

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU

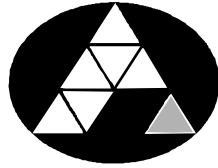
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Joni Bies

KEILAHALLIN MELUTUTKIMUS

Opinnäytetyö

Kesäkuu 2011



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ

Kesäkuu 2011

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3

80200 JOENSUU

P. (013) 2606 800

Tekijä

Joni Bies

Nimeke

Keilahallin melututkimus

Toimeksiantaja

Fitness & Aerobic Club

Tiivistelmä

Joensuun Linnunlahdella sijaitsevaan keilahalliin tehtiin melututkimus. Keilahalli on avara tila, jossa on paljon melua. Tätä tilaa käytetään päivittäin pitkiä aikoja. Tämän vuoksi tila on tärkeä ja haasteellinen äänieristää. Ongelman ratkaisussa on käytetty uudenaikaista melumittaria, jonka avulla mitattavasta tilasta saadaan luotettavia tutkimustuloksia.

Tavoitteena on, että opinnäytetyön lukija ymmärtää millä tavoin avaraa tilaa tai ylipäättänsä jotain tilaa voi äänieristää ja millä tavalla voidaan laskea teoreettisesti tavoiteltu äänieristävyys. Keilahallin omistajalle pyrittiin selvittämään oliko keilahallille hankitusta äänieristysverhosta apua meluun ja millä tavalla kykenisi jäljelle jäävää melua eristämään. Mittaustulosten perusteella ja jäljelle jäävään meluun saatiin laskettua äänieristysvaihtoehtoja.

Verhohankinta todettiin hyödylliseksi. Keilahallin omistajan päätettäväksi jää haluaako hän sijoittaa lisä-äänieristykseen vai riittääkö nykyinen. Melua voidaan vähentää vielä tulevaisuudessa esimerkiksi akustisilla seinälevyillä tai lisäämällä kattorakenteisiin absorboivaa materiaalia.

Kieli

suomi

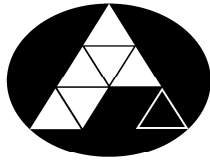
Sivuja 34

Liitteet 7

Liitesivumäärä 11

Asiasanat

Melu, ääni, keilahalli, absorptio, ääneneristys, jälkikaiunta-aika



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS

June 2011

**Degree programme in Construction
Engineering**

Karjalankatu 3

FIN 80200 JOENSUU

Finland

Tel. 358-13-2606 800

Author

Joni Bies

Title

Noise Study of a bowling hall

Commissioned by

Fitness & Aerobic club

Abstract

In this thesis a noise survey was made in a bowling hall located in Linnunlahti. The bowling hall is a large space that contains a lot of noise. This specific space is used very often. This is why this space is important and challenging to soundproof. To solve this problem a modern noise meter is used. This noise meter gives reliable research results.

The Goal was that the reader of this thesis would be able to soundproof a large hall or some other space with the help of it. The Reader should also be able to calculate with the help of this thesis a wanted soundproofing in theory. Another goal was to sort out if the soundproof curtain that was bought any help to reduce noise and how one could be able to make sound proofing in the hall in the future.

Noiseproofing curtain was found useful on the basis of the calculation and alternative soundproofing solutions. Now the owner of the bowling hall can decide whether or not to invest in additional soundproofing.

Language

Finnish

Pages 34

Appendices 7

Pages of Appendices 11

Keywords

Noise, sound, bowling hall, reverberation time, soundproofing

SISÄLTÖ

1 Johdanto	5
1.1 Tutkimuskohde	5
1.2 Tutkimustehtävä ja tavoitteet	6
2 Ääni	8
2.1 Desibeli	9
2.2 Melu	11
2.3 Ääneneristys ja absorptio	12
2.4 Jälkikaiunta-aika	13
2.5 Ilmääneneristys	15
2.6 Standardisoitu äänitasoero D_{nT}	16
3 Aineisto ja tutkimusmenetelmät	17
3.1 Melunmittaukset keilahallista	19
3.1.1 Ensimmäinen mittauskerta	19
3.1.2 Toinen ja kolmas mittauskerta	20
3.1.3 Jälkikaiunta-ajan mittaus	21
4 Mittaustulokset	22
4.1 Ensimmäinen mittauskerta	22
4.2 Mittaus ennen äänieristysverhon asennusta ja sen jälkeen	24
4.3 Ääneneristysverhon apu keilakonehuoneen meluun	25
4.4 Jälkikaiunta-aika	26
5 Yhteenveto	28
6 Mahdolliset parannuskeinot	29
6.1 Ääneneristysvaihtoehto materiaalikustannuksineen	29
7 Pohdinta	32
Lähdeluettelo	33
Liitteet	5

1 Johdanto

Ääni on tärkeä osa rakennusten suunnittelussa. Akustisessa suunnittelussa ensimmäinen lähtökohta on melun vaikutus ihmiseen. Melu määritellään ei-toivotuksi ääneksi, joka haittaa ihmisen senhetkistä käynnissä olevaa toimintaa. Äänen luokittelu meluksi ei kuitenkaan tapahdu nostamalla äänenvoimakkuutta, koska ääniympäristön kokeminen voi tietyissä tilanteissa olla erilaista. Joissakin tapauksissa tietty ääni voi olla hyödyllistä ja joissakin haitallista. Viihtyvyys on ennen kaikkea huomioitava sekä terveydelliset haitat.

Tilojen akustiseen suunnitteluun olisi hyvä entistä enemmän käyttää aikaa ja panostaa pieni summa lisää rahaa, varsinkin jos tila tulee olemaan monelle ihmiselle paikka missä he viettävät suuren määrän aikaa elämästään. Tila voi täyttää terveystieteiden ja silti olla epäviihtyisä melun vuoksi. Tämä voi antaa paikasta ikävän kokemuksen vaikka se muuten olisikin hieno ja käytännöllinen ratkaisu. Akustisen suunnittelun lähtökohtana on rakennuksen ja tilan käyttötarkoitus, joka yleensä määrää tilan muodon, erilaisten tilojen sijainnin sekä tilan huoneakustiikan.

1.1 Tutkimuskohde

Tutkimuskohteena oli Joensuun Linnunlahdella, Linnunlahdentie 10:ssä sijaitseva liikuntakeskus Kuntokeidas. Tähän rakennukseen on sijoitettu keilahalli, jossa melutaso nousee korkeisiin lukemiin, kuten keilahalleissa yleisesti. Kyseinen keilahalli on muihin keilahalleihin nähden hieman meluisampi ja tähän on hyvä selvittää syyt.

Yleisimmin melu koetaan ärsykkeenä, kun se häiritsee normaalia kommunikointia. Kuntokeitaalla oli kesällä remontti, jolloin keilahallin ja kahvion välistä poistettiin väliseinä. Tämän vuoksi kahviossakin oleskeleville ihmisille ääni keilahallista tulee kovempaa ja haittaa enemmän normaalia keskustelua. Keilahallin puolella taas melu on suurempaa ja täten olisi hyvä varmistaa, että siitä ei ole ainakaan terveydellistä haittaa keilaajille.

Tarkoituksena oli mitata kyseisen tilan melumäärä ja pohtia mittauksen avulla, mikä olisi paras mahdollinen ratkaisu melutason alentamiseksi, sekä tehdä tähän pätevä suunnitelma. Apuna käytetään digitaalista mittalaitetta, joka pystyy mittaamaan äänen eri taajuuksia. Ääntä tuotetaan koneellisesti kaiuttimista, jotta tulokset ovat tarkempia.

Keilahallille oli hankittu ääneneristysverho (liite 1), joka sijoitettiin keilanpystytyskoneiden etupäähän peittämään koneista tulevaa melua. Mittaukset suoritettiin ennen verhon asennusta ja asennusten jälkeen. Tällöin nähtiin, oliko tämä ratkaisu saanut melutason vähenemään ja tarvitsiko jatkotoimenpiteitä jäljelle jäävän melun alentamiseksi. Verhohankinta tehtiin, koska keilakoneista lähtevä kolina ja melu oli häiritsevän kovaaäänistä. Eristeenä verho oli hyvä ratkaisu, sillä se pystyy taipumaan ja näin ollen sillä saa koteloitua keilakoneita paremmin (liite 4)

Meluntorjunta kyseisessä keilahallissa on haasteellista, sillä keilahalli on hyvin avara eikä keilaratojen kohdalle juurikaan saada absorptiopinta-alaa lisättyä. Tästä johtuen tilaan tulee suuret jälkikaiunta-ajat.

1.2 Tutkimustehtävä ja tavoitteet

Tutkimustehtävänä oli suorittaa keilahallin melumittaukset ja selvittää mitkä, äänilähteet tuottavat ikävimmän melun keilahallissa ja millä tavoin tätä ääntä voitaisiin pienentää mm. absorptiomateriaaleja kasvattaen. Mitattiin myös, millainen apu oli keilakoneiden päälle sijoitettavasta Maxibell-äänieristysverhosta (liitteet 1 ja 4) ja tehdä suunnitelma jäljelle jäävän melun alentamiseksi. Maxibell verho oli jo tilattu kuntokeitaalle, kun mittaukset tehtiin. Tämä siksi, koska keilakoneiden ääni havaittiin kuuloaistin perusteella meluisimmaksi ja verho sopi hyvin eristämään massiiviset keilakoneet.

Keilahallin melutasoa kuitenkin voisi vielä alentaa, joten selvitettiin, miten sen voisi tehdä. Kun oli selvitetty millä tavoin keilahallia tulisi vielä äänieristää, tehtiin

tarvittavista materiaaleista kustannusarvio ja laskettiin, kuinka melu tulisi vaimenemaan.

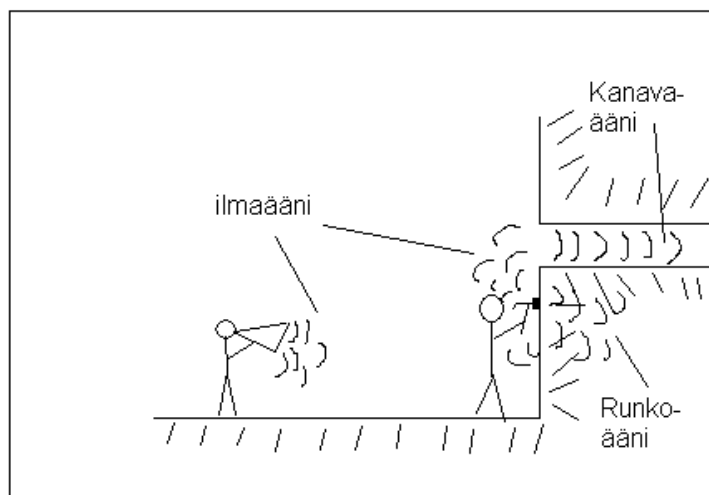
Kahvion alue ja keilaradat ovat alueita, jossa kuntoketiaan asiakkaat ja palveluiden käyttäjät suurimmaksi osaksi viettävät aikaansa. Keilakoneet ovat massiivisia ja pyörittävät painavia keiloja ja keilapalloja ympäriinsä. Tämä aiheuttaa suurta melua, josta on haittaa keilaajille ja kahviossa oleskeliijoille. Myös keilapallon osuminen keilapakkaan ja keilapallon osuminen laminaattiin aiheuttaa melua. Ihmiset jotka keilaavat tuottavat myös melua.

Oli tärkeää selvittää autoiko keilakoneiden päälle asetettava ääneneristysverho saamaan kahvioon ja keilaradoille pienempää melutasoa. Onko taloudellisesti ja viihtyvyyden kannalta järkevää vielä tulevaisuudessa alentaa jäljelle jäävää melutasoa? Millä tavoin olisi kustannustehokkainta järjestää tämä uusi ääneneristys?

Tavoitteena oli siis saada nykyistä melutasoa alennettua äänieristysverholla, mitata kuinka paljon ääni aleni ja tehdä suunnitelma vielä jäljelle jääneen äänen alentamiseksi. Keilahallin omistajalle tulee myös selvittää millä tavoin keilahalliin jäljelle jäänyttä melua voisi alentaa ja mitkä ovat kustannukset kyseisille toimenpiteille.

2 Ääni

Ääni on kuuloaistin välittämä aistimus ilmanpaineen vaihtelussa. Värähtelyn lähde, kuten ihmisen äänihuulet, saavat aikaan ilman tihentymiä ja harventumia. Ilmahiukkasten liike saa seuraavat hiukkaset liikkeeseen, ja näin ääni etenee pitkittäisaaltolina äänilähteestä ympäristöön. Kuuloaistimuksen aiheuttaa värähtely, jonka ihminen aistii värähtelytaajuudella 20 – 20 000 Hz. Tätä kuuloaluetta matalammat taajuudet ovat infraääniä ja korkeammat äänet ovat ultraääniä. Akustiikassa ääni määritetään kimmoisassa väliaineessa eteneväksi mekaaniseksi värähtelyksi, jonka ihmisen kuuloaisti pystyy havaitsemaan. Pääsääntöisesti ääni etenee ilmassa painevärähtelynä eli äänenpaineella [Pa]. Äänenpaine on tehollinen normaalipaineesta poikkeava painevaihtelu aaltoliikkeessä. Paineen on oltava vähintään noin $20 \cdot 10^{-6}$ Pa, jotta kuuloaistimme voi sen havaita. Muissakin väliaineissa kuin ilmassa voi esiintyä ääntä. Esimerkiksi rakennuksen rungossa etenevää värähtelyä kutsutaan runkoääneksi ja ilmastointikanavassa etenevää ääntä kanavaääneksi (kuva 1). (Björk 1997, 39; RIL-243-1-2007, 35; RIL-243-1-2007, 11)



Kuva 1. Äänen eteneminen (Björk 1997, 39)

Puheen ymmärtämisen kannalta tärkeimmät äänentaajuudet ovat 100 - 10 000Hz. Puhekommunikaatio vaikeutuu, kun on paljon taustamelua, jälkikaiunta-ajat ovat suuria ja viestintäetäisyydet kasvavat. (RIL 243-4-2011, 12;RIL 243-1-2007, 54)

Äänilähteiden tuottamat äänepainetasot ovat erilaisia yksittäisillä taajuuskaistoilla. Siksi akustiikassa äänet ovat jaettu pienempiin osiin eli taajuuskaistoihin. (RIL 23-1-2007, 35-36;Björk 1997, 155-156)

Liikuntatiloissa ääniolosuhteet ovat yksi suunnittelun lähtökohdista. Ne vaikuttavat tilojen tarkoituksenmukaisuuteen, käyttäjien viihtyvyyteen ja tilassa työskentelevän henkilökunnan terveyteen. (RIL 243-2-2007, 55)

2.1 Desibeli

Äänen voimakkuutta kuvaavien suureiden, kuten äänenpaineen, -intensiteetin ja äänitehon suuruus ilmaistaan usein suhteellista kymmenlogaritmista desibelyksikköä [dB] käyttäen. Äänen intensiteetillä [W/m^2] tarkoitetaan äänen tehoa kohtisuoralle pinnalle neliometriä kohden. Äänen intensiteetin ja äänenpaineen avulla voi laskea intensiteettitaso L tai äänenpainetaso P :

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (1)$$

missä

$$I_0 = \text{vertailuintensiteetti } 10^{-12} \text{ W/m}^2 \text{ (ihmisen kuulokynnys)}$$

$$P = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (2)$$

missä

$$P_0 = \text{vertailuäänepaine } 2 * 10^{-5} \text{ Pa}$$

Äänenpaine ja intensiteetti riippuvat toisistaan ja laskukaavat ovat määritelty siten, että äänenpainetaso ja äänen intensiteettitaso ovat aina lukuarvoltaan samat. Tämän vuoksi puhutaan yleisesti äänenpainetasosta riippumatta siitä onko määritelmissä käytetty paineen vai intensiteetin kaavaa. Tasosuureiden L yksikkö on desibeli. (RIL 243-1-2007, 36, 42)

Äänenpainetaso L_p eli äänitaso kuvaa fyysikaalisen äänenpaineen voimakkuutta. Ihmisen kuuloaisti ei kuitenkaan ole yhtä herkkä koko taajuusalueella. Herkimmillään kuulo on taajuusalueella 2000 - 5000 Hz; tämän alueen molemmilla puolilla kuulon herkkyys alenee. Kuuloaistin herkkyys on otettu huomioon A-painotuksella, jolloin matalat ja korkeat taajuudet ovat vaimennettuina. C-painotuksessa ihmisen kuuloa ei oteta huomioon vaan ääni on tasaista kaikilla äänentaajuuksilla.

(RIL 243-1-2007, 39)

Ihmisen kuulo on logaritminen. Tällöin ihminen kokee äänenpaineen kymmenkertaistuminen samalla tavalla kuin desibelit nousevat asteikolla. Tällöin desibeliä on hyvä käyttää äänitasoja mitattaessa. Meluakustiikassa tasot saadaan käyttämällä kansainvälisesti sovittuja vertailuarvoja. Beli on 10 desibeliä ja tästä johtuen desibeli määritellään seuraavasti: (Björk 1997, 46)

$$D = 10 * \log A/B \quad (3)$$

missä

$A =$ kuvattavan suureen arvo

$B =$ referenssiarvo eli kansainvälisesti sovittu vertailuarvo

Desibeliarvojen yhteenlaskua ei voi tehdä yksinkertaisesti, kun kyse on energioiden tai äänenpaineiden summaamisesta. Yhteenlasku on tehtävä muuttamalla tasosuure ensin energiasuureeksi. Tästä johtuen äänienergian kaksinkertaistuminen tietää 3dB:n nousua tasosuureessa. (Björk 1997, 47)

Ääntä mitatessa suurin osa melua koskevista määräyksistä, ohjeista ja suosituksista koskee ekvivalenttiäänitasoa eli keskiäänitasoa. Tämä tarkoittaa äänitason aikakeskiarvoa.

2.2 Melu

Meluksi luokitellaan ääni, joka on ihmiselle haitallista tai sellaista, jota ei haluaisi kuunnella. Tähän kuuluu siis esimerkiksi hyvä musiikki, joka on liian kovalla ja on haitaksi kuuloelimille, vaikka se henkilön mielestä olisikin nautinnollisen kuulosta. Melu on tilannesidonnaista. Se on usein riippuvainen kuulijan henkilökohtaisista tuntemuksista, kuten asenteista, sen hetkisestä psyykkisestä olotilasta, sekä aikaisemmista kokemuksista. Ääni itsessään on pelkkä fysikaalinen käsite, mutta melu saa aikaan hieman negatiivista sävyä. Melua voidaan kokea erilaisissa paikoissa. On esimerkiksi ympäristömelua asuinympäristössä, työpaikkamelua, yhdyskuntamelua jne. Monesti korkeat äänet, vaikka ne tulisivat samalla äänenvoimakkuudella kuin matalat äänet, niin ne koetaan enemmän haitallisena äänenä. Myös ne äänet, mitkä ovat samoilla taajuuksilla normaalin puheäänien kanssa, koetaan ärsyttävinä, sillä tällöin puheääntä joudutaan korottamaan esimerkiksi normaalissa kahvipöytäkeskustelussa. Työssäkäyvälle ihmiselle suurin sallittu henkilökohtainen melulle altistuminen on 85 dB. (Björk 1997, 18, 39;RIL 243-4-2011 9-17; Hongisto 1.11.2010, 198-218)

Taulukosta 1. näkyy miten paljon desibelejä tarvitaan siihen, että kuulovauriolle saattaa altistua tiettyä aikana. Taulukosta voi katsoa siis millaista melua työpaikalla voi olla 8h päivän ajan ilman että kuulo vaurioituisi. Melutasot ovat muuttuneet vuosien varrella ja tulevat muuttumaan tulevaisuudessakin. Lisää melurajoista on mm. työsuojelupiirin, sekä työterveyslaitoksen internet sivuilla.

Taulukko 1. Suurimmat sallitut oleskeluajat eri melutasoissa päivää kohti (Ylikoski ja Strack 2009)

Melutaso	Aika
85 dB	8 h
88 dB	4 h
91 dB	2 h
94 dB	1 h
97 dB	30 min
100 dB	15 min

2.3 Ääneneristys ja absorptio

Ääneneristys ja absorptio sotketaan helposti toisiinsa, mutta termit halutaan pitää meluntorjunnassa erillään, koska niillä hallitaan kahta täysin eri asiaa. Ääneneristystä käytetään, kun halutaan estää äänen kuulumista huoneesta toiseen. Ääneneristyksellä tarkoitetaan äänienergian siirtymisen estämistä paikasta toiseen. Rakenteen ääneneristävyys R määritellään kaavalla:

$$R = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (4)$$

missä

R = eristävyys desibeleinä

P_1 = rakenteeseen kohdistuva ääniteho

P_2 = rakenteen läpäissyt ääniteho.

Myös ääniaallon tulokulma ja taajuus vaikuttavat seinän eristävyteen. Yleisesti oletetaan kuitenkin mittauksissa, että ääni tulee seinään satunnaisesti eri suunnista. Rakennusten ääneneristävyys määräytyy siitä kuinka hyvin ilmaääni pääsee siirtymään runkoääneksi tai kanavaääneksi rakenteisiin ja rakenteista takaisin ilmaääneksi huonetilaan. Se, kuinka voimakkaana ääni tulee huoneesta toiseen riippuu lähinnä huoneiden kaikuisuudesta, äänilähteen tehosta, huoneiden absorptiosta, äänilähteen etäisyydestä seinästä, huoneita erottavan seinän pinta-alasta, seinärakenteen ääneneristävydestä sekä runkoäänen eristyksestä ja vaimennuksesta (Hongisto 2010 16-18).

Äänen absorptiota käytetään hyväksi, kun halutaan vaimentaa huonetilan sisällä syntynyttä ääntä ja vähentää kaiuntaa. Äänen absorptiosuhde voi olla 0 ... 0,99. Absorptiosuhde riippuu taajuudesta. Parhailla kaupallisilla absorptiomateriaaleilla voi tietyillä taajuuksilla päästä jopa 0,96 arvoon, jolloin heijastunut energia on liki 20 dB pintaan osunutta energiaa pienempi. Absorptiossa on kysymys huomattavasti lievemmistä tehohäviöistä kuin ilmaääneneristävyudessa. Äänen absorptiosuhde \propto määritellään kaavana seuraavasti:

$$\alpha = \frac{(W_i - W_r)}{W_i} \quad (5)$$

missä

W_i = rakenteeseen kohdistunut äänienergia

W_r = rakenteesta heijastunut energia

α = äänen absorptiosuhde

(Hongisto 2010, 16-17; RIL 234-1-2007, 46-49)

2.4 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika T kertoo kuinka nopeasti äänilähteen synnyttämä äänenpainetaso laskee 60 dB kun äänilähde on sammutettu. Jälkikaiunta-aika voidaan määrittää tietyssä tilassa voimakkaalla äänilähteellä niin, että äänilähde sammutetaan äkillisesti ja äänenpaineen laskuun kuluva aika mitataan. Mitä lyhyempi jälkikaiunta-aika on, sitä paremmin puheesta saa selvää, koska puheen tavut vaimenevat nopeammin. Varsinkin tiloissa, joissa keskustellaan, on tärkeää että jälkikaiunta-aika olisi pieni, jotta puhe olisi ymmärrettävämpää. Sabinen kaavan (kaava 6) mukaan huoneen tilavuudella ja absorptioalalla on yhteys: (RIL 243-1-2007, 50; Hongisto 2010, 19):

$$T = 0,16 \left(\frac{V}{A} \right) \quad (6)$$

missä

T = jälkikaiunta-aika

V = huoneen tilavuus [m^3]

A = absorptioala

(RIL 243-1-2007, 50)

Käytännössä huoneissa voi olla mitä tahansa materiaaleja. Kaavassa 6 esiintyvä absorptioala A saadaan laskemalla huoneen pinnoilla olevien materiaalien absorptiokertoimella α_i kerrottuna niiden pinta-alalla S_i [m^2] (kaava 7). Täten on laskettava

huoneen jokaisen pinnan absorptioalojen summa. Seuraavassa taulukossa on esitetty erilaisia absorptiokertoimia eri materiaaleille eri taajuuksilla. Oletuksena on, että mitä pehmeämpää materiaalia tilassa on, sitä paremmin tila absorpoo ääntä. Kovapintaiset materiaalit taas heijastavat ääntä takaisin pinnoistaan ja näin ollen ovat haitaksi äänen absorpoinnille, sillä jälkikaiunta-aika pitenee, eikä ääni häviä tilasta minnekään.

Taulukko 2. Materiaalien absorptiokertoimia äänen eri taajuuksilla. Absorptiokertoimia on saatu materiaaleista testaamalla niitä laboratorio-olosuhteissa. Näitä kertoimia voi siis käyttää kaavassa 7. (Björk 1997, 80)

Materiaali	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Ilma, α	0	0	0	0,003	0,007	0,002
Akustiikkalevy	0,15	0,3	0,75	0,85	0,75	0,4
Rappaus	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05
Kivilattia	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05
Puulattia	0,15	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Kokolattimatto	0,1	0,15	0,25	0,3	0,3	0,3
Tiiliseinä	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Verhot	0,05	0,12	0,15	0,27	0,37	0,5
Ihminen, α'	0,12	0,4	0,46	0,46	0,37	0,5

(Lisää absorptiokertoimia akustointimateriaaleista Parocin kotisivuilta)

Kaavamuodossa absorptioalat A saadaan seuraavasti:

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n \quad (7)$$

missä

A = absorptioala

α = absorptiokerroin

S = absorboivan pinnan pinta-ala

Yleisimmin huoneakustiikan vaatimukset on annettu juuri jälkikaiunta-ajan T arvolle. Edellä mainittua Sabinen kaavaa täten voidaan käyttää kääntäen hyväksi, jos tiedetään tavoitteellinen jälkikaiunta-aika.

