



Antti Heikkinen

## **AKUSTISEN KAMERAN KÄYTTÖ ÄÄNIMITTAUKSISSA**

# **AKUSTISEN KAMERAN KÄYTTÖ ÄÄNIMITTAUKSISSA**

Antti Heikkinen  
Opinnäytetyö  
Syksy 2012  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Talonrakennus

---

Tekijä: Antti Heikkinen  
Opinnäytetyön nimi: Akustinen kamera äänimittauksissa  
Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2012  
Sivumäärä: 38 + 45 liitettä

---

Oulun seudun ammattikorkeakoululle oli hankittu akustinen kamera, joka on tämän opinnäytetyön tekoaikana ainoa laatuaan Suomessa. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä akustisen kameran toimintaan sekä tutkia sen mahdollisia rajoitteita ja käyttökohteita talon rakennuksessa. Rakennuksissa tehtiin erityyppisiä äänimittauksia tavanomaisilla mittalaitteilla ja niiden tuloksia verrattiin akustisella kameralla saatuihin tuloksiin.

Opinnäytetyössä tehtiin ilma- ja askelääneneristävyyssmittauksia sekä jälkikaiunta-ajan mittauksia pääasiassa Oulun kaupungin alueella. Mittauskohteissa oli erilaisia ongelmia, jotka haluttiin selvittää ja paikantaa. Ensimmäiseksi tehtiin äänimittaukset Oulun seudun ammattikorkeakoulun äänimittalaitteilla, joiden tuloksia verrattiin akustisen kameran tuloksiin. Tässä työssä ei ollut pääpainona tehdä korjausehdotuksia havaittuihin ongelmiin, vaan antaa asiakkaille suuntaa antavat tulokset, joiden pohjalta he pystyisivät suunnittelemaan tarvittavia muutoksia. Äänimittauksien tekoon ja tulosten raportointiin käytettiin Suomen Standardisoimisliiton SFS tekemiä standardeja sekä Suomen Rakentamismääräyskokoelman osaa C1 - Äänen eristys ja meluntorjunta rakennuksessa.

Koska mittauskohteiksi valittiin rakennuksia, joissa tiedettiin olevan akustiikkaongelmia, pystyttiin akustista kameraa hyvin vertailemaan tavanomaisiin äänimittauslaitteisiin. Kohteissa havaittiin sekä rakennustöiden aikaisia asennusvirheitä että rakennuksen suunnittelussa vähälle huomiolle jääneitä asioita. Tämä opinnäytetyö osoittaa, ettei akustinen kamera riitä ainoaksi äänimittalaitteeksi sen ominaisuuksien ja raportoinnin rajallisuuden vuoksi. Akustisella kameralla ei esimerkiksi voida mitata kaikkein matalimpia taajuuksia. Se toimii lähinnä apulaitteena esimerkiksi ääniaallon heijastuspaikkoja etsiessä. Helppokäyttöisyytensä ja havainnollistavuutensa puolesta akustinen kamera on kuitenkin omaa luokkaansa. Lisäksi sen antamat tulokset vastasivat melko hyvin tavanomaisten äänimittalaitteiden antamia tuloksia.

---

Asiasanat:  
akustinen kamera, rakentaminen, äänimittaus

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, House Building Engineering

---

Author: Antti Heikkinen

Title of thesis: Acoustic Camera in Acoustic Measurements

Supervisor: Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2012

Pages: 38 + 45 appendices

---

An acoustic camera was bought to Oulu University of Applied Sciences a year ago and the aim of this thesis was to examine the usage and to investigate its major capabilities in house building. The main point was to do measurements and help customers to find out the problems in their buildings but not to do the exact renovation proposals. The acoustic measurements were done using conventional acoustic measurement equipment which results were compared to the ones of the acoustic camera.

In this thesis the acoustic measurements of airborne insulation, impact sound insulation and measurements of reverberation time were done in different types of buildings like a public building, a row house and a detached house. There were different kinds of problems in the buildings which wanted to be investigated and located. The measurements and results were done according to the European Standards and the National Building Code of Finland.

The results of the thesis indicate that an acoustic camera is a useful auxiliary device when searching failures during the building design and process. An acoustic camera cannot be used as a primary acoustic measurement tool, because of its limitations in properties and reporting. The acoustic camera was very illustrative and user friendly. The results were almost similar with the conventional acoustic measurement equipment and the acoustic camera.

---

Keywords:

acoustic camera, construction, acoustic measurement

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 ÄÄNI	8
2.1 Taajuus	8
2.2 Äänenpainetaso ja desibeli	8
2.3 Äänen tehotaso	9
2.4 Jälkikaiunta	9
2.5 Absorptio	10
2.6 Ilma-, runko- ja askelääni	10
3 ÄÄNIMITTAUKSET	12
3.1 Ilmaääneneristävyyden mittaaminen	13
3.2 Askeläänieristävyyden mittaaminen	13
4 AKUSTINEN KAMERA NORSONIC NOR848	16
4.1 Yksinkertaistettu toimintaperiaate	17
4.2 Ohjelmisto	18
4.3 Havaitut ongelmat	20
5 ÄÄNIMITTAUSKOHTEET	22
5.1 Ympäristöalo - Rakennusvalvonta	22
5.2 Omakotitalo Pellontaus 3	23
5.3 As Oy Oulun Myrskyluoto	24
6 ÄÄNIMITTAUKSET	26
6.1 Neuvotteluhuone 130	28
6.2 Kokoushuone Noppa	31
6.3 Pellontaus 3	32
6.4 As Oy Oulun Myrskyluoto	33
7 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	40
LIITE 1 Neuvotteluhuone 130:n mittaustulokset	
LIITE 2 Kokoushuone Nopan mittaustulokset	

LIITE 3 Omakotitalo Pellontaus 3:n mittaustulokset

LIITE 4 As Oy Oulun Myrskyluodon mittaustulokset

# 1 JOHDANTO

Äänimittauksia tehdään, kun ihminen kokee naapurihuoneistosta tai porraskäytävästä kuuluvan äänen haitalliseksi tai kun huoneiston akustiikka on suunniteltu huonosti. Äänimittauksissa käytetään standardin mukaisia mittavälineitä: tietyn väliajoin kalibroituja mikrofoneja, äänilähdettä ja äänianalysaattoria. Nykyään perinteisten mittalaitteiden lisäksi on kehitetty myös akustinen kamera.

Usein jo asemakaavassa määrätään rakenteiden mahdolliset ääneneristävyyksiluvut, jotka niiden tulee täyttää. Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta C1 löytyy rakennuksissa noudatettavat akustiset vähimmäisvaatimukset, joiden mukaan rakennus tulisi suunnitella siten, että siellä asuvan tai työskentelevän olisi mahdollisimman miellyttävä olla. Suomen Standardisoimisliitto SFS ohjeistaa rakennusten suunnittelijoita ja urakoitsijoita standardissaan SFS 5907 - Rakennusten akustinen luokitus parempiin lopputuloksiin.

Tässä opinnäytetyössä tehtiin monentyyppisiä ääneneristävyyksimittauksia erilaisissa rakennuksissa ja vertailtiin tavanomaisten mittalaitteiden mittaustuloksia akustisen kamerasäntämiin mittaustuloksiin. Erilaisissa kohteissa mitattiin pääasiassa rakenteiden ilma- tai askelääneneristävyyttä.

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oulun seudun ammattikorkeakoululle, jonne hankittu akustinen kamera on ainoa laatuaan Suomessa. Tavoitteena oli perehtyä akustisen kamerasäntämiin toimintaan sekä tutkia sen mahdollisia rajoitteita ja käyttökohteita talonrakennuksessa.

## 2 ÄÄNI

Ääni on aaltoliikettä, joka aiheutuu siitä, että ilmahiukkaset värähtelevät. Edetäkseen aaltoliike tarvitsee väliaineen, joka voi olla neste, kaasu tai kiinteä rakenne. Ääniaalto kulkee esimerkiksi ilmassa noin 340 m/s, riippuen ilman lämpötilasta, ja kulkiessaan se voi mennä väliaineesta toiseen. Ääniaallon pituus voidaan laskea äänen nopeuden ja taajuuden avulla. (Laaksonen 2006, 4-5; Korpinen 2005.) Aallonpituus ( $\lambda$ ) lasketaan kaavalla 1 (Karjalainen 2000, 10).

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

KAAVA 1

$\lambda$  = aallonpituus (m)

$c$  = äänen nopeus (m/s)

$f$  = taajuus (Hz)

### 2.1 Taajuus

Äänen aaltoliike on ilmamolekyylien tihentymiä ja harventumia eli paine-eroa, jonka määrä sekunnissa ilmoitetaan taajuutena. Sen yksikkö on hertsi (Hz). Ihmisen korva havaitsee kaikki taajuudet kuuloalueeltaan, 20 Hz:n ja 20 kHz:n väliltä. Tämän alittavia taajuuksia kutsutaan infraääniksi ja ylittäviä ultraääniksi. (Korpinen 2005; Laaksonen 7.)

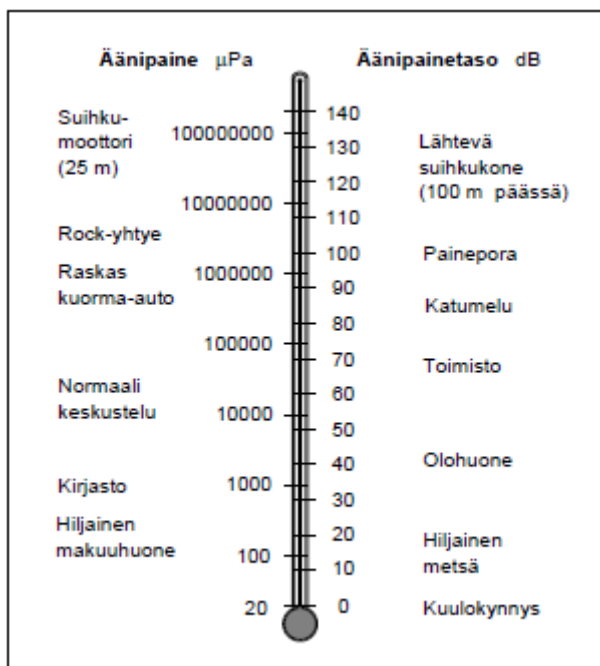
Kuultavan äänialueen ääripäitä kutsutaan mataliksi ja korkeiksi ääniksi. Matalilla äänillä on pieni taajuus ja pitkä aallonpituus. Ne pystyvät läpäisemään paksujaakin rakenteita ja kuuluvat kauas. Vastaavasti korkeilla äänillä on suuri taajuus ja lyhyt aallonpituus. Ääniaallot heijastuvat helposti eivätkä kuulu kauas, koska ne vaimenevat nopeasti. (Laaksonen 2006,13.)

### 2.2 Äänenpainetaso ja desibeli

Äänenä kuultavan ilmanpaineen vaihtelun voimakkuus on suoraan verrannollinen värähtelijän liikkeen suuruuteen. Mitä kovempi ääni on, sitä suurempi on ilmanpaineen vaihtelu eli painetaso. Alinta äänenpainetasoa, jonka ihminen voi kuulla, kutsutaan kuulokynnykseksi ja ylintä kipurajaksi. Kipurajalla äänenpaine on miljoonia kertoja suurempi kuin kuulokynnyksellä. Jotteri tarvitsisi käyttää



suuria lukuja äänenpainetta kuvatessa, käytetään logaritmista desibeliasteikkoa. Desibeli (dB) on äänenvoimakkuutta ilmoittava mittayksikkö. Se ilmoittaa, montako yksikköä ääni on kuulokynnystä voimakkaampi (kuva 1). Koska desibeli on logaritminen yksikkö, arvoja ei voida suoraan laskea yhteen. Siten esimerkiksi yhden soittajan soittaessa 60 dB:n voimakkuudella kaksi soittaa noin 63–64 dB:n voimakkuudella eikä 120 dB:n voimakkuudella. (Korpinen 2005; Laaksonen 2006, 6, 25-27.)



KUVA 1. Esimerkkejä äänenpainetasoista (Karjalainen 2000, 32)

### 2.3 Äänen tehotaso

Äänen tehotasolla ilmoitetaan tietyn äänilähteen tuottama akustinen teho. Se on äänilähteen sijoituspaikasta ja ympäristöstä riippumaton perusominaisuus. Tehotasosta ei voida suoraan päätellä, kuinka voimakkaalta äänilähde kuulostaa tietyssä ympäristössä. (Lahti 1995, 14.)

### 2.4 Jälkikaiunta

Jälkikaiunta on ääntä, jonka kuullaan vaimenevan tilassa vielä alkuperäisen äänilähteen vaimennuttua. Sen pituutta mitataan jälkikaiunta-ajalla, jonka kulu-

essa äänenvoimakkuus laskee 60 desibeliä alkuperäisestä tasosta. (SFS 5907. 2004, 5.)

Jälkikaiuntaan vaikuttavat tilan koko ja pintamateriaalit sekä siellä olevat ihmiset. Jälkikaiuntaa hyödyntämällä saadaan tilasta kaikki hyöty irti haluttaessa paras mahdollinen korvalla kuultava lopputulos. Esimerkiksi musiikin kuuntelun kannalta parhaassa mahdollisessa tilassa eri taajuuksien mitatut jälkikaiuntaajat eivät eroa toisistaan paljoa. (SFS 5907. 2004, 5; Laaksonen 2005, 18.)

## 2.5 Absorptio

Äänen absorptio on huoneen sisällä syntyvän äänen vaimenemista lähinnä pintamateriaaleihin. Usein se sekoitetaan ääneneristävyyteen, joka vaimentaa äänen kuulumista rakenteiden välillä. Äänen absorptiosuhde ( $\alpha$ ) lasketaan kaavalla 2. Sen arvo on 0–1 väliltä, mihin vaikuttaa myös äänen taajuus. Absorption suhteen suurentuessa materiaalin kyky heijastaa ääntä takaisin huonetilaan heikkenee. (RIL 243-1-2007, 46-47.)

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_t}$$

KAAVA 2

$W_i$  = rakenteeseen kohdistuva ääniteho (dB)

$W_r$  = rakenteesta heijastuva ääniteho (dB)

$W_t$  = rakenteen läpi kuuluva ääniteho (dB)

Absorptiomateriaalina voidaan käyttää huokoisia materiaaleja (mineraalivilla, paksut tekstiilit jne.), rei'itettyjä levyjä, mikrorei'itettyjä levyjä, ohuita reikälevyjä, levyresonaattoreita (esimerkiksi levyrakenteiset seinät ja ikkunat) tai kovia pintoja. Myös tiloissa olevat kalusteet, ihmiset ja ilma absorboivat ääntä. Välimatka absorptiopinnan ja sen alla tai takana olevan kovan pinnan välillä vaikuttaa myös äänen vaimennukseen. (RIL 243-1-2007, 149-155.)

## 2.6 Ilma-, runko- ja askelääni

Ääni voidaan nimetä sen mukaan, mitä väliainetta pitkin se kulkee. Ilmääni on ääntä, joka leviää ympäristöön ilman välityksellä äänilähteestä. Tyypillisesti il-

maääntä ovat muun muassa puhe, koneista ja laitteista lähtevät äänet sekä musiikki. (Ympäristöopas 99. 2003,7.)

Runkoääni on kiinteää kappaletta tai rakennetta pitkin värähtelynä etenevää ääntä, joka voidaan tuntea tärinänä. Runkoääni kuullaan vasta, kun se jossain rakenteen osassa välittyy ilmaan ja muuttuu ilmaääneksi. (Ympäristöopas 99. 2003,7; Laaksonen 2006,5.)

Askelääntä syntyy, kun rakenne alkaa värähdellä iskun kohdistuessa siihen, esimerkiksi käveltäessä huoneistossa tai portaissa. Tällöin syntyy runkoääntä, joka kuuluu muihin tiloihin. Äänen kuulumisen aiheuttaa se, että rakenteen värähtely säteilee runkoäänen ilmaääneksi, jonka ihmiskorva havaitsee. (Ympäristöopas 99. 2003,7.)

### 3 ÄÄNIMITTAUKSET

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa C1 asettaa rakennuksille tai muille rakennuskohteille vaatimukset ääneneristyksen ja meluntorjunnan osalta. Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, etteivät meluhaitat heikennä henkilöiden terveyttä ja että he pystyvät nukkumaan, lepäämään ja työskentelemään riittävän hyvissä olosuhteissa. Vaatimuksen taso on ylläpidettävä normaalilla kunnossapidolla koko rakennuksen taloudellisen käyttöiän ajan. Ääneneristävyydelle voidaan asettaa muitakin vaatimuksia kuin määräyksissä ohjeistetaan, mikäli se on tarvittavaa tilan erityiskäytön kannalta. Kuvassa 2 on esitetty ohjearvot ilmaääneneristys- ja askeläänitasoluville asuinrakennuksissa. (C1. 1998, 3-4.)

**TAULUKKO 2.1 ASUINRAKENNUKSISSA NOUDATETTAVAT AKUSTISET VAATIMUKSET**

<b>Pienimmät sallitut ilmaääneneristysluvun <math>R'_w</math> (dB) arvot</b>	<b>dB</b>	<b>Ohje</b>
– Asuinhuoneiston ja sitä ympäröivien tilojen välillä yleensä	55	Asuinhuoneiston porrastaso-ovena käytetään vähintään luokan 30 dB ovea tai oviyhdistelmää.
– Asuinhuoneiston ja toista huoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä, kun välissä on ovi	39	
<b>Suurimmat sallitut askeläänitasoluvun <math>L'_{n,w}</math> (dB) arvot</b>	<b>dB</b>	<b>Ohje</b>
– Asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muihunkin asuinhuoneeseen, yleensä	53	Vaatimus ei koske mittausta satunnaisesti käytettävistä huolto- ja varastotiloista, autosuojista tai vastaavista tiloista eikä mittausta asuinhuoneistoon kuuluvista pienistä wc-, kylpyhuone- ja löylyhuonetiloista. Näistä tiloista asuntoon mahdollisesti aiheutuva meluhäiriö on otettava huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa niin, että asuinhuoneistossa saavutetaan edelleen hyvät ääniolosuhteet. <b>Selostus</b> <i>Kevyet rakenteet läpäisevät matalia ääniä, joita askeläänitasoluvun <math>L'_{n,w}</math> määrittäessä ei huomioida. Nämä äänet saattavat kuulua häiritsevänä kuminana.</i>
– Uloskäytävästä asuinhuoneeseen	63	<b>Ohje</b> Uloskäytävällä tarkoitetaan tässä selaista porrashuonetta ja käytävää, josta on käynti toiseen huoneistoon.

*KUVA 2. Asuinrakennuksissa noudatettavat akustiset vaatimukset (C1. 1998, 5)*

### 3.1 Ilmaääneneristävyyden mittaaminen

Huonetiloja erottavan rakenteen kykyä eristää ääntä kutsutaan ilmaääneneristävyydeksi. Ilmaääneneristävyydellä  $R_w$  tai  $R'_w$  ilmoitetaan, kuinka vähän rakenteesta pääsee ääntä läpi. Ilmaääneneristysluvun kasvaessa, rakenne eristää ilmaääntä paremmin. Ilmaääneneristysluvusta käytetään merkintää  $R_w$ , kun tehdään mittauksia laboratoriossa ja  $R'_w$  sitä mitattaessa kenttäolosuhteissa. Spektrisovitusermi,  $C_{50-3150}$ , on ilmaääneneristävyyksistä laskettava luku, joka ottaa huomioon eristettävän melun äänispektrin. Koska rakenteen ilmaääneneristävyys vaihtelee eri taajuuksilla, ilmaääneneristävyyden luku saadaan vertailemalla taajuuksittain mitattuja ilmaääneneristävyyksiä standardoituun vertailukäyrään. Ilmaääneneristysvaatimukset ilmoitetaan ilmaääneneristyslukuina  $R'_w$  tai ilmaääneneristysluvun ja spektrisovitusermin  $C_{50-3150}$  summan ( $R'_w + C_{50-3150}$ ) pienimpinä sallittuina arvoina, standardin SFS-EN ISO 717-1 mukaan. Ilmaääneneristävyys mitataan kenttäolosuhteissa standardin SFS-EN ISO 140-4 mukaisesti. (SFS 5907. 2004, 6; Ympäristöopas 99. 2003,7.)

### 3.2 Askeläänieristävyyden mittaaminen

Kävelystä, esineiden putoilemisesta, huonekalujen siirtelystä ja muista vastaavista toiminnoista syntyviä runkoääniä kutsutaan askelääniksi. Askeläänieristyksellä pyritään vähentämään rakenteiden kohtaamien iskujen ääniä. Sitä ei voi arvioida samassa tilassa äänitehon suhteena kuten ilmaääneneristävyyttä mitattaessa, koska sattumanvaraisen askeläänilähteen aiheuttamaa voimaa ei tunneta. Tästä syystä askeläänieristävyyttä arvioidaan käyttämällä äänilähteenä kuvan 3 kaltaista standardisoitua askeläänikojetta, jonka tuottama voima tiedetään tarkkaan. Askeläänikojeella tuotetaan runkoääntä rakenteeseen, jonka aiheuttama äänenpainetaso mitataan viereisessä tilassa taajuuskaistoittain. Yleensä äänenpainetasot mitataan lähetystilan alapuolisesta tilasta, mutta tarvittaessa myös viereisistä tai yläpuolisista tiloista. (RIL 243-1-2007, 115.)



*KUVA 3. Askeläänikoje*

Askelääneneristystä voidaan mitata laboratoriossa ja valmiissa rakennuksessa. Askeläänikojeen tuottamat äänenpainetasot mitataan ja normalisoidaan  $10 \text{ m}^2$ :n vertailuabsorptioalalla. Normalisoitu askeläänitaso,  $L_n$  (dB), vaihtelee taajuuksittain. Tilojen välistä askelääneneristävyyttä kuvataan askeläänitasoluvulla, joka saadaan vertailemalla taajuuskaistoittain mitattua normalisoitua äänitasoa standardisoituun vertailukäyrään. Laboratorio-olosuhteissa mitatuissa arvoissa merkitään askeläänitasolukua  $L_{n,w}$  (dB) ja rakennuksessa mitattaessa käytetään merkintää  $L'_{n,w}$  (dB). Askeläänitasoluvulla ilmaistaan rakenteiden välityksellä tilasta toiseen siirtyvää ääntä. Normalisoiduista mitatuista askeläänitasoista voidaan laskea spektrisovitusermi  $C_{1,50-2500}$ , joka huomioi taajuuskaistat 50, 63 ja 80 Hz sekä rajoittaa mitatun askeläänitason poikkeamaa vertailukäyrästä. Tilojen välinen askelääneneristys paranee, kun askeläänitasoluku pienenee. Askelääneneristysvaatimukset ilmoitetaan askeläänitasolukuina,  $L'_{n,w}$ , tai askeläänitasoluvun ja spektrisovitusermin  $C_{1,50-2500}$  summan ( $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ ) suurimpina

sallittuina arvoina standardin SFS-EN ISO 717-2 mukaan. Mittaukset suoritetaan standardin SFS-EN ISO 140-7 mukaan. (SFS 5907. 2004, 6-7.)

## 4 AKUSTINEN KAMERA NORSONIC NOR848

Norsonicin valmistama Nor848 on akustinen kamera (kuva 4), jolla voidaan paikallistaa ja mitata rakenteissa esiintyviä äänien vuotokohtia. Mikäli ääneneristävyyssmittauksia tehtäessä havaitaan, ettei kyseessä oleva rakenne täytä vaatimuksia, voidaan akustista kameraa apuna käyttäen etsiä mahdolliset vuotopaikat esimerkiksi tietyllä taajuudella.



*KUVA 4. Akustinen kamera Norsonic Nor848*

Akustinen kamera koostuu pyöreän mallisesta mittalaitteesta sekä siihen verkko-kaapelilla kytketystä MacBook Pro -kannettavasta tietokoneesta. Noin metrin halkaisijaltaan oleva pyöreä "mikrofonilautanen" sisältää 225 mikrofonia, jotka videokameran kanssa muodostavat käyttäjälle tietokoneen ruudulle reaaliaikaisen kuvan mittauskohteesta. Akustisella kameralla pystytään mittaamaan maksimissaan 100 dB:n äänenpainetaso. Tällöin laitteen mikrofonit mittaavat äänen 20–20 000 Hz:n taajuusalueella, mutta mittaustulokset se kykenee esittämään



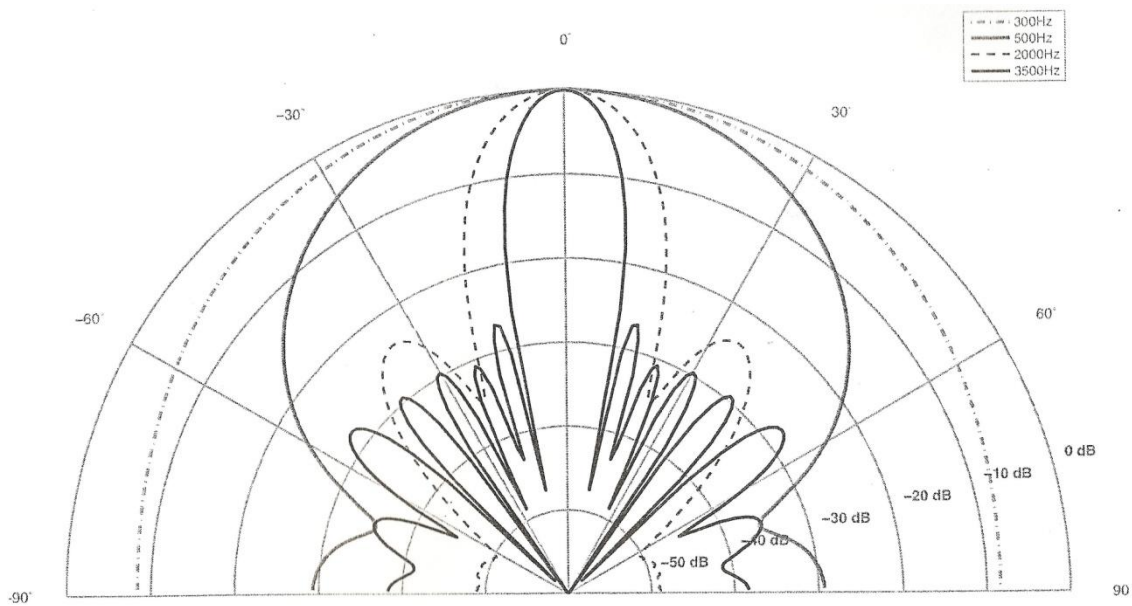
vain 100–7 000 Hz:n taajuusalueella. Taulukosta 1 löytyvät laitteen tarkemmat tekniset tiedot.

*TAULUKKO 1. Akustisen kameran tekniset tiedot*

Mikrofonien määrä	225
Suurin äänenpainetaso (20µPa)	110 dB
Laitteen tuottama melu, A-taajuuspainotettu	10 dB
Mikrofonin taajuusalue	20–20 kHz
Taajuuden kuvausalue	100 Hz–7 kHz
Näytteenotto taajuus	44,1 kHz
Polttoväli	0,5 m:stä eteenpäin
Kameran tarkkuus	640x480 pikseliä
Optinen/akustinen kuvausalue	±70° horisontaalinen, ±52° vertikaalinen
Käyttölämpötila	– 10 °C- +40 °C
Kosteus alue	Jopa 90 % RH
Verkköjännitesyöttö	100–230 V (50–60Hz)
Tasavirta	11–36 V
Mikrofonilautasen virrankulutus	20 W
Levyn halkaisija	105 cm
Levyn syvyys	12 cm
Mikrofonilautasen paino	15 kg
IP-luokitus	40

#### **4.1 Yksinkertaistettu toimintaperiaate**

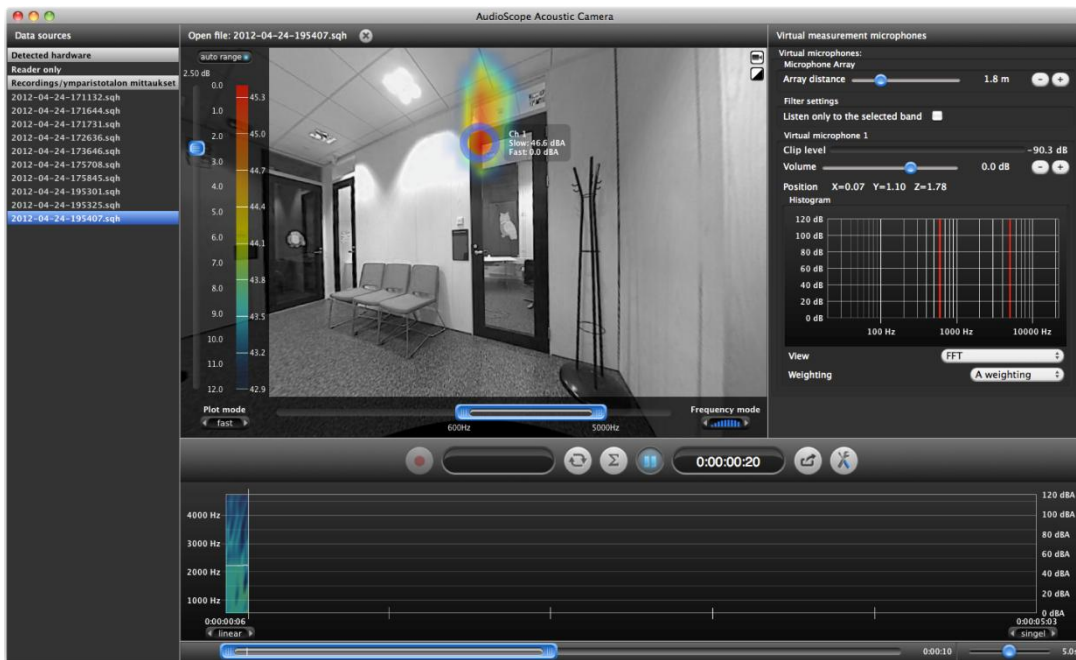
Akustinen kamera toimii seuraavalla periaatteella: yksittäisten mikrofonien eri puolilta havaitsemat signaalit yhdistellään keilanmuodostajan (kuva 5) avulla. Keilanmuodostaja erottelee toisistaan painotussuotimen avulla (esimerkiksi A-painotus, joka vastaa ihmisen kuulon herkkyyttä hiljaisilla ja keskivoimakkailta äänillä) halutut ja häiriösignaalit, vaikka niiden taajuusalueet olisivatkin päällekkäin. Akustinen kamera tallentaa ääntä kaikilla mikrofoneilla sekä kuvaa videokameralla yhtä aikaa, joten lopullinen tulosten analysointi voidaan tehdä muualakin kuin mittauskohteessa. (Norsonic. 2011, 17.)



KUVA 5. Keilanmuodostajan toimintaperiaate (Norsonic. 2011, 17)

## 4.2 Ohjelmisto

Akustisella kameralla mitattaessa tarvitaan kannettavaan tietokoneeseen mittausohjelmisto. Ohjelmistosta on olemassa kaksi versiota, mitattaessa käytettävä AudioScope Acoustic Camera Pro sekä pelkästään tallenteiden analysoimiseen tarkoitettu AudioScope Acoustic Camera Reader Pro. Oulun seudun ammattikorkeakoululla oli mittauksia tehtäessä molemmista ohjelmista käytössä versio 1.1.1. Kuten kuva 4 osoittaa, on ohjelman käyttöliittymä Mac-alustalle tuttuun tyyliin erittäin pelkistetty ja helppokäyttöinen.

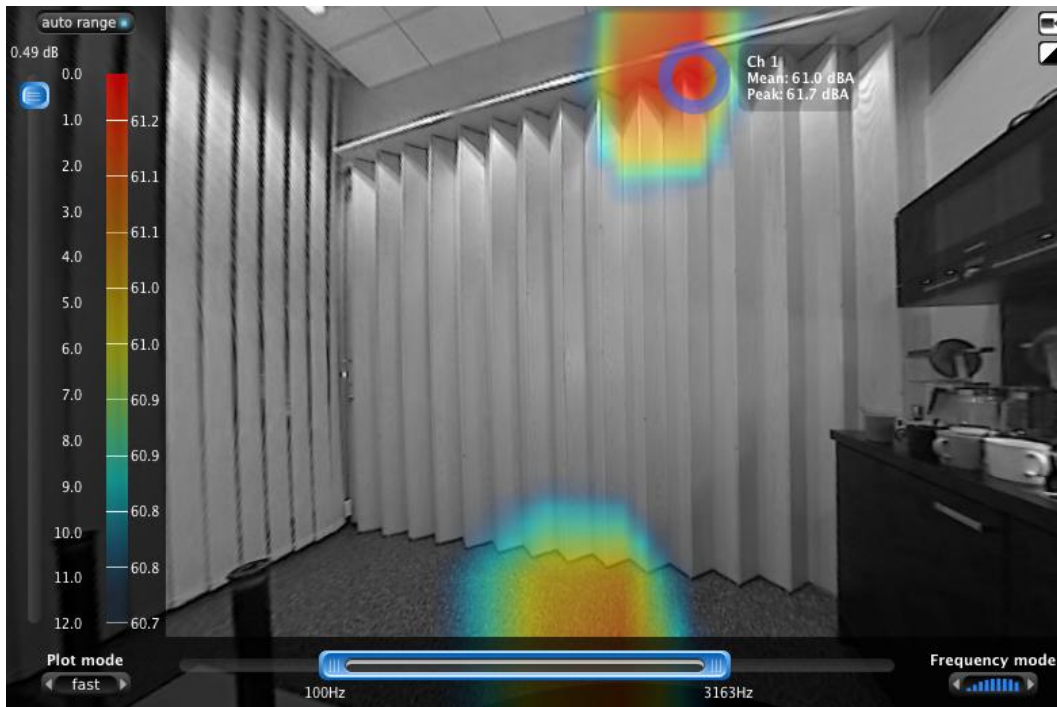


KUVA 6. AudioScope Acoustic Camera Reader Pro 1.1.1. käyttöliittymä

Kuten kuva 6 osoittaa, ohjelma havainnollistaa äänen intensiteettitasoja eri väreillä sekä numeerisesti desibeliarvoina. Ohjelman virtuaalinen mikrofoni mahdollistaa sen, että käyttäjä voi hiirellä klikkaamalla valita ruudulta haluamansa kohdan ja kuunnella ääntä kyseessä olevassa kohdassa tietyllä taajuudella tai taajuusalueella.

Sekä laitteen että ohjelman asetuksista ei löydy paljoa säädettävää. Tärkeimpänä, ja melkein ainoana säädettävänä asetuksena on lämpötila. Käyttäjän säädettyä lämpötilan huoneessa mittaushetkellä vallitsevaan lämpötilaan, ohjelma laskee automaattisesti äänennopeuden kyseessä olevassa lämpötilassa ja esittää tulokset sen mukaan.

Mittaustuloksien raportointiin on neljä eri tapaa. Tuloksista voi ottaa pysäytyskuvan (kuvassa 7), laatia pdf-raportin (johon sisältyy kuva, spektrogrammi ja äänen spektrin kuvaaja), tehdä videotiedoston sekä tallentaa ääniraidan.



*KUVA 7. Akustisesta kamerasta saatu pysäytyskuva*

Paras keino tulosten esittämiseen on pdf-raportin tekeminen. Siitä selviää mitattava kohde helposti. Spektrogrammi esittää tulokset kolmiulotteisena äänenpainetason, ajan sekä taajuuden funktiona. Lisäksi spektristä selviää taajuuskaistoittain äänenpainetason suuruus, ja se näyttää valitut taajuudet punaisilla palkeilla. Spektri näyttää myös, mikäli käytössä on ollut jokin painotussuotimista (A, B tai C) ja mikäli mittaustulokset on tehty Fourier-muunnosta käyttäen, oktaavikaistoittain tai 1/3-oktaavikaistoittain. Fourier-muunnos näyttää tulokset matemaattisena käyränä eli spektrinä, joka ilmoittaa äänenpainetason taajuuden funktiona. (Karjalainen 2000, 43-44.) Esitettäessä tulokset oktaavikaistoittain tai 1/3-oktaavikaistoittain näytetään äänenpainetasot taajuuksittain käyrän sijasta palkkeina.

### 4.3 Havaitut ongelmat

Ohjelmat sekä itse laite ovat uusia ja niiden kehitys on vielä alkumetreillä. Muutamina satunnaisina kertoina ohjelma kaatui käsittämättömistä syistä kesken tulosten käsittelyyn.

Mittaustulosten ilmoittamisessa käytetyt asetukset ja säädöt täytyy joka kerta asettaa uudelleen, kun ohjelma käynnistetään. Erityisesti tämä häiritsee silloin, kun mittaustuloksia analysoidaan eri hetkinä. AudioScope Acoustic Camera (Reader) Pro ei osaa suoraan ilmoittaa tuloksia standardien mukaisesti, vaan ne on laskeettava käsin ja suoritettava niiden pohjalta haluttu tulosten käsittely. Akustisella kameralla ei voi mitata huoneessa yleisesti vaikuttavaa taustamelua, koska laite ilmoittaa aina tietyssä pisteessä valitsevan äänenpainetason. Sillä ei voi myöskään mitata jälkikaiunta-aikaa.

Myös akustisen kameran fyysinen koko tuottaa välillä ongelmia. Toisaalta sen suuri koko on haitta esimerkiksi rakennuksien sisällä liikuttaessa ja kuljetuslaatikkoon laitettaessa, mutta toisaalta nykyinen koko rajoittaa kaikkein matalimpien taajuuksien mittaamista. Laitteen keskiosassa mikrofonit sijaitsevat lähempänä toisiaan, jolloin se mittaa tehokkaammin korkeat taajuudet, joiden aallonpituus on lyhyt. Mikrofonien sijainnin perusteella voisi olettaa, että alle 340 Hz:n taajuudet olisi vaikea mitata, mutta laitteen käyttöohjeen mukaan se kykenee ilmoittamaan tulokset 100 Hz:iin asti.

Mittauksien aikana laitteissa syntyi välillä akustista kiertoa, kun kannettavan tietokoneen kaiutin oli liian lähellä mikrofoneja. Todennäköisesti sitä edisti lähellä olleet toimistokalusteet, joissa oli paljon ääntä heijastavaa pintaa. Koska akustinen kamera koostuu useista suojaamattomista mikrofoneista, ei sillä pysty tekemään mittauksia pölyisissä paikoissa. Pöly tunkeutuu mikrofonien rakenteisiin ja täten tulokset eivät ole enää tarkkoja. Akustiselle kameralle ei ole olemassa muiden mittalaitteiden tapaan kalibrointi aikavälejä, joten tulosten taso voi heikentyä, mikäli laitetta on käytetty huolimattomasti tai pölyisissä paikoissa.

## 5 ÄÄNIMITTAUSKOHTEET

### 5.1 Ympäristötalo - Rakennusvalvonta

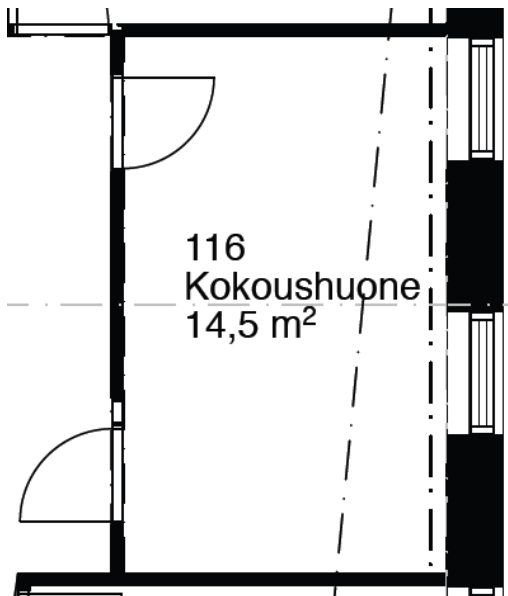
Ympäristötalo on Karjasillan kaupunginosassa Oulussa sijaitseva julkinen rakennus, josta löytyvät Oulun kaupungin ympäristö- ja yhdyskuntapalvelut. Rakennuksessa on viisi kerrosta ja kellari. Ilmaääneneristävyyksmittaukset suoritettiin rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa rakennusvalvonnan tiloissa neuvotteluhuone 130:ssa ja kokoushuone Nopassa. Mittaukset tapahtuivat tilojen käyttäjien työpäivän jälkeen, eli illalla kello neljästä eteenpäin. Todennäköisesti rakennuksen ilmanvaihtolaitteisto ei ollut enää silloin käynnissä täydellä käyttöteholla, koska rakennuksessa ei ollut enää työntekijöitä. Lämpötila rakennusvalvonnan tiloissa oli noin 21 °C. Mittauksien aikana tiloissa oli pöytä ja useita tuoleja, eikä lainkaan akustiikkaa parantavia materiaaleja, kuten paksuja verhoja.

Neuvotteluhuone 130:een oli rakennettu tilan kahtia jakava taiteovi (kuva 8), jonka tulisi Ympäristötalon rakennusselostuksen mukaan täyttää ääneneristysvaatimus  $R'_w = 35$  dB. Käyttäjien mukaan tilassa pitäisi käydä luottamuksellisia keskusteluja ilman, että taiteoven toiselle puolelle kuuluu ääntä. Jo ennen mitausten aloittamista oli huomattavissa taiteoven alareunaan jäävän noin 10 millimetrin korkuinen ja lähes koko oven mittainen aukko.



KUVA 8. Neuvotteluhuone 130:n pohjapiirros (Oulun kaupungin rakennusvalvonta. 2009.)

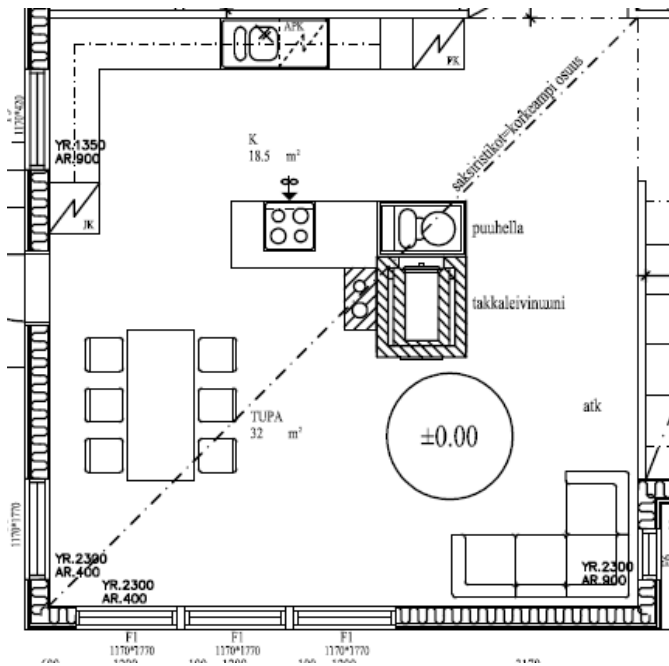
Kokoushuone Nopassa tulisi käyttäjien mukaan voida käydä luottamuksellisia neuvotteluita asiakkaiden kanssa. He olivat havainneet, että kuvan 9 vasemmassa reunassa olevalle viereiselle käytävälle kuuluu selvästi puhe. Käytävään rajoittuva seinä on kevytrakenteinen järjestelmäväliseinä, jota pystyy tilan käyttötarpeen mukaan siirtämään. Ympäristötalon rakennusselostuksen mukaan tälle seinärakenteelle on annettu vaatimus ilmaääneneristävyydelle  $R'_w = 35$  dB sekä sen tiivistystyössä on huomioitava seinän ilmaääneneristävyys. Ovien asennuksissa oli havaittavissa asennusvirheitä, koska ovien yläreunat antoivat periksi niitä painettaessa karmeja vasten. Myös ovia avattaessa ja suljettaessa havaittiin, että oikeanpuoleisen oven päällä oleva ikkuna rämisi jonkin verran. Tällaisessa kohteessa rakenteiden tiivistystyössä tulisi olla huolellinen, koska katto, seinät tai lattia eivät ole aina suorassa.



KUVA 9. Kokoushuone Nopan pohjapiirros (Oulun kaupungin rakennusvalvonta. 2009.)

### 5.2 Omakotitalo Pellontaus 3

Kempeleessä osoitteessa Pellontaus 3 sijaitsee vuonna 2010 valmistunut omakotitalo. Rakennuksessa on noin  $150 \text{ m}^2$  asuintilaa sekä sen yhteydessä noin  $20 \text{ m}^2$ :n peseytymistilat. Sisälämpötila rakennuksessa oli noin  $21,5 \text{ °C}$ . Olohuone ja keittiö ovat yhtenäistä avointa tilaa, jossa on vino sisäkatto (kuva 10).



KUVA 10. Omakotitalo Pellontaus 3:n keittiö ja olohuone (Paaso. 2008. )

Tilassa mitattiin äänen jälkikaiunta-aika sekä tutkittiin pahimpia heijastuskohtia akustisella kameralla. Asukkaiden mielestä tila on akustisesti huono, koska siellä kaikuu eikä puheesta meinaa saada selvää.

Jo ennen mittausten alkua oli tiedossa, että tilasta löytyvät akustisesti hankalat pintamateriaalit: lattiassa parketti, seinissä maalattu kipsilevy ja sisäkatossa koivuvaneri. Lisäksi pintamateriaalien ja keittiökalusteiden kovat ja raskaat pinnat heijastavat hyvin ääntä. Tilassa ei ollut akustiikkaa parantavia elementtejä, kuten paksua mattoa tai raskaita verhoja.

### 5.3 As Oy Oulun Myrskyluoto

Asunto-osakeyhtiö Oulun Myrskyluoto sijaitsee Oulussa Luotolaisentiellä. Se koostuu neljästä kaksi kerroksisesta rivitalosta. Kaikki rivitalot saneerataan uuden veroisiksi, jolloin niiden rakenteiden tulee olla ääneneristävyydeltään uusien rakenteiden veroiset. Tarvetta äänimittauksille oli, koska rakennuksen rakentamisaikana ei ollut samanlaisia vaatimuksia ääneneristävyydelle kuin nykyään on, joten akustiikka-alan konsultointi yritys Helimäki Akustikot oli aiemmin laskennallisesti määrittänyt vanhoille rakenteille niiden ilma- ja askelääneneristävyytlukemat. Laskuissa saadut tulokset turvamarginaaleineen olivat lähellä il-



ma- ja askelääneneristävyydelle asetettuja vaatimuksia  $R'_w = 55$  dB ja  $L'_{n,w} = 53$  dB. Tästä syystä ääneneristävyyttä tulisi siis parantaa. Vanhoja rakenteita ei oltu mitattu aiemmin ollenkaan. Äänimittaukset suoritettiin D-rapussa asuntojen yläkerran välisestä seinästä. Niiden aikana toisessa asunnossa sijaitseva työmaa-toimisto ja toinen oli asutettu.

## 6 ÄÄNIMITTAUKSET

Kaikissa kohteissa ilmaääneneristävyyksmittauksiin käytettiin kahta äänen vastaanotinta eli mikrofonia, Norsonic Environmental Analyser 121 – äänianalysointia, Norsonic Nor250 -kaiutinta eli äänilähdettä ja kannettavalle tietokoneelle asennettua Norsonic NorBuild -ohjelmaa. Askelääneneristävyyksmittauksissa käytettiin mikrofonien ja äänianalysointilaitteen lisäksi Norsonic Nor211A -askeläänikojetta. Näiden mittalaitteiden lisäksi tehtiin vertailevat mitaukset akustisella kameralla Norsonic Nor848. Mittaustuloksissa on käytetty standardin SFS-EN ISO 717-1 ja 717-2 mukaisia asetuksia eli äänispektrijoukko on esitetty 1/3-oktaavikaistoittain ja A-painotettuna.

Äänimittauksia tehtäessä mikrofonien ja äänilähteen sijoittelu on tärkeää. Mitattavaan huoneeseen sijoitetaan mikrofoni sekä äänilähde ja vastaavasti vastaanottohuoneeseen toinen mikrofoni. Standardin SFS-EN ISO 140-4 ja 140-7 mukaan jokaisen mittauksen jälkeen on mikrofonien paikkaa vaihdettava vähintään 0,7 metrin verran edellisestä paikasta, mutta kuitenkin niin, etteivät ne ole puolen metrin päässä huoneen seinistä ja yhden metrin päässä äänilähteestä. Lisäksi mikrofonien tulee olla 1,2–1,5 metrin korkeudella lattiatasosta.

