

---

**ILMASTOINTIKONEIDEN AIHEUTTAMAN MELUN  
HAITAT JA NIIDEN EHKÄISEMINEN**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Ympäristötekniologia

Visamäki, syksy 2014

Jukka Tuominen



## TOIMIPISTE

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Ympäristöjohtamisen suuntautumisvaihtoehto

---

<b>Tekijä</b>	Jukka Tuominen	<b>Vuosi</b> 2013-2014
<b>Työn nimi</b>	Ilmastointikoneiden aiheuttaman melun haitat ja niiden ehkäiseminen	

---

## TIIVISTELMÄ

Työn tavoitteena oli luoda työkalut (melulaskelma/melumittaukset sekä mahdollisia muita ohjeistuksia) Skapat Energia Oy:lle melun huomiointiin asiakasyrityksissä. Skapat Energia Oy on puolueeton ja luotettava sähkön-hankinnan ja energia-alan asiantuntija yritys.

Teoriaosassa selvitettiin ilmastointikoneiden osalta riittävät melun mittaus- ja laskenta menetelmät, sekä tarvittavia raja-arvoja.

Tutkimuskohteeksi valikoitui Skapat Energia Oy:n pääkonttorin neuvotteluhuone Hämeenlinnassa.

Tutkimuskohteessa suoritettujen mittausten ja katselmuksen perusteella, pystyttiin todistamaan että kyseisessä tilassa ilmastointikoneen aiheuttama äänenpainetaso ( $L_{A, eq, T}$ ) 47 dB tekee huonetilasta varsin meluisan oloisen. Melu on neuvottelutilanteisiin häiritsevä, vaikka suoraa terveystaikutusta ei vielä ole.

Suositteluvia toimenpiteitä tuli kolme. Ilmastointikonehuoneen oven vaihtaminen ilmastointikonehuoneeseen tarkoitettuksi äänieristysoveksi. Ilmastointikoneen tuloilmaputken eristäminen. Huoneen kaikuisuuden vähentämiseksi suositeltiin asennettavaksi absorptiolevyjä huoneeseen.

Tutkittavan kohteen osalta havaitut puutteet, olivat asioita, jotka voivat hyvinkin toistua muissakin kohteissa. Tästä syystä löydetyt puutteita tulee välttää tulevissa projekteissa. Korjausten tekeminen jälkikäteen on myös kalliimpaa, kuin oikein ääniteknisesti suunniteltu ilmanvaihto.

**Avainsanat** Melu, ilmanvaihtojärjestelmät, absorptio, meluntorjunta

**Sivut** 33 s. + liitteet 2 s.

Visamäki  
Degree Programme in Environmental Technology

---

<b>Author</b>	Jukka Tuominen	<b>Year</b> 2013-2014
<b>Subject of Bachelor's thesis</b>	Noise problems caused by air-conditioning machines and their prevention	

---

**ABSTRACT**

This Bachelor's thesis was commissioned by Skapat Energia Oy which is an impartial and reliable electricity procurement and energy consulting company. The purpose of the thesis was to create the tools (noise calculation / noise measurements, and other guidelines) for Skapat Energia Oy to take noise into consideration in its client companies.

The theoretical section of the thesis discusses the sufficient methods for noise measurement and calculation methods for air-conditioning machines, and the necessary limits. As the object of this study was selected a conference room in Skapat Energia Oy's head office in Hämeenlinna.

On the basis of the measurements and reviews carried out, it was possible to prove that the sound pressure level (LA, eq, T) 47 dB caused by the air-handling unit makes the room quite noisy. The noise disturbs negotiation situations, even though it has no direct health effect yet.

Three measures were recommended, i.e. the replacing of the engine room door for a door intended as a soundproof door for engine rooms. Other recommendations include the insulation of the inlet air pipe of the air-conditioning machine and the installation of absorption plates in the room to reduce the echogenicity of the room.

The shortcomings found out in the object of study were matters that may well be repeated in other locations. For this reason, the shortcomings found should be avoided in future projects. Corrections afterwards are also more expensive than the ventilation well acoustically designed.

**Keywords** Noise, Ventilation systems, Absorption, Noise reduction

**Pages** 33 p. + appendices 2 p.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Työn tavoitteet, tekeminen ja rajausta .....	1
2	ÄÄNI JA MELU .....	3
2.1	Ääni .....	3
2.2	Melu .....	3
2.2.1	Melun raja-arvoja .....	4
2.2.2	Melun häiritsevä vaikutukset .....	4
3	ILMASTOINTIKONEIDEN AIHEUTTAMA MELU.....	6
3.1	Toimistojen akustinen luokitus .....	7
4	MELUN VAIMENTAMINEN .....	10
4.1	Erilaisia vaimennustapoja .....	10
4.1.1	Runkoääni .....	10
4.1.2	Ilmääni .....	10
4.2	Ääniteknisesti oikein suunniteltu kanavisto.....	11
4.2.1	Kanavakoot.....	11
4.2.2	Kanavan suunnan ja koon muutokset .....	12
4.3	Äänen vaimentimet .....	12
4.4	Absorboivat pinnat .....	12
4.5	Äänen vaimentaminen vastamelun avulla, eli aktiivinen melun vaimennus ....	14
5	MELUMITTAUKSEN TEORIAA .....	15
5.1	Melumittausten pöytäkirja.....	16
5.2	Akustinen kamera.....	16
5.3	Ilmäänieristävyuden mittaaminen likimääräisellä menetelmällä .....	16
5.4	Jälkikäytön-aikaa mittaaminen.....	17
6	MELULASKENNAN TEORIAA.....	19
6.1	Painehäviölaskelma.....	20
7	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	21
7.1	Kohteen kuvaus .....	21
7.2	Ilmanvaihtokoneen tiedot .....	22
7.3	Melumittauksen suunnittelu .....	25
7.3.1	Käytettävä mittalaitteisto .....	26
7.4	Melumittauksen suorittaminen .....	26
7.4.1	Mittausten tulokset .....	26
7.5	Melulaskelma .....	27
7.5.1	Absorptioalan laskeminen .....	28
8	YHTEENVETO TURUNTIE 2:N NEUVOTTELUHUONEEN ILMANVAIHTOKONEEN AIHEUTTAMASTA MELUSTA .....	29
8.1	Ehdotetut toimenpiteet .....	29

---

9 YHTEENVETO .....	33
LÄHTEET .....	34

Liite 1 Ilmamäärien mittauspöytäkirja Turuntie 2

Liite 2 Mittauspöytäkirjan pohja

## 1 JOHDANTO

Työn tilaaja on Skapat Energia Oy. Skapat Energia Oy on puolueeton ja luotettava sähkönhankinnan ja energia-alan asiantuntijayritys. (Skapat Energia Oy:n kotisivut.)



Kuva 1. Skapat Energia Oy:n logo

Skapat Energia on perustettu vuonna 1998 ja on ainoa toimija, joka pystyy kattavasti yhdistämään kaikki sähkönhankinnan ja energiatehokkuuden asiantuntijapalvelut. Yrityksellä on yli 20 000 asiakasta. (Skapat Energia Oy:n kotisivut.)

Energiatehokkuuden puolella yritys tarjoaa kokonaisvaltaiset energiatehokkuuden asiantuntijapalvelut. Palveluita ovat mm. kustannuslaskelmat, energiatodistukset, lämmitystapavertailut, investointisuunnitelmat, takaisinmaksuaikalaskelmat, energiaselvitykset, kaukolämpötarkastuslaskelmat, raportointi ja mittaroinnit. Yritys tarjoaa myös asiantuntemuksensa kiinteistön etähallinnan ja projektien toteutukseen. (Skapat Energia Oy:n kotisivut.)

Yrityksen projektinjohtopalvelussa tavoitteena on luoda asiakkaille energiasäästöä. Tavoitteena on myös että olosuhteet eivät heikkene. Tällä hetkellä olosuhteista melua ei kuitenkaan ole otettu huomioon riittävällä tavalla.

Tarkoitus on luoda työkalut (melulaskelma/melumittaukset sekä mahdollisia muita ohjeistuksia) yritykselle melun huomiointiin, opinnäytetyö toimii myös tietopakettina melusta yrityksellemme.

Omat kiinnostukseni liittyvät energiatehokkuuden lisäksi asukkaiden, sekä työntekijöiden olosuhteisiin. Olen kiinnostunut kehittämään olosuhteita kiinteistössä. Melu on yrityksessämme vielä pienellä huomiolla, joten tuon mielelläni työssä uutta osaamista yritykseen.

Työn tarkoituksena on käydä läpi myös ilmastointikoneiden ja kanaviston suunnittelua, sekä löytää niissä mahdollisesti olevia epäkohtia.

### 1.1 Työn tavoitteet, tekeminen ja rajaus

Työn teoriaosiossa käyn läpi melua ja melun haittavaikutuksia asuin- ja liikekiinteistöihin soveltuena. Tarkempaa selvitystä teen ilmastointikoneiden aiheuttamasta melusta ja haittavaikutuksista, sekä raja-arvoista.

Työssä selvitetään riittävä melulaskentamalli, ilmastointikoneen ja kanaviston melulaskentaan. Opinnäytetyössä on käytetty Enervent Energy Optimizer ohjelmaa ilmastointikoneen äänitekniisten tietojen laskentaan. Ohjelma on kuitenkin ilmastointikoneen valmistajan oma, eikä sitä voi käyttää muiden ilmastointikoneiden kohdalla.

Laskennassa on tarpeen saada erotettua myös ilmastointikoneen melu muusta taustamelusta, sekä tarvittaessa useiden LVIS-laitteiden aiheuttaman melun laskeminen.

Tarkoituksena on löytää laskentamalli, jonka avulla saadaan mitoitettua melun puolesta oikeanlainen ilmastointikone ja suunnitella siihen oikeanlainen kanavisto, sekä tarvittaessa äänenvaimentimet. Teoriaosassa selvitetään muutamia melunvaimennuskeinoja, jos melua tarvitsee vaimentaa koneen asennuksen jälkeen. Käytettäviä vaimennuskeinoja ovat esimerkiksi akustiikkalevyt, sekä äänenvaimentimet.

Lähtötilanne ennen saneerausta ja tilanne saneerauksen jälkeen on tarpeen mukaan mitattava. Joten työssä selvitetään myös riittävä ja luotettava tapa mitata ilmastointikoneen aiheuttama melu kohteessa.

Opinnäytetyö tulee vastaamaan kysymyksiin: Mitä on melu? Minkälaista haittaa ilmastointikoneiden aiheuttama melu voi tuottaa? Missä tapauksissa yrityksen tulisi varautua meluongelmaan? Minkälaisia olisivat toimenpiteet näissä tilanteissa? Miten saadaan todennettua asiakkaalle toimenpiteen tuoma muutos meluun?

Melumittaukset tulen suorittamaan Hämeen ammattikorkeakoulun äänenpainetasomittarilla. Mittausten kohde on Skapat Energia Oy:n pääkonttori Hämeenlinnassa. Konttoriin on saneerattu kerroskohtaiset ilmastointikoneet. Saneerauksen jälkeen ullakkokerroksesta on tullut palautetta ilmastointikoneen aiheuttamasta melusta. Melu mitataan ilmastointikoneiden täysiteholla, sekä myös silloin kuin koneet eivät ole päällä, tästä saadaan laskettua myös pelkän koneen aiheuttama melu. Kohteesta mitataan myös ilmastointikonehuoneen oven aiheuttama vaimennus. Mittausmenetelmää tarkennan kirjallisuusosiossa.

Opinnäytetyön mittaukset suoritetaan Skapat Energia Oy:n pääkonttorilla. Tästä syystä myös opinnäytetyön painopiste on toimistorakennuksissa. Skapat Energian energiahallintapalveluihin sisältyy myös muita rakennustyypppejä, kuten asuinrakennuksia, teollisuutta ja julkisia rakennuksia. Opinnäytetyöstä saa myös pohjaa muiden rakennusten meluongelmien ratkaisemiseen.

Melumittauksista annettava raportti ja kehitysideat sisältyvät opinnäytetyöhön.

## 2 ÄÄNI JA MELU

### 2.1 Ääni

Ääni on ilman painevaihtelua, joka etenee väliaineessa. Ääni voi edetä esimerkiksi ilmassa, jolloin ilmahiukkaset alkavat liikkumaan edestakaisin, synnyttäen painevaihteluja, jotka ihmiskorva kuulee äänenä. Kuuloaistimus syntyy, kun ihmiskorvan herkäät värekarvat reagoivat syntyneisiin painevaihteluihin. (Saarinen 2012, 9.)

### 2.2 Melu

Melulle on monenlaisia määritelmiä. WHO:n määrittelee melun epätoivottavaksi ja haitalliseksi ääneksi. Melu voi rasittaa elimistöä psyykkisesti, sekä heikentää kuuloa. (Starck & Teräsvirta 2009, 8.)

Melun mittaamiseen on olemassa hyviä mittareita. Melun fysiologisia haittavaikutuksia mitataan A-painotettuina äänenpainetasoina eli korvan herkkyyden mukaan taajuuspainotettuina (dB(A)). (Starck & Teräsvirta 2009, 12.)

Taulukko 1. Turvallisuusajkarajat eri melutasoille (Starck & Teräsvirta 2009, 12.)

Jatkuva A-äänitaso (dB)	Melussaoloaika
85	8 tuntia
88	4 tuntia
91	2 tuntia
94	1 tunti
97	30 minuuttia
100	15 minuuttia
103	8 minuttia
106	4 minuuttia
109	2 minuuttia
112	1 minuutti
115	ei lainkaan

Desibeliasteikko ei suoraan kerro äänienergian määrästä. Sillä kun äänienergian kaksinkertaistuessa desibelimäärä kasvaa kolmella. Melussaoloaika myös pienenee aina puoleen desibelimäärän kasvaessa kolmella, kuten nähdään myös taulukossa 1. (Starck & Teräsvirta 2009, 13.)

Melun äänenpainetaso voidaankin laskea äänenpaineesta seuraavalla kaavalla:

$$L_p = 10 \lg \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 \quad (1)$$

jossa  
 $p$  = äänenpainetaso  
 $p_0$  = vertailutaso



Vertailutasoksi on valittu 20 µPa, joka on pienin ihmiskorvan erottama ääni. (Saarinen 2012, 10.)

### 2.2.1 Melun raja-arvoja

Taulukko 2. Melun toiminta ja raja-arvoja

Lukuarvo	Merkitys	Merkitys kuuloon
33 dB(A)	Toimistohuoneet ja vastaavat, maksimi taustamelun äänenpaine taso. Ilmanvaihdon tehostuksella äänen paine saa kohota 10 dB.	
55 dB(A)	Altistuu useille terveysriskeille, kuten stressi, kohonnut verenpaine ja keskittymishäiriöt.	
80 dB(A) mitataan ilman kuulosuojaimen vaikutusta	Alempi toiminta arvo. Arvon ylittyessä on tarpeen toteuttaa ehkäiseviä toimenpiteitä kuulovaurioriskin estämiseksi. Työntekijöillä on myös oikeus asianmukaisiin kuulosuojaimiin.	Meluannoksen pysyessä tämän tason alla, ei altistuvilla seuraa muutoksia kuuloon puhealueelle.
85 dB(A) mitataan ilman kuulosuojaimen vaikutusta	Ylempi toiminta arvo. Työnantajan on laadittava meluntorjuntaohjelma ja annettava työntekijöiden käyttöön kuulosuojaimet. Työntekijällä on velvollisuus käyttää kuulosuojaimia.	Meluannoksen ollessa tällä tasolla, seuraa 5 %:lle altistuneista kuulovamvoja.
87 dB(A) mitataan huomioiden kuulosuojaimen vaikutus	Raja-arvo. Tätä arvoa ei saa ylittää	Meluannoksen ollessa tällä tasolla, seuraa 8 %:lle altistuneista kuulovamvoja.

(Starck & Teräsvirta 2009, 71.), (Rakennusmääräyskokoelma D2, 22), (Aaltonen 2010, 10), (Heikkonen 2010)

### 2.2.2 Melun haittavaikutukset

Melulla on ihmiseen monenlaisia haittavaikutuksia. Yleisin melun haittavaikutus on häiritsevyys. Häiritsevyys on yksilöllistä eikä sitä voida mitata. Melu voi heikentää ihmisen kuuloa aiheuttaen sisäkorvavaurioita tai kuulokynnyksmuutoksen. (Jauhiainen, Vuorinen & Heinonen-Guzejev 2007 8-9, 15.)

Melu vaikeuttaa tarkkaavaisuutta, oppimista ja muistamista, sekä heikentää puheviestintää. Melu aiheuttaa myös toiminnanvajautta joka voi ilmetä työelämässä. Toimintakyvyn lasku voi johtaa muihin seuraamuksiin, kuten muun muassa sairastumis- ja tapaturmariskin kasvuun. (Jauhiainen ym. 2007 8-9.)

Melu vaikuttaa myös sydämen ja verenkierron toimintoihin (Jauhiainen ym. 2007 8-9).

### 3 ILMASTOINTIKONEIDEN AIHEUTTAMA MELU

Ilmastointikoneiden aiheuttama melu on suurimpia taustamelun aiheuttajia kiinteistöissä. Ilmastointikoneet sekä aiheuttavat melua, sekä niiden kanavisto kuljettaa melua tehokkaasti huoneista toisiin. (Köykkä 2011, 2.)

Melu kannattaa ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Väärät laitevalinnat, melua aiheuttava kanavisto tai liiallinen äänenvaimennus ovat tekijöitä, joiden korjaaminen jälkikäteen voi johtaa mittaviin korjaustoimenpiteisiin. (Köykkä 2011, 2.)

Ilmastoinnissa melua aiheuttaa ilmastointikoneen puhallin, sekä muut säätö- ja päätelaitteet. Melua aiheutuu myös kanaviston mutkissa, sekä kanaviston kohdat, joissa poikkipinta-ala kasvaa. (Köykkä 2011, 2.)

Puhaltimen ääni muodostuu sekä moottorin, että myöskin muiden mekaanisten osien tärinästä, sekä aaltoilevan ilmavirran painevaihteluista. Puhaltimen tärinän yleisimmin aiheuttaa joko moottorin tai puhallinpyörän epätasapaino. Aiheuttajana voi olla myös esimerkiksi hihnavälityksen huono linjaus tai laakeriviat. Puhaltimen aiheuttama ääni voimistuu puhaltimen iän kasvaessa ja kunnan huonotessa. (Köykkä 2011, 2.)

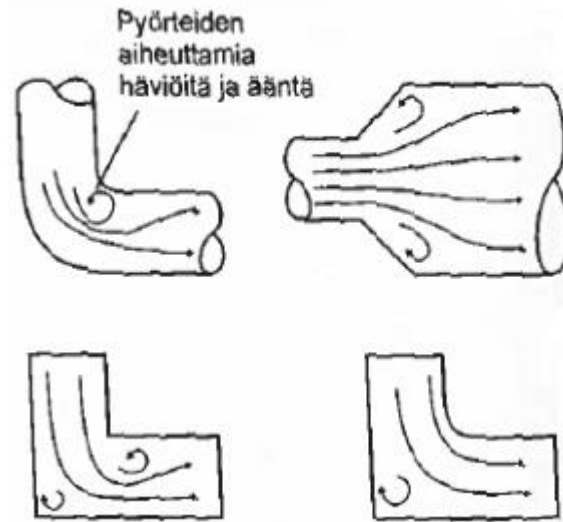
Puhaltimen synnyttämä aaltoileva ilmavirta aiheuttaa kanavaan ilmaääntä, jonka merkittävin taajuus on siipitaajuus. (Köykkä 2011, 2.)

$$\text{Siipitaajuus} = \text{Puhaltimen kierrosluku} * \text{Puhaltimen siipien lkm}$$
(Köykkä 2011, 2.)

Virtausääntä syntyy kanavistossa niissä kohdissa, joissa virtauksen suunta, pyörteisyys tai nopeus muuttuu. Virtaus ääntä syntyy siis muun muassa seuraavissa tapauksissa:

- Mutkat
- Kanaviston haarat
- Ilmavuodot
- Kanaviston muodon ja koon muutokset
- Venttiilit
- Säätölaitteet

(Köykkä 2011, 3.)



Kuva 2. Kanavistossa pyörteilyn aiheuttavaa ääntä. (Köykkä 2011, 3.)

Ääni kulkee kanavistoa pitkin, joten isommat meluongelmat on järjestelmissä, joissa yhdellä ilmanvaihtokoneella hallitaan useita tiloja. (LVI 30-10333 2002, 3.)

### 3.1 Toimistojen akustinen luokitus

Toimistot kuten muutkin rakennukset voidaan luokitella akustisten ominaisuuksiensa perusteella luokkiin A-D, A:n ollessa paras akustinen luokitus. Luokituksessa voidaan huomioida ilmaäänieristävyys, askeläänieristävyys, jälkikaiunta-aika, sekä rakennuksen LVIS-laitteiden aiheuttamat äänitasot. Seuraavassa (Taulukko 3) rakennuksen LVIS-laitteiden aiheuttamien äänitasojen mukainen luokitus ( $L_{a, eq}$ ): (SFS 5907. 2004. 15-16.)

