

Lauri Laakso

Ilmaääneneristävyyden parantaminen parvekeovessa

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu

Tekijä: Lauri Laakso

Työn nimi: Ilmaääneneristävyyden parantaminen parvekeovessa

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 53

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli parantaa Skaala Oy:n IOA-2+1-parvekeoven ilmaääneneristävyyttä oven rakennetta muuttamalla. Oven rakennepiirustuksia muokattiin AutoCAD-ohjelmalla. Piirustuksien pohjalta tehtiin neljä ovea; kolme muokatulla ja yksi alkuperäisellä rakenteella. Ovet valmistettiin Skaala Oy:n tehtaalla Ylihärmässä ja niiden ilmaääneneristävyyttä tutkittiin SeAMKin laboratoriossa merikonttiin rakennetussa testitilassa noudattaen standardia ISO 140-3. Mittaustulokset on esitetty opinnäytetyön lopussa standardin ISO 717-1 mukaisesti.

Avainsanat: ääneneristys, ääni, ovet, rakennesuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Structural Design

Author: Lauri Laakso

Title of thesis: Improving airborne sound insulation in the balcony door

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2017

Number of pages: 53

Number of appendices: 2

The purpose of the thesis was to improve the airborne sound insulation of IOA-2+1 balcony door made by Skaala Ltd by changing the structure of the door. Three new structural drawings were made from the original structural drawing by using AutoCAD- software; one door with original and three doors with different design. After finishing the structural drawings, test doors were made at Skaala Ltd's factory in Ylihärmä. Airborne sound insulation was measured in the test room, built in a sea container, in the laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. Standard ISO 140-3 was obeyed during the measurements. Results obeying Standard ISO 717-1 were presented at the end of the thesis.

Keywords: sound insulation, sound, doors, structural engineering

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO.....	10
2 ÄÄNI JA ÄÄNENERISTÄVYYS.....	11
2.1 Ääni.....	11
2.2 Äänen taajuus.....	11
2.3 Aallonpituus.....	12
2.4 Resonanssi- ilmiö.....	13
2.5 Ääniteho.....	13
2.6 Äänen intensiteetti.....	14
2.7 Desibeli.....	14
2.8 Äänenpaine ja äänenpainetaso.....	15
2.9 Jälkikaiunta-aika.....	15
2.10 Äänen absorptio.....	15
2.11 Ilmaääneneristävyys.....	16
2.12 Ilmaääneneristysluku.....	18
2.13 Lämpötilan ja ilmankosteuden vaikutus äänen absorptioon ilmassa.....	19
3 ÄÄNENERISTYSMITTAUKSESSA KÄYTETTÄVÄ TESTITILA.....	22
3.1 Testitila.....	22
3.2 Seinärakenne.....	22
3.3 Lattiarakenne.....	24
3.4 Kattorakenne.....	24
3.5 Testausväliseinä.....	25
3.6 Rakenteiden väliset liittymät.....	26
3.7 Testitilan käyntiovet.....	26
3.8 Kattolämmitin.....	27
3.9 Valaistus.....	28

4	ÄÄNENERISTYSMITTAUSKALUSTO JA MITTAUS.....	30
4.1	Ääneneristysmittauskalusto	30
4.1.1	Tietokone	30
4.1.2	01dB-Stell Harmonie 4210	31
4.1.3	Vahvistin	31
4.1.4	Kaiutin	31
4.1.5	Mikrofoni	32
4.1.6	Mikrofonin kalibrointilaite.....	33
4.2	Ilmaääneneristysmittaus	34
5	TESTATTAVAT OVET	37
5.1	Alkuperäinen ovimalli	37
5.2	Ovi 3+1-lasituksella.....	38
5.3	Ovi yhdellä ääneneristyslevyllä	40
5.4	Ovi neljällä ääneneristyslevyllä	42
6	MITTAUSTULOKSET	44
7	POHDINTA	50
	LIITTEET	53

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Aallonpituus.	13
Kuvio 2. Ääni kohtaa rakenteen (Paroc [viitattu 8.9.2016]).	16
Kuvio 3. Laboratorio-olosuhteissa tapahtuva ilmaääneneristävyyden mittaaminen (RIL 243-1-2007, 58).....	18
Kuvio 4. Esimerkkikuva ilmaääneneristysluvun määrittämisestä mittaustuloksista (RIL 243-1-2007, 60).....	19
Kuvio 5. Testitilan sivuseinän rakenne (Lindfors 2016, 38).....	23
Kuvio 6. Testitilan päätyseinän rakenne (Lindfors 2016, 39).	23
Kuvio 7. Testitilan lattiarakenne (Lindfors 2016, 42).	24
Kuvio 8. Testitilan kattorakenne (Lindfors 2016, 44).	25
Kuvio 9. Testitilan testausväliseinä (Lindfors 2016, 45).	26
Kuvio 10. Mittausohjelman esittämä tulos.	36
Kuvio 11. Vakio-ovi.	38
Kuvio 12. Oviilehti 3+1-lasituksella.	40
Kuvio 13. Ovi jossa yksi ääneneristyslevy.	41
Kuvio 14. Ovi jossa neljä ääneneristyslevyä.	43
Kuvio 15. Vakio-oven mittaustulos.	44
Kuvio 16. Vakio-oven mittaustulos, kun kaikki saumat on huolellisesti teipattu. ...	45
Kuvio 17. 3+1-lasisen oven mittaustulos.....	46
Kuvio 18. 3+1-lasisen oven mittaustulos, kun kaikki saumat on huolellisesti teipattu.	46

Kuvio 19. Mittaustulos, kun oven rungossa on yksi ääneneristyslevy.	47
Kuvio 20. Mittaustulos, kun oven rungossa on yksi ääneneristyslevy ja kaikki saumat on huolellisesti teipattu.	47
Kuvio 21. Mittaustulos, kun oven rungossa on neljä ääneneristyslevyä.....	48
Kuvio 22. Mittaustulos, kun oven rungossa on neljä ääneneristyslevyä ja kaikki saumat on huolellisesti teipattu.	48
Kuvio 23. Vertailua eri ovien välillä sekä muiden ovivalmistajien vastaavien tuotteiden kanssa.	49
Kuva 1. Testitilan ovet, sekä merikontin ovi.	27
Kuva 2. Kattolämmitin.	28
Kuva 3. Valaisin liiketunnistimella.	29
Kuva 4. Tietokone ja 01dBStell Harmonie 4210 -laite.	30
Kuva 5. Kohinaääntä tuottava kaiutin.....	32
Kuva 6. Mikrofoni.	33
Kuva 7. Mikrofonin kalibrointilaite.....	34
Taulukko 1. Ilman suhteellinen kosteus tietyssä lämpötilassa (Siikanen 2014, 69).	21

Käytetyt termit ja lyhenteet

Desibeli	Äänenvoimakkuuden mittayksikkö [dB]
Hdf-levy	Korkeatiheksinen puukuitulevy, jonka tiheys on n. $800 - 1000 \frac{kg}{m^3}$ paksuudesta riippuen.
Ilmajousi	Kaksi- tai useampikerroksisen rakenteen välissä oleva ilmatila. Äänenpaine aiheuttaa värähtelyä toisen puolen rakenteeseen, joka välittyy ilmatilan kautta seuraavaan rakenteeseen. Mitä suurempi ilmaväli, sitä heikompa on välittyminen.
Ilmaääneneristävyys	Rakenteen kyky eristää ääntä eli rakenteeseen kohdistuvan äänen ja rakenteen läpäisseen äänen suhde.
IOA	Ulospäin aukeava puurakenteinen ikkunaovi, jossa alumiinilevy ulkopinnassa.
Jälkikaiunta-aika	Aika, jolloin äänenpainetaso laskee 60 dB äänilähteen hiljennyttyä.
Resonanssi	Esimerkiksi rakennusosan ja siihen kohdistuvan äänen yhtä suuri taajuus.
Selektiivilasi	Lasi, jonka pinnalla on metallioksidikerroksia, joiden vuoksi pitkäaaltonen lämpösäteily heijastuu takaisin, mutta lyhytaaltonen pääsee kulkeutumaan lasin läpi.
Taajuus	Äänen aiheuttamien värähtelyjen määrä sekunnin aikana. Taajuuden yksikkö on hertzi [Hz].
Tasolasi	Lasi, jossa ei ole vääristymiä ja joka on tasapaksua ja läpinäkyvää.
Äänen absorptio	Äänen imeytyminen johonkin kiinteään, nestemäiseen tai kaasumaiseen aineeseen.

Äänen eristys	Ääniaaltojen etenemisen pysäyttämiseen tähtäävä rakenne tai rakenteen osa.
Ääni	Väliaineessa, esimerkiksi ilmassa tai vedessä, etenevä aaltoliike, joka ilmenee värähtelynä ja joka saa aikaan kuuloaistimuksen.
2+1-lasitus	Kaksikerroksinen lasielementti ja tasolasi.
3+1-lasitus	Kolmikerroksinen lasielementti ja tasolasi.

1 JOHDANTO

Skaala Oy on yksi Pohjoismaiden suurimmista ovi- ja ikkunavalmistajista ja se on myös erikoistunut terassi- ja parvekelasituksiin. Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli Skaala Oy:n IOA-2+1-parvekeoven ilmajääneristävyyden parantaminen. Oven ilmajääneristävyyttä pyrittiin parantamaan muuttamalla alkuperäisen oven rakennetta. Suunnittelukuvat piirrettiin AutoCAD-ohjelmalla ja suunnitelluista ovista tehtiin testikappaleet Skaalan Ylihärän tehtaalla. Itse ilmajääneristävyydsmittaukset suoritettiin SeAMKin rakennuslaboratoriossa merikonttiin rakennetussa testauskopissa. Työ tavoitteena oli kehittää nykyiselle ovelle, jonka ilmajääneristävyyssarvo R_w on 41 dB, parempi ilmajääneristävyys oven rakennetta muuttamalla. Tavoite- R_w -arvo oli 44 dB.

Työssä perehdytään ääneen liittyvään teoriaan, käsitteisiin ja mittausmetodeihin sekä tutustutaan ilmajääneristysmittauksissa tarvittaviin välineisiin.

2 ÄÄNI JA ÄÄNENERISTÄVYYS

2.1 Ääni

Äänellä tarkoitetaan ilmanpaine-erojen vaihtelua vakioilmanpaineeseen nähden. Ääni etenee värähtelynä kimmoisassa väliaineessa liikuttaen ilmahiukkasia ja saaden yhä seuraavat ilmahiukkaset värähtelemään. Ihminen kokee tämän ilmahiukkasten värähtelyn kuuloaistin avulla. Ilmaääneksi kutsutaan ilmassa etenevää äänen aaltoliikettä. Tyhjiössä ääni ei voi edetä, sillä siellä ei ole väliainetta, jota pitkin ääni kykenisi kulkeutumaan (Siikanen 2014, 136.)

Runkoääneksi kutsutaan ääntä, joka kulkeutuu rakenteessa värähtelynä. Kohdattessaan rakennetta rajoittavan pinnan ääni kulkeutuu ilmaan ilmaäänenä (Siikanen 2014, 161.) Askelääneksi kutsutaan ääntä, joka syntyy, kun pintaan osuu jokin isku, joka aiheuttaa rungon värähtelyä ja etenee runkoäänenä. Esimerkiksi askeleet tai esineen putoaminen lattialle aiheuttavat askelääniä (RIL 243-1-2007, 36.)

Ilmaääni voi edetä äänilähteestä kolmella eri tavalla ympäristöön; palloaaltona, tasoaaltona tai sylinteriaaltona. Palloaallossa ääni etenee tasaisesti joka suuntaan pallomaisesta äänilähteestä luoden tasaisia pallomaisia ääniaaltoja ympäristöön. Jokainen ääniaalto on samassa vaiheessa tietyllä hetkellä syntyneestä äänestä. Palloaallossa äänentaso laskee 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa. Mentäessä etäämmälle äänilähteestä ääniaaltojen kaarevuus pienenee ja aallon muoto lähennee muodoltaan tasopintaa. Peräkkäisiä ääniaaltojen tihentymiä kutsutaan näin tasoaalloiksi. Sylinteriaalloksi kutsutaan putkimaisesta äänilähteestä lähteviä ääniaaltoja, jotka säteilevät tasaisesti ympärilleen. Sylinteriaallon äänentaso alenee 3 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa (Siikanen 2014, 138–139.)

2.2 Äänen taajuus

Äänen taajuudella tarkoitetaan äänen aiheuttamien värähtelyjen määrää sekunnissa. Äänen taajuus f [Hz] voidaan laskea kaavalla

$$f = \frac{n}{T}, \quad (1)$$

missä

n on värähtelyiden määrä

T [s] on aikajakso, jolla värähtely on havaittu

Ihminen kykenee kuulemaan ääniä 20–20 000 Hz:n välillä. Pienitaajuiset äänet ovat matalia ja suuritaajuiset korkeita. Hyvin matalia, alle 20 Hz, ääniä kutsutaan infraääniksi ja ne aistitaan tärinänä (RIL 243-1-2007, 35.)

2.3 Aallonpituus

Aallonpituudella tarkoitetaan välimatkaa kahden aallonhuipun tai -laakson välillä. Kuviossa 1 on esitetty aalto ja aallonpituus. Aallonpituus voidaan laskea kaavasta

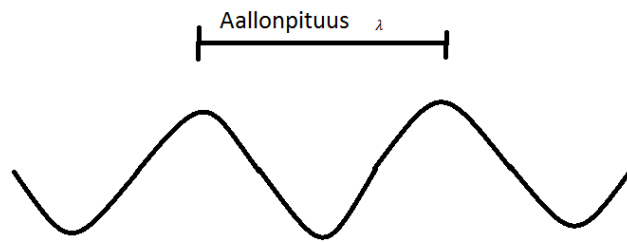
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

missä

c on äänen etenemisnopeus ilmassa

f on äänen taajuus

Äänen nopeus ilmassa on noin 340 m/s. Näin ollen 100 Hz:n taajuinen ääniaalto on noin 3.4 metrin pituinen. Aallonpituus riippuu taajuudesta, joten se lyhenee taajuuden kasvaessa ja pitenee taajuuden pienentyessä (Siikanen 2014, 137.)



Kuvio 1. Aallonpituus.

2.4 Resonanssi- ilmiö

Jos rakennusosan ominaistaajuus eli resonanssitaajuus ja äänen taajuus ovat samat, ne värähtelevät samaan tahtiin vahvistaen toisiaan. Tämän vuoksi pyritään siihen, että rakennusosan resonanssitaajuus ei ole äänen yleisimmällä taajuusalueella (125–3000 Hz). Jokaisella yksinkertaisella rakennusosalla on oma resonanssitaajuutensa, joka saa rakenteen värähtelemään voimakkaasti. Kun rakenne on samalla taajuudella siihen kohdistuvan äänen kanssa, sen ääneneristävyys heikkenee (Siikanen 2014, 140.)

2.5 Ääniteho

Ääniteholla tarkoitetaan energiaa, joka siirtyy äänilähteestä ympäristöön. Äänitehon yksikkö on watti (W) sekuntia kohti. Ääniteho ilmoitetaan yleensä Äänitehotasona L_w [dB]

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad (3)$$

missä

L_w = äänitehotaso

W = ääniteho

$W_0 = 10^{-12} W =$ vertailuteho

(RIL 243-1-2007, 41–42.)

2.6 Äänen intensiteetti

Yhden neliömetrin alueelle kohdistuvaa äänitehoa kutsutaan äänen intensiteetiksi (I). Sen yksikkö on $\frac{W}{m^2}$. Logaritminen intensiteettitaso saadaan yhtälöstä

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (4)$$

missä

$L_I =$ Intensiteettitaso

$I =$ Äänen intensiteetti

$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2} =$ vertailuintensiteetti

(RIL 243-1-2007, 42.)

2.7 Desibeli

Äänen voimakkuus esitetään tavallisesti logaritmisella asteikolla desibeleinä (dB). Desibeliasteikon lähtökohtana on äänen intensiteetti (I) eli yhden neliömetrin alueelle kohdistuva ääniteho. Kun äänen intensiteetti kasvaa kymmenkertaiseksi, tarkoittaa se desibeliasteikolla 10 desibelin nousua. Äänenpainetasoa (LP), äänen intensiteettiä (L_I) ja äänitehon suuruutta (L_W) ilmaistaessa käytetään tavallisesti desibelejä. Äänenpaineen kaksinkertaistuksessa äänen painetaso kasvaa 6 dB ja kymmenkertaistuksessa 20 dB. Äänen tehon tai intensiteetin kaksinkertaistuksessa äänen painetaso kasvaa 3 dB ja kymmenkertaistuksessa 10 dB (Siikanen 2014, 141–142.)

2.8 Äänenpaine ja äänenpainetaso

Äänen voimakkuutta (Pa) ilmaisevalla äänenpaineella (p) tarkoitetaan ympäröivän pysyvän ilmanpaineen ja hetkellisen ilmanpaineen eroa (Siikanen 2014, 141).

Ilmanpaineen vaihtelut, jotka ihminen kykenee kuulemaan verrattuna pysyvään eli staattiseen ilmanpaineeseen, ovat hyvin pieniä. Ihminen kykenee kuulemaan noin 20 μPa (0.00002Pa) ilmanpaineen muutoksen. Ilmakehässä ilmanpaine on noin 100 kPa. Ihmisen kuulokynnys eli 20 μPa toimii vertailuäänepaineena tarkasteltavaan äänenpaineeseen, jolloin äänenvoimakkuutta kuvaava äänenpainetaso L_p [dB] voidaan laskea kaavasta

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (5)$$

missä

L_p = Äänenpainetaso

p = Tarkasteltava äänenpaine

p_0 = Vertailuäänepaine = 0,00002Pa.

(RIL 243-1-2007, 36.)

2.9 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-ajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu siitä hetkestä, kun ääntä tuottava laite sammutetaan siihen, kun äänenpainetaso on laskenut tilassa 60 dB. Standardissa ISO 354 [41] esitetään jälkikaiunta-ajan mittaustapa (RIL 243-1-2007, 50.)

2.10 Äänen absorptio

Äänen absorptiolla tarkoitetaan tilannetta, kun ääni kohtaa jonkin pinnan tai aineen ja osa äänitehosta imeytyy pintamateriaaliin osan heijastuessa takaisin (kuvio 2.)

Äänen reaktio riippuu äänen taajuudesta ja rakenteen ja materiaalin muodosta (Paroc [viitattu 8.9.2016].)

Äänelle voidaan laskea niin kutsuttu äänen absorptiosuhde α , joka on yksikötön ja joka voidaan määrittää kaavalla

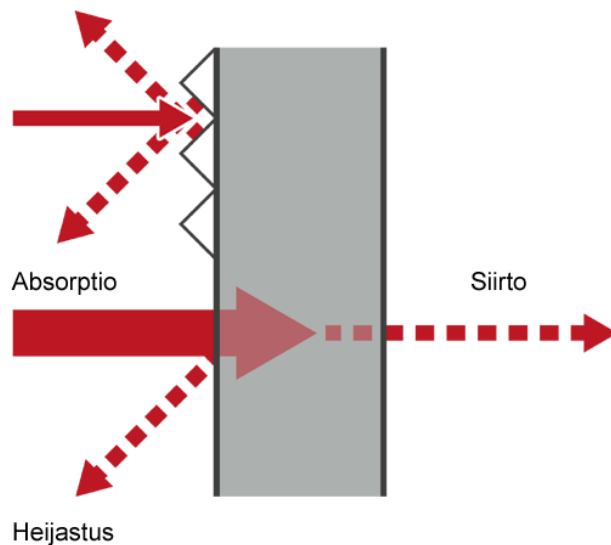
$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i}, \quad (6)$$

missä

W_i on rakenteeseen kohdistuva ääniteho

W_r on rakenteesta takaisin heijastuva ääniteho

(RIL 243-1-2007, 46.)



Kuvio 2. Ääni kohtaa rakenteen (Paroc [viitattu 8.9.2016]).

2.11 Ilmaääneneristävyys

Rakenteen ilmaääneneristävyydellä tarkoitetaan rakenteen kykyä eristää ääntä eli rakenteeseen kohdistuvan äänitehon ja rakenteen läpi kulkeutuneen äänitehon suhdetta. Ilmaääneneristävyyden yksikkö on desibeli [dB]

Ilmaääneneristävyys voidaan laskea kaavalla

$$R = 10 \log * \frac{W_1}{W_2} \quad (7)$$

missä

R= Ilmaääneneristävyys

W_1 = Rakenteeseen kohdistuva ääniteho

W_2 = Rakenteen läpi siirtyvä ääniteho

(Siikanen 2014, 145.)

Laboratorio-olosuhteissa rakenteen ilmaääneneristävyys määritetään kaavalla 8

$$R = L_{p,1} - L_{p,2} + 10 \log * \frac{S}{A_2} \quad (8)$$

$$A_2 = 0,16 * \frac{V_2}{T_2} \quad (9)$$

missä

$L_{p,1}$ = Lähetyshuoneen äänenpainetaso [dB]

$L_{p,2}$ = Vastaanottohuoneen äänenpainetaso [dB]

S= Tiloja erottavan rakennusosan pinta-ala [m^2]

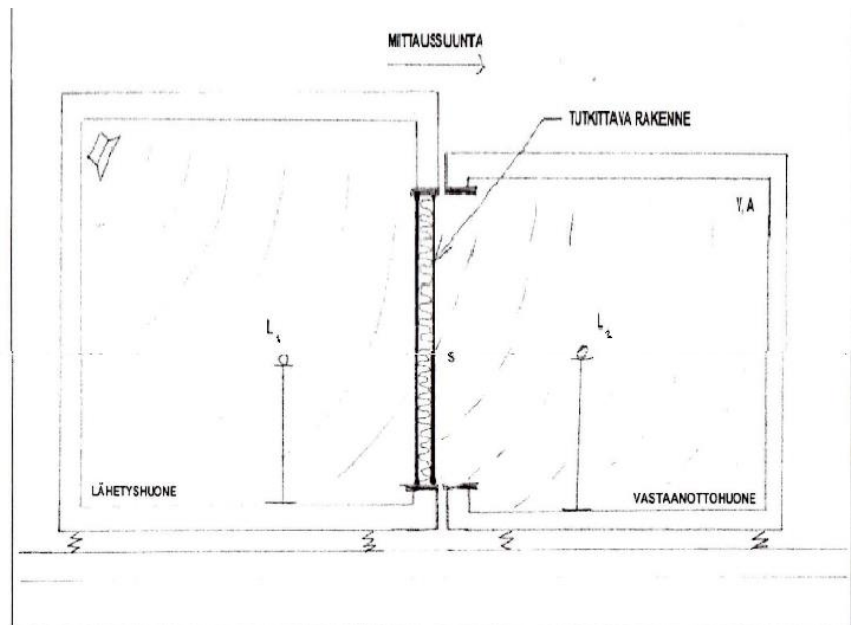
A_2 = Vastaanottohuoneen absorptioala [m^2]

V_2 = Vastaanottohuoneen tilavuus [m^3]

T_2 = vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika

(RIL 243-1-2007, 59.)

Ilmääneneristävyyttä mitataan laboratorio-olosuhteissa siten, että lähetyshuoneesta lähetetään kohinaääntä kaiuttimesta vastaanottohuoneeseen, jossa on äänitasoa mittaava mikrofoni. Huoneiden välissä on tutkittava rakenne. (Isover, [viitattu 18.9.2016].) Kuviossa 3 on esitetty teoreettinen kuva laboratorio-olosuhteissa ilmääneneristävyyksmittauksiin käytettävästä testitilasta.

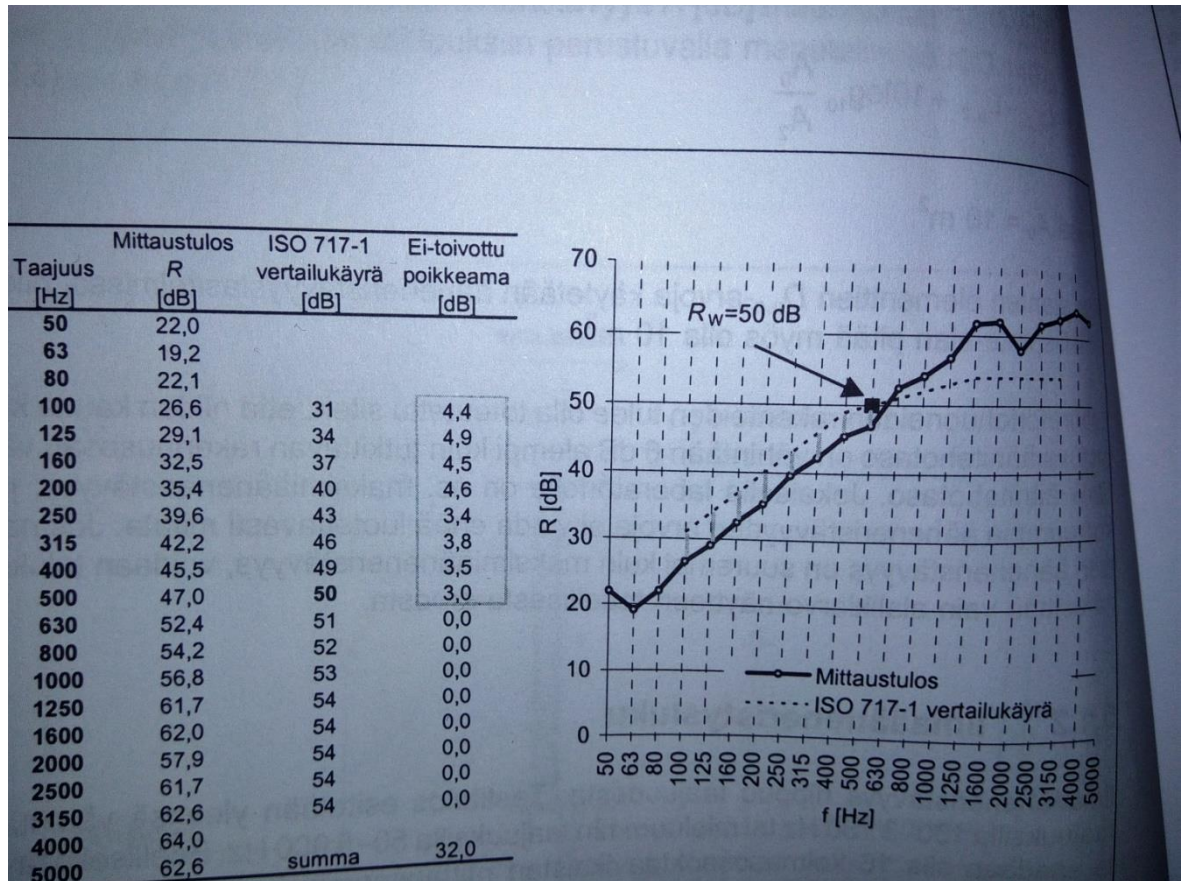


Kuvio 3. Laboratorio-olosuhteissa tapahtuva ilmääneneristävyyden mittaaminen (RIL 243-1-2007, 58).

2.12 Ilmääneneristysluku

Ilmääneneristävyys on sidoksissa äänen taajuuteen. Testauksessa saadut tulokset esitetään yleensä 50–5000 Hz:n taajuusalueella. Ilmääneneristysluku R_W on painotettu keskiarvo, joka perustuu puheäänien taajuusjakaumaan ja korvan kuuloherkkyyteen ja jonka avulla voidaan esittää vertailukäyrä. Vertailukäyrää verrataan saatuihin mittaustuloksiin ja siirretään 1 dB kerrallaan asemaan, jossa tietyllä taajuudella saadun ääneneristävyyden arvon ei-toivottu poikkeama on enintään 10 dB (kuvio 4). Ei-toivotuksi poikkeamaksi kutsutaan arvoja, jotka sijoittuvat vertailukäyrän alapuolelle. Kaikkien ei-toivottujen poikkeamien summa ei saa myöskään

ylittää arvoa 32 dB. Ilmaääneneristysluvun arvo katsotaan kuvaajasta 500 Hz:n kohdalta, kun nämä ehdot täyttyvät (RIL 243-1-2007, 60.)



Kuvio 4. Esimerkkikuva ilmaääneneristysluvun määrittämisestä mittaustuloksista (RIL 243-1-2007, 60).

2.13 Lämpötilan ja ilmankosteuden vaikutus äänen absorptioon ilmassa

Ilman lämpötilalla ja ilmankosteudella on vaikutusta äänen nopeuteen ja absorptioon ilmassa. Mitä lämpimämpi ilma on, sitä nopeammin ääniaallot etenevät johtuen molekyylien kyvystä sitoa enemmän kosteutta sekä ilman molekyylien suuremmasta liike-energiasta kaasussa. Kun ilman molekyyleillä on enemmän liike-energiaa, voivat ääniaallotkin edetä nopeammin.

Äänen nopeus ilmassa eri lämpötilassa voidaan laskea kaavalla

$$v = 331 \frac{m}{s} + 0,6 \frac{m}{s} * T \quad (10)$$

missä

v = äänennopeus

T = ilman lämpötila

(NDT- resource center, [viitattu 5.2.2017].)

Ilman kosteutta kuvataan usein ilman suhteellisella kosteudella, joka kertoo, kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä suhteessa siihen, paljonko ilmassa voisi enintään olla vesihöyryä tietyssä lämpötilassa. Taulukosta (1) nähdään, että lämpötilan noustessa myös vesihöyryn määrä kasvaa. Ylempi lukuarvo kertoo, kuinka monta grammaa vesihöyryä on kuutiometrissä. Alempi lukuarvo kertoo, missä lämpötilassa vesihöyry tiivistyy vedeksi. (Siikanen 2014, 69.)

Taulukko 1. Ilman suhteellinen kosteus tietyssä lämpötilassa (Siikanen 2014, 69).

Ilman lämpötila	Ilman suhteellinen kosteus										Vesihöyryn osapaine kyllästytilassa kN/m ²
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
+50	8,30	16,60	24,89	33,19	41,49	49,79	58,08	66,38	74,68	82,98	12,46
	+8	+19	+26	+32	+36	+40	+43	+45	+48	+50	
+45	6,54	13,09	19,63	26,18	32,72	39,26	45,81	52,35	58,90	65,44	9,56
	+4	+15	+22	+27	+32	+36	+38	+41	+43	+45	
+40	5,11	10,23	15,34	20,46	25,57	30,68	35,80	40,91	46,03	51,14	7,36
	+1	+11	+18	+23	+27	+30	+33	+36	+39	+40	
+35	3,96	7,92	11,88	15,84	19,80	23,76	27,72	31,68	35,64	39,60	5,61
	-2	+8	+14	+18	+22	+25	+28	+31	+33	+35	
+30	3,04	6,07	9,11	12,14	15,18	18,22	21,25	24,29	27,32	30,36	4,23
	-6	+3	+10	+14	+18	+21	+24	+26	+28	+30	
+25	2,30	4,61	6,91	9,22	11,52	13,82	16,13	18,43	20,74	23,04	3,16
	-8	0	+5	+10	+13	+16	+19	+21	+23	+25	
+20	1,73	3,46	5,19	6,92	8,65	10,37	12,10	13,83	15,56	17,29	2,33
	-12	-4	+1	+5	+9	+12	+14	+16	+18	+20	
+15	1,28	2,56	3,85	5,13 ⁵²⁰	6,41	7,69	8,97	10,26	11,54	12,82	1,70
	-16	-7	-3	+1	+4	+7	+9	+11	+13	+15	
+10	0,91	1,88	2,82	3,76	4,70	5,64	6,58	7,52	8,46	9,40	1,22
	-19	-11	-7	-3	0	+1	+4	+6	+8	+10	
+5	0,68	1,36	2,04	2,72	3,40	4,08	4,76	5,44	6,12	6,80	0,870
	-23	-15	-11	-7	-5	-2	0	+2	+3	+5	
0	0,48	0,97	1,45	1,94	2,42	2,90	3,39	3,87	4,36	4,84	0,609
	-6	-19	-14	-11	-8	-6	-4	-3	-2	0	
-5	0,34	0,68	1,02	1,36	1,70	2,05	2,39	2,73	3,07	3,41	0,400
	-29	-22	-18	-15	-13	-11	-8	-7	-6	-5	
-10	0,23	0,47	0,70	0,94	1,17	1,40	1,64	1,87	2,11	2,34	0,259
	-34	-26	-22	-19	-17	-15	-13	-11	-11	-10	
-15	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,97	1,13	1,29	1,45	1,61	0,164
	-37	-30	-26	-23	-21	-19	-17	-16	-15	-15	
-20	0,09	0,18	0,26	0,35	0,44	0,53	0,62	0,70	0,79	0,88	0,102
	-42	-35	-32	-29	-27	-25	-24	-22	-21	-20	

Lämpötilalla ja ilmankosteudella on siis merkitystä äänen etenemisnopeuteen ja äänen absorptioon ilmassa. Jos ilmankosteus on 0, äänen absorptio ilmassa on heikkoa, mutta ilmankosteuden ja lämpötilan noustessa ilman äänen absorptiokyky nousee. Äänen absorptio on merkittäväntä lämpötilan noustessa ja matalissa ilmankosteuksissa. Myös äänen taajuudella on merkitystä siihen, miten paljon ilma absorboi ääntä. Matalilla taajuuksilla absorptio on heikompaa kuin korkeilla taajuuksilla. Ilman vaikutus äänen absorptioon on kuitenkin melko vähäistä lyhyillä välimatkoilla. Liitteessä 1 on taulukoitu äänen absorption arvoja ilmassa yhden metrin välimatkalla (Tontechnik- Rehner- sengpielaudio, [Viitattu 21.4.2017].)

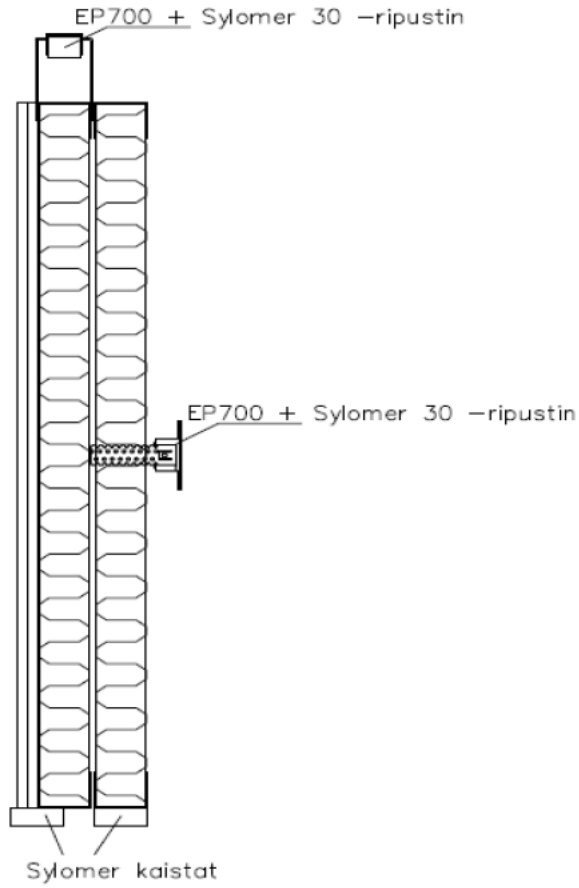
3 ÄÄNENERISTYSMITTAUKSESSA KÄYTETTÄVÄ TESTITILA

3.1 Testitila

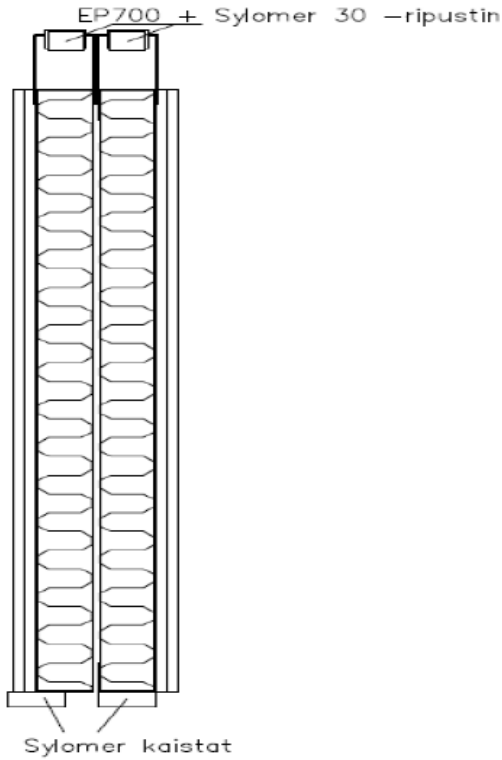
Testaustilana toimii vanha merikontti, joka muutettiin tilaksi, jossa voidaan mitata ääneneristävyttä. Testaustilan tilavuus on 17 m^3 ja äänen lähetysruoneen koko on 2/3 koko testaustilan tilavuudesta. Testaustilan pieni koko vaikuttaa testaustulokseen pienillä taajuuksilla. (Lindfors 2016, 30.)

3.2 Seinärakenne

Testitilan seinärakenteina toimivat kaksinkertaiset teräsrankaseinät (kuviot 5 ja 6). Teräsrankojen välissä on 10 mm ilmarako ja seinän sisäpinnassa erikoiskova kipsilevy (Lindfors 2016, 36). Joustavat teräsrankat antavat noin 8-10 desibeliä paremman ääneneristysarvon kuin jäykät puurangat (RIL 243-1-2007, 75). Rangat on kiinnitetty kattoon EP700 + Sylomer 30- alakattoripustimilla, jotta rangat eivät olisi jäykästi kiinnitetty rakenteisiin (Lindfors 2016, 36).



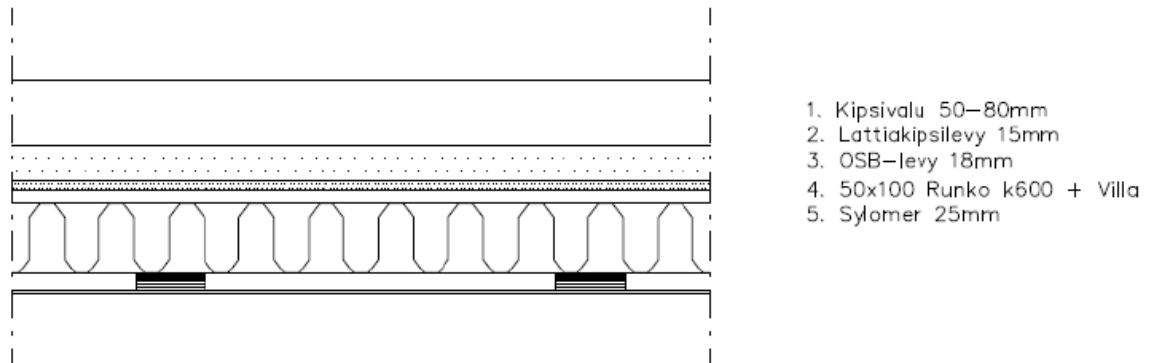
Kuvio 5. Testitilan sivuseinän rakenne (Lindfors 2016, 38).



Kuvio 6. Testitilan päätyseinän rakenne (Lindfors 2016, 39).

3.3 Lattiarakenne

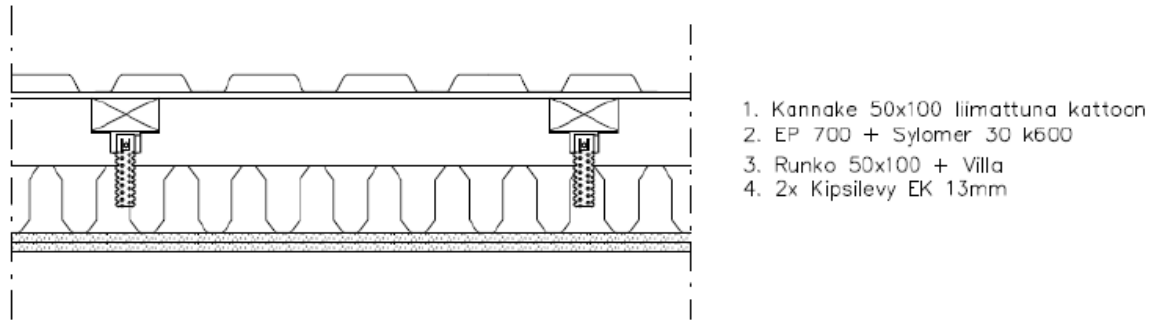
Äänentestauskopin lattiana toimii kelluva kipsivalulattia (kuvio 7). Kipsivalun alla on lattiakipsilevy ja kipsilevyn alla OSB-levy tukirakenteena. Lattiavasoina toimivat 50x100 puiset vasat, joiden väliin on asennettu 100 mm mineraalivillaa. Vasat ovat asennettu Sylomer-kaistojen päälle (Lindfors 2016, 42.)



Kuvio 7. Testitilan lattiarakenne (Lindfors 2016, 42).

3.4 Kattorakenne

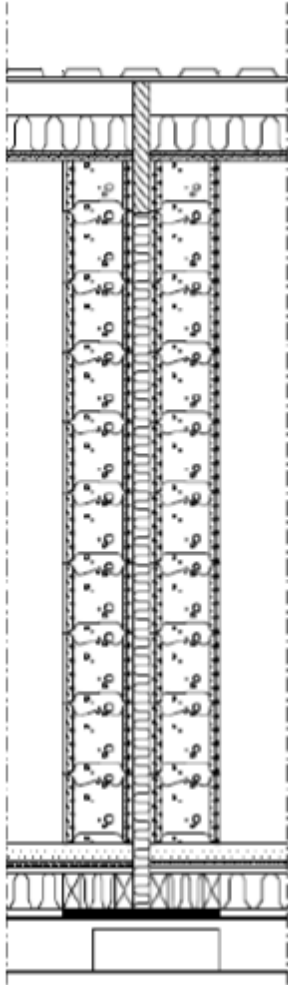
Testitilana toimivan merikontin kattoon on liimattu laudat, joihin alakattoripustimet EP700 + Sylomer 30 on voitu ruuvata kiinni. Runkorakenteina toimivat puiset kattovasat 22x100 on kannatettu ripustimista ja itse testitilan kattona toimii kaksinkertainen erikoiskova kipsilevy. Kattovasojen väliin on asennettu 100 mm mineraalivillaa (kuvio 8). Ripustimilla on pyritty estämään äänen eteneminen merikontin runkoon ja ne on asennettu k800-jaolla kontin pituussuunnassa ja k600-jaolla kontin poikittaissuunnassa (Lindfors 2016, 44.)



Kuvio 8. Testitilan kattorakenne (Lindfors 2016, 44).

3.5 Testausväliseinä

Testitilassa tiloja erottaa toisistaan testausväliseinä, joka on rakennettu kahdesta seinästä ja joiden materiaalina on betonilla täytetyt muottiharkot. Muurauksessa on käytetty savilaastia, jotta harkkoja voitaisiin käyttää uudelleen ja että seinässä oleva testiaukko olisi helposti muokattavissa. Seinien välissä olevaan ilmarakoon on asennettu 50 mm Sylomer-eriste. Myös seinän ja merikontin väliin on asennettu Sylomer-eriste. Katto- ja lattiarakenteet on katkaistu väliseinän kohdalla, jotta ääni ei pääse etenemään sivutiesiirtymien kautta huoneesta toiseen (kuvio 9), (Lindfors 2016, 44.)



Kuvio 9. Testitilan testausväliseinä (Lindfors 2016, 45).

3.6 Rakenteiden väliset liittymät

Levyjen sekä väliseinän ja levyjen liitoskohdat on saumattu elastisella akryylilateksimassalla. Akryylilateksimassa tiivistää sekä toimii värinänvaimentimena. Saumaus on toteutettu huolellisesti, jotta huoneet olisivat mahdollisimman tiiviitä (Lindfors 2016, 46.)

3.7 Testitilan käyntiovet

Testitilan heikkoiten ääntä eristävät rakenteet ovat käyntiovet (kuva 1). Kopin molempiin päihin on asennettu kahdet ääntä eristävät ovet, joilla molemmilla on omat karminsa. Karmeja ei ole asennettu toisiinsa kiinni, vaan niiden väliin on jätetty

ilmarako, joka on tukittu mineraalivillalla. Ovien ympärykset on levytetty ja saumat tiivistetty akryylilateksimassalla (Lindfors 2016, 46- 47.)



Kuva 1. Testitilan ovet, sekä merikontin ovi.

3.8 Kattolämmitin

Testitilaan on asennettu sekä lähetyshuoneeseen että vastaanottohuoneeseen kattolämmitin (kuva 2). Lämpötila on säädettävissä asteen tarkkuudella. Lämpötilalla on merkitystä ilmaääneneristystä mitattaessa.



Kuva 2. Kattolämmitin.

3.9 Valaistus

Testitilaan on asennettu liiketunnistimella toimiva valaisin sekä vastaanotto- että lähetyshuoneeseen (kuva 3). Valaisimet ovat kopissa tarpeellisia, sillä tilassa ei ole muita valaisimia. Ne on sijoitettu niin, että ne valaisisivat mahdollisimman hyvin.



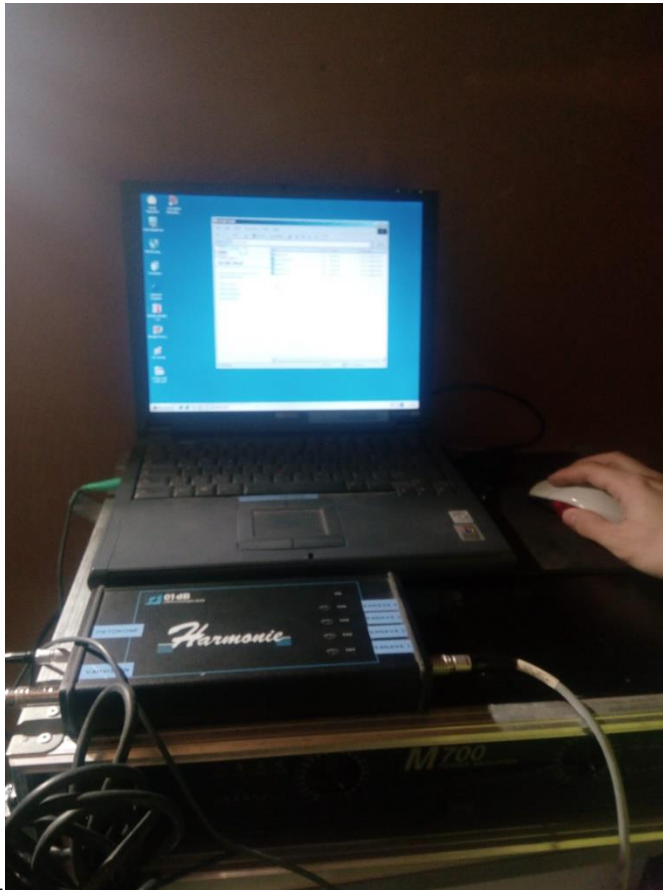
Kuva 3. Valaisin liiketunnistimella.

4 ÄÄNENERISTYSMITTAUSKALUSTO JA MITTAUS

4.1 Ääneneristysmittauskalusto

4.1.1 Tietokone

Ääneneristysarvon mittauksessa käytettiin dBati32-nimistä tietokoneohjelmaa. Kyseisellä ohjelmalla pystytään tarkastelemaan mittaustuloksia ja laskemaan haluttuja ääneneristysarvoja. Tietokone on liitetty 01dB-Stell Harmonie 4210 -laitteeseen (kuva 4).



Kuva 4. Tietokone ja 01dBStell Harmonie 4210 -laite.

4.1.2 01dB-Stell Harmonie 4210

01dB-Stell Harmonie 4210 -laite toimii mikrofonin, vahvistimen ja tietokoneen välilaitteena. Laite muuttaa mikrofonin tuottaman datan tietokoneelle käyttökelpoiseen muotoon. Lisäksi se välittää tietokoneen kautta vahvistimelle tiedon siitä, miten kovalla äänenpainetasolla ääntä on tuotettava kaiuttimella testitilaan.

4.1.3 Vahvistin

Vahvistin vahvistaa sille tulevan signaalin kaiuttimelle sopivaksi, jotta kaiutin tuottaisi ääntä tarpeeksi suurella äänenpaineella. Vahvistin on kytkettynä tietokoneeseen ja kaiuttimeen.

4.1.4 Kaiutin

Äänilähteenä mittauksissa toimii kuvan 5 mukainen kaiutin. Kaiutin tuottaa niin kutsuttua vaaleanpunaista kohinaa. Vaaleanpunaisessa kohinassa on ääntä, jossa on kaikkia äänialueen taajuuksia (Siikanen 2014, 140). Vaaleanpunaisen kohinan ääniteho kasvaa, kun äänen taajuus kasvaa (Live science [viitattu 21.1.2017]).



Kuva 5. Kohinaääntä tuottava kaiutin.

4.1.5 Mikrofoni

Kaiuttimen tuottamaa ääntä mitataan mikrofonilla. Sille on johdot sekä äänen lähetykseen että vastaanottohuoneessa. Mikrofonin (kuva 6) on liitetty 01dB-Stell Harmonie 4210 -laitteeseen. 01dB-Stell Harmonie 4210 -laite on edelleen yhdistetty vahvistimeen ja siitä tietokoneeseen.



Kuva 6. Mikrofon.

4.1.6 Mikrofonin kalibrointilaite

Ennen jokaista mittausta mikrofonin täytyy kalibroida eli määrittää mikrofonin perusasetus oikeaksi. Tähän tarkoitukseen käytetään mikrofonin kalibrointiin tarkoitettua laitetta (kuva 7). Mikrofonin työnnetään laitteessa olevaan aukkoon, johon laite tuottaa tasan 94 dB suuruisen äänenvoimakkuuden. Mikrofonin tulkitsema äänenvoimakkuus voidaan nähdä tietokoneelta. Jos tietokone näyttää arvoksi esimerkiksi 93.7 dB, voidaan mikrofonin kalibroida oikeaksi muuttamalla arvo näyttämään 94 dB.



Kuva 7. Mikrofonin kalibrointilaite.

4.2 Ilmääneneristysmittaus

Ilmääneneristysmittaus aloitetaan mittaamalla äänen vastaanottotilan jälkikaiunta-aika. Mittauskalusto siirretään ensin kokonaisuudessaan äänen vastaanottotilaan. Kaiuttimen on oltava vähintään 0,5 metrin ja mikrofonin 1 metrin etäisyydellä seinistä, katosta ja lattiasta. Mikrofonin ja kaiuttimen välillä täytyy olla myös kaavan 11 mukainen etäisyys toisiinsa. Mittaukset toteutetaan standardia ISO 10140-4 noudattaen. Mittaukset suoritetaan 1/3 oktaavikaistoittain taajuusalueella 100–3150 Hz.

Mikrofonin ja kaiuttimen minimietäisyys toisiinsa

$$d_{min} = 2 \sqrt{\frac{v}{cT}}, \quad (11)$$

missä

V = Huoneen tilavuus, m^3

c = Äänen nopeus, $\frac{m}{s}$

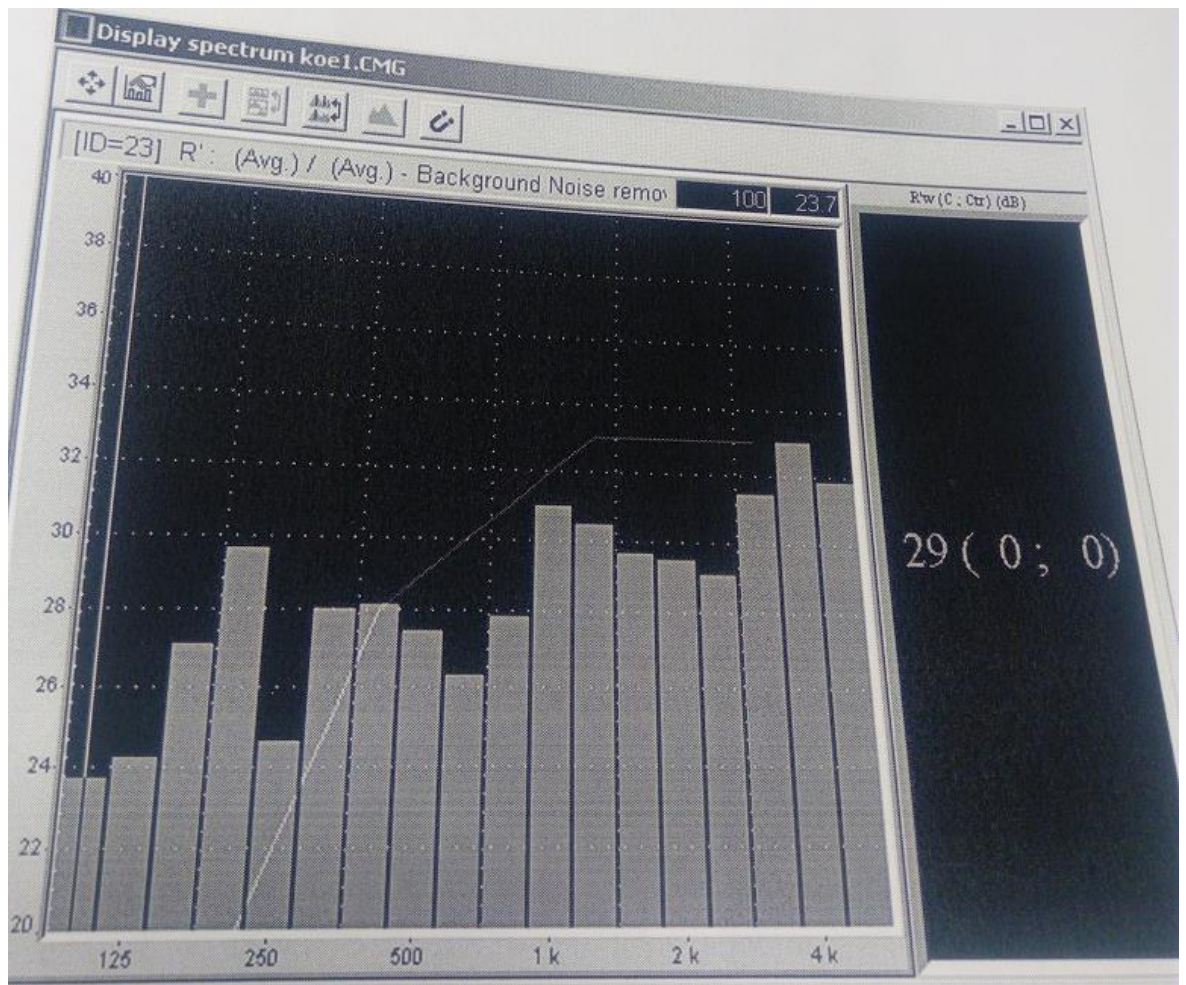
T = Odotettu jälkikaiunta-aika, s

Käytetyissä testitiloissa minimietäisyys olisi äänen vastaanottohuoneessa noin 0,471 ja lähetyshuoneessa 0,67 metriä.

Kun jälkikaiunta-aika vastaanottohuoneessa on saatu mitattua, siirretään mittauskalusto lähetyshuoneeseen mikrofonia lukuun ottamatta ja suoritetaan taustamelun mittaaminen. Saadun tuloksen perusteella saadaan tietoa siitä, kuinka kovaa ääntä on tuotettava, jotta äänenpainetaso vastaanottohuoneessa on vähintään 10 dB yli taustamelun äänenpainetason millä tahansa taajuudella (SFS-EN ISO 10140-4, 6.)

Taustamelun mittaamisen jälkeen mitataan vastaanottohuoneen äänenpainetaso. Mittauksia suoritetaan aiemmin valittu määrä. Kun vastaanottohuoneen äänenpainetaso on mitattu, siirretään mikrofoni vielä lähetyshuoneeseen, jossa suoritetaan lähetyshuoneen äänenpainetason mittaus. Suoritetuista mittauksista tietokone laskee keskiarvon, jota käytetään lopuksi ilmaääneneristystä määritettäessä.

Valitsemalla jokaisen mittauksen keskiarvo saadaan tietokoneella laskettua ilmaääneneristys kulloisellekin testattavalle objektille. Ohjelma näyttää tuloksen sekä ääneneristysarvon jokaiselle mitatulle taajuudelle sekä ISO 717-1 mukaisen vertailukäyrän sijoitettuna oikein tulosten mukaan (kuvio 10).



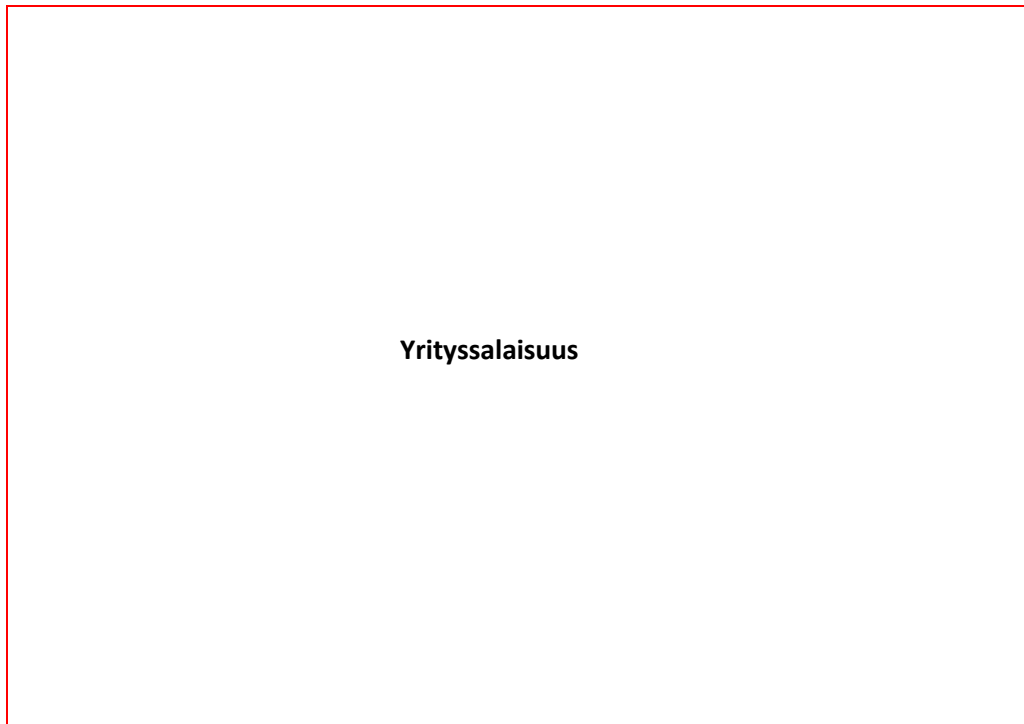
Kuvio 10. Mittausohjelman esittämä tulos.

Koska testitilan tilavuus on 17 m^3 , ei tilassa voida suorittaa virallisia laboratoriomittauksia. Alle 50 m^3 testitilalla on vaikutusta saatuihin tuloksiin pienillä taajuuksilla (ISO 10140-5).

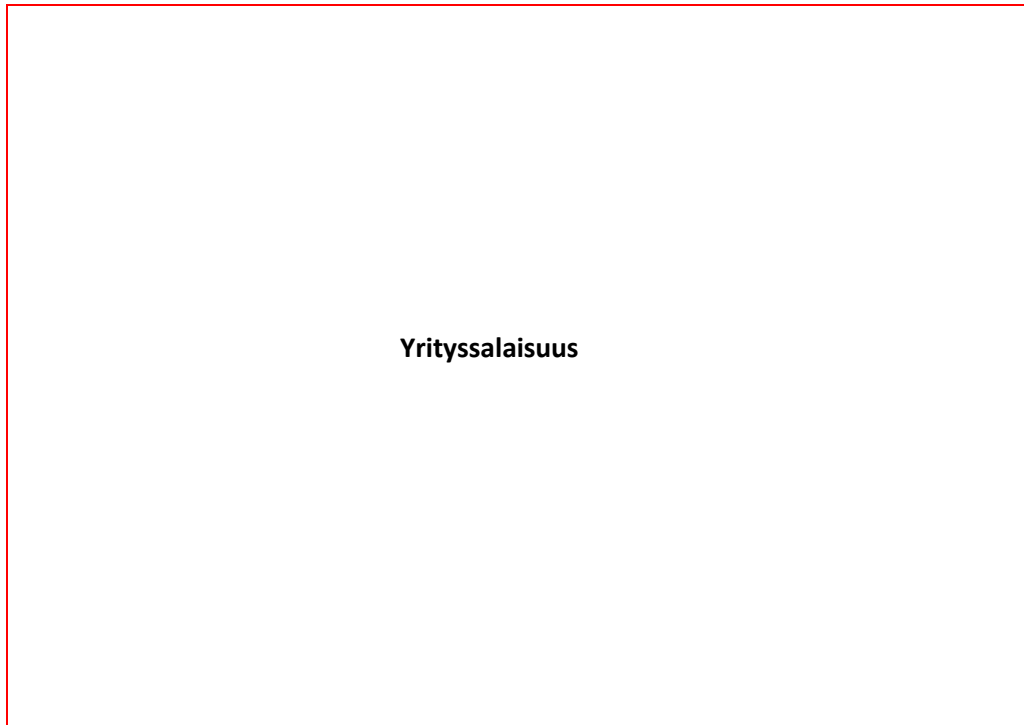
5 TESTATTAVAT OVET

5.1 Alkuperäinen ovimalli

Ensimmäinen mitattava ovimalli on alkuperäisellä rakenteella tehty IOA 2+1-ovi (kuvio 11).



Koska testitulassa saatu tulos voi olla erilainen, kuin virallisessa laboratoriossa saatu, on myös vakio-oven ilmajääneristysarvo mitattava. Mittaamalla alkuperäisellä rakenteella tehdyn oven ilmajääneristysarvo, saadaan vertailukelpoinen tulos, jota voidaan verrata oviin joissa on muokattu rakenne.



Kuvio 11. Vakio-ovi.

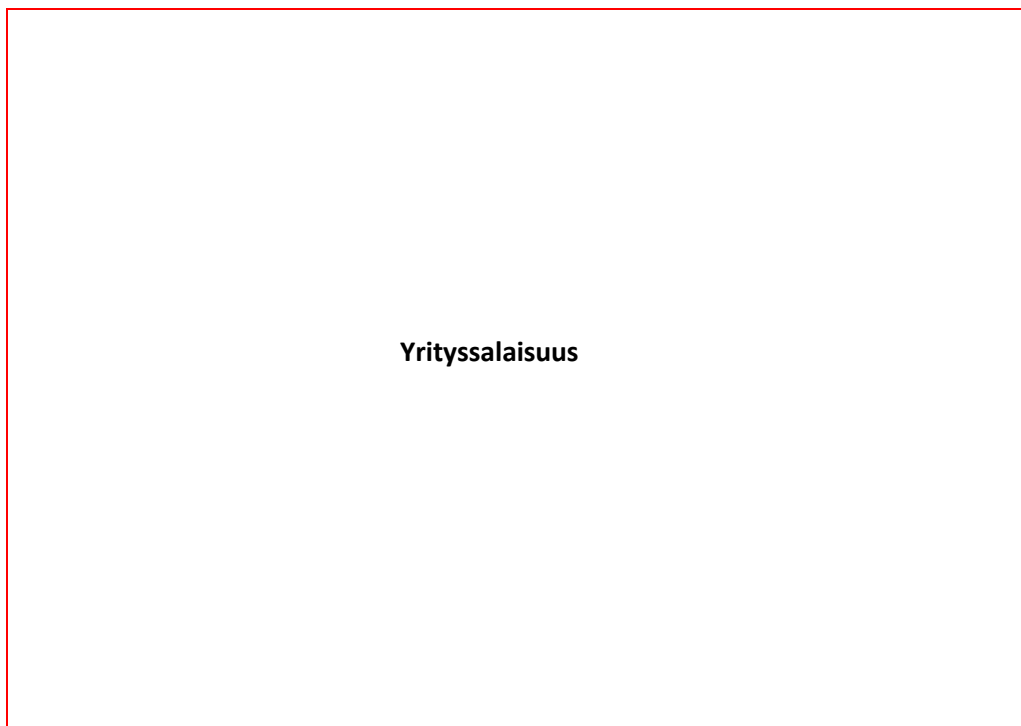
5.2 Ovi 3+1-lasituksella

Ensimmäisessä muokatussa ovesa oven rakenne on muuten samanlainen, mutta lasielementissä on kolminkertainen lasitus. Ovi on siis oikeastaan IOA 3+1-ovi (kuvio 12).

Yrityssalaisuus

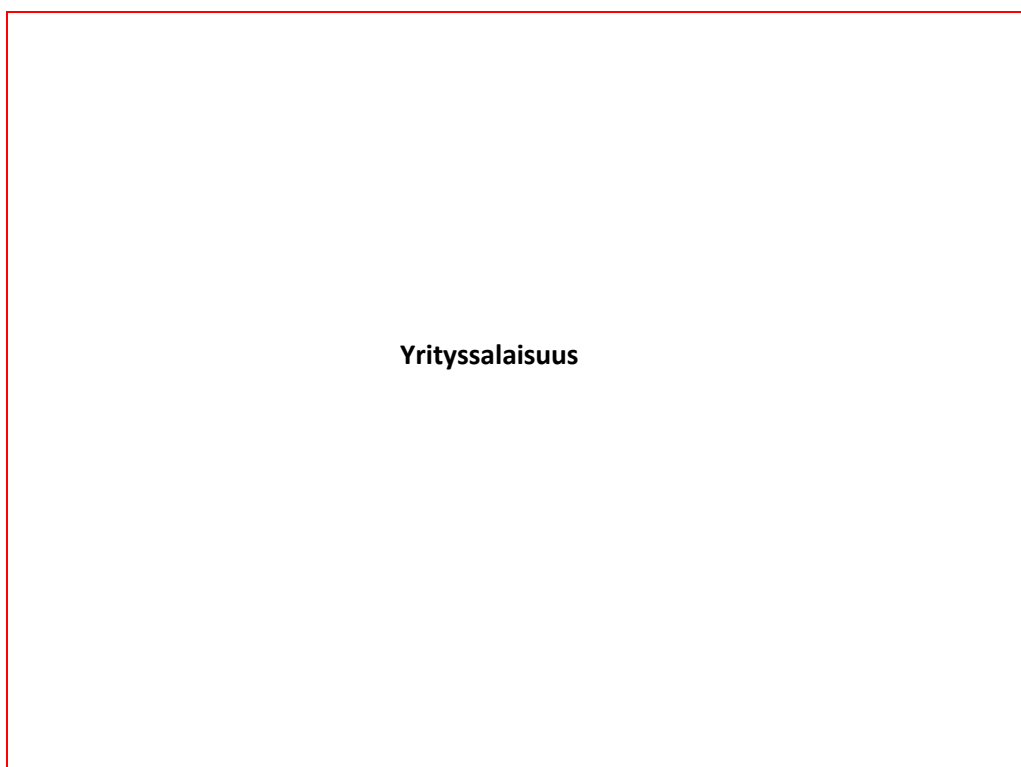
Oveen lisätyllä lasituksen määrällä haettiin lisää pintoja sekä massaa, joiden läpi äänen täytyisi kulkeutua. Siikanen (2014, 147) toteaa, että rakenteen ilmaääneneristykseen vaikuttaa rakennusosan paino sekä kerroksellisuus. Monikerroksisilla rakenteilla ilmaääneneristykseen vaikuttavat neliöpainon lisäksi tiiviys, kerrosten jäykkyys ja keskinäiset etäisyydet sekä väliaine ja kytkennät.

Moninkertainen rakenne toimii samansuuntaisesti kuin kaksinkertainenkin rakenne. Rakenteessa toimii useita resonanssitaajuuksia. Äänenpaineen aiheuttama rakenteen heilahdusliike on sitä pienempi mitä raskaampi rakenne on kyseessä. Rakenteen heilahdus välittyy rakenteen välissä olevaan niin sanottuun ilmajouseen, josta se edelleen siirtyy seuraavaan rakenteeseen. Käyttämällä lasituksessa selvästi poikkeavia lasivahvuuksia saavutetaan parempi ääneneristys, koska koin-sidenssitaajuus – eli taajuus missä rakenteen ja ilman taajuus on sama –, ei osu samaan taajuusalueeseen koko rakenteen matkalla (Siikanen 2014, 150, 154, 159.)



Kuvio 12. Oviilehti 3+1-lasituksella.

5.3 Ovi yhdellä ääneneristyslevyllä



Yrityssalaisuus

Tällä muutoksella pyrittiin parantamaan oven ilmaääneneristystä. Tällöin äänen taajuus sekä aallonpituus muuttuvat äänen kulkeutuessa rakenteen läpi. Myös rakenteen äänenpaineesta johtuvaa heilahdusliikettä pyrittiin pienentämään.

Koskisound-ääneneristyslevy koostuu koivuvanerista levyn molemmin puolin sekä korkki-kumimatosta vanerien välissä. Levyn ilmaääneneristys on hyvä ja se vaimentaa myös jossain määrin runkoääniä. Levy sopii sisä- ja ulkokäyttöön. Korkki-kumimaton ilmaääneneristävyys on mitattu EN ISO 140-3 ja EN ISO 717-1 mukaisesti ja arvoksi on saatu $R_W = 31$ dB (Koskisen.)



Yrityssalaisuus

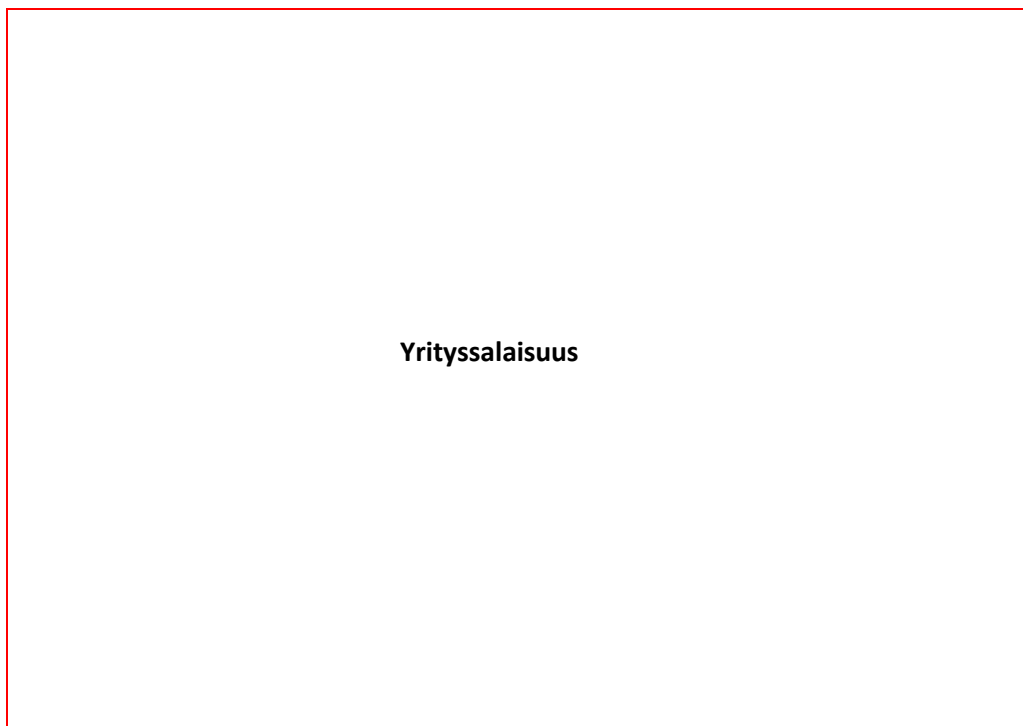
Kuvio 13. Ovi jossa yksi ääneneristyslevy.

5.4 Ovi neljällä ääneneristyslevyllä



Yrityssalaisuus

Oven runkoon käytetyssä ääneneristyslevyssä on levyn sisällä korkki-kumimassa, joka toimii myös ääntä absorboivana massana. Tällöin osa äänitehosta heijastuu takaisinpäin tulosuuntaansa, imeytyy tai kulkeutuu rakenteen läpi. Tällä muutoksella pyrittiin parantamaan oven ilmaääneneristystä. Tällöin äänen taajuus sekä aallonpituus muuttuvat äänen kulkeutuessa rakenteen läpi. Myös rakenteen äänenpaineesta johtuvaa heilahdusliikettä pyrittiin pienentämään.



Kuvio 14. Ovi jossa neljä ääneneristyslevyä.

6 MITTAUSTULOKSET

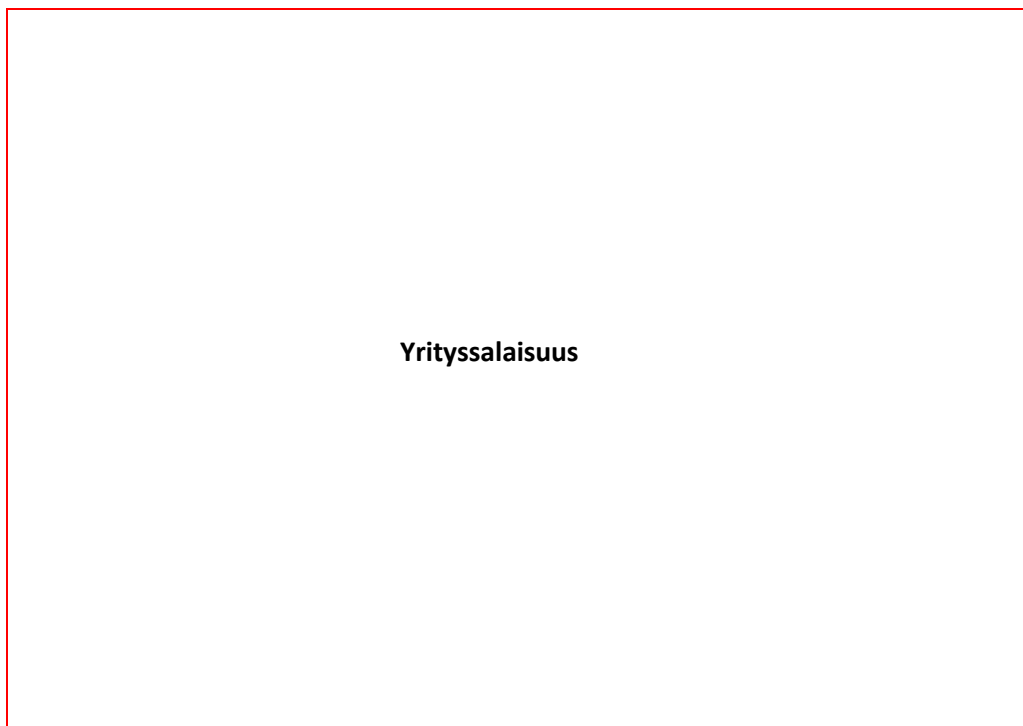
Mittaukset suoritettiin lämpötilan ollessa n. 20°C. Tuloksiin saattoi vaikuttaa negatiivisesti mahdolliset asennusvirheet karmia asennettaessa ja testauskopin mahdolliset vuotokohdat, joista ääniaallot ovat päässeet kulkeutumaan.

Yrityssalaisuus

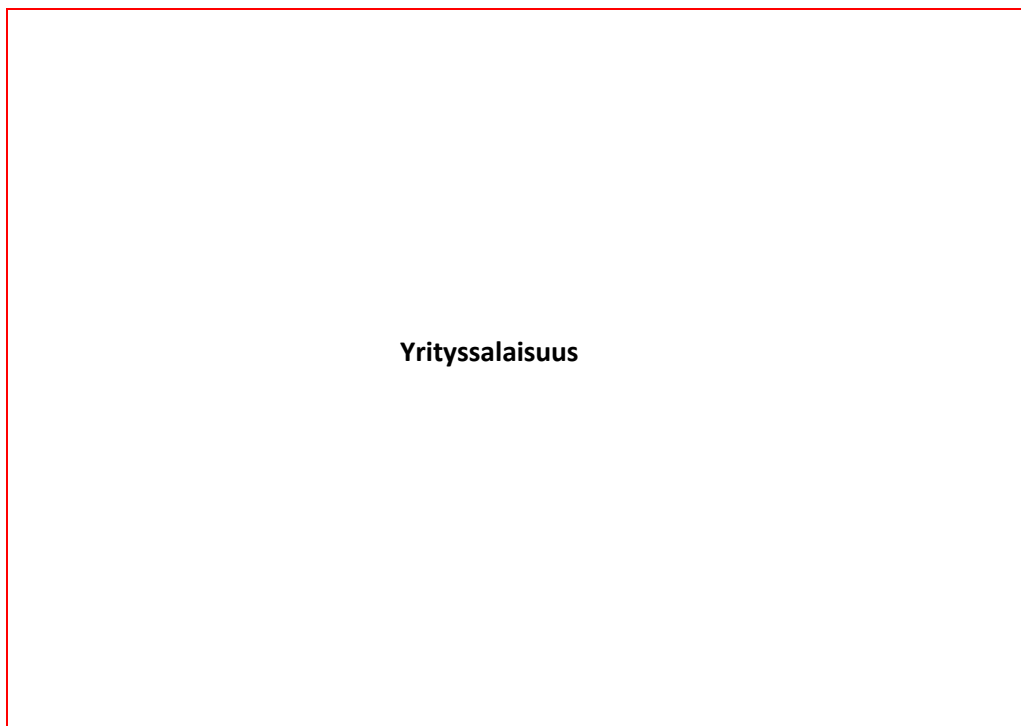
Tulokset on esitetty siten, että ensimmäinen diagrammi kuvaa testatun oven tulos-ta paikoilleen asennettuna peitelistoineen. Toinen diagrammi kuvaa tuloksen kaikki saumat huolellisesti teipattuna. Kaikki tulokset ovat luettavissa vertailukäyrältä 500 Hz kohdalta. Pylväät kuvaajissa esittävät saadun tuloksen kulloisellakin taajuudella (kuviot 15 – 22). Tulosten jälkeen on vielä esitetty kuvio 23 jossa vertaillaan saatuja ilmaääneneristävyyssarvoja muiden ovivalmistajien vastaaviin tuotteisiin.

Yrityssalaisuus

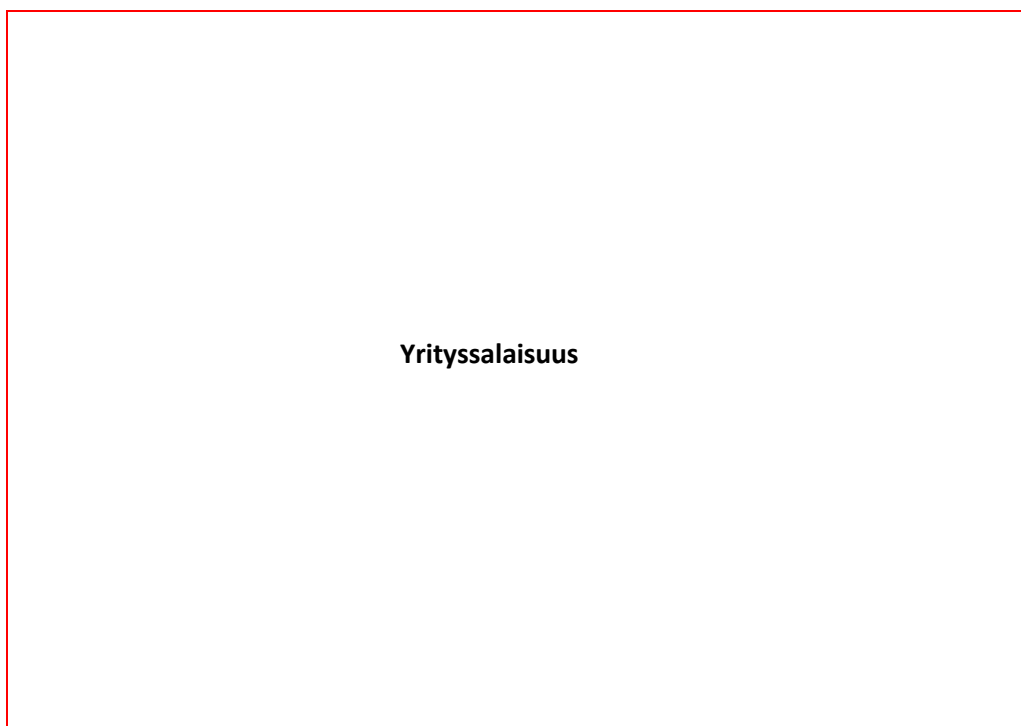
Kuvio 15. Vakio-oven mittaustulos.



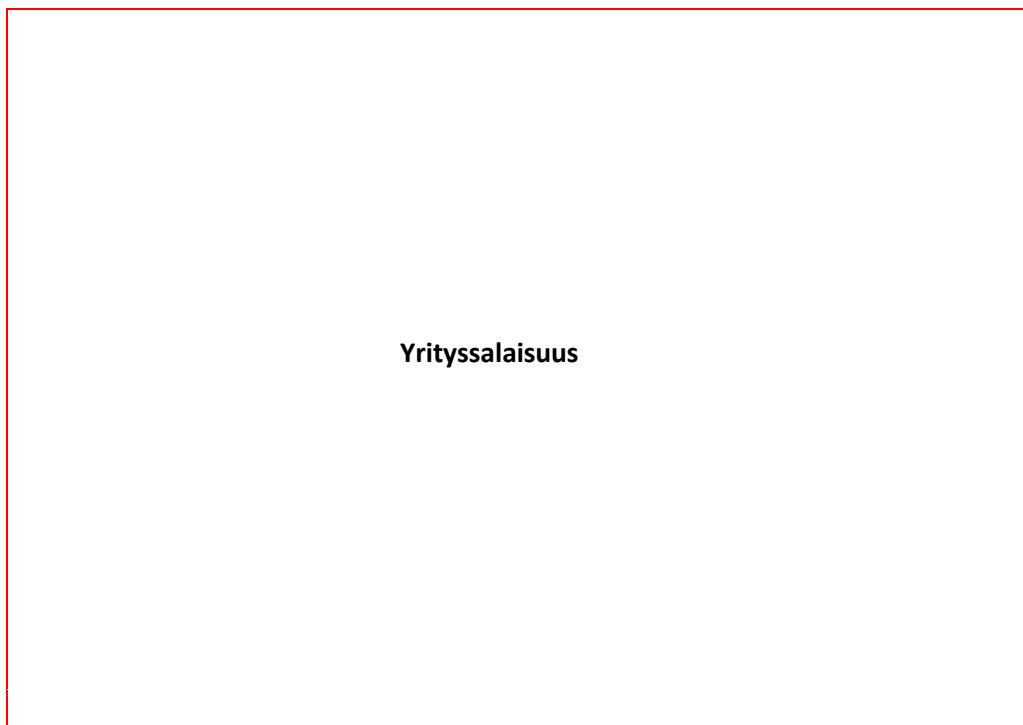
Kuvio 16. Vakio-oven mittaustulos, kun kaikki saumat on huolellisesti teipattu.



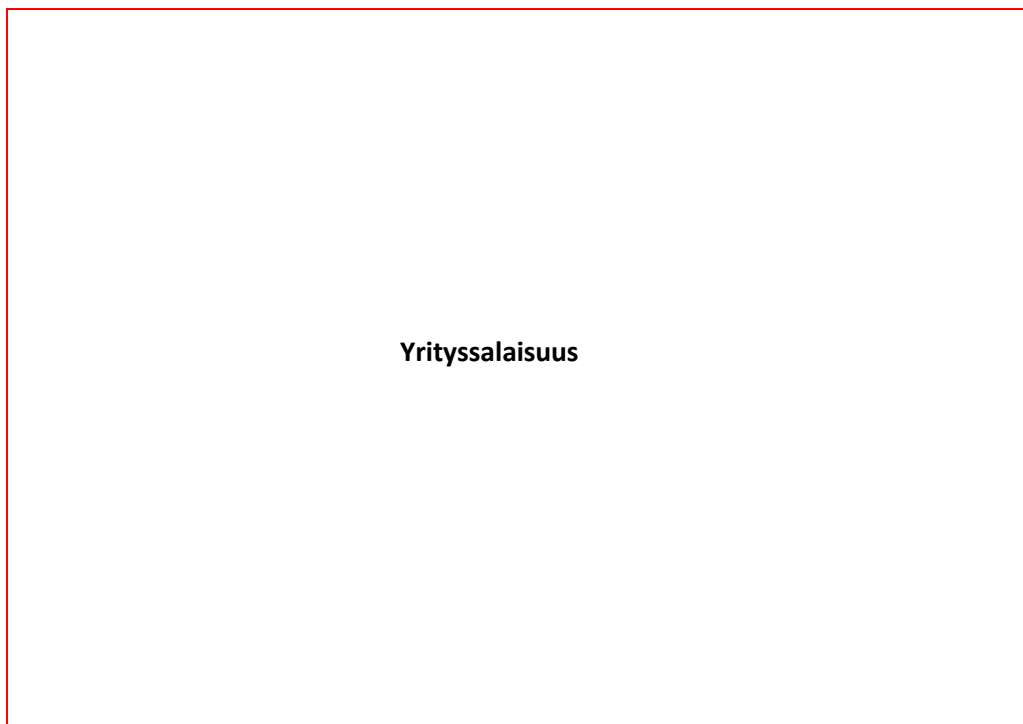
Kuvio 17. 3+1-lasisen oven mittaustulos.



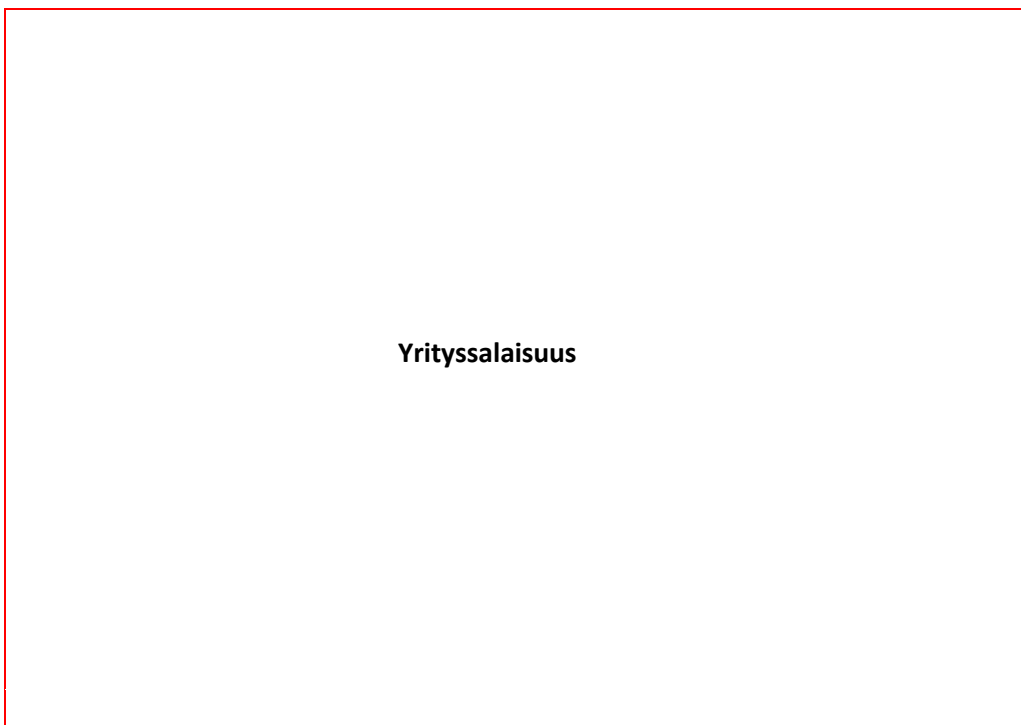
Kuvio 18. 3+1-lasisen oven mittaustulos, kun kaikki saumat on huolellisesti teipattu.



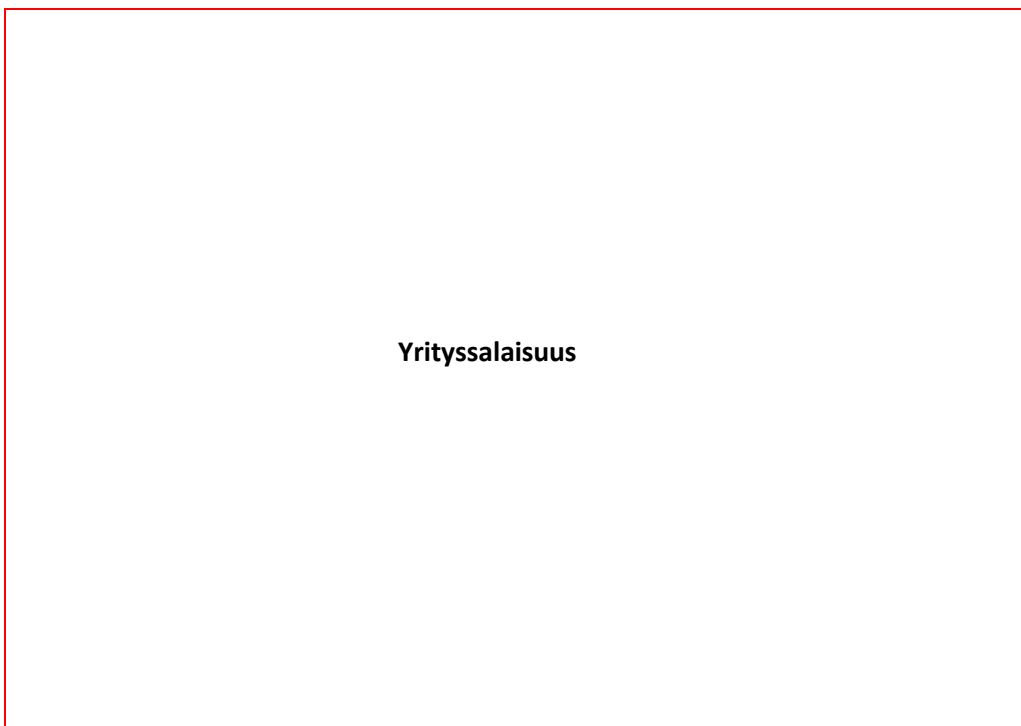
Kuvio 19. Mittaustulos, kun oven rungossa on yksi ääneneristyslevy.



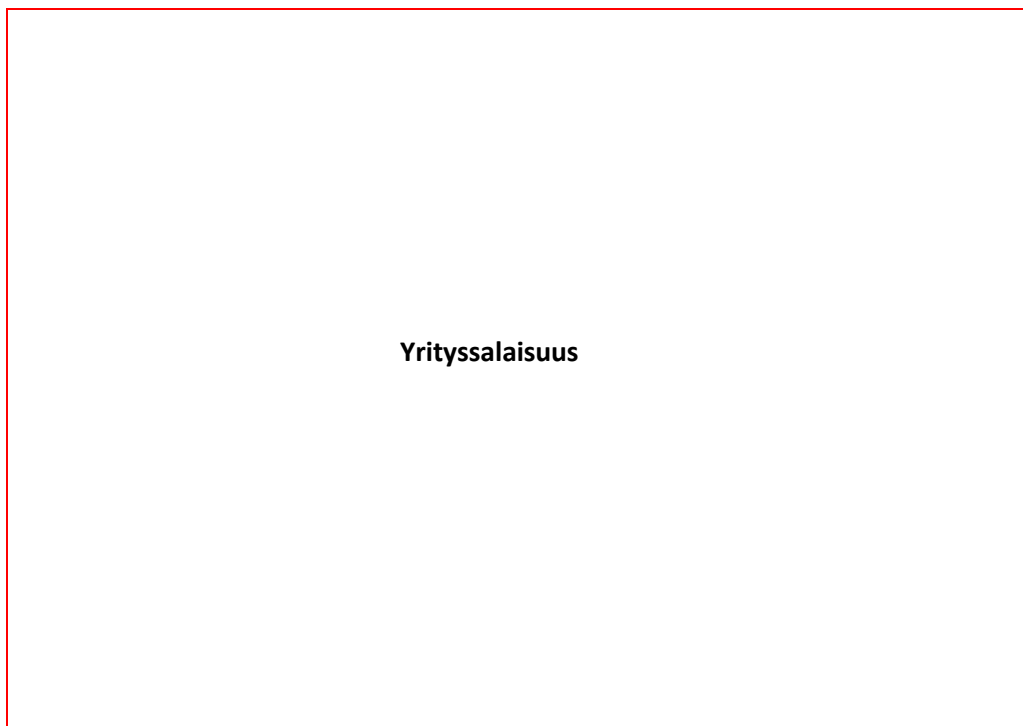
Kuvio 20. Mittaustulos, kun oven rungossa on yksi ääneneristyslevy ja kaikki saumat on huolellisesti teipattu.



Kuvio 21. Mittaustulos, kun oven rungossa on neljä ääneneristyslevyä.



Kuvio 22. Mittaustulos, kun oven rungossa on neljä ääneneristyslevyä ja kaikki saumat on huolellisesti teipattu.



Kuvio 23. Vertailua eri ovien välillä sekä muiden ovivalmistajien vastaavien tuotteiden kanssa.

7 POHDINTA

Ovien tuotekehittely on tärkeä osa Skaala Oy:n toimintaa kovan tuotekilpailun keskellä. Ääneneristävyys on yksi varsin tärkeä ominaisuus parvekeovissa varsinkin taajama-alueilla, joissa on runsaasti liikenteestä aiheutuvaa melua sekä mahdollisesti työkoneista aiheutuvaa melua. Suuri lasiaukko ovesa tuo haasteita ilmaääneneristävyyteen, sillä lasissa ääniaallot kulkeutuvat nopeammin kuin esimerkiksi puussa. Lasi on myös heikko absorboimaan ääniaaltoja. Jos ovissa olisi ollut enemmän puu- ja vähemmän lasiosaa, rungon väliin asennetuilla ääneneristyslevyllä olisi voinut olla enemmän merkitystä lopputuloksen kannalta.

Yrityssalaisuus

Nämä puuttuvat ääneneristeet osaltaan heikensivät saatuja tuloksia - mahdollisesti jopa varsin paljon. Tämän vuoksi mittaustulokset ovatkin vain suuntaa antavia. Lisäksi testitilan sijoittuminen merikonttiin aiheutti epätarkkuutta tuloksiin johtuen sen pienestä koosta ja mahdollisista vuotokohdista testitilassa, josta ääniaallot pääsevät kulkeutumaan sivutie siirtyminä. Myös mahdolliset asennusvirheet karmia ja ovea asennettaessa saattoivat heikentää saatuja tuloksia. Erot tuloksissa testattaessa ovet ilman teippiä saumoissa ja teipin ollessa saumojen päällä olivat melko suuria, joten on todennäköistä, että ääniaallot ovat päässeet vuotamaan testattavien ovien ohitse. Näin ollen voidaan todeta, että hyvällä eristämällä ja tiivistämällä on merkittävä rooli ilmaääneneristyksessä.

Ilman absorption vaikutuksella ei ollut liitteen 1 mukaisesti suurta merkitystä mittaustuloksiin testauksessa käytetyillä taajuuksilla tietyn lämpötilan ja ilmankosteuden vallitessa.

Asetettu tavoite ilmaääneneristävyydelle oli $R_w=44\text{dB}$. Tähän tulokseen ei päästy, mikä johtui muun muassa edellä mainituista huomioista. Lasikerrosten määrän kasvattaminen nosti saatua mittaustulosta verrattuna muihin saatuihin tuloksiin, joten merkittävin vaikutus kyseisissä ovissa saadaan muuttamalla lasiosan rakennetta.

LÄHTEET

AGA. 2017. Argon. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.5.2017]. Saatavana:

http://www.aga.fi/fi/products_ren/bulk_gases/argon/index.html

Isover. Ei päiväystä. Ilmaääneneristävyys ja mittaustapa. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.9.2016]. Saatavana:

<http://www.isover.fi/suunnittelijalle/aaneneristaminen/ilmaaneneristavyys-r>

Koskisen. 13.4.2017. Koskisound koivuvaneripintainen äänieristyslevy. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.4.2017]. Saatavana:

<http://www.koskisen.fi/file/koskisound/?download>

Lindfors, P. 2016. Ääneneristyksen testitilojen suunnittelu. [Verkkojulkaisu]. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 25.9.2016]. Saatavana:

<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113527/ONT%20Petri%20Lindfors.pdf?sequence=1>

Live science. 29.7.2013. What is pink noise? [verkkosivu]. [viitattu 21.1.2017]. Saatavana:

<http://www.livescience.com/38464-what-is-pink-noise.html>

NDT resource center. Ei päiväystä. Temperature and the speed of sound. [Verkkosivu]. [Viitattu 5.2.2017]. Saatavana:

<https://www.nde-ed.org/EducationResources/HighSchool/Sound/tempandspeed.htm>

Paroc. Ei päiväystä. Yleistä äänestä. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.9.2016]. Saatavana:

<http://www.paroc.fi/knowhow/aani/yleista-aanesta>

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

SFS- EN ISO 10140-3:en. 1.11.2010. Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 3: Measurement of impact sound insulation.

SFS- EN ISO 10140- 4:en. 1.11.2010. Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 4: Measurement procedures and requirements.

SFS- EN ISO 10140- 5:en. 1.11.2010. Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 5: Requirements for test facilities and equipment.

SFS- EN ISO 717-1:en. 17.6.2013. Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation.

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka: perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Tontechnik- Rechner- sengpielaudio. Ei päiväystä. Damping of air at high frequencies (dissipation). [Verkkosivu]. [Viitattu 21.4.2017]. Saatavana:

<http://www.sengpielaudio.com/calculator-air.htm>

LIITTEET

Liite 1. Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (Tontechnik- Rehner- seng-
pielaudio, [Viitattu 21.4.2017])

Liite 2. Kuvia projektista

LIITE 1 Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 100Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
5	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
10	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
15	0,001	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001
20	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0
25	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 125Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
5	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
10	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
15	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
20	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
25	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
30	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
35	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0
40	0	0	0,001	0,001	0,001	0	0
45	0	0	0	0,001	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 160Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
5	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
10	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
15	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
20	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
25	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
30	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
35	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
40	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
45	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
50	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
55	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
60	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0
65	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0
70	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0
75	0	0,001	0,001	0,001	0	0	0
80	0	0,001	0,001	0,001	0	0	0
85	0	0,001	0,001	0,001	0	0	0
90	0	0,001	0,001	0	0	0	0
95	0	0,001	0,001	0	0	0	0
100	0	0,001	0	0	0	0	0

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 400Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
5	0,005	0,008	0,009	0,008	0,007	0,005	0,004
10	0,007	0,007	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003
15	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003
20	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
25	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
30	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
35	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
40	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
45	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
50	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
55	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
60	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
65	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
70	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
75	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
80	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
85	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
90	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
95	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
100	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 500Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
5	0,006	0,009	0,011	0,011	0,01	0,007	0,006
10	0,009	0,009	0,007	0,006	0,004	0,004	0,003
15	0,008	0,006	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003
20	0,006	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
25	0,005	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,004
30	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004
35	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004
40	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004
45	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004
50	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004
55	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
60	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
65	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
70	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
75	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
80	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
85	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
90	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
95	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
100	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 630Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
5	0,006	0,01	0,014	0,015	0,014	0,011	0,008
10	0,011	0,013	0,011	0,008	0,006	0,005	0,004
15	0,011	0,009	0,007	0,005	0,004	0,004	0,004
20	0,009	0,007	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004
25	0,007	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004
30	0,006	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004
35	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005
40	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005
45	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005
50	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005
55	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005
60	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005
65	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004
70	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004
75	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004
80	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004
85	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004
90	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004
95	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004
100	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 800Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
5	0,006	0,01	0,016	0,02	0,02	0,016	0,013
10	0,013	0,016	0,016	0,013	0,009	0,007	0,006
15	0,015	0,014	0,01	0,008	0,006	0,005	0,005
20	0,013	0,01	0,007	0,006	0,005	0,004	0,005
25	0,011	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	0,005
30	0,009	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005
35	0,007	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005
40	0,006	0,004	0,004	0,003	0,004	0,005	0,006
45	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006
50	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006
55	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006
60	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006
65	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006
70	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006
75	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006
80	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006
85	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006
90	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006
95	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005
100	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 1000Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
5	0,006	0,011	0,017	0,024	0,027	0,024	0,019
10	0,014	0,02	0,022	0,018	0,014	0,011	0,009
15	0,018	0,019	0,015	0,011	0,009	0,007	0,007
20	0,018	0,015	0,011	0,008	0,007	0,006	0,006
25	0,015	0,011	0,008	0,006	0,006	0,005	0,006
30	0,013	0,009	0,007	0,005	0,005	0,005	0,006
35	0,011	0,008	0,006	0,004	0,005	0,005	0,006
40	0,009	0,006	0,005	0,004	0,005	0,005	0,007
45	0,008	0,006	0,005	0,004	0,005	0,006	0,007
50	0,007	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007
55	0,006	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007
60	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007
65	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007
70	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007
75	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007
80	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007
85	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007
90	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007
95	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007
100	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 1250Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
5	0,006	0,011	0,018	0,028	0,034	0,033	0,028
10	0,015	0,023	0,028	0,026	0,021	0,016	0,013
15	0,022	0,025	0,022	0,017	0,013	0,01	0,009
20	0,023	0,021	0,016	0,012	0,009	0,008	0,008
25	0,021	0,017	0,012	0,009	0,008	0,007	0,007
30	0,018	0,014	0,01	0,008	0,007	0,007	0,007
35	0,016	0,011	0,008	0,007	0,006	0,006	0,008
40	0,013	0,01	0,007	0,006	0,006	0,006	0,008
45	0,012	0,008	0,007	0,006	0,006	0,007	0,008
50	0,01	0,007	0,006	0,005	0,006	0,007	0,008
55	0,009	0,007	0,006	0,005	0,006	0,007	0,009
60	0,008	0,006	0,005	0,005	0,006	0,007	0,009
65	0,007	0,006	0,005	0,005	0,006	0,007	0,009
70	0,007	0,005	0,005	0,005	0,006	0,007	0,009
75	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,007	0,009
80	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,008	0,009
85	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,008	0,009
90	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	0,008	0,009
95	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	0,008	0,009
100	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	0,008	0,009

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 1600Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
5	0,007	0,011	0,019	0,031	0,042	0,046	0,041
10	0,016	0,026	0,036	0,037	0,032	0,025	0,019
15	0,025	0,033	0,032	0,026	0,02	0,016	0,013
20	0,029	0,031	0,025	0,019	0,014	0,012	0,011
25	0,029	0,026	0,02	0,015	0,011	0,01	0,01
30	0,027	0,021	0,016	0,012	0,01	0,009	0,009
35	0,024	0,018	0,013	0,01	0,009	0,008	0,009
40	0,021	0,015	0,011	0,009	0,008	0,008	0,009
45	0,018	0,013	0,01	0,008	0,008	0,008	0,01
50	0,016	0,012	0,009	0,008	0,007	0,008	0,01
55	0,014	0,01	0,008	0,007	0,007	0,008	0,01
60	0,013	0,01	0,008	0,007	0,007	0,008	0,01
65	0,012	0,009	0,007	0,007	0,007	0,009	0,011
70	0,011	0,008	0,007	0,007	0,007	0,009	0,011
75	0,01	0,008	0,007	0,006	0,007	0,009	0,011
80	0,009	0,007	0,006	0,006	0,007	0,009	0,011
85	0,009	0,007	0,006	0,006	0,007	0,009	0,011
90	0,008	0,007	0,006	0,006	0,008	0,009	0,012
95	0,008	0,006	0,006	0,006	0,008	0,01	0,012
100	0,007	0,006	0,006	0,006	0,008	0,01	0,012

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 2000Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
5	0,007	0,012	0,02	0,034	0,049	0,059	0,058
10	0,017	0,029	0,042	0,049	0,045	0,037	0,029
15	0,027	0,04	0,044	0,038	0,03	0,023	0,019
20	0,035	0,041	0,036	0,028	0,022	0,017	0,015
25	0,037	0,036	0,029	0,022	0,017	0,014	0,013
30	0,036	0,031	0,024	0,018	0,014	0,012	0,012
35	0,033	0,026	0,02	0,015	0,012	0,011	0,012
40	0,03	0,023	0,017	0,013	0,011	0,011	0,011
45	0,027	0,02	0,015	0,012	0,01	0,01	0,012
50	0,024	0,018	0,013	0,011	0,01	0,01	0,012
55	0,021	0,016	0,012	0,01	0,01	0,01	0,012
60	0,019	0,014	0,011	0,01	0,009	0,01	0,012
65	0,018	0,013	0,01	0,009	0,009	0,01	0,012
70	0,016	0,012	0,01	0,009	0,009	0,01	0,013
75	0,015	0,011	0,009	0,009	0,009	0,011	0,013
80	0,014	0,011	0,009	0,008	0,009	0,011	0,013
85	0,013	0,01	0,008	0,008	0,009	0,011	0,014
90	0,012	0,009	0,008	0,008	0,009	0,011	0,014
95	0,011	0,009	0,008	0,008	0,009	0,011	0,014
100	0,011	0,009	0,008	0,008	0,009	0,011	0,014

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 2500Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
5	0,007	0,012	0,021	0,036	0,055	0,073	0,078
10	0,017	0,03	0,048	0,062	0,063	0,054	0,043
15	0,029	0,046	0,057	0,054	0,044	0,035	0,027
20	0,039	0,052	0,051	0,042	0,032	0,025	0,021
25	0,045	0,049	0,042	0,033	0,025	0,02	0,018
30	0,047	0,044	0,035	0,027	0,021	0,017	0,016
35	0,045	0,039	0,03	0,022	0,018	0,016	0,015
40	0,042	0,034	0,025	0,02	0,016	0,014	0,014
45	0,038	0,03	0,022	0,017	0,015	0,014	0,014
50	0,035	0,026	0,02	0,016	0,014	0,013	0,014
55	0,032	0,024	0,018	0,014	0,013	0,013	0,014
60	0,029	0,021	0,016	0,014	0,012	0,013	0,015
65	0,027	0,02	0,015	0,013	0,012	0,013	0,015
70	0,024	0,018	0,014	0,012	0,012	0,013	0,015
75	0,023	0,017	0,013	0,012	0,012	0,013	0,015
80	0,021	0,016	0,013	0,011	0,011	0,013	0,016
85	0,02	0,015	0,012	0,011	0,011	0,013	0,016
90	0,018	0,014	0,012	0,011	0,011	0,013	0,016
95	0,017	0,013	0,011	0,011	0,011	0,013	0,017
100	0,016	0,013	0,011	0,01	0,011	0,013	0,017

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 3150Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
5	0,008	0,013	0,022	0,037	0,06	0,086	0,102
10	0,018	0,032	0,053	0,075	0,085	0,078	0,064
15	0,031	0,052	0,071	0,075	0,066	0,052	0,041
20	0,044	0,063	0,07	0,062	0,049	0,038	0,031
25	0,053	0,065	0,061	0,05	0,038	0,03	0,025
30	0,058	0,062	0,052	0,041	0,032	0,026	0,022
35	0,059	0,056	0,045	0,034	0,027	0,023	0,02
40	0,057	0,05	0,039	0,03	0,024	0,02	0,019
45	0,054	0,045	0,034	0,026	0,021	0,019	0,019
50	0,051	0,04	0,03	0,024	0,02	0,018	0,018
55	0,047	0,036	0,027	0,022	0,018	0,017	0,018
60	0,043	0,033	0,025	0,02	0,017	0,017	0,018
65	0,04	0,03	0,023	0,019	0,017	0,016	0,018
70	0,037	0,028	0,021	0,018	0,016	0,016	0,018
75	0,034	0,026	0,02	0,017	0,016	0,016	0,018
80	0,032	0,024	0,019	0,016	0,015	0,016	0,019
85	0,03	0,022	0,018	0,015	0,015	0,016	0,019
90	0,028	0,021	0,017	0,015	0,015	0,016	0,019
95	0,026	0,02	0,016	0,015	0,015	0,016	0,02
100	0,025	0,019	0,016	0,014	0,014	0,016	0,02

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 4000Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
5	0,009	0,014	0,023	0,039	0,065	0,098	0,127
10	0,019	0,034	0,057	0,088	0,11	0,111	0,097
15	0,033	0,056	0,084	0,1	0,96	0,08	0,064
20	0,047	0,074	0,092	0,089	0,075	0,059	0,047
25	0,06	0,082	0,087	0,075	0,059	0,047	0,038
30	0,069	0,083	0,077	0,062	0,049	0,039	0,033
35	0,074	0,079	0,068	0,053	0,042	0,034	0,029
40	0,076	0,073	0,059	0,046	0,036	0,03	0,027
45	0,074	0,067	0,053	0,041	0,033	0,028	0,026
50	0,071	0,061	0,047	0,037	0,03	0,026	0,025
55	0,068	0,055	0,042	0,033	0,027	0,024	0,024
60	0,064	0,051	0,039	0,031	0,026	0,023	0,024
65	0,06	0,047	0,036	0,028	0,024	0,023	0,023
70	0,056	0,043	0,033	0,027	0,023	0,022	0,023
75	0,052	0,04	0,031	0,025	0,022	0,022	0,023
80	0,049	0,037	0,029	0,024	0,021	0,021	0,023
85	0,046	0,035	0,027	0,023	0,021	0,021	0,023
90	0,044	0,033	0,026	0,022	0,02	0,021	0,024
95	0,041	0,031	0,025	0,021	0,02	0,021	0,024
100	0,039	0,03	0,024	0,02	0,02	0,021	0,024

Ilmanalan vaikutus äänen absorptioon ilmassa (db/m) taajuudella 5000Hz							
Lämpötila °C ->	0	5	10	15	20	25	30
Ilmankosteus %							
0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006
5	0,01	0,015	0,024	0,041	0,068	0,107	0,149
10	0,021	0,035	0,061	0,097	0,133	0,148	0,138
15	0,035	0,06	0,096	0,125	0,131	0,117	0,096
20	0,05	0,083	0,113	0,122	0,109	0,089	0,071
25	0,066	0,098	0,115	0,107	0,088	0,071	0,057
30	0,079	0,105	0,107	0,092	0,073	0,059	0,048
35	0,088	0,104	0,097	0,079	0,063	0,051	0,043
40	0,093	0,1	0,087	0,069	0,055	0,045	0,039
45	0,095	0,094	0,078	0,061	0,049	0,041	0,036
50	0,095	0,087	0,07	0,055	0,044	0,037	0,034
55	0,092	0,081	0,064	0,05	0,041	0,035	0,033
60	0,089	0,075	0,059	0,046	0,038	0,033	0,031
65	0,085	0,069	0,054	0,043	0,035	0,032	0,031
70	0,08	0,064	0,05	0,04	0,033	0,03	0,03
75	0,076	0,06	0,047	0,037	0,032	0,029	0,03
80	0,072	0,056	0,044	0,035	0,031	0,029	0,03
85	0,068	0,053	0,041	0,034	0,029	0,028	0,03
90	0,065	0,05	0,039	0,032	0,028	0,028	0,029
95	0,061	0,047	0,037	0,031	0,028	0,027	0,03
100	0,058	0,045	0,035	0,03	0,027	0,027	0,03

LIITE 2 Kuvia projektista







Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus





