



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# ÄÄNIERISTEOVI

Desipo Oy

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Puutekniikan koulutusohjelma  
Puutekniikan suuntautumisvaihtoehto  
Opinnäytetyö  
Valmistumisaika  
Jari Rajakallio

Lahden ammattikorkeakoulu  
Puutekniikan koulutusohjelma

RAJAKALLIO, JARI:

Äänieristeovi  
Desipo Oy

Puutekniikan opinnäytetyö,

71 sivua, 12 liitesivua

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

---

Tämä opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Desipo Oy:n kanssa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Desipolle uusi äänieristeovirakenne, joka eristää ääntä 45 dB, painaa maksimissaan 50 kg ja on maksimissaan 60 mm paksu.

Työn teoriaosuudessa käsitellään äänieristeovimarkkinoiden nykytilannetta ja Desipon kilpailijoita, sekä kerrotaan hieman yleisesti ääneneristävydestä. Kokeellisessa osuudessa selvitetään kehitettyjen rakenteiden ääneneristävyttä, rakenteissa käytettyjä materiaaleja ja niiden hintoja ja mitä ongelmia rakenteita kehitettäessä tuli eteen. Sen jälkeen valmistetaan lupaavimmat rakenteet ja ne testataan Desipon tiloissa MIP Electronicsilta vuokratuilla välineillä suuntaa antavien tulosten saamiseksi.

Avainsanat: Desipo, äänieristeovi

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Wood Technology

RAJAKALLIO, JARI:

Soundinsulation door  
Desipo Oy

Bachelor's Thesis in Wood Technology 71 pages, 12 pages of appendices

Spring 2015

ABSTRACT

---

This thesis was conducted with Desipo Oy. Its purpose was to develop a new soundproof door structure, which insulates 45 dB of the incoming sound. Because of the deteriorating economical situation in Finland, companies need to trim their expense structure and develop new products in order to survive in the market.

In the theoretical part, the current situations of the soundproof door market and at the same time Desipo Oy's competitors were investigated. The practical dealt with clarified the features of the structures that had been developed, the materials which had been used in the structures as well as their prices. The resonance phenomenon affecting to the door's soundproof qualities was also investigated as well as what kind of problems came along when developing new door structures. After that, the changes made to the door frame were explained. The changes were made in a way, that it will not weaken the door's sound insulation capacity.

In the practical part, the most promising door structures were manufactured and their soundproof qualities were tested at Desipo Oy's premises. The tests gave the preliminary results about the door's soundproof capabilities. Based on those results, Desipo can make their decisions about which door type is going to be tested by the VTT, if any.

Key words: Desipo Oy, Soundproof door

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET	2
3	ÄÄNIERISTEOVIVALMISTAJIA	3
3.1	Jeldwen	3
3.2	Haapsalu	3
3.3	Ovesta	4
3.4	Skaala	4
3.5	Dovia	4
3.6	Yhteenveto kilpailijoista	4
4	YMPÄRISTÖMINISTERIÖN ASETUS OVIE TYYPPIHYVÄKSYNNÄSTÄ	5
4.1	Palonkestävyys	5
4.2	Ääneneristävyys	5
4.3	Laadunvalvonta	6
5	YLEISTÄ ILMAÄNENERISTÄVYYDESTÄ	7
5.1	Resonanssi-ilmiö	8
5.2	Koinsidenssi-ilmiö	11
5.3	Kaavat	13
6	MATERIAALIEN PALOLUOKITUS	14
7	MATERIAALIVALMISTAJAT	16
7.1	Knauf Kipso	16
7.2	Ewona	17
7.3	Paroc	17
7.4	Fermacell	18
7.5	Kiilto	18
7.6	SPU	18
8	RAKENTEET	19
8.1	Rakenne-ehdotukset	19
8.1.1	Rakenne-ehdotus 23	20
8.1.2	Rakenne-ehdotus 26	21
8.1.3	Rakenne-ehdotus 35	22
8.2	Koeovissa käytetyt materiaalit <b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>	

8.3	Materiaalien hinnat	24
8.4	Puurungon muutokset	24
9	OVIEN VALMISTUS	26
9.1	Rakenne 23	26
9.2	Rakenne 26	27
9.3	Rakenne 35	28
9.4	Ovien asennus	28
10	OVIEN TESTAUS	34
10.1	Testauslaitteisto	34
10.2	Ovien testaus	35
11	TESTITULOKSET	36
11.1	Desipon nykyinen äänieristeovi	36
11.2	Rakenne 23	42
11.3	Rakenne 26	44
11.4	Rakenne 35	46
12	VÄISÄSEN SUUNNITTELEMAT RAKENTEET <b>VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.</b>	
12.1	40 mm:n Paroc-ovi	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
12.2	Haltex - rakenne	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
12.3	Haltex + 40 mm Haltex	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
12.4	Haltex + 40 mm lasivilla	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
12.5	Haltex + 40 mm:n Paroc	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
12.6	Kerrosväliovi	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
12.7	Desipon nykyinen äänieristeovi yhdellä tiivisteellä	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
13	YHTEENVETO	48
13.1	Rakenteiden eristävydet	48
13.2	Projektin eteneminen	49
13.3	Omat kokemukset	50
13.3.1	Rakenne-ehdotukset	50
13.3.2	Ovien valmistus	50
13.3.3	Ovien testaus	51
	LÄHTEET	52
	LIITTEET	55

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää uusi äänieristeovirakenne, jonka ääneneristävyyskyky olisi 45 dB. Uusi äänieristeovirakenne olisi nykyisessä taloustilanteessa tärkeä kilpailuvaltti, koska uudis- ja korjausrakentaminen on vähentynyt huomattavasti, mutta samalla oville asetetut vaatimukset ovat nousseet asiakkaiden puolelta. Uusi rakenne tultaisiin testaamaan ensin Desipon tiloissa alustavien tulosten saamiseksi, ja mikäli tulokset ovat hyvät, sen jälkeen VTT:llä (Valtion teknillinen tutkimuslaitos) virallisia tuloksia varten. Virallisten tulosten saaminen VTT:ltä on tärkeää, koska ilman niitä uudelle rakenteelle ei ole mahdollista saada CE-merkintää eikä sitä näin ollen voisi myydä Euroopan alueella.

Nykyisin valmistettavat ovirakenteet eivät joko eristä ääntä riittävän hyvin tai ovat liian raskaita tai paksuja pelkästään massaan perustuvan äänieristyksen johdosta. Työ aloitettiin tutkimalla erilaisia materiaaleja ja miettimällä niiden soveltuvuutta ovirakenteeseen. Tutkin myös liikennevälineissä käytettyjä äänieristeitä ja sitä, miten ne voisivat sopia välioviin. Suurin ongelma ovien äänieristyksessä oli matalat taajuudet, jotka laskivat ovien ääneneristävyiden keskiarvoa.

## 2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET

Projektin tavoitteena oli kehitellä uusi äänieristeovirakenne, joka eristäisi ääntä 45 dB, olisi maksimissaan 50 kg painava, 60 mm paksu sekä materiaalikustannukset pysyisivät noin 100 eurossa. Ensimmäinen osa sisälsi erilaisten materiaalien, rakenteiden ja ääneneristävyyden yleistä tutkimista ja sen jälkeen eri rakenteiden ääneneristävyyden laskemista. Toisessa osassa valmistettiin kolme koekappaletta ovista ja testattiin niiden ääneneristävyyden Desipon tiloissa, siellä vallitsevissa olosuhteissa. Testasimme myös Niko Väisäsen aiemmin valmistamia erilaisia ovirakenteita, yhteensä testattavia ovia oli 11 kappaletta ja vertailun vuoksi Desipon nykyinen äänieristeovi. Mikäli Desipolla tehdyt testit antavat lupaavia tuloksia, paras rakenne lähetetään testattavaksi VTT:lle ja sen jälkeen tuote otetaan mahdollisesti tuotantoon.

Teoreettisen osan tavoite oli selvittää mitä eri materiaaleja olisi mahdollista käyttää äänieristeovissa ja sen pohjalta selvittää parhaat materiaalit käyttöön. Tutkimuksellisen osan tavoite oli valmistaa äänieristeovet ja saada niistä alustavat mittaustulokset. Niiden tulosten pohjalta päätettäisiin, lähettäisikö Desipo jonkin rakenteen testattavaksi VTT:lle. Molemmat osat olivat mielestäni tärkeitä yritykselle, koska teoreettinen osa määritteli suuntaviivoja eri materiaalien käytöstä äänieristeovissa ja tutkimuksellinen osa antoi tarkempia mittaustuloksia oven todellisesta ääneneristävyydestä.

### 3 ÄÄNIERISTEOVIVALMISTAJIA

Suurimmat äänieristeovivalmistajat Suomen markkinoilla ovat Jeldwen, Haapsalu, Ovesta ja Skaala. Fenestra asetettiin konkurssiin 28.1.2014, joten se ei ole enää toiminnassa. Fenestran konkurssi kertoo tämän hetken vaikeasta tilanteesta ovimarkkinoilla, yritysten täytyy karsia kulurakennetta ja kehittää toimintaansa ja tuotteitansa pysyäkseen mukana kovenevassa kilpailussa.

#### 3.1 Jeldwen

JELD-WEN Suomi Oy:n pääkonttori ja logistiikkakeskus sijaitsevat Vääksyssä. Yrityksellä on myyntikonttorit Vääksyssä, Kuopiossa, Tampereella ja Helsingissä sekä edustusto Pietarissa. Tehtaita on kaksi, Vääksyssä ja Kuopiossa. Yritys työllistää noin 250 henkilöä. JELD-WEN Suomi Oy kuuluu tanskalaiseen JELD-WEN Europe -konserniin, jonka pääkonttori sijaitsee Løgstørrissa Tanskassa. Myyntiorganisaatioita on yli 15 maassa, tehtaita 12 maassa ja työntekijöitä yli 6000. JELD-WEN Europe kuuluu yhdysvaltalaiseen JELD-WEN Incorporatediin, jonka pääkonttori sijaitsee Klamath Fallsissa Oregonissa. Maailmanlaajuisesti JELD-WENillä on tuotantoa 22 maassa, tehtaita noin 100 ja yli 22 000 työntekijää. JELD-WEN on perustettu 25.10.1960. (Jeldwen 2013)

Jeldwenillä on RW 30 dB luokan äänieristeovia valikoimassaan, eri pinnoite ja pintakäsittelyvaihtoehtoja on runsaasti. RW 30 dB:n luokka eristää ääntä 25 dB. Tärkeimpänä rakenteena ovissa on 40 mm paksu, huuleltu ääntä eristävä ovilevy. (Jeldwen 2013.)

#### 3.2 Haapsalu

Haapsalu on perustettu vuonna 1991 yksityisen toimesta. Vuonna 1995 Haapsalu aloitti ikkunatehtaan rakentamisen Uuemõisaan ja vuonna 1998 valmistui liimapuutehdas. Nykyisin yritys työllistää yli 160 työntekijää. Yrityksellä on käytössä ISO 9001 - laatujärjestelmä sekä EI30/Rw40dB - ja EI15/Rw37dB -sertifikaatit. Haapsalu on testauttanut kaikki myymänsä ovimallit Suomessa VTT:llä. (Haapsalu 2014.)



### 3.3 Ovesta

Ovesta Oy on perustettu 1977, ja se toimii Heinävaaralla. Ovestan toimitusjohtaja on Auvo Ahlholm. Ovestan tuotteita ovat laakaovet, heiluriovet, työntöovet, palo- ja äänieristysovet, röntgensuojaovet, karmit ja kynnykset, lasiseinät sekä helat ja varusteet (Ovesta 2013.)

Ovestan äänieristysovi kuuluu luokkaan RW 37 dB, joka eristää ääntä 30 dB. Oven pintalevyt ovat 8 mm:a MDF:ää ja kehyspuut havupuuta (Ovesta 2013.)

### 3.4 Skaala

Skaala on perustettu 1956 ja valmistaa ikkuna-, ovi- ja lasiratkaisuja. Skaala on perheyrittys, jonka tuotteita viedään Suomen lisäksi Ruotsiin, Iso-Britanniaan ja Venäjälle. Liikevaihto oli vuonna 2013 85 M€ ja yritys työllistää noin 450 henkilöä. Päätoimipaikka sijaitsee Kauhavalla Etelä-Pohjanmaalla (Skaala 2014.)

### 3.5 Dovia

Dovia valmistaa ulko- ja sisäovia, ikkunoita, autotallin ovia sekä aitoja ja portteja. Tehdas sijaitsee Villähteellä, pinnankäsittely ja varasto on sijoitettu Nastolaan ja myynti- ja esittelytilat sijaitsevat Helsingissä.

Dovian valmistamalla äänieristysovella on EI30 paloluokitus ja 30 dB:n ääniluokitus,  $R_w$  dB -arvo kyseisellä ovella on 40 dB. Yrityksen ääntä eristävillä puupalo-ovilla on myös STF -standardin mukainen tyyppihyväksyntä (Dovia 2014.)

### 3.6 Yhteenveto kilpailijoista

Kilpailu ovimarkkinoilla on kovaa ja kilpailuvaltit elintärkeitä. Eri toimijoilla on hieman erilaiset äänieristeovirakenteet ja sitä myötä myös ovilla saavutettavat edut sekä haitat. Yhdellä valmistajalla oven ääneneristävyys perustuu huokoisen kuitulevyn käyttöön koko oven tilavuudella, mikä tekee ovesta erittäin painavan. Desipon äänieristerakenne on hyvin kilpailukykyinen painonsa ja paksuutensa puolesta muihin toimijoihin verrattuna.

## 4 YMPÄRISTÖMINISTERIÖN ASETUS OVIEN TYYPPIHYVÄKSYNNÄSTÄ

Ympäristöministeriön asetus ovien tyyppihyväksynnästä koskee ovien palo- ja ääniteknistä tyyppihyväksyntää. Tyyppihyväksyntää käytetään, kun oven ominaisuuksia ei voida osoittaa harmonisoituun tuotestandardiin tai eurooppalaiseen tekniseen hyväksyntään perustuvalla CE-merkinnällä. Ääneneristävyyteen liittyvä hyväksyntä koskee sisäkäyttöön tarkoitettuja ovia (Lilja 2007, 3.)

Palo- ja ääneneristävyyden saamiseksi oven täytyy läpäistä standardien mukainen testaus. Testauksen täytyy suorittaa laillistettu testauslaitos.

### 4.1 Palonkestävyys

Osastovien ovien ja luukkujen palonkestävyyttä koskevat määräykset ja ohjeet löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta E1, Rakennusten paloturvallisuus. Osastoiva ovi on asetetun paloluokan vaatimukset täyttävä ovi. Oven ja luukun käyttäytymistä palossa kuvataan merkinnällä EI (tiiviyys ja eristävyys) tai E (tiiviyys). Merkinnän jälkeen ilmoitetaan palonkestävyysaika minuutteina: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 tai 240 (Lilja 2007, 3.)

Oven ja luukun palonkestävyys testataan käyttäen standardeja SFS-EN 1363-1 ja SFS-EN 1634-1. Ovi ja luukku testataan sellaisena kuin ne esiintyvät käytännössä mm. karmeineen, kiinnityksineen, heloituksineen ja postiluukkuineen. Oven ja luukun luokituksessa noudatetaan standardia SFS-EN 13501-2 (Lilja 2007, 4.)

### 4.2 Ääneneristävyys

Ovien ääneneristävyyttä kuvataan määräyksissä ja ohjeissa luokkina. Oven ääniluokkaa 25 dB vastaava laboratoriossa mitattu ilmaääneneristysluku  $R_w$  on vähintään 30 dB, ääniluokkaa 30 dB vastaava ilmaääneneristysluku  $R_w$  on vähintään 37 dB ja ääniluokkaa 35 dB vastaava ilmaääneneristysluku  $R_w$  on vähintään 42 dB (Lilja 2007, 3.)

Oven ääneneristävyys mitataan käyttäen standardia SFS-EN ISO 140-3 ja oven ilmaääneneristysluku  $R_w$  määritetään käyttäen standardia SFS-EN ISO 717-1. Ovi testataan sellaisenaan kuin se esiintyy käytännössä, karmeineen, kiinnityksineen, heloituksineen, postiluukkuineen (Lilja 2007, 5.)

#### 4.3 Laadunvalvonta

Tyyppihyväksyntä edellyttää valmistajan omaa sisäistä laadunvalvontaa ja laadunvalvontamenettelystä tulee olla kirjallinen kuvaus. Lisäksi valmistaja sopii ulkopuolisesta laadunvalvonnasta tyyppihyväksynnän antajan hyväksymän laadunvalvojan kanssa. Mikäli oven tai luukun valmistuksessa tapahtuu muutoksia jotka vaikuttavat oven tyyppihyväksyntään, tulee valmistajan ilmoittaa tästä etukäteen tyyppihyväksynnän antajalle ja laadunvalvojalle (Lilja 2007, 6.)

Sisäinen laadunvalvonta tarkoittaa laadunvalvontajärjestelmää joka sisältää materiaalien, tarvikkeiden ja mittojen tarkistamisen sekä valmistuksen, varastoinnin ja merkintöjen seurannan. Laadunvalvonta on jatkuvaa ja käsittää valmistusmenetelmät, varastoinnin sekä tuotteiden ominaisuudet. Asiakirjat tulee säilyttää vähintään kymmenen vuotta (Lilja 2007, 6.)

Ulkopuoliseen laadunvalvontaan kuuluu vähintään kerran vuodessa tehtävä tarkastuskäynti, joka sisältää materiaalien ja tarvikkeiden sekä suunnittelu- ja työohjeiden tarkastuksen. Lisäksi tarkastetaan valmisteilla ja varastoituna olevia tuotteita sekä niiden merkintöjä (Lilja 2007, 7.)

## 5 YLEISTÄ ILMAÄÄNENERISTÄVYYDESTÄ

Ilmaääneneristysluku on kahden huoneen tai muun tilan välistä ilmaääneneristävyttä kuvaava luku, joka saadaan vertailemalla taajuuskaistoittain mitattua ilmaääneneristävyttä standardoituun vertailukäyrään.

Ilmaääneneristysluku merkitään  $R_w$  (dB), kun kyseessä on eristävän rakenteen laboratoriomittaus ja  $R'w$  (dB), kun kyseessä on mittaus rakennuksessa (Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa 1998,2.) Mitä suurempi  $R_w$ -arvo on, sitä tehokkaampi äänieristys.

Arvoja tulee korjata (C ja Ctr), jos ympäristössä on erityisiä melunlähteitä.

$R_w+C$ , kun ympäristössä on esim.:

- asumisen ääniä
- nopeiden junien ääniä
- teollisuusmelua (keski- ja korkeataajuus)

$R_w+C_{tr}$ , kun ympäristössä on esim:

- katumelua
- hitaiden junien ääniä
- yökerhoja
- Tteollisuusmelua (matala- ja keskitaajuus)

(Paroc 2014)

Yllä olevat tarkistamisen tarpeet liittyvät lähinnä ulkoseinien ja ulko-ovien ilmaääneneristämiseen, mutta halusin tuoda ne esille myös tässä raportissa, koska asuintilan hyvä ja miellyttävä ääneneristävyys vaatii usein myös väliovien ääneneristävyden huomointia, esimerkiksi makuuhuoneessa.

Laskin ovirakenteiden ääneneristävydet kuvion 1 kaavalla. Laskennalliset ääneneristävydet eriävät oletettavasti todellisista arvoista huomattavasti, koska käyttämäni kaavat eivät huomioi läheskään kaikkia ääneneristävyteen vaikuttavia tekijöitä, kuten ilmarakoja ja materiaalien tiheyseroja. Kuvion 1 kaavan pohjalta lasketut arvot perustuvat ainoastaan oven massaan ja sen ääneneristävyteen.

$$R = 20 \lg (mf) - 49$$

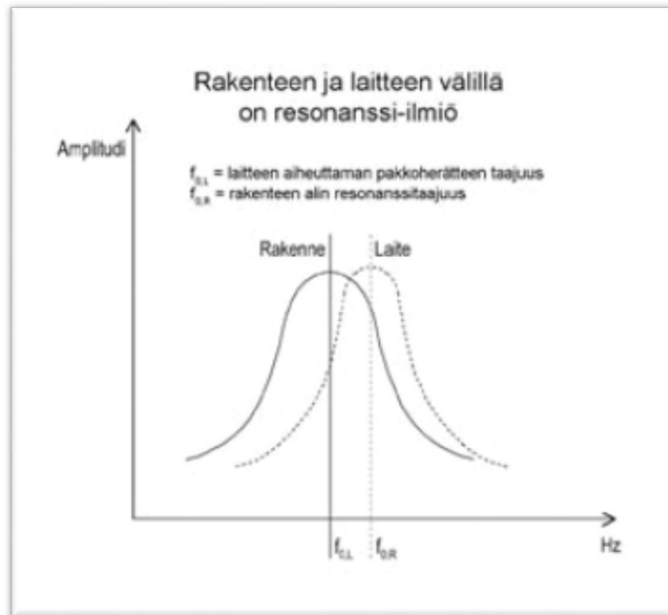
KUVIO 1. Ilmaääneneristävyyden kaava (Puuinfo 2004, 18)

Välioven ääneneristävyyteen vaikuttavat huomattavasti myös karmit, kynnykset ja ovesta käytetyt tiivisteet. Mikäli karmeja ei ole eristetty riittävän hyvin, heikentävät ne koko oven ääneneristävyyttä. Karmin ja seinän välin täytyy olla riittävän hyvin eristetty esimerkiksi mineraalivillalla, äänen kulun estämiseksi. Myös kynnyksen täytyy olla oikean mallinen ja riittävän korkea estääkseen äänen kulun oven toiselta puolelta toiselle. Tiivisteet ovat merkittävässä roolissa ääneneristyksessä; ne voivat parantaa tai huonontaa oven ääneneristävyyttä huomattavasti. Tiivisteet luovat tiiviin ilmatilan oven ja karmin väliin; ilman tiivisteitä ääni pääsisi kyseisestä raosta suoraan läpi heikentäen huomattavasti ääneneristävyyttä. Tiivisteitä on lukemattomia erilaisia, niin materiaaliltaan kuin muodoltaankin, ja uusia kehitellään koko ajan.

### 5.1 Resonanssi-ilmiö

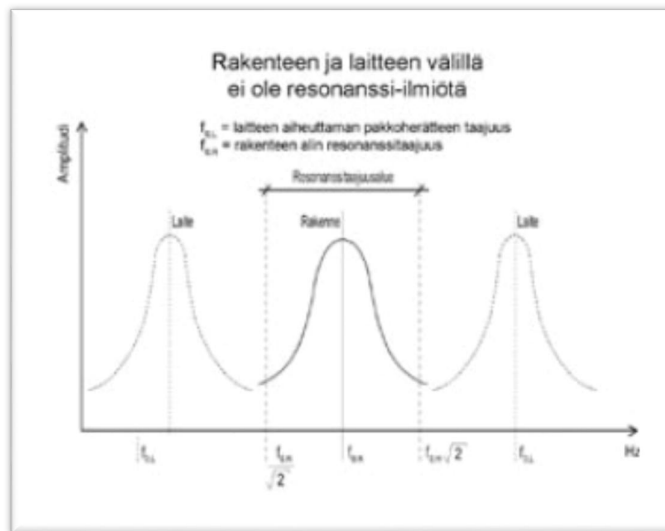
Resonanssi-ilmiö syntyy rakenteessa, kun siihen osuu ääniaaltoja, joiden taajuus on rakenteen resonanssitaajuusalueella. Resonanssi-ilmiössä rakenne värähtelee ja säteilee ääntä voimakkaasti, jolloin sen ääneneristävyys heikkenee. Rakenteen voimakas värähtely johtuu siitä, että rakenteessa oleva värähtelysteemi saa koko ajan lisää energiaa siihen kohdistuvista ääniaalloista (Puuinfo 2004, 20.)

Kuviossa 2 rakenteen resonanssitaajuusalue ja laitteen lähettämän pakkoherätteen taajuus kohtaavat, jolloin syntyy resonanssi-ilmiö. Tämä heikentää rakenteen ilmaääneneristävyyttä huomattavasti.



KUVIO 2. Rakenteen ja äänilähteen välinen resonanssi

Kuviossa 3 on esitelty esimerkkitaajuus, jolla rakenne ei resonoi äänilähteen kanssa. Täytyy muistaa, että rakennetta ei voi suunnitella sellaiseksi, ettei se resonoi minkään taajuuden kanssa. Sen vuoksi on tärkeää, että rakenne suunnitellaan sellaiseksi, että sen resonanssitaajuus on alle 100 Hz, mikä on ihmisen kuulon alin taajuus.



KUVIO 3. Rakenteen ja äänilähteen välillä ei ole resonanssi-ilmiötä

Rakenteen resonanssitaajuusalue määritetään rakenteen alimman resonanssitaajuuden perusteella, jolloin rakenteen värähtely saavuttaa maksimiarvonsa. Rakenteen alimman resonanssitaajuusalueen tulisi olla ihmisen kuulon kannalta tärkeän taajuusalueen 100 Hz – 3150 Hz alapuolella (Puuinfo 2004, 20.)

Suunnittelemissani rakenteissa, joissa oli eripainoiset levyt oven eri puolilla, käytin kuvion 5 kaavaa laskiessani rakenteille alinta resonanssitaajuutta. Rakenteet, joissa eri puolilla olevien levyjen paino vaihteli suuresti, jouduttiin hylkäämään, koska ne eivät todennäköisesti olisi pysyneet suorassa. Rakenteissa, joissa oli saman tai lähes saman painoiset levyt molemmilla puolilla, käytin kuvion 4 kaavaa. En pystynyt laskemaan kaikille suunnittelemini rakenteille alinta resonanssitaajuutta, koska moni suunnittelemani rakenne oli niin sanottu kolmirunkorakenne, eikä sellaiselle rakenteelle soveltuvaa kaavaa löytynyt.

Rakenne 26 on ainut toteutetuista rakenteista, jolle pystyttiin laskemaan alin resonanssitaajuus, 162,4 Hz. Alimman resonanssitaajuuden vaikutusta ovesa on vaikea arvioida ennen mittauksia, mutta oletettavasti se parantaa hieman alimpien taajuuksien eristävyttä.

$$f_0 = \frac{85}{\sqrt{md}}$$

KUVIO 4. Kaksoisrunkoseinän alimman resonanssitaajuuden kaava, jossa levyt ovat samanpainoisia (Puuinfo 2004, 24)

$f_0$  = seinän alin resonanssitaajuus [Hz]  
 $m$  = toisen puolen levyn/levyjien paino [kg/m<sup>2</sup>]  
 $d$  = ilmatilan paksuus [m]

$$f_0 = \frac{85 \sqrt{m_1 + m_2}}{\sqrt{m_1 m_2 d}}$$

KUVIO 5. Kaksoisrunkoseinän alimman resonanssitaajuuden kaava, jossa levyt ovat eripainoisia (Puuinfo 2004, 24)

$f_0$  = seinän alin resonanssitaajuus [Hz]  
 $m_1$  = puolen 1 levyn/levyjien paino [kg/m<sup>2</sup>]  
 $m_2$  = puolen 2 levyn/levyjien paino [kg/m<sup>2</sup>]  
 $d$  = ilmatilan paksuus [m]

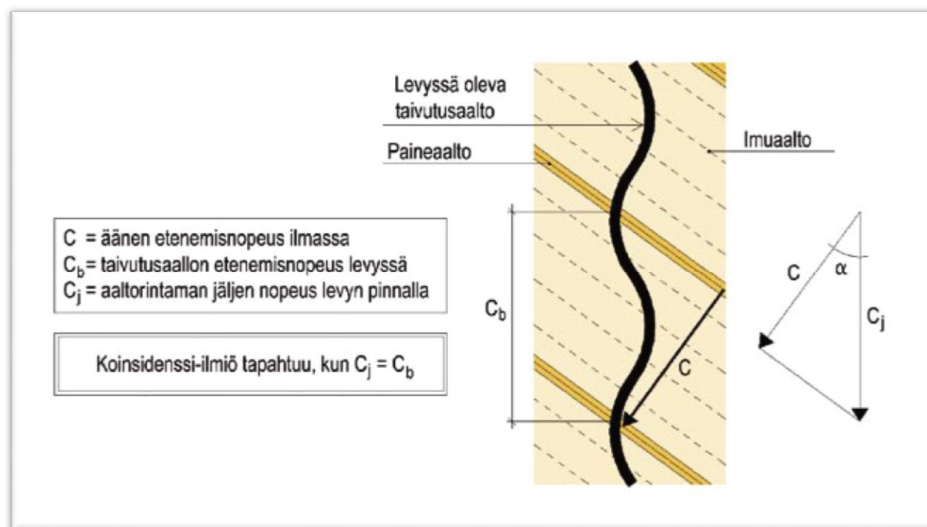
## 5.2 Koinsidenssi-ilmiö

Koinsidenssi-ilmiössä levyn pintaan tietyssä kulmassa osuvan ääniaaltorintaman jälki ja levyssä olevan äänen aiheuttama taivutusaalto etenevät samalla nopeudella. Tällöin jatkuva ääni aiheuttaa yli- ja alipainerintaman, joka osuu levyssä olevan taivutusaallon laaksoon ja huippuun (KUVIO 6). Äänen edetessä tilanne pysyy koko ajan samana, jolloin levy ei eristä ääntä läheskään yhtä tehokkaasti kuin sen massan perusteella olisi odotettavissa. Koinsidenssi-ilmiössä ääniaallot läpäisevät levyn, jolloin ääneneristävyys riippuu lähinnä levyn ja rakenteen häviömekanismeista. Jokaisella yksinkertaisella rakenteella on koinsidenssitaajuus, jonka yläpuolella olevilla äänentaajuuksilla koinsidenssi-ilmiötä esiintyy ja rakenteen ääneneristävyys heikkenee. Rakenteen koinsidenssitaajuuden tulisi olla ihmisen kuulon kannalta tärkeän taajuusalueen



100 Hz:n – 3150 Hz:n yläpuolella. Ohuilla rakennuslevyillä koinsidenssitaajuus on yleensä 2000 - 3000 Hz (Puuinfo 2004, 21).

Suunnittelemissani rakenteissa koinsidenssi-ilmion ei pitäisi vaikuttaa kovinkaan paljoa, koska rakenteet ovat monikerroksisia eikä yksinkertaisia rakenteita ole. Mikäli jossain rakenteen levyistä esiintyy koinsidenssia, se ei kuitenkaan pääse koko rakenteen läpi samalla taajuudella, koska rakenteessa on monia levyjä ja ne ovat eri tiheyksisiä. Koinssidenssi-ilmion laskeminen suunnittelemilleni rakenteille oli mahdotonta, koska rakenteen kimmomodulia ei ollut mahdollista selvittää laskemalla.



KUVIO 6. Koinssidenssi-ilmio levyssä

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi h} * \sqrt{\frac{12g(1-\mu^2)}{E}}$$

KUVIO 7. Koinssidenssitaajuuden kaava (Puuinfo 2004, 22)

$f_c$  = koinssidenssitaajuus [Hz]

$c$  = äänen etenemisnopeus ilmassa (noin 340 m/s)

$h$  = rakenteen paksuus [m]

$g$  = rakenteen tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$\mu$  = Poisson'in luku (0,3)

$E$  = rakenteen kimmomoduuli [N/m<sup>2</sup>]

### 5.3 Kaavat

Työn alussa ongelmaksi muodostui oikeanlaisten kaavojen löytäminen niin ilmaääneneristävyyden kuin alimman resonanssitaajuudenkin laskemiseen. Täysin sopivia kaavoja ei löytynyt, joten laskin massaan perustuvalla kaavalla ilmaääneneristävyydet ja arvioin ilmaraon vaikutuksen oven ääneristävyyteen kevyen kaksinkertaisen seinärakenteen tuloksista. Kevyillä kaksoisrunkoisilla levyseinillä 145 mm:n ilmatila täytettynä pehmeällä mineraalivillalla parantaa ääneneristävyyttä noin 5 – 15 dB (Puuinfo 2004 24.) Tämän pohjalta laskin, että 5 mm:n ilmarako parantaa ääneneristävyyttä 0,2 – 0,5 dB. Lisäksi Desipon nykyinen väliovirakenne (TAULUKKO 2) eristää ääntä laskennallisesti noin 37,8 dB, mutta sille on testattu työmaaolosuhteissa 39 dB:n ilmaääneneristävyys. Edellä esitettyjen syiden takia uskon, että laskennallisiin arvoihin voi lisätä 1,2 dB ja jokaista 5 mm:n ilmarakoa kohden 0,2 - 0,5 dB. Tosin siitä, onko ilmaraon suuruuden vaikutus lineaarista ja miten erilaiset materiaalit vaikuttavat ääneneristävyyteen, ei ole minkäänlaista näyttöä, joten laskettu ilmaraon vaikutus on vain valistunut arvaus.

Käytetyllä kaavalla päästään todella lähelle Desipon nykyisen äänieristeoven ääneneristävyyttä, VTT:llä mitattu eristävyys on 39 dB ja laskettu eristävyys samalle rakenteelle on 37,8 dB. Eroa VTT:llä mitattuun tulokseen oli vain 1,2 dB.

## 6 MATERIAALIEN PALOLUOKITUS

Kaikkien käytössä olevien rakennustarvikkeiden paloluokitus ilmoitetaan tuotehyväksynnässä. Taulukot 3 - 5 perustuvat EU:n komission päätöksiin ja testaustuloksiin. (Tekninen tiedote 2012)

Vaikka kaikilla ovissa olevilla materiaaleilla on voimassa oleva paloluokitus, niistä ei suoraan voi päätellä oven paloluokitusta ilman testausta, koska kyseistä rakennetta EU:n komissio ei ole testannut eikä hyväksynyt. Siitä syystä, jotta saataisiin selville oven käyttäytyminen tulipalossa, ovi täytyy testata laillistetussa testauslaitoksessa virallisen luokituksen saamiseksi.

Taulukoista 3 - 5 näkyy selitykset paloluokitusten eri merkinnöille. D tarkoittaa, että materiaalin osallistuminen paloon on hyväksyttävissä. A2 tarkoittaa, että materiaalin osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu. E tarkoittaa, että materiaalin käyttäytyminen palossa on hyväksyttävää, ja B, että materiaalin osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu. S1 tarkoittaa, että materiaalin savuntuotto on erittäin vähäistä, ja S2, että materiaalin savuntuotto on vähäistä. d0 tarkoittaa, että palavia pisaroita tai osia ei esiinny. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2011)

TAULUKKO 3. Rakennustarvikkeiden paloluokat (Paloluokitus 2002, 5)

Rakennustarvikkeiden paloluokat	
A1	Tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon
A2	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu
B	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu
C	Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti
D	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä
E	Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä
F	Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty

TAULUKKO 4. Materiaalien savuntuotto (Paloluokitus 2002, 5)

Savuntuotto	
s1	Savuntuotto on erittäin vähäistä
s2	Savuntuotto on vähäistä
s3	Savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia

TAULUKKO 5. Palavien pisaroiden esiintyminen (Paloluokitus 2002, 5)

Palavat pisarat	
d0	Palavia pisaroita tai osia ei esiinny
d1	Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti
d2	Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia

## 7 MATERIAALIVALMISTAJAT

Aluksi tutkin eri materiaaleja ja niiden ominaisuuksia; materiaalien tärkeimmät ominaisuudet olivat tiheys ja paksuus.

Pienitiheyksiset materiaalit olivat pääsääntöisesti erilaisia villoja, jotka toimivat absorboivina materiaaleina ilmaraossa. Pienitiheyksiset materiaalit olivat myös pehmeämpiä, joten ne eristivät hyvin korkeita taajuuksia.

Suuritiheyksiset materiaalit olivat pääsääntöisesti kipsi- ja kuitulevyjä. Työn alussa mietin myös erilaisten raskaskumien käyttöä, mutta hylkäsinkin ne epäkäytännöllisyyden ja niiden vaatiman monimutkaisen rakenteen vuoksi. Matalien taajuuksien läpipääsyn estäminen vaatii paljon massaa; sen vuoksi käytin niin suuritiheyksisiä rakenteita kuin painorajan puitteissa oli mahdollista.

### 7.1 Knauf Kipso

Knauf on yksi Euroopan suurimmista rakennusmateriaalivalmistajista, sillä on toimintaa maailmanlaajuisesti. Knaufilla on yli 150 tuotantolaitosta ja 26 000 työntekijää. Vuonna 2012 konsernin liikevaihto oli noin 6,1 Mrd. €

Knaufilta tutkin kipsilevyjen soveltuvuutta ovirakenteeseen. Kipsilevy on kovaa ja painavaa, joten ajattelin sen soveltuvan hyvin matalampien ääniaaltojen eristämiseen. Toisaalta taas kipsilevy on vain yhtä lujaa kuin sen pinnassa oleva paperi, joten se aiheutti huolta kipsilevyn kestävydestä jatkuvasti käytössä olevassa ovelussa. Myös kipsilevyn kovuus saattaa tuoda ongelmia ääneneristävyydessä, resonanssi- ja koinsidenssi-ilmiöiden muodossa.

Yksi huolenaihe kipsilevyn käytössä MDF-levyn alla oli kipsilevyn virheiden näkyminen MDF-levyn pinnassa. 4 millin MDF-levy paljastaa virheet alla olevassa levyssä melko hyvin, minkä vuoksi on tärkeää, että kipsilevyn laatu on tasaista ja toleranssit riittävän pieniä. Taulukossa 6 näkyy Knaufin valmistamien kipsilevyjen toleranssit. Mikäli levyt ovat taulukossa mainituissa rajoissa, niin ongelmia tuskin ilmenee. Kipsilevyn käyttöön päädyttiin, koska sitä ei ole omissa paljonkaan käytetty ja sillä on riittävästi massaa myös matalampien taajuuksien eristämiseksi.

TAULUKKO 6. Knaufin kipsilevyjen toleranssit

Toleranssit Knaufin levyille										
	KN 14	KEK 14	KXT 10	KS 7	KH 14	KL 16	KPS	Weather board	Humid board	Safe board
Vahvuus [mm]	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,7	±0,7	±0,5
Leveys [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pituus [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Neliöpaino [kg/m <sup>2</sup> ]	±0,3	±0,3	±0,3	±0,3	±0,3	±0,3	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
Reunan suoruus/1200 mm [mm]	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±2	±2	±0
Suorakulmaisuus/1200 mm [mm]	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±2	±2	±1

## 7.2 Ewona

Ewonan tehdas sijaitsee Kankaanpäässä ja on valmistanut eristeitä 15 vuotta, keskittyen lähinnä erityistarpeisiin, kuten sairaaloihin, kouluihin ja asuntoihin, missä allergiaturvallisuus on tärkeää (Ewona 2014 a). Ewona valmistaa myös eristeitä teiden varsille sijoitettaviin äänieristevalleihin.

Tuotteet ovat keveitä, allergiaturvallisia, kosteuden kestäviä, omaavat hyvän lämmön- ja meluneristyskyvyn sekä ovat pölymättömiä ja kierrätettäviä. Jopa 85 % levyjen raaka-aineesta on kierrätysmateriaalia eikä valmistusprosessissa käytetä ollenkaan ympäristölle haitallisia aineita (Ewona 2014 b). Levyt voidaan myös valmistaa lähes mihin paksuuteen ja tiheyteen tahansa.

Ewonan villan käyttöön päädyttiin, koska tuote on kevyttä ja jo käytössä äänieristysmateriaalina. Lisäksi se on allergisoimatonta ja huomattavasti käyttäjäystävällisempää kuin kivi- ja lasivillat.

## 7.3 Paroc

Parocilla on todella paljon vaihtoehtoja äänieristykseen, luultavasti juuri tämän takia Parocin tuotteita käytetään paljon nykyisissä äänieristeovirakenteissa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää täysin uusi äänieristeovirakenne, joten pyrin löytämään uusia ja vielä vähän ovissa käytettyjä materiaaleja. Siksi en ole käyttänyt Parocin tuotteita monessakaan kehittelemässäni ovirakenteessa.

#### 7.4 Fermacell

Fermacellin levyt ovat 80 % selluloosakuitua ja 20 % kipsiä eivätkä sisällä lainkaan kartonkia. Fermacellin levyt ovat tiheämpiä kuin normaalit kipsilevyt ja sitä kautta myös raskaampia, 15 kg/m<sup>2</sup> (Fermacell 2014).

#### 7.5 Kiilto

Kiillon Tero Mäkinen sanoi Desipolla tälläkin hetkellä käytössä olevan 330 PVAC-liiman soveltuvan kipsilevyn liimaamiseen, mutta myös jokin edullisempikin liima soveltuu kyseiseen käyttötarkoitukseen. Kipsilevyä liimattaessa hän kehotti keskittymään liiman levitysmäärään, liimaa ei saisi levittää liikaa, jotta kipsi ei imisi liikaa liimaa ja jotta paperi ei vettyisi ja sitä kautta heikentäisi liimasauman kestävyyttä. Myös avoin aika tulisi pitää mahdollisimman lyhyenä parhaimman lopputuloksen saamiseksi. (Mäkinen 2014)

#### 7.6 SPU

Tutkin myös uretaanilevyjen käyttöä äänieristerakenteena, mutta otettuani yhteyttä SPU:n Kankaanpään tehtaan tuotekehitysyksikköön, sain selville että uretaanilevy on liian kevyt ja kova äänieristyskäyttöön. Vastaavat ominaisuudet saadaan aikaiseksi esimerkiksi villalla huomattavasti halvemmalla ja kevyemmällä painolla. (Viitanen 2013)

## 8 RAKENTEET

Kehitin lukuisia eri rakennevaihtoja ja laskin niiden massaan perustuvat laskennalliset ilmaääneneristävyudet, hinnat sekä alimmat resonanssitaajuudet. Alimmat resonanssitaajuudet laskin niille rakenteille, joille se oli mahdollista. Joillekin rakenteille ei ole valmista kaavaa niiden useiden rajapintojen ja monimutkaisten rakenteiden takia.

### 8.1 Rakenne-ehdotukset

Aloitin rakenteiden suunnittelun etsimällä sopivia materiaaleja, tutkin lukuisien valmistajien eri materiaaleja ja niiden soveltuvuutta Desipon äänieristeoveen. Äänieristeovessa tärkeää on koko taajuusalueen kattava ääneneristäminen. Se tarkoittaa, että rakenteen täytyy sisältää sekä keveitä että painavia materiaaleja. Rakenne-ehdotuksissa olen miettinyt eri tapoja estää äänen pääsy oven läpi. Matalat taajuudet ovat hankalimpia eristää ja vaativat yleensä tiheän ja korkeamassaisen materiaalin. Aluksi suunnittelin käyttäväni eri puolilla ovea eri paksuisia ja tiheyksisiä levyjä, mutta Desipolta ilmoitettiin, että sellainen rakenne aiheuttaisi oven vääntymisen, joten sellaiset rakenteet hylättiin heti alussa.

Kaikki rakenne-ehdotuksissa esiteltyt rakenteet on suunniteltu samanpaksuiselle runkopuulle, mikä helpottaa ovien vertailua ja valmistusta. Jotta sama runkopaksuus olisi kaikille rakenteille mahdollista, ovien kokonaispaksuutta kasvatettiin 67 milliin. Tämän ansiosta rakenteisiin oli mahdollista lisätä ilmarakojia, mitkä toivottavasti parantavat rakenteiden ääneneristävyttä. Se kuitenkin selviää vasta rakenteita testattaessa. Taulukkoja tutkiessa täytyy muistaa, että käytetty kaava ottaa huomioon ainoastaan oven kokonaismassan eikä huomioi esimerkiksi materiaalien tiheyserojen ja ilmarakojen vaikutusta ääneneristävyteen.

Kaikkien ovien rungot valmistettiin 58 mm paksuiksi. Kaikkiin oviin tulee pintaan 4 mm:n MDF-levy, joten oven kokonaispaksuudeksi tulee ~66 mm, lopuksi pinnasta hiotaan noin 0,5 mm pois epätasaisuuksien poistamiseksi.



Rakenne 23 on kevyin valmistettavista rakenteista. Seuraavassa rakenteessa massa kasvaa lähelle 50 kilon tavoitearvoa ja viimeinen rakenne painaa jo jonkin verran yli tavoitearvon.

#### 8.1.1 Rakenne-ehdotus 23

Materiaalien kustannukset ovat melko alhaiset ja mahdollistavat oven myymisen edulliseen hintaan, tuoden näin kilpailuetua markkinoilla. Hinnat ovat kuitenkin vain myyntiedustajilta ja tuotantolaitoksista saatuja arvioita, joten materiaalien todellinen kustannus selviää vasta tarjouspyyntöjä tehtäessä.

Materiaalien tiheyksissä huomioitavaa on se, että mikään materiaaleista ei ole mitenkään erityisen tiheää, mikä tuo luultavasti ongelmia matalien taajuuksien eristyksessä, mutta se selviää vasta testausvaiheessa. Oven paino on laskelmissa melko paljon alle tavoitearvon. Täytyy kuitenkin huomioida, että laskelmat eivät sisällä puuosien ja liiman tuomaa lisäpainoa.

Taulukossa 8 on laskennalliset ilmaääneneristävyydet ihmisen kuulon kannalta tärkeimmällä taajuusalueella 100–3150 Hz. Taulukosta nähdään, että rakenne eristää hyvin korkeita taajuuksia, mutta matalilla taajuuksilla tulee ongelmia. Korkeimman ja matalimman taajuuden eristävyysero on 29,96 dB. Tätä eroa täytyisi saada pienemmäksi keskiarvon ja sitä kautta oven ääneneristävyyden parantamiseksi. Matalien taajuuksien parempi eristäminen vaatii massan lisäämistä. Kyseiseen rakenteeseen olisi ollut mahdollista lisätä jokin 6 millin paksuinen materiaali, mutta sitten ilmaraoit olisivat poistuneet. Rakenteissa 23 ja 26 on molemmissa eripaksuiset ilmaraoit ja rakenteessa 35 ei ilmarakoa ole ollenkaan. Testit osoittavat, pystytäänkö ilmaraoilla parantamaan ääneneristävyyttä massaa lisäämättä.

TAULUKKO 8. Rakenteen 23 ilmaääneneristävyys eri taajuuksilla

Ilmääneneristävyys eri taajuuksilla ( $R_w=20\lg(mf)-49$ )	
Taajuudet	Eistävyys dB
100	17,85
300	27,39
500	31,83
800	35,91
1000	37,85
1300	40,13
1500	41,37
1800	42,95
2000	43,87
2300	45,08
2500	45,81
2800	46,79
3000	47,39
3150	47,81
Keskiarvo	39,431

### 8.1.2 Rakenne-ehdotus 26

Ennen testausta on jo tiedossa, että ilmarako parantaa ääneneristävyyttä, mutta sen suuruus ja kyseisen rakenteen ilma-araossa olevan materiaalin vaikutus on vielä epäselvää.

Hintaero kyseisen rakenteen ja rakenteen 23 välillä on 5,52 €. Myös rakenteilla laskennallisesti saavutettavat edut ovat lähes samat, joten mikäli toinen kyseisistä rakenteista valitaan tuotantoon, täytyy valinnan perustua tuotantoteknisiin syihin. Materiaalien kustannusarvio on erittäin kilpailukykyinen ja realistinen, tuotantolaitoksista ja myyntiedustajilta saatujen tietojen vuoksi. Hintoihin täytyy vielä lisätä puu- ja liimakustannukset.

Vertailtaessa rakenteiden 23 ja 26 ilmääneneristävyyksiä huomataan, että rakenne 26 eristää matalia taajuuksia hieman paremmin. Ero on kuitenkin hyvin pieni, ja sillä tuskin on kovinkaan suurta vaikutusta todellisissa testeissä.

Taulukossa 10 näkyy taajuusalueella 100–3150 Hz lasketut ilmaääneneristävyydet. Rakenne 26 sisältää 42 mm ilmaraon, ja 5 mm:n ilmarako parantaa ääneneristävyyttä 0,2 – 0,5 dB, joten rakenne eristää ääntä 1,6 – 4 dB paremmin kuin laskennallinen arvo antaa ymmärtää. Lisäksi laskennallisten ja työmaaolosuhteissa mitatun tuloksen erotuksen, 1,2 dB, voi lisätä rakenteen eristyskykyyn. Näin ollen rakenne 26 eristää ääntä oletettavasti 42,5 – 44,9 dB. Tyhjään ilmatilaan saattaa korkeilla taajuuksilla syntyä seisovia aaltoja, jotka heikentävät ääneneristävyyttä mikä vaikeuttaa tyhjän ilmaraon ääneneristävyyden ennakoimista.

TAULUKKO 10. Rakenteen 26 ilmaääneneristävyys eri taajuuksilla

Ilmaääneneristävyys eri taajuuksilla ( $R_w=20\lg(mf)-49$ )	
Taajuudet	Eristävyys dB
100	18,11
300	27,66
500	32,09
800	36,17
1000	38,11
1300	40,39
1500	41,63
1800	43,22
2000	44,13
2300	45,35
2500	46,07
2800	47,06
3000	47,66
3150	48,08
Keskiarvo	39,695

### 8.1.3 Rakenne-ehdotus 35

Rakenne-ehdotus 35 keksittiin tehtaalla ovia valmistettaessa. Rakenteen 23 runkoa valmistettaessa, olimme päättäneet käyttää kaikissa ovissa samaa runkoa, mikä antoi mahdollisuuden muuttaa ovessa käytettäviä materiaaleja.

Oven paino pysyy melko hyvin tavoitteessa, tosin rungon ja liiman paino täytyy vielä lisätä laskelmiin. Desipon nykyinen rakenne eristää ääntä 39 dB. Rakenne 35 painaa 16 kiloa enemmän kuin Desipon nykyinen rakenne, joten toivottavasti

lisääntynyt massa parantaa ääneneristävyyttä jonkin verran ja käytetyt materiaalit vielä lisää, jotta 45 dB:n eristävyystavoite saavutetaan.

Taulukossa 12 näkyy taajuusalueella 100–3150 Hz lasketut ilmaääneneristävyydet. Rakenne eristää tähän mennessä selkeästi parhaiten ääntä, mutta se johtuu rakenteen massasta, joka on yli 50 kilon tavoitearvon.

Villan sisältämän ilmaraon vaikutus on sama kuin aiemmissakin rakenteissa, eli 5 mm:n ilmarako parantaa ääneneristävyyttä 0,2 – 0,5 dB myös laskennallisen ja työmaaolosuhteissa mitatun tuloksen erotuksen, 1,3 dB, voi lisätä laskennallisiin tuloksiin. Näin ollen rakenteen 35 ilmatila parantaa ääneneristävyyttä 0,6 – 1,5 dB, eli rakenteen laskennallinen kokonaisääneneristävyys ilmarako ja työmaamittaus huomioiden on 43,0 – 43,9 dB. Vaikka rakenne 35 on painavin, se ei silti laskennallisesti eristä ääntä läheskään parhaiten suunnitelluista rakenteista.

Käytännössä kaikkien rakenteiden laskennalliset ääneneristävyydet ovat niin lähellä toisiaan ja ilmarakojen vaikutus niin suuri, että päätelmiä parhaasta rakenteesta ei pysty tekemään ilman ovien testausta.

TAULUKKO 12. Rakenteen 35 ilmaääneneristävyys eri taajuuksilla

Ilmääneneristävyys eri taajuuksilla ( $R_w=20\lg(mf)-49$ )	
Taajuudet	Eistävyys dB
100	19,59
300	29,13
500	33,57
800	37,65
1000	39,59
1300	41,87
1500	43,11
1800	44,70
2000	45,61
2300	46,83
2500	47,55
2800	48,53
3000	49,13
3150	49,56
Keskiarvo	41,174

Mikäli laskelmat pitävät paikkansa, yksikään ovi ei saavuta tavoiteltua 45 desibelin ääneneristävyyttä, jotta jokin ovi saisi 40 dB - luokituksen, oven pitäisi eristää ääntä ainakin 50 dB.

## 8.2 Materiaalien hinnat

Materiaalien hinnat (TAULUKKO 13) selvisivät soittamalla yrityksiin. Kysyin samalla, olisiko yrityksillä mielenkiintoa antaa tarvittavia materiaaleja koekappaleiden valmistamiseen; pääsääntöisesti yritykset olivat kiinnostuneita antamaan tarvittavat materiaalit. Ehdottamieni materiaalien pääkäyttökohde on normaalisti täysin muualla kuin ovissa, uskoakseni tästä syystä yritykset olivat valmiita antamaan materiaaleja, koska ne saisivat projektin onnistuessa laajennettua tuotteidensa käyttökohteita ja sitä kautta uusia asiakkaita.

## 8.3 Puurungon muutokset

Desipon nykyiseen runkorakenteeseen ei tarvinnut tehdä juurikaan muutoksia. Paksuutta kasvatettiin 58 milliin, jotta kaikki rakenteet sopivat samalle rungolle. Tämä helpotti osien valmistusta ja ovien kokoonpanoa. Myös kyntteen syvyys muuttui yhdessä ovirakenteessa paksumman kipsilevyn vuoksi.

Kahdessa ovesa (TAULUKOT 7 ja 11) on rakenteena niin sanottu kolmirunkorakenne, mikä tarkoittaa, että pinnalla olevien kovien levyjen lisäksi,

oven keskellä on vielä kolmas kovaa materiaalia oleva levy. Kyseiset rakenteissa käytetyt levyt ovat huokoinen levy ja lastulevy.

## 9 OVIEN VALMISTUS

Ovet valmistettiin Desipolla olevaan oviaukkoon standardimitoilla, jotta ovia ei tarvitsisi kuljetella ja testauksen voisi suorittaa tehtaalla. Testattavia ovia valmistettiin 3 kappaletta sekä Niko Väisäsen jo aiemmin valmistavat ovet. Ovet valmistettiin Desipon tiloissa Mäntyharjulla.

### 9.1 Rakenne 23

Taulukossa 14 näkyy rakenteen 23 tarkka massa. Materiaalien pinta-alat on laskettu ovesa käytetyillä mitoilla ja niiden avulla laskettiin materiaalien tarkat massat. Tarkoilla mitoilla lasketut massat heittävät hieman rakenne-ehdotuksissa näkyvistä massoista. Tämä johtuu siitä, että rakenne-ehdotuksissa massat laskettiin yhdellä pinta-alalla, ja huomiotta jäi oven kyntteen aiheuttamaa muutos osassa levyjen pinta-aloja, myöskään rungon tuomaa lisäpainoa ei ole huomioitu laskelmissa.

Kun ovet oli kasattu, ne syötettiin lämpöpuristimeen, jossa ne olivat noin 30 asteessa ja 80 Barin paineessa. Yhden oven ollessa puristumassa seuraavan oven kasausta pystyi valmistelemaan.

Rakenteissa 23 ja 26 oli pientä rakoja runkopuiden ja pinnan MDF-levyjen välissä, mikä johtui luultavasti liian matalista kyntemitoista. Käytössä ollut työntömitta näytti lähes 4 mm liian pientä lukemaa, ja se huomattiin vasta kun kaksi ensimmäistä ovea oli liimattu kasaan. Raot korjattiin laittamalla niihin liimaa ja puristamalla ne umpeen (KUVIO 19).



KUVIO 12. Rakojen puristus umpeen

Jokaiseen oveen kirjoitettiin niiden rakenne (KUVIOT 13, 14 ja 15). Ovien ollessa valmiita ne ovat täysin samannäköisiä. Ovet täytyisi testauksen jälkeen purkaa, jotta saataisiin selville, mikä rakenne antoi minkäkin tuloksen.

## 9.2 Rakenne 26

Ovi painaa lähes 48 kiloa, mikä on 50 kilon tavoitetta ja oven asentamista ajatellen hyvä asia, mutta oven äänieristävyyden kannalta huono. Riittävän äänieristävyyden saavuttaminen 50 kiloa painavalla ovella on todella haastavaa.

Rakenne 26 on laskelmien mukaan paras vaihtoehto ääneneristävyyden kannalta. Vaikka ovi painaa vähemmän kuin rakenne 35, sen ääneneristävyys on silti laskelmien mukaan parempi. Laskelmien mukaan rakenne 35 eristää ääntä parhaimmillaan 43,9 dB ja rakenne 26 44,9 dB.

Rakenteesta 26 unohtui ottaa kuva oven sisällä olevista materiaaleista. Taulukossa 17 näkyy oven rakenne ja kuviossa 14 rakenne kirjoitettuna valmiin oven pintaan.



### 9.3 Rakenne 35

Paino on muutaman kilon yli tavoitearvon (TAULUKKO 18), mutta kuitenkin hyväksyttävissä, mikäli testitulokset ovat riittävän hyviä. Kyseisessä rakenteessa on myös eniten rajapintoja sekä eritiheysisiä materiaaleja.

Oven paloluokituksen arviointiin vaikuttavat rakenteen monet rajapinnat ja useat lähes palamattomat materiaalit, keskellä ovea on muihin materiaaleihin nähden helposti syttyvä lastulevy. Olen kuitenkin luottavainen siihen, että ovi saavuttaa tarvittavat paloluokitukset, lastulevystä huolimatta. Taulukossa 19 näkyy rakenne 35. Kuviossa 15 rakenne kirjoitettuna valmiin oven pintaan.

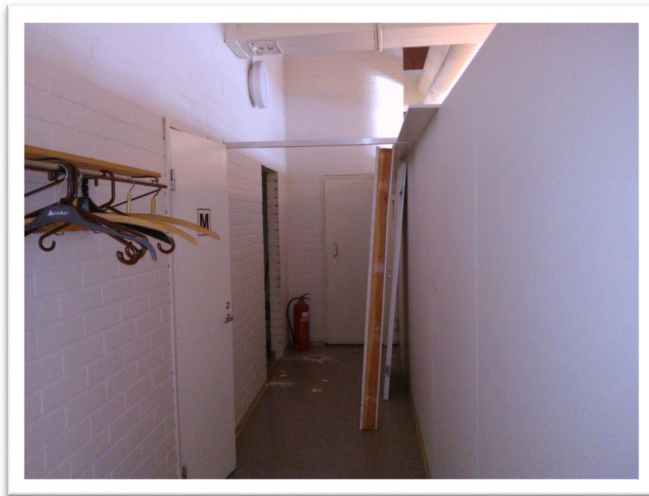
### 9.4 Ovien asennus

Karmi asennettiin 130 mm paksuun tiiliseinään, joka oli umpinainen kattoon saakka. Seinän korkeus oli noin 4 metriä, joten äänen johtuminen katon kautta oli melko vähäistä. Huone, johon desibelimittari sijoitettiin, oli noin 1,9 \* 1,95 \* 2,5 metriä.



KUVIO 18. Aukko, johon karmit asennettiin ja jossa ovet testattiin

Tila, johon äänilähde sijoitetaan, on erotettu kevyellä tilanjakajalla muusta huoneesta (KUVIO 19). Väliseinän päälle laitettiin huokoista levyä äänen karkaamisen estämiseksi. Tämä tehtiin siitä syystä, että äänilähde sekä desibelimittari olisivat suurin piirtein samankokoisessa tilassa.



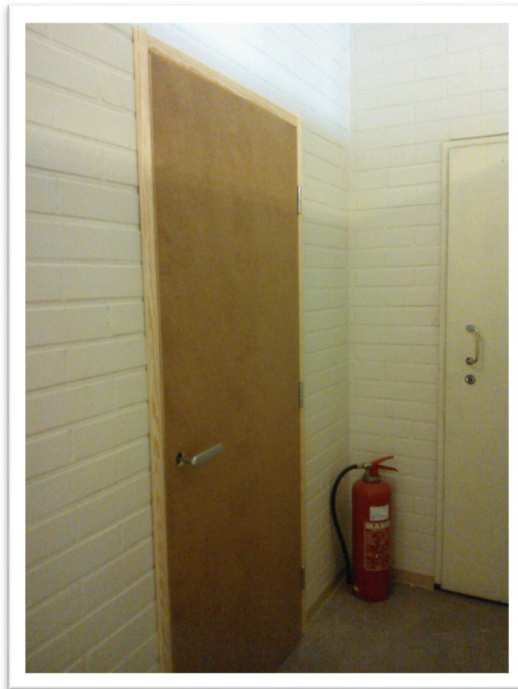
KUVIO 19. Tila, johon äänilähde sijoitettiin

Karmin väliin laitettiin mineraalivilla sekä solumuovitiiviste (KUVIO 20). Molemmat ovat yleisesti käytössä ääntä eristävien ovien asennuksessa. Solumuovitiiviste eristää mahdolliset mineraalivillan aukot.



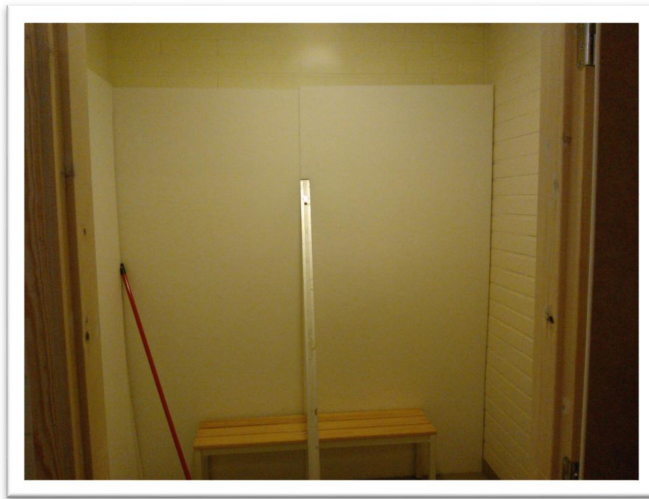
KUVIO 20. Lasivilla ja solumuovitiiviste karmen ja seinän välissä

Tämän jälkeen kiinnitettiin listat viimeistelynauloilla, samaan tapaan kuin työmaalla tehtäisiin. Karmia asennettaessa ensimmäisenä paikoilleen laitettiin rakenteella 26 valmistettu ovi.



### KUVIO 21. Listat asennettuna

Mittalaitteelle tarkoitettu huone oli melko pieni ja seinät olivat pelkkää tiiltä. Tämä aiheutti sen, että huoneessa kaikui melko paljon. Ongelma ratkaistiin laittamalla huoneeseen yli jääneitä Ewona-villoja kaikille seinille, paitsi sille missä ovi oli. (KUVIO 22). Tämän jälkeen huoneessa ei enää kaikunut liian häiritsevästi ja huoneessa saattoi olla operoimassa mittauslaitetta. Villojen laitto seinille vaikutti mitattavaan kaiunta-aikaan, mutta se ei vääristänyt tuloksia lainkaan, koska villat olivat koko mittauksen ajan paikoillaan.



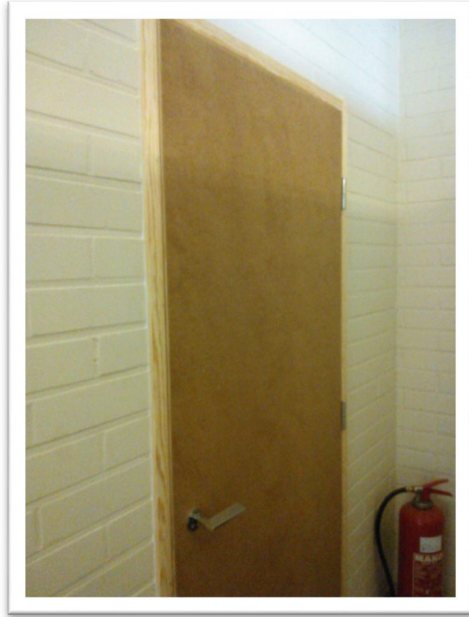
### KUVIO 22. Huone, johon mittalaite sijoitettiin

Valmis oviaukko näyttää samalta kuin normaali väliovi, erotuksena että ovea ei ole pintakäsitelty (KUVIO 23). Kahvaa asennettaessa myös kahvan sisäosa tilkittiin mineraalivillalla.



KUVIO 23. Valmis oviaukko mittalaitteen puolelta

Karmien ääneneristävyys varmistettiin vielä laittamalla listojen joka puolelle tiivistemassa. Kuviossa 24 se näkyy listan ja seinän leikkauskohdassa hieman seinää valkoisempana.



KUVIO 24. Valmis oviaukko äänilähteen puolelta

Testaamme myös Desipon työntekijän, Niko Väisäsen valmistamia ovia. Niissä on eri rakenne kuin minun suunnittelemissani ovissa, ja ne ovat myös eri paksuisia. Paksuusero aiheuttaa sen, että kyntteeseen täytyy lisätä tiivistelista ohuemmalla ovella. Testaamme myös oveen kiinnitettävän jälkiasenteisen äänieristelevyn vaikutusta ääneneristävyyteen kiinnittämällä sen Desipon alkuperäiseen oveen. Tätä varten kiinnitimme karmiin myös ylimääräisen tiivistelistan.

## 10 OVIEN TESTAUS

Ovien testaus toteutettiin Desipon tiloissa siten, että toiseen huoneeseen sijoitettiin äänilähde, joka lähetti ääntä eri taajuuksilla, ja toisessa huoneessa oli äänitasomittari, joka mittasi oven ja seinien läpi päässeen äänen voimakkuuden.

Testauksen tarkkuuteen vaikuttivat seinien ja karmien tiiviys. Seinä oli 135 mm paksu tiiliseinä. Karmit kiinnitin itse paikoilleen ja tiivistin karmin ja seinän välin lasivillalla, lopuksi laitoin listat paikoilleen mahdollisimman todenmukaisen tuloksen saamiseksi. Seinässä oli yksi ilmastointiputken aukko; vaikka se oli jonkin verran sivussa mittauskohdasta, se varmasti vaikutti jonkin verran mittaustuloksiin.

### 10.1 Testauslaitteisto

Testausta varten Desipo vuokrasi MIP electronicsilta Keravalta ilmaääneneristävyyden mittaukseen sopivan laitteiston. Hain laitteiston MIP electronicsista ja sain samalla nopean koulutuksen laitteiston käyttöön. Laitteisto sisälsi Nor140 - äänitasomittarin, tuulisuojan, kantolaukun, käyttöohjeet, varaparistot, virtalähteen, kalibrointitodistuksen, kaiuttimen ja kamerajalan. Pekka Vuorijärvi MIP electronicsista lähetti laitteiston englanninkielisen käyttöohjeen minulle etukäteen, jotta pystyisin perehtymään laitteiston toimintaan ja ominaisuuksiin paremmin. Testausta varten täytyi myös ladata Norsonicin sivuilta Norbuild-, Norxfer- ja USB Driver – ohjelmat.

Norxfer-ohjelmalla haettiin testien tiedot muistikortilta ja muutettiin Norbuild-ohjelmalle luettavaan muotoon. Norxferillä oli myös mahdollista muuttaa testitulokset Excel-tiedostoiksi, tosin omalla koneellani kyseinen toiminto ei toiminut, vaan ohjelma kaatui aina kun yritin muuttaa tietoja Excelille. Norbuild-ohjelma eritteli testien tulokset lähdehuoneeseen, vastaanottohuoneeseen, taustameluun ja jälkikaiunta-aikaan. Ohjelma oli todella monipuolinen, ja sieltä oli saatavissa joka mittauksesta useita erilaisia diagrammeja, taulukoita ja keskiarvoja.

## 10.2 Ovien testaus

Testaus oli melko monimutkainen prosessi, ja testauksen aikana tehtiin useita virheitä, jotka uskoakseni vaikuttivat lopputuloksiin. Rajallisen ajan vuoksi kullekin rakenteelle suoritettiin vain kaksi testauskertaa, mikä vähentää testitulosten luotettavuutta ja tekee eristävyyskäyristä erittäin heitteleviä. Ohjelma käytti jälkikaiunta-aikaa lasiessaan rakenteiden ääneneristävyyttä, ja koska testi suoritettiin väärin, tulokset eivät ole luotettavia. Jälkikaiunta-aika testi suoritettiin siten, että ovi oli kiinni ja äänilähde ja desibelimittari eri puolilla ovea. Testi olisi pitänyt suorittaa siten, että äänilähde sijoitetaan samaan huoneeseen kuin missä desibelimittari on, siten että äänilähde osoittaa nurkkaan ja ääni jakautuu mahdollisimman hyvin koko huoneeseen oven ollessa kiinni. Koska äänilähde oli oven toisella puolella, se ei pystynyt tuottamaan tarpeeksi ääntä matalien taajuuksien mittaamista varten ja tulokset jäivät niiltä osin vajavaisiksi.



## 11 TESTITULOKSET

Testitulokset ovat suuntaa antavia, eivätkä ole verrattavissa laboratorioolosuhteissa tehtyihin mittauksiin, eivätkä edes työmaalla tehtyihin mittauksiin, lukuisien testivaiheessa tehtyjen virheiden vuoksi. Tehtaalla tehdyissä ja VTT:n tekemissä mittauksissa esiintyi jonkin verran eroa Desipon nykyisen äänieristeovirakenteen ääneneristävyudessa. Raportissa esitetyt mittaustulokset ovat suuntaa-antavia ja niiden on tarkoitus ainoastaan mahdollistaa testattujen ovien vertailu keskenään.

Tuloksia analysoitaessa käytettiin ISO 140-3 standardiin pohjautuvaa sound reduction indexiä. Kaikkien testattujen rakenteiden taustamelun mittaustulokset ovat liitteissä (LIITTEET 1 – 21).

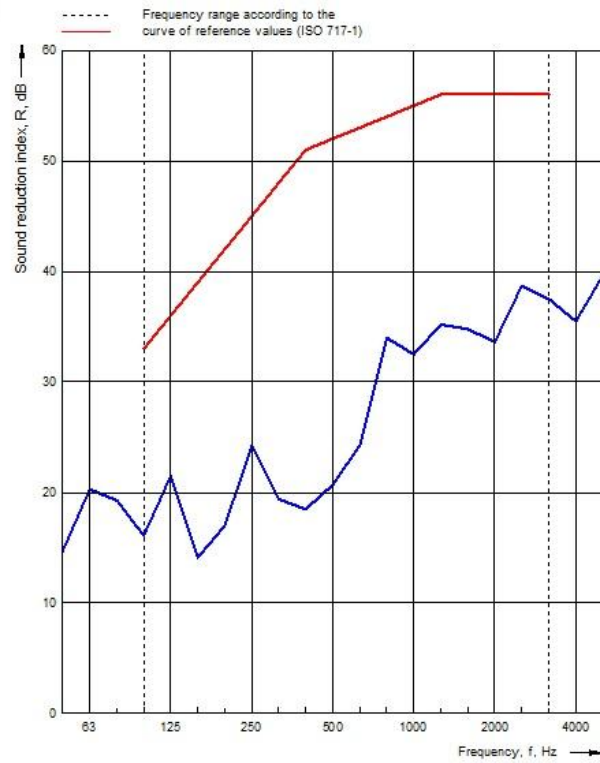
### 11.1 Desipon nykyinen äänieristeovi

Desipon nykyinen äänieristeovirakenne eristää ääntä tehtaalla mitattujen testien mukaan 28 dB (KUVIO 25). VTT:llä tehtyjen testien perusteella kyseinen rakenne eristää ääntä 39 dB (KUVIO 26). Mittausten välinen ero on todella suuri, eikä tehtaalla tehtyjä mittauksia voi käyttää kuin keskenään vertailuun.

Barometric pressure:  
 Size of test opening:  
 Mass per unit area:  
 Temperature:  
 Air humidity:  
 Source room volume:  
 Receiving room volume:

kPa  
 4,00 m<sup>2</sup>  
 kg/m<sup>2</sup>  
 °C  
 %  
 m<sup>3</sup>  
 10,0 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R 1/3 octave [dB]
50	14,7
63	20,3
80	19,3
100	16,1
125	21,5
160	14,1
200	17,0
250	24,2
315	19,4
400	18,5
500	20,7
630	24,3
800	34,0
1 000	32,5
1 250	35,2
1 600	34,8
2 000	33,6
2 500	38,7
3 150	37,5
4 000	35,5
5 000	39,6



Rating according to ISO 717-1

$R_w(C;C_{tr}) = 28 (-1; -4)$  dB

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

$C_{50-3150} = -1$  dB

$C_{50-5000} = 0$  dB

$C_{100-5000} = 0$  dB

$C_{tr,50-3150} = -4$  dB

$C_{tr,50-5000} = -4$  dB

$C_{tr,100-5000} = -4$  dB

KUVIO 25. Tehtaalla mitattu nykyisen äänieristeoven ääneneristävyys



Translation

RESEARCH REPORT No. LVI0491/90

---

 Laboratory of Heating and Ventilation
 

---

Client: Puusepänilike Reijo Kärkkäinen Ky  
P.O.Box 22, 15551 Nastola 2

Order: 2.5.1990, U.Käppi, R.Kärkkäinen, R.Toivonen

Commission: Determination of airborne sound reduction index R  
Methods: ISO 140/3-1978 (R) & ISO 717/1-1982 (weighted s.r.i.  $R_w$ )

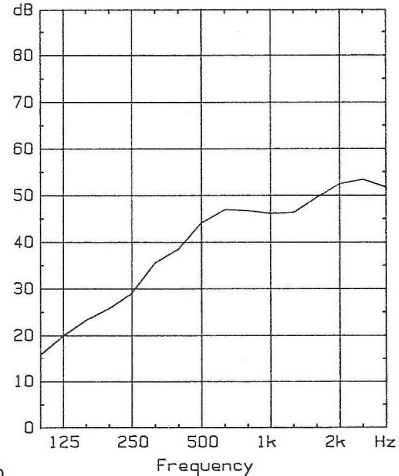
Test spec.: Fire door/Door 90-1: Drawing 90-1 4.6.1990 U.Käppi (Appendix 1);  
thickness and mass of the door leaf:  
49 mm and 42 kg (ironmongery included).  
The door was inserted by the client in an opening 100 cm\* 210 cm  
between the reverberant rooms. The seams between the doorframe  
and the opening were made tight with wooden mouldings and  
elastic putty (Appendix 2).

Meas.date: 5.6.1990  
Place: Laboratory of Heating and Ventilation - Otaniemi

Results:  $d_B$   
 $R_w$  41  
Max.dev. 6.1 (100Hz)  
 $R_{12/24}$  41 (C5/85 - SF condit.)  
Avg.reduct. 39.1

Volume of the source room  $V_1 = 90m^3$   
Volume of the rec. room  $V_2 = 100m^3$   
Area of the test opening  $S = 2.1m^2$

R - sound reduction index



1/3-oct.	R
100	15.9
125	20.0
160	23.3
200	25.8
250	29.1
315	35.6
400	38.6
500	44.2
630	47.0
800	46.7
1000	46.1
1250	46.4
1600	49.6
2000	52.5
2500	53.4
3150	51.7

Espoo, 30.6.1990

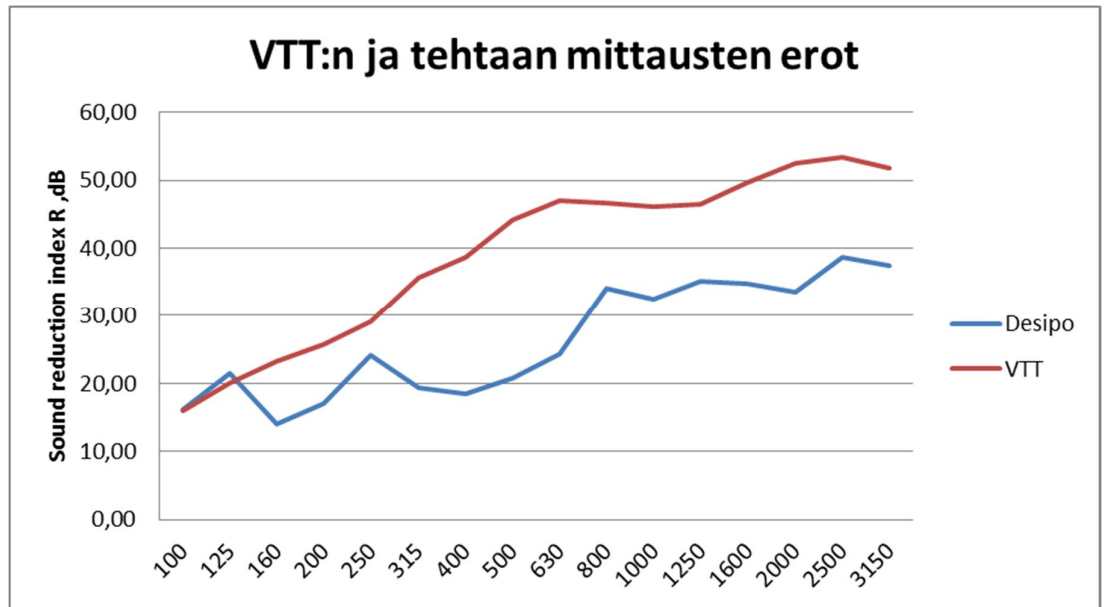
 TECHNICAL RESEARCH CENTER OF FINLAND  
 Laboratory of Heating and Ventilation

 J u h a n i P a r m a n e n  
 Sen.res.scientist Juhani Parmanen

 R e i j o H e i n o n e n  
 Res.engineer Reijo Heinonen

The use of the name of the Technical Research Centre of Finland (VTT) in advertising or publication in part of  
this report is only permissible by written authorization from the Technical Research Centre of Finland.

KUVIO 26. VTT:n mittaukset Desipon nykyiselle äänieristeovelle



KUVIO 27. VTT:n ja tehtaan mittausten erot

VTT:llä ja tehtaalla tehdyn mittauksen käyrät ovat kutakuinkin samansuuntaisia, vaikka eristävydessä onkin selvä ero (KUVIO 27). Matalilla taajuuksilla esiintyvä heittely johtuu luultavasti tehtaalla olleesta taustamelusta; taustamelua eiintyi koko ajan noin 40 dB (KUVIO 28). Kuviota 27 vertailtaessa nähdään, että ääneneristävyyskäyrät alkavat muistuttaa toisiaan enemmän noin 300 Hz jälkeen, jolloin taustamelua ei esiinny lähes ollenkaan.

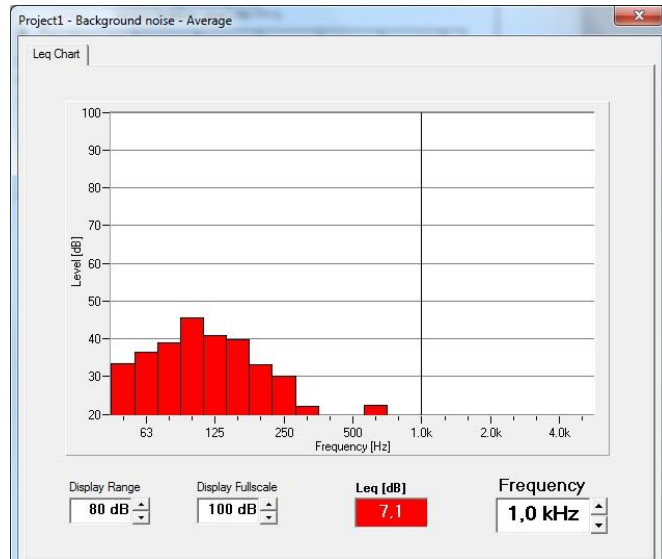
TAULUKKO 20. VTT:n ja tehtaan mittausten erot taajuuksittain

f (Hz)	R (dB)	f (Hz)	R (dB)	
Tehtaalla mitattu		VTT:llä mitattu		Erotus
100	16,10	100	15,90	-0,20
125	21,50	125	20,00	-1,50
160	14,10	160	23,30	9,20
200	17,00	200	25,80	8,80
250	24,20	250	29,10	4,90
315	19,40	315	35,60	16,20
400	18,50	400	38,60	20,10
500	20,70	500	44,20	23,50
630	24,30	630	47,00	22,70
800	34,00	800	46,70	12,70
1000	32,50	1000	46,10	13,60
1250	35,20	1250	46,40	11,20
1600	34,80	1600	49,60	14,80
2000	33,60	2000	52,50	18,90
2500	38,70	2500	53,40	14,70
3150	37,50	3150	51,70	14,20
			Keskiarvo	13,59

Taulukossa 20 näkyy tehtaalla ja VTT:llä mitattujen tulosten erot taajuuksittain sekä R - arvojen erotus. Keskiarvo ääneneristävyyden R erotukselle on 13,59 dB. Tehtaalla mitatuksi  $R_w$  - arvoksi tuli 28 dB ja VTT:llä 39,1, näiden erotus on 11,1 dB. Laskennallisen (TAULUKKO 21) ja VTT:llä mitatun ääneneristävyyden ero on vain 1,2 dB.

TAULUKKO 21. Nykyisen äänieristeoven laskennallinen ääneneristävyys

Ilmaaäneneristävyys eri taajuuksilla ( $R_w=20\lg(mf)-49$ )	
Taajuudet	Eristävyys dB
100	16,30
300	25,84
500	30,28
800	34,36
1000	36,30
1300	38,58
1500	39,82
1800	41,40
2000	42,32
2300	43,53
2500	44,26
2800	45,24
3000	45,84
3150	46,26
Keskiarvo	37,879

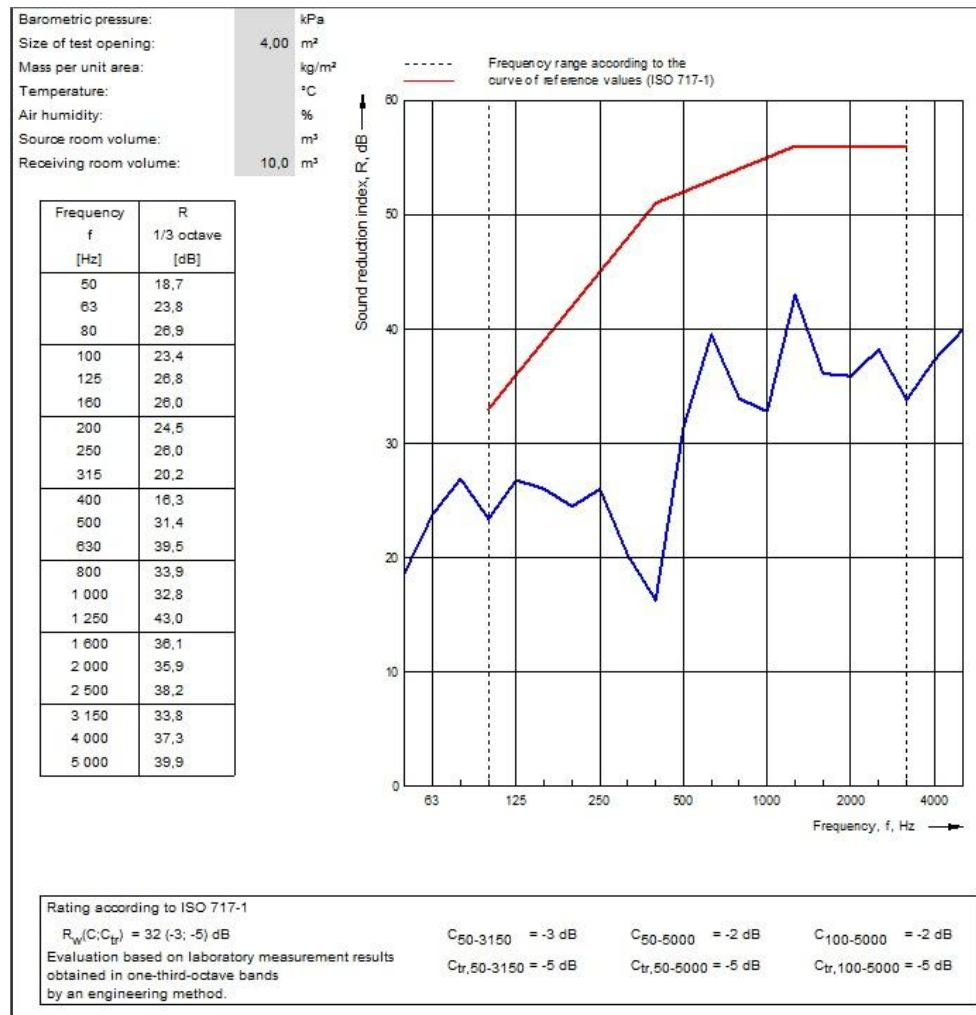


KUVIO 28. Tehtaalla esiintynyt taustamelu

Tehtaalla esiintynyt taustamelu (KUVIO 28) johtui ilmastointilaitteista, joita ei saatu kytkettyä pois päältä. Taustamelu vaikuttaa todella paljon testituloksiin ja resonanssin ja koinsidenssin mahdollisen esiintymisen analysointi vaikeutuu huomattavasti matalilla taajuuksilla.

## 11.2 Rakenne 23

Rakenteen 23 R - arvoksi tuli 32 dB. Kuviossa 29 näkyvä käyrä heittelehti melko paljon, pahin notkahdus eristävydessä tapahtuu 400 Hz:n kohdalla. Koska notkahdus tapahtuu noin matalalla taajuudella, syy siihen on luultavasti resonanssi-ilmiö. Resonanssi-ilmiössä rakenteeseen osuvat ääniaallot ovat rakenteen resonanssitaajuusalueella ja rakenne värähtelee ja säteilee ääntä voimakkaasti, mikä heikentää oven ääneneristävyttä juuri tietyllä taajuudella huomattavasti. Resonanssi-ilmiön vaikutusta pystyy vähentämään suunnittelemalla rakenne siten, että siinä on eritiheyksisiä materiaaleja peräkkäin, jotta perätysten olevien materiaalien resonanssitaajuudet olisivat mahdollisimman kaukana toisistaan. Alle 300 Hz tapahtuvat pienet heitot johtuvat uskoakseni tehtaalla esiintyneestä taustamelusta. Tehtaalla mitattu Desipon nykyisen äänieristerakenteen ääneneristävyys oli 28 dB. Rakenne 23 eristää ääntä näin ollen 4 dB paremmin kuin nykyinen äänieristerakenne.



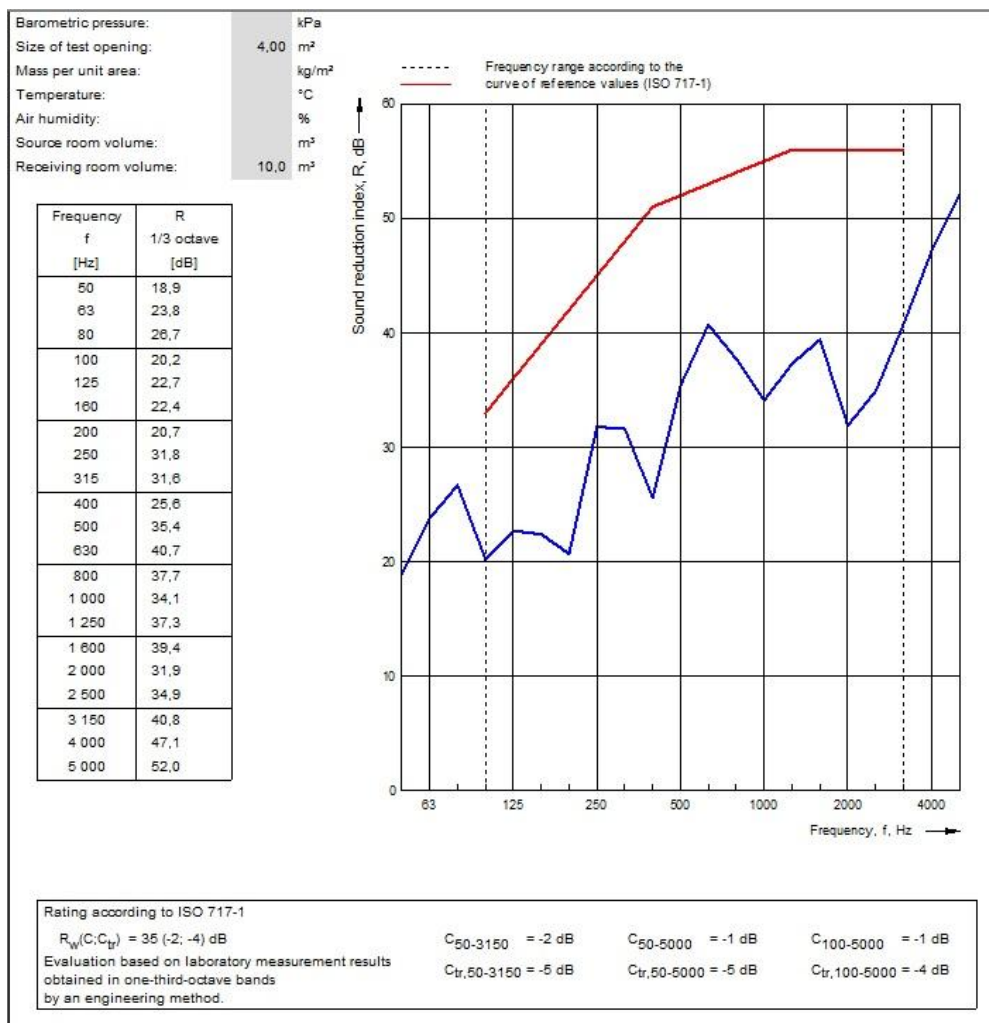
## KUVIO 29. Rakenteen 23 mittaustulokset

Rakenteita suunniteltaessa laskin rakenteen ääneneristävyydeksi 42,0 – 44,1 dB, joka uskoakseni on melko lähellä rakenteen todellista ääneneristävyyttä, mikäli testi suoritettaisiin virallisessa laboratoriossa. Desipon nykyisen äänieristerakenteen tehtaalla ja VTT:llä mitattu ero oli 11,1 dB. Mikäli oletetaan että mittaustuloksissa esiintyneet erot ovat lineaarisia, voidaan jokaiseen testitulokseen lisätä edellä mainittu virallisen tuloksen ja tehtaalla mitatun tuloksen erotus, jotta päästäisiin lähemmäs rakenteiden todellista ääneneristävyyttä. Kun rakenteen 23 mittaustulokseen lisätään edellä mainittu 11,1 dB, saadaan ääneneristävyydeksi 43,1 dB. Saatu tulos osuu keskelle laskennallisesti saatua ääneneristävyyttä, mikä oli 42,0 – 44,1 dB.



### 11.3 Rakenne 26

Rakenteen 26 R – arvoksi tuli 35 dB. Kuviossa 38 näkyvä käyrä heittelee melko paljon, vaikka yhtä suurta notkahdusta kuin kuviossa 30 ei esiinnykään. Toisin kuin rakenteessa 23, rakenteessa 26 notkahdus tapahtuu noin 2000 Hz, mikä johtuu luultavasti koinsidenssi-ilmiöstä, koska se tapahtuu noin korkealla taajuudella. Koinsidenssi-ilmiössä ääniaallot läpäisevät levyn, jolloin ääneneristävyys riippuu lähinnä levyn ja rakenteen häviömekanismeista. Koinsidenssi-ilmiön vaikutusta pystyy vähentämään lisäämällä rakenteeseen ilmarakoja levyjen väliin ja laittamalla niihin ääntä absorboivaa materiaalia. Myös levyt, jotka sisältävät esimerkiksi ohuen kumimaton, vähentävät koinsidenssi-ilmiön vaikutusta. Käyrällä alle 300 Hz näkyvät heitot johtuvat luultavasti tehtaalla esiintyneestä taustamelusta. Rakenne 26 eristää ääntä näin ollen 7 dB paremmin kuin Desipon nykyinen äänieristerakenne, jonka tehtaalla mitattu R – arvo oli 28 dB.

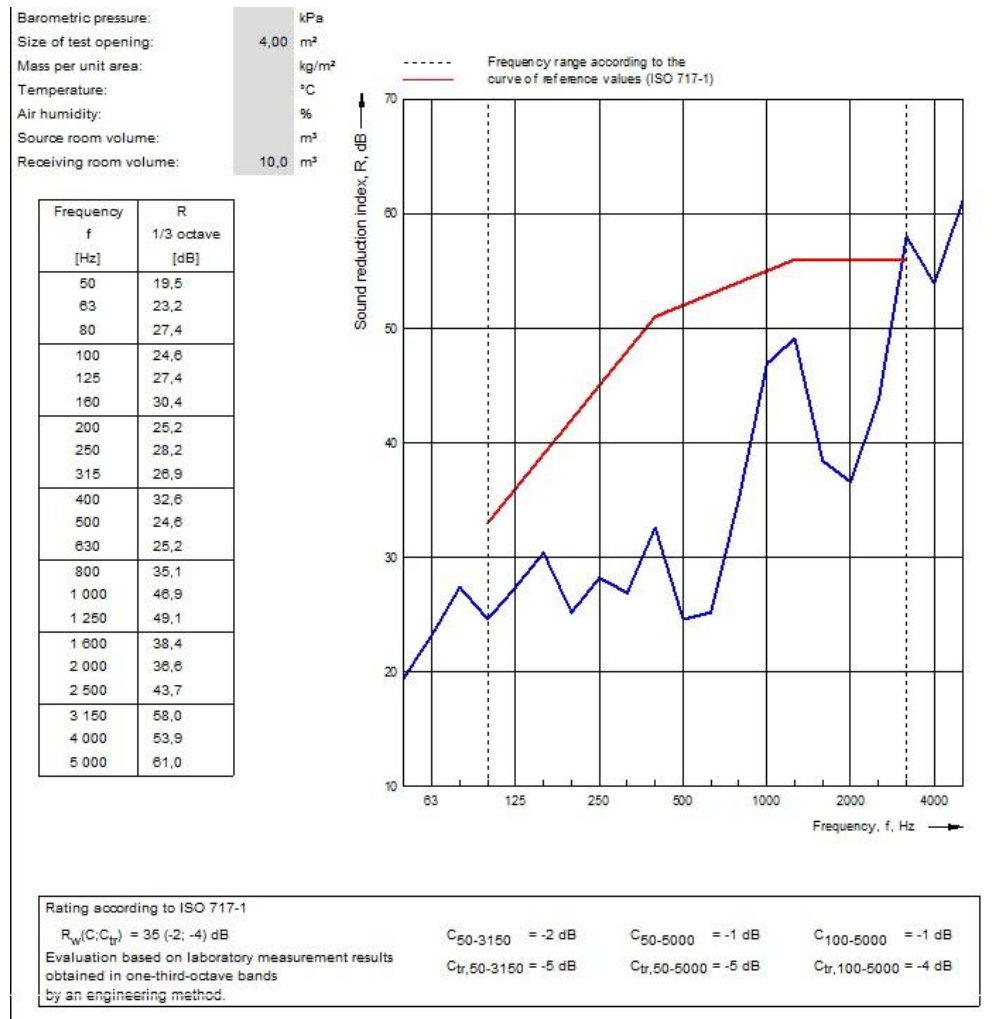


### KUVIO 30. Rakenteen 26 mittaustulokset

Rakenteita suunnitella laskin rakenteen ääneneristävyydeksi 42,5 – 44,9 dB. Kun rakenteen 26 mittaustulokseen lisätään virallisen mittauksen tehtaalla mitatun eristävyyden erotus, saadaan rakenteen 26 ääneneristävyydeksi 46,1 dB. Saatu tulos menee 1,2 dB yli laskennallisen ääneneristävyyden. Vaikka ero mitatun ja laskennallisen ääneneristävyyden välillä ei olisikaan lineaarinen, on tulos silti rohkaiseva koska se on yli laskennallisen arvon.

#### 11.4 Rakenne 35

Rakenteen 35 R - arvoksi tuli 35 dB. Rakenteen 35 käyrässä on kaksi suurta notkahduskohtaa, toinen noin 500 Hz:n ja toinen noin 2000 Hz:n kohdalla. 500 Hz:n kohdalla tapahtuva notkahdus johtuu luultavasti resonanssi-ilmiöstä ja 2000 Hz:n kohdalla tapahtuva notkahdus koinsidenssi-ilmiöstä. Rakenne 35 eristää ääntä näin ollen 7 dB paremmin kuin Desipon nykyinen äänieristerakenne, jonka tehtaalla mitattu R arvo oli 28 dB. Vaikka R - arvo on sama kuin rakenteessa 26, tässä rakenteessa käyrä on huomattavasti jyrkempi, ääneneristävyys matalilla taajuuksilla huonompi ja käyrällä esiintyy kaksi suurta notkahdusta. Käyrän tasaisuus on tärkeä, jotta rakenteen keskiarvo olisi mahdollisimman korkea. Pienikin parannus matalien taajuuksien ääneneristävydessä on tärkeää, joten rakenne 26 on näin ollen parempi vaihtoehto tuotantoon. Rakenteessa 35 esiintyvät notkahdukset saisi uskoakseni eliminoidua pois käyttämällä levyä, joka sisältää ohuen kumimaton oven molemmilla puolilla ja vaihtamalla lastulevyn johonkin elastisempaan ja tiheämpään materiaaliin.



### KUVIO 31. Rakenteen 35 mittaustulokset

Rakenteita suunniteltaessa laskin rakenteen ääneneristävyydeksi 43,0 – 43,9 dB. Koska nykyisen äänieristeoven ja rakenteen 35 tehtaalla mitattu erotus oli 7 dB, rakenne todennäköisesti eristää ääntä paremmin kuin nykyinen äänieristeovi. Kun rakenteen 35 mittaustulokseen lisätään virallisen mittauksen tehtaalla mitatun eristävyyden erotus, saadaan rakenteen 35 ääneneristävyydeksi 46,1 dB. Saatu tulos menee 2,1 dB yli laskennallisen arvon.

## 12 YHTEENVETO

Projekti saatiin toteutettua ja saatiin keskenään vertailukelpoisia tuloksia. Saatiin myös tietoa uusien materiaalien käytöstä äänieristeovissa sekä testauksen myötä pystyttiin vertailemaan sekä nykyistä äänieristeovea kuin myös uusia rakenteita ja niiden soveltuvuutta äänieristeoveen. Toteutetuilla menetelmillä ei saavutettu tavoiteltuja tuloksia rakenteiden ääneneristävydessä, mutta testausmenetelmien ja olosuhteiden puutteiden vuoksi tulokset luultavasti paranevat huomattavasti, mikäli ne toteutetaan virallisen testauslaitoksen toimesta.

### 12.1 Rakenteiden eristävydet

Testattujen rakenteiden olivat melko samat riippumatta ovirakenteesta, huonoimman ja parhaimman rakenteen eristävyysero oli vain 8 dB.

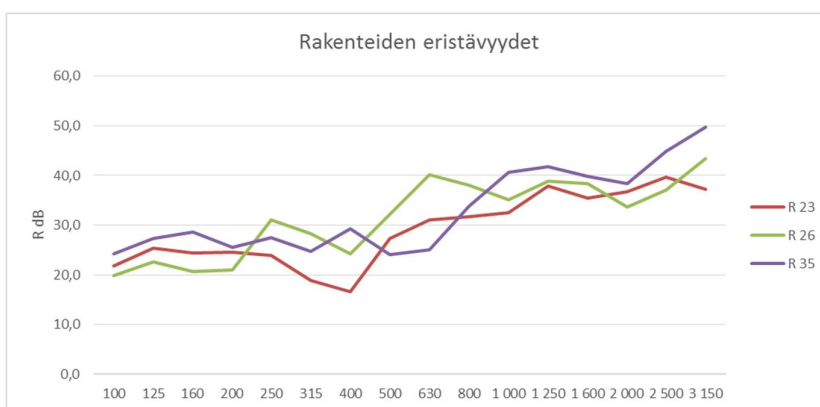
TAULUKKO 25. Rakenteiden painot, hinnat ja eristävydet

Rakenne	Paino (kg)	Hinta (€)	Eristävyys R (dB)	Paino/eristävyysuhde
23	44	69,03	32	0,73
26	46	63,51	35	0,76
35	54	53,61	35	0,65
Nyk. äänieristeovi	40,5		28	0,69

Taulukossa 25 on eriteltyinä kaikkien testattujen rakenteiden painot, hinnat ja eristävydet sekä paino/eristävyysuhteet. Rakenteessa 26 oli suunnittelemani rakenteista paras paino/eristävyysuhde ja se oli eristävydeltään myös lähimpänä tavoitearvoa. Tehdyn testin perusteella rakenteen 26 jatkokehittämistä kannattaisi miettiä ja pyrkiä eliminoimaan pahimmat poikkeavuudet käyrässä. Muiden rakenteiden paino/eristävyysuhdeet olivat niin paljon huonompia, että en näe niissä jatkokehittämisen mahdollisuuksia. Uskoakseni rakenteen 26 paremmuus

johtui tuulensuojalevystä, jonka tiheys on suurempi kuin rakenteissa 23 ja 35 käytetyissä levyissä. Rakenteessa 26 on myös suuremmat ilmaraoit kuin muissa rakenteissa. Uskoakseni myös tämä auttoi vähentämään oven läpi pääseviä ääniä.

Pelkät eristävyudet ja paino eivät kuitenkaan kerro koko totuutta, pitää myös tutkia rakenteiden käyriä ja niiden eroavaisuuksia. Kaikissa rakenteissa esiintyi joko resonanssi- tai koinsidenssi-ilmiötä tai molempia. Se kertoo, kuinka vaikea on löytää rakenne, johon kumpikaan ilmiö ei vaikuttaisi. Testatuissa ovissa käytettiin lukuisia eri materiaaleja, joten yhden tietyn materiaalin käyttö ei selitä eristävyudessa esiintyneitä puutteita. Kuviosta 47 nähdään, että kaikki käyrät ovat lähes samanlaisia. Suurta eroa eristävyyksissä ei ole, ainoastaan yksittäiset notkahdukset käyrissä tuovat eroja selville. Rakenteissa 23 ja 26 selvin notkahdus tapahtuu 400 Hz:n kohdalla, rakenteessa 35 taas 500Hz:n kohdalla.



KUVIO 39. Rakenteiden 23, 26 ja 35 eristävyudet

## 12.2 Projektin eteneminen

Projekti eteni hyvin alusta lähtien ja sopivia materiaaleja löytyi melko paljon. Sitten tuli vaikeuksia löytää sopivia kaavoja edes suuntaa antavia laskuja varten. Kun sopivat kaavat löytyivät, selvisi, että miettimäni rakenteet olivat liian monimutkaisia ja raskaita. Hylkäsin aiemmat materiaalit ja aloin etsiä täysin uusia. Kun uusia materiaaleja löytyi, rakenne-ehdotuksia alkoi tulla melko nopeaan tahtiin. Lähetin useaan otteeseen suunnittelemani rakenteita Desipolle, josta tuli hyvää palautetta ja moni rakenne jouduttiin hylkäämään toimimattomana. Kaiken kaikkiaan suunnittelin noin 40 erilaista rakennetta, joista kolme valittiin valmistettavaksi ja testattavaksi. Valmistettavien rakenteiden

päättämisen jälkeen olin yhteydessä materiaalivalmistajiin ja tiedustelin heidän halukkuuttaan antaa rakenteisiin tarvittavat materiaalit. Yritykset antoivat kaikki pyytämäni materiaalit kahden viikon kuluessa tiedustelusta. Isoja käytännön ongelmia ei projektissa ilmennyt: ovien suunnittelu, valmistus ja testaus sujuivat melko hyvin.

### 12.3 Omat kokemukset

Kokemukseni projektista ovat pääsääntöisesti positiiviset. Projektiin sopivia kaavoja ei löytynyt kuin muutamia, mikä vaikeutti huomattavasti projektin etenemistä alussa. Kun edes suuntaa-antavat kaavat löytyivät, pääsin kunnolla suunnittelemaan rakenteita. Projektin edetessä tuli selväksi, että uusien innovaatioiden keksiminen on todella vaikeata, ja vaikka yritin miettiä ennestään vähemmän käytettyjen materiaalien käyttöä, niin silti haluttu tulos jäi saavuttamatta, ainakin mittausten osalta. Yrityksen kanssa yhteistyö sujui mielestäni hyvin, eikä ongelmia ilmennyt.

#### 12.3.1 Rakenne-ehdotukset

Kun aloin suunnittelemaan rakenteita, tutkin monia eri materiaaleja ja niiden yhdistelmiä. Ensimmäiset suunnittelemani rakenteet olivat todella monimutkaisia ja sisälsivät lähes kymmentä eri materiaalia. Niissä oli paljon matalia taajuuksia hyvin eristäviä raskaita materiaaleja, mikä aiheutti sen, että rakenteiden painot menivät lähelle sataa kiloa. Silti niiden eristävyys oli laskennallisestikin vain lähellä 45:tä desibeliä.

Sen jälkeen hylkäsin monimutkaiset ja raskaat rakenteet ja aloin miettimään minulle tutujen materiaalien käyttöä. Ovien valmistus

Ovien valmistus sujui ilman isompia ongelmia. Pienen laskuvirheen vuoksi kahteen oveen jäi pieni rako rungon ja MDF:n väliin, mutta ne täytettiin liimalla. Vaikka ovien valmistuksessa on monta pientä osa-aluetta, se on melko suoraviivaista ja yksinkertaista, eikä vaadi kuin joidenkin puuntyöstökoneiden käytön hallitsemisen. CNC-kone on ainoa, mikä vaatii jonkin verran tietotekniikan taitoja.

### 12.3.2 Ovien testaus

Suunnittelemani rakenteita testattiin kolme ja Desipon Niko Väisäsen valmistamia rakenteita kuusi, lisäksi testasimme vertailun vuoksi Desipon nykyisen äänieristeovirakenteen kahdella ja yhdellä tiivisteellä. Testauksessa tehtiin virheitä, jotka olisivat olleet estettävissä paremmalla osaamisella testauslaitteiston käytössä ja testitapahtuman kokonaisuuden paremmalla hallinnalla. Jokaiselle rakenteelle suoritettiin kaksi testauskertaa rajallisen ajan vuoksi. Tulokset olisivat olleet tasaisemmat, mikäli olisi ollut aikaa tehdä useampi testikerta ovea kohden.

Testin aikana olosuhteet pysyivät muuttumattomina, minkä vuoksi uskon, että tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia ja antavat tietoa siitä, mitä rakennetta kannattaa jatkokehittää ja mitkä kannattaa hylätä. Myös tehdyt virheet tehtiin jokaiselle rakenteelle samanlaisina.



## LÄHTEET

Dovia 2014. Kerrostasopuupalo-ovet. [viitattu 14.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.dovia.fi/kerrostasopuupaloovet.php>

Ewona 2014 a. Yritys. [viitattu 7.3.2014]. Saatavissa: <http://www.ewona.fi/yritys/>

Ewona 2014 b. Etusivu. [viitattu 7.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.ewona.fi/etusivu/>

Ewona 2014 c. Eristeet. [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.ewona.fi/eristeet/>

Fermacell 2014. About Fermacell. [viitattu 13.4.2014]. Saatavissa:

[http://www.fermacell.com/en/content/about\\_fermacell\\_1191.php](http://www.fermacell.com/en/content/about_fermacell_1191.php)

Haapsalu 2014. Yritys. [viitattu 14.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.uksetehas.ee/fi/src/ettevotest/>

Jeldwen 2013. JELD-WENistä. [viitattu 14.3.2014]. Saatavissa: <http://www.jeld-wen.fi/jeld-wenista/>

Knauf 2014 a. Etusivu. [viitattu 7.3.2014]. Saatavissa: <http://www.knauf.fi/>

Knauf 2014 b. Tekniset tiedot. [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.knauf.fi/tuotteet/knauf-rakennuslevyt/kipsilevyt/tekniset-tiedot-kipsilevyt>

Lilja 2007, 3. Soveltamisala. [viitattu 22.3.2010]. Saatavissa:

<http://www.ym.fi/download/noname/%7BEE81FDE9-C0B9-4DCB-9AB3-F244784DBBF4%7D/56725>

Mäkinen, T. 2013. Kiilto. Haastattelu 2014.

Ovesta 2013. Yritysesittely. [viitattu 14.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.ovesta.fi/yritys.html>

Paloluokitus 2002, 5. Materiaalien savuntuotto. [viitattu 1.4.2014]. Saatavissa:

[http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1\\_2011-fi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf)

Paloluokitus 2002, 5. Palavien pisaroiden esiintyminen. [viitattu 1.4.2014].

Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1\\_2011-fi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf)

Paloluokitus 2002, 5. Rakennustarvikkeiden paloluokat. [viitattu 1.4.2014].

Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1\\_2011-fi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf)

Paroc 2104. Ääneneristys. [viitattu 7.3.2104]. Saatavissa:

<http://www.paroc.fi/ratkaisut-tuotteet/ratkaisut/aani/aaneneristys>

Promat 2014. Masterboard. [viitattu 7.3.2014]. Saatavissa:

[http://www.promat.nu/images/productimages/media/FI\\_Masterboard\\_leaflet\\_for\\_wetrooms\\_03\\_2009.pdf](http://www.promat.nu/images/productimages/media/FI_Masterboard_leaflet_for_wetrooms_03_2009.pdf)

Puuinfo 2004, 18. Massalaki. [viitattu 3.4.2014]. Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>

Puuinfo 2004, 20. Resonanssi-ilmiö. [viitattu 3.4.2014]. Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>

Puuinfo 2004, 21. Koincidenssi-ilmiö. [viitattu 13.4.2014]. Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>

Puuinfo 2004, 23. Kaksinkertaisen seinän äänitekkinen toiminta. [viitattu 14.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>

Skaala 2014. Yritys. [viitattu 14.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.skaala.com/yritys.html>

Tekninen tiedote 2012. Pintojen ja katteiden paloluokat. [viitattu 1.4.2014].

Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/pintojen-ja-katteiden-paloluokat/pintojen-ja-katteiden-paloluokat.pdf>

Viitanen, A. 2013. Tuotekehityspäällikkö. SPU Oy. Haastattelu 2013.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2011.

Rakennustarvikkeet. [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa:

[http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1\\_2011-fi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf)

Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa 1998. Ilmaääneneristysluku. [viitattu

7.3.2014]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1917-c1.pdf>

## LIITTEET

Liitteissä esiintyvät englanninkieliset termit suomennettuna:

Level [dB] = äänenpaine [dB]

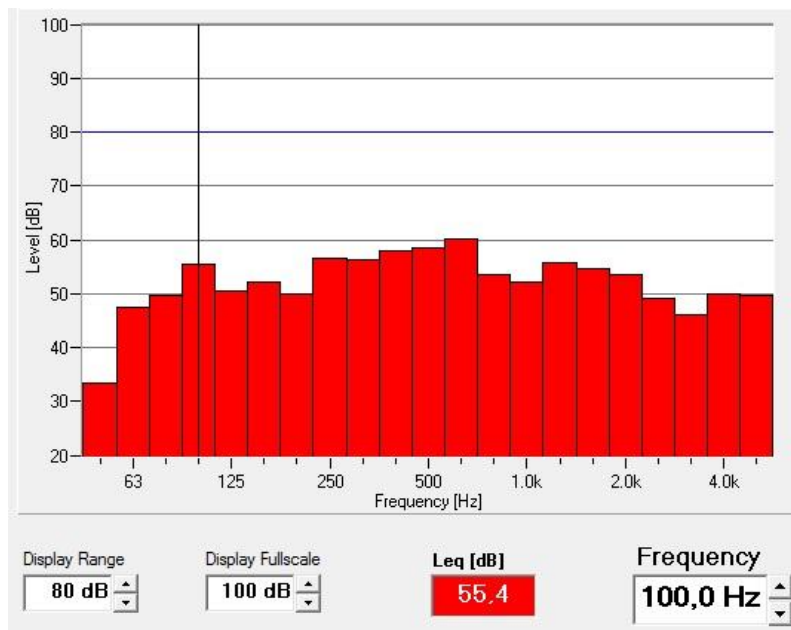
Display range = näyttöalue

Display fullscale = koko näyttöalue

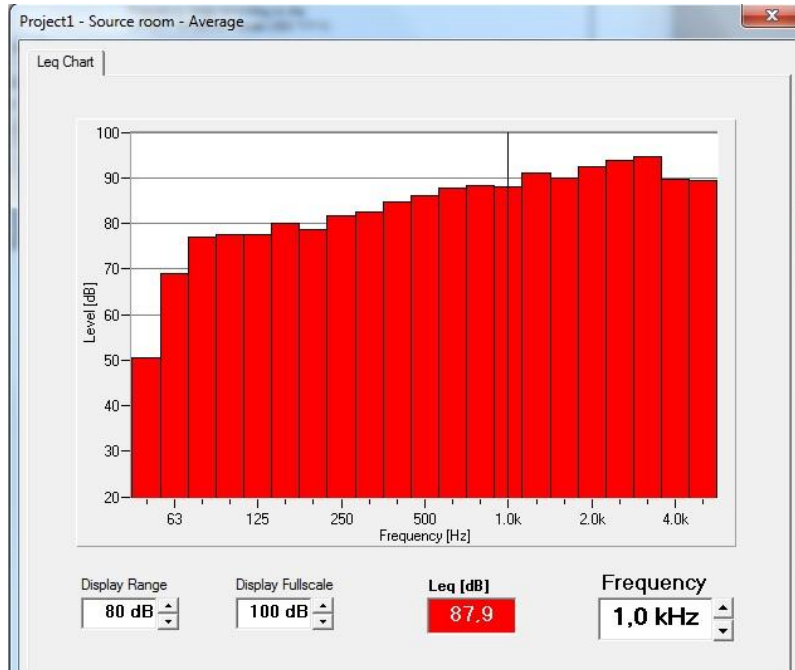
Leq [dB] = mitattu äänenpaine [dB]

Frequency = taajuus [Hz]

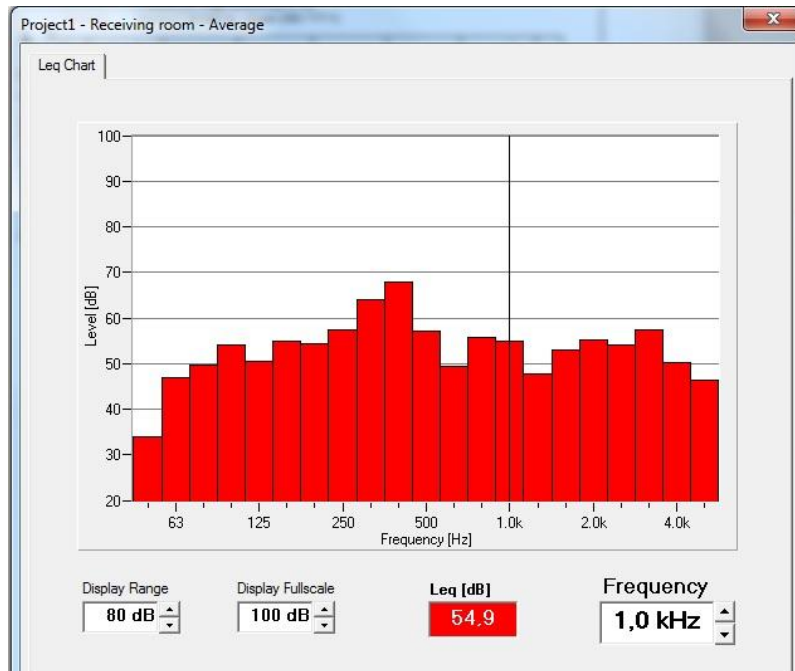
LIITE 1. Nykyisen äänieristeoven vastaanottohuoneet äänitasot



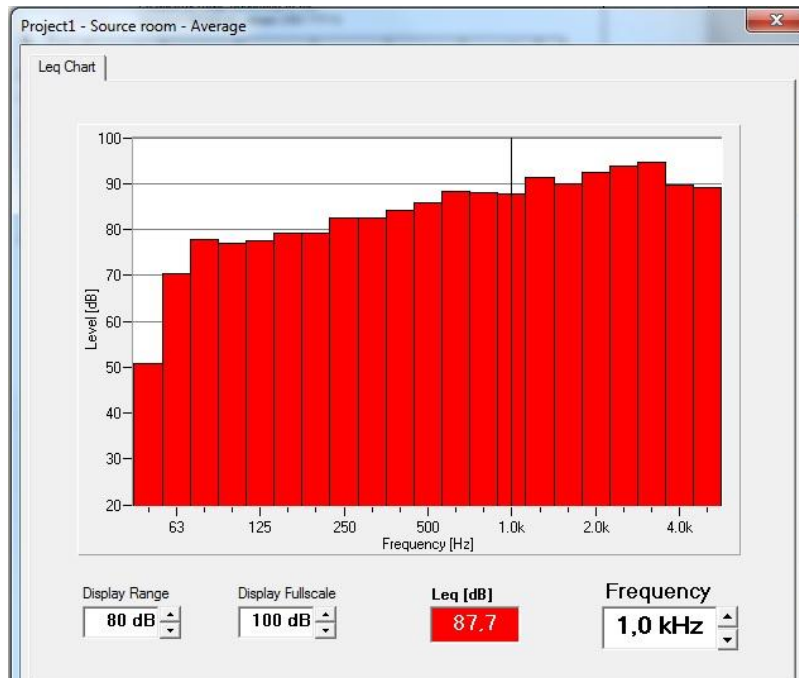
## LIITE 2. Nykyisen äänieristeoven äänilähdehuoneen äänitasot



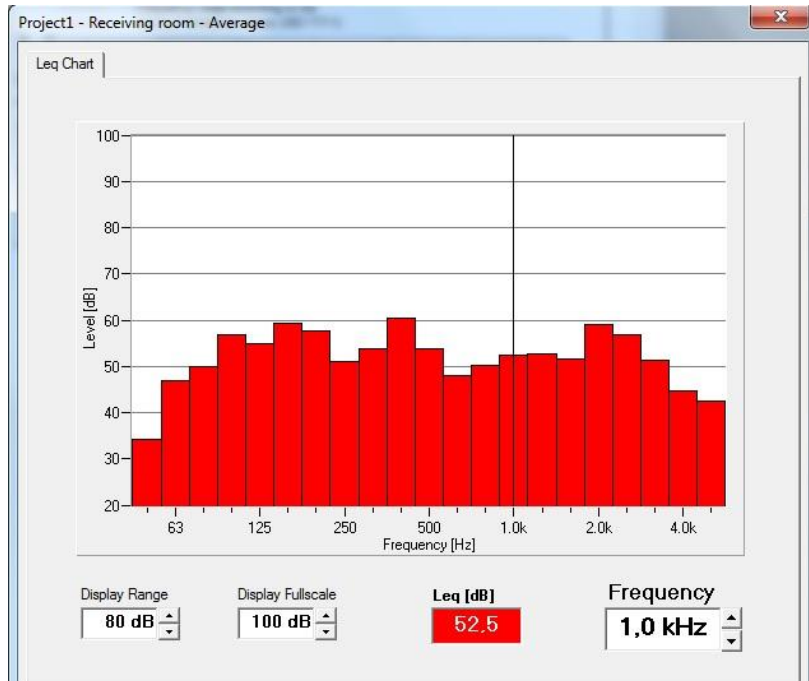
## LIITE 3. Rakenteen 23 vastaanottohuoneen äänitasot



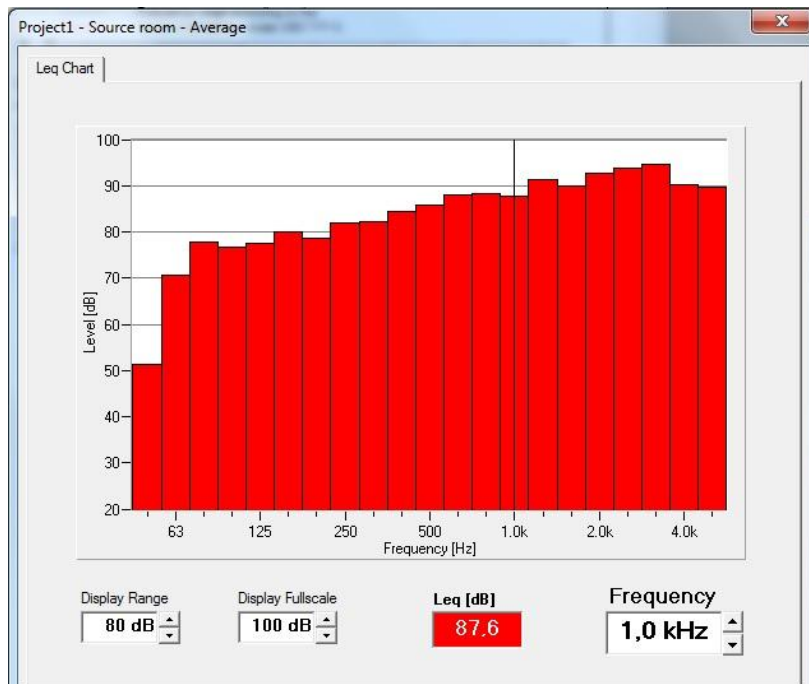
#### LIITE 4. Rakenteen 23 äänilähdehuoneen äänitasot



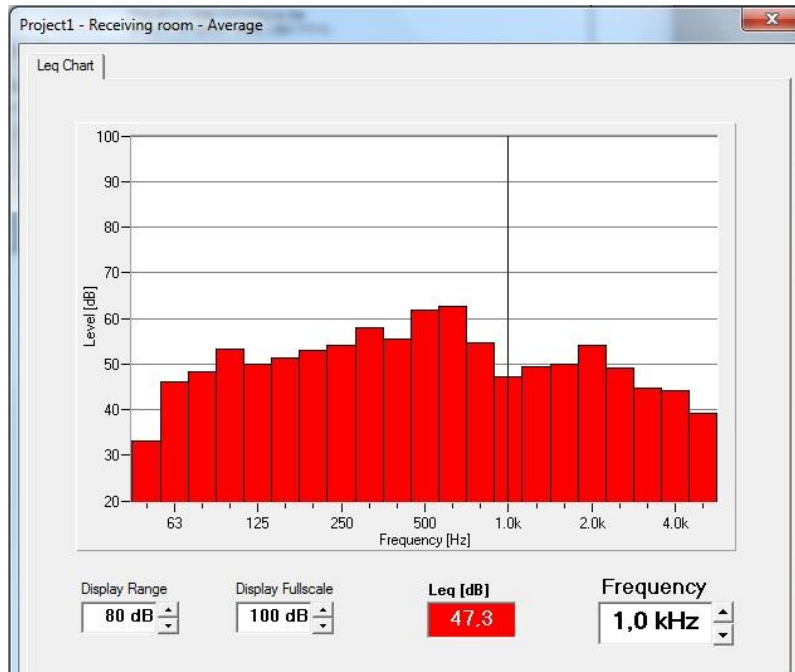
#### LIITE 5. Rakenteen 26 vastaanottohuoneen äänitasot



LIITE 6. Rakenteen 26 äänilähdehuoneen äänitasot



LIITE 7. Rakenteen 35 vastaanottohuoneen äänitasot



### LIITE 8. Rakenteen 35 äänilähdehuoneen äänitasot