## Ilmastointikoneiden aiheuttaman melun haitat ja niiden ehkäiseminen

Taulukko 3. Rakennuksen LVIS-laitteiden aiheuttama äänistaso, toimistot (SFS 5907. 2004. 14.)

tila	luokka A	luokka B	luokka C	luokka D
Avotoimisto	40-42 dB	40-42 dB	40-42 dB	40-42 dB
Yhden hengen toimistohuone	35 dB	35 dB	35 dB	40 dB
Taukuhuone	40 dB	45 dB	45 dB	50 dB
Neuvottelutila	30 dB	35 dB	35 dB	40 dB
Käytävä, aula	40 dB	40 dB	40 dB	45 dB
Pieni auditorio, koulutustila, alle 200m <sup>3</sup>	30 dB	35 dB	35 dB	40 dB
Ruokala, ravintola	40 dB	45 dB	45 dB	50 dB
Saman tai viereisen rakennuksen ikkunan ulkopuolella	45 dB	45 dB	45 dB	45 dB

Jos koko kiinteistö halutaan luokitella edellyttää se useita mittauksia, ja luokitus menee heikoimman mittauksen mukaan. Luokituksen voi kuitenkin tehdä myös tilakohtaisesti. (SFS 5907. 2004. 3-4.)

Suurimmat sallitut jälkikaiunnan arvot ovat(Taulukko 4): (SFS 5907. 2004. 14.)

Taulukko 4. Huoneiden jälkikaiunta-ajat toimistot (SFS 5907. 2004. 14.)

Tila	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka D
Avotoimisto, korkeus alle 3m	0,35 s	0,40 s	0,45 s	0,55 s
Avotoimisto, korkeus yli 3m	0,40 s	0,45 s	0,50 s	0,60 s
Yhden hengen toimistohuone, taukuhuone, neuvotteluhuone	0,50 s	0,60 s	0,70 s	0,90 s
Käytävä	0,60 s	0,80 s	1,00 s	1,00 s
Aula	0,80 s	1,00 s	1,30 s	1,30 s
Pieni auditorio, koulutustila, alle 200m <sup>3</sup>	0,60 s	0,70 s	0,90 s	0,90 s
Vetäytymishuone,	0,40 s	0,50 s	0,60 s	0,70 s

## Ilmastointikoneiden aiheuttaman melun haitat ja niiden ehkäiseminen

---

hiljainen huone				
Ruokala, ravintola	0,70 s	0,80 s	0,90 s	1,00 s

## 4 MELUN VAIMENTAMINEN

Äänen vaimennusta varten on äänenvaimentimia ja päätevaimentimia. Huonevaimennusta voidaan lisätä lisäämällä huoneeseen absorboivia pintoja. Myös oikein suunnitellut mutkat, sekä kanavan haaroitukset vaimentavat ilmastointikoneen aiheuttamaa melua. (Köykkä 2011, 2.), (LVI 30-10333 2002, 3.)

### 4.1 Erilaisia vaimennustapoja

#### 4.1.1 Runkoääni

Runkoääni on ilmanvaihtokoneessa syntyvää värähtelyä, joka siirtyy rakenteiden ja kanavistojen mukana ja synnyttää ilmaääntä. (LVI 30-10333 2002, 3.)

Runkoääni vaimenee siirryttäessä pidemmälle kanavistossa, sillä ääni menettää tehoa kun se siirtyy tärinäna pitkin kanavistoa. Runkoääntä voidaan vaimentaa myös erillisillä tärinänvaimentimilla. (LVI 30-10333 2002, 3.)

Käytännössä tärinänvaimennus kiinteistökohtaisessa ilmanvaihtokoneessa hoidetaan erottamalla puhaltimet moottoreineen tärinänvaimentimilla rungosta. Pienemmät koneet voi erottaa kokonaan rakenteista tärinänvaimentimilla. Tällöin myös puhaltimen ja kanaviston liitoskohta tulee tehdä joustavalla liitoksella. (LVI 30-10333 2002, 9-12.)

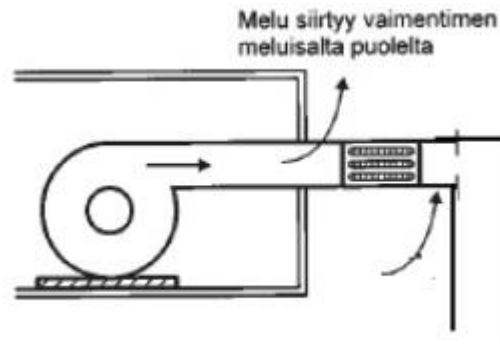
Kanavat tulee kannakoida massiivisiin tärinää johtamattomiin rakenteisiin, jotta tärinä ei pääse kulkeutumaan rakenteita pitkin. Tällaisia rakenteita on esimerkiksi betoninen välipohja tai seinä. (LVI 30-10333 2002, 9.)

#### 4.1.2 Ilmaääni

Ilmastointikoneen ääni joka kantautuu ilmastointikanavan ilman mukana kutsutaan ilmaääneksi. (LVI 30-10333 2002, 3.)

Ilmaääntä voidaan vaimentaa äänenvaimentimilla, päätevaimentimilla tai huonevaimennuksella. Ääni vaimenee myös kanavan haaraumakohdissa. Myös oikein suunnitellut kanavan mutkat ja poikkipinta-alan muutokset voivat vaimentaa ääntä. Kuitenkin mutkat ja poikkipinta-alan muutokset voivat myös synnyttää pyörrettä ja näin ollen lisätä aiheutuvaa ääntä. (LVI 30-10333 2002, 3.)

Ääni voi siirtyä kanavan seinien läpi huonetilaan. Tämä voidaan välttää käyttämällä paksuseinäisiä kanavia tai äänieristämällä ne ainakin ensimmäiseen äänenvaimentimeen asti. (Heikkonen 2010.)



Kuva 3. Melun siirtyminen kanavan läpi, ennen ja jälkeen äänenvaimentimen. (Köykkä 2011, 35.)

Ilmastointikonehuoneesta voi siirtyä ääntä myös ovien läpi. Ilmastointikonehuoneen oven pitää ollakin tiivisteellinen, oviraoton, sekä äänieristetty. (Heikkonen 2010.)

### 4.2 Ääniteknisesti oikein suunniteltu kanavisto

Suunniteltaessa kanavistoa tulisi pyrkiä aina ilmanvaihdon tarkoituksenmukaisuuteen, sekä mahdollisimman alhaiseen äänenpainetasoon. (LVI 30-10333 2002, 4.)

Alhaisen äänenpainetason saavuttamiseksi tulisi suunnittelun lähtökohtana aina olla mahdollisimman tasapainoinen kanavisto, sekä alhainen painetaso. Päätelaitteiden tulisi myös toimia keskenään samalla painealueella. (LVI 30-10333 2002, 4.)

Tasapainoinen kanavisto tarkoittaa kanavistoa, jossa runkokanavasta lähtevien kanavahaarojen välillä on mahdollisimman pienet painetason erot. (LVI 30-10333 2002, 4.)

Alhainen painetaso tarkoittaa kanavistoa, jossa painehäviöt ovat mahdollisimman pienet. Tämä on saavutettavissa mahdollisimman suoraviivaisella ja selkeällä kanavistolla. Kanavistossa tulisi välttää turhia mutkia ja koon muutoksia. (LVI 30-10333 2002, 4.)

#### 4.2.1 Kanavakoot

Kanavakoot tulee mitoittaa tarvittavan ilmamäärän ja kanavassa virtaavan ilman nopeuden mukaan (Taulukko 5). Kanavan ilmannopeuden tulee olla alhainen, jotta kanavistossa ei aiheudu ylimääräistä meteliä. (LVI 30-10333 2002, 9.)



Taulukko 5. Runkokanavan maksimi koot (LVI 30-10333 2002, 9.)

Runkokanavan koko (halkaisija, mm)	Ilman nopeus (m/s)
Yksi päätelaite	2,0
125	2,5
160	3,0
200	3,0
250	3,5
315	3,5
400	4,0
500	4,5
630	5,5

### 4.2.2 Kanavan suunnan ja koon muutokset

Kanavan suunnan ja koon muutokset ovat tehtävä mahdollisimman hitailla muutoksilla. Osien pitää olla tehdasvalmisteisia tyyppihyväksytyjä ja sertifioituja ja niihin tulee löytyä ääni ja virtaustekniset mittaustulokset. Näin voidaan olla varmoja että kanavistossa on mahdollisimman vähän kohtia, joissa ilma pääsee synnyttämään ääntä synnyttäviä pyörteitä. (LVI 30-10333 2002, 9.)

### 4.3 Äänenvaimentimet

Äänenvaimentimet ovat yleensä tehdasvalmisteisia. Äänenvaimentimiin on tehtaalla määriteltynä vaimennusarvot. Oikeanlainen äänenvaimennin valitaan osana melulaskelmaa, jotta kanavistolle saadaan riittävät vaimennusarvot. Vaimentimen vaimennusarvoon vaikuttaa myös vaimentimen pituus, pitkässä vaimentimessa on suuremmat vaimennusarvot kuin lyhyemmässä. (Köyökkä 2011, 5.)

Äänenvaimentimessa vaimennuksen hoitaa yleisimmin mineraalivilla. Sisäputken ja mineraalivillan väliin laitetaan kuitukangasta, joka estää mineraalivillan siirtymisen kanavistoon. (Köyökkä 2011, 6.)

Äänenvaimennin sijoitetaan mahdollisimman lähelle äänilähdettä, kuitenkin huomioiden tarvittava suojaetäisyys, jotta ääni kerkeää tasoittua. Tämä tehdään siitä syystä että ääni ei pääse siirtymään kanavan seinien läpi ennen äänenvaimenninta. Tarvittaessa kanava ennen vaimenninta eristetään 50mm mineraalivillalla. (Köyökkä 2011, 6.)

### 4.4 Absorboivat pinnat

Materiaalipintojen absorboivaa ominaisuutta kuvaamaan on määriteltävä absorptiosuhde  $\alpha$ . Kaikille materiaaleille absorptiosuhde on määriteltävissä ja

se on välillä 0-1. Absorptiosuhde kuvaa kuinka paljon materiaali pystyy absorboimaan siihen osuvaa ääntä. (Oliva, Häggblom, Keränen., Virjonen, Hongisto, 1.)

