

Matti Suvela

## Akustiikkaelementit – mihin niitä tarvitaan?

Akustoinnin vaikutuksen selvittäminen UKKOstudion  
äänitarkkaamossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Musiikintuottaja  
Pop/jazzmusiikki  
Opinnäytetyö  
25.11.2010

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Matti Suvela Akustiikkaelementit – mihin niitä tarvitaan? Akustoinnin vaikutuksen selvittäminen UKKOstudion äänitarkkaamossa 49 sivua + 2 liitettä 25.11.2010
Tutkinto	Musiikintuottaja
Koulutusohjelma	Pop/jazzmusiikki
Suuntautumisvaihtoehto	Muusikko
Ohjaaja(t)	Jukka Väisänen Janne Viksten
<p>Tutkimukseni tavoite oli selvittää akustoinnin vaikutusta UKKOstudion äänitarkkaamossa kartoittamalla studion akustiikkaelementtien vaikutusta tilan sointiin. Tutkimukseni avulla pyrin selvittämään tarkkaamon akustoinnin tehokkuuden ja löytämään keinoja tilan akustisen soinnin parantamiseen.</p> <p>Äänitarkkaamon akustoinnin vaikutusta tutkittiin tekemällä tilan akustisesta soinnista vertailua ilman akustiikkaelementtejä ja akustiikkaelementtien kanssa. Sointi todennettiin tekemällä akustisia mittauksia huoneessa ja tallentamalla ääninäytteitä. Mittaus toteutettiin käyttäen huonemittauksia varten suunniteltua tietokoneohjelmistoa "Room EQ Wizard". Kattavan mittausaineiston aikaansaamiseksi mittaus suoritettiin käyttämällä kolmea eri mittausmenetelmää; sweep-mittausta, kohinamittausta ja musiikkinäyttemittausta. Mittaustulokset koostettiin kuvaajiin ja ääninäytteistä tehtiin cd-levy.</p> <p>Akustiikkaelementtien huomattavin vaikutus tilan akustiseen sointiin oli tarkkaamon jälkikaiunta-ajan merkittävä lyheneminen. Lisäksi elementit vaikuttivat huoneen taajuusvasteeseen vähentämällä alakeskialueen korostumaa ja kirkastamalla diskanttialuetta. Musiikkinäyttemittauksessa akustiikkaelementit tasoittivat huoneen bassoalueen sointia selvästi ja saivat musiikin kuulostamaan selkeämmältä. Musiikkiääninäytteitä kuunneltaessa suurimmat erot akustoimattoman ja akustoidun huoneen välillä olivatkin soinnin selkeys ja läheisyyden tuntu. Akustoimattomassa huoneessa tallennettu musiikkikappale kuulosti etäisemmältä ja vaikeaselkoisemmalta.</p> <p>Mittaustuloksista kävi ilmi, että tarkkaamon taajuusvasteessa on huomattava vaimentuma yläbassoalueella, johon huoneen akustoinnilla ei ollut vaikutusta. Tarkkaamon diskanttialue on mittaustulosten perusteella ihanteelliseen sointiin verrattuna hieman vaimentunut. Mittaukset antoivat kallisarvoista tietoa studion akustoinnin laadusta, mikä tulee tulevaisuudessa vaikuttamaan käytännön työskentelyyn studion jatkoakustoinnin myötä.</p>	
Avainsanat	akustiikka, tarkkaamo, studio, äänitysstudio, akustointi

Author(s) Title Number of Pages Date	Matti Suvela Acoustic treatment – what is it good for? Researching the impact of the acoustic treatment of UKKO studio's control room 49 pages + 2 appendices 25 Nov 2010
Degree	Music Producer
Degree Programme	Pop/Jazz Music
Specialisation option	Bachelor of Music
Instructor(s)	Jukka Väisänen Janne Viksten
<p>The primary aim of my study was to determine the impact of the acoustic treatment in UKKO studio's control room by researching the influence of the acoustic treatment to the sound of the room. With this research I wanted to define the efficiency of the acoustic treatment and explore ways to enhance the sound quality of the room.</p> <p>The influence of the acoustic treatment was analyzed by making a comparison of the room sound with and without the treatment. The sound of the room was verified by making acoustic measurements and recording audio samples. The measurements were made with the room measurement software "Room EQ Wizard". To achieve comprehensive data three different measurement types were applied; sweep, noise and sample music. The results of the measurements were gathered into diagrams and the recorded audio samples were compiled to a CD.</p> <p>The main result was that the acoustic treatment shortened the room reverberation time remarkably. In addition the treatment affected the frequency response of the room slightly by decreasing the low-middle boost and brightening the treble frequencies. In the sample music measurement the acoustic treatment evened out the bass response and enhanced clarity. By listening to the recorded audio samples the main differences between the treated and untreated room were sound clarity and presence. The sample music recorded in the untreated control room sounded distant and unclear.</p> <p>The measurement results pointed out that there was a single frequency in the upper bass frequencies of the control room that was not affected by the acoustic treatment. The treble frequencies of the control room are slightly damped compared to an optimal level. The research gave out critical information about the state of the acoustic treatment of the studio, and will affect working in the studio in the future, as the treatment will be improved.</p>	
Keywords	acoustics, control room, studio, recording studio, acoustic treatment

## Sisälllys

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimustavoite	1
1.2	Tutkimuskohde	1
1.3	Tutkimusmenetelmät	4
2	Akustiikka	8
2.1	Mitä ääni on?	8
2.2	Äänen rakenne	9
2.3	Äänen käyttäytyminen tilassa	16
2.4	Akustiikan määritelmä	16
3	Äänitarkkaamon akustiikka	18
3.1	Tarkkaamo	18
3.2	Akustointi	19
3.2.1	Absorberit	20
3.2.2	Diffusorit	23
3.3	Tilanmittaustekniikka	24
4	Mittaustulosten esittely	27
4.1	Tutkittava tila ilman akustointia	28
4.2	Tutkittava tila akustoinnin kanssa	33
5	Tulosten tarkastelu	39
5.1	Jälkikaiunta-aika	39
5.2	Taajuusvaste	43
5.3	Miten musiikki soi huoneessa?	46
6	Pohdinta	47
	Lähteet	49
	Liitteet	
	Liite 1. Mittaustulokset	
	Liite 2. Tallennetut ääninäytteet	

# 1 Johdanto

Studiotyöskentelyyn liittyvät vahvasti äänen fysikaaliset ilmiöt ja niiden ymmärtäminen. Studiotyössä kohtaa usein akustiikkaan liittyviä ongelmia, ja akustointi muodostuu usein keskeiseksi tekijäksi hyvien työskentelyolosuhteiden saavuttamiseksi studion tarkkaamossa. Tutustuin äänen eristämiseen ja äänen heijastumisen ominaisuuksiin omaa studiota suunnitellessani ja rakentaessani. Studion valmistuttua sen tarkkaamoon asennettiin pikaisesti erilaisia akustiikkaelementtejä parantamaan tilan akustista sointia. Opinnäytetyössäni halusin selvittää miten tarkkaamon akustiikkaa voi tutkia, ja miten akustiikkaelementit vaikuttavat tilan akustiseen sointiin. Tutkimustuloksia tulen hyödyntämään tarkkaamon akustoinnin jatkotoimenpiteissä.

## 1.1 Tutkimustavoite

### **Akustoinnin vaikutuksen selvittäminen UKKOstudion äänitarkkaamossa**

1. Millainen on tilan akustinen sointi ilman akustointia?
2. Millainen on tilan akustinen sointi akustoinnin kanssa?
3. Muuttuiko tilan akustinen sointi akustoinnin avulla?

## 1.2 Tutkimuskohde

Tutkimuksessani selvitin rakentamani "UKKOstudion" tarkkaamon akustiikkaelementtien vaikutusta. Tarkkaamo on noin 20 neliömetrin kokoinen, äänieristetty, viistokattoinen ja viisikulmainen huone. Seinien ja katon pintamateriaali on maalattu kipsilevy. Lattia on rakennettu kelluvaksi askelkivivillan avulla ja päällimmäinen pintamateriaali on lattialaminaatti. Tilassa on kaksi puupintaista äänieristysovea symmetrisesti kuuntelupisteen molemmilla puolilla. Tarkkaamon toisella pitkällä seinustalla on piano, ja toisella seinustalla kirjahylly sekä sohva. Kuuntelupisteen edessä on äänieristysikkuna, josta näkee soittuhuoneen puolelle. Tarkkaamon takanurkka on täytetty lattiasta kattoon kivivillalla noin puolen neliömetrin alueelta ja peitetty paksulla kangasverholla (kuvio 2). Kuuntelupisteen yläpuolella roikkuu kaksi neliömetrin kokoista puurunkoista diffusoria. Diffusorin sisällä on noin 5 cm paksu kerros puristuskivivillaa, joka on

päällystetty messumatolla. Lisäksi pinnalle on asennettu vaihtelevan korkuisista 2 cm levyisistä rimoista rakennettu puusäleikkö. Diffuusorit roikkuvat katosta metalliketjuilla, ja on aseteltu niin, että ne luovat kuuntelupisteen yläpuolelle väärinpäin olevan harjakaton. Diffuusorien asettelu on esitetty kuviossa 1. Tarkkaamon ikkunalle on myös asennettu paksu kangasverho, joka voidaan avata ja sulkea tarpeen mukaan.



Kuvio 1. UKKOstudion tarkkaamon diffuusorit ja mittamikrofonien asettelu.



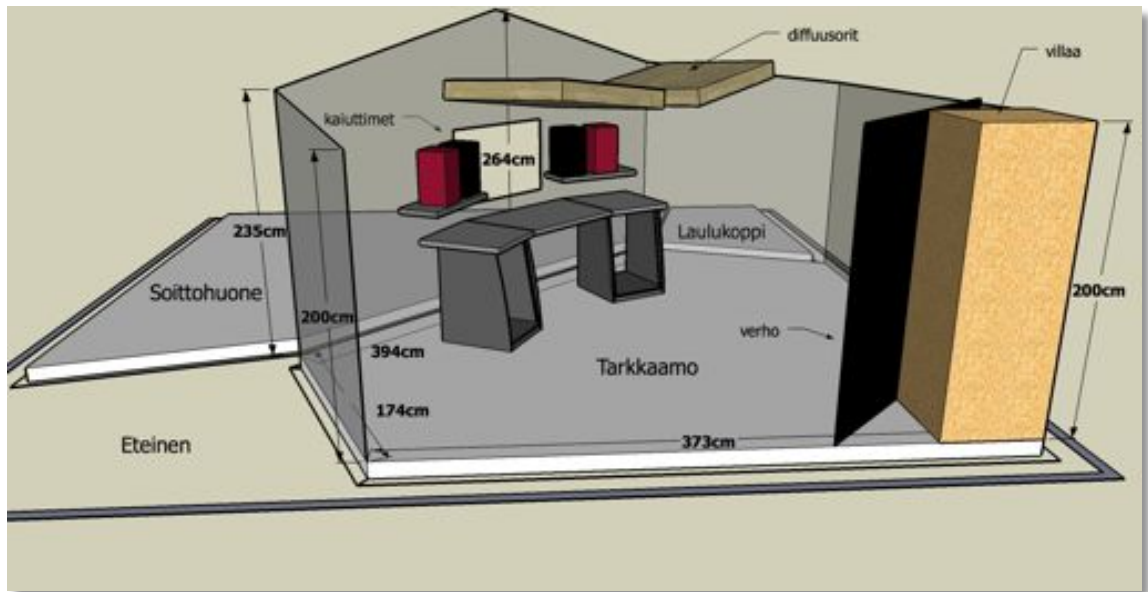
Kuvio 2. UKKOstudion tarkkaamon takanurkka.

Studio on rakennettu vuoden 2009 aikana teollisuusrakennuksen tyhjään kerrokseen, joka on pinta-alaltaan noin 160 m<sup>2</sup> (kuvio 3). Studion kokonaispinta-ala on noin 80 m<sup>2</sup> ja sisältää soittuhuoneen, äänitarkkaamon, laulukopin, eteisen ja harjoitustilan. Studiotilat muodostavat oman kokonaisuutensa ja harjoitustilaan on oma erillinen sisäänkäynti.



Kuvio 3. Rakenteilla oleva UKKOstudio.

UKKOstudion suunnitteluun käytettiin jonkin verran akustiikkakonsultointia, mutta esimerkiksi rakennuspiirustuksia ei teetetty ulkopuolisella konsultilla. Lähtökohtana oli löytää tilankäytön kannalta mahdollisimman tehokas pohjapiirustus, jossa kuitenkin olisi riittävät akustiset ominaisuudet esimerkiksi huoneiden koon ja muotojen osalta. Rakennussuunnitelman pohjana käytettiin valmista tilapiirustusta olemassa olevasta studiosta. Piirustuksen mukaan studioon käytettävä tila jaettiin kahteen isompaan viisikulmaiseen huoneeseen, ja kahteen pieneen ei-suorakulmaiseen huoneeseen. Alkuperäistä piirustusta muokattiin jonkin verran, lähinnä huoneiden koon ja seinien kulmien osalta. Kuviossa 4 on suuntaa antava studion pohjapiirustus tarkkaamon mitoista ja akustiikkaelementtien sekä studion kuuntelukaiuttimien sijoittelusta.



Kuvio 4. UKKOSTudion tarkkaamon pohjapiirustus.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Äänitarkkaamon akustoinnin vaikutusta tutkittiin vertaamalla tilan akustista sointia ilman akustiikkaelementtejä ja tilan sointiin akustiikkaelementtien kanssa. Sointi todettiin tekemällä huoneessa akustisia mittauksia ja tallentamalla ääninäytteitä. Mittaukset tehtiin käyttäen huonemittauksia varten suunnitellulla tietokoneohjelmistolla "Room EQ Wizard". Lisäksi mittaamiseen käytettiin Behringer ECM8000 mittamikrofonia, Golden Age Project Pre73 mikrofoni vahvistinta ja MacPro -tietokonetta.

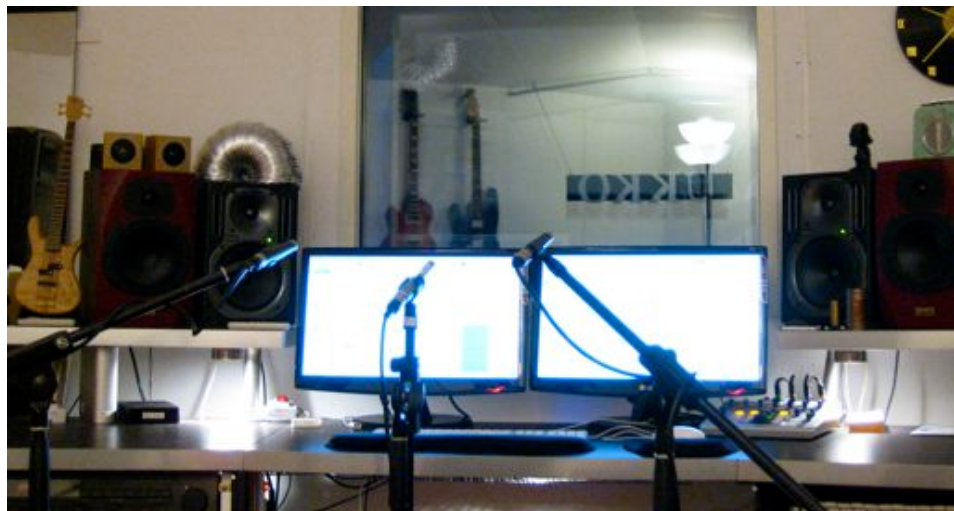
Äänitallenteet puolestaan äänitettiin ProTools LE ohjelmistolla käyttäen lisäksi Brüel & Kjær kondensaattorimikrofoneja, Line Audion 2MP mikrofoni vahvistinta sekä Digidesign 003 äänitysjärjestelmää. Lisäksi mittauksissa käytettiin studion tarkkaamon Behringer Truth ja Tannoy Reveal kuuntelukaiuttimia. Kyseinen laitteisto edustaa keskitasoa yleisimpien audiomittaus- ja tallennuslaitteistojen laatu- ja hintahaarukassa. Vaikka laitteiston virhemarginaali onkin hivenen suurempi kalliimpaan laitteistoon verrattuna, on kyseisen laitteiston tarkkuus kuitenkin täysin riittävä tekemään luotettavia mittauksia tätä vertailua varten.

Mittamikrofoni sijoitettiin noin 120 cm korkeuteen tarkkaamon kuuntelupisteen kohdalle keskelle kuuntelukaiuttimien "polttopistettä". Mikrofonin signaali johdettiin Pre



73 mikrofoni vahvistimen kautta MacPro tietokoneen äänikortin linjasisäänmenoon. Ennen varsinaisten mittausten aloittamista järjestelmä kalibroitiin. Ensin MacPro tietokoneen äänikortti kalibroitiin syöttämällä mittausohjelman tuottama testisignaali ulos äänikortista suoraan takaisin sisään äänikortin linjasisäänmenoon. Mikäli tämän "lenkin" aikana testisignaaliin ilmestyy äänikortista aiheutuvia muutoksia, ohjelma tunnistaa kyseiset muutokset ja kalibroi mittaustulostaan tasatakseen syntyneet muutokset. Tämän jälkeen ohjelmalle syötettiin käytettävän mikrofoni tyypin kalibrointitiedosto. Kalibrointitiedosto perustuu lukuisten samanmallisten mittamikrofonien kalibrointeihin. Tällä kalibrointitiedostolla ei saada kalibroitua kyseisen käytettävän mikrofoniin yksilöllisiä puutteita, mutta kyseisen mikrofoni tyypin keskimääräiset taajuusvaihtelut saadaan kompensoitua. Mikrofoniin yksilöllistä kalibroimista varten tarvitaan erikoislaitteistoa ja -ohjelmistoa, joita tässä tutkimuksessa ei ollut käytettävissä. Mittausohjelmiston oma ulossyöttö- ja sisäänottovoimakkuus tasattiin mikrofoni vahvistimen herkkyys säädön ja tietokoneen voimakkuussäätimien avulla. Lopuksi koko järjestelmä kalibroitiin desibelimittarin avulla soittamaan testisignaali 75 desibelin voimakkuudella.

Ääninäytteiden tallentamista varten käytettiin kahta mikrofonia stereofonisen kuulokuvan saavuttamiseksi. Ääninäytteitä tallentavat mikrofonit sijoitettiin myös noin 120 cm korkeuteen tarkkaamon kuuntelukaiuttimien tasolle varsinaisen mittausmikrofoniin kummallekin puolelle noin 30 cm päähän toisistaan, kuten kuviosta 5 on nähtävissä. Mikrofoneista signaali johdettiin Line Audion 2MP mikrofoni vahvistimen kautta Digidesign 003 äänitysjärjestelmän linjasisäänmenoon.



Kuvio 5. Mikrofonien asento mittaustilanteessa.

Kun mittausjärjestelmä oli kytketty, testattu ja kalibroitu, aloitettiin varsinaiset mittaukset. Mittaus suoritettiin niin, että testisignaali syötettiin huoneen kuuntelukaiuttimiin, ja siepattiin talteen mittamikrofonin avulla analysointia varten. Koska mittamikrofoni oli sijoitettu paikkaan, jossa äänitarkkailija käyttötilanteessa yleensä istuu, antoi mittamikrofonista tallennettu signaali kuvan siitä, miltä testisignaali kyseisessä paikassa kuulosti. Mikrofonin tallensi siis suoraan kaiuttimista tulleen testisignaalin lisäksi myös kaikki seinien aiheuttamat huoneheijastukset sekä heijastumien jälkikaiun. Kattavan ja monipuolisen mittausaineiston saamiseksi mittaus suoritettiin käyttäen kolmea eri mittausmenetelmää:

- Sweep-mittaus
- Kohinamittaus
- Musiikkinäytemittaus

Sweep- eli ”pyyhkäisy”-mittauksessa huoneen kuuntelukaiuttimista soitettiin matalalta korkealle liukuva siniaaltosignaali. Signaalipyyhkäisy alkoi alle 20 hertsistä ja päättyi 20 kilohertsiin. Yleensä sweep-mittaamisessa käytetään noin yhden sekunnin pituista pyyhkäisyä, mutta tässä mittauksessa käytettiin lisäksi myös pidempää yli viiden sekunnin pituista pyyhkäisyä, jotta pyyhkäisystä tallennettujen ääninäytteiden tarkastelu olisi helpompaa ja miellyttävämpää. Nopea yhden sekunnin pyyhkäisy on niin lyhykestoinen, että sen tarkasteleminen äänitallenteelta on hyvin hankalaa ja myös epämieluisan kuuloista. Sweep-mittauksen avulla mittausohjelmisto muodosti huoneen jälkikaiunta-, iskuäänivaste- ja vesiputouskuvaajat.

Kohinamittauksessa testisignaalinäytteenä käytettiin ”pink noise” -testikohinaa, joka sisältää samankaltaisen taajuusjakauman kuin tyypillinen kaupallinen pop/rockmusiikkikappale. Kohinan soinnista huoneessa tallennettiin 30 sekunnin pituinen näyte, josta mittausohjelmisto laski keskiarvoisen taajuusvaste-kuvaajan. Kuvaajan keskiarvon laskemisessa käytettiin eksponentiaalista summaamista, joka ottaa huomioon äänimateriaalin koko 30 sekunnin ääninäytteen ajalta.

Musiikkinäytemittauksessa testisignaalinäytteenä käytettiin neljän musiikkikappaleen 90 sekunnin pituista näytettä. Kyseiset kappaleet olivat progressiivinen heavyrockkappale ”6:00” Dream Theater -yhtyeen esittämänä, popkappale ”Fields of Gold” sekä

pop/rockkappale "If I Ever Loose My Faith in You" Stingin esittämänä ja rockkappale "King for a Day" Faith No More -yhtyeen esittämänä. Myös musiikinäytemittauksessa mittaohjelmisto muodosti 90 sekunnin näytteestä keskimääräisen taajuusvaste-kuvaajan eksponentiaalista summaamista käyttäen.