Sabinen kaavaa voidaan soveltaa suurimpaan osaan tiloista riittävällä tarkkuudella. Epätarkkuutta antavat mm. tilat, jotka ovat laajoja ja absorboivia, kuten kirjasto. Myös epätarkkuutta kaavaan tuo tila, jossa vain tietty pinta on absorpoitu ja muut absorpoimattomia. Taulukossa 3 on esitetty esimerkkejä 500 Hz:n taajuuksilla absorptio ajalle:

Taulukko 3. 500 Hz jälkikaiunta-aikoja erilaisissa tiloissa. (RIL 234-1-2007, 50)

Jälkikaiunta-aika	Esimerkki tilasta
> 5s	Kivikirkko tyhjänä
2s ... 3s	Suuri aula, ei vaimennustiloja
1,8s ... 2,2s	Konserttisali
1,5s	Kalustamaton makuuhuone
1,0s ... 1,2s	Teatteri, auditoria
0,5s ... 0,8s	Hyvin suunniteltu luokkahuone
0,5s	Kalustettu makuuhuone
0,3s ... 0,8s	Elokuvateatteri, tilavuudesta riippuen
0,2s ... 0,3s	Äänitarkkaamo, tilavuudesta riippuen

Taulukko 4. Suositukset sisäliikuntatiloihin jälkikaiunta-ajalle (RIL 243-2-2007, 59)

Suure	Luokat A ja B	Luokka C
Liikuntatilan korkeus alle 5m	< 1,1 s	< 1,5 s
Liikuntatilan korkeus yli 5m	< 1,3 s	< 1,9 s

2.5 Ilmaääneneristys

Ilmaääneneristävyyden R mittaaminen on tarkinta laboratorio-olosuhteissa. Tässä työssä mittaukset kuitenkin tehtiin kenttäolosuhteissa, joten ilmaääneneristävyyden symbolina on R' joka on vastaava kuin R mutta halutaan erottaa selvästi toisistaan tällä pilkulla sillä tulokset eroavat toisistaan. Rakennuksissa ääni ei liiku pelkästään mitattavan aukon kohdalta, kuten sen halutessaan voi järjestää laboratorio olosuhteissa.

Kenttäolosuhteissa ääni kulkeutuu lähetyshuoneesta haluttuun vastaanottohuoneeseen monia eri reittejä, kuten kattoa, lattiaa ja seiniä pitkin. Kuitenkin kenttätutkimuksessakin käytetään kaavassa 7 esiintyvää kahden eri tilan välissä olevan rakenteen erottavaa pinta-alaa S sitä pinta-alaa, joka on yhteinen molemmille tiloille. (RIL 243-1-2007, 64)

Ilmääneneristävyys R ja R' saadaan kaavalla:
(RIL 243-1-2007, 58-59; ISO 717-1)

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A_2} \quad (8)$$

missä

$L_1 =$ lähetyshuoneen äänenpainetaso [dB]

$L_2 =$ vastaanottohuoneen äänenpainetaso [dB]

$S =$ tiloja erottavan rakennusosan pinta-ala [m^2]

$A_2 =$ vastaanottohuoneen absorptio-ala [m^2 -Sab] (kaava 6)

Jos kaavassa esiintyvä S jää pienemmäksi kuin $10m^2$, käytetään laskennassa arvoa $10m^2$. Ilmääneneristävyyttä R laskiessa tulokset vaihtelevat eri suuruisissa huonetiloissa. Mitä isommaksi huonetila menee niin sitä hajanaisempi tulos saadaan kenttämittauksessa. Keilahallin tilavuus on $3000 m^3$ ja näin ollen tuo epätarkkuutta mittaustulokseen.

2.6 Standardisoitu äänitasoero D_{nT}

Jos kahden tilan välissä ei ole yhtä selvää rakennetta, mikä erottaa huoneet toisistaan, on mahdollisuus käyttää normalisointiin erottavan rakenteen pinta-alan ja tilavuuden sijasta myös jälkikaiunta-aikaa. Tällöin mittaustulos normalisoidaan vertaamalla mitattua jälkikaiunta-aikaa suoraan vertailujälkikaiunta-aikaan T_0 , joka on 0,5 sekuntia (kaavan 9 jälkimmäinen osa ($10 \log_{10} \frac{T}{T_0}$)). Näin määritetty mittaustulos on standardisoitu äänitasoero D_{nT} ja se määritetään kaavalla:
(ISO 140-4, 4)

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} \quad (9)$$

missä

$L_1 =$ lähetyshuoneen äänenpainetaso [dB]

$L_2 =$ vastaanottohuoneen äänenpainetaso [dB]

$T =$ vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika

$T_0 =$ vertailujälkikaiunta-aika [0,5 sek]

Suomessa nykyisin olevat määräykset koskevat ilmaääneneristyslukua R'_w . Euroopan maissa on kuitenkin jo otettu käyttöön standardisoitu äänipainetasoero D_{nT} , koska monien tutkimusten mukaan näin määritetty mittaustulos vastaa paremmin ihmisten kokemaa ilmaääneneristävyyttä. (Rakennusteollisuus RT 2009, 11, 23; ISO 140-4, 4-5)

Äänitasoerolukua laskettaessa käytetään standardoitua vertailumenetelmää. Vertailukäyrää siirretään 1 dB:n portain sellaiseen asemaan, että taajuuskaistoittain mitattujen äänitasoerolukujen poikkeamien summa on enintään 32,0 dB. Kun vertailukäyrä on saatu asetettua ylimpään mahdolliseen asemaan standardisoitu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ sadaan siirretyltä vertailukäyrältä 500 Hz taajuudelta. Tässä tutkimuksissa mittaukset on tehty identtisesti ennen äänieristysverhoa ja äänieristysverhon asennuksen jälkeen, joten on perusteltua, että tarkkuus säilyy vaikka käytetäänkin desimaaleja portaitten nostossa.

(Rakennusteollisuus 2009, 9-11; ISO 717-1, 15-21)

3 Aineisto ja tutkimusmenetelmät

Mittauskohteena on melunmittauksen kannalta vaativa kohde. Keilahallin seinät ovat betonia ja tila on avara (taulukko 5; liite 5). Suuren jännevälän vuoksi alaslasketun katon yläpuolella on vielä 3 m tyhjää tilaa ylöspäin palkkien välissä. Tämän vuoksi halliin syntynyt ääni pääsee tähän kyseiseen tilaan helposti, sillä alaslaskettu katto on reikälevy. Alaslasketun katon yläpuolellakin on vain kovaa betonia, joten ääni ei pääse absorpoitumaan tähän tilaan. Keilahallissa pehmyttä absorpivaa materiaalia ovat vain

sohvat. Keilakoneitten puolella on katossa eristeitä roikkumassa, sekä uusi äänieristysverho tuo uutta absorptiopinta-alaa tilaan (taulukko 6).

Taulukko 5. Keilahallin mitat

Keilahallin mitat [m]	
korkeus	3,5
leveys	29,1
pituus	22
tilavuus	2240 m ³
Keilakonehuoneen mitat [m]	
korkeus	3,5
leveys	29,1
pituus	5
tilavuus	509 m ³

Taulukko 6. Keilahallissa ja keilakonehuoneessa olevat absorboivat pinnat:

Materiaali	pinta-ala [m ²]
Keilahalli:	
betoni(seinät)	154
laminaatti(lattia)	638
rakennuslevy(katto)	638
sohvat	40
Keilakonehuone:	
katto eristeet	13
äänieristysverho	84
betoni(seinät)	124,5
rakennuslevy(katto)	145

Melumittauksiin käytettiin Norsonic nor140 Mittalaitetta, joka pystyy mittaamaan äänenvoimakkuuden äänen eri taajuuksilla. Sama laite kykenee myös mittaamaan tilan jälkikaiunta-ajan, sekä pystyy laskemaan kahden eri tilan välisen seinän tai eristeen ääneneristävyyskyvyn.



Kuva 2. Norsonic nor140 äänimittari

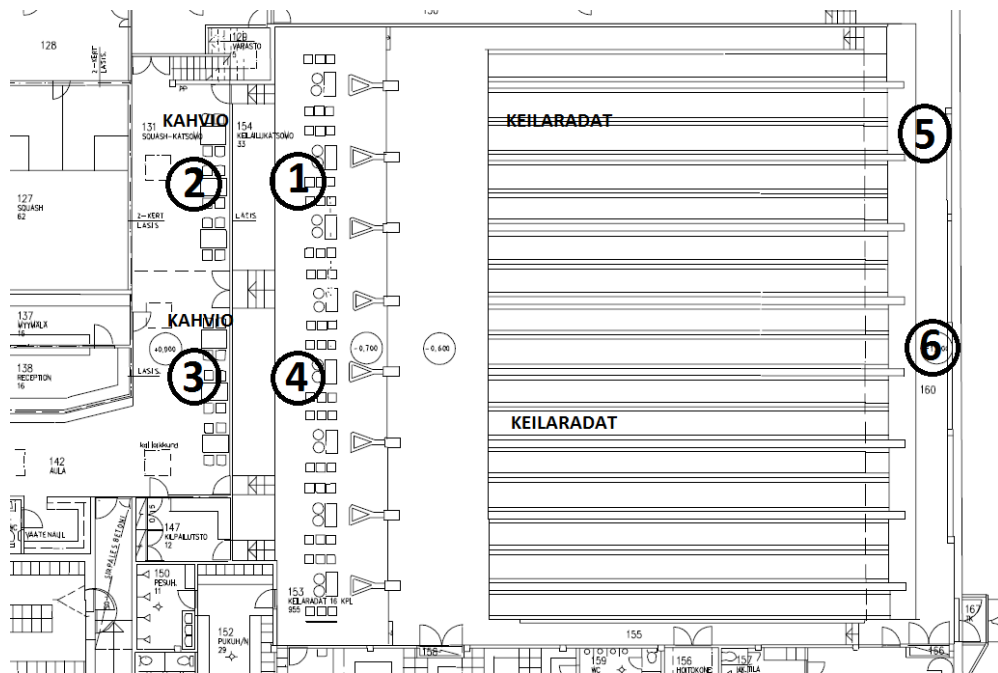
Mittarista on tarkempia tietoja saatavana valmistajan kotisivuilta.

3.1 Melunmittaukset keilahallista

Melunmittauksia suoritettiin kuntokeitaalla Joensuussa kolme kertaa. Ensimmäisellä kerralla tehtiin pelkästään desibelimittaus hallin eri osista. Toinen ja kolmas kerta keskittyivät tarkemmin keilakonehuoneen ja keilahallin väliseen väliseinään, sekä jälkikaiunta-aikaan.

3.1.1 Ensimmäinen mittauskerta

Ensimmäisellä kerralla melu mitattiin, kun hallissa oli kaikilla 16 radalla keilaajia. Tällöin saatiin heti realistinen kuva millaista melua keilahallista enimmillään lähtee. Keilaajia oli kaikenkaikkiaan 52. Mittauspisteitä oli 6 kappaletta (kuva 3). Keilaajien takaa 2 (mittauspisteet 1 ja 4) kappaletta huoneen keskeltä ja reunasta, sekä samoista kohdista kahvioon päin 2 kappaletta (mittauspisteet 2 ja 3). Viimeiset 2 otettiin konehuoneesta ratojen takaa (mittauspisteet 5 ja 6). Keilakonehuoneessa sijaitsevat äänekkäät keilakoneet. Jokaisen mittauksen kesto oli 120 sekuntia, jolloin mittari mittasi melua keilahallista ja antoi jokaiselle taajuudelle keskiarvon äänenvoimakkuuksista. Tällöin saatiin tarkempi tulos, koska melun aiheuttajana oli ihmisiä ja satunnaisia kolahduksia keilaradalta.



Kuva 3. Mittauspisteet

3.1.2 Toinen ja kolmas mittauskerta

Toinen ja kolmas mittauskerta suoritettiin kahdessa vaiheessa ja molemmat täysin samalla tavalla. Toisella kerralla mittaustilanteessa ei ollut asennettuna ääneneristysverhoa (liite 1) vaan väliseinänä toimi pelkkä kangasmaski. Kolmannessa mittauksessa ääneneristysverho oli jo asennettuna paikoilleen. Tällöin havaittiin millä tavalla äänieristys toimi. Mittaustilanteessa halli oli tyhjillään ja ääntä tuotettiin kolmesta isosta kaiuttimesta koneellisesti. Kaiuttimet sijaitsivat mittauspisteiden 2 oikealla puolella kuvasta 4 katsottuna ja tuottivat ääntä vasemmalle keilahallia kohti. Äänenä käytettiin tasaista vaaleanpunaista kohinaa (liite 2), joka lähettää kovaa ääntä eri taajuuksilla, jotta mittalaitteisto havaitsee tämän helposti.

