



# **HUONEAKUSTIIKKA**

Huoneakustiikan parantaminen itse rakennetuilla akustiikkaelementeillä

Mikael Sjöman

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015  
Viestintä  
Digitaalinen ääni &  
kaupallinen musiikki

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Viestinnän koulutusohjelma  
Digitaalinen ääni & kaupallinen musiikki

MIKAEL SJÖMAN

Huoneakustiikka  
Huoneakustiikan parantaminen itse rakennetuilla akustiikkaelementeillä  
Opinnäytetyö 35 sivua, joista liitteitä 1 sivua  
Toukokuu 2015

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli saada normaali asuinhuone muutettua äänityökentelyyn sopivaksi. Parannukset akustiikkaan tehtiin mittaamalla äänen taajuusvastetta huoneessa, kaiuttimien sijoittelulla, ja rakentamalla erilaisia helposti liikuteltavia akustiikkaelementtejä. Akustoitavana tilana käytettiin kerrostaloyksion olohuonetta.

Mittaustuloksista selvisi, että akustoimattomassa betonin ympäröimässä huoneessa ongelmana ovat varsinkin matalien ns. bassotaajuuksien pitkät jälkikaiunta-ajat ja liika korostuminen. Tämä ilmeni mm. musiikkia kuunneltaessa epäselvänä ja "tunkkaisena" bassotoistona.

Huoneeseen rakennettiin mittausten perusteella akustiikkaelementtejä, joiden avulla jälkikaiunta-aikoja saatiin laskettua huomattavasti. Äänentoiston erottelevaisuus varsinkin musiikkia kuunneltaessa parani selkeästi akustoinnin jälkeen. Taajuusvasteessa ei tapahtunut niin paljoa muutoksia, kuin jälkikaiunta-ajoissa. Varsinkin matalimpien taajuuksien vaimentamiseen olisi tarvittu vielä massiivisempia akustiikkaelementtejä, ja radikaalimpia muutoksia asuinmukavuuden kustannuksella.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Media  
Digital sound & commercial music

**MIKAEL SJÖMAN:**

Room acoustics

How to improve acoustics of room by acoustic treatment

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 1 pages

May 2015

---

The purpose of this thesis was to transform normal living room to sound control room. The improvements to the acoustics were made by measuring the frequency response of the room, placing of loudspeakers and by building acoustic elements. There were also idea to build mobile acoustic structures that can be easily move around if needed.

After acoustic measurements were performed it came clear that the room reverberation time was not smooth enough. Especially reverberation time of low frequencies was too long. Measurements also pointed out that bass frequencies in low end were little a bit too loud in untreated room.

Acoustic treatment were built by ground of measurements. Reverberation times of the room were clearly reduced after acoustic treatment. The room frequency response improvements were not that prominent.

---

Key words: sound, room acoustics, acoustic treatment, frequency response.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ÄÄNI JA AKUSTIIKKA.....	7
2.1	Äänen perusteet.....	7
2.1.1	Siniaalto .....	7
2.1.2	Jakso, vaihe ja taajuus .....	9
2.1.3	Äänennopeus ja aallonpituus.....	10
2.1.4	Harmoniset yläsävelsarjat .....	10
2.2	Kuuleminen.....	11
2.2.1	Desibeli .....	12
2.2.2	Kuulon herkkyys ja taajuusvaste.....	13
2.2.3	Kriittiset kaistat .....	14
2.3	Huoneakustiikka .....	16
2.3.1	Huonemoodit.....	16
2.3.2	Ensiheijastukset.....	17
2.3.3	Jälkikaiunta .....	19
3	HUONEEN AKUSTOINTI.....	21
3.1	Äänitarkkaamo.....	21
3.2	Akustiikkaelementtien rakentaminen .....	21
3.2.1	Akustoitava huone.....	22
3.2.2	Bassoansat.....	22
3.2.3	Akustiikkalevyt .....	27
4	MITTAUSTULOKSET.....	28
4.1	Mittauslaitteisto .....	28
4.2	Akustiikkamittaukset .....	29
4.2.1	Taajuusvaste.....	30
4.2.2	Jälkikaiunta-aika (RT60).....	31
5	MUSIIKKINÄYTTEET ENNEN/JÄLKEEN.....	32
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET .....	35
	Liite 1. Musiikkinäytteet .....	35
	Liite 2. Video.....	35

## 1 JOHDANTO

Aloittaessani "Digitaalisen äänen ja kaupallisen musiikin" suuntautumisvaihtoehdon opinnot Virroilla Pirkanmaan ammattikorkeakoulussa vuoden 2009 syksyllä aloin kiinnostumaan yhä enemmän akustiikasta, ja äänen käyttäytymisestä erilaisissa tiloissa. Koulun Virtain toimipisteen studiomestari Teemu Kinnusen neuvot akustiikkasioissa antoivat lisäpotkua aiheen valintaan, joten päädyin tekemään tätä opinnäytetyötä huoneakustiikkaan liittyen. Aiheena se kiinnosti, koska halusin musiikin tekijänä saada omaan kotiin äänityöskentelyyn sopivan työpisteen ilman kohtuutonta rahallista panostusta. Olen pienestä pitäen tykännyt rakennella kaikenlaista, joten akustiikkaelementtien rakentaminen omin käsin tuntui myös luontevalta vaihtoehdolta.

Opinnäytetyön alkupuolella käydään läpi äänen ja akustiikan perusteita, sekä teoriaa. Työn kannalta on tärkeää ymmärtää, miten ääni käyttäytyy erilaisissa tilanteissa. Lopuosiossa tutkaillaan akustiikkaelementtien rakentamista ja akustoitavan huoneen mittauksia ennen ja jälkeen akustoinnin.

Akustoitavana tilana käytin yksiöni olohuonetta, missä vaihtoehtoja työpisteen sijainnille oli rajallisesti. Päädyin ratkaisuun, missä sijoitin työskentelypisteen olohuoneen ikkunanpuoleiseen pätyyn. Ratkaisuun johtivat mm. tarkkailukaiuttimien taajuusvasteen mittaukset eri puolella huonetta ja sijoittuminen muuhun asuintilaan nähden.

Omat haasteensa projektille aiheuttivat asuinhuoneistoni rakennemateriaalit. Yksi tärkeimmistä tekijöistä äänityöläisen huoneessa on ainakin omasta mielestä mahdollisimman neutraali ja tasainen taajuusvaste. Asuin itse opinnäytetyön tekohetkellä kerrostaloyksiossä. Varsinkin matalien taajuuksien hallitseminen oli haastavaa betonin ympäröimässä suhteellisen pienessä huoneessa. Alataajuuksia kurissa pitämistä varten rakensinkin koko huoneen korkuiset bassoansat huoneen työskentelypisteen etunurkkiin. Ensiheijasteet hoidin itse tekemilläni akustiikkalevyillä, jotka sijoitin kattoon ja toiselle seinälle kohtiin, mistä ääni heijastuu takaisin kuuntelupisteeseen (vasemmalla on tyhjä oviaukko keittiöön, joten ensiheijastetta ei synny sille puolelle).

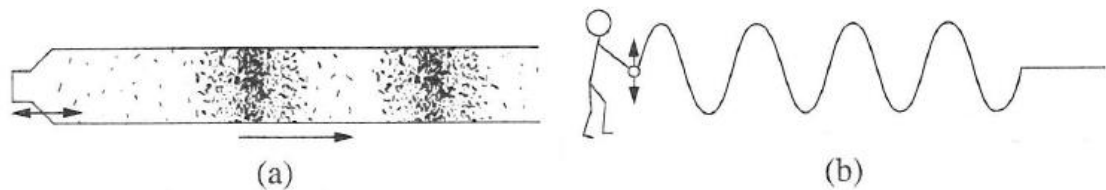
TAULUKKO 1. Arvioitu ja toteutunut ajankäyttö

<b>Työvaihe</b>	<b>Arvioitu aika</b>	<b>Toteutunut aika</b>
Suunnittelu	20	20
Lähteisiin tutustuminen	50	40
Mittaukset	40	20
Akustiikkaelementtien rakentaminen	80	120
Kirjoittaminen	150	180
<b>Yhteensä</b>	<b>340</b>	<b>380</b>

## 2 ÄÄNI JA AKUSTIIKKA

### 2.1 Äänen perusteet

Yleensä äänellä tarkoitetaan kuultavaa aistihavaintoa korvassa tai ääniaallon fyysistä liikettä väliaineessa (Everest & Pohlmann 2009, 1). Ääni voi edetä kiinteä-, neste- tai kaasumuotoisessa väliaineessa, joista ilma on yleisin ääntä tutkittaessa. Maan ilmakehän ansiosta meihin vaikuttaa ilmanpaine, joka puristaa korvakalvojamme kokoajan lähes samansuuruisella voimalla. Havaitsemme ns. ilmaäänien, eli akustisen äänen tämän normaalin ilmanpaineen pieninä vaihteluina, jotka ilmamolekyylien pitkittäinen aaltoliike (Kuva 1, a) aiheuttaa. Äänen kannalta säätiloista johtuvat korkea- ja matalapaineen vaihtelut eivät ole merkittäviä. (Rossing, More & Wheeler 2002, 4; Laaksonen 2006, 4–5.)



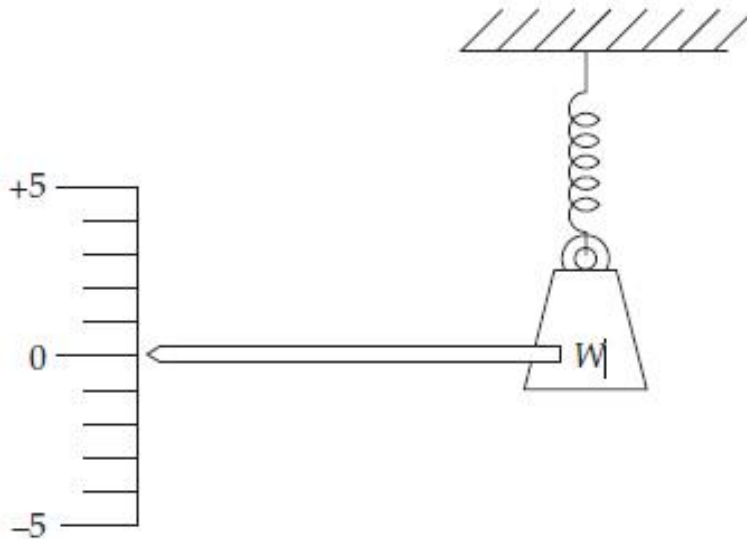
KUVA 1. Ilmamolekyylien pitkittäinen aaltoliike (a) ja köyden heiluttamisen tuloksena syntyvä poikittainen aaltoliike (b) (Rossing, More & Wheeler 2002)

Jos pystyisimme näkemään ääniaallot, niin ne näyttäisivät melko samalta, kuin veteen pudotetun kiven synnyttämät aallot vedessä. Usein ääniaallot kuvataan kirjoissa, ja esimerkeissä kaksikulotteisena aaltomuotona. Ääniaalto etenee kuitenkin äänilähteestä kolmiulotteisesti joka suuntaan. (Harris 2009, 4–5.)

