

MITTAHUONEEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS KAIUTTIMIEN MITTAAMISEEN

Juha Holm¹

¹ Genelec Oy
Olvitie 5, 74100 IISALMI
juha.holm@genelec.com

Tiivistelmä

Tavoitteena oli suunnitella mittahuone kaiutintuotannon akustisia mittauksia varten. Mittahuoneessa mitataan lukuisia kaiutinmalleja, joiden tilavuudet ovat 30 ja 400 litran väliltä. Mittahuoneen pitää olla siirrettävä, jotta tuotannon sijoittelua voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Seinä- ja lattiarakenteet suunniteltiin kelluviksi. Pinnat vaimennettiin melamiinivaahdosta leikatuilla kiiloilla. Kiiloitus vastaa kaiuttoman huoneen rakenteita. Yhdelle seinälle mitoitettiin levyresonaattori vaimentamaan alimpia huonemoodeja. Taajuusvastemittaukset osoittavat, että huoneen aiheuttamat väritymät ovat laajakaistaisia ja amplitudiltaan kohtuullisia. Näin ne voidaan korjauskäyrällä kompensoida kaiutinmallikohtaisesti.

1 JOHDANTO

Kaiutinvalmistuksen laatua voidaan parantaa mittaamalla jokainen valmistettava kaiutin. Akustista mittausta voidaan käyttää kaiuttimen yksilölliseen kalibrointiin, laadunvarmistukseen ja tilastojen muodostamiseen. Mittaus vaatii vakioidun mittajärjestelmän, jotta tulokset pysyvät vertailukelpoisina. Toistettavuutta voidaan parantaa mittaamalla osittain tai kokonaan suljetussa laatikossa tai huoneessa. Mittahuoneen pitää vaimentaa ympäristön ääniä ja mittauksen pitää olla toistettava. Mitattavina suureina voivat olla esimerkiksi taajuusvaste, vaihevaste (sisältäen viiveen ja polariteetin tarkistuksen), harmoniset säröt ja epäharmoniset säröt.

2 MITTAHUONEEN SUUNNITTELU

Mittahuoneen pitää olla siirrettävä, jotta tuotannon sijoittelua voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Aiempi ratkaisu perustui suureen huoneeseen, jolloin heijastavat pinnat olivat kaukana kaiuttimesta. Näin heijastukset saatiin ikkunoitua pois impulssivasteesta. Huonona puolena tässä ratkaisussa on suuri tarvittava tila, joka ei ole siirrettävissä. Huoneen vaikutus taajuusvasteeseen pitää olla mahdollisimman pieni. Näin huoneen vaikutuksen kompensoimiseksi tarvittava korjauskäyrä on lievempi ja vähemmän altis ympäristön muutoksille. Etenkin kapeakaistaiset korostukset tai vaimentumat aiheuttavat ongelmia, koska pieni keskitaajuuden muutos aiheuttaa ison eron korjaukseen. Huone on tuotannon

Copyright ©2021 Juha Holm. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

akustista loppumittausta varten. Siinä mitataan suurimmat kaiutinmallit, tilavuudeltaan 45 - 740 litraa. Yhteensä mitattavia kaiutinmalleja on 17 kappaletta.

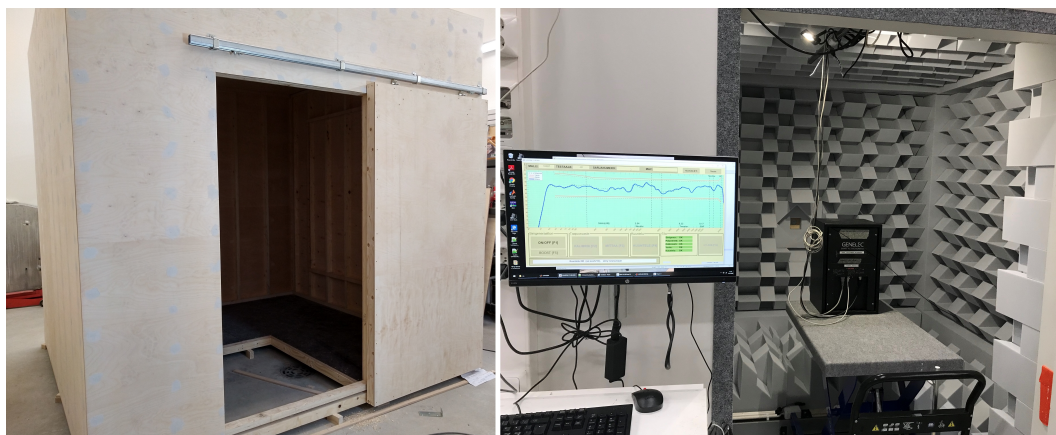
Olemassaolevat kaiuttimien mittauskammiot ovat olleet pitkäikäisiä. Niitä on käytetty 20 vuotta ja loppua ei näy. Tästä syystä huone suunniteltiin ja rakennettiin sillä mentaliteetillä, että se on käytössä vielä tekijöiden eläköityessä.

Huoneen rakenteet suunniteltiin eristämään melua. Aiemmasta kokemuksesta pumpukärryn pyörien jyrinän tiedettiin aiheuttavan ongelmia. Huoneen kantavat rakenteet tehtiin kertopuusta ja vanerista. Seinä- ja lattiarakenteet toteutettiin niin, että ne johtaisivat huonosti ääntä runkosiirtymän kautta. Seinien ja katon sisälevytys rakennettiin kelluvaksi. Huone seisoo värinänvaimennuskumien päällä.

Huoneen alimpien seisovien taajuuksien vaimentamiseksi mitoitettiin ja rakennettiin levyresonaattori [1]. Levy on kooltaan 1.8 x 1.8 metriä. Resonaattori viritettiin kiihtyvyyden ja äänenpainemittausten perusteella. Viritystaajuudeksi muodostui 50 Hz.

Huoneen sisäpintojen vaimennus toteutettiin melamiinivaahdosta leikatuilla kiiloilla. Melamiinivaahdo on joiltain ominaisuuksiltaan vaahtomuovia parempaa. Melamiini on kevyempää kuin vaahtomuovi (10 kg/m^3 ja 50 kg/m^3) ja se on huonosti palavaa [2]. Vaimennusaineen kokonaistilavuus on 8 m^3 . Kevyet kiilat mahdollistavat kevyemmät kantavat rakenteet. Kevyttä huonetta on helpompi siirtää. Melamiinivaahdon huonona puolena on herkkyys repeytymiselle. Kulutukselle alttiit kohdat voi suojata esimerkiksi reikäpellillä. Optimaalinen kiilan muoto löytyi valmiina kirjasta [1]. Melamiinivaahdo toimitetaan isoina paaleina, joista on hyödynnettävissä $2450 \times 1200 \times 450 \text{ mm}$. Paalin leikkauksesta kiiloiksi ja kiilojen sijoittelusta huoneeseen piirrettiin kuvat. Lopputulos on ehkä tarpeettoman hyvä käyttötarkoitukseen nähden. Toisaalta kustannusero yksinkertaisempaan rakenteeseen ei ollut iso.

Akustisen mittauksen lisäksi huoneessa kuunnellaan vuotoja ja muita sivuääniä ja tehdään elektroniikalle sähköturvallisuustesti.



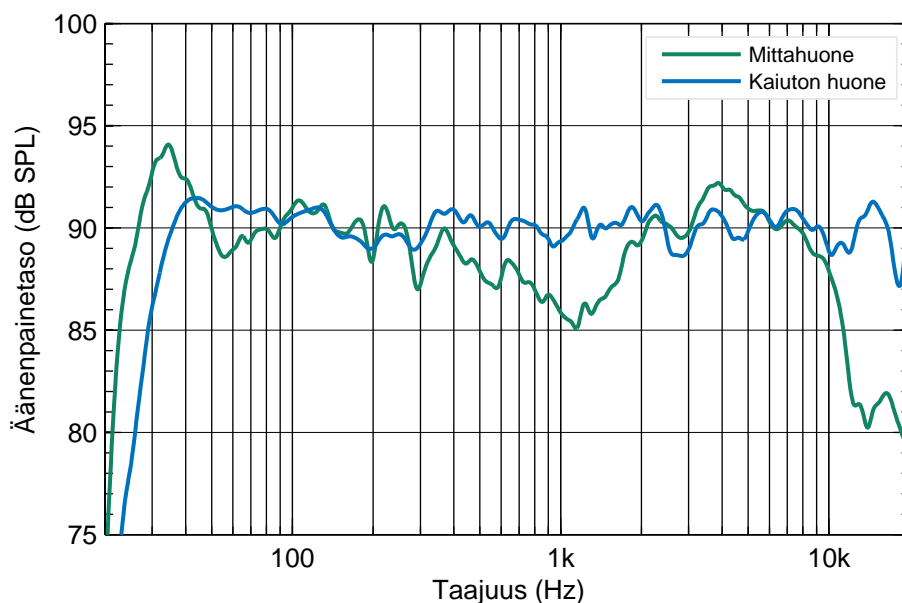
Kuva 1: Mittahuone ennen sisäseinien levytystä. Sisätilat kiilat asennettu.

3 AKUSTISET MITTAUKSET

Kaiuttoman huoneen ja mittahuoneen vasteiden erotuksesta voidaan laskea korjauskäyrä (Kuva 2). Erot ovat laajakajaistaisia, jolloin korjauskäyrän toimivuus ei ole niin herkkä mit-

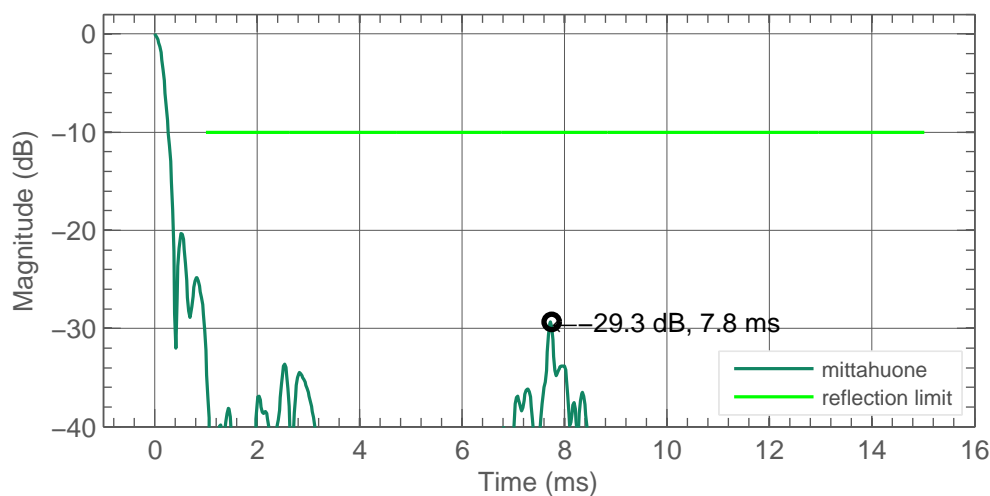
tausympäristön muutoksille. Mittahuoneen taajuusvasteen lasku yli 10 kHz taajuuksilla johtuu vapaakenttämikrofonin käytöstä.

Korjauskäyrä toimii silloin kun kaiuttimen säteily ja mittausympäristö pysyvät muuttumattomana. Kaiuttimen paikka on vakioitu korkeussäädettävällä mittauskärryllä. Kaiuttimen säteilemän äänen paikka vaihtelee taajuuden funktiona. Jos esimerkiksi jakotaajuus vaihtuu, korjaus ei enää toimi. Ääritapauksessa lämpötila ja ilmanpaineen vaihtelut muuttavat äänennopeutta niin paljon, ettei korjaus enää toimi.



Kuva 2: Taajuusvaste - kaiuton huone ja mittahuone

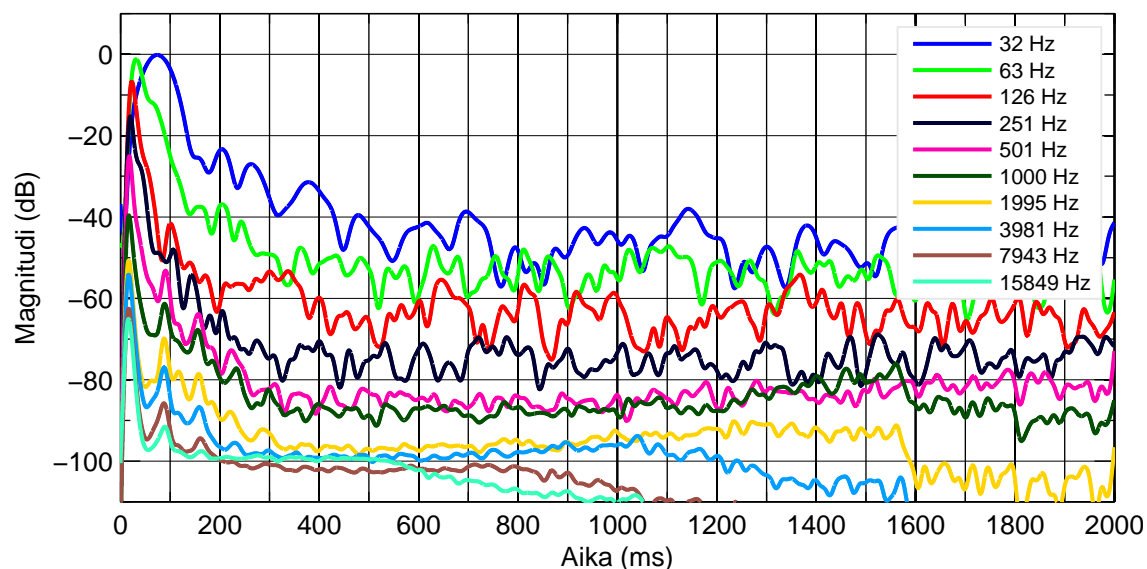
Voimakkain aikainen heijastus saapuu 7.8 ms kuluttua (Kuva 3).. Taso on -29.3 dB alle impulssin huipun. 7.8 ms aikana ääni kulkee 2.6 metriä. Heijastus on luultavasti mikrofoniseinän ja kaiuttimien pintojen välillä. Heijastuksen tasoa voisi pienentää kasvattamalla mittausetäisyyttä.



Kuva 3: Impulssivaste - ensimmäiset heijastukset

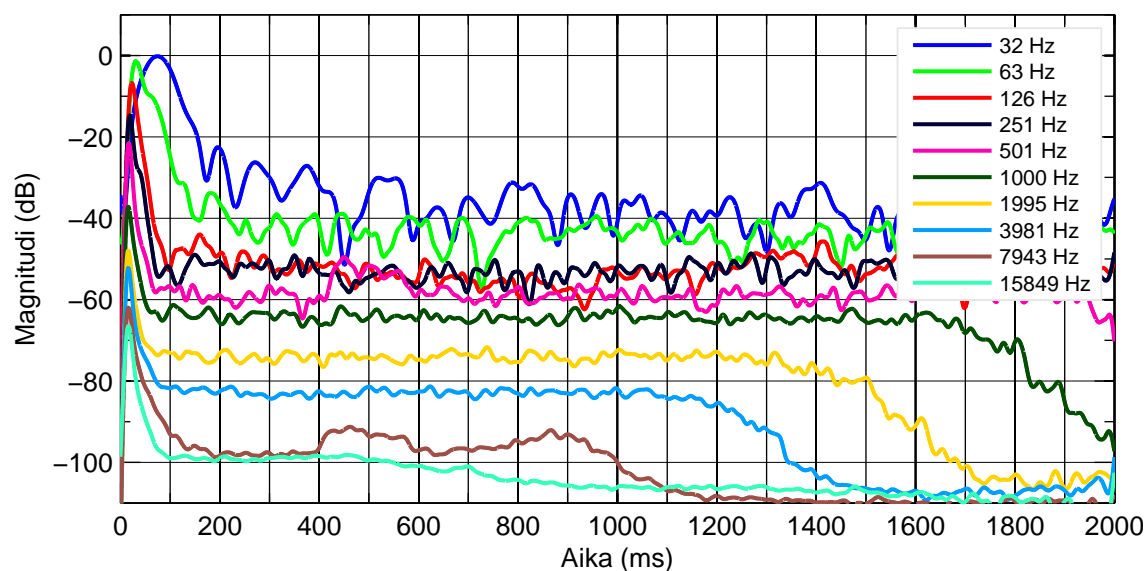
Kaistan keskitaajuus (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Jälkikaiunta-aika RT60 (s)	0.26	0.14	0.11	0.03	0.04	0.04	0.06	0.05

Taulukko 1: Jälkikaiunta-aika



Kuva 4: Impulssivasteen verhoikäyrä oktaavikaistoittain. Taustamelu 45 dB SPL A-painotettu

Jälkikaiunta-aika on noin 0.05 s yli 350 Hz taajuuksilla JA 0.12 s 100 - 300 Hz taajuusalueella (Taulukko 1). Jälkikaiunta-aika on lyhyt, jolloin sen vaikutus taajuusvasteeseen on pieni.



Kuva 5: Impulssivasteen verhoikäyrä oktaavikaistoittain. Taustamelu 65 dB SPL A-painotettu

Impulssin efektiivinen dynamiikka. Kaiuttimen tuottama sinipyyhkäisy nauhoitetaan ja siitä lasketaan impulssivaste Farinan metodilla [[3]]. Impulssin signaali-kohinasuhdetta

Kaistan keskitaajuus (Hz)	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
SNR, 45 dB taustamelu (dB)	43	52	63	75	83	87	99	108	121	119
SNR, 65 dB taustamelu (dB)	37	43	54	57	65	73	86	95	106	107

Taulukko 2: Signaali-kohinasuhde

voidaan parantaa käyttämällä pidempää sinipyyhkäisyä tai keskiarvoistamalla useampaa mittausta. Toisaalta tuotantokäytössä mittausaika pitäisi olla lyhyt. Esitetyissä mittauksissa on käytetty 2.7 sekunnin pituista sinipyyhkäisyä.

Saavutetaanko tuotantoympäristössä riittävän hyvä signaali-kohinasuhde? Kysymykseen voi vastata tarkastelemalla oktaavikaistoittain suodatetun impulssivasteen verhoikäyrää. Impulssivastetta suodatettiin oktaavikaistoittain. Magnitudi skaalattiin siten, että suodatettujen impulssien piikki on 0 dB tasolla. Impulsseista laskettiin verhoikäyrät, joista otettiin 10 ms liukuva keskiarvo. Keskiarvoistuksesta johtuen huippuarvo ei ole enää 0 dB kohdalla. Käyrien tasaisesta osuudesta voi nähdä millä aika-alueella impulssivasteen taso painuu taustakohinaan (Kuva 4 ja 5).

Ensimmäinen mittaus on tyypillisellä tuotannon taustamelulla. Keskiäänitaso L_{Aeq} huoneen sisältä ovi auki mitattuna on 45 dB. Remontin takia tilassa oli puhaltimia, jolloin oli mahdollista tutkia kohonneen taustamelun vaikutusta impulssivasteen dynamiikkaan. Puhallin päällä taso oli 65 dB.

Laskennalliset signaali-kohinasuhteet laskettiin keskiarvona 0.5 ja 1.0 sekuntin väliltä (Taulukko 2). Tällä välillä amplitudi on melko tasainen, jonka perusteella sen voi olettaa olevan taustamelun aiheuttamaa ääntä.

Sekä taulukkoa 2 ja verhoikäyriä (Kuva 4 ja 5) vertaamalla voidaan havaita, että korkeampi taustamelu näkyy selvästi impulssivasteen verhoikäyrässä. Ero on 6 - 15 dB, taajuudesta riippuen.

4 YHTEENVETO

Mittaustulokset olivat odotettuja. Jälkikaiunta-aika oli hyvin lyhyt. Erot taajuusvasteessa kaiuttomaan huoneeseen verrattuna olivat laajakaistaisia. Aikaiset heijastukset olivat tasoltaan matalia. Huone on ollut tuotantokäytössä puolitoista vuotta. Mittaukset ovat osoittautuneet luotettaviksi. Se kertoo toistettavuudesta. Huone on osoittanut riittävän eristetyksi. Mittausäänet eivät häiritse tuotantoa ja mittaukset ovat riittävän immuuneja ulkopuoliselle melulle. Projekti täytti sille asetetut tavoitteet.

VIITTEET

- [1] Helmut Fuchs. *Applied Acoustics: Concepts, Absorbers, and Silencers for Acoustical Comfort and Noise Control*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1st edition, 2013.
- [2] *Basotect Room Acoustics and Design*. URL https://insights.basf.com/files/pdf/Basotect_Brochure.pdf.
- [3] angelo farina. simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique. *journal of the audio engineering society*, february 2000.