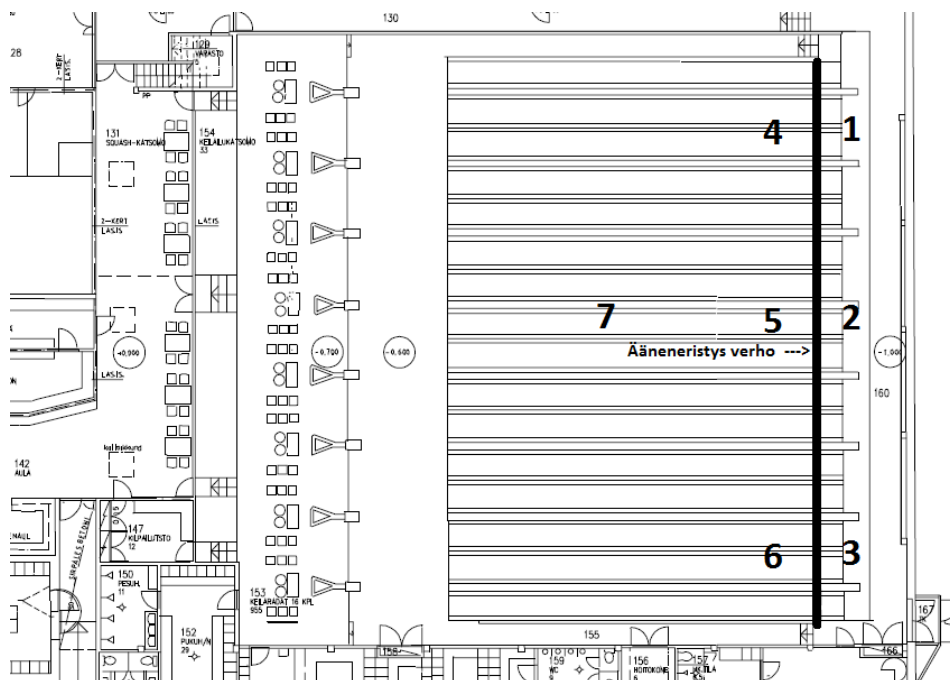
Mittaus kesti 15 sekuntia. Tämän ajan kaiuttimista lähti tasaista kovaa vaaleanpunaista kohinaa mp3-soittimen kautta. Äänimittari otti tänä aikana mittauksen talteen. Kolmesta mittauksesta, jotka olivat konehuoneen, puolelta saatiin yksi ekvivalentti äänitaso. Neljä mittausta, jotka tehtiin keilahallin puolelta, saatiin toinen ekvivalentti äänitaso. Näitä kahta lukua pystyttiin vertailemaan. Melumittari antoi lukeman siitä, kuinka paljon 'väliseinä' eristi äänitasoa konehuoneen ja keilahallin välissä ennen verhoa ja verhon asennuksen jälkeen.

Taustamelu todettiin mittauksissa vähäiseksi, joten sitä ei tarvitse ottaa laskuissa huomioon. Mittaus tehtiin kolmesta paikasta keilakoneiston luota (mittauspisteet 1,2 ja 3) ja neljästä paikasta keilahallin puolelta (mittauspisteet 4,5,6 ja 7) (Kuva 4).

3.1.3 Jälkikaiunta-ajan mittaus

Keilahallin puolelta otettiin myös jälkikaiunta-ajan mittaus samaisen äänilähteen avulla toisella ja kolmannella mittauskerralla. Tällöin äänilähteet antoivat kovaa ääntä ja äänen tulo katkaistiin äkillisesti, jolloin mittari mittasi jälkikaiunta-ajan. Jälkikaiunta-aika otettiin kolmesta eri paikasta keilahallin puolelta (mittauspisteet 5,6,7).

Viimeisellä mittauskerralla jälkikaiunta-aika äänieristysverhon asennuksen jälkeen tuntui kasvavan keilahallin puolella ja päätimme ottaa jälkikaiunta-ajan alaslasketun katon yläpuolelta palkkien välistä ja tarkastimme millaisia lukemia sinne tuli (mittauspiste 6 kohdalta kuvasta 6, mutta alaslasketun katon yläpuolelta). Tällöin havaitsimme millainen apu katossa olevista reikälevyistä on ääneen.



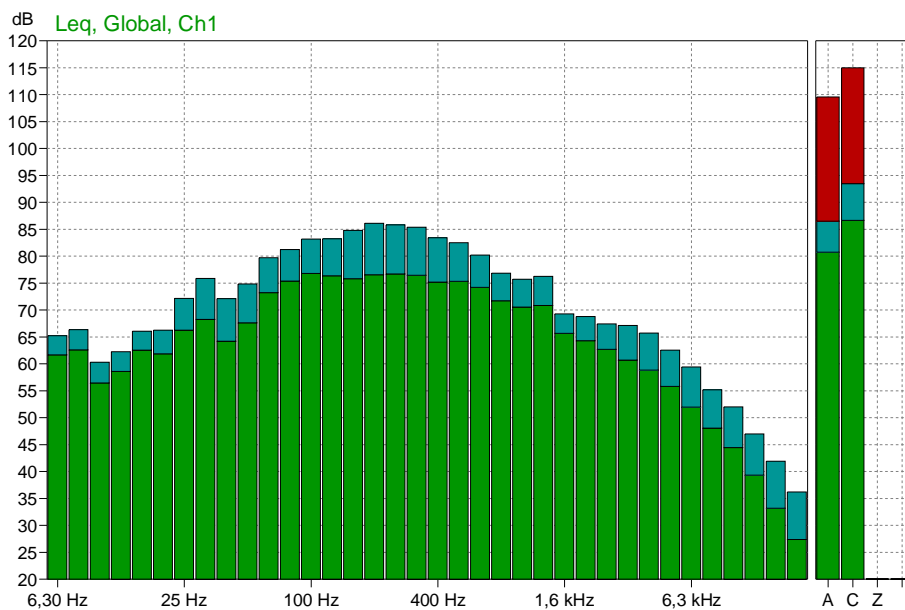
Kuva 4. mittauspisteet 2. ja 3. mittauksista sekä jälkikaiunta-ajasta

4 Mittaustulokset

4.1 Ensimmäinen mittauskerta

Kuva 5 on melumittarin antama mittaustulos. Mittaushetkellä keilaradat olivat täynnä keilaajia ja hallissa oli kaikki radat käynnissä (Mittaustapahtuma otsikon 3.1.1 alla). Vasemmalla kuvassa näkyy minkä verran on ollut mittaushetkellä desibelejä ja alhaalla näkyy äänen taajuus hertseinä. Oikealla kuvassa sarakkeessa näkyy A kohdassa ihmisen kuuloaistia vastaava desibelilukema dBA, jolla mitataan ihmisen kuulon ja kuulovaurion kannalta melua. C kohdassa näkyy impulssi melun mittaus (työterveyslaitoksen kotisivut) johon tässä työssä ei keskitytty. Tässä mittauksessa keskitytään A-painotukseen, koska tutkimuksen tavoitteena on saada ihmiskorvalle miellyttävämmät olosuhteet keilahalliin.

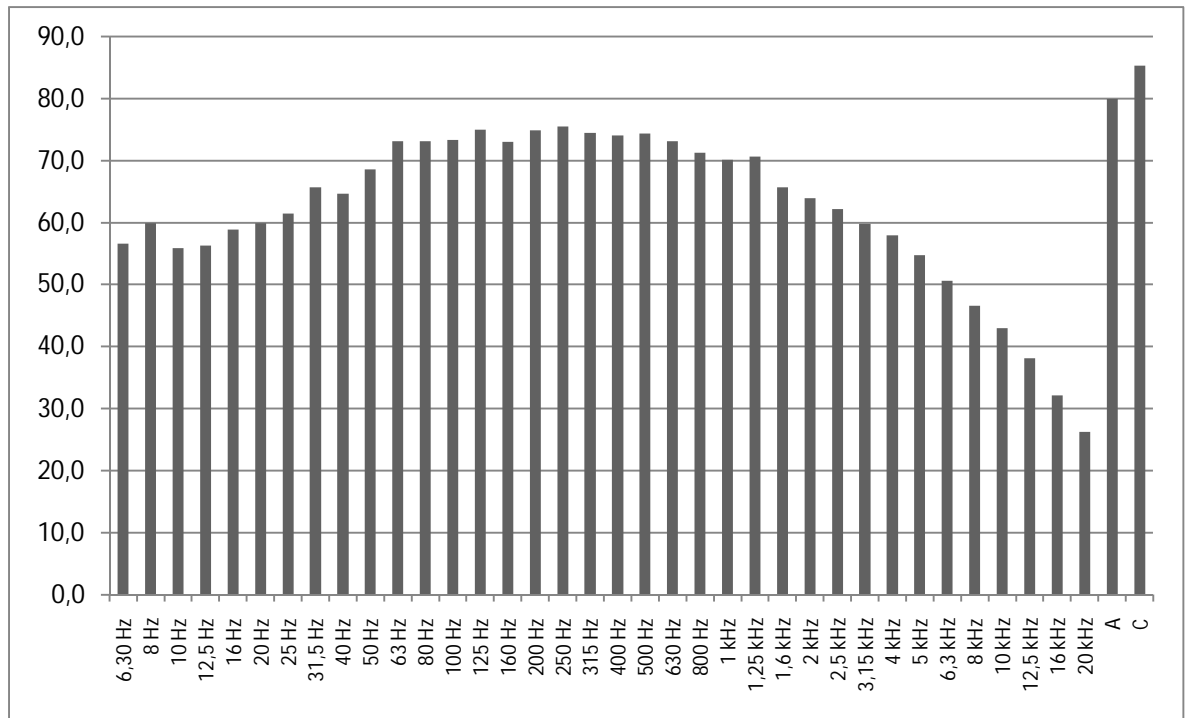
Esimerkkinä mittaustuloksesta otetaan 400 herzin kohta. Tästä näkee että 2 minuutin mittauksen keskiarvoinen melu on mittauksen aikana. Vihreällä värillä näkyy keskiarvo melusta mitattuna aikana L_{eq} , joka on ollut 75 dB ja maksimi missä desibeli lukema on käynyt mittauksen aikana sinisellä eli L_{peak} on 84 dB.



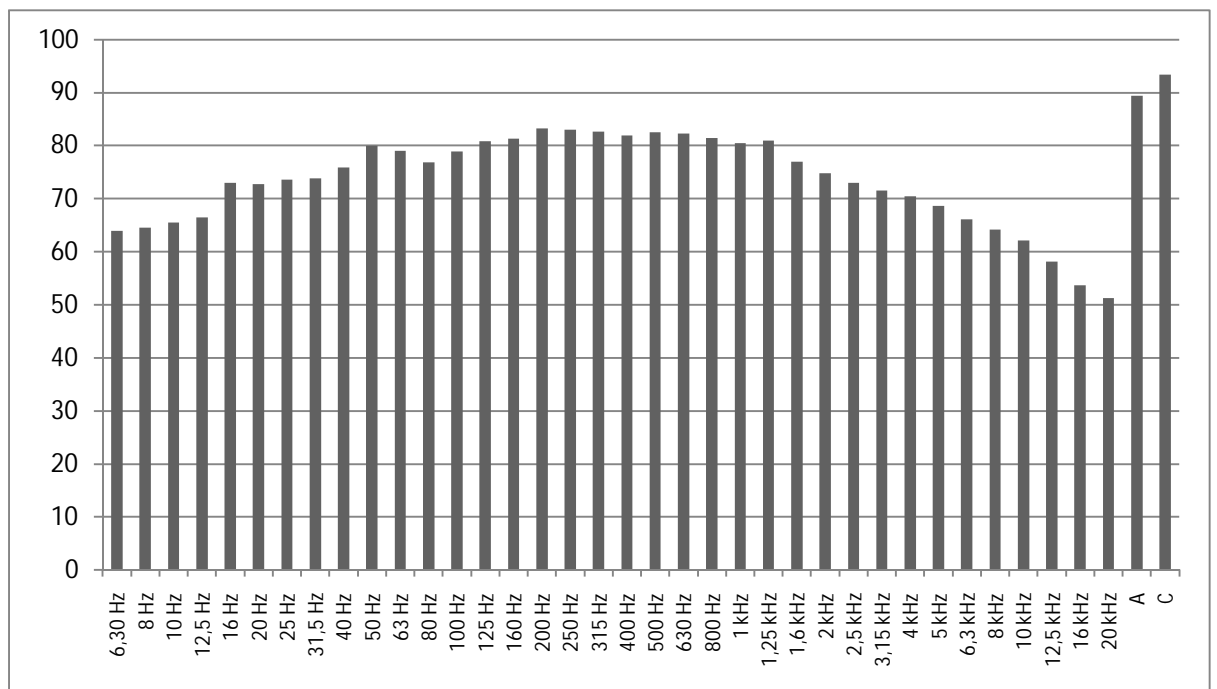
Kuva 5.

Kaikki ensimmäisen kerran melumittaustulokset näkyvät liitteessä 3

Kuvat 6 ja 7 ovat ekvivalenttitasot keilahallista äärimmillään. Kuvassa 6 on desibelilukemat hallin puolelta, kun radat olivat täynnä ihmisiä ja kuvassa 7 on desibeli lukemat keilakoneitten takaa.



Kuva 6. keskiarvomelu kahviosta ja keilauspaikalta (mittauspisteet 1,2,3 ja 4):



Kuva 7. keskiarvomelu keilakonehuoneesta (mittauspisteet 5 ja 6):

4.2 Mittaus ennen äänieristysverhon asennusta ja sen jälkeen

Mittaustilanteessa ääni tuotettiin koneellisesti kaiuttimista. Mittari mittasi ilmaääneneristävyydeksi $R'_{w1} = 5,1$ dB ennen maton asennusta ja $R'_{w2} = 7,3$ dB maton asennuksen jälkeen. Liitteen 6, taulukossa 3 näkyy mittarin antama tulos R'_{w1} ja R'_{w2} kaikilla äänen taajuuksilla.