#### 2.1.1 Siniaalto

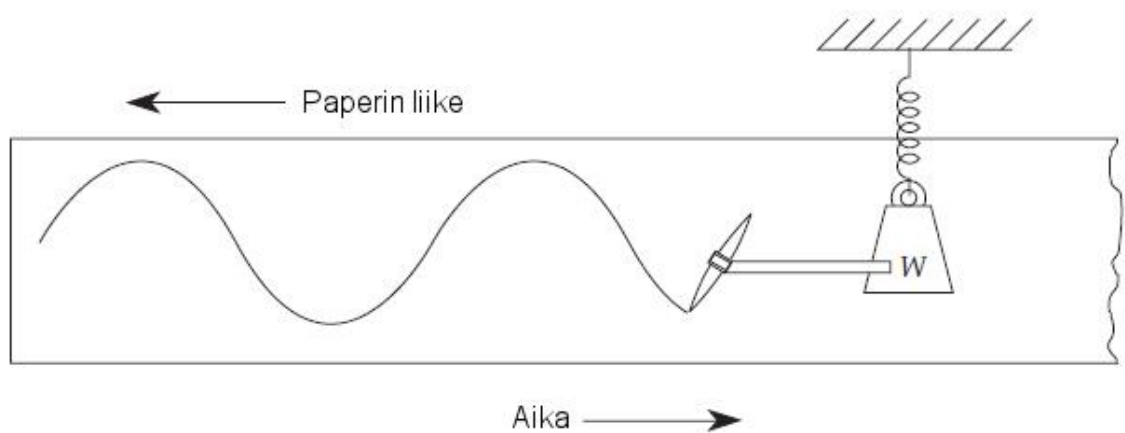
Ääni voidaan yksinkertaisimmillaan kuvata siniaallona (engl. sinewave). Äänen värähtelyn perusmuoto vastaa matemaattista sin-funktiota graafiselta muodoltaan, minkä vuoksi siitä käytetään nimitystä siniaalto. Kuvassa 2 vieterijousessa roikkuva paino vä-

rähtelee sen luonnollisella taajuudella johtuen vieterin joustavuudesta, ja painon hitautesta. Vedettäessä paino alas -5 kohtaan, ja päästämällä se irti, jatkuu painon liike ylös-, alassuunnassa tasaisesti lähentyen 0 kohtaa. (Laaksonen 2006, 4; Everest & Pohlmann 2009, 2.)



KUVA 2. (Everest & Pohlmann 2009)

Värähtelevään painoon kiinnitetty kynä piirtää siniaaltoja paperiliuskaan sen liikkuessa tasaisella nopeudella. Tässä näkyy hyvin yksinkertaisen harmonisen liikkeen ja siniaallon yhteys (kuva 3). (Everest & Pohlmann 2009, 2.)



KUVA 3. Painoon kiinnitetty kynä piirtää paperiin siniaaltoja. Kuvan tilanteessa siniaallon amplitudi on tasainen, mutta luonnollisesti painon värähtely vaimenisi tasaisesti, jolloin myös siniaallon amplitudi pienenesi ajan kuluessa (Everest & Pohlmann 2009, 2.)

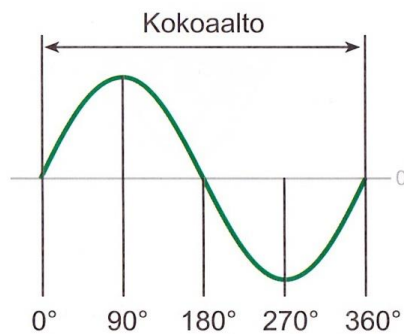


### 2.1.2 Jakso, vaihe ja taajuus

Ääni rakentuu peräkkäisistä siniaaltojen jaksoista. (kuvio 1) Yksi jakso (engl. cycle) muodostuu positiivisesta ja negatiivisesta puoliaallosta, joista muodostuu kokoaalto. Kuviossa 2 näkyy kokoaallon eri vaiheet astelukuina. Puoliaalto on  $180^\circ$ , ja kokoaalto näin ollen  $360^\circ$ . Äänen energia on maksimissaan jakson aikana huippukohdissa  $90^\circ$  ja  $270^\circ$ , ja nollassa kohdissa  $0^\circ$  ja  $180^\circ$ , jolloin äänellä ei ole energiaa. (Laaksonen 2006, 7.)



KUVIO 1. Jakso (Laaksonen 2006)



KUVIO 2. Kokoaalto (Laaksonen 2006)

Taajuuden (engl. frequency) mittayksikkönä käytetään hertsiä (Hz), joka tulee saksalaisen tutkijan Rudolf Herzin nimestä. Yksi hertsi vastaa yhtä kokonaista jaksoa sekunnissa, joten taajuus voidaan laskea kaavalla:

$$\frac{\text{kokoaaltojen lukumäärä}}{\text{yksi sekunti (s)}} = \text{taajuus (Hz)}$$

Äänen taajuus määrää kuultavan äänen korkeuden. Kutsumme pieniä taajuuksia mataliksi (basso) ääniksi ja suuria taajuuksia korkeiksi (diskantti) ääniksi. (Laaksonen 2006 7.)

### 2.1.3 Äänennopeus ja aallonpituus

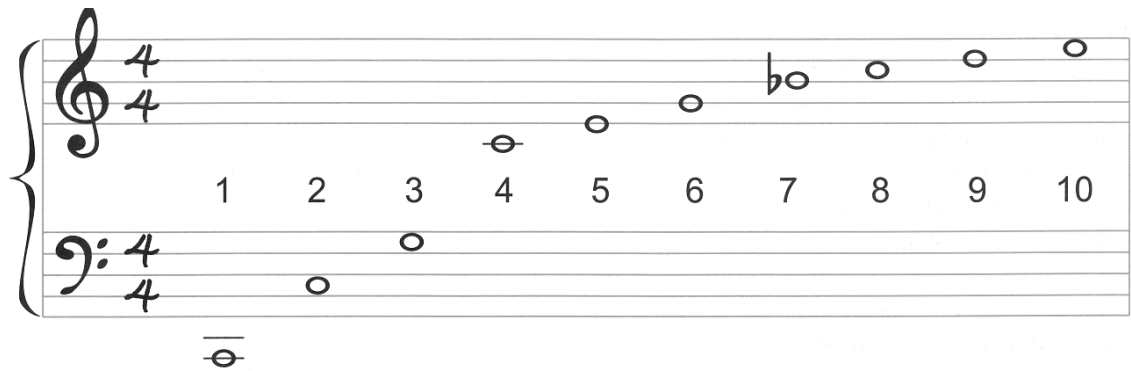
Normaalissa huonelämpötilassa (+20 °C) ääni etenee noin 344 metriä sekunnissa ilmassa (Nisbett 2003, 10). Äänennopeuden tietämisestä on hyötyä äänen eri taajuuksien aallonpituuksien laskemisessa. Varsinkin huoneen akustiikkaa tutkittaessa aallonpituuksia laskemalla voidaan esim. selvittää miten kaiuttimet tai akustiikkaelementit tulisi sijoittaa huoneessa halutun lopputuloksen aikaansaamiseksi. Voimme laskea eri taajuuksien aallonpituuden metreinä jakamalla äänennopeuden kullakin taajuudella. Tästä muodostuu kaava:

$$\frac{\text{äänennopeus (m/s)}}{\text{taajuus (Hz)}} = \text{aallonpituus (m)}$$

Kaavan avulla voidaan laskea, että 100 Hz aallonpituus on tällöin 3,44 m (344/100) ja 10 kHz aallonpituus vastaavasti 3,44 cm (344/10000) (Newell, 2008, 17.) Vedessä äänen nopeus kasvaa n. 1500 metriin sekunnissa, ja kiinteässä aineessa esim. raudassa yli 5000 metriin sekunnissa. (Howard & Angus 2009, 8.)

### 2.1.4 Harmoniset yläsävelsarjat

Kuultavat äänet muodostuvat usein monista yhtä aikaa soivista taajuuksista. Vaikka esim. pianolla soitettaisiin vain yksi sävel, niin se saa sointivärin perustaajuuden lisäksi muodostuvista harmonisista yläsävelsarjoista. (Kuva 4) Miten voimakkaasti harmoniset yläsävelsarjat kuuluvat riippuu äänilähteen mm. akustisista ominaisuuksista.



KUVA 4. Suuren oktaavin C-sävelen (65Hz) yläsävelsarjan alkupää. (Laaksonen 2006)

Kuvasta 4 nähdään mitä intervaleja harmonisen yläsävelsarjan osasävelet muodostavat suhteessa perussäveleen:

1 = priimi    2 = oktaavi    3 = kvintti    4 = oktaavi    5 = suuri terssi  
 6 = kvintti    7 = pieni septimi    8 = oktaavi    9 = suuri sekunti    10 = suuri terssi

Harmoniset yläsävelsarjat muodostuvat perussävelen päälle ja niiden suhde perussävelen taajuuteen on lineaarinen. Kaikissa luonnollisissa äänissä näiden yläsävelsarjojen taajuuksien suhteet perustaajuuteen eivät teoriassa koskaan muutu. Oktaavi vastaa taajuuksissa suhdetta 2:1. Näin ollen 100 Hz ja 200 Hz välinen ero on oktaavi. Muita yläsävelsarjojen intervallien suhteita taajuuksissa ovat: Kvintti 3:2, kvartti 4:3, suuri terssi 5:4 ja pieni terssi 6:5. (Laaksonen 2006, 20–21.)

## 2.2 Kuuleminen

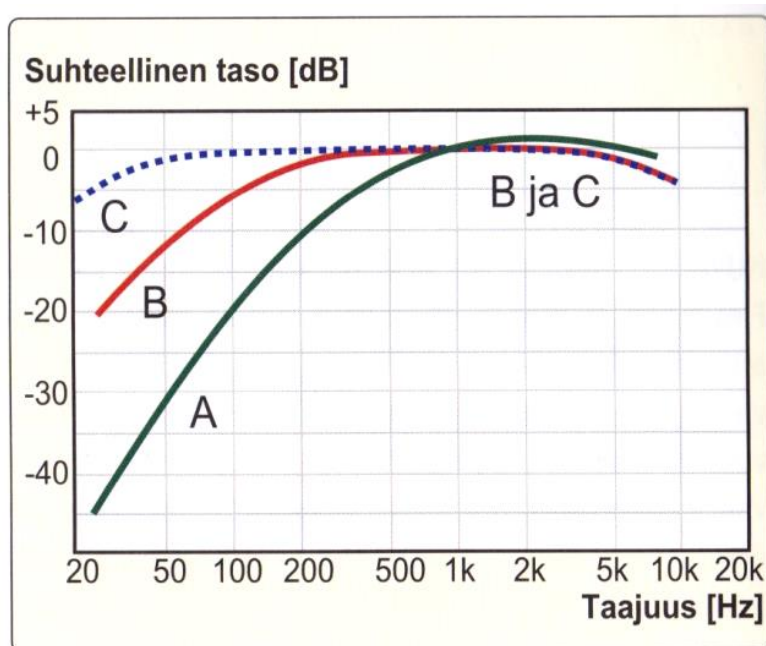
Tarkkaavainen ihminen pystyy erottamaan helposti useita eri äänilähteitä esimerkiksi omassa kodissaan: Seinäkellon koneiston tikityksen, jääkaapin hurinan, tietokoneen tuulettimien äänen, työtuolin narinan ja vaikka oman hengityksen äänen. Miten pystymme kuulemaan nämä kaikki äänet? Ihmisen kuulo on monimutkainen rakenteeltaan ja todella erityislaatuinen ominaisuuksiltaan. Korvamme pystyy erottamaan erikorkuisia taajuuksia, ja isoja äänenvoimakkuuden eroja. Lisäksi kuuloaistimme pystyy havaitsemaan jopa äänen suunnan. (Rossing, More & Wheeler 2002, 79.)

Hiljaisimman kuultavan äänen, ja voimakkuudeltaan kipukynnyksen tuottavan äänen tehojen välinen suhde voi olla jopa enemmän kuin  $10^{12}$ . Matalimpien ja korkeimpien kuultavien äänien taajuuksien välinen suhde voi olla lähes  $10^3$ , tai jopa yhdeksän oktaavia (jokainen oktaavi vastaa taajuuden tuplaantumista). (Rossing 2007, 1–2.)

### 2.2.1 Desibeli

Puhelimen kehittäjän Alexander Graham Bellin mukaan nimettyä mittayksikköä, eli desibeliä (dB) käytetään akustisissa mittauksissa, sekä kaikessa audiosignaalin välityksessä ja muokkauksessa. Desibeli on matemaattinen käsite, ja ei itsessään mittaa mitään itsenäistä fyysistä suuretta. (Laaksonen 2006, 24–31.)

Tasoja voidaan ilmaista tarkasti käyttämällä dB-lyhenteen perään joitakin lisäkirjaimia, jotka määrittävät käytössä olevan vertailutason. Akustiikassa käytetään usein A-taajuuspainotusta (kuvio 3), mikä vastaa ihmisen kuulon herkyyden mukaista painotusta hiljaisella voimakkuudella. Akustiikassa desibeliarvot mitataan siis suhteessa kuulokynnykseen. Lause: "Mitattu äänenpaine oli 75dBa" tarkoittaa: "Äänenpaine oli 75 dB korkeampi kuin akustisissa mittauksissa käytetty äänenpaineen nollassa, mitattuna kuulokäyrän mukaisella A-taajuuspainotuksella" (Laaksonen 2006, 24–31.)



KUVIO 3. Taajuuspainotukset, mistä yleisimmin käytetään ihmisen kuuloa vastaavaa A-painotusta. (Laaksonen 2006)

Äänen voimakkuus määritellään äänitstekniikassa useimmiten äänenpaineena, jolloin ihmisen kuulokynnystä pidetään nollassa, johon muita ääniä verrataan. Akustisissa desibelimittauksissa äänenpainemittarin tuloksella ilmoitetaan siis, miten monta desibeliä mitattu ääni on kuulokynnystä voimakkaampi. Mittauksissa käytetään tällöin dB SPL (Sound Pressure Level) merkintää lukeman jälkeen. (Laaksonen 2006, 24–31.) Taulukossa 2 on erilaisten äänten desibelilukemia.

TAULUKKO 2. Äänten desibelitasoja (Laaksonen 2006)

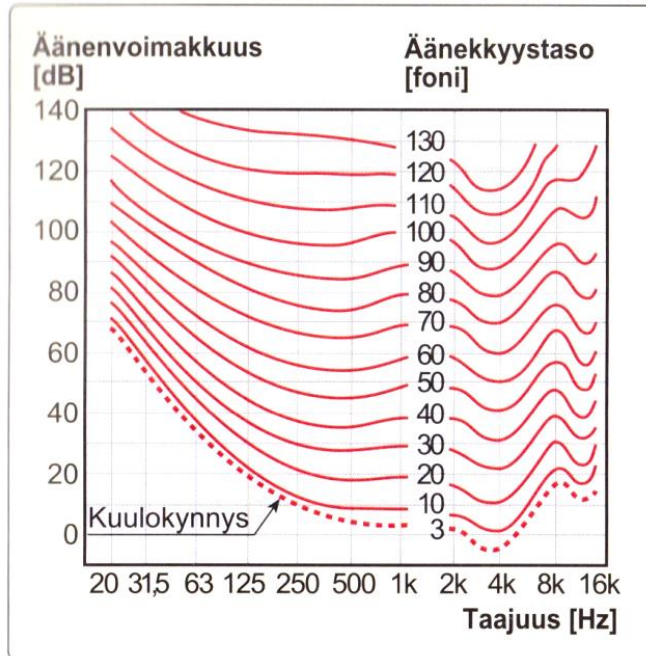
10 dB SPL	Tuuleton metsä maaseudulla
20 dB SPL	Kuiskaus
30 dB SPL	Äänitysstudion "taustakohina"
40 dB SPL	Olohuone
50-60 dB SPL	Normaali keskustelu
70 dB SPL	Toimisto
80 dB SPL	Katuliikenne
90 dB SPL	Kuorma-auto
100 dB SPL	Ohittava juna
110 dB SPL	Rock-yhtye
120 dB SPL	Suihkukone lähtökiidossa
120-130 dB SPL	Kipuraja
140 dB SPL	Välittömän kuulovaurion vaara
150 dB SPL	Voi aiheuttaa kuuroutumisen
180-200 dB SPL	Avaruusaluksen kantoraketin lähtöääni

### 2.2.2 Kuulon herkkyys ja taajuusvaste

Nuori ihminen (n. 20-vuotias) pystyy kuulemaan arviolta taajuudet väliltä 20 – 20000 Hz, mutta iän myötä korkeimpien taajuuksien kuuleminen heikkenee 10kHz – 15 kHz välille, tai jopa paljon alemmas (Nisbett 2003, 22–23).

Ihmisen kuulo on herkimmillään taajuusalueen kohdassa 2,5-3 kHz, johtuen siitä, että korvakäytävämme resonoivat tuolla taajuusalueella. Kuulemme siis todella tarkasti juuri ne taajuudet, jotka ovat luonnollisissa äänissä kaikkein voimakkaimpia. Saman voi to-

deta myös kahden 1930-luvun kuulotutkijan Harvey Fletcherin ja Wilden Munsonin kehittämästä vakioäänekkyyssäyrästä (kuvio 4), missä näkyy kuulon herkkyys eri taajuuksilla suhteessa äänenvoimakkuuteen. Siitä selviää myös, että mitä hiljaisempi ääni, sitä herkemmin ihminen kuulee ääniä, jotka sijoittuvat kaistalle 500 Hz - 7 kHz, joka on myös normaali puheen taajuusalue. (Laaksonen 2006, 28–29.)



KUVIO 4. Fletcher/Munson vakioäänekkyyssäyrä (Laaksonen 2006)

### 2.2.3 Kriittiset kaistat

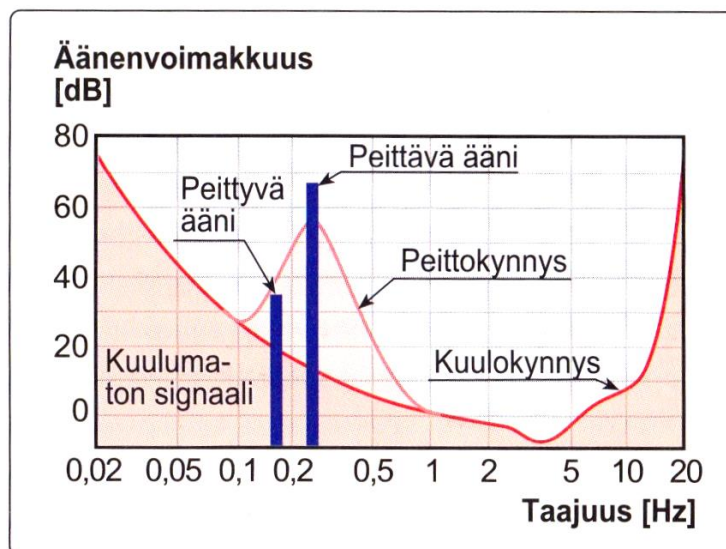
Kuulomme taajuuserottelu vaihtelee eri taajuuksien välillä, ja siihen vaikuttaa myös se, että soivatko äänet erikseen vai yhtä aikaa. Yksittäiset äänet on suhteellisen helppo erottaa toisesta (tämäkin tosin riippuu taajuudesta). Matalien taajuuksien erottelu on melko tarkkaa, ja pystymme erottamaan jopa muutamien hertsien suuruisia korkeuseroja, kun taas korkeammassa äänissä korkeuserojen kuulemiseen vaaditaan jo satojen hertsien ero. (Laaksonen 2006, 30–31.)

Äänten soidessa yhtä aikaa aivomme käsittelee äänet kokonaisuutena, jakaantuen erillisii taajuuskaistoihin, joita kutsutaan myös kriittisiksi kaistoiksi (engl. critical bands). (taulukko 3) Saman kaistan sisällä soivista äänistä voimakkaammin soivat peittävät alleen heikoimmat, ja tällöin emme kuule yhtä aikaa soivia heikoimpia ääniä saman kaistan sisällä ollenkaan. Tästä käytetään nimitystä "Peittoilmiö" (kuvio 5), ja se johtuu si-

säkorvassamme olevan taajuuksia erottelvan Cortin elimen toiminnasta, ja on siis puhtaasti anatominen ominaisuus ihmisen korvassa. (Laaksonen 2006, 30–31.)

TAULUKKO 3. Kuulon kriittiset kaistat (Laaksonen 2006)

Kaista nro	Alaraja (Hz)	Yläraja (Hz)	Leveys (Hz)
0	0	100	100
1	100	200	100
2	200	300	100
3	300	400	100
4	400	510	110
5	510	630	120
6	630	770	140
7	770	920	150
8	920	1080	160
9	1080	1270	190
10	1270	1480	210
11	1480	1720	240
12	1720	2000	280
13	2000	2320	320
14	2320	2700	380
15	2700	3150	450
16	3150	3700	550
17	3700	4400	700
18	4400	5300	900
19	5300	6400	1100
20	6400	7700	1300
21	7700	9500	1800
22	9500	12000	2500
23	12000	15500	3500
24	15500	22050	6550



KUVIO 5. Peittoilmiö (Laaksonen 2006)

## 2.3 Huoneakustiikka

Vapaassa tilassa ääni etenee pallomaisesti joka suuntaan äänilähteestä. Siirryttäessä suhteellisen pieneen tilaan alkaa löytymään äänen etenemiseen vaikuttavia tekijöitä. Kohdatessaan huoneessa seinän tai muun esteen, ääni heijastuu siitä. Mitä korkeampi taajuus on, sitä herkemmin ja pienemmät esteet vaikuttavat siihen. Matalat taajuudet etenevät pallomaisesti esteitä kohdatessakin, joten ne kiertävät helposti isoimpienkin rakenteiden ympäri. Riippuu esteen rakenteesta, koosta ja massasta miten ääni heijastuu siitä. (Laaksonen 2006, 15–16.)

Akustiikasta tietämätön musiikin kuuntelija saattaa helposti syyttää kaiuttimia tai äänentoistojärjestelmää "huonosta äänenlaadusta". Usein puuttuu ymmärrys siitä, miten paljon huoneen ominaisuudet vaikuttavat kuuntelukokemukseen. (Blomberg & Lepoluoto 1991, 14.) Panostamalla siis kaiuttimien sijoitteluun, ja huoneakustiikkaan saa useimmiten paremman lopputuloksen äänentoiston kannalta, kun ostamalla kalleimmat äänentoistolaitteet mitä löytyy.

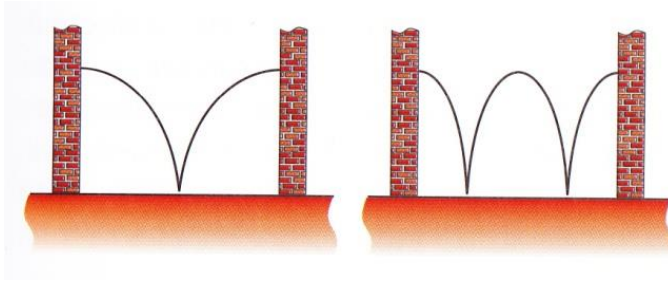
### 2.3.1 Huonemoodit

Huonemoodit (engl. room modes) johtuvat huoneen pinnoista (seinät, lattia ja katto) heijastuneen ja suoran äänen yhdistymisestä toisiinsa joko myötä-, tai vastavaiheessa. Tästä ilmiöstä käytetään myös nimitystä seisova aalto (engl. standing wave). Voimakkain vaikutus huonemoodeilla on silloin, kun huoneen kahden vastakkaisen pinnan välimatka on yksinkertaisessa kokonaislukusuhteessa äänen sisältämän tietyn taajuuden aallonpituuteen tai sen puolikkaaseen. Tällöin kyseinen taajuus ja sen kokonaislukukerrannainen synnyttää huoneen akustiseen taajuusvasteeseen voimakkaita korostumia ja vaimentumia, jotka voivat olla jopa kymmeniä desibelejä. (Laaksonen 2006, 15–16.)

Kuvassa 5 kaareva viiva kuvaa äänen painetasoa seinien välillä. Vasemmanpuoleisessa tilanteessa tietyn taajuisen äänen aallonpituus on tasan puolet seinien välisestä etäisyydestä, jolloin keskelle huonetta syntyy voimakas vaimentuma kyseiselle taajuudelle, tai se ei kuulu lainkaan. Sen sijaan seinien vieressä tämä taajuus kuuluu voimakkaasti. Oikean puoleisessa kuvassa äänen aallonpituus on tasan yhtä suuri kuin seinien välinen etäisyys, minkä seurauksena keskelle huonetta syntyy voimakas korostus, jonka mo-



lemmin puolin on vaimentuma. Seinien lähellä kyseinen taajuus myös kuuluu voimakkaasti. (Laaksonen 2006, 15–16.)



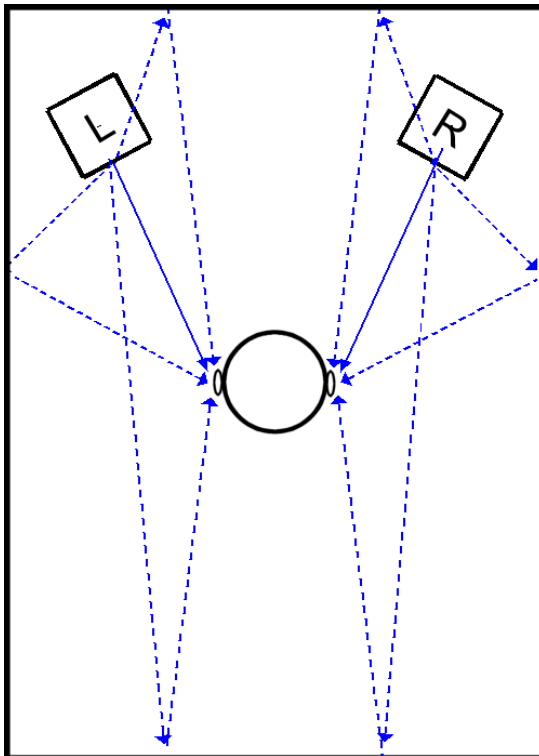
KUVA 5. Huonemoodit (Laaksonen 2006)

Huonemoodit korostuvat varsinkin huoneissa, missä vastakkaiset seinät (tai katto ja lattia) ovat keskenään samansuuntaisia ja hyvin ääntä heijastavia. Eniten moodit vaikuttavat huoneen taajuusvasteessa bassoalueella, koska matalissa äänissä aallonpituudet ovat pitkiä, jolloin yksittäiset moodit ovat voimakkaimmin toisistaan erotettavissa eri paikoissa huoneessa kuunneltaessa. Moodien vaikutusta bassoalueella lisäksi korostaa juurikin äänen matalien taajuuksien ominaisuus edetä äänilähteestä joka suuntaan, ja jopa ohuiden esteiden läpi. (Laaksonen 2006, 15–16.)

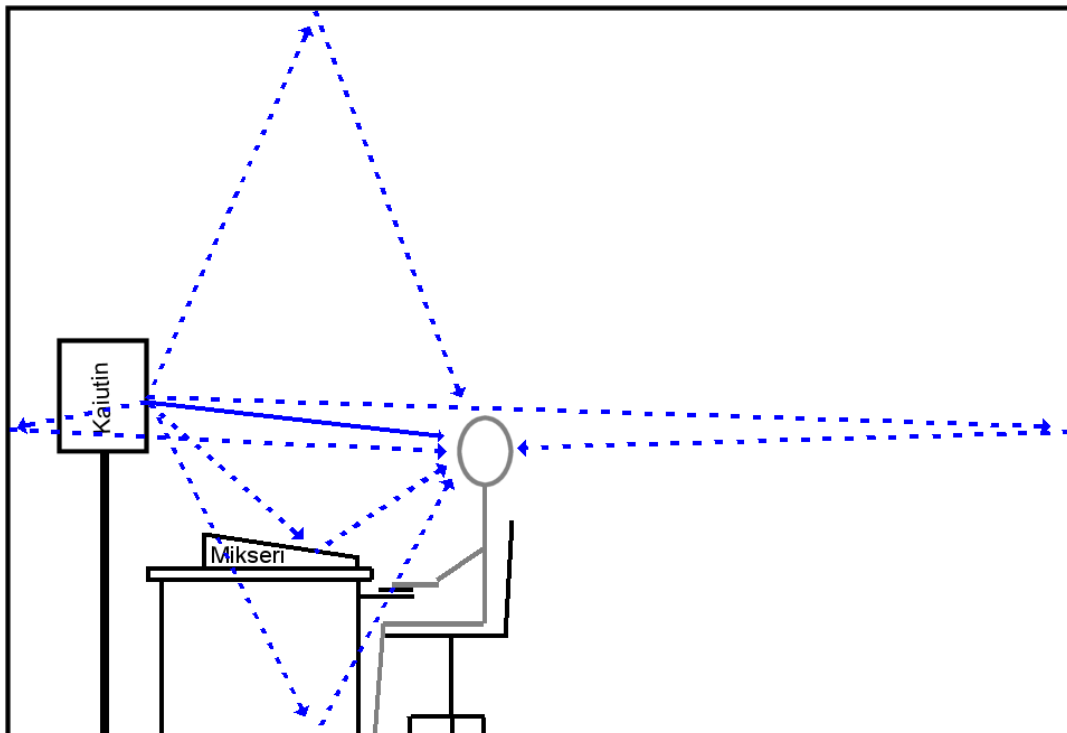
### 2.3.2 Ensiheijastukset

Huoneessa ensiheijastuksilla (kuva 6 ja 7) tarkoitetaan äänen ensimmäisiä heijasteita, jotka yleensä tulevat katosta/lattiasta, seinistä ja vaikka työpöydän eri pinnoista. Nämä heijasteet tulevat yleensä pienellä viiveellä suoraan äänilähteeseen nähden, ja äänen vaihevirheet saattavat tällöin aiheuttaa äänen kumoutumisia/voimistumisia riippuen taajuuskorkeudesta.

Varsinkin äänitarkkaamoissa on tärkeää eliminoida ensiheijastukset, jotta suora ääni välittyisi kuuntelijalle mahdollisin puhtaana ilman vääristymiä. Tehokas tapa vaimentaa ensiheijastuksia on käyttää akustiikkalevyjä niissä kohdissa huonetta, mistä mahdolliset heijasteet syntyvät.



KUVA 6. Ensiheijastukset ylhäältäpäin kuvattuna. L ja R laatikot tarkoittavat vasenta (left) ja oikeaa (right) kaiutinta ja keskellä kuvassa ihmisen pää on kuuntelupiste. Yhtenäiset viivat kuvaavat suoraa ääntä, kun taas katkoviivat ensiheijastuksia huoneen seinistä. (Kuva: Mikael Sjöman 2014)



KUVA 7. Ensiheijastukset sivultapäin kuvattuna. (Kuva: Mikael Sjöman 2014)

### 2.3.3 Jälkikaiunta

Jälkikaiunta (engl. reverberation) tarkoittaa hajallista äänikenttää, joka syntyy äänen moninkertaisista heijasteista huoneen eri pinnoista, ja niistä aiheutuvien viiveiden yhdistelmästä. Kaiunnan pituuden mittaamiseen käytetään perinteisesti RT60-arvoa, millä tarkoitetaan aikaa (sekunneissa), jonka kuluessa äänikentän voimakkuus on pudonnut 60 desibeliä. (Laaksonen 2006, 18–19.)

Harvardin yliopiston akustiikkatutkijan professori Wallace Sabinen (1868–1919) mukaan nimetyn ns. Sabinen kaavaa käytetään jälkikaiunta-ajan arviointiin (Vigran 2008, 104). Kaavalla pystytään laskemaan melko tarkkaan varsinkin suurempien tilojen jälkikaiunta-aikoja. Sabinen kaava:

$$RT_{60} = \frac{0,161 V}{A}$$

<b>RT<sub>60</sub></b>	(reverberation time)	= jälkikaiunta-aika sekunteina
<b>V</b>	(volume)	= huoneen tilavuus kuutiometreinä
<b>A</b>	(area)	= huoneen kokonaisvaimennus (absorptio-ala)

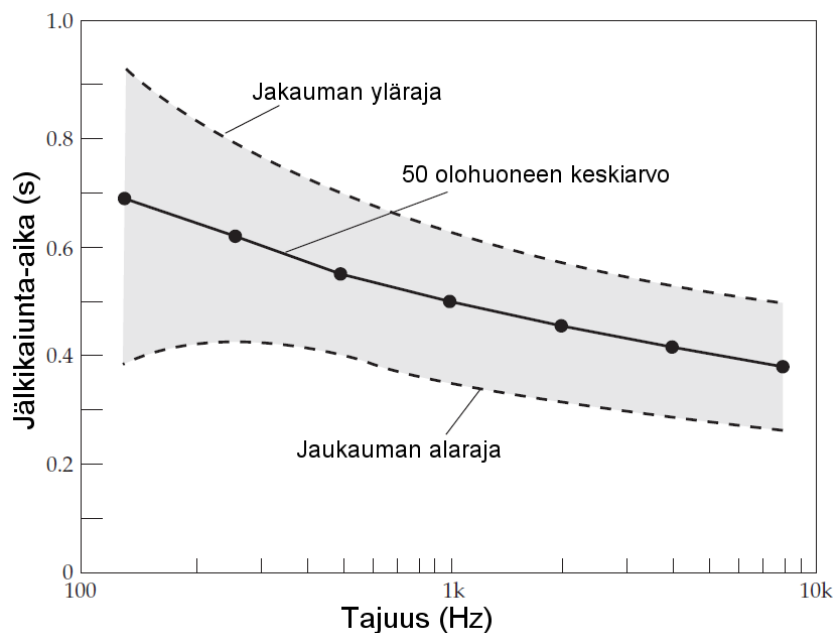
Kaavassa tekijä **A** (kokonaisvaimennus) voidaan laskea summana ( $x + S$ ), jossa  $x$  = seinäpinnan vaimennuskerroin (engl. absorption coefficient) ja  $S$  = seinien kokonaispinta-ala neliökilometreinä. (Laaksonen 2006, 18–19.)

Sabinen mukaan täydellisesti ääntä imevän materiaalin vaimennuskerroin on 1 (vaimennuskyky on saman kuin yhden neliömetrin suuruisen avoimen ikkunan vaimennus). Vaimennuskykyä mitataan sabine-nimisellä yksiköllä. Seinäpintojen vaimennuskerroin on käytännössä aina pienempi kuin 1. Mitä pienempi kerroin on, sitä enemmän pinta siis heijastaa ääntä. Lisäksi vaimennuskertoimeen vaikuttaa pintamateriaalin lisäksi myös äänen taajuus. Taulukossa 4 on joitakin yleisimpien rakennusaineiden vaimennuskertoimia 125Hz ja 4kHz taajuuksilla ilmoitettuna. (Laaksonen 2006, 18–19.)

TAULUKKO 4. Sabine kaavan vaimennuskertoimia (Laaksonen 2006)

Rakennusmateriaali	125 Hz	4 kHz
Tiiliseinä	0,05	0,05
Karkea betoni	0,36	0,25
Maalattu betoni	0,01	0,08
50mm mineraalivilla	0,2	0,8
Puulattia	0,15	0,07
Muovilattia	0,03	0,05
6mm lasi	0,1	0,02

Tarkkaamoissa ja kuuntelutiloissa ihanteellinen tilanne, on että jälkikaiunta-ajat eri taajuuksilla eivät poikkeaisi toisistaan kovin paljoa. Kuviossa 6 on Jacksonin ja Leventhalin jälkikaiunta-ajan mittaukset 50 brittiläisen olohuoneesta käyttäen äänen oktaavikais-toja. Keskimääräinen jälkikaiunta-aika laskee 125 Hz:n 0,69 sekunnista 8 kHz:n 0,4 sekuntiin. Tämä on huomattavasti korkeampi, kuin BBC:n ääniteknikoiden 16 olohuoneen mittausten tulokset, missä keskimääräinen jälkikaiunta-aika oli 0,35s - 0,45s. Sound On Sound lehden akustiikkaan liittyvän artikkelin mukaan äänitarkkaamon ihanteellinen jälkikaiunta-aika on n. 0,3 sekunnin tietämällä. (SOS 1998, Practical acoustic treatment, part3).



KUVIO 6. Viidenkymmenen brittiläisen olohuoneen jälkikaiunta-aikojen keskiarvo. (Everest & Pohlmann 2009)

### 3 HUONEEN AKUSTOINTI

#### 3.1 Äänitarkkaamo

Äänitarkkaamoiden akustinen suunnittelu on täysin omaa luokkaansa. Tarkoituksena on tuottaa kuuntelu-, miksausasteeseen korkeatasoinen äänentoisto. Rakenteelta ja suorituskyvyltään kuunteluhuone on lähellä äänitarkkaamo, mutta ne eroavat toisistaan yhdellä tärkeällä ominaisuudella: Kuunteluhuoneessa tärkein tekijä on miellyttävä kuuntelukokemus, kun taas äänitarkkaamossa se on huippuunsa hiottu äänentoisto. (Everest & Pohlmann 2009, 355.)

Äänitarkkaamo on työskentely-ympäristö, missä äänentoiston tarkkuus on erittäin isossa roolissa. Ääniteknikko tekee kaikki ratkaisut äänittäessä ja miksatessa perustuen huoneen akustiikan ja kaiuttimien tuottamaan ääneen. Tarkkaamon äänentoiston ollessa epäluotettava, on nauhoitusvaiheessa tehdyt päätökset vaikea korjata jälkikäteen. Oteetaan esimerkiksi tarkkaamo, missä bassotaajuudet ovat ylikorostuneita miksausasteessa. Tällöin ääniteknikko saattaa virheellisesti laskea bassotaajuuksien tasoa äänityksessä, jolloin tarkkaamossa tehtyihin nauhoituksiin saattaa tulla liian vähän bassotoistoa. (Everest & Pohlmann 2009, 355.)

#### 3.2 Akustiikkaelementtien rakentaminen

Tiesin alkumittausten ja kuuntelukokemusten perusteella, että varsinkin matalien taajuuksien jälkikaiunta-aikoja piti saada lyhemmiksi. Lisäksi ennen akustointia musiikkia kuunneltaessa oli selkeästi havaittavissa huoneen ”soiminen”, eli huoneen liian pitkä jälkikaiunta äänityöskentelyyn sopivaksi. Tarkoituksena oli rakentaa bassoansat matalien taajuuksien kuriin saamiseen ja jälkikaiunta aikojen lyhentämiseen, sekä akustiikkalevyjä ensiheijasteiden vaimentamiseen.

### 3.2.1 Akustoitava huone

Huone mitä olin muuntamassa äänitarkkaamoksi oli asuinhuoneistoni olo/makuuhuone. Huoneen mitat olivat 3,7 x 5,1 x 2,6m (leveys x pituus x korkeus). Ennen akustointia huoneessa oli mm. vaatekaappi, sänky, sohva, kirjahylly yms., jotka myös osaltaan vaikuttivat huoneen akustisiin ominaisuuksiin.

### 3.2.2 Bassoansat

Aloitin akustiikkaelementtien rakentamisen bassoansoista, koska tiesin niiden tekemiseen menevän eniten aikaa. Mittasin ensin huoneesta korkeuden, minkä mukaan suunnitelin ja tein luonnokset bassoansoista. Elementtien kehykset tein 15x45mm mäntylis-toista, ja pohjan/katon 10mm koivuvanerista. Kiinnitin osat toisiinsa ruuveilla, ja lisäksi laitoin liimaa kaikkiin saumakohtiin vahvistamaan liitosta. (kuvat 8 ja 9).



KUVA 8. Bassoansan kehyksen liitoskohta (Kuva: Mikael Sjöman 2013)



KUVA 9. Bassoansan kehikko (Kuva: Mikael Sjöman 2013)

Päädyin tekemään huoneen molempiin etukulmiin suorakulmaisen kolmion muotoiset 3 x 85cm (yht. 255cm) korkeat bassoansat, jolloin huonekorkeus 260cm täyttyi lähes kokonaan. Jätin hieman pelivaraa huonekorkeuden suhteen, jotta elementit olisi helpompi kasata päällekkäin. Jaoin bassoansat kolmeen osaan sen takia, että niiden käsittely ja liikuttelu olisi sujuvampaa esim. muuton yhteydessä.

Valmiiden kehikoiden täyttämiseen käytin Paroc:n cos5 1200x600x50mm kivivillaeristelevyjä. (kuva 10) Päädyin tähän materiaalin, koska olin kuullut akustiikka-alan ammattilaiselta, että kivivillaeriste on tehokas matalien taajuuksien vaimentamiseen.





KUVA 10. Paroc cos5 kivivillaeriste (Kuva: Mikael Sjöman 2013)

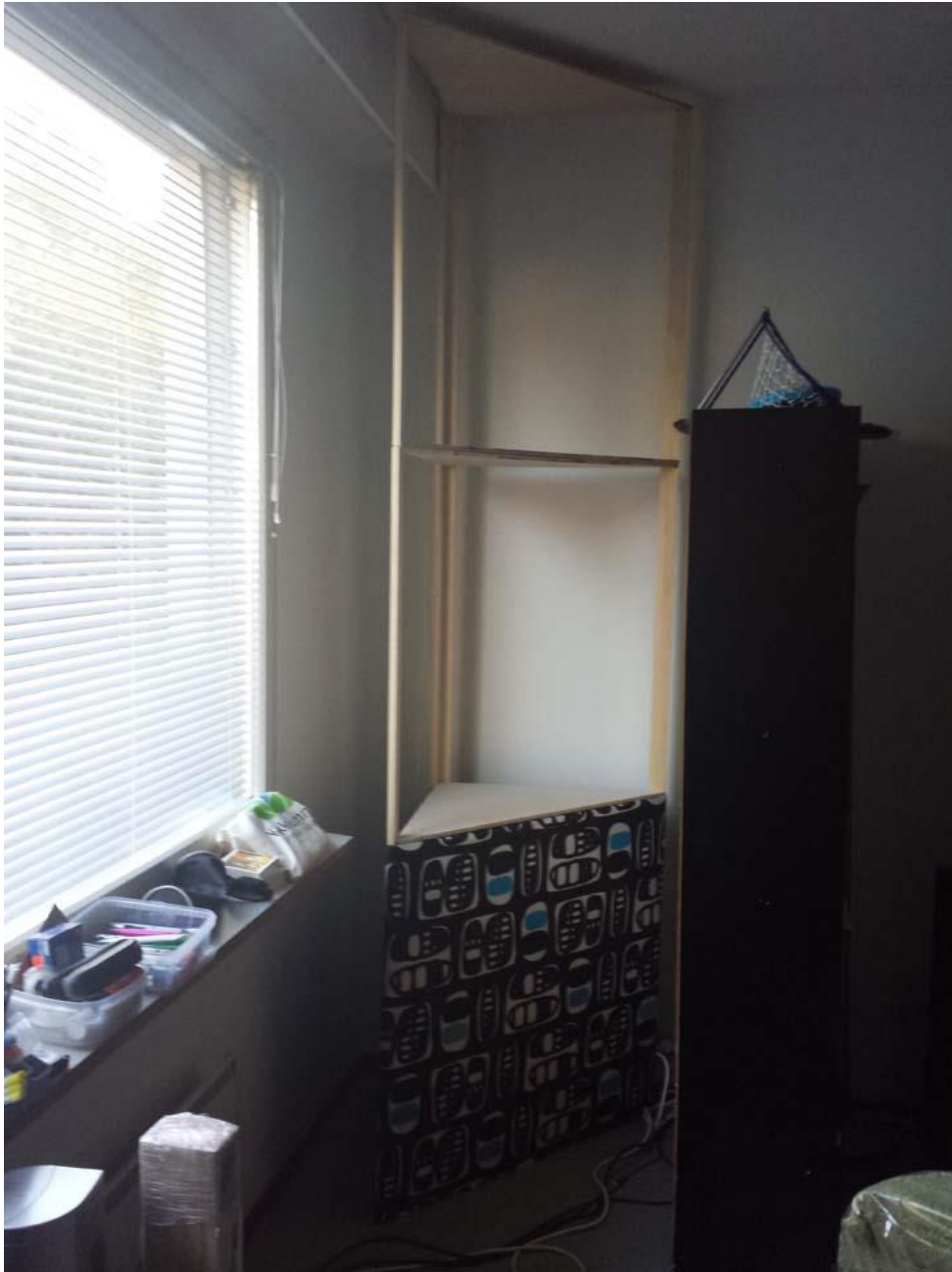
Yhdessä paketissa oli 7 kpl (600x1200x50mm) levyjä, ja yhdestä levystä sai leikattua 4kpl suorakulmaisia kolmiota joiden kateetit olivat 600mm. Päätin tehdä bassoansoista juuri näiden kolmioiden kokoisia, jotta levyistä ei jäisi turhia hukkapaloja. Yhteensä 85cm korkeaan elementtiin meni 17 kpl näitä 50mm paksuisia kolmiota päällekkäin. (kuva 11)



KUVA 11. Bassoansan täyttäminen eristemateriaalilla (Kuva: Mikael Sjöman 2013)



Kuvassa 12 on toisen kulman 3 bassoansaa päällekkäin. Alimmainen elementti valmiina, ja kahdesta ylemmästä puuttuu vielä sisukset ja verhoilu.

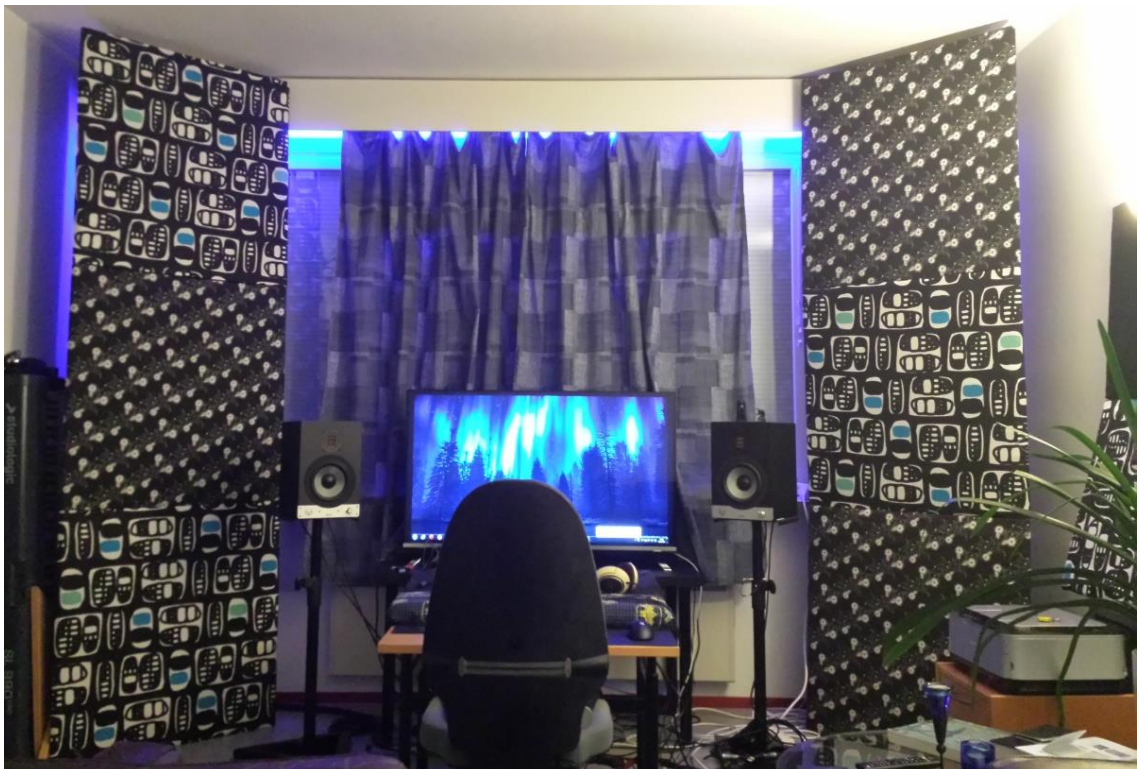


KUVA 12. Bassoansat rakennusvaiheessa (Kuva: Mikael Sjöman 2013)

Kaiken kaikkiaan molempien kulmien bassoansoihin meni yhteensä 102 kpl 50mm paksumia suorakulmaisia kolmioita. Joten vajaa 4 pakettia (600x1200x350mm) Paroc cos5 kivivillaeristettä meni yhteensä bassoansojen rakentamiseen. Valmiit kivivillalla täytetyt elementit verhoilin vielä sopivilla puuvillakankailla. Yhdelle 85cm korkealle elementille painoa kertyi n. 14,5kg. (kuvat 13 ja 14)



KUVA 13. Valmis bassoansan elementti (Kuva: Mikael Sjöman 2013)



KUVA 14. Bassoansat valmiina huoneen etukulmissa (Kuva: Mikael Sjöman 2014)

Valitsemani kankaat ovat sopivasti ”hengittäviä”, jotta ääniaallot pääsevät kulkeutumaan kankaan läpi eristävään materiaaliin, mutta kuitenkin tarpeeksi tiiviitä estämään kivivillakuitujen leviämistä huoneilmaan.

### 3.2.3 Akustiikkalevyt

Ylijääneistä kivivilloista tein akustiikkalevyt ensiheijastuksia varten. Laittamalla yhden 600x1200x50mm levyn keskeltä kahtia, sain kätevästi 2kpl 600x600x50mm levyä. Verhoilin levyt samoilla kankailla, kuin bassoansatkin. (kuva 14) Tämän kokosiin akustiikkalevyihin ei tarvinnut erikseen kehyksiä, koska Parocin cos5 kivivillaeriste on sen verran ”jäykkää” rakenteeltaan, että kankaalla päällystettynä se pysyy itsessään hyvin muodossa.



KUVA 14. Valmis 600x600x50mm akustiikkalevy (Kuva: Mikael Sjöman 2014)

Akustiikkalevyt sijoitin huoneessa kohtiin, missä ääni heijastuu takaisin suoraan kuuntelupisteeseen: Kattoon, ja oikeanpuoleiselle seinälle. Tarkoituksena oli siis vaimentaa ensiheijastuksia. Vasemmalla puolella ensiheijastetta ei synny, koska siinä kohtaa on oviaukko keittiösyvennykseen.

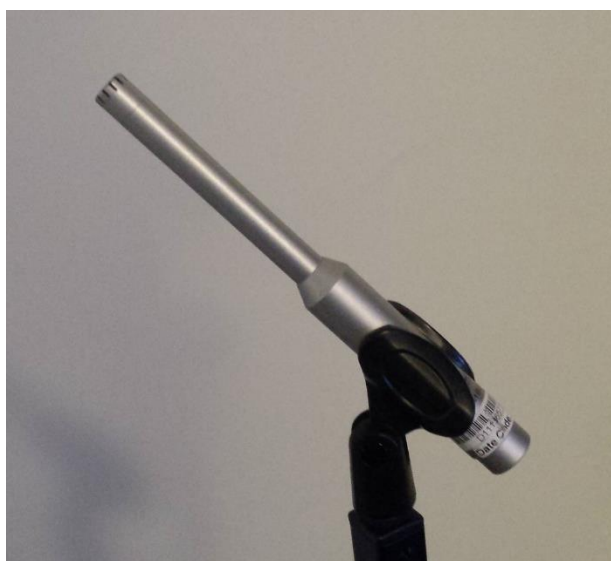


## 4 MITTAUSTULOKSET

### 4.1 Mittauslaitteisto

Käytin huoneakustiikan mittauksissa REW (Room EQ Wizard / versio 5,01 Beta 23 build 3500) ohjelmaa. REW:n voi ladata ilmaiseksi rekisteröitymällä Home Theater Shack:n keskustelufoorumille (<http://www.hometheatershack.com/forums/>). Itse käytin ohjelmaa Windows 7 pohjaisella PC-tietokoneella. REW toimii myös Windows XP/8/8.1 ja Mac OS X (10.7.3 tai uudemmalla versiolla). Äänikorttina tietokoneessa oli RME Babyface, ja kaiuttimina Eve Audion SC207 aktiivimonitorit.

Huoneen mittaukset tein kalibroidulla Behringer ECM8000 mittamikrofonilla. (kuva 15) Edullisen hinnan vuoksi Behringer ECM8000:n taajuusvaste saattaa olla hieman poikkeava riippuen yksilöstä, minkä takia tilasin omani akustiikkamittauksiin erikoistuneelta Spectrum Labs:lta (<http://www.cross-spectrum.com>). Mittamikrofoni oli siis normaali ECM8000, mutta Cross Spectrum Labs:lta sai tilattua mikrofonin mukana yksilöidyt calibrointitiedostot USB-tikulla, jotka pystyi sitten lataamaan suoraan REW-ohjelmaan. Käytännössä Cross Spectrum Labs mittasi siis ECM8000:n taajuusvasteen ”virhepoikkeamat” valmiiksi, ja toimitti mikrofonin mukana taajuusvasteen korjaavat calibrointitiedostot. Tällöin pystyin luottamaan erikseen tilatun ECM8000:n antamiin tuloksiin omassa akustiikkamittauksissani.



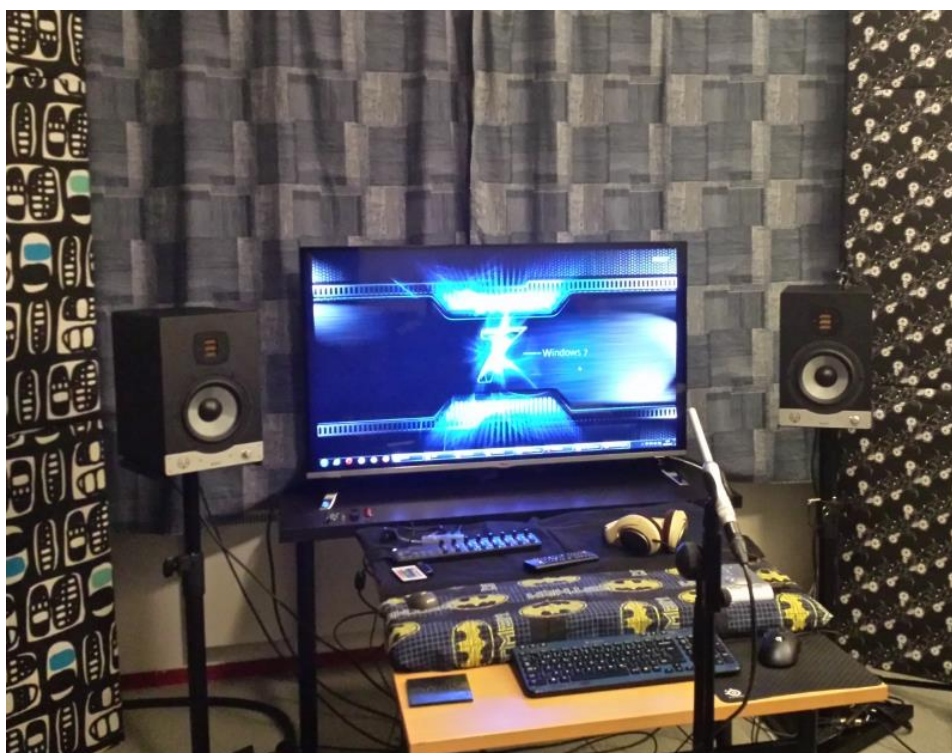
KUVA 15. Behringer ECM8000 mittamikrofoni (Kuva: Mikael Sjöman 2014)

## 4.2 Akustiikkamittaukset

Ennen varsinaisia mittauksia tein valmistelevia mittauksia, missä hain kaiuttimille optimaaliset paikat mahdollisimman tasaisen taajuusvasteen saavuttamiseksi akustoimattomassa huoneessa. Pienessä asuinhuoneessa mahdollisuudet kaiuttimien/työpisteen sijoitteluun olivat rajalliset. Päädyin lopulta laittamaan kaiuttimet olohuoneen ikkunan puoleiselle seinälle, koska taajuusvaste oli alkumittaustenkin perusteella tasaisin sillä puolella, ja ratkaisu tuntui myös sopivalta muiden huonekalujen sijoittelun suhteen.

Varmistin vielä, että kaiuttimet olivat keskenään yhtä kaukana seinistä ja keskellä huonetta sivuttaissuunnassa. Huoneen suuntainen symmetrinen sijoittelu tuntui hyvältä lähtökohdalta myös akustiikan kannalta, vaikkakin huoneessa olikin muodollisia poikkeamia johtuen esim. erillisestä keittiösyvennyksestä vasemmalla puolella kuuntelupistettä.

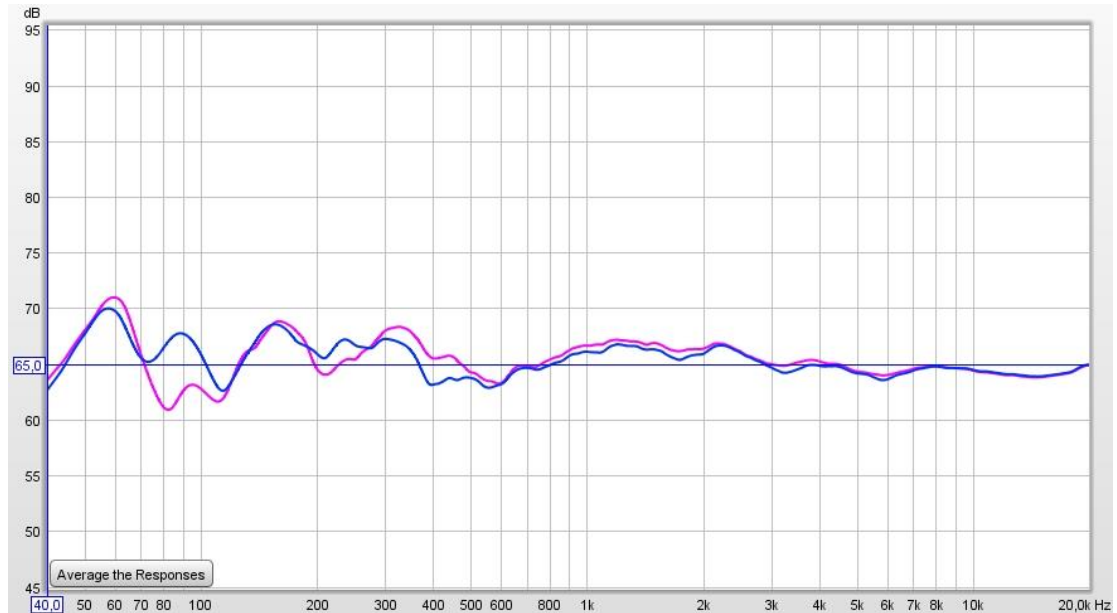
Varsinaisissa mittauksissa asetin mittamikrofonin samaan kohtaan/korkeudelle, mihin työpisteellä istuessa henkilön pään/korvien keskipiste asettuu. Mikrofoni oli sivusta katsottuna n. 45 asteen kulmassa osoittaen eteenpäin. (kuva 16)



KUVA 16. Mittaukset käynnissä (Kuva: Mikael Sjöman 2014)

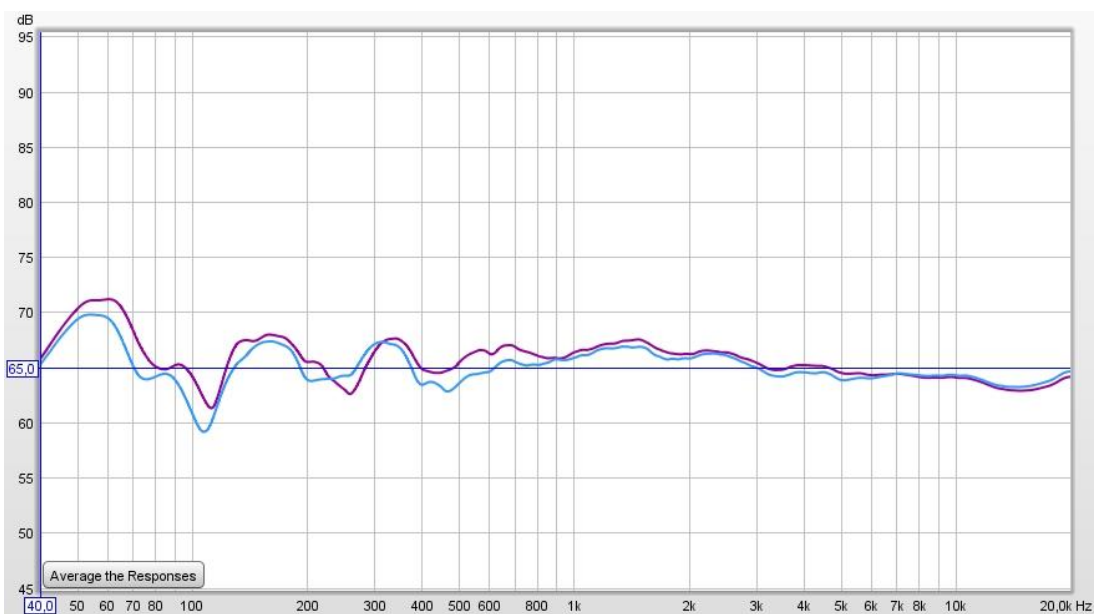
### 4.2.1 Taajuusvaste

Kuvassa 17 on vasemman kaiuttimen taajuusvaste 1/3 oktaavin tasoituksella. Violetti käyrä on ennen akustointia ja sininen akustoinnin jälkeen. Vasemman kaiuttimen taajuusvaste tasoittui jonkun verran. Isoin ero oli 70-100 Hz taajuusalueella, missä muutos oli n. 5-7dB.



KUVA 17. Vasemman kaiuttimen taajuusvaste ennen (violetti)/jälkeen (sininen). (Kuva: Mikael Sjöman 2014)

Oikean puolen kaiuttimen taajuusvasteessa muutokset olivat pienempiä, mutta isommalta taajuusalueella. Alempi taajuuskaista 50-800Hz laski lähes kauttaaltaan n. 2dB.

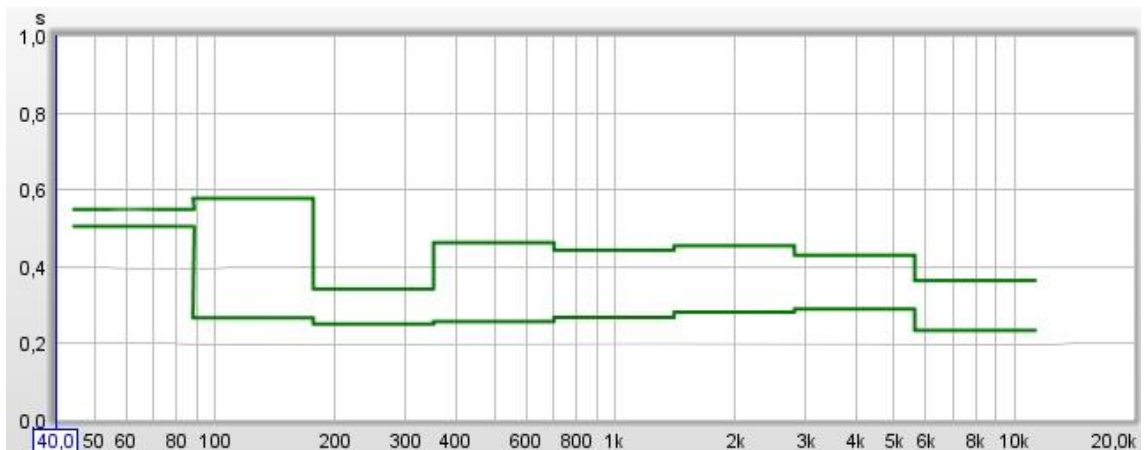


KUVA 18. Oikean kaiuttimen taajuusvaste ennen (violetti), ja jälkeen (sininen) akustoinnin. (Kuva: Mikael Sjöman 2014)

#### 4.2.2 Jälkikaiunta-aika (RT60)

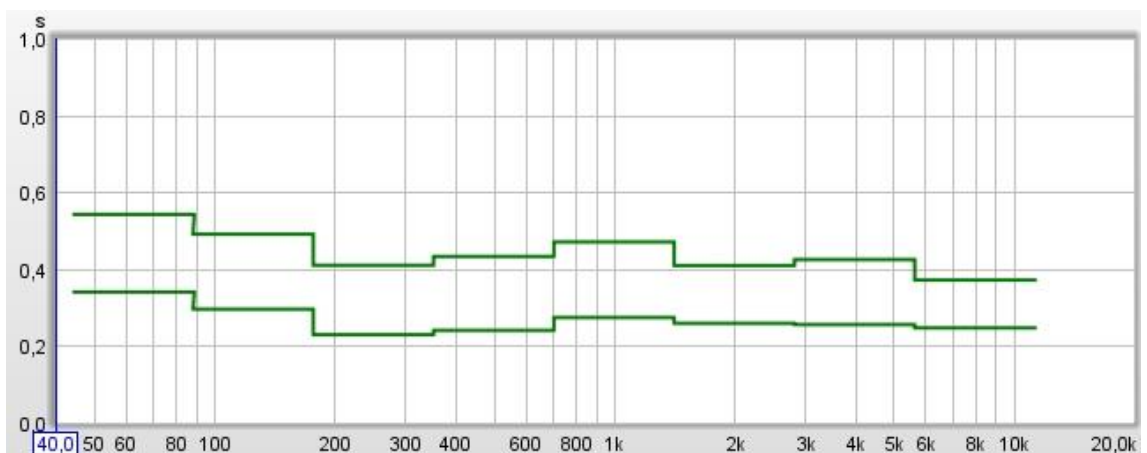
Selkeimmät muutokset akustoinnin vaikutuksesta äänentoistoon oli havaittavissa jälkikaiunta-ajoissa. Molempien kaiuttimien jälkikaiunta laski huomattavasti huoneessa. Eron näkee hyvin RT60 arvojen jopa puolittuessa joillakin taajuuksilla. Ylempi viiva on ennen akustointia, ja alempi akustoinnin jälkeen.

Vasemman kaiuttimen RT60-arvot laskivat 200Hz - 10kHz välillä n. 0,2s. Eniten laski 100-200Hz alue, n. 0,3s. (kuva 19)



KUVA 19. Vasemman kaiuttimen RT60. (Kuva: Mikael Sjöman 2014)

Oikean kaiuttimen RT60-arvot laskivat huoneessa tasaisesti koko taajuusalueella n. 0,2s. (kuva 20) Lopulta molempien kaiuttimien RT60-arvoksi tuli siis n. 0,25 – 0,35s lukuunottamatta vasemman kaiuttimen alimpia taajuuksia, jotka jäivät n. 0,5 s.



KUVA 20. Oikean kaiuttimen RT60. (Kuva: Mikael Sjöman 2014)

## 5 MUSIIKKINÄYTTEET ENNEN/JÄLKEEN

Äänitin huonetta soittamalla kaiuttimista itse tekemiäni musiikkinäytteitä. (liite 1) Tein nauhoitukset ennen akustointeja, ja akustiikkamenttien kanssa, jotta voisi kuulla miten akustointi vaikuttaa huoneeseen. Näytteet kannattaa kuunnella studio/ammattitason kuulokkeilla. Kaiuttimilla kuunneltaessa nauhoitusten idea menee hukkaan, koska tällöin kuultavaan ääneen vaikuttaa myös tila, missä kuunnellaan. Tarkoitus näillä nauhoituksilla oli siis simuloida tilannetta, että kuuntelija istuisi itse tämän opinnäytetyön huoneen kuuntelupisteessä ennen akustointia ja akustoimisen jälkeen.

Käytin nauhoituksiin stereomikitystekniikkaa, missä 2 mikrofonia (Behringer ECM8000) oli n. 17cm etäisyydellä (n. ihmisen korvien väli) toisistaan. Sijoitin mikrofonit huoneen kuuntelupisteeseen samalle korkeudelle/kohtaan, mihin kuuntelijan korvat tulee istuttaessa työpisteessä.

Tein nauhotetuista musiikkinäytteistä myös videon (liite 2), minkä avulla pystyy helposti havainnoimaan akustoitamattoman ja akustoidun huoneen erot. Videossa vaihtuu kuvat samaan aikaan musiikkinäytteiden kanssa. Kuvista näkee milloin kuullaan akustoitonta ja milloin akustoitua huonetta jne. Videota katsoessa kannattaa myös käyttää kuunteluun laadukkaita kuulokkeita, ja samasta syystä kuin tämän sivun ensimmäisessä kappaleessa kerrottiin.

Selkeimmin musiikkinäytteistä erottaa juuri jälki-kaiunnen lyhenemisen huoneessa. Lisäksi äänityksistä pystyy huomaamaan bassotaajuksien selkeytymisen sointiaikojen lyhentyessä.



## POHDINTA

Huoneen akustiikan parantaminen onnistui lähtökohdat huomioon ottaen mainiosti. Työn edetessä oppi paljon uutta, ja kaiken kaikkiaan lopputulos vastasi odotuksia. Akustiikkaelementtien rakentaminen ja suunnittelu olivat mieluisaa puuhaa. Valmiin huoneen kuuntelukokemusten ja mittausten perusteella normaalista asuinhuoneesta pystyi siis itsehdyillä akustiikkaelementeillä saamaan siedettävän äänityöskentelytilan. Oli jopa hieman yllättävää, miten paljon jälki-kaiunta ajat tippuivat huoneessa bassoansoilla ja muutamalla akustiikkalevyllä. Parannettavaa jäi vielä valmiin huoneen taajuusvasteisiin, joiden muutokset oli odotettua pienempiä.

Projektin edetessä tuli mieleen ideoita, miten työstetyn huoneen akustiikkaa pystyisi vielä parantamaan. Rakentamalla lisää bassoansoja huoneen muihin kulmiin (esim. ikkunan ylä-, ja alapuolen kulmat ja takayläkulmat) voisi kuuntelupisteen taajuusvasteesta saada vieläkin tasaisemman, varsinkin basso/alakeskitaajuuksien 60Hz ja 125Hz – 175Hz osalta. Lisäämällä vaimentavia materiaaleja huoneeseen pitäisi kuitenkin ottaa huomioon, ettei huoneesta tulisi diskanttiäänien osalta ”tunkkainen”, eli liian kaiuton. Tarpeen vaatiessa joihinkin akustiikkaelementteihin voisi miettiä kankaaksi osittain heijastavaakin materiaalia.

Tulevaisuudessa aionkin vielä jatkaa erilaisten akustisten ratkaisujen kokeiluja, ja omien elementtien rakentelua. Suunnitteilla onkin tehdä mm. diffuusoreita (äänenhajoittaja). Seuraavaksi kiinnostaisi lähteä tutkimaan miten pelkästään musiikin kuuntelua varten suunniteltu huone poikkeaisi akustisilta ominaisuuksilta tarkkaamuhuoneesta. Olisi myös mielenkiintoista päästä mittailemaan ammattistudioiden tarkkaamoita ja isompia tiloja, kuten konserttisaleja.

## LÄHTEET

Blomberg E. & Lepoluoto A. 1991. Audiokirja. 1. painos. Espoo: Tapiolan Viestintäsuunnittelu Oy

Everest, F. & Pohlmann, K. 2001. Master Handbook of Acoustics. 5. painos. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.

Harris, B. 2009. Home Studio Setup: Everything You Need to Know from Equipment to Acoustics. 1. painos. Burlington: Focal Press

Howard, D. & Angus, J. 2009. Acoustics and Psychoacoustics. 4. painos. Oxford: Elsevier

Laaksonen, J. 2006. Äänityön kivijalka. 1. painos. Helsinki: Idemco Oy

Newell, P. 2008. Recording Studio Design. 2. painos. Oxford:Elsevier

Nisbett, A. 2003. Sound Studio: Audio Techniques for Radio, Television Film and Recording. 7. painos. Burlington: Focal Press

Rossing, T. D. 2007. Springer Handbook of Acoustics. 1. painos. New York: Springer

Rossing, T., Moore, R. & Wheeler, P. 2002. The Science of Sound. 3. painos. San Francisco: Addison Wesley

Sound On Sound. 1998. Practical Acoustic Treatment, part 3. Luettu 5.12.2014. [http://www.soundonsound.com/sos/sep98/articles/acoustic\\_3.html](http://www.soundonsound.com/sos/sep98/articles/acoustic_3.html)

Vigran T. E. 2008. Building Acoustics. 1. painos. Abingdon: Taylor & Francis

## LIITTEET

### Liite 1. Musiikkinäytteet

- Kaksi äänitiedostoa nauhoitettuna ennen ja jälkeen huoneen akustoinnin. Momentit sisältävät samat musiikkinäytteet kolmesta eri tyylisestä kappaleesta.
- Musiikit ennen.wav
- Musiikit jälkeen.wav

### Liite 2. Video musiikkinäytteiden vertailuun

- Musiikkinäytteiden vertailu.mov