

PIENEN KOAKSIAALISEN KOLMITIEKAIUTTIMEN SUUNNITTELU

Juha Holm¹, Aki Mäkipirta¹

¹ Genelec Oy
Olvitie 5
74100 IISALMI

Tiivistelmä

Ääntä saadaan taltioitua verrattaen virheettömästi hyvällä mikrofonilla. Toisaalta kaiuttimet ovat kaukana ideaalisesta äänilähteestä. Koaksiaalisilla äänilähteillä päästään lähemmäksi tavoitetta, mutta niissä on kompromisseja intermodulaatiosärön, diffraktion ja resonanssien suhteen. Tässä paperissa käsitellään kolmitiekaiuttimen ja koaksiaalisen äänilähteen etuja, aiempia ratkaisuja sekä esitetään uusi ratkaisu koaksiaalisen kaiuttimen rakenteeksi. Uudesta ratkaisusta esitetään taajuusvaste, suuntaavuus ja moniäänensäromittauksia. Paperi perustuu Mäkipirta et al. julkaisuun [1].

1 JOHDANTO

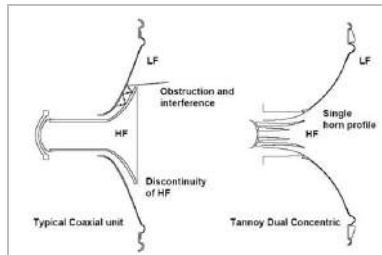
Tyypillisissä kaiuttimissa elementit on sijoitettu kaiuttimen etuseinään pystysuunnassa päällekkäin. Elementtien etäisyseroista johtuen sivukenttään tulee akustinen kumoutuminen tyypillisillä jakotaajuuksilla. Kumoutumiset tapahtuvat pystysuunnassa eikä vaakasuunnassa, jossa kuuntelija usein liikkuu. Kumoutumiset vaikuttavat kuitenkin äänen heijastumien spektriin ja tehovasteeseen. Koaksiaalisessa kaiuttimessa osa tai kaikki elementit sijoitetaan samalla akselille. Etäisyydet elementteihin pysyvät suunnilleen samana sivukentissä. Tällöin kuuntelijalla on enemmän liikkumisen vapautta, heijastusten äänenväri on lähempänä suoraa ääntä ja kaiuttimen tehovasteesta saa lineaarisemman.

Kolmitiekaiuttimen suunnittelussa on enemmän vapauksia kuin kaksitiekaiuttimen. Toistettava kaista per elementti on pienempi, jolloin niiden vasteen tasaisuutta ja hyötysuhdetta voi optimoida paremmin. Pienet taajuudet liikuttavat kapeampaa kaistaa toistavaa bassoelementtiä, jolloin intermodulaatiosäröt jäävät pienemmäksi. Myös elementtien yhteenlaskettu pinta-ala ja tehonkesto kasvavat, mikä mahdollistaa suuremman äänenpainekapasiteetin. Pienen kolmitiekaiuttimen suunnittelun ongelmat liittyvät etukannen pieneen kokoon ja suuntaavuuden hallintaan. Tyypillisesti etukanteen pitää sovittaa kaiutinelementit ja suuntaimet suuntaavuuden hallintaan.

2 AIEMMAT RATKAISUT

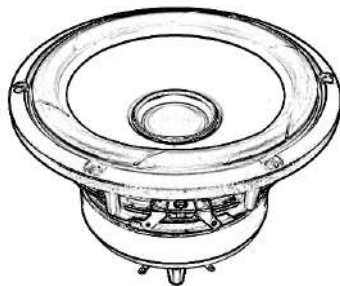
Tannoy Dual Concetric on PA-kaiuttimissa paljon käytetty koaksiaalinen rakenne. Diskanttielementin kalvo on sijoitettu basson magneettipiiriin taakse (Kuva 1). Ääni säteilee basson magneettipiirin keskireiän läpi. Basson kalvo toimii torvena (Kuva 1 oikea). Basson kalvon ja diskantin torven liitoksessa on rako, joka aiheuttaa diffraktiota. Raon paikka ja koko moduloituu bassokalvon liikkeen mukana.

Toinen tapa on sijoittaa kiinteä torvi bassokalvon eteen (Kuva 1 vasen). Diskantin torven terävä rauna aiheuttaa diffraktiota. Basson kalvon ja diskantin torven väliseen ilmatilaan muodostuu basson herättämiä resonansseja.



Kuva 1. Bassokalvon eteen sijoitetun torven ratkaisu (vasen) ja basson magneettipiirin läpi säteilevän diskantin ratkaisu (oikea)

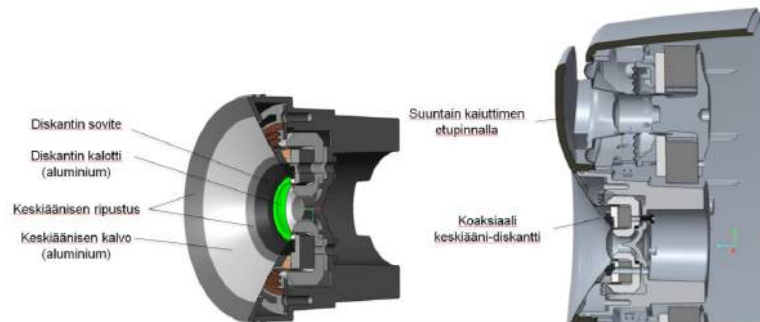
Myöhemmin yleistyneet neodyymimagneetit mahdollistivat diskantin magneettipiiriin sijoittamisen basson magneettipiirin navan päälle [2]. Näin diskantin kalotti on basson kalvon keskellä. Basson kalvon ja diskantin sovitteen sekä basson reunukset aiheuttavat epäjatkuvuuden diskantin säteilylle.



Kuva 2. Diskantin sijoittaminen basson magneettipiiriin päälle, basson kalvon keskelle.

3 UUSI RATKAISU KOAKSIAALISELLE DISKANTTI-KESKIÄÄNISSELLE.

Uudessa ratkaisussa diskantti on sijoitettu magneettipiiriin eteen, kuten Kuva 2. Diskantin ja keskiäänisen välinen rako sekä keskiäänisen reunuksen muoto on ratkaistu uudella tavalla. Keskiäänisen kalvon ulko- ja sisäripustuksena toimii erityisen hyvin venyvä sekä kokoonpuristuva elastomeeri. Sovitukset kalvoon ja diskantin adapteriin ovat raottomia. Keskiäänisen kalvo pääsee liikkumaan vaahtomuovin venyvyyden sekä osittain kokoonpuristumisen ansiosta. Keskiäänisen ulompi ripustus sovituu raottomasti alumiinista valettuun kaiuttimen etukanteen, jonka jatkuva pinnanmuoto toimii suuntaimena. Näin diskantti ja keskiääninen säteilevät samassa suuressa, raottomassa ja kammiottomassa suuntaimessa (Kuva 3).



Kuva 3. Koaksiaalielementin halkileikkaus

4 UUDEN RATKAISUN RAKENNE



Kuva 4. Kolme pienikokoista kolmitiekaiutinta.

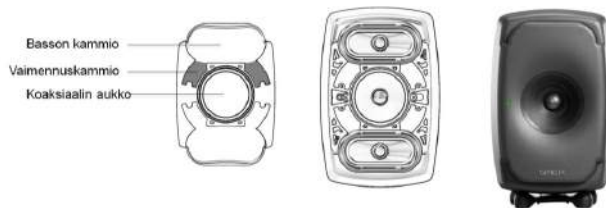
Esitetyn kaltaisella koaksiaalilla on toteutettu kolme aktiivista tarkkailukaiutinjärjestelmää. Koon mukana skaalautuvat bassot, sekä keskiääni-diskantti koaksiaali (Kuva 4). Kotelon etuseinä muodostaa suuntaimen keskiäänisen ja diskantin säteilylle. Kaksi bassoa on piilotettu etuseinän taakse. Ne säteilevät raoista. Tavoitteena on tehdä basson aukkoista näkymättömiä diskantin- ja keskiäänisen säteilylle. Näin vältetään ääntä värittävä diffraktio ja resonanssit.

Basson aukkojen pitää olla riittävän suuret ja oikein muotoillut, jotta kasvava hiukkasnopeus ei aiheuttaisi ilman pyörteilyä ja kohinaa (Kuva 5). Basson aukkojen suuri etäisyys toisistaan lisää suuntaavuutta pystysuunnassa. Suuntaavuus on samaa luokkaa kuin isolla PA-kaiuttimen bassolla. Suurempi suuntaavuus pystysuunnassa näkyy hyvin suuntaavuusmittauksissa (Kuva 9).

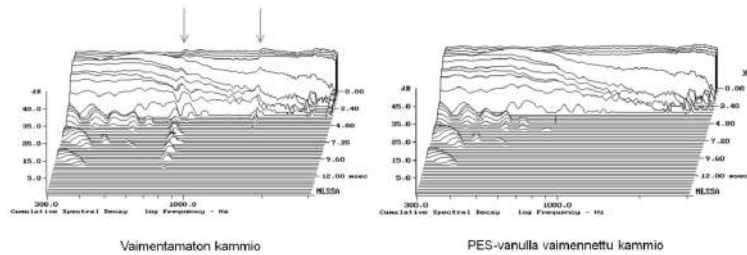


Kuva 5. Akustisesti koaksiaalisen kolmitiekaiuttimen rakenne

Pienemmässä koossa (kaiutin A ja B) keskiaänen herättää basson kammion resonanssin. Resonanssi on suljetun putken, eli puolen aallonpituuden resonanssi. Taajuus on noin 800 Hz, jolloin se on keskiaänen kaistalla. Resonanssi vaimennetaan vaimennusaineella täytetyillä lisäkammioilla (Kuva 6). Mittaukset osoittavat, että vaimennus toimii hyvin ja vasteeseen ei jää mainittavaa sointia (Kuva 7).



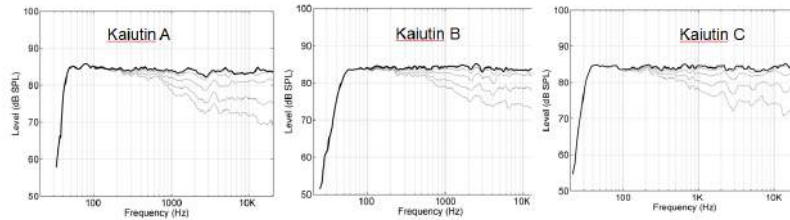
Kuva 6. Bassokammioiden resonanssin vaimennus



Kuva 7. Basson kammion vaimennuksen vaikutus. Vesiputouskäyrä.

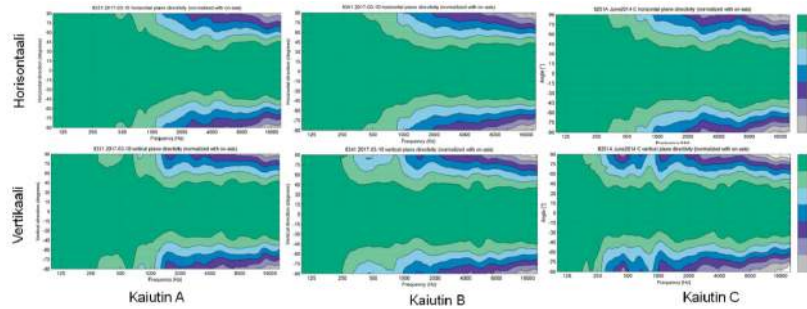
5 MITTAUKSIA

Kaiuttimien suorien taajuusvasteiden vaihtelu mahtuu ± 1.5 dB ikkunaan. Vaakatason sivukenttien taajuusvasteiden muutos on melko tasaista ja suuntaavuus kasvaa suuria taajuuksia kohden (Kuva 8). Suorassa vasteessa tai sivukentissä ei ole jyrkkiä muutoksia, jotka viittäisivat diffraktioon tai resonansseihin.



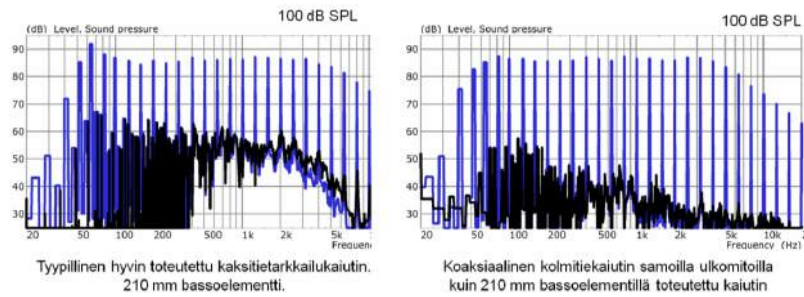
Kuva 8. Taajuusvasteet akselilta, sekä 15°, 30°, 45° ja 60° sivukentästä.

Suuntaavuudet ovat tasaisia. Suuntaavuus kasvaa suurilla taajuuksilla kohti. Horisontaali tai vertikaalitasossa ei näy kumoutumisia, mikä on koaksiaalisen kaiuttimen erityispiirre (Kuva 9).



Kuva 9. Suuntaavuudet

Moniäännessäröllä kaiuttimen säröt herätetään noin kolmasosaoktaavin välein sijoitetuilla siniäänneksillä, jolloin ääneksiä on yhteensä 31 kappaletta. Tavoitteena on käyttää spektriltään musiikin kaltaista herätettä, jolloin särötkin heräävät kuten musiikilla. Esimerkissä on verrattuna hyvin toteutettua kaksitiekaiutinta saman kokoiseen kolmitiekaiuttimeen. Kaksitiekaiutin säröttää huomattavasti enemmän kuin kolmitie. 200 Hz – 20 kHz välillä säröä on 10 – 20 dB enemmän. Kaksitiekaiuttimessa basso toistaa laajemman kaistan, tyypillisesti 3 kHz asti. Basson liike moduloi voimakeroita ja induktanssia, joka aiheuttaa intermodulaatiosäröä suurilla taajuuksilla. Kolmitiekaiuttimessa bassoelementti toistaa vain 500 Hz asti, jolloin suuremmat taajuudet säröytyvät vähemmän (Kuva 10).



Kuva 10. Moniäänessäro. Moniäänneksen spektri noudattaa standardia: IEC 20268-1 simulated programme signal.

VIIITEET

[1] Mäkivirta, Väisänen, Martikainen, Lund, Naghian, “The Acoustic Design of Minimum Diffraction Coaxial Loudspeakers with Integrated Waveguides”, AES 142th Convention, Berlin, May 2017.

[2] Dodd, Oclew-Brown, “Design of a Coincident-Source Driver Array with Radial Channel Phase-Plug and Novel Rigid Body Diaphragms,” Proc. 127th AES Convention, NYC (2009).