$R'_{w2\text{kok}} - R'_{w1\text{kok}} = 7,3 - 5,1 = \underline{2,2}$ dB eli ääneneristysverho auttoi pienentämään keilakonehuoneen melua keilahallin puolelle 2,2 dB.

Tässä tutkimuksessa käytettiin suurille tiloille paremmin soveltuvaa standardisoitua äänitasoeroa D_{Tn} (kaava 9).

Taulukko 7. Mittaustulokset standardisoidulla äänitasoerolla D_{Tn}

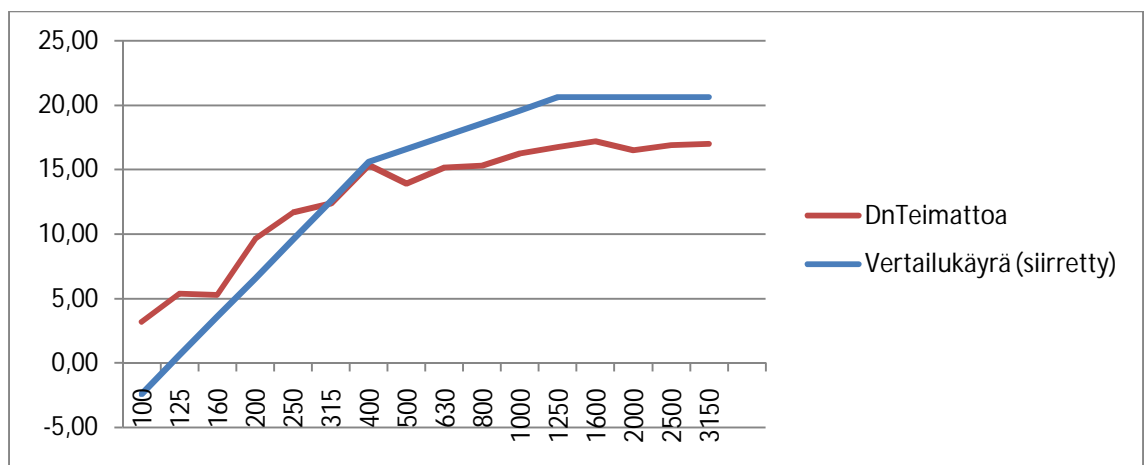
[Hz]	$D_{nT\text{eimattoa}}[\text{dB}]$	$D_{nT\text{matolla}}[\text{dB}]$	$D_{nT\text{matolla}} - D_{nT\text{eimattoa}}$
100	3,20	11,85	8,65
125	5,39	7,22	1,82
160	5,29	8,68	3,39
200	9,66	9,31	-0,36
250	11,71	9,46	-2,25
315	12,38	14,19	1,81
400	15,35	16,60	1,25
500	13,91	16,21	2,30
630	15,16	18,42	3,26
800	15,29	18,41	3,12
1000	16,24	18,73	2,49
1250	16,76	17,92	1,15
1600	17,18	19,54	2,36
2000	16,50	19,41	2,91
2500	16,88	19,98	3,10
3150	16,98	20,45	3,47

Taulukosta 7 oikean puoleisesta sarakkeesta näkee kuinka paljon normalisoitunut äänitasoero on kasvanut maton asennuksen jälkeen. Varsinkin puheen ymmärtämisen kannalta tärkeillä taajuuksilla, edellä mainittu muutos on merkittävä.

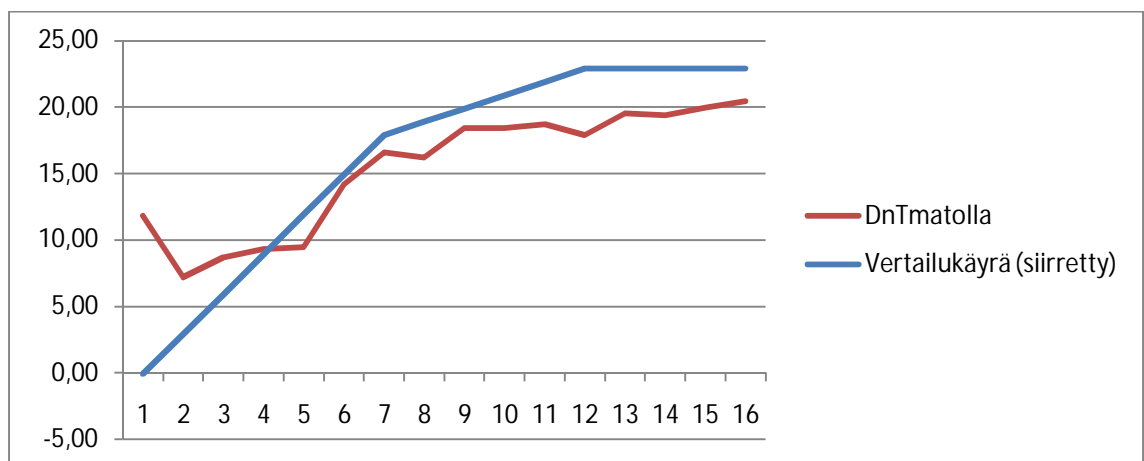
4.3 Ääneneristysverhon apu keilakonehuoneen meluun

Kun oli saatu selville D_{Tn} , voitiin ruveta selvittämään käyttämällä standardisoitua vertailumenetelmää äänitasoeroluku $D_{Tn,w}$. Siirtolukuna ilman mattoa käytettiin 35,4 ja maton kanssa 33,1. Äänitasoeroluvuksi saatiin 500 Hz taajuudella näin ollen $D_{Tn,w1} = 16,6$ dB ilman äänieristysverhoa ja $D_{Tn,w2} = 18,9$ dB äänieristysverhon kanssa.

$$D_{Tn,w2} - D_{Tn,w1} = 18,9 \text{ dB} - 16,6 \text{ dB} = \underline{2,3 \text{ dB}}$$



Kuva 8. $D_{Tn,w1}$ arvot ennen maton asentamista. Siirtolukuna käytettiin 35,4. (Rakennusteollisuus 2009, 9-11;ISO 717-1, 15-21.)



Kuva 9. $D_{Tn,w2}$ arvot maton asentamisen jälkeen. Siirtolukuna käytettiin 33,1.



Kuva 10. $D_{Tn,w1}$ ja $D_{Tn,w1}$ ovat vertailussa keskenään.

Matto toimii hyvin melkein kaikilla äänentaajuuksilla. 200 ja 250 Hz kohdalla matalat äänet tuntuvat pääsevän keilahallin puolelle, mutta suurimmaksi osaksi puheen taajuuksilla matto on toimiva. Maton asentamisella oli näin ollen toivottu lopputulos.

4.4 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-ajat mitattiin ennen äänieristysverhon asentamista ja asentamisen jälkeen. Jälkikaiunta-aika mitattiin vain keilahallin puolelta, koska täällä jälkikaiunta-ajalla on tärkeämpi rooli puheen ymmärrettävyyden kannalta. Ensimmäisellä kerralla mittasimme jälkikaiunta-ajan T1 keilahallin puolelta. Toisella mittauskerralla otimme jälkikaiunta-ajan samoilta kohdilta hallin puolelta. Mitattuamme tämän totesimme, että muutosta ei juuri tapahtunut ja joissain tapauksissa jälkikaiunta-ajat jopa lisääntyivät verhon laiton jälkeen. Otimme tämän vuoksi vielä yhden jälkikaiunta-ajat alaslasketun katon yläpuolelta T_{katto} .

Taulukko 8. jälkikaiunta ajat ennen verhoa ja verhon laiton jälkeen

Taajuus	T1	T2	T2-T1	T katto
[Hz]	[s]	[s]	[s]	[s]
50	1,39	0,95	-0,44	
63	1,07	0,90	-0,17	1,21
80	1,26	1,10	-0,16	
100	1,51	1,36	-0,15	
125	1,44	1,29	-0,15	1,26
160	1,17	1,34	0,17	
200	1,43	1,62	0,19	
250	1,38	1,43	0,05	1,59
315	1,47	1,73	0,26	
400	1,46	1,51	0,05	
500	1,38	1,48	0,10	1,5
630	1,43	1,59	0,16	
800	1,44	1,38	-0,06	
1000	1,39	1,42	0,03	1,3
1250	1,43	1,32	-0,11	
1600	1,37	1,56	0,19	
2000	1,51	1,48	-0,03	1,3
2500	1,34	1,34	0,00	
3150	1,25	1,27	0,02	
4000	1,13	1,24	0,11	1,1
5000	0,96	1,00	0,04	0,8

Taulukosta 8 näkee, että äänieristysverhosta ei ollut apua keilahallin jälkikaiunta-aikaan. Joissain tapauksissa jälkikaiunta-aika jopa lisääntyi. Tämä luultavasti siksi, että keilahalliin päässyt ääni ei enää pääse takaisin keilakonehuoneen pehmeisiin materiaaleihin, vaan jää kaikumaan keilahallin kovapintaisiin materiaaleihin. Jälkikaiunta-ajat ala lasketun katon yläpuolella ovat myös suuret. Tästä voi päätellä, että keilahallin melu pääsee vapaasti kulkeutumaan kattorakenteisiin. Kattorakenteissa on tyhjää tilaa n. 2 metriä ja tämä olisi hyvä paikka absorboida melu.

5 Yhteenveto

Mittaustuloksista näkee, että keilahallissa oleva melutaso on korkealla kun paljon ihmisiä keilaa samanaikaisesti. Voi huomata, että äänitasot ovat yli 70dB melkein kaikilla äänentaajuuksilla. Tämä on häiritsevää normaalille kahvipöytäkeskustelulle ja tähän toivoisi muutosta. Yli 50 ihmisen ryhmän keilatessa on kuitenkin mahdotonta saada tarkkoja mittaustuloksia, mutta havaittiin, että keilahalli tarvitsee melunvaimennusta.

Keilakonehuoneesta otetusta melumittauksesta huomaa, että täällä vallitsee korkeat melutasot. Tämän vuoksi olisi hyvä saada melu pysymäänkin konehuoneessa, koska siellä se ei olisi häiritsevää. Tähän pulmaan oli jo hankittu valmiiksi ääneneristysverho, joka mittausten mukaan vaimentaa keilahallin melua 2,3 dB. Tämä tarkoittaa, että äänieristysverho melkein puolittaa äänen tehon konehuoneesta keilahallin puolelle. Keilahalli ja kahvio tosin jäivät kaikuisiksi ja jälkikaiunta-ajat jopa lisääntyivät. Varsinkin alas lasketun katon yläpuolella oli korkeita jälkikaiunta-aikoja. Tämä siksi, että keilahallin puolelle tuleva ääni ei enään pääsekään keilakonehuoneessa oleviin pehmeisiin äänieristyksiin, vaan jää kimpoilemaan keilahallin puolella oleviin kovapintaisiin materiaaleihin. Samalla todettiin, että alaslasketun katon yläpuolella on vapaata tilaa äänieristää keilahallin melua.

Mittaus suoritettiin standardisoidun äänitasoeron D_{Tn} mukaan. Lopputuloksen kannalta ei ollut kuitenkaan merkitystä laskettiin arvot äänitasoeron D_{Tn} vai ilmaääneneristävyyden R' avulla.

$$D_{Tn,w2} - D_{Tn,w1} = 18,9 \text{ dB} - 16,6 \text{ dB} = \underline{2,3 \text{ dB}}$$

$$R'_{w2kok} - R'_{w1kok} = 7,3 - 5,1 = \underline{2,2 \text{ dB}}$$

6 Mahdolliset parannuskeinot

Jälkikaiunta-ajan pienentämiseksi keilahallin ja kahvion absorptiopinta-aloja olisi lisättävä. Tällä hetkellä pehmeätä eristävää materiaalia on vain keilaajille tarkotetut soivat ja niistä ei synny absorptioalaksi kuin n. 40 m².

Keilahallin seinä ja katto kokonaisuudessaan olisi mahdollista äänieristää paremmin. Jälkikaiunta-ajan mittauksissa todettiin, että keilahallissa syntynyt ääni pääsee alaslasketun katon yläpuolelle vaivatta. Jälkikaiunta-ajat täällä tilassa olivat jopa hieman suuremmat kuin mitä ne olivat hallin puolella. Näin ollen jos alaslasketun katon yläpuolista osaa äänieristäisi, keilahallin puolella oleva melu pienenis.

6.1 Äänenenvaimennusvaihtoehto materiaalikustannuksineen

Seuraavaksi on esitetty laskuesimerkki kuinka keilahallia voisi äänieristää kasvattamalla absorptiopinta-aloja.

Seinäpinta-alaa keilahallissa on 154 m² ja kattopinta-alaa 640 m². Esimerkkinä tulevasta äänieristyksestä otetaan akustiikkalevyjen liimaus sivuseiniin.