Aluksi mitataan tutkittavan kohteen, esimerkiksi seinän pinta-ala sekä sen erotettavien tilojen tilavuus. Mikäli vastaanottohuoneen tilavuus on yli 60 kuutiota, käytetään laskennassa arvoa 60 m<sup>3</sup>. Mittalaitteiden kytkemisen ja kalibroinnin jälkeen mitataan esimerkiksi seinärakenteen ilmaääneneristävyyttä. Mitattaessa ilmaääneneristävyyttä standardin SFS-EN ISO 140-4 mukaan tulee mittauksia tehdä vähintään kymmenen, kun käytetään paikallaan olevia mikrofoneja. Lisäksi jokaisen mittauksen kesto on oltava vähintään kuusi sekuntia. Nämä vaatimukset saavutettiin, kun äänilähdettä siirrettiin kaksi kertaa ja mikrofoneja viisi kertaa. Mittalaite mittaa molempien mikrofonien desibelimäärät yhtä aikaa 1/3-oktaaveittain, keskitäajuuksien sijaitessa taajuuksilla 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1 000, 1 250, 1 600, 2 000, 2 500 ja 3 150 Hz. Mittauksia laajennettiin korkeilla taajuuksilla 4 000 ja 5 000 hertsiin sekä matalilla taajuuksilla 50, 63 ja 80 hertsillä laajemman mittaustuloksen saamiseksi.

Askelääneneristävyyden mittaaminen standardin SFS-EN ISO 140-7 mukaan ei eroa suuresti ilmaääneneristävyyden mittaamisesta. Yleensä niiden mittaus tehdäänkin samaan aikaan. Askeläänikojeen (Norsonic Nor211A) paikkaa tulee vaihtaa vähintään neljä kertaa, ja sen tulee olla yli 0,5 metrin päässä seinistä. Laitteen tulee olla käynnissä jonkin aikaa ennen kuin mittaus voidaan aloittaa, jotta sen iskut ovat varmasti tasaisia. Mikrofonien sijoitteluun ja mitattaviin taajuusalueisiin pätevät samat säännöt kuin ilmaääneneristävyyttä mitatessakin. Askelääntä mitattaessa tehtiin kahdella mikrofonilla viisi kahdeksan sekunnin mittaista mittausta, jolloin mittausten yhteismääräksi saatiin kymmenen.

Mittaustuloksiin olennaisesti vaikuttavat myös vastaanottohuoneen taustamelu sekä jälkikaiunta-aika. Niistä koostuu spektriadaptaatiotermi C, ja mittaamalla ne voidaan eliminoida niiden aiheuttamat vaikutukset ääneneristävyytlukuun. Taustamelua mitattaessa tehtiin kahdella mikrofonilla viisi kymmenen sekunnin mittausta, jolloin kokonaismääräksi tuli riittävät kymmenen mittausta. Mittausten välillä mikrofonien paikkoja vaihdettiin samojen rajojen puitteissa kuin ilma- ja askelääneneristävyyttä mitattaessakin. Taustamelumittauksilla saatiin selville tilassa normaalisti esiintyvä äänenpainetaso.

Jälkikaiunta-aika käsitteenä on selitetty tarkemmin aiemmassa teoriaosassa. Mainittakoon kuitenkin, että se ilmoitetaan taajuuksittain, mutta raportoinnissa käytetään 1 000 Hz kohdalla olevaa arvoa. Jälkikaiunta-aika mitattiin vastaanottohuoneessa lähes samalla tavalla kuin taustamelukin, mutta mittausnäytteiden pituus oli kaksitoista sekuntia.

Lopuksi NorBuild-ohjelma laskee automaattisesti kaikkien mittausten keskiarvot taajuuksittain ja tekee niistä tulostettavan Excel-taulukon. Standardien SFS-EN ISO 717-1 ja SFS-EN ISO 717-2 mukaisia laskelmia ja vertailukäyrän siirtoa ei siis tarvinnut tehdä käsin, koska ohjelma laski halutun eristävyydsluvun automaattisesti. Lopputuloksessa se ottaa huomioon myös mitatun taustamelun ja jälkikaiunta-ajat sekä piirtää kuvaajat.

Kaikkien mittausten lisäksi tehtiin akustisella kameralla vertailevat tutkimukset, koska haluttiin selvittää, mihin kaikkeen sitä voidaan soveltaa talon rakentamisessa. Akustista kameraa käytettäessä äänilähteenä käytettiin samaa Norsonic

Nor250 -laitetta. Koska akustinen kamera mittaa kerralla kaikki taajuudet siitä suunnasta, johon se on suunnattu, ei mittauskertoja tarvinnut tehdä yhtä monta kuin muilla laitteilla mitattaessa. Ainoastaan äänilähteen paikkoja ja kameran suuntausta muutettiin paremman lopputuloksen saamiseksi. Kehittyneen ohjelmistonsa takia akustisen kameran mittaustapoja on mahdollista muuttaa vielä mittaustulosten analysointivaiheessa. Koska määräykset ja akustisen kameran ohjelmiston tarjoamat raportointivälineet eivät kohdanneet, esitettiin mittaustulokset epävirallisella, mutta havainnollistavalla tavalla.

### **6.1 Neuvotteluhuone 130**

Ilmaääneneristävyys mitattiin neuvotteluhuone 130:n kahtia jakavasta taiteovesta. Taiteovelle oli asetettu vaatimus 35 dB:n eristävydestä. Ympäristöopas 99:n mukaan toimistoihin ei ole omia vaatimuksia, mutta niihin voidaan soveltaa julkisten tilojen sekä toimiston käyttäjien vaatimuksia. Hyvänä rajana voisi pitää  $R'_w = 44$  dB, jolloin normaalia puhetta ei kuule seinän läpi. Mittauksien ajaksi jaettu Neuvotteluhuone 130:n vastaanottopuolen tilavuus oli  $35 \text{ m}^3$  ja lähetyspuolen  $34,75 \text{ m}^3$ . Taiteoven pinta-ala on  $14,91 \text{ m}^2$ .

Liitteen 1 ja kuvan 11 tulosten perusteella voidaan todeta, että seinärakenne ja siihen asennettu taiteovi eivät täytä niille asetettuja vaatimuksia. Mittaustuloksi saatiin laajennetulla taajuusalueella  $R'_w (C_{50-5000}; C_{tr50-5000}) = 22 (-1;-3)$  dB. Otettaessa mukaan spektriadaptaatiotermi  $C_{50-5000}$  rakenteen ilmaääneneristävyudeksi tulee 21 desibeliä.

## Apparent sound reduction index according to ISO140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client: Ympäristöalo - Rakennusvalvonta

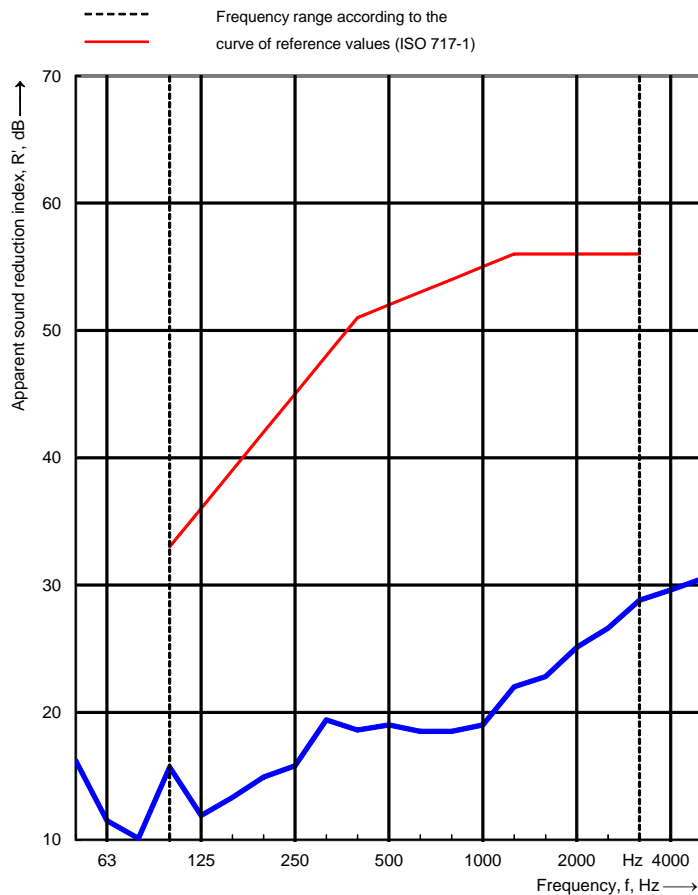
Date of test: 25.4.2012

Description:

Object: Neuvotteluhuone 130, tilan jakava taiteovi. Vaatimus  $R_w$  35 dB

Area S of separating element: 14,91 m<sup>2</sup>  
 Source room volume: 34,75 m<sup>3</sup>  
 Receiving room volume: 35,0 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	16,2
63	11,5
80	10,1
100	15,7
125	11,9
160	13,3
200	14,9
250	15,8
315	19,4
400	18,6
500	19,0
630	18,5
800	18,5
1000	19,0
1250	22,0
1600	22,8
2000	25,1
2500	26,6
3150	28,8
4000	29,6
5000	30,5



Rating according to ISO 717-1

$R_w(C;C_{tr}) = 22 (-1 ; -3) \text{ dB}$

Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -1 \text{ dB}$   $C_{50-5000} = 0 \text{ dB}$   $C_{100-5000} = 0 \text{ dB}$   
 $C_{tr,50-3150} = -3 \text{ dB}$   $C_{tr,50-5000} = -3 \text{ dB}$   $C_{tr,100-5000} = -3 \text{ dB}$

OAMK / Tekniikka

No. of test report:

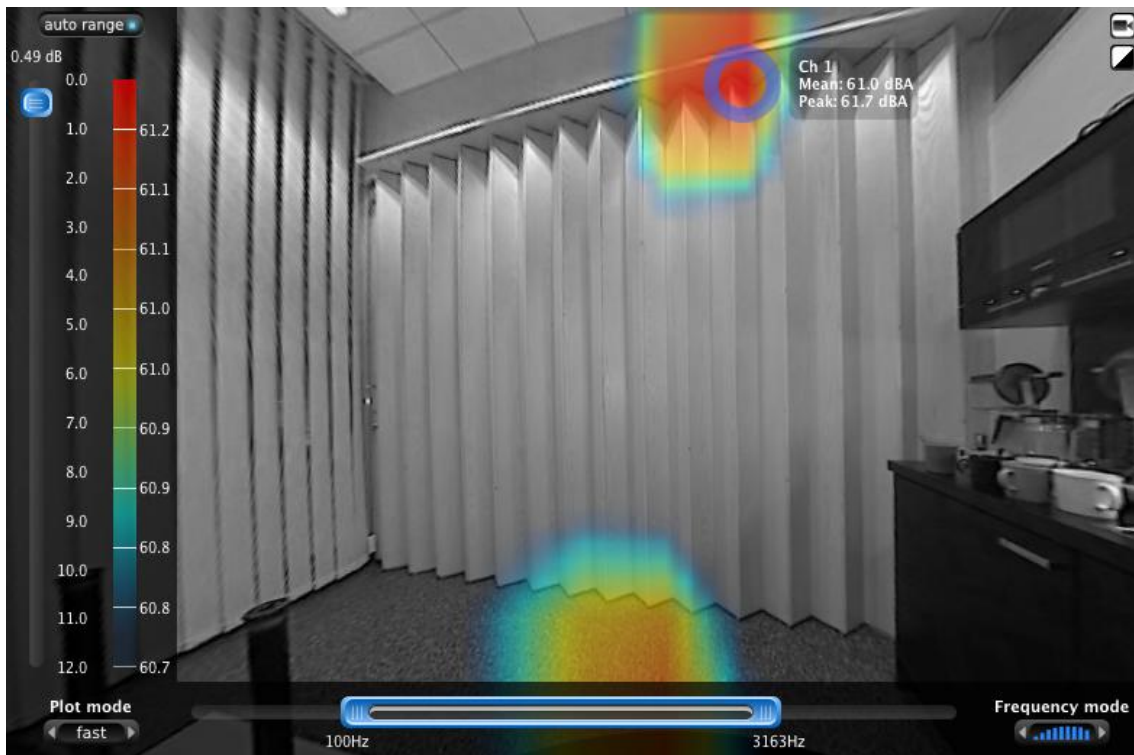
Date: 25.04.2012

Signature:

### KUVA 11. Neuvotteluhuone 130:n ilmaääneneristävyytulokset

Toimistolle sopiva jälkikaiunta-aika tulisi olla noin 0,6–0,9 sekuntia. Neuvotteluhuone 130:ssa se oli 0,34 sekuntia. Alhainen jälkikaiunta-aika lyhentää äänen kestoa, eli puhetta on helpompi ymmärtää.

Muulle äänimittauslaitteistolle tehtiin vertaileva mittaus akustisella kameralla, Norsonic Nor848:lla. Kuten liitteestä 1 käy ilmi, akustisella kameralla päästiin lähes samoihin mittaustuloksiin kuin vertailukohteena olevilla laitteilla. Kun äänilähde tuottaa taajuuskaistoittain 85 dB:n voimakkuudella ääntä, akustisen kameran mukaan seinärakenteen läpäisi eri kohdissa noin 60–62 dB (A). Tästä voidaan päätellä, että rakenteen ilmaääneneristävyys olisi noin 23–25 dB. Mittaustulos on hieman summittainen laitteen rajallisuuden vuoksi, mutta siitä nähdään hyvin rakenteen niin sanotut vuotopaikat (kuva 12).



*KUVA 12. Taiteoven päällä oleva vuotokohta*

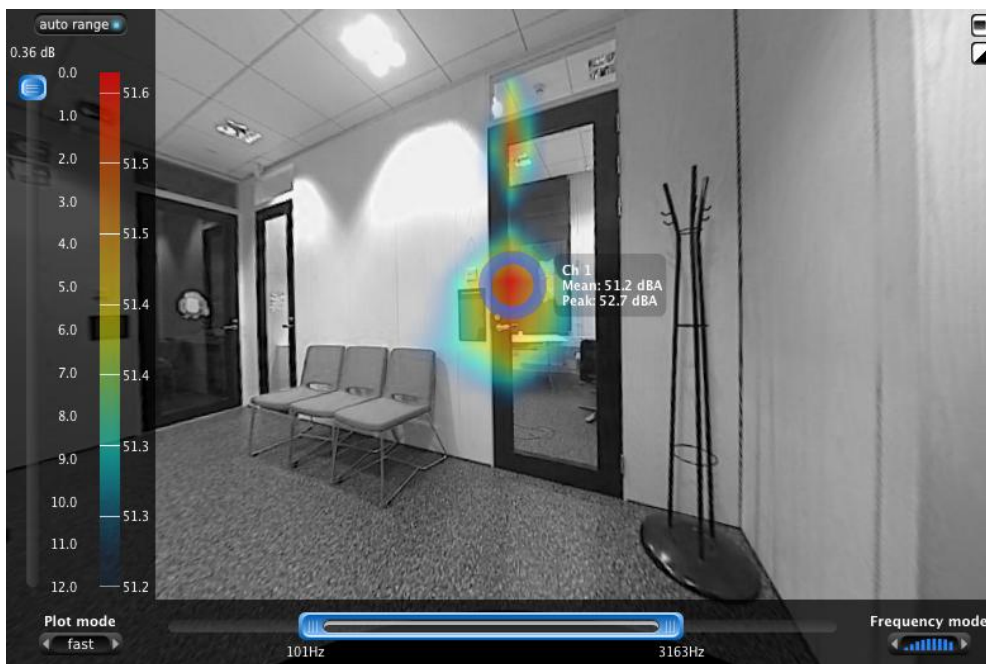
Akustisen kameran perusteella taiteoven ja seinärakenteen heikot kohdat olivat lattianrajassa taiteoven alla olevat raot sekä oven yllä oleva seinärakenne. Tilan käyttäjillä ei ollut tietoa seinärakenteen sisällöstä eikä seinää mittausten yhteydessä purettu, jotta sisällöstä olisi päästy varmuuteen. Liitteessä 1 on esitetty kuvina ja diagrammeina eri taajuusalueilla tiettyjen pisteiden mittaustulokset sekä mittaussvälillä 100:sta Hz:stä 3 150 Hz:iin että laajennetulla välillä 50:stä Hz:stä 5 000 Hz:iin.

## 6.2 Kokoushuone Noppa

Ilmaääneneristävyys mitattiin kokoushuone Nopan ja viereisen käytävän rajoittavasta seinästä. Kevytrakenteiselle järjestelmäväliseinälle oli asetettu vaatimus 35 dB:n ilmaääneneristävyydestä Ympäristötalon rakennusluovutuksessa.

Kuten liitteen 2 tuloksien perusteella voidaan todeta, seinärakenne ei täytä sille asetettuja vaatimuksia. Mittaustulokseksi saatiin laajennetulla taajuusalueella  $R'_{w}(C_{50-5000}; C_{tr50-5000}) = 27 (-1;-1)$  dB. Otettaessa mukaan spektriadaptatiotermi  $C_{50-5000}$ , rakenteen ilmaääneneristävyydeksi tulee 26 dB. Kokoushuone Nopassa mitattiin jälkikaiunta-ajaksi 0,35 sekuntia, joka ylittää reilusti neuvotte- luhuoneiden akustisen luokittelun vähimmäisarvon 0,9 sekuntia.

Vertaileva mittaus suoritettiin akustisella kameralla. Kuten liitteestä 2 selviää, mittaustuloksissa päästiin lähes samoihin tuloksiin muun laitteiston kanssa. Jotta ovien akustiset ominaisuudet toimisivat suunnitellusti, tulisi asennuksen olla melko tiukka. Tässä tapauksessa ovien ja karmien välissä oli havaittavissa löy- syyttä jo ennen mittauksia. Itse seinärakenne toimi halutulla tavalla, mutta ha- vaitut ongelmakohdat olivat ovien ja ikkunan liittymissä olevat vuotokohdat, ku- ten kuva 13 osoittaa.



KUVA 13. Kokoushuone Nopan oven viereiset vuotokohdat

Akustisen kameran mittauksista näkyvät tulokset mittausvälillä 100:sta Hz:stä 3 150 Hz:iin ja laajennetulla välillä 50:stä Hz:stä 5 000 Hz:iin. Tällöin tulokset olivat 50–54 dB (A). Äänilähteen tuottaessa taajuuskaistoittain 85 dB:ä, saatiin akustisen kameran perusteella seinärakenteen ilmaääneneristävyydeksi 31–34 dB (A).

### 6.3 Pellontaus 3

Kohteessa mitattiin jälkikaiunta-aika sekä paikallistettiin mahdollisia heijastuspisteitä keittiöstä ja olohuoneesta koostuvasta avoimesta tilasta. Mittaustilanteessa tilassa oli neljä henkilöä ja normaali kalustus. Mittauksia tehtiin viisi kappaletta, joista jokainen oli 12 sekuntia pitkiä. Mitattavan tilan tilavuus on yli 60 m<sup>3</sup>, joten mittauksissa käytettiin vastaanottohuoneen tilavuudelle arvoa 60 m<sup>3</sup>.

Rakentamismääräyskokoelman osasta C1 ei löydy normaalia asuintaloa vastaavia suosituksia jälkikaiunta-ajoille. Vertailukohteena voisi olla päiväkotien leikkihuoneille ohjeellinen arvo 0,6 sekuntia. Kuten liitteestä 3 selviää, oli jälkikaiunta-aika Pellontaus 3:ssa 0,66 sekuntia, mikä menee vertailuarvon yli. Suurimmat erot keskiarvoon tulivat matalilla, alle 100 Hz:n taajuuksilla.

Akustisella kameralla mitattaessa havaittiin, että eniten ääni heijastui laajasta ja tasaisesta kattopinnasta. Kuten kuva 14 ja liitteen 3 kuvat esittävät, osuvat ääniaallot ensimmäisinä seiniin ja heijastuvat sieltä kattoon.



KUVA 14. Seinän heijastuspiste

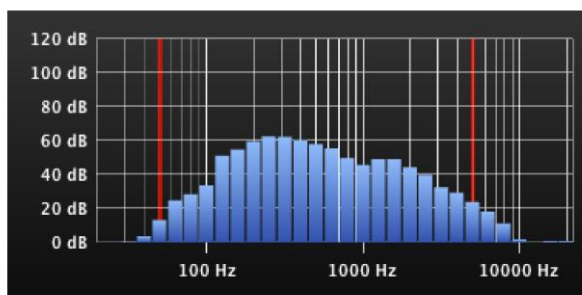




KUVA 15. Äänenpainetason maksimiarvo vanerilevyn saumassa

Katossa olevien vanerilevyjen saumoissa ja piipun juuressa esiintyvät suurimmat desibeliarvot (kuvassa 15), koska niissä ääniaallot törmäävät eivätkä heijastu pois samalla tavalla kuin tasaisesta pinnasta. Ääniaallot siirtyvät matalasta korkeampaan tilaan, joten käyttäjän kannalta ikävin paikka olla on keittiössä. Kuten kuva 16 osoittaa, suurimmat ongelmat ilmenivät tilassa keskitaajuuksilla (noin 125–1 000 Hz). Tämä tarkoittaa sitä, että keskitaajuuksilla esiintyvät äänet häiritsevät käyttäjää eniten.

Frequencies at beam focus point

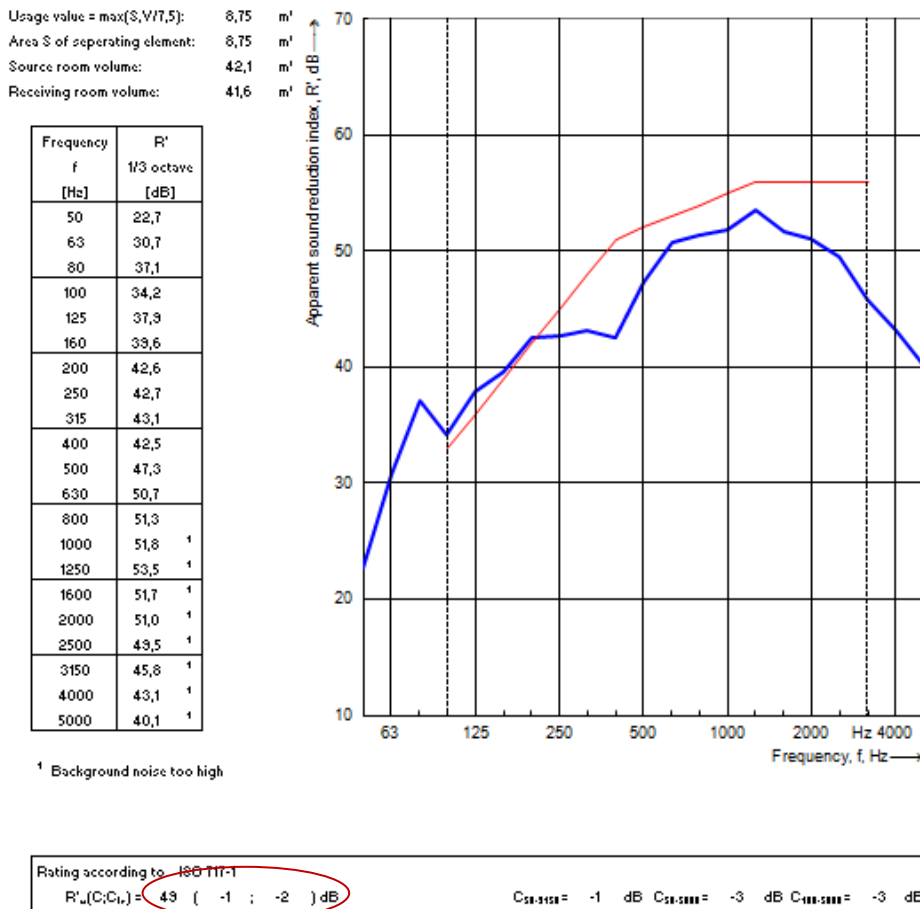


KUVA 16. Taajuuskaistoittain näkyvät desibeliarvot

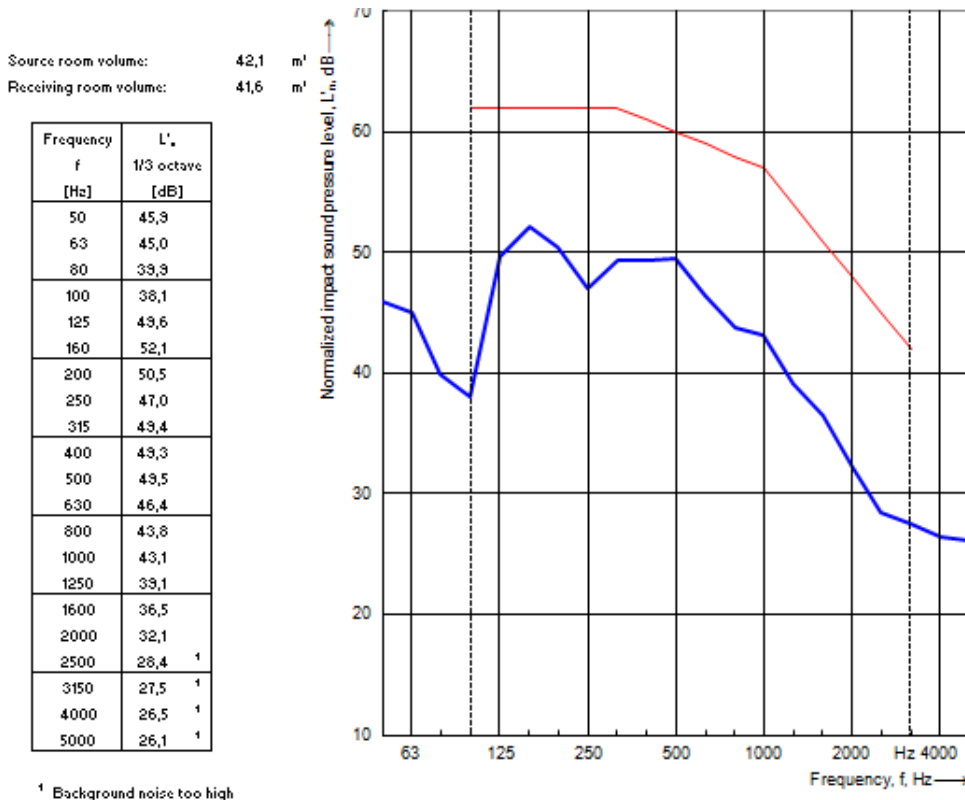
## 6.4 As Oy Oulun Myrskyluoto

Ilmaääneneristävyys mitattiin asunto-osakeyhtiö Oulun Myrskyluodossa D-rapussa. Mitattavana kohteena oli huoneistojen välinen seinä. Vastaanottohuo-

neen tilavuus oli 41,6 m<sup>3</sup> ja lähetysruoneen 42,1 m<sup>3</sup>. Huoneistojen välisen seinän pinta-ala oli 8,75 m<sup>2</sup>. Liitteen 4 tuloksien perusteella voidaan todeta, että seinärakenne ei tule täyttämään sille tulevia vaatimuksia. Mittaustulokseksi saatiin laajennetulla taajuusalueella  $R'_w(C_{50-5000}; C_{tr50-5000}) = 49 (-1;-2)$  dB (kuva 17). Otettaessa mukaan spektriadaptaatiotermi  $C_{50-5000}$ , rakenteen ilmaääneneristävydeksi tuli 48 dB. Askelääneneristävydeksi rakenteille mitattiin  $L'_{n,w}(C_{1,50-5000}) = 45 (-1)$  dB (kuva 18). Kun spektriadaptaatiotermi otetaan mukaan, saadaan rakenteen askelääneneristävydelle arvo 44 dB.



KUVA 17. Ilmaääneneristävyys lukema ja vertailukäyrä punaisella

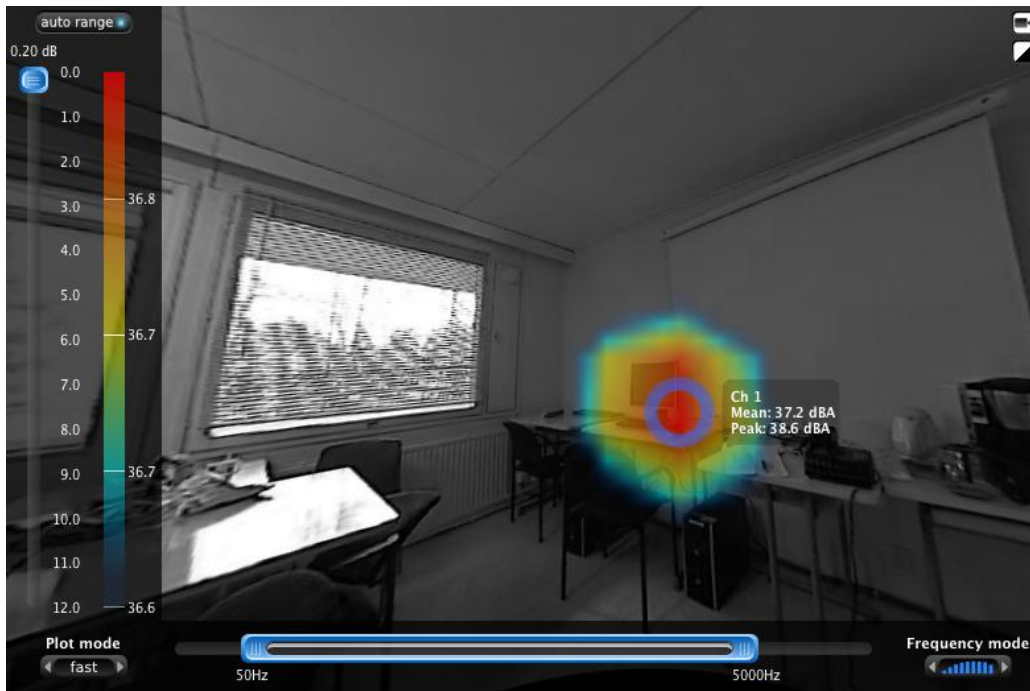


Rating according to ISO 117-2  
 $L'_{n,1/3}(C_i) = 45$  ( -1 ) dB  $C_{1,16-2500} = -1$  dB

KUVA 18. Askelääneneristävyytlukema ja vertailukäyrä punaisella

Huoneessa mitattiin jälkikaiunta-ajaksi 0,46 sekuntia, mikä on hyvä tulos asuin-tilalle. Jos tulosta vertaillaan vastaavaan päiväkotien leikkihuoneiden jälkikaiunta-aikaa 0,6 sekuntia, se on erittäin hyvä. Mittaustulosten mukaan tilassa vallitsi liian suuri taustamelu tietyillä taajuuksilla. Se saattoi johtua mittaajien huolimattomuudesta mittausten aikana.

Vertaileva mittaus suoritettiin akustisella kameralla. Liitteessä 4 esitettyjen tulosten perusteella voidaan todeta, että mittaustuloksissa päästiin lähes samoihin tuloksiin muun laitteiston kanssa. Itse seinärakenne toimi halutulla tavalla, eikä seinän ja lattian liittymäkohdissa näkynyt vuotopaikkoja (kuva 19). Akustisen kameran mittauksista näkyvät tulokset mittaussvälillä 100 Hz:stä 3 150 Hz:iin ja laajennetulla välillä 50Hz:stä 5 000 Hz:iin. Ilmääneneristävyyssmittauksien aikana tuloksissa näkyy seinäpinnassa noin 37–39 dB:n (A) ja askelääneneristävyyssmittauksien aikana noin 49–52 dB:n (A) äänenpainetasoja.



KUVA 19. Ilmaääneneristävyys laajennetulla taajuusalueella 50-5000 Hz

Kuten kuvista 20 ja 21 nähdään, ei äänenpainetasoissa näy eroja eri lattian kohdissa. Äänilähteen tuottaessa taajuuskaistoittain 85 dB:ä, saadaan akustisen kameran perusteella seinärakenteen ilmaääneneristävyydeksi 46–48 dB (A) ja lattian askelääneneristävyydeksi 33–36 dB (A).



KUVA 20. Askelääneneristävyys seinän ja välipohjan liittymässä



*KUVA 21. Askelääneneristävyys lattialla noin metrin päässä seinästä*

## 7 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus tutustua akustiseen kameraan Norsonic Nor848:aan ja vertailla sen tuloksia muihin perinteisiin äänimittauslaitteisiin. Pääroolissa oli laitteiden vertailu eikä niinkään tulosten jälkeiset korjausehdotukset. Vaikka mittalaitteet olivat myöhässä vuosittaisesta kalibroinnista eivätkä täten kävisi esimerkiksi riita-asioiden selvittelyyn, antoivat ne suuntaa antavaa tietoa akustisen kameran tarkkuudesta.

Akustinen kamera teki positiivisen vaikutuksen helppokäyttöisyydellään ja havainnollistavuudellaan. Se on ylivoimainen laite mahdollisten vuotopaikkojen paikantamisesta. Tietyt puutteet ja ongelmat eivät mahdollista sen käyttöä mittalaitteena, vaan se toimii lähinnä apulaitteena äänimittauksia tehdessä.

Akustista kameraa koekäytettiin erityyppisissä rakennuksissa, joissa sen toimintakykyä vertailtiin erilaisissa äänimittauksissa. Käytännössä aluksi tehtiin ilma- ja askelääneneristävyysmittauksia tavanomaisilla mittalaitteilla, minkä jälkeen mittaukset toistettiin akustisella kameralla. Lopuksi tuloksia vertailtiin ja tehtiin johtopäätökset.

Akustisella kameralla saatiin lähes samoja tuloksia kuin muilla Oulun seudun ammattikorkeakoulun äänimittauslaitteilla. Ainoa suurin yllätys ja merkittävä ero mittausvälineiden välille tuli Luotolaisentien askelääneneristävyden mittauksessa. Akustinen kamera näytti lähes samoja arvoja joka puolelle mittaushuonetta. Tätä voidaan selittää sillä, että rakennuksessa ei ollut vuotokohtia, vaan äänet tulivat tasaisesti runkoa pitkin. Sen takia akustinen kamera ei päässyt oikeuksiinsa. Jo ennen tämän opinnäytetyön tekoa akustista kameraa oli testattu kunnollisessa kotiteatterissa. Tällaisissa käyttökohteissa se pääsee oikeuksiinsa, kun halutaan minimoida tilaan syntyvät heijastukset.

Jo perinteisillä äänimittauslaitteilla mitattaessa voitiin todeta, ettei Ympäristötalon kohteissa päästy vaatimusten mukaisiin ääneneristävyystasoihin. Akustisella kameralla pystyttiin paikantamaan ongelmakohdat ovien ja ikkunoiden liittymiin. Jos niiden asennukset olisi tehty paremmin, rakenteet olisivat voineet täyttää nykyisessä tilassaan niille annetut vaatimukset ilmaääneneristävydestä.

Omakotitalossa, Pellontaus 3:ssa, tuloksista voitiin todeta, että jälkikäivä-aika oli turhan pitkä. Ongelmaksi tilassa muodostui suuri avoin tila, missä oli käytännössä vain kovia ja tasaisia pintoja. Näistä ääniaallot pääsevät suoraan heijastumaan, mikä aiheuttaa sen, että puheesta on hankala saada selvää. Asunto-osakeyhtiö Oulun Myrskyluodon saneerauksessa oli tavoitteena äänivaatimuksissa päästä uusien asuinrakennusten tasolle. Mittaustulokset osoittivat, että vanhoja rakenteita on parannettava, jotta vaatimukseen päästäisiin. Akustisella kameralla ei tästä kohteesta löytynyt yksittäisiä vuotokohtia, vaan rakenne vuoti tasaisesti, eli paksuus ei riittänyt eristämään ääntä. Kun rakennus on saneerattu, olisi mielenkiintoista mitata sen ääneneristävyys uudelleen ja katsoa millaisilla toimenpiteillä päästiin ohjeistettuihin ääneneristävyysvaatimuksiin.

Uuteen "mittalaitteeseen" oli erittäin mielenkiintoista tutustua, erityisesti Oulun seudun ammattikorkeakoulun osaavan henkilökunnan avustuksella. Tämän opinnäytetyön ja akustiikka-aiheeseen syventymisen jälkeen olen huomannut, kuinka suuri merkitys akustiikalla on asumisviihtyvyyteen nykypäivän rakennuksissa. Akustiikka tulisikin muistaa huomioida jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa.

## LÄHTEET

Karjalainen, Matti 2000. Hieman akustiikkaa. Saatavissa:  
<http://www.cs.tut.fi/sgn/arg/akusem/akuintro.pdf>. Hakupäivä 20.2.2012. Helsinki:  
Teknillinen korkeakoulu

Korpinen, Pertti 2005. Äänipää - Äänen taajuus. Saatavissa:  
[http://www.aanipaa.tamk.fi/taajuu\\_1.htm](http://www.aanipaa.tamk.fi/taajuu_1.htm). Hakupäivä 23.2.2012. Tampere:  
Tampereen ammattikorkeakoulu.

Laaksonen, Jukka 2006. Äänityön kivijalka. Helsinki: Idemco Oy, Riffi-julkaisut

Lahti, Tapio 1995. Akustinen mittaustekniikka. Raportti 38, 2. korjattu painos.  
Helsinki: Teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto, Akustiikan ja äänen-  
käsittelytekniikan laboratorio.

Norsonic Nor848. Instruction Manual 2011.

RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perus-  
teet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

SFS 5907. 2004. Rakennusten akustinen luokitus. Helsinki: SFS Standardisoi-  
misliitto.

SFS-EN ISO 140-4. 1998. Akustiikka. Rakennusten ja rakennusosien äänieris-  
tävyuden mittaaminen. Osa 4: Huoneiden välisen ilmaääneneristävyyden kent-  
tämittaukset. Helsinki: SFS Standardisoiomisliitto.

Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Määräykset ja ohjeet 1998.  
Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ääneneristys rakennuksessa. 2003. Ympäristöopas 99. Helsinki: Ympäristömi-  
nisteriö.



### Apparent sound reduction index according to ISO140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

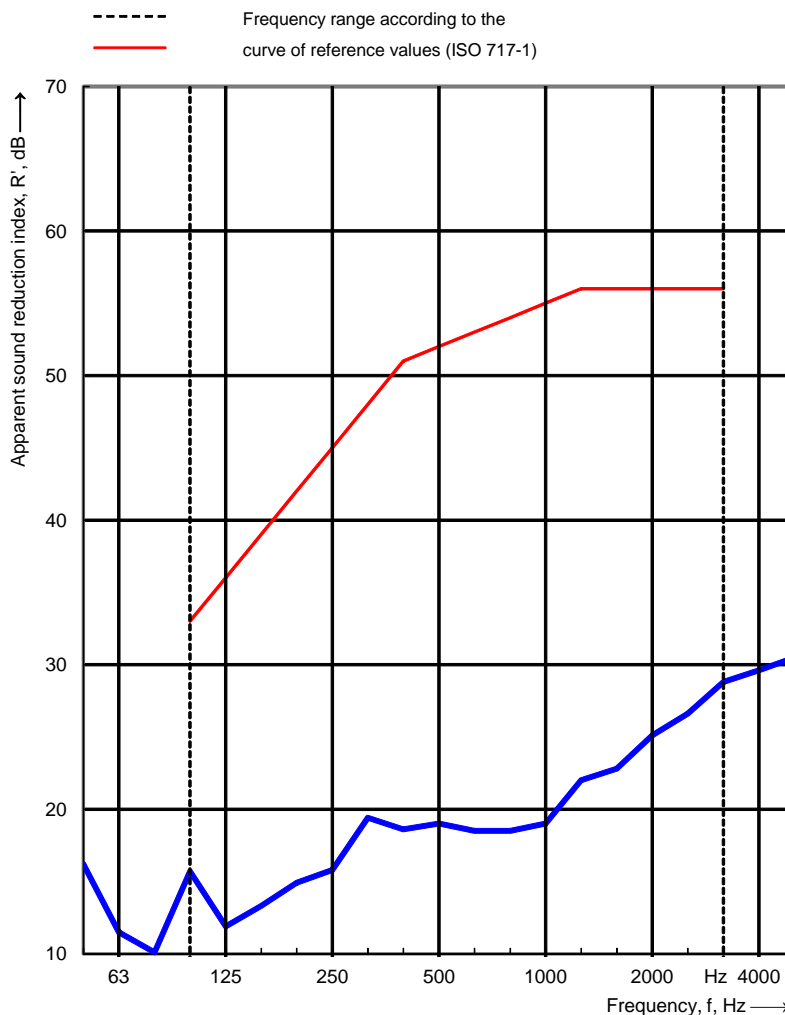
Client: Ympäristö- ja rakennusvalvonta  
 Description:

Date of test: 25.4.2012

Object: Neuvotteluhuone 130, tilan jakava taiteovi. Vaatimus  $R'_w$  35 dB

Area S of separating element: 14,91 m<sup>2</sup>  
 Source room volume: 34,75 m<sup>3</sup>  
 Receiving room volume: 35,0 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	16,2
63	11,5
80	10,1
100	15,7
125	11,9
160	13,3
200	14,9
250	15,8
315	19,4
400	18,6
500	19,0
630	18,5
800	18,5
1000	19,0
1250	22,0
1600	22,8
2000	25,1
2500	26,6
3150	28,8
4000	29,6
5000	30,5



Rating according to ISO 717-1  
 $R'_w(C;C_{tr}) = 22 (-1 ; -3) \text{ dB}$   
 Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -1 \text{ dB}$     $C_{50-5000} = 0 \text{ dB}$     $C_{100-5000} = 0 \text{ dB}$   
 $C_{tr,50-3150} = -3 \text{ dB}$     $C_{tr,50-5000} = -3 \text{ dB}$     $C_{tr,100-5000} = -3 \text{ dB}$

OAMK / Tekniikka

No. of test report:

Date: 25.04.2012

Signature:

### Apparent sound reduction index according to ISO140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Rating according to ISO 717-1	$R'_w(C;C_{tr}) = 22$ ( -1 ; -3 ) dB	$C_{50-3150} = -1$ dB	$C_{50-5000} = 0$ dB	$C_{100-5000} = 0$ dB
Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.		$C_{tr,50-3150} = -3$ dB	$C_{tr,50-5000} = -3$ dB	$C_{tr,100-5000} = -3$ dB

Sum of unfavourable deviations : 29,5 dB  
 Max. unfavourable deviation : 6,0 dB at 1000 Hz

Frequency [Hz]	R' [dB]	L1 [dB]	L2 [dB]	T [s]	Corr. [dB]	u. Dev. [dB]
50	16,2	71,6	59,3	0,93	3,9	
63	11,5	70,2	58,5	0,36	-0,2	
80	10,1	75,4	65,6	0,40	0,3	
100	15,7	79,8	66,8	0,70	2,7	
125	11,9	83,8	70,1	0,25	-1,8	
160	13,3	86,8	71,7	0,25	-1,8	
200	14,9	88,4	72,1	0,27	-1,4	
250	15,8	88,4	71,2	0,27	-1,4	
315	19,4	88,8	68,4	0,30	-1,0	
400	18,6	84,2	64,9	0,32	-0,7	2,4
500	19,0	82,8	63,6	0,36	-0,2	3,0
630	18,5	81,2	62,1	0,33	-0,6	4,5
800	18,5	79,6	60,7	0,34	-0,4	5,5
1000	19,0	76,9	57,5	0,34	-0,4	6,0
1250	22,0	78,8	56,1	0,32	-0,7	4,0
1600	22,8	79,2	55,7	0,32	-0,7	3,2
2000	25,1	76,3	50,2	0,30	-1,0	0,9
2500	26,6	73,0	45,7	0,32	-0,7	
3150	28,8	70,8	41,2	0,31	-0,8	
4000	29,6	68,7	38,4	0,32	-0,7	
5000	30,5	66,4	35,2	0,32	-0,7	

Receiving room volume: 35,0 m³  
 Source room volume: 34,75 m³  
 Area S of separating element: 14,91 m²

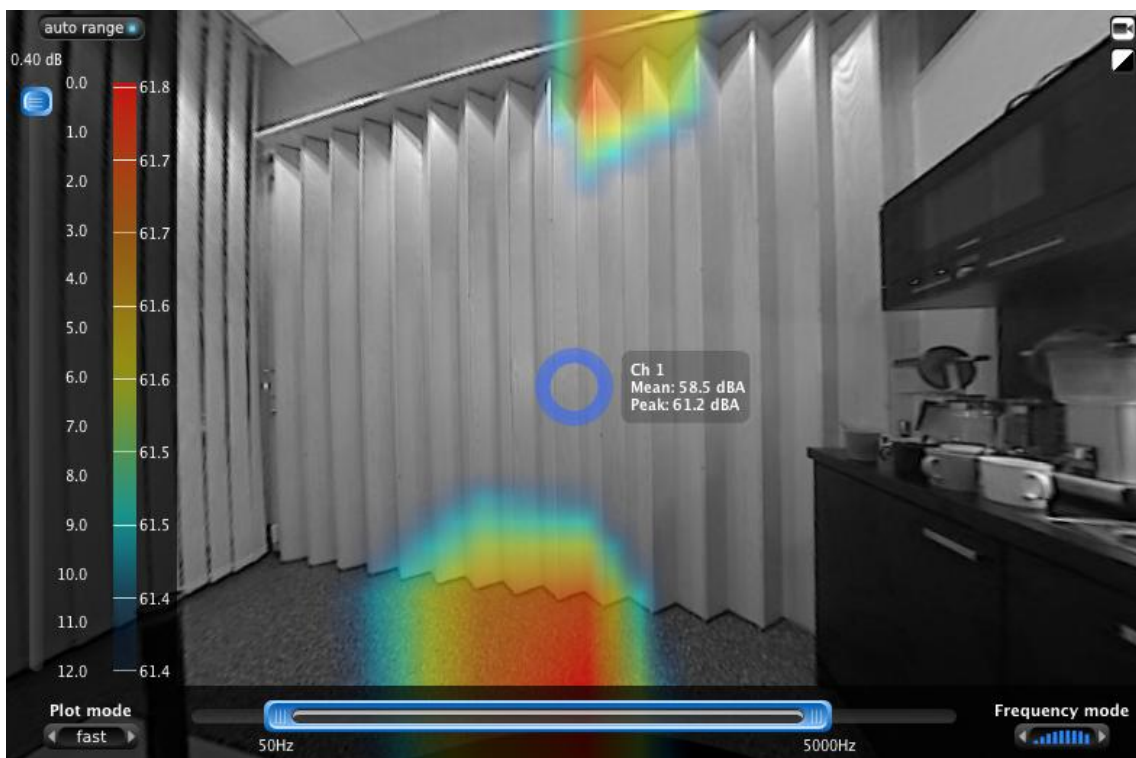
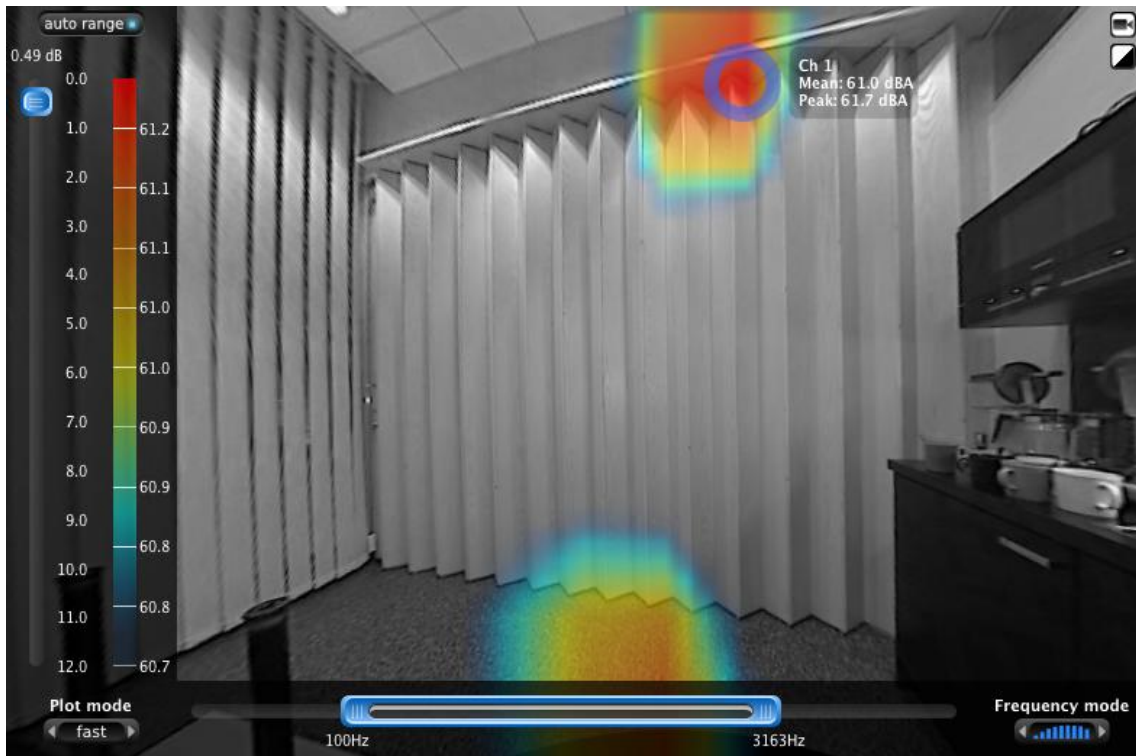
Remarks:

