

Jussi Hopiavuori

# **Siirtoseinäelementtien äänieristysmittaukset ja tuotekehittely**

Opinnäytetyö

Syksy 2016

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan Tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Jussi Hopiavuori

Työn nimi: Siirtoseinäelementtien äänieristysmittaukset ja tuotekehittely

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 59

Liitteiden lukumäärä: 15

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli testata Kurikan Interiööri Oy:n siirtoseinäelementtien ilmaääneneristävyyttä ja lisätä tietotaitoa tulevaisuuden tuotekehittelyä silmällä pitäen. Siirtoseinien ääneneristävyydelle asetetaan usein vaatimuksia julkisissa tiloissa ja Kurikan Interiööri halusi varmistaa, että heidän tarjoamansa tuotteet pystyvät läpäisemään vaatimukset.

Mittaukset tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriolle rakennetussa testautilassa. Mittaukset olivat ensimmäiset uusissa tiloissa ja myös tilojen käytön kannalta saatiin paljon uutta tietoa tulevia mittauksia ajatellen.

Mittaukset suoritettiin standardia ISO 140-3 noudattaen ja tulokset esitetään standardin ISO 717-1 mukaisesti.

Avainsanat: ääneneristys, ääni, mittaus, puusepänteollisuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author/s: Jussi Hopiavuori

Title of thesis: Airborne Sound Insulation Measurements for Modular Walls

Supervisor(s): Jorma Tuomisto

Year: 2016

Number of pages: 59

Number of appendices: 15

---

The goal of the thesis was to take airborne insulation measurements from modular walls made by Kurikan Interiööri Oy. Testing modular walls gave a lot of information and knowledge, which will be used in product development. Architects often set limits to modular walls to reach a specific airborne sound insulation level in public buildings. Kurikan Interiööri wanted to be sure their products could reach these limits.

The measurements took place in a new laboratory at Seinäjoki University of Applied Sciences. These measurements were the first ones in the new laboratory and taught a lot what should be taken into account when new measurements would be taken in this laboratory in the near future.

The measurements were taken using instructions from ISO 140-1 –standard and the results were presented using formula from ISO 717-1 –standard.

Keywords: Soundproofing, sound, measurement

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 Perusmääritelmät.....	8
2.1 Ääni.....	8
2.2 Taajuus.....	8
2.3 Ilmaääni.....	8
2.4 Runkoääni.....	8
2.5 Resonanssi.....	9
2.6 Koinsidenssi-ilmiö.....	9
2.7 Absorption ja äänieristyksen erottaminen.....	10
2.8 Absorptioala.....	12
2.9 Jälkikaiunta-aika.....	13
3 Ilmaääneneristävyyden mittaaminen.....	15
3.1 Laboratoriomittaus.....	15
3.2 Äänen voimakkuuden mittaus.....	15
3.3 Ilmaäänieristysluku.....	16
3.4 Laboratorio- ja kenttätuloksen erot.....	17
3.5 Intensiteettimenetelmä.....	18
4 Ilmaääneneristys.....	19
4.1 Absorboivan pinnan vaikutus ääneneristävyyteen.....	19
4.2 Rakojen vaikutus ilmaääneneristävyyteen.....	20
4.3 Rakennuslevyjen ääntä eristävät ominaisuudet.....	21
4.4 Resonaattorit.....	24
4.4.1 Levyresonaattori.....	24
4.4.2 Reikäresonaattori.....	25
4.5 Kaksinkertainen rakenne.....	25
4.6 Kytketyn kaksinkertaisen levyseinän ilmaääneneristävyys.....	26

5	Siirtoseinät .....	30
6	Mittaukset .....	33
6.1	Mittausmenetelmät .....	33
6.2	Havaintoja mittausten aikana .....	35
6.2.1	Levyrakenteet .....	36
6.2.2	Seinäelementit .....	37
7	Taiteoven testaus .....	42
8	Pohdinta .....	44
	Lähteet .....	45
	Liite 1: Mittaustulokset .....	46

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Elementti asennettuna ja valmiina testausta varten.....	34
Kuva 2 Elementtiseinän rakenteen heikoin kohta. ....	38
Kuva 3. Reunaelementin ylä- ja alanurkassa oleva laahustiiviste.....	39
Kuva 4. Yläkiskon liitos ympäröiviin rakenteisiin.....	40
Kuva 5. Taiteovi asennettuna.....	43
Kuvio 1. Ääniaallon läpäisy koinsidenssitilanteessa. (RIL 243-1-2007). ....	10
Kuvio 2. Iso 717-1 vertailukäyrä.....	17
Kuvio 3. Rakojen heikentävä vaikutus ilmaääneneristävyyteen. (RIL 243-1-2007). .....	21
Kuvio 4. Rakennuslevyjen koinsidenssitaajuuksia (RIL 243-1-2007).....	24
Kuvio 5. Levyseinän kytkentöjen määritelmät. (RIL 243-1-2007).....	29
Kuvio 6. Kytkentätavan vaikutus ilmaääneneristävyyteen. (RIL 243-1-2007). ....	29
Taulukko 1. Absorptiosuhteen vaikutus takaisin heijastuvaan ääneen (RIL 243-1- 2007).....	11
Taulukko 2. Suhteen $W_t/W_i$ pienentyessä ääneneristävyys R Kasvaa (RIL 243-1- 2007).....	12
Taulukko 3. Esimerkkejä jälkikaiunta-ajoista (RIL 243-1-2007). ....	14
Taulukko 4. Rakennuslevyjen ilmaääneneristävyyden ominaisuuksia (RIL 243-1- 2007).....	23

Taulukko 5. Eri lämpötiloissa tehtyjä mittauksia .....	36
--	----

## 1 JOHDANTO

Kurikan Interiööri on puuteollisuuden yritys, jonka erikoisosaamisena on siirtoseinäelementtien valmistus erilaisiin julkisiin tiloihin. Heidän siirtoseinille on aikaisemmin tehty ilmaääneneristävyyden kenttämittauksia, mutta he halusivat testata Seinäjoen ammattikorkeakoululle rakennetussa ääneneristystestaustilassa jo olemassa olevia seinärakenteita ja kokeilla eri materiaalien vaikutusta seinärakenteen ääneneristävyyteen. Arkkitehdit ja rakennuttajat ovat alkaneet vaatia ääneneristävyyttä siirtoseiniltä ja rakennuskohteissa saatetaan tehdä kenttämittauksia eristävyyden varmistamiseksi. Testeillä haettiin varmuutta siihen, että pystytään tarjoamaan vaatimukset täyttäviä seinärakenteita ja niille on mittauksista saatuja todisteita.



## **2 Perusmääritelmät**

### **2.1 Ääni**

Ääni on ilmanpaineessa tapahtuvaa vaihtelua staattiseen ilmanpaineeseen nähden. Värähtelyn lähde, kuten ihmisen äänihuulet, saa ympäristössään aikaan ilman tihentymiä ja harventumia. Ilmahiukkasten liike saa seuraavat hiukkaset liikkeeseen, ja näin ääni etenee pitkätaajuisena äänilähteestä ympäristöön. (RIL 243-1-2007, 35.)

### **2.2 Taajuus**

Kuuloaistimus syntyy, kun ilmanpaineen vaihtelu saa korvan rumpukalvon värähtelemään. Jos värähtely on tiheää, ääni koetaan korkeaksi. Pienitaajuiset värähtelyt koetaan matalina ääninä. Taajuus tarkoittaa värähtelyjen lukumäärää sekunnissa. Ihminen voi kuulla noin taajuuksien 20 Hz:n ja 20000 Hz:n välillä olevia ääniä. Alle 20 Hz:n taajuudet, eli infraäänit, aistitaan värinänä. (RIL 243-1-2007, 35.)

### **2.3 Ilmaääni**

Ääni tarvitsee edetäkseen väliaineen, tyhjiössä ääni ei voi edetä. Ilmassa etenevästä äänestä käytetään nimitystä ilmaääni. Sitä aiheuttavat esimerkiksi puhe, musiikki, äänentoistolaitteet, rakennuksen LVIS-laitteet ja erilaiset koneet. Äänen nopeus ilmassa on riippumaton taajuudesta, mutta lämpötila vaikuttaa äänen nopeuteen. (RIL 243-1-2007, 35.)

### **2.4 Runkoääni**

Äänen etenemisen väliaineena voi olla myös kiinteä aine, kuten rakennuksen runkorakenteet tai maakerros. Ilmaääni saa ympäristön rakenteet värähtelemään, jolloin ääni etenee rakennuksen rungossa erityisesti taivutusaaltona. Taivutusaal-

lossa rakenteeseen syntyy taipumia äänen etenemissuuntaan kohtisuorassa suunnassa. Rakenteissa etenevä ääni on runkoääntä, jonka voi synnyttää myös rakenteeseen kiinnitetty laite värähtelyllään tai rakenteeseen kohdistuvat iskut. (RIL 243-1-2007, 36.)

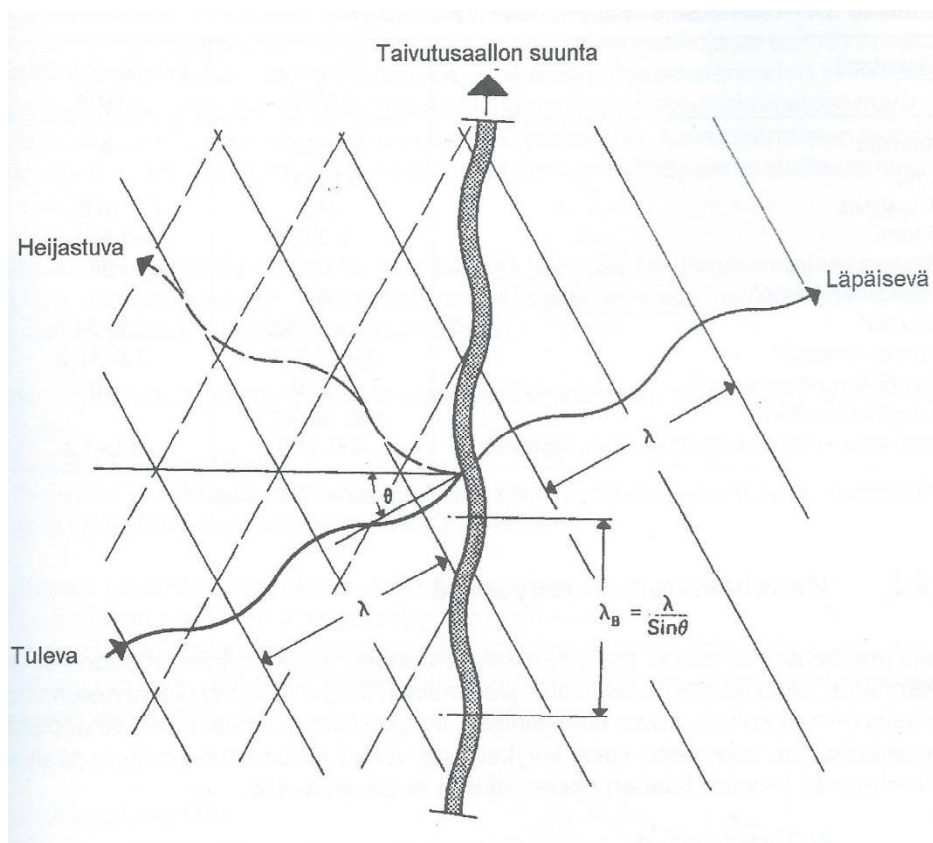
## **2.5 Resonanssi**

Rakennusosan, seinän tai lattian ilmanääneneristävyys on huono, jos äänen ja rakennusosan värähtelyt ovat resonanssissa keskenään vahvistaen toisiaan. Siksi rakennusosan ominaistaajuus, eli resonanssitaajuus, ei saa olla yleisimmällä äänen taajuusalueella (125 - 3000 Hz). (Siikanen 1996, 116.)

Yksinkertainen seinä toimii jousen tavoin. Sillä on jännemitan, kiinnitystavan, paksuuden, tiheyden ja kimmomoduulin mukaan määräytyvä ominaistaajuus, jolla se heilahtelee. Tällä taajuusalueella seinän ääneneristävyys heikkenee. (Siikanen 1996, 116.)

## **2.6 Koinsidenssi-ilmiö**

Koinsidenssi-ilmiö tarkoittaa sitä, että ilmassa ja levyssä etenevien ääniaaltojen vaiheet ovat samat, jolloin levy ei muodosta juuri minkäänlaista estettä aallon etenemiselle ja ääneneristävyys heikkenee. Koinsidenssi-ilmiön alin taajuus on koinsidenssin rajataajuus. Rajataajuudella äänen tulokulma on 90 astetta eli ääni saapuu levyn pintaan pinnan suuntaisesti. Taajuuden kasvaessa koinsidenssin ilmestymiskulma pienenee ja kohtisuoralla tulokulmalla koinsidenssi ilmenee vasta äärettömän suurella taajuudella. Koinsidenssiä esiintyy siis kaikilla koinsidenssin rajataajuutta korkeammilla äänentaajuuksilla, mistä johtuu kuoppa ääneneristyskäyrässä. Kuoppaa kutsutaan koinsidenssikuopaksi. Koinsidenssi-ilmiö heikkenee taajuuden kasvaessa ja ääneneristys kasvaa tasaisesti rajataajuuden yläpuolella. Huonetiloissa ääntä saapuu kaikista suunnista yhtä aikaa, jolloin koinsidenssiä tapahtuu jatkuvasti kaikissa rajataajuutta suuremmilla taajuuksilla. (RIL-243-1-2007, 72.)



Kuvio 1. Ääniaallon läpäisy koinsidenssitilanteessa. (RIL 243-1-2007).

## 2.7 Absorption ja äänieristyksen erottaminen

Äänen absorptio vaimentaa huonetilan sisällä syntyvää ääntä. Absorptio on lähinnä pintamateriaalien ominaisuus. Äänieristys estää äänen kuulumista huoneesta toiseen. Eristys on tiiviiden rakenteiden ominaisuus. (RIL 243-1-2007, 46.)

Kuvion mukaisessa tilanteessa rakenteen kohtaa ääniteho, josta osa heijastuu rakenteesta ja osa siirtyy rakenteen välityksellä sen toiselle puolelle. Äänen absorptiosuhde  $\alpha$  on yksikötön ja se määritellään seuraavasti:

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i} \quad (1)$$

Äänen absorptiosuhde voi saada arvoja 0...1 ja sen arvo riippuu voimakkaasti taajuudesta. Äänen absorptiosuhde on sellaisenaan normaalissa käytössä oleva tuoteominaisuus. Äänen absorption käytännön merkitys on esitetty taulukossa 1. Mitä suurempi absorptiosuhde on, sitä vähemmän materiaali heijastaa ääntä takaisin huonetilaan. (RIL 243-1-2007, 47.)

Kaupallisilla absorptiomateriaaleilla voidaan tietyillä taajuuksilla päästä jopa arvoon 0,96, jolloin pinnasta heijastunut energia on lähes 20 dB pintaan osunutta energiaa pienempi. (RIL 243-1-2007, 47.)

Taulukko 1. Absorptiosuhteen vaikutus takaisin heijastuvaan ääneen (RIL 243-1-2007).

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

Ilmaääneneristävyys  $R$  [dB] määritellään tehosuhteiden kymmenkertaisena logaritmina seuraavasti:

$$R = 10 \log_{10} * \frac{W_i}{W_t} \quad (2)$$

missä  $W_i$  on rakenteeseen osuvan äänen ääniteho. Rakenteeseen osuva ääniteho synnyttää rakenteessa värähtelyä, joka puolestaan säteilee äänitehon  $W_t$  rakenteen toiselle puolelle. (RIL 243-1-2007, 47.)

Hyvä ääneneristävyys tarkoittaa, että rakenteen kautta kulkee mahdollisimman vähän äänienergiaa, eli dB-arvo on mahdollisimman korkea. Käytännön rakenteilla äänieristävyyden arvot voivat vaihdella 10 ja 100 dB:n välillä eri taajuuksissa. (RIL 243-1-2007, 47.)

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

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

Vertailemalla kuvioita havaitaan, että absorptiossa on kysymys huomattavasti lievemmästä tehohäviöstä, kuin ääneneristävyudessa. Heijastumisen yhteydessä äänitehon vaimennus on yleensä alle 10 dB ( $\alpha < 0,90$ ), kun taas seinän toiselle puolelle siirtyessä äänitehot laskevat vähintäänkin 10 dB. Tämän johdosta ääneneristys on tehokkain keino haluttaessa estää äänen siirtymistä tilasta toiseen. (RIL 243-1-2007, 48.)

## 2.8 Absorptioala

Absorptioala on huoneakustiikan tärkeimpiä termejä. Absorptioala kertoo huoneessa olevan absorptiomateriaalin kokonaismäärän neliömetreinä. Absorptioalan määritelmä tarkoittaa nimenomaan sellaisen materiaalin pinta-alaa, jonka absorptiosuhde on 1. (RIL 243-1-2007, 49.)

Käytännössä huoneessa voi olla mitä tahansa materiaaleja. Huoneen pinnoilla olevien materiaalien absorptiosuhteiden  $\alpha_i$  ja niiden pinta-alojen  $S_i$  [ $m^2$ ] perusteella voidaan laskea huoneen absorptioala kullakin oktaavikaistan keskitaajuudella. Yhden huoneessa olevan materiaalin absorptioala on materiaalin absorptiosuhteen ja sen pinta-alan tulo. Koko huoneen absorptioala on sen kaikkien pintamateriaalien absorptioalojen summa:

$$A = \alpha_1 * S_1 + \alpha_2 * S_2 + \dots + \alpha_n * S_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (3)$$

Absorptioalan yksikkönä käytetään merkintää  $[m^2\text{-Sab}]$  erottamaan absorptioala tavallisesta pinta-alasta. (RIL 243-1-2007, 49.)

Absorptioala ei ole sama kuin materiaalin pinta-ala. Jos materiaalin absorptiosuhde on 0,8 ja sen pinta-ala on  $10 m^2$ , on materiaalin absorptiopinta-ala  $8 m^2\text{-Sab}$ . (RIL 243-1-2007, 49.)

## 2.9 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika  $T$  [s] kuvaa, kuinka nopeasti äänilähteen tilaan synnyttämä äänenpainetaso laskee, kun äänilähde on sammutettu. Jälkikaiunta-ajan kuluessa äänenpainetaso tilassa alenee 60 dB. Olemassa olevan tilan jälkikaiunta-aika voidaan määrittää voimakkaan äänilähteen avulla niin, että äänilähde sammutetaan äkillisesti ja äänenpainetason laskuun kuluva aika mitataan. (RIL 243-1-2007, 50.)

Mitä lyhyempi jälkikaiunta-aika esimerkiksi puhetiloissa on, sitä nopeammin puheen tavut vaimenevat. Mitä pidempi jälkikaiunta-aika on, sitä enemmän tavut jäävät soimaan toistensa päälle ja puheen selvyys kärsii. Puhe- ja muissa esiintymistiloissa jälkikaiunta-ajan lyhentäminen parantaa ääniolosuhteita tiettyyn rajaan saakka. Jos absorptioala on liian suuri, puheen äänitaso voi laskea taustamelun tasolle, mikä puolestaan vaikeuttaa puheen erottumista. (RIL 243-1-2007, 50.)

Diffuusi äänikenttä tarkoittaa, että kaikissa huoneen pisteissä vallitsee sama äänenpainetaso. Tämä on mahdollista, jos huone on kuutiomainen, kovapintainen ja huoneen mitat ovat huomattavasti tarkasteltavan äänen aallonpituutta suuremmat. (RIL 243-1-2007, 50.)

Jos huoneen äänikenttä on diffuusi, jälkikaiunta-ajalla, tilavuudella  $V$  [ $m^3$ ] ja absorptioalalla on Sabinen kaavan mukainen yhteys:

$$T = 0,16 * \frac{V}{A} \quad (4)$$

Sabinen kaavaa voidaan soveltaa riittävällä tarkkuudella suurimmassa osassa huonetiloja. Se ei kuitenkaan sovellu suurten ja voimakkaasti absorboivien tilojen absorptioalan arviointiin. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi avotoimisto tai kirjasto.

Sabinen kaavan antamat tulokset eivät ole myöskään oikeat, jos tilan koko absorptioala on keskitetty yhteen pintaan ja muut pinnat ovat lähes heijastavia. Vaativimpien kohteiden suunnittelussa on käytettävä tarkempia menetelmiä. Esimerkkejä erilaisten tilojen jälkikaiunta-ajoista on kuviossa.

Taulukko 3. Esimerkkejä jälkikaiunta-ajoista (RIL 243-1-2007).

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

### **3 Ilmaääneneristävyyden mittaaminen**

#### **3.1 Laboratoriomittaus**

Laboratoriomittauksen tavoitteena on määrittää tietyn rakennusosan ilmaääneneristävyys luotettavasti. Laboratorio käsittää kaksi vierekkäistä huonetta, joiden välissä on aukko tutkittavaa rakennusosaa varten. (RIL 243-1-2007, 58.)

Laboratoriojärjestelyn tavoitteena on saavuttaa tilanne, jossa voidaan luotettavasti mitata sitä ääntä, joka siirtyy lähetyshuoneesta vastaanottohuoneeseen tutkittavan näytteen välityksellä. Sen vuoksi sivutiesiirtymät huoneiden välillä on eristetty mahdollisimman hyvin. Mittaushuoneet ovat yleensä massiivisia ja toisistaan runkoäänieristettyjä, eikä huoneiden välisissä rakenteissa ole äänivuotoja. Tämän vuoksi laboratorioarvoja ei voida saavuttaa rakennuksessa kuin ainoastaan tilanteissa, joissa sivutiesiirtymät ovat alhaisia ja äänivuotoja ei ole. (RIL 243-1-2007, 58.)

#### **3.2 Äänen voimakkuuden mittaus**

Korvan antama kuulotaju on erilainen matalilla, keskikorkeilla ja korkeilla äänillä. Lisäksi se riippuu äänen voimakkuudesta, intensiteetistä I. Mitatessa ihmisen kuuloaistimuksia foniasteikolla ihmisen kuulo on herkimmillään 3000 - 4000 Hz:n alueella. Yli 4000 Hz:n alueella kuulokyky taas heikkenee. (Siikanen 1996, 121.)

Äänenpaine tai -paineisto voidaan mitata laitteistolla, johon kuuluvat mikrofoni, joka muuttaa äänenpaineen vastaavaksi jännitteen värähtelyksi, vahvistin ja voimakkuuksia osoittava mittari. Äänitasomittari näyttää äänenpaine arvot desibeleinä. (Siikanen 1996, 121.)

IEC:n kansainvälisesti standardisoimassa melumittarissa eli äänitasomittarissa ei vahvistimen taajuuskäyrä ole lineaarinen. On standardisoitu neljä eri painotus-suodatinta, A-,B-,C- ja D-suodattimet. Kansainvälisesti on standardisoitu kolme painotuskäyrää A, B ja C. Näistä käytetään:



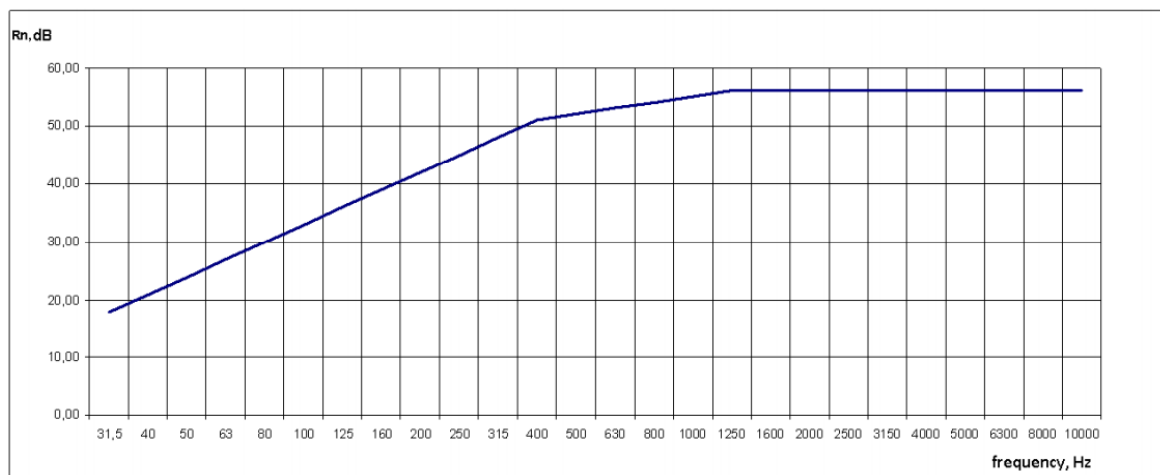
- A-painotusta, kun taso on  $\leq 55$  dB
- B-painotusta, kun taso on 55 - 85 dB
- C-painotusta, kun taso on  $\geq 85$  dB
- D-käyrä korostaa voimakkainta ääntä. Se on tarkoitettu lähinnä lentomelun mittaamiseen.

Nykykäytännössä A-painotusta käytetään melkein missä tahansa tilanteessa, paitsi ampuma- ja lentomelu ja muut voimakkaat äänet. (Siikanen 1996, 121.)

### 3.3 Ilmaäänieristysluku

Ilmaääneneristävyys riippuu taajuudesta. Testitulokset esitetään yleensä vähintään taajuuksilla 100 - 3150 Hz tai mieluummin taajuuksilla 50 - 5000 Hz. Edellisellä tavalla saadaan siis 16 kolmasosaoktaavikaistan mittausrvoja ja jälkimmäisellä 21. Tässä muodossa ilmaääneneristävyyssarvoja on hankala käyttää. Tätä varten on kehitetty ilmaääneneristysluku  $R_w$ , joka määritetään ISO 717-1 mukaan. Vastaavasti kenttäolosuhteissa käytetään pilkullista merkintää  $R'_w$ . Rakentamismääräykset ja suositukset esitetään  $R'_w$ :n arvolle. (RIL 243-1-2007, 59.)

Ilmaääneneristysluku ei ole ilmaääneneristävyyssarvojen keskiarvo, vaan eräänlainen painotettu keskiarvo. ISO 717-1 esittää erityisen vertailukäyrän, jonka muoto perustuu ylhäältä puheäänien taajuusjakaumaan ja toisaalta korvan herkkyyteen. Ilmaääneneristysluku on kehitetty pelkistämään kysymystä siitä, miten hyvin rakenteet eristävät puheääntä asuintilojen välillä. Toisaalta on myös otettu huomioon korvan herkkyys äänille. Näiden seurauksena optimaalinen ääneneristävyys edellyttää korkeampia ääneneristysarvoja suurilla taajuuksilla kuin pienillä taajuuksilla. (RIL 243-1-2007, 60.)



Kuvio 2. Iso 717-1 vertailukäyrä.

### 3.4 Laboratorio- ja kenttätuloksen erot

Rakennuksissa ilmaääneneristävyyden mitoitus tähtää siihen, että sivutiesiirtymien vaikutus ilmaääneneristävyyteen olisi pieni. Yleensä tämä tarkoittaa sitä, että  $R_w - R'_w < 3$  dB. Tällöin suurin osa äänienergiasta siirtyy vielä erottavan rakenteen välityksellä. Käytännössä erot ovat kuitenkin tätä suurempia varsinkin betonirakenteissa asuinhuoneistoissa, joissa tavoitetasot ovat korkeita ja sivuavat rakenteet eivät poikkea massaltaan oleellisesti erottavasta rakenteesta. (RIL 243-1-2007, 66.)

Monessa lähteessä esitetään yleisenä periaatteena, että kenttäolosuhteiden arvot ovat 3 - 6 dB laboratorioarvoja pienempiä. Näin ei voi kuitenkaan yleistää. Jos rakenteessa on vuotokohtia, ero voi olla jopa yli 20 dB. Myös väärin suunnitellut sivuavat rakenteet voivat aiheuttaa 5 - 10 dB:n eroja  $R'_w$ :n ja  $R_w$ :n välillä. Jos sivutiesiirtymää ei ole ja rakenteet ovat tiiviitä, laboratorio- ja kenttämittauksen ero voi olla alle 1 dB. (RIL 243-1-2007, 65.)

Mitoituksen kannalta olisi optimaalista, että ero olisi noin 3 - 5 dB, koska tällöin sivuteitä pitkin ja väliseinän läpi kulkeutuvat äänitehot ovat kutakuinkin yhtä suuret. Tätä suuremmat erot viestivät siitä, että rakenteelliset sivutiesiirtymät eivät ole hallinnassa. Tällöin tiloja erottavan rakenteen parantaminen ei ole enää kannattavaa, vaan parannukset pitäisi tehdä ensin sivuaviin rakenteisiin. Äänivuodot tai muut

ilmaa pitkin tapahtuvat äänen kulkureitit ovat usein selitys suureen eroon. (RIL 243-1-2007, 66 – 67.)

### **3.5 Intensiteettimenetelmä**

Äänenpainetaso mitataan yhdellä mikrofonilla. Näin tehdään suurin osa akustisista mittauksista. Äänenpainemittauksella saadaan selville yhdessä pisteessä vallitseva äänenpaine, mutta ei äänen tulosuuntaa. Jälkimmäistä varten on kehitetty intensiteettimittausmenetelmä. (RIL 243-1-2007, 67.)

Intensiteettiä voidaan mitata ns. kaksimikrofonianturilla. Anturi koostuu kahdesta lähekkäisestä vaihesovitetusta mikrofonista, joiden äänenpainesignaaleista intensiteetti voidaan laskea. Intensiteettimenetelmää voidaan soveltaa sekä kentällä, että laboratoriossa. Menetelmästä on erityistä hyötyä, kun halutaan paikallistaa äänen säteily- tai vuotokohtia näytteessä, tai kun halutaan osoittaa rakenteellista sivutiesiirtymää aiheuttava pinta. (RIL 243-1-2007, 67.)

## 4 Ilmaääneneristys

Rakenteen ilmaääneneristävyyteen vaikuttavat rakennusosan paino, kerroksellisuus, reiät, tiiviys, kytkennät rakenteen sisällä ja liittyminen muihin rakenteisiin. Yksinkertaisen rakenteen äänen eristävyys riippuu pääasiassa rakenteen  $m^2$  -painosta ja tiiviyydestä, kun taas monikerroksisissa rakenteissa on merkitystä myös kerrosten jäykkyydellä, keskinäisellä etäisyydellä, väliaineella ja kytkennöillä.

Äänen eristämiseen käytetään toimintatavoiltaan erityyppisiä rakenteita:

- yksinkertaiset massiiviset rakenteet, tai niiden tavoin toimivat rakenteet
- kaksinkertaiset tai useampikerroksiset rakenteet
- massiiviset rakenteet, joihin on lisätty äänensäteilyä vähentävä rakenne.  
(Siikanen 1996, 124.)

### 4.1 Absorboivan pinnan vaikutus ääneneristävyyteen

Absorboivalla pinnalla tarkoitetaan rakennetta, jossa tiiviin rakenteen pinnalla on huokoinen materiaalikerros. Tällainen rakenne voi olla esimerkiksi pintaan liimattu villalevy kantavan rakenteen päällä tai sisäkatto. Joissakin yläpohja- tai seinäratkaisuissa myös osaa lämpöeristeestä voidaan hyödyntää absorboivana pintana. Tällaisen rakenteen verhoiluna voidaan käyttää esimerkiksi rei'itettyä levyä tai riimoja. (RIL 243-1-2007, 88.)

Yleensä käsitteet absorptio ja äänieristävyys on totuttu pitämään tarkoin erillään siten, että tiiviit massiiviset rakenteet ovat ääntä eristäviä ja huokoiset levyt ääntä absorboivia. Todellisuudessa kuitenkin absorboiva pinta parantaa myös ääneneristävyyttä sen lisäksi, että se lyhentää jälkikaiunta-aikaa. (RIL 243-1-2007, 89.)

Absorboiva pinta parantaa erityisesti korkeiden taajuuksien ääneneristävyyttä. Jos paljas rakenne on suurilla taajuuksilla jo itsessään hyvin toimiva, absorboiva pinta

ei vaikuta yhtä paljon  $R_w$ -arvoon, kuin korkeita taajuuksia huonosti eristävissä rakenteissa. (RIL 243-1-2007, 89.)

#### 4.2 Rakojen vaikutus ilmaääneneristävyyteen

Useimmat rakenteet ja tuotteet on tarkoitettu tiiviiksi ja niiden laboratoriotestaus tapahtuu ideaalitulanteessa, jossa testattavaan näytteeseen ei jätetä työvirheistä aiheutuvia rakoja. Käytännössä rakoja voi jäädä rakenteeseen työvirheiden tai huonon työmaaohjeistuksen vuoksi. Yleisimmin äänivuotoja havaitaan ovissa ja ikkunoissa. Kevytväliseiniin ja järjestelmäväliseiniin jää usein rakoja tiivistämättömien saumojen vuoksi. Myös massiivisissa rakenteissa voi olla äänivuotoja, jotka johtuvat useimmiten huonosti valetuista liitoksista. (RIL 243-1-2007, 86.)

Tiiviydellä on erittäin suuri vaikutus keskisuurilla ja suurilla taajuuksilla. Rakojen ääneneristävyyttä heikentävä vaikutus on suurin silloin, kun tiiviin rakenteen osan ääneneristävyys on korkea. (RIL 243-1-2007, 86.)

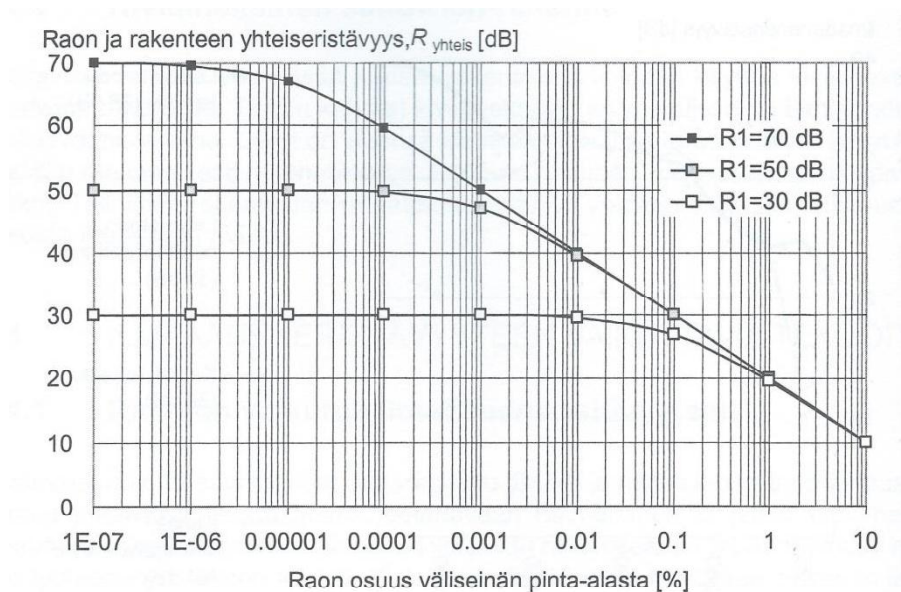
Raon ääneneristävyys riippuu taajuudesta. Ääneneristävyys on suurimman osan taajuusalueesta suurempi kuin nolla, tyypillisesti 5 ja 10 dB:n välillä. Poikkeuksena ovat erikoistaajuuudet, joilla rako muodostuu rakenteen paksuussuunnassa seisova aalto. Resonanssitaajuudella raon ääneneristävyys on -5 ja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

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

Käytännössä raon resonanssi havaitaan yleensä ovilla. Kun ovilehden paksuus on 50 mm, pienten rakojen olemassaolo havaitaan ensimmäiseksi 2500 Hz:n alueelle muodostuvassa ääneneristävyyden heikkenemässä. Kun rakoja on paljon, äänivuodot näkyvät laajalla taajuusalueella, koska raot eivät ole enää putkimaisia. (RIL 243-1-2007, 87.)

Rakojen tiivistäminen on erittäin tärkeää, kun on odotettavissa mahdollisten rakojen olevan kovapintaisia, esimerkiksi ovien ja ikkunoiden raoissa. Jos raossa on absorboivaa materiaalia, on raon ääneneristävyys huomattavasti korkeampi kuin 0 dB. (RIL 243-1-2007, 87.)

Raon pinta-alan osuuden rakenteessa tulisi olla mahdollisimman pieni. Tiiviyden merkitys kasvaa rakenteen ääneneristävyyden kasvaessa. (RIL 243-1-2007, 88.)



Kuvio 3. Rakojen heikentävä vaikutus ilmaääneneristävyyteen. (RIL 243-1-2007).

### 4.3 Rakennuslevyjen ääntä eristävät ominaisuudet

Ääneneristykseen kannalta rakennuslevy katsotaan ohueksi, jos sen paksuus on välillä 0,4 mm ja 25 mm. Ohuiden levyjen pintamassat ovat tyypillisesti välillä 2 – 50 kg/m<sup>2</sup>. Jotkut raskaammatkin rakenteet luetaan ohuiden levyjen joukkoon, esimerkiksi 10 mm teräslevy, jonka pintamassa on noin 80 kg/m<sup>2</sup>. (RIL 243-1-2007, 70.)

Ohuen levyn ilmaääneneristysluku voidaan jakaa kahteen taajuusalueeseen: massalakeeseen ja jäykkyysalueeseen. Pienillä taajuuksilla ääneneristävyys kasvaa 6 dB taajuuden tai massan kaksinkertaistuessa. Tätä kutsutaan massalakeeksi. Massalake pätee kuitenkin vain ns. koinsidenssin rajataajuuden  $f_c$  puolikkaaseen asti, jonka jälkeen ääneneristävyys laskee alle massalakeen arvon. (RIL 243-1-2007, 70 – 71.)

Ohuen levyn ääneneristys paranee, kun pintamassa kasvaa ja taivutusjäykkyys pienenee. Mitä jäykempi levy on, sitä alempana koinsidenssin rajataajuus on. Hyvä ilmaääneneristysluku saadaan käyttämällä levyjä, joiden koinsidenssin rajataajuus on vähintään 2500 Hz. Tällöin koinsidenssikuoppa sijaitsee ilmaääneneristysluvun  $R_w$ -määrittämisen kannalta epäoleellisella taajuusalueella, eikä heikennä  $R_w$ -arvoa. (RIL 243-1-2007, 72 – 73.)

Ohuiden levyjen ainoa värähtelymuoto on taivutusvärähtely. Energian siirtyminen taivutusaallosta ilmaan, eli äänensäteily tapahtuu kuitenkin täysin eri tavoin oltaessa koinsidenssin rajataajuuden alapuolella tai yläpuolella. Edellisessä tapauksessa ääni säteilee taivutusaaltojen ääntä vain kiinnityskohdistaan, eli laidoilta ja pystyrunkojen kohdalta, joihin levy on ruuvattu. Levyn keskiosista säteilee pakkovärähtelyn ääntä, jota säteilee massalaki. Koinsidenssin rajataajuuden yläpuolella puolestaan koko levy säteilee tasaisesti ääntä. Tätä sanotaan resonoivaksi säteilyksi. (RIL 243-1-2007, 73.)

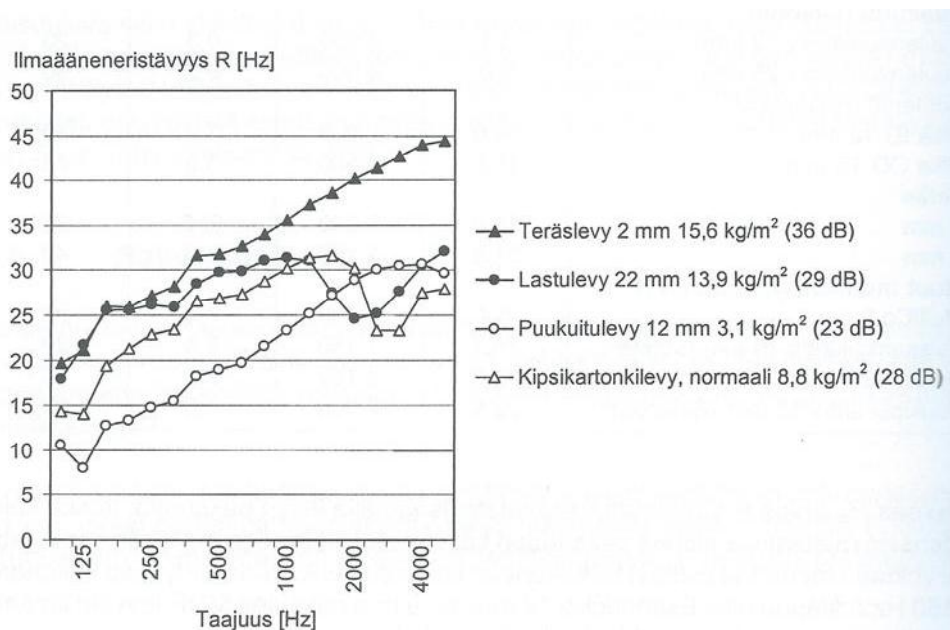
Rakennuslevyjen ilmaäänieristysarvoja on vertailtu Taulukossa 4. Rakennuslevyjen ominaisuudet vaihtelevat runsaasti. Taulukkoa voi käyttää hyväksi, kun valitaan äänieristävyyden kannalta optimaalista rakennuslevyä haluttuun käyttötarkoitukseen. (RIL 243-1-2007, 73.)

Korkeaa  $R_w$ -arvoa ei välttämättä saavuteta lisäämällä levyn paksuutta, koska koinsidenssin rajataajuus alenee paksuuden kasvaessa. Näin massalla saavutettu etu voidaan menettää osittain tai kokonaan koinsidenssikuopan siirtyessä kokonaan 3150 Hz:n alapuolelle. Esimerkiksi 12 mm ja 19 mm paksujen MDF-levyjen ilmaääneneristysluvut ovat samat tämän ilmiön vuoksi. (RIL 243-1-2007, 73.)

Taulukko 4. Rakennuslevyjen ilmaääneneristävyyden ominaisuuksia (RIL 243-1-2007).

	m	fc	E	Rw
	kg/m <sup>2</sup>	Hz	Gpa	dB
<b>Kipsikartonki</b>				
Saneeraus 6 mm	5,9	5000	5,4	28
Tuulensuoja 9 mm	7,6	3150	4,8	28
Normaali 13 mm	8,8	2500	3,0	28
Erikoiskova 13 mm	11,7	2500	4,5	29
Lattia 15 mm	16,8	2000	7,8	31
<b>Puupohjaiset</b>				
Lastulevy 11 mm	7,0	4000	2,9	29
MDF 12 mm	9,2	2500	6,3	28
Vaneri 15 mm	10,4	1600	11,0	26
MDF 19 mm	13,8	1600	4,8	28
Lastulevy 22 mm	13,9	2000	3,4	29
Vaneri 21 mm	15,0	1250	11,0	28
<b>Puukuitu</b>				
Tuulensuojalevy 12 mm	3,1	8000	0,3	23
Tuulensuojalevy 25 mm	8,0	4000	0,2	30
<b>Teräs</b>				
2 mm	15,6	8000	213	36
4 mm	31,2	3150	213	40





Kuvio 4. Rakennuslevyjen koinsidenssitaajuuksia (RIL 243-1-2007).

#### 4.4 Resonaattorit

Koska vaimennukseen käytettävien huokoisten levyjen ja muiden huokoisten materiaalien käytännölliset paksuudet mahdollistavat tehokkaasti vain kokeiden äänien vaimennuksen, käytetään matalien ja keskikorkeiden äänien vaimennukseen yleisesti erilaisia resonaattorirakenteita. Niiden etuna on myös pieni rakennepaksuus. (Siikanen 1996, 148.)

##### 4.4.1 Levyresonaattori

Yksinkertaisin resonaattori on levyresonaattori. Se muodostuu kiinteään seinämän eteen asennetusta jäykästä värähtelykykyisestä levystä, joka on koolausten avulla irrallaan vaimennettavasta pinnasta. Rakenne on jousi-massajärjestelmä, jossa ilma toimii jousen ja levy massana. Levyresonaattorin teho perustuu siihen, että ääniaallot eivät pääse heijastumaan takaisin huonetilaan, vaan ne värähtelevät resonanssitaajuudella levyn ja sen takana olevan ilmatilan kanssa. Levyn massa pääsee värähtelemään ilmatilan muodostaman jousivoiman varassa, jolloin muo-

dostuu yksinkertainen resonanssijärjestelmä. Levyn omalla jäykkyydellä on vähäinen vaikutus, ellei levyä ole kiinnitetty tihein välein. (Siikanen 1996, 148.)

Pinta imee parhaiten rakennelman resonanssitaajuudella, joka voidaan laskea kaavalla:

$$f_0 = \frac{60 \text{ Hz}}{m \cdot d} \quad (5)$$

jossa:

$f_0$  = resonanssitaajuus

$m$  = levyn massa ( $\text{kg/m}^2$ )

$d$  = ilmaväli (m)

#### 4.4.2 Reikäresonaattori

Reikäresonaattorissa vaimentava pinta verhotaan rakenteella, jossa puukorokkeiden päällä on rei'itetty levy (rei'itysprosentti 10-15). Levyn ja taustaseinän väliin jää ilmaväli. (Siikanen 1996, 149.)

Vaimennusta tehostetaan sijoittamalla vaimennusmateriaalia ilmaväliin. Vaimennusaluetta voidaan säädellä muuttelemalla levyn ja ilmatilan paksuutta ja reikien kokoa ja lukumäärää samoin kuin vaimentavan huokoisen aineen määrää. (Siikanen 1996, 149.)

#### 4.5 Kaksinkertainen rakenne

Kaikilla rakenteilla, joissa on massa ja siihen joustava osa eli ns. massa-jousimassajärjestelmä, on tietty kohta, jossa heilahtelu voimistuu. Tätä kohtaa sanotaan resonanssikohdaksi ja taajuutta, jolla resonanssikohta saavutetaan, kutsu-

taan resonanssitaajuudeksi. Jos jousijärjestelmään lisätään kitkaa synnyttävää materiaalia, eli sijoitetaan seinänpuoliskojen väliin esimerkiksi pehmeää mineraalivillaa, ääneneristävyyks paranee korkeilla taajuuksilla. Matalilla taajuuksilla vaikutus on 1 - 2 dB. Vaimennusmateriaali ei vaikuta resonanssiin. Kaksinkertaisissa levyrakenteissa parantaa välitilaan sijoitettu mineraalivilla eristävyyttä 5 - 10 dB. Keskiarvona voidaan pitää noin 6 dB. (Hongisto, 2007.)

Jos kaksinkertaisen seinän ilmvälissä ei ole lainkaan absorptiomateriaalia, ääneneristävyyks heikkenee. Tämä johtuu siitä, että ilmväliin syntyy seisovia aaltoja aivan samoin kuin huonetilaan sen ollessa kaikuisa. Kaiunta tapahtuu pienillä ja keskisuurilla taajuuksilla pääasiassa levyn suuntaisesti pysty- ja vaakasuunnassa. Suurilla taajuuksilla kaiuntaa on myös kohtisuoraan levyjä vastaan. Ilmvälin absorptiomateriaalin tehtävänä on estää kaiunta kaikissa kolmessa suunnassa. Eri-tyisen tärkeää on vaimentaa levyn suuntaiset seisovat aallot, jotka heikentävät ääneneristävyyttä alle 1000 Hz:n taajuuksilla. (Hongisto 2007.)

Kerroksellisissa rakenteissa resonanssitaajuuteen vaikuttavat alentavasti levykerrosten massan lisääminen ja kerrosten välisen ilmatilan suurentaminen. Ohuissa levyrakenteissa pyritään koinsidenssitaajuus saamaan yleisimmän äänialueen yläpuolelle. (Hongisto 2007.)

Jos levyt kiinnitetään yhteiseen runkoon, syntyy vain osittain kaksinkertainen rakenne. Jos runko on joustava ja päällyspevyt taipuisia, rakenne toimii lähes moitteettomasti kaksinkertaisena rakenteena. (Hongisto 2007.)

#### **4.6 Kytketyn kaksinkertaisen levyseinän ilmaääneneristävyyks**

Sekä teoreettiset laskelmat, että käytännön mittaustulokset osoittavat, että kaksitai useampikerroksisilla rakenteilla saavutetaan kerrosten massasta riippumatta huomattavasti parempia ilmaääneneristävyyksiä kuin yksinkertaisilla rakenteilla. (Siikanen 1996, 127.)

Kaksinkertaisen rakenteen muodostavat kaksi samansuuntaista tiivistä levyä, joiden välissä on ilmatila. Ilmatilaan voidaan sijoittaa pehmeää materiaalia, esimer-

kiksi mineraali- tai selluvillaa ääneneristävyyden parantamiseksi. (Siikanen 1996, 127 – 128.)

Kaksinkertaisen seinämän toiminta on monimutkaisempi kuin yksinkertaisen seinämän. Äänenpaine aiheuttaa toiseen seinänpuoliskoon heilahdusliikkeen, joka on sitä vähäisempi, mitä raskaampi seinänpuolisko on. Heilahdusliike siirtyy välissä olevan ilmajousen kautta toiseen seinänpuoliskoon. Välittyminen on sitä heikompa, mitä pehmeämpi ilmajousi on, ts. mitä suurempi ilmapäli on. Myös toinen seinänpuolisko värähtelee sitä vähemmän, mitä raskaampi se on. (Siikanen 1996, 128.)

Seinämän kerrosten materiaalien valinnassa ja rakenteellisessa suunnittelussa pyritään siihen, että ilmanääneneristävyyttä huonontavat rakenteelle ominaiset resonanssitaajuus ( $f_0$ ) ja koinsidenssitaajuus ( $f_c$ ) osuvat tärkeimmän äänialueen 100 - 3150 Hz:n ylä- tai alapuolelle. (Siikanen 1996, 128.)

Kaksinkertaisen levyseinän levypuoliskojen välillä on usein kytkentä esimerkiksi rangan ja/tai kiskon välityksellä. Tämän seurauksena ääneneristävyys heikkenee erityisesti keskitaajuuksilla ja suurilla taajuuksilla. Pienillä taajuuksilla ääneneristävyys ei juuri heikkene kytkentöjen vuoksi, sillä silloin ääneneristävyys riippuu lähinnä rakenteen massasta. Kytkennät heikentävät yleensä ääneneristävyyttä 100 - 200 Hz:n yläpuolella. Kytkennän ääneneristävyyttä heikentävä vaikutus kasvaa taajuuden kasvaessa ollen jopa useita kymmeniä desibelejä 4000 Hz:n kohdalla. (RIL 243-1-2007, 78.)

Mitä joustavampaa rankaa käytetään, sitä parempi ääneneristävyys yleensä saavutetaan. Joustavuus ei kuitenkaan toteudu seinän laidoilla, koska kiskot ja laitimaiset rangat ovat usein jäykästi kiinni rakenteissa. Joustavalla rangalla saavutetaan etua vain seinän keskiosissa. (RIL 243-1-2007, 78.)

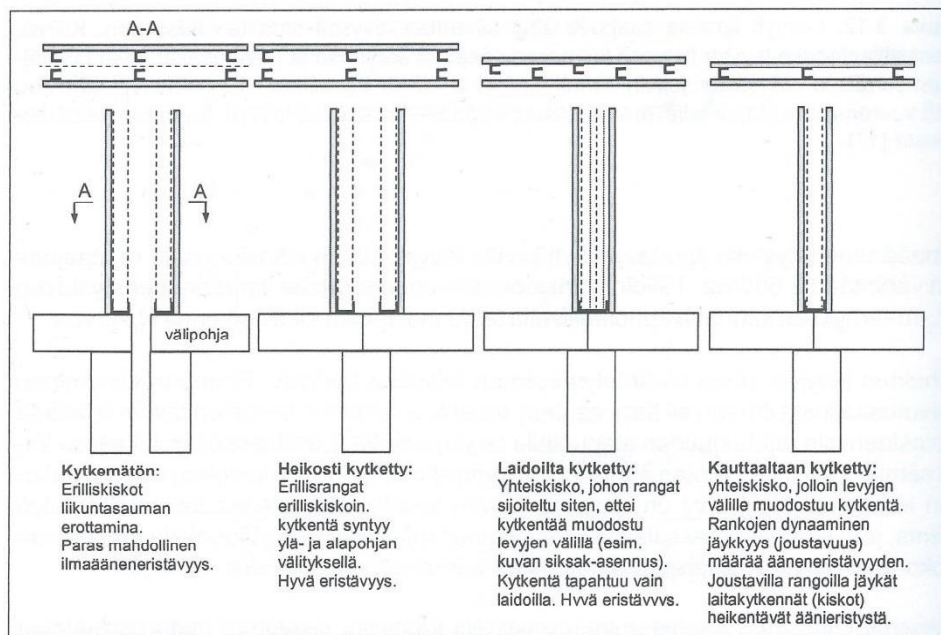
Ääntä kulkeutuu kytketyssä seinässä kahta eri reittiä pitkin: sekä rankojen, että ilmapäliissä vallitsevan äänikentän välityksellä. Rankareitti on määräävä massailmamassa –resonanssin yläpuolella. Siksi ilmapälin absorptiomateriaali ei vaikuta rangoilla kytketyn seinän ääneneristävyyteen läheskään yhtä paljon kuin kytkemättömän seinän ääneneristävyyteen. Ilmapälin absorptiomateriaali onkin lähes merkityksetön, kun rangat ovat jäykkiä, esimerkiksi puuta. (RIL 243-1-2007, 78.)

Joustavilla teräsranangoilla toteutetun seinän ääneneristävyys voi olla siltataajuuden yläpuolella 5 - 10 dB parempi kuin puurungolla toteutetun seinän riippuen rangan johtavuudesta ja taajuudesta. Teräsranvoja oikein muotoilemalla ja rei'ittämällä ääneneristävyysominaisuudet paranevat. Koska pienet taajuudet vaikuttavat eniten  $R_w$ -arvoon, tuovat joustavat rangat korkeintaan 8 - 10 dB:n parannuksen  $R_w$ -arvoon puurankaan verrattuna.

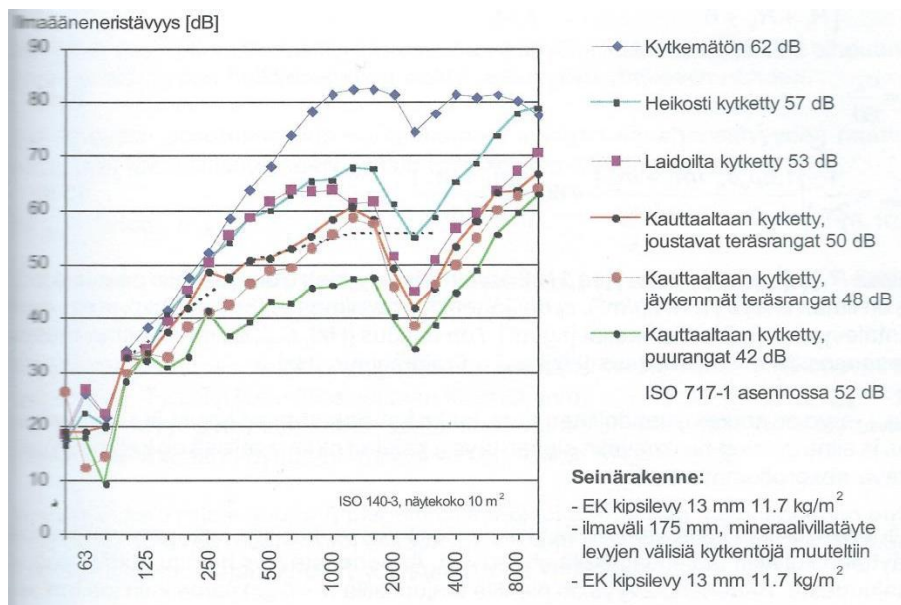
Kytketyn kaksinkertaisen levyseinän ääneneristävyys paranee, kun

- Kyt kentöjen (rankojen ja kiskojen) määrä vähenee.
- Kyt kentöjen joustavuus paranee eli dynaaminen jäykkyys pienenee.
- Levyn kiinnitys rankoihin heikkenee (ruuvien määrä pienenee tai ruuvauksen kireys pienenee). (RIL 243-1-2007, 75.)

Moninkertainen rakenne toimii periaatteessa kuten kaksinkertainen rakennekin. Järjestelmässä on useita resonanssitaajuuksia. Jos seinän kokonaispaksuus on sama ja käytetään samanpainoisia levyjä, on alin resonanssitaajuus lähes sama kuin kaksinkertaisella seinällä. Tämän yläpuolella ovat vielä seuraavat resonanssi- kohdat. Kun kaksinkertainen ja moninkertainen seinä eristävät aina erittäin hyvin korkeita ääniä, kaksinkertaisella seinällä on lisäksi helpompi saavuttaa matalien äänien eristävyys. Useampikertaiset rakenteet eivät harvinaisia poikkeuksia lukuun ottamatta ole tarkoituksenmukaisia. Yleensä moninkertaisilla seinillä saavutetaan huonompi kokonaistulos kuin kaksinkertaisilla. (Siikanen 1996, 130.)



Kuvio 5. Levyseinän kytkentöjen määritelmät. (RIL 243-1-2007).



Kuvio 6. Kytkentätavan vaikutus ilmaääneneristävyyteen. (RIL 243-1-2007).

## 5 Siirtoseinät

Siirtoseiniä käytetään sellaisten tilojen välissä, jotka halutaan helposti yhdistää suureksi tilaksi. Tällaisia kohteita on mm. ravintoloissa, kongressikeskuksissa, kokoustiloissa, auditorioissa, opetustiloissa, urheiluhalleissa ja erilaisissa monitoimisaleissa. (RIL 243-1-2007, 95.)

Siirtoseinät koostuvat esimerkiksi 600 - 1200 mm leveistä ja lähes huoneen korkeisista seinäelementeistä, jotka roikkuvat kiskojen varassa. Elementtejä voidaan helposti liikuttaa ihmisvoimin kiskoja pitkin. Elementtien pystysaumoissa ja ylä- ja alasaumassa on tiivisteet, jotka painuvat tiiviiksi, kun elementti kiristetään. Kun siirtoseinä puretaan, elementit kerätään seinän toiseen päähän varastoon. Siirtoseinän sivuille ja yläpuolelle joudutaan rakentamaan kehysrakenteet, joita vasten kiskot ja muut siirtoseinän asennuksessa tarvittavat urat rakennetaan. Kehysrakenteiden tulee olla suorina, jotta voidaan saavuttaa hyvä tiiviys. (RIL 243-1-2007, 95 – 96.)

Siirtoseinien ääneneristävyyksissä ilmenee rakennuksessa samanlaisia puutteita, kuin ovien ja järjestelmäväliseinien eristävyyksissä. Siirtoseinien laboratorioarvo  $R_w$  voidaan lähes saavuttaa, jos siirtoseinän sivuavat rakenteet on oikein suunniteltu ja toteutettu, sekä siirtoseinä tiiviisti asennettu. (RIL 243-1-2007, 96.)

Itse siirtoseinäelementin rakenteellinen ääneneristävyys voidaan mitoittaa hyvinkin korkeaksi, jopa 50 dB. Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että siirtoseinillä erotettujen tilojen välillä harvoin päästään yli  $R'_w = 40$  dB tason. Läheskään aina ääneneristävyysongelmat eivät liity itse siirtoseinään, vaan siihen liittyviin rakenteisiin. Siirtoseinällä erotettujen tilojen ääneneristävyys voi olla puutteellinen mm. seuraavista syistä:

- Siirtoseinän yläkiskojärjestelmä vuotaa ääntä.
- Saumat vuotavat ääntä, koska elementit eivät tiivisty toisiaan vasten riittävästi hyvin.
- Sivuvia levyrakenteita pitkin kantautuu ääntä.

- Siirtoseinää varten rakennetut kehyskotelot eristävät ääntä heikosti.
- Huoneiden välillä on äänenvaimentamaton ilmanvaihtokanava.
- Siirtoseinässä on ovi, jonka ääneneristävyydelle ei ole vaatimuksia.
- Lattia- ja seinäpinnat ovat epätasaisia, jolloin siirtoseinän tiivisteet eivät painu niitä vasten tarkoituksenmukaisesti. (RIL 243-1-2007, 96.)

Usein siirtoseinä suunnitellaan jakamaan tilaa jälkikäteen käyttäjän toivomuksesta. Siirtoseinä hankitaan, jotta tilojen käyttö monipuolistuisi ja tehostuisi. Tilojen välille ei ole rakennussuunnitelmissa asetettu ääneneristävyyksivaatimusta. Tämän vuoksi esimerkiksi sivuavat seinärakenteet tai ilmanvaihtojärjestelmä saattavat aiheuttaa voimakkaita sivutiesiirtymiä. (RIL 243-1-2007, 96.)

Seuraavat asiat tulisi ottaa huomioon, kun siirtoseinällä erotettujen tilojen välillä tavoitellaan ilmaääneneristysluvun arvoa  $R'_w > 40$  dB:

- Siirtoseinä otetaan huomioon suunnittelun varhaisessa vaiheessa, jolloin sivuavien rakenteiden ja muiden asennusten ääneneristysratkaisut voidaan ottaa huomioon arkkitehtipiirustuksissa.
- Kohteeseen valitaan siirtoseinätyyppi, josta on käytettävissä luotettava laboratoriotestitulokset standardin ISO 140-3 mukaisesti normaalisti tiivistettynä.
- Siirtoseinän ympärille rakennettavat välittömät levyrakenteet ja kotelot tehdään ääneneristykseltään riittäviksi ja tiivistetään.
- Lattianpäällyste katkaistaan siirtoseinän kohdalla.
- Seinien levyrakenteet katkaistaan siirtoseinän kohdalla.
- Siirtoseinään ei sijoiteta ovea, vaan kulku tapahtuu viereisten tilojen kautta.
- Jos siirtoseinään tarvitaan ovi, sen pitää olla ääneneristävyydeltään yhtä hyvä kuin siirtoseinäkin.
- Huoneiden välillä ei ole suoraa ilmanvaihtokanavien läpivientejä, vaan kanavat viedään viereisen tilan kautta ja kanavassa on äänenvaimennin.



- Tiiviysnäkökohdat otetaan huomioon myös muiden läpivientien osalta.
- Siirtoseinän tiivisteet tarkastetaan ja huolletaan aika ajoin. (RIL 243-1-2007, 96.)

Siirtoseinällä on vaikea aikaansaada kovin hyvää ääneneristävyyttä olemassa oleviin kohteisiin, koska edellä mainitut seikat tulee niissäkin ottaa huomioon, eikä niihin enää voida kovin helposti vaikuttaa. Erikoistapauksissa voidaan joutua har-kitsemaan kahden peräkkäisen siirtoseinän rakentamista. (RIL 243-1-2007, 97.)

## 6 Mittaukset

Mittaukset tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoululle valmistuneessa ilmaääneneristystestaukseen soveltuvassa kammiossa. Mittaukset toteutettiin kenttämittauksena, koska tilan pienuuden ja liikuteltavuuden vuoksi rakenteet ovat kevyitä, eivätkä ole täysin sivutiesiirtymättömät. Kontin rakenteille tehty ilmaääneneristysmittaus antoi tulokseksi 70 dB ja siirtoseinäelementtien ääneneristävyys jää selvästi sen alle, joten mittauksia voi pitää luotettavina, koska suurin äänivuoto tapahtuu mitattavan elementin kohdalta.

Mittaukset suoritettiin standardia ISO 140-3 noudattaen ja tulokset esitetään standardin ISO 717-1 mukaisesti.

### 6.1 Mittausmenetelmät

Mittauksissa käytettiin 01dB-Stell- ja Harmonie 4210 laitteistoa ja ilmaääneneristävyys määritettiin 1/3 oktaavikaistoittain 100 – 3150 Hz:n taajuuksilla. Ääni tuotettiin tilaan käyttämällä ympärisäteilevää äänilähdettä. Mittauksissa käytettiin vaaleanpunaista kohinaa. Äänilähdettä käytettiin kahdessa paikkaa lähetyshuoneessa ja sen korkeus lattiasta oli 1,5 metriä. Mikrofonin sijainti tulee olla sellainen, että etäisyys seiniin, kattoon ja lattiaan on vähintään 0,5 metriä. Mikrofonin ja äänilähteen etäisyys tulee olla vähintään 1 metri. Näistä rajoituksista ja vastaanottohuoneen pienuudesta johtuen mikrofonia käytettiin vain yhdessä pisteessä mittausten aikana. (SFS-EN ISO-4, 7.)

Laitteet kalibroidaan aina ennen mittausta asettamalla mikrofoni 94 desibelin äänenpainetta tuottavaan laitteeseen. Ennen varsinaisia ilmaääneneristävyysmittauksia vastaanottohuoneessa mitataan tilan jälkikaiunta-aika ja ulkopuolisten melunlähteiden aiheuttama äänenpaine. Tilan jälkikaiunta-aika oli noin 0,5 sekuntia eri pintamateriaaleista riippuen ja ulkopuolisten melunlähteiden arvot vaihtelivat 21 ja 28 desibelin välillä. Tämän jälkeen lähetyshuoneessa mitattiin emissio, jonka jälkeen voitiin aloittaa rakenteiden ilmaääneneristävyysmittaukset.

Mittaukset aloitettiin tutkimalla erilaisia levyrakenteita vaihtamalla levyjen järjestystä ja materiaaleja, sekä muuttamalla ilmavälin ja rungon paksuutta. Elementit kiilatettiin testausaukkoon vaneririmoja vasten ja saumojen tiivistykseen käytettiin kumi-mattoa ja akryylimassaa.



Kuva 1. Elementti asennettuna ja valmiina testausta varten.

Ensimmäisten mittausten tarkoituksena oli löytää viisi ääneneristävyyden ominaisuuksiltaan erilaista seinärakennetta, joiden eristävyys vaihtelisi 30 - 52 desibelin välillä. Mittauksia tehtiin 25 kappaletta erilaisille rakenteille ja näistä valittiin parhaat ääneneristävyyden ja kustannustehokkuuden perusteella. Levyrakenteiden löydyttyä siirryttiin testaamaan pienoiskoossa olevia elementtejä, joissa oli samantyyppiset kiskot, saumat ja eristyspalkit kuin oikeissa toteutettavissa rakenteissakin.

## 6.2 Havaintoja mittausten aikana

Mittauksia tehtiin monena eri päivänä ja erilaisissa sääolosuhteissa. Mittauksia toistettiin samoille rakenteille eri päivinä ja huomattiin, että tuloksissa oli isoja, 3 - 4 dB:n, heittoa. Ulkopuoliset sääolosuhteet vaikuttavat suuresti testitilojen sisälämpötilaan ja ilmankosteuteen ja näillä huomattiin olevan vaikutusta ääneneristävyyteen. Testauslaboratorioissa olosuhteiden vaikutus pystytään minimoimaan tasaisella huonelämpötilalla ja ilmankosteudella, mutta merikonttiin rakennetussa testustilassa se on hyvin haastavaa sen pienuuden ja ilmastonin puuttumisen takia. Mahdollisimman luotettavien tulosten saamiseksi testustilan lämpötila pyrittiin pitämään mittausten aikana mahdollisimman tasaisena (n. 22 C°) tuuletuksen ja lämpöpatterin avulla. Mittaustulosten heittelyt saatiin minimoitua lämpötilan pysyessä tasaisena.

Vuonna 1929 Sabine huomasi ensimmäisenä eri olosuhteiden vaikutuksen tyhjän huoneen jälkikaiunta-aikaan. Vuonna 1931 Knudsen todisti, ettei ilmiö johtunut pintamateriaalien, vaan ilman absorptio-ominaisuuksien muutoksesta, kun lämpötila ja ilmankosteus vaihtelevat. Ilmiöstä ei löydy kirjallisuutta, josta löytyisi tarkka laskentamalli eri taajuuskaistojen absorptio-ominaisuuksien vaihteluihin, joiden avulla pystyisi ennustamaan huonetilan jälkikaiunta-ajan tarkasti. Tämän tiedon perusteella mittaustulosten heittelyn aiheuttaisi jälkikaiunta-ajan ja ilman absorptiokyvyn muutokset eri olosuhteissa. Mittausten aikana jälkikaiunta-aika mitattiin useaan otteeseen vastaanottohuoneesta, mutta sillä ei ollut merkittäviä vaikutuksia mittaustuloksiin. Vastaanottohuoneen tilavuus on niin pieni, että ehkä tästä syystä johtuen jälkikaiunta-ajan muutokset ovat liian pieniä vaikuttaakseen tulos-

ten vaihtelevuuteen. Mittausohjelma ei ota huomioon lähetysruoneen jälkikäytöaikaa ja huoneen lämmitys vaikutti heti tuloksiin, joten tämä pitää huomioida mittauksia tehdessä tulevaisuudessa. Alla olevassa taulukossa on vasemmalla esitetty nopeasti lämpöpatterilla lämmitetyssä tilassa tehtyjen mittausten tulokset ja oikealla on pidemmän aikavälin mittaustulokset, joissa ulkolämpötila ja ilmankosteus ovat vaikuttaneet tulokseen. Kaikissa testeissä seinärakenne pysyi muuttumattomana. Mittaustuloksia vertaamalla voi päätellä, että lämpötilan nousu vaikuttaa tuloksiin paljon. Ilmankosteudellakin on oma vaikutuksensa, eikä ääneneristävyyden ole täysin verrannollinen lämpötilan nousuun. (Wenmaekers R.H.C, Hak C.C.J.M, Hornikx M.C.J, 2014.)

Taulukko 5. Eri lämpötiloissa tehtyjä mittauksia.

Patterilämmitys				Ulkolämpötilan vaikutus			
Mittaus	°C	RH %	dB	Mittaus	°C	RH %	dB
1.	8,8	65	44	1.	8,8	65	44
2.	9,4	64,5	45	2.	10,4	47,3	45
3.	17,5	45,8	45	3.	15,4	49,6	46
4.	20,5	37	46	4.	16,2	51	46
5.	25,8	42,7	46				

Taustamelun vaihtelevuudella saattaa myös olla pieni merkitys tulosten vaihtelevuuteen. Testaustila on Seinäjoen ammattikorkeakoulun laboratorion pihassa, jonka vieressä kulkee vilkkaasti liikennöity tie. Lisäksi mittausten aikana läheiseltä rakennustyömaalta kantautui työkoneiden melua.

Tulosten heittojen takia kiinnitettiin enemmän huomiota myös äänilähteen sijaintiin ja etäisyyteen mitattavasta ja muista seinärakenteista. Lattiaan teipattiin kaiutinjalustan pyörien kohtaan merkit, että etäisyydet olisivat joka mittaustilanteessa samat ja saataisiin tästä syystä johtuvat mittaustulosten heitot minimoitua

### 6.2.1 Levyrakenteet

Levyrakenteiden testaamiseen käytettiin runsaasti aikaa, että löydettiin viisi ääneneristyskyvyiltään erilaista ja mahdollisimman kustannustehokasta rakennetta. Rakennetta rajoittavina tekijöinä oli paino, paksuus ja kustannustehokkuus. Toivottavaa oli, että rakenteiden paksuus pysyisi Kurikan Interiöörin käyttämän alumiini-

profiilin mitoissa. Levyrakenteilla oli suhteellisen helppo päästä noin 50 desibelin eristävyyksiin, mutta siitä ylöspäin on haastavaa päästä ilman rakenteen paksuuden kasvattamista.

Yrityssalaisuus

### 6.2.2 Seinäelementit

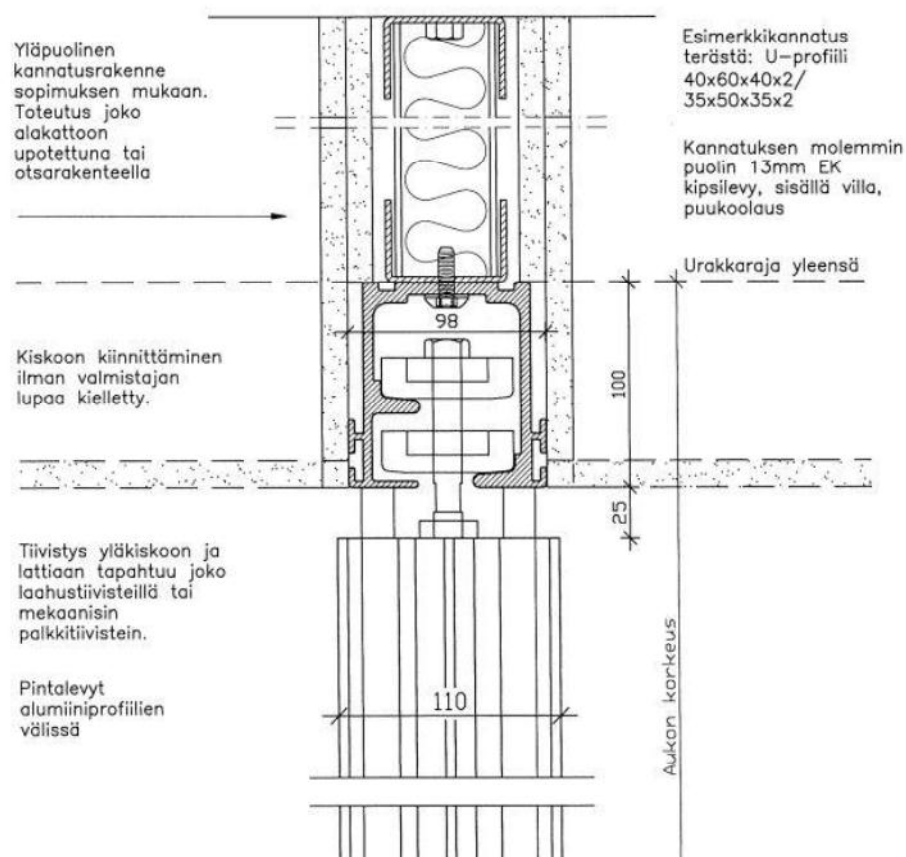
Yrityssalaisuus

Vuotokohtien paikantamisessa apuna käytettiin Flexus-vuotopaikanninta, joka lähettää ultraääntä lähetyshuoneessa. Ihminen ei pysty kuulemaan niin korkeita taajuuksia ja vastaanottimena käytetäänkin liikuteltavaa mikrofonia ja kuulokkeita, jotka muuttavat äänen ihmiskorvalle sopivaksi. Ultraääni on hyvä rakojen ja vuoto-kohtien tutkimiseen, koska korkean taajuuden tiheät ääniaallot tunkutuvat helposti raoista ja antavat suuren kontrastin verrattuna tiiviiseen pintaan. Vuotopaikantimella tehdyistä kokeista ei saa varsinaisia tuloksia ääneneristävyydelle, vaan ne perustuvat kuuloaistimusten varaan.

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus





Kuva 4. Yläkiskon liitos ympäröiviin rakenteisiin.

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

## 7 Taiteoven testaus

Yrityssalaisuus



Kuva 5. Taiteovi asennettuna.

## 8 Pohdinta

Mittaukset olivat hyödyllisiä Kurikan Interiöörin kannalta, koska nykyään lähes jokaisessa julkisessa kohteessa arkkitehti tai rakennuttaja on asettanut ääneneristysvaatimuksia siirtoseinille. Mittauksista saatu tietotaito ja havainnot eri ratkaisujen ja materiaalien vaikutuksesta ääneneristävyyteen on varmasti arvokasta, kun tulevaisuudessa halutaan muuttaa tai kehittää siirtoseinäelementtien rakennetta. Testien aikana myös huomattiin, että pelkän teoriasta saadun tiedon perusteella on hyvin vaikea ennustaa, kuinka eri materiaalien yhdistelyt eristävät ääntä. Yksinkertaisille perusrakenteille pystyy laskemaan eri lähteistä löytyneiden teorioiden avulla varsin tarkat ja lähellä totuutta olevat eristävyysluvut, mutta siirtoseinäelementtien monikerroksiset rakenteet ja tavanomaisesta poikkeavat ratkaisut ovatkin jo erittäin haastavia, tai lähes mahdottomia laskennan kannalta.

Mittaukset olivat ensimmäiset Seinäjoen ammattikorkeakoulun uusissa ääneneristystestaustiloissa ja siinäkin suhteessa saatiin paljon uutta tietoa ja huomioonotettavia asioita tulevien testausten kannalta. Tilojen rakentaminen merikonttiin aiheutti rajoitteita, kuten tilojen pieni koko ja rakenteiden keveys, joiden takia mittaustuloksia ei voi pitää yhtä tarkkoina verrattuna täydellisissä laboratorio-olosuhteissa suoritettuihin mittauksiin. Tulevissa mittauksissa pitäisi kiinnittää huomiota etenkin lämpötilaan ja ilmankosteuteen, koska niiden huomattiin olevan ratkaisevassa osassa mittaustulosten todenmukaisuuteen. Mittauksissa testattiin muutamaa yksinkertaista perusrakennetta, joiden tuloksia pystyttiin vertaamaan laskennan ja laboratoriossa tehtyjen mittausten kautta saatuihin arvoihin. Nämä arvot olivat hyvin lähellä toisiaan, joten testaustiloissa voi saavuttaa hyvin lähellä laboratorio-olosuhteista saatuja tuloksia, kunhan olosuhteet ovat hyvät.

## Lähteet

Hongisto V, 2007. Levyrakenneseinien ilmaääneneristävyyden mallintaminen [Verkojulkaisu]. Tampereen teknillinen yliopisto [Viitattu 23.5.2016]. Saatavana: <http://ylivieska.centria.fi/rdwood/images/Levyrakenneseinien%20ilma%C3%A4%C3%A4nenerist%C3%A4vyyden%20mallintaminen.pdf>

RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

SFS-EN ISO 10140-2:en Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 2: Measurement of airborne sound insulation (ISO 10140-2:2010)

SFS-EN ISO 10140-4:en Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 4: Measurement procedures and requirements

SFS-EN ISO 717-1:en Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation (ISO 717-1:2013)

Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy

Wenmaekers R.H.C, Hak C.C.J.M, Hornikx M.C.J, 2014. The effective air absorption coefficient for predicting reverberation time in full octave bands. Journal of the Acoustical Society of America 1/2014 [Viitattu 29.7.2016]. Saatavana: <https://pure.tue.nl/ws/files/3963155/711965225981798.pdf>

## Liite 1: Mittaustulokset



Rakennuslaboratorio  
PL 64 (Juhonkatu 5), 60101 Seinäjoki  
gsm 040 830 4159

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

Ilmääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

**Tehtävä:** Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus  
**Menetelmät:** ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R':n määrittäminen)  
**Mittauskohde:** Juhonkatu 5, Seinäjoki  
**Mittauspvm:** 21.6.2016  
**Mittaajat:** Jussi Hopiavuori  
**Lähetyshuone:** Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m  
**Vastaanottohuone:** Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m  
**Kuvaus rakenteista:** Testattava elementti:

Yrityssalaisuus

**Lähetyshuoneen tilavuus:** 12,1 m<sup>3</sup>  
**Vastaanottohuoneen tilavuus:** 5,2 m<sup>3</sup>  
**Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:** 1,7 m<sup>2</sup>  
**Laitteisto:** 01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R':n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus



### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmaaneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>n</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>w</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

#### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmaaneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R:n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

#### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

### **KENTTÄMITTAUSRAPORTTI**

#### **Ilmääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain**

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R:n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

### **Yrityssalaisuus**

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

**Yrityssalaisuus**

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R':n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

#### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R':n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

#### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interioori Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>w</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

#### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmaaneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäolosmittien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R':n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

#### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus



### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R:n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m

#### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmaaneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>n</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m

#### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R:n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Kurikan Interiööri Oy:n seinäelementtien testaus
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R':n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	21.6.2016
<b>Mittaajat:</b>	Jussi Hopiavuori
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35 m x 1,8 m x 1,93 m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Testattava elementti:

#### Yrityssalaisuus

<b>Lähetyshuoneen tilavuus:</b>	12,1 m <sup>3</sup>
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	5,2 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,7 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus