

# KAIUTTIMEN ÄÄNEKKYYDEN MITTAAMINEN

**Juha Holm, Aki Mäkivirta**

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

## Tiivistelmä

Tässä artikkelissa kerron kaksi menetelmää mitata äänekkyyttä tavalla, joissa otetaan huomioon musiikin spektri ja dynamiikka. Äänekkyydelle saadaan myös laadullinen parametri, joka on särön määrä. Esitän mittaukset suurelle kolmitie-kaiuttimelle. Mittauksista havainnoin särön kasvua äänenpaineen kasvaessa, käyttökelpoista maksimiäänekkyyttä ja kaiuttimen äänekkyyttä rajoittavia tekijöitä taajuusalueittain. Moniäänöksellä mittaus sopii hyvin arviointiin kaiuttimen äänentuottokyvystä musiikilla. Se on suositeltava menetelmä kaiutinjärjestelmää mitoitettaessa ja kaiuttimien vertailuun.

## 1 JOHDANTO

Kaiuttimen äänekkyyttä mitataan vakiintuneesti vaaleanpunaisella kohinalla. Tulokseksi saadaan äänenpainetaso. Mittaus ei vastaa hyvin tavallista käyttötilannetta. Testisignaali ei vastaa spektriltään ja dynamiikaltaan tyypillistä musiikkia ja mittaus tulos ei kerro äänen laadusta.

Järkevä tapa mitata ja ilmoittaa kaiuttimen äänekkyys auttaa käyttäjää ja kaiutinsuunnittelua. Loppukäyttäjä saa mitoitettua äänentoistonsa tavoitteiden mukaan, kun käytössä on realistinen tieto kaiuttimen kyvystä tuottaa ääntä. Äänekkyuden mittaus ohjaa myös kaiutinsuunnittelua. Yhtenä suunnittelutavoiteena on optimoida kaiutinsysteemi niin, että se tuottaa mahdollisimman paljon vähäsäröistä ääntä tyypillisessä käyttötilanteessa.

Äänekkyydelle saatava numero riippuu testiäänän spektristä, dynamiikasta ja kestosta. Myös särölle voidaan asettaa raja. Lopputulokseen huoneessa vaikuttavat kuunteluetaisyys, huoneen kaiuntaominaisuudet ja kaiuttimen suuntakuvio. Näitä muuttujia ei käsitellä tässä paperissa.

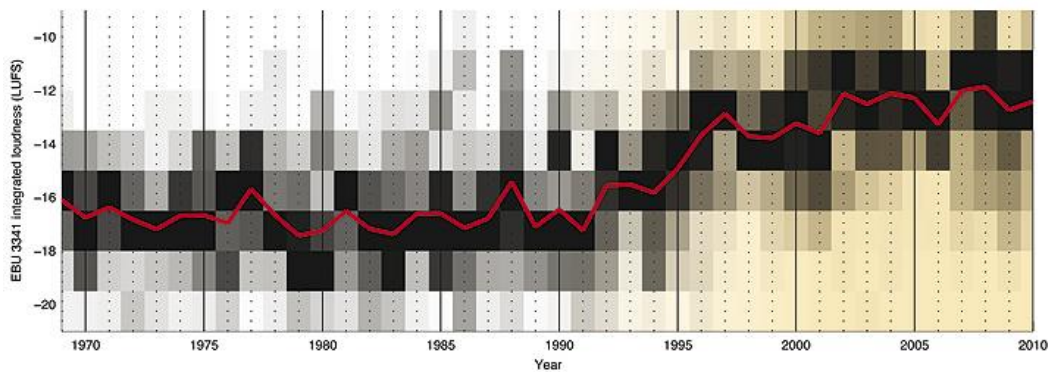
Dynamiikalla viitataan tässä artikkelissa musiikin huippuarvon ja tehollisarvon suhteeseen, joka tunnetaan tekniikan sanastossa huippukertoimena (eng. crest factor).

## 2 ÄÄNEKKYYDEN MITTAAMINEN VAALEANPUNAISELLA KOHINALLA

Kaiuttimella saavutettavaa äänenpainetasoa mitataan vakiintuneesti vaaleanpunaisella kohinalla. Signaalin etuja ovat laajakaistaisuus, helppo määrittely ja laajalle levinnyt käyttö. Yleensä mittausproseduuri menee seuraavasti: syötetään kaiutinsysteemin kohinaa ja nostetaan amplitudia kunnes päätevahvistin leikkaa. Saavutettu

äänepainetaso otetaan ylös 5 sekunnin soiton jälkeen. Yleensä äänenpainemittarissa käytetään lineaarista taajuuspainotusta ja hidasta aikavakiota.

Jos kaiutinta käytetään musiikin toistamiseen, sen suorituskykyä pitäisi myös arvioida signaalilla joka vastaa musiikkia. Vaaleanpunaisen kohinan teho oktaavia kohden on vakio. Musiikilla se on jotain muuta. Vaaleanpunaisen kohinan amplitudijakauma noudattaa gaussin käyrää. Yleensä kohinan magnitudia on leikattu siten, että dynamiikka on 6 dB [1]. Musiikilla dynamiikkaa on enemmän. Testisignaalin dynamiikka-alueita suurempi ongelma on, että mittaus ei ota kantaa kaiuttimesta ulos tulevan äänen dynamiikkaan. Yleisiä ongelmia ovat bassotaajuuksien kompressoituminen ja keskialueen säröytyminen, joka ei tällä mittaustavalla näy.

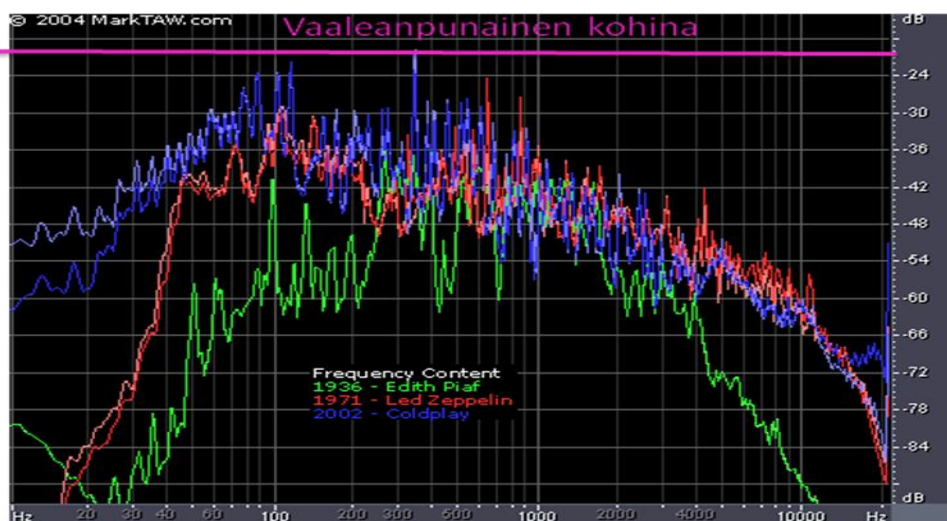


(2) Integrated loudness as recommended by the EBU follows closely the signal's RMS in the context of the same 4500 songs.

**Kuva 1. Musiikin dynamiikka-alue ajan funktiona [2]**

Musiikin dynamiikka on pienentynyt 1990-luvulta lähtien (Kuva 1). Äänekkyyssodasta huolimatta musiikin dynamiikkaa on edelleen jäljellä 10 – 14 dB. Vaaleanpunaisen kohinan 6 dB dynamiikka tarkoittaa 4-kertaista eroa huipun ja keskimääräisen tehon suhteissa. Musiikin tyypillisellä 12 dB dynamiikalla suhde on 16-kertainen.

Huipputehon ja jatkuvan tehon suuri ero vaikuttaa paljon kaiutinsuunnitteluun.



**Kuva 2. Esimerkit musiikin spektristä kolmella eri aikakaudella [3]**

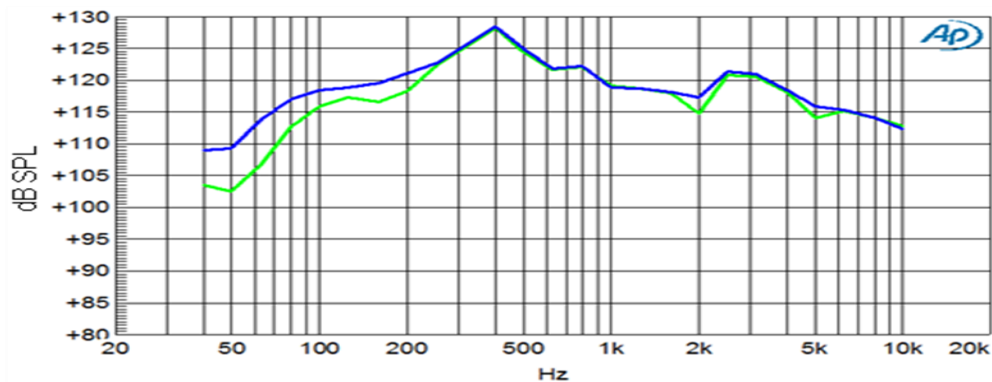
Kuva 2 esittää musiikin keskimääräisen tehon taajuuden funktiona. Esimerkkinä on kolme kappaletta eri vuosikymmeniltä. Nykymusiikilla on enemmän energiaa bassotaajuuksilla. Suurilla taajuuksilla spektri laskee 18 dB per dekadia. Johtopäätelmänä on, että musiikin spektri eroaa vaaleanpunaisen kohinan spektristä. Alabasson taso on pienempi. Magnitudi laskee kohti suuria taajuuksia

Minkälainen testausmenetelmä vastaisi kysymykseen: Kuinka paljon saan ääntä musiikkimateriaalilla kuunneltavan hyvällä äänenlaadulla?

### 3 ÄÄNEKKYYS SINIPURSKKEILLA

Mittauksen tavoitteena on esittää kaiuttimen lyhytaikainen äänenpainetuottokyky kohtuullisella äänenlaadulla, taajuuden funktiona. Mittaus kuvaa kaiuttimen kykyä tuottaa musiikin dynamiikkahuippuja.

Menetelmän kuvaus: 100 – 500 millisekunnin kestoisen siniäänespurse syötetään kaiuttimeen. Mitataan äänenpaine ja harmoninen särötaso. Amplitudia kasvatetaan, kunnes valittu särötaso saavutetaan. Esimerkiksi 3 tai 10 prosenttia. Tämän jälkeen otetaan saavutettu taso talteen ja siirrytään seuraavalle taajuudelle. Saavutettu äänenpainetaso on mitattu 30 taajuudella, eli noin kolmasosaoktaavin välein [4].

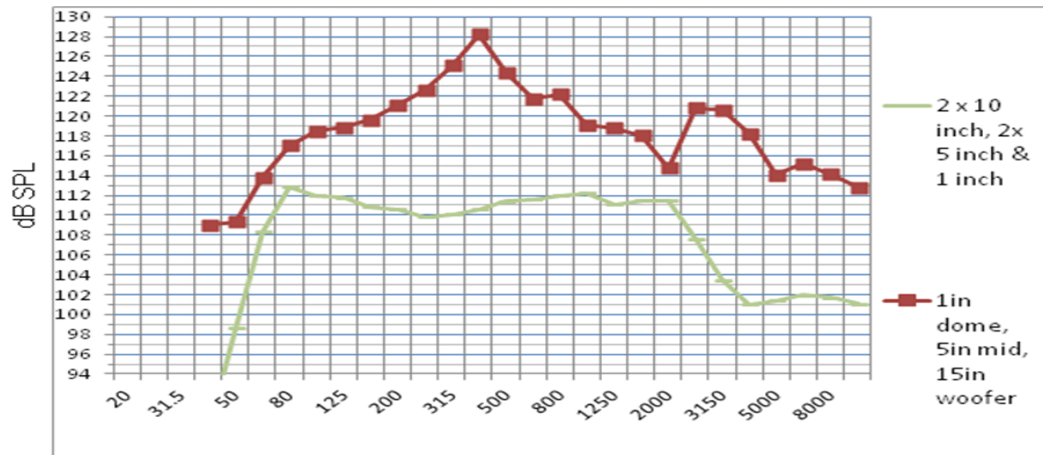


**Kuva 3. Maksimiäänepainetaso Genelecin kolmitiekaiuttimella. Sininen 10% särötasolla, vihreä 3 % särötasolla.**

Kuva 3 esittää saavutetun äänenpainetaso 10 % (sininen) ja 3 % (vihreä) särörajoilla.

Mittauksesta voi tehdä seuraavia havaintoja. Pienimmät äänenpainetasot saavutetaan pienillä taajuuksilla. Ilmiö on kaiuttimille normaali. Kaiuttimelementin hyötysuhde laskee pieniä taajuuksia kohti. Onneksi huone yleensä korostaa pieniä taajuuksia. Alle 250 Hz taajuuksilla 3 ja 10 prosentin särötasoilla on ero. Äänenpainetta rajoittavana tekijänä on luultavasti kaiuttimelementin liike.

Suurilla taajuuksilla äänenpainetaso 3 ja 10 prosentin säröllä on lähes sama. Luultavasti vahvistinteho on rajoittavana tekijänä.



Kuva 4. Äänenpainetaso Genelecin kolmitiekaiuttimella ja vertailukaiuttimella

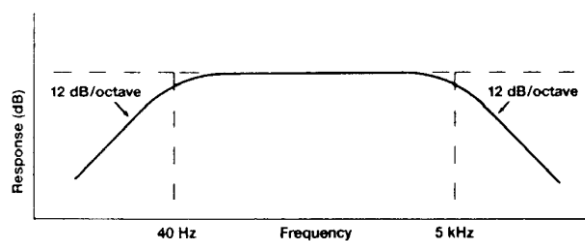
Kuva 4 esittää kahden kolmitiekaiuttimen saavutetut äänenpainetasot. Alle 250 Hz näytetään 10 % särörajalla mitattu taso ja yli 250 Hz 3 % särörajalla.

Vertailukaiutin on samaa hintaluokkaa ja elementtien pinta-alat ovat samaa luokkaa. Maksimiäänekkyys on 4 – 10 dB suurempi Genelecin kolmitiekaiuttimella. Ero on pienimmillään keskibassoilla.

## 4 ÄÄNEKKYYS MONIÄÄNESELLÄ

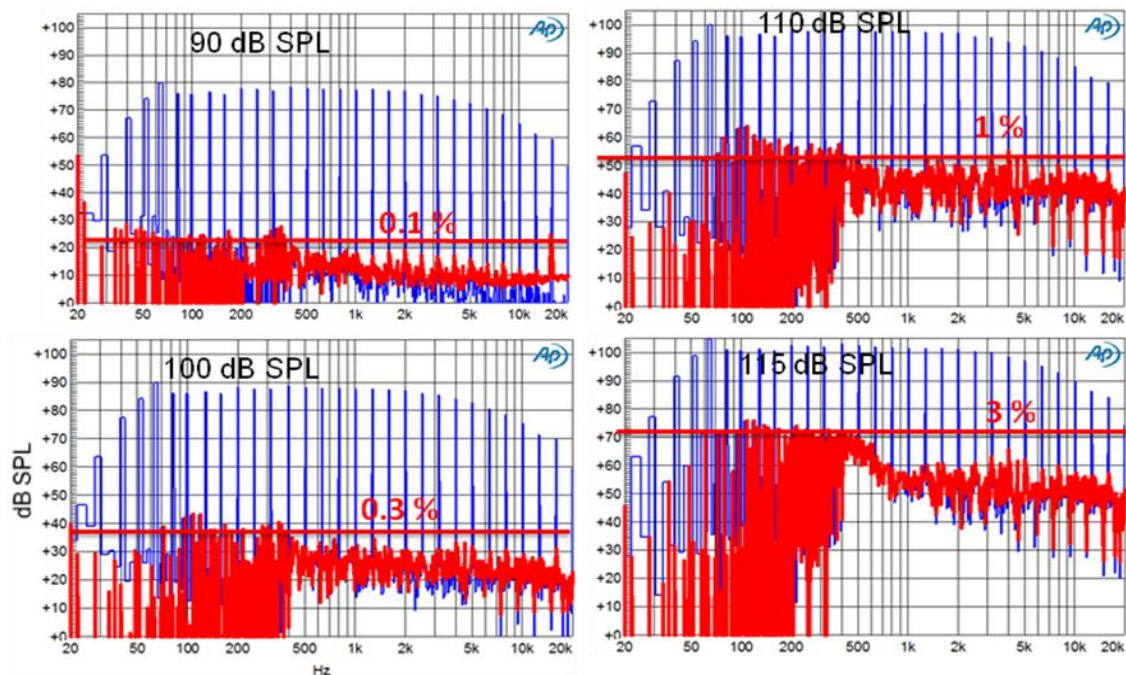
Yhdellä taajuudella mittaaminen herättää vain harmonisen särön. Kaksi tai useampi äänes tarvitaan intermodulaatiosäröjen herättämiseen.

Moniäänksen tavoitteena on herättää kaiuttimen säröt samankaltaisesti kuin musiikki. Vaatimuksena on musiikin kaltainen spektri. Menetelmässä 31 siniäänestä on sijoitettuna noin kolmasosaoktaviin välein taajuusvälille 20 Hz – 20 kHz. Äänesten amplitudeja on muokattu vastaamaan IEC 268-5 kohinan (simulated program signal) [6] spektriä [7, s.97]. Standardin painotus on kehitetty simuloimaan musiikin spektriä. Moniäänksen pituus on noin sekunti, jolloin se kuvaa kaiuttimen kykyä tuottaa musiikin dynamiikan huippuja.



Kuva 5. IEC 268-5 kohinan (simulated program signal) spektri [4]

Kuva 6 esittää ison kolmitiekaiuttimen spektrin moniäänksellä mitattuna. Äänenpainetaso on 100 dB. Siniset piikit ovat 31 siniäänestä, jotka on syötetty kaiuttimeen. Piikkien lisäksi näkyy laajakaistaista säröä, joka on siniäänesten herättämä särö.



Kuva 6. Genelecin kolmitiekaiuttimen moniäännessäröt neljällä eri äänenpainetasolla. Sininen on kaiuttimen tuottama spektri ja punainen särö.

Särökäyttämisestä äänenpaineen funktiona on tarkasteltu mittaamalla säröt 90 – 115 dB äänenpainetasoilla (Kuva 6). Särö näyttää kolminkertaistuvan aina kun äänenpainetaso kasvaa 10 dB. Kaiuttimesta lähtee 110 dB ääntä alle 1 % särötasolla. Alle 110 dB tasoilla eri elementtien särötasot ovat samankaltaiset. Kaikkien kolmen kanavan äänentuottokyky on lähellä toisiaan, mikä viittaa optimointiin suunnittelussa. 115 dB tasolla basson vahvistin alkaa leikkaamaan, jolloin basson särötaso korostuu. Kaiuttimen maksimiäänekkyyttä voitaisiin parantamaa toistamalla pienet taajuudet erillisellä alaaäänikaiuttimella. Näin bassoelementin teho ja liikepoikkeama pienenesi.

## 5 YHTEENVETO

Vaaleanpunainen kohina vastaa huonosti musiikin spektriä ja dynamiikkaa.

Sinipurskeilla voidaan mitata kaiuttimen äänekkyyttä taajuuden funktiona. Mittauksista voi päätellä, millä taajuuksilla kaiuttimen äänekkyys loppuu ensimmäisenä.

Moniäänneksellä voidaan mitata kaiuttimen särökäyttäytymistä amplitudin funktiona. Tuloksena saadaan käyttökelpoinen äänekkyys musiikin kaltaisella signaalilla. Se on suositeltava menetelmä kaiutinjärjestelmää mitoitettaessa ja kaiuttimien vertailuun.

## 6 VIITTEET

[1] AES2-1984 (r2003), AES Recommended Practice specification of Loudspeaker Components Used in Professional Audio and Sound Reinforcement, 1984, reaffirmed 2003.

[2] Deruty ,Emmanuel, To The Limit — 'Dynamic Range' and the Loudness War, Sound on Sound, July 20, 2012.

- [3] Wieczorek, Mark , Recordings Through The Decades  
<http://www.marktaw.com/recording/Production/ThroughTheDecades1.html> , 2005
- [4] Four Audio GmbH , Monkey Forest operating manual, 1999.
- [5] CZERWINSKI et al, Multitone Testing of Sound System Components — Some Results and Conclusions, Part 1: History and Theory, J. Audio Eng. Soc., Vol. 49, No. 11, 2001 November
- [6] International Electrotechnical Commission (*IEC*) Standard number 60268-5, 1985.
- [7] Audio Precision Inc, Audio Measurement Handbook, 2005.