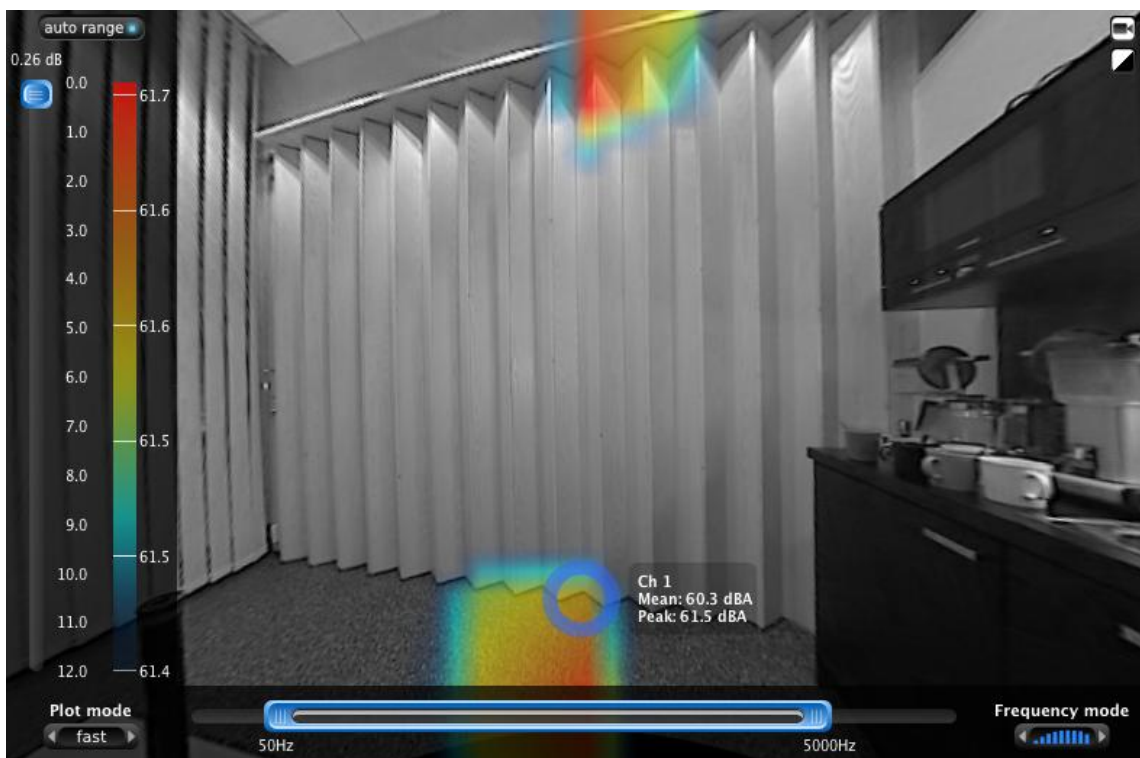
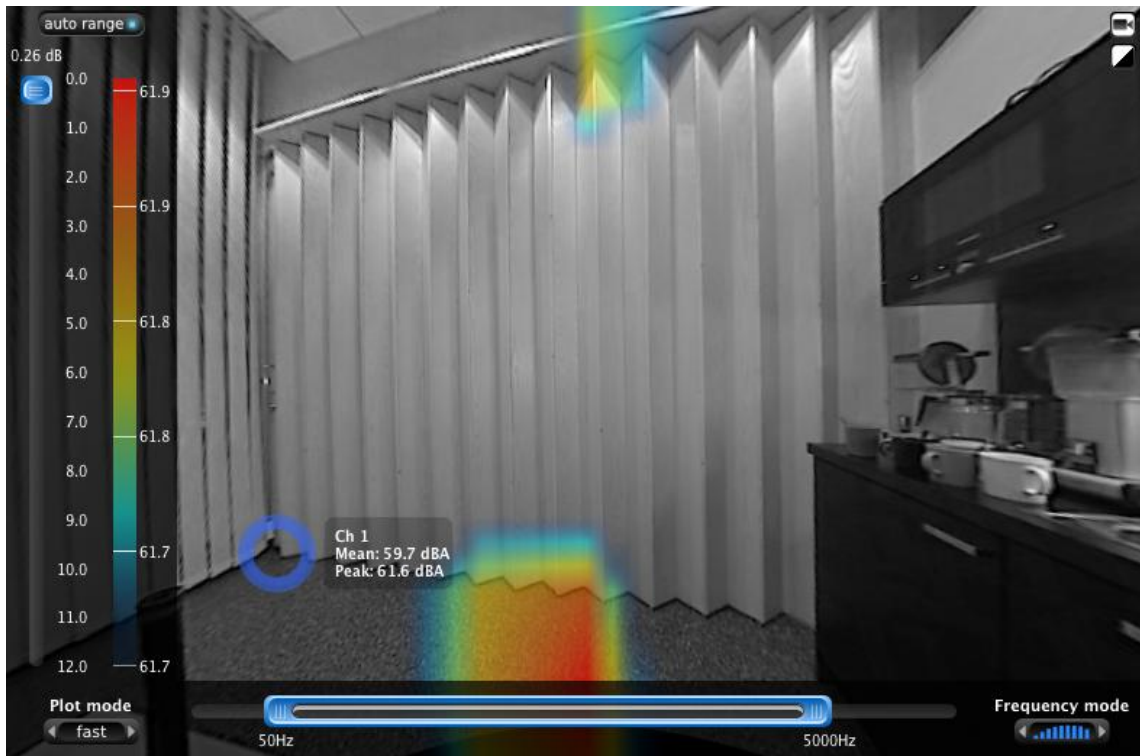
No. of test report:

**Background noise correction table**

Frequency [Hz]	L2 [dB]	L2sb [dB]	Lb [dB]	L2-L2sb [dB]	
50	59,3	59,3	36,4		
63	58,5	58,5	27,1		
80	65,6	65,6	27,7		
100	66,8	66,8	37,5		
125	70,1	70,1	30,0		
160	71,7	71,7	31,4		
200	72,1	72,1	29,5		
250	71,2	71,2	30,2		
315	68,4	68,4	27,8		
400	64,9	64,9	27,7		
500	63,6	63,6	25,9		
630	62,1	62,1	22,0		
800	60,7	60,7	19,1		
1000	57,5	57,5	18,7		
1250	56,1	56,1	19,2		
1600	55,7	55,7	20,8		
2000	50,2	50,2	20,4		
2500	45,7	45,7	20,2		
3150	41,2	41,2	20,6		
4000	38,4	38,4	21,5		
5000	35,2	35,2	22,8		

Legend:  
Lb: Background noise level  
L2sb: Signal and background noise in the receiving room  
L2: Adjusted signal level

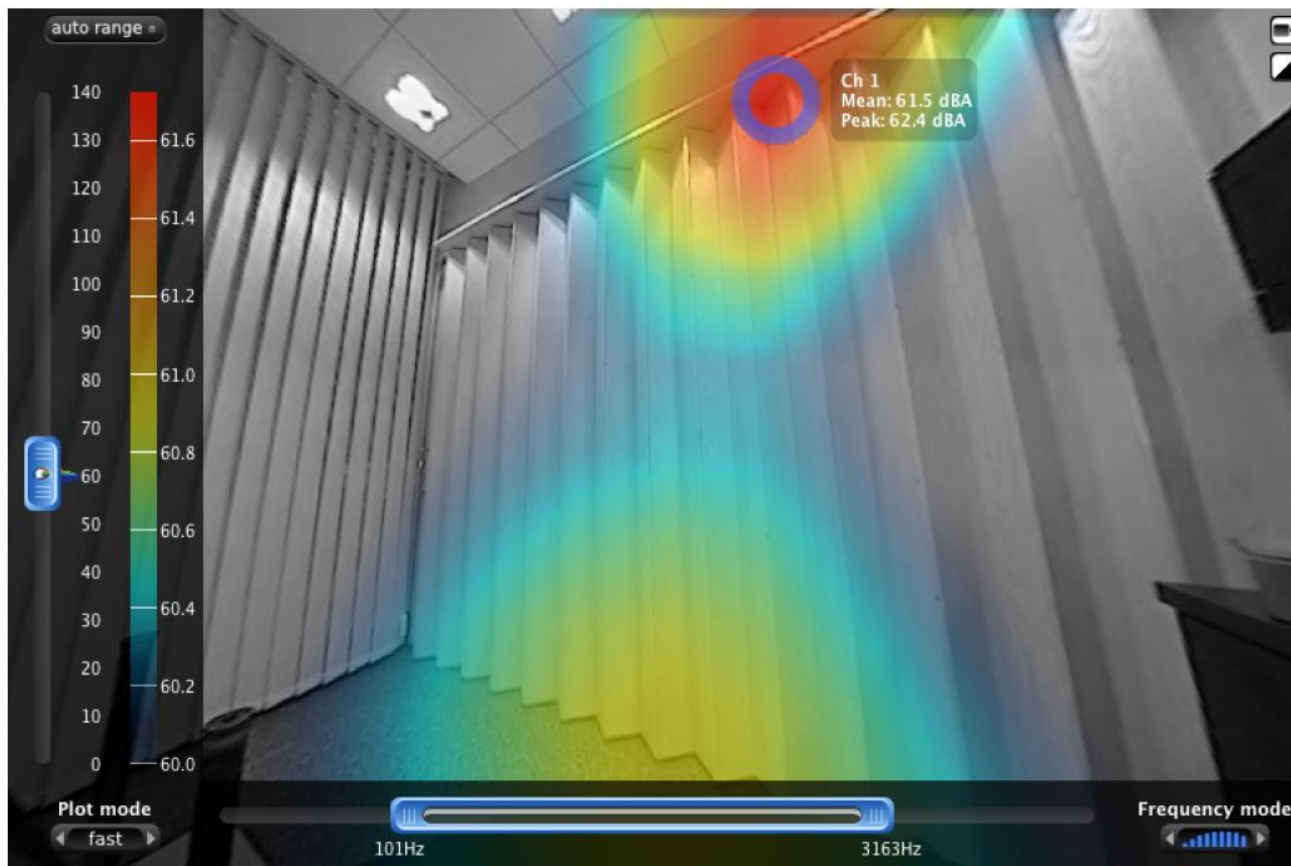




Report date: Thu 2012-04-26 10:17:36 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Acoustic Camera Report

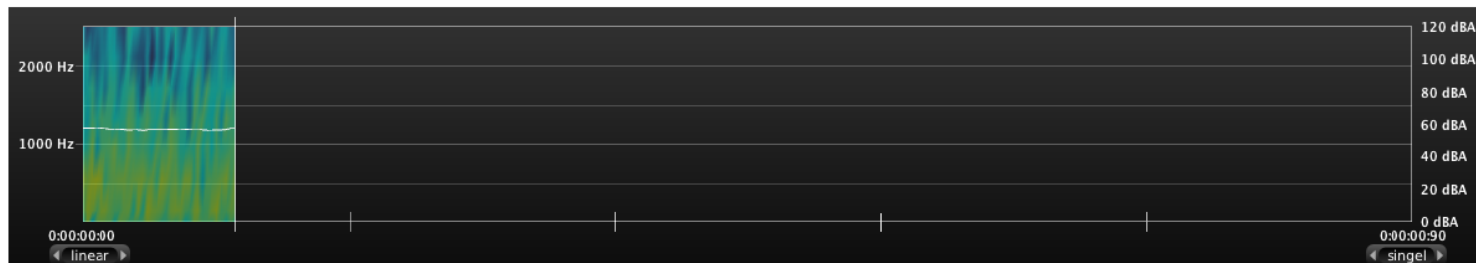


Distance: 1.98068 meters  
Measurement note: Neuvotteluhuone 130

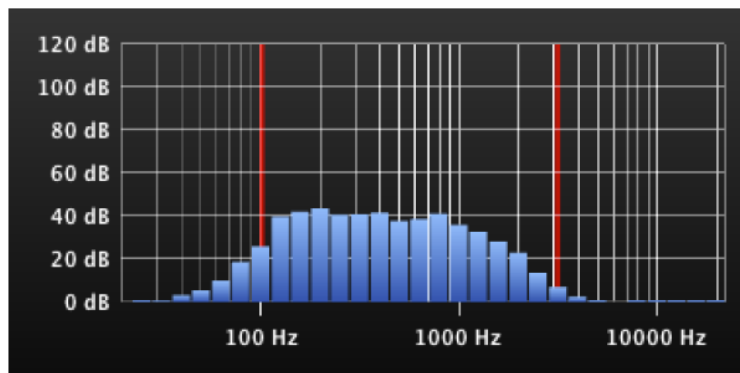
Report date: Thu 2012-04-26 10:17:36 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



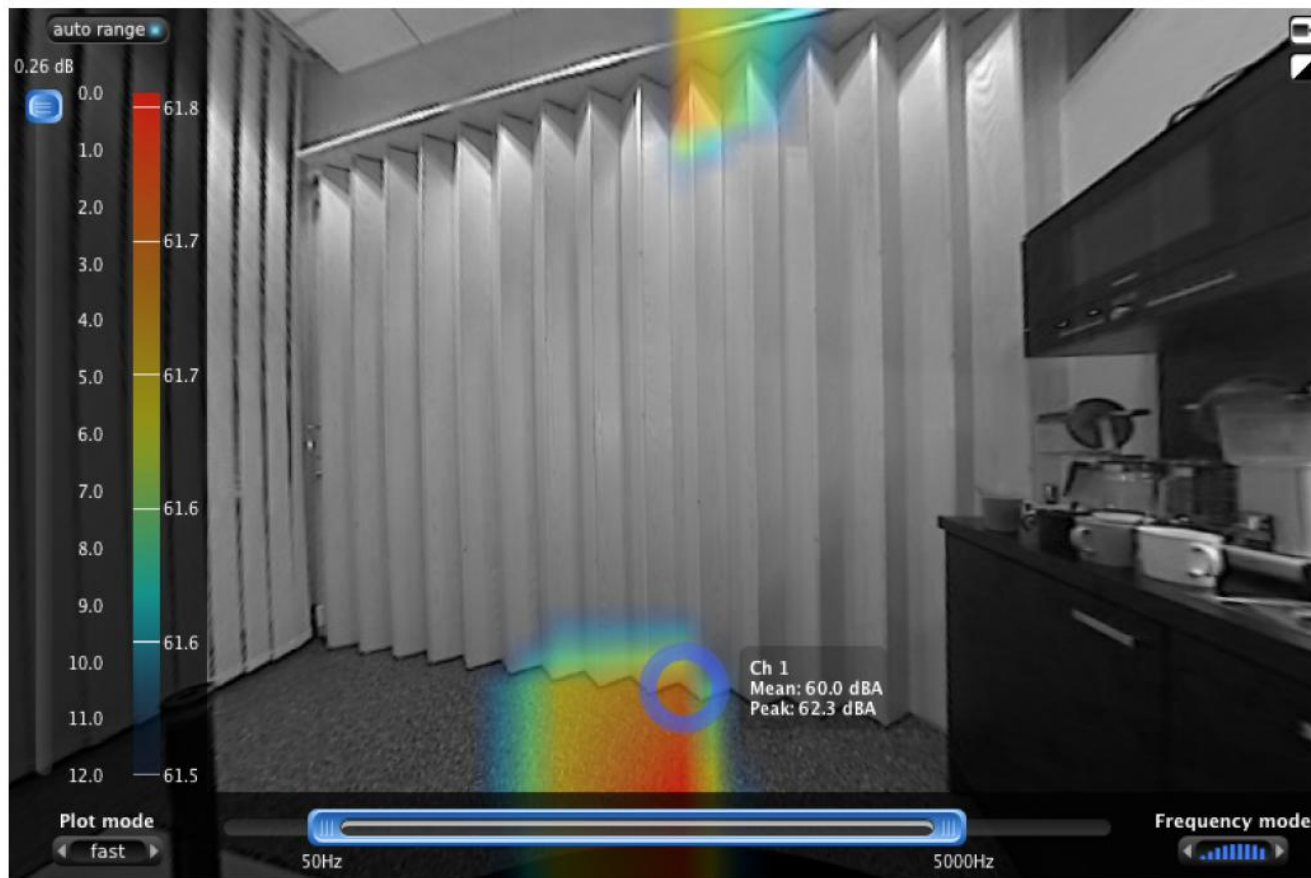
### Frequencies at beam focus point



Report date: Fri 2012-04-27 09:31:36 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Acoustic Camera Report



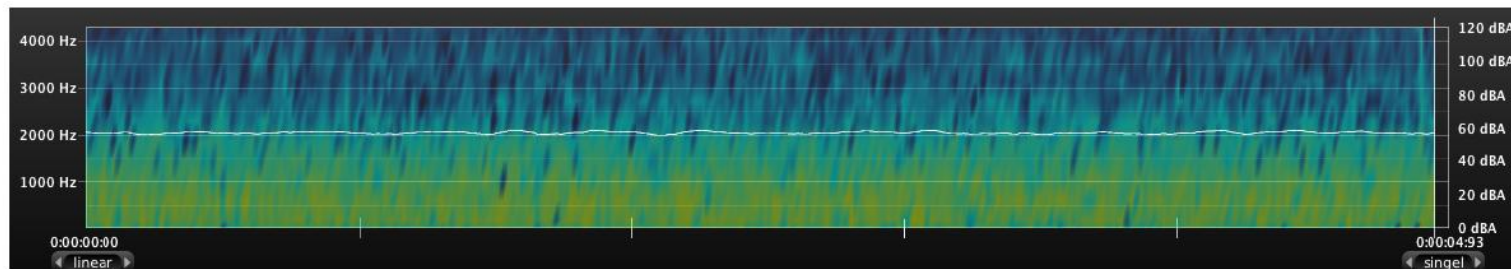
Distance: 1.98068 meters  
Measurement note: Neuvotteluhuone 130



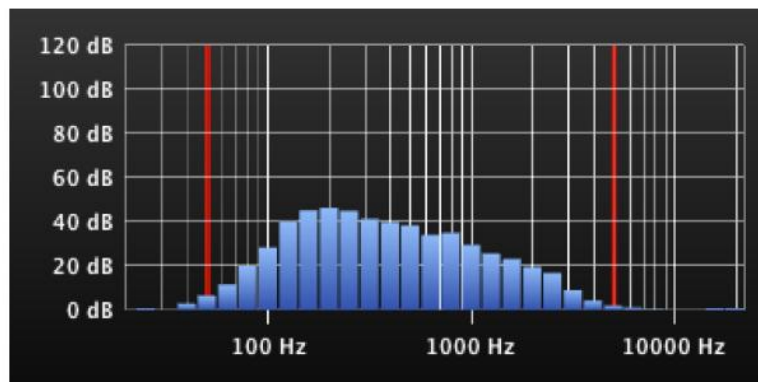
Report date: Fri 2012-04-27 09:31:36 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



### Frequencies at beam focus point



### Apparent sound reduction index according to ISO140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client: Ympäristöalo - Rakennusvalvonta

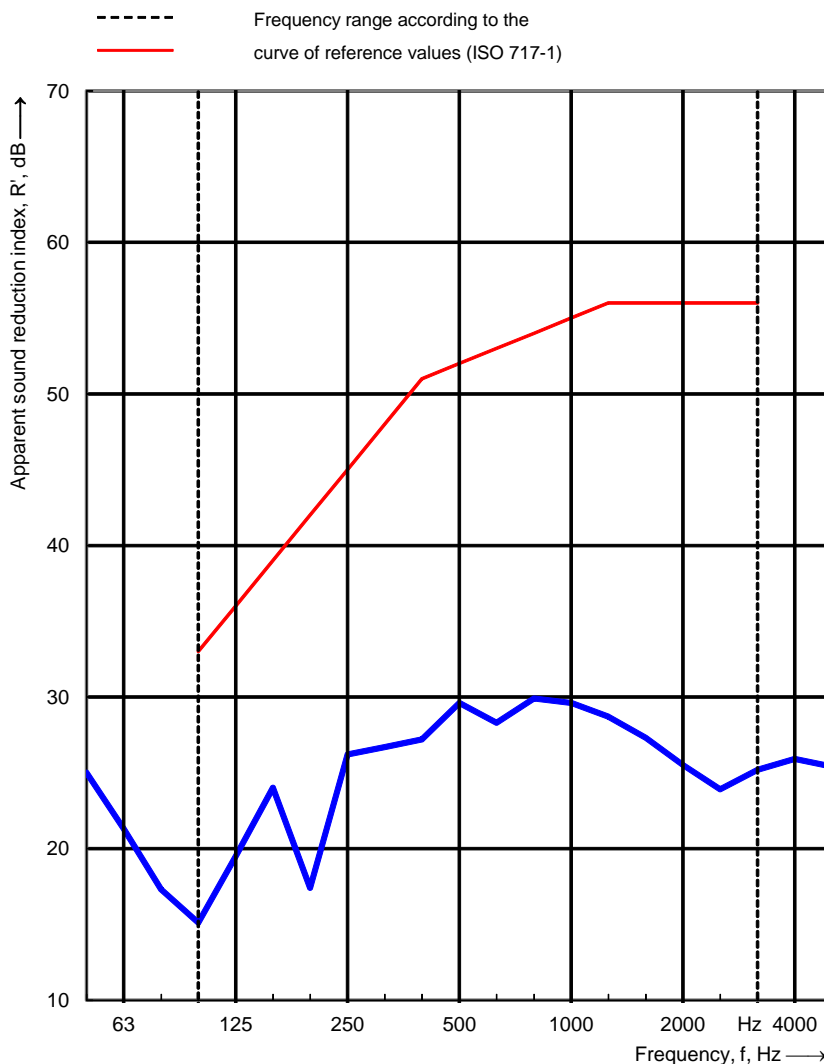
Date of test: 25.4.2012

Description:

Object: Kokoushuone Nopan ja käytävän välinen seinärakenne.