Kun tiedetään tilan jälkikaiunta-aika ja tilavuus voidaan laskea nykyinen absorptiopinta-ala keilahallissa (kaava 6). Otetaan esimerkkinä 500 Hz oleva jälkikaiunta-aika. Lisäämällä vaimentavaa materiaalia keilahalliin saadaan absorptioalaa kasvatettua ja näin ollen jälkikaiunta-ajatkin lyhenevät. Lasketaan ensin keilahallin nykyinen absorptioala A (kaava 6) :

$$\text{jälkikaiunta-aika } T = 1,48 \text{ sekuntia}$$

$$\text{keilahallin tilavuus } V = 2240 \text{ m}^3$$

$$A = 0,16 * \left(2240 \text{ m}^3 / 1,48 \text{ s} \right)$$

$$\underline{\underline{= 242,2}}$$

Lisätään tähän absorptioalaan (kaava 7) Parafon aku 30 mm ääneneristys levy (liite 7).
Levyt tulee kiinnittää seinään liiman avulla.

$$\text{absorptiokerroin } \alpha = 0,65$$

$$\text{absorboivan pinnan pinta-ala} = 154 \text{ m}^2$$

$$A = 242,2 + (0,65 * 154)$$

$$\underline{= 342,3}$$

Nyt voi laskea uuden jälkikaiunta-ajan T

$$T = 0,16 * \left(2240 \text{m}^3 / 342,3 \right)$$

$$= 1,05 \text{ sekuntia}$$

Laskelmin on saatu selville tilan uusi absorptiopinta-ala, sekä uudet jälkikaiunta-ajat kun seinille on asennettu Parafon aku 30mm akustiikkalevyjä. Näitä tietoja apuna käyttäen on mahdollista laskea kuinka paljon kyseinen materiaalivalinta vähentäisi melutasoa tilassa.

Taulukko 9. absorptiopinta-alan lisäyksen apu meluun:

Hz	alpha	Tvanha	Tuusi	Muutos [dB]
125	0,4	1,29	1,06	0,87
250	0,8	1,43	0,96	1,74
500	1	1,48	0,90	2,14
1000	1	1,42	0,88	2,07
2000	1	1,48	0,90	2,14
4000	1	1,24	0,81	1,85

Taulukon viimeinen sarake on laskettu normalisoidun äänitasoeron D_{Tn} perusteella. Eli tuloksia on verrattu jälkikaiunta-aikaan $T_0 = 0,5$ sekuntia.

Taulukosta näkee, että sivuseinät peittämällä Parafon aku 30 mm saisi halliin melkein saman verran vaimennusta, kuin mitä keilakoneitten eteen tulleet matot antoivat. Absorptiokertoimet ovat melko suuret kyseisellä äänieristyslevyllä.

Seuraavaksi lasketaan kustannusmenekit materiaaleille:

Parmitex asennusliiman menekki on 0,4 litraa / m² ja hinta 5 €/ litra. Parafon aku 30 mm akustiikkalevy maksaa 17 €/ m².

(materiaalikustannukset parocin kotisivuilta)

$$154 \text{ m}^2 * 0,4 \text{ l} * 5 \text{ €} + 154 \text{ m}^2 * 17 \text{ €} = \underline{2926 \text{ €}}$$

Työmenekkiä ei ole laskettu, mutta näyttäisi että pienellä sijoituksella saisi hyvän ja kannattavan äänenvaimennuksen keilahalliin.

7 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tekeminen oli haasteellista itselleni, sillä en ole aikasemmin opiskellut äänitekniikkaa lainkaan. Uuden oppiminen kokoajan kuitenkin kannusti tekemään työtä tehokkaasti. Äänimaailmaan tutustuminen tuntui mielenkiintoiselta kokemukselta ja tästä on varmasti hyötyä tulevaisuudessakin. Toivon mukaan tästä opinnäytetyöstä olisi hyötyä muillekin äänieristysten ja meluhaittojen parissa työskenteleville.

Opinnäytetyön ohjeet ja kaavat on lähinnä katsottu standardeista, joten tutkimustulokset voi olettaa luotettaviksi. Taulukon 14 tulokset on johdettu standardisoidusta äänitasoerosta D_{Tn} ja olisi mielenkiintoinen nähdä testaamalla miten tällainen teoreettisesti laskukaavoilla toteutettu ääneneristystulos toteutuisi käytännössä.

Mittaustuloksia pyrittiin ottamaan useasta paikasta ja mittausajat olivat riittävän pitkiä. Keilakonehuoneessa ei saatu aikaan aivan kattavaa äänikenttää, vaan joillakin äänentaajuuksilla oli isoja eroja mittauspaikkojen suhteen. Tämä saattoi johtua siitä, että keilakonehuonetta oli jo äänieristetty hieman sekä äänilähde sijaitsi keskellä huonetta ja tämän edestä otettiin yksi tulos. Keilahallin puolelle ääni kantautui tasaisesti ja saatiin yhteneviä mittaustuloksia.

Tavoitteetkin saatiin mielestäni täytettyyn opinnäytetyössä. pystyttiin luotettavin laskelmin toteamaan, että äänieristysverhot tuottivat toivotun lopputuloksen keilakoneiden melulle. Verho oli helppo asentaa ja siitä ei ole haittaa millekään koneen toiminnalle, ei ulkonäöllisesti, eikä keilakoneen huollonkaan kannalta. Opinnäytetyössä onnistuttiin myös antamaan valmiudet lukijalle ja etenkin keilahallin omistajalle miettiä, millä tavalla haluttua tilaa voisi vielä tulevaisuudessa äänieristää, minkä verran se auttaisi jäljellä olevaan meluun ja kuinka paljon tämä maksaisi.

Tähän työhön jatkotutkimuksena voisi enemmän tutkia alaslasketun katon vaikutusta ääneneristävyyteen. Jos keilahalliin tulee lisää ääneneristävyyttä, voisi ensin laskelmin todeta, paljon teoreettisesti melu vaimentuisi ja sen jälkeen tarkastaa mittareilla, että toteutuivatko laskelmat.

Erityinen kiitos avusta opinnäytetyön tekemisessä lehtori Miska Piiraiselle.

Lähdeluettelo

1. Björk, Erkki. Meluntorjunta. Kuopion yliopisto. Ympäristötieteiden laitos. 1997
2. Hongisto, Valtteri. Meluntorjunta. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu. 1.11.2010.
3. ISO 140-4-1998. Akustiikka. Rakennusten ja rakennusosien äänieristävyyden mittaaminen. Osa 4. Huoneiden välisen ilmaäänien eristävyyden kenttämittaukset.
4. ISO 717-1-1996. Akustiikka. Rakennusten ja rakennusosien äänieristävyyden luokitus. Osa 1. Ilmaäänien eristävyys.
5. Norsonic nor140. Melumittari.
<http://www.norsonic.com/index.php?sideID=559&ledd2=379&ledd1=99> [luettu 1.6.2011]
6. Paroc Oy Ab. absorptiokäyrät.
<http://www.paroc.fi/channels/fi/acoustics/products/absorptiokayrat.asp> [luettu 1.6.2011]
7. Paroc Oy Ab. Akustiikka tuotteet ja hinnat.
http://www.paroc.com/SPPS/Akustiikka/Esitteet/Akustiikka_tuoteluettelo_hinnasto_2A.pdf [luettu 1.6.2011]
8. Rakennusteollisuus. Asuinrakennusten äänitekniikan täydentävä suunnitteluohje. Betonikeskus ry. Syyskuu 2009.
9. RIL 243-1-2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry
10. RIL 243-2-2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Oppilaitokset, auditoriot, liikuntatilat ja kirjastot. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry
11. RIL 243-4-2011. Rakennusten akustinen suunnittelu. Teollisuustilat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry
12. Työsuojeluhallinto. Melun säädökset. <http://www.tyosuojelu.fi/fi/melu> [luettu 1.6.2011]
13. Työterveyslaitos. Työympäristön melu.
<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/sivut/default.aspx> [luettu 1.6.2011]
14. Ylikoski, Jukka. Strack, Jukka. Sairauksien ehkäisy.
http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=seh00065. 19.1.2009.
[luettu 1.6.2011]

Liitteet

Liite 1. Maxibell äänieristysverho

Äänieristysverho A10

Maxibell A10 äänieristetty verho

Maxibell A10 on äänieristetty verho, joka on palonestokäsitelty. Saatavilla standardimitoilla, mutta usein mittailaustyönä (L x K) valmistetut verhot soveltuvat parhaiten. Äänieristyskyky 16dB saakka. A10 voidaan varustaa pehmeillä PVC-muovisilla ikkunaruduilla.



Tekniset tiedot

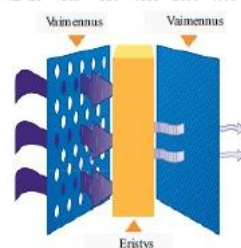
A10	MITAT	TUOTENR.
Sininen	L=1500mm K=2000mm	301007
	L=1500mm K=2500mm	301008
Kelt.	L=1500mm K=2000mm	301009
	L=1500mm K=2500mm	301010
Sin	>1m2	301001
Kelt	>1m2	301003
Ikkuna	Kirkas läpinäkyvä 1160 x 800mm p=2mm	301005
	Kirkas läpinäkyvä 1160 x 1200mm p=2mm	301006

Yleistä

Poimutusvara	Lisää leveyteen arviolta 10%
Ripustusreitit	300 mm välein
Paino	noin 4kg/m ²
Ripustus	S-koukuilla, vetopyörästöillä tai toiveen mukaisesti.
Palonesto	SIS 650 082
Melun vaimennus	16dB (la lab = 20dB)

Äänieristysverho A10 on kuten tavallinen verho, mutta tukevampi (10mm) ja huomattavasti painavampi. Se asennetaan samoin ripustusmenetelmän kuin muutkin suojaverhomallimme. A10 voidaan varustaa asiakaskohtaisesti myös ikkunoin.

Vaimennus- & eristyskyky

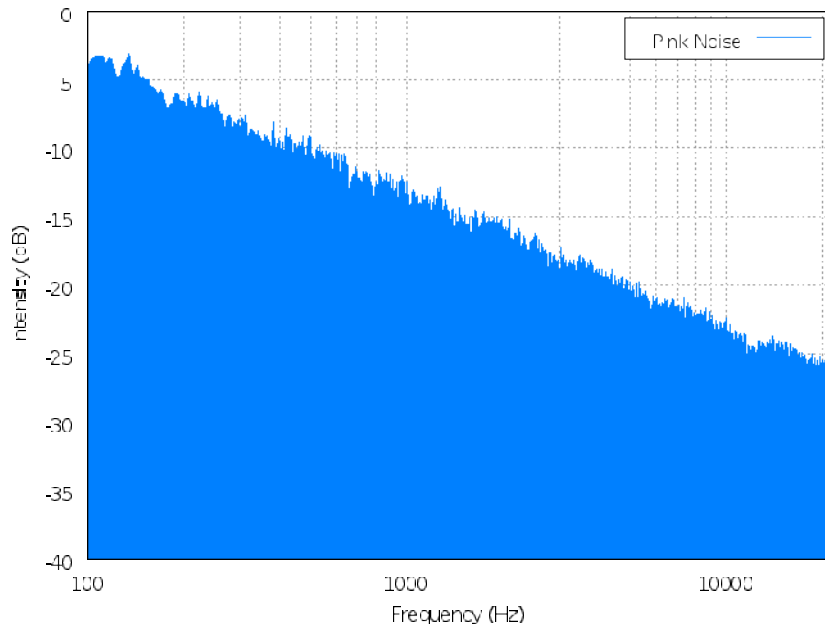


Yhteystiedot:

Tecalemit Työympäristö

Tecalemit Environment Oy
Hankasuontie 13, 00290 HELSINKI
Puh. 029 006 200, Fax 029 006 1217
www.tecalemit.fi, tyoymparisto@tecalemit.fi

Liite 2. Vaaleanpunainen kohina (pink noise)



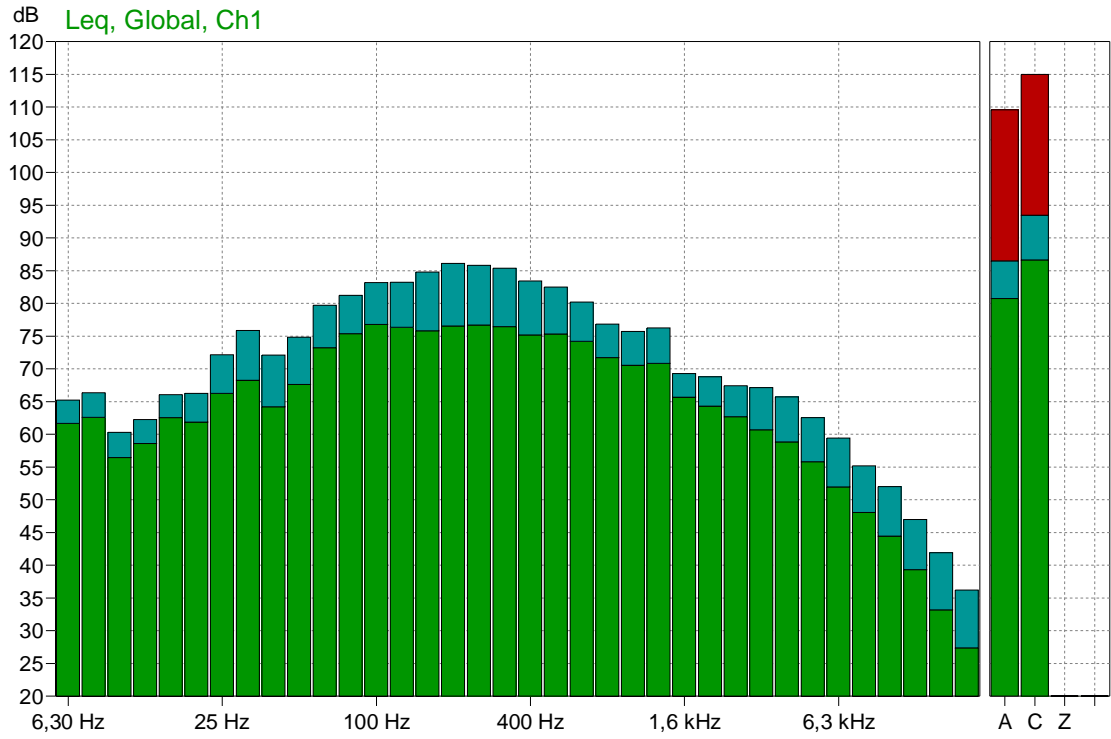
Frequency = äänen värähtelytaajuus [Hz]

