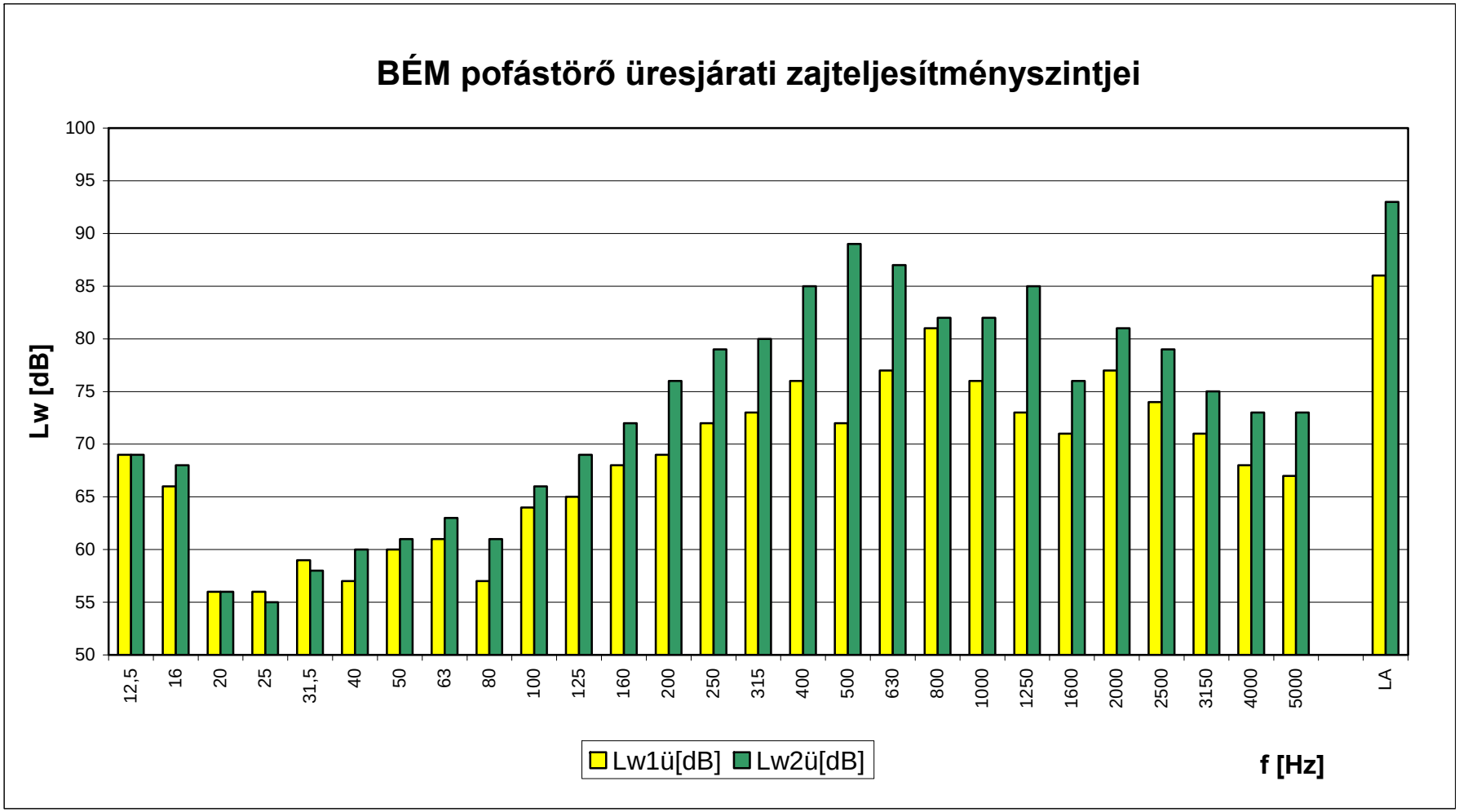
A vizsgálati helyiséget határoló felület S_v= 367,88 m^2

A vizsgálati helyiség egyenértékű elnyelési felülete $A = \alpha S_v = 36{,}788\ m^2$

K = 3,580434 ≈ 3,58 $10 \lg \frac{S}{S_0}$ értéke = 11,16807.

A (12) képlet $10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1Li} \right]$ tagját $L_á$ –val jelölve a melléklet 8. és 9. táblázatában megadtam.

Az üresjárati zajteljesítményszint adatokat a melléklet 10. táblázatában foglaltam össze. A vizsgált mérési tartomány igen széles, ezért az áttekinthetőség kedvéért a 12,5 Hz – 5000 Hz tartományt mutatom be ill. ábrázolom a 5. diagramban.



5. diagram. BÉM RT pofástörőjének üresjárati zajteljesítményszintjei aprítás előtt és után

A BÉM RT pofástörője üresjárati zajteljesítményszint méréseinek összefoglaló értékelése

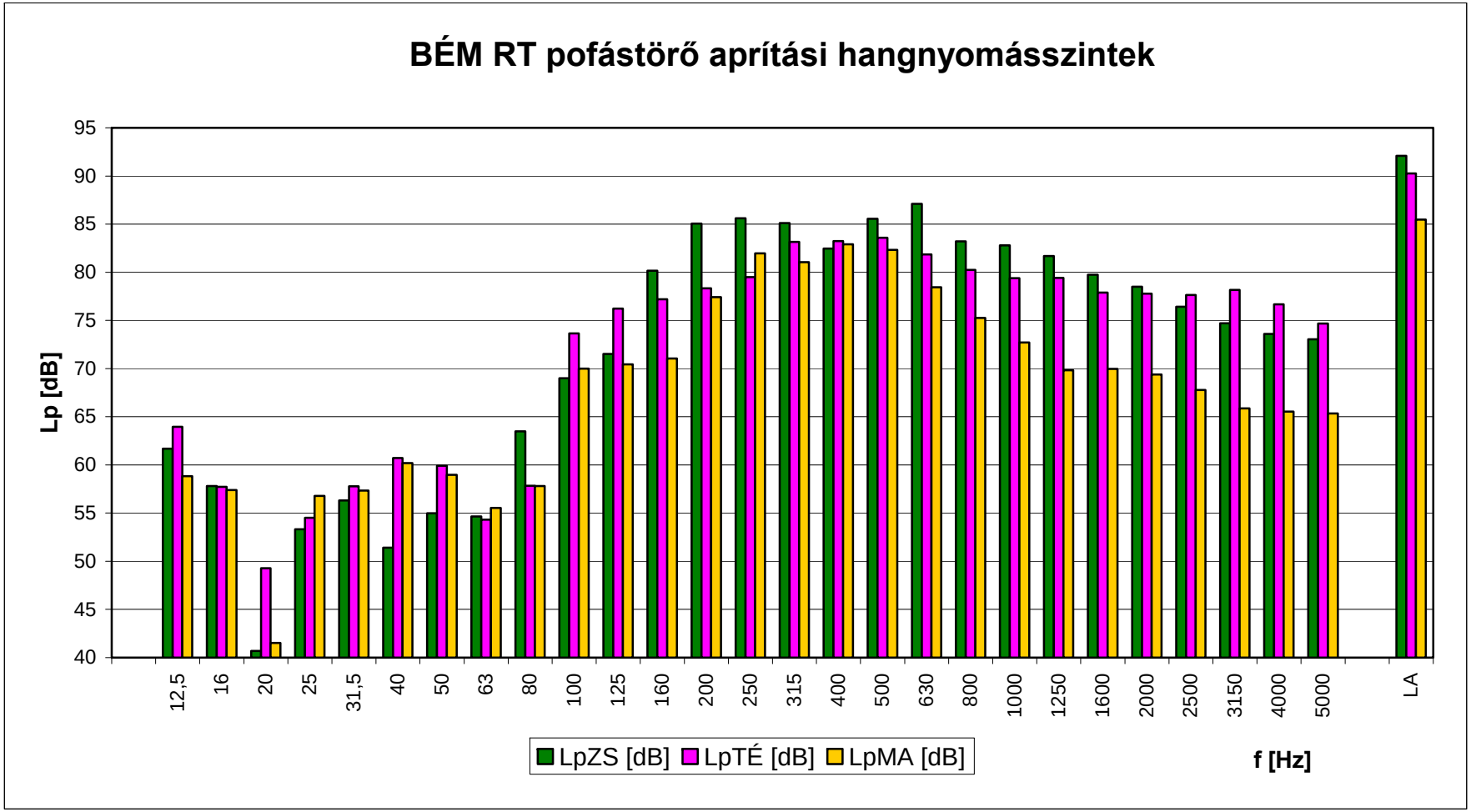
Az üresjárati zajteljesítményszintek meghatározásához a mérések elején és végén végeztem vizsgálatot. A cél az volt, hogy megállapítsam az esetleges teljesítményszint változást.

1. A motortengely fordulatszámának megfelelő 16 Hz-nél, ill. az excentertengely fordulatszámának megfelelő harmadik felharmonikusnál - 14 Hz-nél - kiugró zajteljesítményszinteket találunk, ami azt jelenti, hogy az alacsonyfrekvenciás tartományban a törő zajteljesítményszintjét a hajtás határozza meg (5. diagram).
2. Megállapítható, hogy úgy tercsávosan mind A-hangnyomásszinten a törések utáni zajteljesítményszint magasabb lett. Az aprítások ideje mindössze néhány perc volt, ennyi idő alatt a gép alkatrészeinek kopása nem számottevő, így a zajszintnövekedésben a gép hajtása burkolatának nem megfelelő rögzítése játszott szerepet. Ezek a zajszintek 400 Hz fölött dominálnak.

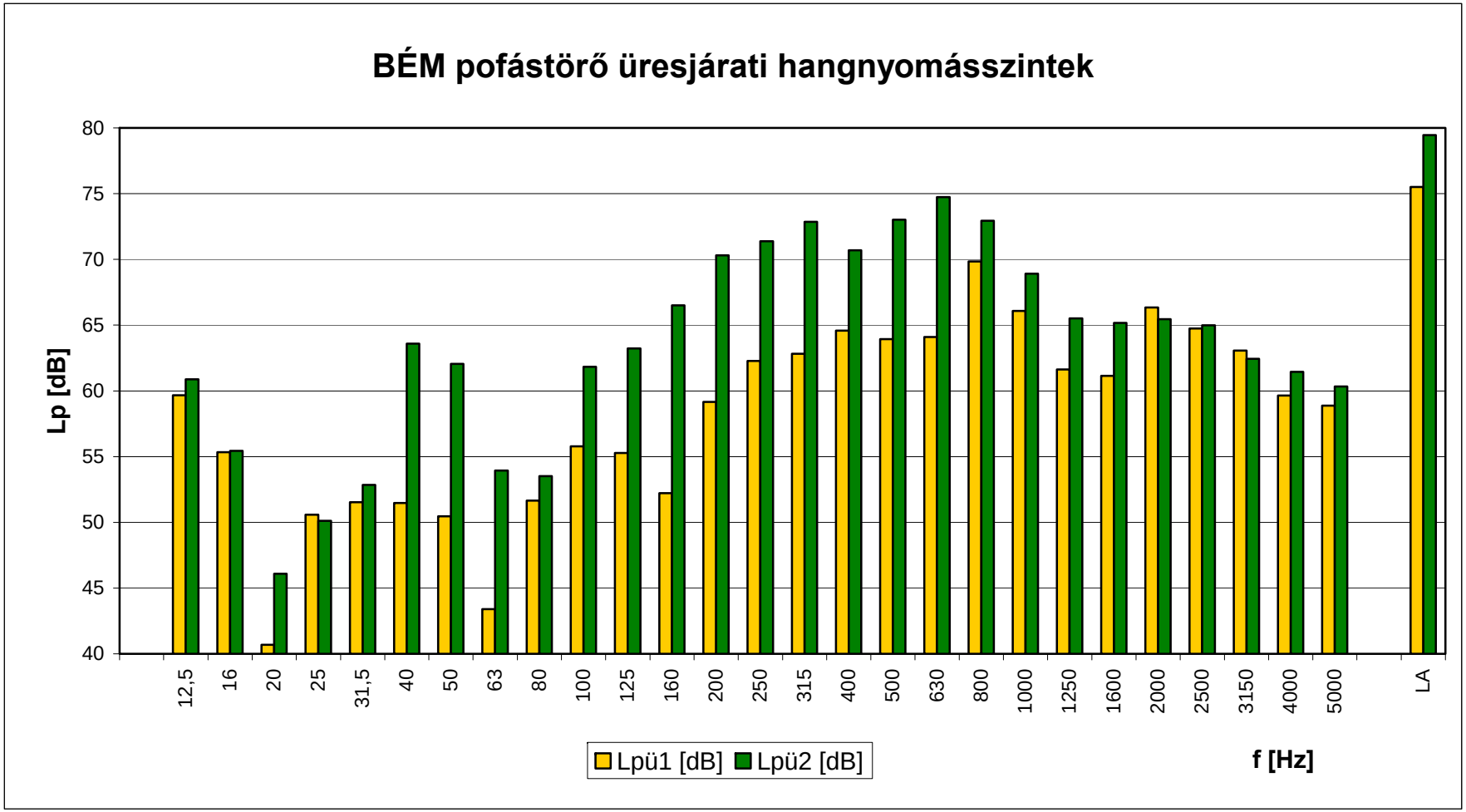
b) Hangnyomásszint mérések

A műszert a törőpofától 1 m-re állítottam fel 1,5 m magasságban (kevéssel a törőpofa fölött). A méréseket S időállandóval végeztem, terc-bontásban. A méréseket a törendő anyag gépen való áthaladásának idejéig végeztem, az eredményeket a műszer memóriájában tároltam, és számítógépbe olvasva elemeztem ki. A hangnyomásszint mérések adatait a melléklet 11. táblázata tartalmazza.

A különböző anyagokhoz tartozó aprítási hangnyomásszinteket a 6. diagram, a két üresjárati méréshez tartozó A-hangnyomásszinteket a 7. diagram mutatja.



6. diagram. BÉM RT pofástörője aprítási hangnyomásszintjei
ZS : zsugorítány; TÉ : tégla; MA : magnezittégla



7. diagram. BÉM RT pofástörő üresjárati hangnyomásszintek aprítás előtt és után

A BÉM RT pofástörője aprítási hangnyomásszint méréseinek összefoglaló értékelése

Három különféle anyag törésekor észlelhető hangnyomásszintet vizsgáltam.

A három anyag:

zsugorítvány, B 30 tégla, magnezittégla.

1. A 6. diagram adatait vizsgálva megállapítható, hogy a 160 Hz fölötti tartományban a legnehezebben őrölhető zsugorítvány (53. oldal táblázata) aprítása jár a legmagasabb zajkibocsátással. A tégla törése 400 Hz fölött okoz nagyobb hangnyomásszintet a magnezit tégláénál, a magnezit tégla aprítása jár a legkisebb zajkibocsátással. A nehezen aprítható anyag (Bond index > 15) aprítása nagyobb zajkibocsátással jár, mint a könnyen aprítható (Bond index < 12) anyagoké.
2. A motortengely fordulatszámának megfelelő 16 Hz-nél, ill. az excentertengely fordulatszámának megfelelő harmadik felharmonikusnál - 14 Hz-nél – aprításkor is megjelennek kiugró hangnyomásszintek, ami azt jelenti, hogy az alacsonyfrekvenciás tartományban a törő zajteljesítményszintjét a hajtás határozza meg (5. diagram).
3. Figyelembe véve az A-szűrő csillapítását (4. ábra: 500 Hz-nél az A-szűrő csillapítása – 3,2 dB, 500 Hz alatt ennél nagyobb, 10000 Hz-nél csillapítása –2,5 dB, efölött szintén nagyobb), azon anyag törése észlelhető „zajosabbnak”, amelyik 500 Hz és 10000 Hz között – az emberi fül által jól hallható tartományban (3. ábra) - okoz magasabb zajkibocsátást.

A BÉM RT pofástörője üresjárati hangnyomásszint méréseinek összefoglaló értékelése

A törő hangnyomásszintjét a vizsgálat kezdetekor és utána is megmértem a törőpofa előtt 1 m-re.

1. A mérési adatokat összehasonlítva (7. diagram) látható, hogy a törések végrehajtása után a törő zajkibocsátása magasabb lett. Mivel üresjáratban a törőfelületek nem érintkeznek anyaggal, a zajszintnövekedés a gép alkatrészeinek kopását vagy kilazulását jelzi. A szíjhajtás burkolata nem volt megfelelően rögzítve, a kilazult burkolat rezgése okozhatta a zajszintnövekedést.
2. Tercsávos felbontásban 2000 Hz és 5000 Hz között az eltérés minimális, ≈1-1,5 dB. A többi frekvenciákon a törés utáni állapot hangnyomásszintje egyértelműen magasabb. A legnagyobb különbség 160 Hz-en adódik, 14 dB. 10 -12 dB körüli eltérések vannak még 40, 50 és 63 Hz-en valamint 630 Hz-en. Ha figyelembe vesszük azonban azt, hogy az

A-szűrő csillapítása 250 Hz-ig 10 dB-nél nagyobb, a mélyfrekvenciás hangok az emberi hallás szempontjából nem érzékelhetők. A 630 Hz-en lévő 10 dB-es kiugrás azonban már füllel érzékelhető.

A-hangnyomásszinten nézve a különbség ≈ 4 dB.

3. A hajtás fordulatszámainak megfelelő kiugrások 12,5 és 16 Hz-en megtalálhatók.

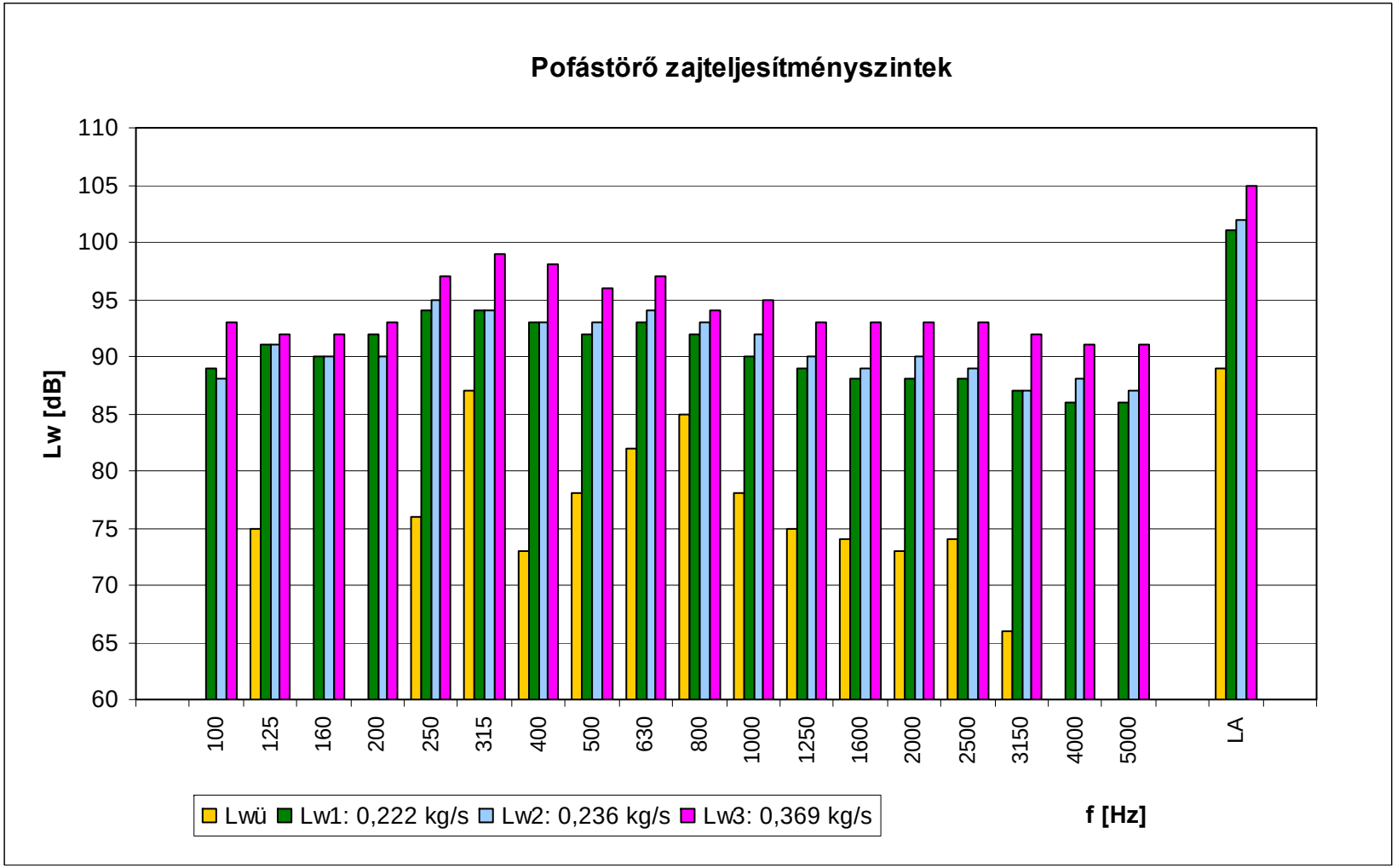
6.4.2.Az egyetemi pofástörő mérésének leírása

A pofástörő a Prall malommal egy helyiségben található, így a terem akusztikai adatai megegyeznek a Prall malom mérésénél alkalmazottal A helyiségben végzett mérés miatti korrekció a pofástörő és mérőfelületének a Prall malométól eltérő geometriai adatai miatt különböző, de számítási módja ugyanaz.

A pofástörő mérőfelülete a 20. ábra szerinti. A geometriai adatok az alábbiak:

l_1 = 0,83 m	a = 0,915 m	h_1 = 0,975 m
l_2 = 1,36 m	b = 1,18 m	d = 0,5 m
l_3 = 0,86 m	c = 1,36m	S = 15,7156 m^2

A vizsgálat során először az üresjárathoz, majd három különböző tömegáramhoz tartozó zajteljesítményszintet határoztam meg, mint a zajforrásra legjellemzőbb akusztikai adatot.
A tömegáramot a törő résének állításával változtattuk. Az aprított anyag mészkő volt.
A mérések idején a porelszívó berendezés be volt bekapcsolva. Az üresjárati működésekor kialakult hangnyomásszintek és a porelszívó működésekor mért hangnyomásszintek közötti különbség nem minden tercsávban és mérési pontban érte el a 10 dB-t , ezért a szükséges helyeken az elszívó zaja mint alapzaj miatt korrekciót alkalmaztam a [SZ1] 3.5.2. szerint.
5 mérési ponton mértem hangnyomásszintet, melyek átlagából a (12) képlettel kiszámoltam a hangteljesítményszinteket. A teljesítményszint adatokat a melléklet 11. táblázatában foglaltam össze és a értéküket a 8. diagram mutatja. 100, 160 és 200 Hz-en a mérés nem volt értékelhető, a törő zaja az alapzajból nem emelkedett ki.



8. diagram. Az egyetemi pofástörő $L_{wü}$ üresjárati és L_{w1-3} aprítási zajteljesítményszintjei különböző tömegáramok esetén

Az egyetemi pofástörő üresjárati és aprítási zajteljesítményszint mérésének értékelése

Az üresjárati zajteljesítményszinthez képest az aprítások A-teljesítményszintje 12-16 dB-lel lett magasabb, tercsávosan nézve ettől nagyobb eltérések is előfordulnak.

Pofástörőnél a vizsgált tömegáram tartományban a tömegáram növekedésével az A-teljesítményszint nő, tercsávosan nézve is ez jellemző. A tömegáram növelésével több anyag kerül a pofák közé, így nő a töréssel keltett zajszint. A tömegáram finomabb állítása – több tömegáram-érték beállítása – a törőnél nem volt lehetséges, ezért a tömegáram növekedése és a zajteljesítményszint között konkrét összefüggést nem tudtam felírni.

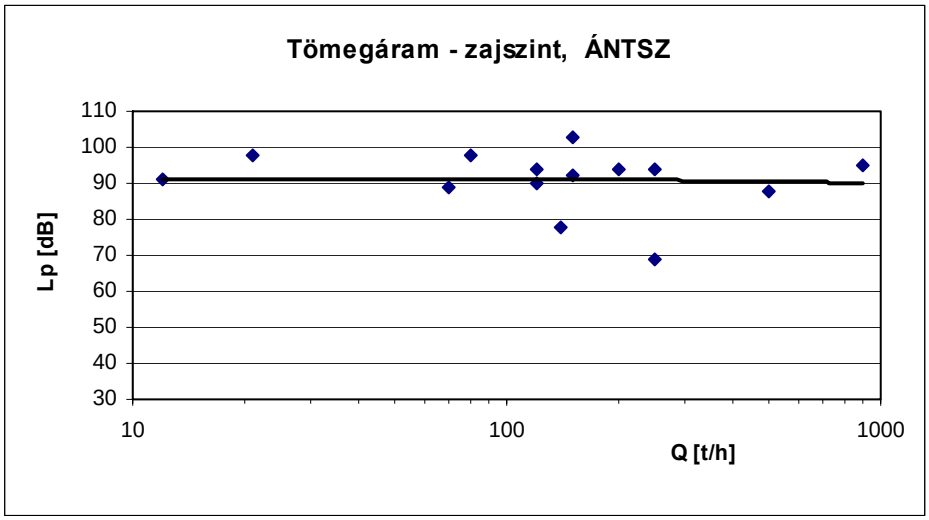
6.5. Mérések bányákban és osztályozókban, üzemi körülmények között

6.5.1.ÁNTSZ által végzett mérések

Az ÁNTSZ B-A-Z Megyei Intézete valamint néhány bánya és ásványfeldolgozó üzem rendelkezésemre bocsátott munkahelyi zajmérési jegyzőkönyveket. A mérések 1969-2004. közötti időszakban történtek. A vizsgált berendezések közül ma már nem mind üzemel.
A mérések során a dolgozót érő zajterhelést határozták meg, azaz a kezelő tartózkodási helyén történtek az A-hangnyomásszint mérések. A vizsgálatokat túlnyomórészt Brüel & Kjær gyártmányú, 2231 típusú integráló hangnyomásszint-mérővel végezték.
A műszert a géptől általában 1 m-re, 1,5-1,7 m magasságban helyezték el. Ezen vizsgálatok során nem az volt a cél, hogy a mérési eredmény egy adott gép zajkibocsátását jellemezze, hanem az azt kiszolgáló dolgozót érő zajterhelést mutassa be, és a közelben esetleg működő más berendezéseket a vizsgálat idejére nem kapcsolták ki. A mérési eredmény tartalmazhatja másik aprítógép ill. a kiszolgáló berendezések (pl. adagoló berendezés, szállítószalag, rosta) zajkibocsátását is. Emiatt a munkahelyi zajmérések csak mértéktartó következtetések levonására alkalmasak.

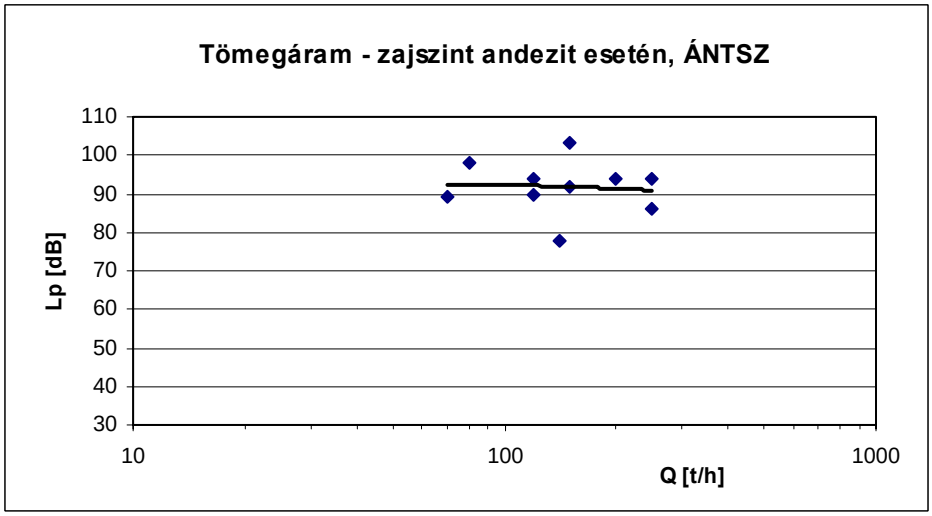
A mérési eredményeket a melléklet 13-16. táblázatai tartalmazzák.
A jobb áttekinthetőség kedvéért az adatokat diagramokba rendezetem.
A zajszint adatokat a tömegáram és a sebesség függvényében ábrázoltam, amennyiben 3-nál több adat állt rendelkezésre. Az igénybevételi sebességet a fordulatszámból, a forgórész átmérőből, pofástörőknél és kúpostörőknél a lökethosszból és a rotor fordulatszámából határoztam meg.
Régi mérések esetében nem mindig álltak rendelkezésre azok az adatok, melyekből igénybevételi sebességet lehetett volna számolni.
Ahol elegendő adat volt, külön csoportosítottam a zajszint adatokat törőtípusonként , aprított anyagfajtánként, a törőfelületek száma és a törés módja szerint is. A lineáris zajszint-trend egyeneseket az excel szoftver szerkesztette.

Vizsgálatok a tömegáram függvényében



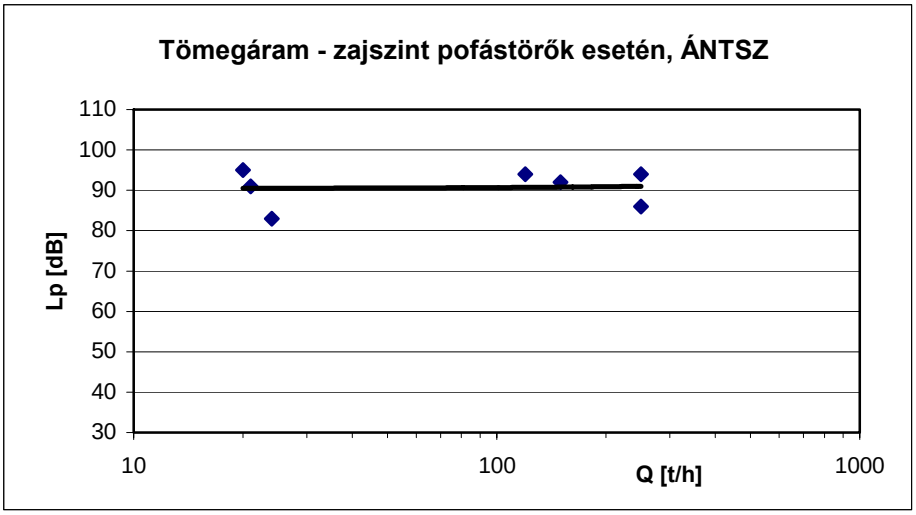
9. diagram. Az ÁNTSZ által mért aprítógépek zajszintjei a tömegáram függvényében

A 9. diagram a tömegáram függvényében mutatja az összes vizsgált berendezés zajszintjét. Látható, hogy a tömegáram növekedése a zajszint-trend igen kismértékű csökkenésével jár. A mérési eredmények relatív szórása 9 %.



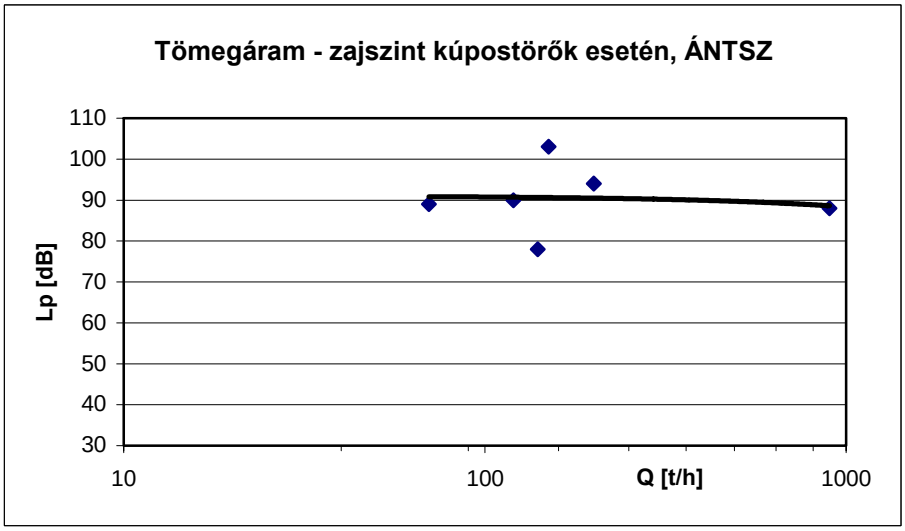
10. diagram. Az ÁNTSZ által mért aprítógépek zajszintjei a tömegáram függvényében andezit aprításakor

Megvizsgáltam andezit törése esetén a tömegáram változásának hatását. A 10. diagram alapján látható, hogy a tömegáram növekedése a zajszint-trend kismértékű csökkenését hozza magával. A mérési eredmények relatív szórása 7 %.



11. diagram. Az ÁNTSZ által mért pofástörők zajszintjei a tömegáram függvényében

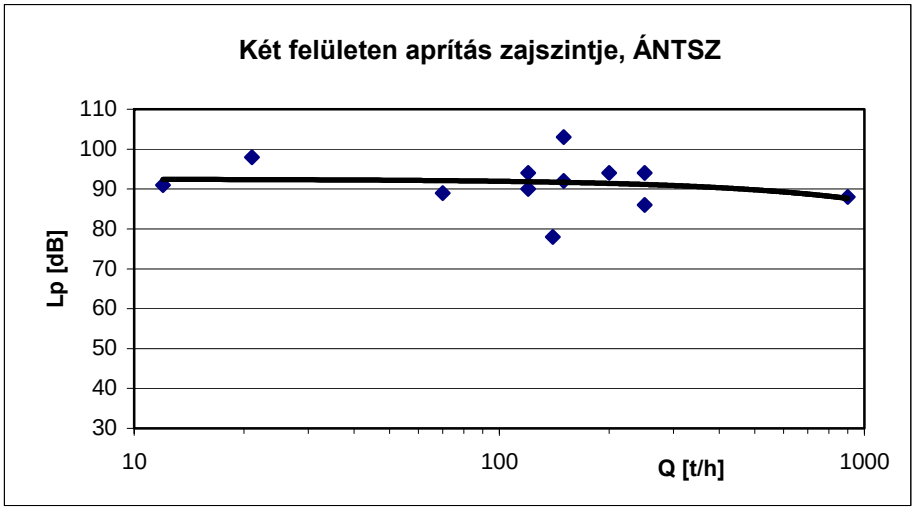
A 11. diagram mutatja, hogy a tömegáram növekedése pofástörők esetében a zajszint-trend igen kismértékű növekedésével jár. A mérési eredmények relatív szórása 5 %.



12. diagram. Az ÁNTSZ által mért kúpostörők zajszintjei a tömegáram függvényében

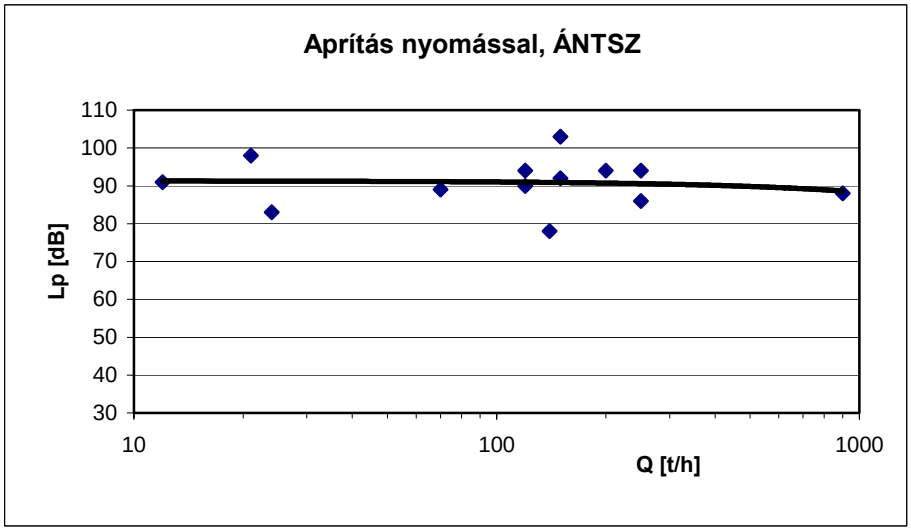
A 12. diagram mutatja, hogy a tömegáram növekedése kúpostörők esetében a zajszint-trend igen kismértékű csökkenését idézi elő. A mérési eredmények relatív szórása 8 %.

Az ÁNTSZ által vizsgált berendezések között nem voltak egy felületen aprító berendezések, ezért csak a két felületen aprító berendezések zajkibocsátása és a tömegáram ill. törési sebesség között kerestem összefüggést.



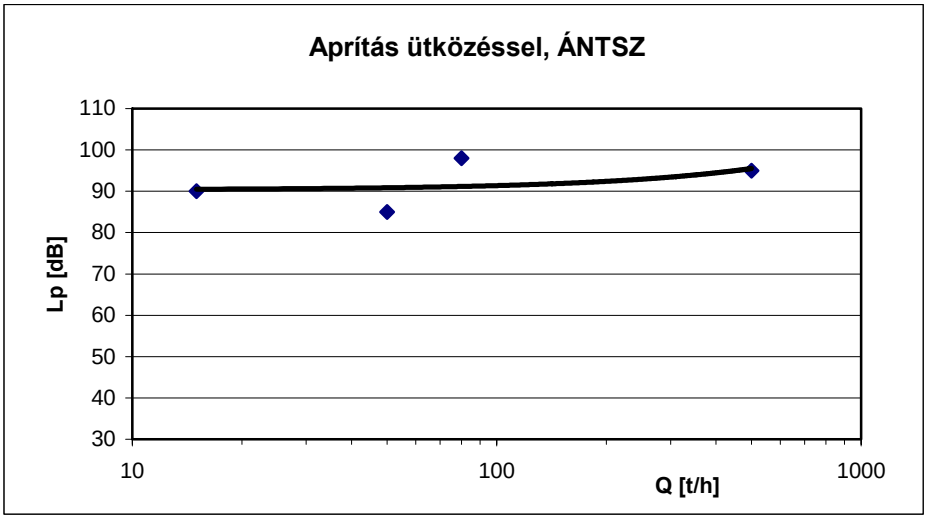
13. diagram. Az ÁNTSZ által mért, két felületen aprító berendezések zajszintjei a tömegáram függvényében

A 12. diagram szerint a tömegáram növekedésével a berendezések zajkibocsátása igen kismértékben csökkenő tendenciát mutat. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



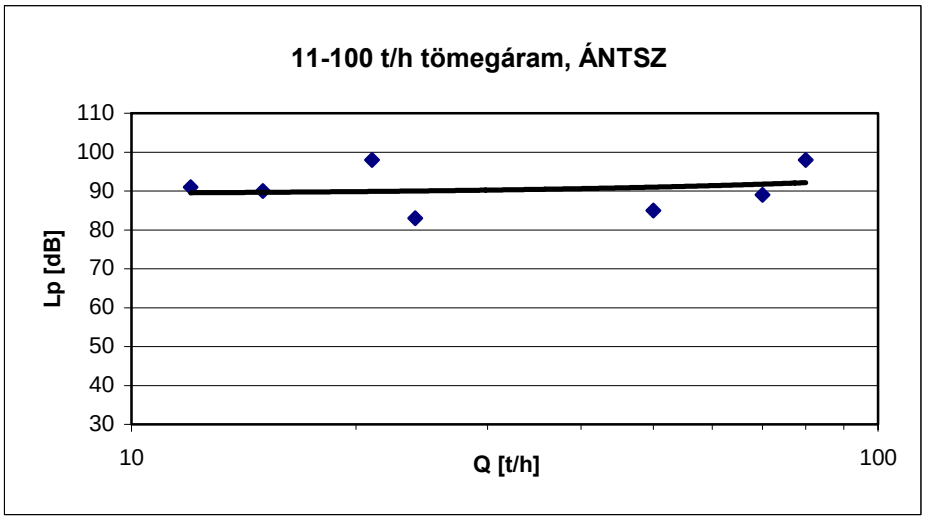
14. diagram. Az ÁNTSZ által mért, nyomással aprító berendezések zajszintjei a tömegáram függvényében

A 14. diagram a nyomással aprító berendezések esetében a zajszint-trend igen kismértékű csökkenését mutatja a tömegáram növekedésének függvényében. A mérési eredmények relatív szórása 7 %.



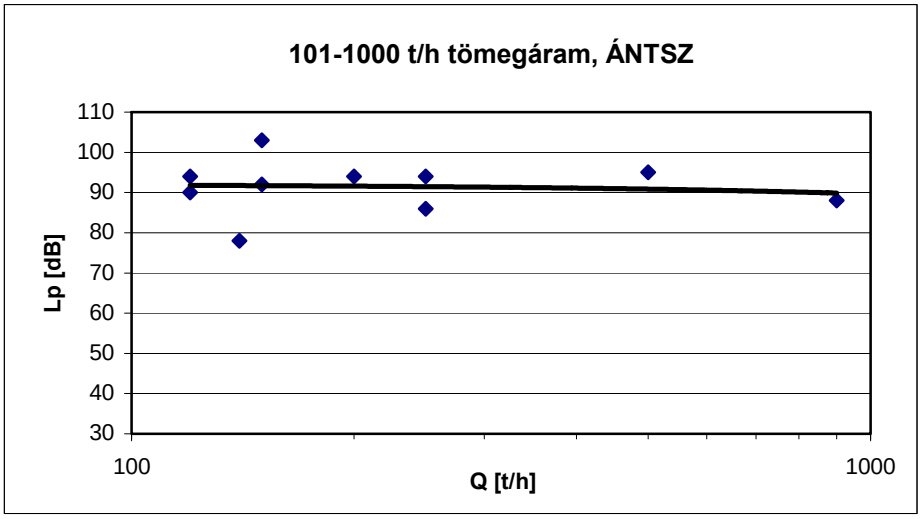
15. diagram. Az ÁNTSZ által mért, ütközéssel aprító berendezések zajszintjei a tömegáram függvényében

A 15. diagram az ütközéssel aprító berendezések esetében a zajszint-trend kismértékű növekedését mutatja a tömegáram növekedésének függvényében. A mérési eredmények relatív szórása 5 %.



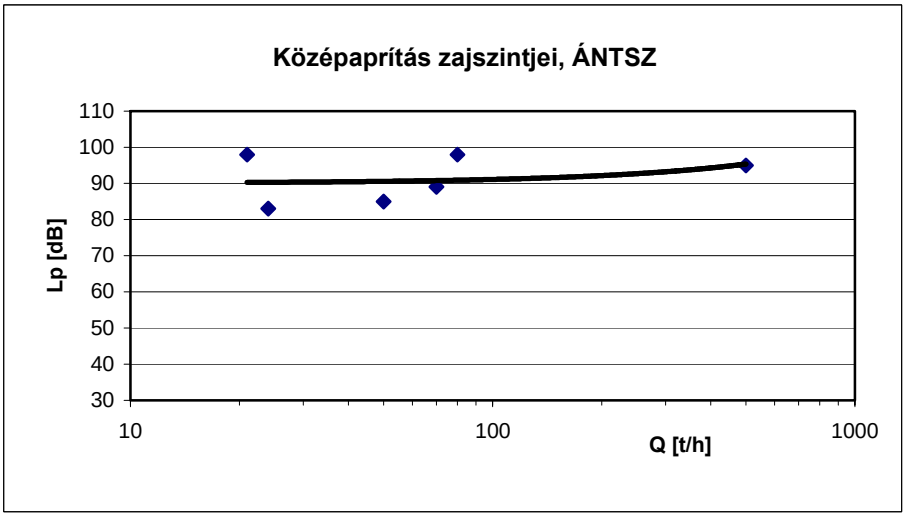
16. diagram. Az ÁNTSZ által mért aprító berendezések zajszintjei a tömegáram függvényében

Valamennyi ÁNTSZ által vizsgált berendezést két tömegáram csoportra osztottam (1-10 t/h közötti berendezés nem volt a vizsgáltak között). A 11-100 t/h közötti berendezések zajszintje kismértékű növekedést mutat a tömegáram növekedésének függvényében (16. diagram). A mérési eredmények szórása 6 %.