Suunniteltaessa tilan akustiikkaa, tilan jälkikaiuntaaika voidaan laskea Sabine kaavalla.

$$T = 0,161 \frac{V}{A} = 0,161 \frac{V}{\alpha S} = 0,161 \frac{V}{\sum \alpha_i S_i} \quad (2)$$

missä

T = Jälkikaiunta-aika

V = Huoneen tilavuus

A = Absorptioala

S = Absorptiomateriaalin pinta-ala

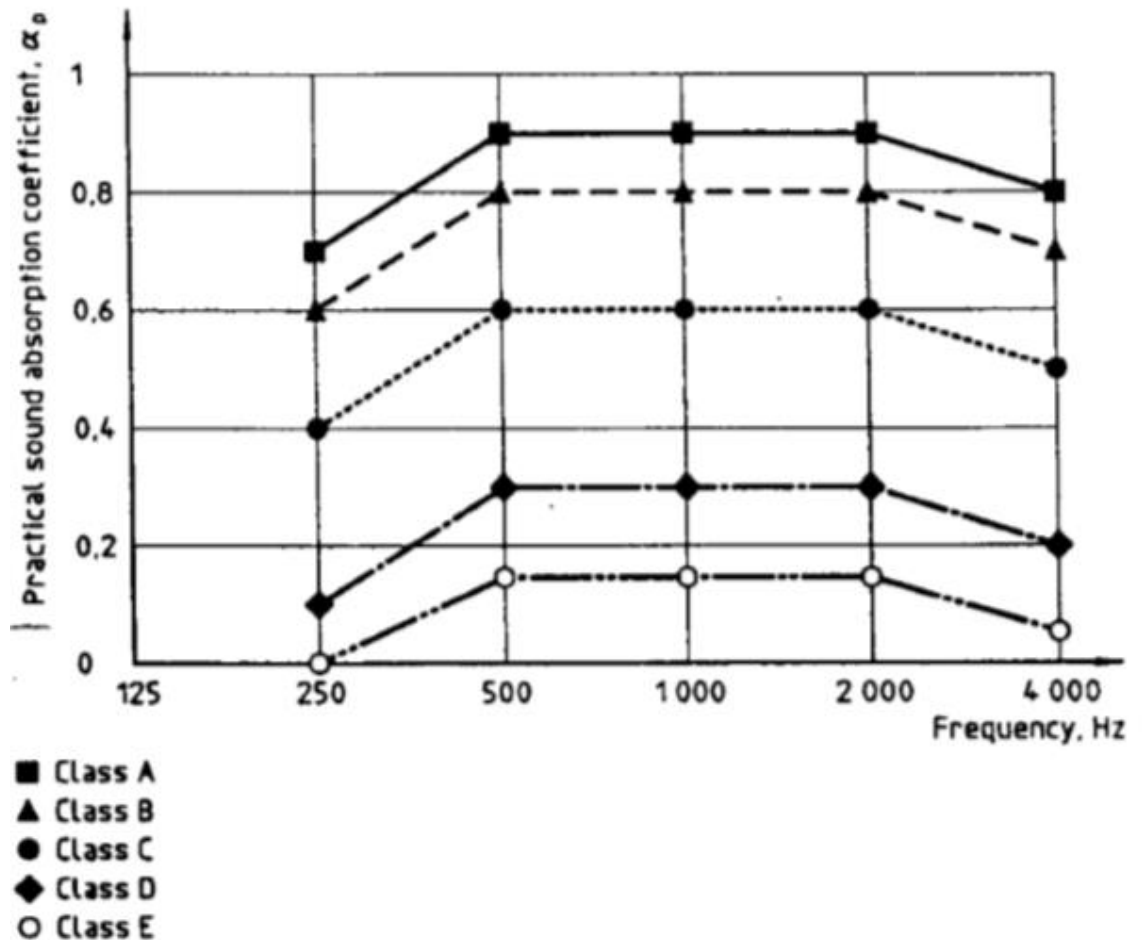
$\alpha$  = Pinnan absorptiokerroin

(Eklund, sähköpostiviesti 25.7.2014.)

Materiaalien absorptioluokat voidaan jakaa luokkiin A-E (Taulukko 6).

Taulukko 6. Absorptioluokka yhden kertoimen mukaan(EN ISO 11654:1997, 8.)

Sound absorption class	$\alpha_w$
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
Not classified	0,10; 0,05; 0,00



Kuva 4. Absorptioluokan vähimmäisvaatimukset taajuusalueittain (EN ISO 11654:1997, 8.)

#### 4.5 Äänen vaimentaminen vastamelun avulla, eli aktiivinen melun vaimennus

Vastamelulla tarkoitetaan melun torjumista melun avulla. Vastamelussa luodaan täsmälleen vastakkainen ääniaalto joka kumoaa alkuperäisen äänen. Ilmanvaihtokoneen kanavissa ääni kulkee pääasiassa vain kahteen suuntaan, joten ääni on helppo kumota vastameluperiaatteella. (Aaltonen 2010, 12.)

Vastamelun edut perinteiseen äänenvaimentimeen verrattuna ovat:

- Helpompi asennus
- Vähäisempi virtausvastus
- Parempi vaimennus pienillä taajuuksilla
- Vastamelu on myös edullisempi vaihtoehto pienillä (alle 200 Hz:n) taajuuksilla. Alle 200 Hz:n ääntä torjuvassa passiivisessä äänenvaimentimessa vaimennusmateriaalin määrä tulisi olla valtava, johtuen suuresta aallonpituudesta. (Välimäki, Antila M, Rantala S & Linjama J. 1997. 1.)

## 5 MELUMITTAUKSEN TEORIAA

Melumittattavan tilan tulee olla valmis remontin tai rakentamisen osalta, sekä ilmanvaihtokone tulee olla säädettynä oikeille ilmamäärille. (LVI 30-10333 2002, 16.)

Mittauksen aikana ilmanvaihtokoneen tulee olla päällä suunnitellulla nopeudella. Lisäksi taustamelun pitää olla 10 dB mitattavaa ääntä alhaisempi, jotta sillä ei ole vaikutusta mittaukseen. Tarvittaessa taustamelu voidaan ottaa huomioon äänilähteiden logaritmisella yhteenlaskulla tai taulukko 7:n avulla. Jos kokonaisäänitaso alittaa vaatimukset, niin taustamelua ei tarvitse mitata. Taustamelu mitataan ilmastointikoneen ollessa suljettuna. (LVI 30-10333 2002, 16.), (Köykkä 2011, 16.), (SFS 5517. 2004. 2.)

Taulukko 7. Taustaäänien vaikutus kokonaisäänitasoon (Köykkä 2011, 16.)

Kokonais- ja taustaäänitason erotus, dB(A)	Kokonaisäänitasosta vähennettävä, dB(A)
>10	0
6-10	1
4-5	2
3	3
2	4
1	6

Ilmastointikoneen aiheuttama melu mitataan keskeltä huonetta 1,2 – 1,5 metrin korkeudelta. Mittauksen aikana tilan ovet ja ikkunat pidetään suljettuna. (LVI 30-10333 2002, 16.)

Mittauksissa käytettävä tarkkuusäänitasomittari tulee kuulua tarkkuusluokkaan 1. Mittauksissa käytetään A-painotussuodatinta ja F-aikapainotusta. A-painotussuodatus painottaa eri taajuusalueita mittauksessa normaalikuuloisen taajuudesta riippuvien herkkyyserojen mukaan. F-aikapainotus tarkoittaa melun keskimääräistä äänenpainetasoa 250 ms:n aikana. (LVI 30-10333 2002, 16.), (Jauhainen ym. 2007 12-13.)

Mittarin kalibroinnin tulee olla voimassa ja mittarista tulee olla kalibrointitodistus, sen lisäksi mittarin näyttämän oikeellisuus varmistetaan ennen jokaista mittasarjaa laitevalmistajan ohjeiden mukaan. (Köykkä 2011, 15.)

Mikrofonia siirretään alkuperäisen mittapisteen ympärillä 50 cm:n säteellä. Jos mittatuloksissa on heittoa, niin tehdään mittaukset kolmesta pisteestä. (LVI 30-10333 2002, 16.)

Jos mittaustulos vaihtelee vähemmän kuin 5 dB, niin lopullinen äänitaso ilmoitetaan mittausten aritmeettisena keskiarvona. Jos mittaukset vaihtelevat enemmän kuin 5dB, niin tällöin lopputulos ilmoitetaan mittausten logaritmisena keskiarvona. (LVI 30-10333 2002, 16.)

### 5.1 Melumittausten pöytäkirja

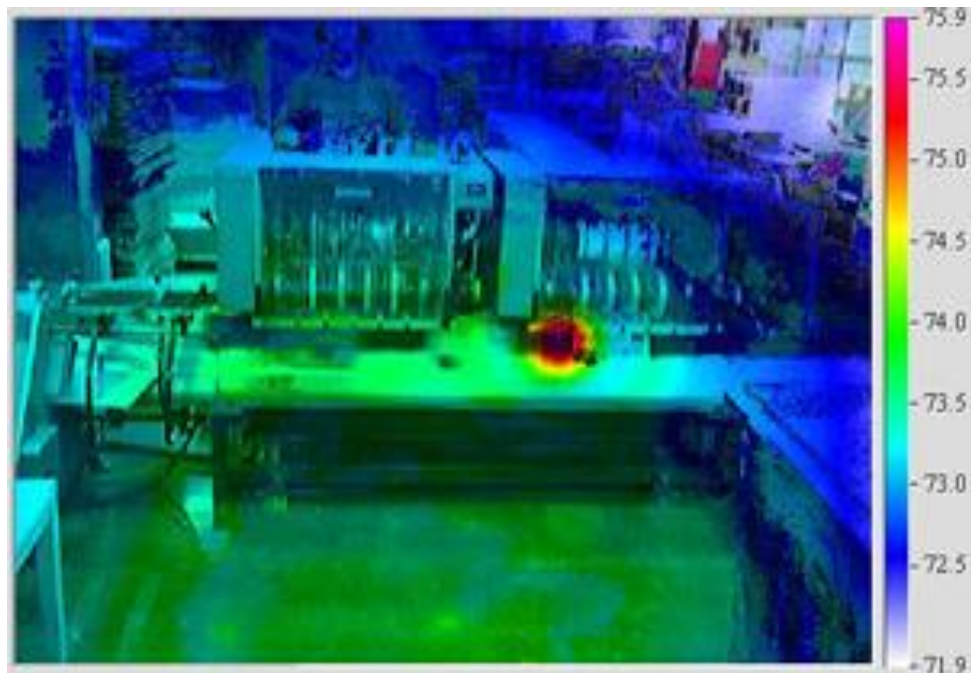
Ilmanvaihtokoneen melumittauksista tehtävän pöytäkirjan tulisi sisältää ainakin tiedot mittauskohteesta, päivämäärä, mittari, mittaaja, mittauspisteiden sijainti, mittaustulokset eri mittauspisteistä, huoneen kokonaisäänitaso, huoneen taustäänitaso(tarvittaessa), laskettu ilmastointijärjestelmän äänitaso(tarvittaessa). (SFS 5517. 2004. 3.)

Turuntie 2:n projektia varten on luotu pöytäkirjapohja, joka löytyy liitteestä 2.

### 5.2 Akustinen kamera

Kun on tarvetta mitata tarkka melunlähde tai melun vuotokohta tai halutaan varmistaa meluntorjunnan tulosten onnistumista, voidaan käyttää myös akustista kameraa. (Työterveyslaitoksen kotisivut.)

Akustisen kameran toiminta perustuu monimikrofonijärjestelmän ja kameran yhdistelmään tuloksena tulee 'äänikarttoja'. (Työterveyslaitoksen kotisivut.)



Kuva 5. Äänikameran esimerkkikuva (Työterveyslaitoksen kotisivut.)