Area S of separating element: 14,30 m<sup>2</sup>  
 Source room volume: 53 m<sup>3</sup>  
 Receiving room volume: 60,0 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	25,0
63	21,3
80	17,3
100	15,1
125	19,5
160	24,0
200	17,4
250	26,2
315	26,7
400	27,2
500	29,6
630	28,3
800	29,9
1000	29,6
1250	28,7
1600	27,3
2000	25,5
2500	23,9
3150	25,2
4000	25,9
5000	25,4



Rating according to ISO 717-1  
 $R'_w(C;C_{tr}) = 27$  ( -1 ; -1 ) dB  
 Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -1$  dB     $C_{50-5000} = -1$  dB     $C_{100-5000} = -1$  dB  
 $C_{tr,50-3150} = -1$  dB     $C_{tr,50-5000} = -2$  dB     $C_{tr,100-5000} = -1$  dB

OAMK / Tekniikka

No. of test report:

Date: 25.04.2012

Signature:

### Apparent sound reduction index according to ISO140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Rating according to ISO 717-1  
 $R'_{w}(C;C_{tr}) = 27$  ( -1 ; -1 ) dB  
 Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -1$  dB  $C_{50-5000} = -1$  dB  $C_{100-5000} = -1$  dB  
 $C_{tr,50-3150} = -1$  dB  $C_{tr,50-5000} = -2$  dB  $C_{tr,100-5000} = -1$  dB

Sum of unfavourable deviations : 24,8 dB  
 Max. unfavourable deviation : 7,1 dB at 2500 Hz

Frequency [Hz]	R' [dB]	L1 [dB]	L2 [dB]	T [s]	Corr. [dB]	u. Dev. [dB]
50	25,0	70,4	50,4	2,11	5,0	
63	21,3	71,2	50,4	0,75	0,5	
80	17,3	75,4	55,4	0,36	-2,7	
100	15,1	77,6	58,4	0,26	-4,1	
125	19,5	83,6	60,9	0,32	-3,2	
160	24,0	85,7	60,2	0,48	-1,5	
200	17,4	86,2	66,8	0,42	-2,0	
250	26,2	86,1	58,7	0,51	-1,2	
315	26,7	85,6	57,8	0,52	-1,1	
400	27,2	85,2	56,0	0,42	-2,0	
500	29,6	83,6	51,6	0,39	-2,4	
630	28,3	79,8	48,9	0,37	-2,6	
800	29,9	77,8	45,2	0,36	-2,7	
1000	29,6	75,8	43,4	0,35	-2,8	0,4
1250	28,7	77,3	46,0	0,37	-2,6	2,3
1600	27,3	76,9	47,1	0,38	-2,5	3,7
2000	25,5	75,3	47,0	0,35	-2,8	5,5
2500	23,9	71,8	44,1	0,28	-3,8	7,1
3150	25,2	68,7	40,7	0,35	-2,8	5,8
4000	25,9	66,8	37,9	0,34	-3,0	
5000	25,4	64,5	35,7	0,31	-3,4	

Receiving room volume: 60,0 m³  
 Source room volume: 53 m³  
 Area S of separating element: 14,30 m²

Remarks:

No. of test report:

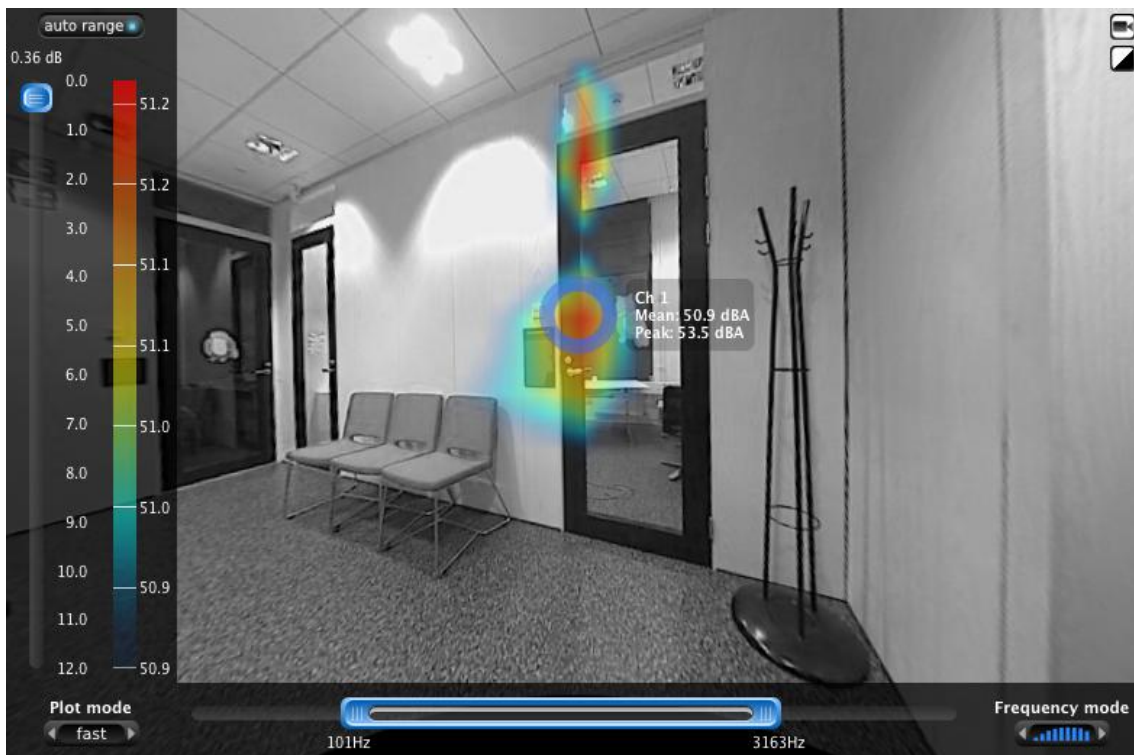
#### Level overview

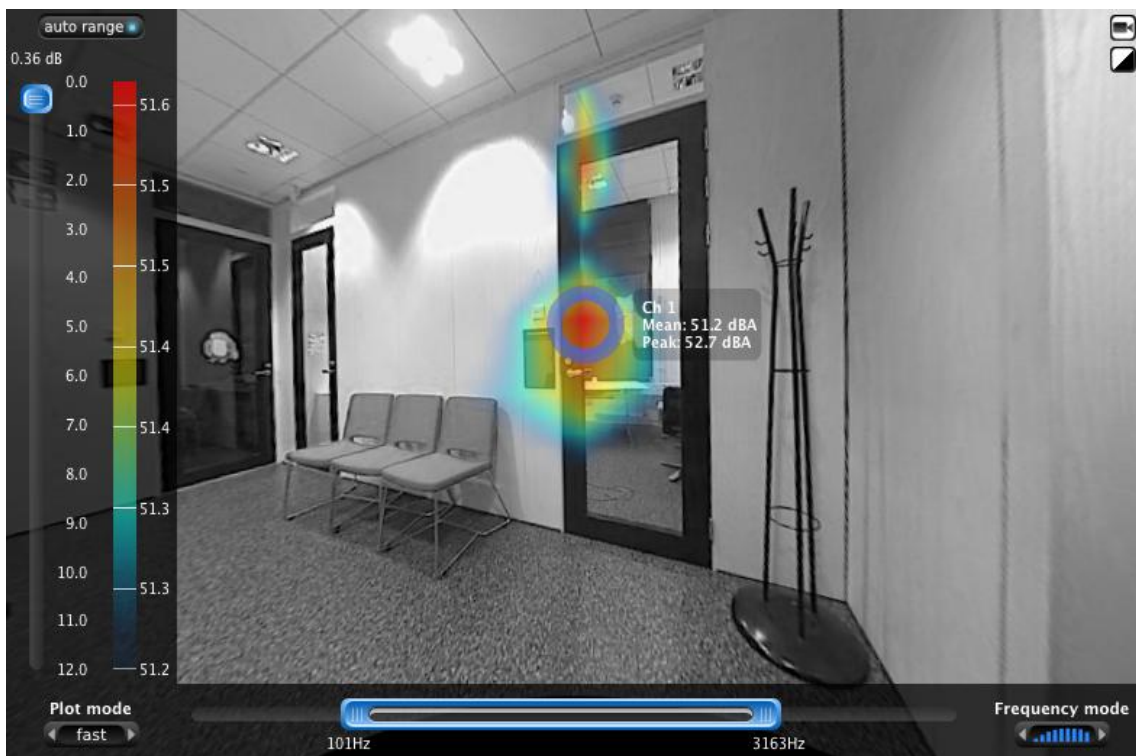
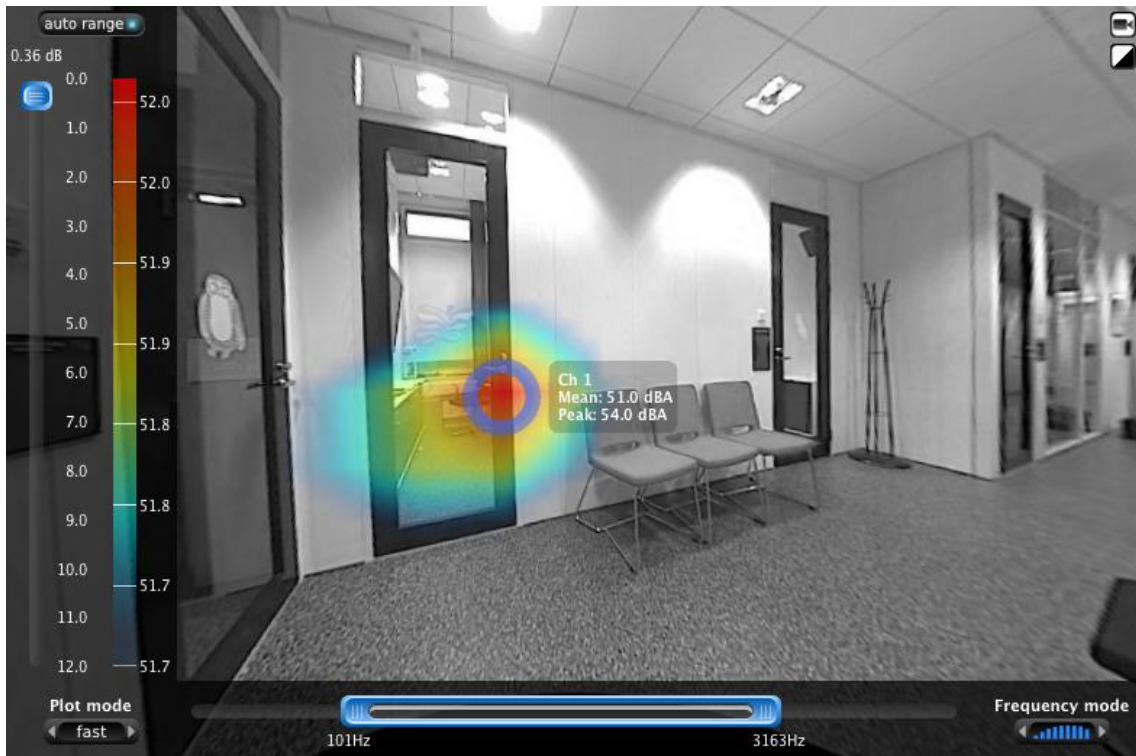
-  L1
-  L2
-  Lb

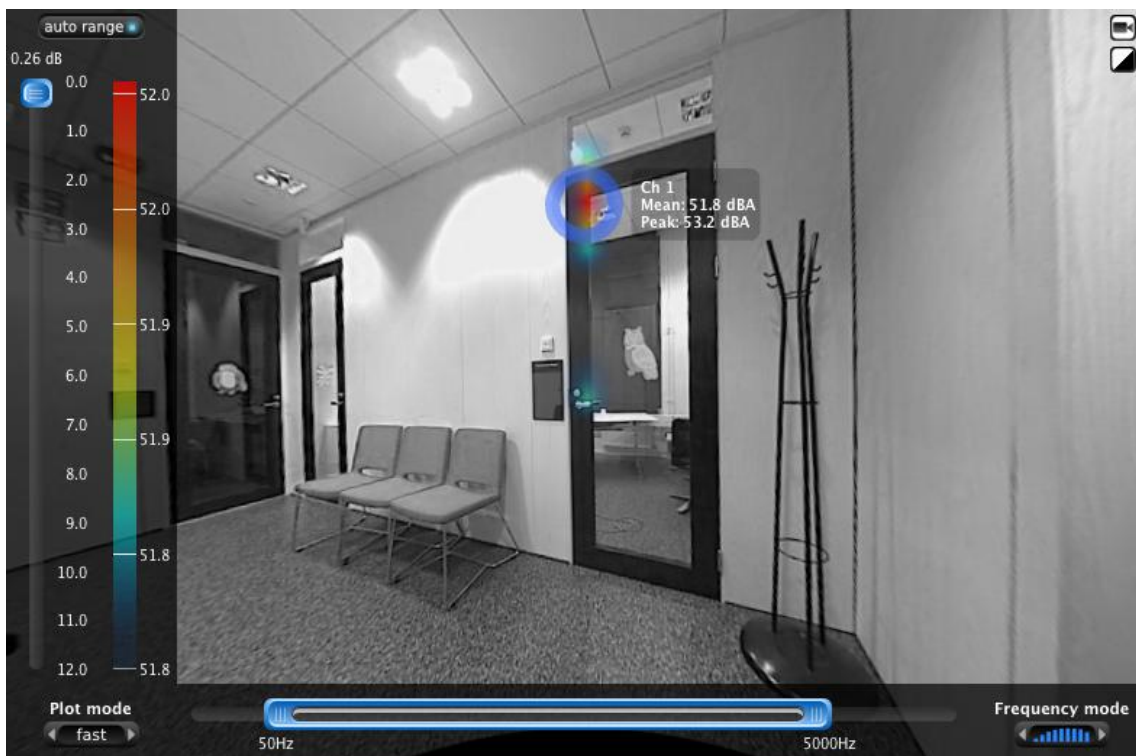
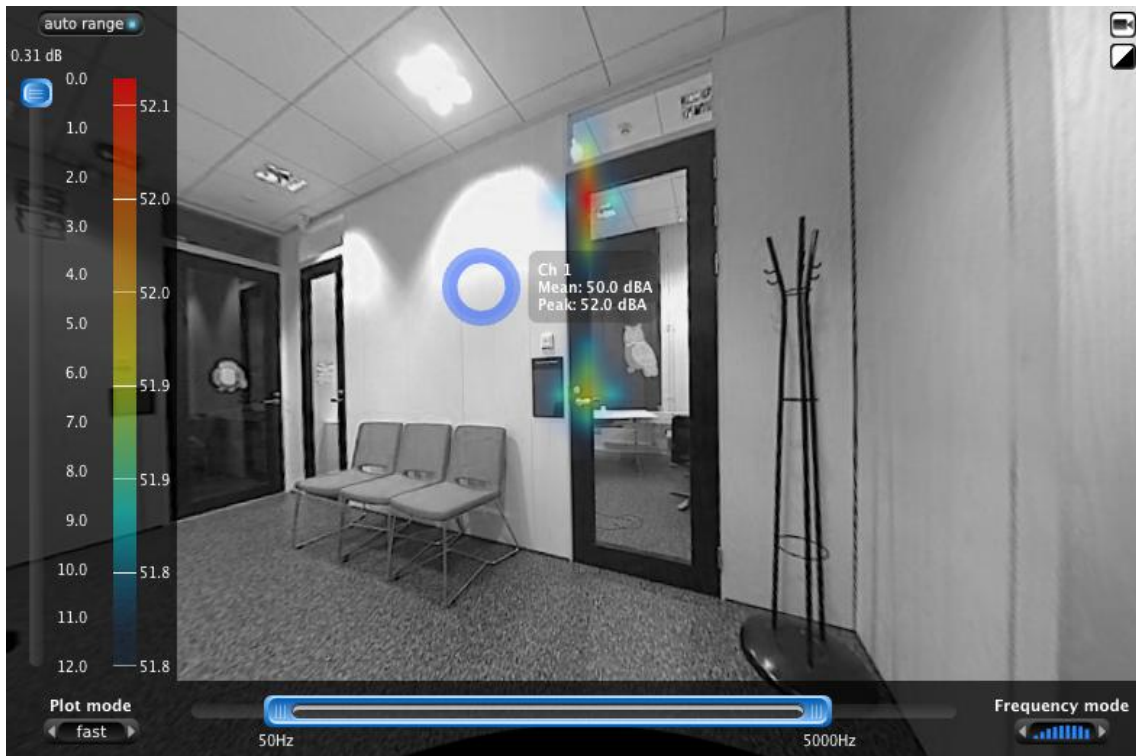
**Background noise correction table**

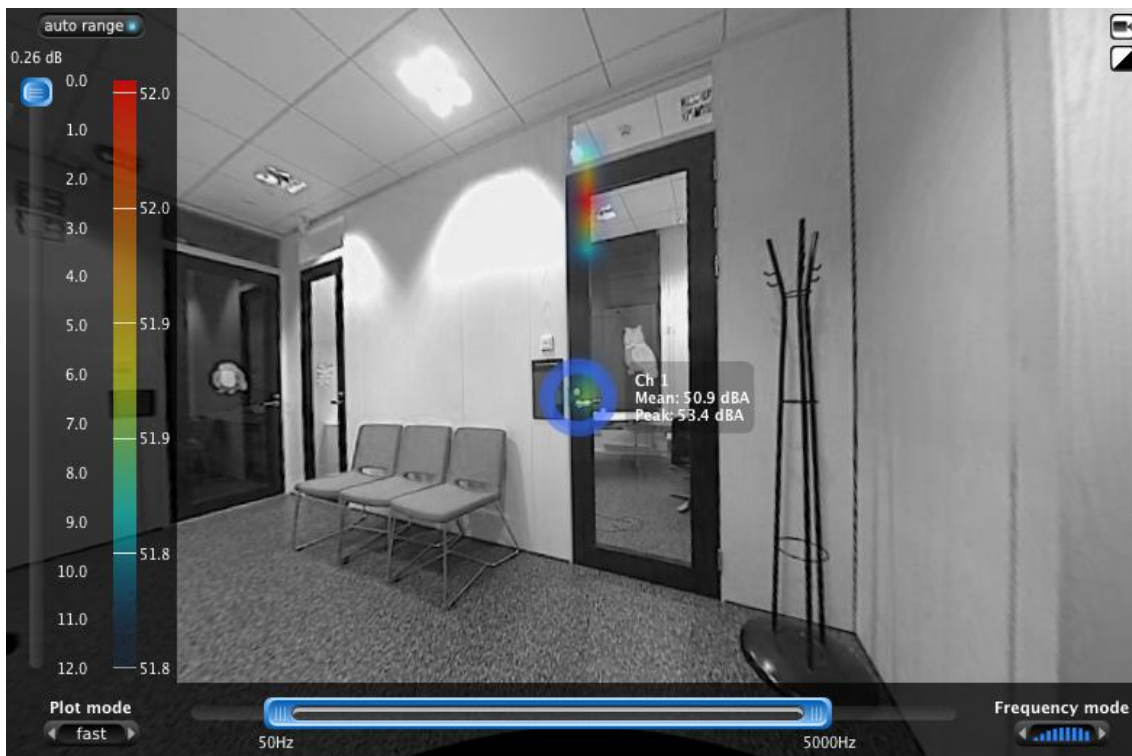
Frequency [Hz]	L2 [dB]	L2sb [dB]	Lb [dB]	L2-L2sb [dB]
50	50,4	50,4	36,2	
63	50,4	50,4	31,4	
80	55,4	55,4	28,3	
100	58,4	58,4	30,3	
125	60,9	60,9	31,0	
160	60,2	60,2	33,4	
200	66,8	66,8	30,3	
250	58,7	58,7	27,3	
315	57,8	57,8	27,5	
400	56,0	56,0	25,2	
500	51,6	51,6	23,6	
630	48,9	48,9	22,3	
800	45,2	45,2	21,0	
1000	43,4	43,4	20,3	
1250	46,0	46,0	20,8	
1600	47,1	47,1	21,3	
2000	47,0	47,0	22,2	
2500	44,1	44,1	22,2	
3150	40,7	40,7	23,1	
4000	37,9	37,9	23,7	
5000	35,7	35,7	25,2	

Legend:  
 Lb: Background noise level  
 L2sb: Signal and background noise in the receiving room  
 L2: Adjusted signal level





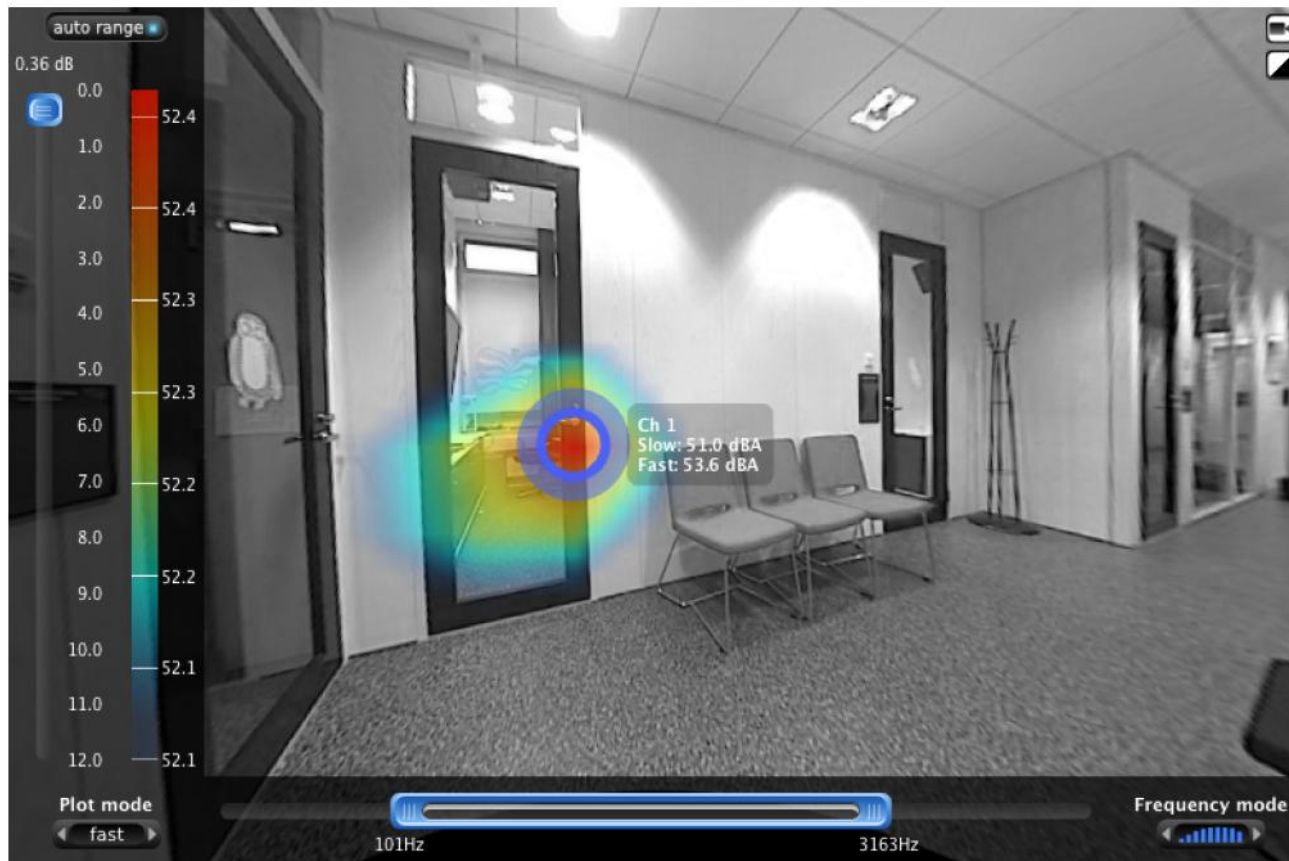




Report date: Thu 2012-04-26 10:39:15 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Acoustic Camera Report



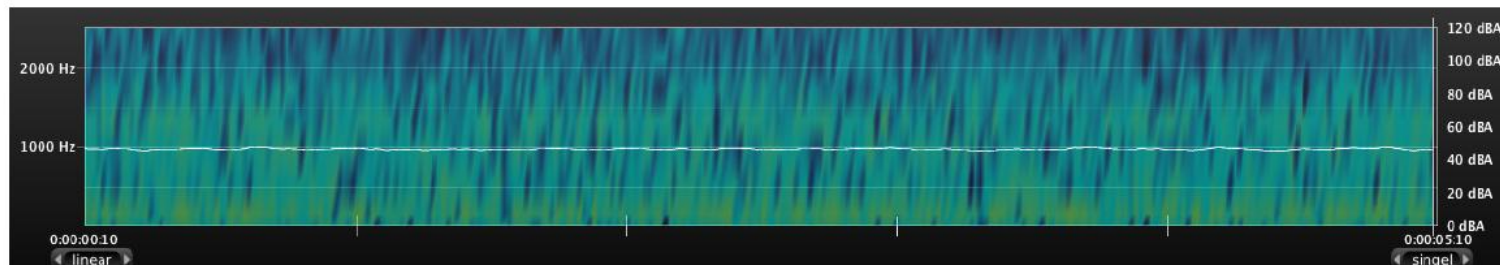
Distance: 1.98068 meters  
Measurement note: Kokoushuone Noppa



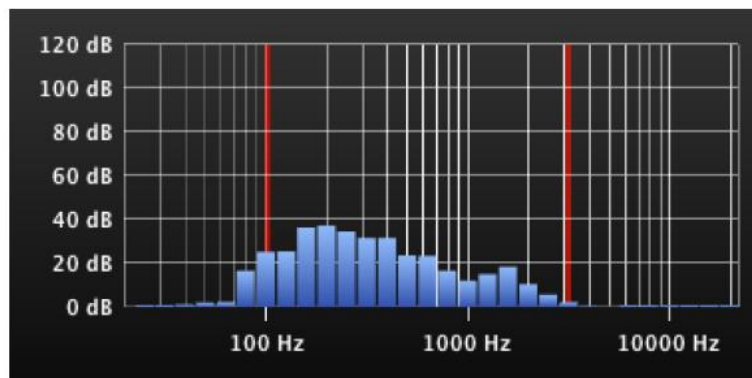
Report date: Thu 2012-04-26 10:39:15 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