17. diagram. Az ÁNTSZ által mért aprító berendezések zajszintjei a tömegáram függvényében

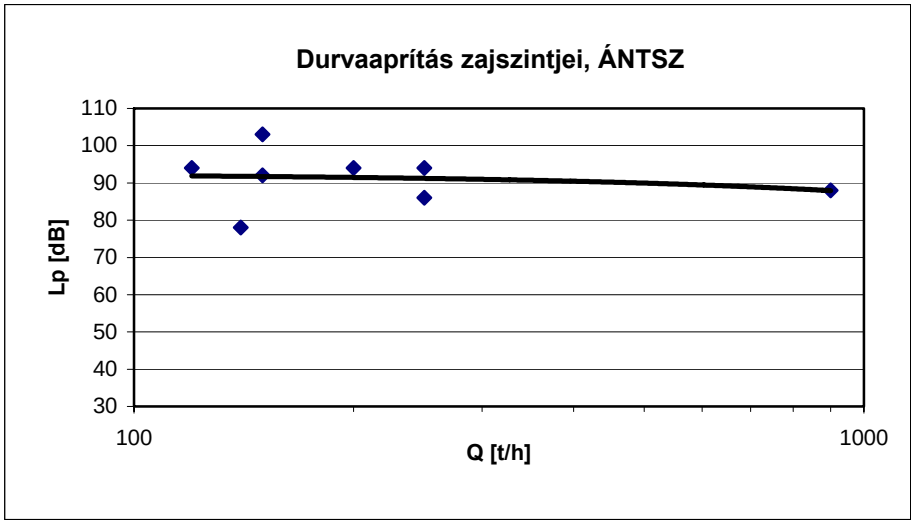
A 101-1000 t/h közötti berendezések zajszintje igen kismértékű csökkenést mutat a tömegáram növekedésének függvényében (17. diagram). A mérési eredmények relatív szórása 7 %.



18. diagram. Az ÁNTSZ által mért, középaprítást végző berendezések zajszintjei a tömegáram függvényében

Az ÁNTSZ által mért berendezések között csupán két berendezés végzett finomaprítást, így azok mérési eredményeit nem ábrázoltam diagramon.

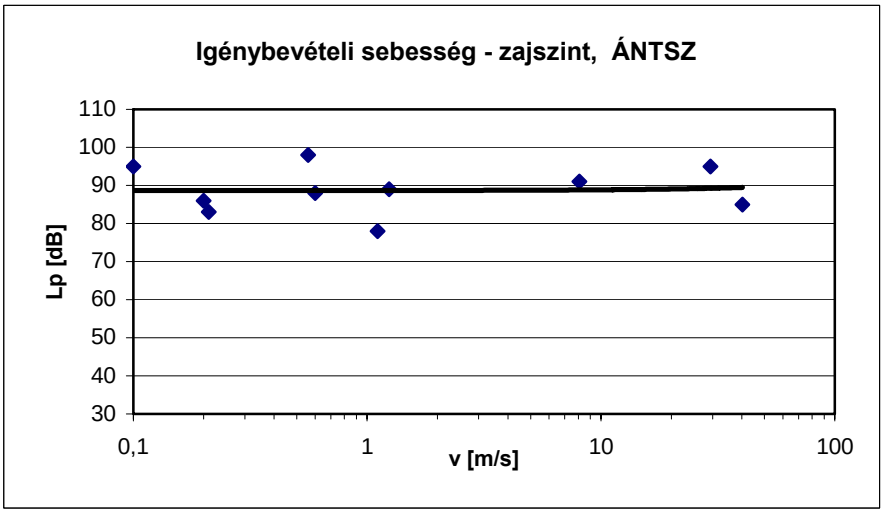
Középaprítást végző gépeknél a tömegáram növekedése a zajszint-trend kismértékű növekedését okozza (18. diagram). A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



19. diagram. Az ÁNTSZ által mért, középaprítást végző berendezések zajszintjei a tömegáram függvényében

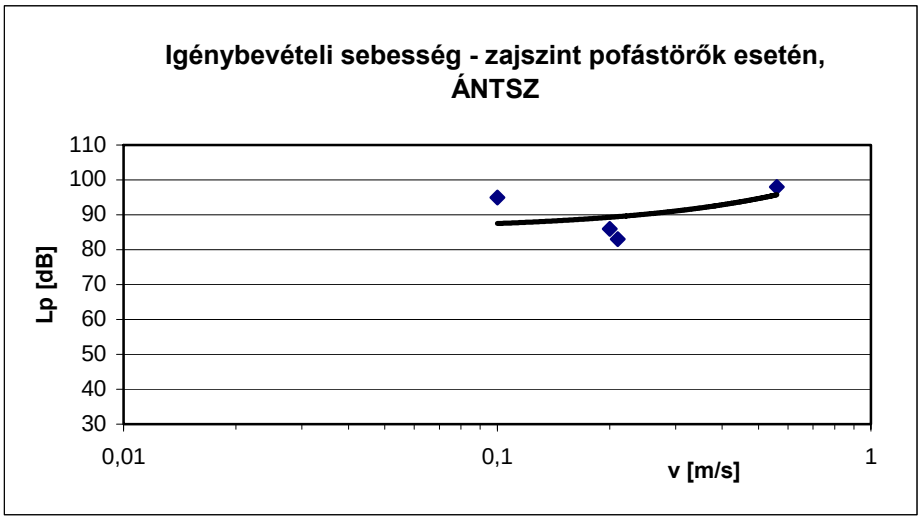
Durvaaprítás esetén a zajszint-trend igen kismértékben csökken (19. diagram). A mérési eredmények relatív szórása 7 %.

Vizsgálatok az igénybevételi sebesség függvényében



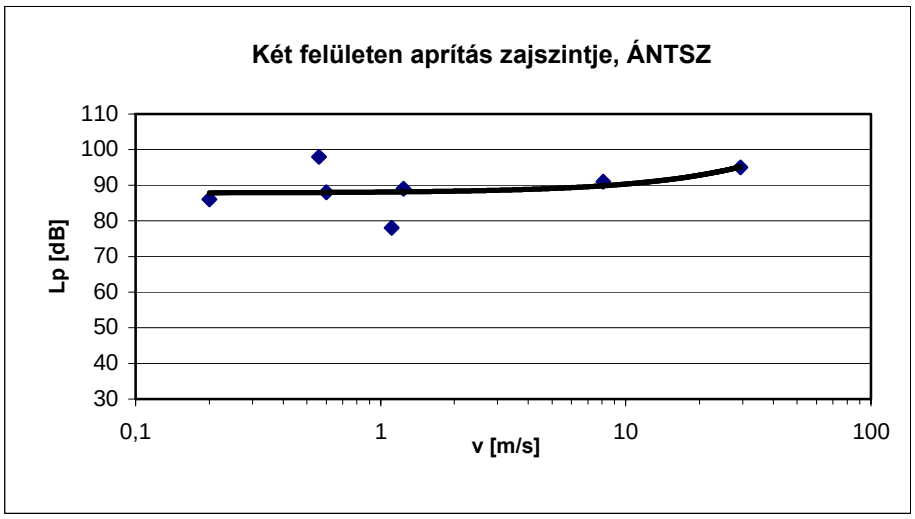
20. diagram. Az ÁNTSZ által mért összes berendezés zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

A 20. diagram az aprítás igénybevételi sebessége függvényében mutatja az összes vizsgált berendezés zajszintjét. Az igénybevételi sebesség növekedése a zajszint-trend kismértékű növekedését idézi elő. A mérési eredmények relatív szórása 7 %.



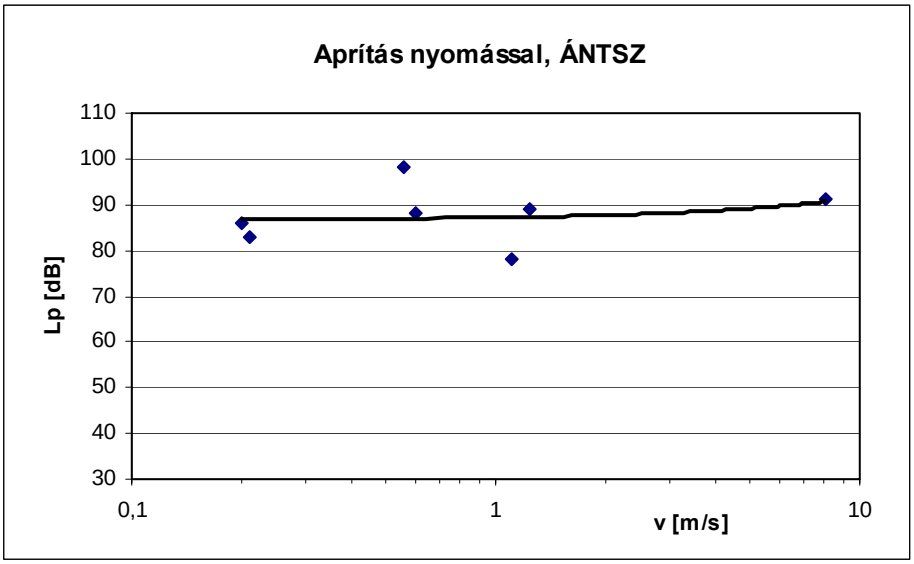
21. diagram. Az ÁNTSZ által mért pofástörők zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Az igénybevételi sebesség növekedése pofástörők esetében jelentősen növeli a berendezés zajszintjét (21. diagram). A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



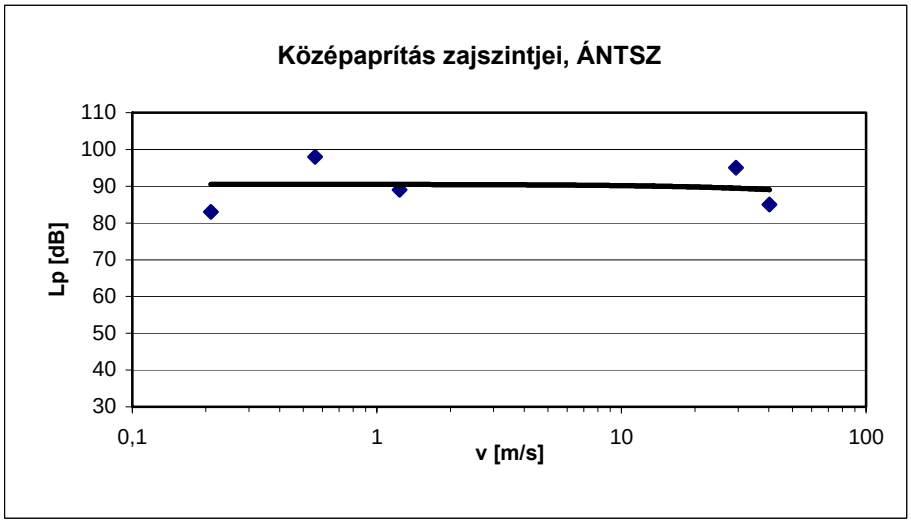
22. diagram. Az ÁNTSZ által mért, két felületen aprító berendezések zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

A 22. diagram azt mutatja, hogy a törési sebesség növekedése két felületen aprító berendezéseknél növeli a zajszintet. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



23. diagram. Az ÁNTSZ által mért, nyomással aprító berendezések zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

A 23. diagram a nyomással aprító berendezések esetében a zajszint-trend kismértékű növekedését mutatja a törési sebesség növekedésének függvényében. A mérési eredmények relatív szórása 7 %.



24. diagram. Az ÁNTSZ által mért, középaprítást végző berendezések zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Diagramba rendezéshez csak középaprítás esetén állt rendelkezésre elegendő adat. Az igénybevételi sebesség növekedése kismértékű zajszint csökkenéssel jár (24. diagram). A mérési eredmények relatív szórása 6 %.

A mérési eredmények összefoglalása

Az aprítási zajszintek egyidejűleg több változótól is függenek, így az aprítógép működési zajszintje egy többváltozós függvénnyel lenne jellemezhető. Az egyes változókat külön tekintve az alábbi megállapítások tehetők:

A tömegáram növekedésével a zajszint csökken:

- az összes törőt együttesen tekintve
- nyomással történő aprításkor
- durvaaprításkor
- két felületen történő aprításkor
- 101-1000 t/h tömegáramú aprításkor
- kúpostörők esetében
- andezit aprításakor

A tömegáram növekedésével a zajszint nő:

- ütközéssel történő aprításkor
- egy felületen történő aprításkor
- 11-100 t/h tömegáramú aprításkor
- nagyteljesítményű törőknél
- pofástörők esetében
- röpítőtörők esetében

Az igénybevételi sebesség növekedésével a zajszint csökken:

- középaprításkor

Az igénybevételi sebesség növekedésével a zajszint nő:

- az összes törőt együttesen tekintve
- két felületen történő aprításkor
- nyomással történő aprításkor
- pofástörők esetében jelentősen nő

6.5.2.Saját mérések

A törőberendezések működési körülményei és zajkibocsátása közötti összefüggések megvizsgálása céljából a gépek működési helyén, bányákban és ásványfeldolgozó üzemekben zajméréseket végeztem. Az alkalmazott műszer Brüel & Kjær gyártmányú, 2226 típusú, integráló műszer volt, S, F, I időállandó kapcsolható rajta.

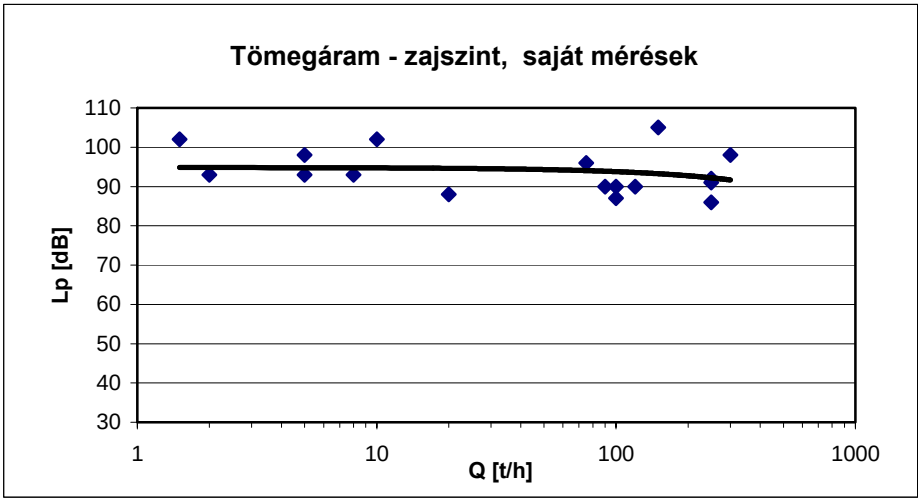
A berendezések akusztikai jellemzésére, az aprítással keletkező hang teljesítményének meghatározására a legideálisabb a zajteljesítményszint meghatározása. Ehhez a gép környezetében legalább öt ponton szükséges hangnyomásszint mérése úgy, hogy az aprítás zajszintjét a környezeti alapzaj lehetőleg ne befolyásolja.

A berendezések működési helyén ezen feltételeket nem tudtam megvalósítani. Az aprítóberendezések általában kiegészítő-berendezésekkel együtt működtek, melyeket nem lehetett a mérés idejére leállítani részben a termelési lánc miatt, melynek része volt maga az aprítóberendezés, részben mert a környezetben más gépek is üzemeltek, gépjárművek mozogtak, termelés folyt.

Emiatt nem hangteljesítményszintet, hanem egyenértékű A-hangnyomásszintet mértem oly módon, hogy a géptől 1 m-es távolságban, a gép alapszintjétől/kiszolgálószintjétől 1,5 m-es magasságban helyeztem el a mikrofont úgy, hogy egyéb zajforrásoktól hangárnyékban legyen. Így az aprítás zajszintjét tudtam mérni. Impulzusos maximális hangnyomásszinteket is mértem, ill. ahol lehetőség volt rá, ott üresjárati hangnyomásszintet is.

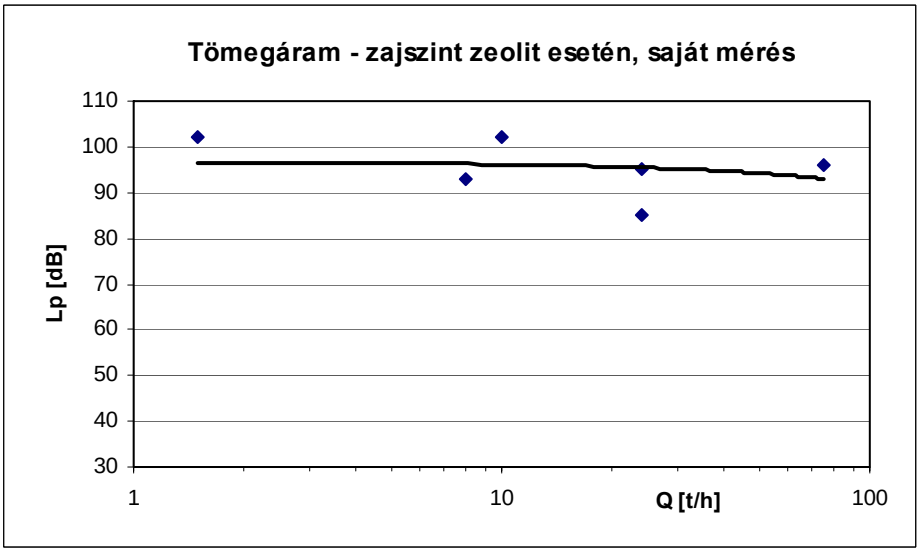
A mérési eredményeket és az üzemeltetők által megadott gépjellemzőket a melléklet 17-23. táblázatai tartalmazzák. A mérési eredményeket excel-diagramokba rendezetem hasonló módon, mint az ÁNTSZ adatok feldolgozásánál. A lineáris zajszint-trend egyeneseket az excel szoftver szerkesztette.

Vizsgálatok a tömegáram függvényében



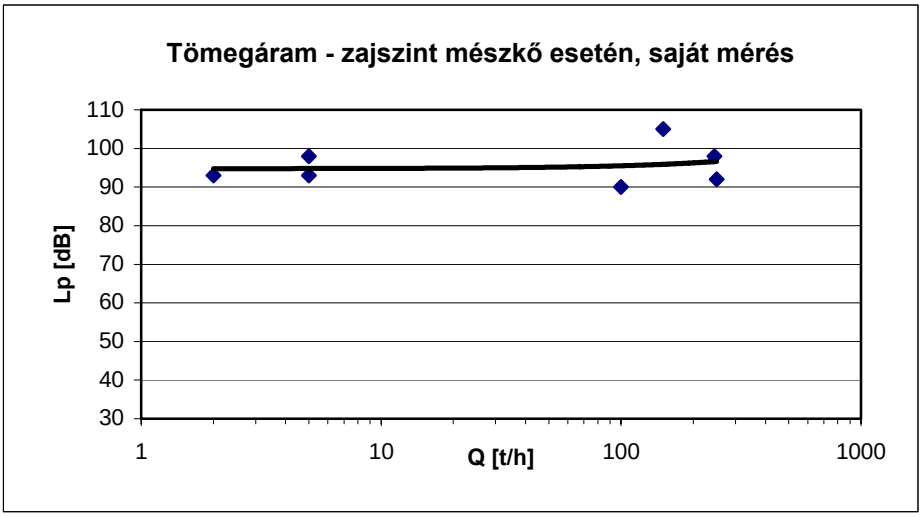
25. diagram. Tömegáram-zajszint összefüggés az összes vizsgált aprítógép esetében

A 25. diagram a tömegáram függvényében mutatja az összes vizsgált berendezés zajszintjét. Látható, hogy a tömegáram növekedése a zajszint-trend kismértékű csökkenésével jár. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



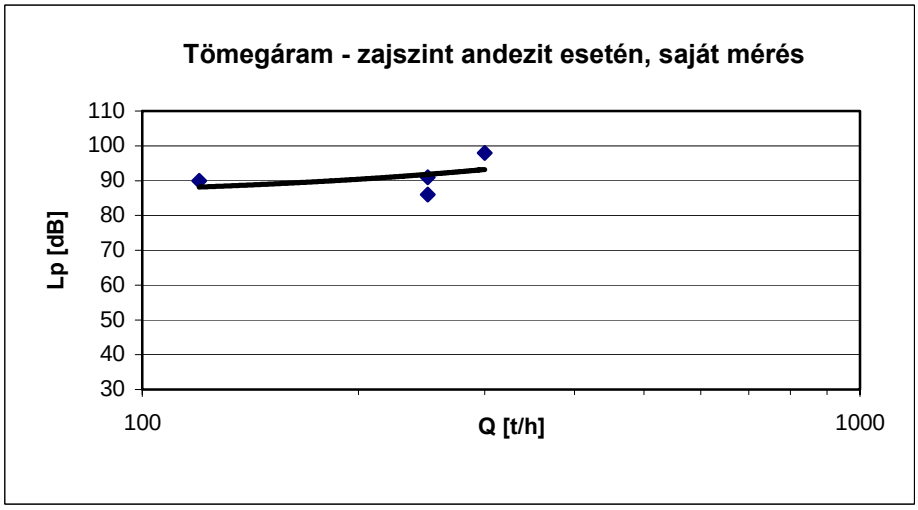
26. diagram. Tömegáram-zajszint összefüggés zeolit aprításakor

A tömegáram növekedése (26. diagram) zeolit aprításakor a zajszint-trend kismértékű csökkenését mutatja. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



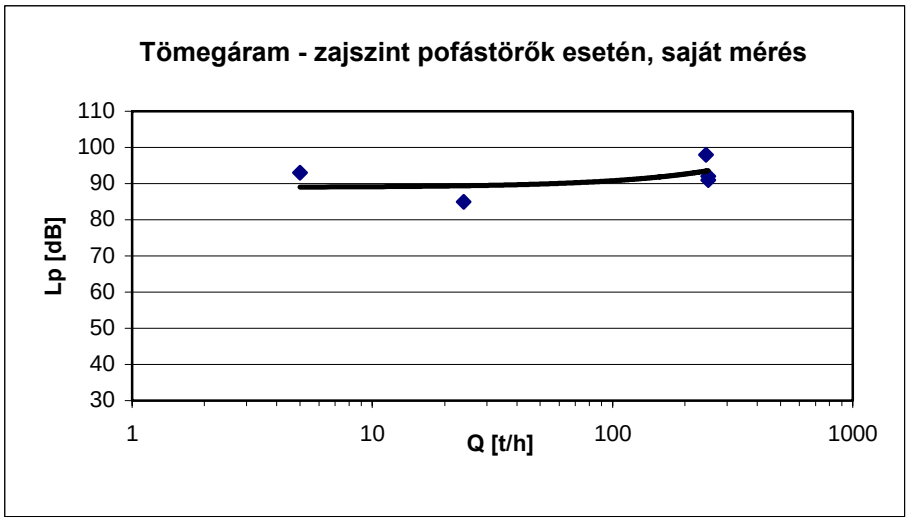
27. diagram. Tömegáram-zajszint összefüggés mészkő aprításakor

A 27. diagram a tömegáram függvényében enyhén emelkedő zajszint-trendet mutat mészkő aprításakor. A mérési eredmények relatív szórása 5 %.



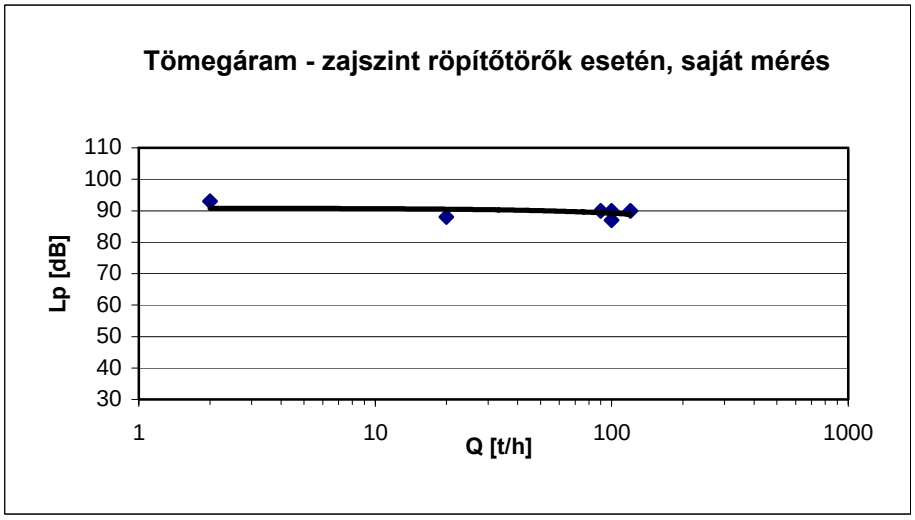
28. diagram. Tömegáram-zajszint összefüggés andezit aprításakor

A 28. diagram enyhén emelkedő zajszint-trendet mutat andezit aprításakor a tömegáram növekedésével. A mérési eredmények relatív szórása 4 %.



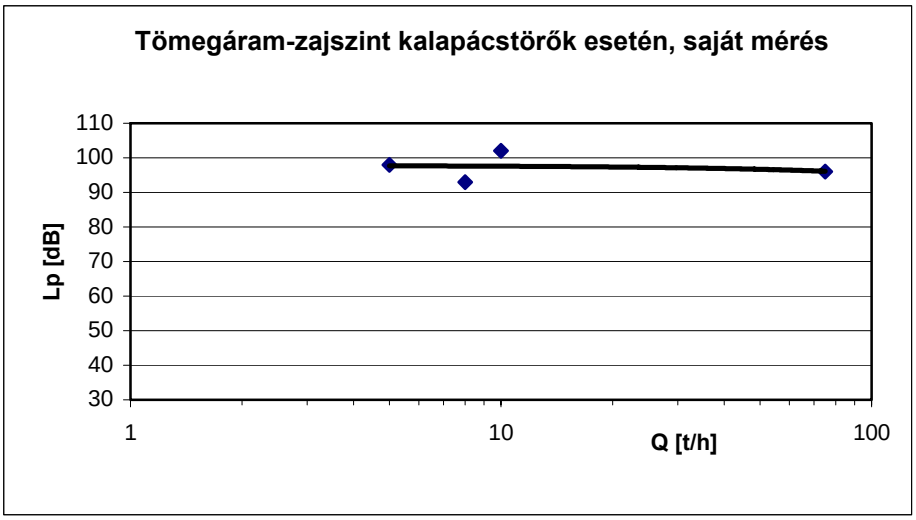
29. diagram. Pofástörők zajszintjei a tömegáram függvényében

A 29. diagram enyhén emelkedő zajszint-trendet mutat pofástörők esetében a tömegáram növekedésével. A tömegáram megkétszereződése a zajszint ~ 2 dB-es növekedését hozza magával. A mérési eredmények szórása 4 %.



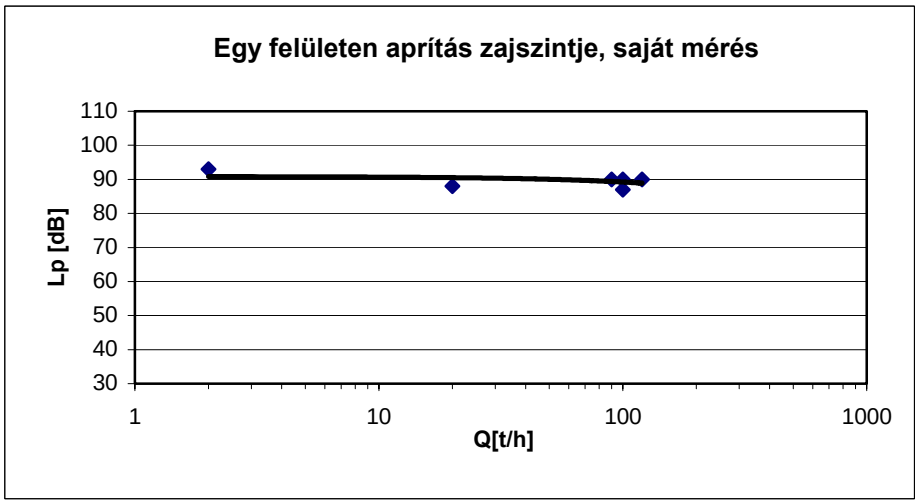
30. diagram. Röpítőtörők zajszintjei a tömegáram függvényében

A 30. diagram enyhén csökkenő zajszint-trendet mutat röpítőtörők esetében a tömegáram növekedésével. A mérési eredmények relatív szórása 2 %.



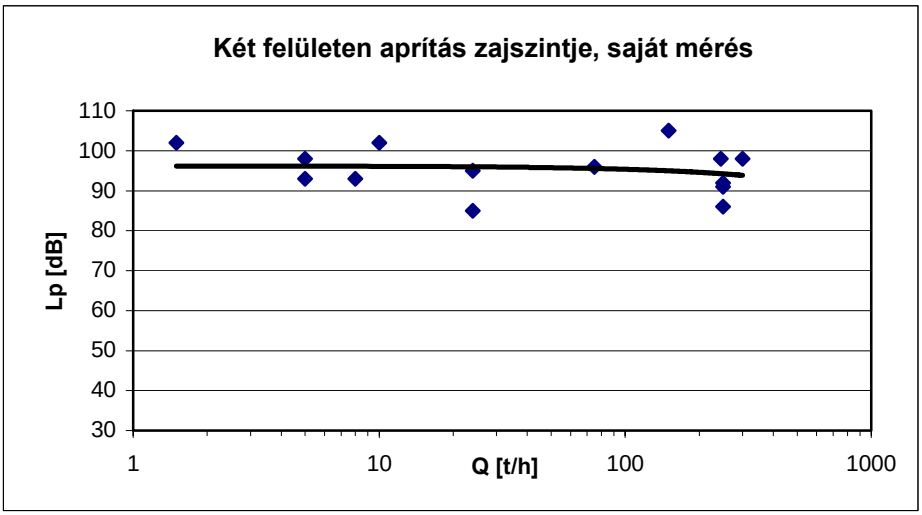
31. diagram. Kalapácsostörők zajszintjei a tömegáram függvényében

A 31. diagram enyhén csökkenő zajszint-trendet mutat kalapácsostörők esetében a tömegáram növekedésével. A mérési eredmények relatív szórása 4 %.



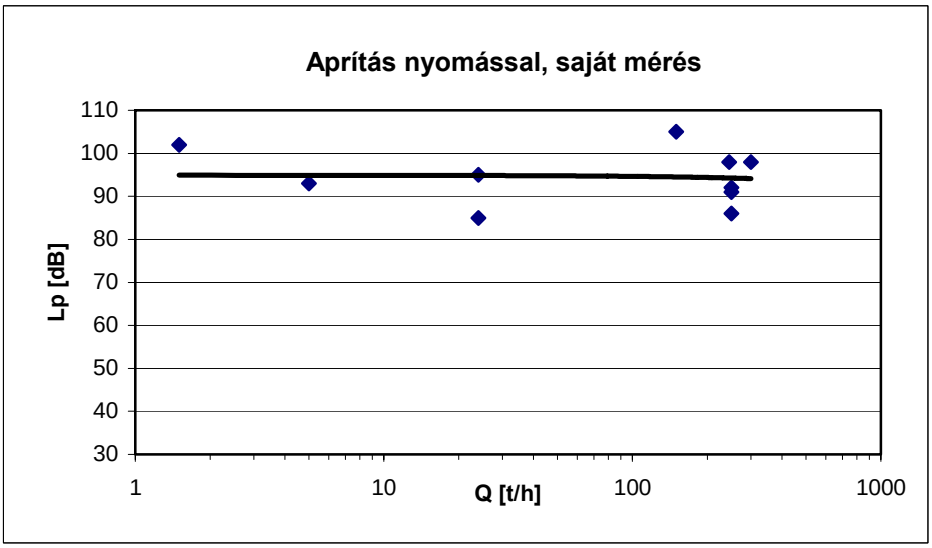
32. diagram. Az egy felületen aprító gépek zajszintjei a tömegáram függvényében

A 32. diagram mutatja az egy felületen történő aprítás zajszint-trendjét a tömegáram függvényében, mely enyhe csökkenést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 2 %.



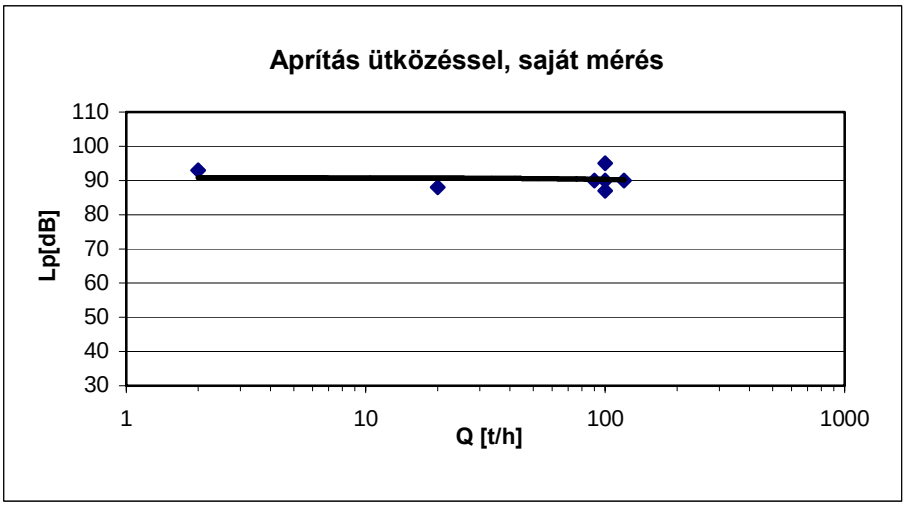
33. diagram. Két felületen aprító gépek zajszintjei a tömegáram függvényében

A 33. diagram mutatja a két felületen történő aprítás zajszint-trendjét a tömegáram függvényében, mely enyhe csökkenést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



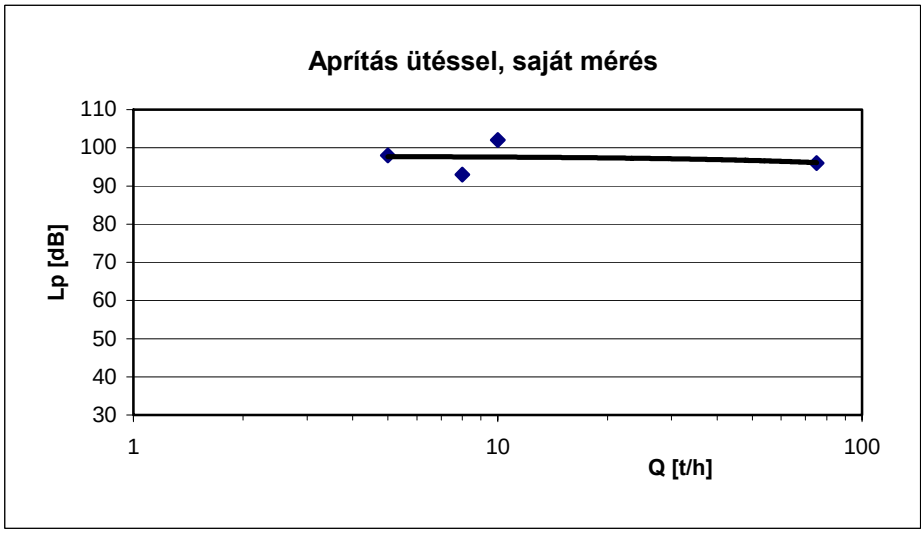
34. diagram. Nyomással aprító berendezések zajszintjei a tömegáram függvényében

A 34. diagram mutatja a nyomással történő aprítás zajszint-trendjét a tömegáram függvényében, mely enyhe csökkenést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



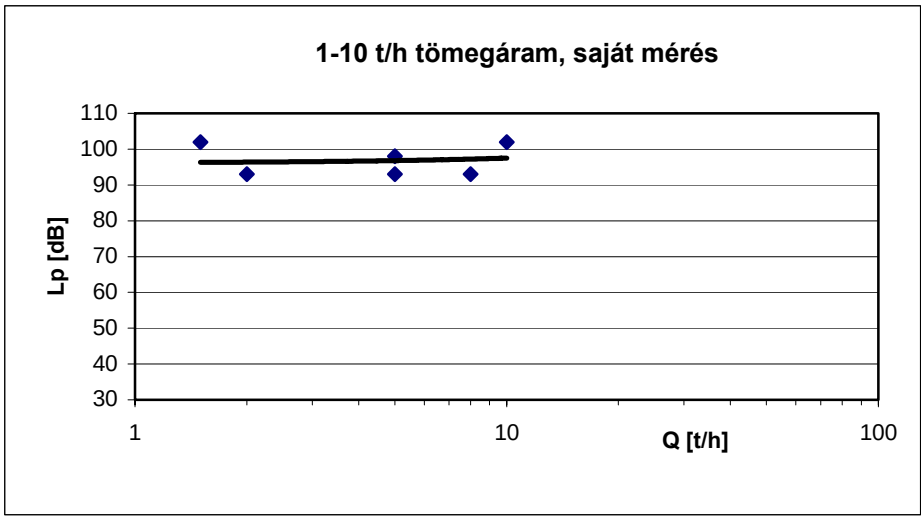
35. diagram. Ütközéssel aprító berendezések zajszintjei a tömegáram függvényében

A 35. diagram mutatja az ütközéssel történő aprítás zajszint-trendjét a tömegáram függvényében, mely enyhe csökkenést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 3 %.



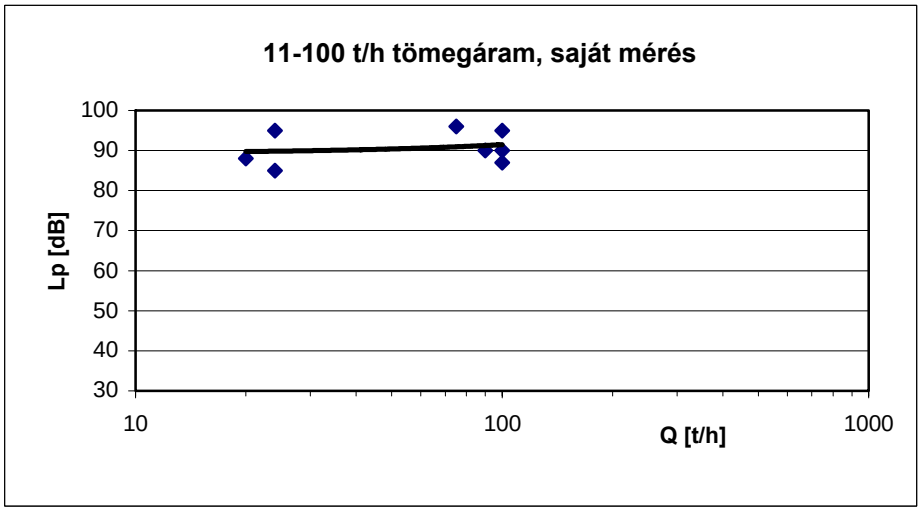
36. diagram. Ütéssel aprító berendezések zajszintjei a tömegáram függvényében

A 36. diagram mutatja az ütéssel történő aprítás zajszint-trendjét a tömegáram függvényében, mely enyhe csökkenést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 3 %.



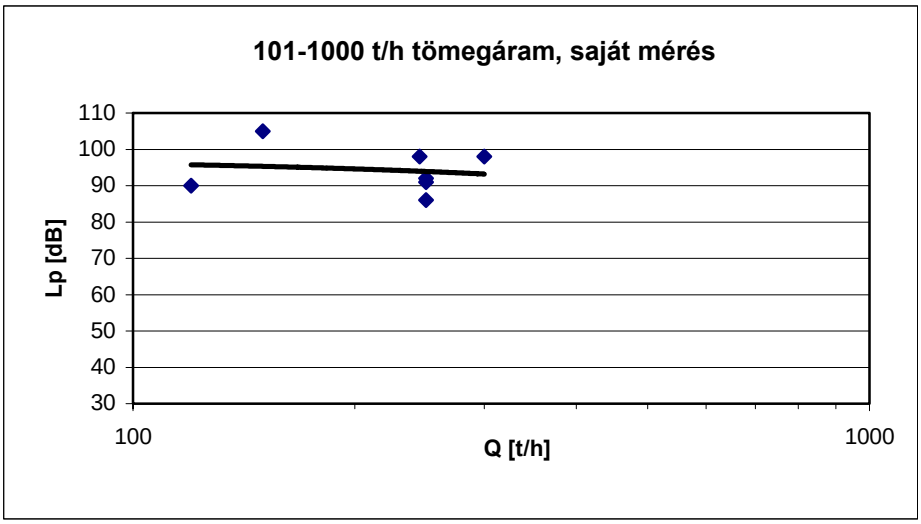
37. diagram. Az 1-10 t/h tömegáramú gépek zajszintjei a tömegáram függvényében

A 37. diagram az 1-10 t/h tömegárammal aprító gépek zajszint-trendjét mutatja, mely kismértékű emelkedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 4 %.



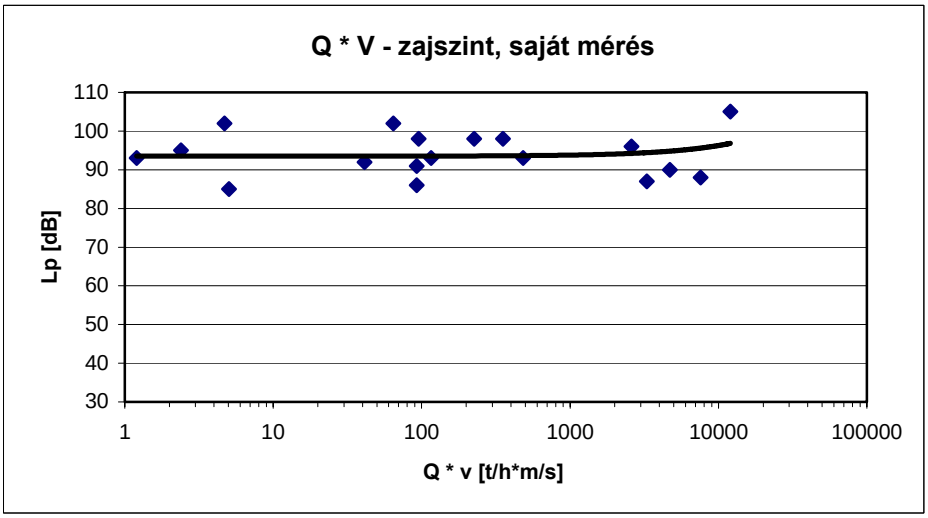
38. diagram. A 11-100 t/h tömegáramú gépek zajszintjei a tömegáram függvényében

A 38. diagram a 11-100 t/h tömegárammal aprító gépek zajszint-trendjét mutatja, mely kismértékű emelkedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 4 %.



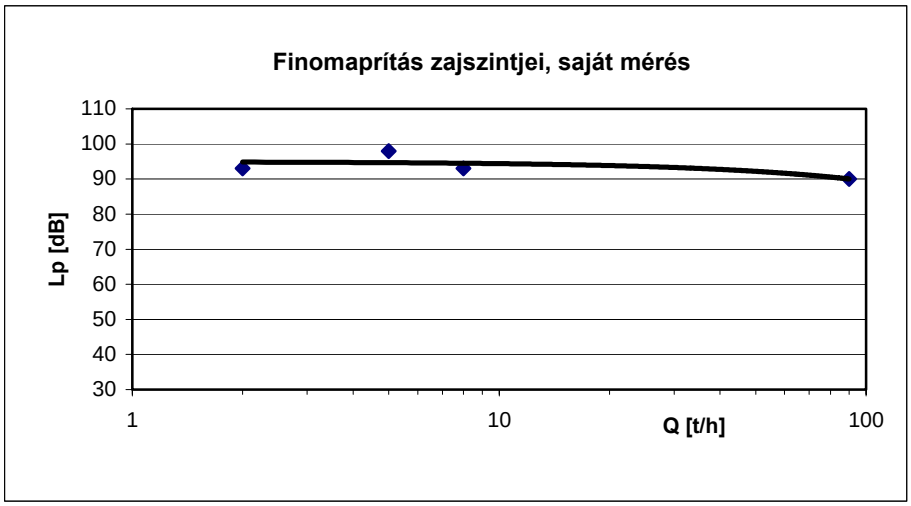
39. diagram. A 101-1000 t/h tömegáramú gépek zajszintjei a tömegáram függvényében

A 39. diagram az 101-1000 t/h tömegárammal aprító gépek zajszint-trendjét mutatja, mely kismértékű csökkenést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



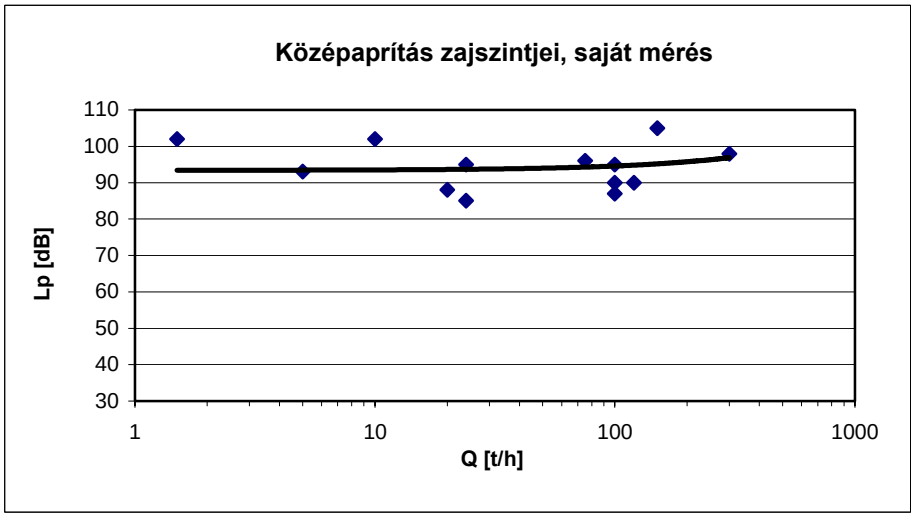
40. diagram. Az összes vizsgált törő zajszint értékei Q * v függvényében

A 40. diagram a tömegáram és igénybevételi sebesség szorzatának függvényében mutatja az összes vizsgált aprítógép zajszintjét. A trendvonal közel konstans, értéke ~ 94 dB. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



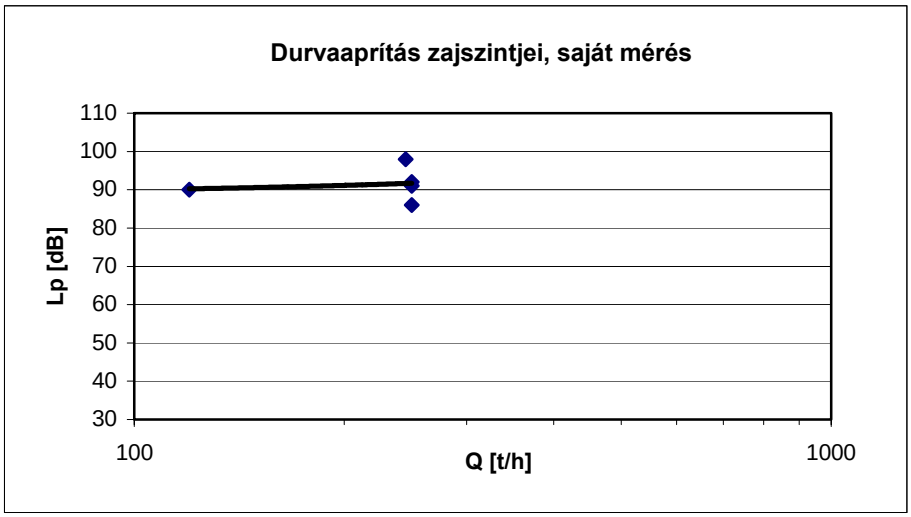
41. diagram. Finomaprítást végző gépek zajszintjei a tömegáram függvényében

A 41. diagram mutatja a finomaprítás zajszint-trendjét a tömegáram függvényében, mely enyhe csökkenést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 2 %.



42. diagram. Középaprítást végző gépek zajszintjei a tömegáram függvényében

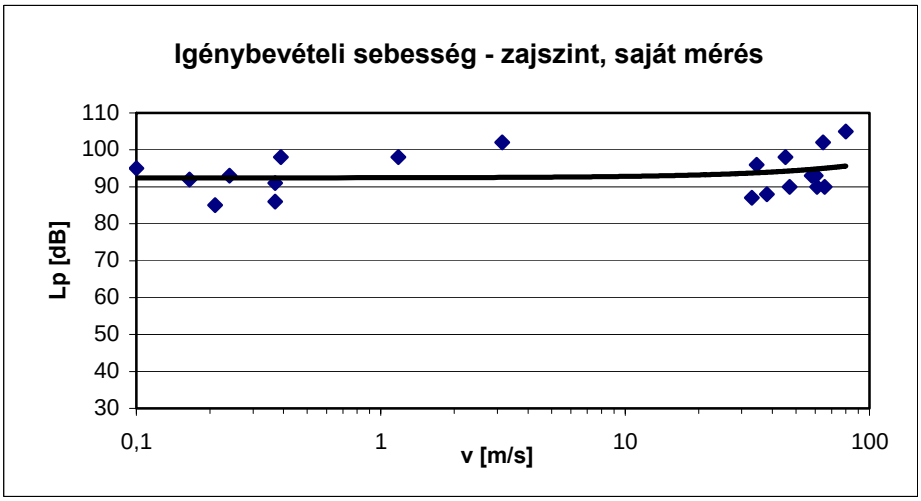
A 42. diagram mutatja a középaprítás zajszint-trendjét a tömegáram függvényében, mely enyhe növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



43. diagram. Durvaaprítást végző gépek zajszintjei a tömegáram függvényében

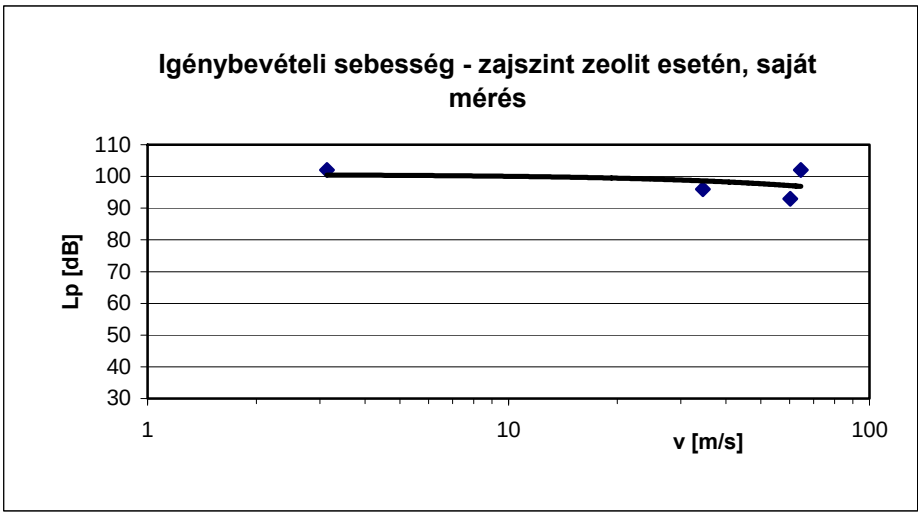
A 43. diagram mutatja a durvaaprítás zajszint-trendjét a tömegáram függvényében, mely enyhe növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 4 %.

Vizsgálatok az igénybevételi sebesség függvényében



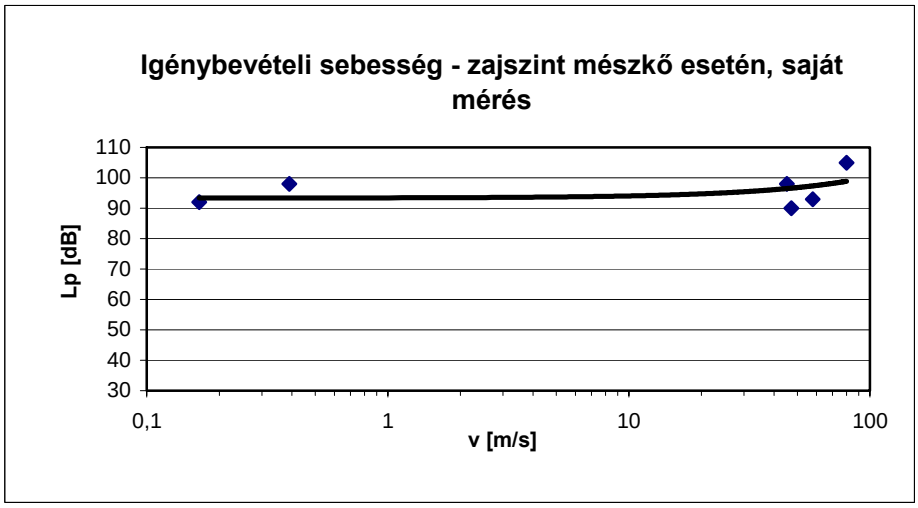
44. diagram . Igénybevételi sebesség – zajszint összefüggés az összes vizsgált aprítógép esetében

A 44. diagram az igénybevételi sebesség függvényében mutatja az összes vizsgált berendezés zajszintjét. Látható, hogy a sebesség növekedése a zajszint-trend kismértékű növekedésével jár. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



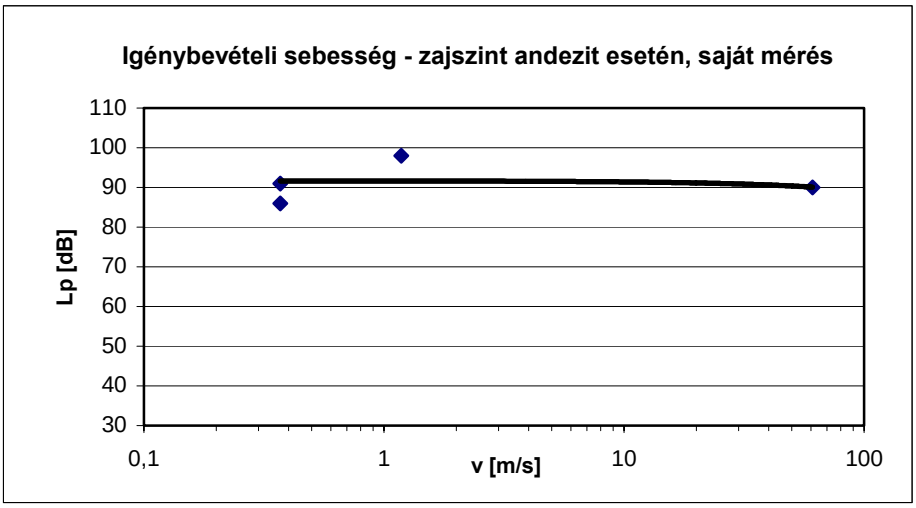
45. diagram. Igénybevételi sebesség – zajszint összefüggés zeolit aprításakor

A 45. diagramon látható a zeolit aprításakor kialakuló zajszint-trend, mely az igénybevételi sebesség növekedésével kismértékű csökkenést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 4 %.



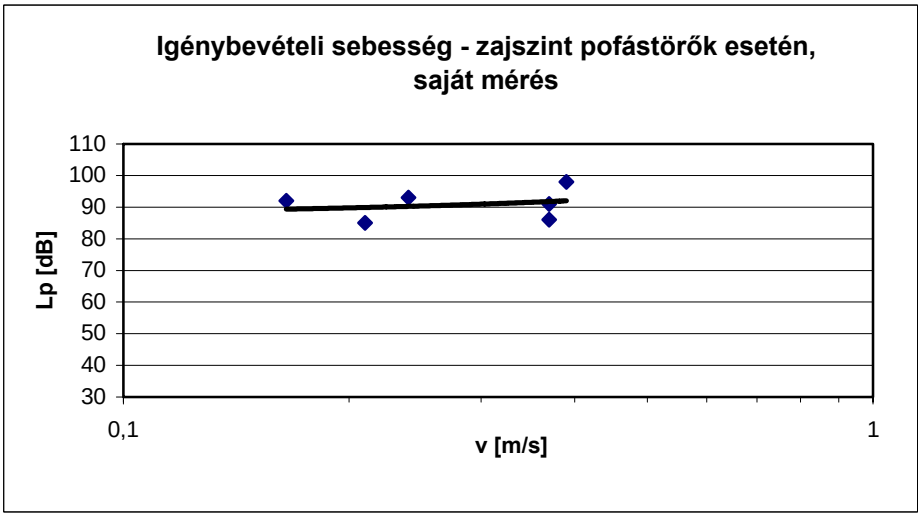
46. diagram. Igénybevételi sebesség – zajszint összefüggés mészkő aprításakor

A 46. diagramon látható a mészkő aprításakor kialakuló zajszint-trend, mely az igénybevételi sebesség növekedésével enyhe növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 5 %.



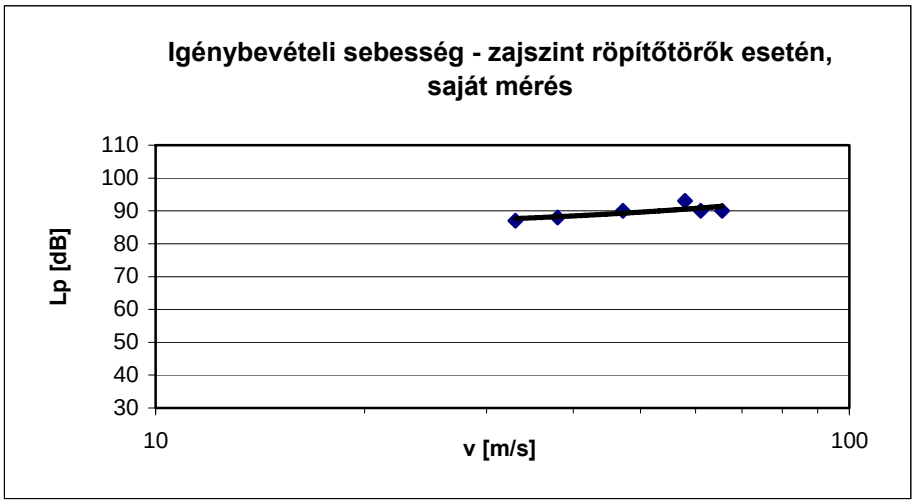
47. diagram. Igénybevételi sebesség – zajszint összefüggés andezit aprításakor

A 47. diagramon látható az andezit aprításakor kialakuló zajszint-trend, mely az igénybevételi sebesség növekedésével enyhe csökkenést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 5 %.



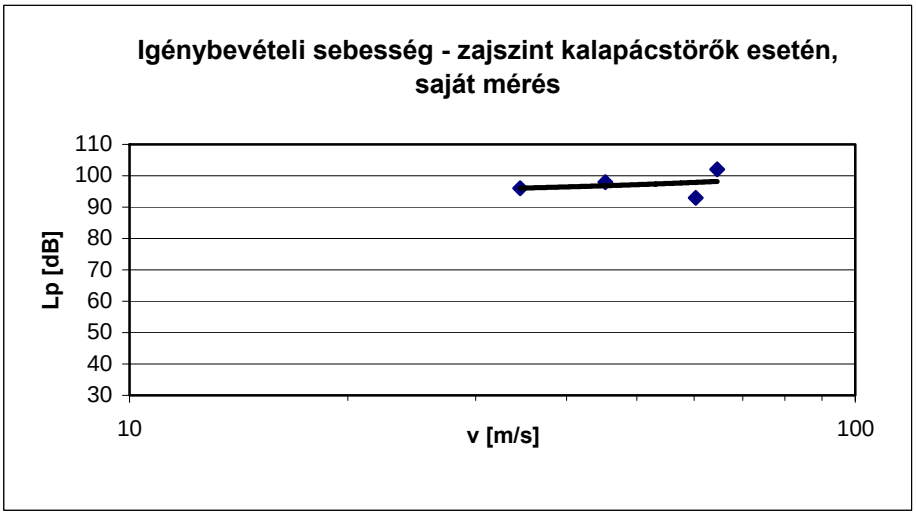
48. diagram. Pofástörők zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

A 48. diagram mutatja pofástörők esetében a zajszint-trend alakulását az igénybevételi sebesség függvényében, mely elég jelentős növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 5 %.



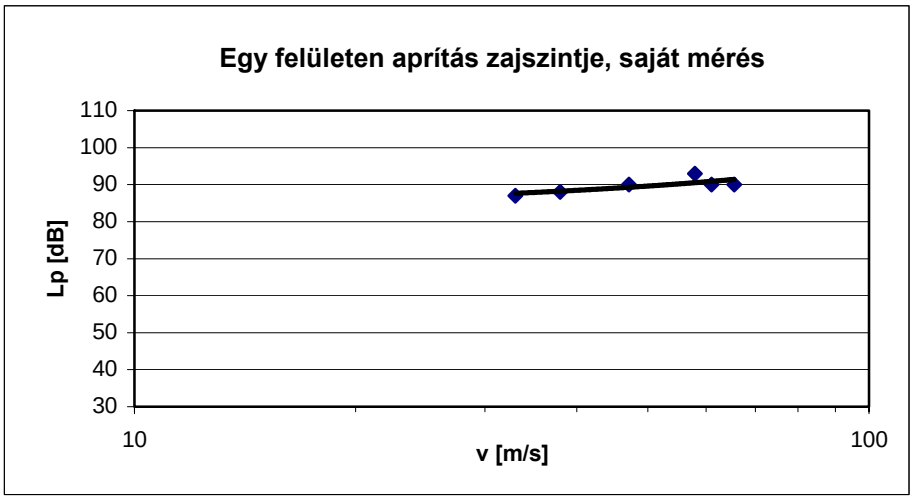
49. diagram. Röpítőtörők zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

A 49. diagram mutatja pofástörők esetében a zajszint-trend alakulását az igénybevételi sebesség függvényében, mely enyhe növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 2 %.



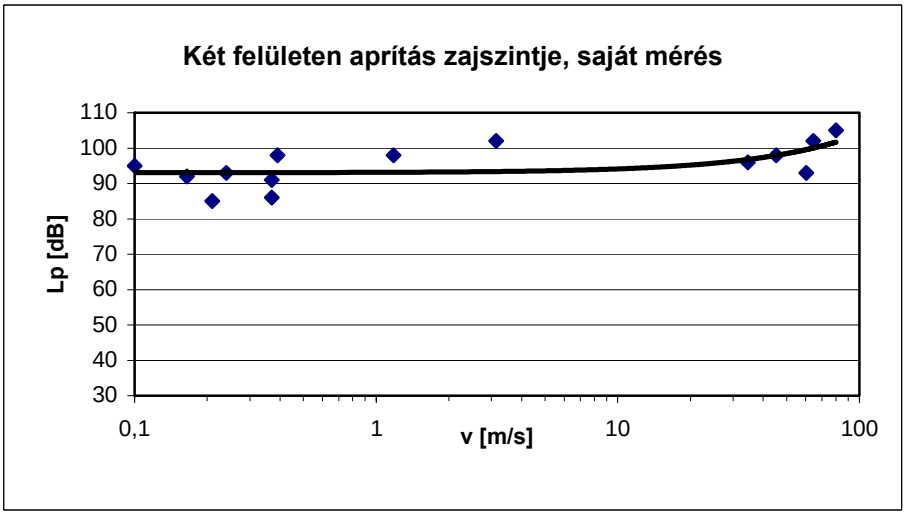
50. diagram. Kalapácsos törők zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Az 50. diagram mutatja kalapácsos törők esetében a zajszint-trend alakulását az igénybevételi sebesség függvényében, mely enyhe növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 3 %.



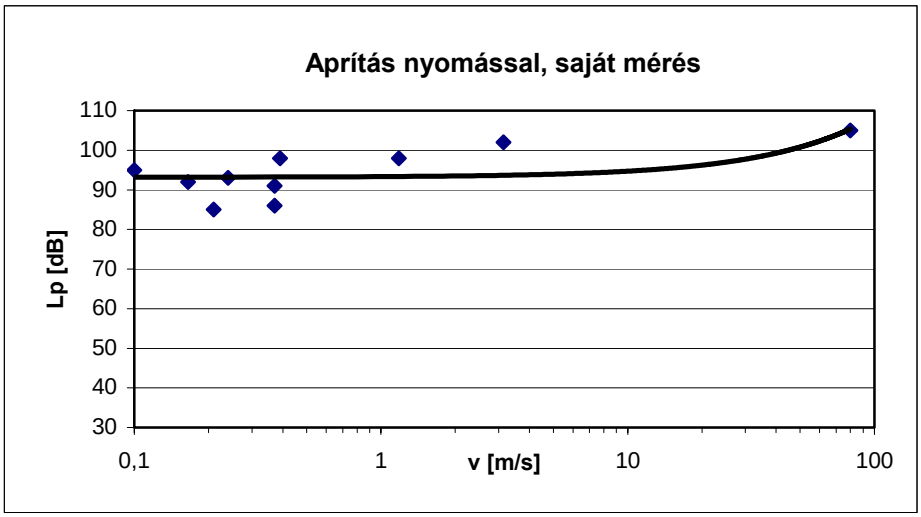
51. diagram. Egy felületen aprító gépek zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Az 51. diagram mutatja az egy felületen történő aprítás zajszint-trendjét az aprítási sebesség függvényében, mely kismértékű emelkedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 1 %.



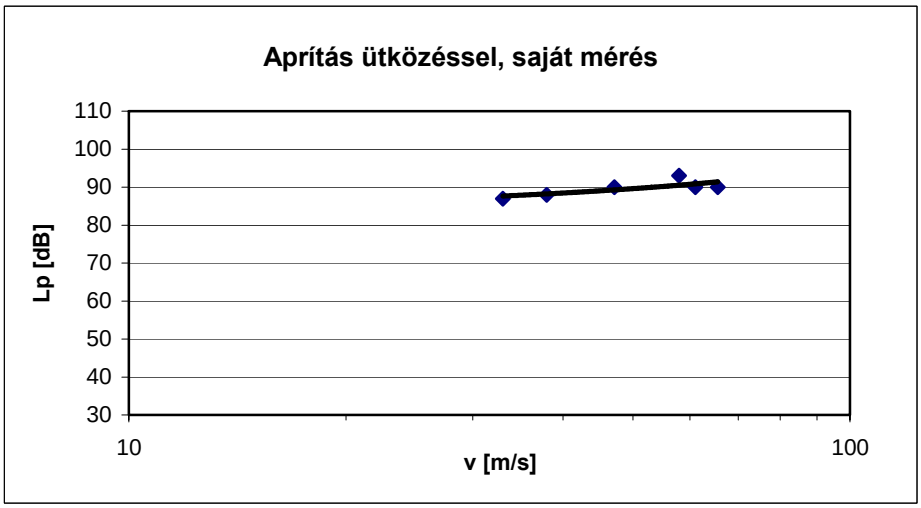
52. diagram. Két felületen aprító gépek zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Az 52. diagram mutatja a két felületen történő aprítás zajszint-trendjét az igénybevételi sebesség függvényében, mely kismértékű emelkedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 5 %.