### 5.3 Ilmaäänieristävyyden mittaaminen likimääräisellä menetelmällä

Ilmaäänieristävyyttä mitattaessa tarvitaan äänilähde, joka lähettää ns. Pink Noise ääntä. Pink Noise tarkoittaa kohinaa jonka ääni on lineaarisesti laskeva välillä 100-3150 Hz. Lisäksi tarvitaan vastaavanlainen äänitasomittari kuin muissa melumittauksissa. (SFS 5517. 2004. 2.)

Ilmäänieristävyttä mitattaessa ilmastointikone on kiinni. Äänilähde kytketään toimintaan huoneessa 1. Kyseisen huoneen kokonaisäänitaso mitataan äänitasomittarin lin- tai C-taajuupainotuksella ja  $L_{eq}$ -toiminnolla luetaan keskimääräinen äänitaso. (SFS 5517. 2004. 3.)

Vastaanottavan huoneen kokonaisäänitaso mitataan A-taajuuspainotettuna. Tulos luetaan  $L_{eq}$ -toiminnolla keskimääräisenä äänitasona. (SFS 5517. 2004. 3.)

Ilmääneneristysluku  $R'_{ws}$  saadaan laskettua yhtälöllä (SFS 5517. 2004. 2.):

$$R'_{ws} = L_{C1} - L_{A2} - 0,7 - 10 \lg \frac{0,16 V_2}{T_2} + 10 \lg \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (3)$$

, jossa  $L_{C1}$  = huoneen 1 mitattu äänenpainetaso, dB

$L_{A2}$  = huoneen 2 mitattu äänenpainetaso, dB

$V_2$  = huoneen 2 tilavuus,  $m^3$

$T_2$  = vastaanottavan huoneen jälkikaiunta-aika, jos jälkikaiunta-aikaa ei ole erikseen mitattu, niin voidaan käyttää 1 s kalustetussa huoneessa ja 0,5 s kalustamattomassa huoneessa.

$S_0$  = yksikköpinta-ala,  $1 m^2$

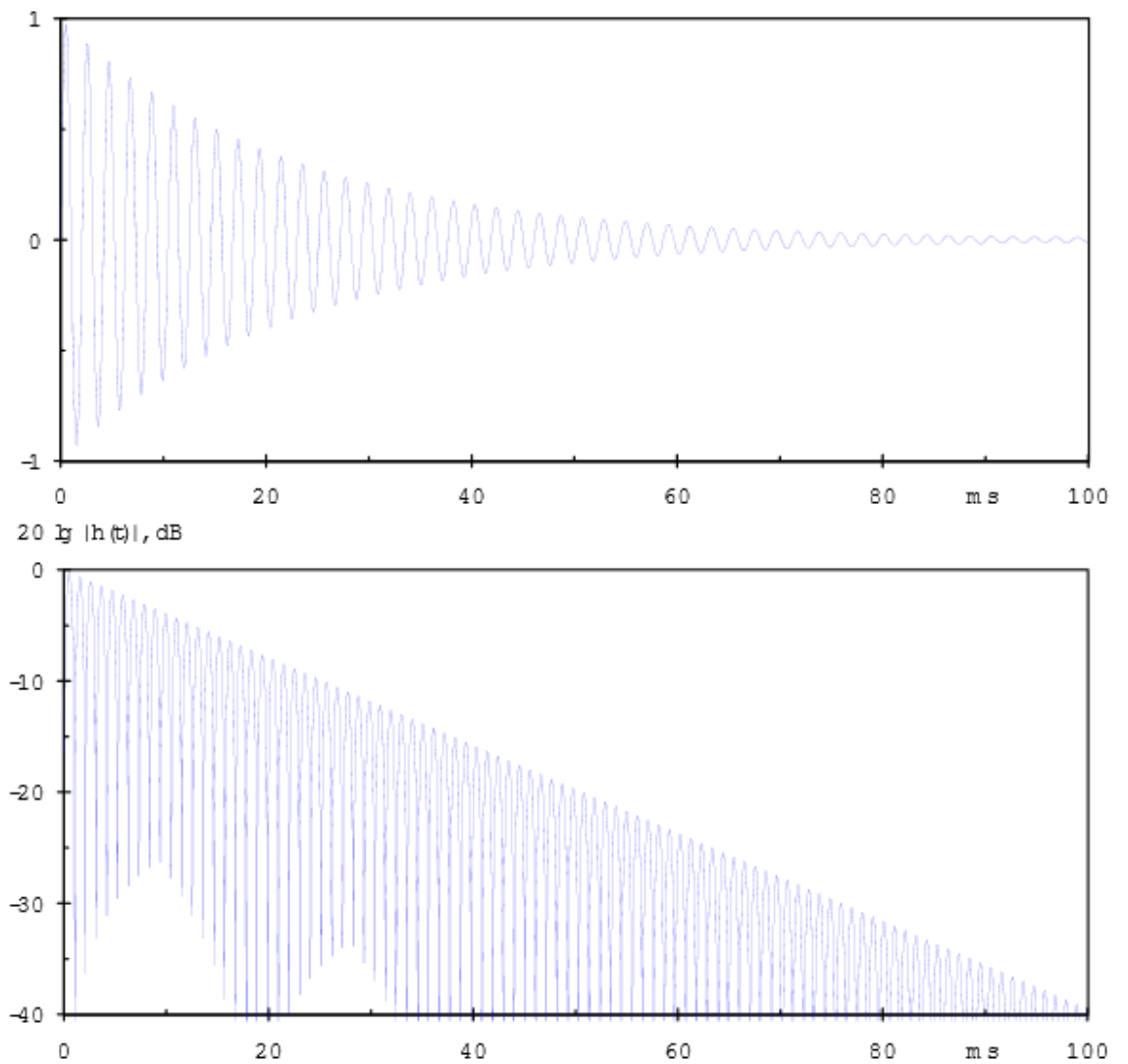
$S$  = mitattavan seinän pinta-ala,  $m^2$

### 5.4 Jälkikaiunta-ajan mittaaminen

Jälkikaiunta tarkoittaa äänienergian vaimenemista huoneessa, silloin kun äänilähde lakkaa nopeasti. (Lahti, 1995, 45.)

Jälkikaiunta-aika tarkoittaa aikaa, jona äänenpainetaso vaimenee 60 dB, äänilähteen sammuttamisen jälkeen. Jälkikaiunta-aika on tärkeä huoneen ominaisuus silloin kuin huoneen akustiset ominaisuudet ovat oleellisia, kuten puhe- ja musiikkisalien kohdalla. (Lahti, 1995, 45.)

Jälkikaiunta-aika mitataan yleisimmin tarkastelemalla äänikentän vaimenemista halutussa mittapisteessä äänilähteen sammuttamisen jälkeen. Jälkikaiunta-aika on se aika jolloin äänenpainetaso on vaimentunut 60 dB. Vaimenemisen tulisi olla eksponentiaalista, jos sen sijaan käytetään logaritmista desibeliasteikkoa, niin silloin vaimeneminen pitäisi olla suoraviivaista (Kuva 6). (Lahti, 1995, 45-46.)



Kuva 6. Ylemmässä jälkikaiunnan vaimeneminen Pascaleina mitattuna, alemmassa kuvassa vaimeneminen desibeli asteikolla (Lahti, 1995, 46.)

## 6 MELULASKENNAN TEORIAA

Tarkassa laskentamenetelmässä tehdään laskelmat oktaavikaistoittain alla olevan ohjeen mukaan. Ilmanvaihtokoneiden kohdalla voidaan käyttää myös pikamenetelmää, jossa suoritetaan laskelma vain 250 Hz:n kaistalla, sillä käytännössä puhaltimen huoneeseen aiheuttamassa melussa kaista 250 Hz on määräävä. Pikamenetelmällä saadaan nopeasti tieto tarvittavasta vaimennustarpeesta. (LVI 30-10333 2002, 15.)

Ilmastointikoneen äänilaskelmassa lasketaan ilmastointikoneen aiheuttama äänitaso huonetilaan. Melulaskelman vaiheet ovat seuraavat:

- Määritetään puhaltimen äänitehotaso kanavaan
- Huomioidaan puhaltimen ja huoneen välillä olevien kanavanosien vaimennus
- Huomioidaan huonevaimennus
- Vähennetään puhaltimen äänitehotasosta kyseiset vaimennukset, jolloin saadaan puhaltimen aiheuttaman äänitehotaso huonetilaan.
- Muutetaan äänenpainetaso A-äänitasoiseksi vähentämällä siitä painotus ja suorittamalla oktaavikaistojen yhteenlasku oktaavikaistoittain (LVI 30-10333 2002, 15.)

Jos puhaltimen äänitehotasot eivät ole saatavilla, niin ne voidaan laskea seuraavalla kaavalla, jonka tulos on suuntaa-antava: (Köyökkä 2011, 8)

$$L_w = 10 \lg q_v + 20 \lg P_{tF} + L_o - K(f) \quad (4)$$

,jossa  $L_w$  = puhaltimen kehittämä kokonaisäänitehotaso, dB

$q_v$  = tilavuusvirta,  $m^3/s$

$P_{tF}$  = kokonaispaine, Pa

$L_o$  = 35-40 dB hyville käytetyille puhaltimille

$K(f)$  = korjauskertoimen (Taulukko 8)

Taulukko 8. Korjauskertoimet (Köyökkä 2011, 8)

Oktaavikaistojen taajuudet, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Keskipakopuhallin, taaksepäin kaartuvat siivet	4	6	8	10	15	20	26	32
Keskipakopuhallin, eteenpäin kaartuvat siivet	2	6	12	17	18	22	27	32
Aksiaalipuhallin	9	8	7	7	8	11	16	18

Jos kanavistossa on ääntä lisäävä osa, esimerkiksi säätöpelti, niin laskelmassa edetään ilmastointikoneen puhaltimesta kohti huonetta seuraavasti. Puhaltimen äänitehotasosta vähennetään kanaviston ja muiden osien vaimennus ennen säätöpeltiä, lisätään säätöpellin tuottama ääni ja vähennetään sen jälkeen säätöpellin jälkeisten osien aiheuttama vaimennus. (LVI 30-10333 2002, 15.)



Jos tilaan vaikuttaa kaksi äänilähdettä, niin tällöin tilan äänenpainetaso lasketaan seuraavalla kaavalla: (LVI 30-10333 2002, 16.)

$$L_{Atot} = 10 \lg\left(10^{\frac{LA1}{10}} + 10^{\frac{LA2}{10}} + \dots + 10^{\frac{LAN}{10}}\right) \quad (5)$$

jossa,  $L_{Atot}$  = laitteiden yhdessä aiheuttama äänitaso tilaan  
 $LA1\dots LAN$  = yksittäisten laitteiden aiheuttama äänitaso tilaan

Päätelaitteen aiheuttama äänitaso saadaan valmistajan ääniteknisistä tiedoista. Jos huonetiloissa on useampia päätelaitteita, niin tällöin niiden aiheuttamat äänitasot lasketaan logaritmisesti yhteen. (LVI 30-10333 2002, 16.)