Intensity = äänenvoimakkuus [dB]

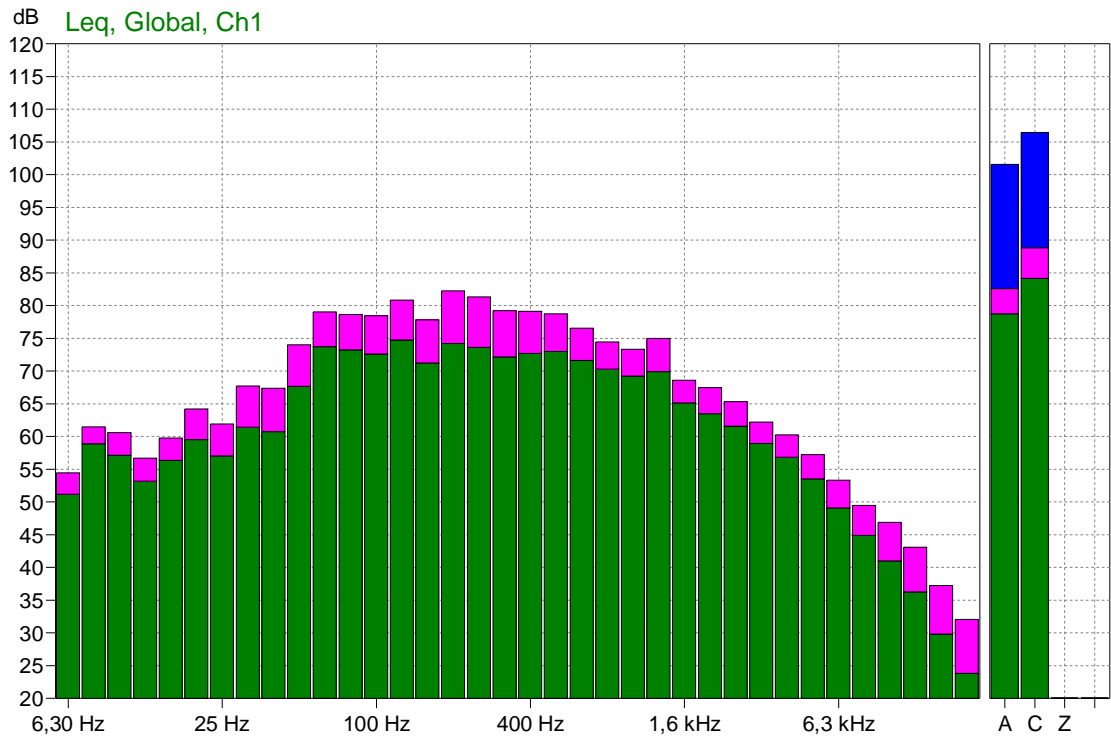
Kohinan teho on kääntäen verrannollinen taajuuteen. Kohinataso laskee noin 3 dB:iä oktaavia kohden. Vaaleanpunaisen kohinan kohinataso siis laskee taajuuden kasvaessa ja vastaavasti sen kohinataso kasvaa taajuuden pienentyessä, eli sen kohinateho on voimakkaampaa matalilla taajuuksilla.

(enemmän vaaleanpunaisesta kohinasta mm. wikipediassa hakusanalla pink noise)

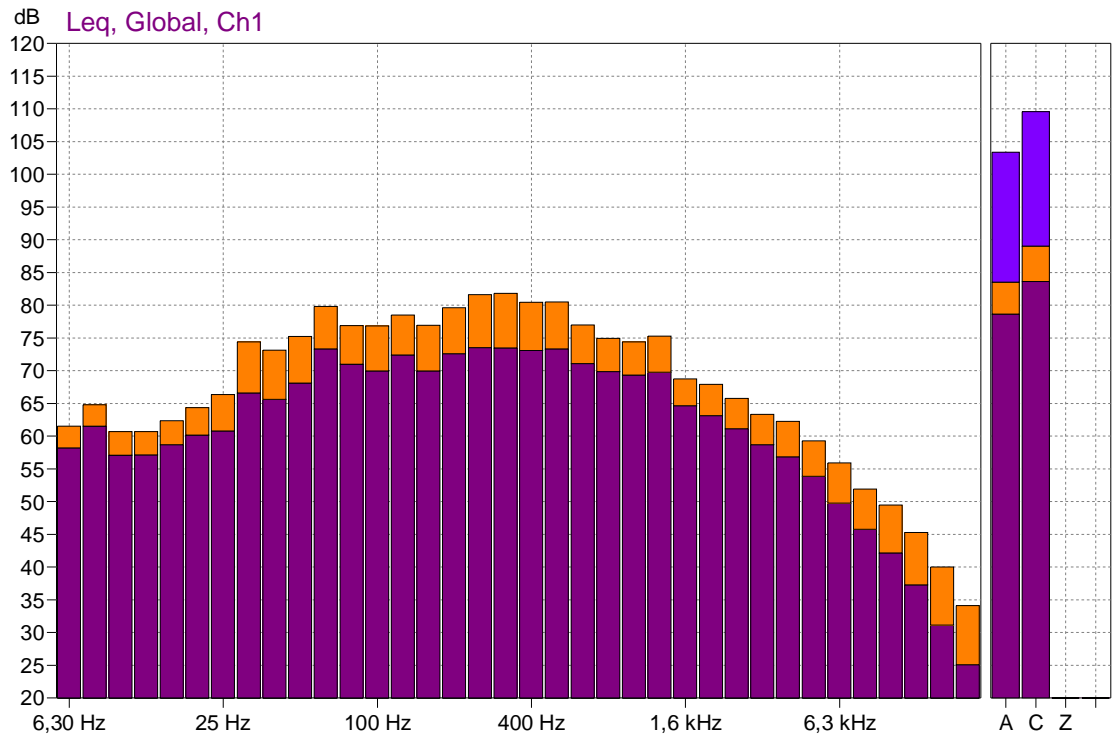
Liite 3. Keilahallin melutasot kuvan 5. paikoista



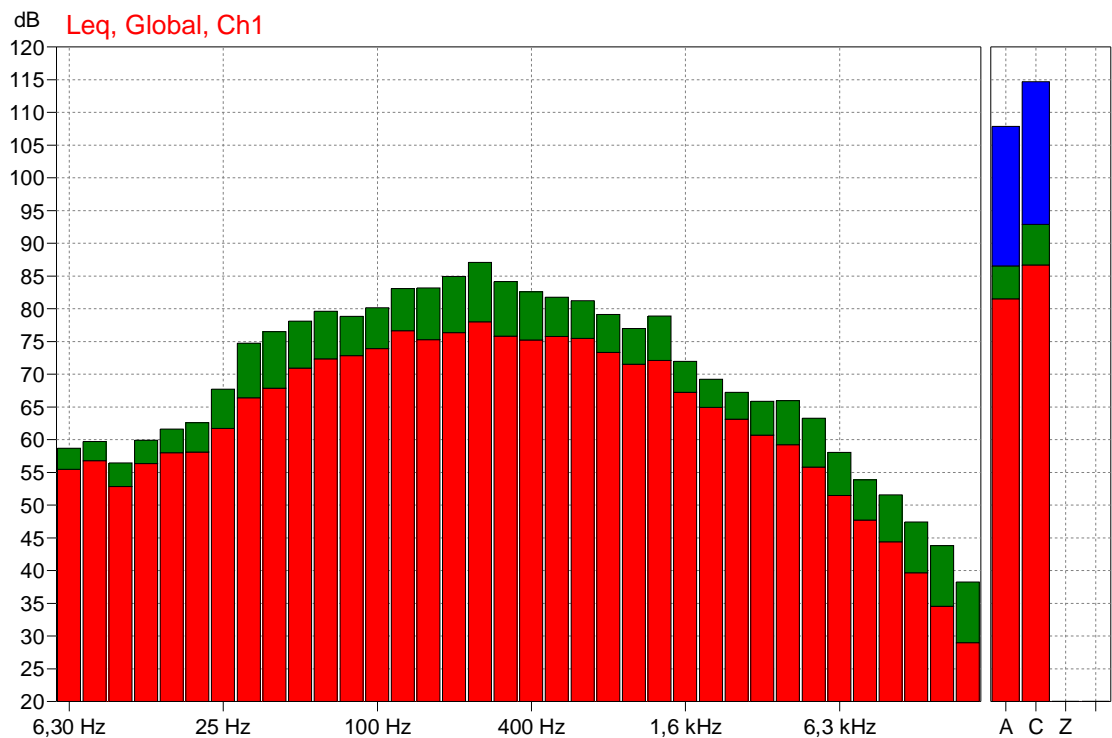
Mittauspiste 1



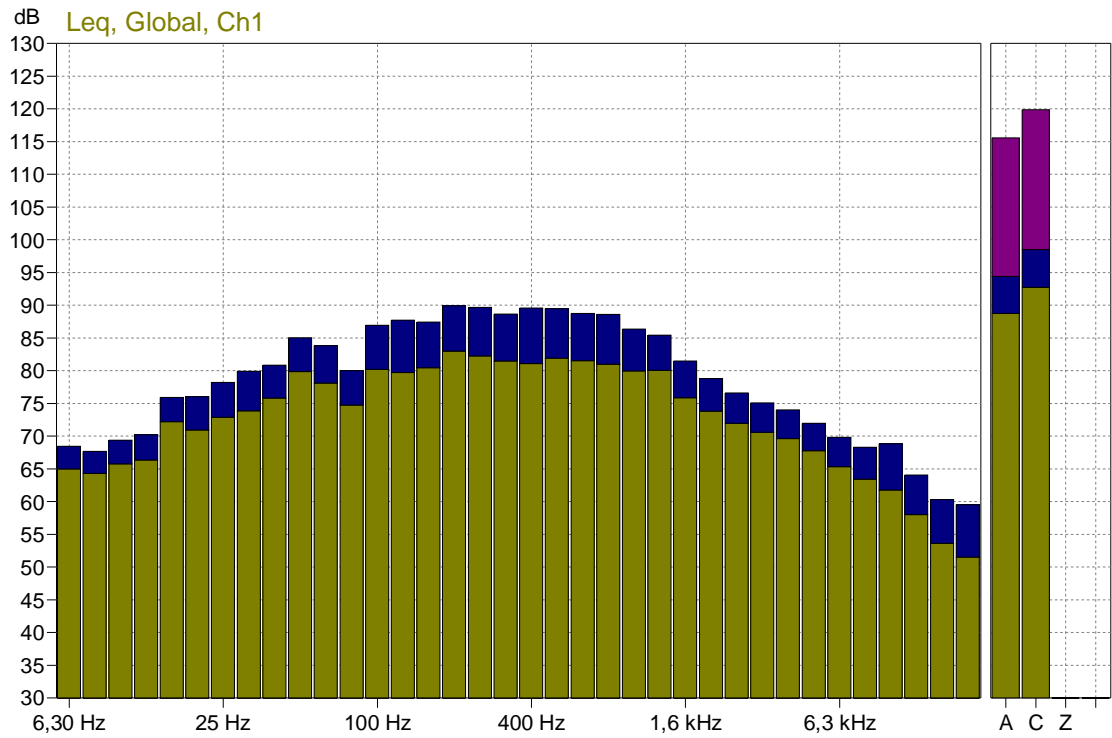
Mittauspiste 2



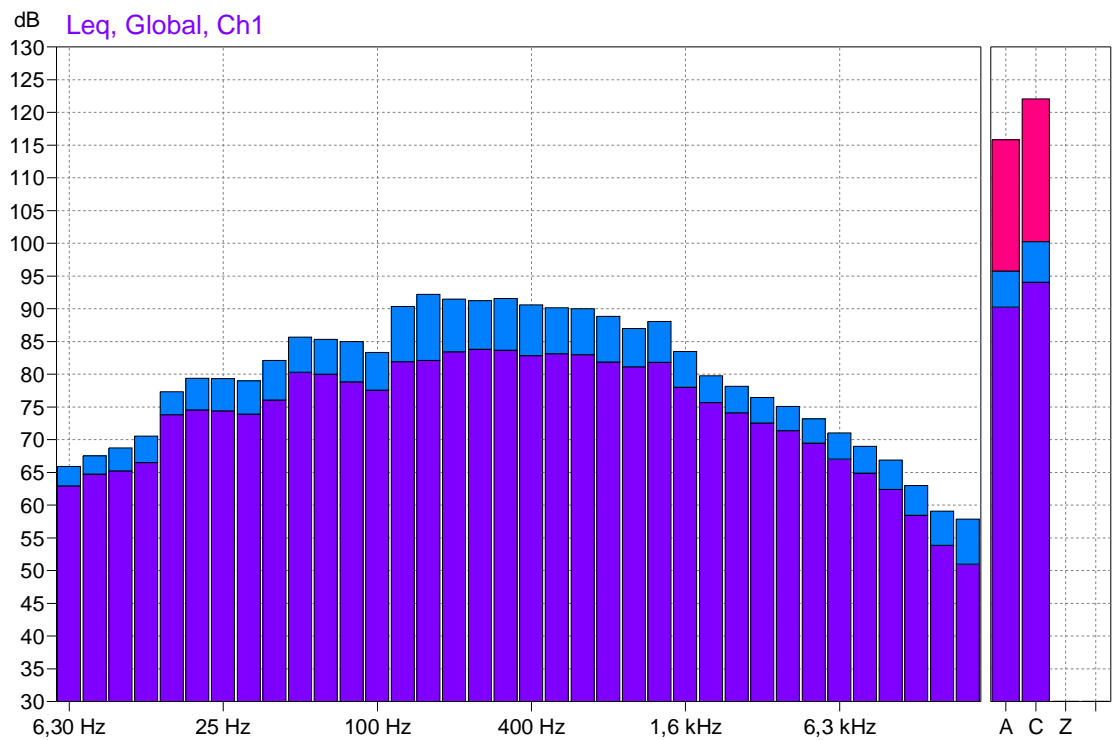
Mittauspiste 3



Mittauspiste 4



Mittauspiste 5

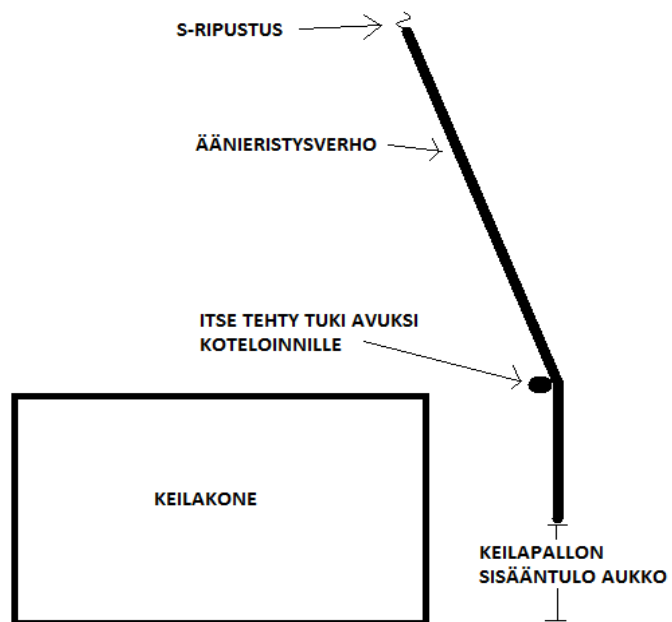


Mittauspiste 6

Liite 4. Kuvat keilakoneiden ympärille asennetusta äänieristysverhosta
Kuva äänieristysverhosta ja keilakoneista



Leikkauskuva äänieristysverhosta ja keilakoneesta



Liite 5. Kuvat keilahallista



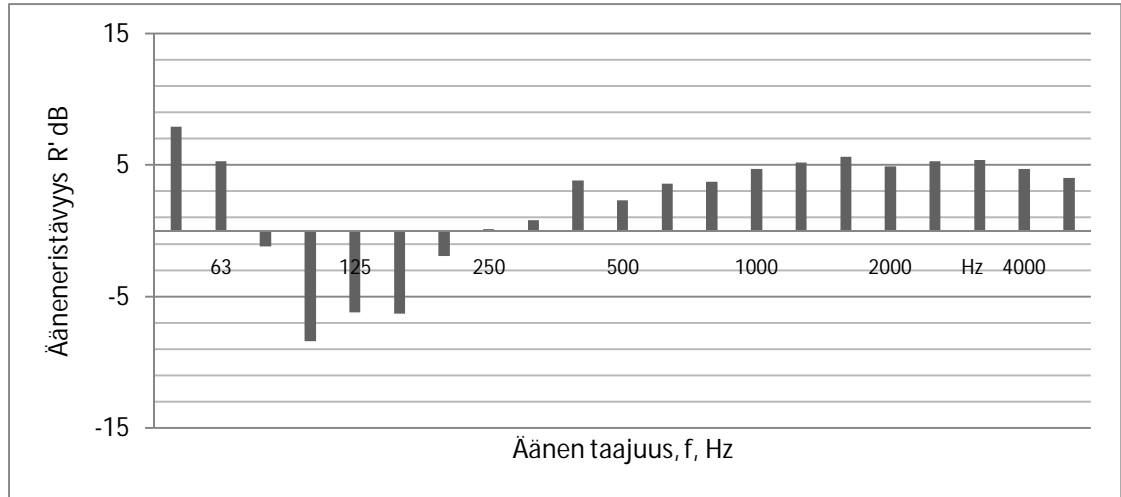
kuva otattu keilakonehuoneen puolelta kahviota kohti



kuva otettu kahviosta keilaratoja kohti

Liite 6. ilmaaneneristävyyden mittaustulokset melumittarista

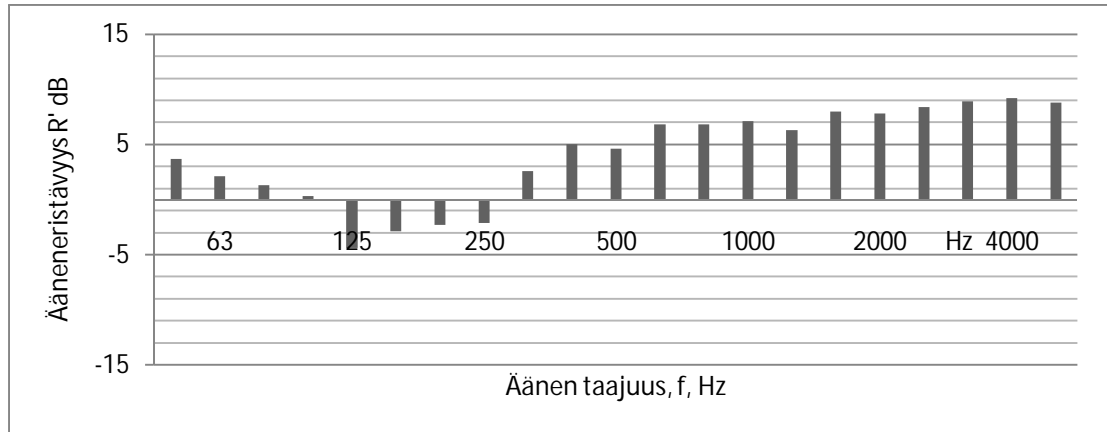
Kuva 1. ääneneristävyys R' keilakonehuoneen ja keilahallin väliltä ilman verhoa.



Taulukko 1. mittaustulokset melumittarista ennen äänieristysverhoa

Frequency [Hz]	R' [dB]	L1 [dB]	L2 [dB]	T1 [s]
50	7,9	91,7	76,7	1,39
63	5,3	93,7	80,1	1,07
80	-1,2	88,8	82,4	1,26
100	-8,4	87,8	89,4	1,51
125	-6,2	93,5	92,7	1,44
160	-6,3	91,7	90,1	1,17
200	-1,9	91,1	86,0	1,43
250	0,1	88,6	81,3	1,38
315	0,8	90,4	82,7	1,47
400	3,8	90,0	79,3	1,46
500	2,3	89,4	79,9	1,38
630	3,6	91,1	80,5	1,43
800	3,7	90,1	79,4	1,44
1000	4,7	88,2	76,4	1,39
1250	5,2	86,5	74,3	1,43
1600	5,6	85,7	72,9	1,37
2000	4,9	81,2	69,5	1,51
2500	5,3	83,0	70,4	1,34
3150	5,4	83,3	70,3	1,25
4000	4,7	83,4	70,7	1,13
5000	4,0	81,9	69,1	0,96

Kuva 2. ääneneristävyys R' keilakonehuoneen ja keilahallin väliltä verhon kanssa



Taulukko 2. mittaustulokset melumittarista äänieristysverhon asennuksen jälkeen

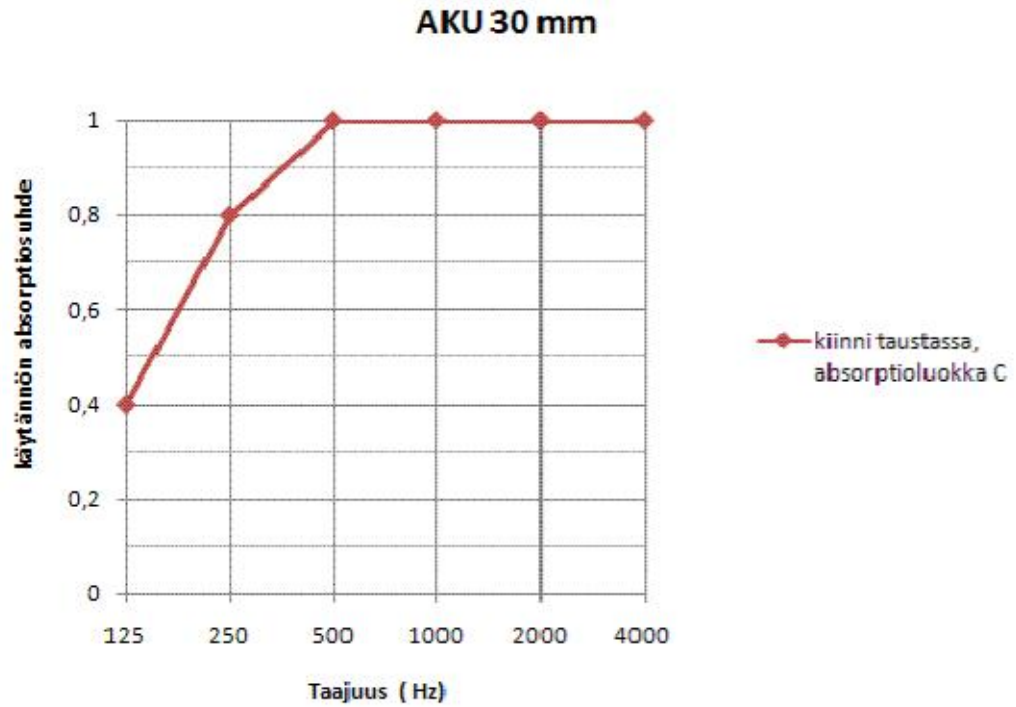
Frequency	R'	L1	L2	T2
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[s]
50	3,7	90,4	77,9	0,95
63	2,1	96,4	85,3	0,90
80	1,3	96,6	87,1	1,10
100	0,3	92,6	85,1	1,36
125	-4,4	87,6	84,5	1,29
160	-2,9	88,1	83,7	1,34
200	-2,3	83,6	79,4	1,62
250	-2,1	80,4	75,5	1,43
315	2,6	83,7	74,9	1,73
400	5,0	84,6	72,8	1,51
500	4,6	84,2	72,7	1,48
630	6,8	84,8	71,4	1,59
800	6,8	83,7	69,7	1,38
1000	7,1	80,7	66,5	1,42
1250	6,3	78,1	64,4	1,32
1600	8,0	76,9	62,3	1,56
2000	7,8	74,9	60,2	1,48
2500	8,4	77,2	61,5	1,34
3150	8,9	78,6	62,2	1,27
4000	9,2	79,3	62,5	1,24
5000	8,8	77,9	60,5	1,00

Taulukoista 1 ja 2 näkee ilmääneneristävyuden R', äänenpainetason lähdehuoneesta L1 ja äänenpainetason vastaanottohuoneesta L2. T1 kertoo paljon vastaanottohuoneessa on ollu jälkikaiunta-aika.

Taulukko 3. mittarin antama äänieristysverhon ilmaääneneristämiskyky $R_{w2}-R_{w1}$

[Hz]	R_{w1}	R_{w2}	$R_{w2} - R_{w1}$
50	7,9	3,7	-4,2
63	5,3	2,1	-3,2
80	-1,2	1,3	2,5
100	-8,4	0,3	8,7
125	-6,2	-4,4	1,8
160	-6,3	-2,9	3,4
200	-1,9	-2,3	-0,4
250	0,1	-2,1	-2,2
315	0,8	2,6	1,8
400	3,8	5	1,2
500	2,3	4,6	2,3
630	3,6	6,8	3,2
800	3,7	6,8	3,1
1000	4,7	7,1	2,4
1250	5,2	6,3	1,1
1600	5,6	8	2,4
2000	4,9	7,8	2,9
2500	5,3	8,4	3,1
3150	5,4	8,9	3,5
4000	4,7	9,2	4,5
5000	4	8,8	4,8

Liite 7. Parafon aku 30 mm



Kuva 1. Parafon AKU 30 mm absorptiokäyrä