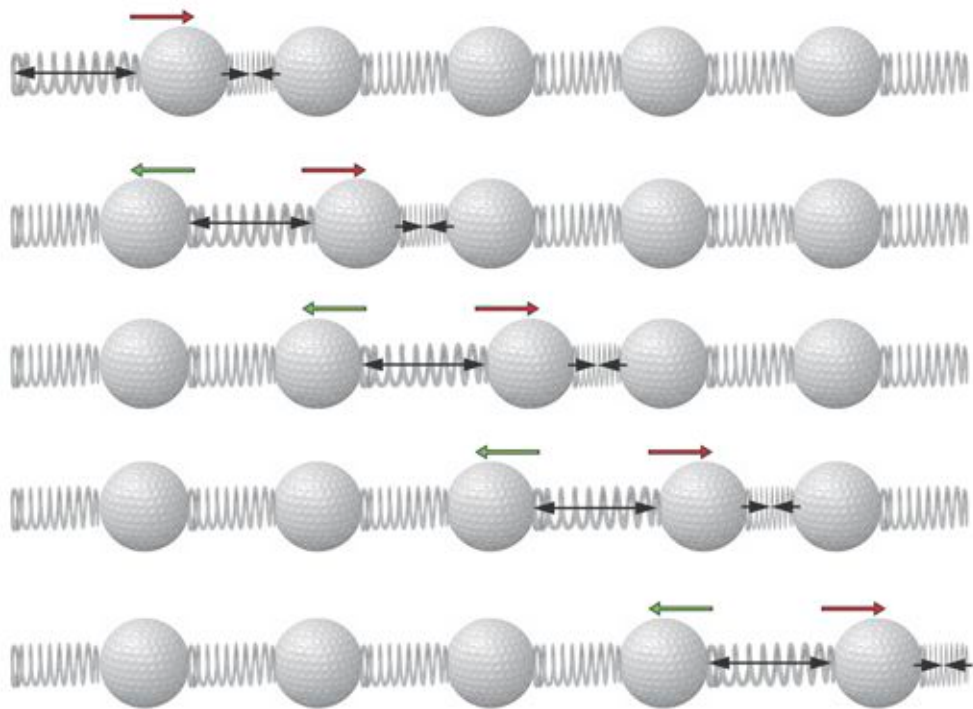
Kaikkien kolmen mittausmenetelmän yhteydessä jokaisesta testisignaalista tallennettiin samanaikaisesti kondensaattorimikrofonien avulla myös ääninäyte. Ääninäytteiden äänenvoimakkuustaso normalisoitiin voimakkaimman näytteen ääriarvon mukaan, lukuun ottamatta sweep-ääninäytteitä, joiden äänenvoimakkuustasoa laskettiin 20 desibeliä kuulonsuojelusyistä. Näytteiden välisiä äänenvoimakkuussuhteita ei muokattu, jotta näytteitä kuunneltaessa voi havaita akustiikkaelementtien vaikutuksen myös huoneessa soivan testisignaalin äänenvoimakkuuteen. Ääninäytteet tallennettiin stereoääniraitoina wav-tiedostomuotoon, käyttäen 24 bitin bittisyvyyttä ja 41,1 kilohertsin näytteenottotaajuutta, mikä vastaa normaalin CD-tuotannon laatutasoa. Jotta ääninäytteet olisivat kuunneltavissa tavallisella CD-soittimella, äänitiedostot muunnettiin 16 bitin bittisyvyyteen, mikä on musiikki-CD:n vakioformaatti. Tallennettujen ääninäytteiden CD-levy on liitteessä 2.

## 2 Akustiikka

Tässä kappaleessa käsitellään ääniopillisia perusasioita ja ilmiötä, jotka ovat välttämättömiä tutkimuksen aineiston ymmärtämisen kannalta.

### 2.1 Mitä ääni on?

Ääni on aaltoliikettä, eli säännöllistä edestakaista värähtelyä. Ihmisen aistima kuultavissa oleva ääni on ilmanpaineen värähtelyä, jolloin värähtelyn väliaineena toimii ilma. Ääni voi kuitenkin edetä myös missä tahansa muussa väliaineessa kuten esimerkiksi vedessä tai kiinteissä rakenteissa. Ääni syntyy kun jokin värähtelevä kappale saa omalla liikkeellään sen ympärillä olevan ilman värähtelemään. Tätä ääntä synnyttävää värähtelevää kappaletta kutsutaan äänilähteeksi. Äänilähde voi olla esimerkiksi soittimen kieli, ihmisen äänihuuli tai kaiutin. (Laaksonen 2006, 4–5.) Yksi hyvä tapa kuvata ilmanpaineen värähtelyä on golfpallon ja jousen malli ääntä johtavana väliaineena (Howard & Angus 2006, 3).



Kuvio 6. Golfpallon ja jousen malli ääntä johtavana väliaineena (Howard & Angus 2006, 3).

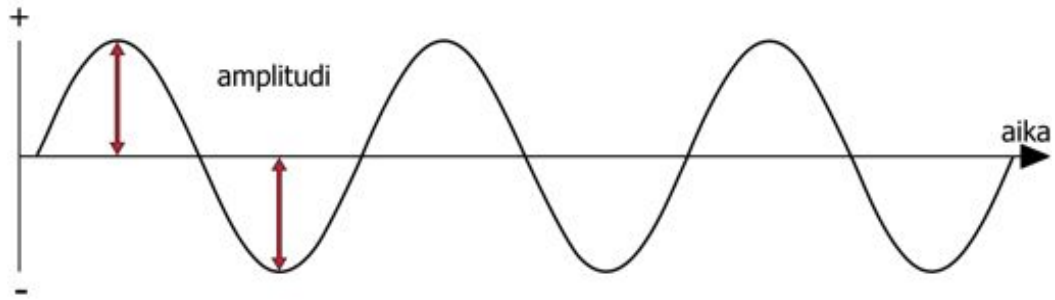
Kuvion 6 golfpallot kuvaavat jonkin väliaineen molekyyliden pistemäistä massaa, ja jousit molekyylejä yhdessä pitäviä voimia. Kun toisessa päässä olevaa golfpalloa tönäistään viereisiä palloja kohti, ensimmäisen ja toisen golfpallon väliin jäävä jousi puristuu kasaan ja tönäisee puolestaan seuraavaa golfpalloa. Tämä jatkuu kunnes liike on siirtynyt viimeiseen golfpalloon. Fysikaalisesti tarkasteltuna ääni on ilmamolekyyliden liikettä, jossa ilmahiuksat liikkuvat vuoroin lähemmäksi ja vuoroin kauemmaksi toisistaan toisin sanoen ilma tihentyy ja harvenee. Äänilähteen värähtely saa sitä ympäröivän ilman tihentymään ja harvenemaan. Tämä ilmamolekyyliden liike välittyy viereisiin ilmamolekyyleihin aivan kuin edellä mainittu golfpallojen liike jousien varassa. Kun liike etenee korvakäytävään asti, tärykalvon vieressä olevien ilmamolekyyliden liike saa korvan tärykalvon värähtelemään, minkä ihminen aistii äänenä. (Laaksonen 2006, 4-5.)

## 2.2 Äänen rakenne

Äänen rakenne jaetaan seuraaviin ominaisuuksiin:

- Amplitudi
- Jakso
- Vaihe
- Taajuus
- Nopeus
- Aallonpituus
- Yläsävelsarja/Yläsävellistö

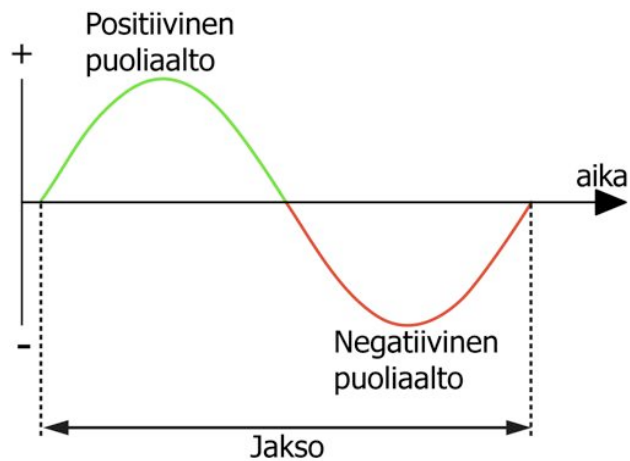
Äänen rakennetta tarkasteltaessa on hyvä käyttää apuna äänen aaltomuotoa (engl. waveform). Aaltomuoto on graafinen tapa kuvata ilmanpaineen tasoa ajassa. (Huber & Runstein 2001, 25.)



Kuvio 7. Siniaalto ja sen amplitudi (Laaksonen 2006, 7).

Aaltomuodon **amplitudi** kuvaa sitä, kuinka voimakkaasti ilmanpaine värähtelee normaalitilastaan, eli kuinka paljon ilmamolekyylit tihenevät tai harvenevat ilmassa. Käytännössä ihminen aistii amplitudin suuruuden äänen voimakkuutena. (Huber & Runstein 2001, 25.) Aaltomuodon graafisessa kuvaajassa aika kulkee horisontaalisesti vasemmalta oikealle, ja ilmanpaineen muutos vertikaalisesti ylhäältä alas. Kuvaajan keskellä kulkee nollassa-viiva joka kuvastaa hiljaisuutta. Itse aaltomuoto käy vuorotellen nollassa-viivan ylä- ja alapuolella, riippuen siitä miten kauas keskiarvosta (eli hiljaisuudesta) ilmanpaineen muutos ulottuu. Nollassa-viivan yläpuolella kulkeva aalto kuvastaa ilmanpaineen muutosta positiiviseen suuntaan, jolloin ilma tihentyy (ylipaine). Negatiiviseen suuntaan tapahtuvaa ilmanpaineen muutosta, jolloin ilma harvenee (alipaine), kuvataan nollassa-viivan alapuolella kulkevalla aallolla. Mitä voimakkaampi ääni on kyseessä, sitä suurempi on ilmanpaineen vaihtelu, sitä kauempana nollassa-viivasta aaltomuodon ääripäät kulkevat ja sitä suurempi on siis aaltomuodon amplitudi. (Laaksonen 2006, 6.) Äänityöskentelyssä yleisesti käytössä oleva mittayksikkö äänen amplitudin ilmaisemiseen on desibeli (engl. decibel) josta käytetään lyhennettä dB. Desibeliasteikko on logaritminen vertailuasteikko, jolla useimmiten ilmaistaan äänenpainetasoa (engl. sound pressure level, lyh. SPL) verrattuna ihmisen kuulokynnykseen (engl. threshold of hearing). Tässä asteikossa 0 db SPL kuvastaa hiljaisinta ääntä jonka nuori, terve ihminen pystyy kuulemaan. (Laaksonen 2006, 6, 97–101.)

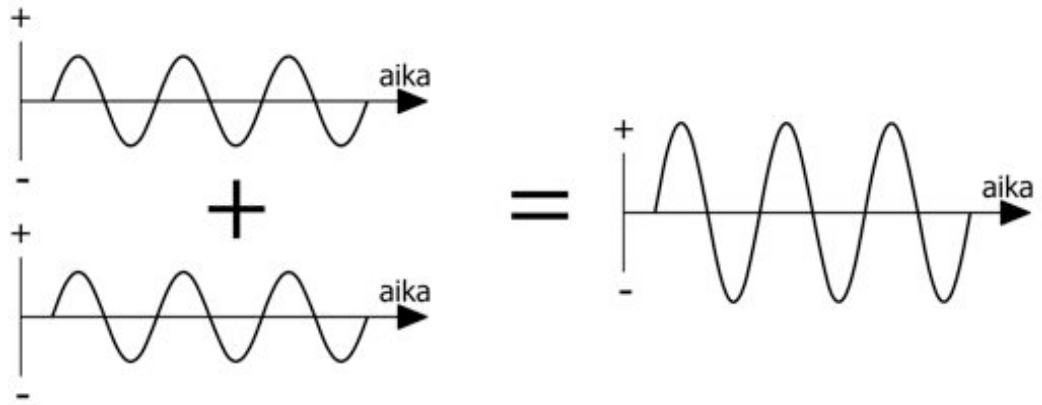
Graafisessa aaltomuodossa yhtä yksittäistä nollassa-viivan yläpuolella kulkevaa aaltoa kutsutaan positiiviseksi puoliaalloksi. Vastaavasti yksittäinen nollassa-viivan alapuolella kulkeva aalto on nimeltään negatiivinen puoliaalto. (Laaksonen 2006, 25–26.)



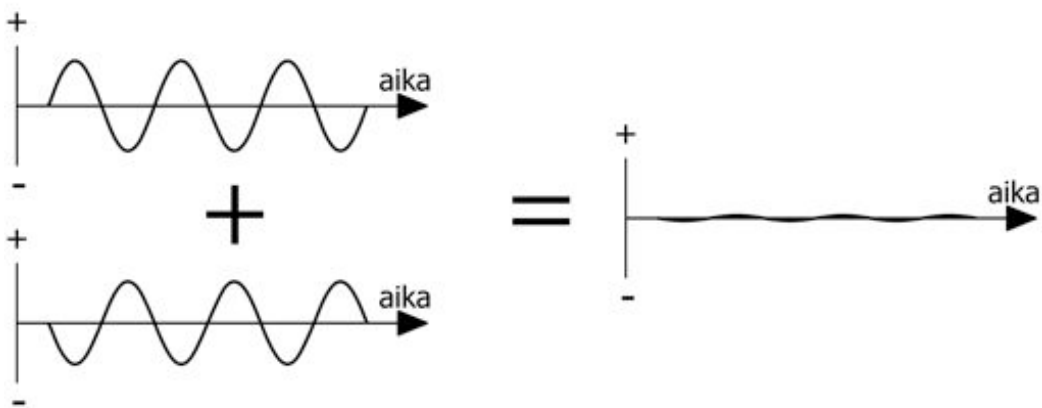
Kuvio 8. Siniaallon yksi jakso ja sen puoliaallot (Laaksonen 2006, 7).

Yhdessä positiivinen ja negatiivinen puoliaalto muodostavat yhden kokonaisen aallon, eli **jakson** (engl. cycle). Yksi jakso käsittää siis aaltomuodon yhden värähtelyn nollaviivan ylä- ja alapuolella. (Laaksonen 2006, 6.)

Aaltomuodon **vaiheella** kuvataan ääniaallon jakson eri kohtia. Vaihe ilmaistaan asteluvuilla, jolloin yhden kokonaisen jakson pituus on  $360^\circ$ . Vaihe -termiä käytetään kuitenkin useimmiten kuvaamaan kahden tai useamman ääniaallon välistä vaihe-eroa. Kun kaksi tai useampi ääniaalto yhdistyy keskenään (esimerkiksi mikserissä, tai jos tilassa on useampi äänilähde), niiden amplitudit summautuvat keskenään. Jos ääniaallot ovat samanlaisia amplitudiltaan sekä taajuudeltaan, ja ääniaaltojen jaksot alkavat tarkalleen samasta asteluvusta, ääniaallot summautuvat täydellisesti, amplitudien summa kaksinkertaistuu, ja lopputuloksena on kaksinkertainen äänenvoimakkuus. Tällöin ääniaallot ovat niin sanotusti samassa vaiheessa keskenään. Mutta jos toisen samankaltaisen ääniaallon jakso alkaa esimerkiksi vaiheesta  $0^\circ$  ja toisen vaiheesta  $180^\circ$  (jolloin vaihe-ero on tasan  $180^\circ$ ), ääniaallot kumoavat toisensa täydellisesti, amplitudien summaksi tulee nolla, ja lopputuloksena on hiljaisuus. Tällöin ääniaallot ovat vastavaiheessa keskenään. Mikäli vaihe-ero on jotain  $0^\circ$  ja  $180^\circ$  väliltä, on lopputuloksena vain osittainen summautuminen tai kumoutuminen. Käytännössä korvaan saapuvat ääniaallot ovat kuitenkin usein erilaisia niin amplitudiltaan kuin taajuudeltaankin. Tällöin kumoutuminen tai summautuminen on vain osittaista vaikka ääniaallot olisivatkin täydellisesti samassa tai vastavaiheessa. Keskenään vastavaiheessa olevat äänisignaalit kuulostavat usein vääristyneiltä, ohuilta tai vaikeaselkoisilta. (Laaksonen 2006, 9-10.)



Kuvio 9. Siniaallon summautuminen (Laaksonen 2006, 9-10).



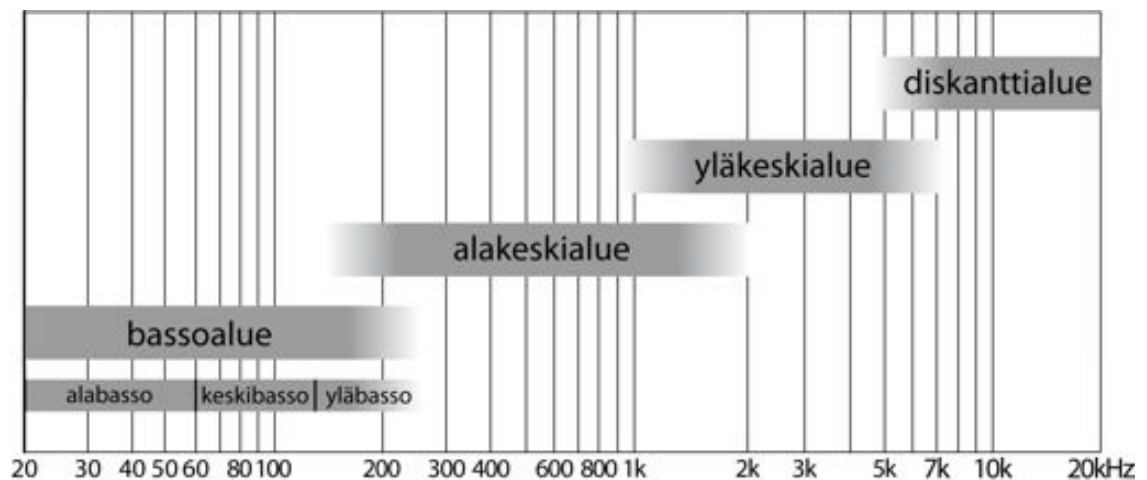
Kuvio 10. Siniaallon kumoutuminen (Laaksonen 2006, 9-10).

Aaltomuotoa tarkasteltaessa on huomioitava, että kuvaaja ei kerro tai ilmennä äänen nopeutta. Sen sijaan kuvaaja osoittaa aaltomuodon jakson pituuden suhteutettuna aikaan. Mitä pidempi jakso aaltomuodolla on (eli mitä "leveämpi" aalto on), sitä matalampi ääni on kyseessä. Vastaavasti mitä lyhyempi jakso aaltomuodolla on (eli mitä "kapeampi" aalto on), sitä korkeampi ääni on kyseessä. Äänen korkeuden tai mataluuden kuvaamiseen käytetään termiä **taajuus** (engl. frequency). Yleisellä tasolla sana taajuus kuvastaa jonkin toistumisen tiheyttä. Äänessä tämä toistuva elementti on värähtely. Koska yksi "värähdys" on käytännössä aaltomuodon yksi jakso, voidaan äänen värähtelyn "tiheys" (eli taajuus) selvittää laskemalla aaltomuodon jaksojen määrä suhteutettuna aikaan.

Äänityöskentelyssä yleisesti käytössä oleva taajuuden mittayksikkö on hertsi (lyhenne Hz). Hertsi kuvastaa äänen värähtelyjen eli jaksojen määrää yhden sekunnin aikana. Matalin ääni, jonka ihminen pysty kuulemaan sisältää 20 värähdystä sekunnissa eli



äänen taajuus on 20 Hz. Matalista taajuuksista käytetään yleisesti myös termiä bassotaajuudet (engl. bass frequencies). Korkein ihmisen aistima ääni puolestaan sisältää 20 000 värähdystä sekunnissa, eli äänen taajuus on 20 000 Hz tai 20 kHz (kilohertsi). Korkeista taajuuksista puhutaan yleisesti myöskin termillä diskanttitaajuudet (engl. treble frequencies). (Rumsey & McCormick 2002, 2.) Ihmisen kyky aistia korkeimpia diskanttitaajuuksia heikkenee iän myötä, jolloin korkeimmat aistittavat taajuudet saattavat jäädä 18 kHz:iin tai sen alle (Laaksonen 2006, 7). Alla olevasta kuviosta on nähtävissä yleinen jako eri taajuusalueiden välillä.



Kuvio 11. Taajuusalueet (Izhaki 2008, 213).

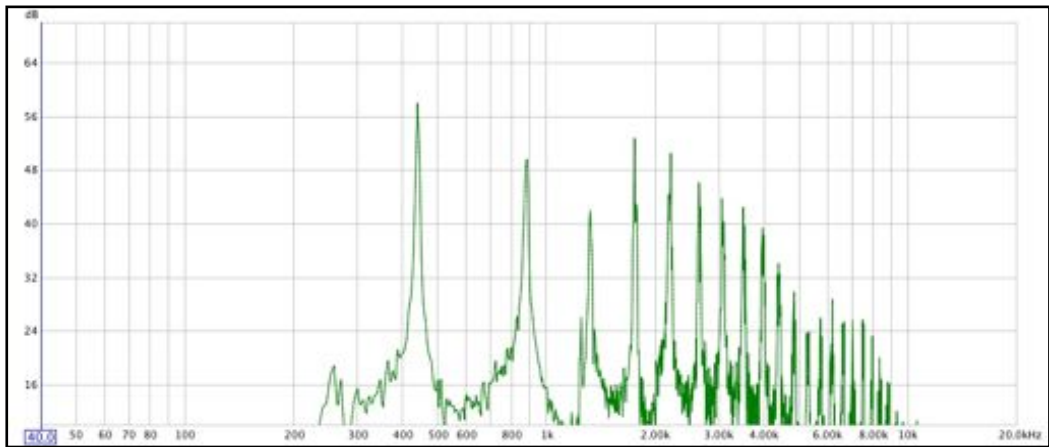
Äänen **nopeus** on selvennettävissä käyttäen aikaisemmin esiteltyä golfpallon ja jousen mallia, jossa ensimmäisen golfpallon liike välittyy jousien kautta viimeiseen golfpalloon. Pallojen massasta johtuen liikkeen siirtyminen yhdestä golfpallosta toiseen kestää jonkin aikaa. Alkuperäisen liikkeen siirtyminen viimeiseen golfpalloon tapahtuu siis viiveellä. Tämän viiveen suuruus on laskettavissa matemaattisella yhtälöllä, jossa huomioidaan väliaineen massa ("golfpallojen paino") ja molekyyliä kasassa pitävien voimien suuruus ("jousien jäykkyys"). Kun tämän viiveen suhteuttaa äänen kulkemaan matkaan, saadaan laskettua äänen nopeus. Äänen nopeus riippuu aina väliaineesta, jossa ääni kulkee. Ilmassa (lämpötilan ollessa 20°C) ääni kulkee 344 metriä sekunnissa, mutta esimerkiksi betonissa äänen nopeus on yli kymmenkertainen, 3536 metriä sekunnissa. (Howard & Angus 2006, 1–7.)

Äänen **aallonpituus** (engl. wavelength) on termi, jolla kuvataan matkaa jonka ääni kulkee aaltomuodon yhden jakson aikana. (Laaksonen 2006, 7.) Käytännössä aallonpituus on aina riippuvainen äänen nopeudesta ja sen taajuudesta. Äänen edetessä ”nopeassa” väliaineessa se ehtii yhden aaltomuodon jakson aikana kulkea pidemmän matkan, kuin minkä se ehtisi kulkea ”hitaassa” väliaineessa. Vastaavasti hitaasti värähtelevät matalat äänet ehtivät kulkea pidemmän matkan aaltomuodon yhden jakson aikana kuin nopeasti värähtelevät korkeat taajuudet. Aallonpituus on laskettavissa matemaattisesti yksinkertaisesti jakamalla äänen nopeuden sen taajuudella. Näin ollen esimerkiksi ilmassa 344 metriä sekunnissa kulkevan 100 hertsin korkuisen ääniaallon aallonpituus on 3,44 metriä. (Suntola 2000, 9.)

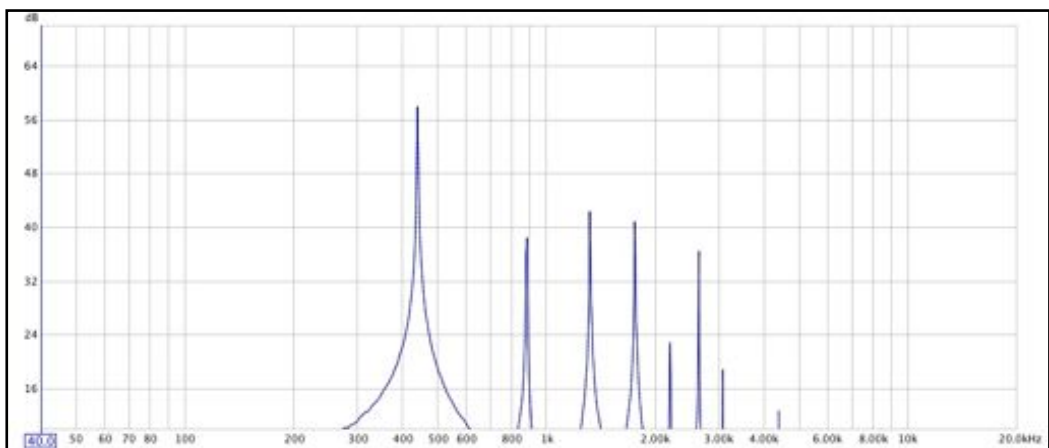
Yksi ääni koostuu hyvin monista yhtä aikaa soivista taajuuksista. Näitä äänen rakennosia kutsutaan **yläsäveliksi**. Alin osasävel on soitettava säveltaso, ylemmät osasävelet määrittelevät äänen sointiväriin. Yläsävelsarja muodostuu siis tästä perustaajuudesta ja sen kanssa samanaikaisesti soivista yläsävelistä. Usein yläsävelsarjan osasävelet ovat aina samoilla etäisyyksillä toisiinsa nähden (esim. puhaltimet ja kielisoittimet), jolloin puhutaan harmonisesta yläsävelsarjasta. Kirkkailta kuulostavien soittimien yläsävelistö on voimakas (viulu, piano). Tummilta kuulostavien soittimien (klarineti, huilu) yläsävelistö on heikko tai jotkin yläsävelet puuttuvat jopa kokonaan. (Laaksonen 2006, 8-9.) Soittimen luonteenomainen sointiväri muodostuu suurimmaksi osaksi yläsävelsarjan eri osasävelten keskinäisistä voimakkuussuhteista (Mäkelä & Larmola 2009, 21). Yläsävelistön voimakkuus vaihtuu jokaisella uudella äänellä sävelkorkeuden ja soitto-tekniikan mukaan. Sen vuoksi äänikokonaisuus jonka kuulemme, on nopeasti muuttuva ja monimutkainen perustaajuuden ja yläsävelien yhdistelmä.

Yleisin tapa tarkastella äänen yläsävelsarjaa on spektrianalysointori eli tosiaika-analysointori (engl. Real Time Analyzer, lyhennettynä RTA). Spektrianalysointorin kuvaajassa taajuudet on jaettu vaakakselilla vasemmalta oikealle matalista taajuuksista korkeisiin taajuuksiin. pystyakseli kuvaa jokaisen soivan taajuuden voimakkuutta desibeleinä. Soittimen yksittäistä ääntä tarkasteltaessa spektrianalysointorin kuvaajasta voi nähdä kyseisen soivan äänen perustaajuuden ja yläsävelten voimakkuudet. Mikäli tarkasteltavia ääniä soi samanaikaisesti useita tai tarkastellaan soivaa musiikkikappaletta, äänimateriaalin lukuisista perustaajuuksista ja yläsävelistä syntyy niin tiheä taajuuksien kenttä, ettei yksittäisten äänien yläsäveliä pysty kuvaajasta erottamaan.

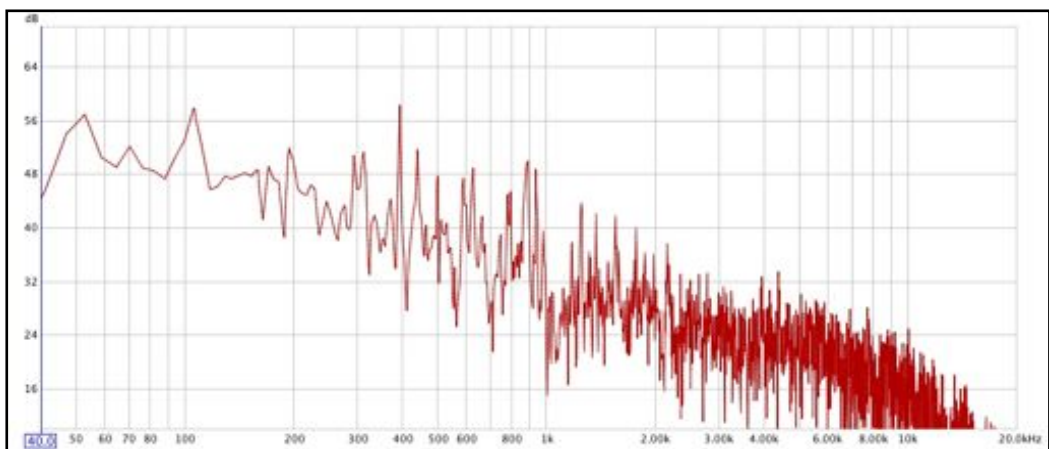
Spektrianalysointilla voi kuitenkin tarkastella tällaisen monimutkaisen äänimateriaalin koko taajuusjakaumaa. (Laaksonen 2006, 8-9, 165.)



Kuvio 12. Spektrianalysointin pysäytetty kuvaaja **viulun** soivasta sävelestä (sävelkorkeus: yksiviivainen a).



Kuvio 13. Spektrianalysointin pysäytetty kuvaaja **klarinetin** soivasta sävelestä (sävelkorkeus: yksiviivainen a).



Kuvio 14. Spektrianalysointin pysäytetty kuvaaja **musiikkikappaleen** äänimateriaalista.

### 2.3 Äänen käyttäytyminen tilassa

Yleensä äänilähde säteilee ääntä moniin suuntiin. Kun ääni kohtaa kovan pinnan, esimerkiksi seinän, osa äänestä heijastuu ja osa jatkaa matkaa toisessa väliaineessa tai muuttuu lämmöksi. Jos yksittäinen heijastus palaa takaisin kuulijan korviin, hän aistii sen kaikkuna (engl. echo). (Aro 2006, 13–15.)

Lyhyttä yksittäistä ääni-impulssia tarkasteltaessa kuulijan korvaan saapuu ensimmäisenä äänilähteen suora ääni. Tämän jälkeen korva aistii erillisiä heijastuksia, jotka saapuvat lähimmistä heijastavista pinnoista. Näitä kutsutaan ensiheijastuksiksi (engl. early reflections). Nämä ensiheijastukset antavat kuulijalle kuulokuvan tilan ja äänilähteen koosta. Lähes välittömästi ensiheijastusten jälkeen korvaan saapuu laaja jälkikäivän verho, joka muodostuu valtavasta määrästä moninkertaisesti heijastuneita ääniaaltoja. Heijastuksista syntyy äänikenttä, joka on kyseiselle tilalle ominainen. (Aro 2006, 13–16.)

Äänen leviämiseen tilassa vaikuttavat myös seinien massa ja pintojen kovuus (akustinen heijastuvuus). Pintojen kolot ja epätasaisuudet vaikuttavat eniten korkeisiin taajuuksiin, matalat taajuudet puolestaan läpäisevät paksujakin esteitä. Akustisten esteiden vaikutus äänen kulkuun riippuu äänen aallonpituuden ja esteen koon välisestä suhteesta. Matalat äänet etenevät pallomaisesti kohdatessaan esteitä ja voivat esimerkiksi kiertää rakennuksien nurkkien taakse. Korkeat äänet puolestaan käyttäytyvät esteiden kohdalla suoraviivaisemmin ja jäävätkin usein esteiden katveeseen. (Laaksonen 2006, 14.)

### 2.4 Akustiikan määritelmä

Äänellisesti hyvin vähäisesti heijastavaa tilaa kutsutaan akustiikaltaan ”kuivaksi” tai kaiuttomaksi tilaksi. Käytännössä kuitenkin useimmissa tiloissa on runsaasti heijastavia pintoja. Akustiset heijastukset kertovat kuulijalle millainen tila on kyseessä ja auttavat muodostamaan käsityksen esimerkiksi äänilähteen etäisyydestä. Etäinen ääni kuulostaa läheiseen äänen verrattuna hiljaisemmalta, kaikuisammalta, ja tummemmalta. (Aro 2006, 14–16.) Akustiikka vaikuttaa kaikkeen mitä kuulemme heti itse äänilähteestä syntyneen äänen jälkeen. Kuulemme siis sekä suoraa äänilähteestä tulevaa ääntä,

mutta myös ympärillä olevista pinnoista heijastuvaa ääntä. Akustiikan eri ominaisuuksiksi voidaan luetella heijastusten ajoitus, tiheys ja väritys. Akustiikan värityksellä tarkoitetaan sitä, miten eri taajuudet summautuessaan keskenään joko korostuvat tai vaimenevat suhteessa äänilähteen suoraan ääneen. (Suntola 2000, 14.)

Vaikka jossain määrin voidaan luoda kriteereitä hyvälle ja huonolle akustiikalle, nämä tulevat pääsääntöisesti aina olemaan mieltymys- ja tottumuskysymyksiä. Lähtökohtaisesti on eroteltava hyvä akustiikka tyyllisesti ja käyttötarkoituksellisesti. Esimerkiksi rockmusiikin esittämiseen ihanteellinen akustiikka poikkeaa huomattavasti klassisen musiikkiesityksen ihanneakustiikasta. Esimerkiksi verrattaessa 70-luvun äärimmäisen kuivia äänitystiloja nykyisiin soivempiin tiloihin, ero on huomattava. (Suntola 2000, 14.)

Tilan akustista sointia selitettäessä voidaan käyttää monenlaisia käsitteitä. Leo Beranek on tehnyt luettelon akustisten ominaisuuksien luonnehdinnoista. Esimerkiksi tilan tuntu-käsitettä (engl. spaciousness) käytetään, jos ääni tulee laajalta alueelta. Jos kuulija saa vaikutelman pienestä tilasta, käytetään akustisia termejä intiimiys (intimacy) ja läsnäolo (presence) kuvaamaan tilaa. Pitkä kaiunta tilassa tekee salin elävän kuuloiseksi ja lyhyt kaiunta saa salin soimaan kuivasti. Selkeys (clarity) akustiikassa kuvaa äänien erottumista toisistaan, lämpimyyttä (warmth) tummalta kuulostavaa tilaa ja kirkkaus (brilliance) korkeiden taajuuksien pitkää jälkikaiuntaa eli kirkkaalta kuulostavaa tilaa. Akustinen kiilto (acoustic glare) syntyy, jos esimerkiksi salin sivuseinät ovat peiliheijastavia. (Aro 2006, 17.)

### 3 Äänitarkkaamon akustiikka

Tässä kappaleessa esittelen äänitarkkaamon akustiikkaan ja akustoimiseen liittyviä käsitteitä ja menetelmiä.

#### 3.1 Tarkkaamo

Äänitysstudion hermokeskus on sen kuunteluhuone eli tarkkaamo. Tarkkaamo on usein äänieristetty tila ja sen akustinen sointi on pyritty optimoimaan. Tarkkaamon tehtävänä on toimia tilana, jossa äänimateriaalia pystyy tarkastelemaan kriittisesti. Tämän vuoksi huoneeseen tarkalleen sijoitelluista ja tasapainotetuista kuuntelukaiuttimista tulevan materiaalin pitäisi päätyä kuulijan korvaan niin muuttumattomana kuin mahdollista. Usein kuitenkin huoneen muodot, pintamateriaalit ja seinien rakenne aiheuttavat huoneessa kuunneltavan äänimateriaalin heijastumia, jotka summautuessaan alkupe- räiseen äänimateriaaliin korostavat tai vaimentavat tiettyjä taajuuksia. Huone itsessään siis värittää alkuperäistä äänimateriaalia omilla akustisilla ominaisuuksillaan. Tästä johtuen jokainen tarkkaamo kuulostaa käytännössä erilaiselta – jokaisella tarkkaamolla on siis oma yksilöllinen akustinen sointinsa, niin hyvässä kuin pahassa. (Huber & Runstein 2001, 6-8, 70.)

Kohtisuorat vastakkaiset pinnat aiheuttavat huoneeseen epätoivottuja heijastuksia. Esimerkiksi kahden kohtisuoran seinän tai lattian ja katon väliin jäävät edestakaiset heijastukset saattavat aiheuttaa hyvin voimakkaita korostumia tai vaimentumia tiettyihin taajuuksiin eripuolille huonetta. Tästä johtuen ammattistudioiden huoneita ei yleensä rakenneta suorakulmion muotoisiksi, vaan yksi tai useampi seinä rakennetaan viistoon. Toinen vaihtoehto on rakentaa huoneista esimerkiksi viisi- tai kuusikulmaisia. (Huber & Runstein 2001, 6-8, 72-75.) Ammattistudioissa seinien pintamateriaalista pyritään tekemään epätasaisia, jotta ääni osuessaan seiniin sirpaloituu. Seinäpintoihin, kattoon ja nurkkiin sijoitetaan usein vaimennusmateriaalia. Seinäpinnat voidaan myös rakentaa pyöröhirsistä muistuttavista mattapintaisista puupaneeleista, joiden taakse asennetaan eristelevyjä. Lisäksi ikkunapinnat peitetään usein paksuilla kangasverhoilla ja lattioille levitetään paksuja mattoja. (Mäkelä & Larmola 2009, 88-89.) Perinteisesti äänitysstudiot rakennetaan niin, että kuuntelukaiuttimien puoleisesta päätyseinästä

tehdään mahdollisimman hyvin ääntä vaimentava eli kuollut (engl. dead end). Tällä pyritään siihen, että kuuntelukaiuttimista taaksepäin suuntautuvat ääniaallot eivät seinästä takaisin heijastuessaan pääse aiheuttamaan vaihevirheitä kuuntelupisteeseen. Lisäksi tarkkaamon takaseinästä pyritään tekemään mahdollisimman hyvin ääntä sirpaloiva eli elävä (engl. live-end), jotta ääniaallot heijastuvat takaseinästä takaisin kuuntelupisteeseen mahdollisimman tasaisesti. Uudempi studioiden rakennetyyppi perustuu kuuntelupisteen heijastusvapaaseen alueeseen (engl. reflection-free zone, lyh. RFZ), joka toteutetaan tekemällä kuuntelukaiuttimien puoleisesta päätyseinästä kaarevan muotoinen. Tällöin kuuntelukaiuttimista suuntautuvat ääniaallot heijastuvat kuuntelupisteen ohi takaseinää kohti, eivätkä pääse aiheuttamaan vaiheongelmia kuuntelupisteen kuulokuvaan. (Everest 2001, 431-442.)

Tarkkaamon kaiuttimet ovat keskeisessä roolissa tasaisen kuuntelun kannalta. Kaiuttimien tulee olla hyvälaatuiset, niiden tulee toistaa niin matalia kuin korkeita taajuuksia tasaisesti ja ne tulee sijoitella hyvin. Yleensä kaiuttimien sijoittelussa noudatetaan tasakylkisen kolmion sääntöä, jossa kaiuttimien keskinäinen välimatka on yhtä pitkä kuin kuulijan ja kaiuttimen etäisyys toisistaan. Tällä saavutetaan tarpeeksi leveä stereokuva, johon ei jää aukkoja. Koska kaiutin säteilee ääntä (varsinkin matalempia taajuuksia) myös taaksepäin, kaiuttimia ei tulisi sijoittaa huoneen nurkkiin tai liian lähelle seinää. (Mäkelä & Larmola 2009, 88-89.)

### 3.2 Akustointi

Tilan akustisen soinnin "parantamien" eli akustoiminen, on yksi eniten sekaannusta aiheuttava, legendoja levittävä ja yksinkertaisesti väärää tietoa sisältävä aihealue. Kaikki tuntuvat olevan akustoinnin asiantuntijoita ja "kaikkihan tietävät että, seiiniin kiinnitettävät munakennot ovat paras akustointitapa!" Akustoiminen on kuitenkin loogista ja intuitiivista silloin kun ymmärtää akustiikan perussäännöt. Tärkein sääntö on, että mikään ei ole pientä tai suurta, vaan kaikki on pientä tai suurta suhteessa käsiteltävän äänen aallonpituuteen. Esimerkiksi munakennon koko on mitätön suhteutettuna matalan 20 hertsin äänen yli 17 metrin aallonpituuteen. Mutta suhteutettuna erittäin korkean 20 kilohertsin äänen n. 1,7 senttimetrin aallonpituuteen, munakennon koko on huomattava. Akustointi onkin samanaikaisesti tiedettä ja taidetta. Esimerkiksi kotiteattereiden tai äänitysstudioiden käyttäjien ja varsinkin akustiikkakon-

sulttien keskuudessa löytyy vain vähän yhteisymmärrystä siitä, miltä hyvän tilan tulisi kuulostaa. (Jones & Szymanski 2002, 75.)

Käytännössä tilan akustoimiseen on käytettävissä vain muutamia menetelmiä. Itse asiassa on olemassa vain kaksi asiaa, jota äänelle oikeastaan voi tehdä. Ääntä voi joko "imeä" eli absorboida, tai "ohjata uudelleen" eli diffusoida. Kaikki akustointimenetelmät, joita käytetään niin pienissä kotiteattereissa kuin isoissa ammattiäänitysstudioisakin perustuvat joko äänen absorbointiin tai diffusioimiseen. Akustoiminen kulminoituakin tästä johtuen äänen heijastusten hallitsemiseen. Joissain tilanteissa heijastukset ovat haitallisia ja niistä pyritään pääsemään eroon, kun taas joissain tilanteissa heijastuksia luodaan tahallisesti lisää tilan akustisen soinnin parantamiseksi. (Jones & Szymanski 2002, 75.)

### 3.2.1 Absorberit

Absorbointi on äänen akustisen energian muuttamista joksikin muuksi energiaksi, useimmiten lämmöksi. Millä tavalla absorbointia hyödynnetään akustoinnissa riippuu aina käyttökohteesta ja halutusta lopputuloksesta. Yleensä absorboinnilla pyritään saamaan huone kuulostamaan kuivemmalta eli lyhentämään tilan kaiuntaa. Useimmat absorboimiseen tarkoitetut akustiikkaelementit eli absorberit ovat tehokkaita kuitenkin vain rajatulla taajuusalueella. Tällaisilla absorbereilla voidaan siis pyrkiä vähentämään huoneen akustisesta soinnista joitakin tiettyjä epätoivottuja korostuvia taajuuksia. (Jones & Szymanski 2002, 75-76.)

Absorberit jaetaan karkeasti kolmeen eri tyyppiin: huokoiset absorberit (engl. porous absorbers), resonoivat absorberit (engl. resonating absorbers) ja kalvoabsorberit (engl. membrane absorbers). Huokoiset absorberit ovat kaikkein yleisimpiä ja niiden rakenne sisältää kuituisia materiaaleja kuten lasivillaa, vaahtoa, tekstiiliä, mattoa, pehmeää kipsiä ja akustiikkatiiltä. Ääniaalto saa kuituisen materiaalin sisällä olevat ilmamolekyylit värähtelemään, jolloin liike "tarttuu" kuitumateriaaliin ja saa sen myös liikkumaan. Koska kuitumateriaalin liike on rajatumpaa kuin ilmamolekyylien liike, syntyy kitkaa, joka muuttaa osan ääniaallon energiasta lämmöksi. Lämmöksi muuttuneen energian määrä eli käytännössä äänen absorboitumisen määrä riippuu kuituisen materiaalin tiheydestä ja siitä kuinka tiukasti kuitu on materiaaliin pakattu. Jos kuitu on väljästi



pakattua, kitkaa syntyy vähäisesti. Jos taas kuitu on puristettu liian tiiviiksi levyksi, ilma ei läpäise levyä hyvin ja ääni heijastuu suurelta osin takaisin levyn pinnasta. (Jones & Szymanski 2002, 75-76.)

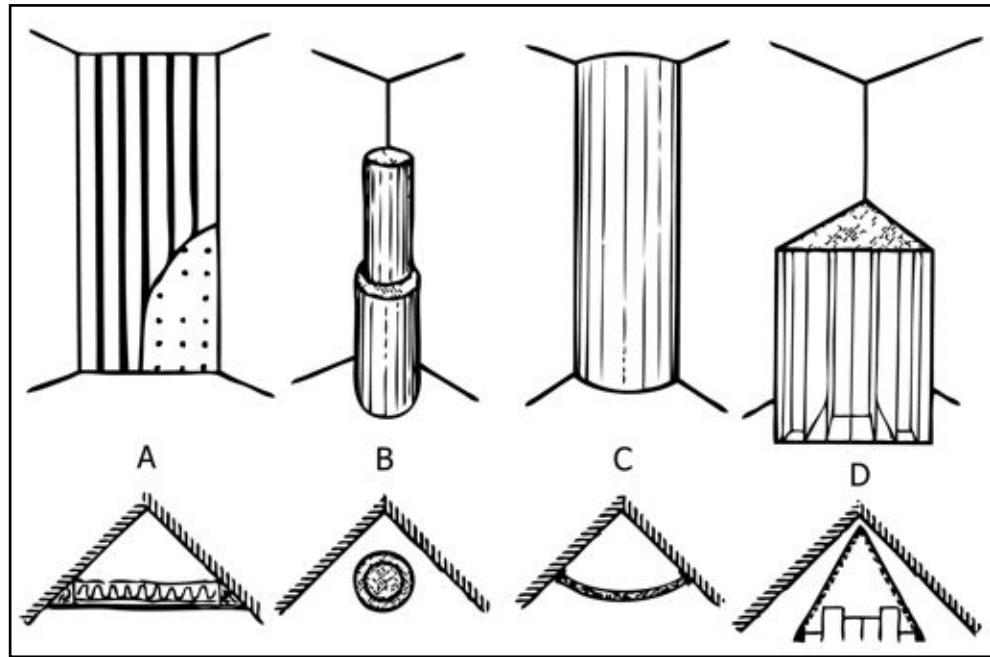
On olemassa monia erilaisia akustisesti resonoivia absorbereita, joista tunnetuimpia ja käytetyimpiä ovat levyabsorberi, Helmholtz resonaattori ja ”bassoträppi”. Levyabsorberin (engl. panel absorber) pinta on taipuisa levy (esim. kipsiä, vaneria, muovia tai komposiittia), joka on kiinnitetty kehikkoon tai kiinteään rakenteeseen niin, että levyn taakse jää tiivis ilmatila. Kun ääniaalto osuu levyabsorberiin, se saa levyn värähtelemään, jolloin levyn kuidut taipuvat ja aiheuttavat kitkaa, mikä puolestaan absorboi osan ääniaallon energiasta. Levyn massa ja ilmatilan kimmoisuus muodostavat yhdessä akustisesti resonoivan kokonaisuuden. Levy alkaa värähdellä vain tietyllä taajuudella, sillä levyn massa rajoittaa sitä värähtelemästä nopeammin ja levyn jäykkyys rajoittaa sitä värähtelemästä hitaammin. Tällaisessa resonoivassa kokonaisuudessa absorbointi on vahvimillaan juuri kyseisen värähtelyn nopeuden taajuusalueella. Kalvoabsorberin pystyy siis ”virittämään” rakenteellisesti absorboimaan ääniaaltoja tietyn taajuuden alueelta käyttämällä laskentakaavaa, jossa huomioidaan levyn pintatiheys suhteutettuna levyn pinta-alaan sekä ilmatilan syvyyteen. (Jones & Szymanski 2002, 75-76.)

Helmholz-resonaattori on yksi vanhimmista käytetyistä resonoivista absorberityypeistä. Jo muinaiset roomalaiset käyttivät ulkoilmateattereissaan isoja ruukkuja, jotka toimivat samalla periaatteella kuin Helmholtz-resonaattori. Helmholtz-resonaattori on käytännössä mikä tahansa pullo, säiliö tai tila, jossa ilma joutuu ahtautumaan kapeasta ”pullonsuusta” päästäkseen sisään tai ulos. Pullon sisällä olevan ilman kimmoisuus toimii jousena, ja pullonsuussa olevan ilman massa painona muodostaen edestakaisin värähtelevän resonoivan kokonaisuuden. Siksi esimerkiksi puhallettaessa ilmaa pullon suuaukon edestä syntyy ääni, joka soi juuri tämän resonoinnin taajuudella. Jos pullon muoto (pullonsuun pituus & halkaisija) on eri tai sen ilmatilaa muutetaan, taajuuskin muuttuu. Lasipullo kylläkään ei toimi studio-olosuhteissa hyvin absorberina, koska äänen vaimentuminen tapahtuu vain hyvin kapealla taajuusalueella juuri resonanssitaajuuden kohdalta. Jotta resonaattori absorboi ääntä paremmin myös resonanssitaajuuden ”lähimaastosta”, tähän resonoivaan kokonaisuuteen on saatava kitkaa. Se tapahtuu esimerkiksi vuoraamalla resonaattorin ”pullonsuu” kankaalla sisäpuolelta tai täyttämällä resonaattori huokoisella materiaalilla. Käytännössä resonaattorit rakenne-

taan jo itsessään kitkaa aiheuttavista materiaaleista ja ne toimivatkin siksi leveämmällä taajuusalueella kuin esimerkiksi lasipullo. Koska resonaattorin toiminta-alue on laajempi kuin lasipullon, se ei myöskään synnytä samanlaista soivaa ääntä, kuin pullonsuuhun puhallettaessa. Useimmiten Helmholtzresonaattoreita näkee rei'itetyn etulevyn muodossa, joka toimii kuten monta vierekkäin asetettua pulloa. Toinen vaihtoehto on niin sanottu Helmholtz-säle-resonaattori, jossa resonaattorin etulevy on rakennettu "aidaksi", jolloin ilma joutuu ahtautumaan pullonsuun sijaan kapeista "aidanraoista" resonaattorin sisälle. (Everest 2001, 215-218.)

"Bassoträppi" (engl. bass trap), eli "basso-loukku" on resonoiva absorberi, jonka tarkoitus on vaimentaa epätoivottuja matalia taajuuksia. Sana bassoträppi on jo itsessään mielenkiintoinen, sillä se sisältää oletuksen siitä, että "basso on karannut käsistä, ja se on saatava loukkuun". Akustisia tuotteita valmistavat yritykset käyttävät sanaa mielellään nimikkeenä laajalle valikoimalle erilaisia tuotteita, ja usein sanaa näkee myös käytettävän väärin liitettynä "laajakaista-absorbereihin", jotka siis absorboivat ääntä niin matalilta kuin korkeilta taajuuksilta. Bassoträppien toimivuus on usein hyvin kiistanalainen, koska nimensä mukaan niiden tulisi vaimentaa vain matalia taajuuksia. Yleensä bassoträppi on kuitenkin käytännössä osa suurempaa kokonaisuutta, joka vaimentaa myös muita taajuusalueita. Tällöin voidaan kiistellä, siitä onko kyseessä oikeastaan bassoträppi vai jokin muu absorberi. Bassoträpin toimivuutta hankaloittaa myös se, että matalien taajuuksien vaimentaminen on haasteellista. Esimerkiksi musiikissa matalat taajuudet sisältävät enemmän energiaa kuin erittäin korkeat taajuudet, minkä vuoksi absorbointitehoakin tarvitaan enemmän. Lisäksi johtuen matalien äänien pitkästä aallonpituudesta, absorberien täytyy olla myös suurikokoisia. Esimerkiksi 20 hertsin taajuisen äänen kunnolliseen absorboimiseen bassoträpin tulisi olla vähintään yli 4 metriä syvä! Harva studionrakentaja on valmis uhraamaan niin paljon huonetilaa tarkkaamostaan basson sieppaamiseen. Lisäksi on pohdittava mitä pahaa matala bassotaajuus on oikein tehnyt, että se on ansainnut vangituksi tulemisen? Mikäli huone on hyvin suunniteltu ja mitoitettu, ei tarvetta basson sieppaamiseen edes synny. Bassoträpin "kansantaru" sisältääkin paljon kuulopuhetta, koska kirjallisuutta aiheesta on vähäisesti. (Jones & Szymanski 2002, 81.) Matalat taajuudet kuitenkin "humisevat" tai "jytisevät" usein pienissä huoneissa, ja jotain on asialle tehtävä. Yksittäisiä korostuvia taajuuksia lähdetään harvemmin metsästäämään, vaan huoneelle tehdään yleisluontoinen bassotaajuuksien "käsittely".

Yleisin tapa on rakentaa huoneen kahteen nurkkaan (kuuntelukaiuttimien lähelle) "bassoträpit". Nämä voivat olla esimerkiksi kotitekoiset Helmholtz-säle-resonaattorit (A), jotka ulottuvat huoneen lattiasta kattoon. Toinen tapa on käyttää valmiita tehdasvalmisteisia bassosieppaimia, joista alla kolme esimerkkiä (B, C, D). (Everest 2001, 406-408.)



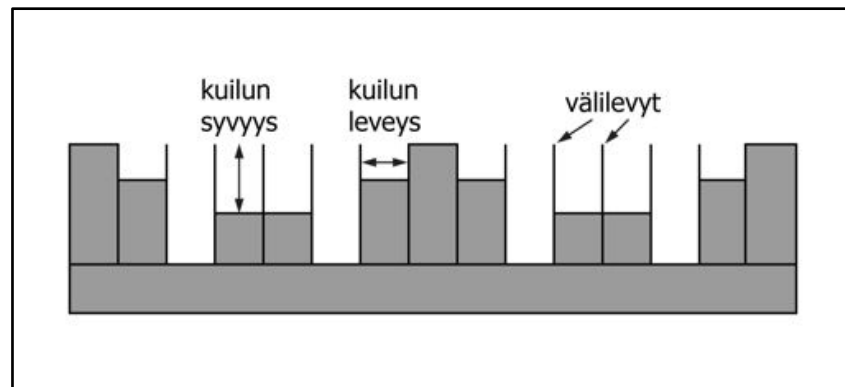
Kuvio 15. Esimerkkejä bassoträpeistä (Everest 2001, 407).

### 3.2.2 Diffusorit

Äänen diffuusiolla tarkoitetaan heijastumista, joka tapahtuu kaikkiin suuntiin huolimatta ääniaallon tulosuunnasta. Parhaimmillaan diffusori ei heijasta siihen osuvaa ääniaaltoa lineaarisesti tiettyyn suuntaan vaan "sirpaloi" äänen heijastaen sen tasaisesti kaikkiin huoneen ilmansuuntiin kaikilla taajuuksilla. (Everest 2001, 87.) Kun ääniaalto osuu tasaiseen ja koveraan pintaan se kohdistuu takaisin heijastuessaan, mutta osuessaan epätasaiseen tai kuperaan pintaan se leviää. Yksinkertaisimmillaan diffusori on kolmio- tai neliömäinen ulkonema seinässä, mutta myös kuperia pintoja käytetään. (Rossing, Moore & Wheeler 2002, 579)

Yleisin studioissa käytettävä diffusorityyppi on nimeltään "neliöllinen jäännös diffusori" (engl. quadratic residue diffuser), josta käytetään lyhennettä QRD. Sen

heijastava pinta koostuu sarjasta kuiluja, joilla on yhtä suuri leveys, mutta kuilujen syvyys vaihtelee tietyn numerosekvenssin perusteella. Kuilut on usein erotettu toisistaan ohuilla välilevyillä, ja osa pinnoista saatetaan verhoilla myös kankaalla. Diffuusoreiden rakenteessa käytetään usein materiaaleja, jotka jo itsessään diffusoivat ääntä, eli joiden pinta on epätasaista ja karheaa (sahattu puu, vaneri, kivi jne.). Alla on esimerkki QRD-diffuusorin pintakuviosta sivuttaisleikkauksena. (Jones & Szymanski 2002, 87.)



Kuvio 16. Sivuttaisleikkaus QRD-diffuusorin pintakuviosta (Jones & Szymanski 2002, 87).

### 3.3 Tilanmittaustekniikka

Tilan akustiseen sointiin vaikuttavat monet tekijät, kuten esimerkiksi huoneen mitat, seinäpintojen heijastavuus, sisustuksen absorboivuus, huonekalujen sijoittelu ja kuuntelukaiuttimien sijoittelu. Ääniaaltojen leviäminen, heijastuminen ja vaimentuminen huoneessa on luonteeltaan niin kompleksia, että niiden tarkka laskeminen tai matemaattinen mallintaminen on usein lähestulkoon mahdotonta. Tästä johtuen akustiikkamittauksista on muodostunut luotettavin tapa määrittää tilan akustista sointia tarkasti. Tietokoneiden ja digitaalisen äänenmuokkaamisen yleistymisen myötä tilan akustinen mittaaminen on tullut mahdolliseksi myös ilman kalliita erikoistyökaluja. Käytännössä tilan mittaamiseen tarvitaan ainoastaan mittamikrofoni ja mikrofonietauhvistin, sekä tietokone ja ohjelmisto, joka suorittaa analysointitoiminnot. Tietokonepohjaisten mittausjärjestelmien etuna on myös käytettävän laitteiston mahdollisten puutteiden kompensointi. Monien mittausohjelmistojen käyttämät aika-viive spektrometria (engl. Time-Delay Spectrometry, lyh. TDS) ja maksimipituus-sekvenssi (engl.

Maximum-Length Sequency, lyh. MLS) mittaustekniikat sietävät erittäin hyvin halpojen tietokoneäänikorttien laadullisia puutteita. (Everest 2001, 501-504.)

Tilanmittausohjelmistot pystyvät mittaamaan useita tilan akustisia ominaisuuksia, kuten jälkikaiunta-aikaa (engl. reverberation time), iskuäänivastetta (engl. impulse response) ja taajuusvastetta (engl. frequency response). Lisäksi mittausohjelmistot pystyvät tuottamaan tallennetusta mittausmateriaalista vesiputouskuvaajia (waterfall graph), energia-aika käyriä (engl. energy-time curve) ja lukuisia muita mittaamiseen ja suunnitteluun hyödyllisiä kuvaajia. (Everest 2001, 501-504.)

Jälkikaiunta-aika kertoo tilan jälkisoinnin pituuden. Se ilmaistaan yleensä käyttäen iskuäänivastetta tai  $RT_{60}$ -kuvaajaa. Iskuäänivasteen käyrän pystyakseli kuvaa äänenpainetta ja vaaka-akseli kulunutta aikaa. Usein iskuäänivasteiden kuvaajat normalisoidaan, eli tasataan käyrän huippuarvon mukaan, jotta käyrästä voidaan lukea kuinka kauan iskuäänellä kestää vaimentua huoneen pohjakohinan tasolle. Lähestulkoon jokaisesta mitattavasta tilasta löytyy pohjakohinaa, eli yleensä mikään huone ei ole täysin hiljainen. Huoneen pohjakohinan aiheuttaa yleensä esimerkiksi ilmastointi tai sähköiset laitteet.  $RT_{60}$ -kuvaaja ilmaisee ajan, jonka aikana ääni vaimenee huoneessa 60 desibeliä. Toisin sanoen se ilmaisee ajan, jonka aikana erittäin kova ääni vaimenee kuulumattomiin.  $RT_{60}$ -kuvaajassa on se etu, että äänen jälkikaiunta-aikaa voi tarkastella taajuusalueittain. Kuvaajassa pystyakseli ilmaisee  $RT_{60}$ -aikaa ja vaaka-akseli taajuutta. (Everest 2001, 135.) Pienissä absorboiviksi rakennetuissa studioissa jälkikaiunta-ajat ovat ihanteellisesti 250 millisekunnin luokkaa, kun taas isoissa äänitystiloissa musiikkia ja orkestereita varten jälkikaiunta-ajat ovat ihanteellisesti 1,6 sekunnin luokkaa. (Huber & Runstein 2001, 86.)

Huoneen taajuusvaste kertoo millä tavalla tilan akustiset ominaisuudet värittävät tilan akustista sointia. Taajuusvasteen kuvaajan pystyakseli ilmaisee äänenpainetta ja vaaka-akseli taajuutta. Mikäli huone ei väritä tilan sointia lainkaan taajuusvasteen kuvaaja on vaakasuora viiva. Tämä ei käytännössä kuitenkaan ole mahdollista, vaan huippustudioidenkin taajuusvaste poikkeaa aina jonkin verran suorasta taajuusvasteesta (engl. flat frequency response), parhaimmillaan vain alle 3 desibeliä. (Huber & Runstein 2001, 86.) Tilanmittauksessa on taajuusvastetta tarkasteltaessa muistettava, että kuvaaja ei pelkästään kerro huoneen, vaan koko mittausjärjestelmän aiheuttaman

väriytyksen tilan sointiin. Käytettävä mittamikrofoni siis vaikuttaa mittaustulokseen, kuten myös käytettävien kuuntelukaiuttimien toistoalue. (Brown 2002, 1471-1480.)

Yksi nykyaikaisten mittausohjelmistojen etu on, että ne kykenevät tuottamaan yhdestä tallennetusta mittausnäytteestä useita eri akustisia ominaisuuksia ilmaisevia kuvaajia. Yksi hyvä esimerkki on vesiputouskuvaaja. Vesiputouskuvaajan perusidea on, että se yhdistää edellä mainitut taajuusvasteen ja jälkikaiunta-ajan kuvaajat yhdeksi kolmiulotteiseksi kuvaajaksi. Vesiputouskuvaajassa yksi akseli kuvaa taajuutta, toinen aikaa, ja kolmas äänenpainetta. Kuvaaja osoittaa usealla päällekkäisellä taajuusvasteen kuvaajalla kuinka huoneen taajuusvaste muuttuu testiäänän vaimentuessa mitattavassa huoneessa. Tämä mahdollistaa esimerkiksi yksittäisten taajuuksien ja taajuusalueiden jälkisoinnin, korostuneisuuden tai vaimentuneisuuden tarkastelemisen suhteutettuna aikaan. Nämä kolmiulotteiset kuvaajat ovat useimmissa mittausohjelmissa käyttäjän liikuteltavissa ja muokattavissa niin, että kuvaajia voi tarkastella niin taajuuden kuin ajan perusteella. (Brown 2002, 1471-1480.)

## 4 Mittaustulosten esittely

Seuraavaksi esittelen tutkittavan tilan akustiikkamittausten tulokset. Ensinnäkin käsitellään mittaustulokset ilman akustiikkaelementtejä, ja sen jälkeen mittaustulokset akustiikkaelementtien kanssa. Mittausten kuvaajat löytyvät myös koostettuna liitteestä numero 1. Sweep-mittauksen kuvaajissa on vesiputouskuvaajia lukuun ottamatta käytetty 1/3 oktaavin tasausta, jotta kuvaajien käyriä on helpompi tarkastella ja vertailla keskenään. Lisäksi 1/3 oktaavin tasoitus edesauttaa käyrien vertailua ääninäytteisiin, koska kuvaajien käyrät muistuttavat tällöin enemmän ihmisen korvan erottelukykä ääninäytteitä kuunneltaessa. Mittausohjelmiston rajoitteiden takia tasauksen käyttäminen ei ollut mahdollista vesiputouskuvaajissa. Kohina- ja musiikinäytemittausten keskiarvokuvaajissa on käytetty 1/24 oktaavin tasausta, koska kuvaajan keskiarvoistaminen itsessään tasoittaa jo käyrää riittävästi tarkastelua ja vertailua varten.

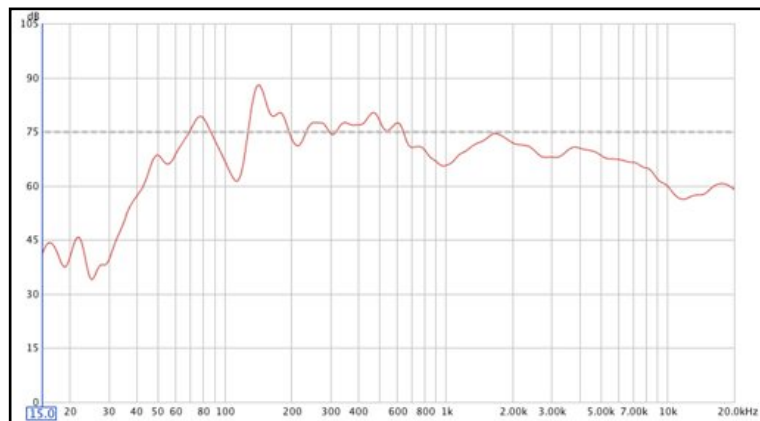
Mittauskuvaajien tueksi mittaustilanteesta tallennettiin myös ääninäytteitä. Nämä ääninäytteet on koostettu CD-levylle, joka on liite numero 2. Myös CD-levyn ääninäytteet on jaoteltu käytetyn kaiutintyyppin mukaan. Koska työn analyysi perustuu kuvaajien ja näytteiden vertailuun, on CD-levylle myös koostettu jokaisesta "ääninäyteparista" (ilman akustointia ja akustoinnin kanssa) yhdistelmä-ääniraita, jossa kuuntelunäyte vaihtuu automaattisesti neljän sekunnin välein. Tämä yhdistelmä-ääniraita alkaa aina näytteestä ilman akustointia niin, että ensimmäisten neljän sekunnin ajan kuuluu ääninäyte ilman akustointia ja seuraavan neljän sekunnin ajan ääninäyte akustoinnin kanssa, jonka jälkeen taas ääninäyte ilman akustointia. Ääniraitaan on myös lisätty merkkiäänet, jotka ilmaisevat ääninäytteiden vaihtumisen. Korkeampi merkkiääni ilmoittaa ääninäytteen ilman akustointia alkamisen, ja matalampi merkkiääni ääninäytteen akustoinnin kanssa alkamisen. Ääninäytteet olisi hyvä kuunnella hyvälaatuisilla kuulokkeilla tai mahdollisimman neutraalissa ympäristössä, jotta kuuntelutilan akustiikka ei vääristä kuuntelukokemusta.

Johtuen ihmiskorvan nopeasta adaptoitumiskyvystä taajuusvaihteluihin, ääninäytteitä ei ole analysoitu erikseen, vaan niitä on käytetty akustoinnin vaikutusten vertailuun kappaleessa 5 Tulosten yhteenveto. Kohinamittauksen ja musiikinäytemittauksen

keskiarvollisia vertailukuvioita 41-50 on myös käytetty vain vertailuun kappaleessa 5 Tulosten yhteenveto.

#### 4.1 Tutkittava tila ilman akustointia

Kuviosta 17 nähdään, että Behringer Truth kaiuttimien sweep-mittauksen taajuusvas- teessa ilmenee yläbassoalueella noin 13 desibelin korostuma 75 desibelin ihannetasoon verrattuna. Korostuman huipun taajuus on 142 hertsiä. Keskibassoalueessa näkyy myös noin 14 desibelin vaimentuma 118 hertsin taajuudella. Alabassotaajuusalue on oletetusti vaimentunut 80 hertsistä alkaen alaspäin, mikä on käytettyjen kaiuttimien toistoalueen alaraja. Kuvaajan keskialueesta löytyy 10 desibelin vaimentuma noin 1 kilohertsin taajuudella. Kuvion yläkeskialueen vaimeneminen alkaa 1,7 kilohertsin kohdalla ja jatkuu edelleen diskanttialueelle päästäessä 20 kilohertsiin asti, jossa vaimentuma on 15 desibeliä. Diskanttialueen vaimeneminen on tasaista lukuun ottamatta 3 ja 12 kilohertsin alueita, joissa kummassakin käyrä tekee noin 5 desibelin ylimääräisen notkahduksen.

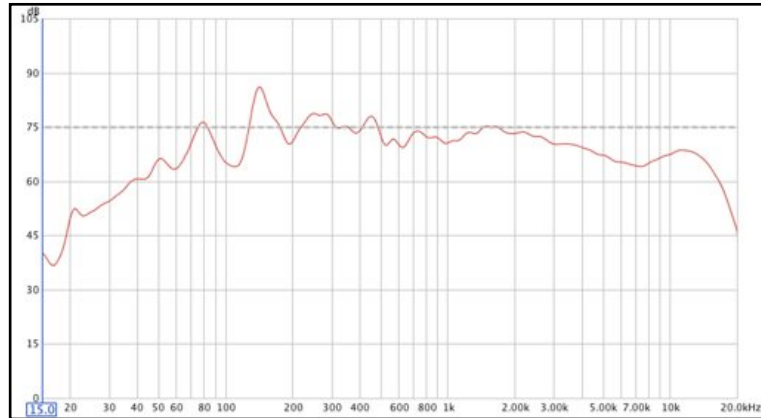


Kuvio. 17 Taajuusvaste ilman akustointia Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).

Vastaavasta Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitatusta taajuusvasteen kuviosta 18 ilmenee myöskin vaimentuma keskibassoalueella 118 hertsin taajuudella, jonka voimakkuus on noin 11 desibeliä. Taajuusvaste vaimenee myös 80 hertsistä alkaen alaspäin kaiuttimien toistoalueesta johtuen. Yläbassoalueella on 11 desibelin korostuma 142 hertsin taajuudella. Kuvaajan alakeskialueella on noin 5 desibelin vaimentumat sekä 600

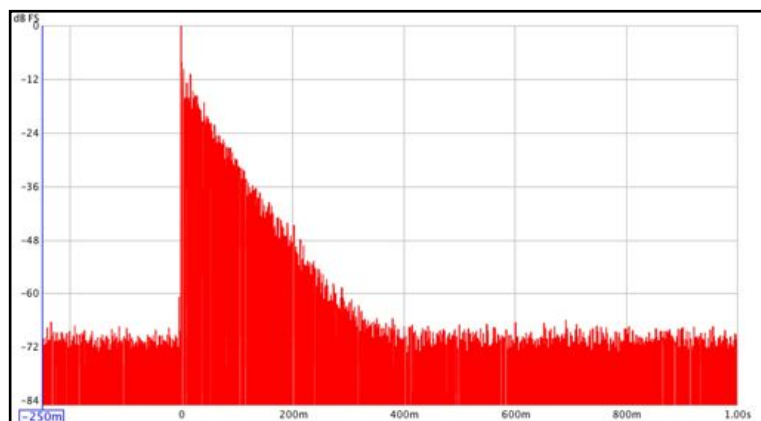


hertsin että 1000 hertsin kohdalla. Yläkeskialue alkaa niin ikään vaimentua 1,7 kilohertsin kohdalla ja vaimenee 20 kilohertsiin asti yli 25 desibeliä. Yläkeskialueen ja diskantin vaimeneminen on suhteellisen tasaista lukuun ottamatta noin 12 kilohertsin aluetta, jossa kuvaaja tekee reilun 5 desibelin leveähkön nousun.



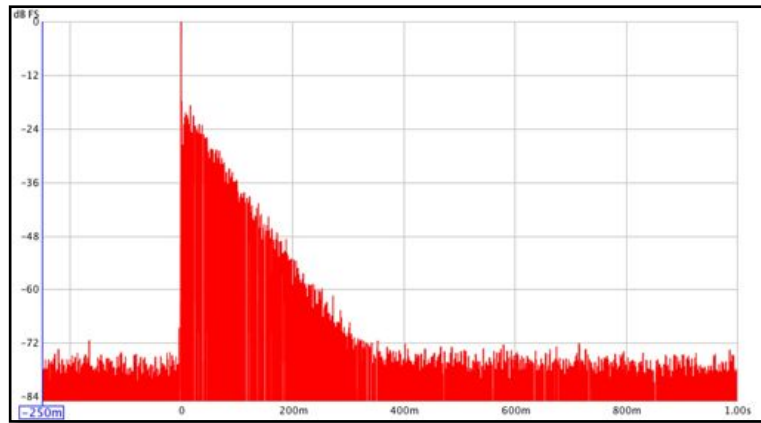
Kuvio 18. Taajuusvaste ilman akustointia Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).

Sweep-mittauksen iskuäänivaste Behringer Truth -kaiuttimilla on kuvattuna kuviossa 19. Mitattu suora iskuääni näkyy kuvaajassa huippuarvona 0 desibeliä. Huoneen heijastukset vaimenevat -12 desibelistä -70 desibeliin, mikä on pohjakohinan taso. Iskuäänen vaimentuminen huippuarvostaan pohjakohinan tasolle -70 desibeliin kestää noin 360 millisekuntia.

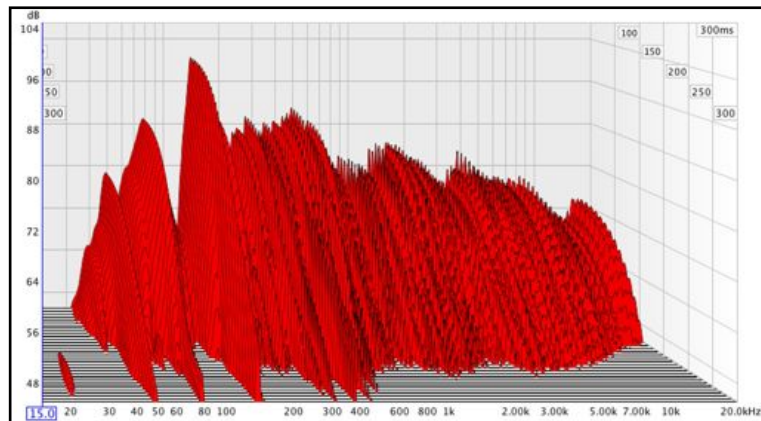


Kuvio 19. Iskuäänivaste ilman akustointia Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.

Tannoy Reveal -kaiuttimien iskuäänivasteen kuvaaja kuviossa 20 osoittaa huoneen heijastusten vaimentuvan -18 desibelistä -75 desibeliin. Kuvaaja on tasattu huippuarvon mukaan 0 desibeliin. Huomioitavaa on, että pohjakohinan tasoksi on luettavissa noin -75 desibeliä. Iskuäänen vaimentumisen ajaksi huippuarvostaan pohjakohinan tasolle -75 desibeliin on luettavissa noin 380 millisekuntia.



Kuvio 20. Iskuäänivaste ilman akustointia Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.

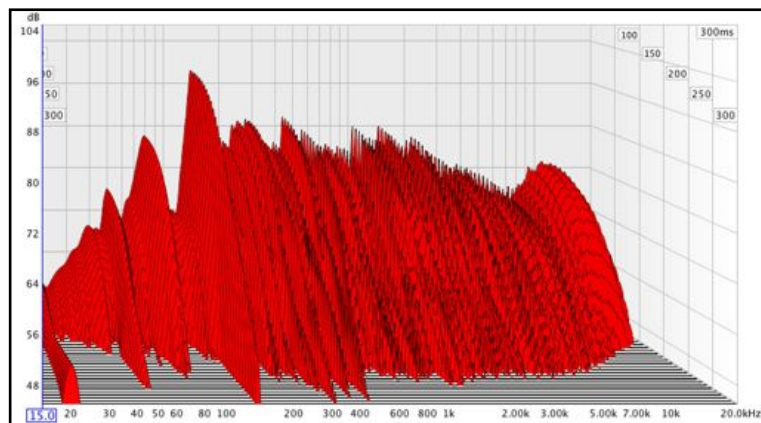


Kuvio 21. Vesiputouskuvaaja ilman akustointia Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.

Behringer Truth -kaiuttimien vesiputouskuvaajasta kuviossa 21 on luettavissa, että bassoalueella on kolme taajuutta, joiden vaimeneminen kestää huomattavasti pidempään kuin muilla taajuuksilla. 49 hertsin taajuus vaimenee 45 desibeliin noin 330 millisekunnin jälkeen, ja 78 hertsin taajuudella sama vaimeneminen kestää peräti 400 millisekuntia. Yläbassoalueen taajuuden 142 hertsiä vaimeneminen 45 desibeliin kestää

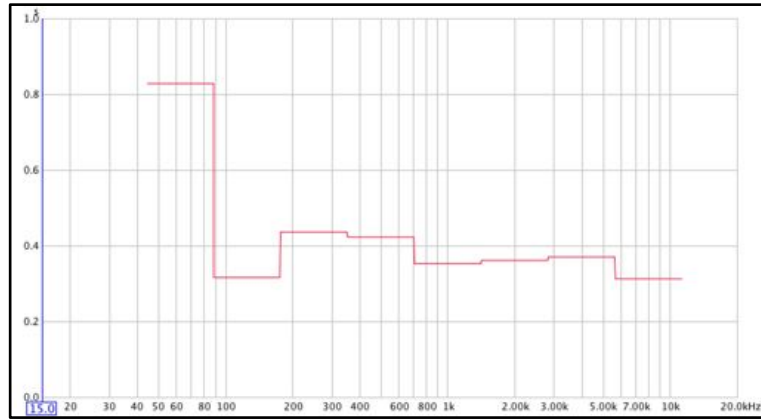
myös lähes 400 millisekuntia. Alakeskialueella on rypäs taajuuksia 290, 315, 382, 452 ja 527 hertsiä, joiden vaimentuminen on selkeästi hitaampaa kuin muiden taajuuksien, keskimäärin 280 millisekuntia. Yli kymmenen kilohertsin diskanttialueen taajuudet poikkeavat kuvaajan mukaan sillä tavoin, että ne vaimenevat keskimäärin 100 millisekuntia nopeammin kuin muut taajuudet.

Kuviosta 22 on nähtävissä, että Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna huoneessa on myös ollut bassoalueella muita hitaammin vaimenevia taajuuksia. Vaimeneminen 45 desibeliin kestää 49 hertsin taajuudella 250 millisekuntia, ja 78 hertsillä noin 200 millisekuntia. Huomioitavaa on, että alabassoalueen taajuus 20 hertsiä ei kuvion 22 mukaan vaimene ollenkaan. Yläbassoalueella on nähtävissä taajuus 142 hertsiä, joka vaimenee 350 millisekunnissa 45 desibeliin. 290, 315, 382, ja 452 hertsiä vaimenevat alakeskialueella myös hitaammin kuin muut taajuudet, eli noin 280 millisekunnissa. Korkeat diskanttialueen taajuudet vaimenevat myös Tannoy Reveal -kaiuttimien mittauksen mukaan noin 100 millisekuntia nopeammin kuin muut taajuudet.



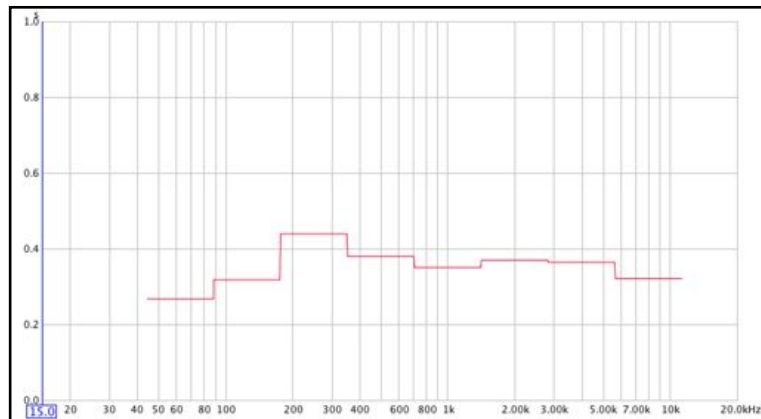
Kuvio 22. Vesiputouskuvaaja ilman akustointia Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.

Kuvion 23 käyrä seuraavalla sivulla osoittaa Behringer Truth -kaiuttimilla mitatun  $RT_{60}$  jälkikaiunta-ajan. Käyrän huippuarvo sijaitsee ala- ja keskibassoalueella 45-89 hertsissä. Tämän taajuusalueen  $RT_{60}$  jälkikaiunta-aika on 830 millisekuntia. Taajuusalueen 89-175 hertsiä ja 6-12 kilohertsiä vaimentuminen 60 desibelillä on kestänyt noin 310 millisekuntia. Alakeskitaajuuksien 175-700 hertsiä vastaava vaimentuminen on kestänyt noin 430 millisekuntia, ja yläkeskitaajuuksien 700-6000 hertsiä vaimentuminen noin 360 millisekuntia.



Kuvio 23. Jälkikaiunta-aika ( $RT_{60}$ ) ilman akustointia Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.

Tannoy Reveal kaiuttimien vastaavat jälkikaiunta-ajat on nähtävissä kuviosta 24. Käyrä osoittaa, että ala-keskibassoalueen 45-89 hertsiä  $RT_{60}$  jälkikaiunta-aika on vain 270 millisekuntia. Taajuusalueiden 175-700 hertsiä ja 6-12 kilohertsiä  $RT_{60}$  jälkikaiunta-ajat ovat noin 310 millisekuntia. Taajuusalueella 175-350 hertsiä on kuvaajan pisin jälkikaiunta-aika 440 millisekuntia. Ala- ja yläkeskialue 350-6000 hertsiä on vaimentunut 60 desibeliä ajassa 360 millisekunnissa.



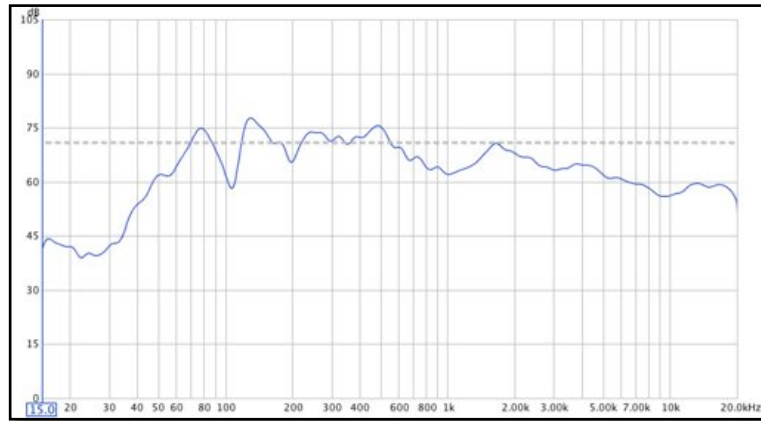
Kuvio 24. Jälkikaiunta-aika ( $RT_{60}$ ) ilman akustointia Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.

### **Yhteenveto: Tila ilman akustointia**

- Huoneen taajuusvasteessa on huomattava noin 12 desibelin vaimentuma 118 hertsin taajuudella.
- Taajuusvasteessa on myös huomattava yli 10 desibelin korostuma 142 hertsin taajuudella.
- Taajuusvasteen korkeassa diskanttialueessa on lähes 20 desibelin vaimentuma.
- Iskuäänen vaimentuminen huippuarvostaan pohjakohinan tasolle kestää huoneessa yli 360 millisekuntia.
- Tannoy Reveal -kaiuttimien iskuäänivasteen mittauksessa pohjakohina on eri tasolla -75 desibeliä.
- Taajuudet 49, 78, ja 142 hertsiä sekä taajuusalue 290-530 hertsiä vaimentuvat keskimäärin yli 100 millisekuntia hitaammin kuin muut taajuudet.
- Korkea diskanttialue vaimenee keskimäärin 100 millisekuntia nopeammin kuin muut taajuudet.
- Taajuus 20 hertsiä ei Tannoy Reveal -kaiuttimien sweep-mittauksessa vaimentunut ollenkaan.
- Huoneen jälkikaiunta-aika  $RT_{60}$  on 310-440 millisekuntia lukuun ottamatta taajuusaluetta 45-89 hertsiä, jonka mittaustulosten erot Behringer Truth ja Tannoy Reveal -kaiuttimien mittausten välillä ovat huomattavia.

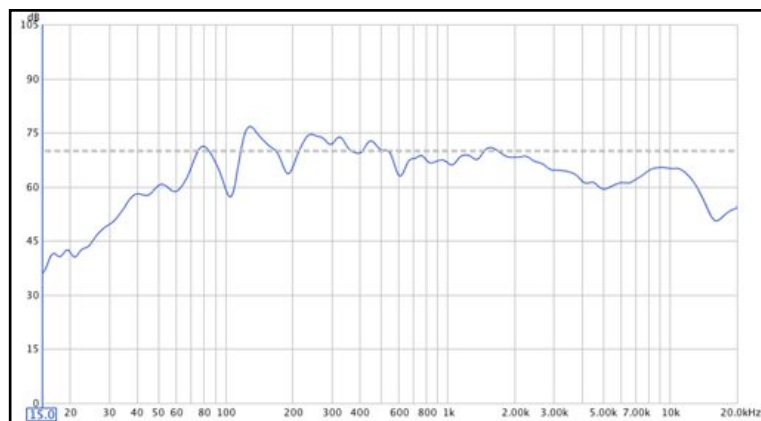
#### 4.2 Tutkittava tila akustoinnin kanssa

Kuvio 25 seuraavalla sivulla näyttää Behringer Truth -kaiuttimilla tehdyn mittauksen taajuusvasteen akustoidussa huoneessa. Kaiuttimen toistoalueesta johtuva alabassoalueen vaimentuma 80 hertsistä alkaen alaspäin erottuu kuvaajasta selkeästi. Kuvaajan keskiarvoinen kokonaistaso on alempana kuin ihannetaso 75 desibeliä. Tutkiaksemme tilan taajuusvasteen suhteellisia muutoksia on käyrän vertailutaso asetettava alemmas noin 71 desibelin kohdalle. Yläbassoalueesta löytyy selkeä 13 desibelin vaimentuma 106 hertsin kohdalta. 130 hertsin kohdalla ilmenee 7 desibelin korostuma 71 desibeliin verrattaessa. Kuvaaja osoittaa, että alakeskialueella on leveähkö 9 desibelin vaimentuma 1 kilohertsin taajuudella. Yläkeskialue ja diskantti vaimenevat kohtuullisen tasaisesti 1,7 kilohertsistä alkaen ylöspäin, saavuttaen 20 kilohertsin kohdalla noin 15 desibelin vaimennuksen 71 desibeliin verrattaessa. Diskanttialueella vaimeneminen pysyttelee kuitenkin noin 11 desibelin tasolla 12-17 kilohertsin taajuudella.



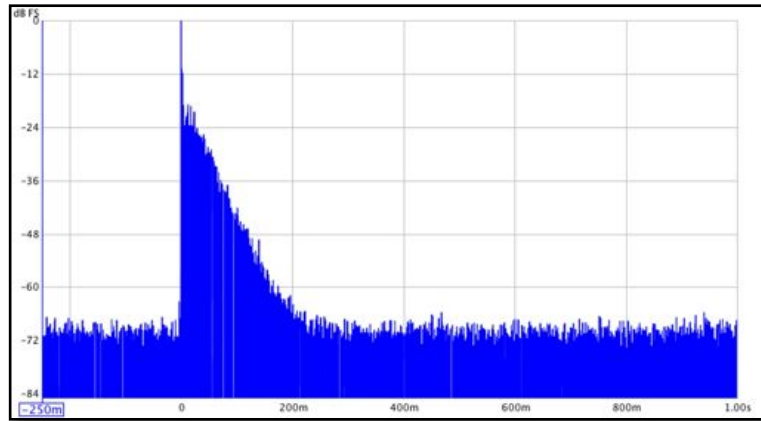
Kuvio 25. Taajuusvaste akustoinnin kanssa Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).

Tannoy Reveal -kaiuttimilla tehdyn mittauksen kuvaaja kuviossa 26 osoittaa, että alabassotaajuudet vaimentuvat myös 80 hertsistä alkaen alaspäin kaiuttimien toistoalueen vuoksi. Kuvaajan kokonaistaso sijoittuu 75 desibelin ihannetasoon nähden selkeästi alemmas, joten vertailutaso tulee asettaa noin 70 desibelin kohdalle suhteellisten taajuusvastemuutosten erottamiseksi. Keskitienoalueella on huomattava 13 desibelin vaimentuma 105 hertsin taajuudella 70 desibelin tasoon verrattuna. Yläbassoaueen 130 hertsin korostuma on 7 desibeliä. Alakeskialueessa on havaittavissa 7 desibelin vaimentuma 600 hertsin taajuudella. Kuvaajan yläkeskialue ja diskantti vaimenevat 1,7 kilohertsin taajuudesta alkaen, saavuttaen 20 kilohertsin kohdalla 14 desibelin vaimennuksen. Diskanttialueessa on kuitenkin alue 7 ja 12 kilohertsin välillä, jolla vaimennus pysyttelee 5 desibelissä 70 desibeliin verrattuna. Lisäksi kuvaajan käyrässä on 16 kilohertsin kohdalla kuoppa, jossa vaimennus notkahtaa 20 desibeliin.



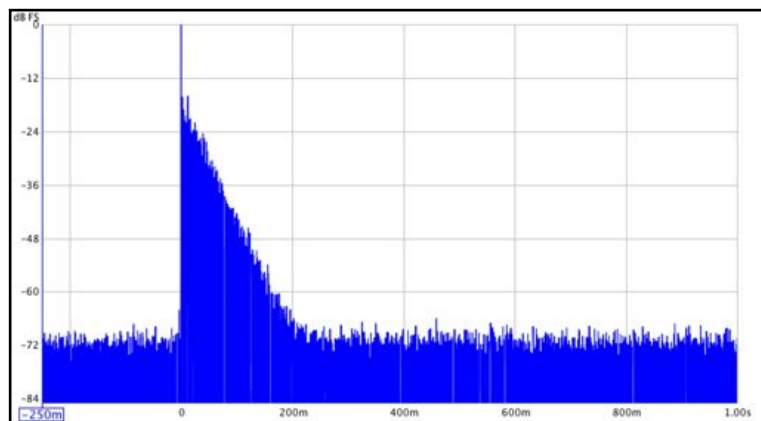
Kuvio 26. Taajuusvaste akustoinnin kanssa Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).

Behringer Truth -kaiuttimilla mitatussa iskuäänivasteessa kuviossa 27 on suoran iskuäänen huippuarvon taso asetettu 0 desibeliin. Huoneheijastukset vaimenevat -12 desibelistä -70 desibeliin pohjakohinan tasolle. Iskuäänen vaimentuminen huippuarvostaan pohjakohinan tasolle -70 desibeliin kestää noin 230 millisekuntia.



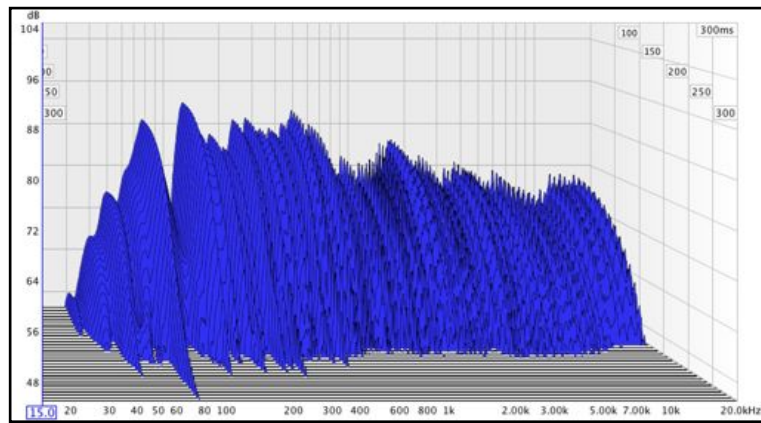
Kuvio 27. Iskuäänivaste akustoinnin kanssa Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.

Kuvio 28 osoittaa Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitatun iskuäänivasteen. Kuvaajasta on nähtävissä, että iskuäänen huippuarvo on asetettu tasoon 0 desibeliä. Huoneen heijastukset vaimenevat -12 desibelistä pohjakohinan tasolle -70 desibeliin. Iskuäänen vaimentumisen ajaksi huippuarvostaan pohjakohinantasolle -70 desibeliä on luettavissa noin 220 millisekuntia.

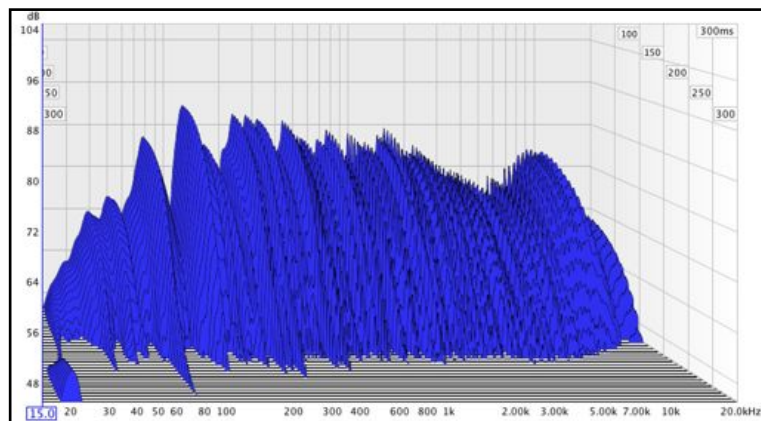


Kuvio 28. Iskuäänivaste akustoinnin kanssa Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.

Kuvion 29 vesiputouskuvaaja osoittaa, että Behringer Truth -kaiuttimien mittauksessa huoneessa on yksi taajuus, 78 hertsiä, joka vaimenee selkeästi muita taajuuksia hitaammin. Vaimentuminen 45 desibelin tasolle kestää noin 250 millisekuntia. Muut taajuudet vaimenevat huoneessa 45 desibelin tasolle keskimäärin 140 millisekunnissa. Lievästi hitaampaa, noin 190 millisekunnin vaimentumista 45 desibelin tasolle, on havaittavissa taajuuksilla 49, 130, 190, 240, 260 ja 286 hertsiä. Lisäksi on nähtävissä, että diskanttialueen taajuudet 12 kilohertsistä ylöspäin vaimenevat noin 20 millisekuntia nopeammin kuin muut taajuudet.



Kuvio 29. Vesiputouskuvaaja akustoinnin kanssa Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.



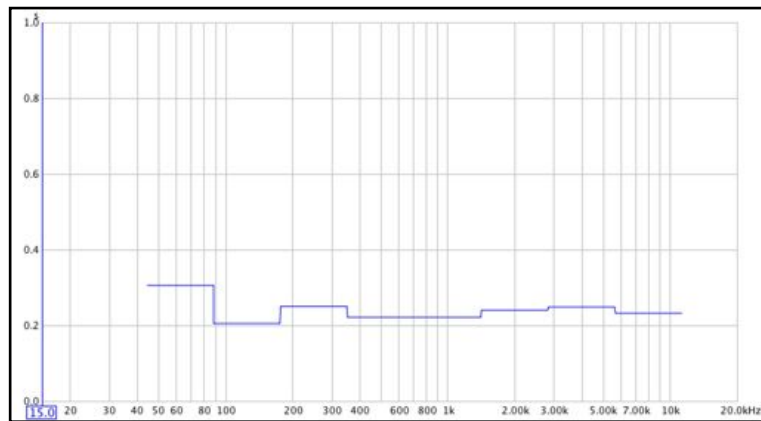
Kuvio 30. Vesiputouskuvaaja akustoinnin kanssa Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.

Tannoy Reveal -kaiuttimien vesiputouskuvaaja kuviossa 30 näyttää, että suurin osa taajuuksista vaimenee 45 desibelin tasolle 160 millisekunnissa. Lievästi hitaammin – noin 200 millisekunnissa – vaimenevat 45 desibeliin taajuudet 38, 126, 240, 260, 286, 440 ja 494 hertsiä. Taajuus 78 hertsiä tarvitsee 280 millisekuntia vaimentuakseen 45



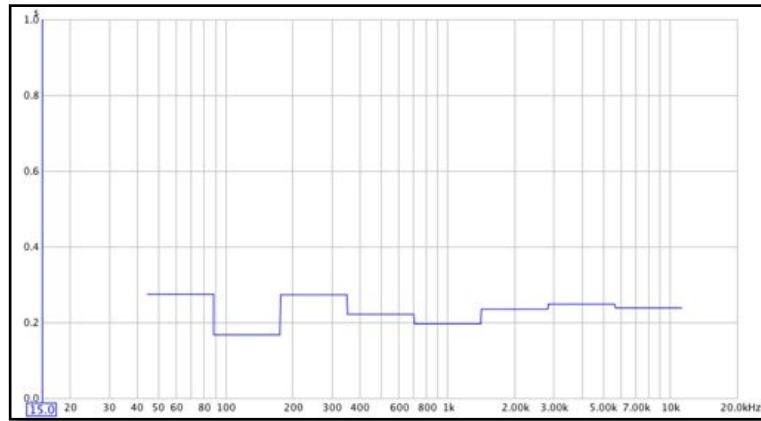
desibelin tasolle. 20 hertsin taajuudelle ilmestyy ”tyhjistä” 160 millisekuntia testiäänän alkamisen jälkeen noin 50 desibelin tasoinen ääni joka ei vaimene ollenkaan. Korkeat diskanttitaajuudet vaimenevat keskimäärin noin 40 millisekuntia nopeammin kuin muut taajuudet.

Sweep-mittauksen  $RT_{60}$  jälkikaiunta-aika Behringer Truth -kaiuttimilla on nähtävissä kuviossa 31. Se osoittaa, että jälkikaiunta-aika on taajuusalueella 175-12000 hertsiä noin 240 millisekuntia. Taajuusalueella 89-175 hertsiä jälkikaiunta-aika on hieman lyhyempi, noin 210 millisekuntia. Käyrän huippuarvo löytyy taajuusalueelta 45-89 hertsiä, jonka  $RT_{60}$  jälkikaiunta-aika on 310 millisekuntia.



Kuvio 31. Jälkikaiunta-aika ( $RT_{60}$ ) akustoinnin kanssa Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.

Seuraavan sivun kuvion 32 käyrän mukaan Tannoy Reveal -kaiuttimien mittauksessa huoneen  $RT_{60}$  jälkikaiunta-aika on noin 240 millisekuntia taajuusalueilla 350-700 hertsiä ja 1,4-12 kilohertsiä. Taajuusalueen 700-1400 hertsiä jälkikaiunta-aika on hieman lyhyempi, noin 200 millisekuntia ja taajuusalueen 89-175 hertsiä noin 180 millisekuntia. Kuvaajan pisin  $RT_{60}$  jälkikaiunta-aika löytyy taajuusalueilta 45-89 ja 175-350 hertsiä, joiden jälkikaiunta-aika on 280 millisekuntia.



Kuvio 32. Jälkikaiunta-aika ( $RT_{60}$ ) akustoinnin kanssa Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.

### **Yhteenveto: Tila ilman akustointia**

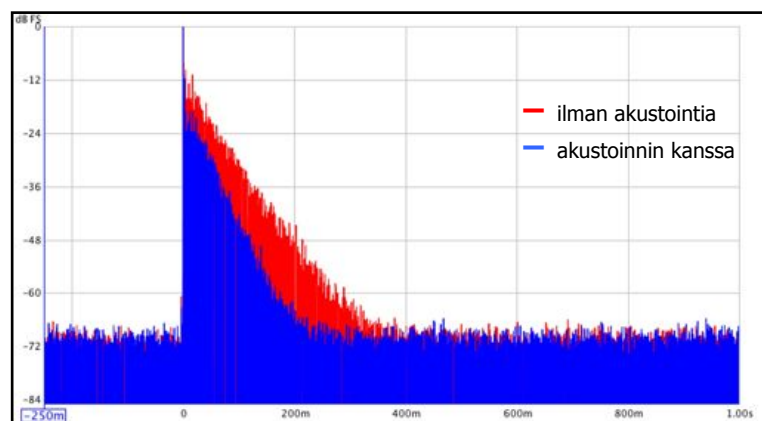
- Huoneen taajuusvasteen kuvaajien kokonaistasot ovat noin 70 desibelin tasolla.
- Taajuusvasteessa on huomattava noin 12 desibelin vaimentuma 106 hertsin taajuudella.
- Taajuusvasteessa on myös 7 desibelin korostuma 130 hertsin taajuudella.
- Taajuusvasteen diskanttissa vaimentuma pysyy paikoitellen tasaisena 7-12 kilohertsin ja 12-17 kilohertsin välillä.
- Iskuäänen vaimentuminen huippuarvostaan pohjakohinan tasolle kestää huoneessa noin 230 millisekuntia.
- Vain taajuus 78 hertsiä vaimenee keskimäärin 100 millisekuntia hitaammin kuin muut taajuudet.
- Korkea diskanttialue vaimenee keskimäärin noin 30 millisekuntia nopeammin kuin muut taajuudet.
- Tannoy Reveal -kaiuttimien sweep-mittauksessa vesiputouskuvaajaan ilmestyi 20 hertsin ääni 160 millisekuntia testisignaalin alkamisen jälkeen.
- Huoneen jälkikaiunta-aika  $RT_{60}$  on keskimäärin noin 230 millisekuntia ja jälkikaiunta-ajan vaihtelu eri taajuusalueilla on suhteellisen vähäistä.

## 5 Tulosten tarkastelu

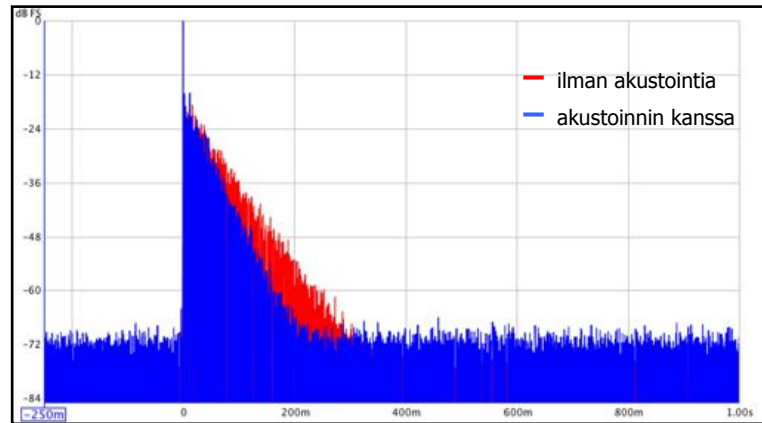
Tässä kappaleessa esittelen keskeisimmät tutkimustulokset akustoinnin vaikutuksesta UKKOstudion äänitarkkaamossa.

### 5.1 Jälkikaiunta-aika

Akustiikkaelementtien huomattavin vaikutus tilan akustiseen sointiin on tarkkaamon jälkikaiunta-ajan merkittävä lyheneminen. Alla oleva kuvio 33 osoittaa, että iskuääni vaimenee akustoidussa huoneessa lähes 150 millisekuntia nopeammin kuin akustoimattomassa huoneessa. Kuvio 34 seuraavalla sivulla osoittaa myös jälkikaiunta-ajan lyhenevän, mutta vähemmän radikaalilla muutoksella kuin kuviossa 33. Kuvion 34 kuvaajaan on kuitenkin suhtauduttava kriittisesti. Kappaleessa 4.1 esitetty kuvion 20 pohjakohinan tasoero tekee kuvion 34 mittaustuloksen epäluotettavaksi. Kuvion 20 pohjakohina on 5 desibeliä alempana kuin muiden iskuäänivasteiden pohjakohina. Koska iskuäänivasteiden kokonaistaso on tasattu (eli normalisoitu), voidaan päätellä, että kuvion 20 pohjakohinan ero on johtunut siitä, että kuvion 20 mittauksessa iskuääni on soinut huoneessa 5 desibeliä kovempaa kuin muissa mittauksissa. Akustoimattoman huoneen mittauksessa Tannoy Reveal -kaiuttimilla on siis tapahtunut mittausrvirhe, jonka vuoksi kuvion 33 mittaustulokset ovat luotettavampia kuin kuvion 34 mittaustulokset.

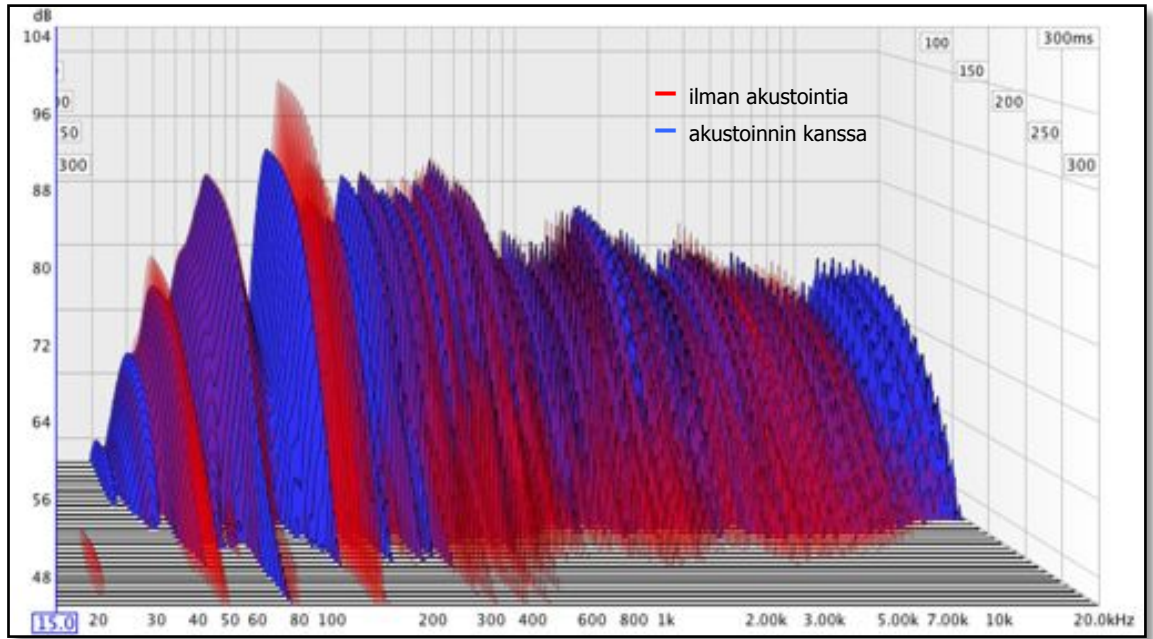


Kuvio 33. Iskuäänivasteiden vertailu Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.

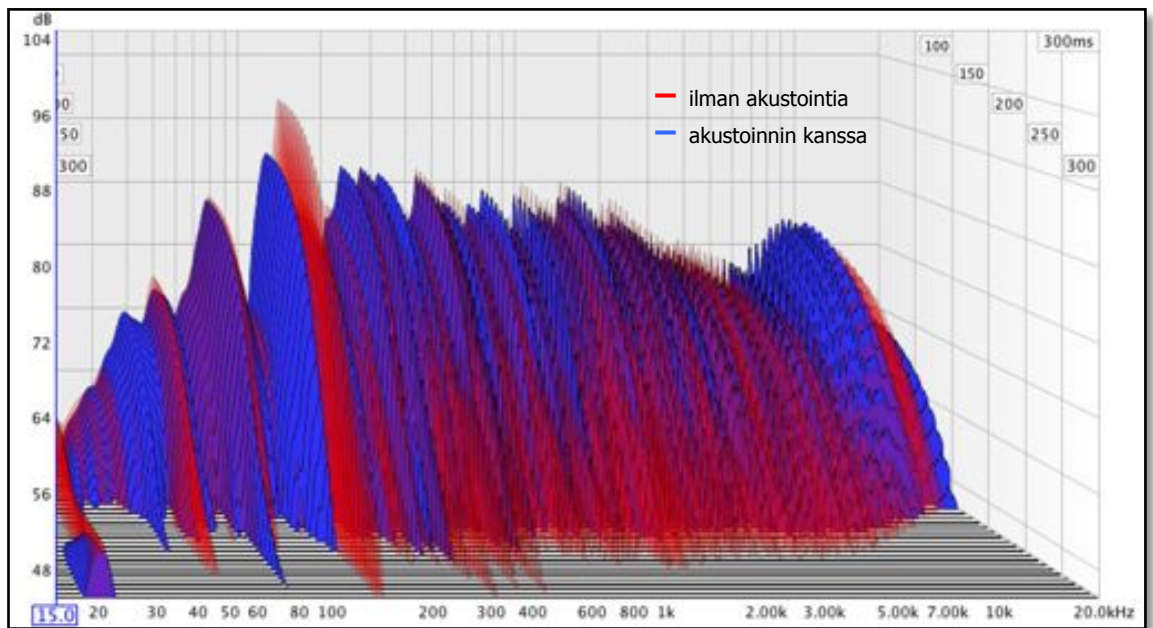


Kuvio 34. Iskuäänivasteiden vertailu Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.

Tarkkaamon jälkikaiunta-ajan lyheneminen on hyvin havaittavissa myös seuraavan sivun kuvioiden 35 ja 36 vesiputouskuvaajien vertailuista. Vesiputouskuvaajista on nähtävissä, että taajuusalue noin 285 hertsistä 550 hertsiin vaimenee selkeästi nopeammin akustoidussa huoneessa kuin akustoimattomassa huoneessa. Korkean diskanttialueen jälkikaiunta-aika on myös tasoittunut selvästi, sillä se vaimenee akustoidussa huoneessa enää joitakin kymmeniä millisekunteja nopeammin kuin muut taajuudet. Yläkeskialue 900 hertsistä 9 kilohertsiin vaimenee akustoidussa huoneessa nopeammin, varsinkin Tannoy Reveal -kaiuttimilla tehdyssä mittauksessa, mikä on nähtävissä kuvioista 36. Kuviot 35 ja 36 osoittavat myös, että huoneen akustointi on lyhentänyt matalien taajuuksien 49 ja 142 hertsiä sointia tilassa. Akustointi ei kuitenkaan ole lyhentänyt taajuuden 78 hertsiä jälkikaiuntaa, mikä saattaa osittain olla selitettävissä huoneen taajuusvasteella, josta kerron lisää kappaleessa 5.2 Taajuusvaste. Kuvion 36 vesiputouskuvaajassa ilmenee kyseenalaista informaatiota taajuuden 20 hertsiä ympärillä, johon on suhtauduttava kriittisesti. Kuvaajien mukaan kyseisellä taajuudella äänen käyttäytyminen on epäjohdonmukaista. Ääni ei ole syttynyt testisignaalin kanssa samaan aikaan, eikä ääni ole vaimentunut mittauksen aikana ollenkaan, mikä viittaa siihen, että kyseessä on ulkopuolinen mittaukseen kuulumaton häiriötekijä. Koska häiriön taajuus on niin matala, että se on lähes kuulumattomissa, häiriön vaikutus mittauksen lopputulokseen ja luotettavuuteen on olematon.

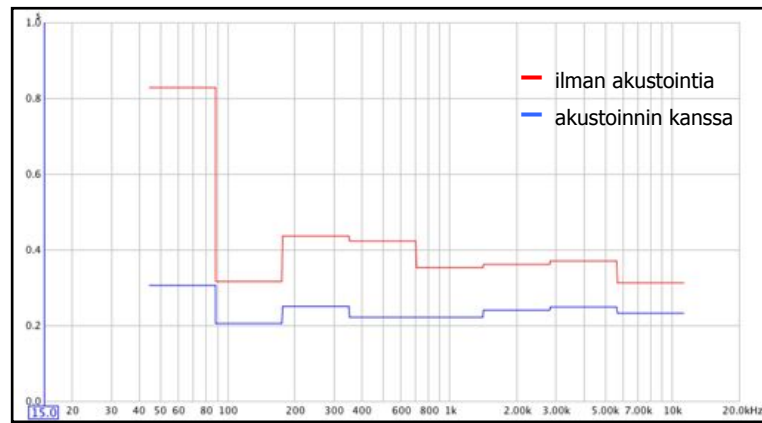


Kuvio 35. Vesiputouskuvaajien vertailu normalisoituna Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.

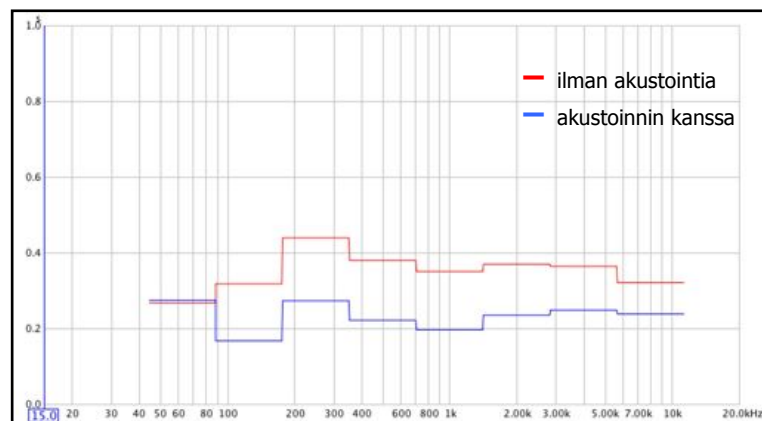


Kuvio 36. Vesiputouskuvaajien vertailu normalisoituna Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.

Kuviot 37 ja 38 osoittavat, että huoneen  $RT_{60}$  jälkikaiunta-aika on lyhentynyt huomattavasti akustoinnin myötä. Akustoimattomassa huoneessa eri taajuusalueiden  $RT_{60}$  jälkikaiunta-ajoissa on merkittäviä eroja, mutta akustoinnin ansiosta jälkikaiunta-aika on koko taajuuskaistalla tasoittunut keskimäärin noin 240 millisekuntiin. Taajuusalueen 45-98 hertsiä kuvaajiin akustoimattomassa huoneessa on suhtauduttava kriittisesti, koska mittaustulokset eroavat toisistaan huomattavasti. Edellisessä kappaleessa mainittu 20 hertsin häiriötekijä on saattanut vaikuttaa kyseisen taajuusalueen mittaustuloksiin. Koska akustoidun huoneen  $RT_{60}$  mittaustulokset ovat kuitenkin linjassa keskenään, ja ne osoittavat samansuuntaista lopputulosta kuin edellisen sivun vesiputouskuvaajat kuvioissa 35 ja 36, voidaan kuvioiden 37 ja 38 akustoidun huoneen sinisiä käyriä pitää luotettavina.



Kuvio 37. Jälkikaiunta-aikojen ( $RT_{60}$ ) vertailu Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.



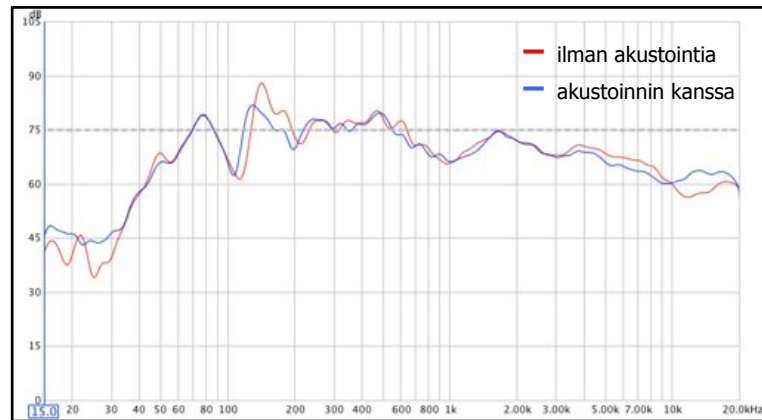
Kuvio 38. Jälkikaiunta-aikojen ( $RT_{60}$ ) vertailu Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.

Akustoinnin vaikutus tarkkaamon jälkikaiunta-aikaan on myös hyvin kuultavissa ääninäytteistä. CD-levyn (liite 2) raidassa 1 ja 18 huoneen tilan tuntu ja elävyys erottuvat selkeästi, sillä ääni tuntuu kantautuvan etäämmältä huoneen nurkasta. Raidoissa 2 ja 19 huone kuulostaa huomattavasti kuivemmalta ja ääni tuntuu tulevan lähempää. Jälkikaiunnan määrä erottuu jokseenkin myös raitojen 6 ja 24 alkusoiton bassorummun soinnissa. Raitojen 7 ja 25 bassorummun jälkisointi on selkeästi lyhyempi ja bassorumpu on kokonaisuudessaan tiukemman kuuloinen. Tätä sointieroaa voi tarkastella kuuntelemalla yhdistelmä-ääniraitoja 8 ja 26.

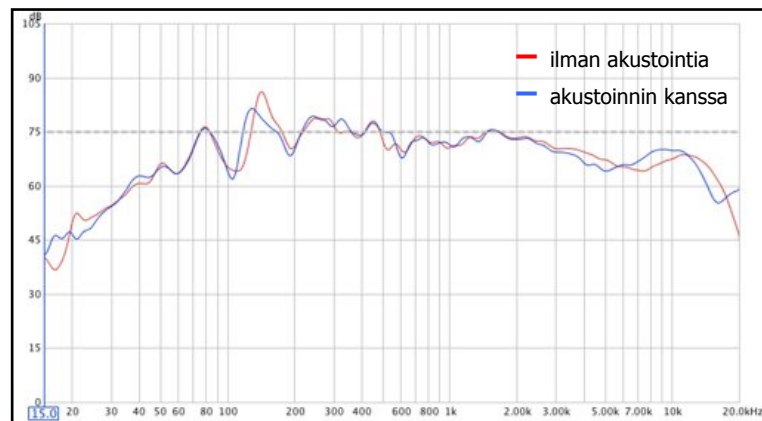
## 5.2 Taajuusvaste

Akustiikkaelementeillä on jälkikaiunta-ajan lyhenemisen lisäksi myös vaikutus huoneen taajuusvasteeseen. Kuvioiden 25 ja 26 kokonaistasot ovat akustoidussa huoneessa noin 5 desibeliä alempana, mikä viittaa siihen, että huoneen akustiikkaelementit ovat vaimentaneet huoneessa soivan äänen kokonaisvoimakkuutta. Tarkkaamon alakeski-alueen korostuma on vähentynyt ja diskanttialue on lievästi kirkastunut. Seuraavan sivun kuvat 39 ja 40 osoittavat, että taajuusalueen 130-145 hertsiä korostuma on vähentynyt selvästi ja korostuman huippuarvon taajuus on laskenut 142 hertsistä 130 hertsiin. Taajuusalueen 90-110 hertsiä vaimentumassa ei ole tapahtunut johdonmukaista muutosta, sillä kuvion 39 mukaan Behringer Truth -kaiuttimien mittauksessa vaimennus on hieman vähentynyt, mutta kuvion 40 mukaan Tannoy Reveal -kaiuttimien mittauksessa kyseinen vaimennus on hieman lisääntynyt. Koska huoneen akustointi ei ole vaikuttanut taajuuteen 78 hertsiä lainkaan, on oletettavaa, että heijastukset summautuvat huoneessa voimakkaasti kyseisellä taajuudella. Tätä oletusta tukee myös se, että kyseisen taajuuden jälkikaiunta-aika ei akustoidussa huoneessa lyhentynyt. Taajuusvasteiden kuvaajista on myös nähtävissä, että tarkkaamon korkean diskanttialueen vaimentuminen on akustoinnin ansiosta hieman vähentynyt. Akustoitamattomassa huoneessa Behringer Truth -kaiuttimien mittauksessa kuviossa 39 on lähes 20 desibelin leveähkö vaimentuma 12 kilohertsin kohdalla, kun taas akustoidussa huoneessa Behringer Truth kaiuttimien mittauksessa kyseinen vaimentuma on alle 15 desibeliä. Kuvioista 40 on nähtävissä, että Tannoy Reveal -kaiuttimien mittaukset ovat johtaneet samankaltaiseen lopputulokseen. 8 kilohertsin taajuudella vaimentuma on

akustoimattomassa huoneessa yli 10 desibeliä, mutta akustoinnin kanssa huoneesta on mitattu vain noin 7 desibelin vaimentuma. Akustoidun huoneen käyrä tippuu kylläkin 17 kilohertsin kohdalla akustoimattoman huoneen käyrää alemmas, mutta 20 kilohertsin taajuudella akustoidun huoneen vaimentuma on yli 10 desibeliä pienempi kuin akustoimattomassa huoneessa.



Kuvio 39. Taajuusvasteiden vertailu normalisoituna Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).

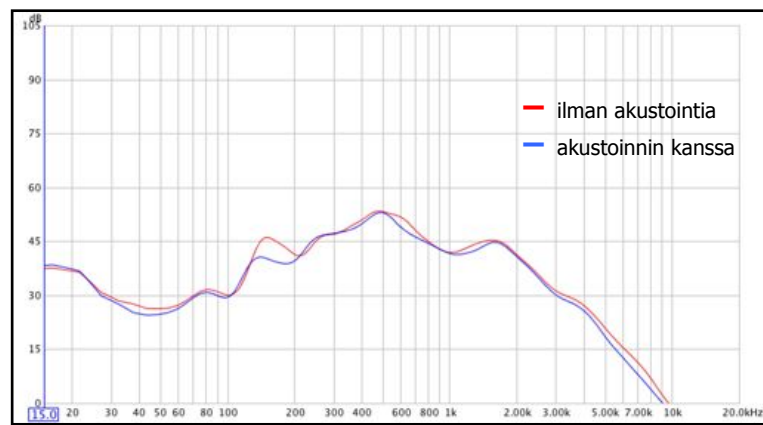


Kuvio 40. Taajuusvasteiden vertailu normalisoituna Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).

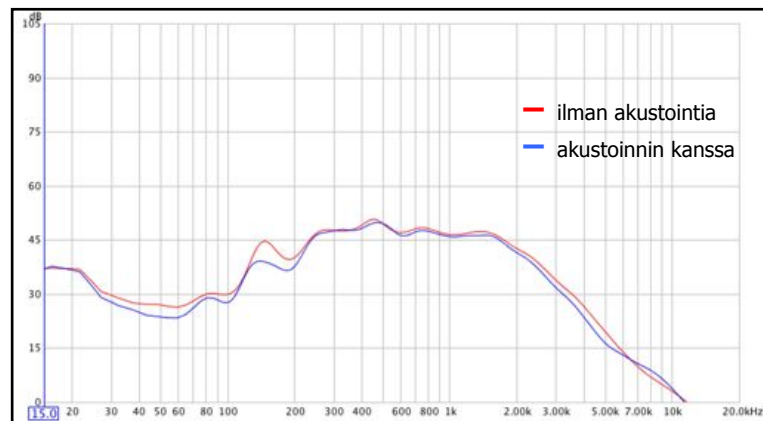
Huoneessa tehdyt keskiarvolliset kohinamittaukset viittaavat samankaltaiseen tulokseen kuin taajuusvastemittaukset. Seuraavan sivun kuvioista 41 ja 42 on nähtävissä, että oleellisin akustoinnin aikaansaama muutos tilan akustiseen sointiin on 140 hertsin taajuusalueen vaimentuminen. Tämä taajuusvasteen muutos on myös vähäisesti kuultavissa CD-levyn (liite 2) radoissa 3-5 ja 20-22. Raitojen 3 ja 20 akustoimattoman



huoneen kohinassa on kuultavissa lievä ”kumiseva” sävy raitojen 4 ja 21 akustoidun huoneen kohinaan verrattuna. Kohinan yleissävy tuntuu muuttuvan Tannoy Reveal -kaiuttimien ääninäytteissä lievästi pehmeämmäksi akustoinnin myötä, joskin tämä sävy\_muutos on subjektiivisesti tulkittavissa monella muullakin tavalla. Behringer Truth -kaiuttimien ääninäytteiden kohina puolestaan tuntuu muuttuvan hyvin vähäisesti selkeämmäksi akustoinnin myötä, mutta ero on Tannoy Reveal -kaiuttimien ääninäytteiden lievään muutokseen verrattuna vieläkin pienempi.



Kuvio 41. Kohinamittauksen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna (1/24 oktaavin tasaus).



Kuvio 42. Kohinamittauksen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna (1/24 oktaavin tasaus).

### 5.3 Miten musiikki soi huoneessa?

Musiikkiääninäytteitä kuunneltaessa suurimmat erot akustoimattoman ja akustoidun huoneen välillä ovat soinnin selkeys ja läheisyyden tuntu. Akustoimattomassa huoneessa tallennettu musiikkikappale kuulostaa etäisemmältä ja vaikeaselkoisemmalta. Tämä on hyvin kuultavissa CD-levyn (liite 2) raidoissa 12-14 ja 29-31.

Akustiikkaelementit tasoittavat huoneen bassoalueen toistoa selvästi. Tämä nousee esille varsinkin raitoja 9-11 ja 26-28 kuunneltaessa. Akustoimattomassa huoneessa tietyt kappaleen bassoäänet vaimentuvat huomattavasti ja esimerkiksi basson D-sävel korostuu voimakkaasti. Kun tätä verrataan akustoidusta huoneesta tallennettuihin ääninäytteisiin, kyseinen sävel soi selvästi tasaisemmin. Musiikinäytemittauksen keskiarvotaajuusvasteista liitteen 1 kuvioista 43-46 ja liitteen 2 kuvioista 47-50 on nähtävissä, että 140 hertsin ympärillä oleva taajuusalue korostuu akustoimattomassa huoneessa. Edellä mainittu musiikkikappaleen kuulohavainto vahvistaa tämän mittaus-tuloksen, sillä D-sävelen taajuus on 146,8 hertsiä. Bassotoisto akustoidussa huoneessa kuulosta lisäksi myös tiukemmalta ja selkeämmältä, mikä on hyvin kuultavissa raidoissa 15-17 ja 32-34.

Kappaleessa "6:00" (raidat 6-8) Behringer Truth kaiuttimilla on kuultavissa selkeä ero diskanttialueen toistossa. Akustoimattomassa huoneessa kappaleen alun rumpusetin hi-hat erottuu huonosti, toisin kun akustoidussa huoneessa. Ero kuuluu parhaiten kappaleen vertailuraidassa (raitia 8). Akustointi on vaikuttanut myös kuuntelupisteen stereokuvan leveyteen. Raitojen 6-8 ja 15-17 stereokuva kuulostaa akustoidussa huoneessa leveämmältä kuin akustoimattomassa huoneessa.

## 6 Pohdinta

Tutkimuksessani selvitin Ukkostudion tarkkaamon akustiikkaelementtien vaikutusta tilan akustiseen sointiin. Huoneessa tehtiin akustisia mittauksia ilman akustointia ja akustoinnin kanssa. Koostin mittaustulokset ja vertailin niitä. Pysin tutkimukseni avulla selvittämään mihin tilan akustisiin ominaisuuksiin akustiikkaelementit olivat vaikuttaneet ja millä tavalla. Käyttämällä mittauksissa kahta eri kaiutinparia ja kolmea eri mittaussuunnitelmaa sain koottua kattavan ja monipuolisen aineiston. Mittaustulosten kuvaajat ja tallennetut ääninäytteet tukevat toisiaan ja tekevät aineistosta helpommin lähestyttävän. Äänitallenteiden käyttö tutkimustulosten tukena osoittautui odotettua paremmaksi menetelmäksi. Tilan akustisen soinnin erot kuuluvat äänitteeltä paikoittelun yllättävänkin selkeästi. Ääninäytteiden kuunteleminen mahdollistaa tutkimukseni tulosten tarkastelun myös audiitiivisesti, mikä on oleellista akustiikkaa tutkittaessa. Kahden kaiutinparin käyttäminen vahvisti mittaustulosten luotettavuutta ja paljasti Tannoy Reveal -kaiutinparin mittauksessa ilmenneen matalan häiriöäänen ja tapahtuneen mittaussuunnitelman virheen.

Tutkimukseni osoittaa, että akustiikkaelementit lyhensivät tarkkaamon jälkikaiuntaa huomattavasti. Akustoinnin vaikutus huoneen taajuusvasteeseen oli kohtalaista. Alakeskialueella ilmennyt korostuma väheni ja diskanttialueen vaimentuma tasoittui. Mittaustuloksista kävi ilmi, että tarkkaamon taajuusvasteessa on huomattava vaimentuma yläbassoalueella, johon huoneen akustoinnilla ei ollut vaikutusta. Tämä voi olla selitettävissä sillä, että huoneen kuuntelukaiuttimet on sijoitettu hyvin lähelle seinää. Ammattistudioissa kuuntelukaiuttimet pyritään sijoittamaan vähintään 50 cm päähän heijastavista seinistä tai uppoasentamaan kaiuttimet seinään. Tällöin vältetään lähiheijastusten aiheuttamalta vaihekumoutumiselta, eikä tilan taajuusvasteeseen synny vaimentumia yläbassoalueelle. Toinen selitys yläbassoalueen vaimentumalle voi olla diffuusorien sijoittelu. Diffuusorit roikkuvat katossa 30 cm etäisyydellä toisistaan, jolloin tarkkaamon harjakaton heijastumat pääsevät summautumaan juuri kuuntelupisteen kohdalle. Tämän voisi välttää sillä, että diffuusorit yhdistettäisiin toisiinsa, jolloin ne kattaisivat koko kuuntelupisteen alueen.

UKKOstudiossa tarkkaamon kaiuttimien puoleinen seinä on elävä, eli heijastava pääty (engl. live end) ja takaseinä on kuollut, eli absorboiva pääty (engl. dead end). Ihanne olisi, että kuollut pääty sijaitsisi kaiuttimien puolella. Tästä heräsikin ajatus kääntää UKKOstudion tarkkaamon kuuntelupiste toisinpäin, jolloin huoneen taajuusvaste saattaisi tasoittua entisestään. Tarkkaamon diskanttialue on mittaustulosten perusteella ammattistudioihin verrattuna hieman vaimentunut. Huoneen sointia voisi parantaa asentamalla katto- ja seinäpintoihin lisää diffuusoivaa pintamateriaalia. Huoneen takanurkkaan pikaratkaisuna asennetut villapakkaukset eivät sellaisenaan absorboi ääntä optimaalisesti. Takanurkkaan mahtuisi hyvin Helmholtzresonaattori, joka ei veisi enempää tilaa kuin villapakkaukset tällä hetkellä.

Tutkimuksen avulla löysin käytäntöön soveltuvat huoneiden mittaustekniikat ja keinot, joilla studion tilojen äänen heijastuvuutta voi tutkia. Mittaukset antoivat kallisarvoista tietoa studion akustoinnin laadusta, mikä tulee tulevaisuudessa vaikuttamaan käytännön työskentelyymme studion jatkoakustoinnin myötä. Halusin opinnäytetyössäni tuoda äänen fysikaalisten ominaisuuksien tarkastelun käytännön tasolle ja studiotyön avuksi. Toivon, että opinnäytetyöstäni on hyötyä myös alan harrastajille ja ammattilaisille, jotka rakentavat omia studioita ja työskentelevät studioissa.

## Lähteet

Brown, P. 2002. Test and Measurement. Teoksessa Ballou, M. G. (toim.) Handbook for Sound Engineers. 3.painos. Oxford: Elsevier, 1463-1489.

Ero, A. 2006. Tila-ääni. Helsinki: Riffi-julkaisut.

Everest, F. A. 2001. Master Handbook of Acoustics. 4. painos. New York: McGraw-Hill.

Hirsjärvi, S. Remes, P. & Sajavaara, P. 2003. Tutki ja kirjoita. 6.–9. painos. Helsinki: Tammi.

Howard, D. M. & Angus, J. 2006. Acoustics and Psychoacoustics. 3. korjattu painos. Oxford: Elsevier.

Huber, D. M. Runstein, E. R. 2001. Modern Recording Techniques. 5. korjattu painos. Oxford: Focal Press.

Izhaki, R. 2008. Mixing Audio: Concepts, Practises and Tools. 3. painos. Oxford: Elsevier.

Jones, D. & Szymanski, J. 2002. Acoustical Treatment for Indoor Areas. Teoksessa Ballou, M. G. (toim.) Handbook for Sound Engineers. 3.painos. Oxford: Elsevier, 73-88.

Laaksonen, J. 2006. Äänityön kivijalka. Helsinki: Riffi-julkaisut.

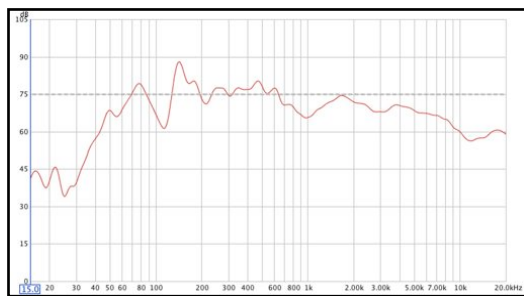
Mäkelä, J. P. & Larmola, K. 2009. Oma Studio ja äänittämisen taito. Helsinki: Like.

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

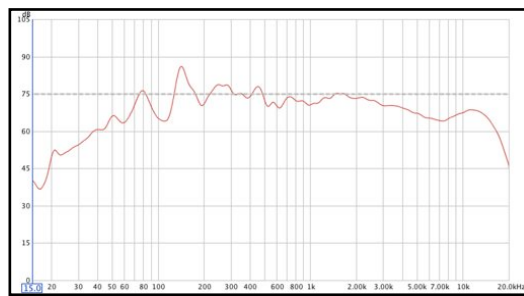
Rumsey, F. & McCormick, T. 2002. Sound and Recording: An Introduction. 4. korjattu painos. Oxford: Elsevier.

Suntola, S. 2000. Luova Studiotyö. Helsinki: Idemco OY.

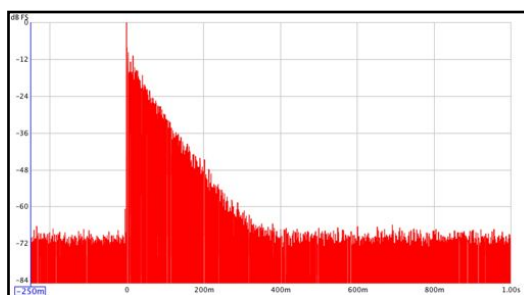
## Mittaustulokset



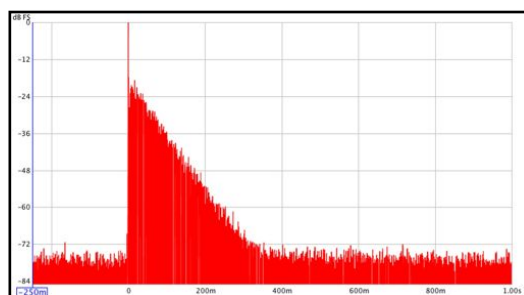
Kuvio 17 Taajuusvaste ilman akustointia Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).



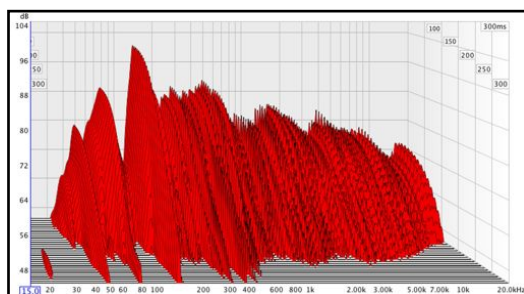
Kuvio 18. Taajuusvaste ilman akustointia Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).



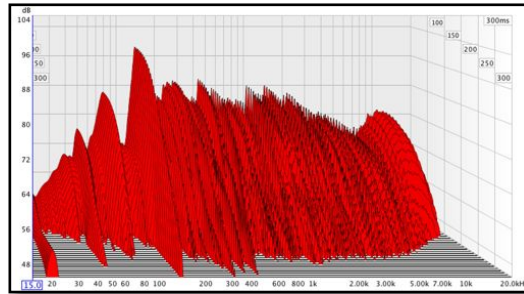
Kuvio 19. Iskuväinivaste ilman akustointia Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.



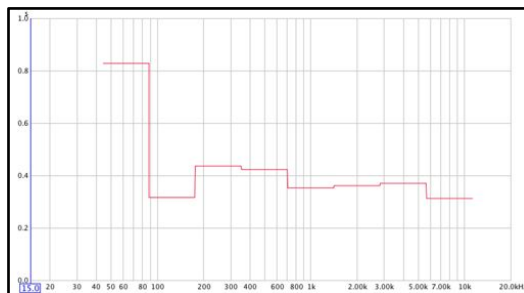
Kuvio 20. Iskuväinivaste ilman akustointia Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.



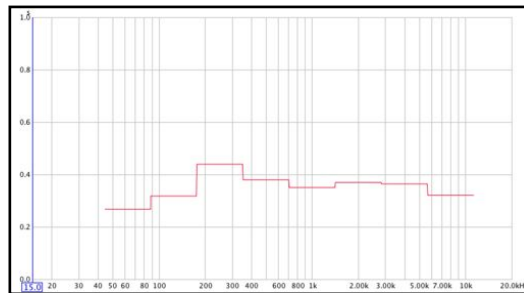
Kuvio 21. Vesiputouskuvaaja ilman akustointia Behringer Truth kaiuttimilla mitattuna.



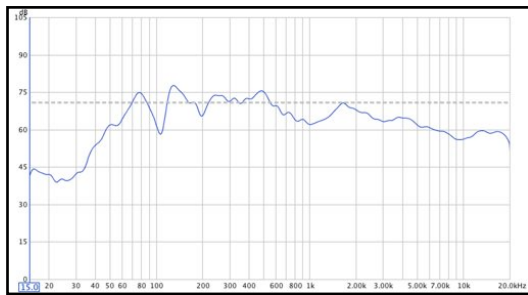
Kuvio 22. Vesiputouskuvaaja ilman akustointia Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.



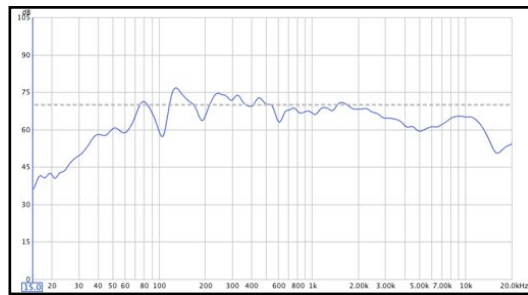
Kuvio 23. Jälkikaiunta-aika (RT60) ilman akustointia Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.



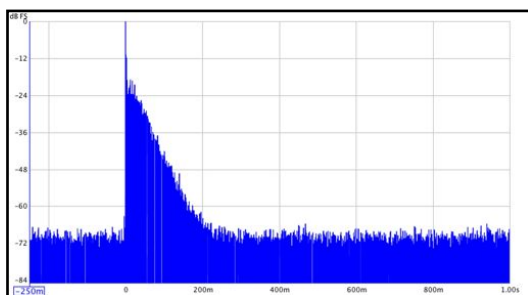
Kuvio 24. Jälkikaiunta-aika (RT60) ilman akustointia Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.



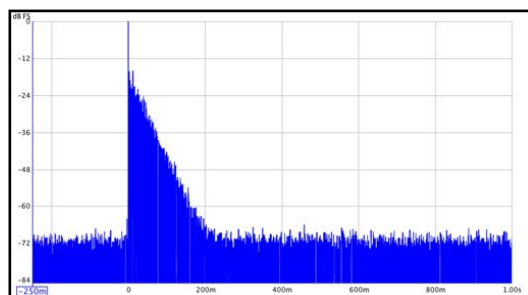
Kuvio 25. Taajuusvaste akustoinnin kanssa Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).



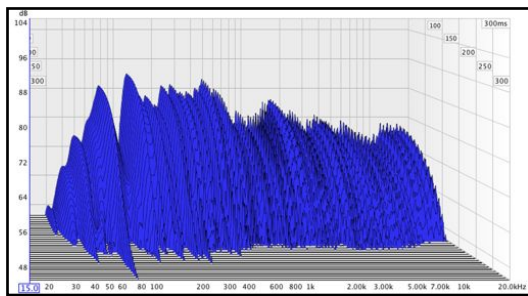
Kuvio 26. Taajuusvaste akustoinnin kanssa Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).



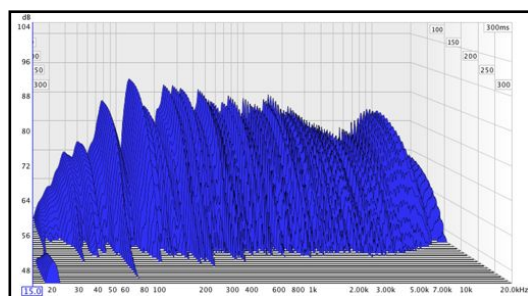
Kuvio 27. Iskäänivaste akustoinnin kanssa Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.



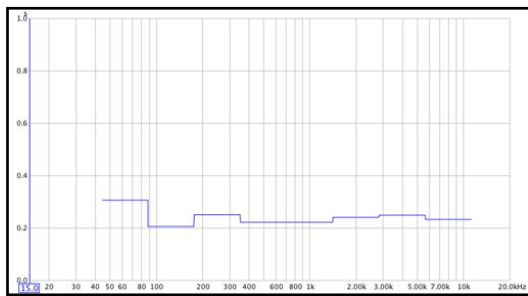
Kuvio 28. Iskäänivaste akustoinnin kanssa Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.



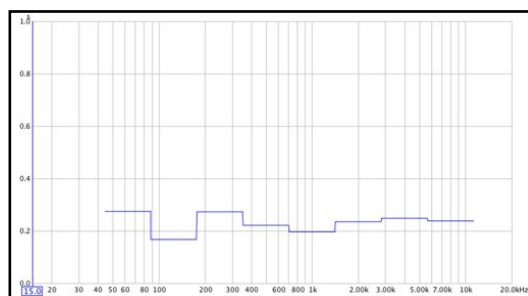
Kuvio 29. Vesiputouskuvaaja akustoinnin kanssa Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.



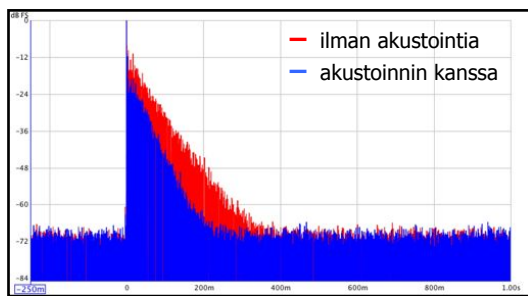
Kuvio 30. Vesiputouskuvaaja akustoinnin kanssa Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.



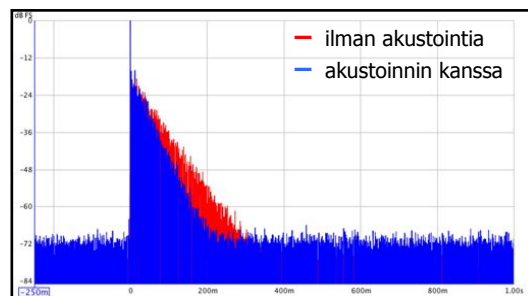
Kuvio 31. Jälkikaiunta-aika (RT60) akustoinnin kanssa Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.



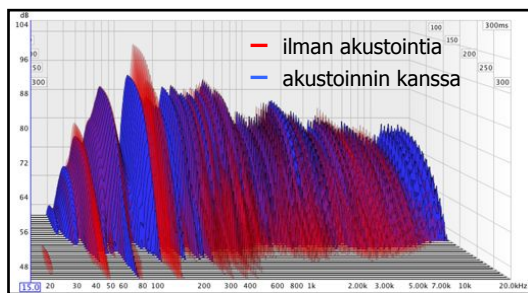
Kuvio 32. Jälkikaiunta-aika (RT60) akustoinnin kanssa Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.



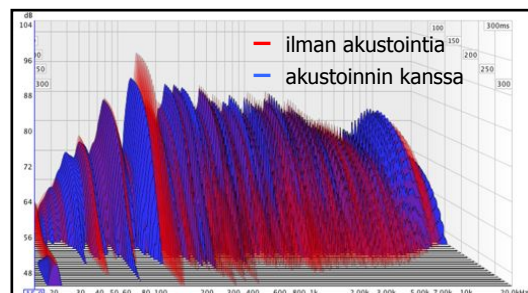
Kuvio 33. Iskuäänivasteiden vertailu Behringer Truth kaiuttimilla -mitattuna.



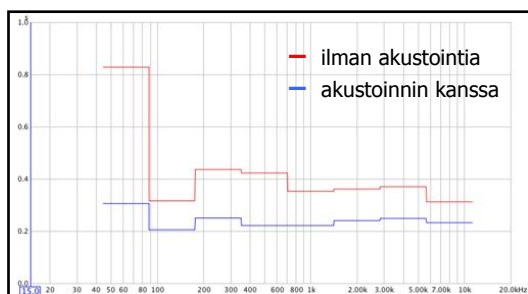
Kuvio 34. Iskuäänivasteiden vertailu Tannoy Reveal kaiuttimilla -mitattuna.



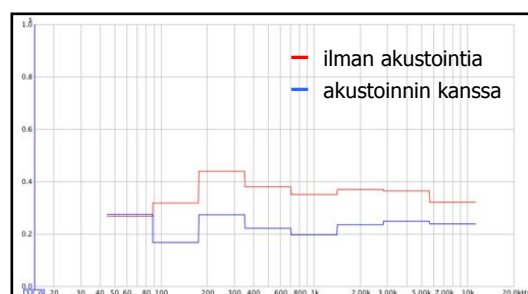
Kuvio 35. Vesiputouskuvaajien normalisoituna Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.



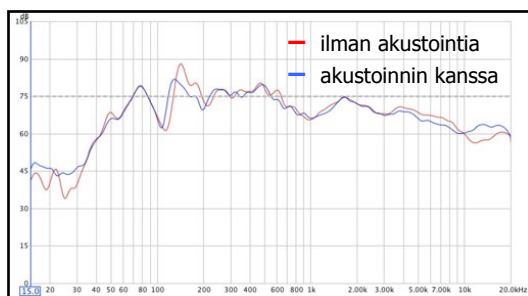
Kuvio 36. Vesiputouskuvaajien normalisoituna Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.



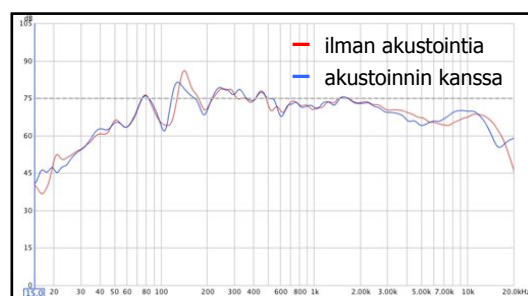
Kuvio 37. Jälkikaiunta-aikojen ( $RT_{60}$ ) vertailu Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.



Kuvio 38. Jälkikaiunta-aikojen ( $RT_{60}$ ) vertailu Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.

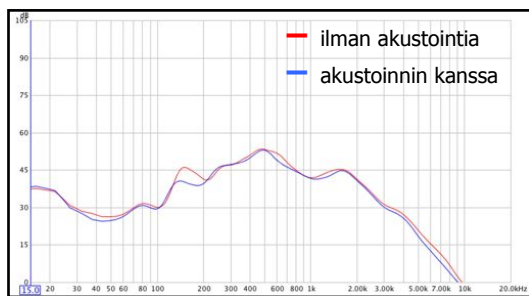


Kuvio 39. Taajuusvasteiden vertailu normalisoituna Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).

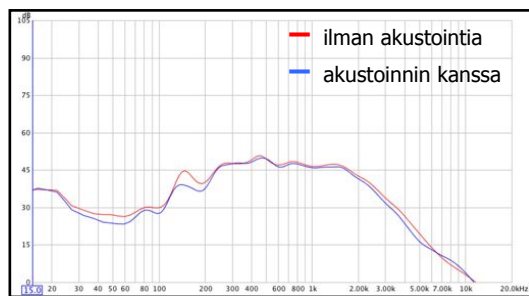


Kuvio 40. Taajuusvasteiden vertailu normalisoituna Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna (1/3 oktaavin tasaus).

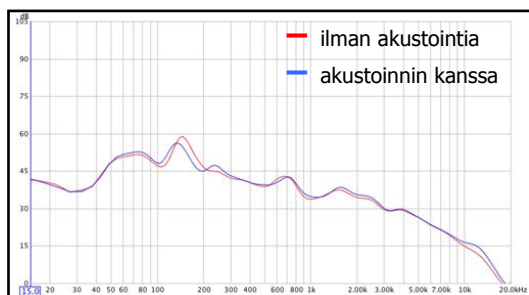




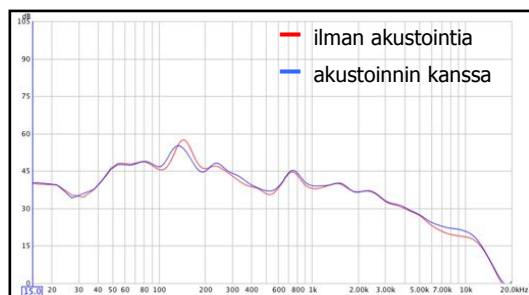
Kuvio 41. Kohinamittauksen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Behringer Truth -kaiuttimilla mitattuna.



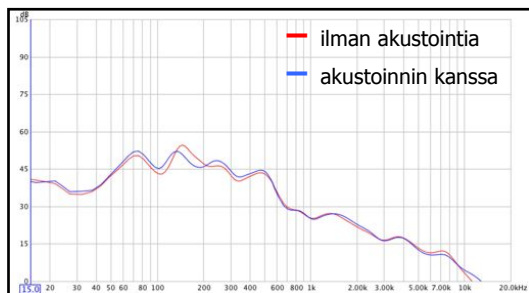
Kuvio 42. Kohinamittauksen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Tannoy Reveal -kaiuttimilla mitattuna.



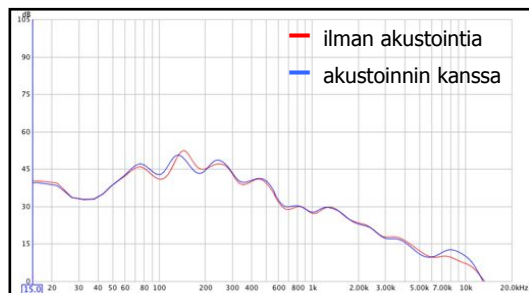
Kuvio 43. Dream Theater: "6:00" kappaleen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Behringer Truth -kaiuttimilla (1/24 oktaavin tasaus).



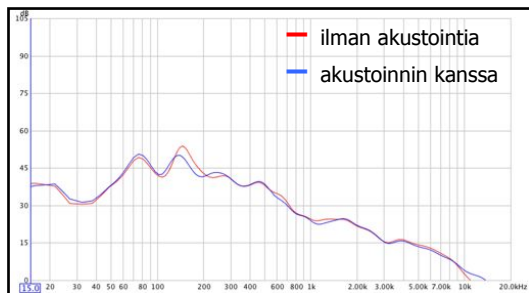
Kuvio 44. Dream Theater: "6:00" kappaleen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Tannoy Reveal -kaiuttimilla (1/24 oktaavin tasaus).



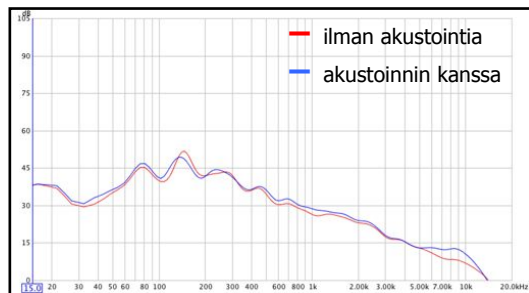
Kuvio 45. Sting: "Fields Of Gold" kappaleen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Behringer Truth -kaiuttimilla (1/24 oktaavin tasaus).



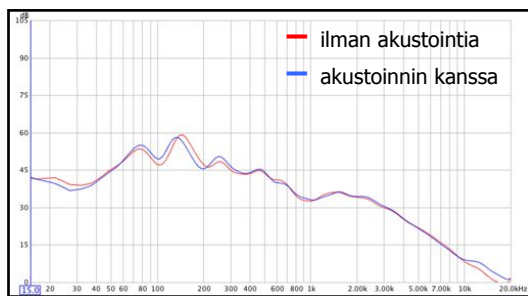
Kuvio 46. Sting: "Fields Of Gold" kappaleen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Tannoy Reveal -kaiuttimilla (1/24 oktaavin tasaus).



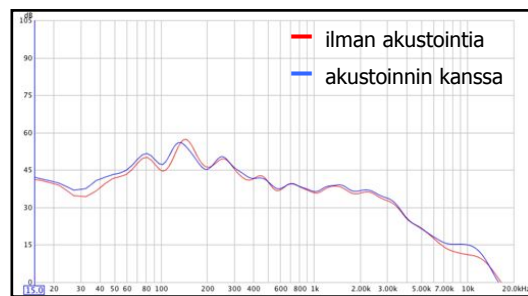
Kuvio 47. Sting: "If I Ever Loose My Faith in You" kappaleen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Behringer Truth -kaiuttimilla (1/24 oktaavin tasaus).



Kuvio 48. Sting: "If I Ever Loose My Faith in You" kappaleen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Tannoy Reveal -kaiuttimilla (1/24 oktaavin tasaus).



Kuvio 49. Faith No More: "King for a Day" kappaleen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Behringer Truth -kaiuttimilla (1/24 oktaavin tasaus).



Kuvio 50. Faith No More: "King for a Day" kappaleen keskiarvotaajuusvasteiden vertailu Tannoy Reveal -kaiuttimilla (1/24 oktaavin tasaus).

## Tallennetut ääninäytteet

CD-levy on muovitaskussa opinnäytetyön takakannessa

### CD-levyn raitaluettelo:

Ääninäytteet Behringer Truth -kaiuttimilla:

01. Siniaalto sweep ilman akustointia Behringer Truth kaiuttimilla
02. Siniaalto sweep akustoinnin kanssa Behringer Truth kaiuttimilla
03. Pink noise ilman akustointia Behringer Truth kaiuttimilla
04. Pink noise akustoinnin kanssa Behringer Truth kaiuttimilla
05. Pink noise yhdistelmä-ääniraita Behringer Truth kaiuttimilla
06. Dream Theater "6:00" ilman akustointia Behringer Truth kaiuttimilla
07. Dream Theater "6:00" akustoinnin kanssa Behringer Truth kaiuttimilla
08. Dream Theater "6:00" yhdistelmä-ääniraita Behringer Truth kaiuttimilla
09. Sting "Fields of Gold" ilman akustointia Behringer Truth kaiuttimilla
10. Sting "Fields of Gold" akustoinnin kanssa Behringer Truth kaiuttimilla
11. Sting "Fields of Gold" yhdistelmä-ääniraita Behringer Truth kaiuttimilla
12. Sting "If I Ever Loose My Faith in you" ilman akustointia Behringer Truth kaiuttimilla
13. Sting "If I Ever Loose My Faith in you" akustoinnin kanssa Behringer Truth kaiuttimilla
14. Sting "If I Ever Loose My Faith in you" yhdistelmä-ääniraita Behringer Truth kaiuttimilla
15. Faith No More "King for a Day" ilman akustointia Behringer Truth kaiuttimilla
16. Faith No More "King for a Day" akustoinnin kanssa Behringer Truth kaiuttimilla
17. Faith No More "King for a Day" yhdistelmä-ääniraita Behringer Truth kaiuttimilla

Ääninäytteet Tannoy Reveal -kaiuttimilla:

18. Siniaalto sweep akustoinnin kanssa Tannoy Reveal kaiuttimilla
19. Siniaalto sweep akustoinnin kanssa Tannoy Reveal kaiuttimilla
20. Pink noise ilman akustointia Tannoy Reveal kaiuttimilla
21. Pink noise akustoinnin kanssa Tannoy Reveal kaiuttimilla
22. Pink noise yhdistelmä-ääniraita Tannoy Reveal kaiuttimilla
23. Dream Theater "6:00" ilman akustointia Tannoy Reveal kaiuttimilla
24. Dream Theater "6:00" akustoinnin kanssa Tannoy Reveal kaiuttimilla
25. Dream Theater "6:00" yhdistelmä-ääniraita Tannoy Reveal kaiuttimilla
26. Sting "Fields of Gold" ilman akustointia Tannoy Reveal kaiuttimilla
27. Sting "Fields of Gold" akustoinnin kanssa Tannoy Reveal kaiuttimilla
28. Sting "Fields of Gold" yhdistelmä-ääniraita Tannoy Reveal kaiuttimilla
29. Sting "If I Ever Loose My Faith in you" ilman akustointia Tannoy Reveal kaiuttimilla
30. Sting "If I Ever Loose My Faith in you" akustoinnin kanssa Tannoy Reveal kaiuttimilla
31. Sting "If I Ever Loose My Faith in you" yhdistelmä-ääniraita Tannoy Reveal kaiuttimilla
32. Faith No More "King for a Day" ilman akustointia Tannoy Reveal kaiuttimilla
33. Faith No More "King for a Day" akustoinnin kanssa Tannoy Reveal kaiuttimilla
34. Faith No More "King for a Day" yhdistelmä-ääniraita Tannoy Reveal kaiuttimilla