

Kalle Korpela

## **Taiteoven ääneneristävyyden parantaminen**

Opinnäytetyö

Kevät 2019

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu

Tekijä: Kalle Korpela

Työn nimi: Taiteoven ääneneristävyyden parantaminen

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2019 Sivumäärä: 45 Liitteiden lukumäärä: 7

---

Opinnäytteen päämäärä oli kehittää kahden taiteovimallin ilmaääneneristävyyttä. Ovien valmistaja Kurikan Interiööri Oy halusi kehittää ovien tiivyyttä ja eristävyyttä, ottaen huomioon kustannustehokkuuden ja käytettävyyden. Ovilta vaaditaan nykyaikana julkisissa tiloissa tiettyjä ääneneristävyyden kriteereitä, ja huoneiden välisille rakenteille on määritetty tietyissä tiloissa omat arvonsa. Mittaukset antavat lisäinformaatiota taiteovien jatkokehittelyä varten.

Seinäjoen ammattikorkeakoululla on laboratorioltaan tilat ääneneristävyyden testaustekniikalle. Mittaukset suoritettiin näissä tiloissa. Tiloissa on aikaisemmin suoritettu testejä vastaaville tuotteille. Edeltävistä testeistä oli jäänyt hyviä huomiota olosuhteiden hallinnasta kyseisissä tiloissa.

Ovien eristävyydet saavuttivat ne tasot, joille Kurikan interiööri oli ne halunnut. Mittaukset tehtiin standardin SFS EN ISO 16283-1:2014 mukaisesti ja tulosten raportointi noudattaa standardia SFS EN ISO 717-1:2013.

Avainsanat: ääneneristys, ovet, mittaus, puusepänteollisuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Structural Design

Author: Kalle Korpela

Title of thesis: Improving sound insulation of folding doors

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2019      Number of pages: 45      Number of appendices: 7

---

The aim of the thesis was to measure and improve airborne sound insulation of two folding doors produced by Kurikan Interiööri Oy. Testing the doors gave a lot of information to further develop the products. The Finnish Ministry of the Environment has requirements regarding acoustics and sound insulation in public buildings. Therefore many architects want ratings for adequate airborne sound insulation in products like doors.

Seinäjoki University of Applied Sciences has established a testing environment for the measurements of sound insulation in their laboratory. The testing environment has been used for measurements prior to these. Previous insulation tests gave a lot of information regarding what to take into account in measurements.

The measurements were carried out in accordance with ISO 16283-1:2014 standard and ratings of sound insulation were reported in accordance with ISO 717-1:2013 standard.

Keywords: soundproofing, measurement, doors, carpentry

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO.....	7
1 ÄÄNITEKNIIKAN KÄSITTEITÄ.....	8
1.1 Ääni ja ilmaääni.....	8
1.2 Taajuus ja resonanssi-ilmiö.....	9
1.3 Runkoääni.....	10
1.4 Koinsidenssi-ilmiö.....	10
1.5 Absorption ja ääneneristyksen erottaminen.....	11
1.6 Jälkikaiunta-aika.....	14
2 LABORATORIOMITTAUKSET.....	16
2.1 Laboratoriomittaukset.....	16
2.2 Ilmaääneneristysluku.....	17
2.3 Kenttämittaus.....	19
2.4 Laboratorio- ja kenttätuloksen erot.....	20
2.5 Intensiteettimenetelmä.....	22
2.6 Ultraäänimittaus.....	22
2.7 Akustinen kamera ja äänikuvaus.....	23
2.8 Käyttötarkoituksesta riippuvat huonekohtaiset eristysvaatimukset.....	23
3 OVET ÄÄNENERISTÄVYYSTESTAUKSESSA.....	25
3.1 Ominaista oville.....	25
3.2 Rakojen vaikutus ilmaääneneristävyteen.....	26
3.3 Taiteovi.....	27
4 MITTAUKSET.....	29
4.1 Mittauslaitteisto.....	29
4.2 Mittausjärjestelyt.....	29
4.3 Olosuhteiden hallinta.....	30

5	MITTAUKSIEN AIKAISET HAVAINNOT .....	32
6	LIMI DUON TESTAUS JA KEHITTELY .....	33
7	LIMI DUO SILENTIN TESTAUS JA KEHITTELY .....	34
8	POHDINTA .....	35
	LÄHTEET .....	36
	LIITTEET .....	37

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Ääniaalto koinsidenssilanteessa .....	11
Kuvio 2. Absorptiosuhde .....	12
Kuvio 3. ISO 717-1 vertailukäyrä. ....	18
Kuvio 4. Puuvälioven ilmaääneneristävyys kentällä ja laboratoriossa mitattuna ...	20
Kuvio 5. Tiivisteiden vaikutus ilmaääneneristävyyteen .....	25
Kuvio 6. Taiteoven osierittely .....	28
Kuvio 8. Paksumman taiteoven osierittely .....	28
Taulukko 1. Absorptiosuhteen vaikutus pinnasta heijastuvaan ääneen .....	13
Taulukko 2. Suhteen $W_t/W_i$ pienentyessä ääneneristävyys R kasvaa.....	14
Taulukko 3. Äänierotasoluvun ohjearvot .....	24
Taulukko 4. Perusmallin mittauskertojen olosuhteet. ....	30
Taulukko 5. Silent-mallin mittauskertojen olosuhteet. ....	31

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Diffuusi äänikenttä</b>	Kun huoneen kaikissa pisteissä on sama äänenpaine- taso. Tämä kuitenkin vaatii, että huone on kuutiomainen ja kova- pintainen.
<b>Laahain</b>	Laahain on joustava elastinen tiiviste taiteoven ylä- ja ala- pinnoilla. Laahaimen tarkoitus on tiivistää oven ylä- ja ala- karmi.
<b>Sivutiesiirtymä</b>	Tarkoittaa kaikkia muita mahdollisia äänen siirtymistapoja tilasta toiseen kuin mitattavan rakenteen kautta.
<b>Vedinpuu</b>	Taiteoven osa. Vedinpuuta kutsutaan myös lukkopuuksi. Oven kahvat ja lukko sijaitsevat vedinpuussa.

## Yksikköilmääneneristysluku

Pienille elementeille, kuten korvausilmaventtiileille, tarkoi-  
tettu ilmaaneneristysluku, jonka tulos on normalisoitu vas-  
taamaan 10 neliometriä seinäpinta-alaa.

## 1 JOHDANTO

Kurikan interiööri on tilanjakajiin ja siirtoseiniin erikoistunut yritys. Se on toiminut noin 40 vuotta. Yritys on aikaisemmin testauttanut Seinäjoen ammattikorkeakoulun testitiloissa taiteovimallinsa prototyyppiä. Edeltävissä testeissä pääpainona on ollut taiteoven rakenne. Tähän opinnäytetyöhön liittyvien testien tarkoituksena oli selvittää oviin sopivia tiivisteitä, jotka tasapainottelevat toimivuuden, ilmaääneneristävyyden ja kustannustehokkuuden kesken. Testeillä haettiin myös tuotteille ääneneristävyyden arvoja, joita useammat rakennuttajat ja suunnittelijat vaativat. On yleistä, että ääneneristävyyden kannalta tärkeimpiä osia testataan kenttämittauksilla kohteissa tilaajan tai rakennusvalvonnan pyynnöstä. Tiivistysratkaisujen ja ovien testitulokset antavat tärkeää tietoa jatkokehitykselle.

Tiettyjä osia tästä työstä tullaan käsittelemään yrityssalaisuuksina, eikä niitä tule verkossa julkaistavaan versioon nähtäville. Äänenmittaustesteihin liittyviä opinnäytteitä tehtiin samanaikaisesti kaksi, siirtoseiniin liittyvä työ tehtiin tämän työn lisäksi.



# 1 ÄÄNITEKNIIKAN KÄSITTEITÄ

## 1.1 Ääni ja ilmaääni

**Ääni** on kimmoisessa väliaineessa etenevää aaltoliikettä, jonka ihminen vastaanottaa kuuloaistin välityksellä ja tajuaa kuuloaistimuksena. Tilaa, jossa ääni-ilmiö tapahtuu, kutsutaan äänikentäksi. Ääni etenee äänilähteestä ympäristöön palloaaltona, tasoaaltona tai sylinteriaaltona (Siikanen 2014, 136-138).

Ääni ei pysty etenemään tyhjiössä, vaan tarvitsee väliaineen, jossa edetä. **Ilmaääni** on nimensä mukaisesti ilmassa etenevää ääntä. Ilmaääntä aiheuttavat monet asiat, kuten esimerkiksi puhe ja äänentoisto-, ilmastointi ja lämmityslaitteet. Äänen nopeus ilmassa on riippumaton taajuudesta, mutta lämpötilalla on vaikutusta äänen nopeuteen. Kaavassa 1 on esitetty lämpötilan vaikutus äänen nopeuteen. (RIL 243-1-2007, 35).

$$C = 331 + 0,6t \quad (1)$$

missä

t on lämpötila [°C]

C on välinopeus [m/s]

Huoneen lämpötilassa äänen nopeus ilmassa on noin 340-345 m/s. Äänen nopeudella, taajuudella ja ilmaäänen pitkittäisaallon aallonpituudella  $\lambda$  [m] on yhteys (kaava 2) (RIL 243-1-2007, 36).

$$F = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

missä

c on äänen nopeus

$\lambda$  on ilmaäänen pitkittäisaallon aallonpituus.

Ilmaääneneristävyyden testaustilojen mittauksissa kontin rakenteessa on huomioitu äänen eteneminen palloaaltona, ja äänen eteneminen tasoaaltona on huomioitu testahuoneiden välisessä rakenteessa.

## 1.2 Taajuus ja resonanssi-ilmiö

Ihmisen korvan rumpukalvo värähtelee ilmanpaineen vaihtelun takia ja kuuloaistimus syntyy. Korkeilla äänillä värähtely on tiheämpää, ja jos värähtely on harvaa, ääni koetaan matalana. Äänen taajuus lasketaan jakamalla värähtelyjen määrä aikajaksolla, jossa värähtelyt on havaittu (Kaava 3) (RIL 243-1-2007, 35).

$$F = \frac{n}{T} \quad (3)$$

missä

n on värähtelyjen määrä

T on aikajakso

**Taajuus** on siis värähtelyjen lukumäärä sekunnissa. Ihmisen kuuloalueen rajat ovat noin 20 Hz ja 20 kHz. Alle 20 Hz:n taajuudet aistitaan tärinänä ja niitä kutsutaan infraääniksi (RIL 243-1-2007, 35).

**Resonanssi-ilmiöksi** kutsutaan tilannetta, kun rakenteen ja äänen värähtelyt ovat resonanssissa keskenään. Tuossa tapauksessa niiden värähtelyt vahvistavat toisiaan ja rakenteen tai rakennusosan ilmaääneneristävyys heikkenee. Resonanssi-ilmiötä pystytään estämään valitsemalla materiaaleja, joiden resonanssitaajuus ei ole äänen taajuusalueilla 125-3000 Hz. Seinän resonanssitaajuus määräytyy tiheyden, kimmomoduulin, paksuuden, jännemitan ja kiinnitystavan mukaan. (Siikanen 2014, 140.)

### 1.3 Runkoääni

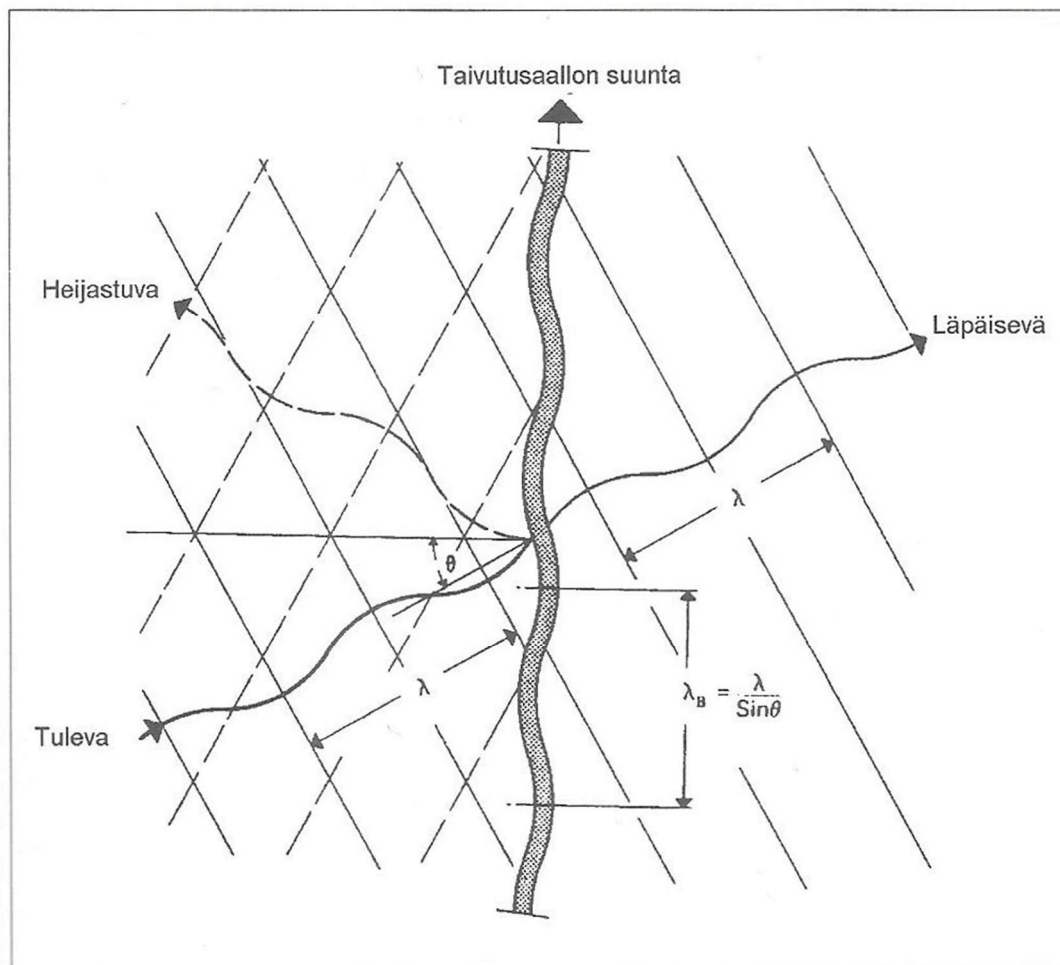
Rakennuksen rungossa eteneviä värähtelyjä kutsutaan runkoääniksi. Kohdatesaan tilaa rajoittavan pinnan ne säteilevät huonetilaan ilmaääntä. Runkoääni etenee rakennuksen seinissä ja pohjissa kiinteitä aineita pitkin. Runkoääni muuttuu kitkan takia lämmöksi ja hajaantuu laajalle alueelle, jolloin äänitaso alenee. (Siikanen 2014, 161.)

Ääni pystyy siirtymään rakennuksessa runkoääninä pitkiä matkoja ja näin ollen heikentää rakenteiden ääneneristävyyttä. Runkoäänien etenemisreitti pystytään periaatteessa katkaisemaan joko:

- runkoäänilähteen lähellä lähdekohtaisesti
- etenemisreitillä varrella
- häirityn tilan kohdalla. (Siikanen 2014, 161.)

### 1.4 Koinsidenssi-ilmiö

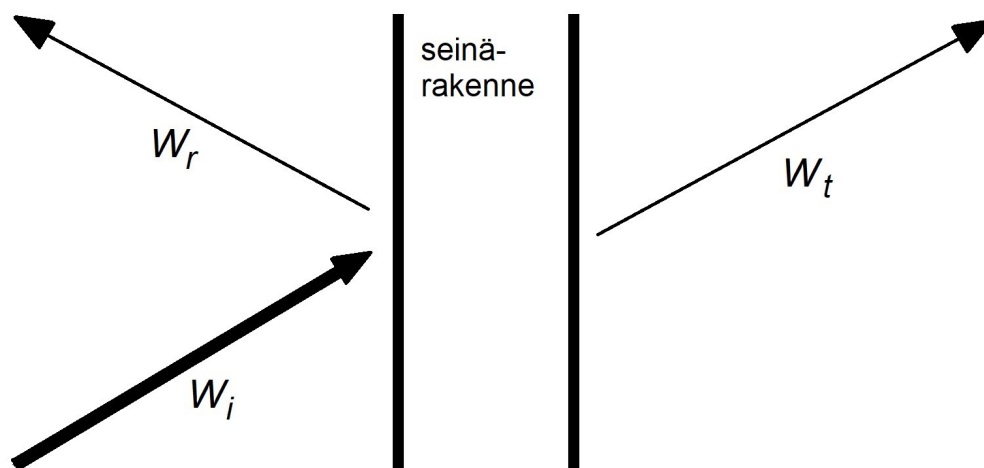
Koinsidenssi-ilmiössä ilmasta levyyn kulkeva ääni kulkee levyn läpi esteettömästi, koska sekä levyssä että ilmassa kulkevien ääniaaltojen vaiheet ovat samat ja näin rakenteen ääneneristävyys heikkenee (kuvio 1). Ilmiön alinta taajuutta kutsutaan koinsidenssin rajataajuudeksi, ja koinsidenssia ilmenee tätä taajuutta korkeammilla äänentaajuuksilla. Tällä taajuudella ääni saapuu levyyn levyn pinnan suuntaisesti. Koinsidenssin rajataajuuden kohdilla monesti havaitaan kuoppa ääneneristävyydessä, jota kutsutaan koinsidenssikuopaksi. Ilmiö heikkenee taajuuden kasvaessa, jolloin ääneneristävyys paranee tasaisesti ilmiön heiketessä. Huoneeseen saapuva ääni tulee kaikista suunnista, minkä takia koinsidenssia ilmenee jatkuvasti rajataajuutta suuremmilla taajuuksilla. (RIL-243-1-2007, 72.)



Kuvio 1. Ääniaalto koinsidenssitilanteessa. (RIL 243-1-2007, 73.)

### 1.5 Absorption ja ääneneristykseen erottaminen

On hyvin yleistä, että arkikielessä absorptio ja ääneneristys sekoitetaan toisiinsa. Ääneneristys on tiiviiden rakenteiden ominaisuus, joka estää äänen siirtymisen tilasta toiseen. Absorptio on lähinnä pintamateriaalien ominaisuus, joka vaimentaa tilassa syntyvää ääntä (RIL-243-1-2007, 46).



Kuvio 2. Absorptiosuhde. (RIL 243-1-2007, 46.)

Kuviossa 2 rakenteeseen kohdistuu ääniteho, josta osa heijastuu rakenteen pinnasta ja osa siirtyy rakennetta pitkin sen toiselle puolelle. Äänen absorptiosuhde  $\alpha$  on yksikötön ja se määritellään seuraavasti kaavassa 4 (RIL-243-1-2007, 46).

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i} \quad (4)$$

Missä

$W_i$  on kohdistuva ääniteho

$W_r$  on heijastuva ääniteho

Äänen absorptiosuhteen arvo riippuu suuresti taajuudesta. Äänen absorptiosuhteen arvot liikkuvat 0 ... 1 välillä. Heijastuneen äänen intensiteettitaso pienenee, mitä suuremmaksi absorptiosuhde kasvaa. Absorptiosuhteen vaikutus heijastuvaan ääneen on esitetty taulukossa 1. Äänen absorptiosuhde on sellaisenaan normaalissa käytössä oleva tuoteominaisuus. (RIL 243-1-2007, 47.)

Taulukko 1. Absorptiosuhteen vaikutus pinnasta heijastuvaan ääneen. (RIL 243-1-2007, 47.)

Absorptiosuhde $\alpha$	Pintaan osuvan ja pinnasta heijastuneen äänen intensiteettitasoerotus [dB]
<b>0</b>	<b>0</b>
<b>0,1</b>	<b>0,5</b>
<b>0,2</b>	<b>1</b>
<b>0,3</b>	<b>1,5</b>
<b>0,4</b>	<b>2,2</b>
<b>0,5</b>	<b>3</b>
<b>0,6</b>	<b>4</b>
<b>0,7</b>	<b>5,2</b>
<b>0,8</b>	<b>7</b>
<b>0,9</b>	<b>10</b>
<b>0,99</b>	<b>20</b>
<b>0,999</b>	<b>30</b>
<b>jne</b>	<b>jne</b>

Ilmaääneneristävyys  $R$  [dB] määritellään tehosuhteiden kymmenkantaisena logaritmina seuraavasti kaavassa 5 (RIL 243.1.2007, 47):

$$R = 10 \log_{10} \frac{W_i}{W_t} \quad (5)$$

Missä

$W_i$  on rakenteeseen kohdistuva ääniteho

$W_t$  on rakenteen toiselle puolelle siirtyvä ääniteho

Koska suhteen  $W_t/W_i$ -arvot ovat erittäin pieniä ja niiden ilmoittaminen ei olisi käytännöllistä, on ääneneristävyys sovittu logaritmiselle asteikolle. Rakenteen ääneneristävyyttä pidetään hyvänä, kun sen kautta liikkuu mahdollisimman vähän äänienergiaa. Hyvä ääneneristävyys siis tarkoittaa sitä, että dB-arvo on mahdollisimman korkea. Ääneneristävyyden arvot voivat vaihdella eri taajuuksilla 10 ja 100 dB:n välillä rakenteilla. (RIL 243-1-2007, 47.)

Taulukko 2. Suhteen  $W_t/W_i$  pienentyessä ääneneristävyys  $R$  kasvaa. (RIL 243-1-2007, 48.)

$W_t/W_i$	$R[\text{dB}]$
1	0
0,1	10
0,01	20
0,001	30
0,0001	40
0,00001	50
0,000001	60
jne	jne

Vertailemalla taulukoita 1 ja 2 havaitaan, että absorptiossa on kysymys huomattavasti lievemmistä tehohäviöistä kuin ääneneristävydessä. Heijastumisen yhteydessä äänitehon vaimennus on yleensä alle 10 dB ( $\alpha < 0,90$ ), kun taas seinän toiselle puolelle siirryttäessä äänitehot laskevat vähintään 10 dB. Tämän johdosta ääneneristys on tehokkain keino haluttaessa estää äänen siirtyminen tilasta toiseen. (RIL 243-1-2007, 48.)

## 1.6 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-ajaksi  $T[\text{s}]$  kutsutaan sitä aikaa, kun äänilähteen sammutuksesta äänenpaine laskee 60 dB käyttämällä voimakasta äänilähdettä ja mitataan äänenpaineen laskuun kulunut aika. Kyseinen mittaustapa on esitetty standardissa ISO 354 (RIL-243-1-2007, 50).

Jälkikaiunta-ajan pituudella on suuri merkitys huoneen akustiikassa. Liian pitkällä ajalla puhujan ääni jää kaikumaan tilassa liikaa, jolloin sanojen tavut jäävät soimaan päällekkäin näin tehden puheesta epäselkeää. Näin ollen lyhyellä jälkikaiunta-ajalla saadaan hyvät akustiset ominaisuudet puhetiloissa, mutta liian lyhyellä jälkikaiunta-

ajalla saattaa puheen äänentaso alentua liikaa, ja tämän takia puhe ei erotu taustamelun yli suuren absorptioalan takia. (RIL-243-1-2007, 50.)

Jos huoneen äänikenttä on diffuusi, jälkikaiunta-ajalla, tilavuudella  $V$  [m<sup>3</sup>] ja absorptioalalla on Sabinen kaavan mukaan yhteys (kaava 6) (RIL 243-1-2007, 50):

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

missä

$V$  on tilavuus

$A$  on absorptioala



## 2 LABORATORIOMITTAUKSET

### 2.1 Laboratoriomittaukset

Laboratoriomittauksella pyritään saamaan luotettava ilmaääneneristävyyden arvo halutulle rakenteelle testaustilojen välillä. Tämä saavutetaan ”ohjaamalla” äänen kulku rakenteeseen poistamalla tai minimoimalla kaikki mahdolliset sivutiesiirtymät ja poistamalla kaikki äänivuotokohtat. Laboratoriomittauksessa testitilat koostuvat kahdesta yleensä massiivisesta ja toisistaan runkoäänieristetyistä huoneista, joiden välisen rakenteen ilmaääneneristävyys tutkitaan. Käytännössä saatuun laboratorioarvoon ei voida päästä rakennuksessa, ellei sivutiesiirtymät ole alhaiset ja äänivuotokohtia ei ole. Kaavassa 7 esitetty rakennusosan ilmanääneneristävyys  $R$  [dB] perustuu ISO 140-3:n äänenpainetasomittaukseen. (RIL-243-1-2007, 58.)

$$R = L_{p,1} - L_{p,2} + 10 \log 10 \frac{S}{A_2} \quad (7)$$

missä

- $L_{p,1}$  on lähetyshuoneen äänenpainetaso
- $L_{p,2}$  on vastaanottohuoneen äänenpainetaso
- $A_2$  on vastaanottohuoneen absorptioala
- $S$  on tiloja erottavan rakennusosan pinta-ala

$$A_2 = 0,16 \frac{V_2}{T_2} \quad (8)$$

missä

- $V_2$  on huoneen tilavuus
- $T_2$  on huoneen jälkikaiunta-aika

Kaavassa 7 äänenpainetasot  $L_{P,1}$  ja  $L_{P,2}$  merkitään desibeleinä, ja tiloja erottavan rakennusosan pinta-ala  $S$  merkitään neliömetreinä. Kaavassa 8 on esitetty ilmaääneneristävyyden määrittämiseen käytetty vastaanottohuoneen absorptio-ala [ $m^2 \cdot Sab$ ]. Kaavan 8 jälkikauinta-aika [ $T_2$ ] merkataan sekunteina ja huoneen tilavuus [ $V_2$ ] kuutiona. (RIL-243-1-2007, 58-59.)

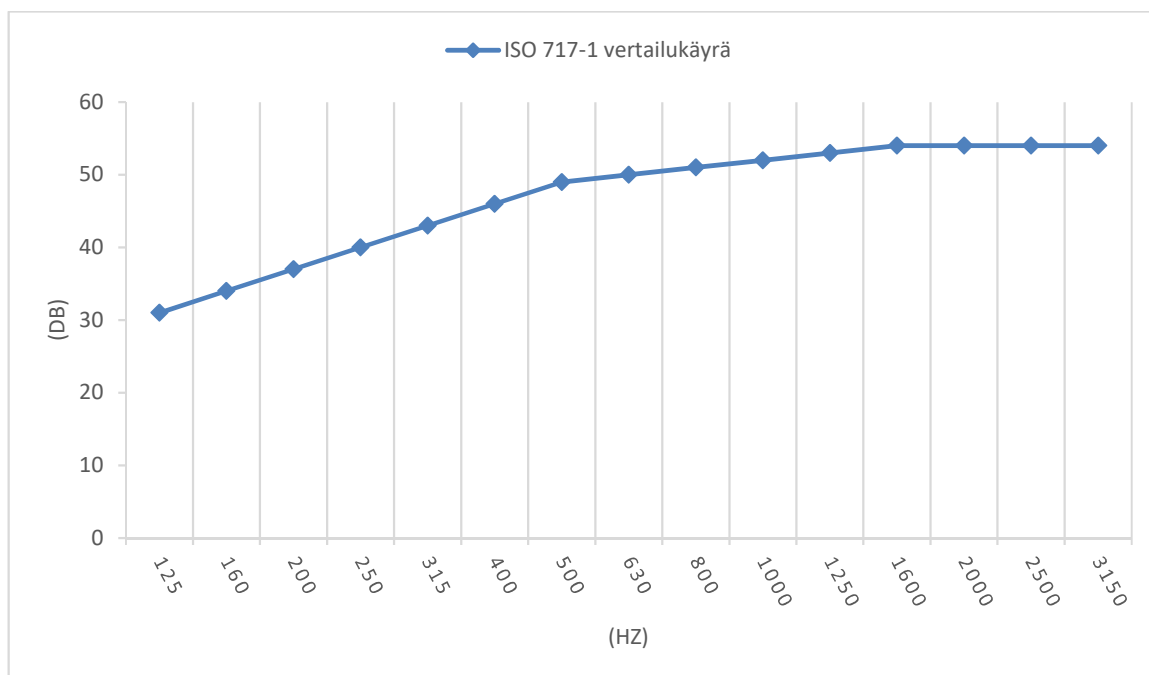
Jokaisessa laboratoriossa on ns. maksimiääneneristävyys, jota korkeampia ääneneristävyyden arvoja ei voida enää luotettavasti mitata. Jos näytteen ääneneristävyys on suurempi kuin maksimiääneneristävyys, tuloksena voidaan esittää vain alaliikiarvo näytteen todellisesta arvosta (RIL-243-1-2007, 59).

## 2.2 Ilmaääneneristysluku

Ilmaääneneristävyyden testitulokset esitetään normaalisti taajuuksilla 100-3150 Hz, mutta mieluiten se kannattaa esittää laajemmin taajuuksilla 50-5000 Hz. 100-3150 Hz:n taajuuksilla saadaan siis 16 kappaletta kolmannesoktaavikaistan mittausravot ja 50-5000 Hz:n taajuuksilla niitä saadaan 21 kappaletta. Ilmaääneneristävyydelle on yksinkertaistava yksinumeroinen esitystapa, koska 16 - 21 eristävyysarvon käyttäminen olisi hyvin hankalaa. Standardissa ISO 717-1 on määritetty edellä mainittu yksinumeroinen esitystapa  $R_w$ .  $R_w$  on laboratoriomittausten ilmaääneneristysluku ja kenttämittauksille arvon merkinnässä käytetään  $R'_w$ , ettei niitä sekoitettaisi toisiinsa. Rakentamismääräykset ja suositukset esitetään kenttämittauksen arvolla  $R'_w$ . (RIL-243-1-2007, 59.)

Ilmaääneneristysluku on ilmaääneneristävyyden tietynlainen painotettu keskiarvo. Koska puheääni on yleisin eristystä tarvitseva äänenlähde, on standardin ISO-717-1 vertailuarvon muoto suunniteltu sen mukaan (Kuvio 3). Vertailukäyrä siis perustuu puheäänien taajuusjakaumaan, mutta toisaalla myös ihmiskorvan herkkyyteen. Ilmaääneneristysluku on suunniteltu yksinkertaistamaan kysymystä, miten rakenteet eristävät sitä tilojen välillä. Ilmaääneneristysluku huomioi myös korvan herkkyyttä äänille, mikä taas liittyy A-painotukseen. Optimaalinen ääneneristävyys vaatii korkeita ääneneristysarvoja suuremmilla taajuuksilla kuin matalammilla taajuuksilla.

Pienille elementeille on oma yksikköilmäänen-eristysluku  $D_{n,e,w}$ , joka määritetään samalla menetelmällä. (RIL-243-1-2007, 60.)



Kuvio 3. ISO 717-1 vertailukäyrä.

Ilmaääneneristysluku voidaan laskea myös oktaavikaistoittain määritetyistä ilmaääneneristävyyksistä. Ilmaääneneristävyksiä verrataan taulukon mukaiseen vertailukäyrään. Vertailukäyrää siirretään 1 dB:n portain sellaiseen asemaan, että ilmaääneneristävyksien ei-toivottujen poikkeamien summa vertailukäyrän arvoihin on enintään 10 dB. Ei-toivottujen poikkeama tarkoittaa sitä, että ilmaääneneristävyys on pienempi kuin vertailukäyrän arvo. Kun vertailukäyrä on saatu sijoitetuksi korkeimpaan mahdolliseen asemaan, jossa edellä kuvattu ehto täyttyy, ilmaääneneristysluku  $R_w$  luetaan vertailukäyrältä 500 Hz:n kohdalta. Suomen rakentamismääräykset perustuvat ilmaääneneristyslukujen mittauksiin kolmas-osaoktaavikaistoittain. (RIL-243-1-2007, 59-60.)

### 2.3 Kenttämittaus

Kenttä- ja laboratoriomittauksessa molemmissa käytetään samaa ilmaääneneristävyyden suuretta ja laskentakaavaa. Kuitenkin kun ilmaistaan kenttämittauksen ilmaääneneristävyyttä, se ilmoitetaan merkinnällä  $R'$ . Tällä saadaan selvä ero mittaus-tuloksille (RIL-243-1-2007, 63).

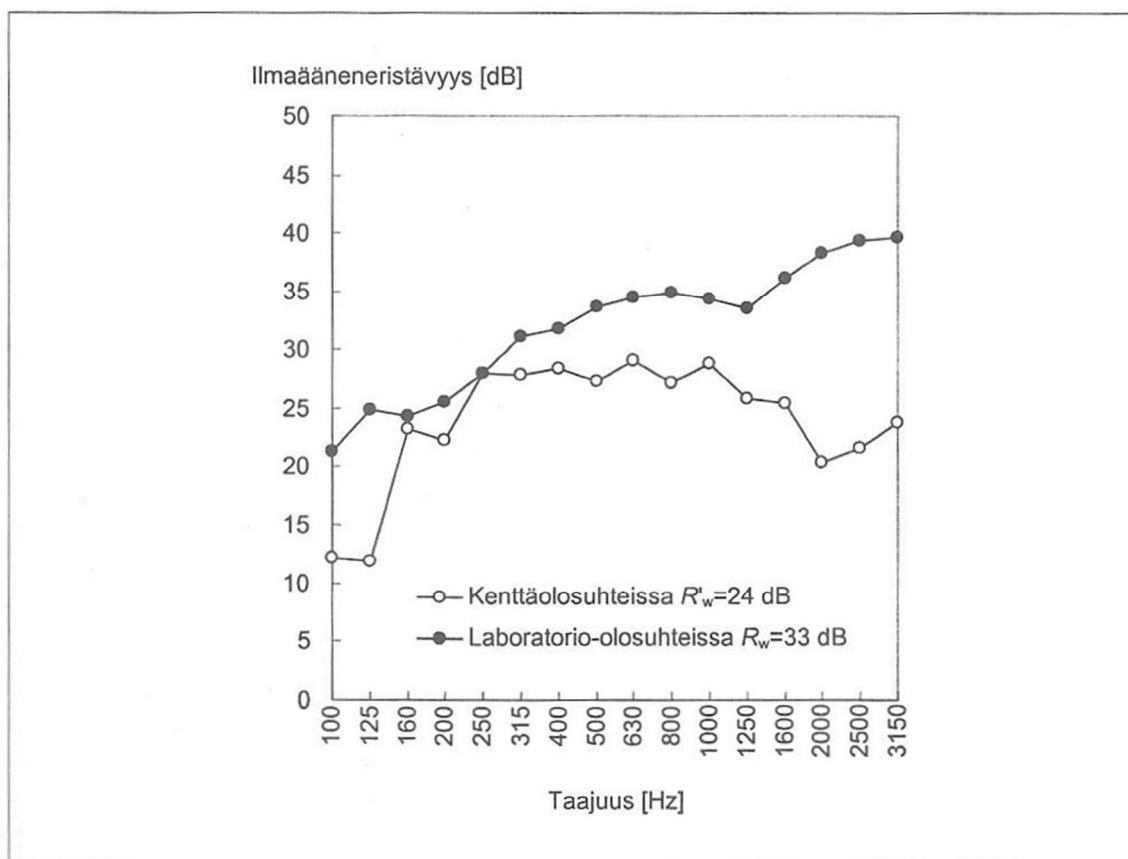
Ääni siirtyy tilasta toiseen useita muitakin eri reittejä pitkin kuin vain suoraan tiloja erottavan rakenteen läpi.  $R'_w$  on määräyksien ja suositusten antamien ehtojen täyt-tämä tilojen välinen ilmaääneneristävyytluku. Tilojen välinen ääneneristävyytluku tarkistetaan ja tutkitaan haluttaessa rakennuksen vastaanottomittauksessa tai käyt-täjävalituksen takia. (RIL-243-1-2007, 63-64.)

$R'_w$ :tä, joka kuvaa kahden eri tilan ilmaääneneristyslukua, varten on esitetty mää-räyksiä Suomen rakentamismääräyskokoelmassa osassa C1 ja suositusarvoja standardissa SFS 5907. Arvot ovat tilojen väliselle ilmaääneneristysluvulle, mutta ei tilojen väliselle yksittäiselle rakenneosalle, esimerkiksi seinälle tai ovelle, vaikka ti-lojen välillä olisikin vain yksi rakenneosa. Tilojen välistä ilmaääneneristävyyttä  $R'$  määrittäessä kaavassa käytettävä pinta-ala  $S$  on yhteinen molemmilla tiloilla. (RIL-243-1-2007, 64.)

Ääneneristävyyden mittauksilla saadaan ääneneristävyydelle arvo, mutta se ei anna tietoa siitä, mitä kautta ääni siirtyy tilasta toiseen. Äänellä on useita eri reittejä, joita pitkin se siirtyy tilasta toiseen, kuten sivutiesiirtymiä tai vuotokohtia. Vuotokohtia syntyy yleensä asennus- tai tuotevirheistä. (RIL-243-1-2007, 64.)

Yleensä periaatteena pidetään, että kenttä- ja laboratoriomittaus-tuloksilla on eroa 3-6 dB kenttämittauksen tuloksen ollessa pienempi, mutta tilojen välisessä raken-teessa olevat vuotokohdat voivat aiheuttaa jopa yli 20 dB:n eron tuloksille. Väärin suunnitellut sivuavat rakenteet saattavat myös aiheuttaa 5-10 dB:n eron eri mittaus-tuloksille. Laboratorio- ja kenttämittauksien ero voi olla parhaimmillaan jopa alle 1 dB, jos sivutiesiirtymää ei ole ja rakenteet on tehty tiiviiksi. (RIL-243-1-2007, 65.)

Kuviossa 4. on esimerkkutilanne oven testauksesta laboratorio-oloissa sekä kenttä-olosuhteissa. Tässä tuloksessa huomataan, että oven asennuksella on merkitystä tulokseen, mutta esimerkkiä ei voida yleistää kaikilla ovilla (RIL-243-1-2007, 65).



Kuvio 4. Puuvälioven ilmaääneneristävyyttä kentällä ja laboratoriossa mitattuna. (RIL 243-1-2007, 65.)

Jos asennus toteutetaan komponenteille samalla tavalla kuin laboratorio-olosuhteissa, niiden arvot eivät heikkene kentälle tuotaessa. Kuitenkin rakennusmääräykset koskevat kaikkia äänen mahdollisten kulkeutumiskeinien yhdessä tuotettua ääneneristystä esimerkiksi kahden eri tilan välillä. Jos tilojen välillä niin sanotusti ei ole rakennetta ollenkaan, vaan niiden välillä voi olla toinen tila, kaikki mitatut äänet ovat sivutiesiirtymistä aiheutuneita. (RIL-243-1-2007, 65.)

## 2.4 Laboratorio- ja kenttätuloksen erot

$R'_w$  on kahden tilan välinen ominaisuus kun,  $R_w$  on laboratoriossa mitattu rakenteen ominaisuus. Laboratorio-olosuhteissa ei ole runkoäänien eikä sivutiesiirtymän mahdollisuuksia, koska ympäröivät rakenteet ovat hyvin tiivistettyjä ja ääntä eristäviä. Rakennuksissa on useita rakennusosia liitettyjä eri rakenteita ja mahdollisesti

useita tuntemattomia äänireittejä. Erilaisina äänireitteinä voidaan pitää ilmanvaihtokanavia, LVIS-reittejä ja äänenvuotokohtia. Koska laboratorioolosuhteet on yleensä rakennettu ja suunniteltu testauksia varten, tiedetään, ettei tuntemattomia äänireittejä ole. Tämän takia laboratoriossa mitatut tulokset voidaan olettaa edustavan tilojen väliseen aukkoon asennetun osan todellista ääneneristävyyttä. (RIL-243-1-2007, 66.)

Rakennuksissa tehtävissä kenttämittauksissa pyritään siihen, ettei sivutiesiirtymillä olisi suurta vaikutusta ilmaääneneristävyyteen. Normaalisti  $R_w$ :n ja  $R'_w$ :n erotus on alle 3 dB, ja kenttämittauksen tulos on aina laboratoriotulosta huonompi. Edellä mainitussa tapauksessa suurin osa äänienergiasta siirtyy vielä tiloja erottavaa rakennetta pitkin. Todellisuudessa erot ovat vielä suurempia varsinkin betonirakenteisissa tiloissa. Betonirakenteisissa asuinhuoneistoissa tavoitetasot ovat korkeita ja sivuavat rakenteet eivät eroa massaltaan suuresti erottavasta rakenteesta. (RIL-243-1-2007, 66.)

Kenttä- ja laboratoriotulosten eroa ei voi yleistää, koska se johtuu asennusympäristöstä. Mitoituksen kannalta olisi parasta, että ero olisi 3-5 dB:n luokkaa. Erojen ollessa 3-5 dB:n luokkaa voidaan olettaa, että sivuteitä pitkin ja tiloja erottavan seinän läpi siirtyvät äänitehot olisivat jotakuinkin saman suuruiset. Suuremmat erot kertovat siitä, että sivutiesiirtymät eivät ole hallinnassa. Jos tulosten ero on erittäin suuri, parannusten pääpaino pitää siirtää erottavalta rakenteelta sivuaviin rakenteisiin. Vuotokohdat ja erilaiset kulkureitit äänille voivat myös selittää tulosten suurta erotusta. (RIL-243-1-2007, 66-67.)

## 2.5 Intensiteettimenetelmä

Äänentulosuunnan mittausta varten on kehitetty intensiteettimenetelmä. Se tapahtuu kahdella ns. kaksimikrofonianturilla, kun normaalisti äänenpainetasoa mitataan yhdellä mikrofonilla. Äänenpainetason mittauksessa selvitetään yhdessä pisteessä vallitseva äänenpainetaso, mutta se ei kykene selvittämään äänen tulosuuntaa. Intensiteettiä mittaavassa kaksimikrofonianturissa on kaksi lähekkäin olevaa vaihesovitetta mikrofonia. Edellä mainittujen vaihesovitetettujen mikrofonien äänenpainesignaaleista pystytään laskemaan äänentulosuunta. Intensiteettimittauksiin käytettäviä antureita on ollut markkinoilla jo 1980-luvun alusta. Intensiteettimenetelmää käytetään erikoistapauksissa. Intensiteettimenetelmä on standardisoitu jo 1990-luvulla. Intensiteettimenetelmällä pystytään myös tuottamaan äänensäteilykuva, josta kyetään esimerkiksi paikantamaan erilaisia vuotokohtia. (RIL 243-1-2007, 67.)

Intensiteettimenetelmää voidaan soveltaa yhtä hyvin kentällä kuin laboratoriossa. Menetelmästä on erityistä hyötyä seuraavissa tarkoituksissa (RIL 243-1-2007, 67):

- paikallistettaessa äänen säteily- tai vuotokohtia näytteessä
- haluttaessa määrittää pienten taajuuksien (50-160 Hz) ääneneristävyys tarkasti, koska painemenetelmän mittauserävarmuus on erittäin suuri
- haluttaessa määrittää tietyn rakenneosan ilmaääneneristävyys kentällä ( $R'_{i,w}$ ) irrotettuna muista rakenteista, jolloin voidaan arvioida eri pintojen osuus huoneeseen tulevasta äänestä haluttaessa osoittaa rakenteellista sivutiesiirtymää aiheuttava pinta. (RIL 243-1-2007, 67.)

## 2.6 Ultraäänimittaus

Ääntä, jonka taajuus on välillä 20 kHz ... n. 10 THz, kutsutaan ultraääneksi. Alaraja tulee siitä, että se on yli ihmisen kuuloalueen ylärajan. Ultraäänit eivät ole ihmiskorvien kuultavissa. Taajuuden suuruudellakin on rajansa, koska atomien välillä vaikuttavat voimat eivät voi olla rajattoman suuria ja atomeillakin massa on pieni. Normaali kuultava ääni ja ultraääni etenevät väliaineessa samalla nopeudella, ellei äänen taajuus ole suuri. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2018, 158.)

Ultraäänen vuotopaikanninta käytetään yleensä paikantamaan vuotopaikkoja painekattiloista ja ilmastointikanavista. Koska laite mittaa ultraäänellä, sen käyttö on mahdollista meluisissakin tiloissa, kuten tehdashalleissa. Ultraäänen tuottaminen ja mittaaminen perustuvat pietsosähköiseen ilmiöön. (USER INSTRUCTIONS FOR THE FLEX.US ULTRASOUND DETECTOR, [Viitattu 3.5.2019].)

Vuotopaikantimen käyttöperiaate on yksinkertainen. Toiselle puolelle testattavaa rakennetta sijoitettiin ultraäänilähetin, ja vastakkaisella puolella etsitään laitteen mikro-foni+kuuloke -yhdistelmällä mikrofonia liikuttelemalla mahdolliset vuotokohdat kuuloaistimuksen perusteella. Koska vuotopaikannin ei anna tuloksia digitaalisessa muodossa, sitä käytettiin lähinnä vain havainnollistamaan mahdolliset vuotokohdat.

## **2.7 Akustinen kamera ja äänikuvaus**

Akustinen kamera on laite, joka pystyy reaaliajassa erottamaan useista suunnista samaan aikaan saapuvat äänet. Kameran toiminta perustuu säteenmuodostukseen, jolla saadaan eristettyä saapuvia ääniä halutusta suunnasta. Säteenmuodostus tehdään useista mikrofoneista koostuvalla mikrofonihilalla. Akustinen kamera pystyy tuottamaan säteenmuodostuksella digitaalista kuvaa, jossa värit edustavat eri äänitasoja. Kamera pystyy siis tuottamaan lämpökuvan kaltaista tietoa, jossa ääntä vuotavat raot ovat helposti hahmotettavissa. (Saksela & Nyberg 2015.)

## **2.8 Käyttötarkoituksesta riippuvat huonekohtaiset eristysvaatimukset**

Ympäristöministeriö on antanut ohjeita rakennuksen ääniympäristöstä. Niihin sisältyvät ohjeet tietyjen tilojen ilma- ja askeläänieristävyydelle. Ympäristöministeriön ohje ei ole sitova, mutta se noudattaminen edustaa hyvää rakentamistapaa. Taulukossa 3 on nähtävissä ohjeet äänitason erotusluvuille eri tiloissa. (Ympäristöministeriön ohje 2018, 2.)



Taulukko 3. Äänierotasoluvun ohjearvot. (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 22.)

Tilatyyppe	Ohjearvo Äänitasoerotusluku $D_{nT,w}$ (dB)		
	Ympäröiviintiloihin yleensä	Toiseen käyttötarkoitukseltaan saman tyyppiseen tilaan, kun välissä on ovi	Käytävään tai aulaan, kun välissä on ovi
Opetustila	44	42	34
Musiikinopetustila	60	52	44
Varhaiskasvatuksentila	44	42	34
Neuvottelutila	48	42	34
Sairaalan, terveysaseman tms. hoitotila, kuten tutkimus- ja toimenpidehuone, vastaanottohuone, hoito- ja terapiahuone, lepohuone, päivähuone	48	42	39
Sairaalan, terveysaseman tms. potilaspaikka	48	42	34
Liikuntatila	57	48	42
Toimistohuone	40	40	30
Toimistorakennuksessa kahden eri toimijan välillä	52	-	-

$D_{nT,w}$  [dB] on standardisoitu äänitasoneroluku. Se määritetään mitatuista äänitasoeroista 100–3150 Hz taajuusalueella taajuuskaistoittain. (SFS-EN ISO 717-1, 2.)

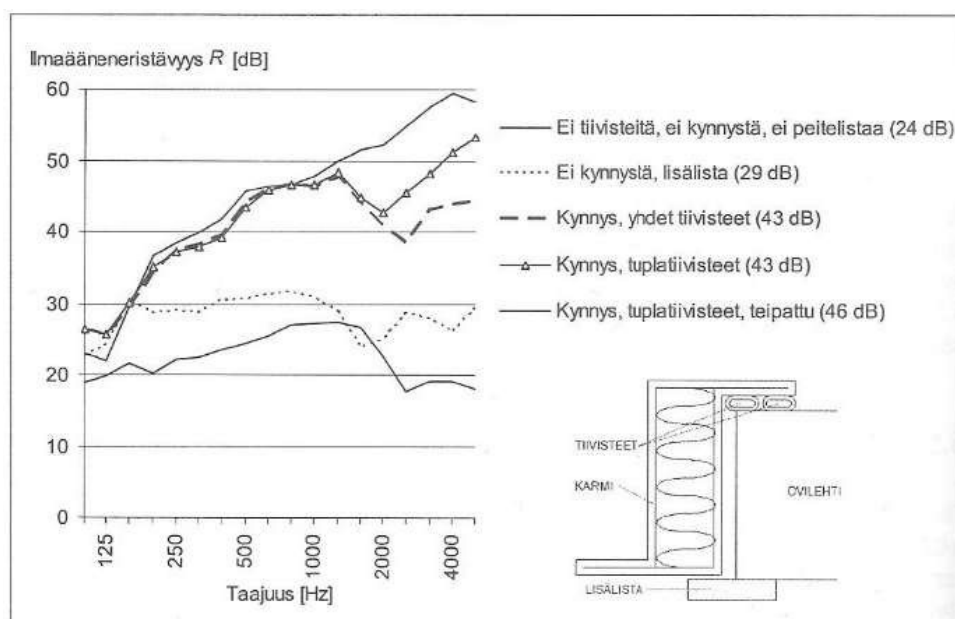
### 3 OVET ÄÄNENERISTÄVYYSTESTAUKSESSA

#### 3.1 Ominaista oville

Ovella on yleensä suuri merkitys siinä, millainen ääneneristävyys pystytään saavuttamaan huoneita erottavalle väliseinälle. Yleensä eri tilojen välillä on äänieristävyyden vaatimuksia, joten oikeanlaisen oven valinta on erittäin tärkeää. Asennusvirheiden vaikutus oven ääneneristävyyteen on suuri, ja yleensä ne pystyvät heikentämään oven eristävyyttä useita desibelejä. (RIL 243-1-2007, 95.)

Ovien tiivisteillä on suuri merkitys sen ilmaääneneristysluvulle. Jos asennusvirheestä johtuen osa tiivisteistä on jäänyt puuttumaan, oven ilmaääneneristysluku ei ylitä 25 dB:tä. Jos ovesta puuttuu kynnyks, saavutetaan yleensä vielä heikompi ilmaääneneristysarvo. Tiivisteiden ja kynnyksen vaikutus on huomattu usein vastaanotomittauksien yhteydessä. (RIL 243-1-2007, 96.)

Tiivisteiden vaikutusta oven äänen eristävyteen tutkittiin laboratorio-olosuhteissa. Vaikka täysin tiivistetyn ovirakenteen mittaustulos oli  $R_w = 46$  dB, eri tiivistysvaihtoehdot tuottivat ilmaääneneristysluvun arvoja 24 ja 43 dB:n väliltä (kuvio 5.) (RIL 243-2-2007, 96.)



Kuvio 5. Tiivisteiden vaikutus ilmaääneneristävyyteen. (RIL 243-1-2007, 94.)

### 3.2 Rakojen vaikutus ilmaääneneristävyyteen

Korkean ääneneristävyyden omaavilla tiiviillä rakenteilla, rakojen heikentävä vaikutus ääneneristävyyteen on suhteellisen suuri. Raon ja rakenteen yhteinen ääneneristävyys voidaan arvioida kaavan 9 mukaisesti. (RIL 243-1-2007, 86.)

$$R_{yht} = 10 \log_{10} \frac{S_1 + S_2}{S_1 \cdot 10^{-R_1/10} + S_2 \cdot 10^{-R_2/10}} \quad (9)$$

missä

$S_1$  on rakenteen kokonaispinta-ala

$S_2$  on raon kokonaispinta-ala

$R_1$  on rakenteen ääneneristävyys

$R_2$  on raon ääneneristävyys

Tarkkaan ottaen raon ääneneristävyys riippuu kuitenkin taajuudesta. Ääneneristävyys on suurimman osan taajuusalueesta suurempi kuin nolla, tyypillisesti 5 ja 10 dB:n väliltä. Poikkeuksena ovat erikoistaajuuudet, joilla rakoön muodostuu rakenteen paksuussuunnassa seisova aalto. (RIL 243-1-2007, 86.)

Negatiivinen ääneneristävyys ei tarkoita, että ääntä syntyisi jostain lisää. Resonansitaajuuudella rako imee itseensä ääntä poikkipinta-alaansa nähden suuremmalta alueelta. Resonanssi voimistaa ääntä entisestään ja säteily on tämän vuoksi voimakasta. (RIL 243-1-2007, 87.)

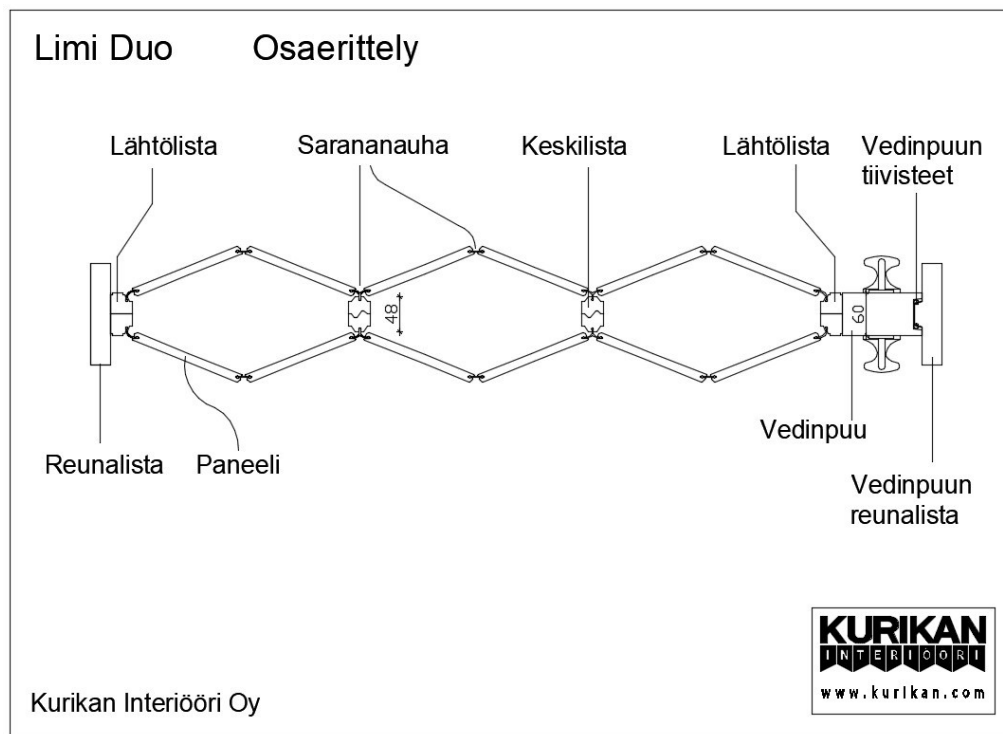
Useimmissa tapauksissa rakojen resonanssia tapahtuu eniten ovissa. Esimerkiksi jos ovilehden paksuus on 50 mm, noin 2500 Hz:n ja korkeammilla taajuusalueilla havaittava ääneneristävyyden heikkeneminen ilmaisee pienten rakojen olemassaolosta. Jos ääneneristävyyden heikkenemistä havaitaan laajemmalla taajuusalueella, se kertoo siitä, että rakoja on paljon. (RIL 243-1-2007, 87.)

### 3.3 Taiteovi

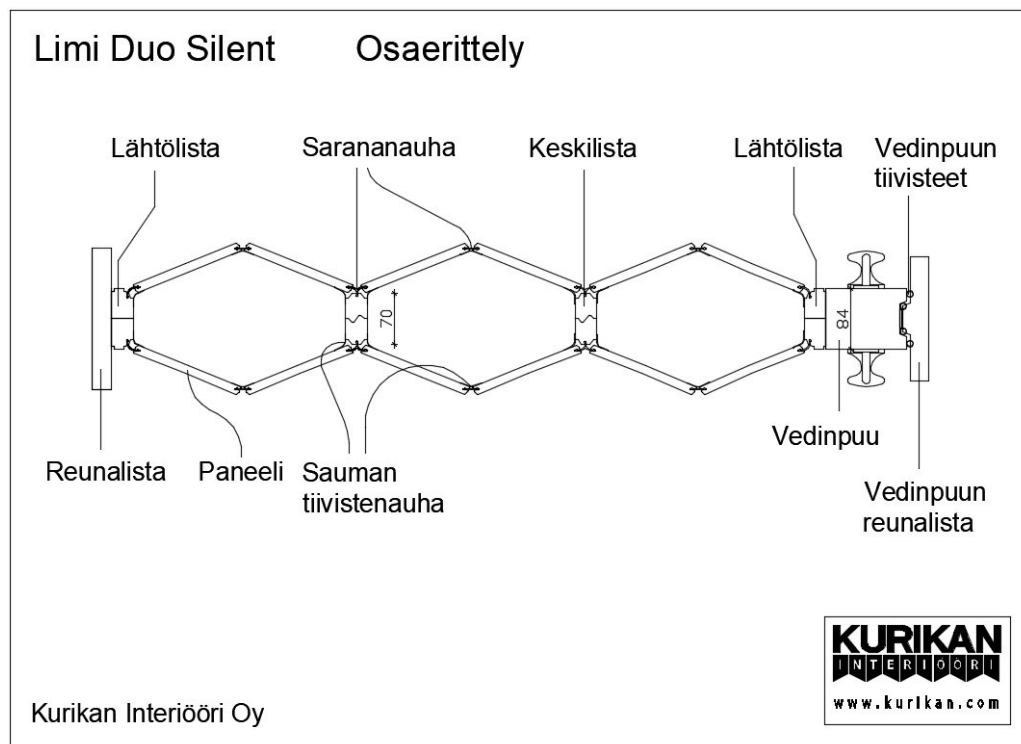
Tässä työssä testatut tuotteet ovat taiteovia, joihin RIL 243-1-2007 ei tarkemmin ota kantaa. Ovien rakenteen takia niihin olisi erittäin vaikea soveltaa kaksinkertaista rakennetta. Tuotekehittelyn kannalta ovien ääneneristävyyden lisäksi pitää ottaa huomioon taloudellisuus ja käytettävyys. Taiteoven rakenteen liikkuvuuden takia oven sisustaa ei ole mahdollista täyttää ääniominaisuuksia parantavalla materiaalilla, kuten mineraalivillalla. Vedinpuun eristäminen toimii kuten normaaleissa ovissa. Sen ja reunalistan väliin on mahdollista soveltaa normaalia tiivistystä. Ala- ja yläsauman tiivistys tapahtuu laahaimilla, joiden valintaan vaikuttavat rakenteen liikuteltavuuden säilyttäminen ja ääneneristävyys. Jos laahaimet jätetään liian pitkälle tai käytetään liian montaa kerrosta, oven avaaminen muuttuu raskaaksi.

Ääneneristävyyden laskenta taiteoiville on teoriassa vaikeampaa kuin normaaleille oiville. Rakenteen ja sen sisällä olevan ilmatilan leveys vaihtelee sen mukaan, mistä kohtaa rakennetta mitataan. Rakenne ei myöskään koostu yhtenevästä pinnasta, vaan vaihtelee mdf-levystä sarananauhojen joustavaan kumiin. Rakenteessa on myös huomattava määrä juostavuutta sen monista nivelkohdista johtuen.

Koska ovi on mekaniikaltaan monimutkaisempi kuin normaali ovi, sen tiivistävyyteen tulee kiinnittää enemmän huomiota. Ilmaääneneristävyyden kannalta testeissä kannattaa tutkia mahdollisia vuotokohtia ja niiden poistamista. Mitattavat ovimallit eivät eroa toisistaan muuten kuin paksuudeltaan. Ovien paksuudet ja osien selitteet on esitetty kuvioissa 5 ja 6.



Kuvio 6. Taiteoven osaerittely. (Kurikan interiööri Oy 2019.)



Kuvio 7. Paksumman taiteoven osaerittely. (Kurikan interiööri Oy 2019.)

## 4 MITTAUKSET

Mittaukset tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun ilmaääneneristävyydestestauksia varten tehdyissä tiloissa. Tilat on rakennettu ja suunniteltu aikaisemmin opinnäytetyönä. Testitilojen pienen tilavuuden ja rakenteiden keveyden takia testit toteutettiin laboratoriomittauksen sijasta kenttämittauksena. Kenttämittauksen valintaan oli osasyynä myös testaustilan mahdolliset sivutiesiirtymät. Mittaukset tehtiin standardin SFS EN ISO 16283-1:2014 (2014) mukaisesti. Ilmaääneneristävyys mitattiin 100-5000 Hz:n taajuusalueella ja 1/3-oktaaveittain. Ilmaääneneristävyyden raportointi toteutettiin standardin SFS EN ISO 717-1:2013 (2013) mukaisesti.

### 4.1 Mittauslaitteisto

Mittauslaitteistona käytettiin Harmonie 4210 -mikrofonia ja 0.1 dB-stell -desibelimitaria. Mikrofonin kalibroitiin ennen jokaista mittauskertaa Norsonic Cal 0.1 -kalibraattorilla 94 desibeliin. Flex.us-vuotopaikanninta käytettiin ilmanvuotokohtien etsimiseen.

### 4.2 Mittausjärjestelyt

Ovia varten testitilojen välisen aukon alapintaan liimattiin lattiamattoa. Ovea asentaessa kaikki mahdolliset saumat täytettiin akryylimassalla. Massauksella pyrittiin ehkäisemään mahdolliset asennusvirheistä johtuvat vuotokohdat ja minimoimaan näiden vaikutus mittaustuloksiin. Aukon ja ovirakenteen välisten massauksien tiivyyttä tarkastettiin vuotopaikantimella. Lopulta paikalleen asennettu ovi tutkittiin samaisella laitteella. Koska vuotopaikannin ilmaisee vuodon äänenvoimakkuuden muutoksena, mahdolliset vuotokohdat kirjattiin käsin ylös.

Mikrofonille valittiin kolme eri sijaintia. Nämä merkittiin vastaanottohuoneen lattiaan, jotta testeissä tapahtuisi mahdollisimman vähän eroavaisuuksia. Äänilähteelle valittiin kaksi eri sijaintia. Nämäkin merkittiin lähetyshuoneen lattiaan. Mikrofonin ja äänilähteen sijoittelussa toteutettiin standardin SFS EN ISO 16283-1:2014:n (2014)

mukaisia etäisyyksiä. Mikrofonia ja äänilähdettä siirreltiin testauksen edetessä. Korkeusasemaltaan mikrofoni ja äänilähde oli säädetty 120 cm korkeudelle lattiasta. Standardin määräämät vähimmäisetäisyydet olivat mikrofonille 0,5 metriä seinistä, katosta ja lattiasta. Mikrofonin ja äänilähteen välinen vähimmäisetäisyys toisistaan oli yksi metri. Johtuen vastaanottohuoneen pienestä tilavuudesta mikrofonin asemien vähimmäisetäisyyksiin ei päästy. Mikrofonin asemien vähimmäisetäisyydeksi toisistaan on standardissa määrätty 0,7 metriä. Standardin mukaan voitaisiin myös käyttää liikkuvaa mikrofonia paikallaan olevan sijasta, mutta tuollaista laitetta ei ollut käytettävissä.

### 4.3 Olosuhteiden hallinta

Edeltävät äänitestaustilojen käyttäjät olivat havainneet, että ilman lämpötilalla oli suuri vaikutus mittausten tuloksiin. Testien aikana tiloissa valvottiin ilmankosteutta ja lämpötilaa. Lämpötilaa pyrittiin kontrolloimaan noin 22 °C:een, ja tarpeen vaatiessa lämpötilaa kyettiin muuttamaan säteilylämmittimien termostaateista. Suhteellinen ilmankosteus pyrittiin pitämään 40 prosenttiyksikössä ja tarvittaessa testitiloja tuuletettiin. RH:n ja lämpötilan jatkuvaan mittaamiseen käytettiin VelociCalc plus -laitetta. Testitiloja esilämmitettiin vuorokauden ajan, koska ulkona oli pakkasta. Mittaukset tapahtuivat pitkällä aikavälillä, joten ulkoilman lämpötilassa oli huomattavia eroavaisuuksia mittauskerrasta riippuen. Jokaisen testauskerran alussa ja lopussa kirjattiin muistiin lämpötila ja suhteellinen ilmankosteus. Taulukoissa 4 ja 5 on nähtävissä testien aikaiset olosuhteet.

Taulukko 4. Perusmallin mittauskertojen olosuhteet.

<b>LIMI DUO</b>				
<b>TESTI</b>	<b>RH</b>	<b>RH</b>	<b>C°</b>	<b>C°</b>
	<b>ALKU</b>	<b>LOPPU</b>	<b>ALKU</b>	<b>LOPPU</b>
1.	<b>56,00 %</b>	<b>58,10 %</b>	<b>21,1 C°</b>	<b>21,6 C°</b>
2.	<b>65,20 %</b>	<b>69,50 %</b>	<b>21,6 C°</b>	<b>22,3 C°</b>
3.	<b>54,50 %</b>	<b>62,30 %</b>	<b>21,6 C°</b>	<b>21,9 C°</b>

Taulukko 5. Silent-mallin mittauskertojen olosuhteet.

<b>LIMI DUO SILENT</b>				
TESTI	RH	RH	C°	C°
	ALKU	LOPPU	ALKU	LOPPU
1.	<b>24,80 %</b>	<b>25,50 %</b>	<b>20,5 C°</b>	<b>21,8 C°</b>
2.	<b>26,20 %</b>	<b>27,00 %</b>	<b>21,3 C°</b>	<b>22,1 C°</b>
3.	<b>30,20 %</b>	<b>31,50 %</b>	<b>22,5 C°</b>	<b>22,6 C°</b>
4.	<b>36,20 %</b>	<b>38,10 %</b>	<b>21,7 C°</b>	<b>22,0 C°</b>

Mittaustilat sijaitsevat Seinäjoen ammattikorkeakoulun laboratorion seinustalla. Viereissä kulkevan tien ja parkkipaikan liikennöinti aiheutti välillä huomattavaa taustamelua. Laboratorion Ilmastointilaitteidenkin havaittiin tuottavan välillä testeihin vaikuttavaa melua. Testit pyrittiin keskeyttämään ja taustamelun mittaus uusimaan, jos tuloksen havaittiin olevan liian suuri. Varsinkin raskaiden ajoneuvojen liikennöinti aiheutti taustamelun mittaukseen huomattavia muutoksia. Koska mittaukset oli rakennettu teräksiseen konttiin, sen havaittiin resonoivan raskaiden ajoneuvojen ohi ajaessa.



## 5 MITTAUKSIEN AIKAISET HAVAINNOT

Kuten RIL 243-1-2007:ssa oli havainnollistettu, oven tiivisteiden vuotokohdilla oli dramaattinen vaikutus ilmaääneneristävyyteen. Tästä kappaleesta on poistettu osio yrityssalaisuutena, joka liittyy tuotteen testaukseen ja testituloksiin.

Testitiloihin siirtyminen piti tehdä suhteellisen nopeasti. Välittömästi oven avauksen jälkeen huoneen lämpötila ja suhteellinen kosteus muuttuivat. Muuttuneet testitilojen olosuhteet pitensivät mittausprosessia, koska niiden tasaantuminen vaati aikaa. Huomiota herätti myös konttiin kenkien mukana kulkeutunut lumi. Testitilan kosteus nousi merkittävästi jo lumen takia. Jotta suhteellisen kosteuden muutoksilla vältyttäisiin, jouduttiin kontin lattiaa ennen mittauskertaa kuivaamaan. Vaikka tilojen suhteellinen kosteus näytti mittarista hyvältä, ilmastoinnin puuttumisen johdosta kosteus ei päässyt pakenemaan sieltä ulkoilmaan. Ylimääräinen kosteus nousi kontin teräksiseen kattorakenteeseen ja kondensoitui sen pinnalle. Korkein tilojen mitattu suhteellinen kosteus oli 69,5 prosenttiyksikköä. Taulukoista 4. ja 5. verratessa voidaan huomata suuri ero suhteellisessa ilmankosteudessa. Ensimmäisen oven testaukset tuotettiin loskaisella ja lumisella säällä, ja sisään kulkeutunut lumi näkyy suoraan suhteellisessa kosteudessa. Kosteutta yritettiin pitää mahdollisimman vähäisenä, mutta se osoittautui vaikeaksi.

Testitilojen lämmittäminen kannatti toteuttaa hyvissä ajoin ennen mittauksia. Testitilat toisistaan erottava muurattu seinärakenne pysyi kosketukselle kylmänä, jos tiloja ei alettu lämmittää ajoissa. Tilojen lämmitys kannatti aloittaa edeltävän vuorokauden puolella. Tilojen säteilylämmittimen termostaatit säädettiin hieman haluttua korkeammalle, koska huoneen nopea viilentäminen oli huomattavasti helpompaa kuin sen lämmittäminen samassa ajassa.

## **6 LIMIDUON TESTAUS JA KEHITTELY**

Tuotteen testaukseen liittyvä osio sisältää yrityssalaisuuksiksi luokiteltavaa materiaalia, joten sitä ei julkaista.

## **7 LIMI DUO SILENTIN TESTAUS JA KEHITTELY**

Tuotteen testaukseen liittyvä osio sisältää yrityssalaisuuksiksi luokiteltavaa materiaalia, joten sitä ei julkaista.

## 8 POHDINTA

Testien tuloksista nähdään, millaisilla tiivistysratkaisuilla oven ilmaääneneristävyyttä saadaan paranneltua ja missä suhteessa. Kyseinen informaatio on tuotekehittelyn kannalta erittäin tarpeellista ja helpottaa jatkokehittelyä. Tulosten avulla pysyy hahmottamaan tiivistyksen vaikutusta tuotteessa. Teoriassa oven eristävyys on vaikea laskea. Normaaleista ovityypeistä eroten taiteovi on hyvinkin liikkuva. Tavallisessa ovesa on yksi liikkuva osa, kun taiteovessa jokainen paneeli liikkuu. Useat liikkuvat osat ja rakenteen joustavuus asettavat tarpeen toimivalle ja toistettavalle tiivistykselle. Pelkän matemaattisen laskennan sijasta kannattaa yksinkertaisesti kokeilla ja testata eri tiivisteitä. Kokeileminen oli erittäin hyvä ratkaisu, se antoi enemmän tietoa ja tarpeeksi luotettavan tuloksen. Ovet mitattiin kenttämittauksena, jonka oletetaan olevan 3-6 dB laboratoriomittauksia huonompia. Vaikka tulokset eivät ole laboratoriotulosten tasolla, ne antavat hyvän kuvan siitä, miten ovi toimisi todellisudessa asennuttuna kohteessa. Verratessa tiivisteettömän oven ja tiivisteellisen oven tuloksia voidaan havaita, että tiivisteiden lisäys on kustannustehokas keino parantaa oven eristävyttä. Yksittäinen pallotiiviste parantaa tulosta usealla desibelillä. Tiivisteiden pituuksia, varsinkin laahainten pituutta, kannattaisi testata tehtaalla, jotta löydettäisiin paras istuvuus.

Tulevaisuudessa ovien testauksessa ja parannuksissa kannattaisi painottaa itse rakenteeseen. Eri pinnoiteratkaisuilla tuotteen eristävyttä voitaisiin vielä parannella mahdollisesti halvalla. Opinnäytetyöhön liittyvien testien jälkeen on saavutettu taso, jossa rakenteellisilla muutoksilla on enemmän vaikutusta koko oven eristävyteen. Rakennemuutoksissa kannattaa kiinnittää huomiota materiaalivalintoihin ja niiden optimaaliseen paksuuteen koinsidenssin takia.

## LÄHTEET

- RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry
- SFS-EN ISO 16283-1: en. 2014. Acoustics: Field measurement of sound insulation in buildings of building elements. Part 1: airborne sound insulation (ISO 16283-1:2014). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 717-1: en. 2013. Acoustics: Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: airborne sound insulation (ISO 717-1:2013). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. 2018. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 4.5.2019]. Saatavana: [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Meluntorjunta\\_ja\\_aaniolosuhteet](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Meluntorjunta_ja_aaniolosuhteet)
- Saksela, K. & Nyberg, J. 2015. Akustinen kamera ilmaäänieristävyysongelmien selvittämisessä. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Akustinen seura ry. Saatavana: [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2015/09/AP2015\\_Paperin\\_palautus\\_48.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2015/09/AP2015_Paperin_palautus_48.pdf)
- Peltonen, H., Perkkiö, J. & Vierinen, K. 2018. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa II. 9. painos. Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy.
- USER INSTRUCTIONS FOR THE FLEX.US ULTRASOUND DETECTOR. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. SDT ultrasound solutions. [Viitattu 3.5.2019]. Saatavana: <https://sdtultrasound.com/10-flex-us>
- Rossinen, J. 2019. Suunnittelupirokset Duo limi ja Duo limi silent. [Kuva]. Kurikan interiööri Oy.

## LIITTEET

Liite 1. Mittausraportti LIMi DUO 1

Liite 2. Mittausraportti LIMi DUO 2

Liite 3. Mittausraportti LIMi DUO 3

Liite 4. Mittausraportti LIMi DUO SILENT 1

Liite 5. Mittausraportti LIMi DUO SILENT 2

Liite 6. Mittausraportti LIMi DUO SILENT 3

Liite 7. Mittausraportti LIMi DUO SILENT 4

Liitteet sisältävät yrityssalaisuuksiksi luokiteltavaa materiaalia, joten niitä ei julkaista.