

Sami Forssten

Kuunteluhuoneen akustiikan parantaminen kotioloissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Muusikko (AMK)

Pop/jazz-musiikin koulutusohjelma

Opinnäytetyö

1.12.2013

Tekijä(t) Otsikko	Sami Forssten Kuunteluhuoneen akustiikan parantaminen kotioiloissa
Sivumäärä Aika	38 sivua 1.12.2013
Tutkinto	Muusikko (AMK)
Koulutusohjelma	Pop/jazz-musiikin koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	tuottaja-teknologi
Ohjaaja(t)	Lehtori Jukka Väisänen Studiomestari Janne Viksten
Opinnäytetyöni tavoitteena on selvittää akustiikan vaikutusta kotona sijaitsevassa huoneessa, jota käytettiin tutkimustyössä. Tutkimuksessa pyrittiin löytämään erilaisia keinoja akustiikan kehittämiseksi. Akustoinnin vaikutusta tutkittiin tekemällä erilaisia akustisia mittauksia huoneessa ilman akustointia ja akustoinnin kanssa. Opinnäytetyötäni varten suunnittelin helposti toteutettavia ja edullisia akustointielementtejä. Niiden rakentaminen oli mielekästä ja sopivalla tavalla haasteellista, johtuen osittain aikaisemman kokemuksen puutteesta. Rakennusmateriaalien kustannukset pysyivät kohtuullisina. Akustoinnista tuli mielestäni sisustuksellisesti hyvä. Olin erityisesti tyytyväinen akustiikkaelementtien innovatiiviseen toteutustapaan, johon päädyin opinnäytetyöprojektini edetessä. Tutkimukseni mittaustuloksista nähdään selkeä ero alkumittauksen ja loppumittauksen välillä. Akustiikka muuttui merkittävästi. Suuri yllättäjä oli akustointielementtien huomattava vaikutus keski- ja yläbassojen vaimentumiseen. Työni osoittaa myös, että akustointi lyhensi huoneen jälkikaiuntaa huomattavasti.	
Avainsanat	kuunteluhuone, akustiikka, koti, mittaus, edullinen, kustannus, jälkikaiunta

Author(s) Title	Sami Forssten Improving control room acoustics at home
Number of Pages Date	38 pages 1 December 2013
Degree	Bachelor of music
Degree Programme	Pop & Jazz Music
Specialisation option	Producer, Sound Engineer
Instructor(s)	Jukka Väisänen, Lecturer Janne Viksten, Studio Manager
The primary aim of my research is to examine the impact of acoustics at home, and discover different ways to improve it. The impact of acoustics was examined with different measurements with and without acoustics. For my research I manufactured easily built and low budget acoustic panels. Building was sensible and challenging in a good way. The price for building materials was affordable. Acoustic elements were visually enjoyable in my opinion. I was very pleased for the innovative execution which I used in my research. The results pointed out that there were clear differences between the first and the last measurement. Acoustics changed significantly. One of the biggest surprises was that the acoustic treatments dampened the middle- and upper bass frequencies remarkably. My research also points out that the acoustic treatments shortened the reverberation time of the room remarkably.	
Keywords	control room, acoustics, measurements, low budget, building, innovative, acoustic treatments, reverberation

Alkusanat

Haluan erityisesti kiittää avovaimoani Petraa, jolta olen saanut voimia tämän opinnäytetyön kirjoittamiseen. Tahdon myös osoittaa kiitokset muulle perheelleni tuesta ja kannustuksesta koulunkäyntini aikana. Lopuksi haluaisin kiittää myös ystäviäni ja opettajiani neuvoista ja kannustuksesta, joita ilman opiskelu ja tutkielman tekeminen ei olisi ollut mahdollista.

Helsingissä 4.12.2013

Sami Forssten

Sisällys

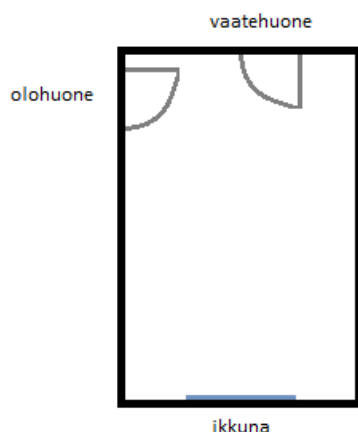
1	Johdanto	1
2	Akustiikan käsitteitä	3
3	Äänen käyttäytyminen tilassa	4
3.1	Varhaiset heijastukset	4
3.2	Seisovat aallot	5
4	Akustoinnin merkitys äänituotannossa	6
5	Äänen absorptio ja sen luokittelu	8
5.1	Akustointipaneelit	10
5.2	Bassoansa	10
5.3	Diffusori	11
6	Akustiikkaelementtien suunnittelu ja rakennusvaiheet	12
7	Tilan mittaus	22
8	Tulosten esittely	26
8.1	Tila ilman akustointia	26
8.2	Tila akustoinnin kanssa	29
9	Tulosten vertailu	32
10	Pohdinta	36
	Lähteet	37

1 Johdanto

Kuunteluhuone (äänitarkkaamo) on käyttäjänsä tärkein instrumentti. Sen avulla hän kuulee, mitä äänitteelle tallentuu. Hyvien työolosuhteiden saavuttamiseksi on siis tärkeää ymmärtää huoneakustiikkaa ja sen eri ilmiöitä

Idea opinnäytetyöhön syntyi omaa työhuonetta suunnitellessani. Työssäni halusin perehtyä äänen eri ominaisuuksiin ja selvittää, miten akustoinnilla voi vaikuttaa tilan sointiin. Opinnäytetyön tarkoituksena on jakaa tietoa kaikille aiheesta kiinnostuneille ja tuoda esiin helppoja ja edullisia ratkaisuja kotioloissa työskenteleville.

Opinnäytetyössä esittelen myös rakentamieni akustointipaneelien eri työvaiheita. Tavoitteena on suorittaa mittaus ensin tyhjässä tilassa. Huoneen äänilähteestä tuotetaan siniaaltosignaalia, joka alkaa 20 hertsistä ja päättyy 20 kilohertsiin. Tämän jälkeen huone akustoidaan ja mittaus toistetaan. Tällä pyritään havainnollistamaan mittaustuloksia ja materiaaliratkaisuja, jotta lukija voi ne helpommin ymmärtää. Tutkimustyössäni käytin tilana vuokra-asuntoni huonetta, jonka tyhjensin täysin huonekaluista. Tila on muodoltaan suorakulmainen ja mitaltaan 3,75 m x 2,73 m eli noin 10 neliometriä. Huoneen korkeus on 2,67 metriä. Tilan kaksi seinää ovat pintamateriaaliltaan betonia ja kaksi levyä. Etuseinällä on ikkuna, jonka alapuolella on lämpöpatteri. Tilassa on kaksi puupintaista ovea, joista toinen on takaseinällä.



Kuvio 1. Huoneen pohjapiirustus



Kuvio 2. Huoneen etuseinä



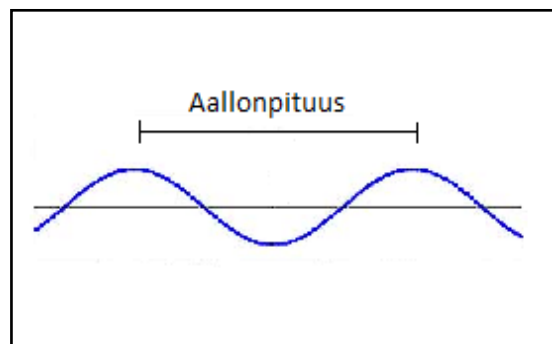
Kuvio 3. Huoneen takaseinä

2 Akustiikan käsitteitä

Tässä luvussa esittelen äänioppiin liittyviä käsitteitä, jotka ovat välttämättömiä aineiston ymmärtämisen ja tutkimuksen kannalta.

Akustiikka on tieteen ja tekniikan haara, jonka nimissä äänen ominaisuuksia ja vaikutuksia tutkitaan. Akustisia ilmiöitä ja niiden aiheuttamia ongelmia esiintyy lähes kaikilla elämän ja tekniikan aloilla. (Koivumäki 2006, www.)

Äänilähteen värähdellessä syntyy vuoronperään ilmamolekyylien tihentymiä ja harventumia eli ääniaaltoja. Ilmamolekyylit liikkuvat edestakaisin tönien toisiaan, mistä syntyy ketjureaktio, ja ääniaalto etenee. Ääniaallon pituus on kahden tihentymän välinen matka (kuvio 4). Aallonpituus saadaan laskettua jakamalla äänen nopeus aallonpituuden taajuudella. Huoneenlämmössä (noin 20 celsiusastetta) äänennopeus on noin 344 metriä sekunnissa. Näin ollen 344 metriä sekunnissa kulkevan 100 hertsin korkuisen äänen aallonpituus on 3,44 metriä. (Suvela 2010, 14)



Kuvio 4. Kuvassa siniaalto, joka on kaikkein yksinkertaisin ja puhtain ääni.

Aallonpituuden taajuus saadaan jakamalla äänen nopeus aallonpituudella.

Taajuus ilmoitetaan hertseinä ($1 \text{ Hz} = 1$ värähdys sekunnissa). Nimitys on annettu 1800-luvulla eläneen saksalaisen tutkijan Rudolf Hertzin mukaan. Korva aistii äänen värähtelyt 16–20 000 hertsin välillä. Pienet taajuudet eli bassot ovat hitaita värähtelyjä, ja suuret taajuudet eli diskantit ovat nopeita värähtelyjä. (Laaksonen 2006, 7.)

Äänenvoimakkuutta mitataan desibeliasteikolla (dB), joka on äänityöskentelyssä yleisesti käytettävä mittayksikkö. Desibeliasteikolla kuulokynnys, eli hiljaisin kuultava äänentaso on 0 dB ja kipukynnys n. 120–130 dB.

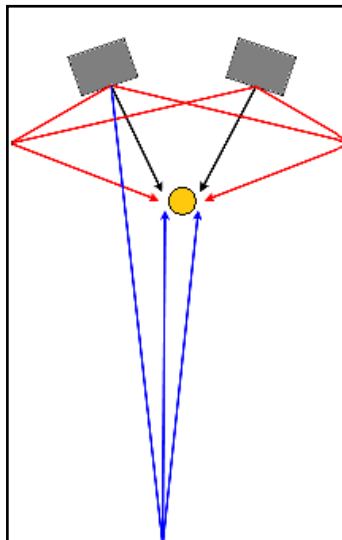
3 Äänen käyttäytyminen tilassa

Suurin osa kuuntelupaikalle saapuvasta äänestä on erilaisia heijastuksia, jotka huonontavat äänentoiston tarkkuutta sekoittuessaan suoraan ääneen. Heijastuneet äänet kulkevat pidemmän matkan kuin suora ääni saapuen kuuntelupaikalle myöhemmin.

3.1 Varhaiset heijastukset

Tärkeimmät vaimennuskohteet huoneessa ovat ensimmäiset eli varhaiset heijastukset. Niiden kohdat löytyvät sivuseiniltä ja heti kuuntelupaikan takaa (Saurama, 2001, 29).

Varhaiset heijastukset saapuvat yhden rajapinnan kautta kuuntelupaikalle heti suoran äänen jälkeen (muutaman millisekunnin kuluessa), eikä korva erota niitä kaiuksi vaan osaksi kuultavaa ääntä. Varhaiset heijastukset ovat useimmiten eri vaiheessa verrattuna suoraan ääneen. Ollessaan samassa vaiheessa ääni korostuu. Vastakkaisessa vaiheessa ääni vaimenee. Tämä myös heikentää stereokuvan tarkkuutta tekemällä soittimet äänikuvassa epämääräisiksi.



Kuvio 5. Suora ääni ja varhaiset heijastukset.

Jälkikaiunta

Kun kuuntelupaikalle tulee eri rajapinnoista heijastunutta ääntä useista eri suunnista eri aikoina, kutsutaan sitä jälkikaiunnaksi. Kaiunta vaimenee ääniaaltojen kulkiessa ja heijastuessa rajapinnasta toiseen. Jälkikaiunta-ajaksi on määritelty se ajanjakso, jossa äänenpaine on tippunut 60 desibeliä alkuperäisestä tasosta. (Hifiopas 2005, [www.](#))

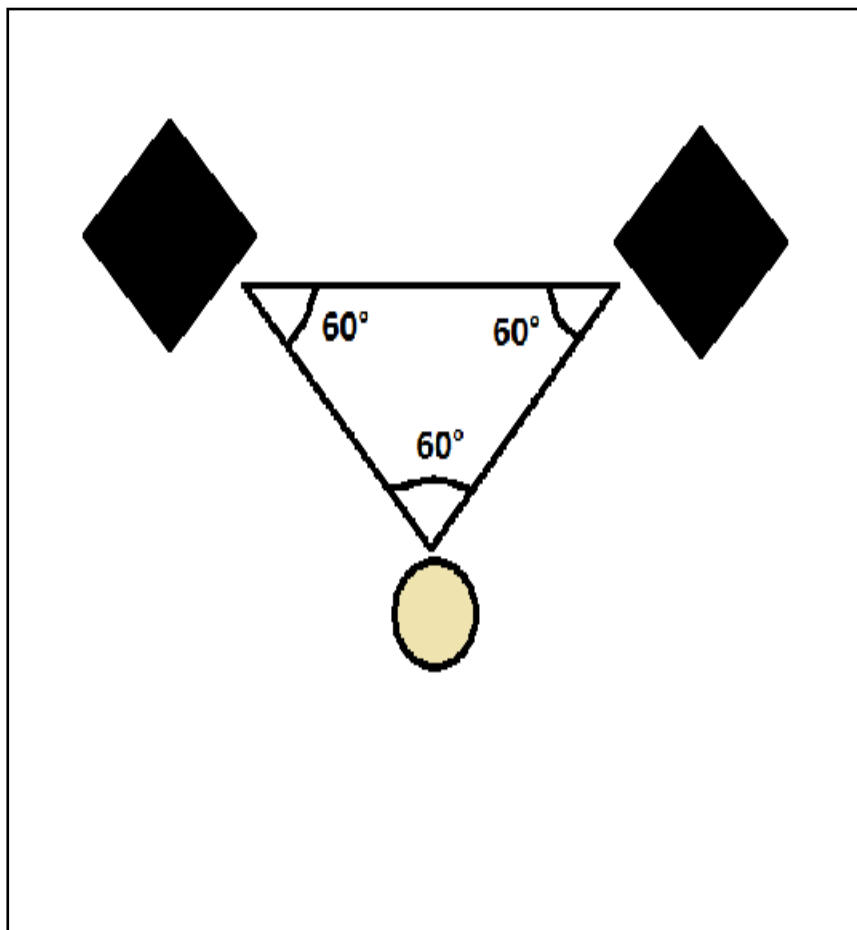
3.2 Seisovat aallot

Seisovat aallot eli huonemoodit syntyvät äänen heijastuessa kahden vastakkaisen seinän välillä. Niitä syntyy huoneen pituus-, leveys- ja korkeussuunnassa. Vastakkaisten seinien välillä sijaitsevan matalimman seisovan aallon pituus saadaan kertomalla seinien välimatka kahdella. Aallonpituuden taajuus voidaan laskea jakamalla äänen nopeus, 344 m/s, aallonpituudella. Huoneen mittojen ollessa samat tai toistensa monikerrat, seisovat aallot korostavat toisiaan. (Hifiopas 2005, [www.](#))

4 Akustoinnin merkitys äänituotannossa

"Many experts have even stated that the acoustics of the room are 50 percent of what you hear. Assuming this is true, it means that we should spend at least 50 percent of our audio budgets on treating our rooms. Do we? Of course not."
(Gordon, www)

Ammattitason äänitarkkaamon akustointi vaatii yleensä suuria toimenpiteitä ja paljon rahaa. Akustiikkaan voidaan kuitenkin vaikuttaa jossain määrin myös kotiloissa. Akustoinnilla sekä kaiuttimien ja kuuntelupaikan sijoituksella pyritään vähentämään heijastuksia ja kaiuntaa sekä vaimentamaan bassoresonansseja. Hyvästäkään laitteistosta ei ole iloa, jos tila on sopimaton. Hyvä muistisääntö on sijoittaa kaiuttimet siten, että ne muodostavat tasasivuisen kolmion kuuntelupaikan kanssa. Ihanteellinen kuuntelukorkeus määräytyy niin, että korva on diskanttielementin tasolla. (EQ Acoustics 2011, www)



Kuvio 6. Kaiuttimien sijoittelu kuuntelupaikkaan nähden.

Hyvä aloituspiste kuuntelupaikalle kaksikanavatoistossa sijaitsee huoneen pituussuunnassa kohdassa, jossa 38% pituudesta jää kuuntelijan eteen. (realtraps,www)

Huoneen akustiikkaa ei saisi liikaa vaimentaa. Tasainen kaiuntakenttä pitää äänen miellyttävänä eikä jätä tilan sointia epämiellyttävän kuivaksi. Ensimmäisiä heijastuksia vaimennettaessa äänen tarkkuus säilyy. (Saurama 2001.)

Ääniaallot heijastuvat valonsäteiden tapaan, joten hyvä konsti heijastuskohtien löytämiseksi on käyttää peiliä apuna. Kaiuttimen näkyessä peilistä, on akustointielementin paikka löydetty. Varhaisia heijastuksia voidaan vaimentaa sijoittamalla paksu matto kuuntelupaikan ja kaiuttimen välille. Sivu- ja takaseinällä vaimentimena voidaan käyttää esimerkiksi kirjahyllyjä tai erillisiä akustointipaneeleita. Kovapintaiseen kattoon kannattaa harkita jotain akustointiratkaisua.

5 Äänen absorptio ja sen luokittelu

Äänen absorptio eli vaimennus tarkoittaa äänienergian muuttumista toiseksi energiamuodoksi (useimmiten lämmöksi) äänen edetessä väliaineessa. Materiaalin kykyä vaimentaa ääntä kuvaillaan yleensä eri taajuuksilla mitatuilla absorptiokertoimilla. Käytännössä tämä tarkoittaa, että yhdellä materiaalilla on useita absorptiokertoimia äänen taajuuden mukaan. Tuotteen absorptioluokkaa määritettäessä käytetään EN ISO 354 ja 11654 -standardeja. Mittauksista saatujen tulosten perusteella materiaalit jaotellaan luokkiin A – E (A absorboi ääntä parhaiten ja E heikoiten). (Paroc, [www](http://www.paroc.fi).)

Taulukko 1. Äänen absorptioluokitus. (Paroc, [www](http://www.paroc.fi))

aw (painotettu äänen absorptiokerroin)	Absorptioluokka
1.00–0.95–0.90	A
0.85–0.80	B
0.75–0.70–0.65–0.60	C
0.55–0.50–0.45–0.40–0.35–0.30	D
0.25–0.20–0.15	E
0.10–0.05–0.00	Ei luokiteltu

Kivivillapohjaiset akustiikkalevyt ovat yleensä parasta A-luokkaa. Alla olevassa taulukossa esimerkkejä yhden valmistajan tuotteista:

Taulukko 2. Eri villalaatujen absorptiokertoimia. (Absorption Coefficients, www)

Roxul Rigid Rockwool

PRODUCT	THICKNESS	DENSITY	125HZ	250HZ	500HZ	1000HZ	2000HZ	4000HZ	NRC
RXL 40	1" (25mm)	7.4 pcf (118 kg/m3)	0.07	0.32	0.77	1.04	1.05	1.05	0.80
RXL 60	1" (25mm)	7.4 pcf (118 kg/m3)	0.08	0.33	0.78	1.03	1.02	1.04	0.80
RXL 80	1" (25mm)	8.0 pcf (128 kg/m3)	0.11	0.31	0.82	1.01	1.02	1.01	0.80
AFB	1" (25mm)	3.0 pcf (48 kg/m3)	0.14	0.25	0.65	0.90	1.01	1.01	0.70
RXL 40	1.5" (25mm)	4.9 pcf (79 kg/m3)	0.18	0.48	0.96	1.09	1.05	1.05	0.90
RXL 60	1.5" (25mm)	6.0 pcf (96 kg/m3)	0.17	0.62	1.00	1.05	1.01	1.01	0.90
RHF / RHT 80	1.5" (25mm)	5.9 pcf (94 kg/m3)	0.17	0.58	1.06	1.07	1.00	0.99	0.95
RXL 80	1.5" (25mm)	8.0 pcf (128 kg/m3)	0.21	0.64	0.92	1.00	0.95	1.01	0.90
AFB	1.5" (33mm)	3.0 pcf (48 kg/m3)	0.18	0.44	0.94	1.04	1.02	1.03	0.85
RHT 40	1.5" (25mm)	3.5 pcf (56 kg/m3)	0.15	0.47	0.98	1.06	1.02	1.02	0.90
RHT 60	1.5" (25mm)	4.4 pcf (70 kg/m3)	0.19	0.55	1.03	1.06	1.02	1.01	0.90
RXL 40	2" (51mm)	4.0 pcf (64 kg/m3)	0.26	0.68	1.12	1.10	1.03	1.04	1.00
RXL 60	2" (51mm)	6.0 pcf (96 kg/m3)	0.32	0.81	1.06	1.02	0.99	1.04	0.95
RHF / RHT 80	2" (51mm)	5.9 pcf (94 kg/m3)	0.39	0.84	1.08	1.01	1.02	1.01	1.00
RXL 80	2" (51mm)	8.0 pcf (128 kg/m3)	0.43	0.78	0.90	0.97	0.97	1.00	0.90
Safe	2" (51mm)	4.5 pcf (72 kg/m3)	0.26	0.68	1.12	1.10	1.03	1.04	1.00
AFB	2" (51mm)	2.5 pcf (40 kg/m3)	0.28	0.60	1.09	1.09	1.07	1.07	0.95
RHT 40	2" (51mm)	3.5 pcf (56 kg/m3)	0.26	0.68	1.14	1.13	1.06	1.07	1.00
RHT 60	2" (51mm)	4.4 pcf (70 kg/m3)	0.26	0.71	1.14	1.09	1.04	1.03	1.00
RXL 40	3" (75mm)	4.0 pcf (64 kg/m3)	0.63	0.95	1.14	1.01	1.03	1.04	1.05
RXL 60	3" (75mm)	6.0 pcf (96 kg/m3)	0.78	0.89	1.04	0.98	1.01	1.02	1.00
RHF / RHT 80	3" (75mm)	5.9 pcf (94 kg/m3)	0.68	0.92	1.08	1.03	1.03	1.03	1.10
RXL 80	3" (75mm)	8.0 pcf (128 kg/m3)	0.75	0.82	0.89	0.94	1.00	1.00	0.90
Safe'n'Sound	3" (75mm)	2.5 pcf (40 kg/m3)	0.52	0.96	1.18	1.07	1.05	1.05	1.05
Safe	3" (76mm)	4.5 pcf (72 kg/m3)	0.63	0.95	1.14	1.01	1.03	1.04	1.05
AFB	3" (75mm)	2.5 pcf (40 kg/m3)	0.52	0.96	1.18	1.07	1.05	1.05	1.05
RHT 40	3" (75mm)	3.5 pcf (56 kg/m3)	0.62	1.03	1.20	1.10	1.08	1.10	1.10
RHT 60	3" (75mm)	4.4 pcf (70 kg/m3)	0.65	0.94	1.13	1.07	1.06	1.04	1.10
RXL 40	4" (100mm)	4.0 pcf (64 kg/m3)	1.03	1.07	1.12	1.04	1.07	1.08	1.10
RHF / RHT 80	4" (100mm)	5.9 pcf (94 kg/m3)	1.00	0.95	1.06	1.04	1.06	1.08	1.05
Safe	4" (100mm)	4.5 pcf (72 kg/m3)	1.03	1.07	1.12	1.04	1.07	1.08	1.10
AFB	4" (100mm)	2.5 pcf (40 kg/m3)	0.86	1.11	1.20	1.07	1.08	1.07	1.10
RHT 40	4" (100mm)	3.5 pcf (56 kg/m3)	1.07	1.01	1.07	1.06	1.07	1.16	1.05
RHT 60	4" (100mm)	4.4 pcf (70 kg/m3)	0.92	1.04	1.07	1.07	1.07	1.08	1.05

5.1 Akustointipaneelit

Akustointipaneeli imee ääniaallot itseensä muuntaen äänienergian lämpöenergiaksi. Eristevilla tai erilaiset pehmeät vaahtomuovin kaltaiset raaka-aineet ovat yleisimmin käytettyjä materiaaleja elementeissä.

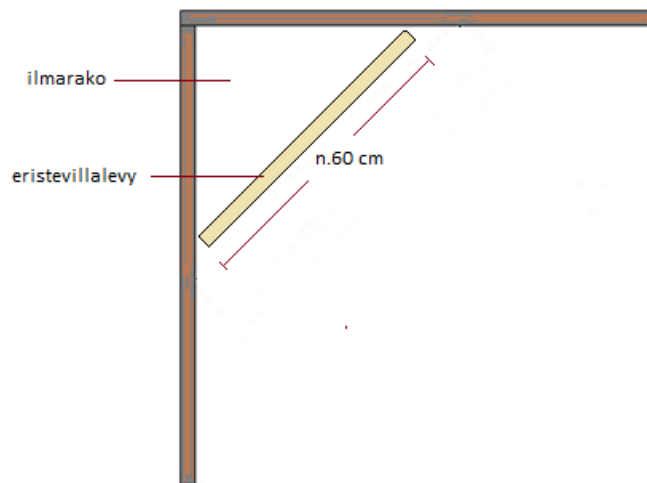
Markkinoilla myytävien elementtien hinnat ovat yleensä korkealla. Helpompaa ja halvempaa on valmistaa itse yhtä tehokas akustointipaneeli. Mitä paksumpi elementti, sitä tehokkaammin ja laajemmalla taajuuskaistalla se toimii. Myös akustointipaneelin ja heijastavan pinnan välimatkalla voidaan vaikuttaa vaimennettaviin taajuuksiin. (Räihälä 2011, 20.)

5.2 Bassoansa

Bassoansa (engl. bass trap) on resonoiva absorberi, jonka tarkoitus on vaimentaa matalia taajuuksia. Koska basso korostuu suurimmaksi osaksi huoneen kulmissa, tämä on ihanteellinen paikka mille tahansa bassoansalle. Huoneen kulman täyttäminen maksimoi absorbtion. Hyvä kompromissi on asettaa n. 10 cm paksuiset eristevillapaneelit kulmaan. Kulman ja paneelin välinen ilmarako voidaan täyttää halvemmalla ja ilmavammalla eristevillalla. (Do-it-Yourself Bass Traps, www.diybass.com.)

Matalien taajuuksien vaimentaminen on haasteellista johtuen niiden mittavasta energiasta. Aallonpituuksien ollessa pitkiä bassoansojen täytyy olla myös suurikokoisia.

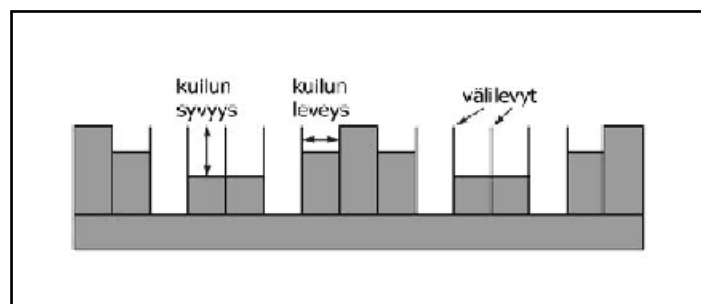
Tehokkain vaimennus saadaan aikaan, kun vaimennusaineen paksuus on yli neljäsosa vaimennettavan taajuuden aallonpituudesta.



Kuvio 7. Oma luonnos Ethan Winerin esittelemästä n.10 cm paksusta bassoansasta kulmassa

5.3 Diffuusori

Diffuusori on mikä tahansa epätasainen, ääntä heijastava pinta, joka parhaimmillaan ”sirpaloi” äänen heijastaen sen kaikkiin huoneen suuntiin. Yleisin studioissa käytettävä diffuusorityyppi on nimeltään QDR (engl. quadratic residue diffuser), jonka heijastava pinta koostuu sarjasta kuiluja. Niiden leveys on aina sama, mutta syvyys vaihtelee. Diffuusorina voidaan käyttää myös kirjoja täynnä olevaa tukevaa kirjahyllyä tai paksuja verhoja, jotka on poimutettu epätasaiseksi.



Kuvio 8. Sivuttaiskuva QDR diffuusorin pinnasta (Suvela 2010, 28)

6 Akustiikkaelementtien suunnittelu ja rakennusvaiheet

Seinäheijastuksia varten olin rakentanut 7 kappaletta 10 cm paksuisia kivivillatäytteisiä akustointipaneeleja. Kivivillalevynä käytin PAROC COS 5-nimistä tuotetta. Yhden levyn paksuus oli 5 cm (2 levyä/paneeli). Villalevyjen arvioitu tiheys on n. 70 kg/m³, joten se on tiheydeltään lähellä RHT 60–kivivillaa, joka löytyy taulukosta 2.



Kuvio 9. Valmis akustointipaneeli

Paneelien kehikot, jotka ovat leveydeltään 60cm ja pituudeltaan 120cm, valmistettiin 4 cm levyisistä ympärihöylätyistä puulistoista. Niiden kokoamiseen käytettiin puuliimaa sekä viimeistelyyn metalliniittejä.



Kuvio 10. Kehikon liimaus



Kuvio 11. Kehikoiden nidonta

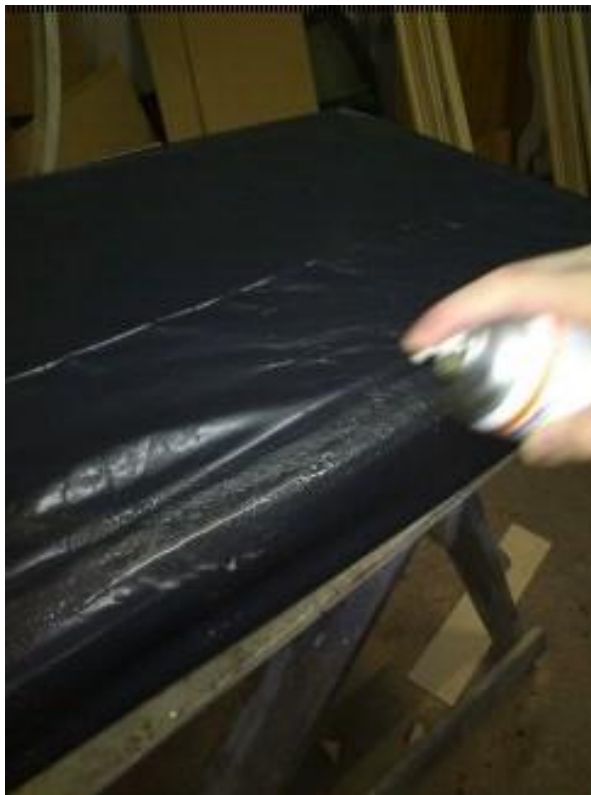
Kehikot yhdistettiin 10 cm paksuiseen, jätesäkillä tiivistettyyn villalevyyn sprayliimalla. Jätesäkkiin voidaan tehdä pieni reikä ja imeä imurilla ylimääräiset ilmat pois. Kannattaa valita tarpeeksi paksuja jätesäkkejä, koska ohuemmat päästävät jonkin verran ilmaa läpi. Elementti päällystettiin tummalla kankaalla, joka kiinnitettiin niittipyssyn avulla kehikkoon kiinni.



Kuvio 12. Elementin päällystäminen jätesäkillä



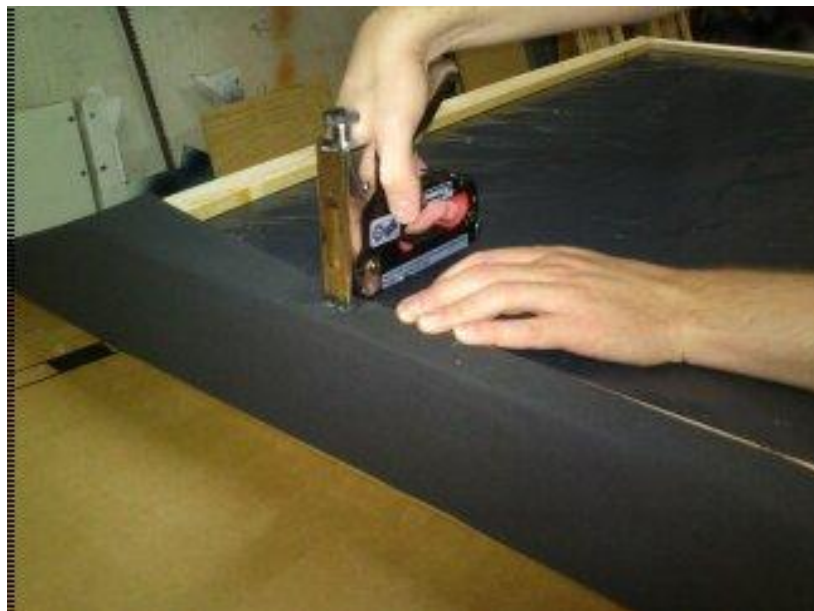
Kuvio 13. Jättesäkin tiivistäminen



Kuvio 14. Sprayliiman levitys



Kuvio 15. Kehikon kiinnittäminen levyihin



Kuvio 16. Kankaan kiinnitys

Seinäpaneelien "jalkoina" käytettiin 45 cm korkeita jakkaroita. Paneelin lisätueksi jakkaran istuimen reikiin voi laittaa esim. puukapulat elementin kummallekin puolelle.



Kuvio 17. Akustointipaneelin jakkara

Matalien taajuuksien eliminoimiseen olin suunnitellut kolmion muotoisen bassoansan, johon käytin samaa tuotetta kuin seinäpaneeleihin. Bassoansan suunnittelin kuvion 7 pohjalta. Bassoansan syvyydeksi tuli n. 30 cm. Bassoansa rakennettiin kuudesta sprayliimalla yhdistetystä levystä kerroksittain pyramidin muotoon. Tällä metodilla eristevillan rajallisesta määrästä saatiin kaikki irti. Kulman ilmarako saatiin myös täytettyä, jolloin bassoansan absorbointi maksimoitiin. Ensimmäinen levy oli 60 cm leveä, seuraavat levyt aina edellistä 10 cm kapeampia. Villan leikkaamiseen kannattaa käyttää terävää veistä, ettei reunoista tule epätasaisia.



Kuvio 18. Valmis Bassoansa



Kuvio 19. Liiman levitys kivivillaan.



Kuvio 20. Yhdistetyt villalevyt

Bassoansat päällystettiin myös jätessäkillä ja niiden päätyihin suunniteltiin vanerista tasakylkiset kolmiot, jotta elementti istuisi paremmin huoneen nurkkaan. Bassoansan päällyskangas saatiin pingotettua ja kiinnitettyä päädyissä oleviin vanerikolmioihin. Kannattaa valita tarpeeksi paksua vaneria, ettei kolmio joustu kulmista kun kangasta kiristetään.



Kuvio 21. Jätessäkillä päällystetty elementti



Kuvio 22. Bassoansan päihin asennettu vanerikolmio



Kuvio 23. Kankaalla päällystetty bassoansa

7 Tilan mittaus

Mittaus suoritettiin huoneessa ilman akustointia ja akustoinnin kanssa. Akustoidussa huoneessa kaksi bassoansaa oli sijoitettu huoneen takaseinien nurkkiin. Niiden väliin asetettiin kolme akustointipaneelia (kolmas kahden alimman päälle.) Huoneen lattialle kuuntelupisteen ja kaiuttimien välimaastoon aseteltiin paksu matto. Kaiuttimien taakse sekä sivuseinille sijoitettiin paneelit ensiheijastusten eliminoimiseksi. Lämpöpatteri peitettiin paksulla viltillä. Kaiuttimien taakse ripustettiin lattiaan asti ulottuvat koko etuseinän peittävät paksut verhot, joiden pinnasta pyrittiin saamaan mahdollisimman epätasainen, jotta vaikutus olisi mahdollisimman diffuusoiva.



Kuvio 24. Tilan mittauksista akustoitamattomassa huoneessa



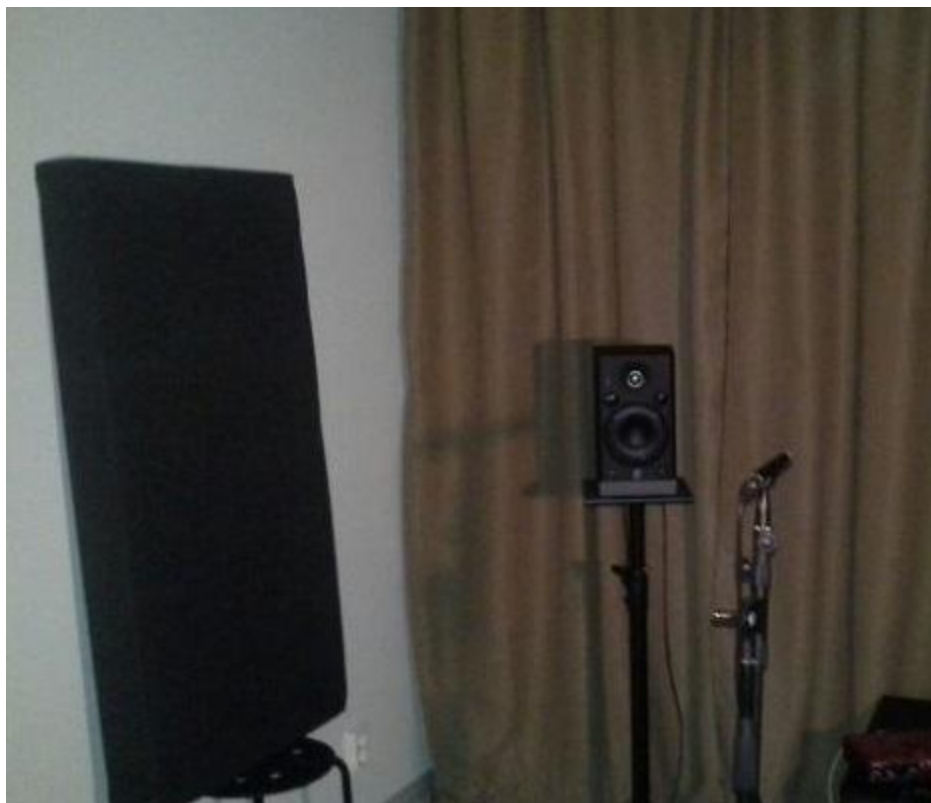
Kuvio 25. Nurkkaan asetettu bassoansa lattiasta kattoon.



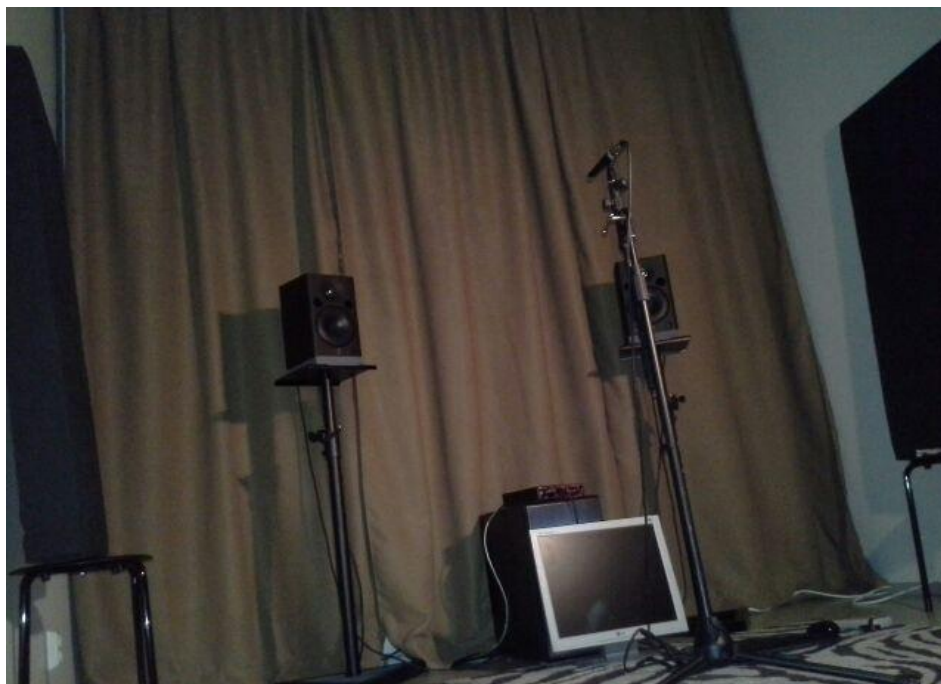
Kuvio 26. Kaiuttimen taakse asennettu akustointipaneeli.



Kuvio 27. Akustoitu takaseinä



Kuvio 28. Sivuseinällä oleva akustointipaneeli.



Kuvio 29. Akustoitu etuseinä ja sivuseinät

Tilan mittaukseen käytettiin siihen tarkoitettua Room Eq Wizard tietokoneohjelmaa, pallokuvioista Dpa:n 4006 mikrofonia, Edirol FA-101 firewire äänikorttia, Yamaha MSP-5 studiomonitoreja, sekä Windows pohjaista tietokonetta. Mittamikrofoni sijoitettiin 120 cm korkeudelle kuuntelupisteen kohdalle kaiuttimien diskanttielementtien tasolle. Kaiuttimet muodostivat tasasivuisen kolmion kuuntelupisteen kanssa.

Kuuntelupaikan määrittämiseen olin käyttänyt 38 % lähestymistapaa, josta mainittiin jo aikaisemmin opinnäytetyössä. Ennen varsinaista mittausta äänikortti kalibroitiin, jonka jälkeen ohjelman ulossyöttö- ja sisäänottovoimakkuus tasoitettiin äänikortin mikrofonetuvahvistimen avulla. Järjestelmä kalibroitiin desibelimittarilla niin, että kaiuttimista tuleva testisignaali oli 75 desibelin voimakkuudella.

Lopulta mittamikrofoni tallensi kaiuttimista tulleen testisignaalin analysointia varten. Mittaus suoritettiin ilman akustointia ja akustoinnin kanssa siniaaltosignaalin avulla. Siniaalto alkoi 20 hertsistä ja päättyi 22 kilohertsiin. Mittauksen avulla huoneen taajuusvaste ja jälkikaiunta saatiin tallennettua graafiseen muotoon. Luotettavuus saatiin varmistettua toistamalla äänimittaus useampaan otteeseen.

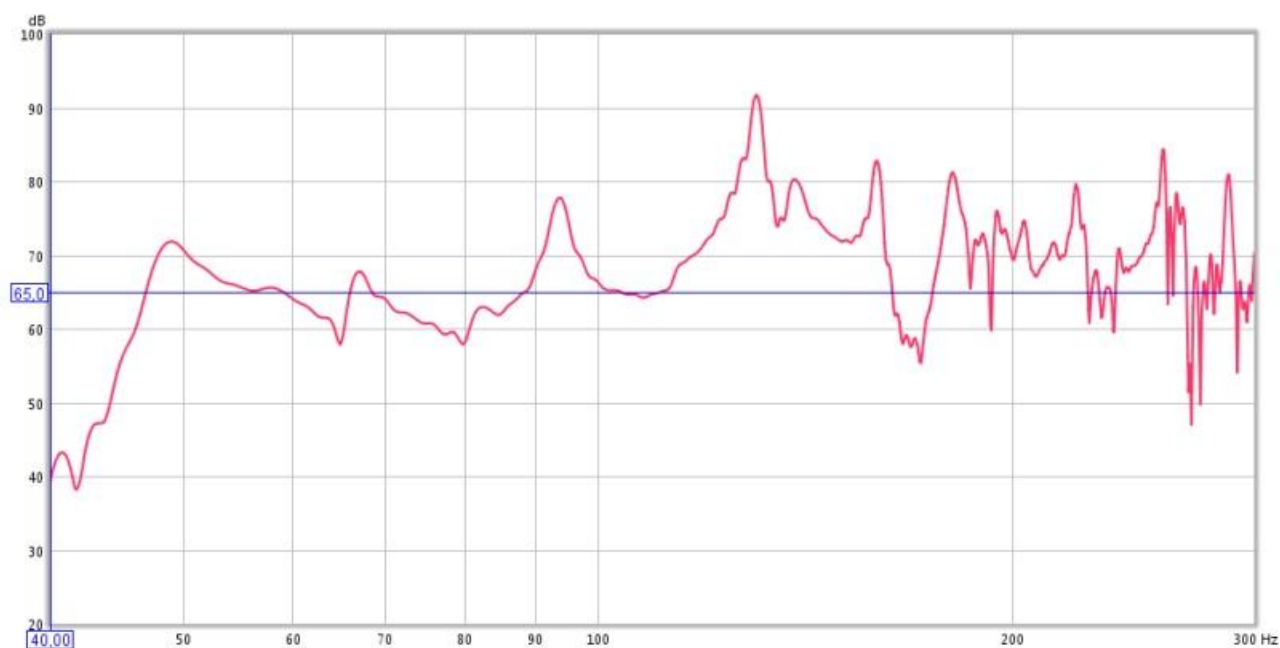
8 Tulosten esittely

1/3 tai 1/6 oktaavitasauksen käyttö taajuuskuvaajassa on hyödyllistä kun haluaa tarkastella keskialueen ja diskantin taajuuksia. Matalia taajuuksia on parempi tutkia täydellä resoluutiolla nähdäkseen todellisen lukeman. Opinnäytetyön mittaustulokset on esitetty taajuusvaste- ja jälkikaiuntakuvaajien (RT60) avulla.

8.1 Tila ilman akustointia

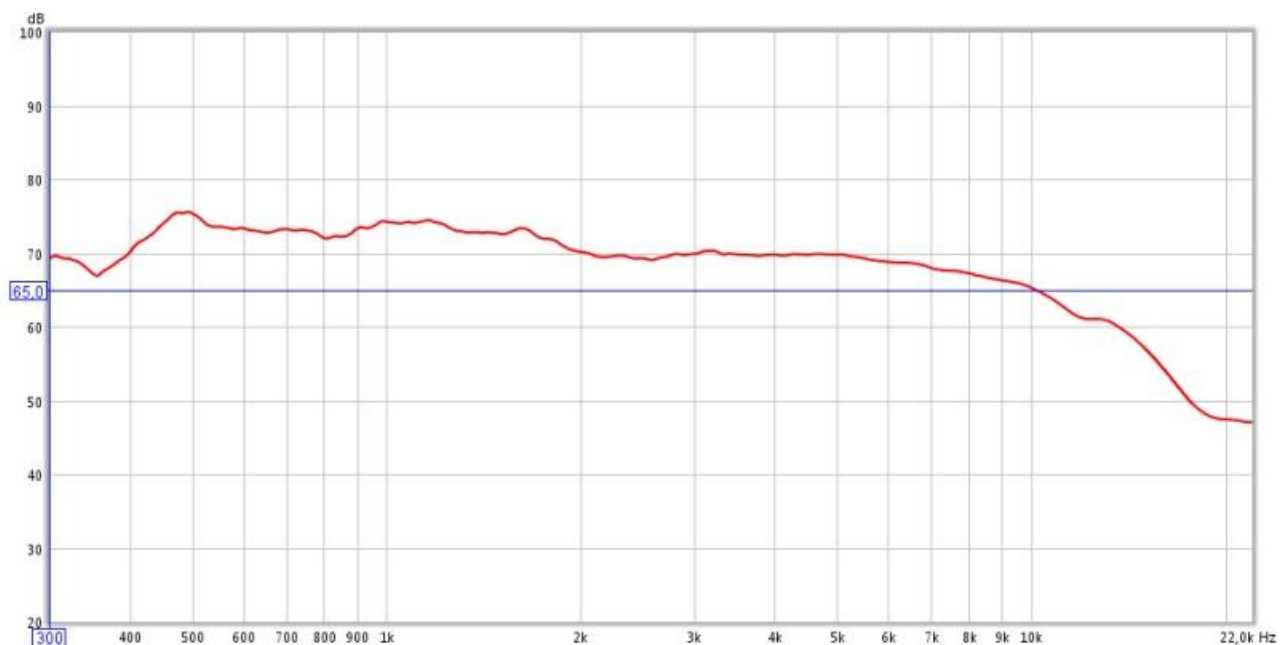
Kuviosta 30 nähdään että alabassoalueella 49 hertsin kohdalla ilmenee noin 7 desibelin korostuma ja 67 hertsin kohdalla 3 desibelin korostuma 65 desibeliin nähden. Yläbassoissa korostumia ilmenee 94 hertsissä 13 desibeliä, 130 hertsissä 27 desibeliä ja 180 hertsissä 16 desibeliä. Alakeskiäänissä on nähtävissä huomattavia korostumia eri taajuuksilla. Kuvaajassa näkyvien bassoalueiden korostumat olivat samankaltaiset huoneen seisoviin aaltoihin ja niiden monikertoihin nähden, jotka olin laskenut luvussa 3.3 olevan laskukaavan avulla.

Vaimentumia 65 desibeliin nähden ilmenee alabassoissa 65 ja 80 hertsin kohdalla 7 desibelin verran, sekä 85 hertsissä 3 desibeliä. Suurin vaimentuma, 10 desibeliä, tapahtuu 172 hertsin kohdalla.

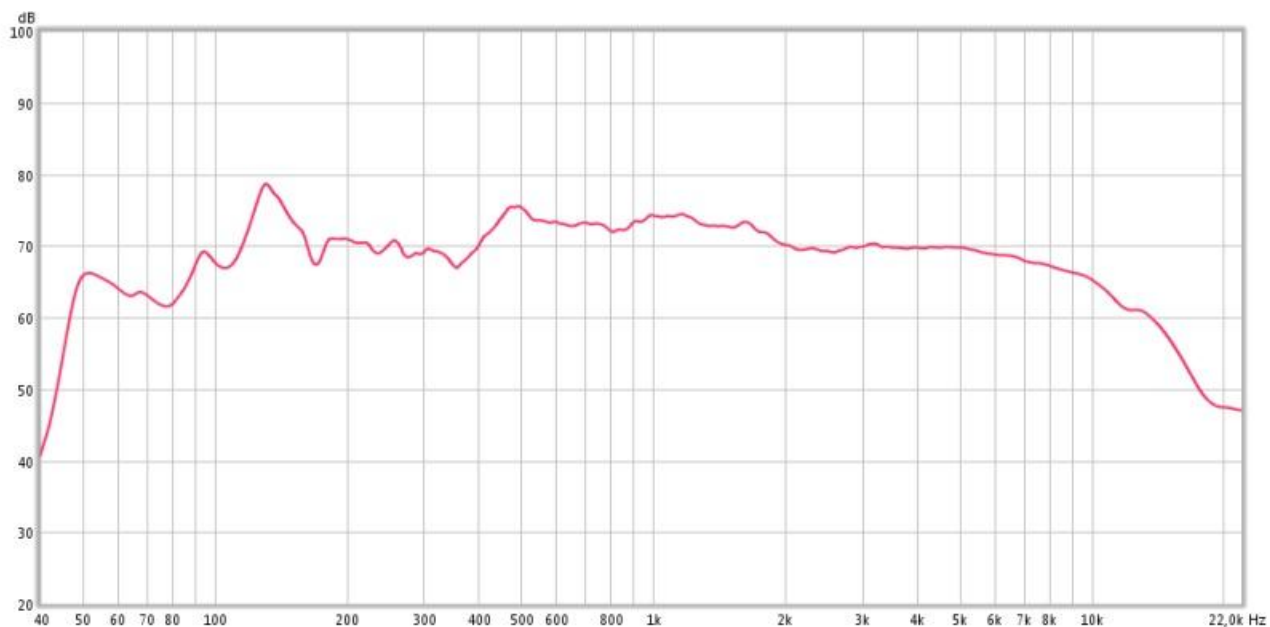


Kuvio 30. Akustoimattoman tilan taajuusvaste matalilla taajuuksilla ilman oktaavitasasta.

Kuviossa 31 näkyy 320 ja 2000-5000 hertsin kohdalla 5 desibelin korostuma. 8-10 desibelin korostumaa on havaittavissa 470-1630 hertsin alueella 65 desibeliin nähden.

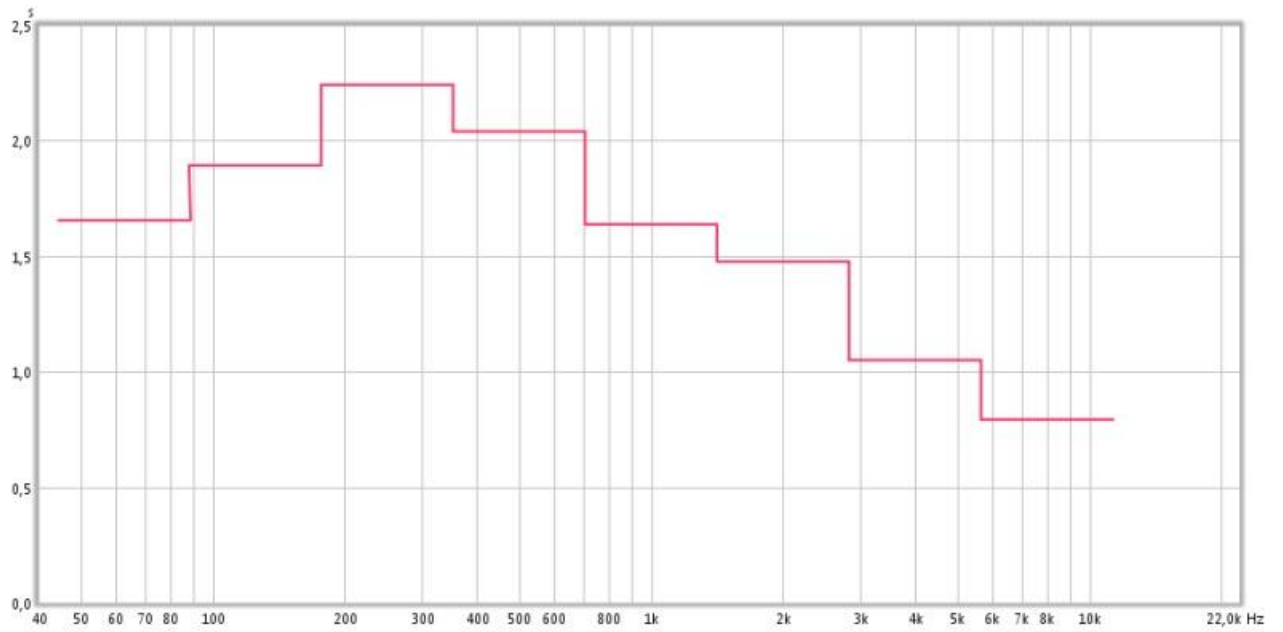


Kuvio 31. Akustoimattoman tilan taajuusvaste keskialueella ja diskantilla 1/6 oktaavitasauksella.



Kuvio 32. Akustoimattoman tilan taajuusvaste 1/6 oktaavitasauksella.

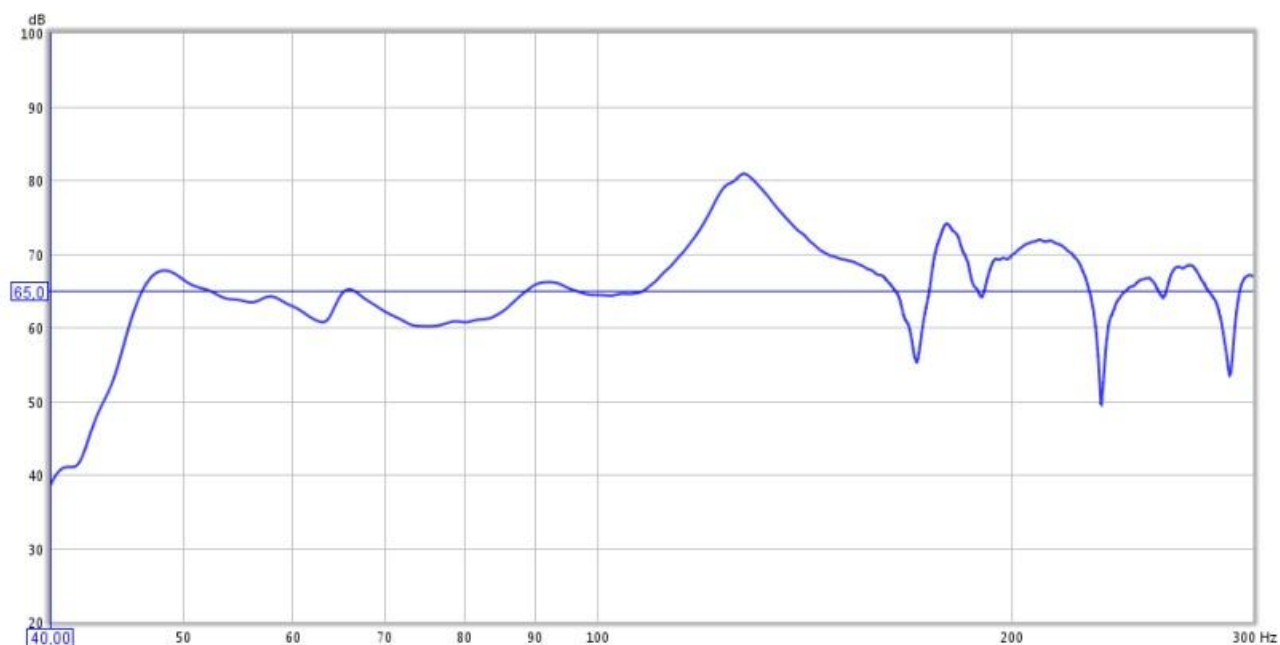
Kuvion 33 mukaan jälkikaiunta-aika heittelee huomattavasti eri taajuuksilla. Käyrän huippuarvo sijaitsee alakeskialueella 170-350 hertsissä. Tämän alueen jälkikaiunta-aika on n. 2,2 sekuntia. Käyrän matalin arvo sijaitsee 5600 hertsissä ja siitä ylöspäin. Tämän alueen jälkikaiunta-aika on noin 0.8 sekuntia.



Kuvio 33. Akustoimattoman huoneen jälkikaiunta

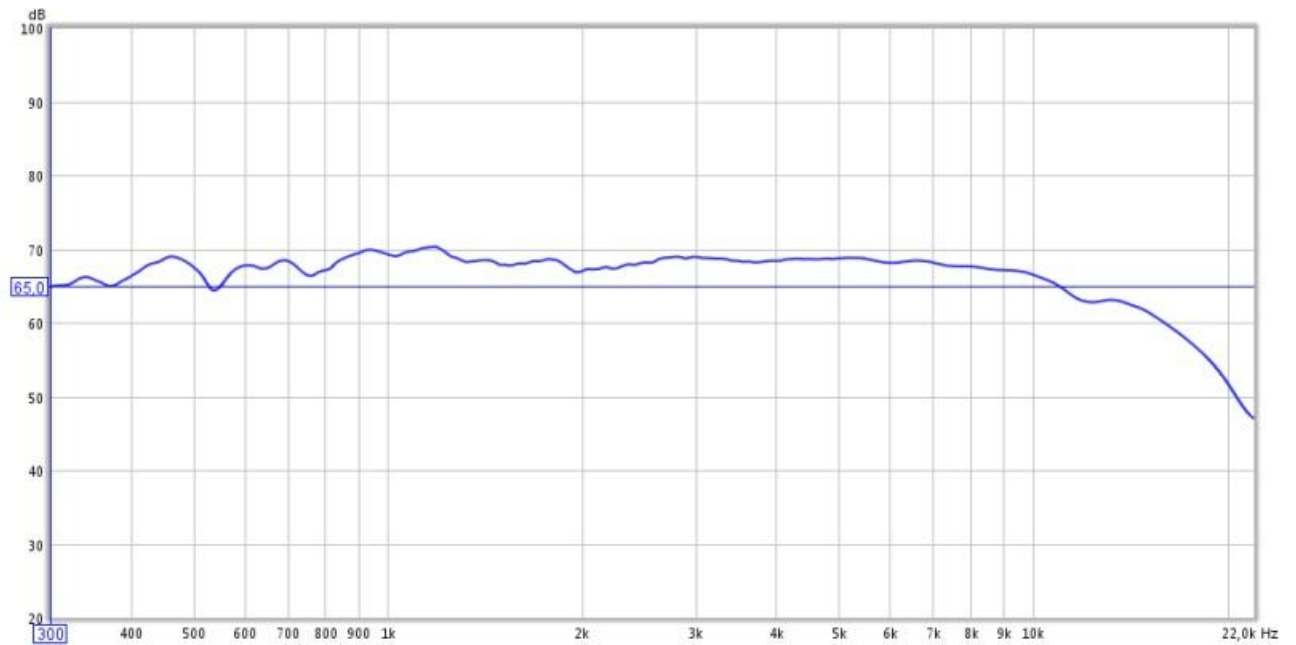
8.2 Tila akustoinnin kanssa

Kuviosta 34 nähdään että 48 ja 270 hertsin kohdalla ilmenee noin 3 desibelin korostuma 65 desibeliin nähden. Yläbassoissa korostumia ilmenee 90 hertsin kohdalla 1,5 desibeliä, 127 hertsissä 16 desibeliä ja 179 hertsissä 9 desibeliä. Myös 200-220 hertsin kohdalla on 7 desibelin korostuma. Alakeskiäänissä on nähtävissä huomattavia korostumia eri taajuuksilla. Vaimentumia 65 desibeliin nähden ilmenee alabassoissa 63 ja 75 hertsin kohdalla 5 desibelin verran. Alakeskiäänissä vaimentumia löytyy 170 hertsistä 10 desibeliä, 232 hertsistä 16 desibeliä ja 288 hertsistä 12 desibeliä.

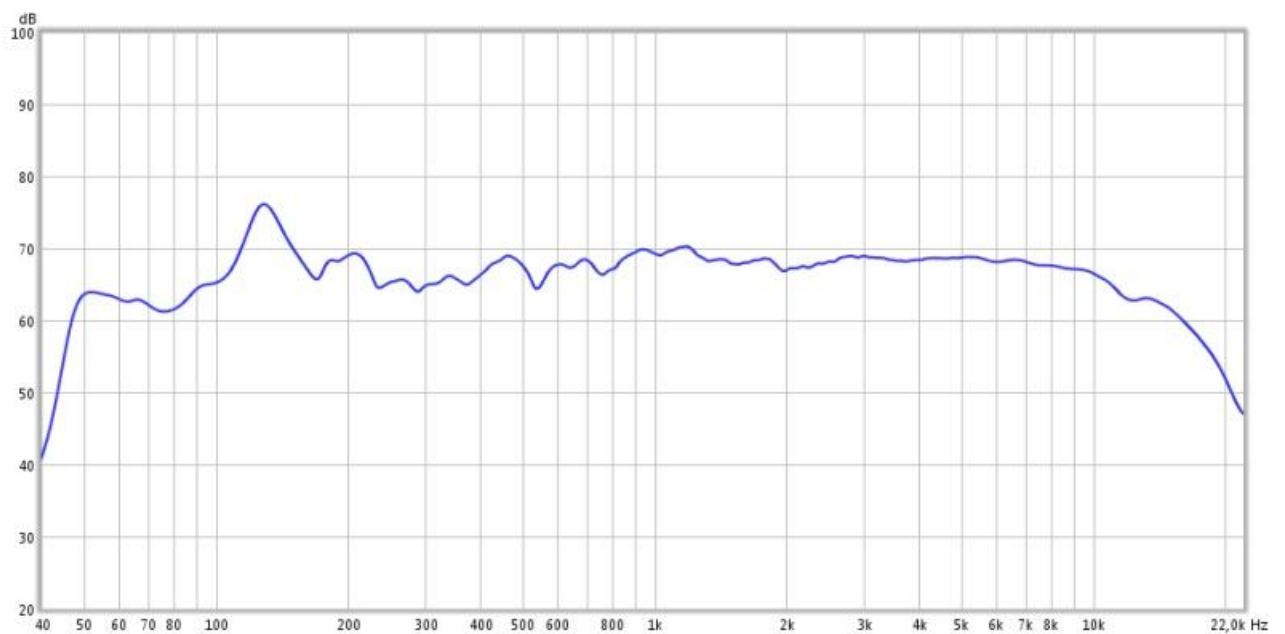


Kuvio 34. Akustoidun tilan taajuusalue matalilla taajuuksilla ilman oktaavitasasta.

Kuviossa 35 näkyy 2000-5000 hertsin kohdalla 2-4 desibelin korostumaa. Vaihtelevaa 4-5 desibelin korostumaa on havaittavissa 470-1630 hertsin alueella 65 desibeliin nähden.



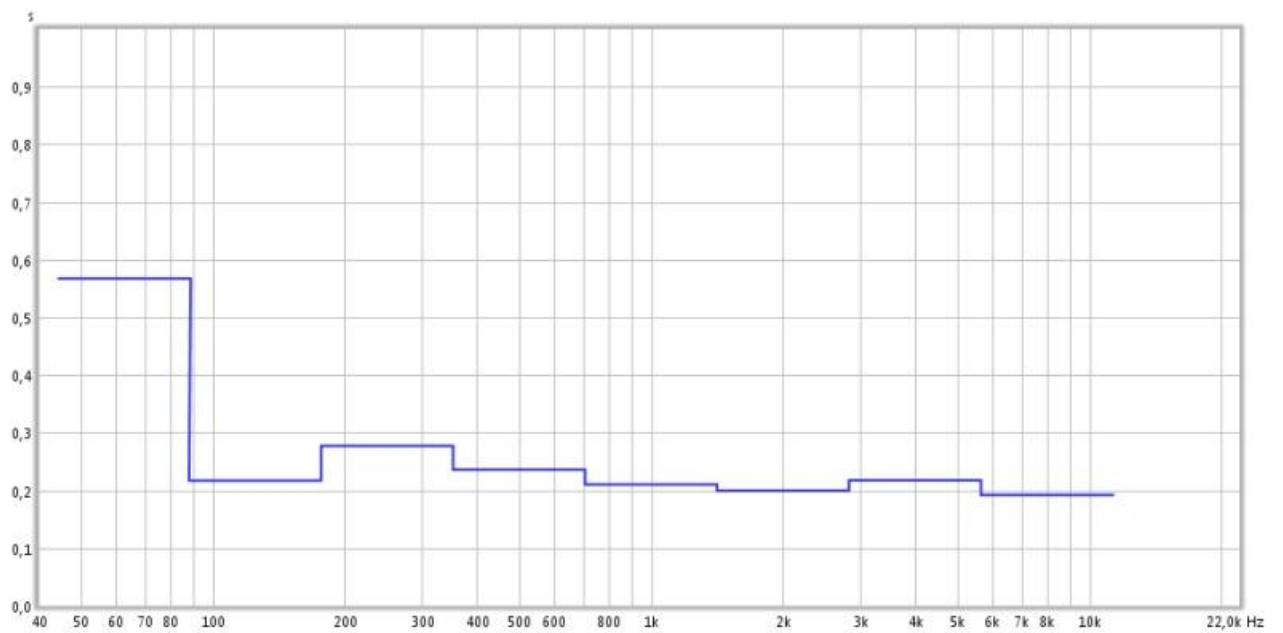
Kuvio 35. Akustoidun tilan taajuusvaste keskialueella ja diskantilla 1/6 oktaavitasauksella.



Kuvio 36. Akustoidun tilan taajuusalue 1/6 oktaavitasauksella.

Kuvion 37 mukaan käyrän huippuarvo sijaitsee alakeskialueella 40-90 hertsissä. Tämän alueen jälkikaiunta-aika on 570 millisekuntia.

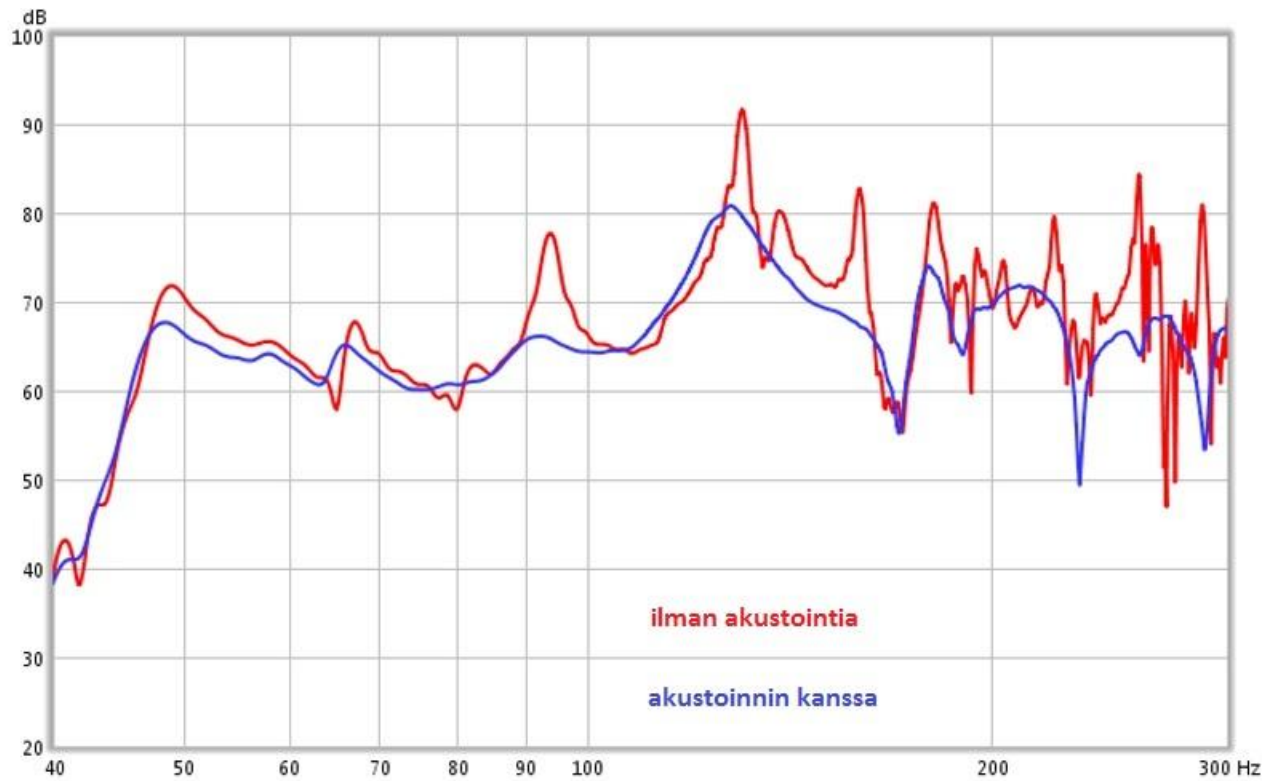
Käyrän matalimmat arvot sijaitsevat 90 hertsistä ylöspäin. Tämän alueen jälkikaiunta-aika on noin 200-280 millisekuntia, mikä lähentelee jo ihanteellista arvoa pienissä ammattistudioissa.



Kuvio 37. Akustoidun tilan jälkikaiunta.

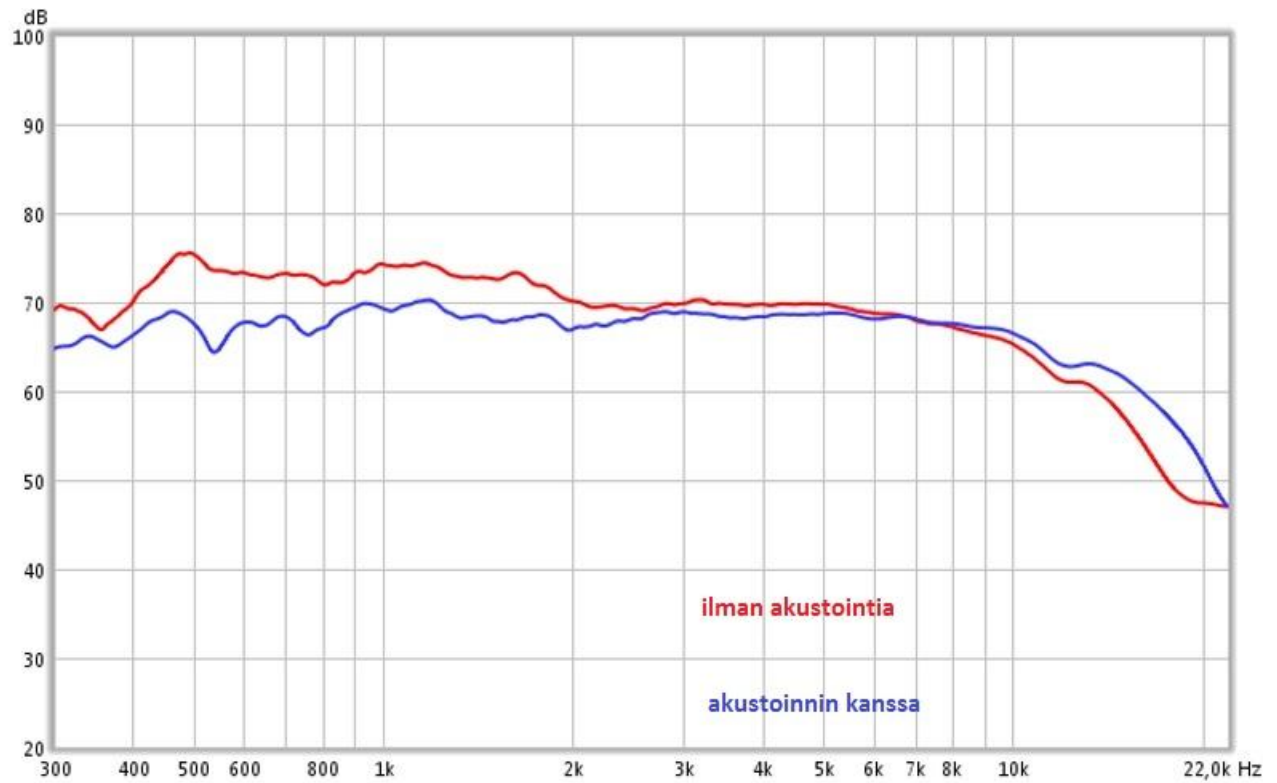
9 Tulosten vertailu

Kuviosta 38 voidaan todeta, että akustoinnin jälkeen on tapahtunut selkeää tasaantumista käyrässä. Erityisesti parannusta on tapahtunut 50, 90, 130 ja 180 hertsin alueella. 230 ja 270 hertsin kohdilla on havaittavissa jyrkät vaimentumat.

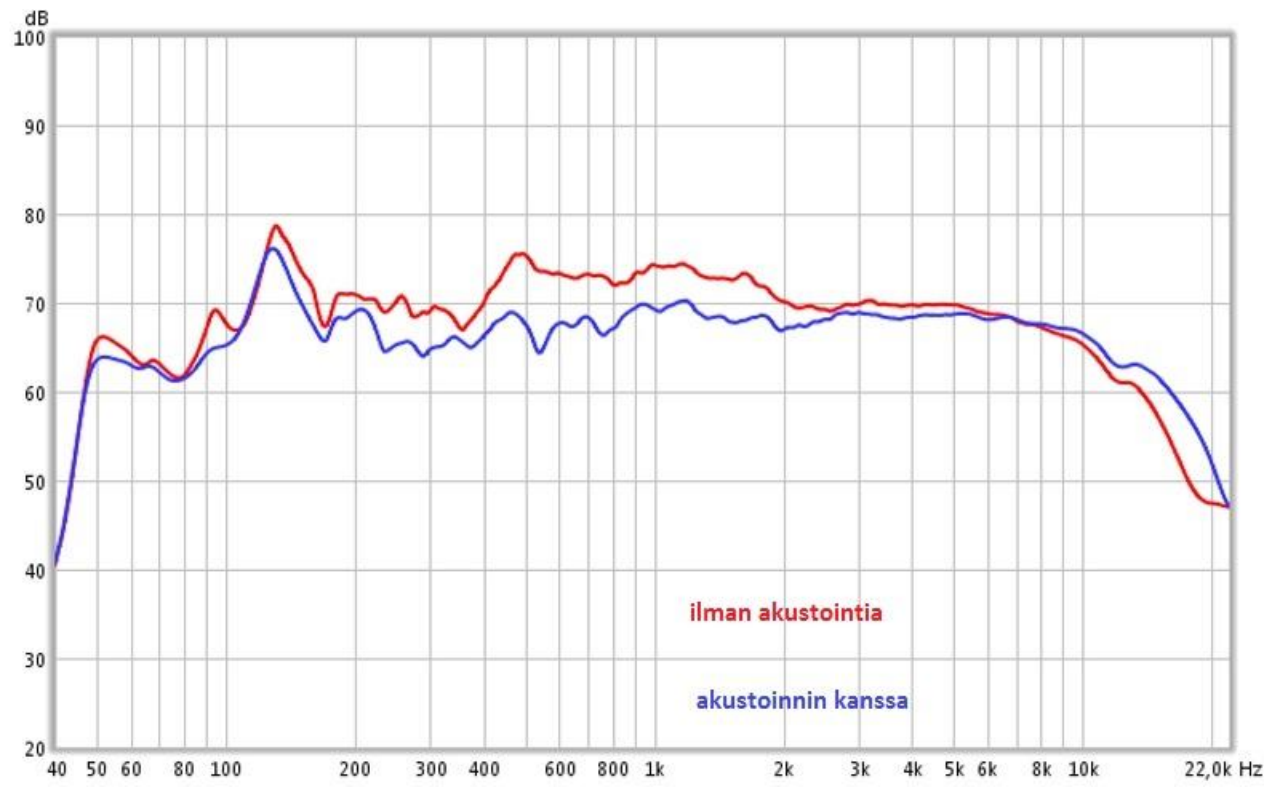


Kuvio 38. Taajuusvasteiden vertailu matalilla taajuuksilla ilman oktaavitasasta.

Kuviosta 39 voidaan todeta, että akustoinnin avulla keskialueet ovat tasoiltaan lähentyneet diskanttialuetta, jonka johdosta taajuusvaste näyttää tasaisemmalta.

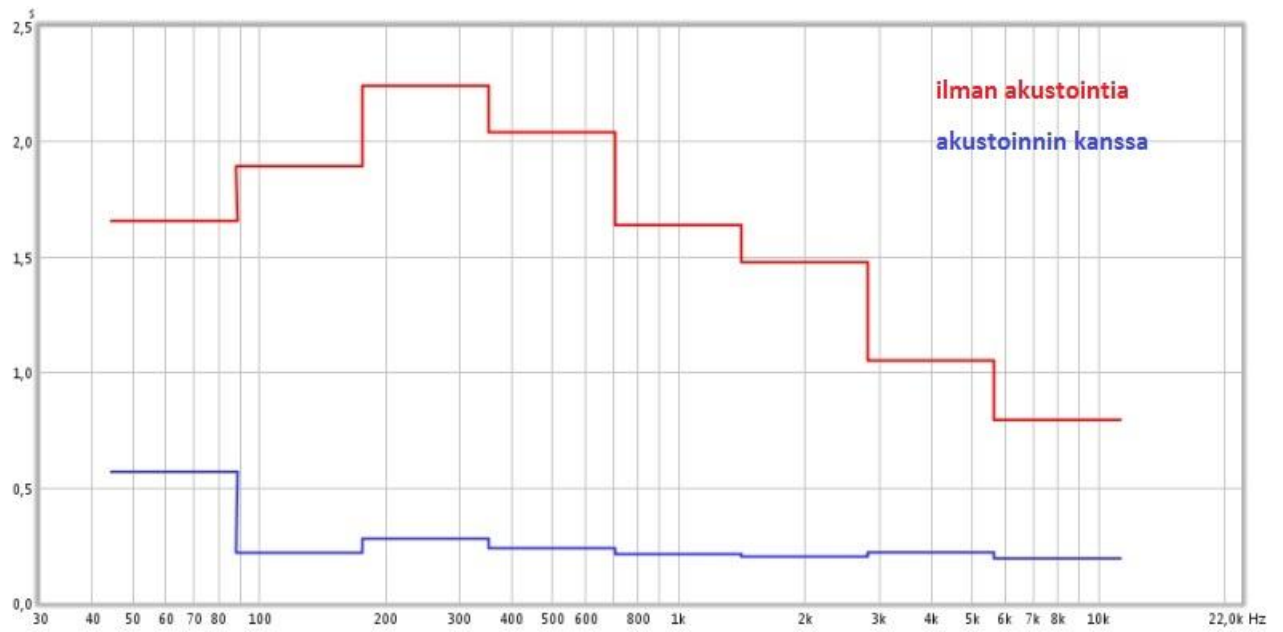


Kuvio 39. Taajuusvasteiden vertailu keskialueella ja diskantilla 1/6 oktaavitasauksella.



Kuvio 40. Taajuusvasteiden vertailu 1/6 oktaavitasauksella.

Kuviosta 41 voidaan todeta jälkikaiunta-aikojen lyhentyneen huomattavasti akustoinnin avulla.



Kuvio 41. Jälkikaiunnnan vertailua.

10 Pohdinta

Opinnäytetyöni tavoitteena on selvittää akustiikan vaikutusta kotona sijaitsevassa huoneessa, jota käytettiin tutkimustyössä. Tutkimuksessa pyritään löytämään erilaisia keinoja akustiikan kehittämiseksi. Akustoinnin vaikutusta tutkittiin tekemällä erilaisia akustisia mittauksia huoneessa ilman akustointia ja akustoinnin kanssa.

Työssäni halusin myös perehtyä äänen eri ominaisuuksiin ja selvittää miten akustoinnilla voi vaikuttaa tilan sointiin. Opinnäytetyötäni varten suunnittelin helposti toteutettavia ja edullisia akustointielementtejä, joiden rakentaminen oli mielekästä ja opettavaista. Rakennusmateriaalien kustannukset pysyivät kohtuullisina. Laskelmieni mukaan yhden akustointipaneelin hinnaksi tuli arviolta 14 euroa ja 120 cm korkuisen bassoansan hinnaksi muodostui 24 euroa (vanerilevyä ei laskettu hintaan). Elementtien rakentamiseen meni keskimäärin 1–2 päivää. Akustoinnista tuli mielestäni sisustuksellisesti hyvä. Olen erityisesti tyytyväinen akustiikkaelementtien innovatiiviseen toteutustapaan, johon päädyin opinnäytetyöprojektini edetessä.

Tutkimukseni mittaustuloksista nähdään selkeä ero alkumittauksen ja loppumittauksen välillä. Akustiikka muuttui merkittävästi. Suuri yllättäjä mittaustuloksissa oli akustointielementtien huomattava vaikutus keski- ja yläbassojen vaimentumiseen. Työni osoittaa myös, että akustointi lyhensi jälkikaiuntaa huomattavasti.

Jatkoa ajatellen, kuuntelupaikkaa voisi kokeilla esimerkiksi huoneen vastakkaisella seinällä ja tutkia vaikuttaako se tuloksiin positiivisesti vai negatiivisesti. Huoneen 130 hertsin korostuma on pahin. Tähän voisi auttaa bassoansojen syvyyden kaksinkertaistaminen, mikä vastaisi silloin noin 1/4 aallonpituutta 130 hertsistä. Voisin myös harkita huonekalujen käyttöä akustoinnissa absorboinnin hienosäädössä. Mittauslaitteistoa oli helppo käyttää, ja se oli riittävän tarkka mittausten tekoon. Luotettavuus varmistettiin toistamalla äänimittaus useampaan otteeseen.

Lähteet

EQ Acoustics 2011, Recording Studios – The Basics of Control Room Acoustics
<http://www.eqacoustics.com/learn-more/acoustics-for-audio/recording-studio-room-setup> (luettu 24.11.13)

Fiberglass, Rockwool, Polyester, Cotton, and Sheep Absorption Coefficients. Vuosiluku tuntematon. <<http://www.bobgolds.com/AbsorptionCoefficients.htm>> (luettu 24.11.13)

Gordon, R.S. 2005. Room Acoustics - The Final Frontier.<http://www.positive-feedback.com/Issue21/gordon_rives.htm> (luettu 24.11.13)

Hifiopas. 2005. Huoneakustiikka.
<<http://www.students.tut.fi/~jmikkola/hifiopas/akustiikka.html>> (luettu 24.11.13)

Koivumäki, A. 2006.<http://www.aanipaa.tamk.fi/aku_1.htm> (luettu 24.11.13)

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

Paroc. 2013. Äänen absorption luokittelu
<<http://www.paroc.fi/knowhow/aani/aanenabsorption-luokittelu>> (luettu 24.11.13)

Räihälä, M. 2011. Ammattitason äänituotantostudion perustaminen pienellä budjetilla. Opinnäytetyö. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.

Saurama, S. 2001. Huomaamattomat parannukset. Tee-se-itse akustointi. HIFI-lehti 3/2001.

Suvela, M. 2010. Akustointielementit – mihin niitä tarvitaan? Akustoinnin vaikutuksen selvittäminen UKKOstudion äänitarkkaamossa. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Winer, E. 2012.Do-it-Yourself Bass Traps. <<http://audioundone.com/do-it-yourself-bass-traps>> (luettu 24.11.13)

Winer, E. 2004. Realtraps – How to setup a listening room.

<http://realtraps.com/art_room-setup.htm> (luettu 24.11.13)