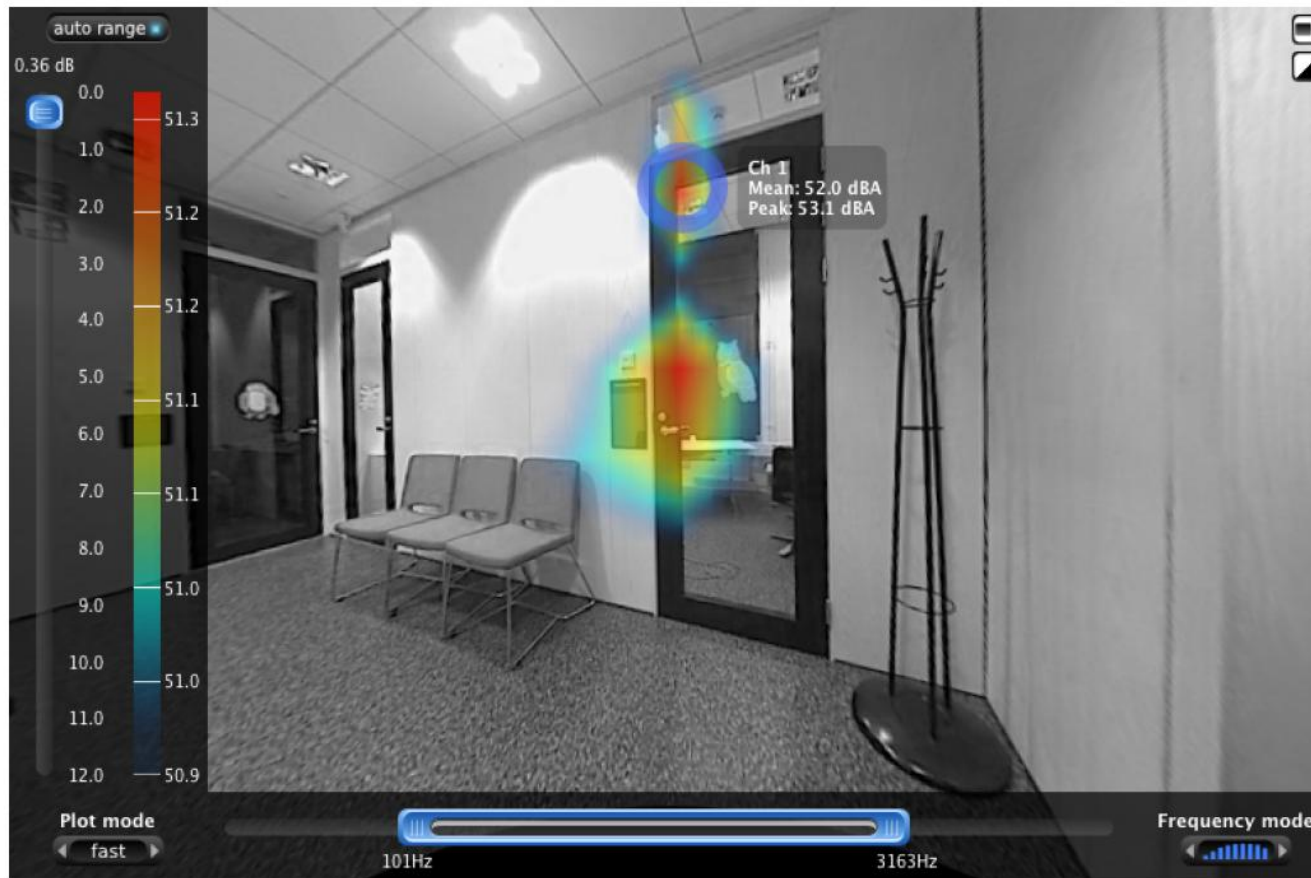
### Frequencies at beam focus point



Report date: Thu 2012-04-26 10:49:15 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Acoustic Camera Report

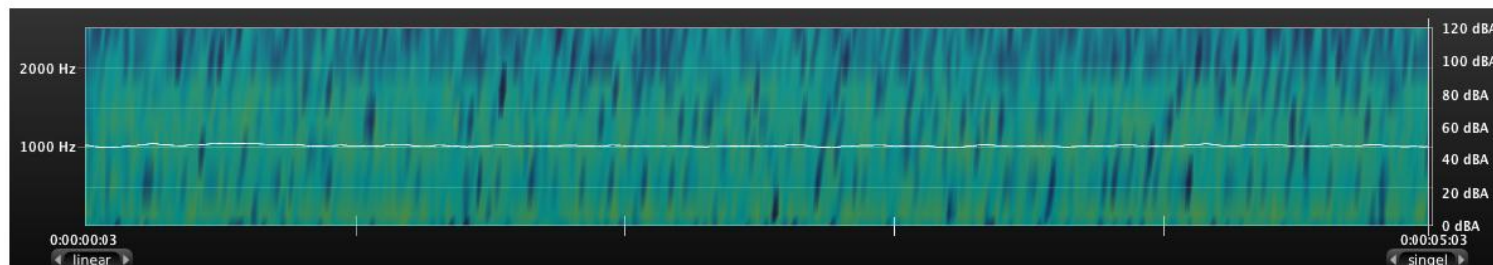


Distance: 1.98068 meters  
Measurement note: Kokoushuone Noppa

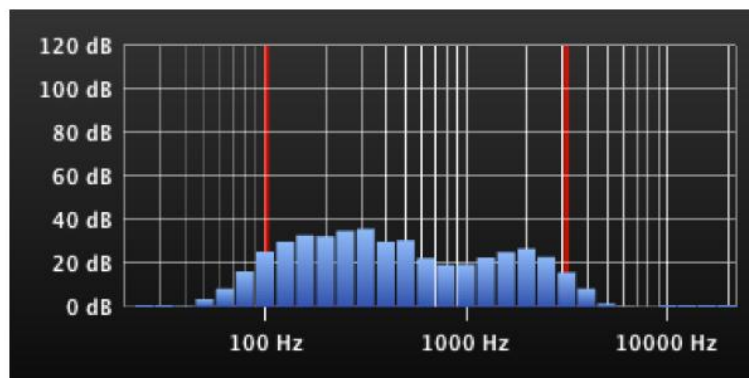
Report date: Thu 2012-04-26 10:49:15 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



### Frequencies at beam focus point



Report date: Fri 2012-04-27 09:31:00 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Acoustic Camera Report

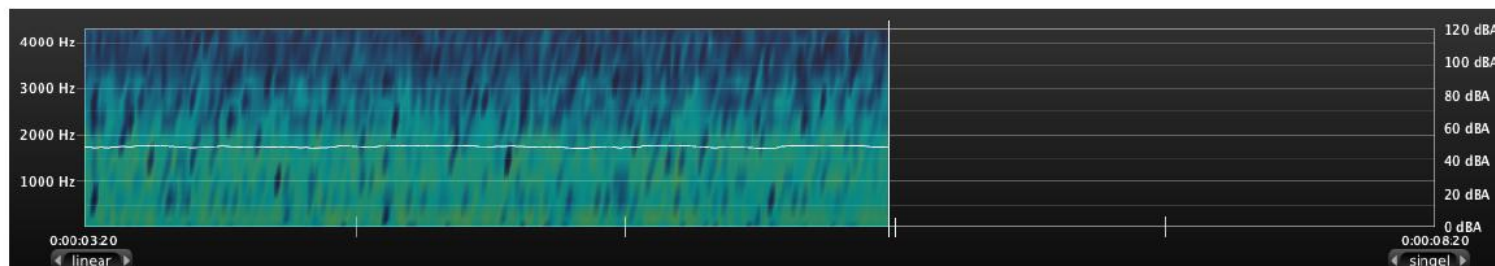


Distance: 1.98068 meters  
Measurement note: Kokoushuone Noppa

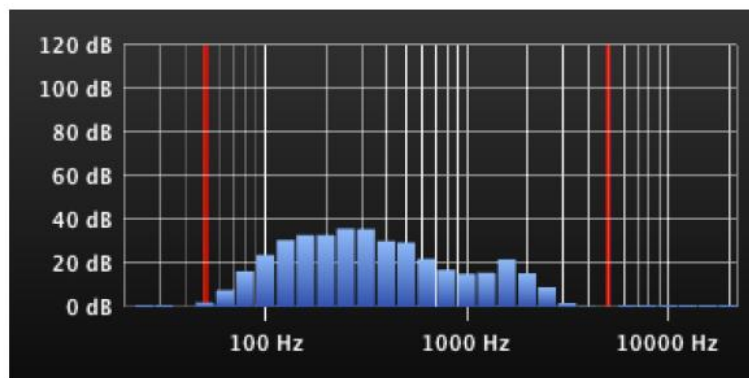
Report date: Fri 2012-04-27 09:31:00 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



### Frequencies at beam focus point



### Apparent sound reduction index according to ISO140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Rating according to ISO 717-1			
$R'_{w}(C;C_{tr}) =$	( ; ) dB	$C_{50-3150} =$	dB $C_{50-5000} =$ dB $C_{100-5000} =$ dB
Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.		$C_{tr,50-3150} =$	dB $C_{tr,50-5000} =$ dB $C_{tr,100-5000} =$ dB

Sum of unfavourable deviations : dB  
 Max. unfavourable deviation : dB at Hz

Frequency [Hz]	R' [dB]	L1 [dB]	L2 [dB]	T [s]	Corr. [dB]	u.Dev. [dB]
50				0,49		
63				0,96		
80				1,26		
100				0,98		
125				0,40		
160				0,47		
200				0,52		
250				0,57		
315				0,65		
400				0,66		
500				0,60		
630				0,56		
800				0,60		
1000				0,66		
1250				0,70		
1600				0,67		
2000				0,66		
2500				0,64		
3150				0,61		
4000				0,61		
5000				0,79		

Receiving room volume: 60,0 m<sup>3</sup>  
 Source room volume: 60 m<sup>3</sup>  
 Area S of separating element: m<sup>2</sup>

Remarks:







Report date: Wed 2012-05-30 15:14:24 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Heijastuspinnat



Distance: 2.58068 meters  
Measurement note: Pellontaus 3

Source file: 2012-05-30-094152.sqh

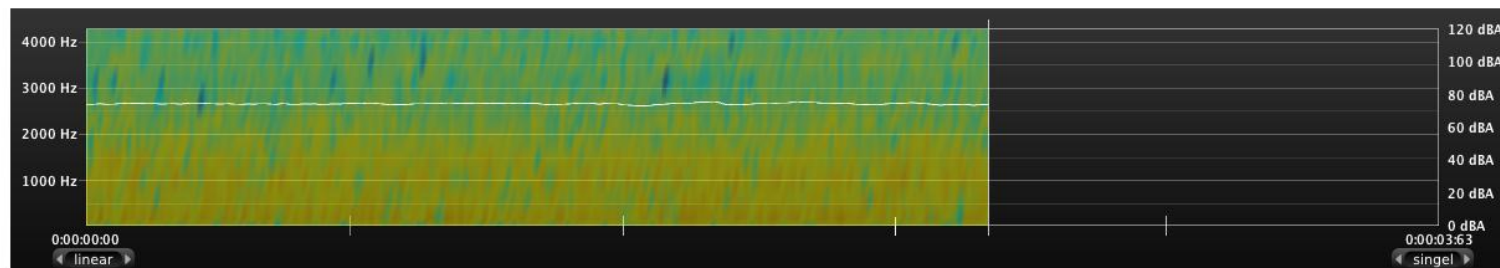
Page 1 of 2

Recording date: Wednesday May 30, 2012

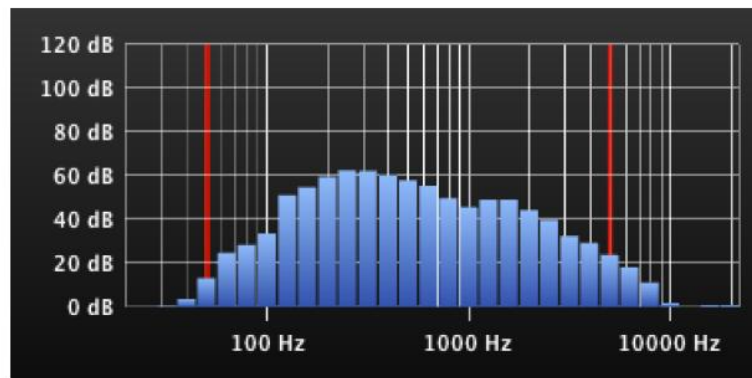
Report date: Wed 2012-05-30 15:14:24 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



### Frequencies at beam focus point



Report date: Wed 2012-05-30 15:10:56 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Heijastuspinnat

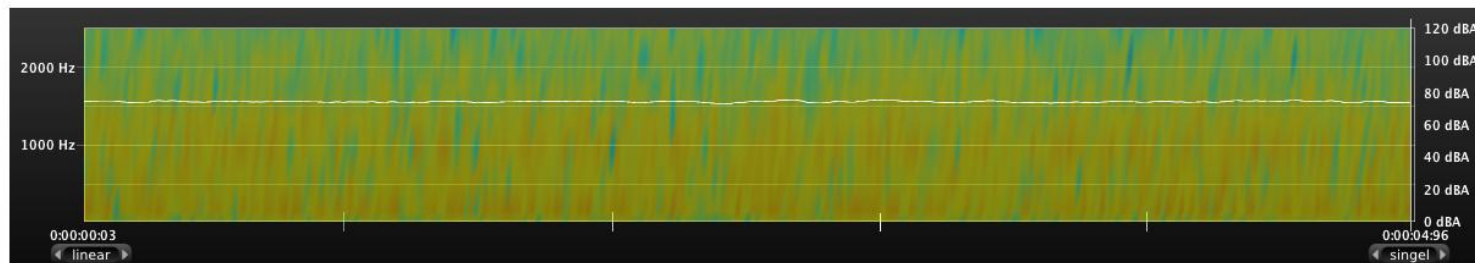


Distance: 2.58068 meters  
Measurement note: Pellontaus 3

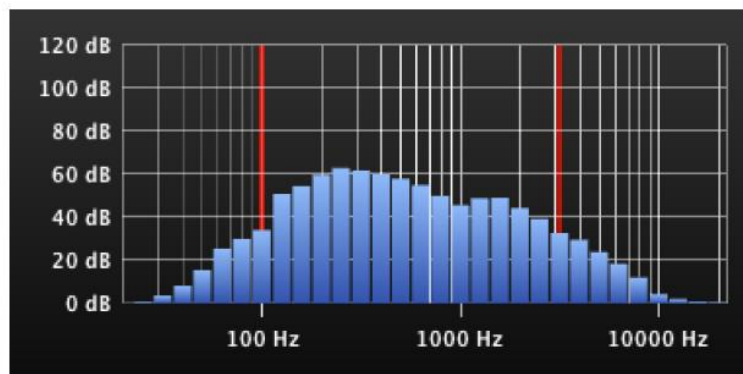
Report date: Wed 2012-05-30 15:10:56 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



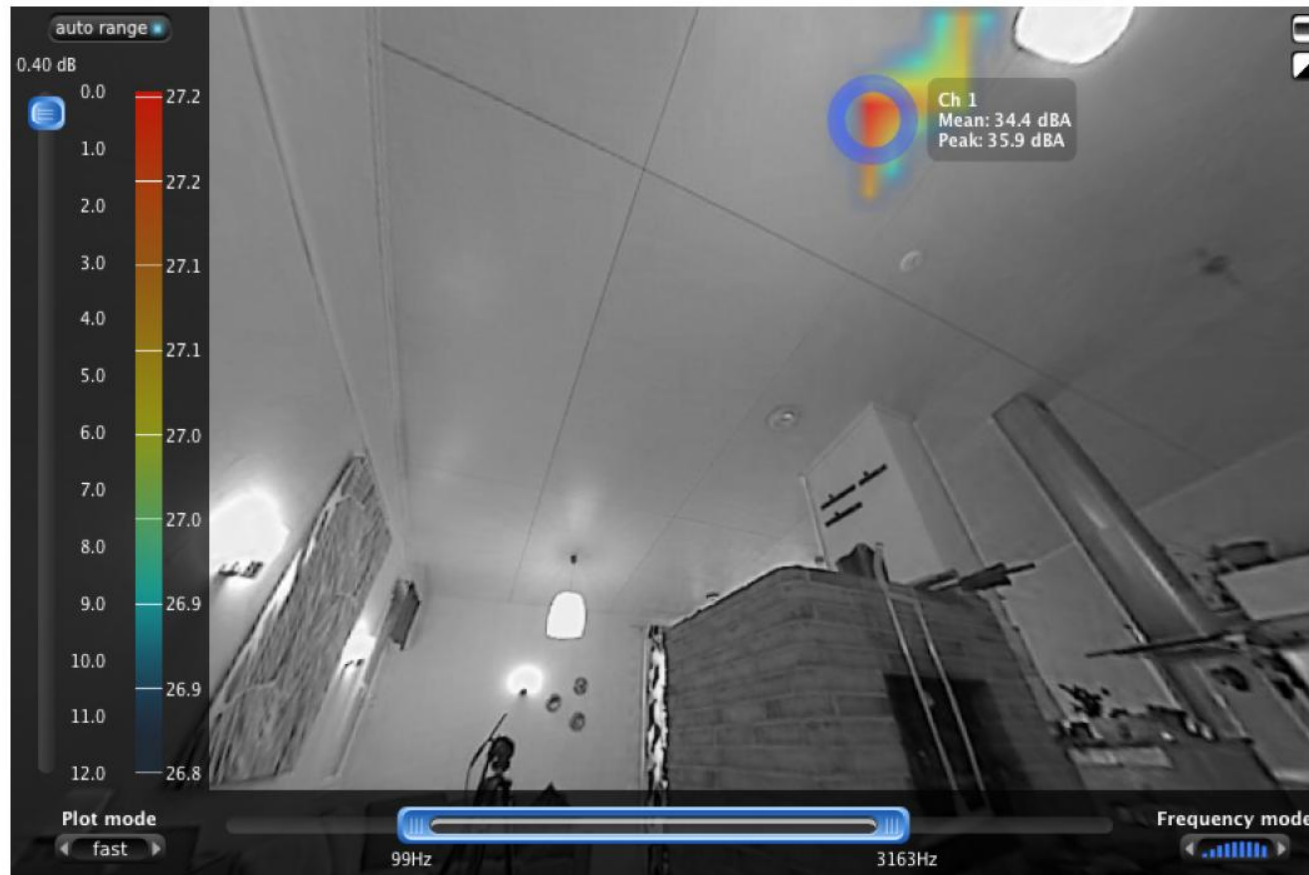
### Frequencies at beam focus point



Report date: Thu 2012-05-31 10:22:43 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Heijastuspinnat

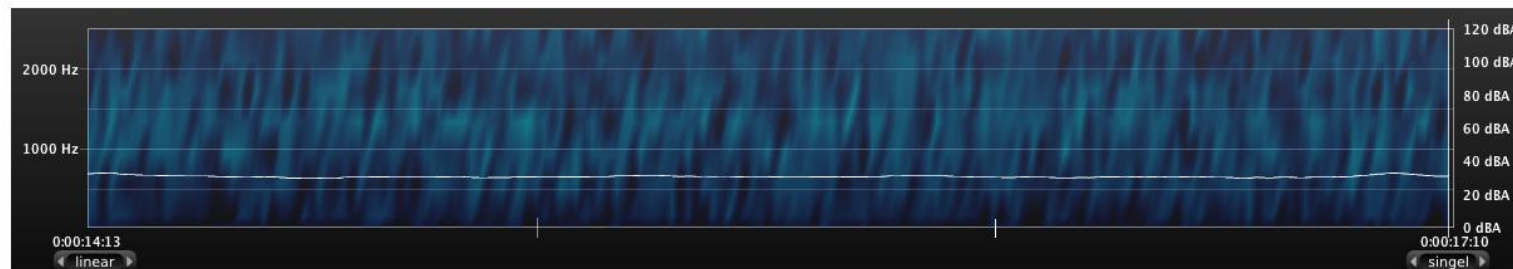


Distance: 2.18068 meters  
Measurement note: Pellontaus 3

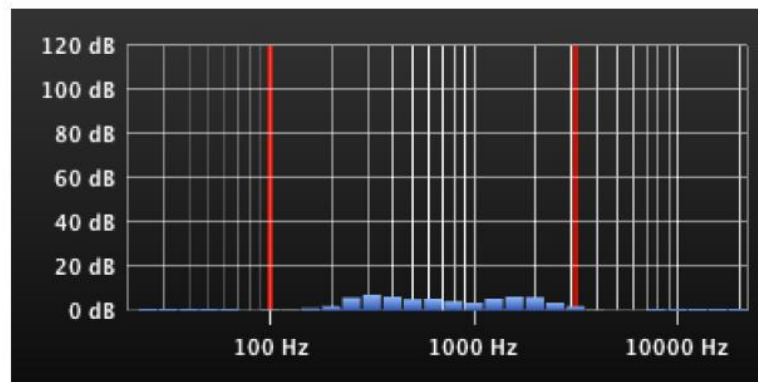
Report date: Thu 2012-05-31 10:22:43 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



### Frequencies at beam focus point



### Apparent sound reduction index according to ISO140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

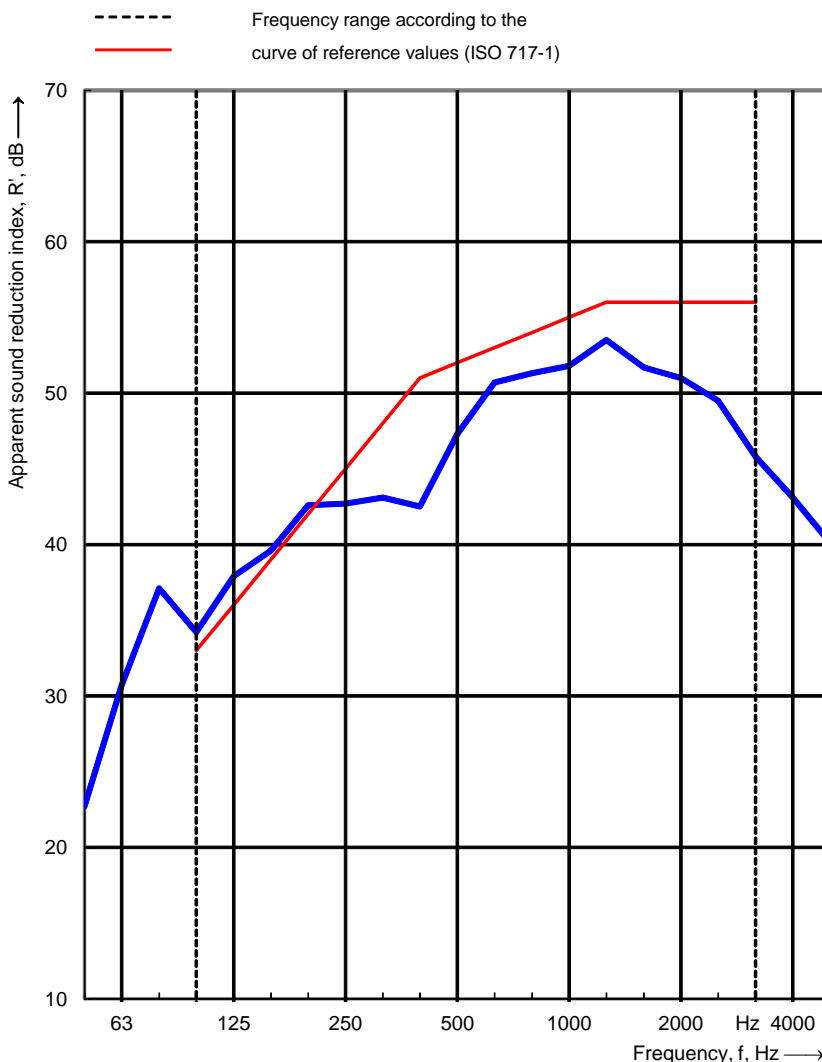
Client: AS OY OULUN MYRSKYLUOTO  
 Description: ILMAÄÄNENERISTÄVYYS

Date of test: 1.6.2012

Object:

Usage value = max(S,V/7,5): 8,75 m<sup>2</sup>  
 Area S of separating element: 8,75 m<sup>2</sup>  
 Source room volume: 42,1 m<sup>3</sup>  
 Receiving room volume: 41,6 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	22,7
63	30,7
80	37,1
100	34,2
125	37,9
160	39,6
200	42,6
250	42,7
315	43,1
400	42,5
500	47,3
630	50,7
800	51,3
1000	51,8 <sup>1</sup>
1250	53,5 <sup>1</sup>
1600	51,7 <sup>1</sup>
2000	51,0 <sup>1</sup>
2500	49,5 <sup>1</sup>
3150	45,8 <sup>1</sup>
4000	43,1 <sup>1</sup>
5000	40,1 <sup>1</sup>



<sup>1</sup> Background noise too high

Rating according to ISO 717-1  
 $R'_w(C;C_{tr}) = 49$  ( -1 ; -2 ) dB  
 Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -1$  dB    $C_{50-5000} = -3$  dB    $C_{100-5000} = -3$  dB  
 $C_{tr,50-3150} = -6$  dB    $C_{tr,50-5000} = -6$  dB    $C_{tr,100-5000} = -3$  dB

OAMK / Tekniikka

No. of test report:

Date: 02.06.2012

Signature:

### Normalized impact sound pressure levels according to ISO140-7

Field measurement of impact sound insulation of floors

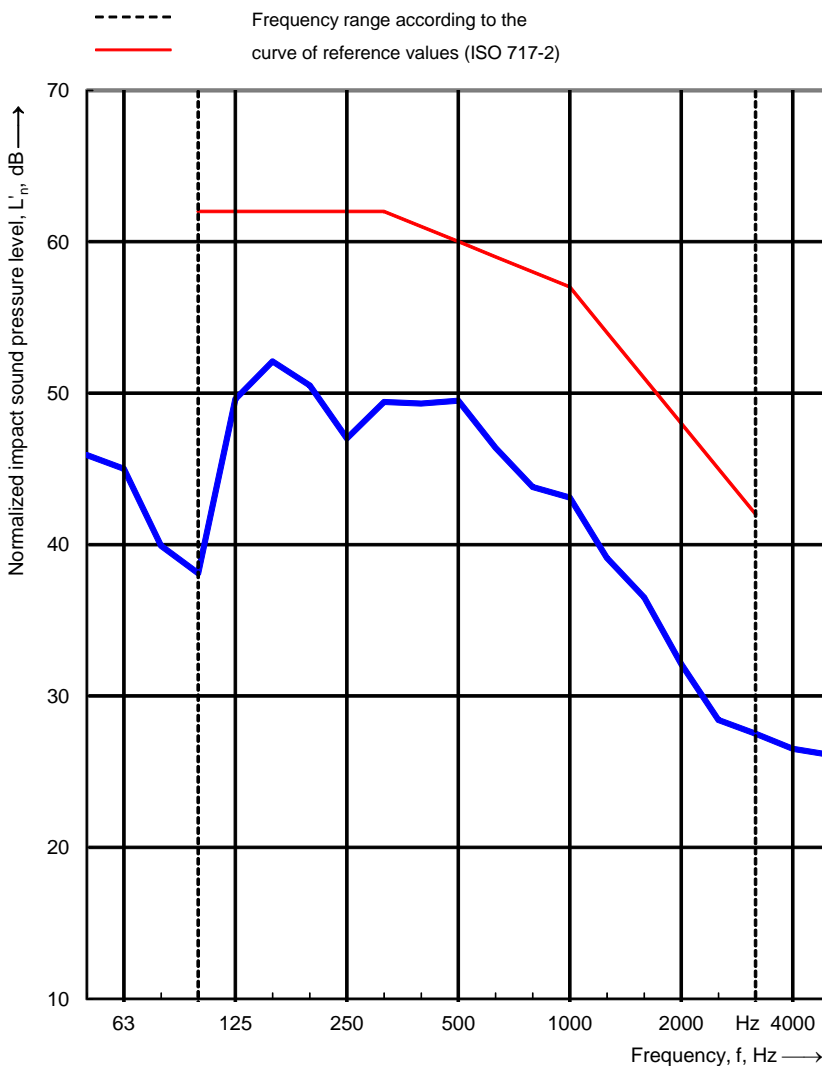
Client: AS OY OULUN MYRSKYLUOTO  
 Description: ASKELÄÄNENERISTÄVYYS

Date of test: 1.6.2012

Object:

Source room volume: 42,1 m<sup>3</sup>  
 Receiving room volume: 41,6 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	L' <sub>n</sub> 1/3 octave [dB]
50	45,9
63	45,0
80	39,9
100	38,1
125	49,6
160	52,1
200	50,5
250	47,0
315	49,4
400	49,3
500	49,5
630	46,4
800	43,8
1000	43,1
1250	39,1
1600	36,5
2000	32,1
2500	28,4 <sup>1</sup>
3150	27,5 <sup>1</sup>
4000	26,5 <sup>1</sup>
5000	26,1 <sup>1</sup>



<sup>1</sup> Background noise too high

Rating according to ISO 717-2  
 $L'_{n,w}(C_1) = 45$  (  $-1$  ) dB  
 $C_{1,50-2500} = -1$  dB  
 Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

OAMK / Tekniikka

No. of test report:

Date: 02.06.2012

Signature:



**Normalized impact sound pressure levels according to ISO140-7**

Field measurement of impact sound insulation of floors

Rating according to ISO 717-2

$$L'_{n,w}(C_i) = 45 \text{ ( -1 ) dB}$$

$$C_{1,50-2500} = -1 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurements results obtained  
in one-third-octave bands by an engineering method.

Sum of unfavourable deviations : 26,8 dB

Max. unfavourable deviation : 5,1 dB at 160 Hz

Frequency [Hz]	L' <sub>n</sub> [dB]	L2 [dB]	T [s]	Corr. [dB]	u. Dev. [dB]	
50	45,9	45,9	0,67	0,0		
63	45,0	43,3	0,45	1,7		
80	39,9	39,9	0,66	0,0		
100	38,1	38,6	0,74	-0,5		
125	49,6	48,7	0,54	0,9	2,6	
160	52,1	51,8	0,62	0,3	5,1	
200	50,5	49,5	0,53	1,0	3,5	
250	47,0	46,3	0,57	0,7		
315	49,4	48,1	0,49	1,3	2,4	
400	49,3	48,1	0,51	1,2	3,3	
500	49,5	48,4	0,52	1,1	4,5	
630	46,4	45,3	0,52	1,1	2,4	
800	43,8	42,6	0,50	1,2	0,8	
1000	43,1	41,5	0,46	1,6	1,1	
1250	39,1	37,5	0,46	1,6	0,1	
1600	36,5	34,4	0,41	2,1	0,5	
2000	32,1	29,8	0,39	2,3		Correction for Background noise
2500	28,4	26,0	0,38	2,4		Background noise too high
3150	27,5	25,2	0,39	2,3	0,5	Background noise too high
4000	26,5	24,2	0,39	2,3		Background noise too high
5000	26,1	24,1	0,42	2,0		Background noise too high

Receiving room volume: 41,6 m<sup>3</sup>Source room volume: 42,1 m<sup>3</sup>

Remarks:

No. of test report:

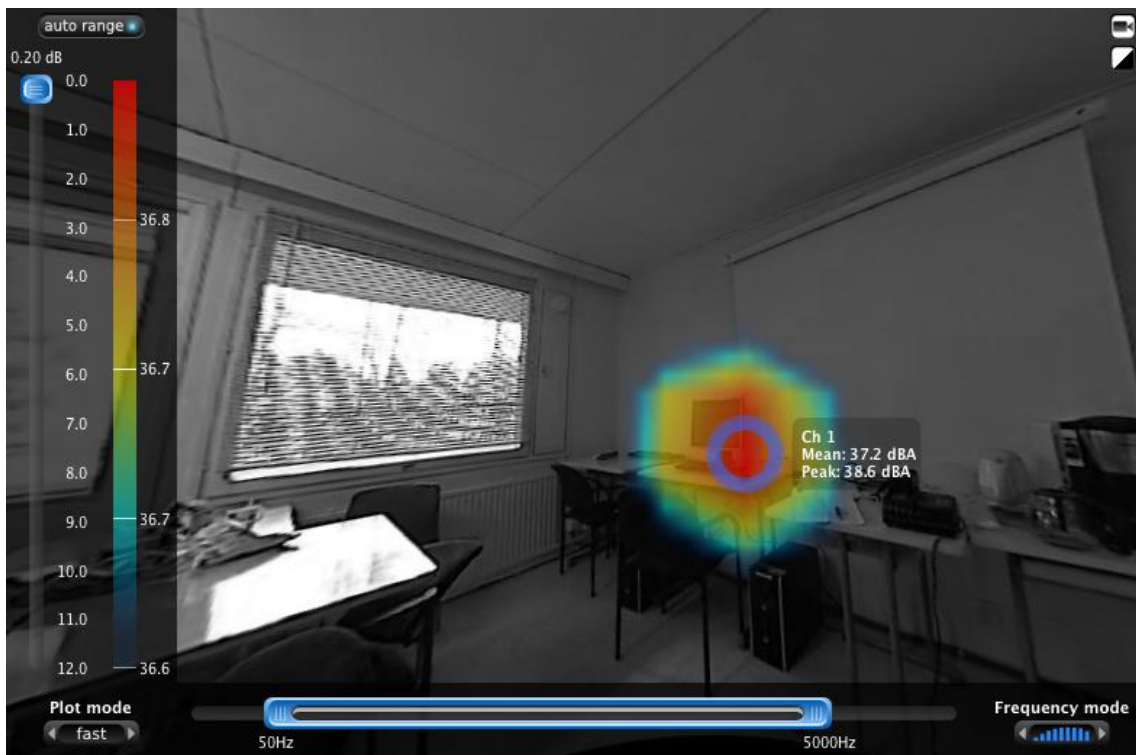
**Level overview**

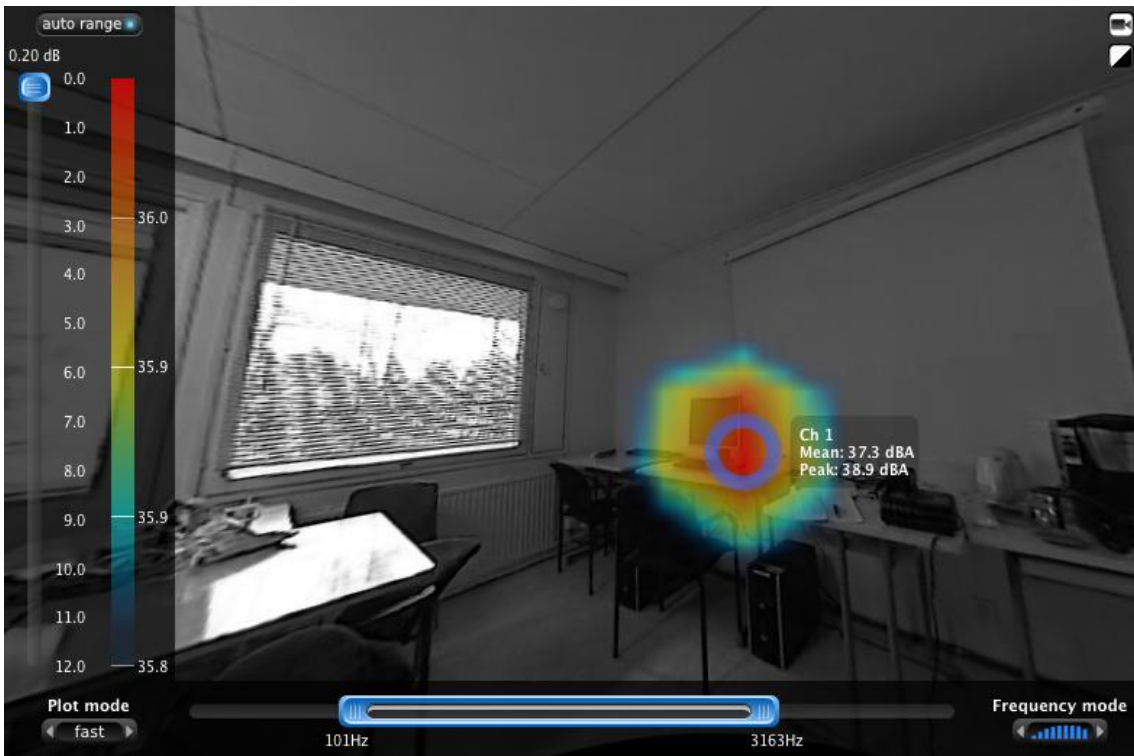
— L2  
— Lb

**Background noise correction table**

Frequency [Hz]	L2 [dB]	L2sb [dB]	Lb [dB]	L2-L2sb [dB]	
50	45,9	45,9	28,5		
63	43,3	43,3	25,1		
80	39,9	39,9	24,4		
100	38,6	38,6	28,4		
125	48,7	48,7	30,1		
160	51,8	51,8	32,6		
200	49,5	49,5	29,4		
250	46,3	46,3	24,4		
315	48,1	48,1	25,3		
400	48,1	48,1	21,0		
500	48,4	48,4	20,2		
630	45,3	45,3	19,5		
800	42,6	42,6	19,2		
1000	41,5	41,5	19,9		
1250	37,5	37,5	20,2		
1600	34,4	34,4	20,9		
2000	29,8	30,4	21,6	-0,6	Correction for Background noise
2500	26,0	27,3	21,5	-1,3	Background noise too high
3150	25,2	26,5	22,2	-1,3	Background noise too high
4000	24,2	25,5	23,2	-1,3	Background noise too high
5000	24,1	25,4	24,4	-1,3	Background noise too high

Legend:  
 Lb: Background noise level  
 L2sb: Signal and background noise in the receiving room  
 L2: Adjusted signal level





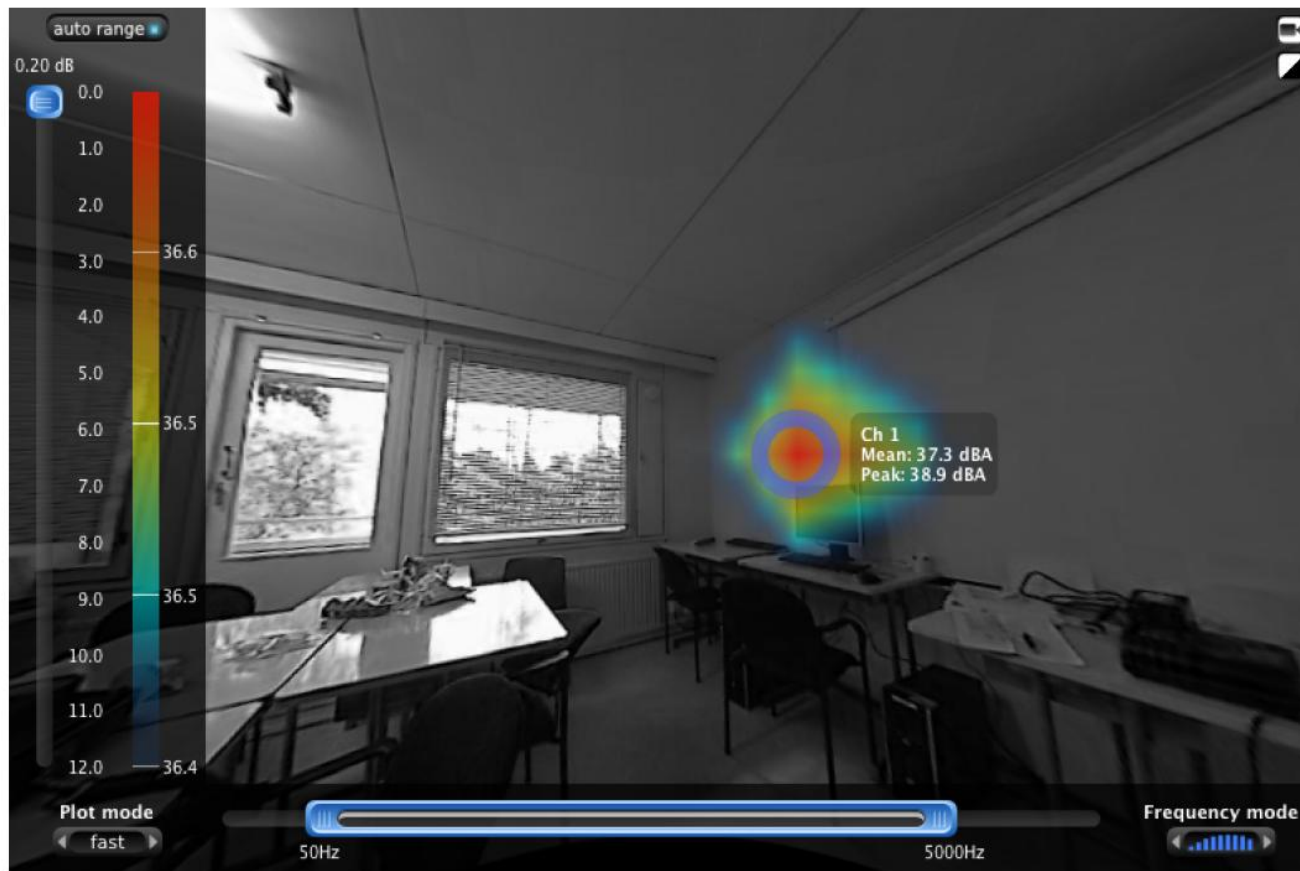




Report date: Fri 2012-06-01 18:34:33 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Ilmaaneneristavuys 50-5000Hz

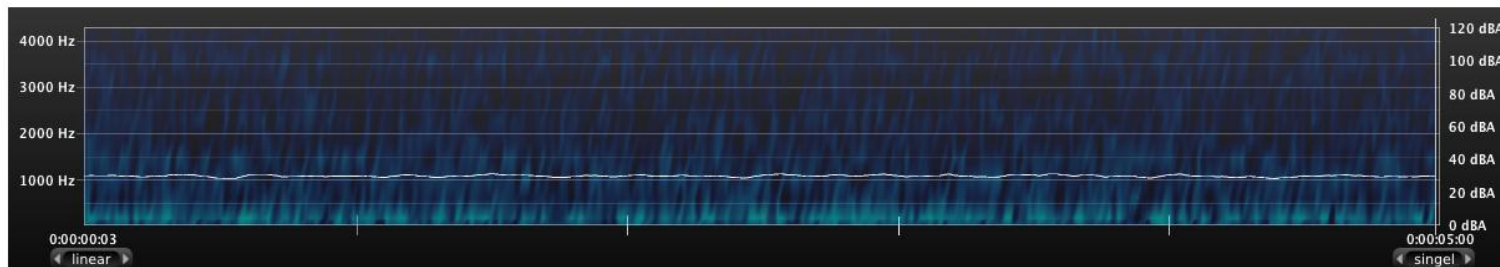


Distance: 2.18068 meters  
Measurement note: Luotolaisentie

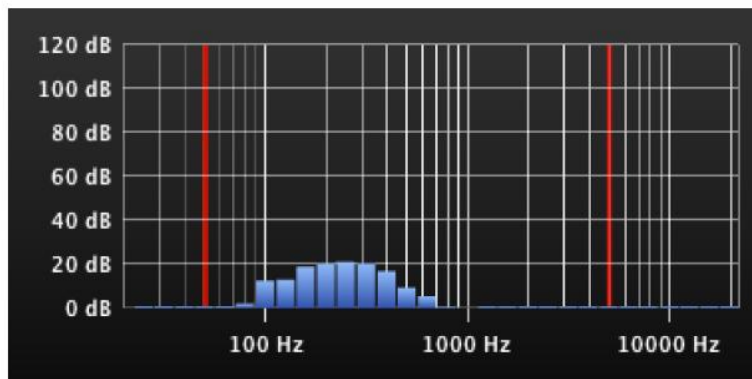
Report date: Fri 2012-06-01 18:34:33 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



### Frequencies at beam focus point



Report date: Fri 2012-06-01 18:35:22 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Ilmaaneneristavuus 100-3150Hz



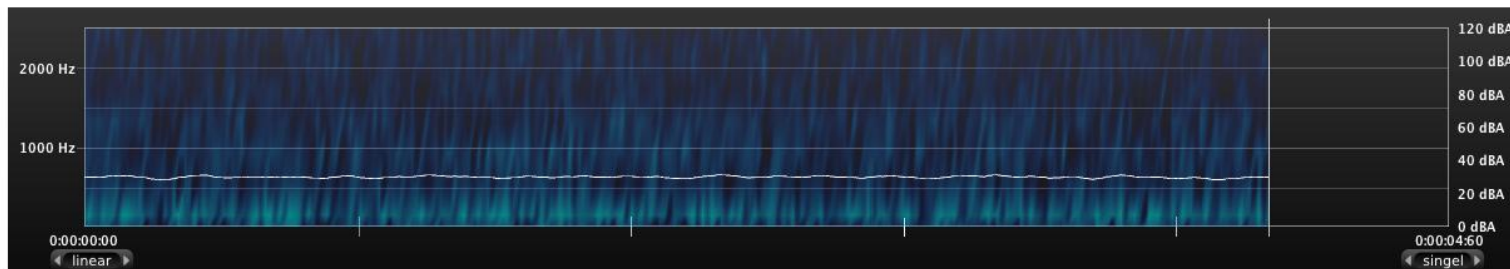
Distance: 2.18068 meters  
Measurement note: Luotolaisentie



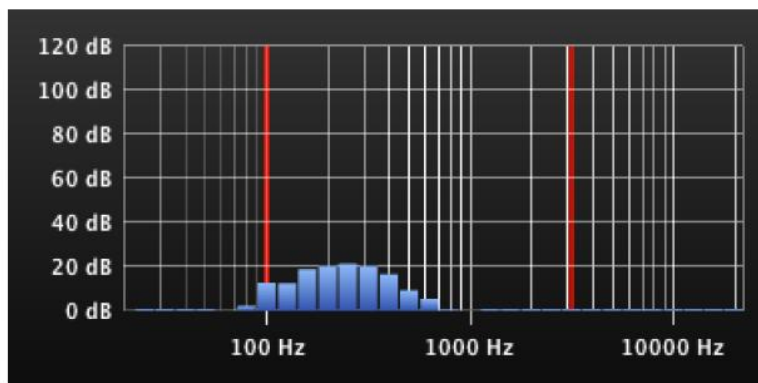
Report date: Fri 2012-06-01 18:35:22 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



### Frequencies at beam focus point



Report date: Fri 2012-06-01 18:39:51 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Askelaaneneristävyys 50-5000Hz

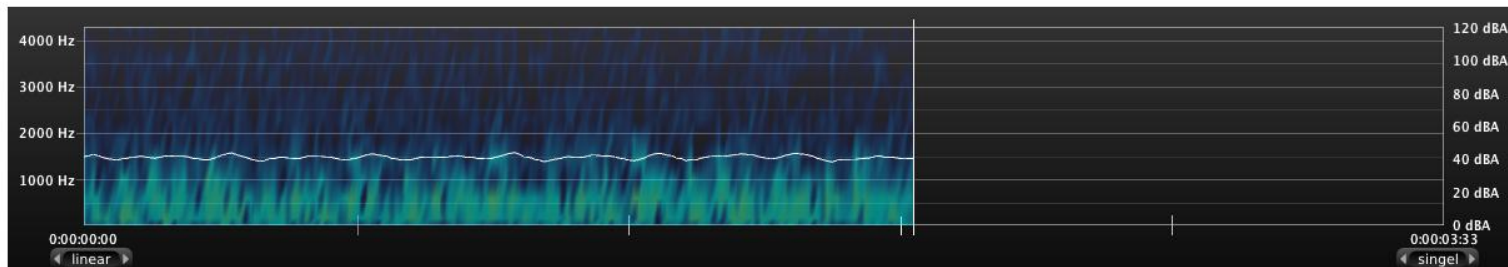


Distance: 2.18068 meters  
Measurement note: Luotolaisentie

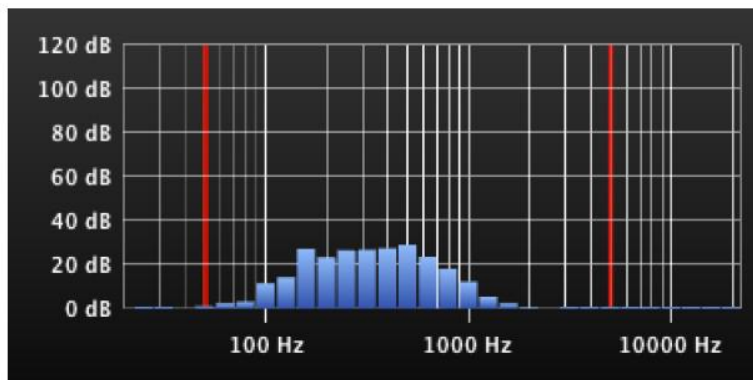
Report date: Fri 2012-06-01 18:39:51 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



### Frequencies at beam focus point



Report date: Fri 2012-06-01 19:33:30 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Askelaaneneristavyys 100-3150Hz



Distance: 2.18068 meters  
Measurement note: Luotolaisentie

Source file: 2012-06-01-093957.sqh

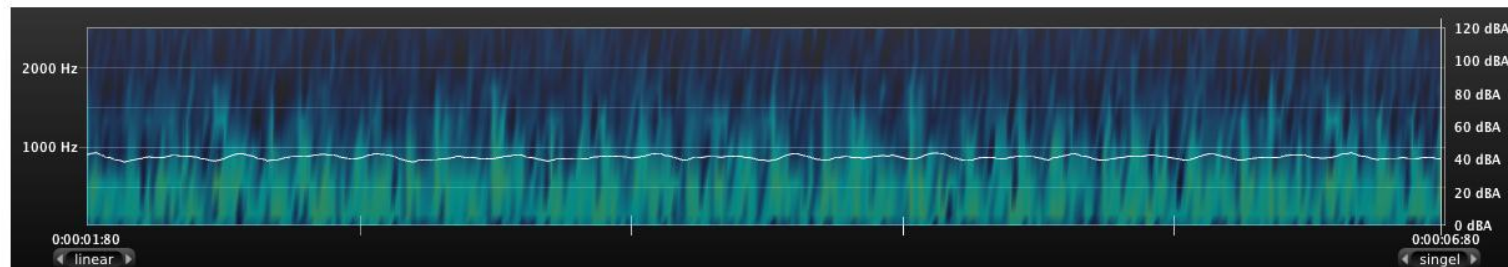
Page 1 of 2

Recording date: Friday June 01, 2012

Report date: Fri 2012-06-01 19:33:30 EEST

Norsonic 848 - powered by Squarehead Technology

### Spectrogram



### Frequencies at beam focus point