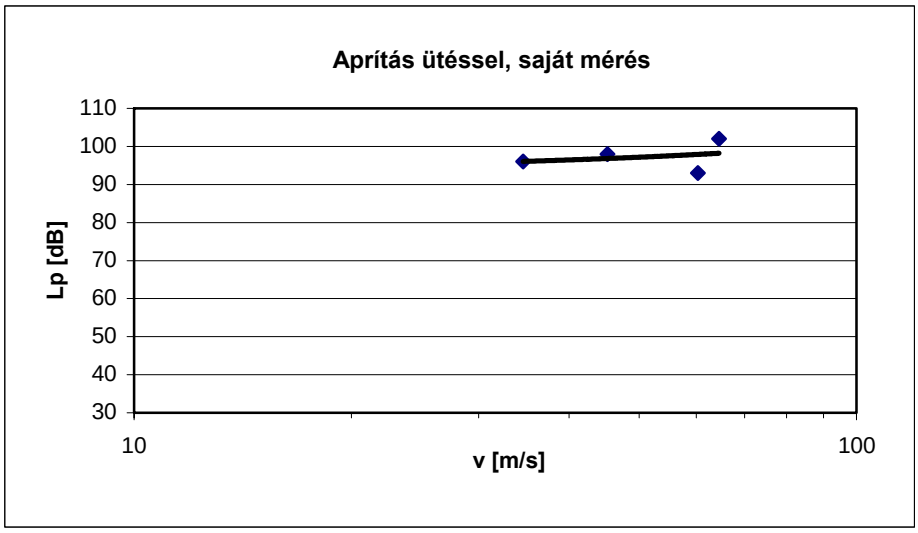
53. diagram. Nyomással aprító berendezések zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Az 53. diagram a nyomással történő aprítás zajszint-trendjét mutatja az igénybevételi sebesség függvényében, mely kismértékű növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 5 %.



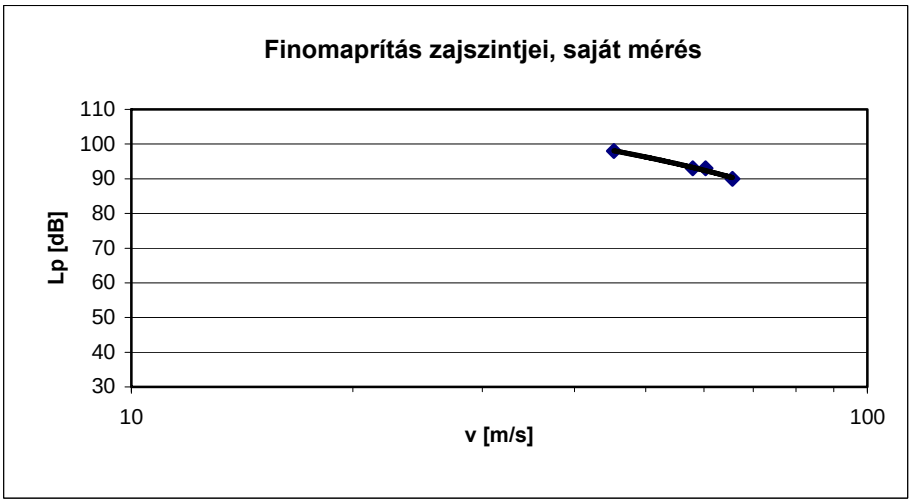
54. diagram. Ütközéssel aprító berendezések zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Az 54. diagram az ütközéssel történő aprítás zajszint-trendjét mutatja az igénybevételi sebesség függvényében, mely kismértékű növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 1,4 %.



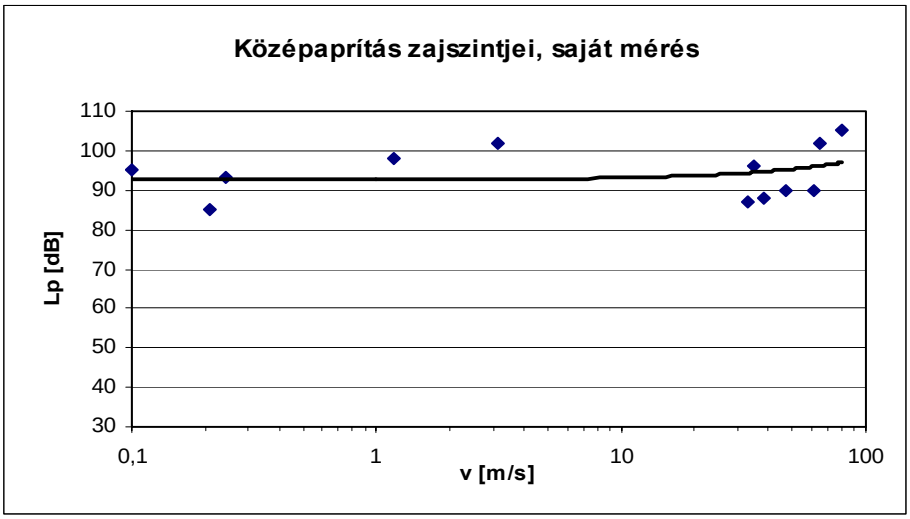
55. diagram. Ütéssel aprító berendezések zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Az 55. diagram az ütéssel történő aprítás zajszint-trendjét mutatja az igénybevételi sebesség függvényében, mely enyhe növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 3 %.



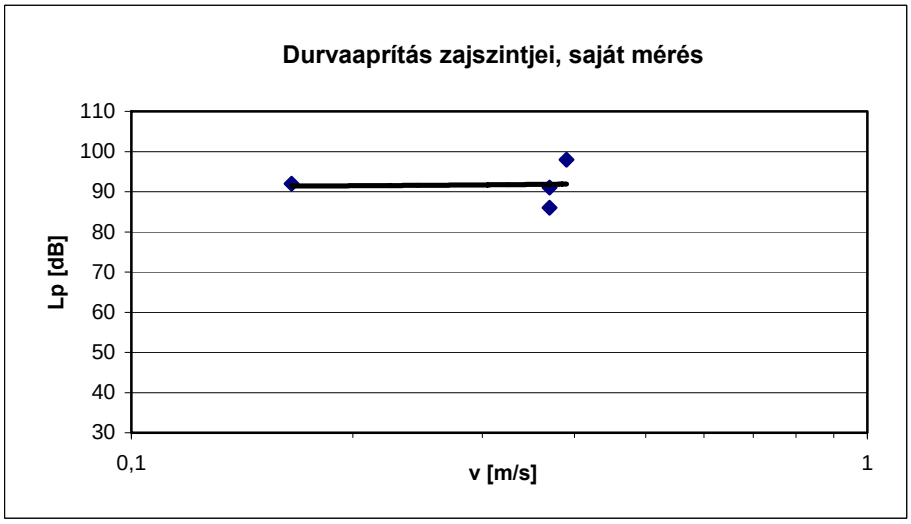
56. diagram. Finomaprítást végző berendezések zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Az 56. diagram a finomaprítás zajszint-trendjét mutatja az igénybevételi sebesség függvényében, mely kis mértékű csökkenést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 0,4 %.



57. diagram. Középaprítást végző berendezések zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Az 57. diagram a középaprítás zajszint-trendjét mutatja az igénybevételi sebesség függvényében, mely enyhe növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 6 %.



58. diagram. Durvaaprítást végző berendezések zajszintjei az igénybevételi sebesség függvényében

Az 58. diagram a durvaaprítás zajszint-trendjét mutatja a törési sebesség függvényében, mely kis mértékű növekedést mutat. A mérési eredmények relatív szórása 5 %.

Méréseket végeztem egy röpítőtörő esetében annak meghatározására, hogy a gép törőfelületeinek kopása hatással van-e a törés zajszintjére. Egyik mérési alkalommal nem volt elegendő aprítandó anyag, és a szokásosnál sokkal kisebb tömegárammal ment kizárólag a

mérés idejére a törő. .A mérési eredményeket a melléklet 23. táblázata tartalmazza. A vizsgált törő dobóleceit általában 90-140 üzemóra elteltével cserélik. Az elhasználódás és ezzel a csere ideje függ a feladás és végtermék szemcseméretétől, nedvességtartalmától, a dobóléc anyagminőségétől.

- A vizsgálatok azt mutatták, hogy a törőfelületek kopása a zajkibocsátást nem növeli.
- A szokásosnál jóval kisebb tömegáram esetén az egyenértékű A-hangnyomásszint 12 dB-lel magasabb volt a normál üzemmenetnél tapasztalthoz képest.

A nagyobb zajkibocsátás oka az volt, hogy a kavicsszemcsék közvetlenül a dobólecekre és az ütközőfelületekre érkeztek. Az ütközés zaját tompítja, ha a feladás nem az üres törőtérbe kerül, a szemcsék egymásra esése kisebb zajkibocsátással jár, valamint a kialakuló „anyagfelhő” mintegy hangelnyelő anyagként is működik. A tömegáram növelése zajcsökkenést eredményezett.

A saját mérési eredmények összefoglalása

Az aprítási zajszintek egyidejűleg több változótól is függenek, így az aprítógép működési zajszintje egy többváltozós függvénnyel lenne jellemezhető. Az egyes változókat külön tekintve az alábbi megállapítások tehetők:

A tömegáram növekedésével a zajszint csökken:

- az összes törőt együttesen tekintve,
- nyomással, ütközéssel, ütéssel történő aprításkor,
- finomaprításkor,
- egy és két felületen történő aprításkor,
- 101-1000 t/h tömegáramú aprításkor,
- röpítőtörők és kalapácsos törők esetében,
- zeolit aprításakor.

A tömegáram növekedésével a zajszint nő:

- közép és durvaaprításkor
- 1-10 t/h és 11-100 t/h tömegáramú aprításkor
- pofástörők esetében
- mészkő és andezit aprításakor

A zajszint közel állandó (94 dB) a tömegáram és a sebesség szorzata függvényében az összes törő vonatkozásában. A zajszint = 0,0003 Qv + 94 azaz csak Qv ≥ 10000 esetén növekszik a zajszint füllel érzékelhető mértékben.

Az igénybevételi sebesség növekedésével a zajszint csökken:

- finomaprításkor
- zeolit és andezit aprításakor

Az igénybevételi sebesség növekedésével a zajszint nő:

- az összes törőt együttesen tekintve
- nyomással, ütéssel és ütközéssel történő aprításkor
- közép- és durvaaprításkor
- egy és két felületen történő aprításkor
- kalapács-, pofás- és röpítőtörők esetében
- mészkő aprításakor

Következtetések

Valamennyi – ÁNTSZ és saját - mérési eredményt összevetve:

Az aprítási zajszintek egyidejűleg több változótól is függenek, így az aprítógép működési zajszintjét egy többváltozós függvénnyel

$L_p = f(k_1, v, Q, k_2, k_3, k_4, k_5)$

lehetne jellemezni,

ahol:

k_1 = igénybevétel módjától függő jellemző,

v = a szemcse igénybevételi sebessége,

Q = tömegáram,

k_2 = a szemcseméretől függő jellemző,

k_3 = az aprítandó anyag tulajdonságaitól függő jellemző,

k_4 = a géptípustól függő jellemző,

k_5 = a konstrukciós kialakítástól függő jellemző.

Az egyes változókat külön tekintve az alábbi általános következtetések vonhatók le:

- A tömegáram növekedése a legtöbb esetben zajszintcsökkenést okoz. Feltehető oka, hogy az aprítandó anyagszemcsék a tömegáram növekedésével már egyre kevésbé érintkeznek fémes felülettel, egymásnak ütköznek, a gép falára tapadt anyaghoz ütköznek, így fémes kopogó hangok megszűnnek vagy lecsökkennek. A berendezésben kialakuló „anyagfelhő” mintegy hangelnyelő anyag is hozzájárul a zajszintcsökkenéshez.

- A törési sebesség növekedése az aprítás zajszintjét növeli, mivel az ütközés zajszintje arányos az ütközési energiával, és így a szemcse sebességével.
- A törőtípusok közül a pofástörő esetében a zajszint a tömegáram és a sebesség növekedésével is növekszik. Ehhez az is hozzájárul, hogy a pofástörő aprítótere nyitott, ahol „hangelnyelő anyagfelhő" nem tud kialakulni, az aprítás zaja jobban kijut a környezetbe, mint egy zárt térben (pl. röpítőtörő) történő aprításkor.
- A két felületen történő aprítás nagyobb zajkibocsátással jár, mint az egy felületen történő.
- Az aprítás módját tekintve az ütközéssel történő aprítás a legcsendesebb.

A mérési eredmények feldolgozásával nyert diagramok azt mutatják, hogy bár az aprításkor kialakuló zajszintek egyidejűleg több változó függvényei, mégis a tömegáram és igénybevételi sebesség függvényében az eredmények relatív szórása a zajszintváltozás trendjét tekintve csupán 1- 6 % között mozog. További mérések sorozatával a rendelkezésre álló adatok bővíthetők, a relatív szórás sávja csökkenthető.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az értekezésben laboratóriumi és üzemelés helyén történő vizsgálatokkal arra kerestem választ, hogy milyen összefüggés van egyes aprítógépek műszaki jellemzői és üzemelési körülményei valamint zajkibocsátása között.

Laboratóriumban egy Prall malmot és két pofástörőt vizsgáltam.

- A Prall malomnál változtattam a fordulatszámot és az aprítandó anyag tömegáramát. Hangnyomásszint méréseket végeztem ill. zajteljesítményszintet határoztam meg.
- Az egyik pofástörőnél három különböző keménységű anyag törését vizsgáltam.
- A másik pofástörőnél a tömegáram változtatásával határoztam meg a zajteljesítményszintet.

Az üzemelés helyén az ÁNTSZ végzett a dolgozó tartózkodási helyén munkahelyi zajvizsgálatokat. Ezek célja nem esett egybe az én vizsgálataiméval, de az eredmények használtatók voltak vizsgálataimhoz.

Nagyobb számú adat nyerése érdekében magam is végeztem méréseket különböző törési módok, különböző tömegáramok, különböző törési sebességek, különböző anyagok törése esetén. A mért zajszint adatokat különböző módokon dolgoztam fel, a tömegáram, az igénybevételi sebesség, a tört anyag minősége függvényében, valamint egy berendezés esetében a kopás hatását vizsgáltam a zajkibocsátásra.

A kapott összefüggések (pl. hangnyomásszint-tömegáram $L_p(Q)$, hangnyomásszint-sebesség $L_p(v)$) alkalmasak arra, hogy az aprítási tevékenységet végző bányák és üzemek az egyes üzemállapothoz a várható zajszintre első közelítésben becslést tehessenek, és ezzel a dolgozót érő munkahelyi és az üzem környezetét érő zajterhelést előzetesen megbecsüljék, ill. zajcsökkentés célból az aprítás módját kedvezőbbre válasszák. A mérési adatok számának növelésével, a folyamatos adatgyűjtéssel és értékeléssel a becslés pontossága is folyamatosan javítható.

Befejezésül szeretnék köszönetet kifejezni mindazoknak, akik tevékenységükkel segítették munkámat. Külön köszönöm Csőke Barnabás professzor úrnak és Ladányi Gábor tanszékvezetőnek, hogy támogató biztatásukkal és segítségükkel nagy mértékben hozzájárultak, hogy munkám elkészüljön. Köszönöm László Tibornak a ME munkatársának és Nagy Imre kollegámnak a laboratóriumi mérések során nyújtott segítségüket. Köszönöm a vizsgált üzemek vezetőinek és munkatársainak, hogy a mérések kivitelezését lehetővé tették, és adatszolgáltatásukkal támogatták munkámat.

SUMMARY

In my PhD work I performed noise measurements in laboratory and in the place of processing. I looked for answer for that question, what kind of connection is among technical features and operating circumstances additionally noise emission of separate crushers.

In laboratory I tested a Prall mill and two jaw crushers.

- During the Prall mill test I changed the speed and the capacity. I performed sound pressure level measurements and determined sound power levels.
- I tested a jaw crusher crushing three materials with different hardness.
- I determined the sound power levels of an other jaw crusher in case of different capacities.

In the place of processing the health authority performed noise measurements in the working place of the workers. The aim of the health authority measurements was different from the aim of my measurements but the results were utilizable for my examinations.

In order to get numerous data I also performed measurements with different crushing methods, different capacities, different crushing speeds and different materials. I processed the measured noise data in different ways, as a function of the capacity, the speed of the stress, the crushed material, and in case of a crusher I investigated the effect of the rubbing on the noise emission.

The gained connections (for example sound pressure-capacity $L_p(Q)$, sound pressure-speed $L_p(v)$) will be utilizable for mines and other firms that grind materials in case of estimation of noise effect in the surroundings and on the workers in the work places additionally to choose the method of crushing to become more prosperous to reduce the noise emission. Increasing the number of measurement data, collecting and evaluating data continuously accuracy of estimation can be improved perpetually.

I must end by thanking everybody who helped my work with their activity. I thank especially Prof. Barnabás Csőke and senior lecturer Gábor Ladányi who assisted me with their favourer animation and help largely to accomplish my dissertation. Thank Mr. Tibor László the colleague of the ME and my colleague Imre Nagy who helped me to perform the measurements in laboratory. Thank the heads and colleagues of investigated factories that they allowed me to perform the measurements and giving information helped my work.

FELHASZNÁLT IRODALOM

KÖNYVEK, JEGYZETEK

[1] **Tarnóczy T.**: Hangnyomás, hangosság, zajosság
Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984. p. 11., 248

[2] **Sárvári L.**: Ipari létesítmények környezeti zajának számítása
OPAKFI, Budapest, 1984. p.7-18.

[3] **Fejes G.-Tarján G**.: Vegyipari gépek és műveletek
Tankönyvkiadó, Budapest, 1979. p. 15-131.

[4] **Csőke B.**: Hulladékaprítás
Tanszéki segédlet (kézirat), 1999.

[5] **Augusztinovicz F.**: Gépek zajteljesítményszintjének meghatározása
OPAKFI, Budapest, 1985. p. 5, 11.

[6] **Pahl, M.H.**: Messtechnik. Vorlesungsmitschrift
Universität Paderborn, 2000. Mai (CD)

[7] **Pahl, M.H.**: Zerkleinerungstechnik
Verlag TÜV Rheinland, p. 78.

[8] **Schultz Gy.**: Ásványelőkészítési gépek I. Aprítók, osztályzók
Tankönyvkiadó, Budapest, 1990.

[9] **Pethő Sz.**: Aprítás és Osztályozás II.
Tankönyvkiadó, Budapest, 1986.

[10] **Kováts A.**: Gépszerkezettan (Műszaki akusztika)
Tankönyvkiadó, Budapest, 1985. p. 38, 39, 61, 101, 166.

[11] **Stieβ, M.**: Mechanische Verfahrenstechnik 2
Springer Verlag, 1993.

[12] **Tímár Peregrin L.**: Villamos gépek zaja és rezgése
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986

[13] **P. Nagy J.**: A hangszigetelés elmélete és gyakorlata
Akadémiai Kiadó, Budapest, 2004.

[14] **Kováts A.**: Zajvédelmi ismeretek és módszerek
Tankönyvkiadó, Budapest, 1986. p. 182-184.

[15] **Moser M. – Pálmai Gy.:** A környezetvédelem alapjai
Tankönyvkiadó, Budapest, 1992. p. 364-365.

FOLYÓIRATOK, KONFERENCIA KIADVÁNYOK

[F1] **Zouboff, V.**: La métrologie du bruit aux abords des carriéres
MINES ET CARRIÉRES-INDUSTRIE MINÉRALE, 1996. június, p. 45-50.

[F2] **Olsson, M.** : Sonic Cleaning of Dust Filters
Filtration & Separation 1974. December/November, p. 601-604.

[F3] **Asklöf, S.**: Noise reduction in quarry plant
Pit & Quarry 1975. September, p. 101-103.

[F4] **Pax, R.**: Non-Contact acoustic measurement of in-mill variables of SAG mills
Mining and Mineral Processing Engineering, University of British Columbia, Vacouver, B.C. Canada, Proceedings, II. p.386-393.;

[F5] **Pax, R.**: Non-Contact acoustic measurement and validation of SAG mill operation
Proceedings of XXII. International Mineral Processing Congress 2003. Sept. 29.-Oct. 3. P. 371-377.

[F6] **Dupuis, B.**: Die Gereuschsituation in den Zementwerken und Grenzwerte für Schallemissionen und Schallimmissionen
ZKG International, Zement Kalk Gips, 2003. 12. p. 52-61.

[F7] **Zenker, P.**: Zaj elleni védelem nagy, külszíni művelésű bányákban
Műszaki informácó. Környezetvédelem. 1984. 23. sz. p.45-48.

[F8] **Ladányi G.**: Röpítőtörő üzemének vizsgálata zajkibocsátása alapján
Építőanyag. 2005. 2. szám p. 43-46., 3. szám p. 81-85.

[F9] **Diószeginé Kocsis E.**: Tejipari evaporatív hűtőkondenzátor zajkibocsátásának vizsgálata és javaslat zajcsökkentésre
„Az épített környezet zajvédelme” szeminárium kiadványa, Esztergom-Kertváros 1993. június 2-4. p. 95-101.

[F10] **Kocsis E**: Faipari üzem ventilátora és az elszívóvezeték zajkibocsátásának vizsgálata
„A hazai zajvédelem helyzete”. Zajvédelmi szeminárium és kiállítás, Szombathely, 2003. október, CD kiadványa

[F11] **Kocsis E**: Faforgács elszívóhálózatok zajkibocsátásának vizsgálata
Asztalos és Faipar. 2004. január p. 85-87.

[F12] **Kocsis E.**: Egy aprítóberendezés – Prall malom – zajkibocsátása és működési jellemzői közötti összefüggések vizsgálata
Építőgépek, építőgépesítés. VII. évf. II. sz. 2005. p. 34-37.

[F12] **Kocsis E.**: Aprítógépek zajkibocsátásának vizsgálata
Építőanyag. 58. évf. 2006/3. p. 83-86.

INTERNETEN MEGJELENT CIKKEK

[I1] Solution in Milling & Sieving. Planetary Ball Mills PM 100, PM 200. Retsch GmbH & Co. KG. Germany. p. 1-4. www.retsch.de

[I2] **Pax, R**.: Non-Contact acoustic measurement of SAG mills' research
Jktech. JKSmartNoise. p. 1-2. www.jktech.com

[I3] Grinding. Planetary Ball Mill PM 400. Retsch GmbH & Co. KG. Germany. p. 1-2.
www.retsch.de

[I4] **Ipacs L.**: Application of new type rotating mills (IPAX-MILLS)
Inventors' Olympiad – GENIUS 2000 Budapest, Virtual Exhibition. p. 1-2.
www.inventor.hu

[I5] GENEQ>Material Testing>Crushers. Jaw Crusher Model BB 300. p. 1-2.
Model BB 100 / BB 200. p. 1-4.
www.geneq.com/catalog

[I6] Solution in Milling & Sieving. Jaw Crushers for primary size reduction. Coarse and initial size reduction of hard to brittle materials. p 1-8. www.retsch.de

[I7] Noise and Silica Exposures. A survey of Washington State Quarry Operations.
p. 1-7.
www.msha.gov/1999noise/noise.htm

[I8] **Seay, W. M**.: Crushing leads to Waste Disposal Savings for FUSRAP. p. 1-6.
www.hq.usace.mil/cecw/fusrap/techpap/wstmin.htm

[I9] Kempelen Farkas Felsőoktatási Digitális Könyvtár. 6.2.1 fejezet, 6.4.2. fejezet

[I10] Hörfläche; http://de.wikipedia.org.wiki , http://www.biologie.de/biowiki

[11] Menschlicher Hörbereich; www.uni-erfurt.de/schprachwisenschaft

GÉPKÖNYV

[G1] A Jászberényi Aprítógépgyár gépkönyve a PE II pofástörőről

SZABVÁNYOK

[SZ1] **MSZ-KGST 1413-78** : Tájékoztató módszer gépek zajteljesítményszintjének meghatározására az üzemeltetés helyén

[SZ2] **MSZ-13-111-85.** Üzemek és építkezések zajkibocsátásának vizsgálata és a zajkibocsátási határérték meghatározása

RENDELETEK

[R1] Az egészségügyi miniszter 18/2001. (IV. 28.) EüM rendelete a munkavállalóknak a munka közbeni zajexpozíció okozta kockázatok elleni védelméről

[R2] A környezetvédelmi és az egészségügyi miniszter 8/2002. (III. 23.) KöM-EüM együttes rendelete a zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról

[R3] 140/2001. (VIII.8.) Korm. rendelet egyes kültéri berendezések zajkibocsátási követelményeiről és megfelelőségük tanúsításáról

MUNKAHELYI ZAJMÉRÉSI JEGYZŐKÖNYVEK

[M1] FPA Alsózsolcai Betongyár

[M2] HOLCIM RT. Mályi Mészkőbánya, 2002.

[M3] OMYA EGER Mészkőfeldolgozó Kft. Eger-Felnémeti Bányaüzem, 2000.

[M4] PERLIT 92 Kft., Pálházai Kőbánya, 2000.

[M5] COLAS-ÉSZAKKŐ Bányászati Kft. Gyöngyössolymosi, Recski és Tállyai Kőbánya, 2000.

[M6] APRÍTÓGÉPGYÁR RT., Jászberény, mobil törőberendezés, 1997.

[M7] SVEDALA ARBRÅ törőgépeinek zajszintje, prospektus, 1995.

[M8] SANDVIK ROCK PROCESSING pofástörőinek zajszintje, prospektus, 2002.

KÖRNYEZETI ZAJMÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

[KM1] Észak-magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség környezeti zajmérési jegyzőkönyve egy Borsod megyében üzemelő ásványfeldogozó üzemről HZM-23/97

Mellékletek

Prall malom 2003. évi mérése

Üresjárati zajteljesítményszint-mérés, motorfordulatszám n_1= 4395 $\frac{1}{min}$

Frekv.[Hz]	L1[dB]	L2[dB]	L3[dB]	L4[dB]	L5[dB]	Lá[dB]	K[dB]	10lg(S/So)	Lw1[dB]
12,5	43,91	53,54	43,36	58,78	41,08	53,18	=4,237	=11,394	60
16	38,81	46,62	52,57	59,5	51,91	54,085			61
20	41,31	50,24	48,82	53,29	47,76	49,717			57
25	41,36	51,03	51,71	53,15	43,2	50,14			57
31,5	43,56	51,91	54,77	53,55	49,67	52,025			59
40	49,21	54,52	53,6	53	47,1	52,28			59
50	60,75	68,01	66,58	62,59	59,8	64,72			72
63	58,59	69,58	68,85	62,85	64,71	66,51			74
80	65,37	68,1	70,65	69,65	63,03	68,16			75
100	66,64	67,33	68,17	68,58	68,08	67,81			**75**
125	67,78	70,19	71,27	69,23	72,34	70,44			**78**
160	68,12	73,14	74,92	72,58	76,2	73,73			**81**
200	71,41	69,59	73,55	75,99	69,94	72,79			**80**
250	85,46	83,13	81,22	88,6	74,79	84,61			**92**
315	80,23	80,35	84,95	81,99	78,41	81,78			**89**
400	73,22	75,83	76,45	78,15	73,16	75,79			**83**
500	75,14	79,25	79,46	76,08	81,5	78,89			**86**
630	74,83	79,14	79,42	77,91	74,32	77,62			**85**
800	80,05	84,22	82,39	80,85	80,91	81,95			**89**
1000	81,68	80,78	84,19	78,01	84,51	82,43			**90**
1250	79,46	82,98	80,49	78,77	79,16	80,47			**88**
1600	80,19	80,3	79,98	79,52	79,21	79,86			**87**
2000	82,09	80,48	82,36	81,7	78,7	81,26			**88**
2500	77,95	78,27	79,3	81,22	78	79,14			**86**
3150	84,28	81,2	81	82,56	80,07	82,08			**89**
4000	82,11	78,52	79,57	79,29	79,3	79,95			**87**
5000	91,2	81,61	88,26	85,5	85,16	87,51			**95**
6300	74,41	70,02	71,18	73,29	74,62	73,05			80
8000	69,44	65,83	68,49	69,9	66,49	68,31			75
10000	68,52	64,07	66,15	66,27	65,23	66,31			73
12500	66,84	58,58	61,31	62,14	60,35	62,84			70
16000	61,83	53,46	58,28	57,32	54,66	58,13			65
20000	55,94	48,87	53,92	51,55	48,41	52,69			60
LA	**95**	**92**	**93**	**92**	**92**	92,96			**100**

1. táblázat

Prall malom 2003. évi mérése

Üresjárati zajteljesítményszint-mérés, motorfordulatszám $n_2 = 3516 \frac{1}{min}$

Frekv.[Hz]	L1[dB]	L2[dB]	L3[dB]	L4[dB]	L5[dB]	Lá[dB]	K[dB]	10lg(S/So)	Lw2[dB]
12,5	42,69	47,85	47,74	53,81	44,45	49,11	=4,237	=11,394	56
16	41,58	48,26	49,63	52,57	44,86	48,86			56
20	41,65	41,05	47,69	49,29	43,96	45,93			53
25	41,77	43,18	46,39	50,91	40,72	46,32			53
31,5	44,62	49,49	50,54	49,81	44,06	48,479			56
40	50,2	55,9	58,47	58,92	53,29	56,42			64
50	49,43	54,22	61,16	61,72	53,55	58,29			65
63	67,13	74,35	72,77	70,61	67,84	71,39			79
80	63,68	62,03	72,5	67,52	64,22	67,78			75
100	70,34	72,7	78,69	73,23	69,47	74,26			**81**
125	68,63	74,6	76,77	72,36	69,41	73,41			**81**
160	64,38	65,97	76,71	74,12	70,2	72,55			**80**
200	76,18	79,5	91,81	82,96	83,95	86,22			**93**
250	73,43	71,85	81,07	85,11	75,32	80,20			**87**
315	82,08	78,67	89,15	87,61	79,21	85,36			**93**
400	73,07	80,33	75,83	78,47	73,57	77,15			**84**
500	76,06	74,68	77,39	78,17	73,38	76,27			**83**
630	75,13	75,21	81,57	81,2	74,17	78,66			**86**
800	78,12	75,81	79,11	76,97	78,67	77,89			**85**
1000	77,64	77,59	82,78	76,79	79,76	79,52			**87**
1250	76,47	80,26	79,25	77,88	77,24	78,44			**86**
1600	84,4	82,89	82,58	84,68	81,17	83,33			**90**
2000	77,75	79,51	80,23	79,73	75,63	78,86			**86**
2500	81,11	82,08	79,32	81,74	76,95	80,61			**88**
3150	79,42	82,8	78,75	79,39	78,5	80,09			**87**
4000	81,84	81,71	81,01	81,01	81,57	81,44			**89**
5000	72,1	71,64	72,66	72,22	71,45	72,04			**79**
6300	70,09	68,02	69,81	70,55	66,53	69,24			76
8000	68,94	67,47	69,85	69,81	63,26	68,42			76
10000	64,47	61,5	63,72	64,38	58,66	63,03			70
12500	60,8	56,2	59,27	59,35	54,51	58,58			66
16000	58,57	51,8	56,22	55,74	50,08	55,48			63
20000	52,29	48,11	54,95	50,27	44,86	51,36			59
LA	**91**	**91**	**92**	**92**	**89**	91,05			**98**

2. táblázat

Prall malom 2003. évi mérése

Üresjárati zajteljesítményszint-mérés, motorfordulatszám $n_3 = 2637 \frac{1}{min}$

Frekv.[Hz]	L1[dB]	L2[dB]	L3[dB]	L4[dB]	L5[dB]	Látl.[dB]	K[dB]	10lg(S/S0)	Lw3[dB]
12,5	38,02	42,24	45,71	45,77	40,5	43,40	4,237	11,394	51
16	42,82	43,74	45,5	44,38	43,41	44,07			51
20	41,37	42,27	44,93	43,77	41,18	42,95			50
25	39,09	44,71	42,21	44,86	43,22	43,26			50
31,5	51,25	44,63	52,41	51,98	49,79	50,72			58
40	45,3	44,96	49	46,32	42,74	46,16			53
50	50,83	59,18	55,99	54,75	50,53	55,46			63
63	53,1	60,48	58,15	58,5	56,9	58,02			65
80	54,9	58,71	66,66	59,3	57,72	61,54			69
100	65,41	70,22	72,53	69,28	67,69	69,66			**77**
125	67,32	76,54	75,83	73,02	73,74	74,23			**81**
160	76,33	85,81	84,85	82	82,86	83,35			**91**
200	65,36	67,03	69,42	72,69	66,75	69,09			**76**
250	70,49	67,89	73,63	79,64	71,43	74,66			**82**
315	77,37	76,06	83,86	82,83	75,02	80,51			**88**
400	67,51	66,05	67,51	68,58	68,05	67,62			**75**
500	69,37	68,89	70,21	73,64	68,59	70,53			**78**
630	69,61	70,89	75,41	75,97	72,08	73,50			**81**
800	72,1	72,21	75,16	72,55	74,46	73,49			**81**
1000	74,08	74,07	79,62	73,42	74,7	75,89			**83**
1250	73,32	74	75,29	73,78	71,51	73,75			**81**
1600	79,02	76,74	79,15	78,32	77,16	78,18			**85**
2000	74,89	73,82	73,87	74,17	72,41	73,90			**81**
2500	76,07	75,22	77,7	77,54	73,36	76,25			**83**
3150	76,13	73,38	75,57	77,54	73,13	75,47			**83**
4000	69,28	69,01	69,76	70,17	66,76	69,14			**76**
5000	66,15	64,64	66,41	66,13	63,14	65,46			**73**
6300	64,16	61,96	64,21	63,41	60,86	63,11			70
8000	64,06	60	63,48	62,39	57,93	62,11			69
10000	62,28	57,3	58,7	59,35	54,78	59,17			66
12500	56,63	51,85	54,18	53,86	48,76	53,78			61
16000	50,12	46,63	51,45	50,32	44,45	49,28			56
20000	44,54	39,59	47,68	43,54	38,31	43,99			51
LA	**86**	**85**	**87**	**87**	**84**	85,75			**93**

3. táblázat

Prall malom 2003. évi mérése

Üresjárati végső zajteljesítményszint-mérés, motorfordulatszám n_{1v}= 4395 $\frac{1}{min}$

Frekv.[Hz]	L1[dB]	L2[dB]	L3[dB]	L4[dB]	L5[dB]	Látl.[dB]	K[dB]	10lg(S/So)	Lw1v[dB]
12,5	46,18	50,4	49,84	56,69	44,39	51,71	=4,237	=11,394	59
16	52,31	48,09	44,17	53,87	43,34	50,22			57
20	50,61	50,42	47,4	51,47	37,47	49,30			56
25	51,63	54,84	50,35	52,73	42,91	51,85			59
31,5	49,02	57,61	51,43	50,9	48,1	52,94			60
40	55,42	59,77	50,41	53,18	47,31	55,23			62
50	62,36	64,71	60,67	62,28	53,65	61,91			69
63	61,77	65,64	66,15	63,26	61,99	64,15			71
80	66,67	69,07	70,23	68,86	63,08	68,19			75
100	67,7	71,44	72,35	68,41	65,56	69,78			**77**
125	67,96	71,1	73,44	67,05	68,12	70,23			**77**
160	68,09	73,38	74,97	73,33	75,25	73,60			**81**
200	70,01	73,15	73,24	77,97	68,37	73,85			**81**
250	77,18	87,64	83,2	91,86	75,55	86,83			**94**
315	79,98	83,38	90,62	85,44	76,5	85,72			**93**
400	73,72	76,44	74,22	77,86	72,02	75,34			**82**
500	76,92	79,77	76,64	83,95	79,24	80,19			**87**
630	73,75	76,1	77,11	79,94	74,17	76,82			**84**
800	78,17	79,48	81,5	84,3	81,25	81,45			**88**
1000	83,59	79,02	80,25	81,34	82,87	81,73			**89**
1250	79,1	81,4	79,43	80,31	78,89	79,92877			**87**
1600	79,38	80,97	79,28	79,33	79,56	79,75			**87**
2000	78	79,44	80,7	80,06	77,52	79,31			**86**
2500	77,27	76,54	78,68	77,78	75,97	77,35			**85**
3150	80,31	83,18	80,68	83,27	82,18	82,09			**89**
4000	77,59	76,62	76,87	78,74	78,65	77,78			**85**
5000	83,46	79,64	82,32	84,78	85,26	83,51			**91**
6300	73,4	68,89	70,81	73,69	71,07	71,92			79
8000	67,69	65,12	71,67	68,35	65,65	68,37			76
10000	66,42	62,49	65,66	67,59	62,12	65,37			73
12500	65,35	56,92	60,6	62,24	57,86	61,68			69
16000	59,9	51,99	58,08	58,35	53,12	57,27			64
20000	54,29	46,81	55,48	53,19	47,02	52,69			60
LA	**91**	**91**	**92**	**93**	**91**	91,65			**99**

4. táblázat

Prall malom 2003. évi mérése

Üresjárati zajteljesítményszintek összefoglaló táblázata

Frekv.[Hz]	Lw1[dB]	Lw2[dB]	Lw3[dB]	Lw1v[dB]
100	75	81	77	77
125	78	81	81	77
160	81	80	91	81
200	80	93	76	81
250	92	87	82	94
315	89	93	88	93
400	83	84	75	82
500	86	83	78	87
630	85	86	81	84
800	89	85	81	88
1000	90	87	83	89
1250	88	86	81	87
1600	87	90	85	87
2000	88	86	81	86
2500	86	88	83	85
3150	89	87	83	89
4000	87	89	76	85
5000	95	79	73	91
LA	100	98	93	99

5. táblázat

Prall malom 2003. évi mérése

Aprítási hangnyomásszintek

Frekv.[Hz]	L16 [dB]	L17 [dB]	L18 [dB]	L19 [dB]	L20 [dB]	L21 [dB]	L22 [dB]	L23 [dB]
100	66	65	66	67	65	65	65	63
125	70	69	68	67	67	68	66	68
160	77	72	70	80	69	67	67	69
200	68	69	86	89	82	72	70	69
250	69	70	71	70	71	81	73	73
315	71	70	74	74	76	72	73	73
400	69	69	73	68	67	73	71	67
500	67	65	68	67	67	78	74	69
630	67	69	70	70	68	73	71	74
800	69	68	72	79	70	72	75	77
1000	71	70	70	77	69	76	73	73
1250	73	76	72	72	70	73	71	70
1600	76	81	78	79	75	74	72	74
2000	70	73	70	71	70	72	75	71
2500	72	76	73	70	69	71	71	72
3150	72	75	72	71	69	73	73	74
4000	65	68	69	67	66	68	68	66
5000	63	68	63	70	67	69	66	66
6300	63	68	62	72	68	71	66	68
8000	63	69	62	72	68	71	66	68
LA	**82**	**86**	**84**	**86**	**82**	**85**	**83**	**84**

6. táblázat

Jelmagyarázat:

L16: 16-os fájl adatai: táplálófrekvencia: 30 Hz, malom-tengely fordulatszám n3 = 2637 1/min, tömegáram: 0,28 kg/sec
L17: 17-es fájl adatai: táplálófrekvencia: 30 Hz, malom-tengely fordulatszám n3 = 2637 1/min, tömegáram: 0,2 kg/sec
L18: 18-as fájl adatai: táplálófrekvencia: 40 Hz, malom-tengely fordulatszám n2 = 3516 1/min, tömegáram: 0,467 kg/sec
L19: 19-es fájl adatai: táplálófrekvencia: 40 Hz, malom-tengely fordulatszám n2 = 3516 1/min, tömegáram: 0,389 kg/sec
L20: 20-as fájl adatai: táplálófrekvencia: 40 Hz, malom-tengely fordulatszám: n2 = 3516 1/min, tömegáram: 0,25 kg/sec
L21: 21-es fájl adatai: táplálófrekvencia: 50 Hz, malom-tengely fordulatszám: n1 = 4395 1/min, tömegáram: 0,7 kg/sec
L22: 22-es fájl adatai: táplálófrekvencia: 50 Hz, malom-tengely fordulatszám: n1 = 4395 1/min, tömegáram: 0,467 kg/sec
L23: 23-as fájl adatai: táplálófrekvencia: 50 Hz, malom-tengely fordulatszám: n1 = 4395 1/min, tömegáram: 0,233 kg/sec

Prall malom 2005. évi mérése

Üresjárat és különböző tömegáramok aprítási zajteljesítményszintjei

Frekv. [Hz]	Lwü	Lw1	Lw2	Lw3
100		79	82	83
125	77	79	82	83
160	83	82	82	79
200	77	79	81	80
250	84	87	86	85
315	81	83	83	85
400	84	84	84	83
500	88	87	87	87
630	82	84	83	83
800	82	81	85	86
1000	85	84	87	86
1250	84	83	86	84
1600	83	85	87	86
2000	85	89	87	86
2500	83	85	88	88
3150	86	85	90	84
4000	86	84	87	83
5000	86	82	85	82
LA	96	97	99	97

7. táblázat

BÉM RT pofástörőjének vizsgálata

Első üresjárati zajteljesítményszint mérés

Frekv.[Hz]	L1[dB]	L2[dB]	L3[dB]	L4[dB]	L5[dB]	Lá[dB]	K[dB]	10lg(S/So)	Lwü[dB]
12,5	61,61	62,89	61,04	57,89	59,65	60,94	3,58	11,16807	69
16	58,58	59,36	59,92	54,93	58,18	58,49			66
20	44,5	46,03	52,42	45,45	47,49	48,25			56
25	47,83	49,37	49,15	47,97	44,95	48,11			56
31,5	48,25	51,27	56,01	43,64	50,47	51,67			59
40	47,53	49	49,57	52,95	47,44	49,82			57
50	50,12	54,68	47,77	55,73	49,52	52,65			60
63	49,81	53,74	52,09	57,02	51,36	53,56			61
80	49,15	50,08	48,8	50,41	47,31	49,28			57
100	56,92	55,2	56,76	57,19	53,61	56,13			64
125	56,35	59,73	56,48	59,09	55,99	57,82			**65**
160	57,94	65,17	60,48	56,75	57,53	60,84			**68**
200	60,31	62,75	59,4	62,09	60,62	61,21			**69**
250	64,32	66,94	62,89	65,86	62,45	64,83			**72**
315	67,98	65,42	63,47	64,9	62,63	65,29			**73**
400	70,45	61,37	63,86	66,8	70,67	67,97			**76**
500	65,18	62,95	68,44	61,72	62,33	64,90			**72**
630	67,29	68,68	72,27	66,11	68,86	69,18			**77**
800	74,58	76,42	75,13	70,27	67,39	73,85			**81**
1000	69,43	69,35	69,78	65,96	67,07	68,56			**76**
1250	65,59	65,49	65,85	64,58	63,82	65,13			**73**
1600	63,21	64,66	63,83	64,03	63,57	63,89			**71**
2000	67,97	67,23	66,87	67,34	73,03	69,24			**77**
2500	67,22	64,39	65,74	66,11	69,29	66,87			**74**
3150	63,7	63,26	61,75	62,88	64,92	63,43			**71**
4000	59,76	60,79	58,27	61,84	61,49	60,61			**68**
5000	60,21	60,69	58,65	58,21	59,99	59,65			**67**
6300	57,71	59,5	53,99	55,75	57,49	57,27			65
8000	57,16	56,43	50,99	53,6	56,43	55,45			63
10000	56,6	53,11	48,19	53,56	53,5	53,72			61
12500	53,47	52,49	47,76	49,73	51,47	51,42			59
16000	52,86	55,89	45,41	49,07	46,94	51,74			59
20000	46,34	51,24	39,65	42,11	41,91	46,38			54
LA	**79**	**79**	**79**	**76**	**79**	78,39			**86**

8. táblázat

BÉM RT pofástörőjének vizsgálata

Utolsó üresjárati zajteljesítményszint mérés

Frekv.[Hz]	L1[dB]	L2[dB]	L3[dB]	L4[dB]	L5[dB]	Lá[dB]	K[dB]	10lg(S/So)	Lw2ü[dB]
12,5	60,86	61,77	60,25	61,77	61,07	61,18	3,58	11,16807	69
16	57,13	60,75	62,38	61,84	58,92	60,60			68
20	44,28	51,26	51,34	47,81	44,24	48,85			56
25	49,54	43,37	44,74	49,15	44,39	47,01			55
31,5	48,61	50,99	51,58	50,2	50,82	50,55			58
40	50,79	54,24	48,84	54,91	45,72	52,09			60
50	52,27	53,7	51	56,02	49,02	53,05			61
63	54,19	56,53	55,14	57,86	49,63	55,42			63
80	55,7	50,46	53,1	53,72	51,58	53,29			61
100	59,14	57,52	59,2	58,13	55,79	58,12			66
125	63,05	61,43	62,04	60,54	58,49	61,37			**69**
160	66,04	61,18	65,49	64,36	63,36	64,40			**72**
200	68,45	68,43	66,41	69,9	67,53	68,30			**76**
250	72,76	71,76	68,82	73,7	67,32	71,48			**79**
315	73,22	73,08	67,81	71,86	72,79	72,13			**80**
400	78,22	74,47	71,83	77,62	80,73	77,57			**85**
500	81,44	77,48	76,08	78,04	85,43	81,13			**89**
630	82,4	77,5	76,38	77,41	77,71	78,89			**87**
800	76,63	73,94	73,39	70,31	74,96	74,30			**82**
1000	77,45	74,21	72,68	71,88	72,56	74,28			**82**
1250	81,78	74,26	72,44	72,92	78,03	77,45			**85**
1600	70,26	66,04	66,32	67,06	70,71	68,55			**76**
2000	75,57	71,42	70,23	71,02	75,84	73,48			**81**
2500	74,17	67,65	67,88	69,1	73,71	71,44			**79**
3150	69,65	64,38	63,39	65,48	69,8	67,36			**75**
4000	67,81	61,98	60,01	63,07	66,04	64,67			**73**
5000	69,43	61,23	61,1	60,35	67,38	65,55			**73**
6300	67,71	59,33	57,23	57,49	64,12	63,19			71
8000	63,89	55,78	52,79	55,76	58,58	59,15			67
10000	61,88	53	49,43	52,21	54,89	56,63			64
12500	60,18	52,9	46,74	49,95	51,54	54,85			62
16000	56,77	57,94	44,31	50,34	45,8	54,05			62
20000	52,37	54,2	38,64	42,81	40,94	49,77			57
LA	**88**	**83**	**82**	**83**	**87**	85,03			**93**

9. táblázat

BÉM RT pofástörőjének vizsgálata

Üresjárati zajteljesítményszintek

Frekv.[Hz]	Lw1ü[dB]	Lw2ü[dB]
12,5	69	69
16	66	68
20	56	56
25	56	55
31,5	59	58
40	57	60
50	60	61
63	61	63
80	57	61
100	64	66
125	65	69
160	68	72
200	69	76
250	72	79
315	73	80
400	76	85
500	72	89
630	77	87
800	81	82
1000	76	82
1250	73	85
1600	71	76
2000	77	81
2500	74	79
3150	71	75
4000	68	73
5000	67	73
LA	86	93

10. táblázat

BÉM RT pofástörőjének vizsgálata

Aprítási hangnyomásszint mérések

Frekv.[Hz]	LpZS [dB]	LpTÉ [dB]	LpMA [dB]
12,5	62	64	59
16	58	58	57
20	41	49	42
25	53	55	57
31,5	56	58	57
40	51	61	60
50	55	60	59
63	55	54	56
80	63	58	58
100	69	74	70
125	72	76	70
160	80	77	71
200	85	78	77
250	86	79	82
315	85	83	81
400	82	83	83
500	86	84	82
630	87	82	78
800	83	80	75
1000	83	79	73
1250	82	79	70
1600	80	78	70
2000	79	78	69
2500	76	78	68
3150	75	78	66
4000	74	77	66
5000	73	75	65
6300	71	73	63
8000	70	71	61
10000	69	70	58
12500	68	68	57
16000	63	62	55
20000	55	54	50
LA	**92**	**90**	**85**

Üresjárati hangnyomásszint mérések

Frekv.[Hz]	Lpü1 [dB]	Lpü2 [dB]
12,5	60	61
16	55	55
20	41	46
25	51	50
31,5	52	53
40	51	64
50	50	62
63	43	54
80	52	54
100	56	62
125	55	63
160	52	67
200	59	70
250	62	71
315	63	73
400	65	71
500	64	73
630	64	75
800	70	73
1000	66	69
1250	62	66
1600	61	65
2000	66	655
2500	65	65
3150	63	62
4000	60	61
5000	59	60
6300	56	58
8000	55	58
10000	53	54
12500	50	53
16000	47	52
20000	42	48
LA	**76**	**79**

Jelölések: Lpü1 = első, üresjárati hangnyomásszint
LpZS = zsugorítvány aprításanak hangnyomásszintje
LpTÉ = tégla aprításának hangnyomásszintje
LpMA = magnezit-tégla aprításának hangnyomásszintje
Lpü2 = második (a méréssorozat utolsó mérése), üresjárati hangnyomásszint

11. táblázat

Egyetemi pofástörő zajteljesítményszint adatai

Frekv. [Hz]	Lwü	Lw1: 0,222 kg/s	Lw2: 0,236 kg/s	Lw3: 0,369 kg/s
100		89	88	93
125	75	91	91	92
160		90	90	92
200		92	90	93
250	76	94	95	97
315	87	94	94	99
400	73	93	93	98
500	78	92	93	96
630	82	93	94	97
800	85	92	93	94
1000	78	90	92	95
1250	75	89	90	93
1600	74	88	89	93
2000	73	88	90	93
2500	74	88	89	93
3150	66	87	87	92
4000	60	86	88	91
5000	60	86	87	91
LA	89	101	102	105

12. táblázat

ÁNTSZ mérések

Cég	PERLIT-92 KFT Pálháza		ZEOTRADE KFT Mád		GEOPRO-DUCT KFT Mád
Gép megnevezése	HS 60/50 hengertörő	CM741 pofástörő	PE VIII. pofástörő 2004-ben	II. őrlő VE-KA ve-rőmalom 1969-ben	PE VIII. pofástörő 2003-ban
Gépteljesítmény [t/h]	12	21	20	15	24
Gép (rotor) fordulat [1/min]	1.henger 222,4 2.henger 257,5	280	250	1440	250
	hengerØ=0,6 m	löket= 0,06 m	löket=0,012 m		löket = 0,025 m
Törési sebesség [m/s]	8,09	0,56	0,1		0,21
Motor fordulat [1/min]	960	960	960	1440	960
Gép villamos-teljesít-mény [kW]	2x22	22	25	75	25
Motor teljesítmény [kW]			38	75	55
A gép befoglaló mé-rete [m x m x m]	2,2 x 1,6 x 1,4	1,6 x 2 x 1,8	1 x 0,8 x ,8	1,2 x 1,2 x 0,5	2,6 x 3,6 x 2,3
Aprított anyag	perlit		zeolit		zeolit
Feladás mérete, végtermék [mm]	2-10 0,63-2	750 5-50	50-250 0-25	0,1-5	50-250 0-25
Mérés helye: A géptől m-re	1	1	1	1	1
L_{AImax} [dB] üresjárat					
$L_{p,eq}$ [dB] üresjárat					
L_{AImax} [dB] terheléssel			107	91	98
$L_{p,eq}$ [dB] terheléssel	91	98	95	90	83
Egyéb gépjellemző		törőszög 35^0	törőszög 30^0		törőszög 25^0

13. táblázat

Cég	COLAS ÉSZAKKŐ (elődje) Tállya			COLAS Gyöngyössolymos		COLAS Recsk	
Gép megnevezése	10-es pofás törő 1982-ben	Simmons törő 1979-ben	PE X. törő 1979-ben	JM 1108 HD előtörő 2001-ben	Wagenedder SBM 10/10/4 röpítőtörő 2001-ben	Hydrocone 3000 M (Svedala) 2000-ben	BS-4-13 Dragon törő 2000-ben
Gépteljesítmény [t/h]	150	150	250	120	80	120	200
Gép (rotor) fordulat [1/min]	85	268 exc. ford.	230 exc. ford.	240 exc. ford.	560	460	388 exc. ford.
Motor fordulat [1/min]	960	960	960	960	1440	960	1440
Gép villamos teljesítmény [kW]	55	100	80	90	100	100	90
Motor teljesítmény [kW]	75	160	110	130	132	132	110
A gép befoglaló mérete [m x m x m]		3,9x2,96x3,8	5x5,36,3,37	2,5x3x3	2,5x2,5x3,5	2x2x3,5	2,5x2,5x3,5
Aprított anyag	andezit						
Feladás mérete, végtermék [mm]	0-150	0-60	0-250	0-120	0-50	0-55	0-80
Mérés helye:kezelőnél, a géptől m-re	1	1	1	1	1	1	1
L_{AImax} [dB] terheléssel	98	104	98				
$L_{p,eq}$ [dB] terheléssel	92	103	94	94	98	90	94
Egyéb gépjellemző							

14. táblázat

Cég	Tarnóca Kőbánya Kisnána			
Gép megnevezése	JM 1208 HD 2002-ben	Superior S-2000 EC	HydroconeH-2000-M HC	GP 200 kúpos törő 2004-ben
Gépteljesítmény [t/h]	250	140	70	190
Gép (rotor) fordulat [1/min]	240	1332	1485	1257
Löket [m]	0,025	0,025	0,025	0,025
Törési sebesség [m/s]	0,2	1,11	1,24	1,05
Motor fordulat [1/min]	985	1480	1485	1480
Gép villamos teljesítmény [kW]	110	101	81	116
Motor teljesítmény [kW]	132	110	90	132
A gép befoglaló mérete [m x m x m]	3,2 x 1,5 x 3	2,1 x 1,55 x2,45	2,1 x1,55x 2,15	2,06 x 1,75x 2,52
Aprított anyag	andezit			
Feladás mérete, végtermék [mm]	0-180	0-100	0-45	0-110
Mérés helye: A géptől m-re	1	1	1	1
L_{AImax} [dB] üresjárat				
$L_{p,eq}$ [dB] üresjárat	69			
L_{AImax} [dB] terheléssel	90	85	91	
$L_{p,eq}$ [dB] terheléssel	86	78	89	
Egyéb gépjellemző	törőszög 11^0			

15. táblázat

Cég	HOLCIM RT Kőbánya Miskolc		Kő- és Kavicsbányá-szati Kft Alsózsolca
Gép megnevezése	KKD1200/GRCS kúpos előtörő	PEF 200/200 KHD röpítő törő 2002-ben	Vortex 8-5-4 röpítőtörő 2002-ben
Gépteljesítmény [t/h]	900	500	50
Gép (rotor) fordulat [1/min]	120	281	846
	löket=0,07-0,15 m	rotorØ = 2 m	rotorØ = 0,91 m
Törési sebesség [m/s]	0,28-0,6	29,4	40,3
Motor fordulat [1/min]	590	285	1480
Gép villamos tel-jesítmény [kW]	320	400	75
Motor teljesít-mény [kW]	320	400	80
A gép befoglaló mérete [m x m x m]	Ø 4,6x10	3,8x3,2x2,3	2,2 x 1,8 x 1,07
Aprított anyag	mészkő		kavics
Feladás mérete, végtermék [mm]	0-150	0-50	24-63 2-16
Mérés helye: A géptől m-re	(bedöntő bunker mellett) 1	1	1
L_{AImax} [dB] üresjárat			
$L_{p,eq}$ [dB] üresjárat	71	81	
L_{AImax} [dB] terheléssel			88
$L_{p,eq}$ [dB] terheléssel	88	95	85
Egyéb gépjellemző			

16. táblázat

Saját mérések

Cég	AES Borsodi Hőerőmű Berente	Mészkő-Várhegy Kft Szalonna	ZAPA BETON Kft Zsujta
Gép megnevezése	RT 100/60 röpítőtörő	Blake X kétingás pofástörő gyártási szám: 16195 gyártási év: 1974	TESAB RK 623 röpítőtörő
Gépteljesítmény [t/h]	100	245	100?
Gép (rotor) fordulat [1/min]	630	260	
	rotor Ø = 1 m	löket = 0,045 m	rotor Ø = 1,07 m ?
Törési sebesség [m/s]	33	0,39	
Motor fordulat [1/min]		960	
Gép villamos teljesítmény [kW]			
Motor teljesítmény [kW]	55	78	
A gép befoglaló mérete [m x m x m]	3,75 x 3,8 x 3,1	3,8 x 2,8 x 1,9	1,6 x 1,75 x 1,6
Aprított anyag	barnaszén	mészkő	kavics
Feladás mérete, végtermék [mm]	250, 0-35	250, 0-100	80, 0-22
Mérés helye: A géptől m-re	1	1	1
L_{AImax} [dB] üresjárat		94	85
$L_{p,eq}$ [dB] üresjárat		90	84
L_{AImax} [dB] terheléssel	93	100	100
$L_{p,eq}$ [dB] terheléssel	87	98	95
Egyéb gépjellemző		résméret = 0,1-0,12 m törőszög = 30^0	

17. táblázat

Cég	COLAS ÉSZAKKŐ KFT TÁLLYAI ÜZEMEGYSÉG			
Gép megnevezése	EUROCONE 1572 törő (Bergaud gyártmány)	BD-10 vertkális röpítőtörő (Bergaud gyártmány)	PK XII. kétingás pofástörő, A (AGJ),bánya	PK XII. kétingás pofástörő, B (AGJ),bánya
Gépteljesítmény [t/h]	300	120	250	
Gép (rotor) fordulat [1/min]	787	2880	320	
	löket = 0,045 m	rotor Ø = 1 m	löket = 0,035 m	
Törési sebesség [m/s]	1,18	61,05	0,37	
Motor fordulat [1/min]	1440	1440	980	
Gép villamos teljesítmény [kW]	280	140	90	
Motor teljesítmény [kW]	310	160	110	
A gép befoglaló mérete [m x m x m]	2,3 x 2,3 x 3,6	Ø2,6 x 1,8	5,36 x 5 x 3,7	
Aprított anyag	piroxén andezit (200 Mp nyomószilárdság)			
Feladás mérete, végtermék [mm]	0-45	szemcse alakformáló 0-40	0-250	
Mérés helye: A géptől m-re	1	1	1	1
L_{AImax} [dB] üresjárat	94	93	98	-
$L_{p,eq}$ [dB] üresjárat	88	90	92	-
L_{AImax} [dB] terheléssel	104	101	99	97
$L_{p,eq}$ [dB] terheléssel	98	90	91	86
Egyéb gépjellemző		Los Angeles tényező 14-17 (kopásállóság)	Ékszíjas áttétel, szájnyílás 800x1200, rés 200 mm. A garat talajszinten, a törő 5 m-en	

18. táblázat

Cég	GEOPRODUCT KFT Mád		
Gép megnevezése	PE VIII. egyingás pofástörő (szabad téren)	KM 100/60 kalapácsos törő (Dorogi Gépgyár) (épületben)	VKM 80/40 kalapácsos malom (épületben)
Gépteljesítmény [t/h]	24	75	8 (fojtással)
Gép (rotor) fordulat [1/min]	250	550	1440
	löket = 0,025 m	rotorØ = 0,93 m; kalapáccsal 1,2 m	rotorØ = 0,45 m; kalapáccsal 0,8 m
Törési sebesség [m/s]	0,21	34,55	60,31
Motor fordulat [1/min]	960	960	1440
Gép villamos teljesítmény [kW]	25	38	20
Motor teljesítmény [kW]	55	75	30
A gép befoglaló mérete [m x m x m]	2,6 x 3,6 x 2,3		1,3 x 1,13 x 1,763
Aprított anyag	zeolit		
Feladás mérete, végtermék [mm]	0-25	0,5-50	0-25, 0-3
Mérés helye: A géptől m-re	1	0,8	0,8
L_{AImax} [dB] üresjárat	91	77	88
$L_{p,eq}$ [dB] üresjárat	83	75	86
L_{AImax} [dB] terheléssel	103	113	98
$L_{p,eq}$ [dB] terheléssel	85	96	93
Egyéb gépjellemző	törőszög = 25^0	3x13 + 3x14 kalapács	32 db kalapács

19. táblázat

Cég	ZEOTRADE KFT Mád		
Gép megnevezése	PE VIII. egyigás pofástörő(Ganz)	UKM 84/40 kalapácsostörő	Állítható tengely-távú, HS 60/50 sima hengeres törő
Gépteljesítmény [t/h]	24	10	1,5
Gép (rotor) fordulat [1/min]	250	1152	100
	löket = 0,012 m	rotorØ = 1,07 m kalapáccsal	hengerØ = 0,6 m
Törési sebesség [m/s]	0,1	64,54	3,14
Motor fordulat [1/min]	960	1440	960
Gép villamos teljesítmény [kW]	22-29	75	
Motor teljesítmény [kW]	38	75	30
A gép befoglaló mérete [m x m x m]	1 x 0,8 x1 ,8	0,8 x 0,8 x 2,5	0,9 x 1,3 x 1
Aprított anyag	zeolit		
Feladás mérete, végtermék [mm]	50-250	0-30	2,5-10
Mérés helye A géptől m-re	1	1	1
L_{AImax} [dB] üresjárat	84	103	108
$L_{p,eq}$ [dB] üresjárat	77	98	101
L_{AImax} [dB] terheléssel	107	113	109
$L_{p,eq}$ [dB] terheléssel	95	102	102
Egyéb gépjellemző	törőszög = 30^0	utántörő 4x8 db kalapács	utántörő

20. táblázat

Cég	AZIMUT' 90 Kft Miskolc, Mexikóvölgy			Leier Mátratherm Kft Mátraderecske
Gép megnevezése	PK XII pofástörő	Hengertörő	VORTEX röpítőtörő	SAP 4 Prall malom
Gépteljesítmény [t/h]	250	150	100	20
Gép (rotor) fordulat [1/min]	165	1528	1000	390
	löket = 0,03 m	hengerØ = 1 m	rotorØ = 0,9 m	rotorØ = 1,86 m
Törési sebesség [m/s]	0,165	80	47,12	37,98
Motor fordulat [1/min]	720	420	1480	1440
Gép villamos teljesítmény [kW]	95	44	160	80
Motor teljesítmény [kW]	95	2 x 22	160	45
A gép befoglaló mérete [m x m x m]	3,3 x 5,1 x 3,1	4 x 1,5 x 2	1,5 x 2,5 x 3	2,32 x 1,95 x 2,2
Aprított anyag	mészkő			égetett kerámia (tégla, cserép)
Feladás mérete, végtermék [mm]	600, 0-150	150, 0-20	20-70, 0-10	200, 0-8
Mérés helye: A géptől m-re	1	1	1	1
L_{AImax} [dB] üresjárat	80			
$L_{p,eq}$ [dB] üresjárat	73			77
L_{AImax} [dB] terheléssel	100	108	98	92
$L_{p,eq}$ [dB] terheléssel	92	105	90	88
Egyéb gépjellemző	résméret= 0,13 m törőszög = 25^0			

21. táblázat

Cég	Dolomit Kft Szalonna		Kalcit-2000 Kft Szalonna
Gép megnevezése	PG-VI egyingás pofás törő	UKM 60/40 kalapácsos malom	REF12D (dupla) verőtányéros, vízszintes tengelyű Prall malom
Gépteljesítmény [t/h]	5	5	2
Gép (rotor) fordulat [1/min]	240	1440	1034
	löket = 0,03 m	rotorØ = 0,6m kalapáccsal	tányérØ = 1,07 m
Törési sebesség [m/s]	0,24	45,24	57,93
Motor fordulat [1/min]	960	1440	1440
Gép villamos teljesítmény [kW]			105
Motor teljesítmény [kW]	22	22	200
A gép befoglaló mérete [m x m x m]	1,5 x 1,5 x 1,5	1 x 2 x 0,8	1,6 x 3,6 x 2,2
Aprított anyag	nyersdolomit	mészkő	mészkő
Feladás mérete, végtermék [mm]	80, 0-30	80, 0-5	50, 0-2
Mérés helye: A géptől m-re	1	1	1
L_{AImax} [dB] üresjárat			
$L_{p,eq}$ [dB] üresjárat	78		
L_{AImax} [dB] terheléssel	104	113	101
$L_{p,eq}$ [dB] terheléssel	93	98	93
Egyéb gépjellemző			

22. táblázat

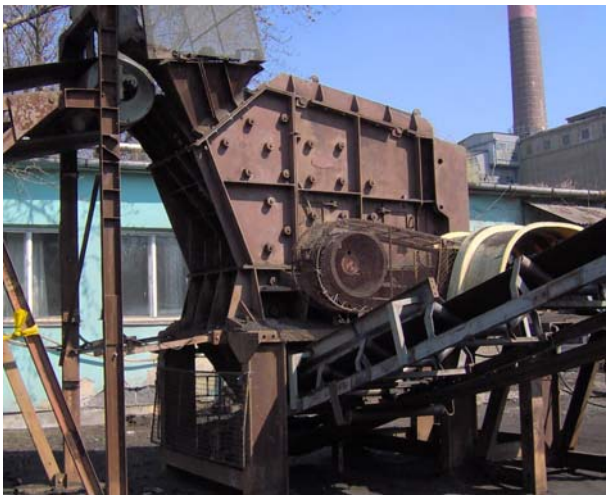
Cég	**Lasselsberger Hungária Kft Nyékládháza**							
Gép megnevezése	**TORNADO AC 10 vertikális röpítőtörő**							
Gépteljesítmény [t/h]	**90**							
Gép (rotor) fordulat [1/min]	**1252**							
	rotorØ = 1 m							
Törési sebesség [m/s]	**65,55**							
Motor fordulat [1/min]	**1440**							
Gép villamos teljesítmény [kW]								
Motor teljesítmény [kW]	**132**							
A gép befoglaló mérete [m x m x m]	**2,34 x 4 x 2,75**							
Aprított anyag	**kavics**							
Feladás mérete, végtermék [mm]	**24, 0-3**							
Mérés helye: A géptől m-re	**1**							
L_{AImax} terheléssel [dB]	**93**	**112***	**98**	**98**	**96**		**96**	**99**
$L_{p,eq}$ terheléssel [dB]	**90**	**102***	**93**	**90**	**89**		**88**	**88**
A dobóléc csere ideje: 2005.	**május 06. /0. üzemóra**		**május 25.** 99./0. üó.**		**június 14.*** 142./0. üó.**		**július 01.**** 202./0. üó.**	
A mérés ideje: 2005.	**május 10. 35. üó.**	**május 14. 57. üó.**	**május 26. 12. üó.**	**május 30. 43. üó.**	**június 16. 26. üó.**		**július 01. 1. üó.**	**július 08. 90. üó.**

23. táblázat

* A gépet csak a mérés kedvéért kapcsolták be. Csak a silóban lévő kevés mennyiségű kavicsot törték, a tömegáram kisebb volt, mint üzemszerű körülmények között.

** Teljes forgórészcsere *** A csere oka az egyik dobóléc rideg törése volt **** Dobóléccsere, csapágy és ékszíjcsere

Vizsgált törők képei



RT 100/60 röpítőtörő AES Hőerőmű

Blake törő Mészkő Kft

TESAB röpítőtörő ZAPA Beton Kft

EUROCONE törő COLAS Kft

BD röpítőtörő COLAS Kft

PE VIII pofástörő ZEOTRADE Kft

UKM 84/40 kalapácsos törő ZEOTRADE Kft

HS 60/50 hengertörő ZEOTRADE Kft

PK XII pofástörő Azimut Kft

Hengertörő Azimut Kft

VORTEX röpítőtörő Azimut Kft

SAP 4 Prall malom Leier Kft

PG VI pofástörő Dolomit Kft

UKM 60/40 kalapácsos malom Dolomit Kft

REF12D Prall malom Kalcit Kft

TORNADO röpítőtörő Lasselsberger Kft