### 6.1 Painehäviölaskelma

Suunniteltaessa kanavistoa tarvitsee alustavan suunnittelun jälkeen tehdä myös painehäviölaskelma. Painehäviölaskelmalla varmistetaan että kanavisto on tasapainoinen. Painehäviölaskelman avulla mitoitetaan tarvittava paine mahdollisimman pieneksi, jonka seurauksena ilmanvaihtokone ei yleensä aiheuta ääni- tai säätötekniisiä ongelmia. Painehäviölaskelmalla saadaan selville seuraavat asiat:

- Tarvittavat painetasot kanaviston eri kohdissa
- Tasapainotustarve kanaviston haaroissa
- Mahdollisesti kanavistoon tarvittavat kanavakoonmuutokset
- Päätelaitteiden aiheuttamat äänenpainetasot  
(LVI 30-10333 2002, 4.)

Painehäviölaskelman jälkeen ilmanvaihtojärjestelmälle tehdään lopullinen mitoitus. (LVI 30-10333 2002, 4.)

## 7 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

### 7.1 Kohteen kuvaus

Kohteeksi valittiin Skapat Energia Oy:n pääkonttori Hämeenlinnassa osoitteessa Turuntie 2. Rakennus on valmistunut vuonna 1906 Suomalaisen Yhteiskoulun laajennusosaksi. Skapat Energia Oy muutti rakennukseen vuonna 2011. Tätä ennen kiinteistössä oli kuitenkin mittava LVIS-remontti. Ilmanvaihdon osalta, jokaiseen kerrokseen, tuli kerroskohtaiset ilmanvaihtokoneet.

Kohteen kolmas kerros on nykyisellään neuvotteluhuoneena. Kyseisestä tilasta on tullut paljon palautetta ilmanvaihtokoneen aiheuttamasta metelistä. Kanavistoon on lisätty jälkikäteen äänenvaimennin, josta ei ole saatu korvin havaittavaa apua meluongelmaan. Myöskin kanavisto on tehty uudestaan, tähän pääsyyinä oli kuitenkin huoneen heikko ilmanvaihto. Alunperin ilmanvaihdon tulo- ja poistoyksikkö sijaitsivat vierekkäin.



Kuva 7. Neuvotteluhuoneen ilmastoinnin nykyinen kanavointi ja äänenvaimennin

Tila on myös kaikuisa, joka lisää melun tuntua huoneessa. Huoneessa ovat kiviset seinät ja absorboivia materiaaleja ei ole käytetty.

### 7.2 Ilmanvaihtokoneen tiedot



Kuva 8. Enervent Pandion eco EDW-CG ilmastointilaite

Kohteessa on Enervent Pandion eco EDW-CG ilmastointilaite. Kyseessä on pakettimallinen ilmanvaihtokone, jossa on pyörivä-LTO, jälkilämmityspatteri ja jäähdytyspatteri.

Koneen leveys, korkeus ja pituus on 785 \* 895 \* 543 mm. Kyseisen ilmastointikoneen paino on 90 kg.

Laitteen äänitekniset tiedot on laskettu taulukkoon 9:

Taulukko 9. Enervent Pandion eco EDW-CG äänitekniset tiedot

Äänet:	$L_w$	$L_{wA}$
Vaipan läpi: → 10 m <sup>2</sup> absorptio $L_{pA}$ :	55,8 dB	47,8 dB(A)
	43,8 dB(A)	
Tuloilmakanava:	67,5 dB	66,9 dB(A)
Poistoilmakanava:	54,3 dB	47,7 dB(A)
Ulkoilmakanava:	54,5 dB	48,9 dB(A)
Jäteilmakanava:	71,9 dB	70,9 dB(A)

☐ Piilota laskentataulukko

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB	dB(A)
Tila	51	51	49	45	44	33	26	13	55,8	47,8
Tila: 10 m <sup>2</sup> absorptio $L_{pA}$ :										43,8
Tulo	52	53	55	61	64	61	52	38	67,5	66,9
Poisto	52	46	44	43	46	37	27	20	54,3	47,7
Ulko	48	47	46	50	42	38	31	22	54,5	48,9
Jäte	59	62	61	64	67	66	59	52	71,9	70,9

Äänitekniset tiedot (Taulukko 9) on saatu käyttäen Enervent Energy Optimizer-ohjelmaa. Lähtötietoina on ollut koneen merkki ja malli, mitatut il-mavirrat ja paineet mittauspöytäkirjasta.

Taulukossa olevat äänenpainetaso lukemat koskevat ilmanvaihtokonetta. Ne eivät ota huomioon kanavistossa tai muissa komponenteissa tapahtuvia vaimenemisia tai melun lisääntymisiä.



Kuva 9. Ilmastoinnin tuloilmayksikkö

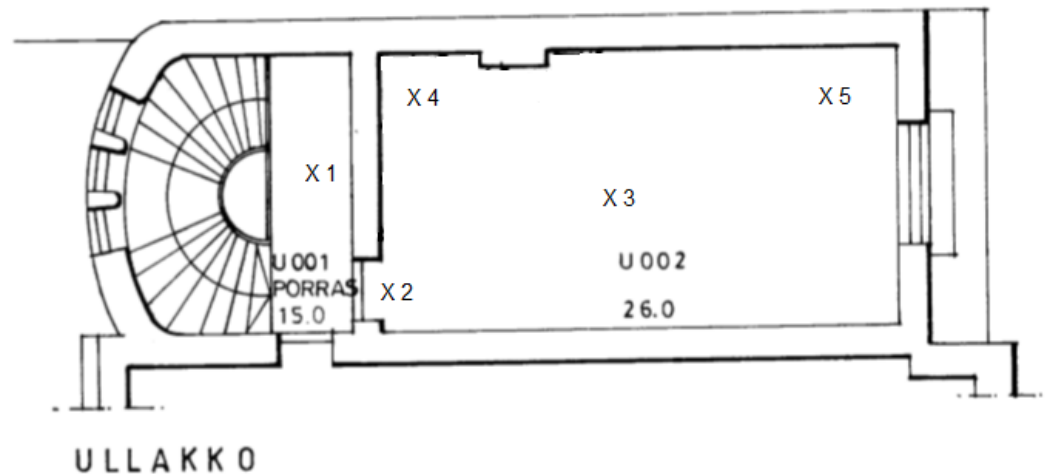
Ilmanvaihtokone on metallisen jalustan päällä suoraan betonisessa välipohjassa (Kuva 10). Betoninen välipohja on massiivinen tärinää johtamaton rakenne.



Kuva 10. Ilmastointikoneen kannakointi

### 7.3 Melumittauksen suunnittelu

3. kerroksen mittauspöytäkirjan mukainen ilmanvaihto saavutetaan ilmanvaihtokoneen käydessä 75 %:n teholla. Kerroksen ilmanvaihtoa on pidetty kuitenkin jopa 100 %:n teholla, jotta tiloissa on saavutettu parempi ilmanvaihto ja tasaisemmat lämpöolosuhteet.



Kuva 11. Ullakon pohjapiirustus ja mittapistet

Mittapiste 1 sijaitsee metrin päästä ilmanvaihtokonehuoneen ovesta rappukäytävän yläosassa. Kyseisestä pisteestä mitataan melu ilmanvaihtokoneen käydessä teholla 75 % ja ilmanvaihtokonehuoneen oven ollessa kiinni. Mittaus toistetaan kun ovi on auki. Mittauksista voidaan selvittää ilmanvaihtokonehuoneen oven melun eristävyyttä.

Mittapiste 2 sijaitsee neuvotteluhuoneen sisäpuolella metrin päässä neuvotteluhuoneen ovesta. Kyseisestä mittapistestä mitataan melu ilmanvaihtokoneen käydessä teholla 75 % ja oven ollessa kiinni. Kyseisestä mittauksesta voidaan päätellä huoneeseen ovien läpi kantautuvaa melua.

Mittapiste 3 sijaitsee keskellä huonetta. Mittapiste 3:n mittausten perusteella määritetään taustamelu, sekä ilmastointikoneen aiheuttama melu. Kyseisestä pisteestä mitataan melu ilmanvaihtokoneen tehoilla 0 %, 75 % ja 100 %. Pisteestä ympäriltä tehdään 75 %:n teholla tarkistus mittauksia 50 cm:n säteellä. Jos mittatulokset tällöin vaihtelevat, niin melu mitataan kolmesta pisteestä neuvotteluhuoneen pöydän ympäriltä.

Mittapiste 4 sijaitsee huoneen nurkassa tulo- ja poistoilmapiputkien läheisyydessä, metrin päästä kummastakin nurkasta. Kyseisestä pisteestä mitataan melu 75 %:n teholla. Lukeman perusteella arvioidaan melua joka tulee huoneeseen tuloilmapiputkesta ennen äänenvaimenninta, sekä ilman äänenvaimenninta toimivasta poistopiutkesta.

Mittapiste 5 sijaitsee metrin päästä tuloilmayksikköä. Kyseisestä pisteestä mitataan melu 75 %:n teholla. Kyseisestä tuloksesta voidaan arvioida tuloilmayksikön kautta tulevaa melua huoneeseen.

### 7.3.1 Käytettävä mittalaitteisto

Mittauksissa käytettiin MIP Oy:n Type 7078 Integrating Sound Level Meter-mittaria. Kyseessä on kakkosluokan mittari, josta löytyy tarvittava A-painotussuodatus, sekä F-aikapainotus.

Mittarin mittatarkkuus on  $\pm 1$  dB, laitteen käyttöohjeen mukaan.

### 7.4 Melumittauksen suorittaminen

Melumittaukset tehtiin 16.4.2014. Mittaukset suoritettiin itse ja tiloissa ei ollut muita henkilöitä. Mittaukset on tehty käsivaralla ilman erillistä telinettä mittarille.

Suurimpia huoneen taustäänitasoon vaikuttavia tekijöitä vaikuttivat olevan kadulta tuleva liikenteen melu, jääkaappi, sekä huoneen kello. Ennen mittausten aloittamista kello siirrettiin kaappiin, jolloin sen sekuntiviisarista tuleva ääni ei enää vaikuttanut mittarin tulokseen.

#### 7.4.1 Mittausten tulokset

Mittauksen tulokset koottuna ovat taulukossa 10. Mittauksissa käytetty A-painotussuodatusta ja F aikapainotusta.

Mittapistestä 3 on varmistettu aiemmin esitellyn mittaussuunnitelman mukaisesti vaikuttaako mittapisteen 0,5 m:n siirtäminen eri suuntiin tuloksiin. Muutos tuloksessa oli alle 1dB, joten valittua pistettä voidaan pitää luotettavana.

Jokaisesta mittapisteestä on mitattu 10-20 sekuntia, jotta mittatulokset on vaakaantuneet. Jokainen mittaus on myös toistettu. Toistetuissa mittauksissa ei tulleet erot olleet lopputuloksen kannalta vähäisiä (alle 1dB)

Taulukko 10. Melumittauksen tulokset

Sijainti:	Mittaustulos:
Mittapiste 3, Ilmanvaihtokoneen teho 0 %	28 dB
Mittapiste 1, ilmastointikonehuoneen ovi auki, Ilmanvaihtokoneen teho 75 %	60 dB
Mittapiste 1, ilmastointikonehuoneen ovi kiinni, Ilmanvaihtokoneen teho 75 %	52 dB
Mittapiste 2, Ilmanvaihtokoneen teho 75 %	47 dB
Mittapiste 3, ilmanvaihtokoneen teho 75 %	48 dB
Mittapiste 4, ilmanvaihtokoneen teho 75 %	51 dB
Mittapiste 5, ilmanvaihtokoneen teho 75 %	50 dB
Mittapiste 3, ilmanvaihtokoneen teho 100 %	49 dB

Taulukko 11. Kokonais-, tausta-, sekä ilmastointijärjestelmän äänitasot

Huoneen kokonaisäänitaso:	48 dB
Huoneen taustäänitaso:	28 dB
Ilmastointijärjestelmän laskettu äänitaso:	48 dB

Kaikki mitatut ja lasketut äänitasot ovat  $\pm 1$  dB.

Huoneen kokonaisäänitaso vastaa voimakkuudeltaan ilmastointijärjestelmän äänitasoa. Taustamelun ollessa 10 dB mitattavaa ääntä alhaisempi, sillä ei ole vaikutusta ilmastointijärjestelmän äänitasoon. Tämä johtuu desibeliyksikön logaritmisuudesta.

### 7.5 Melulaskelma

Ilmastointikoneen äänitekniset tiedot on esitelty kohdassa 7.2 ilmanvaihtokoneen tiedot. Kyseisten tietojen perusteella selviää muun muassa ilmanvaihtokoneen kanavaan aiheuttama äänitaso.

Ilmanvaihtokoneen huonetilaan aiheuttaman melutason selvittämiseksi, pitäisi tietää myös kanaviston ja muiden komponenttien äänitekniset tiedot.

Haastattelin kanaviston ja äänenvaimentimet urakoineen Allair Oy:n Ossi Vallinin. Hänen mukaansa kanavistoa tai äänenvaimentimia rakennettaessa



ei ole käytetty erillistä suunnittelijaa, eikä komponenteista ole olemassa ääniteknisii tietoja. Puutteellisista tiedoista johtuen tilaan ei voida tehdä melulaskelmaa.

### 7.5.1 Absorptioalan laskeminen

Huoneen kaikuisuutta vähennettäessä otetaan tavoitteeksi toimistojen akustisen luokituksen A mukainen jälkikaiunta-aika, mikä on 0,50 sekuntia. Tarvittava absorptioala voidaan laskea Sabinein kaavalla:

$$T = 0,161 \frac{V}{A} = 0,161 \frac{V}{\alpha S} = 0,161 \frac{V}{\sum \alpha_i S_i} \quad (6)$$

Huoneen tilavuus on n.  $91 \text{ m}^3$   
tavoiteltava jälkikaiunta-aika T on 0,50  
käytettävissä olevan absorptiomateriaalin kerroin  $\alpha$  on 0,90

eli

$$S = 0,161 \frac{72,8}{0,90 * 0,50} = 26 \text{ m}^2 \quad (7)$$

Tarvittava absorptiomateriaalin pinta-ala on  $26 \text{ m}^2$

## 8 YHTEENVETO TURUNTIE 2:N NEUVOTTELUHUONEEN ILMANVAIHTOKONEEN AIHEUTTAMASTA MELUSTA

Ilmastointijärjestelmän aiheuttama äänitaso huonetilaan ( $L_{A, eq, T} 47\text{dB}$ ) ylittää rakennusmääräyskokoelma D2:n asettaman raja-arvon ilmastointijärjestelmän äänitasolle, joka on 33 dB.

Toimistotilojen akustisessa luokituksessa mitattu neuvottelutila sijoittuu heikoimpaan D-luokkaan (yli 40dB)

Vaikka ilmastointijärjestelmän äänitaso ylittääkin rakennusmääräyskokoelman raja-arvon huomattavasti, niin merkittäviä terveydellisiä vaikutuksia, ei tule vielä tällä tasolla pelkästään ilmanvaihtokoneen äänenpainetasosta johtuen.

Ilmastointijärjestelmän tehostus ei aiheuta merkittävää lisäystä huoneen melutasoon. Tehostusta ei tarvitse välttää lisääntyvän melun vuoksi.

Kuten allaolevasta kuvasta nähdään on tuloilmakanavan ja äänenvaimentimen välissä eristämätöntä putkea, josta ääni pääsee siirtymään huonetilaan kanavan seinämien läpi. Ääni etenee myös vastavirtaan, josta johtuen osa huoneen melutasosta tulee myös poistoputken kautta.

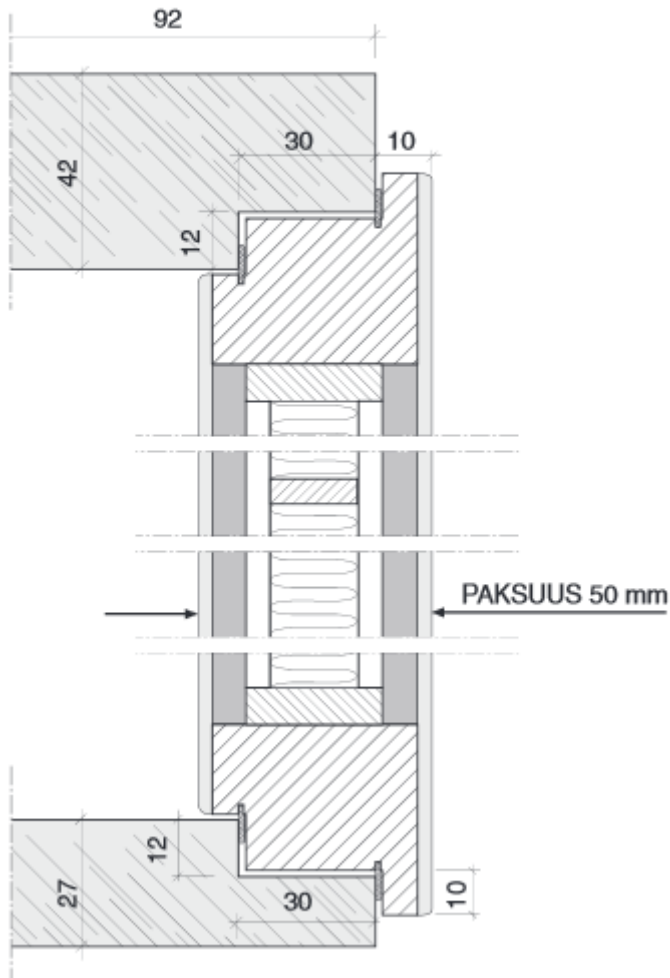
### 8.1 Ehdotetut toimenpiteet

Ilmanvaihtokonehuoneen ovi ei ole äänieristetty. Kyseisen oven ja lattian väliin jää myös äänirako, josta melu pääsee kulkeutumaan. Nykyinen ovi eristää ääntä 8 dB. On saatavissa erikseen ilmastointikonehuoneisiin suunnattuja ovia esimerkiksi Desipo Oy:n RW 41 LVI 0491/90 äänieristysovi (Kuva 12).

Oven rakenne perustuu monilamelli ja lokerorakenteeseen. Oven äänen eristävyys on 35 dB. Oven hinta on 494 € (alv. 0 %)

ÄÄNIERISTYSOVI

RW41



Kuva 12. Desipo RW41 äänieristysoven rakenne.

Suurimmat melutasot huoneesta mitattiin tulo- ja poistoilmaputkien läpiviennin kohdalla. Tuloilmaputki on suositeltavaa eristää koko matkalta ennen äänenvaimenninta 50 mm mineraalivillalla, myös konehuoneen puolelta.

Taloon.com verkkokaupassa lasivillamatto climcover Roll CR2 Alu2 50 mm hinta on 89 €/paketti (alv. 24 %). Kyseinen määrä riittää kohteen tuloilmaputken eristämiseen.

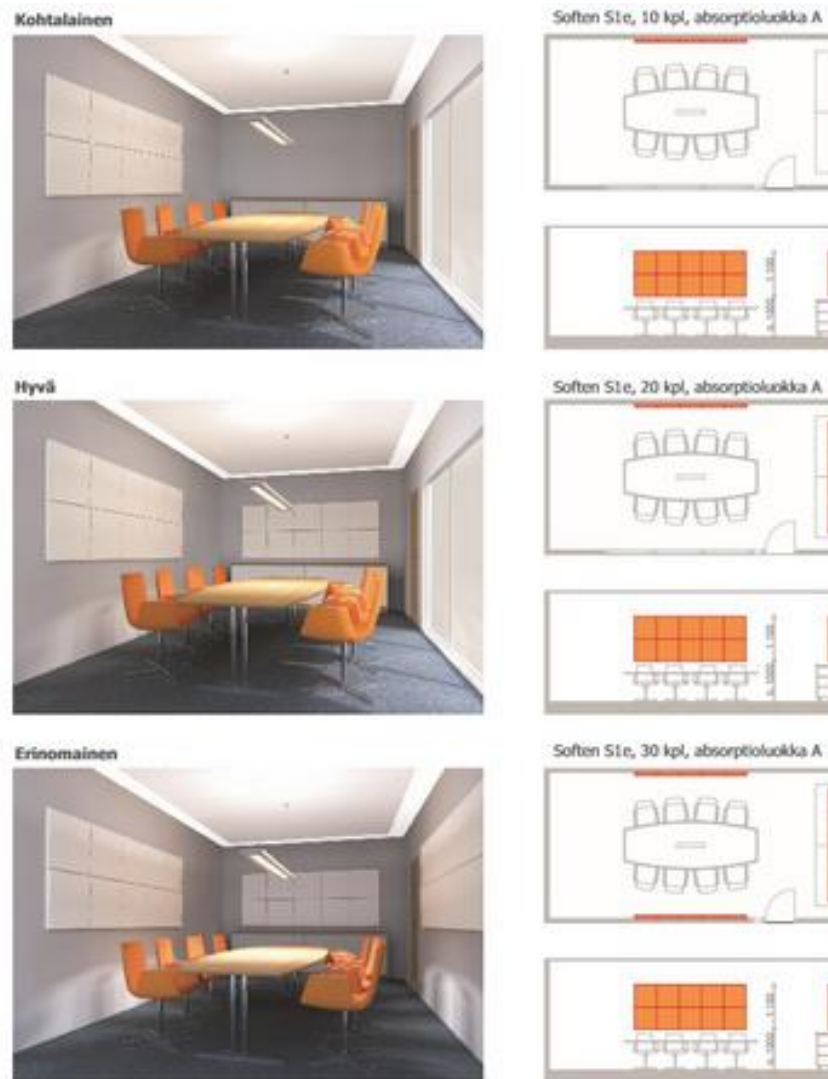


Kuva 13. Tuloputken ja poistoputken läpivienti

Huoneen kaikuisuuden vähentäminen parantaa huoneen akustisia ominaisuuksia ja pienentää myös huoneen taustamelun määrää. Jotta huoneen jälkikaiunta-aika saadaan A-luokkaan, tulisi A-luokan absorptiomateriaalia olla katossa ja seinissä vähintään 26 m<sup>2</sup>.

Absorptiolevyt voi asentaa kattoon tai seiniin. Tarvittava absorptiopinta-ala on sama kuin katon pinta-ala. Yksittäisen 55 \* 55 cm:n paneelin hinta akustiikkamassalla on 120 €/kpl. Tarvittava akustiikkalevyjen määrä on 87 kpl, joten kokonaishinta on 10 440 € (alv. 24 %)

Kuvassa 14 on mallinnekuva Soften Oy:n absorptio levyjen asennuksesta neuvotteluhuoneen seinille:



Kuva 14. Absorptiolevyjen asennus

A-luokan absorptiolevyjä seiniin ja kattoon Suomessa toimittaa Kontio ja Ecophon. Soften toimittaa absorptiolevyjä seiniin.

Neuvotteluhuoneen äänenpainetason pienentämiseksi suositellaan ilmanvaihtokonehuoneen oven vaihtamista ilmastointikonehuoneeseen tarkoitettua äänieristysoveksi, sekä ilmastointikoneen tuloilmaputken eristämistä. Huoneen kaikuisuuden vähentämiseksi suositellaan asennettavaksi absorptiolevyjä huoneen seinille tai kattoon.

Edellä mainittujen toimenpiteiden kokonaishinta on 8985 € (alv. 0 %) ilman asennusta.

## 9 YHTEENVETO

Tämän työn myötä melu voidaan huomioida entistä tehokkaammin Skapat Energian toiminnassa. Työstä on laadittu Power Point-esitys yrityksen käyttöön. Työstä löytyy apua asiakkaiden ja alihankkijoiden meluongelmiin.

Melu voi olla haitallista jo pienilläkin äänenpainetasoilla, joten on tärkeää huomioida asiallinen äänenvaimennus. Ilmastointikoneiden äänenvaimennus on helpointa huomioida suunnitteluvaiheessa. Tässä työssä on selkeät ohjeet melulaskennan tekemiseen.

Työssä on kuitenkin esitelty ratkaisuja äänenvaimentamiseen myös jälkikäteen.

Tutkittavan kohteen osalta havaitut puutteet, olivat asioita, jotka voivat hyvinkin toistua muissakin kohteissa. Tästä syystä löydetty puutteita tulee välttää tulevissa projekteissa. Alla vielä lueteltuna iv-kone projekteissa melun kannalta huomioitavista asioista:

- Ilmanvaihtokoneesta, kanavistosta ja muista komponenteista on oltava äänitekniset tiedot
- Ilmastointikoneen ja kanaviston osalta vaadittava aina riittävä äänenpainetaso laskenta suunnittelijalta.

Yllä olevilla asioilla saadaan selville huonetilaan kulkeutuvan ilmaäänän äänenpainetaso. Äänenpainetaso laskenta ei kuitenkaan kerro huonetilaan kantautuvasta runkoäänestä. Runkoäänän välttämiseksi suunnittelussa tulisi välttää ainakin seuraavia virheitä:

- Kanavat tulee kannakoida massiivisiin tärinää johtamattomiin rakenteisiin, jotta tärinä ei pääse kulkeutumaan rakenteita pitkin.
- Tulo ja poistokanava tulee olla eristetty äänenvaimentimeen asti. Jos äänenvaimennin on konehuoneessa, niin tällöin kanava tulisi olla eristettyä myös äänenvaimentimen jälkeen konehuoneen puolella.
- Konehuoneen ovi tulee olla äänieristetty, jos konehuoneen lähistöllä on työskentely/asuintiloja.
- Kanavisto tulisi suunnitella mahdollisimman tasapainoiseksi.
- Melulaskennan yhteydessä tulisi olla myös laskenta tarvittavien absorptiolevyjen määrästä.

Absorptiolevyt vähentävät huoneen kaikuisuutta. Liian kaikuisassa huoneessa puheen erotuskyky heikkenee. Huoneiden äänenpainetason lisäksi tulee ottaa huomioon myös huoneiden jälkikaiunta-aika. Kyseisiin äänen ominaisuuksia ovat tämän työn ohjeilla laskettavissa ja tarvittaessa myös mitattavissa.

## LÄHTEET

- Aaltonen Jani. 2010. Melu ja sen vähentäminen Case: Tietokone ja Turun ammattikorkeakoulun Uudenkaupungin toimipiste.
- Eklund H. 25.7.2014. Melun vaimentaminen. Vastaanottaja Jukka Tuominen. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 26.7.2014
- EN ISO 11654. 1997. Akustiikka. Rakennuksissa käytettävät absorberit. Ääni absorption luokitus
- Heikkonen H. 2007. Ilmanvaihdon vaimennus lisää käyttömukavuutta. Rakennuslehti. Viitattu 6.3.2014. [www.rakennuslehti.fi](http://www.rakennuslehti.fi)
- Jauhiainen, T., Vuorinen, H. & Heinonen-Guzejev, M. P. 2007 Ympäristömelun vaikutukset. Helsinki: Ympäristöministeriö
- Köykkä Kimmo. 2011. Ilmastoinnin äänenpainetasojen mittaus
- Lahti Tapio. 1995. Akustinen mittaustekniikka.
- LVI 30-10333 Ohjekortti. 05/2002. Rakennustieto.
- Oliva D., Häggblom H., Keränen J., Virjonen P., Hongisto V. Absorptiosuhteen riippuvuus materiaaliparametreista. Työterveyslaitoksen sisäilma laboratorio.
- Rakennusmääräyskokoelma D2
- Saarinen Mikko. 2012. Ympäristölupien määräämät meluseurannat.
- SFS 5517. 1989. Ilmastointi. Ilmastointijärjestelmän vastaanottomittaukset. Äänimittaukset
- SFS 5907. 2004. Rakennusten akustinen luokitus
- Skapat Energia Oy:n kotisivut. Viitattu 22.12.2013. [www.skapatenergia.fi](http://www.skapatenergia.fi)
- Starck, J. & Teräsvirta, L. Työterveyslaitos. Melu 2009. Tampere: Esa Print Oy.
- Työterveyslaitoksen kotisivut Viitattu 27.2.2014 [http://www.ttl.fi/fi/asiantuntijapalvelut/tyoymparisto/melu/akustinen\\_kamera/Sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/asiantuntijapalvelut/tyoymparisto/melu/akustinen_kamera/Sivut/default.aspx)
- Välimäki V., Antila M., Rantala S., Linjama J. Aktiivinen melunvaimennus ilmastoitputkessa. Artikkelit akustiikkapäiviltä 1997. Viitattu 1.4.2014. <http://www.acoustics.hut.fi/~vpv/publications/akupvt97.htm>

ILMAMÄÄRIEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA TURUNTIE 2

**ALLAIR OSSI VALIN**

Viertokatu 40  
13220 Hämeenlinna

SKAPAT ENERGIA OY  
TURUNTIE 2  
13100 HÄMEENLINNA

**MITTAUSPÖYTÄKIRJA**

Mittari DP CALC 8702  
Mittauksen suoritti MIKKO VALIN  
Pvm 12.1.2011

Huone nro	Sisäilmaolosuhteet						Poisto						
	Puhallin	Koko	Kpl	Vaakituus	Mittaus l/s	Pa / As	Pöytä	Koko	Kpl	Vaakituus	Mittaus l/s	Pa / As	
<b>KELLARI</b>													
003	WC / PH						KSO	125	1	35	28,5	50 / +10	
006	TYÖTILA	PRA	100	1	20	20,5	44 / 3	KSO	125	1	25	26,5	74 / +3
007	RUOKAILU	PRA	160	1	60	60	41 / 3,5	VBA	300X150	1	65	66,5	15
		PRA	160	1	60	59	31 / 4						
008	KOKOUSH.	PRA	160	1	50	51	5 / 6	KSO	160	1	30	31	50 / +5
		PRA	160	1	50	46	4 / 6	KSO	160	1	35	33	52 / +6
								KSO	160	1	35	36,5	63 / +6
009	WC							KSO	100	1	20	18,5	44 / +10
010	TYÖTILA	PRA	160	1	35	38	13 / 4	VBA	300X150	1	70	71	17
		PRA	160	1	35	33	19 / 3						
		MITATTU IV-TEHO 75 %				+ 307,5						- 311,5	
<b>1. KERROS</b>													
102	VAST.OTTO	PR1+WB2	500X200	1	50	45,5	9	KSO	125	1	20	17	18 / +10
103	WC							KSO	125	1	20	16	16 / +10
104	WC							KSO	125	1	20	20	36 / +5
105	TYÖTILA	PRA	160	1	60	60	11 / 5,5	VBA	400X150	1	80	78	10
106	TYÖTILA	PRA	125	1	40	39,5	62 / 3,5	VBA	400X150	1	80	85	12
		PRA	160	1	40	42	42 / 2,5						
107	TYÖTILA	PRA	125	1	35	32	94 / 2	VBA	300X150	1	60	62	13
		PRA	125	1	35	32,5	96 / 2						
		MITATTU IV-TEHO 75 %				+ 251,5						- 278	
<b>2. KERROS</b>													
202	TYÖTILA	PRA	160	1	54	53	25 / 4	VBA	400X150	1	100	104,5	18
		PRA	160	1	54	54	26 / 4	PRI	400X150	1	100	99	6
		PRA	160	1	54	51	23 / 4						
		PRA	160	1	54	53	35 / 3,5						
203	WC							KSO	125	1	20	21,5	67 / 0
204	WC							KSO	100	1	10	11	62 / -5
205	TYÖTILA	PRA	125	1	45	40	12 / 6	KSO	160	1	45	46	66 / +12
		MITATTU IV-TEHO 65 %				+ 251						- 262	
<b>3. KERROS</b>													
35	VARASTO	PRA	180	1	95	96	58 / 4,5	KSO	200	1	100	102	140 / +25
		MITATTU IV-TEHO 75 %				+ 96						+ 102	





MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittauskohde:	Päivämäärä:
Mittari:	Mittaaja:

Mittaustulokset:

Sijainti:	Mittaustulos:

Huoneen kokonaisäänitaso:

Huoneen taustäänitaso:

Ilmastointijärjestelmän laskettu äänitaso: