

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Jani Hukka
Mika Mustonen

CLT-TILAELEMENTTIEN ILMAÄNENERISTÄVYYS

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2016
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
(013) 260 600

Tekijä(t)
Jani Hukka
Mika Mustonen

Nimeke
CLT-tilaelementtien ilmäänen eristävyys

Toimeksiantaja
Karelia-amk

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli tutkia CLT-elementtien välistä ilmääneneneristävyttä erilaisilla lämpöeristevaihtoehdoilla ja onko levysaumojen tiivistämisellä vaikutusta tuloksiin. Tutkimuksessa oli käytävissä kaksi CLT-tilaelementtiä, jotka toimitti Elementti Sampo ja tätä tutkimusta tehtiin tästä kyseisestä CLT-tyypistä. Näillä saaduilla tuloksilla Elementti Sampo pystyy jatkamaan tuotekehittelyään CLT-rakenteiden parissa ja näin kehittämään tätä teollisuutta Suomessa eteenpäin.

CLT-elementtejä tutkittiin Karelia-Ammattikorkeakoulun laboratoriossa, jossa tehtiin ilmääneneneristävyys mittauksia erilaisilla eristeillä. Mittaustuloksista tehtiin päätelmät mikä eriste sopii parhaiten ilmääneneneristävyden osalta tilaelementtien väliin.

Muut pientarvikkeet ja mittalaitteet kustansi Karelia-Ammattikorkeakoulu ja tilaelementit jäävät koulun laboratorioon muita testauksia ja koulutuksia varten.

Tutkimusmenetelminä käytettiin SFS-EN ISO 16283-1 ja ISO 717-1 standardien mukaisista mittauksista. Tuloksiksi saatiin, että 50 mm villa on ilmääneneneristävydeltään ja kustannuksiltaan parhain vaihtoehto.

Kieli

Suomi

Sivuja 48

Liitteet 2

Liitesivumäärä 21

Asiasanat

CLT, Ilmääni, Resonanssi, Koinssidenssi, Taajuus, Ilmääneneneristävyys, R'w



THESIS
May 2016
Degree Programme in Civil Engineering

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
(013) 260 600

Author (s)
Jani Hukka
Mika Mustonen

Title
Airborne Sound Insulation of CLT-Units

Commissioned by
KUAS

Abstract

The aim of this thesis was to investigate airborne sound insulation between CLT-units, with different thermal insulation options, and to see whether the board joints sealing has an effect on the results. Two CLT-units were used which were supplied by Elementti Sampo and the study was made on this particular type of CLT. With the results obtained, Elementti Sampo will be able to continue the product development of CLT structures and thus bring the development of this industry in Finland forward.

The CLT-units were studied in the laboratory of Karelia University of Applied Sciences where airborne sound insulation measurements were made with different materials and in different situations. Based on the measurements, conclusions could be made about the best insulation between the CLT-units.

Other small accessories and instrumentation for the work were provided by the Karelia University of Applied Sciences and the CLT-units will remain in the school's laboratory for additional testing and education purposes.

The research methods we used were SFS-EN ISO 16283-1 and ISO 717-1 standard measurements. The result we got, was that 50 mm wool is the best airborne sound insulation and it is the most cost-effective option.

Language

Finnish

Pages 48

Appendices 2

Pages of Appendices 21

Keywords

CLT, Airborne sound, Resonance, Coincidence, Frequency, Airborne sound insulation, R'_w

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Opinnäytetyön tilaaja ja rajaus	5
1.2	Opinnäytetyön tarkoitus ja tehtävä	6
1.3	Aikataulu ja rahoitus	6
1.4	Luotettavuus	6
1.5	Keskeiset käsitteet	7
2	CLT-teollisuus Suomessa	9
3	Ääni	10
3.1	Äänentaajuus	10
3.2	Äänenvoimakkuus	11
3.3	Akustiikan määräykset ja ohjeet	12
4	Ääneneristys	13
4.1	Rakenteen tiiveys	13
4.2	Massalaki	13
4.3	Absorptio	14
4.4	Sivutiesiirtymät	15
4.5	Resonanssi-ilmiö	15
4.6	Koinsidenssi-ilmiö	16
4.7	Ääneneristävyysvaatimukset rakennuksessa	17
5	Ilmaääneneristävyyden laskeminen	18
5.1	Taustamelukorjaus	18
5.2	Ääneneristävyysluku R'	18
5.3	Ilmaääneneristysluku R'_w	19
6	Esivalmistelut	21
7	Mittaaminen	25
8	Tulokset	37
8.1	Rakenteiden ilmaääneneristävyydet	37
8.2	Erilaisten ilmarakojen vaikutus	38
8.3	SPU-levyn vaikutus	39
8.4	Erilaisten 50 mm paksujen villojen vaikutus	40
8.5	100 mm paksujen villojen vaikutus	41
8.6	Kivivillan paksuuden vaikutus	42
8.7	Lasivillan paksuuden vaikutus	43
9	Johtopäätökset	44
10	Pohdinta	46
	Lähteet	47

Liitteet

Liite 1	Mittaussuunnitelma
Liite 2	Mittaustulokset (Vertailukäyräkuvaajat ja R'_w laskenta)

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tilaaja ja rajaus

Saimme syksyllä 2015 infotilaisuudessa Karelia-ammattikorkeakoululta opinnäytetyön aiheita, joista valitsimme CLT-tilaelementtien ilmaääneneristävyyden opinnäytetyöksi, koska tämä kuulosti mielenkiintoiselta tavalta tutkia CLT-elementtejä. Alkuperäinen idea on lähtöisin Bino puurakentamisen osaamisen siirto hankkeen aikana syntyneestä Karelia-ammattikorkean ideasta jota lähdettiin kehittämään eteenpäin Elementti sammon kanssa, joka tuottaa CLT-rakenteita Kuhmossa ja he halusivat kehittää tätä teollisuutta Suomessa eteenpäin. Elementti Sampo toimitti koulumme laboratorioon kaksi CLT-tilaelementtiä, joiden seinät ovat 3-kerroksisia ja 100 mm paksuja. Näiden avulla tutkimme ilmaääneneristävyyttä huoneistojen välisessä seinässä erilaisien eristeiden kanssa. Täysin vastaavanlaisista testeistä emme löytäneet tietoa, mutta löysimme puhtaasti CLT:lle tehtyjä testejä, jotka oli toteutettu ilman eristeitä [10]. Tutkimamme CLT-elementtien laminointi ei ole pieliliimattu ja rajasimme aiheen vain ilmaääneneristävyyteen joten emme tutki runkoääniä tai värähtelyä, koska opinnäytetyöstä tulisi muutoin liian laaja kokonaisuus. Pidimme palaverin 29.1.2016 johon osallistui meidän lisäksi koulun laboratorioinsinööri, koulun koulutus- ja kehittämispäällikkö ja opinnäytetyön ohjaaja, jossa pohdimme erinäisiä ongelmia ja ratkaisuja niihin. Tämän jälkeen teimme mittaus suunnitelman ja listan tarvittavista välineistä/materiaaleista (liite 1).

Meidän osuudeksi opinnäytetyössä jäi tilaelementtien valmistelu mittauksia varten, mittaaminen, tulosten analysointi ja vertailu aiempaan tietoon. Työn jaoin me niin että molempien vahvuusalueet hyödynnettiin. Jani suoritti enempi esivalmisteluja ja Mika teoria- ja laskenta puolen. Pohdinnan ja kirjoittamisen hoidimme yhdessä, työnjaon koimme tasapuoliseksi.

Opinnäytetyössä testasimme 50 mm ja 100 mm kivi- ja lasivillaa, joilla näimme villan paksuuden ja villatyypin merkityksen ilmaääneneristävyyteen. Testasimme myös eräänlaista "ilmatasku" menetelmää missä reunakiertona oli 50 mm

kivivilla ja keskellä oli 30 mm kivivilla/20 mm ilmatasku. Tässä menetelmässä oli tarkoitus testata ilmataskun eristävyden tehoa ja kokeilimme myös 50 mm SPU-levyä, joka oli vain vaihtoehtoinen eriste ns. ”perinteisten” tilalle. Teimme myös kontrollitestauksia joissa emme käyttäneet mitään eristettä välissä niin tästä pystyimme päättämään onko näistä eristeistä miten suuri hyöty ääneneristävydessä.

1.2 Opinnäytetyön tarkoitus ja tehtävä

Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia ja vertailla erilaisten rakenteiden ilmaääneneristävyttä. Tuloksista nähdään kuinka ja millä materiaaleilla saadaan mahdollisimman hyvä ilmaääneneristävyys. Teimme kymmenen erilaista tilannetta joissa käytimme eri eristemateriaaleja ja tutkimme myös onko sisäpuolen levysaumojen kittauksella merkitystä ilmaääneneristävyyteen.

1.3 Aikataulu ja rahoitus

Aikataulun sovimme niin että kaikki olisi valmista huhtikuun alkuun mennessä. Tilaelementit tutkimukseen toimitti Elementti Sampo ja tarvittavat pientarvikkeet ja mittalaitteet saimme Karelia-ammattikorkeakoululta, joten emme tarvinneet rahoitusta tutkimukselle.

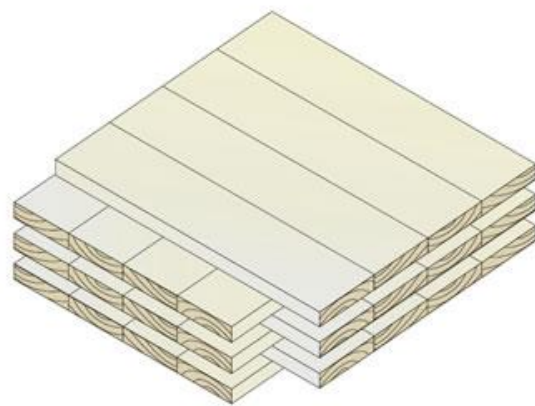
1.4 Luotettavuus

Luotettavuuden puolesta jouduimme miettimään mittaolosuhteita, jotta ne vastaavat aitoja tilanteita ja että mittalaitteet on kalibroitu. Kalibroimaton mittalaite vääristäisi mittaustuloksia eikä saatuihin testaustuloksiin voisi luottaa. Itse mitattavat tilaelementit eivät täytä minimitulavuutta, joka on 25 m^3 . Tämä tuo mittaustuloksiin jonkin asteen epätarkkuutta ja nämä tulokset tarvitsevat vielä korjausarvon. Mittaustuloksia vääristää hieman myös se että mittaukset on suoritettu yhdeltä pisteeltä, koska vähimmäissiirtymää ei voitu suorittaa. Tämä yhdeltä pisteeltä mittaaminen ei välttämättä vastaa todellista tilannetta, mutta kuitenkin voimme verrata eri eristemateriaaleja, koska niille kaikille oli samat mittaolosuhteet. Mittaustarkkuus on kenttäolosuhteissa $\pm 2 \text{ dB}$.

1.5 Keskeiset käsitteet

CLT

CLT-levyt ovat massiivipuusta valmistettuja rakennusmateriaaleja, jotka koostuvat ristikkäin liimatuista lamelli- eli puulevykerroksista. Eripaksuisia kerroksia voi olla 3, 5, 7 tai 8 rakenteellisista vaatimuksista riippuen [2].



Kuva 1. CLT-laminointi [9].

Ilmavuoto

Rakenteen läpi tapahtuvaa haitallista ilmanvaihtuvuutta.

Ilmaääneneristysluku R_w / R'_w (dB)

Kahden tilan välistä ilmaääneneristävyyttä kuvaava luku, joka saadaan vertaamalla taajuuskaistoittain mitattua ilmaääneneristävyyttä standardoituun vertailukäyrään. Eristävän rakenteen laboratoriomittauksissa ilmaääneneristyslukua merkitään R_w , kun kyseessä on mittaus rakennuksessa merkitään R'_w [7 s. 2].

Ilmaääni	On äänilähteestä ilman välityksellä ympäristöön leviävä ääni [1 s. 9].
Jälkikaiunta-aika	Aika, jona äänenpainetaso äänilähteen vaiettua alenee 60 dB [1 s. 9].
Mikrofoni	Laite jolla mitataan äänenvoimakkuutta mittauksen aikana.
q50-luku	Rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa paineerolla suhteessa mitattavan osan ulkovai-pan alaan (m ²).
Resonanssi	Resonanssissa jaksollisen herätteen taa-juus osuu rakenteen tai värähtelyjärjestel-män ominaistajuualueelle, jolloin raken-ne alkaa värähdellä voimakkaasti. Resonanssissa rakenteen ääneneristävyys heikkenee merkittävästi [1 s. 10].
Runkoääni	Rakenteessa etenevä mekaaninen väräh-tely, joka aiheuttaa ilmaääntä [1 s. 10].
Taajuus f (Hz)	Ilmoittaa värähdysten lukumäärän aikayk-sikössä. Taajuuden yksikkö on hertsi.
Äänilähde	Laite jolla tuotetaan ääntä tilaan mittauk-sen aikana.

2 CLT-teollisuus Suomessa

CLT-rakentaminen on vielä Suomessa suhteellisen vähäistä, mutta pientä kasvua on luvassa, kun tekijöitä ja valmistajia tulee koko ajan lisää. Puhtaasti Suomessa tuotettua CLT:tä saa Suomessa tällä hetkellä CrossLamin tehtaalta Kuhmosta.

Tulevia CLT-kohteita Joensuun alueella on Penttilänrannan puukerrostalokortteli [3].



Kuva 2. Joensuun Penttilänrannan puukerrostalokorttelin havainnointikuva [3].

Stora Ensolla on vahva usko CLT-rakentamisen lisääntymiseen tulevaisuudessa, koska energiatehokkuus ja elinkaarikustannukset kiristyvät. Joensuussa rakennettu Ellin opiskelijapuukerrostalo on tehty passiivitasoiseksi ja nollatason energiaratkaisuun eli rakennus ei vaadi ulkopuolista lämmitysenergiaa [5].

Myös työ- ja elinkeinoministeriö on tukemassa suomalaista puurakentamisen lisääntymistä erilaisin ohjelmin ja tuin. Ministeriön raporteista huomaa hyvin nopeasti, että Suomessa ei käytetä kaikkia mahdollisuuksia ja täyttä kapasiteettia puurakentamisessa. Kasvua halutaan puu- ja kerrostalomarkkinaosuuteen, ja kirjoitushetkellä se on viimeisimpien tietojen mukaan vain 1 %:n luokkaa [6].

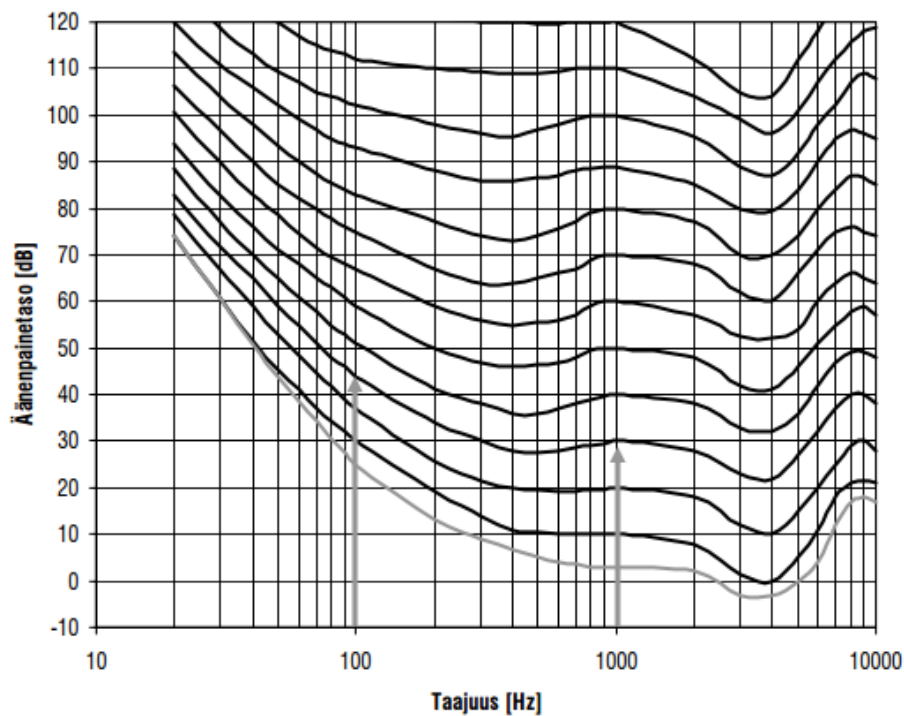
3 Ääni

3.1 Äänentaajuus

Ääni kuullaan sitä korkeampana mitä suurempi äänentaajuus on. Ihminen kuulee äänet taajuusalueelta 16 Hz – 16000 Hz. Rakenteen käyttäytyminen ja ääneneristyskyky muuttuvat äänentaajuuden muuttuessa, joka on otettava huomioon ääntä eristävien rakenteiden suunnittelussa. Suunnittelu onkin tästä johtuen vaikeaa, koska rakenne pitäisi saada eristämään ääntä hyvin niin matalilla kuin korkeillakin taajuuksilla. Asuinrakennuksissa esiintyvien äänien taajuudet vaihtelevat suuresti. Esimerkiksi jo pelkkä puhe tuottaa ääntä taajuusalueella 50 Hz – 10000 Hz. Rakenteiden ääneneristävyttä on perinteisesti tutkittu taajuusalueella 100 Hz – 3150 Hz, koska ihmisen kuulo on herkimmillään tällä taajuusalueella. Näin on pyritty saavuttamaan mahdollisimman hyvä ääneneristävyys ihmisen kannalta. Nykyisin myös matalat alle 100 Hz taajuudet pyritään ottamaan huomioon kevyiden seinä- ja välipohjarakenteiden suunnittelussa, koska nämä läpäisevät helpoimmin matalia äänentaajuuksia [1 s. 11].

3.2 Äänenvoimakkuus

Äänenvoimakkuutta kuvataan käsitteellä äänenpainetaso, joka ilmoitetaan lukuarvona, jonka yksikkö on desibeli [dB]. desibeli on logaritminen suure, eikä arvoja voida laskea yhteen tavallisena summalaskentana. Vakioäänekkyyskäyristä nähdään, kuinka voimakkaita äänten pitää eri taajuuksilla olla, jotta ne koettaisiin yhtä voimakkaiksi. Esim. 1000 Hz taajuudella 30 dB äänenpainetaso koetaan yhtä voimakkaaksi kuin 100 Hz taajuudella 45 dB äänenpainetaso (kuvaaja 1) [12 s. 15].



Kuvaaja 1. Vakioäänekkyyskäyrät. Äänen voimakkuuden kokeminen riippuu taajuudesta. Alin käyrä kuvaa kuulokynnystä eri taajuuksilla [12 s. 15].

3.3 Akustiikan määräykset ja ohjeet

Akustisia ominaisuuksia suomessa määrää erilaiset ohjeet ja määräykset, joita löytyy suomen rakennusmääräyskokoelmasta C1-1998 (ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa) ja D2-2012 (rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto). On olemassa myös akustisia standardeja joita voidaan myöntää rakennuksille esimerkiksi SFS 5907. Valtioneuvosto ja Sosiaali- ja terveysministeriö antavat ohjearvoja ja asetuksia rakennuksille esimerkiksi Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista ja Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeasetus (2015).

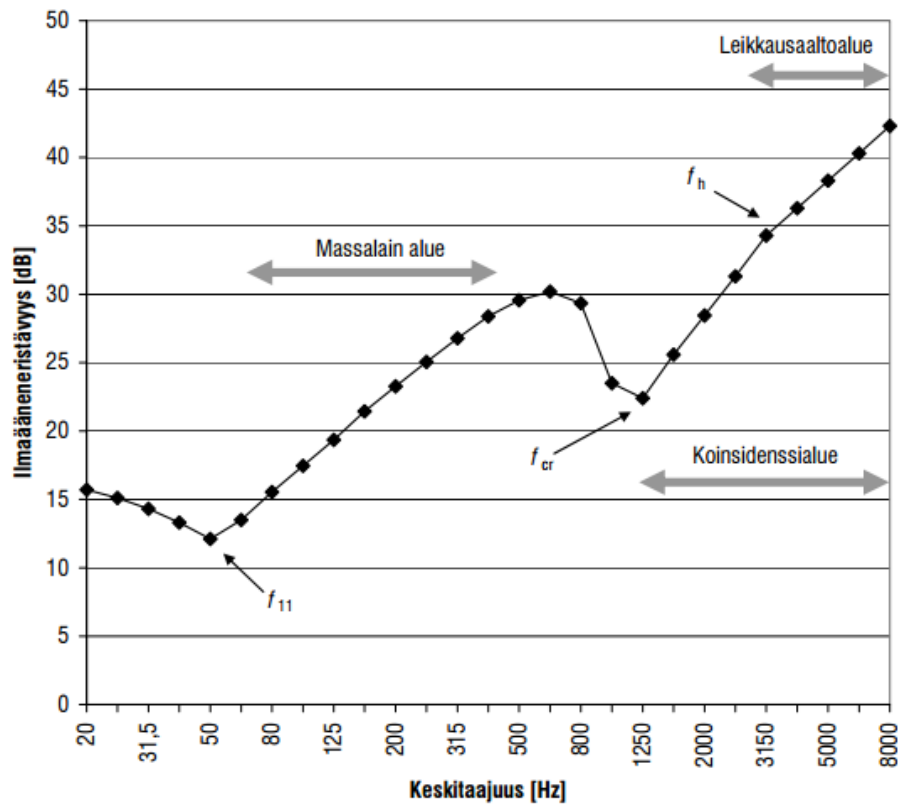
4 Ääneneristys

4.1 Rakenteen tiiveys

Ääni kulkee ilmassa, nesteessä ja kiinteässä aineessa, näin ollen rakenteen ilmatiiveys on ilmaääneneristävyyden perusedellytys. Jo erittäin pieni rakenteessa oleva rako aiheuttaa merkittävän heikennyksen ilmaääneneristävyyteen. Puurakenteiden välisten saumojen tiivistys toteutetaan EPDM-kumitiivisteellä ja elastisella tiivistysmassalla. Ilmatiiveyttä pystytään myös parantamaan saumojen yli jatkuvalla ilmansulkukalvolla [1 s. 51]. Syrjäliimattu CLT olisi hyvin tiivis rakenne, eikä siinä olisi paljon rakoja joista ääni voisi kulkea, toisin kuin meidän testeissä käytetty syrjäliimaamaton CLT, josta pystyi silmin selvästi havaitsemaan aukkoja. Tulokset ovat siitä syystä heikompia.

4.2 Massalaki

Ääniaallon törmätessä rakenteeseen siihen syntyy värähtelyä. Kevyempi rakenne värähtelee samasta äänenpaineesta enemmän kuin raskaampi rakenne. Mitä enemmän rakenne värähtelee sitä enemmän se myös synnyttää ääniaaltoja rakenteen toiselle puolelle. Raskaampi rakenne siis eristää tästä johtuen ääntä paremmin kuin kevyt rakenne, tätä kutsutaan ääneneristävyyden massalaki [1 s. 18]. CLT on raskas rakenne, eikä siis värähtele yhtä herkästi kuin joku kevyempi materiaali ja näin ollen siis eristää ääntä paremmin. Kuvaajasta 2 nähdään massalain vaikutusalue.



Kuvaaja 2. Ilmaääneneristävyyden riippuvuus taajuudesta. Rajataajuuksien paikat riippuvat rakenteen massasta ja jäykkyydestä. Käyrällä f_{11} on rakenteen matalin ominaistaajuus, f_{cr} on koinsidenssin rajataajuus ja f_h on leikkausaaltoalueen rajataajuus [12 s. 49].

4.3 Absorptio

Äänen absorboituessa sen äänienergia muuttuu lämmöksi [8]. Mitä pehmeämpää absorptio materiaalia käytetään sitä parempi vaikutus sillä saavutetaan [1 s. 24]. Esimerkiksi huone jossa on kovat betoniseinät kaikuu voimakkaasti eli ääni heijastuu takaisin kovasta pinnasta, kun taas jos seinät olisi peitetty esim. pehmeällä villalla ääni ei heijastu takaisin vaan absorboituu villaan.

4.4 Sivutiesiirtymät

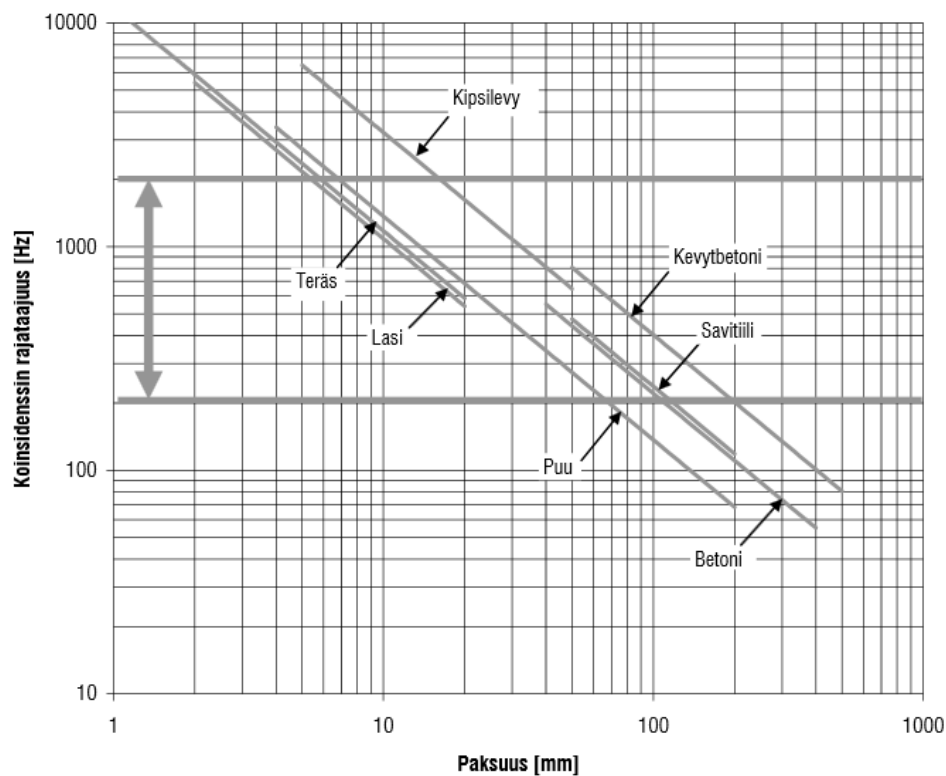
Ääni voi kulkeutua myös huoneistosta toiseen sivuavien rakenteiden ja liitosten kautta. Sivutiesiirtymä voidaan poistaa tai sen vaikutusta vähentää: katkaisemalla sivutiesiirtymäreitti tai käyttämällä äänikatkona joustavia kerroksia; massiivisia värähtelemättömiä rakenteita käyttämällä sivuavina rakenteina; kiinnittämällä rakenteet joustavasti toisiinsa [1 s. 38].

4.5 Resonanssi-ilmiö

Resonanssi-ilmiössä rakenteeseen osuu ääniaaltoja joiden taajuus on rakenteen resonanssitaajuusalueella eli ominaistajuusalueella. Resonanssi-ilmiössä rakenne värähtelee ja säteilee ääntä voimakkaasti, joka aiheuttaa sen ääneneristävyyden heikkenemisen. Rakenteen voimakas värähtely aiheutuu siitä, kun rakenteessa oleva värähtelysteemi saa koko ajan lisää energiaa siihen tulevista ääniaalloista. Rakenteen resonanssitaajuusalue pystytään määrittämään sen alimman resonanssitaajuuden perusteella, jolloin värähtely on voimakkainta. Resonanssi-ilmiötä voidaan havaita myös, kun värähtelyä aiheuttavan herätteen taajuus on lähellä rakenteen alinta resonanssitaajuutta eli heräte on rakenteen resonanssitaajuusalueella. Rakenteen resonanssitaajuusalueen olisi hyvä olla ihmisen kuulon kannalta tärkeän taajuusalueen 100 Hz – 3150 Hz alapuolella [1 s. 20].

4.6 Koinsidenssi-ilmio

Koinsidenssi-ilmiossä tietyssä kulmassa levyn pintaan osuvan ääniaaltorintaman jälki ja levyssä oleva äänen aiheuttama taivutusaalto etenevät samalla nopeudella. Näin jatkuva ääni aiheuttaa yli- ja alipainerintaman. Äänen edetessä tilanne ei muutu miksiäkään, tästä johtuen levy ei eristä ääntä lähellekään yhtä hyvin kuin sen massan puolesta voisi odottaa. Koinsidenssi-ilmiossä ääneneristävyyttä riippuu lähinnä levyn ja rakenteen häviömekanismeista. Kaikilla yksinkertaisilla rakenteilla on koinsidenssitaajuus, jota korkeammilla äänentaajuuksilla esiintyy koinsidenssi-ilmioitä. Tästä johtuen rakenteen koinsidenssitaajuuden olisi hyvä olla ihmisen kuulon kannalta oleellisen taajuusalueen 100 Hz – 3150 Hz yläpuolella. Raskailla yksinkertaisilla rakenteilla koinsidenssi-ilmio ei yleensä ole ongelma, mutta ohuilla yksinkertaisilla rakenteilla sen vaikutus tulisi tutkia. Ohuiden rakennuslevyjen koinsidenssitaajuus on yleensä 2000 Hz – 3000 Hz [1 s. 21].



Kuvaaja 3. Rakennusaineiden koinsidenssin rajataajuuksia rakenteen paksuuden funktiona [12 s. 51].

4.7 Ääneneristävyysvaatimukset rakennuksessa

Ääneneristysvaatimukset asuinrakennuksen eri kohdissa näkee taulukosta 1. Huoneistojen välisen seinän ilmaääneneristysluvun (R'_w) vaatimus on ≥ 55 dB. Puheen ja rakenteen ääneneristävyden yhteyden näkee taulukosta 2 [4].

Taulukko 1. Rakenteiden ääneneristysvaatimukset asuinrakennuksessa [4].

Tunnus	Selite	Ilmaääneneristysluku	Askeläänitasoluku
A	Huoneistojen välinen välipohja	$R'_w \geq 55$ dB	$L'_{n,w} \leq 53$ dB
B	Huoneistojen välinen seinä	$R'_w \geq 55$ dB	-
C	Porrashuoneen ja huoneistojen välinen seinä yleensä	$R'_w \geq 55$ dB	-
D	Porrashuoneen ja huoneiston välinen seinä, kun seinässä ovi ¹⁾	$R'_w \geq 39$ dB	-
E	Huoneiston ovi ¹⁾	$R'_w \geq 37$ dB	-
F	Uloskäytävästä huoneistoon	-	$L'_{n,w} \leq 63$ dB

¹⁾ Huoneiston ulko-ovena käytetään vähintään ääniluokan 30 dB ovea tai oviyhdistelmää. Tämä vaatimus saadaan täytettyä, kun käytetään huoneiston ulko-ovea tai oviyhdistelmää, jonka laboratoriossa mitattu ilmaääneneristysluku on 37 dB.

Taulukko 2. Rakenteen ääneneristävyden ja puheen yhteys [4].

R'_w [dB]	Kuvaus
< 30	Seinä ei estä seuraamasta tapahtumia naapurihuoneistossa
> 35	Normaali keskustelu kuuluu seinän läpi
> 45	Normaali keskusteluääni kuuluu seinän läpi, mutta sanoista ei saa selvää
> 45	Normaali keskusteluääni ei kuulu seinän läpi
> 50	Voimakas puhe kuuluu seinän läpi, mutta sanoista ei saa selvää
> 55	Voimakas puhe ei kuulu seinän läpi
> 60	Voimakas huuto kuuluu seinän läpi, mutta sanoista ei saa selvää

5 Ilmaääneneristävyyden laskeminen

5.1 Taustamelukorjaus

Kaavalla 1 voidaan tehdä saatuihin mittaustuloksiin taustamelun korjaus.

Kaava 1. Taustamelukorjauksen laskeminen

$$L = 10 \lg \left(10^{\frac{L2}{10}} - 10^{\frac{Lb}{10}} \right)$$

Kaavassa 1

L = Korjattu desibeli arvo (Liitteissä merkintä "L2 korjattu") [dB]

L2 = Saapuvan äänentaso (sisältää taustamelun) [dB]

Lb = Taustamelu [dB]

5.2 Ääneneristävyyysluku R'

Kaavalla 2 voidaan laskea saaduista mittaustuloksista ääneneristävyyysluku R'.

Vastaanottavan huoneen absorptio ala saadaan laskettua kaavalla 3.

Kaava 2. Ääneneristävyydsluvun laskeminen

$$R' = L1 - L2 + 10 \lg \frac{S}{A}$$

Kaavassa 2

R' = Ääneneristävyys [dB]

L1 = Lähtevän äänentaso [dB]

L2 = Saapuvan äänentaso (taustamelukorjattu, Liitteissä merkintä "L2 korjattu") [dB]

S = Elementtien välisen seinän pinta-ala [m²]

A = Vastaanottavan huoneen absorptio ala [m²] kts. kaava 3

Kaava 3. Absorptio alan laskeminen

$$A = \frac{0,16V}{T}$$

Kaavassa 3

A = Vastaanottavan huoneen absorptio ala [m²]

V = Vastaanottavan huoneen tilavuus [m³]

T = Vastaanottavan huoneen jälkikaiunta-aika [s]

5.3 Ilmääneneristysluku R'w

Taulukossa 3 on esitettyä ilmäänen vertailuarvot 1/3-oktaavi- ja oktaavikaistoittain.

Taulukko 3. Ilmäänen vertailuarvot

Taajuus Hz	Vertailuarvot, dB	
	1/3-oktaavikaistoittain	Oktaavikaistoittain
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1000	55	55
1250	56	
1600	56	
2000	56	56
2500	56	
3150	56	

Standardien mukaisesti 1/3-oktaavi- (tai oktaavi-) kaistoittain suoritettujen mittauksien arvioimiseksi, siirretään soveltuvaa vertailukäyrää 1 dB kerrallaan kohti mittauskäyrää kunnes epäsuotuisten poikkeamien summa on mahdolli-

simman suuri, muttei ylitä 32,0 dB, kun mittaus on suoritettu kuudellatoista 1/3-oktaavikaistalla tai 10,0 dB, kun mittaus on suoritettu viidellä oktaavikaistalla. Epäsuotuinen poikkeama tietyllä taajuudella syntyy, kun mittaustulos on vertailuarvoa pienempi. Vain epäsuotuisat poikkeamat otetaan huomioon. R'_w (tai R_w) on vertailukäyrämenetelmän mukaisen siirron jälkeen vertailukäyrän desibeliarvo taajuudella 500 Hz.

6 Esivalmistelut

Saimme Elementti Sampolta CLT-tilaelementit tammikuussa 2016 ja jouduimme hankkimaan niihin ovet, joita muokkasimme aukkoon sopiviksi, koska oviaukko ei ollut vakiomitoituksella (kuvat 3 ja 4).



Kuva 3. Ovia lyhennettiin n. 5cm.



Kuva 4. Ovien karmit pyöristettiin alhaalta aukkoon sopiviksi.

Seuraavaksi vaahdotimme ovien saumat (kuva 5) ja kittasimme ne (kuva 6), jonka jälkeen liimasimme solumuovikaistan elementin sivuseinään, kuten oikeassakin rakennustilanteessa tehtäisiin. Näin ilmaääni ei pääse karkaamaan ja ääni kiertämään toiseen tilaelementtiin muuten, kuin mitattavan seinän kautta (kuva 7).



Kuva 5. Saumat vaahdotettiin.



Kuva 6. Lopuksi saumat kitattiin.



Kuva 7. Elementtien sivuseiniin liimattiin solumuovikaistat.

Elementtien nurkkiin laitettiin kumilevyt 100 mm x 100 mm x 5 mm (kuva 8), jotta äänivärähtely ei siirtyisi mekaanisesti betonilattian kautta toiseen koppiin. Näiden esivalmistelujen aikana Karelia-Ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri kävi tekemässä ilmatiiveysmittaukset (kuva 9), jolla mitataan ilmavuotoa ja joista saatiin $q_{50}=1$ ja toisessa tilaelementissä $q_{50}=1,2$, jotka ovat suhteellisen huonot, koska kopeissa ei ole vielä läpivientejä esimerkiksi iv-putkia.



Kuva 8. Elementin nurkkaan laitettava kumilevy.



Kuva 9. Ilmativeysmittaukset.

7 Mittaaminen

Aloitimme ensimmäiset mittaukset 19.2.2016. Teimme mittaukset SFS-EN ISO 16283-1 ja ISO 717-1 -standardien mukaisesti. Mittauksia varten meidän tarvitsi laskea elementtien tilavuus ($6,1 \text{ m}^3$) ja niiden välisen seinän pinta-ala ($3,9 \text{ m}^2$). Äänilähteen, mikrofonin etäisyyden on oltava seinästä vähintään 0,5 m ja mikrofonin etäisyyden äänilähteeseen on oltava minimissään 1 m standardin mukaan. Meidän tapauksessa vähimmäisetäisyydet täyttyivät juuri ja juuri yhdelle mittauspisteelle, joten suoritimme mittaukset vain tältä pisteeltä. Minimisiirtymä olisi mikrofonille ja äänilähteelle 70 cm ja yhdeltä äänilähteen pisteeltä tulisi ottaa noin 5 mittausta eri kohdista ja korkeuksilta. Ennen mittausta pidimme äänilähdettä päällä noin 30 sekuntia, jotta mittausten luotettavuus ei kärsisi. Ensiksi otimme mittauksen äänilähdetilaelementistä 15 sekunnin ajan (kuva 10), jonka jälkeen siirsimme mikrofonin vastaanottohuoneeseen ja mittasimme taas 15 sekunnin ajan äänilähteen tuottamaa melua (kuvat 11 ja 12).



Kuva 10. Mikrofonin ja äänilähteen sijoitus, kun mittasimme lähtevän äänen tasoa.



Kuva 11. Äänilähde sijoitettuna, kun mittasimme saapuvan äänen tasoa.

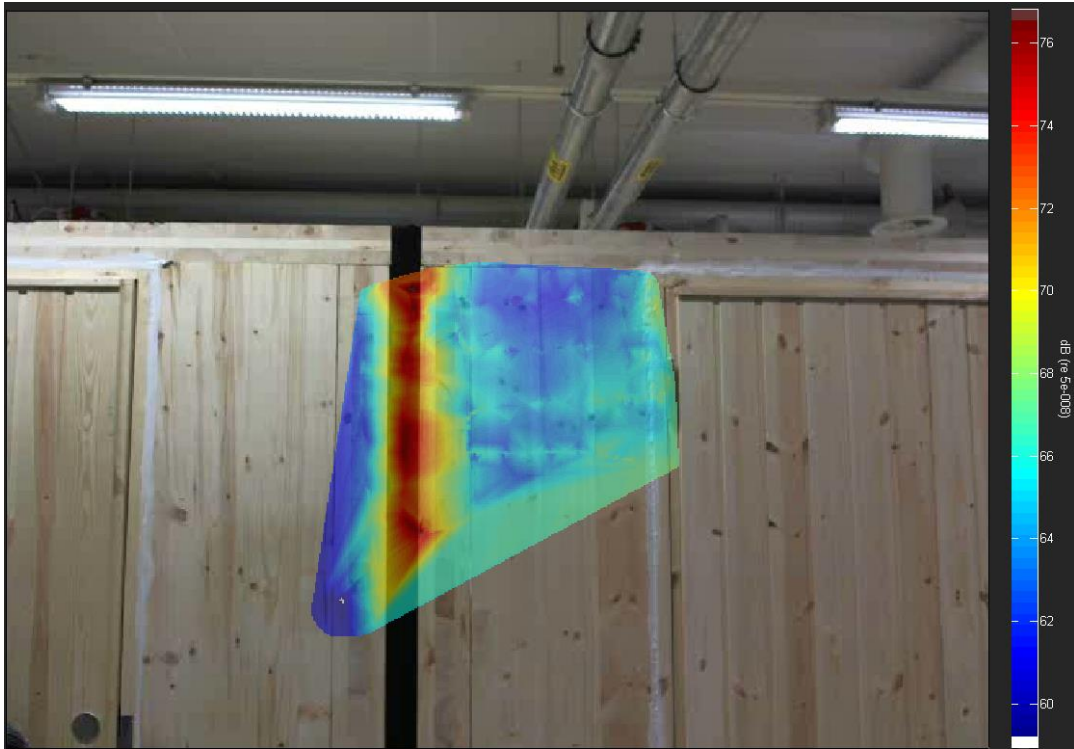


Kuva 12. Mikrofoni sijoitettuna, kun mittasimme saapuvan äänen tasoa.

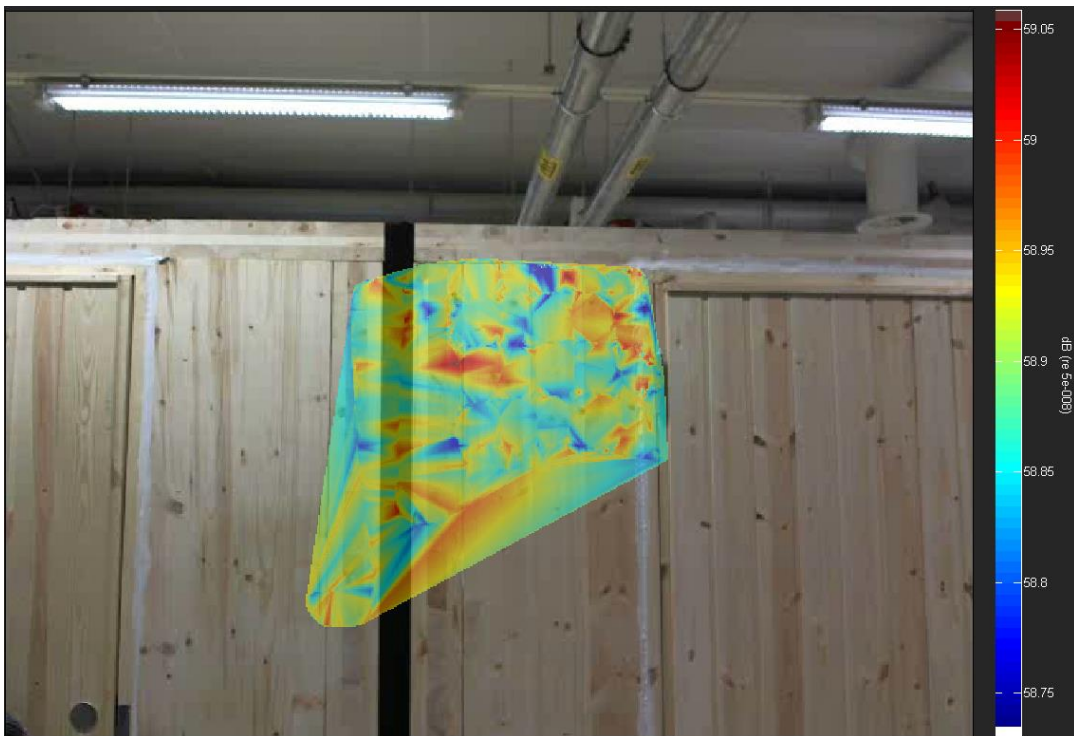
Tämän jälkeen otimme jälkikaiunta-ajan tilaelementistä yhdistämällä mikrofonin äänilähteeseen, jotta se pystyy mittausohjelman mukaisesti ohjaamaan äänilähteen käyttäytymistä. Ensiksi äänilähde on päällä 30 sekuntia, jonka jälkeen äänilähde sammuu ja mitataan 15 sekunnin ajan jälkikaiunta-aikaa. Viimeiseksi otimme taustamelun mittauksen, joka suoritettiin siten että mikrofoni mittaa tilaelementissä olevaa melua ilman äänilähdettä 30 sekuntia.

Ensimmäisessä mittauksessa tilaelementtien välissä ei ollut minkäänlaista eristettä, vain n. 5 cm:n ilmarako. Testauksen aikana pystyimme sormen päällä havaitsemaan värinän välittymisen toiseen koppiin, arvelimme tämän johtuvan elementteihin liimatusta solumuovikaistasta ja päätimme tehdä myös erillisen testin ilman solumuovikaistaa, jotta sen mahdollinen vaikutus nähtäisiin. Teimme myös muutaman harjoitusmittauksen akustisella anemometrillä 22.2.2016, joka mittaa ilmanpainetta/ilmanvirtausta mittatavalta pinnalta. Tästä voimme tulkitä äänenpaineen liikkeen ja näin paikantamaan vuotokohtia.

Tutkimme kopit ympäriinsä akustisella anemometrillä kuulokkeiden kanssa mahdollisten äänenvuoto kohtien osalta ja otimme parista kohtaa varsinaisen mittauksen, joka tapahtui niin että tietokoneeseen liitettiin web-kamera ja skannasimme tutkimamme kohdat anemometrillä. Tämän jälkeen tietokoneohjelma analysoi mittaustulokset ja antaa kuvan josta näemme vuotokohdat erivärisenä. Tuloksista näimme, että matalataajuiset äänet vuotivat elementtien välisestä ilmarasta (kuva 13) ja korkeammat taajuudet elementtien saumojen kohdilta (kuva 14). Ovien tiivisteet on katkaistu nurkkien kohdalta, joten vuotoa havaittiin myös niiltä kohdin. Elementteihin porattiin 28 mm:n reiät, jotta tarpeelliset johdot saatiin vedettyä koppien sisälle, reiät tiivistettiin muovipussilla. Tältä kohdin vuotoa ei liemin havaittu (kuva 15).



Kuva 13. Matalat taajuudet, Taajuusalue: 50 Hz – 1000 Hz.



Kuva 14. Korkeat taajuudet, Taajuusalue: 10,000 Hz – 24,000 Hz.



Kuva 15. Johtojen läpivienti.

Jatkoimme mittauksia 2.3.2016. Aloitimme kittaamalla elementtien saumat sisältä (kuvat 16 ja 17) ja uusimme mittaukset 5 cm ilma-araolla. Tämän jälkeen aloitimme testaamaan eri eristemateriaaleja. Ensimmäisenä eristeenä testasimme 50 mm SPU-levyn, jonka kiinnitimme ruuveilla toisen elementin seinään kiinni (kuva 18).



Kuva 16. Kittaamaton sauma.



Kuva 17. Kitattu sauma.



Kuva 18. SPU-levyt asennettuna elementin seinään.

Seuraavaksi testasimme 50 mm kivivillalla (kuva 19) ja villat kiinnitimme elementteihin ruuveilla, jotta ne pysyisivät paikoillaan kun siirrämme elementit yhteen testin ajaksi. Tämän testauksen jälkeen laitoimme eristemateriaaliksi 50 mm lasivillan (kuva 20).



Kuva 19. 50 mm kivivilla elementtien eristeenä.



Kuva 20. 50 mm lasivilla elementtien eristeenä.

Loput mittaukset teimme seuraavalla viikolla. Mittasimme kivivillaa 50 mm reunakerrolla ja keskellä 30 mm villaa ja ilmatasku (kuva 21).



Kuva 21. 50 mm reunakierto, keskellä 30 mm villa ja ilmatasku.

Seuraavaksi elementteihin lisättiin solumuovikerrosta (kuva 22) ja vaihdoimme eristeeksi 100 mm lasivillan (kuva 23). Viimeisenä eristeenä kokeilimme 100 mm kivivillaa (kuva 24).



Kuva 22. Solumuovikaistaa 100 mm.



Kuva 23. 100 mm lasivilla.



Kuva 24. 100 mm kivivilla.

Lopuksi mittasimme vielä niin että tilaelementit olivat kokonaan irti toisistaan 150 mm raolla (kuva 25) ja 50 mm ilmaraolla ilman solumuovikaistaa, jotta saisimme kuvan välittääkö solumuovikaista ääntä toiseen elementtiin (kuva 26).

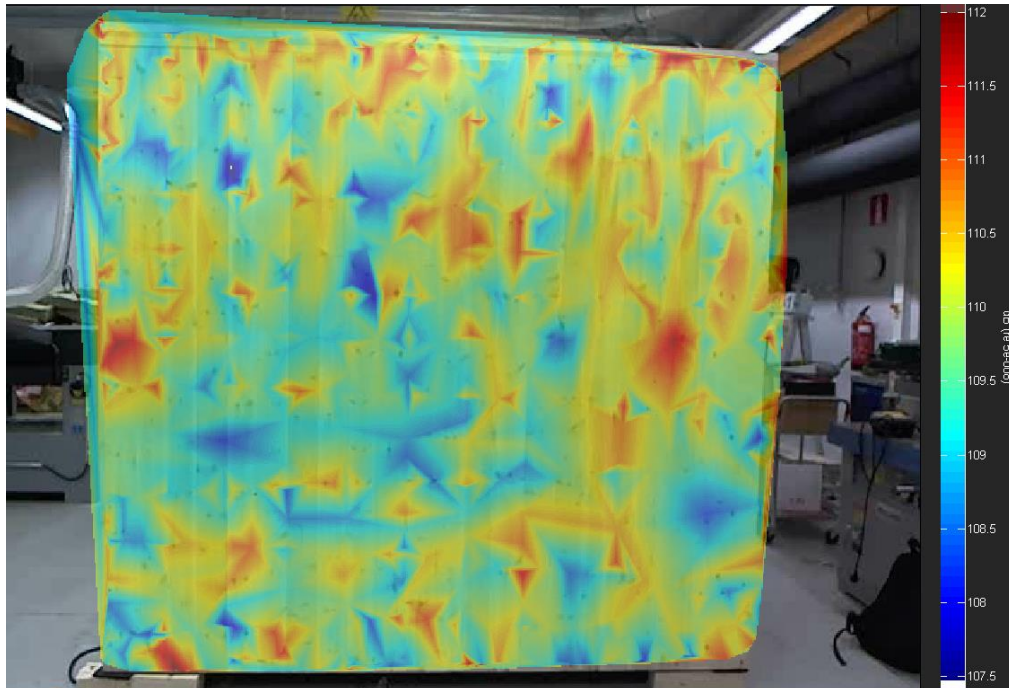


Kuva 25. 150 mm ilmarako.

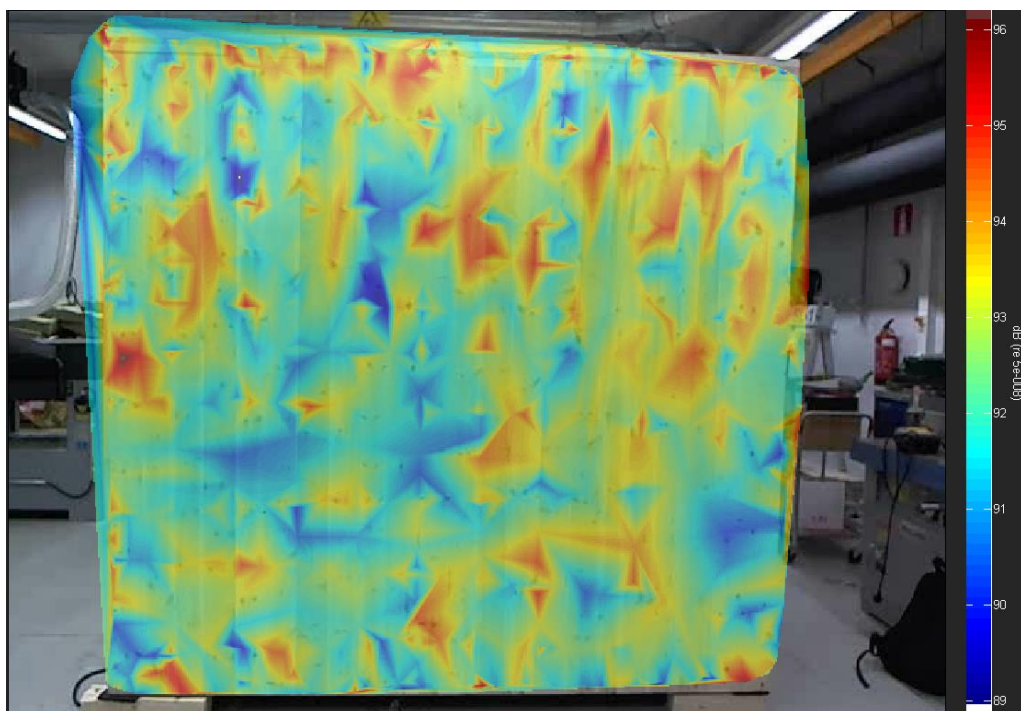


Kuva 26. 50 mm ilmarako ilman solumuovikaistaa.

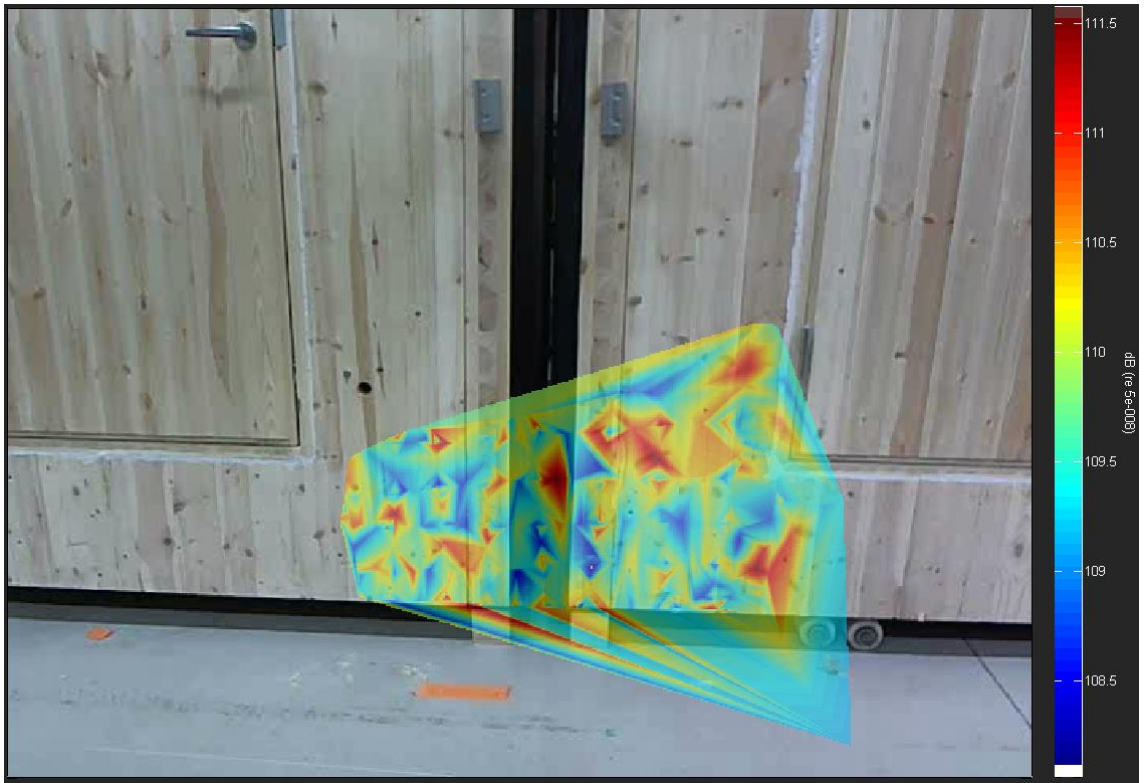
Mittasimme vielä Scan and paint-laitteistolla toisen tilaelementin sivuseinän ja saaduista kuvista näemme, että ääni vuotaa elementissä olevista saumoista.



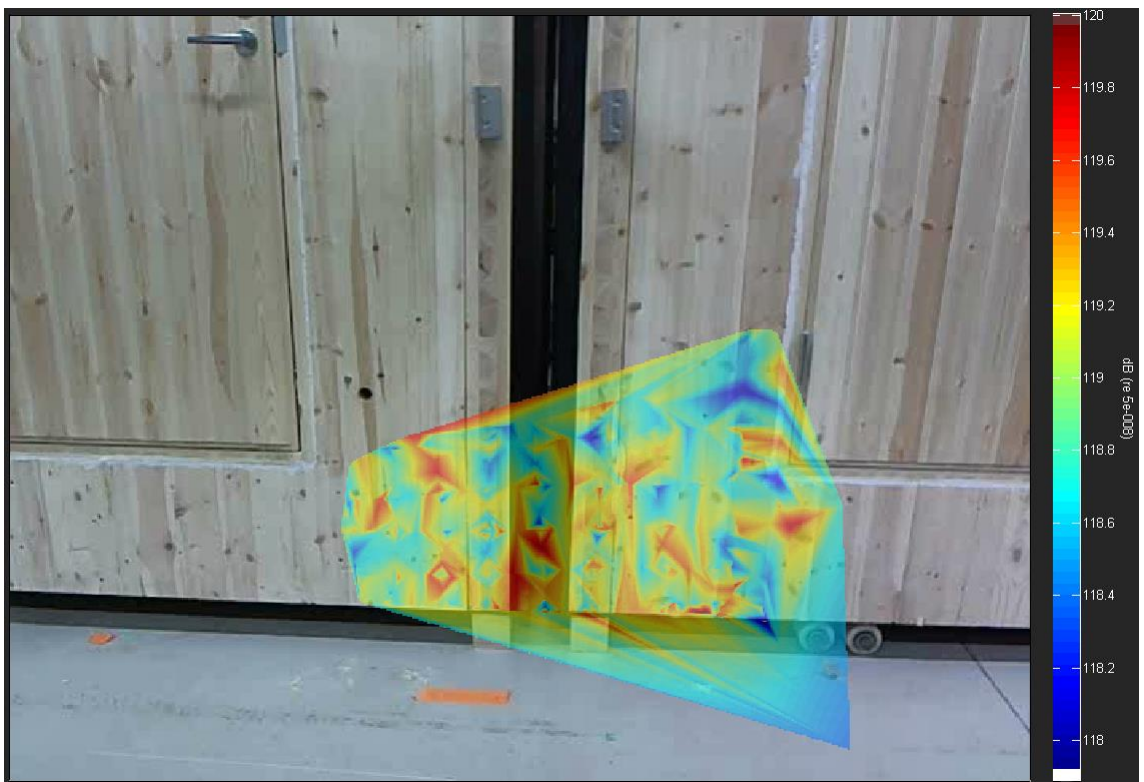
Kuva 27. Matalat taajuuudet, Taajuusalue: 0 Hz – 1500 Hz.



Kuva 28. Korkeat taajuuudet, Taajuusalue: 11,000 Hz – 24,000 Hz.



Kuva 29. Matalat taajuudet, Taajuusalue: 47 Hz – 996 Hz.



Kuva 30. Korkeat taajuudet, Taajuusalue: 2050 Hz – 24,000 Hz.

8 Tulokset

8.1 Rakenteiden ilmaääneneristävyydet

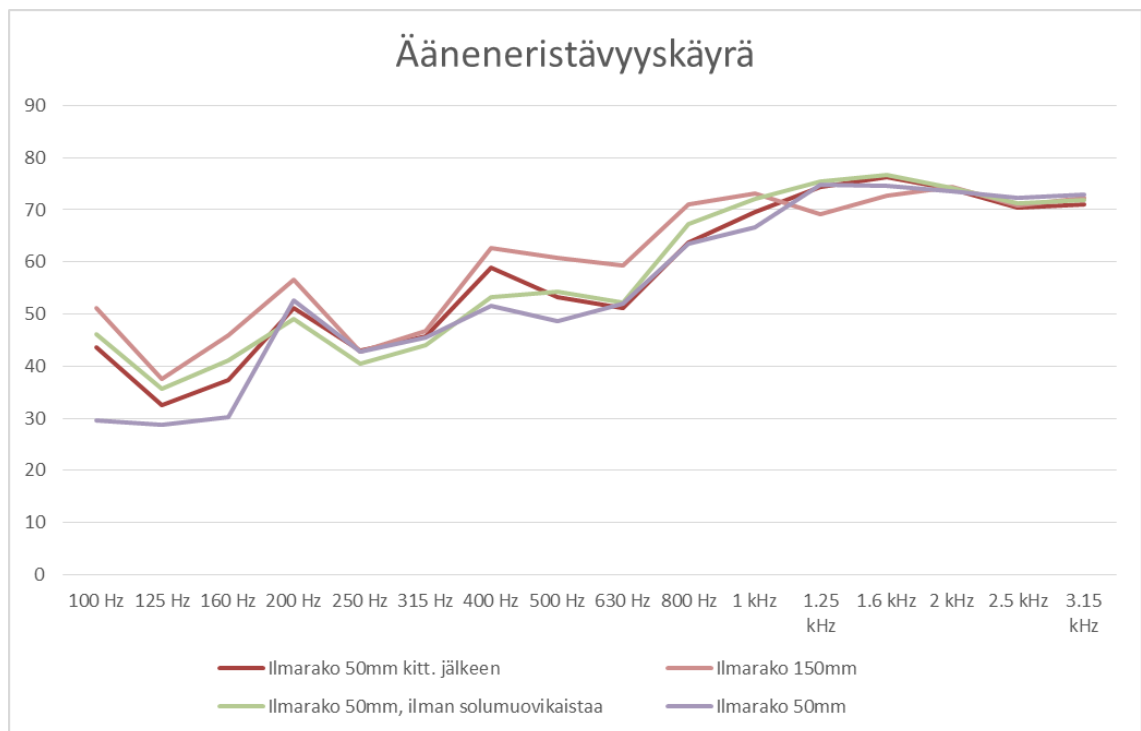
Tulokset mittauksista on koottu taulukkoon 4. Taulukosta nähdään että 50 mm villa tuottaa samanlaisen tuloksen villatyypistä riippumatta ja SPU-levyn käyttäminen eristeenä heikentää tulosta selvästi. Vertailukäyräkuvaajat ja R'_w laskenta esitetty liitteessä 2.

Taulukko 4. Eri eristysvaihtoehtojen ilmaääneneristävyys.

Eriste	R'_w [dB]
Ilmarako 50 mm	52
Ilmarako 50 mm kittauksen jälkeen	55
SPU-levy 50 mm	47
Kivivilla 50 mm	57
Lasivilla 50 mm	57
Reunakierto 50 mm kivivilla, keskellä 30 mm kivivilla ja ilmatasku	57
Lasivilla 100 mm	62
Kivivilla 100 mm	60
Ilmarako 150 mm	60
Ilmarako 50 mm ilman solumuovikaistaa	56

8.2 Erilaisten ilmarakojen vaikutus

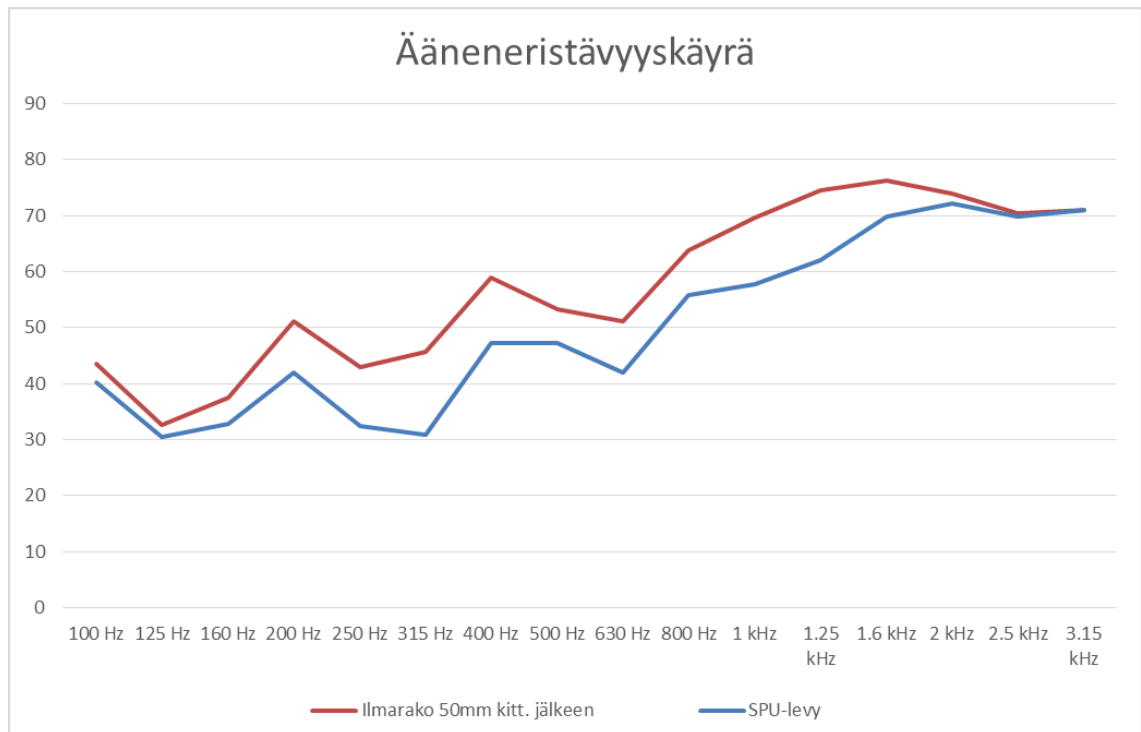
Kittauksen jälkeen 50 mm ilmaraon eristävyys parani alle 630 Hz taajuuksilla. Solumuovin poistaminen paransi eristävyttä hieman matalilla taajuuksilla, alle 200 Hz. Ilmaraon kasvattaminen 150 mm:iin nostaisi vielä ääneneristävyttä alle 1 kHz taajuuksilla, tämä ei kuitenkaan ole käytännöllinen rakennusratkaisu (kuva 31).



Kuva 31. R' käyrät erilaisille ilmaraoille.

8.3 SPU-levyn vaikutus

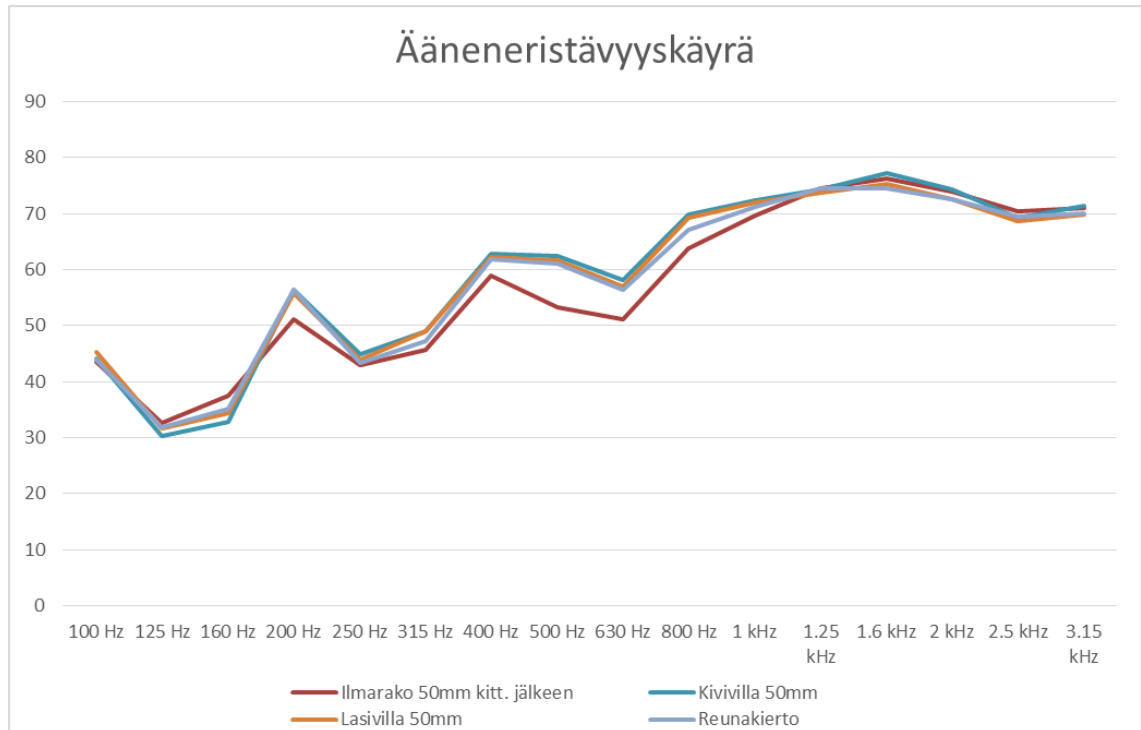
SPU-levy heikensi ääneneristävyyttä selvästi koko taajuusalueella (kuva 31). SPU-levy muodosti mekaanisen kontaktin CLT-elementtien väliin ja siirsi näin värähtelyä.



Kuva 31. R' käyrät SPU-levylle ja 50 mm ilmaraoille.

8.4 Erilaisten 50 mm paksujen villojen vaikutus

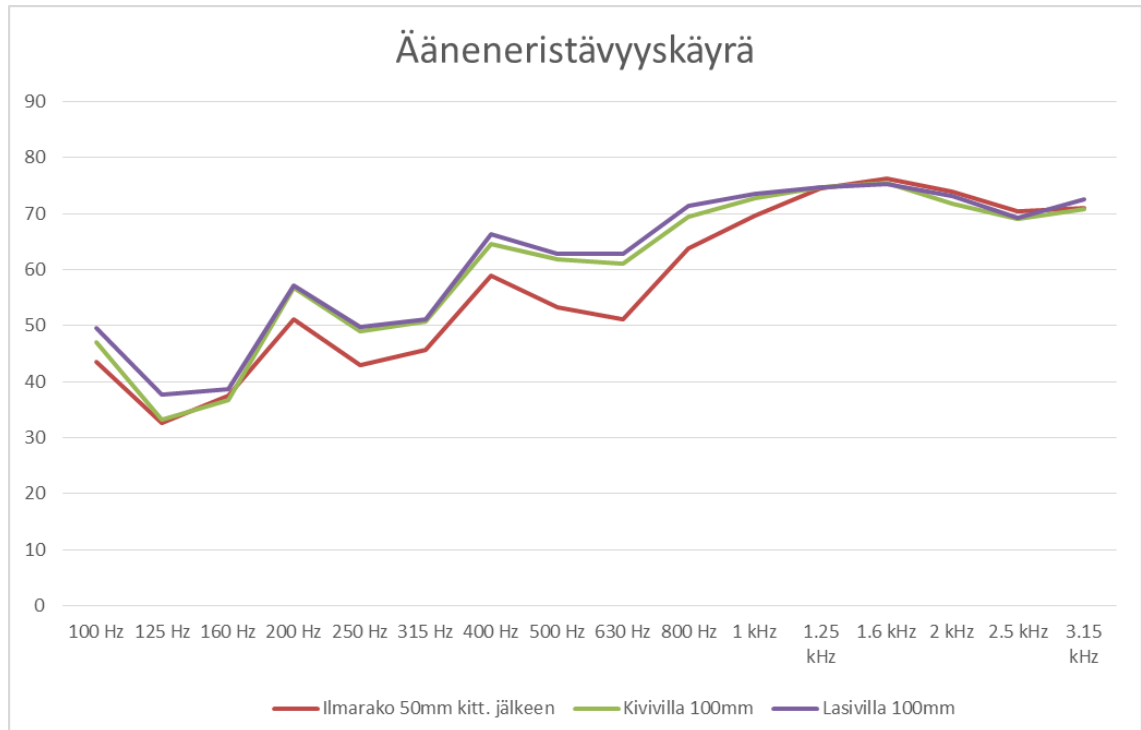
Erilaiset eristys vaihtoehdot 50 mm paksuilla villoilla tuottivat hyvin samanlaisen ääneneristävyyden. Eristys pelkkään ilmarakoon verrattuna parani selvästi 400 Hz – 600 Hz alueella (kuva 32).



Kuva 32. R' käyrät 50 mm villoille ja 50 mm ilmaraoille.

8.5 100 mm paksujen villojen vaikutus

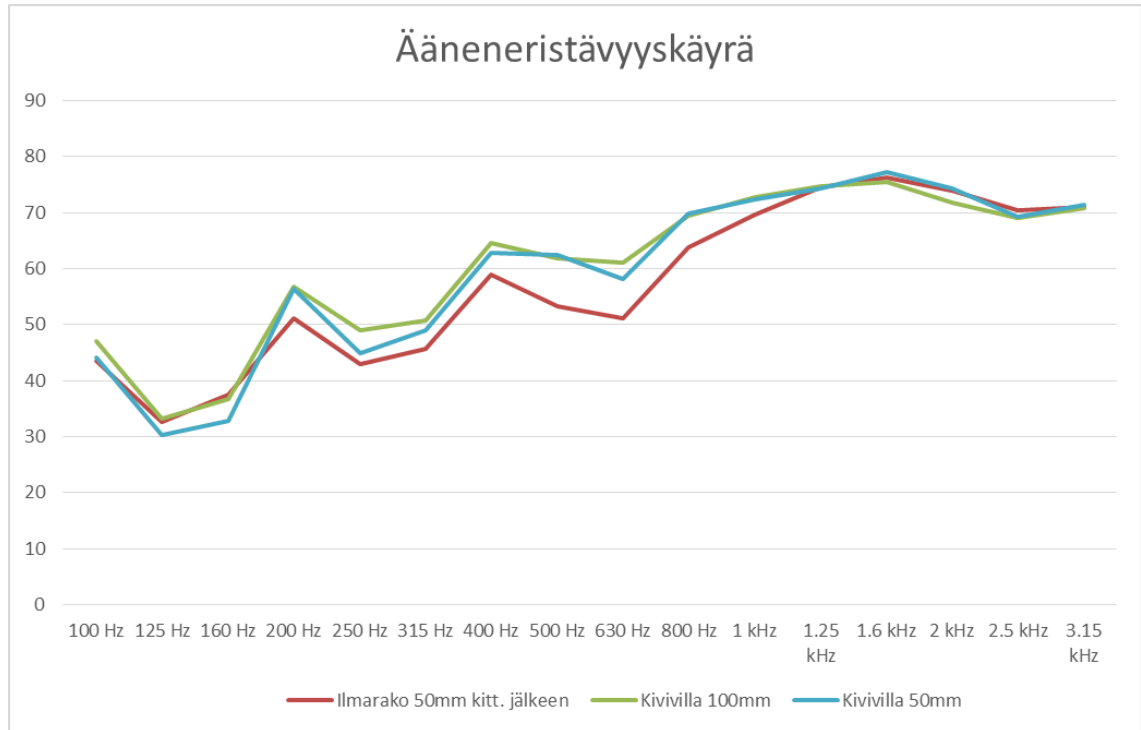
100 mm paksuilla villoilla ääneneristävyyks ei hirveästi poikkea villatyypistä riippumatta. Lasivillan pehmeys tulee hieman esiin verrattuna kivivillaan, jonka takia eristävyyks on lievästi parempi. Suurin ero tulee matalilla taajuuksilla 100 Hz – 160 Hz (kuva 33).



Kuva 33. R' käyrät 100 mm villoille ja 50 mm ilmaoaolle.

8.6 Kivivillan paksuuden vaikutus

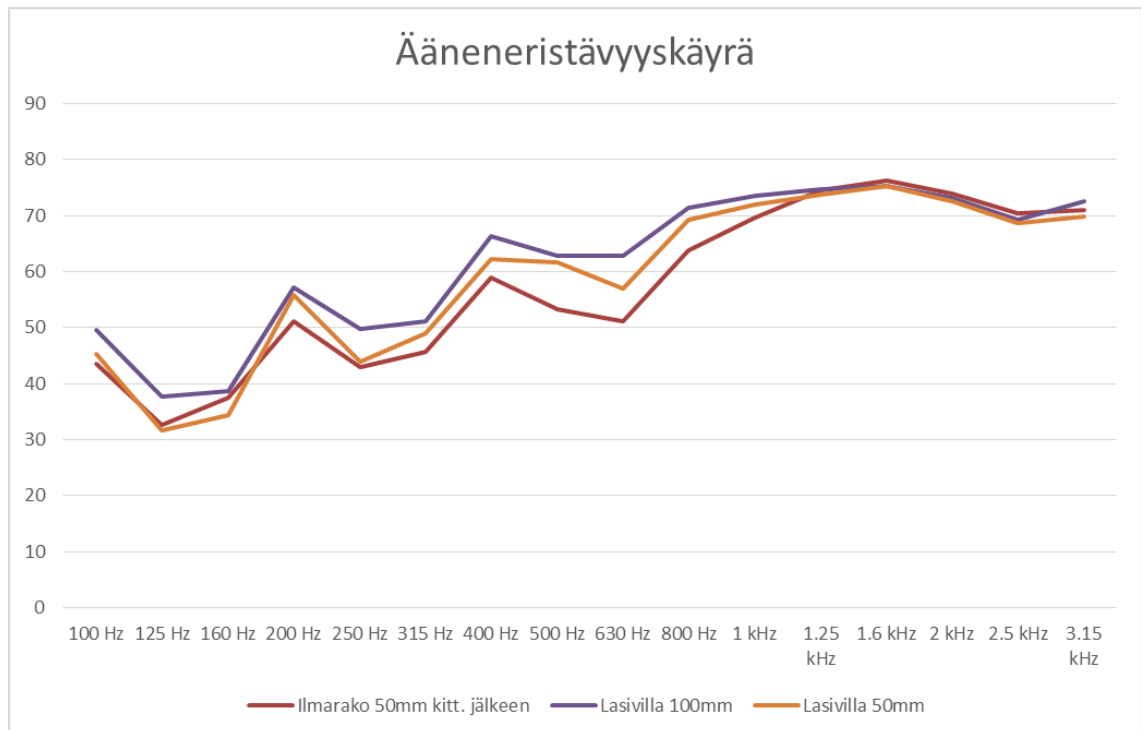
Kivivillan paksuuden kasvattaminen 50 mm:stä 100 mm:iin ei tuonut eristävyiden osalta merkittävää muutosta (kuva 34).



Kuva 34. R' käyrät kivivilloille ja 50 mm ilmaraoille.

8.7 Lasivillan paksuuden vaikutus

Lasivillan paksuuden kasvattaminen 50 mm:stä 100 mm:iin näkyy selvänä eristävyysparanemisenä lähes koko taajuusalueella, yli 1 kHz taajuuksissa eroa ei juurikaan ole (kuva 35).



Kuva 35. R' käyrät lasivilloille ja 50 mm ilmaraoille.

9 Johtopäätökset

Aikaisempien tutkimusten mukaan 78 mm paksulla 3-kerroksisella CLT-seinällä koinsidenssi taajuus on 800 Hz:n luokkaa ja 175 mm paksulla 5-kerroksisella CLT:llä koinsidenssi taajuus on noin 200 Hz [10 s. 5]. Tästä näemme että rakenteen paksuuntuessa koinsidenssi taajuus alenee. Tämän perusteella teimme päätelmän että meidän tutkimilla 100 mm paksuilla 3-kerroksisilla CLT-elementeillä on koinsidenssitaajuus nähtävästi noin 630 Hz kohdalla, joka havaitaan selvänä kuoppana mittauskäyristä. CLT:n ominaistaajuus on niin pieni (alle 100 Hz) että meidän mittaustuloksista tätä ei voida havaita. Korkeammilla taajuuksilla voimme havaita ilmapuodot, koska käyrästä lähtee uudestaan laskemaan eikä nouse lineaarisesti ylöspäin [11]. Saatujen tulosten perusteella pelkkä 50 mm ilmarako ei riitä tuottamaan riittävää ilmaääneneristävyyttä jos levysaumoja ei ole kitattu huolella. Tuloksista näimme myös ettei elementteihin liimattu solumuovikaista välittänyt ääntä merkittävästi toiseen tilaelementtiin. Seuraavaksi totesimme että 50 mm SPU-levy on liian kova eriste käytettäväksi elementtien välissä, koska se välitti värähtelyn mekaanisesti toiseen elementtiin. Tämä johtaa siihen että ilmaääneneristävyyksiluku huononee verrattuna kontrollitestaukseen. 50 mm kivi- ja lasivillat olivat suhteellisen samankaltaisia käyrästäöllä ja ilmaääneneristävyys luvun osalta. Myös 50 mm kivivilla, 30 mm kivivilla ja ilmatasku pääsi samaan tulokseen, mutta tämä yhdistelmä ei ole yhtä kustannustehokas kuin pelkkä 50 mm villalevy, joten sen hyödyntäminen rakentamisessa ei ole järkevää. 100 mm lasivilla sai ilmaääneneristävyyksiluvuksi 62 ja kivivilla sai luvuksi 60. Ero johtuu luultavasti siitä, että lasivilla on aavistuksen verran pehmeämpää, joten se absorboi ääntä paremmin. Vaikka tulokset parantivat huomattavasti näiden villojen käyttäminen rakentamisessa ei ole kustannustehokasta hinnan ja hukkaneliöiden takia. Totesimme myös että ilmaraon kasvattaminen 150 mm vastaa 100 mm villaa ilmaääneneristävyyksiluvun osalta ja 150 mm ilmaraon luvuksi saimme testeissämme 60 dB. Scan and paint mitaukset osoittivat että elementeistä löytyy pistemäisiä vuotokohtia laminoiden risteämäkohdista, joten pieliäkin liimaaminen olisi järkevää sillä elementtien kuivuessa vielä lisää niissä olevat reiät suurenevät ja huonontavat entisestään huonoja tuloksia.

Osoitimme testeillämme että kaikkein paras olisi käyttää 50 mm villaa elementtien välissä, koska se on kustannustehokkain vaihtoehto ja ilmajääneristävyyden osalta hyvä. Kittausten täyttää vaadittavan tuloksen, mutta se on suoritettava erittäin huolella, jotta vältetään virheitä, joten 50 mm villa on varmempi vaihtoehto tässä tapauksessa. Villan materiaalilla ei ole suurta merkitystä tässä paksuudessa onko se kivi- vai lasivilla. Kuten totesimme jo aiemmin villa ja ilmatasku ei ole hyvä yhdistelmä, koska siihen tulee myös paljon työsaumoja ja tämä lisää riskiä huonoon ilmajääneristävyyteen.

23.3.2016 Ilmajääneristävyyden koulutuspäivänä pystyimme vaihtamaan suullista tietoa Elementti Sampon ja muiden CLT-elementti tuottajien/rakentajien kanssa. Heidän testaukset olivat olleet suhteellisen samanlaisia. Koulutuspäivänä laskimme myös simulaatio-ohjelmalla ilmajääneristävyyden lukuja erilaisille rakenteille.

10 Pohdinta

Elementti Sampo pystyy hyödyntämään saatuja tuloksia tuotteidensa ja rakentamistekniikkansa kehittämisessä. Opimme opinnäytetyön aikana erilaisten eristemateriaalien ilmaäänieristävyys ominaisuuksista käytännössä. Tätä opinnäytetyötä voisi jatkaa tästä vielä siten että tilaelementit sijoitettaisiin päällekkäin ja testataan tästä tilanteesta ilmaääneneristävyys. Samalla olisi hyvä testata askelääni ja runkoääni näin ollen näistä tilaelementeistä saataisiin kattava testauspohja erilaisista tilanteista. Koulumme koulutus- ja kehittämispäällikkö kyseleekin meiltä mahdollista opastusta ja neuvontaa seuraavalle opinnäytetyön tekijälle, joka jatkaisi näitä testauksia ja tutkimuksia.

Lähteet

1. Puuinfo Oy, Ääneneristys puutalossa, 7.7.2010
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaeneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf> (luettu 19.2.2016).
2. Stora Enso Oyj, CLT – Cross Laminated Timber, 2013
<http://www.clt.info/fi/tuote/> (luettu 19.2.2016).
3. Puuinfo Oy, Tulevia puukerrostalokohteita, 20.2.2015
<http://www.puuinfo.fi/articles/tulevia-puukerrostalokohteita#Penttilänranta> (luettu 22.2.2016).
4. Puuinfo Oy, Asuinrakennuksissa noudatettavat akustiset vaatimukset, 16.4.2011
<http://www.puuinfo.fi/rakentamism%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset/asuinrakennuksissa-noudatettavat-akustiset-vaatimukset> (luettu 18.3.2016).
5. Puuinfo Oy, Stora Ensossa uskotaan CLT-elementtirakentamisen läpimurtoon, 11.4.2013
<http://www.puuinfo.fi/tiedote/stora-ensossa-uskotaan-clt-elementtirakentamisen-l%C3%A4pimurtoon> (luettu 18.3.2016).
6. Woodpolis Oy, Suomalaisen puurakentamisen asema ja mahdollisuudet, 19.12.2013
<http://www.woodpolis.fi/binary/file/-/id/3/fid/651/> (luettu 18.3.2016).
7. Ympäristöministeriö, Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, 1998
<http://www.finlex.fi/data/normit/1917-c1.pdf> (luettu 30.3.2016).
8. Yleistä akustiikasta
<http://www.kotiakustiikka.fi/yleista-akustiikasta.html> (luettu 30.3.2016).

9. University of Tennessee, Cross Laminated Timber (CLT): A new way to build big with wood, 2003
<http://web.utk.edu/~mtaylo29/pages/Cross%20laminated%20timber.html>
(luettu 18.3.2016).

10. Sound insulation performance of Cross Laminated Timber Building Systems, 15.9.2013
https://www.researchgate.net/publication/258987891_Sound_insulation_performance_of_Cross_Laminated_Timber_Building_Systems (luettu 7.4.2016).

11. Työterveyslaitos, Melun etenemisen estäminen, 12.3.2010
http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/meluntorjunta/melun_etenemisen_estaminen/sivut/default.aspx (luettu 8.4.2016).

12. Talonrakentamisen akustiikka, 26.7.2006
http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22136/kylliainen_talonrakentamisen_akustiikka.pdf?sequence=1&isAllowed=y
(luettu 15.4.2015)

Mittaussuunnitelma

Lähdemme mittaamaan elementtejä vierekkäin puuntyöstösälissa. Ensimmäisenä tarvitsemme elementteihin ovet, joiden pitäisi olla suhteellisen tiiviitä, jotta testaus onnistuisi. Kittaamme myös elementtien saumat sisäpuolelta, koska huomasimme niissä paljon rakoja. Elementtien alle tarvitsemme vaimennuskumit, jotka estävät lattian kautta äänensiirtymisen elementistä toiseen ja tarvitsemme myös elementtien väliin pehmyttä villaa (50 mm ja 100 mm), villojen kiinnitykseen koukut tms., kovaa villaa (30 mm), polyuretaani levyä.

Karelia-Ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri tekee elementeille maanantaina 1.2.2016 ilmatiiveysmittaukset, jonka jälkeen me aloitamme ilmaääneneristävyyden mittaukset. Mittalaitteina/tarvikkeina meillä on äänilähde, desibelimittari, akustinen anemometri ja tarvittavat suojavälineet.

Sijoitamme mikrofonin ja äänilähteen elementtien sisälle niin, että ne ovat min. 1 m päässä toisistaan ja min. 0,7 m päässä seinistä. Ensiksi mittaamme jälkikaiun ja taustamelun, jonka jälkeen aloitamme mittaamaan ilmaääneneristävyyttä erilaisissa tilanteissa. Sijoitamme ensin mikrofonin ja kaiuttimen samaan tilaelementtiin ja mittaamme lähtevän äänentason. Tämän jälkeen siirrämme mikrofonin toiseen tilaelementtiin ja mittaamme saapuvan äänentason. Teemme myös mittauksia akustisella anemometrillä eri puolilta elementtiä.

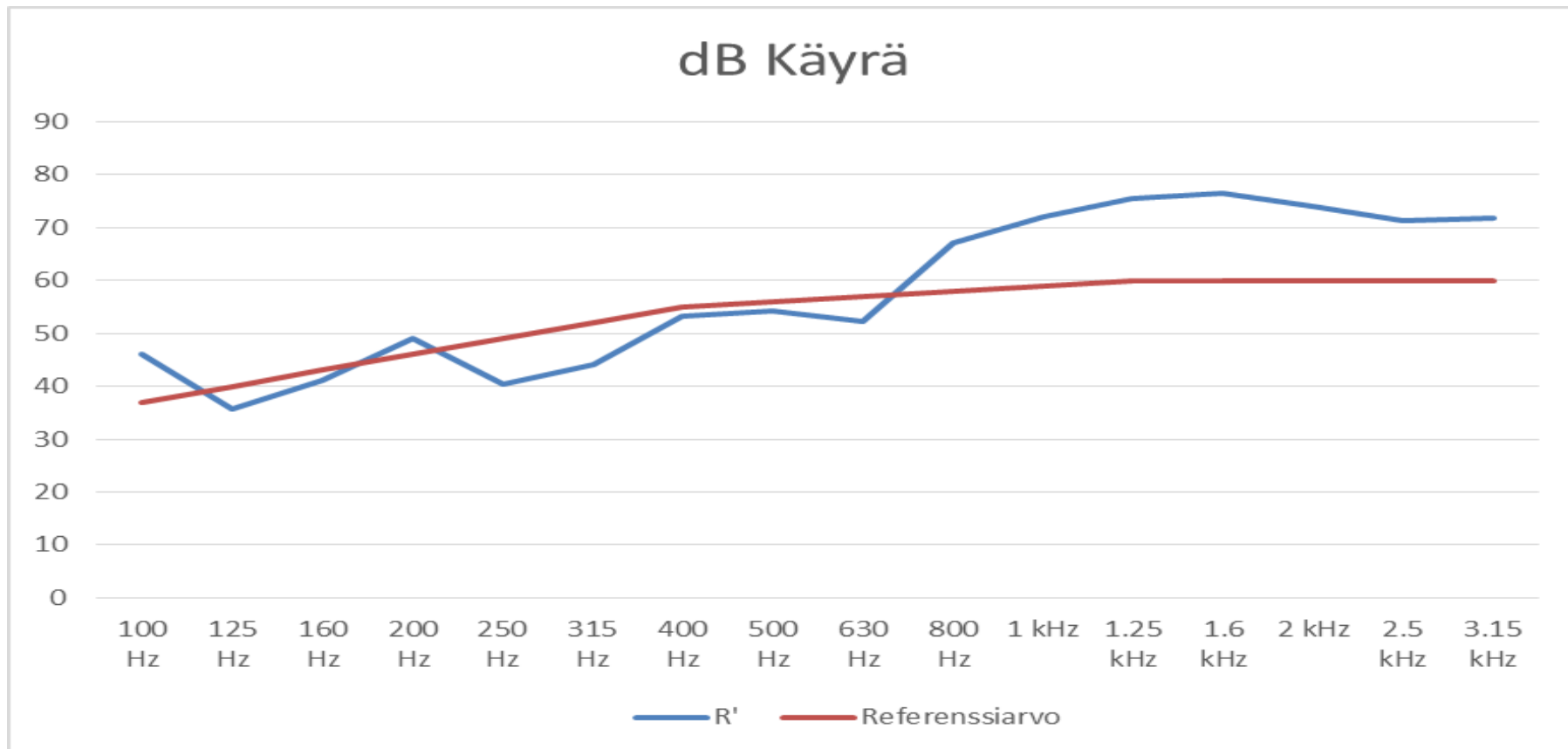
Saatujen tulosten perusteella teemme päätelmän millä tavoin elementit kannattaisi eristää ilmaääneneristävyyden kannalta.

Liite 2

1(20)

Ilmarako 50mm										Siirto			
Engineering										0 1 dB kerrallaan siirto			
1/3-oct.	L1	L2	T	Lb	L2 korjattu	korjattu	A	R'	Siirretty vertailuluku		Alkuperäinen vertailuluku		
50 Hz	59,1	30	0,39	-2,4	29,99750018	0,0025	2,515692	31,01325	Erotus				
63 Hz	68,4	40,2	1,33	-10,7	40,1999647	3,53E-05	0,737684	35,43865					
80 Hz	78,3	56,8	1,38	-0,1	56,79999113	8,87E-06	0,710957	28,8989					
100 Hz	64,6	44,4	2,24	-12	44,39999005	9,95E-06	0,438	29,70259	33	-3,29741	33		
125 Hz	64,6	43,8	1,59	-14,8	43,79999401	5,99E-06	0,617057	28,81408	36	-7,18592	36		
160 Hz	81	58,4	1,46	-14,9	58,3999998	2,03E-07	0,672	30,24363	39	-8,75637	39		
200 Hz	94,6	49,4	1,41	-19,7	49,39999947	5,34E-07	0,69583	52,69229	42	10,69229	42		
250 Hz	86,5	50,4	1,16	0	50,39996039	3,96E-05	0,845793	42,74472	45	-2,25528	45		
315 Hz	88,2	47	0,69	-15,6	46,99999761	2,39E-06	1,421913	45,58859	48	-2,41141	48		
400 Hz	83,8	40,8	1,82	-19,5	40,79999595	4,05E-06	0,539077	51,60082	51	0,600819	51		
500 Hz	81,7	38,2	0,82	0	38,19934262	0,000657	1,196488	48,6389	52	-3,3611	52 R'w		
630 Hz	78,9	31,7	0,76	0	31,69706282	0,002937	1,290947	52,01117	53	-0,98883	53		
800 Hz	79,1	21	0,85	0	20,96536502	0,034635	1,154259	63,42893	54	9,428925	54		
1 kHz	78	16,2	0,74	0	16,09455011	0,10545	1,325838	66,59787	55	11,59787	55		
1.25 kHz	76,9	7,9	0,8	0	7,131502	0,768498	1,2264	74,7995	56	18,7995	56		
1.6 kHz	78,2	9,4	0,85	0	8,870338683	0,529661	1,154259	74,62395	56	18,62395	56		
2 kHz	76,2	8,7	0,87	0	8,070681754	0,629318	1,127724	73,52461	56	17,52461	56		
2.5 kHz	74,1	7,2	0,7	0	6,28192135	0,918079	1,4016	72,26916	56	16,26916	56		
3.15 kHz	74,2	6,7	0,69	0	5,655351336	1,044649	1,421913	72,93324	56	16,93324	56		
4 kHz	80,2	5,5	0,68	0	4,062222444	1,437778	1,442824	80,46297					
5 kHz	83,9	5	0,56	0	3,349114614	1,650885	1,752	84,03287					
									Epäsuotuisten poikkeamien summa				
									-28,2563 <32				

Vertailukäyräkuvaaja: Ilmarako 50 mm



Liite 2

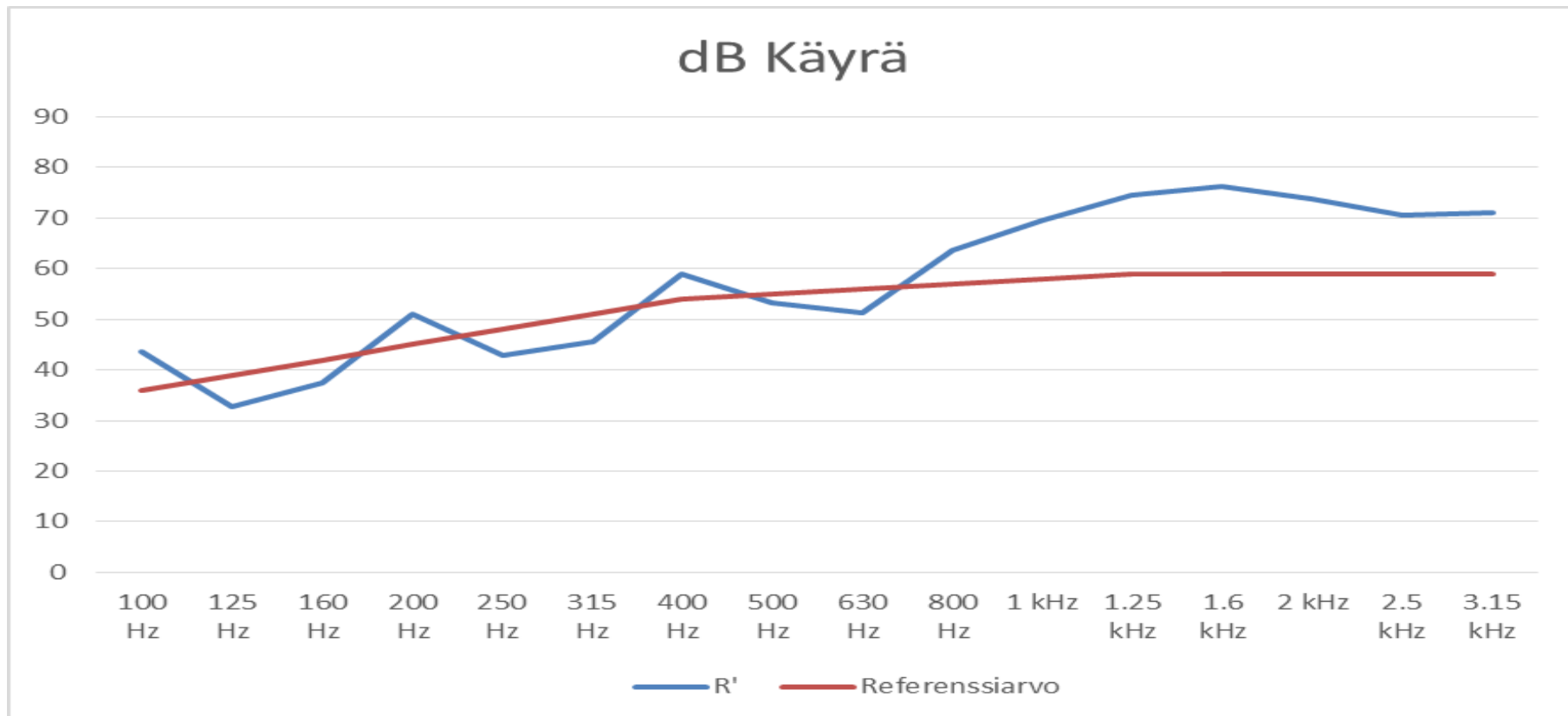
3(20)

Kittauksen jälkeen										Siirto			
Engineering										-3 1 dB kerrallaan siirto			
1/3-oct.	L1	L2	T	Lb	L2 korjattu	korj	A	R'	Siirretty vertailuluku		Alkuperäinen vertailuluku		
50 Hz	85,3	58,4	0,39	-2,4	58,39999639	3,61E-06	2,515692	28,81075		Erutus			
63 Hz	95	65,8	1,33	-10,7	65,79999999	9,72E-08	0,737684	36,43862					
80 Hz	105,6	75	1,38	-0,1	74,99999987	1,34E-07	0,710957	37,99889					
100 Hz	92,8	58,7	2,24	-12	58,69999963	3,7E-07	0,438	43,60258	36	7,602582		33	
125 Hz	86,8	62,2	1,59	-14,8	62,19999991	8,67E-08	0,617057	32,61407	39	-6,38593		36	
160 Hz	105,8	76	1,46	-14,9	76	3,53E-09	0,672	37,44363	42	-4,55637		39	
200 Hz	121,3	77,7	1,41	-19,7	77,7	7,9E-10	0,69583	51,09229	45	6,092292		42	
250 Hz	113,8	77,5	1,16	0	77,49999992	7,72E-08	0,845793	42,94468	48	-5,05532		45	
315 Hz	116,7	75,4	0,69	-15,6	75,4	3,45E-09	1,421913	45,68859	51	-5,31141		48	
400 Hz	114,2	63,8	1,82	-19,5	63,79999998	2,03E-08	0,539077	59,00082	54	5,000815		51	
500 Hz	109,7	61,5	0,82	0	61,49999693	3,07E-06	1,196488	53,33824	55	-1,66176		52	
630 Hz	104,9	58,5	0,76	0	58,49999387	6,13E-06	1,290947	51,20824	56	-4,79176		53	
800 Hz	103,8	45,4	0,85	0	45,39987475	0,000125	1,154259	63,69442	57	6,694416		54	
1 kHz	105,9	41	0,74	0	40,99965501	0,000345	1,325838	69,59276	58	11,59276		55	
1.25 kHz	105,1	35,7	0,8	0	35,69883092	0,001169	1,2264	74,43217	59	15,43217		56	
1.6 kHz	107,2	36,2	0,85	0	36,19895808	0,001042	1,154259	76,29533	59	17,29533		56	
2 kHz	105	36,5	0,87	0	36,49902763	0,000972	1,127724	73,89627	59	14,89627		56	
2.5 kHz	102	36	0,7	0	35,99890896	0,001091	1,4016	70,45217	59	11,45217		56	
3.15 kHz	102,3	35,6	0,69	0	35,59880369	0,001196	1,421913	71,08979	59	12,08979		56	
4 kHz	107,1	35,3	0,68	0	35,29871812	0,001282	1,442824	76,12647					
5 kHz	111,5	36,2	0,56	0	36,19895808	0,001042	1,752	78,78302					
										Epäsuotuisten poikkeamien summa			
										-27,7625 <32			

Liite 2

4(20)

Vertailukäyräkuvaaja: Ilmarako 50 mm, kittauksen jälkeen



Liite 2

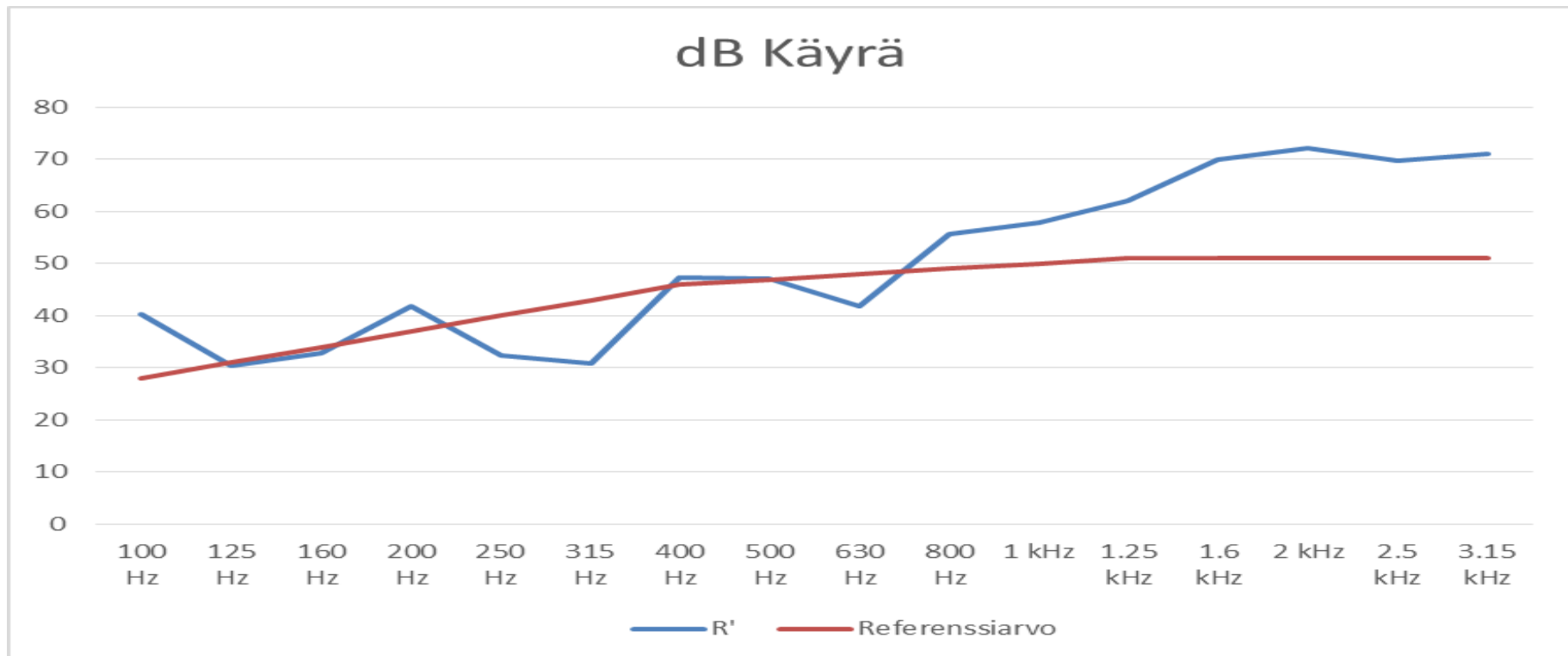
5(20)

SPU-levy										Siirto			
Engineering										5 1 dB kerrallaan siirto			
1/3-oct.	L1	L2	T	Lb	L2 korjattu	korj	A	R'	Siirretty vertailuluku		Alkuperäinen vertailuluku		
50 Hz	85,4	63,7	0,39	-2,4	63,69999893	1,07E-06	2,515692	23,61075		Erotus			
63 Hz	95,3	65,2	1,33	-10,7	65,19999989	1,12E-07	0,737684	37,33862					
80 Hz	106,8	77,5	1,38	-0,1	77,49999992	7,55E-08	0,710957	36,69889					
100 Hz	93,6	62,8	2,24	-12	62,79999986	1,44E-07	0,438	40,30258	28	12,30258		33	
125 Hz	89,1	66,6	1,59	-14,8	66,59999997	3,15E-08	0,617057	30,51407	31	-0,48593		36	
160 Hz	105,9	80,7	1,46	-14,9	80,7	1,2E-09	0,672	32,84363	34	-1,15637		39	
200 Hz	121,2	86,8	1,41	-19,7	86,8	9,72E-11	0,69583	41,89229	37	4,892292		42	
250 Hz	113,6	87,9	1,16	0	87,89999999	7,04E-09	0,845793	32,34468	40	-7,65532		45	
315 Hz	116,2	89,7	0,69	-15,6	89,7	1,28E-10	1,421913	30,88859	43	-12,1114		48	
400 Hz	114,2	75,5	1,82	-19,5	75,5	1,37E-09	0,539077	47,30081	46	1,300815		51	
500 Hz	110,1	68,1	0,82	0	68,09999933	6,73E-07	1,196488	47,13824	47	-0,13824		52 R'w	
630 Hz	105,3	68,2	0,76	0	68,19999934	6,57E-07	1,290947	41,90824	48	-6,09176		53	
800 Hz	104,5	54	0,85	0	53,99998271	1,73E-05	1,154259	55,79431	49	6,794308		54	
1 kHz	106,1	53	0,74	0	52,99997823	2,18E-05	1,325838	57,79244	50	7,79244		55	
1.25 kHz	104,6	47,5	0,8	0	47,49992277	7,72E-05	1,2264	62,13108	51	11,13108		56	
1.6 kHz	107	42,4	0,85	0	42,39975008	0,00025	1,154259	69,89454	51	18,89454		56	
2 kHz	104,8	38	0,87	0	37,99931164	0,000688	1,127724	72,19598	51	21,19598		56	
2.5 kHz	102,2	36,8	0,7	0	36,79909254	0,000907	1,4016	69,85199	51	18,85199		56	
3.15 kHz	102,6	36	0,69	0	35,99890896	0,001091	1,421913	70,98968	51	19,98968		56	
4 kHz	106,3	37,5	0,68	0	37,49922763	0,000772	1,442824	73,12596					
5 kHz	110,5	38	0,56	0	37,99931164	0,000688	1,752	75,98267					
										Epäsuotuisten poikkeamien summa			
										-27,5008 <32			

Liite 2

6(20)

Vertailukäyräkuvaaja: SPU-levy 50 mm



Liite 2

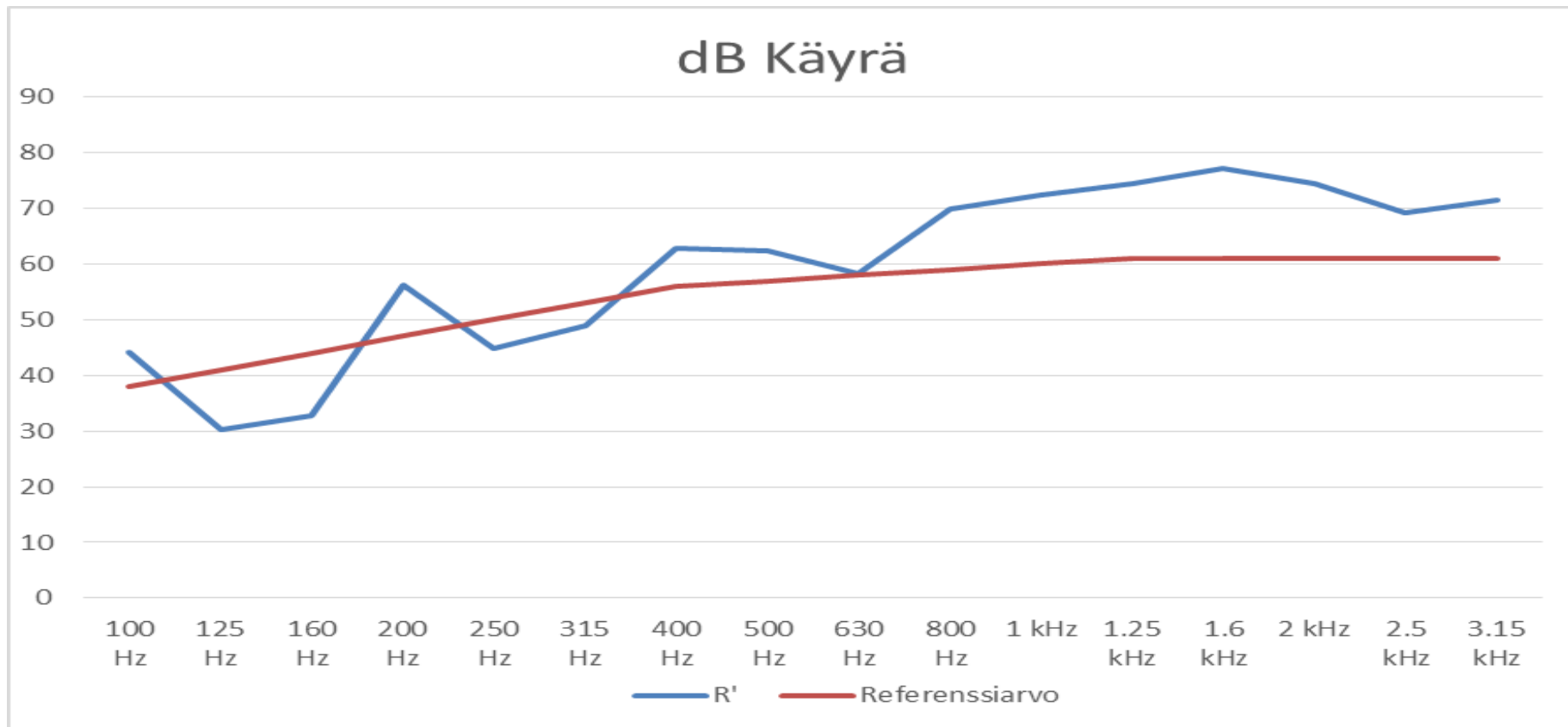
7(20)

Kivivilla 50mm									Siirto		
Engineering									-5 1 dB kerrallaan siirto		
1/3-oct.	L1	L2	T	Lb	L2 korjattu	korj	A	R'	Siirretty vertailuluku		Alkuperäinen vertailuluku
50 Hz	86,4	58,7	0,39	-2,4	58,69999663	3,37E-06	2,515692	29,61075		Erotus	
63 Hz	96,3	64,9	1,33	-10,7	64,89999988	1,2E-07	0,737684	38,63862			
80 Hz	107,7	75,4	1,38	-0,1	75,39999988	1,22E-07	0,710957	39,69889			
100 Hz	93,6	58,9	2,24	-12	58,89999965	3,53E-07	0,438	44,20258	38	6,202582	33
125 Hz	87	64,8	1,59	-14,8	64,79999995	4,76E-08	0,617057	30,21407	41	-10,7859	36
160 Hz	106,4	81,2	1,46	-14,9	81,2	1,07E-09	0,672	32,84363	44	-11,1564	39
200 Hz	122,3	73,5	1,41	-19,7	73,5	2,08E-09	0,69583	56,29229	47	9,292292	42
250 Hz	115,4	77,2	1,16	0	77,19999992	8,28E-08	0,845793	44,84468	50	-5,15532	45
315 Hz	117,5	73	0,69	-15,6	72,99999999	5,99E-09	1,421913	48,88859	53	-4,11141	48
400 Hz	115,6	61,3	1,82	-19,5	61,29999996	3,61E-08	0,539077	62,90082	56	6,900815	51
500 Hz	111,7	54,5	0,82	0	54,49998459	1,54E-05	1,196488	62,33826	57	-5,338255	52 R'w
630 Hz	107	53,6	0,76	0	53,59998104	1,9E-05	1,290947	58,20826	58	0,208256	53
800 Hz	106,4	41,8	0,85	0	41,79971306	0,000287	1,154259	69,89458	59	10,89458	54
1 kHz	107,2	39,5	0,74	0	39,49951269	0,000487	1,325838	72,39291	60	12,39291	55
1.25 kHz	105,5	36,2	0,8	0	36,19895808	0,001042	1,2264	74,33204	61	13,33204	56
1.6 kHz	107,6	35,7	0,85	0	35,69883092	0,001169	1,154259	77,19546	61	16,19546	56
2 kHz	105,4	36,4	0,87	0	36,39900497	0,000995	1,127724	74,39629	61	13,39629	56
2.5 kHz	102,3	37,5	0,7	0	37,49922763	0,000772	1,4016	69,25185	61	8,251854	56
3.15 kHz	102,6	35,6	0,69	0	35,59880369	0,001196	1,421913	71,38979	61	10,38979	56
4 kHz	107,2	35,4	0,68	0	35,3987473	0,001253	1,442824	76,12644			
5 kHz	111,3	36,3	0,56	0	36,2989818	0,001018	1,752	78,483	Epäsuotuisten poikkeamien summa		
										-31,209	<32

Liite 2

8(20)

Vertailukäyräkuvaaja: Kivivilla 50 mm

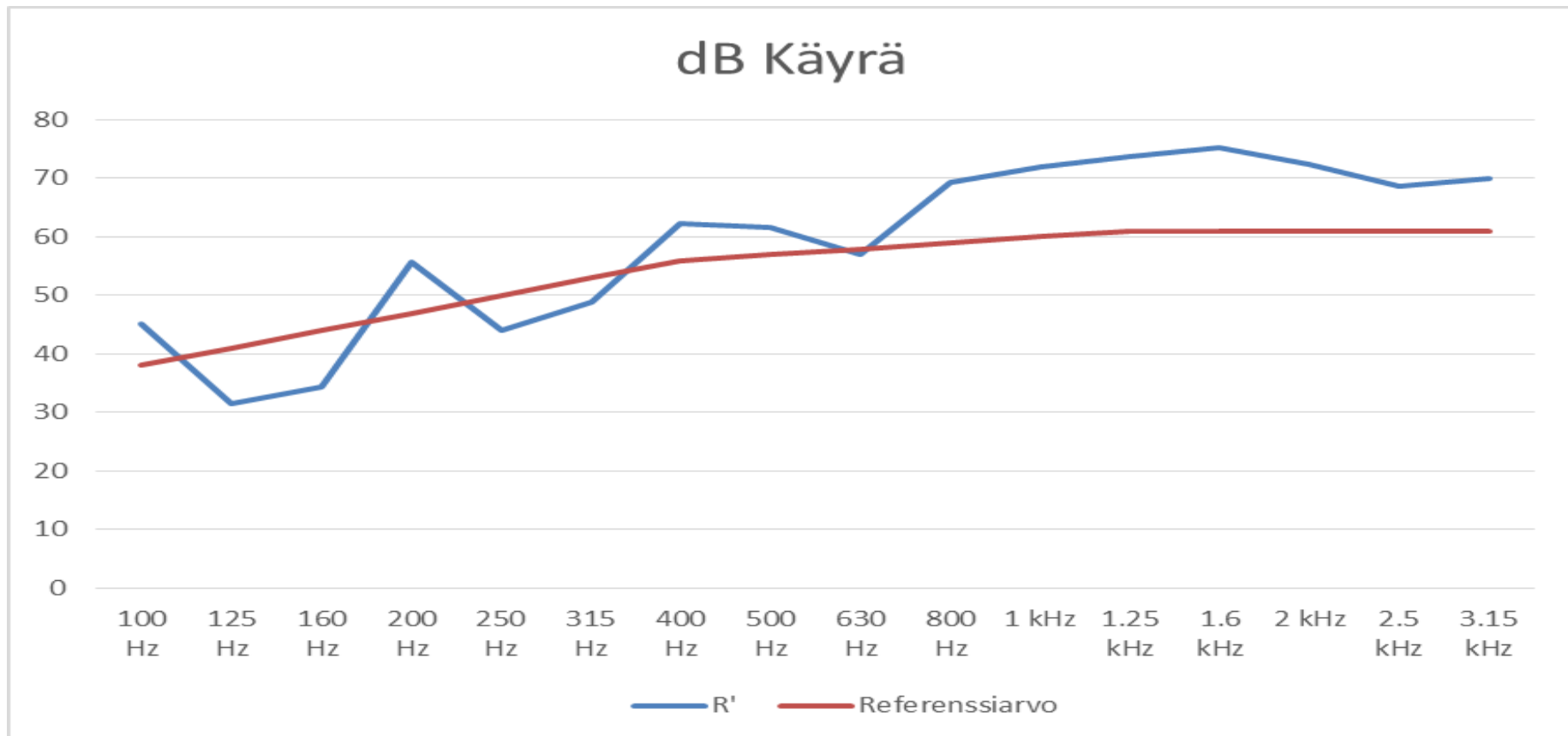


Liite 2

9(20)

Lasivilla 50mm										Siirto			
Engineering										-5 1 dB kerrallaan siirto			
1/3-oct.	L1	L2	T	Lb	L2 korjattu	korj	A	R'	Siirretty vertailuluku		Alkuperäinen vertailuluku		
50 Hz	86,1	58,8	0,39	-2,4	58,79999671	3,29E-06	2,515692	29,21075		Erotus			
63 Hz	96,3	65,7	1,33	-10,7	65,69999999	9,95E-08	0,737684	37,83862					
80 Hz	106,5	75,4	1,38	-0,1	75,39999988	1,22E-07	0,710957	38,49889					
100 Hz	94,4	58,7	2,24	-12	58,69999963	3,7E-07	0,438	45,20258	38	7,202582		33	
125 Hz	88	64,4	1,59	-14,8	64,39999995	5,22E-08	0,617057	31,61407	41	-9,38593		36	
160 Hz	106,9	80,2	1,46	-14,9	80,2	1,34E-09	0,672	34,34363	44	-9,65637		39	
200 Hz	122	73,7	1,41	-19,7	73,7	1,99E-09	0,69583	55,79229	47	8,792292		42	
250 Hz	114,9	77,6	1,16	0	77,59999992	7,55E-08	0,845793	43,94468	50	-6,05532		45	
315 Hz	117,7	73,1	0,69	-15,6	73,09999999	5,86E-09	1,421913	48,98859	53	-4,01141		48	
400 Hz	115,3	61,6	1,82	-19,5	61,59999997	3,37E-08	0,539077	62,30082	56	6,300815		51	
500 Hz	111,5	55	0,82	0	54,99998627	1,37E-05	1,196488	61,63825	57	4,638253		52	
630 Hz	106,3	54,2	0,76	0	54,19998349	1,65E-05	1,290947	56,90825	58	-1,09175		53	
800 Hz	106	42	0,85	0	41,99972597	0,000274	1,154259	69,29456	59	10,29456		54	
1 kHz	107,3	40	0,74	0	39,99956568	0,000434	1,325838	71,99285	60	11,99285		55	
1.25 kHz	105,2	36,6	0,8	0	36,59904976	0,00095	1,2264	73,63195	61	12,63195		56	
1.6 kHz	107	37	0,85	0	36,99913338	0,000867	1,154259	75,29516	61	14,29516		56	
2 kHz	105,3	38,2	0,87	0	38,19934262	0,000657	1,127724	72,49595	61	11,49595		56	
2.5 kHz	101,8	37,6	0,7	0	37,59924522	0,000755	1,4016	68,65184	61	7,651836		56	
3.15 kHz	102,8	37,3	0,69	0	37,29919123	0,000809	1,421913	69,8894	61	8,889401		56	
4 kHz	108	37,8	0,68	0	37,79927919	0,000721	1,442824	74,52591					
5 kHz	111,1	38,9	0,56	0	38,89944048	0,00056	1,752	75,68254			Epäsuotuisten poikkeamien summa		
											-30,2008 <32		

Vertailukäyräkuvaaja: Lasivilla 50 mm



Liite 2

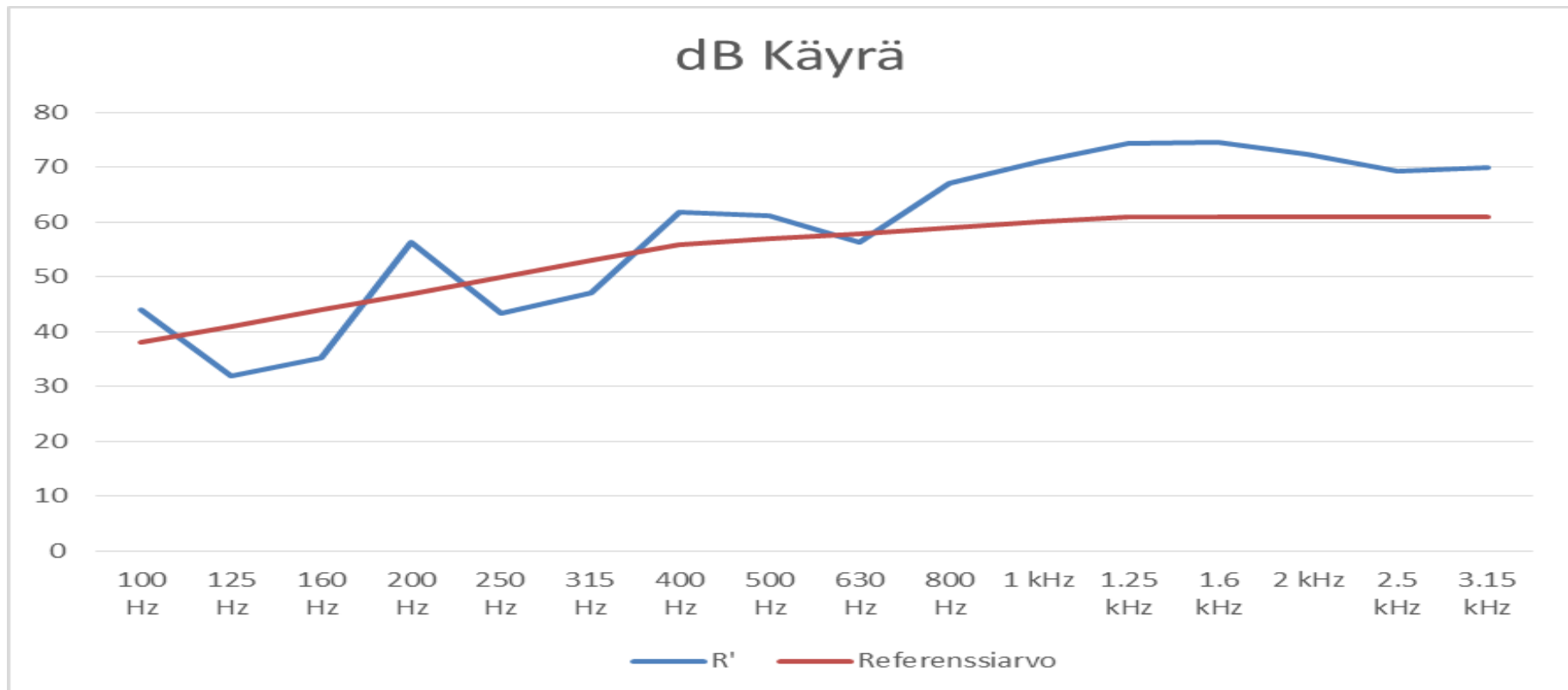
11(20)

Reunakierto 50mm										Siirto			
Engineering										-5 1 dB kerrallaan siirto			
1/3-oct.	L1	L2	T	Lb	L2 korjattu	korj	A	R'	Siirretty vertailuluku		Alkuperäinen vertailuluku		
50 Hz	86,5	58,7	0,39	-2,4	58,69999663	3,37E-06	2,515692	29,71075		Erotus			
63 Hz	97,1	65,3	1,33	-10,7	65,29999989	1,09E-07	0,737684	39,03862					
80 Hz	107,3	75,7	1,38	-0,1	75,69999989	1,14E-07	0,710957	38,99889					
100 Hz	94	59,5	2,24	-12	59,49999969	3,07E-07	0,438	44,00258	38	6,002582		33	
125 Hz	87,4	63,5	1,59	-14,8	63,49999994	6,42E-08	0,617057	31,91407	41	-9,08593		36	
160 Hz	107,4	79,8	1,46	-14,9	79,8	1,47E-09	0,672	35,24363	44	-8,75637		39	
200 Hz	122,7	73,9	1,41	-19,7	73,9	1,9E-09	0,69583	56,29229	47	9,292292		42	
250 Hz	114,9	78,2	1,16	0	78,19999993	6,57E-08	0,845793	43,34468	50	-6,65532		45	
315 Hz	116,9	74,1	0,69	-15,6	74,1	4,65E-09	1,421913	47,18859	53	-5,81141		48	
400 Hz	115,4	62,1	1,82	-19,5	62,09999997	3E-08	0,539077	61,90082	56	5,900815		51	
500 Hz	110,7	54,7	0,82	0	54,69998528	1,47E-05	1,196488	61,13825	57	4,138254		52 R'w	
630 Hz	105,8	54,3	0,76	0	54,29998386	1,61E-05	1,290947	56,30825	58	-1,69175		53	
800 Hz	105,1	43,2	0,85	0	43,19979213	0,000208	1,154259	67,1945	59	8,194498		54	
1 kHz	107	40,5	0,74	0	40,49961292	0,000387	1,325838	71,19281	60	11,19281		55	
1.25 kHz	106,1	36,7	0,8	0	36,6990714	0,000929	1,2264	74,43193	61	13,43193		56	
1.6 kHz	108,2	38,9	0,85	0	38,89944048	0,00056	1,154259	74,59485	61	13,59485		56	
2 kHz	106,2	39,1	0,87	0	39,09946567	0,000534	1,127724	72,49583	61	11,49583		56	
2.5 kHz	103,4	38,5	0,7	0	38,4993865	0,000614	1,4016	69,3517	61	8,351695		56	
3.15 kHz	103,3	37,7	0,69	0	37,6992624	0,000738	1,421913	69,98933	61	8,98933		56	
4 kHz	108	38,7	0,68	0	38,69941411	0,000586	1,442824	73,62578					
5 kHz	111,9	40	0,56	0	39,99956568	0,000434	1,752	75,38242			Epäsuotuisten poikkeamien summa		
											-32,0008	<32	

Liite 2

12(20)

Vertailukäyräkuvaaja: Reunakierto 50 mm



Liite 2

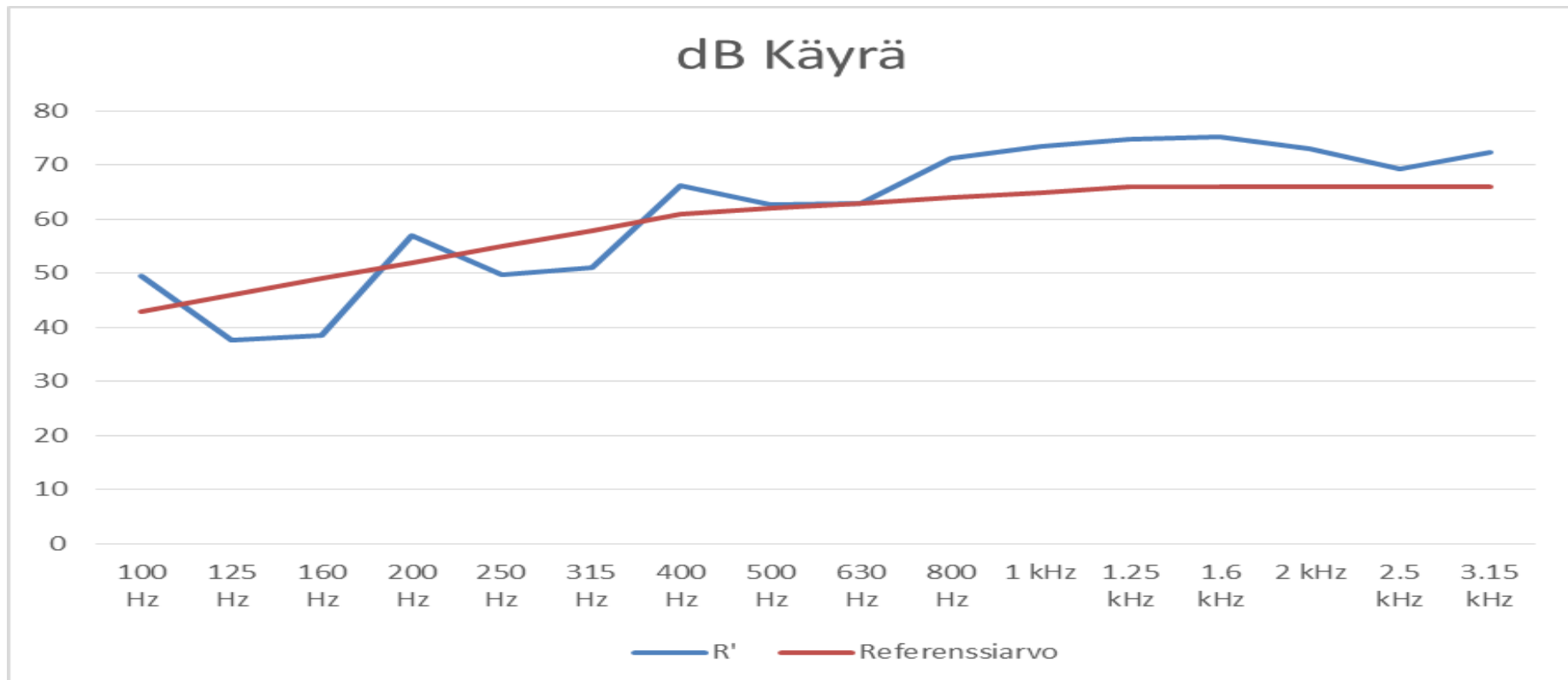
13(20)

Lasivilla 100mm										Siirto		
Engineering										-10 1 dB kerrallaan siirto		
1/3-oct.	L1	L2	T	Lb	L2 korjattu	korj	A	R'	Siirretty vertailuluku		Alkuperäinen vertailuluku	
50 Hz	86,1	58,1	0,39	-2,4	58,09999613	3,87E-06	2,515692	29,91075		Erotus		
63 Hz	96,8	64,8	1,33	-10,7	64,79999988	1,22E-07	0,737684	39,23862				
80 Hz	107	70,4	1,38	-0,1	70,39999961	3,87E-07	0,710957	43,99889				
100 Hz	93,8	53,7	2,24	-12	53,69999883	1,17E-06	0,438	49,60258	43	6,602582	33	
125 Hz	88,3	58,7	1,59	-14,8	58,69999981	1,94E-07	0,617057	37,61407	46	-8,38593	36	
160 Hz	106,6	75,6	1,46	-14,9	75,6	3,87E-09	0,672	38,64363	49	-10,3564	39	
200 Hz	122	72,4	1,41	-19,7	72,4	2,68E-09	0,69583	57,09229	52	5,092292	42	
250 Hz	115,2	72	1,16	0	71,99999973	2,74E-07	0,845793	49,84468	55	-5,15532	45	
315 Hz	117,6	70,9	0,69	-15,6	70,89999999	9,72E-09	1,421913	51,08859	58	-6,91141	48	
400 Hz	115,8	58,1	1,82	-19,5	58,09999992	7,55E-08	0,539077	66,30082	61	5,300815	51	
500 Hz	111,1	53,5	0,82	0	53,4999806	1,94E-05	1,196488	62,73826	62	0,738259	52	R'w
630 Hz	106,2	48,1	0,76	0	48,09993274	6,73E-05	1,290947	62,9083	63	-0,0917	53	
800 Hz	105,9	39,9	0,85	0	39,89955557	0,000444	1,154259	71,29473	64	7,294735	54	
1 kHz	107,1	38,3	0,74	0	38,29935758	0,000642	1,325838	73,49306	65	8,493061	55	
1.25 kHz	105,3	35,6	0,8	0	35,59880369	0,001196	1,2264	74,7322	66	8,732197	56	
1.6 kHz	107,2	37,2	0,85	0	37,19917239	0,000828	1,154259	75,29512	66	9,295118	56	
2 kHz	105,1	37,4	0,87	0	37,39920964	0,00079	1,127724	73,09608	66	7,096084	56	
2.5 kHz	102,3	37,5	0,7	0	37,49922763	0,000772	1,4016	69,25185	66	3,251854	56	
3.15 kHz	102,9	34,8	0,69	0	34,79856168	0,001438	1,421913	72,49003	66	6,49003	56	
4 kHz	107,4	35,4	0,68	0	35,3987473	0,001253	1,442824	76,32644				
5 kHz	111,5	36,4	0,56	0	36,39900497	0,000995	1,752	78,58298	Epäsuotuisten poikkeamien summa			
									-30,9007 <32			

Liite 2

14(20)

Vertailukäyräkuvaaja: Lasivilla 100 mm



Liite 2

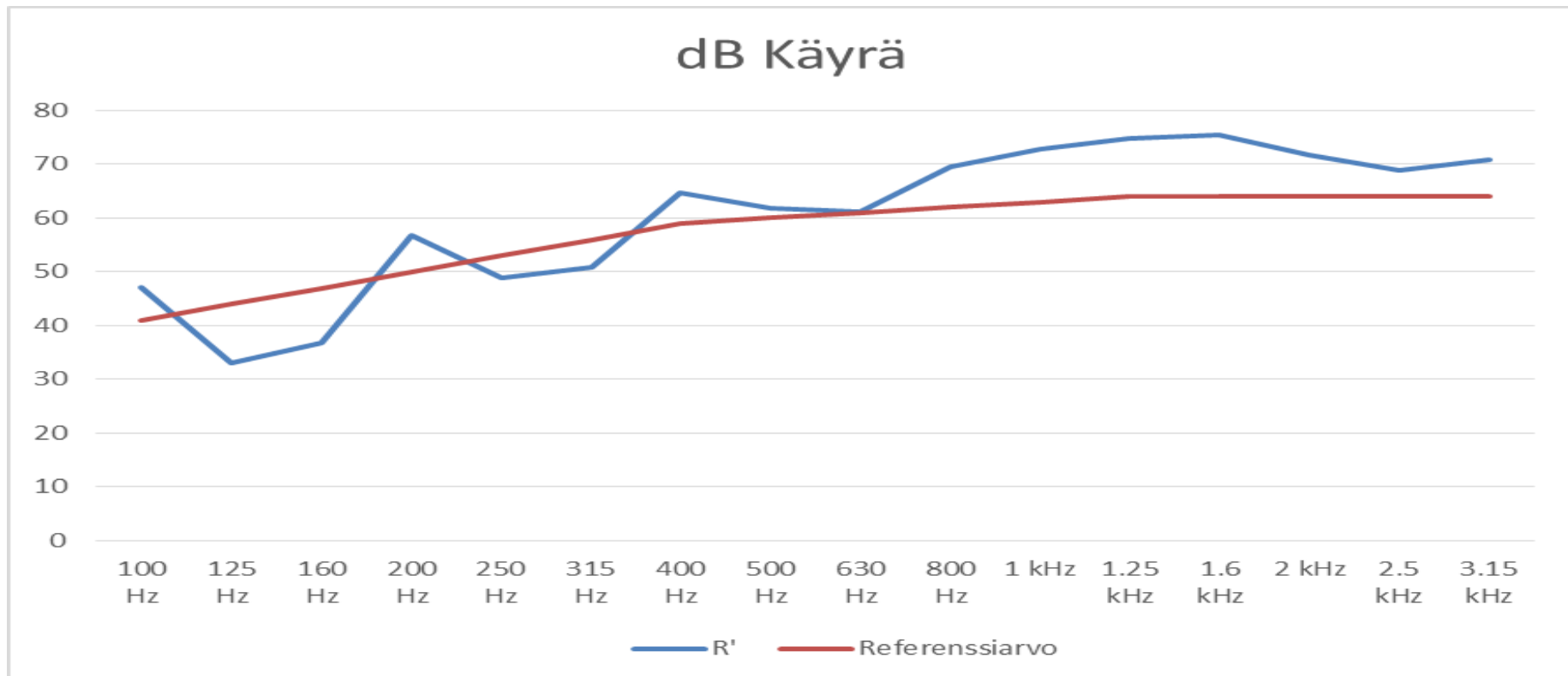
15(20)

Kivivilla 100mm										Siirto		
Engineering										-8 1 dB kerrallaan siirto		
1/3-oct.	L1	L2	T	Lb	L2 korjattu	korj	A	R'	Siirretty vertailuluku		Alkuperäinen vertailuluku	
50 Hz	85,7	58,5	0,39	-2,4	58,49999647	3,53E-06	2,515692	29,11075		Erotus		
63 Hz	96,7	64,9	1,33	-10,7	64,89999988	1,2E-07	0,737684	39,03862				
80 Hz	107,8	72,2	1,38	-0,1	72,19999974	2,56E-07	0,710957	42,99889				
100 Hz	92,3	54,7	2,24	-12	54,69999907	9,29E-07	0,438	47,10258	41	6,102582	33	
125 Hz	85,9	60,8	1,59	-14,8	60,79999988	1,2E-07	0,617057	33,11407	44	-10,8859	36	
160 Hz	106,9	77,8	1,46	-14,9	77,8	2,33E-09	0,672	36,74363	47	-10,2564	39	
200 Hz	122,1	72,8	1,41	-19,7	72,8	2,44E-09	0,69583	56,79229	50	6,792292	42	
250 Hz	114,6	72,3	1,16	0	72,29999974	2,56E-07	0,845793	48,94468	53	-4,05532	45	
315 Hz	117,2	70,8	0,69	-15,6	70,79999999	9,95E-09	1,421913	50,78859	56	-5,21141	48	
400 Hz	115,5	59,5	1,82	-19,5	59,49999995	5,47E-08	0,539077	64,60082	59	5,600815	51	
500 Hz	110,7	53,9	0,82	0	53,89998231	1,77E-05	1,196488	61,93826	60	1,938257	52	R'w
630 Hz	105,5	49,2	0,76	0	49,19994779	5,22E-05	1,290947	61,10829	61	0,108289	53	
800 Hz	105,2	41	0,85	0	40,99965501	0,000345	1,154259	69,49464	62	7,494635	54	
1 kHz	106,7	38,6	0,74	0	38,59940047	0,0006	1,325838	72,79302	63	9,793018	55	
1.25 kHz	105,2	35,5	0,8	0	35,49877582	0,001224	1,2264	74,73223	64	10,73223	56	
1.6 kHz	107,4	37,3	0,85	0	37,29919123	0,000809	1,154259	75,3951	64	11,3951	56	
2 kHz	105	38,7	0,87	0	38,69941411	0,000586	1,127724	71,69588	64	7,69588	56	
2.5 kHz	102,4	37,9	0,7	0	37,8992956	0,000704	1,4016	68,95179	64	4,951786	56	
3.15 kHz	102,6	36,1	0,69	0	36,0989338	0,001066	1,421913	70,88966	64	6,889658	56	
4 kHz	107,4	36,9	0,68	0	36,89911319	0,000887	1,442824	74,82608				
5 kHz	111,3	37,9	0,56	0	37,8992956	0,000704	1,752	76,88269	Epäsuotuisten poikkeamien summa			
										-30,409	<32	

Liite 2

16(20)

Vertailukäyräkuvaaja: Kivivilla 100 mm



Liite 2

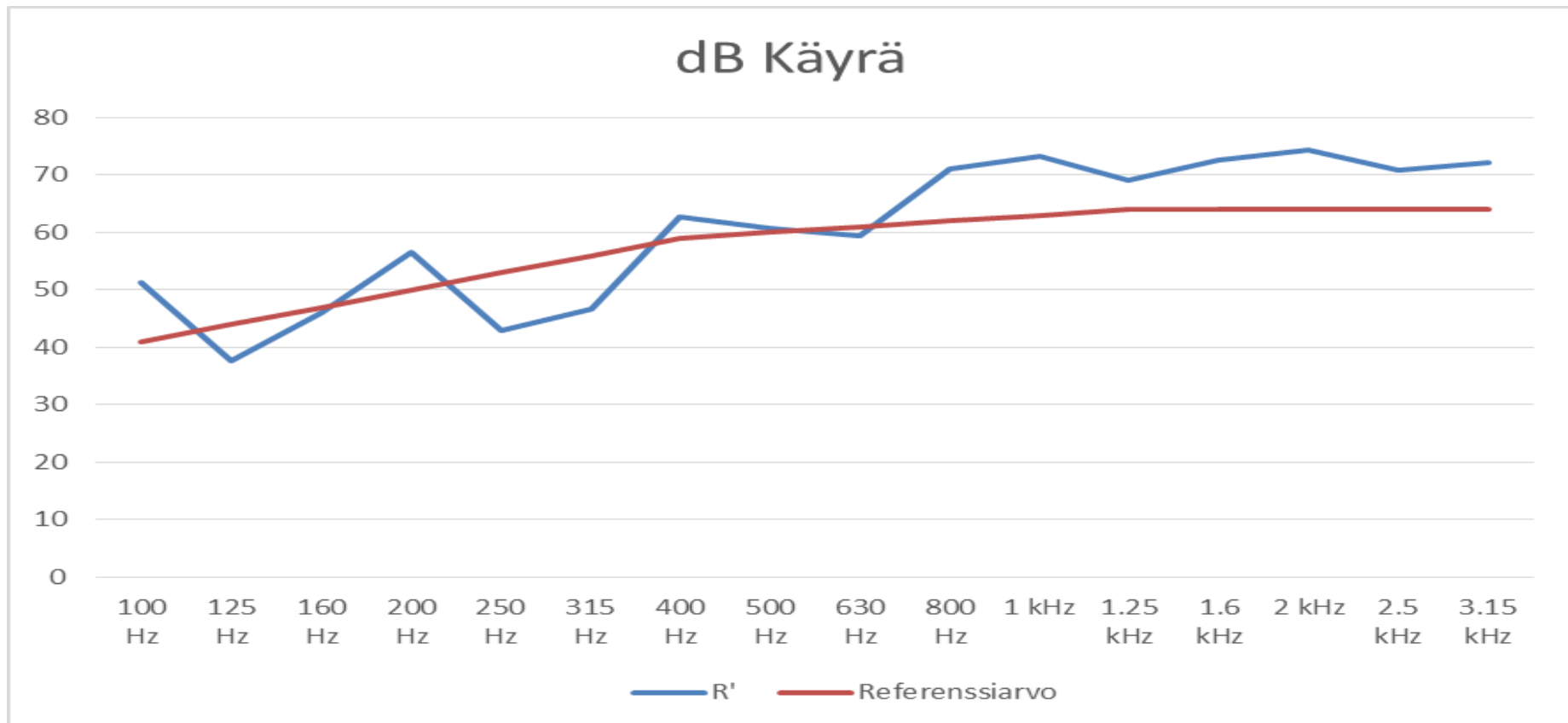
17(20)

Ilmarako 150mm										Siirto		
Engineering										-8 1 dB kerrallaan siirto		
1/3-oct.	L1	L2	T	Lb	L2 korjattu	korj	A	R'	Siirretty vertailuluku		Alkuperäinen vertailuluku	
50 Hz	85,9	57,3	0,39	-2,4	57,29999535	4,65E-06	2,515692	30,51075	Erotus			
63 Hz	96,5	60,9	1,33	-10,7	60,8999997	3E-07	0,737684	42,83862				
80 Hz	106,3	58,7	1,38	-0,1	58,69999427	5,73E-06	0,710957	54,9989				
100 Hz	92,2	50,5	2,24	-12	50,49999756	2,44E-06	0,438	51,20258	41	10,20258	33	
125 Hz	85,5	55,9	1,59	-14,8	55,89999963	3,7E-07	0,617057	37,61407	44	-6,38593	36	
160 Hz	106,8	68,5	1,46	-14,9	68,49999998	1,99E-08	0,672	45,94363	47	-1,05637	39	
200 Hz	121,9	72,8	1,41	-19,7	72,8	2,44E-09	0,69583	56,59229	50	6,592292	42	
250 Hz	114,3	78,1	1,16	0	78,09999993	6,73E-08	0,845793	42,84468	53	-10,1553	45	
315 Hz	116,6	74,2	0,69	-15,6	74,2	4,55E-09	1,421913	46,78859	56	-9,21141	48	
400 Hz	115,2	61,1	1,82	-19,5	61,09999996	3,78E-08	0,539077	62,70082	59	3,700815	51	
500 Hz	110,6	54,9	0,82	0	54,89998595	1,41E-05	1,196488	60,83825	60	0,838254	52	R'w
630 Hz	105,4	50,8	0,76	0	50,79996388	3,61E-05	1,290947	59,40827	61	-1,59173	53	
800 Hz	104,9	39,2	0,85	0	39,19947783	0,000522	1,154259	70,99481	62	8,994813	54	
1 kHz	106,7	38,2	0,74	0	38,19934262	0,000657	1,325838	73,19308	63	10,19308	55	
1.25 kHz	105,5	41,4	0,8	0	41,39968537	0,000315	1,2264	69,13132	64	5,131316	56	
1.6 kHz	107,8	40,4	0,85	0	40,3996039	0,000396	1,154259	72,69469	64	8,694686	56	
2 kHz	105,2	36,2	0,87	0	36,19895808	0,001042	1,127724	74,39634	64	10,39634	56	
2.5 kHz	102,5	36,1	0,7	0	36,0989338	0,001066	1,4016	70,85215	64	6,852148	56	
3.15 kHz	102,4	34,5	0,69	0	34,49845879	0,001541	1,421913	72,29013	64	8,290133	56	
4 kHz	108,1	35,5	0,68	0	35,49877582	0,001224	1,442824	76,92641				
5 kHz	111,6	36	0,56	0	35,99890896	0,001091	1,752	79,08307	Epäsuotuisten poikkeamien summa			
										-28,4008	<32	

Liite 2

18(20)

Vertailukäyräkuvaaja: Ilmarako 150 mm



Liite 2

19(20)

Ilmarako 50mm, ei solumuovikaistaa										Siirto		
Engineering										-4 1 dB kerrallaan siirto		
1/3-oct.	L1	L2	T	Lb	L2 korjattu	korj	A	R'	Siirretty vertailuluku		Alkuperäinen vertailuluku	
50 Hz	86,7	61,3	0,39	-2,4	61,29999815	1,85E-06	2,515692	27,31075	Erotus			
63 Hz	96,3	63,6	1,33	-10,7	63,59999984	1,61E-07	0,737684	39,93862				
80 Hz	106,7	68,6	1,38	-0,1	68,59999941	5,86E-07	0,710957	45,49889				
100 Hz	92,9	56,3	2,24	-12	56,29999936	6,42E-07	0,438	46,10258	37	9,102582	33	
125 Hz	87	59,3	1,59	-14,8	59,29999983	1,69E-07	0,617057	35,71407	40	-4,28593	36	
160 Hz	105,9	72,5	1,46	-14,9	72,49999999	7,9E-09	0,672	41,04363	43	-1,95637	39	
200 Hz	121,5	79,9	1,41	-19,7	79,9	4,76E-10	0,69583	49,09229	46	3,092292	42	
250 Hz	115,1	81,3	1,16	0	81,29999997	3,22E-08	0,845793	40,44468	49	-8,55532	45	
315 Hz	117,1	77,4	0,69	-15,6	77,4	2,18E-09	1,421913	44,08859	52	-7,91141	48	
400 Hz	115,1	70,5	1,82	-19,5	70,5	4,34E-09	0,539077	53,20081	55	-1,79919	51	
500 Hz	110,8	61,6	0,82	0	61,599997	3E-06	1,196488	54,33824	56	-1,66176	52	R'w
630 Hz	106,1	58,6	0,76	0	58,59999401	5,99E-06	1,290947	52,30824	57	-4,69176	53	
800 Hz	104,9	43	0,85	0	42,99978233	0,000218	1,154259	67,19451	58	9,194508	54	
1 kHz	106,8	39,5	0,74	0	39,49951269	0,000487	1,325838	71,99291	59	12,99291	55	
1.25 kHz	105,6	35,2	0,8	0	35,19868825	0,001312	1,2264	75,43231	60	15,43231	56	
1.6 kHz	108,1	36,8	0,85	0	36,79909254	0,000907	1,154259	76,5952	60	16,5952	56	
2 kHz	105,9	37,2	0,87	0	37,19917239	0,000828	1,127724	74,09612	60	14,09612	56	
2.5 kHz	103	36,2	0,7	0	36,19895808	0,001042	1,4016	71,25212	60	11,25212	56	
3.15 kHz	103,7	36,2	0,69	0	36,19895808	0,001042	1,421913	71,88963	60	11,88963	56	
4 kHz	108,6	35,2	0,68	0	35,19868825	0,001312	1,442824	77,7265				
5 kHz	112,2	36,8	0,56	0	36,79909254	0,000907	1,752	78,88289	Epäsuotuisten poikkeamien summa			
										-30,8617 <32		

Liite 2

20(20)

Vertailukäyräkuvaaja: Ilmarako 50 mm, ilman solumuovikaistaa

