



Äänentoistojärjestelmät Suomessa

Tutkimus musiikkitapahtumien kaiutinsuunnitelmista

Terhi Salo

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2023

Musiikkipedagogi (YAMK)

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Musiikin ylempi koulutusohjelma

SALO, TERHI:

Äänentoistojärjestelmät Suomessa – tutkimus musiikkitapahtumien kaiutinsuunnitelmista

Opinnäytetyö 129 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Huhtikuu 2023

Tässä opinnäytetyössä on tutkittu suomalaisten musiikkitapahtumien kaiutinsuunnitelmia. Työ on suunnitelmien avulla tutkinut, millaisia kaiutinjärjestelmiä musiikkitapahtumissa käytetään. Lisäksi tutkimuksessa on selvitetty, mitä asioita suunnitelmia tekevät henkilöt pitävät tärkeinä kaiutinsuunnitelmia tehdessään. Tutkimus on myös selvittänyt keskeisimpiä työskentelytapoja äänentoistojärjestelmiä suunniteltaessa ja optimoidessa.

Kyselytutkimuksen perusteella saatuja tietoja on verrattu kirjallisuudessa esitettyihin näkemyksiin äänentoistojärjestelmän suunnitteluperiaatteista. Tutkimus antaa myös tietoa maamme musiikkitapahtumien äänijärjestelmiä suunnittelevien henkilöiden koulutustaustasta.

Työ esittelee äänentoistojärjestelmän suunnitteluun vaikuttavia ilmiöitä ja käytännön ongelmia. Mukana on myös pintapuolinen katsaus äänentoiston ja äänitekniikan koulutuksen historiaan kansainvälisesti ja Suomessa.

Asiasanat: musiikkiteknologia, tutkimus, äänentoisto, kaiuttimet

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Master's Degree Programme in Music

SALO, TERHI:

Sound Reinforcement Systems in Finland – A Study of the Designs for Live Music Events

Master's thesis 129 pages, appendices 8 pages
April 2023

This thesis focuses on loudspeaker designs used in music events in Finland. The purpose of the study was to gather information about the sound system designs used in musical events and aspects that the sound engineers find important when designing and optimising their systems.

The results of the study have been compared to literature about sound designing principles. There is also information about the sound engineers' educational background.

This thesis presents some of the key phenomena affecting sound system designing work, as well as some of the practical challenges sound engineers encounter in their work. There is also a brief history of sound reinforcement industry and audio education included.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	ÄÄNENTOISTON HISTORIAA SUOMESSA JA MAAILMALLA	10
2.1	Alan kehittyminen keksintöjen myötä	10
2.2	Äänentoiston historiaa Suomessa	14
2.3	Äänitekniikan koulutus	17
2.4	Nykyaikaiset äänentoistojärjestelmät	18
2.4.1	Point source	20
2.4.2	Line Array	23
2.4.3	Subwooferit	24
3	ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA OPTIMOINTI..	25
3.1	Äänen ominaisuudet	25
3.2	Äänentoiston määritelmä	29
3.3	Taajuuskaistat äänentoistojärjestelmissä	30
3.4	Äänentoistojärjestelmän suunnitteluun vaikuttavat seikat.....	34
3.4.1	Akustiikka	35
3.4.2	Äänenpaine	37
3.4.3	Tonaliteetti.....	50
3.4.4	Tavoitevaste	57
3.4.5	Signaali-kohinasuhde	59
3.4.6	Heijastukset.....	60
3.4.7	Suoran ja heijastuneen äänen suhde.....	61
3.4.8	Järjestelmän soundi	62
3.5	Suunnitteluohjelmistot.....	65
3.6	Käyttöönotto ja optimointi.....	67
3.6.1	Spectrum-mittaukset	70
3.6.2	Transfer function -mittaukset.....	73
3.6.3	Äänenpaineen mittaaminen.....	76
3.6.4	Viiveaikojen mittaaminen.....	78
4	TUTKIMUS SUOMALAISTEN MUSIIKKITAPAHTUMIEN ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMISTÄ	81
4.1	Tutkimuksen tarkoitus, tutkimusstrategia ja -etiikka.....	81
4.2	Tutkimuslomakkeen sisältö.....	82
4.2.1	Kaiutinsuunnitelman analysointi.....	85
4.3	Tutkimuksen tulokset	87
4.3.1	Tutkimukseen kelpaavat vastaukset	87
4.3.2	Vastaajien arviot omista kaiutinsuunnitelmistaan.....	89

4.3.3 Musiikkitapahtumien taustatiedot	90
4.3.4 Vastaajien arviot omista työskentelytavoistaan ja näkemyksistään	92
4.3.5 Vastaajien taustatiedot	95
4.3.6 Tutkittavat kaiutinsuunnitelmat	96
4.3.7 Vastaajien arviot suhteessa lähetettyihin suunnitelmiin	103
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	107
5.1 Karsintakysymykset	107
5.2 Huomioita tutkimuksen vastauksista	108
5.3 Akustiset mittaukset	115
5.4 Ajatuksia jatkotutkimusten aiheiksi	116
LÄHTEET	118
LIITTEET	122
Liite 1. Tutkimuslomake	122

1 JOHDANTO

Äänentoisto on nopeasti kehittyvä tekninen ja monitieteellinen ala. Äänentoistossa yhdistyvät fysiikka ja äänen teorian ymmärtäminen, tekninen osaaminen, luova ja taiteellinen tekeminen sekä laaja kulttuurin ja esittävän taiteen kentän ymmärtäminen ja analysointi. Alalla tarvitaan myös joustavuutta, hyviä ihmissuhdetaitoja sekä paineensietokykyä. Pääasiallisena työtehtävänä äänentoiston ammattilaisella voi olla esimerkiksi yleisön kuuleman äänen miksaaminen, monitorimiksaus eli esiintyjien kuuleman äänen miksaaminen, äänentoistojärjestelmän suunnittelu ja käyttöönotto, esiintyjien mikittäminen eli tarvittavien mikrofoniin asettaminen soveltuviin paikkoihin ja kaapelointi muuhun järjestelmään, kaiuttimien ja muiden laitteiden asentaminen ja kaapelointi tarvittaviin paikkoihin, langattomien mikrofoniin taajuuskoordinointi tai näitä tehtäviä avustavat työt. Isommissa tapahtumissa jokaisella työtehtävällä voi olla oma tekijänsä, mutta mitä pienempi tilaisuus on kyseessä, sitä useammin yksi ja sama henkilö joutuu tekemään näistä tehtävistä useamman, ellei jopa kaikkia. Lisäksi tapahtumassa saattaa työskennellä tilaisuuden tallentamiseen, suoratoistoon tai televisiointiin liittyviä äänialan ammattilaisia.

Vielä muutamia vuosikymmeniä sitten Suomessa äänentoistojärjestelmistä ja tapahtumien miksaamisesta vastasivat pääasiassa itseoppineet, usein myös kalustonsa ainakin osittain itse myös rakentaneet, roudareiksi kutsutut, haasteita pelkäämättömät ja kaikissa tarinoissa aina viimeiseen saakka hyväsydämiset työn sankarit. 2020-luvun äänentoiston ammattilainen on ehkä edelleen haasteita pelkäämätön ja hyväsydäminen, mutta todennäköisesti myös opiskellut ainakin jollain tavalla äänentoistoa sivuavaa alaa, ainakin mikäli on virkailtään vielä koutuullisen nuori. Itserakenneltuja vimpaimia ei ammattimaisessa äänentoistossa enää Suomessa nähdä, vaan konsertit, seminaarit, teatteriesitykset ja muut äänentoistoa vaativat tilaisuudet saatetaan yleisön kuuluville maailman johtavien laitevalmistajien laitteistoilla ja alati kehittyviä teknologioita hyödyntäen.

Koko tapahtuma-alan sukupuolijakauma on edelleen miesvoittoinen, mutta koulutuksen ja alan ammattimaistumisen myötä myös äänentoiston pariin tuntuu haakeutuvan jatkuvasti enemmän myös muiden sukupuolien edustajia. On myös

nähtävissä, että äänentoistoalan sisälläkin erikoistutaan ehkä aiempaa enemmän johonkin tiettyyn äänentoiston osa-alueeseen, vaikkakin suurin osa alalla työskentelevistä edelleen pystyy ainakin välttävästi toimimaan hyvinkin erilaisissa äänentoistoon liittyvissä tehtävissä.

Äänentoiston osaamiskenttä niin Suomessa kuin maailmallakin on kuitenkin edelleen hyvin hajanainen. Vaikka itsenäinen opiskelu ja kurssittautuminen on yleistä, monilla arvostetuillakaan alan ammattilaisilla ei välttämättä ole varsinaista koulutusta alan työtehtäviin. Työkavereilta oppiminen on edelleen tärkeässä roolissa alan osaamisen kehittämisessä, ja pääsääntöisesti alalla työskentelevät myös jakavat osaamistaan toisille pyyteettömästi ja mielellään.

Vaikka tällainen tiedon jakaminen ja mestari–kisälli-perinne on toisaalta hienoa, se tuo mukanaan myös ongelmia. Alalla elää jonkin verran sitkeitä myyttejä työtavoista, jotka eivät perustu oikeastaan mihinkään muuhun kuin siihen, että näin on aina ennenkin tehty. Ääni on fysiikkaa, ja fysikaalisiin ilmiöihin liittyy paljon monimutkaisia ominaisuuksia. Näistä ilmiöistä puhutaan, niitä ehkä vähän ymmärretäänkin, mutta niiden myötä saatetaan myös lähteä tekemään ratkaisuja, jotka eivät lopulta oikein johda mihinkään. Ääntä ei voi nähdä, äänen suuntaaminen ei ole niin yksiselitteistä kuin vaikkapa valon, ja äänentoiston näkökulmasta eri taajuusalueet käyttäytyvät eri tavoin. Lisäksi huomioon tulee ottaa tapahtuman budjetti, aikataulu ja vaikkapa visuaaliset seikat. Äänentoisto on aina kompromissien tekemistä, ja haaste lienee siinä, että osaisi valita ne parhaat kompromissit kussakin tilanteessa.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään suomalaisten musiikkitapahtumien kaiutinjärjestelmiin niiden ennakkosuunnittelun kautta. Tässä työssä ei siis oteta kantaa siihen, millaista musiikkia kaiuttimista yleisölle halutaan toistaa, miten se on mik-sattu tai millaista laitteistoa äänen muokkaamiseen on käytetty ennen kuin se lähetetään kaiutinjärjestelmään kuulijoille toistettavaksi. Työssä esitellään alan keskeisiä käsitteitä ja niihin liittyviä huomioita kaiutinjärjestelmien suunnittelun ja optimoinnin näkökulmasta sekä alan kirjallisuudesta että asiantuntijoilta. Työssä pohditaan myös sitä, mikä kaiutinjärjestelmän tarkoitus oikeastaan on ja mitä sen suunnittelussa tulisi näin ollen ottaa huomioon.

Mukana on kevyt katsaus äänentoiston historiaan, jotta alaa tuntemattoman lukijan olisi helpompi ymmärtää, miten uusi alamme oikeastaan vielä onkaan verrattuna vaikkapa esittävien taiteiden pitkään historiaan. Historiaosuuden lähteinä on käytetty muuta opinnäytetyötä epätieteellisempiä lähteitä, sillä kattavaa tutkimustietoa aiheesta tai koottua historiikkaa on erittäin haastavaa löytää. Audio Engineer Societyn (AES) e-kirjaston artikkeleiden lisäksi lähteinä on käytetty muun muassa aikalaisten kertomuksia sisältäviä viihteellisempiä kirjoja, alan ammattijulkaisujen artikkeleita sekä internetistä löytyneitä luentoja ja dokumentteja sekä muita tietoja. Lähteiden kirjavuudesta huolimatta uskon, että äänentoiston historiaa sisältävästä osuudesta saa hyvän yleiskuvan siitä, miten nopeasti ala on kehittynyt. Uskoakseni tämä kehityksen nopeus selittää osaltaan sitä, miksi alalla työskentelevillä henkilöillä edelleen on niin vaihtelevat taustat, eikä edellytyksenä korkeaprofiilistenkaan töiden saamiselle ole alan koulutus.

Opinnäytetyötäni varten on teetetty tutkimuskysely keväällä 2021, jossa suomalaiset alan ammattilaiset arvioivat omia näkemyksiään äänentoistojärjestelmän suunniteluun vaikuttavista asioista. Lisäksi vastaajat lähettivät tutkimuksen yhteydessä yhden oikeasti toteutuneen kaiutinsuunnitelmansa analysoitavaksi tätä tutkimusta varten. He antoivat myös oman näkemyksensä omasta suunnitelmastaan – mikä onnistui ja missä jäi parantamisen varaa. Tutkimuksen tarkoituksena oli analysoida sekä ammattilaisten itsensä antamat vastaukset että lähetetyt kaiutinjärjestelmäsuunnitelmat ja saada sitä kautta muodostettua kuvaa, millaisia kaiutinjärjestelmiä Suomessa 2020-luvun taitteessa on tehty.

Tutkimuksesta on tärkeää huomata, että jo tutkimus itsessään rajaa paljon tapahtumia ja niiden tekijöitä kyselyn ulkopuolelle. Suomessa tehdään eri kokoisia tapahtumia, joiden kaiutinjärjestelmistä ei välttämättä tehdä varsinaista ennakkosuunnitelmaa. Kaiuttimet vain laitetaan esiintymislavan ympärille aiempien kokemusten perusteella kuten parhaaksi nähdään. Uskoakseni kuitenkin aivan suurimpia järjestelmiä ei kukaan enää tee ilman ennakkosuunnitelmaa. Nämä näkemykseni perustuvat puhtaasti omaan kokemukseeni alalla aktiivisesti työskentelevänä teknikkona, ja näitä kokemuksiani tukevat jatkuvasti käymäni keskustelut kollegoideni kanssa eri puolilta maamme. Tämän tutkimuksen myötä voidaan

kuitenkin todeta, että ennakkosuunnittelua tehdään aivan kaikenkokoisiin tilaisuuksiin, eikä suunnittelun näin ollen voi ajatella olevan ainoastaan suuria tapahtumia koskeva työvaihe.

Jonkin verran kyselytutkimukseen saamiini vastauksiin voi vaikuttaa myös se, että tunnen itse suuren osan kyselyn kohderyhmänä olleista henkilöistä. Kyselyyn vastattiin nimettömänä, ja pyysin vastaajia myös riisumaan vastauksista pois tapahtuman nimen, vuoden tai muut tunnistettavat seikat, jotta en sitä kautta pystyisi yhdistämään vastaajan henkilöllisyyttä saamiini vastauksiin. Siitä huolimatta uskon haluamattanikin tunnistaneeni osan saamieni vastausten lähettäjistä. Uskonkin, että minut paremmin tuntevien kollegoiden oli helpompi vastata kyselyyni ja kaukaisemmat tuttavat tai minua kokonaan tuntemattomat eivät ehkä niin helposti halunneet lähettää suunnitelmaansa analysoitavakseni. Haluan tässä vielä vakuuttaa, että olen tutkimusdataa analysoidessani kuitenkin keskittynyt annettuihin vastauksiin ja analysoinut jokaisen suunnitelman samoja periaatteita käyttäen, antamatta mahdollisen vastaajan henkilöllisyyden tunnistamisen vaikuttaa analyysiini millään tavoin.

Tätä opinnäytetyötä työstettäessä koko tapahtuma-alaa on koetellut maailmanlaajuisen COVID-19-pandemian aiheuttamat yleisötapahtumien perumisesta, siirtämisestä ja erilaiset rajoitukset. Opinnäytetyössä onkin analysoitu järjestelmiä, jotka mitä suurimmalla todennäköisyydellä on suunniteltu ja toteutettu ennen pandemiaa. Pandemian myötä äänentoistoala on kokenut mullistuksia myös sitä kautta, että erilaiset etä- ja hybriditilaisuudet ovat tulleet osaksi alan arkipäivää. Tällaisia tilaisuuksia ei tässä työssä kuitenkaan ole mukana, vaikka tämän päivän musiikitapahtuma voisi hyvin olla myös etä- tai hybriditilaisuus, joka esitetään reaaliaikaisesti myös verkossa.

Haluan vielä esittää lämpimät kiitokseni kaikille kyselytutkimukseen vastanneille kollegoilleni. Ilman teitä ja teidän rohkeuttanne lähettää omia töitänne minun tutkittavakseni tämä työ ei olisi ollut mahdollinen. Lisäksi haluan erityisesti kiittää asiantuntija Reima Saarista, jonka haastattelu auttoi minua löytämään suuntaa koko tälle työlle. Kiitos myös jokaiselle tähänastisen urani aikana kohtaamalleni kollegalle – uskon että me kaikki opimme toisiltamme jotain joka päivä.

2 ÄÄNENTOISTON HISTORIAA SUOMESSA JA MAAILMALLA

2.1 Alan kehittyminen keksintöjen myötä

Äänentoisto on äänen sähköistä vahvistamista ja saattamista korvin kuultavaksi erilaisia sähköisiä laitteistoja hyödyntäen (Davis & Jones 1990, 4; Kotimaisten kielten keskus 2023). Äänentoisto voi tarkoittaa yhtä lailla älypuhelimesta soitettun musiikin kuunteluun tarvittavaa elektroniikkaa ja ohjelmistoja, kuin kymmenien tuhansien ihmisten massatapahtumaan asennettua kaiutinjärjestelmää. Tässä opinnäytetyössä äänentoistosta puhuttaessa keskitytään tapahtumien äänentoistolaitteistoihin.

Tapahtuman äänentoistojärjestelmään tarvitaan yksinkertaisimmillaan mikrofoni, vahvistin ja kaiutin. Varhaisimpia mikrofonien esi-isiä kehiteltiin jo 1850-luvulla, mutta ensimmäiset nykypäivän näkökulmasta mikrofoniksi tunnistettavat laitteet keksittiin kuitenkin vasta 1870-luvun puolessavälissä, samoihin aikoihin sekä Euroopassa että Yhdysvalloissa. Ensimmäiset kaiuttimeksi tunnistettavat laitteet, olivat jo tuolloin olemassa. Ne olivat torvimallisia, megafonia muistuttavia tötteröitä. Nykymuotoisen kaiuttimen esi-isänä pidetty kaiutin, jossa oli liikkuva puhekelä, keksittiin kuitenkin vasta aivan 1890-luvun lopulla. Varhainen putkivahvistin, audion, keksittiin 1906, ja sen myötä äänen vahvistaminen reaaliaikaisesti tuli ensimmäistä kertaa mahdolliseksi. Mikrofonien ja kaiuttimien kehittämisen kanssa rinnakkain kulki myös puhelimen ja radion sekä myöhemmin myös äänellisen elokuvan kehitys. (Klapholz 1998, 1–3; Coules 2014; McCarthy 2016, 28–29; Mulder 2015, 4, 6–7).

Vuoteen 1910 mennessä oli rakennettu ensimmäisiä reaaliaikaiseen äänentoistoon soveltuvia laitteistoja. Niiden vahvistustehot olivat hyvin vaatimattomia verrattuna nykyaikaisiin järjestelmiin, mutta yhdistettynä torvimallisiin kaiuttimiin niillä saatiin kuitenkin aikaan huomattava parannus verrattuna vahvistamattomaan ääneen. Nämä ensimmäiset versiot äänentoistojärjestelmistä koostuivat siis mikrofonista, vahvistimesta ja yleensä yhdestä torvikaiuttimesta. Järjestelmiä käytettiin pääasiassa puheiden tai laulun vahvistamiseen. Musiikkiesityksissä näitä järjestelmiä hyödynnettiin pääasiassa laulun vahvistamiseen muuten omin

voimin pärjäävien soittimien keskellä, mutta 1900-luvun alkuvuosikymmeninä oli edelleen tavallista, että laulajat lauloivat ilman apuvälineitä tai joskus megafonia hyödyntäen. (Klapholz 1998, 1–3; Blomberg & Lepoluoto 2005, 192; Mulder 2015, 2).

On hyvä huomata, että myös musiikin (tai äänen ylipäätään) tallentaminen tuli mahdolliseksi vasta 1800-luvun keksintöjen myötä. Siihen saakka musiikkia oli tallennettu ainoastaan nuoteille ja ihmisten muisteihin, eikä lempikappalettaan saanut haettua kuunneltavaksi silmänräpäyksessä kuten nykyään on mahdollista tehdä. Esittävää taidetta lienee ollut läpi ihmiskunnan historian, mutta esitysten tallentaminen, toistaminen ja sähköinen vahvistaminen tuli mahdolliseksi vasta hieman yli sata vuotta sitten. Aikanaan uudet keksinnöt olivat mullistavia: omaa, juuri äänitettyä lauluaan kuultuaan, kysyi nainen äänityslaitteeseen viitaten: ”Kuinka se oppi tämän laulun noin nopeasti? Se on vaikea laulu.” (Gaston-Bird 2020, 1.) Vuonna 1915 ensimmäistä kertaa musiikkia julkisen tilan kaiutinjärjestelmästä kuultuaan kertoivat merisotilaat tanssineensa ”mystisen ilmassa soivan musiikin” tahtiin (Klapholz 1998, 5).

1800-luvun lopulla kehitetty, sähköurkujen esi-isänä pidetty telharmonium on osaltaan mielenkiintoista ajankuvaa äänentoiston näkökulmasta. Telharmoniumissa oli koskettimisto, ja sillä pystyi soittamaan sekä sointuja että melodioita. Telharmoniumia kuunneltiin puhelinlinjan kautta joko tavallisella puhelimen kuulokkeella tai linjaan yhdistetyn torvikaiuttimen kautta. Telharmonium-konserttien tilauksia tehtiin ainakin ravintoloihin ja hotelleihin sekä muutamiin yksityiskohteihinkin, joissa puhelin jo oli. Muut puhelimen käyttäjät kuitenkin valittivat telharmoniumin aiheuttavan häiriöitä puhelinlinjoille. Nykypäivän näkökulmasta ajatus soittimesta, jota voi kuunnella ainoastaan lankapuhelimen avulla tuntuu hieman erikoiselta. Telharmonium kuitenkin omalla tavallaan sitoo konkreettisesti yhteen sen, kuinka puhelimen ja äänentoistojärjestelmien kehitys ovat osittain kulkeneet käsi kädessä. (Scientific American 1907, Weidenaar, 2001.)

Toisen maailmansodan jälkeen uudenlainen musiikki, rock, alkoi kasvattaa suosiotaan erityisesti Elvis Presleyn ja myöhemmin The Beatlesin myötä. Sähkökitara ja -basso vahvistamiseen nostivat orkesterin soitinten aiheuttamaa äänitasoa aiempaa kovaäänisemmäksi, joten myös laulujen saamiseksi kuuluville tarvittiin

enemmän vahvistustehoa ja isompia järjestelmiä. (Blomberg & Lepoluoto 2005, 192; Coules 2014.)

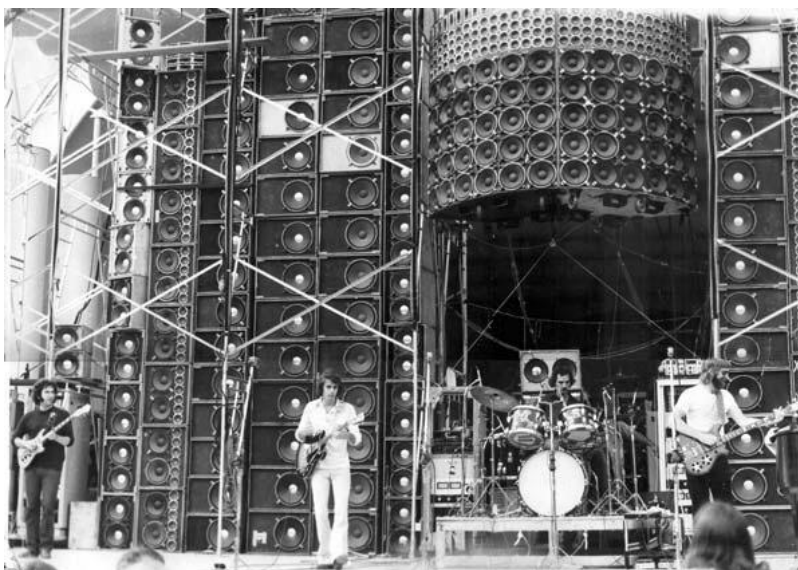
Tarkkaa aikajanaa siitä, kuka keksi ensimmäisenä mitä, ei ole helppo muodostaa. Tutkiessaan vahvistetun äänen historiaa, Mulder (2015) on päätenyt samantyyppiseen johtopäätökseen. Keksintöjä tehtiin samaan aikaan useammalla mantereella, ja osittain niiden dokumentointi on jäänyt aikalaisten kertomuksiksi, osin osaksi edelleen toimivien yritysten omasta toiminnastaan kertomaa historiaa. 1960–1980-lukujen aikana suurien pop/rock-konserttien ja festivaalien järjestäminen muuttui kuitenkin yksittäisistä tapahtumista säännölliseksi toiminnaksi, ja niiden myötä myös tarve suuremmille äänentoistojärjestelmille vakiintui. Tämä on varmasti innoittanut keksijöitä ja ääni-insinöörejä miettimään, miten ääni saadaan toistettua voimakkaammin ja selkeämmin. (Blomberg & Lepoluoto 2005, 193; Mulder 2015, 7.)

Maailman ensimmäisenä areenakonserttina pidetään The Beatlesin esiintymistä New Yorkin Shea Stadiumilla vuonna 1965, joskin esimerkiksi Elvis Presley oli esiintynyt pienemmillä stadioneilla jo 1950-luvulla. Paikalle oli saapunut 55 600 hysteerisesti kirkuvaa fania, joiden pitämän metelin päälle The Beatles yritti esiintyä. Tarkat tiedot siitä, millaisella äänikalustolla konsertti järjestettiin, vaihtelevat jonkin verran eri lähteissä. On kuitenkin selvää, ettei tuon ajan äänijärjestelmillä pystytty päihittämään monikymmentuhatpäistä kiljuvaa yleisöä, saati varmistamaan että musiikki olisi koko areenalla kuulunut selkeästi, vaikka yleisö olisi ollut hiljaakin. Konserttia pidetään kuitenkin siinä mielessä käännekohtana äänentoistotalalle, että se osoitti ilmiselvän tarpeen isommille äänijärjestelmille. Sellaista ei aiemmin tällaisessa mittakaavassa ollut ollut. (Myers 2015; Mulder 2015, 5.)

Markkinoille alkoi tulla tehdasvalmisteisia kaiutinjärjestelmiä 1970-luvulla, vaikka ainakin Suomessa itse rakenneltuja kaiuttimia käytettiin edelleen paljon vielä läpi 1980-luvun (Saarinen 2021). 1970-luvun loppupuolella kaiuttimia alettiin entistä useammin varaamaan myös lavalla soittaville ja laulaville muusikoille, jotta heidän olisi helpompi niistä kuultavan äänen avulla kuulla niin itsensä kuin toisensa alati kasvavan äänenpaineen keskellä. Näitä kaiuttimia kutsutaan monitorikaiuttimiksi. Aiemmin mainitussa The Beatlesin Shea Stadiumin konsertissa monitoireja ei ollut, ja onkin sanottu orkesterin jäsenten olleen turhautuneita siihen, että

he eivät kuulleet yleisön pitämän metelin alta sen enempää itseään kuin toisiaankaan. (Coules 2014; Littlefield, 2015.)

Äänentoiston ammattimaistumisen varhaisina vuosikymmeninä yritettiin ja varmasti myös erehdyttiin monin tavoin. Erilaisia kokeiluja saada ääni kuulumaan paitsi riittäväällä voimakkuudella, myös luonnollisempana ja paremmin oikeasta suunnasta, tehtiin rohkeasti. Yksi kuuluisimmista kokeiluista on Grateful Dead -orkesterin ”Wall of Sound”, jossa valtava määrä kaiuttimia ripustettiin esiintymislavan taakse (Kuva 1). Kullekin muusikolle oli varattu oma osuutensa kaiuttimista, ja noista kaiuttimista toistettiin vain kyseisen muusikon instrumentti tai laulu. Koska kaiuttimet olivat soittajien takana, ne toimivat myös monitoreina heille itselleen. Järjestelmän sanotaan toimineen hyvin ja tuottavan todella voimakkaan äänenpaineen, mutta kokonsa ja hintansa puolesta se oli epäkäytännöllinen, eikä konsepti saanut suurempaa suosiota. (McNell 1983.)



Kuva 1. Grateful Dead soittamassa Wall of Sound -äänijärjestelmän edessä (Kuva: Mary Ann Mayer, CC BY-SA 4.0. Lähde: Wikimedia Commons)

Vuonna 1992 ranskalainen L'Acoustics julkaisi ensimmäisen kaupallista menestystä saavuttaneen line array -järjestelmän. Sen myötä myös muut laitevalmistajat ovat kehittäneet omat versionsa line array -järjestelmästä. Line array -järjestelmien myötä laitevalmistajat alkoivat kehittää myös suunnittelu- ja hallintaohjelmistoja, joilla äänen käyttäytymistä voitiin tutkia tietokoneella jo etukäteen, sekä hallita järjestelmän asetuksia ja signaalinreititystä digitaalisesti. Nykypäivän konserttikävijöille nuo J:n tai banaanin muotoiset line array -kaiutinpötköt ovatkin

arkipäiväinen näky, mutta julkaisuaikanaan ne tarjosivat täysin uudenlaisia mahdollisuuksia suunnata ja hallita ääntä. (Coules 2015; Ballou 2015, 39.2.3.2.; Saarinen 2021.)

2.2 Äänentoiston historiaa Suomessa

Suomalaisen äänentoiston historiaa ei ilmeisesti ainakaan toistaiseksi ole dokumentoitu kattavasti yksiin kansiin, vaikkakin mainintoja alan kehityksestä löytyy esimerkiksi vuosikymmeniä suomalaisia viihdyttäneiden viihdetaiteilijoiden elämänerroista. Äänentoistoalan suomalaisena pioneerina pidetty Matti Sarapaltio (1940–2014) muisteli Ylen haastattelussa vuonna 2007 aloittaneensa äänentoistolaitteiden rakentamisen itse, koska saatavilla ei yksinkertaisesti ollut modernin rytmimusiikin vaatimukseen vastaavia järjestelmiä. Sarapaltio oli itse muusikko, ja muisteli 1950-luvulla käytössä olleiden laitteiden olleen hyvin pienitehoisia, lähinnä laulun vahvistamiseen tarkoitettua laitteistoja. (Yle 2007.)

Puolustusvoimien kuva-arkistosta löytyy toisen maailmansodan taisteluihin liittyvästä äänentoistolaitteistosta kuvia, joissa sotilaat työskentelevät valtavan kokoiselta torvikaiuttimelta näyttävän laitteen kanssa. Vuosilta 1941–42 olevat kuvat kuvateksteineen kertovat omaa tarinaansa siitä, miten äänentoistolaitteistoja on käytetty osana sotapropagandaa niin soittamalla musiikkia ja viestejä vastapuolen hallussaan pitämille alueille kuin välittämällä antautumiskehotuksiakin. Kuvatekstien mukaan kaiutin on pyritty sijoittamaan korkealle, jotta se kuuluvuus parani (Kuva 2). Vaikka nämä laitteet eivät ehkä suoraan liity suomalaisen viihdeteollisuuden äänentoistotarpeiden kehitykseen, on hyvä huomata, että kaiutinteknologiaa on jo sen varhaisina vuosina kehitetty muihinkin kuin esittävän taiteen tarpeisiin. (Puolustusvoimat n.d..)



Kuva 2. Kuvateksti Puolustusvoimien SA-kuva-arkistosta: "Kaiutinryhmän toimintaa: Kaiutin pitää saada korkealle kuuluvaisuuden parantamiseksi. Tässä tapauksessa on se hinattu etulinjan korsun katolle. Kuuttilahti 1942.03.28". Kuvateksti on alkuperäisen tiedotuskomppanian kuvaajan kirjoittama. (Kuva: SA-kuva)

Lamppu Laamasen kirja *Roudarit – Vastuun ja kamojen kantoa jo vuodesta 1965* arvioi varhaisimpien työkseen tapahtumien äänentoiston parissa työskentelevien henkilöiden aloitelleen uraansa kirjan otsikon mukaisesti 1960-luvun puolivälissä (Laamanen 2018, 1 %). Varmasti jo ennen sitä orkestereilla on ollut käytössään yksinkertaisia äänentoistojärjestelmiä, joita he ovat itse käyttäneet. Maailman tapahtumiin peilaten on helppo arvioida, että aivan kuten The Beatles keräsi ennennäkemättömän suuria yleisömassoja ympäri maailmaa, ovat Suomessa tuon ajan suursuosioita nauttineet orkesterit Hurriganesin johdolla keränneet Suomen mittakaavassa ennennäkemättömiä määriä ihmisiä katsomaan ja kuuntelemaan

esiintymisiään. 1970-luvun tienoilla myös suuria yleisömääriä keränneet rock-festivaalit alkoivat yleistyä Suomessakin. Ensimmäinen suomalaisen yhtyeen oma stadionkokoluokan konsertti järjestettiin kuitenkin vasta 1999, kun Mestarit esiintyivät Olympiastadionilla (Saarela 2021, 71 %).

Markku Veijalaisen Hurriganes – Roudarit -lyhytelokuva vuodelta 1980 antaa jonkinlaista ajankuvaa tuolloin käytössä olleista kaiutinjärjestelmistä: elokuvassa Hurriganesin tekninen henkilöstö kasaa läjän erikokoisia kaiutinlaatikoita lavan reunalle (Kuva 3). Elokuvasta on myös nähtävissä, että miksauspiste on yleisön keskellä tai takana. Laamasen (2018) kirjan mukaan ainakin vielä 1970-luvun alkupuoliskolla mikseri oli lavalla rumpali Remu Aaltosen takana, ja Aaltonen miksasi pitkään itse lavalta käsin (Laamanen 2018, 14 %). 1970–1980-luvuilla Suomeen tuotiin tehdasvalmisteisia kaiuttimia ulkomailta, mutta kaiuttimia myös rakennettiin itse sekä kopioimalla näitä ulkomaalaisia tuotteita että kehittämällä omia (Manninen 2015, 7–8, 13–16; Yle 2007; Saarinen 2021.)



Kuva 3. Äänentoistojärjestelmän kasausta Hurriganesin konserttia varten. Kuva-kaappaus lyhytelokuvasta Hurriganes – Roudarit (Veijalainen 1980).

1990-luvun aikana itse rakennellut laitteistot väistyvät tehdasvalmisteisten tieltä. On tiedossa, että akustisia mittauksia oli tehty siihen tarkoitetuilla erillisillä, huomattavan hintavilla laitteistoilla jo aiemmin, mutta käytännössä mitaaminen yleisty vasta kannettavien tietokoneiden yleistyttyä vuosittuhanteen vaiheessa ja sen jälkeen (Saarinen 2021). Kuten muukin teknologinen kehitys, ovat myös äänentoistoon liittyvät teknologiat ja työskentelytavat kehittyneet kiihtyvällä tahdilla, mikä osaltaan selittää alalla työskentelevien ammattilaisten sirpaleisen osaamiskentän: osa ei edelleenkään tee esimerkiksi akustisia mittauksia lainkaan, osa ei tee mitään ilman mittauksia. Suomalaisten ääniteknikoiden osaaminen on nykyään kansainvälisesti arvostettua, ja 2000-luvun aikana useita suomalaisia alan ammattilaisia on toiminut suurissakin kansainvälisissä tuotannoissa erilaisissa äänentoistoon liittyvissä tehtävissä.

2.3 Ääniteknikan koulutus

Yhdysvalloissa mahdollisuudet opiskella ääniteknikkaa yliopistotasolla alkoivat yleistyä 1980-luvulla jatkaen yleistymistään 1980- ja edelleen 1990-luvulla (Gaston-Bird 2020, 1). Suomessa Sibelius-Akatemia aloitti ääniteknikkakurssien tarjoamisen 1980-luvulla mutta erillisen musiikkiteknologikoulutuksen vasta 1998 (Tiits 2023). Teatterikorkeakoulun valo- ja äänisuunnittelun laitos perustettiin 1986 (Ylönen 2023). Helsingin yliopistolla oli kuitenkin ollut äänitysstudio elektronisen musiikin sävellystyön tueksi jo 1960-luvulta lähtien (Tiits 2023).

Tampereen Taiteen ja Viestinnän Oppilaitos TTVO ja Länsi-Lapin ammatti-instituutti aloittivat opistotasoisten medianomiopintojen tarjoamisen 1991, ja molemmissa oppilaitoksissa oli alusta alkaen mukana myös ääniteknikan opintoja. TTVO sulautettiin myöhemmin osaksi Tampereen Ammattikorkeakoulua, ja ääniopintoja saattoi opiskella medianomin koulutusohjelmassa. Sama tapahtui Torniossa, jossa medianomiopinnot siirtyivät Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun vastuulle. (Koivumäki 2023; Leipälä 2023.)

Ensimmäisen maailmansodan aikana suomalaisia jääkäreitä koulutettiin radiotekniikan tehtäviin Saksassa vuosina 1915–18 (Simola 2016). Ensimmäisenä ää-

nitekniikan kouluttajana Suomessa voidaan kuitenkin pitää Yleisradiota. Yleisradio oli aloittanut toimintansa 1926, ja toiminnan ensimmäiset vuosikymmenet äänitekniikasta olivat huolehtineet Teknillisestä korkeakoulusta ja Tampereen teknillisestä oppilaitoksesta sähkötekniikan, heikkovirtatekniikan, teletekniikan ja radiotekniikan opinnoista valmistuneet insinöörit ja teknikot. Vaikka Yleisradio jatkokoulutti henkilökuntaansa Yleisradion tehtäviin, koettiin teknikko- ja insinööri-taustaisten henkilöiden soveltuvan varsinaisiin äänitarkkailijan tehtäviin huonosti. Yleisradion järjestämä ensimmäinen äänitarkkailijakurssi alkoi tammikuussa 1957 ja laajeni myöhemmin kouluttamaan myös kuvatarkkailijoita television tarpeisiin. Vuodesta 1991 alkaen opetus siirtyi yllä mainituille Tampereen ja Tornion medianomikoulutusta tarjoaville oppilaitoksille. (Yleisradio 1957, 71; Yleisradio 1958, 74; YLE 1993, 88; Ilmonen 1996, 24, 87–88, 90; Koivumäki 2023; Leipälä 2023.)

Ennen äänialan opiskelumahdollisuuksia alalla työskentelevien koulutustausta on ollut hajanainen. Ainakin aiemmin mainittu Matti Sarapaltio oli työskennellyt Yleisradiolla äänitarkkailijana ennen siirtymistään työskentelemään äänentoiston pariin (Yle 2007). Tämän perusteella on mahdollista, että muitakin Yleisradion koulutuksen saaneita on päätynyt työskentelemään tapahtumien äänentoistoon liittyviin tehtäviin. Osalla äänentoiston alkuvuosien ammattilaisista ei kuitenkaan ole ollut minkäänlaista alaan liittyvää koulutusta. Toisilla taas on voinut olla esimerkiksi jokin elektroniikkaan tai sähkötekniikkaan liittyvä koulutus. Tälläkään hetkellä osalla kansainvälistäkin arvostusta nauttivilla suomalaisilla ammattilaisista ei välttämättä ole kuin peruskoulu- tai ylioppilastutkinto. Ei pidä kuitenkaan ajatella, että he olisivat kouluttautumattomia – alaan liittyviä kursseja ja koulutuksia järjestetään paljon, ja alalla jaetaan tietoa avoimesti.

2.4 Nykyaikaiset äänentoistojärjestelmät

Nykyisenkaltaisen äänentoiston pioneerit 1960- ja 1970-luvuilla rakensivat niin kaiuttimet, vahvistimet kuin tarvittavat kaapelitkin itse, mutta nykyään tilanne on toisenlainen. On tyypillistä, että kaiutinjärjestelmää hankittaessa saa valmistajalta kaiuttimien lisäksi halutessaan myös tarvittavat vahvistimet, räkit, kuljetusalustat, yhteensopivat kaiutinkaapelit, kaikki tarvikkeet turvalliseen ripustamiseen sekä

suunnittelu- ja hallintaohjelmistot järjestelmien käyttämiseen. Vahvistimiin voi yleensä valita valmiit perusasetukset käytettävien kaiuttimien mukaan. Asetukset varmistavat kaiuttimen oikeanlaisen toiminnan ja suojaavat niitä usein esimerkiksi sähköverkon virtapiikeiltä tai käyttäjien aiheuttamilta ylikuormitustilanteilta.

Kaiuttimista voidaan puhua niiden tyyppin tai tehtävän mukaan. Erilaisia kaiutintyyppisiä ovat esimerkiksi point source-, line array-, augmented array-, pilari-, ja subwoofer- eli subikaiuttimet (Ballou 2015, 39.2.3.2; Kauhanen 2021). Kaiuttimet jaetaan yleensä myös niiden toistaman taajuusalueen mukaisesti subwoofereihin eli subeihin, jotka vastaavat bassotaajuuksista sekä mid/high-kaiuttimiin, jotka toistavat loput, korkeammat taajuudet.

Kaiuttimien tehtävistä käytetyt termit vaihtelevat jonkin verran, mutta tässä opinäytetyössä pyritään käyttämään alalle vakiintunutta, mahdollisimman neutraalia sanastoa, joka ei suoraan viittaa esimerkiksi tiettyyn tapahtumaan, tekijään tai kaiutinmalliin. Äänijärjestelmän kaiutinmääristä ja niiden koosta riippumatta stereojärjestelmässä on yleensä pääkaiuttimet ja tarvittava määrä apukaiutinryhmiä. Pääkaiuttimilla katetaan mahdollisimman suuri alue yleisöstä, ja apukaiuttimilla pyritään täydentämään järjestelmän kattavuutta niiltä osin, mihin pääkaiuttimet eivät riitä joko suuntaavuutensa takia tai toistamansa taajuuskaistan osalta. Apukaiutinryhmiä voivat olla esimerkiksi etufillit (front fills), sivu-PA (side PA, side hang tai outhang), maasubit (ground subs) ja lentosubit (flown subs). Järjestelmässä voi myös olla viivekaiuttimia, ja niiden määrästä riippuen voidaan puhua vain viiveestä tai esimerkiksi pääviiveestä (main delay) ja sivuviiveestä (side delay). Myös viiveillä voi olla lisäksi subeja (delay subs).

Erilaisissa monikanavajärjestelmissä kaiutinryhmiä tulee vielä lisää. Järjestelmien monimutkaistuessa voi joskus joutua hieman käyttämään mielikuvitusta kaiutinryhmiä nimettäessä, ja se kannattaakin aina tehdä huolella epäselvyyksien välttämiseksi.

On hyvä huomata, että eri tehtävissä voi toimia keskenään samanlaisia kaiuttimia, joten tehtävät sinänsä eivät määrittele millaisia kaiuttimia niissä tulisi käyttää (McCarthy 2016, 215; Kauhanen 2021). Kuvista 4 ja 5 on nähtävissä, että yhden tilaisuuden pääkaiutin voi olla fyysisesti pienikokoisempi kuin toisen tilaisuuden

apukaiutin. Subiryhmiin on kuitenkin valittava nimenomaan matalia taajuuksia toistamaan suunniteltuja kaiuttimia, subeja.

2.4.1 Point source

Point sourceksi kutsutaan yksittäistä kaiutinta, joka on ainakin osalla taajuuksista suuntaava (Ballou 2015, 39.2.3.2.1.) Yleensä point source -kaiuttimet koostuvat kahdesta tai useammasta kaiutinelementistä, joista kukin vastaa tietyn taajuusalueen toistamisesta. Kaiuttimen koko ja elementtien määrä voivat vaihdella. Yleensä point source -kaiutin on suuntaava vain korkeammilla taajuuksilla matalampien taajuuksien säteillessä kaiuttimesta eteen, sivuille ja taaksepäin. Siksi suuntaavaksi kerrotusta kaiuttimesta siis kuuluu ääntä myös sen takapuolelle, vaikka esimerkiksi laulun sanoista ei saakaan yhtä hyvin selvää kuin kaiuttimen etupuolella.

Point source -kaiuttimet toimivat usein itsenäisinä osina äänentoistojärjestelmää, joskin niistä voidaan myös rakentaa vaikkapa erilaisia klustereita, rykelmiä. Point source -kaiuttimet voivat toimia pienemmän äänijärjestelmän pääkaiuttimina (Kuva 4) tai suuremman järjestelmän apukaiuttimina (Kuva 5.) Äänentoistoalaa tuntemattomille point source -kaiuttimia voisi kuvailla termillä ”tavallinen kaiutin”.



Kuva 4. Subeihin kiinnitettävien telineiden päähän on nostettu pienet point source -kaiuttimet. Ne toimivat tässä järjestelmässä pääkaiuttimina. (Kuva: Terhi Salo 2016)

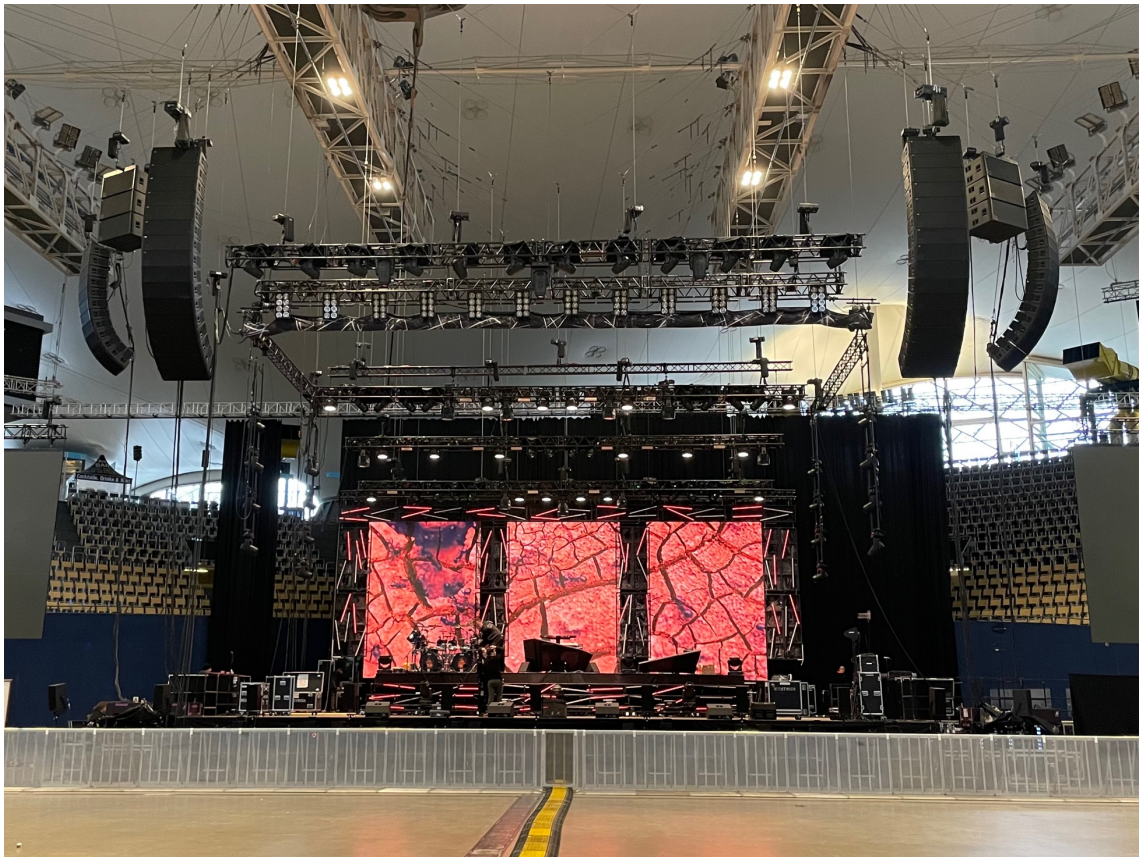


Kuva 5. Pystytelineille asennettuja point source -kaiuttimia, jotka toimivat tässä konsertissa laajemman järjestelmän apukaiuttimina, tässä tapauksessa etufil-
leinä. Tolppien välissä maassa olevat suurehkot kaiuttimet ovat bassotaajuuksia
toistavia subbeja. (Kuva: Terhi Salo 2022)

2.4.2 Line Array

Modernit line array -järjestelmät koostuvat useista kaiuttimista, jotka asennetaan kiinnittäen ne toisiinsa päällekkäin (Kuva 6) (Ballou 2015, 39.2.3.2.1). Kaiuttimien määrää sekä niiden välistä kulmaa voidaan muuttaa ja täten luoda kuhunkin tapahtumapaikkaan suuntaavuudeltaan sopiva järjestelmä. Suuntaavuudesta huolimatta line array -järjestelmätkin tuottavat ääntä point source -kaiuttimien tavoin myös sivuille ja taakse osalla taajuuksista. Monet laitevalmistajat pyrkivät kuitenkin koko ajan kehittämään uusia, esimerkiksi vastavaihetta hyödyntäviä innovaatioita, joilla suuntaavuutta olisi mahdollista parantaa myös matalammilla taajuuksilla.

Line array -järjestelmässä päällekkäiset kaiuttimet toimivat yhdessä muodostaen yhtenäisen äänilähteen. Line array -järjestelmä vaimenee korkeilla taajuuksilla vähemmän kuin point source -kaiuttimet (Ballou 2015, 39.2.3.2.1). Line arrayn pituus ja kaiuttimien väliset kulmat kuitenkin vaikuttavat äänenpaineen jakautumiseen arrayn työalueella. Osa kaiutinvalmistajista tarjoaa digitaalisia prosessointityökaluja, joita hyödyntämällä arrayn ääniominaisuuksia voidaan muuttaa myös sähköisesti.



Kuva 6. Lavan molemmille puolille on ripustettu kaksi kaarevaa line arrayta mitoitettuna juuri tähän esiintymistilaan. Kohti kuvaajaa osoittavat pääkaiuttimet, ulospäin kuvasta sivu-PA, joka täydentää pääkaiuttimien kattavuutta sivukatsoimoissa. Kuvassa näkyvät myös laatikkomaisemmat lentosubit molemmilla puolilla lavaa arrayiden välissä. (Kuva: Terhi Salo 2022)

2.4.3 Subwooferit

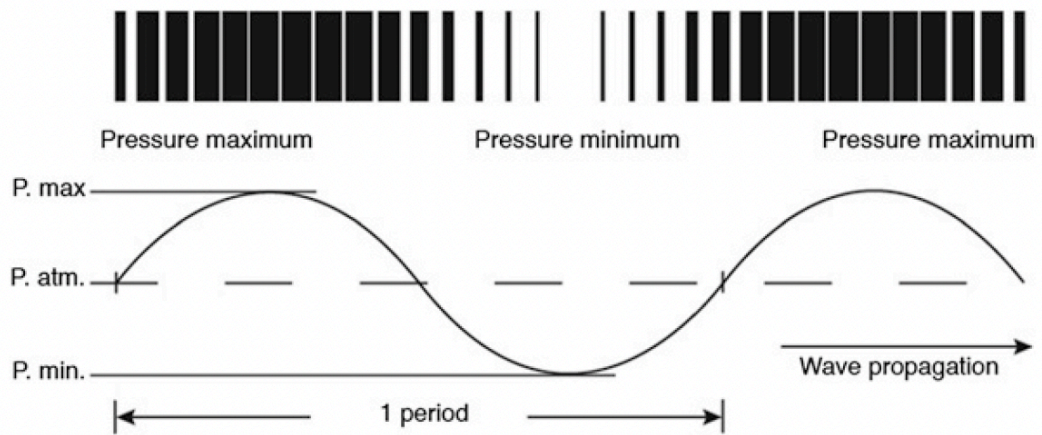
Point source- ja line array -kaiuttimet vastaavat kaiutinjärjestelmän keski- ja ylätaajuuksista, yleensä suunnilleen 100–120 Hz taajuusalueelta ylöspäin. Sitä matalimmista taajuuksista vastaavat erilliset subwoofer- eli subkaiuttimet. Näistä kaiuttimista ei kuulu muuta kuin aivan matalimpia taajuuksia, eivätkä ne sovellu äänentoistojärjestelmäksi yksinään. Subien toistama taajuuskaista vaihtelee, ja joskus ne vastaavat esimerkiksi vain kaistasta 30–60 Hz. Tällöin mid/high-kaiuttimien tulee toistaa taajuudet 60 Hz saakka aiemmin mainitun 100 Hz sijasta. Mainitut hertsiarvot ovat esimerkkejä, ja käytettävien kaiutinmallien toiminta-alue onkin aina hyvä tarkistaa, jotta äänijärjestelmään ei jää aluetta, joka ei toistu sen enempää subeista kuin mid/high-kaiuttimistakaan (McCarthy 2016, 122; Kauhanen 2021).

3 ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA OPTIMOINTI

3.1 Äänen ominaisuudet

Ääni on värähtelyä välittäjäaineessa, tämän opinnäytetyön kontekstissa ilmassa. Ääniaallot aiheuttavat välittäjäaineeseen tihentymiä ja harventumia, jotka korva ja aivot tulkitsevat kuulluksi ääneksi. Ihmisen kuuloalueena pidetään yleensä aluetta 20 Hz – 20 kHz, joskin iän myötä kuulo muuttuu ja varsinkin kaikkein korkeimmat taajuudet vaimenevat. Ääntä voidaan kuvata aaltomuotona, jolla on taajuus ja aallonpituus: korkeammalla äänellä on korkeampi taajuus ja lyhyempi aallonpituus kuin matalammalla. Aallonpituuden laskemiseen tarvitaan tieto äänen etenemisnopeudesta välittäjäaineessa. (Adelman-Larsen 2014, 1–2; Blomberg & Lepoluoto 2005, 27–28; Talbot-Smith 1999, 1.3.2).

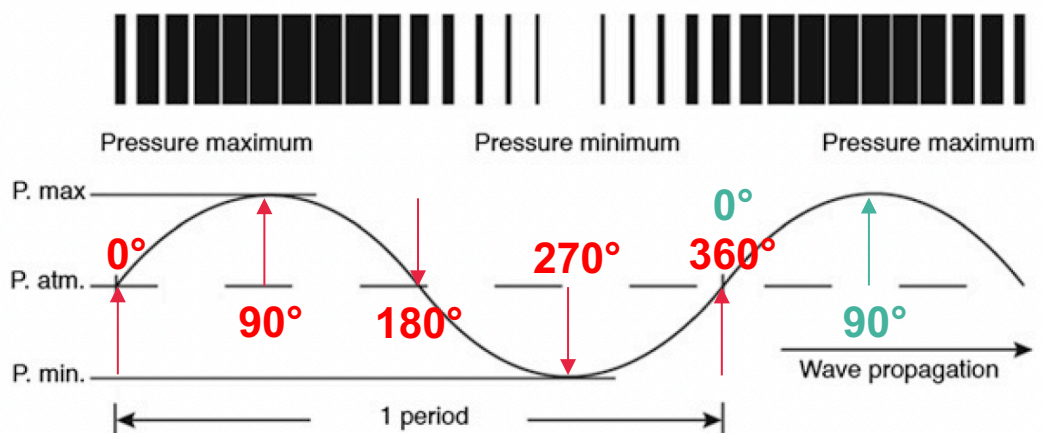
Äänen korkeutta kuvataan yksiköllä hertsi (Hz), joka kertoo montako kertaa äänen värähtelyjakso ehtii toistua yhdessä sekunnissa. Esimerkiksi taajuus 100 Hz ehtii siis värähdellä sekunnissa sata kertaa, kun taas 1 kHz värähtelee sekunnissa tuhat kertaa. Yksi värähtelyjakso (englanniksi period tai cycle) sisältää aina sekä välittäjäaineen tihentymän että harventuman, tai kuvattaessa siniaaltona, sekä aaltomuodon maksimin että minimin. (Kuva 7.) Aallonpituudet vaihtelevat taajuuden mukaan korkeiden taajuuksien muutamista sentteistä useisiin metreihin: esimerkiksi taajuuden 10 kHz aallonpituus ilmassa on noin 3,4 cm, kun taas 20 Hz on jopa 17 m (Adelman-Larsen 2014, 1–2; Blomberg & Lepoluoto 2005, 27–28; Talbot-Smith 1999, 1.3.2; Kauhanen 2021).



Kuva 7. Ylempänä mustilla palkeilla kuvattuna tihentymiä ja harventumia välittäjäaineessa. Alempana kuvattuna ääntä aaltomuotona, jolloin aallon korkeimmat kohdat kuvaavat painetihentymiä ja aallon pohjat paineen harventumia. Kuvaan on merkitty myös yhden värähtelyjakson (period) pituus. (Adelman-Larsen 2014, 2)

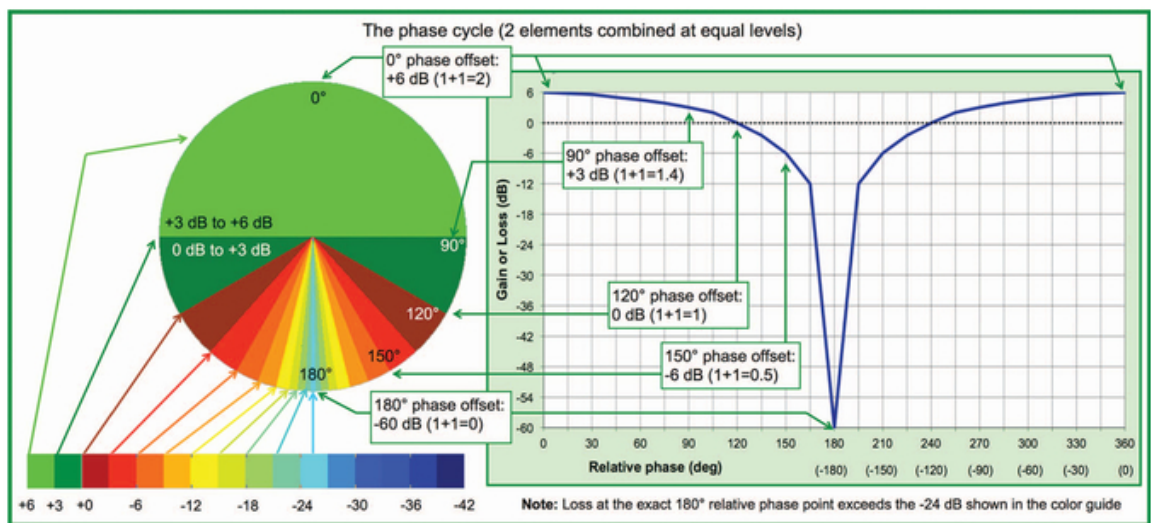
Eri aallonpituuksien jakson kesto aika on myös eri: matalammilla taajuuksilla yksi jakso kestää pidempään kuin korkeammilla taajuuksilla. Kesto aika saadaan jakamalla yksi sekunti valitulla taajuudella. Esimerkiksi taajuuden 10 kHz jakson kesto on 0,1 ms, kun taajuudella 20 Hz se on 50 ms.

Ääniaallon jakson kohtaa missä värähtelykierros on meneillään, kuvataan termillä vaihe (phase). Yksi kokonainen jakso on 360° , puolet siitä 180° ja neljäsosa 90° . Kun jakso päättyy, uusi jakso alkaa. Edellisen jakson 360° on siis seuraavan jakson 0° . (Ballou 2009, 3.1.4)



Kuva 8. Adelman-Larsenin kuvaan (2014, 2) on lisätty äänen aaltomuotoa ja paineen tihentymiä ja harventumia kuvaavaan kuvaan on lisätty eri vaiheet asteina.

Äänen vaiheella on merkitystä aina, kun järjestelmässä on enemmän kuin yksi kaiutin. Eri kaiuttimista tulevien ääniaaltojen yhdistyessä toisiinsa ne voivat summautua eli tuottaa lisää äänenvoimakkuutta, vaimentua, kumoutua eli täysin poistaa ääntä tai olla sen enempää summaamatta kuin kumoutumattakaan. Mitä lopulta tapahtuu, riippuu siitä, millaisessa vaihe-erossa suhteessa toisiinsa ääniaallot yhdistyvät. Kahden samanlaisen signaalin vaihe-eron ollessa 0–120° saadaan summauksen avulla lisää äänenpainetta 0–6 dB. Vaihe-eron ollessa yli 120° alkaa signaali ensin vaimentua ja lopulta kumoutuu täysin (Kuva 9).

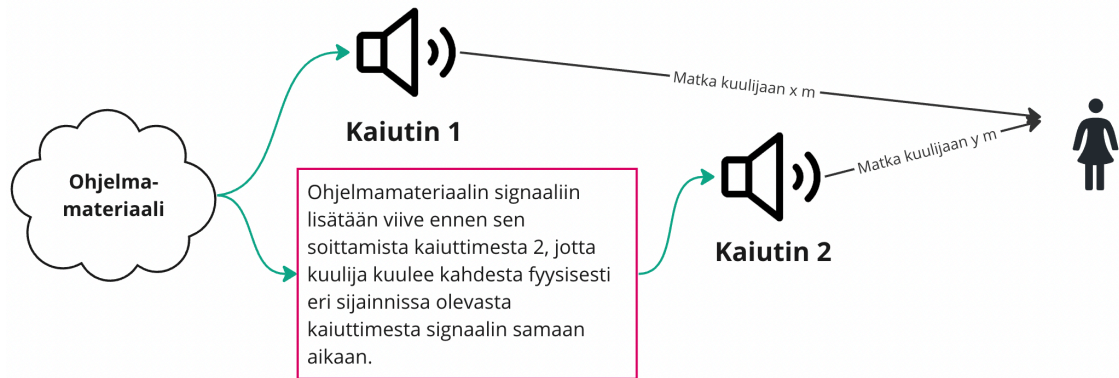


Kuva 9. Vaiheympyrä kuvaa väreillä äänen summautumisen ja kumoutumisen määrää kahden äänen yhdistyessä erilaisilla vaihe-eroilla. Signaalitasen muutokset on kuvattu kaavioon, ja nuolilla osoitetaan vastaavat kuvat kaaviossa ja ympyrässä. (McCarthy 2016, 211.)

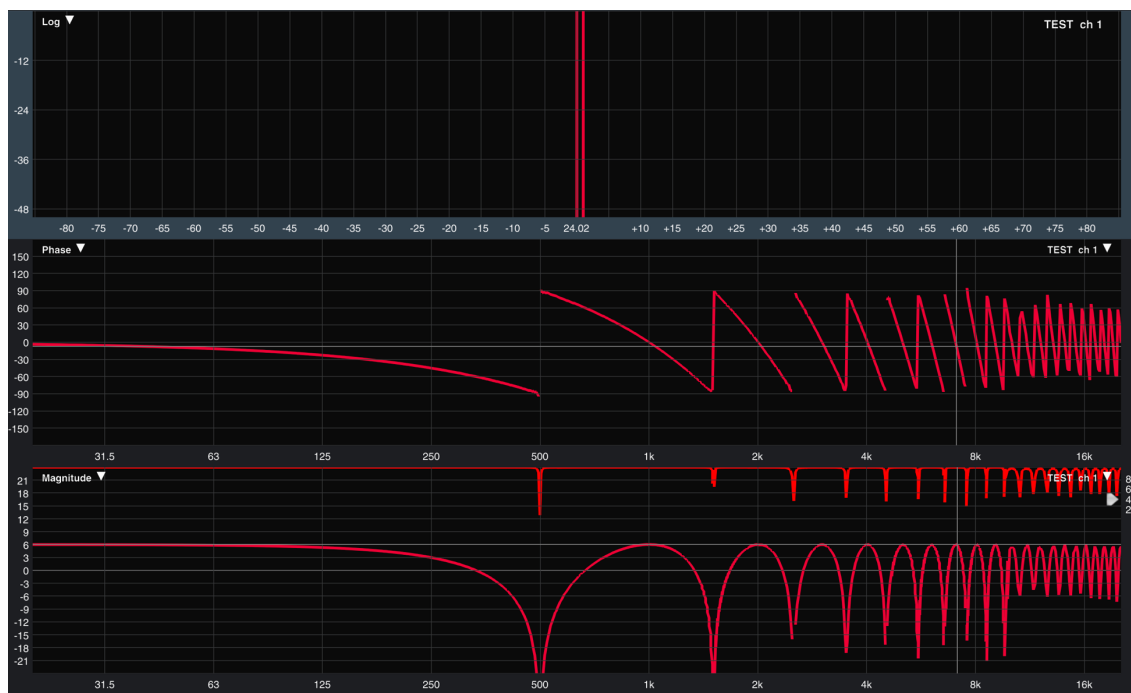
Jos siis kaksi tismalleen samanlaista signaalia yhdistetään siten, että niiden vaihe-ero on 0, ne yhdistyessään muodostavat 6 dB alkuperäistä voimakkaamman signaalin. Mikäli vaihe-ero on 180°, ne kumoavat toisensa täysin, eli mitään ei kuulu.

Mikäli kaksi alun perin tismalleen samanlaista signaalia yhdistyvät muuten alkuperäisen kaltaisina mutta niiden välillä on aikaero, syntyy kampasuodin. Siinä summaus- ja kumoutumisjaksot vuorottelevat ja vääristävät äänen kuulostamaan kummalliselta. Jokaisella taajuudella on eri jakson kesto aika, joten kahden signaalin yhdistyessä kampasuotimen tiheys riippuu aikaeron suuruudesta (Kuva 11). Tällainen tilanne voi syntyä äänentoistossa helposti, kun samaa signaalia

toistetaan useammasta eri kaiuttimesta. Mikäli kaiuttimien eri sijaintipaikoista aiheutuvaa kulkuaikaeroa kuuntelupisteeseen ei kompensoida, kuulija kuulee äänen kahdesta kaiuttimesta eri aikaan (Kuva 10). Aikaeron suuruudesta riippuen ääni kuulostaa joko kuuluvan kahtena tai se kuulostaa oudolta, heikolta tai epäselvältä kampsuodinilmiön vaikutuksen ansiosta.



Kuva 10. Kaiuttimen 2 signaalia tulee viivästä siten, että kuulijalle eri etäisyyksillä olevien kaiuttimien ääni saapuu samanaikaisesti. Kauempana olevasta kaiuttimesta äänellä kestää kauemmin saapua perille, siksi lähempänä olevaa viivästäetään. Eri kohdissa yleisöaluetta suhteellinen etäisyys kaiuttimiin muuttuu, joten aika ei koskaan ole absoluuttisen oikein joka paikassa. Viiveaika määritetään sellaiseen sijaintiin, missä kuunneltavat kaiuttimet kuuluvat tismalleen samalla voimakkuudella, koska siellä väärä aika aiheuttaisi eniten kuultavissa olevia ongelmia. Mitä voimakkaammin jompikumpi kaiutin kuuluu, sitä vähemmän toisen kaiuttimen aikavirhe kyseiseen sijaintiin aiheuttaa kuultavissa olevaa haittaa. (Kuva: Terhi Salo)



Kuva 11. Kampasuodin, joka on syntynyt, kun kaksi alun perin samanlaista signaalia on yhdistetty sähköisesti 1 ms aikaerolla. Kuvan alimmassa osiossa näkyy äänen taajuusvaste, eli kuvaus kunkin taajuuden voimakkuudesta suhteessa muihin taajuuksiin. Keskimmäisessä osiossa on vaihevaste, joka kuvaa kunkin taajuuden vaihe-eroa suhteessa muihin taajuuksiin. Ylimmän osion kaksi pystyviivaa kuvaavat signaalien aikaeroa. Kuvakaappaus Smart v8 -ohjelmistosta.

3.2 Äänentoiston määritelmä

Äänentoistolla tarkoitetaan äänen sähköistä vahvistamista ja saattamista korvin kuultavaksi erilaisia sähköisiä laitteistoja hyödyntäen (Davis & Jones 1990, 4; Kotimaisten kielten keskus 2023). Äänentoistojärjestelmän osia voivat olla esimerkiksi mikrofoni, jolla akustinen ääni muutetaan sähköiseen muotoon, erilaiset tallentimet, joita voidaan käyttää niin äänen tallentamiseen kuin toistamiseenkin, äänen muokkaamiseen käytettävät laitteet, sekä kaiuttimet vahvistimiseen (McCarthy 2016, 28–29). Tässä opinnäytetyössä keskitytään nimenomaan kaiuttimiin ja niistä muodostuviin kaiutinjärjestelmiin vahvistimiseen ja prosessoreineen, ei niinkään toistettavan äänen sieppaamiseen ja muokkaamiseen tarvittavaan laitteistoon, kuten mikrofoneihin tai miksereihin.

Äänentoistojärjestelmiä tarvitaan erilaisiin tilanteisiin ja erilaisista syistä. Äänentoistolla voidaan auttaa ihmisiä kuulemaan toistettava ääni selkeämmin, laajem-

malla alueella, hyödyntää suurempaa äänenvoimakkuutta osana esityksen vaikuttavuutta tai toistaa ääni kokonaan eri tilassa kuin alkuperäinen äänilähde (Davis & Jones 1990, 4; Blomberg & Lepoluoto 2005, 15–17). Tässä opinnäytetyössä keskitytään musiikkitapahtumissa käytettäviin äänentoistojärjestelmiin, jotka voivat jonkin verran erota puhtaasti puhekäytössä tarvittavista järjestelmistä esimerkiksi äänenpaineen tai taajuusvasteen vaatimusten osalta (Davis & Jones 1990, 15–16; Blomberg & Lepoluoto 2005, 17–18; Kauhanen 2021.)

3.3 Taajuuskaistat äänentoistojärjestelmissä

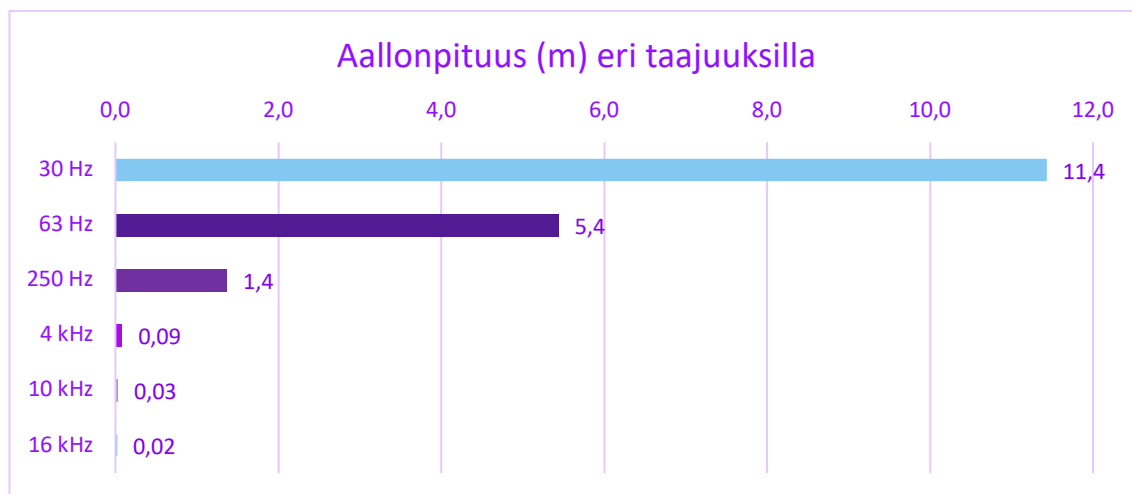
On olemassa kaiutinjärjestelmiä, jotka toistavat ääntä koko ihmisen kuuloalueella eli 20 Hz – 20 kHz, mutta usein järjestelmät toimivat noin 30 Hz – 16 kHz taajuuskaistalla jättäen aivan matalimmat ja aivan korkeimmat äänet toistamatta. Kuuloaluetta voidaan kuvata visuaalisesti näkymällä, jossa jokainen oktaavi on tasavälein. Oktaavi tarkoittaa hertsimäärän kaksinkertaistumista, ja tämän takia matalammilla oktaavikaistoilla oktaavi sisältää vähemmän taajuuksia kuin korkeammilla taajuuksilla (Kuva 12).



Kuva 12. Muokattu kuvakaappaus Smaart v8 -mittausohjelmiston logaritmisesta vakioikkunasta. Oktaavit on merkitty pystyviivoilla tasaisin välimatkoin. Matalilla oktaavikaistoilla oktaavi sisältää vähemmän taajuuksia kuin korkeammilla. Idea esitystapaan Äänentoisto kuntoon! -seminaarista (Kauhanen 2021).

Tässä opinnäytetyössä ei mennä syvemmälle kaiutinsuunnitteluun, mutta on hyvä ymmärtää, millaisten fyysisten tekijöiden kanssa laitevalmistajat toimivat. Varmasti yksi suurimpia haasteiden aiheuttajia on eri taajuuksien erilaiset aallonpituudet (Kuvio 1.) Esimerkiksi taajuuden 30 Hz aallonpituus on noin 11,5 m, kun

taas 16 kHz on vain 2,15 cm. Eri mittaisten aallonpituuksien optimaalinen tuottaminen ja hallinnointi vaatii fyysisesti eri kokoisia kaiuttimia.

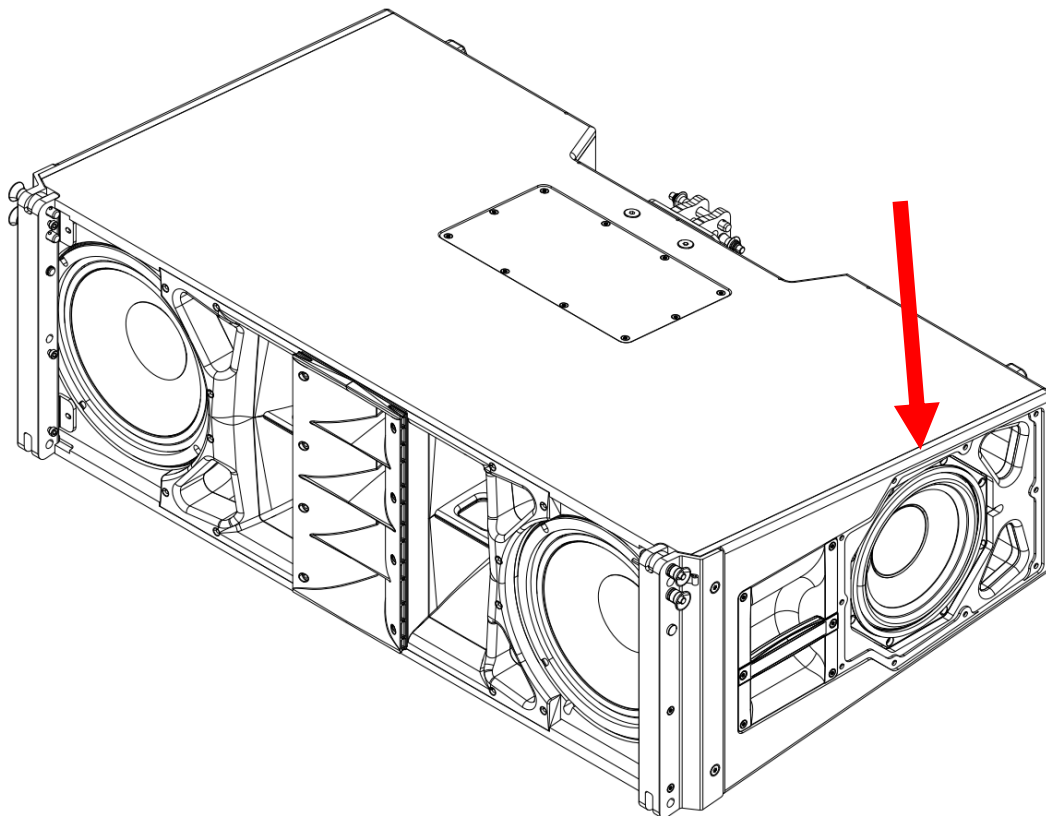


Kuvio 1. Kaiutinjärjestelmän toiminta-alueen aallonpituuksia. Palkkikaavio.

Matalimmista, eli bassotaajuuksista, vastaavat subwooferit käsittelevät karkeasti arvioiden yleensä yli 3 m pituisia aallonpituuksia. Fyysisesti subit voivat olla monen kokoisia, mutta yleensä niiden kaiutinelementti on halkaisijaltaan n. 10–21 tuumaa, joskin pienikokoisempiakin subwoofereina myytäviä kaiuttimia on. Point source -kaiuttimia esittelevissä kuvissa (Kuva 4, sivu 21; Kuva 5, sivu 22) on näkyvissä myös eri kokoisia subeja.

Mid/High-kaiuttimet koostuvat usein yhdestä tai useammasta 4–15-tuumaisesta kaiutinelementistä sekä jonkinlaisesta torviosasta mahdollisine aalto-ohjaimineen, joilla pyritään hallinnoimaan korkeampien taajuuksien suuntaavuutta. Eri elementit vastaavat vain tietyistä osista kaiuttimen taajuuskaistaa. Usein kaiuttimille ilmoitetaan horisontaali- ja vertikaalidispersiot (esim. 70° x 40°), joilla pyritään kuvaamaan kaiuttimesta lähtevän äänen avautumiskulmaa. Nämä luvut eivät kuitenkaan käytännössä koskaan koske kaikkia taajuuksia vaan yleensä vain niitä taajuuksia, jotka tulevat kaiuttimen torviosasta. Matalammat taajuudet yleensä soivat kaiuttimesta lähes yhtä lujaa joka suuntaan, siis myös taakse ja sivulle. Tähänkin on toki poikkeuksia: kaiutinvalmistajat pyrkivät kasvattamaan suuntaavuuden pysyvyyttä kohti matalampia taajuuksia esimerkiksi erilaisilla vastavaihetta hyödyntävillä tekniikoilla. Tällöin kaiuttimessa voi esimerkiksi olla sen

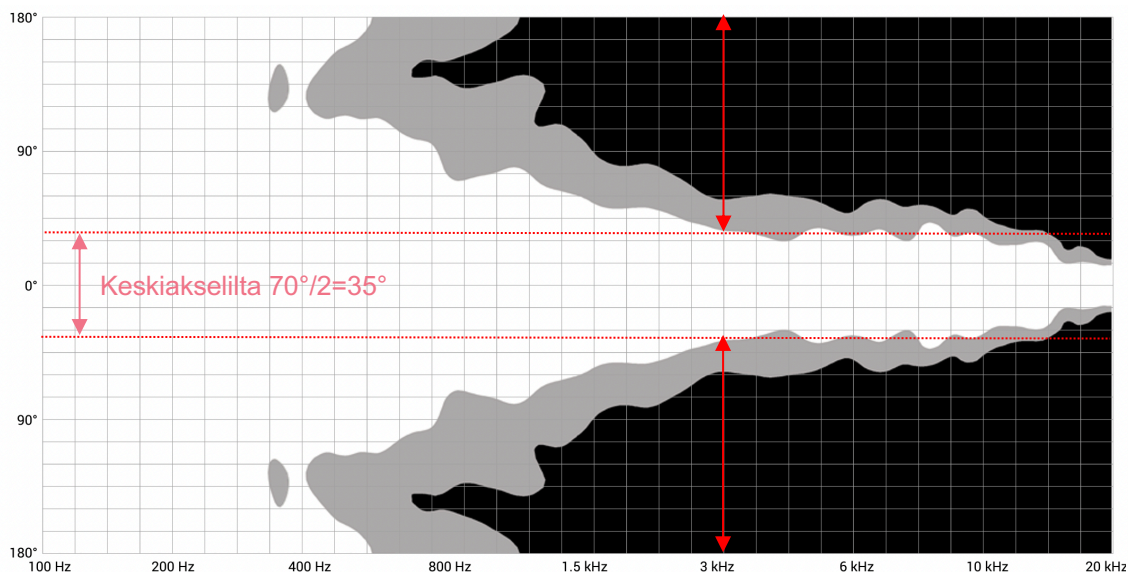
sivuilla tai takana kaiutinelementtejä, joista toistetaan tiettyä taajuuskaistaa sellaisella vaihe-erolla suhteessa kaiuttimen etupuolen elementteihin, että kaistan taajuudet vaimenevat tai kumoutuvat (Kuva 13.)



Kuva 13. Kaiuttimen sivuilla on kaiutinelementit, joiden tarkoitus on vaihe-eron aiheuttamaa vaimenemista ja kumoutumista hyödyntäen vähentää kaiuttimen soimista sivuille ja taakse. Sivulla olevan kaiuttimen toistama taajuuskaista ja vaihe-ero etupuolen kaiuttimiin ovat kaiutintehtaan asettamat, eikä loppukäyttäjä pääse niihin vaikuttamaan. (d&b audiotechnik GmbH 2020, 6, muokattu)

Taajuus, johon saakka kaiutin pitää luvatus dispersionsa, vaihtelee valmistajasta, kaiuttimen koosta ja kaiutinmallista riippuen. Jonkinlaisena karkeana yleistykseenä voidaan ajatella, että usein suunnilleen 1 kHz ja sitä korkeammat taajuudet noudattavat jollain lailla kaiutinvalmistajan antamaa dispersiomääritelmää ja sitä matalammat eivät enää niinkään. Yleistäen voidaan myös sanoa, että mitä pienempi kaiutin, sitä korkeammalla on matalin vielä suuntaava taajuus, johtuen kaiutinelementtien fyysisestä koosta. Osa kaiutinvalmistajista ilmoittaa kaiuttimen suuntaavuuden eri taajuuksilla esimerkiksi käyttöoppaasta löytyvällä isobaari-

sella kaaviolla (Kuva 14). Teknisissä tiedoissa kuitenkin kaiuttimen dispersio ilmoitetaan yleensä yksinkertaisesti antamalla dispersiokulmat horisontaali- ja vertikaalisuunnassa, esim. $70^\circ \times 40^\circ$, ilman tarkentavia taajuustietoja.

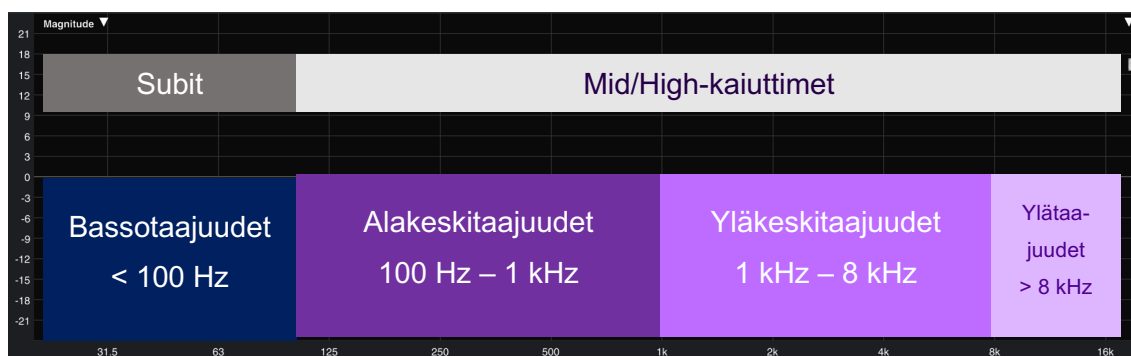


IS7p 70x40 Horizontal Pattern

Kuva 14. Muokattu kuvakaappaus Adamson IS7p-kaiuttimen käyttöohjeesta, jossa isobaarinen kaavio kaiuttimen suuntaavuudesta horisontaalisuunnassa. Kaiuttimen dispersio on ilmoitettu käyttöohjeessa tekstimuotoisesti: ”Nominal Directivity (-6 dB) H x V $70^\circ \times 40^\circ$ ”. Harmaan alueen reuna kertoo kullakin taajuudella, missä kulmassa -6 dB vaimentuma suhteessa keskiakseliin on horisontaalisuunnassa. Kuvaan piirrettyjen punaisten apuviivojen avulla voidaan arvioida, että tämän kaiutin pitää mainitun 70° suuntaavuutensa noin 3 kHz taajuudesta ylöspäin. Matalammilla taajuuksilla ääni säteilee kaiuttimesta laajemmalla avautumiskulmalla. Muutos tapahtuu kuitenkin liukuvasti: esimerkiksi 1,5 kHz kohdalla avautumiskulma on vain hieman laajempi (n. 85°) kun taas 400 Hz ja sitä matalammat taajuudet säteilevät kaiuttimesta joka suuntaan. (Kuva: Adamson Systems Engineering Inc 2021, 9)

Tämän opinnäytetyön termistössä mid/high-kaiuttimen toiminta-alue on jaettu kolmeen osaan: alakeskitaajuudet (low-mid), yläkeskitaajuudet (high-mid) ja ylätaajuudet (hf, high frequencies). Tässä opinnäytetyössä subien toistamalla bassotaajuuksilla tarkoitetaan alle 100 Hz taajuuksia, alakeskitaajuuksilla 100 Hz–1 kHz taajuuskaistaa, yläkeskiäänillä 1–8 kHz taajuuskaistaa ja ylätaajuuksilla yli 8 kHz taajuuksia (Kuva 15.) Lähteestä ja toimintaympäristöstä riippuen näiden termien raja-arvot voivat vaihdella, ja kyse onkin enemmän puhekielessä käyte-

tystä viitteellisestä termistöstä kuin tiukan tieteellisistä raja-arvoista. Niiden käyttäminen kuitenkin helpottaa eri taajuusalueista puhumista silloin, kun aivan tarkkoilla raja-arvoilla ei ole merkitystä.



Kuva 15. Tässä opinnäytetyössä käytetyn termistön selvennys. Muokattu kuva-kaappaus Smaart v8 -ohjelmistosta. Idea esitystapaan Äänentoisto kuntoon! -seminaarista (Kauhanen 2021).

3.4 Äänentoistojärjestelmän suunnitteluun vaikuttavat seikat

Äänentoistojärjestelmää suunniteltaessa tulee ottaa huomioon monia toisiinsa vaikuttavia asioita ja pyrkiä löytämään parhaat kompromissit eri tekijöiden välillä. Omia rajoitteitaan, vaatimuksiaan ja suuntaviivojaan suunnittelutyölle asettavat muun muassa tilan akustiikka ja muoto, käytettävissä oleva kalusto ja budjetti sekä visuaaliset seikat. Muita tärkeitä suunnitteluun vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi tilaisuudessa tarvittava äänenpaine, esiintymislavan ja yleisön sijainti sekä mahdollisuudet kaiuttimien asennuspaikoiksi. Suunnitelmaa työstettäessä suunnittelija tekee ratkaisuja, jotka vaikuttavat siihen, kuinka yleisön edustajat kuulevat toistetun äänen. (McCarthy 2016, 369, 477; Kauhanen 2021; Saarinen 2021).

Kaiutinjärjestelmiä suunniteltaessa ja optimoidessa keskitytään siihen, että niistä kuuluva ääni olisi koko yleisöalueella mahdollisimman samanlainen. Se tarkoittaa muun muassa sitä, että järjestelmää suunniteltaessa ja optimoitaessa pyritään minimoimaan äänenpaineen vaihteluikkuna ja pyritään varmistamaan, että järjestelmän toistama taajuusvaste olisi mahdollisimman samanlainen joka paikassa (McCarthy 2016, 369; Kauhanen 2021, Saarinen 2021). Tärkeää tässä on kuitenkin huomata sana *mahdollisimman*. Akustisessa ympäristössä olevat yleisön

edustajat ovat eri etäisyyksillä kaiuttimista ja kuulevat juuri omaan sijaintiinsa tilan heijastukset omalla ainutlaatuisella tavallaan. Eri taajuudet käyttäytyvät ilmassa eri tavoin, ja erilaiset kaiuttimet toistavat niitä hieman eri tavalla esimerkiksi sivummalla istuville katsojille kuin niille, jotka ovat aivan lavan edessä. (McCarthy 2016, 369–382; Kauhanen 2021.)

3.4.1 Akustiikka

Kotimaisten kielten keskuksen sanakirjan (2023) mukaan akustiikka voi tarkoittaa joko äänioppia – tieteellistä tutkimusalaa, joka tutkii ääntä – tai kaikusuhteita ja kuuluvuutta. Puhuttaessa akustiikasta äänentoiston yhteydessä tarkoitetaan yleensä jälkimmäistä: kuinka paljon tai vähän kyseisessä tilassa on heijastavia pintoja, jotka vaikuttavat tilan sointiin ja jälkikaiunta-aikaan sekä paljonko tilan pinnoissa absorboivia materiaaleja, joista ääni ei heijastu takaisin tilaan. Pidemmät jälkikaiunta-ajat soveltuvat yleensä paremmin akustisille esityksille, kun taas sähköisesti vahvistetut esitykset pysyvät selkeämpinä tiloissa, jotka soivat vähemmän (Adelman-Larsen 2014, 20).

Vain harvoin on tapahtumien järjestämisen yhteydessä mahdollista vaikuttaa siihen, mitä materiaalia tilan seinissä tai katoissa on käytetty, saati muuttaa niitä tapahtumaan paremmin soveltuviksi. Silti tilan akustiikka on yksi tärkeimmistä tekijöistä sen suhteen, miltä äänentoistojärjestelmän toistama materiaali tilassa kuulostaa, sillä tilassa olevista pinnoista heijastuva ääni sekoittuu alkuperäisen äänen kanssa muokaten ja värittäen sen sointia (Kuva 16). (Adelman-Larsen 2014, 5; McCarthy 2016, 318–333; Winer 2018, 2.)

Sound in Rooms

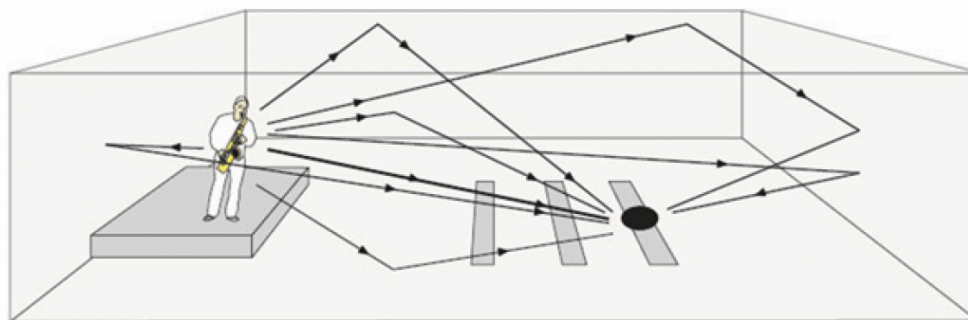


Fig. 1.5 Direct sound and first reflections from various surfaces in a room

Kuva 16. Jokainen huone ja kuuntelupaikka kuulostavat yksilölliseltä, sillä suoran ja heijastuneen äänen suhde vaihtelee akustisessa ympäristössä (Adelman-Larsen 2014, 5).

Joskus tilaisuus järjestetään tilassa, joka on suunniteltu sähköistä vahvistusta hyödyntäviin yleisötapahtumiin. Joissain tällaisissa tiloissa voi olla eri tavoin toteutettuna ns. muunneltava akustiikka, jolloin esimerkiksi erilaisia seinä- tai katopaneeleja avaamalla tai sulkemalla tilan akustiikkaa voidaan muuttaa. Näillä ratkaisuilla pyritään yleensä vaikuttamaan siihen, kuinka paljon tai vähän esimerkiksi tilan katto, seinät tai muut laajat pinnat heijastavat niihin osuvaa ääntä takaisin huoneeseen. Yleensä sähköisesti vahvistetun musiikin osalta heijastuksia ja niiden muodostamaa jälkikaiunta-aikaa pyritään vähentämään, kun taas akustisesti esitettyyn musiikki kaikuisampi, soivampi, huone sopii paremmin (Adelman-Larsen 2014, 20). On olemassa myös esiintymistiloja, joissa akustiikkaa on mahdollista manipuloida sähköisen järjestelmän avulla.

Paljon tilaisuuksia kuitenkin järjestetään myös tiloissa, joiden ensisijainen käyttötarkoitus on ainakin alun perin ollut jokin muu kuin elävän musiikin esittäminen. Näistä ehkä helpoiten ymmärrettävä esimerkki on suomalaiseseen pop-musiikkiin kuuluvat areenakonsertit, jotka järjestetään usein jääkiekko-otteluita tai muita urheilutapahtumia varten suunnitelluissa ja rakennetuissa tiloissa. Uudemmat tällaiset tilat rakennetaan kuitenkin nykyään usein monitoimitiloiksi, ja niiden suunnittelussa saatetaan ottaa huomioon myös mahdollinen tuleva käyttö konserttiareenana (Laukkanen 2023).

Tapahtuman äänentoistojärjestelmän suunnittelija ei yleensä voi tehdä paljokaan ottaakseen tilan akustiikkaa huomioon kaiutinsuunnitelmassaan. Aikatauluja budjettisyyistä kaikuosan tilan akustoiminen konserttia varten ei yleensä ole mahdollista. Joskus kiertävän tuotannon on mahdollista tuoda mukanaan paksua kangasta olevia verhoja, joilla voidaan peittää osa kovista pinnoista aivan pahimpien heijastusten välttämiseksi. Nämä verhoratkaisut ovat toki askel kohti parempaa, mutta mikään oikotie onneen muutaman millin paksuinen verho ei ole, sillä ne vaimentavat vain aivan korkeimpia, lyhytaaltoisimpien taajuuksien heijastuksia. Kaiuttimien suuntauksessa voidaan pyrkiä vähentämään äänen osumista heijastaviin pintoihin niiltä osin, kuin se ei liikaa vähennä äänen osumista yleisöalueelle. Suurissa halleissa ongelmaksi voi muodostua myös bassotaajuuksien jääminen soimaan tilaan, mikäli niiden vaimentamista ei ole otettu jo tilan rakennusvaiheessa huomioon. (Laukkanen 2023.)

3.4.2 Äänenpaine

Musiikkitapahtumassa tarvittava äänenpaine (Sound Pressure Level, SPL) on otettava huomioon äänentoistojärjestelmän suunnittelussa (McCarthy 2016, 189–191; Kauhanen, 2020; Saarinen, 2021). Äänenpaine itsessään on fysikaalinen, mitattavissa oleva suure, mutta mittaustulosten tulkinta ei ole aivan yhtä suoraviivaista kuin vaikkapa pituuden tai painon ilmoittaminen senttimetreinä tai kilogrammoina. Äänenpainetta voidaan mitata esimerkiksi eri taajuuskaistoilta, erilaisilla painotuksilla, eri paikoista suhteessa äänilähteeseen, erilaisilla aikajaksoilla ja erilaisiin referensseihin verraten. (Talbot-Smith 1999, 1.13; Ballou 2009, 1.3.1; McCarthy 2016, 106–108.)

Äänenpainetta kuvataan äänentoistojärjestelmistä puhuttaessa yleisimmin yksiköllä dB (desibeli), joskin tieteellisemmissä tutkimuksissa käytetään myös paineen yksikköä μPa (mikropascal) (Blomberg & Lepoluoto 2005, 29; Karjalainen 2009, 18). Desibeli on suhdeyksikkö, ja se tarvitsee aina referenssin. Esimerkiksi 90 dB ei tarkoita mitään, vaan desibelejä käytettäessä tulee aina ilmoittaa, mihin annettua määrää desibelejä verrataan (Winer 2018, 1.) Voidaan esimerkiksi sanoa, että äänenpaine eturivissä on 6 dB voimakkaampi kuin keskellä yleisöalu-

etta, jolloin eturivin äänenpainetta verrataan yleisöalueen keskellä olevaan äänenpaineeseen. Tämä luku ei kuitenkaan kerro mitään siitä, oliko mitattu äänenpaine hiljaista vai voimakasta. Desibeli on logaritminen mittayksikkö.

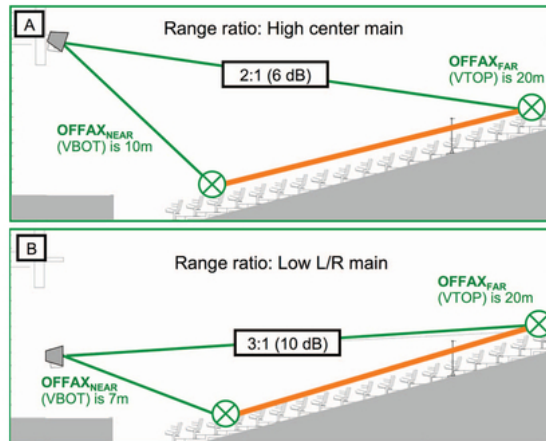
Yleisesti käytössä oleva referenssipiste, vertailukohta, on kuulokynnys, joka ilmoitetaan muodossa 0 dB SPL. Sama äänenpaine voitaisiin ilmoittaa mikropascalina: kuulokynnyksen rajana pidetään äänenpainetta, jonka voimakkuus on 20 μPa . 0dB SPL ei siis ole täydellinen hiljaisuus, vaan hiljaisin äänenpaine, joka on ihmiskorvin sen herkimmällä taajuuskaistalla mahdollista havaita. Käytettäessä referenssinä kuulokynnystä muuttuvat desibelit suhteellisista arvoista absoluuttisiksi arvoiksi, sillä niiden referenssikin on absoluuttinen, tieteellisesti mitattavissa oleva arvo. (Maltby 2016; Winer 2018, 1; Kauhanen 2021.)

Esimerkiksi 30 dB SPL tarkoittaa 30 dB voimakkaampaa äänenpainetta, kuin kuulokynnys. Tällainen äänenpainetaso vastaa käytännössä esimerkiksi hiljaista äänitysstudiota. (Davis & Jones 1990, 25–26; Talbot-Smith 1999, 1.13; Blomberg & Lepoluoto 2005, 29.)

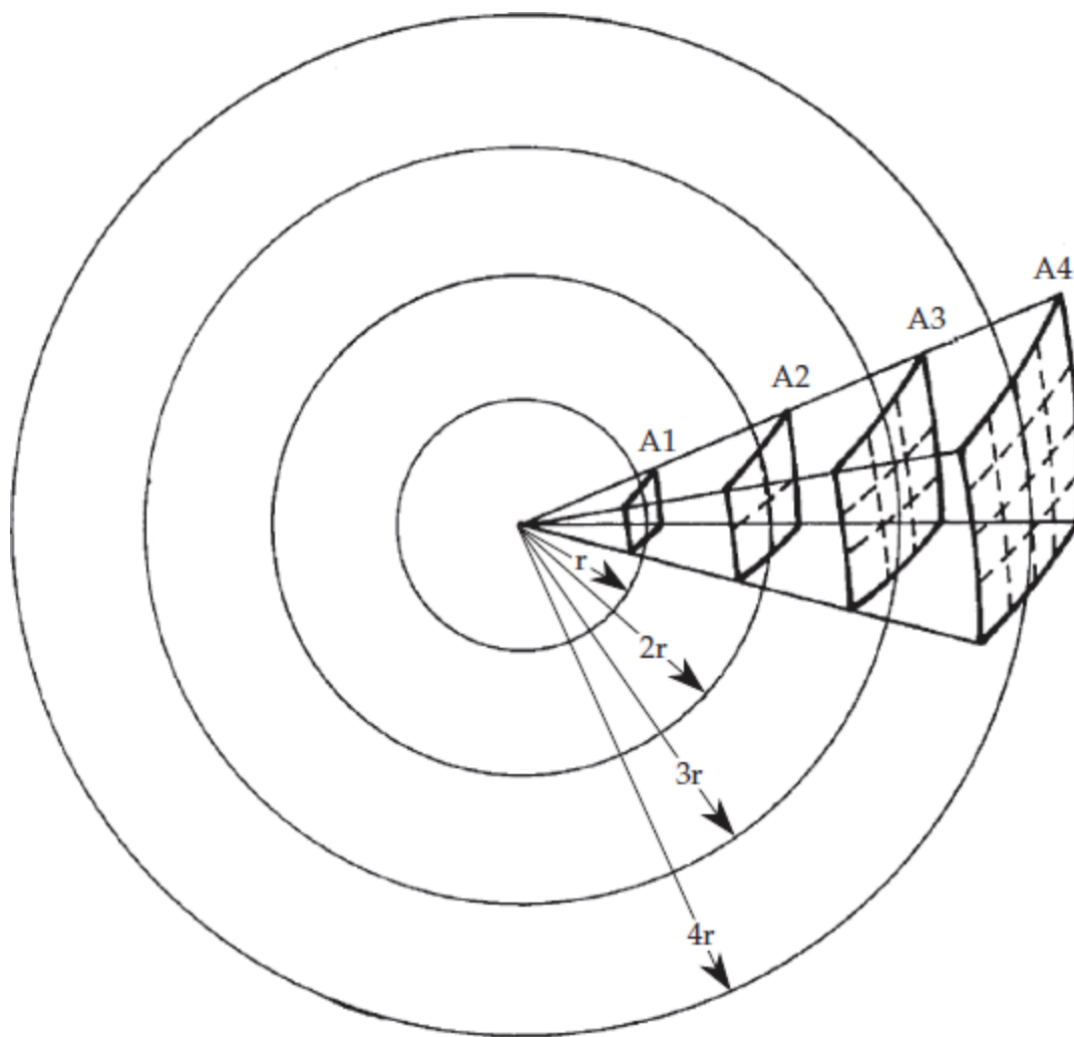
Desibeliä käytetään ilmaisemaan äänisignaalin voimakkuutta myös sähköisessä ympäristössä. Esimerkiksi käsiteltäessä digitaalista ääntä tarkoittaa merkintä 0 dBFS tason absoluuttista maksimia, voimakkainta mahdollista ääntä, joka vielä tallentuu tai siirtyy järjestelmässä särötytmättä (Winer 2018, 1.) On siis tärkeää huomata, että desibeleistä puhuttaessa pelkkä numero ei tarkoita mitään. Numeron lisäksi tarvitaan aina tarkentava tieto siitä, millaisista desibeleistä puhutaan (Ballou 2009, 1.3.1.1.)

Suurimpana hyväksyttynä äänenpaineen vaihteluvälinä yleisöalueella pidetään 6 dB (Davis, Patronis & Brown 2013, 9.1.1; McCarthy 2016, 794; Kauhanen 2021.) Valmistajat ilmoittavat kaiuttimien suuntakuvion (dispersio) sen mukaisesti, kuinka monta astetta keskiakselilta voi mennä sivuun ennen kuin taso on tippunut 6 dB keskiakseliin verrattuna. Aivan samoin voidaan ajatella, että kun taso on tippunut keskiakselilla 6 dB, kaiuttimen tai kaiutinjärjestelmän kattavuusalue on päättynyt.

Käänteisen neliön lain mukaisesti (inverse square law) äänenpaine putoaa 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessaa (Kuva 18) (Everest & Pohlmann 2022, 3.2–3.3). Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli kaiuttimesta on lähimpään kuuntelijaan matkaa 3 metriä, on kriittinen -6 dB muutos saavutettu 2 x 3 m eli kuuden metrin päässä kaiuttimesta. Jos samainen kaiutin asennetaan esimerkiksi korkeammalle ja näin saadaan etäisyyttä ensimmäiseen kuuntelijaan kasvatettua viiteen metriin, saadaan kattavuusaluetta kasvatettua 10 metriin saakka (Kuva 17).

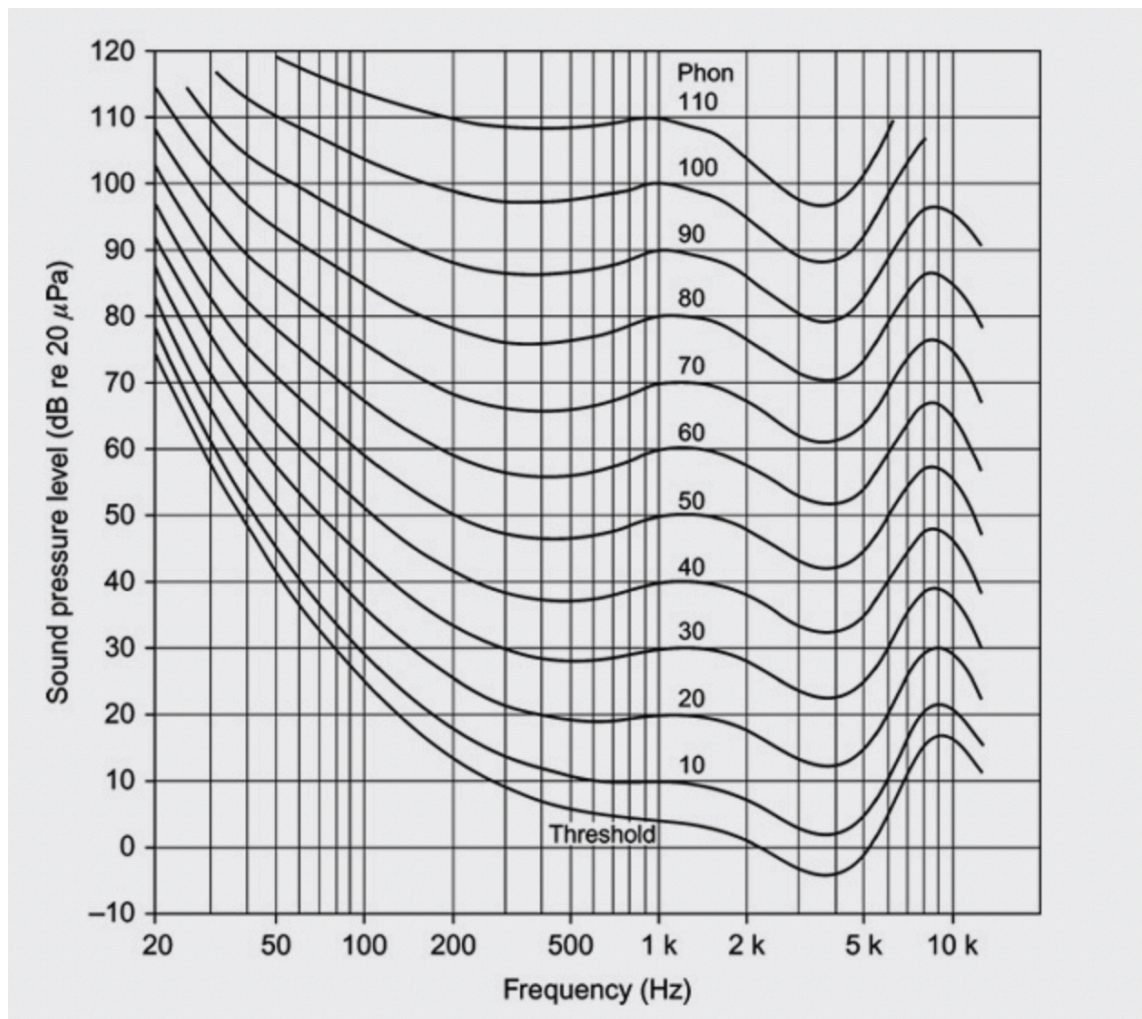


Kuva 17. Äänenpaineen vaihteluväli kuvassa A on 6 dB. Kuvassa B kaiutin on tuotu alemmas, jolloin suhteellinen etäisyys etummaisten ja takimmaisten kuuntelijoiden välillä kasvaa suuremmaksi ja äänenpaineen vaihteluväli nousee. (McCarthy 2016, 373.)

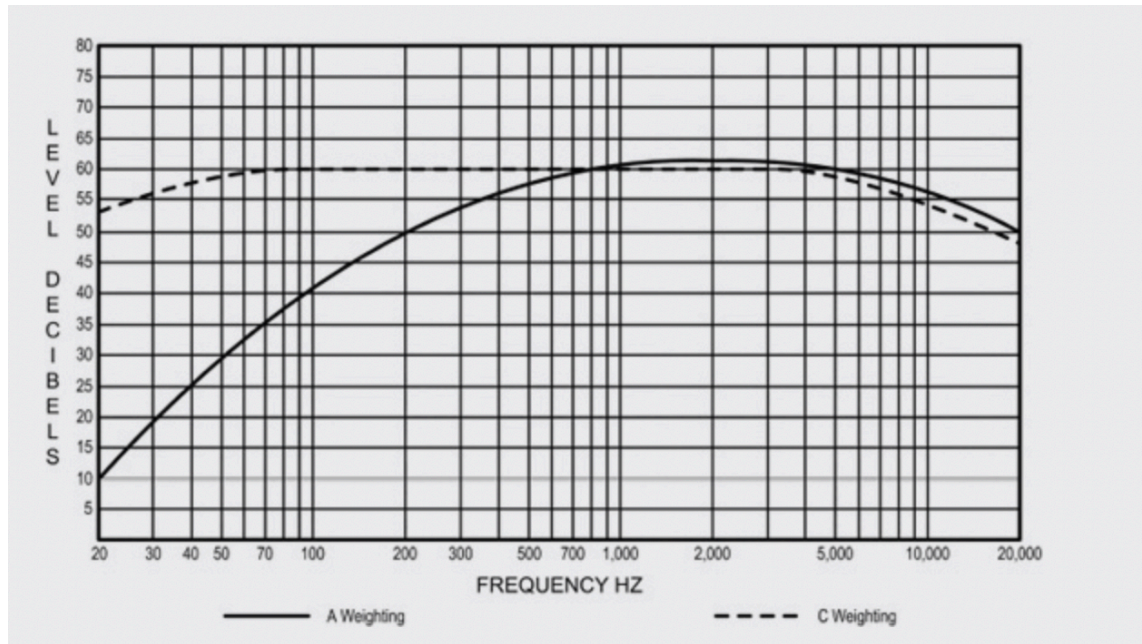


Kuva 18. Käänteisen neliön laki graafisena esityksenä. Ääni etenee ilmassa pallon tavoin laajentuen. Mitä pidemmälle alkuperäinen energia etenee, sitä suuremmalle alueelle se jakautuu. (Everest & Pohlmann 2022, 3.2–3.3.)

Desibelejä voidaan mitata erilaisin painotuksin. Painotuksista yleisimmin tapahtumien äänentoiston yhteydessä käytetyt ovat A- ja C-painotukset (Kuva 20). Eri painotukset ottavat mitatusta datasta huomioon vain osan, joten sama mitattu ääni voi antaa hyvinkin erilaisia lukuja riippuen siitä, käytetäänkö A- vai C-painotusta. Painotuksilla pyritään imitoimaan ihmiskorvaa, joka on herkimmillään keskialueella ja epäherkimmillään matalilla ja aivan korkeimmilla taajuuksilla (Kuva 19.) Tämä kuitenkin vaihtelee riippuen siitä, mikä äänenpaineen taso on: A-painotus imitoi korvan toimintaa hiljaisemmillä ja C-painotus kovemmillä äänenvoimakkuuksilla. Äänenpaineen noustessa taajuuskohtaiset erot kuulon herkkyydessä tasoittuvat. (Maltby 2016; Winer 2018).



Kuva 19. Fletcher-Munsonin käyrän mukaan kuuloaisti toimii eri äänenvoimakkuuksilla eri tavoin. Korva on aina herkin kuulemaan tärkeimmät puhetaajuudet (noin 400Hz–5kHz) ja sen ulkopuolelle jäävien taajuuksien äänenpaineen tulee olla korkeampi, jotta ne kuulostavat ihmiskorvaan yhtä voimakkaalta kuin keski-alueen taajuudet. Ero tasoittuu, kun äänenvoimakkuus nousee. (Winer 2018, 3.)



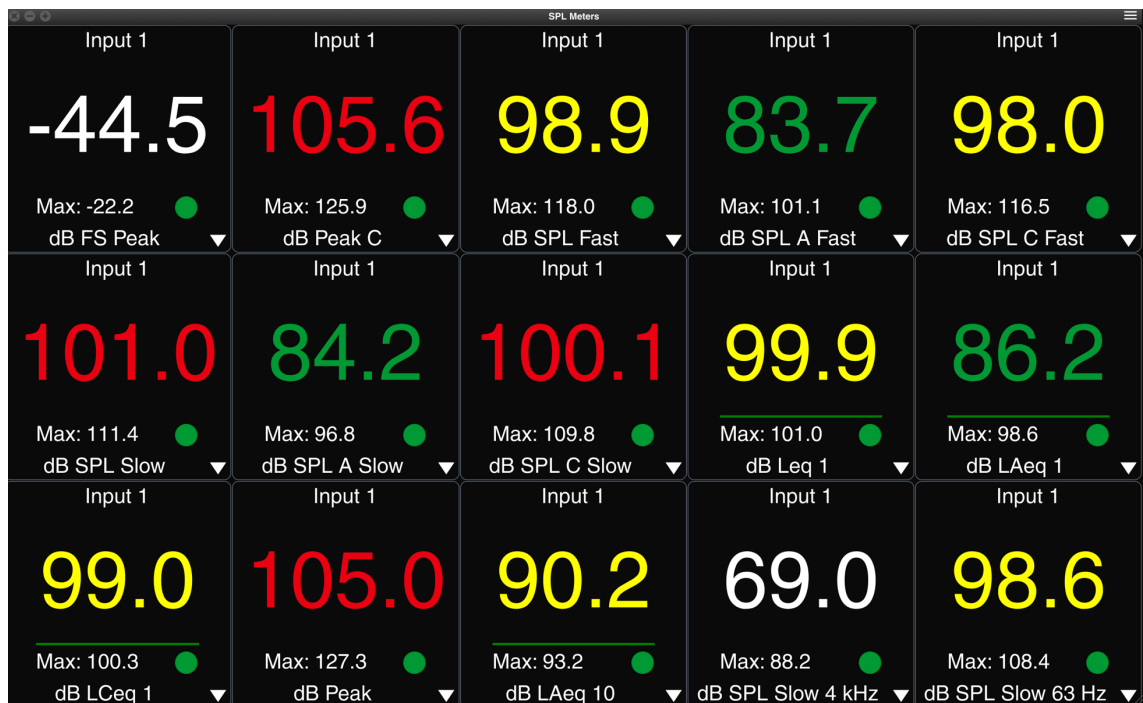
Kuva 20. Yhtenäinen viiva kuvaa A-painotusta mitattaessa äänenpainetta ja katkoviiva C-painotusta (Winer 2018, 19).

Äänenpainemittauksia tehdään myös painottamattomina. Aiemmin puhuttiin lineaarisesta mittauksesta, mutta nykyään käytetään termiä Z-painotus (zero weighting), joka määrittää myös tarkasteltavan taajuusalueen. Z-painotettuna äänenpaineen laskentaan otetaan huomioon kaikki taajuudet välillä 10 Hz – 20 kHz ilman taajuuskohtaisia vaimentumia tai korostuksia. (Maltby 2016.)

Mitattuun äänenpainearvoon vaikuttaa myös käytetty aikaikkuna. Äänenpainetta voidaan mitata hetkellisesti aikapainotettuna, tai pidempänä, minuuttien tai tuntien mittaisena kertymänä. Hetkellisen äänenpaineen mittaamiseen käytetään yleensä eurooppalaisen standardin mukaisesti aikapainotuksia F (fast) tai S (slow). F tarkastelee äänenpainetta 125 ms aikajaksolla ja S yhden sekunnin mittaisella aikajaksolla (SFS-EN 61672-1 2014, 24). Samaa ääntä tarkasteltaessa hetkellinen äänenpaine näyttäytyy sekä suurempina että pienempinä lukuina kuin pidemmältä ajalta laskettu kertymä. A-painotettu viiden minuutin kertymä rock-festivaalilla voi olla esimerkiksi 98 dB SPL, mutta hetkellinen äänenpaine voi käväistä esimerkiksi lukemissa 105 dB SPL A Slow tai olla vaikkapa vain 85 dB SPL A Slow. Kyseessä on silti sama mitattu ääni, toinen hetkellisesti, toinen pidemmältä ajalta tarkasteltuna.

Mitattavan äänenpaineen taajuuskaistaa voidaan myös rajoittaa kattamaan esimerkiksi vain tietty kapeampi taajuuskaista. Tällaisia mittauksia harvemmin käytetään tapahtumien äänenpaineen mittauksissa, mutta monissa kaiutinsuunnitelmaohjelmistoissa äänenpainetta simuloidaan esimerkiksi oktaavin levyisellä kaistalla, jonka keskitaajuuden käyttäjä pystyy määrittämään itse.

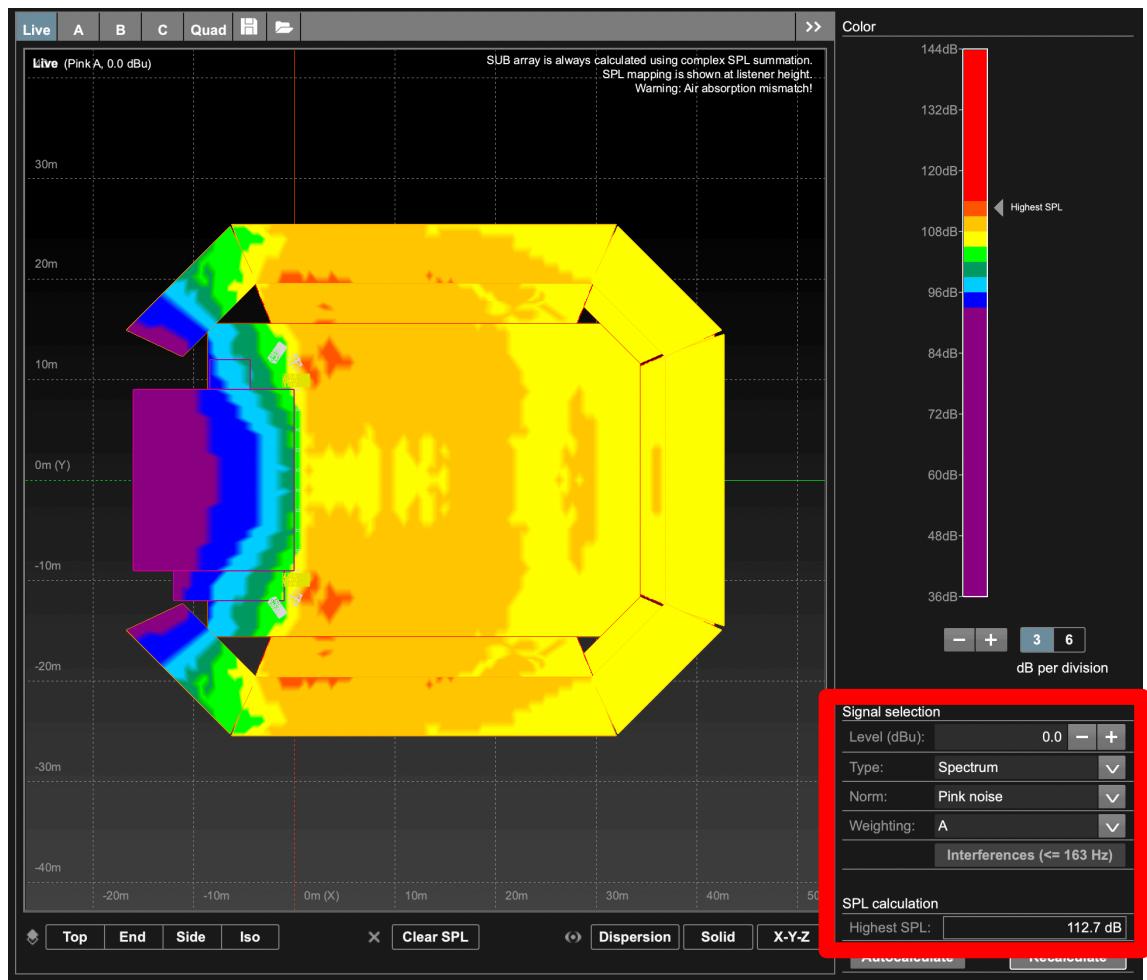
Kuva 21 on kuvakaappaus äänenpainetta mittaavan ohjelmiston (Smaart Suite v9) ikkunasta, jossa mikrofonin poimimaa äänenpainetta mitataan eri painotuksin, aikaikkunoin ja erilaisilla kaistoilla. Mukana on esimerkiksi hetkellistä ääntä aikapainotuksella F mittaava näyttö (dB SPL Fast), vain tiettyä oktaavikaistaa aikapainotuksella S mittaava näyttö (dB SPL Slow 4kHz) sekä viimeisen 10 minuutin äänenpainekertymää A-painotettuna laskeva näyttö (dB LAeq 10). Mukana on eri painotuksilla ääntä mittaavia näyttöjä (A, C tai sen puuttuessa painottamaton), jotka kertovat mitkä kaikki taajuusalueet mittaukseen otetaan mukaan. Kaikissa näissä näytöissä on lähteenä yksi ja sama mikrofoni, joka näkyy jokaisen näytön yläreunassa nimellä Input 1. Kuvan tarkoituksena on havainnollistaa sitä, että desibeleistä puhuminen ei ole aivan yksinkertaista.



Kuva 21. Kuvakaappaus Smaart Suite -mittausohjelmiston äänenpainemittausikkunasta, johon on laitettu 15 erilaista tapaa näyttää mitattu äänenpaine desibeleinä. Idea esitystavasta Äänentoisto kuntoon! -seminaarista (Kauhanen 2021).

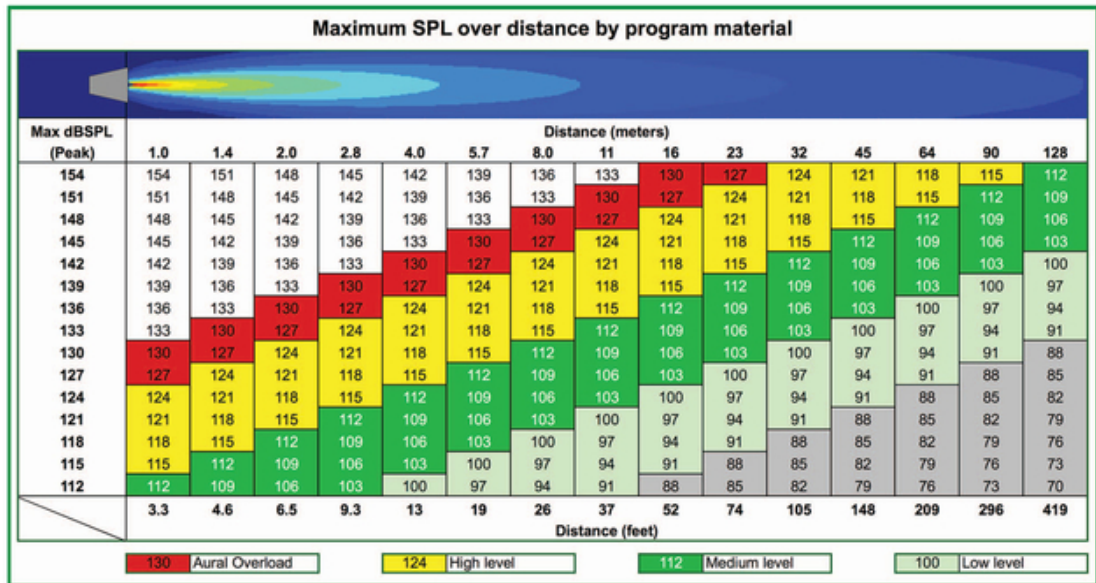
Mitattaessa äänenpainetta musiikkitapahtumassa, voivat saadut luvut vaihdella myös sen mukaan, mistä mitataan. Ilman äänentoistoa musiikki soi voimakkaimmin lähimpänä soittajia ja vaimenee etäisyyden kasvaessa esiintyjiin. Äänentoistojärjestelmillä tätä vaimentumaa voidaan vähentää. Silti on todennäköistä, että eturivissä on enemmän äänenpainetta kuin aivan perimmäisessä penkissä. Lähempänä lavaa äänijärjestelmän vahvistamaan ääneen sekoittuu myös lavalta suoraan vuotava ääni, mikä osaltaan voi nostaa mitattua äänenpainetta siellä. Usein moderneissa äänentoistojärjestelmissä on ainakin osa subwoofer-kaiuttimista sijoitettu lavan eteen tai sivuille maahan, minkä takia lähempänä lavaa niiden ääni kuuluu voimakkaampana kuin kauempana, vaikka korkeammista taajuuksista vastaavat kaiuttimet olisikin saatu sijoitettua ja optimoitua siten, että yleisöalue pysyy niiden tuottaman äänen osalta tasaisempana. Näin ollen mitattaessa äänenpainetta konsertissa, on tärkeää käytetyn painotuksen ja aikaikkunan lisäksi ilmoittaa myös, mistä kohdasta mittausta on tehty.

Tilaisuuden luonteeseen nähden riittävä äänenpaine voi olla haastavaa määrittää pelkästään suunnitteluohjelman avulla. Kaikki yleisesti käytössä olevat ohjelmat kyllä antavat jonkinlaisia lukuja äänenpaineen osalta, mutta niiden soveltaminen tosielämään vaatii kokemusta ja kyseisen ohjelmiston sekä käytössä olevan laitteiston tuntemista etukäteen, kuten myös jossain määrin ymmärrystä kyseisen musiikkityylin asettamista vaatimuksista kaiutinjärjestelmän toiminnalle. Ohjelmat osaavat yleensä ilmoittaa numeroita teoreettisen suoran äänen osalta, mikäli järjestelmästä soitetaan esimerkiksi kohinaa tasaisella voimakkuudella. Todellisuudessa esitettävä ohjelmamateriaali on harvoin tasaista kohinaa, eikä mallinnus suoraan kerro kuinka järjestelmä dynaamisen ohjelmamateriaalin vaatimuksista suoriutuu. Myös esimerkiksi eri musiikkityyleillä on tyypillisesti erilaisia vaatimuksia järjestelmän äänenpaineelle. Osaavissa käsissä suunnitteluohjelmistojen antamat luvut ovat kuitenkin hyödyllisiä työkaluja.



Kuva 22. Ohjelmisto kertoo järjestelmän korkeimman äänenpaineen kohinalla A-painotettuna (Highest SPL). Korkein äänenpaine on punaisella näkyvillä alueilla. Yksi väri on tässä ikkunassa määritetty kuvaamaan 3dB vaihteluväliä. Kuvan perusteella järjestelmä kykenisi siis tuottamaan keltaisella ja oranssilla värjättyillä alueilla 103,7–109,7 dB SPL A-painotettuna, mutta käyttäjän tehtäväksi jää arvioida, onko se riittävästi. (Kuvakaappaus d&b ArrayCalc-suunnitteluohjelmistosta, muokattu)

Vaikka riittävän äänenpaineen määrittely tapahtumaan voikin perustua pitkälti kokemukseen, antaa äänijärjestelmien suunnittelun ja optimoinnin pioneeri ja arvostettu asiantuntija Bob McCarthy (2016) kirjassaan työkaluja määrittelyn tueksi. McCarthy esittelee taulukon, johon on laskettu kaiuttimen äänenpaine eri etäisyyksillä sen maksimiäänepaineesta vaimentuneena (Kuva 23). Taulukon värit antavat lukijalle osviittaa äänenpaineen tason kokemuksesta: vaaleanvihreä low level (hiljainen taso), tummanvihreä medium level (keskitaso), keltainen high level (voimakas taso) ja punainen aural overload (kuulon säröytyminen). (McCarthy 2016, 125–126.)



Kuva 23. McCarthy (2016, 125) taulukko auttamaan sopivankokoisen kaiuttimen valinnassa tilaisuuden ohjelmamateriaalin ja katettavan alueen mukaisesti

Taulukon tueksi McCarthy (2016) jakaa kaiuttimet maksimiäänepaineen ja teknisten ominaisuuksien mukaan neljään luokkaan. Luokka 1 edustaa pienimpiä kaiuttimia sekä elementtiensä koon puolesta että maksimiäänepaineen osalta, ja niitä McCarthy suosittelee käyttämään lähinnä taustamusiikkikaiuttimina tai hyvin pienissä tiloissa puheen vahvistamiseen. Hän mainitsee, että tähän luokkaan kuuluvien kaiuttimien suuntakuvio on yleensä laaja sekä horisontaali- että vertikaalisuunnassa. Tällaisia ovat pienikokoiset point source -kaiuttimet. Luokkaan 4 puolestaan kuuluvat isot ja erittäin kovaääniset kaiuttimet, joiden suuntakuvio on erittäin kapea ainakin toisessa suunnassa – käytännössä suuret line array -järjestelmät. Nämä kaiuttimet soveltuvat McCarthy mukaan suuriinkin esiintymistiloihin. Luokkiin kaksi ja kolme on jaettu näiden ääripäiden väliin jäävät kaiuttimet. Tekstissä todetaan, että pienemmän luokan kaiuttimet sopivat usein apukaiuttimiksi järjestelmään, jossa pääkaiuttimina on pykälää tai kahta isomman luokan kaiuttimia. (McCarthy 2016, 126.)

McCarthy (2016) taulukosta (Kuva 23) voikin olla hyötyä antamaan suuntaviivoja järjestelmäsuunnitteluun. Mikäli kaiuttimen maksimiäänepaineeksi luetaan vaikkapa 118 dB SPL, voi taulukon avulla todeta, että jo 8 metrin päässä äänenpaine on enää low level, hiljaisella tasolla, joten kovin isoa konserttia ei näillä kaiuttimilla kannattane yrittää järjestää. Vaikka taulukon antamat luvut äänen vaimenemisesta ovatkin matematiikkaa, on mukana silti myös McCarthy

pitkän kokemuksen mukanaan tuomaa tulkintaa, kun hän määrittelee raja-arvoja high ja medium levelille. Lukijan tehtäväksi kuitenkin jää määritellä milloin tarvitaan high level ja milloin medium tai jopa low level saattaisi riittää. Äärimmäiset esimerkit lienee helppo esittää: teknobileet vaativat enemmän äänenpainetta kuin kamarimusiikkikonsertti. Paljon jää silti välimaastoon. Tästä huolimatta McCarthyn taulukon tutkimisesta yhdessä kaiuttimien luokittelukuvausten kanssa voi olla hyvä lähtökohta kaiutinmallia tilaisuuteen valitessa. (McCarthy 2016, 125–126.)

Äänijärjestelmien suomalainen asiantuntija Ville Kauhanen (2021) esitti seminaarissaan saman teeman ympärille hieman erilaisen lähestymistavan. Hän esitteli malliksi listan erityyppisistä kaiuttimista, johon oli koottu niiden teknisiä tietoja: maksimiäänepaine sekä kaiuttimen sisältämät kaiutinelementit. Lisäksi lista sisälsi Kauhasen arvion pisimmästä kaiutintyypille soveltuvasta työmatkasta. (Kauhanen 2021.)

Kauhasen (2021) ajatus maksimityömatkasta perustuu kaiuttimien maksimiäänepaineen lisäksi sen suuntaavuuteen, joka vaikuttaa suoran ja heijastuneen äänen suhteeseen yleisöalueella: suuntaavampi kaiutin pitää suoran ja heijastuneen äänen suhteen parempana pidemmälle. Listaus yhdistelee Kauhasen laajaa kokemusta ja kaiuttimen fyysisiä ominaisuuksia, eikä sitä ole tarkoitus tulkita pilkuntarkasti. Kuten McCarthyn taulukkokin (Kuva 23), se kuitenkin antaa hyviä lähtökohtia järjestelmän kaiutinvalinnoille. Kauhasen listauksen kaiuttimien mallia tai merkkiä ei ole ilmoitettu, mutta teknisiltä ominaisuuksiltaan vastaavantyyppiset kaiuttimet löytynevät pitkälti kaikilta ammattikäyttöön soveltuvien laitteistojen valmistajilta. Kauhanen muistuttikin seminaarissaan, että tällaisen taulukon voi jokainen laatia oman työpaikkansa kaiuttimista helpottamaan kaiutinvalinnan arviointia juuri niillä työkaluilla, jotka tekijällä itsellään on käytettävissä. (Kauhanen 2021.)

Kauhasen (2021) mukaan työmatkoja vertaamalla voi myös arvioida eri työtehtävissä toimivia kaiuttimia: mikäli pääkaiuttimen työmatka on 10 metriä ja jonkin apukaiuttimen työmatka vain 5 metriä, voi apukaiutin olla maksimiäänepaineeltaan 6 dB pienempi, sillä sen työmatka on puolet lyhyempi kuin pääkaiuttimen. Tämä perustuu käänteiseen neliön lakiin, jonka mukaan äänenpaine vaimenee 6

dB aina, kun etäisyys kaksinkertaistuu (Everest & Pohlmann 2022, 3.2–3.3). Kauhasen listaus (Kuva 24) ei kuitenkaan ota mitään kantaa ohjelmamateriaaliin, kuten McCarthyn (Kuva 23). Seminaarissa Kauhanen totesi, että hän itse tulkitsee listaamansa työmatkan tarkoittavan etäisyyttä, jonka puitteissa kokee pärjäävänsä kyseisellä kaiutintyyppillä aina. Käytännön työelämässä näistä maksimietäisyyksistä on toisinaan tingittävä. (Kauhanen 2021.)

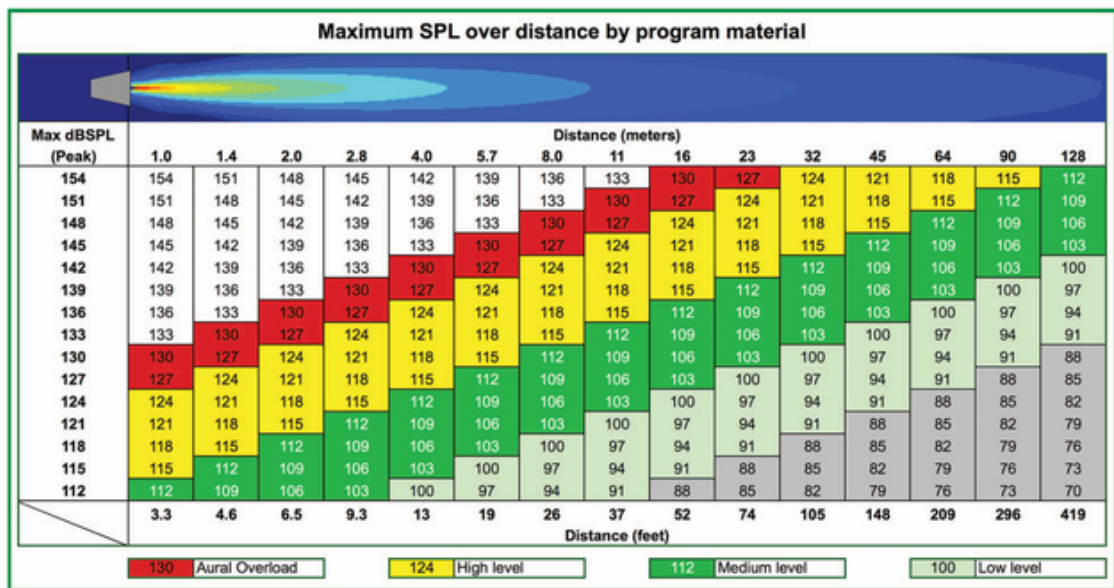
Loudspeaker type	Working Distance	Relative SPL	Ratio	dB SPL Max Peak	LF	MF	HF
Small point source	7m	-7dB	0,45	129 dB	8"		1"
Mid size point source	15m	0	1	136 dB	2 x 8"		1,4"
Large point source	22,5m	+3dB	1,5	139 dB	2 x 10"	1 x 8"	1,4"
Small line array	9m	-4dB	0,6	132 dB	2 x 6,5"		1"
Mid size line array (2-way)	21m	+3dB	1,4	139 dB	2 x 8"		1"
Mid size line array (3-way)	30m	+6dB	2	142 dB	2 x 10"	1 x 8"	1,4"
Large line array	42m	+9dB	2,8	145 dB	2 x 10" + 2 x 8"	1 x 8"	2 x 1,4"
Very large line array	75m	+14dB	5	150 dB	2 x 14" + 2 x 10"	1 x 10"	3 x 1,4"

Kuva 24. Kauhasen koostama listaus erityyppisistä kaiuttimista ja niiden työmatkan arviointia kaiuttimen ominaisuuksien perusteella (Kuvakaappaus Kauhasen seminaarin suoratoistotallenteesta 2021)

Kauhasen (2021) esimerkissä suurikokoisella point sourcella ja keskikokoisella 2-tie-line-arrayllä on kaiutintehtaan mukaan sama maksimiäänepaine, mutta silti Kauhanen arvioi suurikokoisen point sourcen työmatkan olevan 1,5 metriä pidempi kuin mainitun line arrayn. Kaiuttimien toistama taajuusalue on point sourcen osalta jaettu kolmelle erilaiselle kaiutinelementtityypillä (LF, MF ja HF – Low, Mid ja High frequencies), line arrayn tapauksessa vain kahdelle (LF ja HF). Lisäksi line arrayn elementit ovat pienempiä ja näin ollen todennäköisesti huonommin suuntaavia. (Kauhanen 2021.) Kauhasen kokemuksen ja kaiuttimien eroavien ominaisuuksien perusteella näille kahdelle kaiutintyyppille on määritelty hienon erilainen maksimityömatka, vaikka niiden maksimiäänepaine onkin sama. Pitää kuitenkin muistaa, että taulukko on alun perinkin suuntaa antava, joten puoleltoista metrin eroa työmatkassa ei kannattane ottaa liian kirjaimellisesti. Se kuitenkin havainnollistaa konkreettisesti, että pelkkä maksimiäänepaine ei välttämättä riitä parhaan mahdollisen kaiuttimen arviointiperusteeksi.

Vertaamalla Kauhasen (2021) seminaarissaan esimerkkeinä käyttämien kaiutintyyppien ominaisuuksia ja maksimityömatkoja McCarthyn (2016) taulukkoon

(Kuva 23), voidaan kuitenkin todeta, että Kauhasen arvioimat työmatkat kaiutintyypeittäin ovat samansuuntaisia kuin McCarthyn näkemys kaiuttimen high level -työalueesta. Kauhanen on arvioinut soveltuvat työmatkat hieman pidemmiksi kuin McCarthyn high level -alue, jolloin kaikkien esimerkkien kohdalla päädytään McCarthyn medium level -alueen alkuun (Kuva 25). McCarthyn kaiutinluokittelussa toistuvat samat teemat kuin Kauhasen listauksessa: kovaäänisemmissä kaiuttimissa on usein myös suuremmat kaiutinelementit ja ne ovat suuntaavampia. (McCarthy 2016, 125–126.)



Kuva 25. McCarthyn (2016, 125) taulukkoon on ympyröity violetilla Kauhasen (2021) arvioimat soveltuvat työmatkat erityyppisille kaiuttimille niiden maksimiäänepainetta vertailukohtana käyttäen. Muokattu kuvakaappaus.

Taulukko 1 on koottu Kauhasen (2021) listaamia kaiuttimia vastaavat McCarthyn (2016) arviot samantyyppisistä kaiuttimista. McCarthyn taulukosta on vertailuun otettu lähin listattu maksimiäänepainetta, mikäli tismalleen samaa maksimiäänepainetta ei taulukosta löytynyt, kuin Kauhasen listauksessa olevilla kaiuttimilla. (McCarthy 2016, 125; Kauhanen 2021.)

Taulukko 1. Yhdistelmä McCarthy'n ja Kauhasen näkemyksistä riittävän äänenpaineen tuottavan kaiuttimen valintaan. (McCarthy 2016, 125–126; Kauhanen 2021.)

Kaiuttimen Max SPL	McCarthy Luokka*	McCarthy arvio elementin koosta	Kauhasen esimerkissä elementin koko	McCarthy High level - alue (m)	Kauhanen kaiuttimen maksimiyömatka (m)
129	Luokka 2	5–8"	8"	5,7	7
132	Luokka 3	6,5–12"	6,5"	8	9
136	Luokka 3	6,5–12"	8"	11	15
139	Luokka 3	6,5–12"	8–10"	16	21–22,5
142	Luokka 4	10–15"	10"	23	30
145	Luokka 4	10–15"	10"	32	42
150	Luokka 4	10–15"	14"	64	75
*McCarthy'n luokat: Luokka 1: Erittäin rajoitetut käyttökohteet Luokka 2: Rajoitetusti pieniin-keskisuuriin tiloihin Luokka 3: Monipuolisesti pieniin-keskisuuriin tiloihin Luokka 4: Monipuolisesti keskisuuriin-suuriin tiloihin					

3.4.3 Tonaliteetti

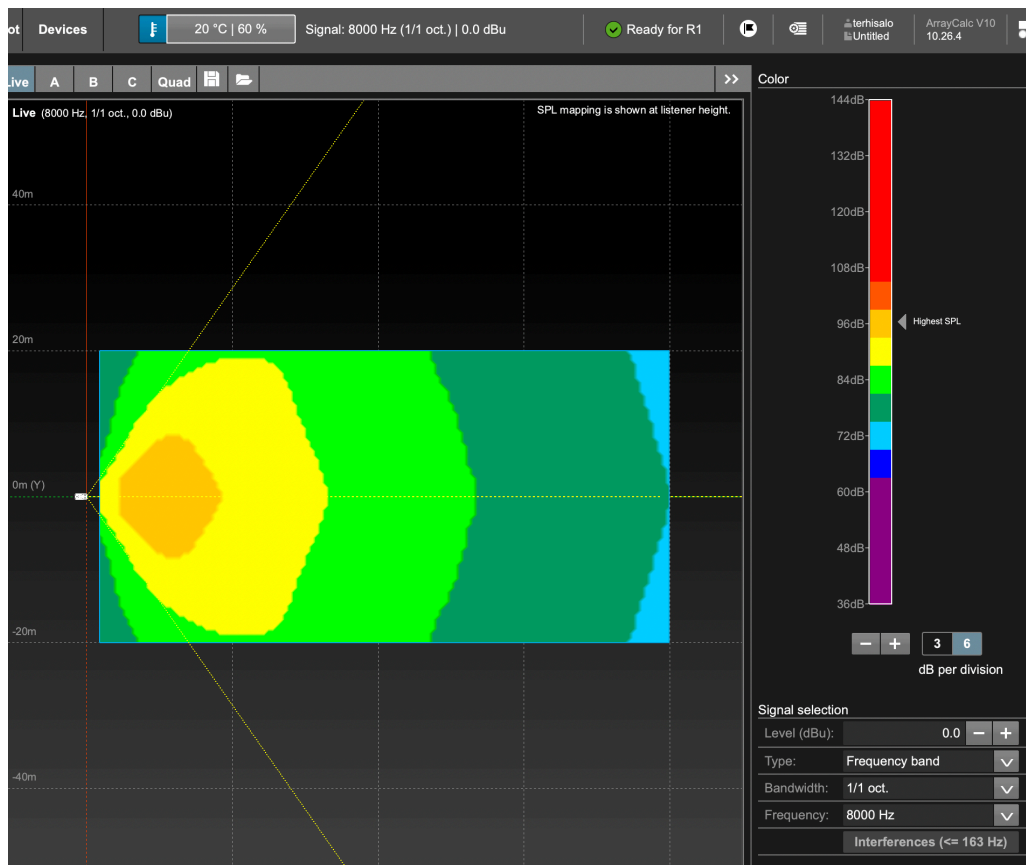
Kotimaisten kielten keskuksen sanakirja (2023) kertoo sanan tonaliteetti tarkoittavan musiikista puhuttaessa tonaalisuutta, sävellajiin perustuvaa musiikkia. Suomenkielisessä äänentoiston ammattitermistössä tonaliteetilla kuitenkin tarkoitetaan eri taajuuskaistojen välistä suhdetta, joten tässä opinnäytetyössä tonaliteetista puhuttaessa tarkoitetaan tätä.

Korkeat, matalat ja keskiäänet käyttäytyvät ilmassa ja kaiuttimessa eri tavoin. Äänentoistojärjestelmää suunniteltaessa on tärkeää kiinnittää huomiota siihen, että eri taajuuskaistojen väliset suhteet pysyisivät läpi yleisöalueen mahdollisimman samana. Nykyään käytössä olevilla kaiutinjärjestelmillä on mahdollista saada yläkeskitaajuudet kuulumaan hyvinkin pitkien matkojen päässä, kun taas alakeskitaajuudet eivät kaiuttimien rakenteellisten ominaisuuksien takia kannata yhtä pitkälle. Tämän takia äänestä voi kyllä edelleen kaukanakin kaiuttimista saada selvää, mutta se voi kuulostaa terävältä tai pistävältä matalampien taajuuksien vaimennuttua matkalla enemmän. Lisäksi bassotaajuudet kyllä kantavat pitkälle, mutta ne voivat myös soida lavan edessä huomattavan paljon voimakkaammin

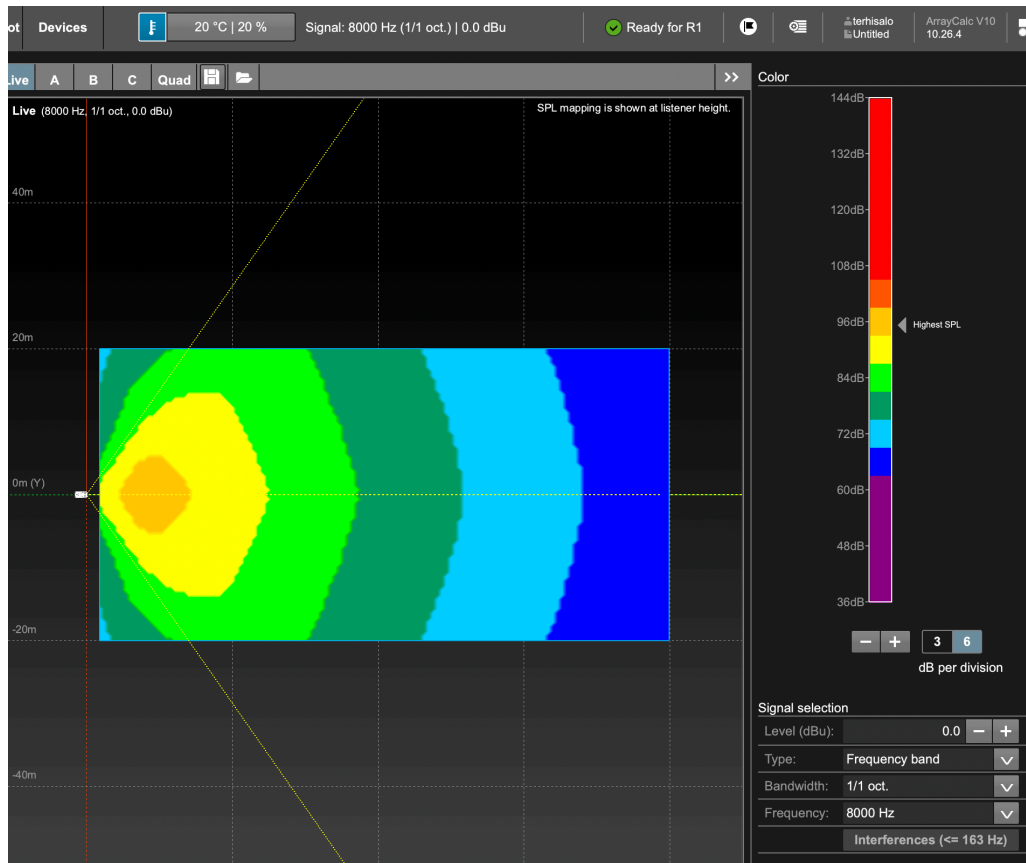
kuin muualla, mikäli niitä toistavia kaiuttimia on esimerkiksi sijoitettu ainoastaan lavan ja yleisön eteen maahan.

Eryteisesti kaikkein korkeampien taajuuksien osalta myös ilman lämpötila ja kosteus vaikuttavat siihen, kuinka kauas ääni kantaa. Ylä-äänit vaimentuvat samalla matkalla enemmän ilmanvaimennuksen (air loss) takia kuin matalat tai keskiäänit. (McCarthy 2016, 702.) Vaikka ilmanvaimennusta tapahtuu lyhyemmilläkin matkoilla, se yleensä alkaa näkyä mittauksissa ja kuulua lopputuloksessa vasta pidemmällä matkoilla, jolloin ilmanvaimennusta ehtii tapahtua enemmän.

Kuvassa 26 on esimerkki 8 kHz jakautumisesta yleisöalueelle, kun lämpötila on 20° ja ilmankosteus 60 %. Suunnitelmassa on yksi point source -kaiutin 5 m korkeudessa. Kuvassa 27 on tismalleen sama kaiutinsuunnitelma, mutta ilmankosteudeksi on muutettu 20 %. Yksi värialue tarkoittaa aina 6 dB muutosta, ja kuvia vertaamalla voidaan arvioida kuvassa 26 (ilmankosteus 60 %) 8 kHz olevan noin neljän värialueen sisällä, joskin vielä aivan alueen takaosassa on nähtävissä viideskin väri, joka kertoo jälleen 6 dB vaimentumisesta. Kuva 27 on nähtävissä 6 eri värialuetta, eli sama kaiutinsuunnitelma kuivemmassa ilmassa antaaakin 8 kHz oktaavikaistalle 36 dB jakauman.

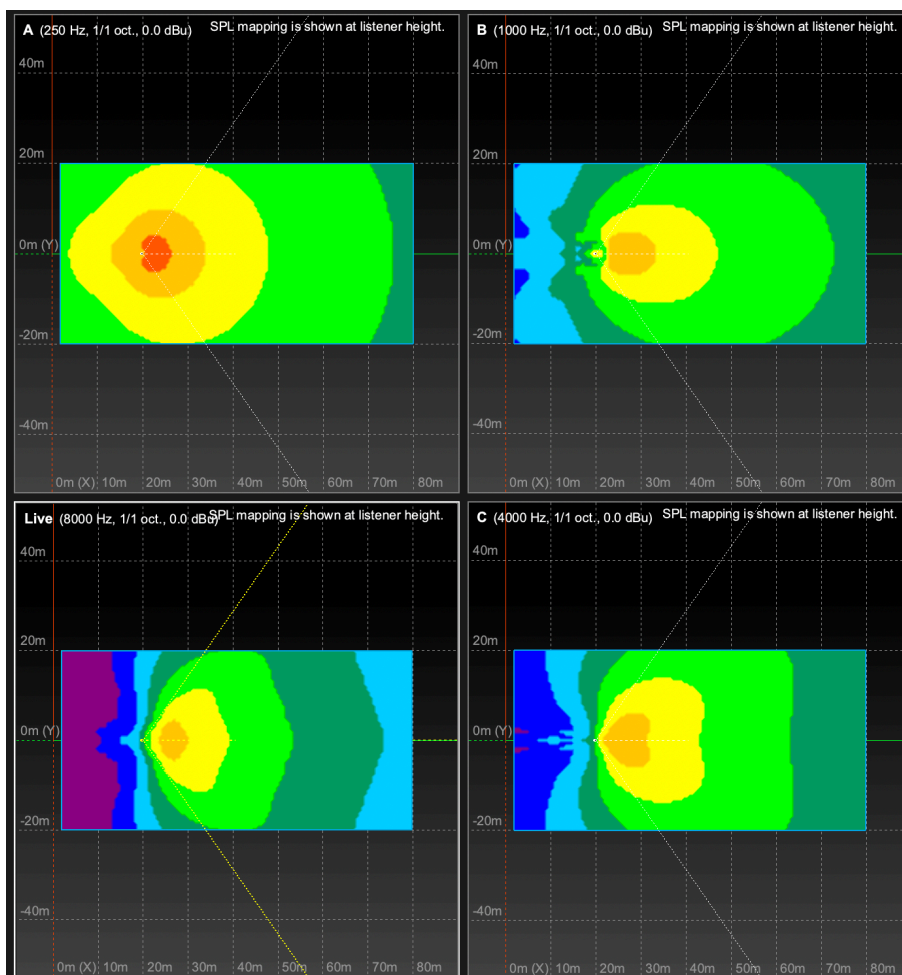


Kuva 26. 8 kHz oktaavikaista, kun lämpötila on 20° ja ilmankosteus 60 %. Kuva-kaappaus d&b ArrayCalc V10 -ohjelmistosta.



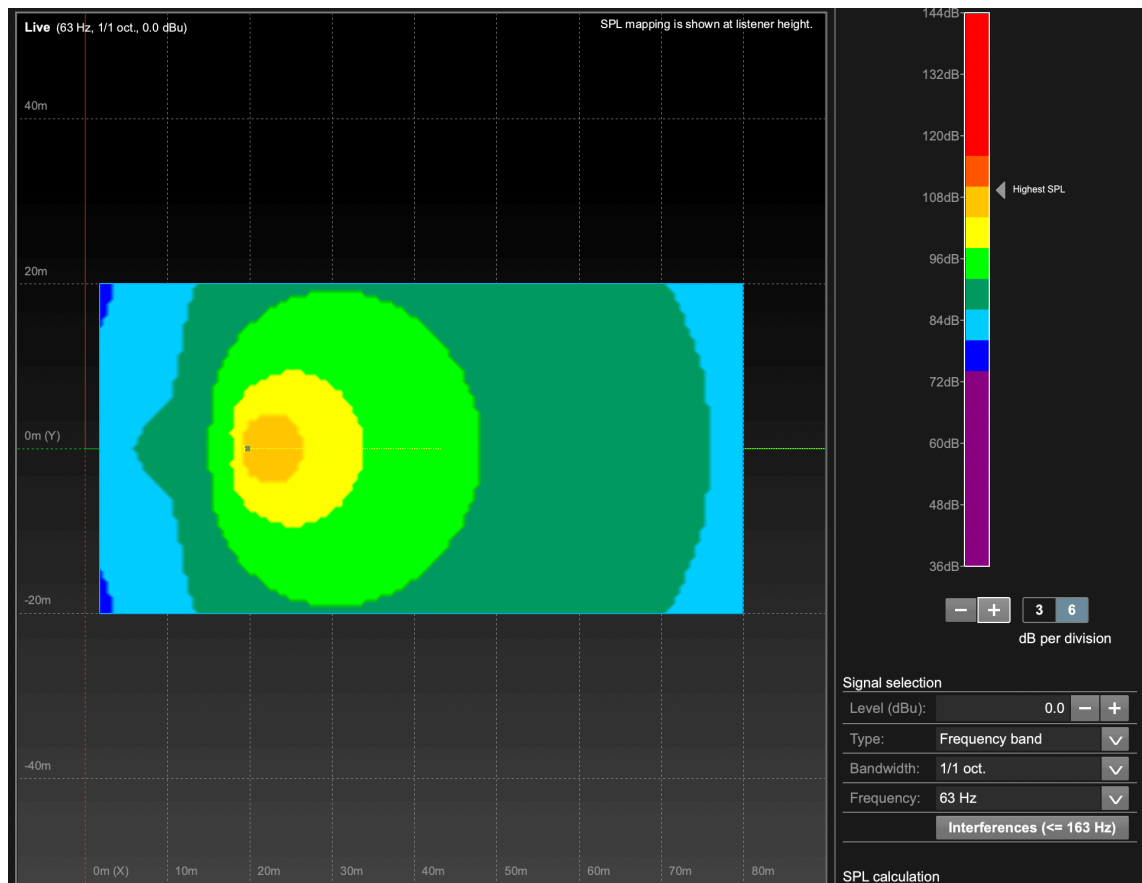
Kuva 27. 8 kHz oktaavikaista, kun lämpötila on 20° ja ilmankosteus 20 %. Kuva-kaappaus d&b ArrayCalc V10 -ohjelmistosta.

Kuvassa Kuva 28 tarkastellaan samassa lämpötilassa ja ilmankosteudessa (20° ja 60 %) äänen käyttäytymistä eri taajuuskaistoilla: 250 Hz, 1 kHz, 4 kHz ja 8 kHz. Alakeskiääniä edustava 250 Hz oktaavikaista säteilee kaiuttimesta lähes samoin myös taakse ja sivuille kuin eteenkin, vaikka pientä muotoa kuviossa onkin nähtävissä. Taajuuden noustessa korkeammaksi suuntaavuus (dispersio) tulee paremmin esille: korkeammat äänet vuotavat kaiuttimen taakse vähemmän.

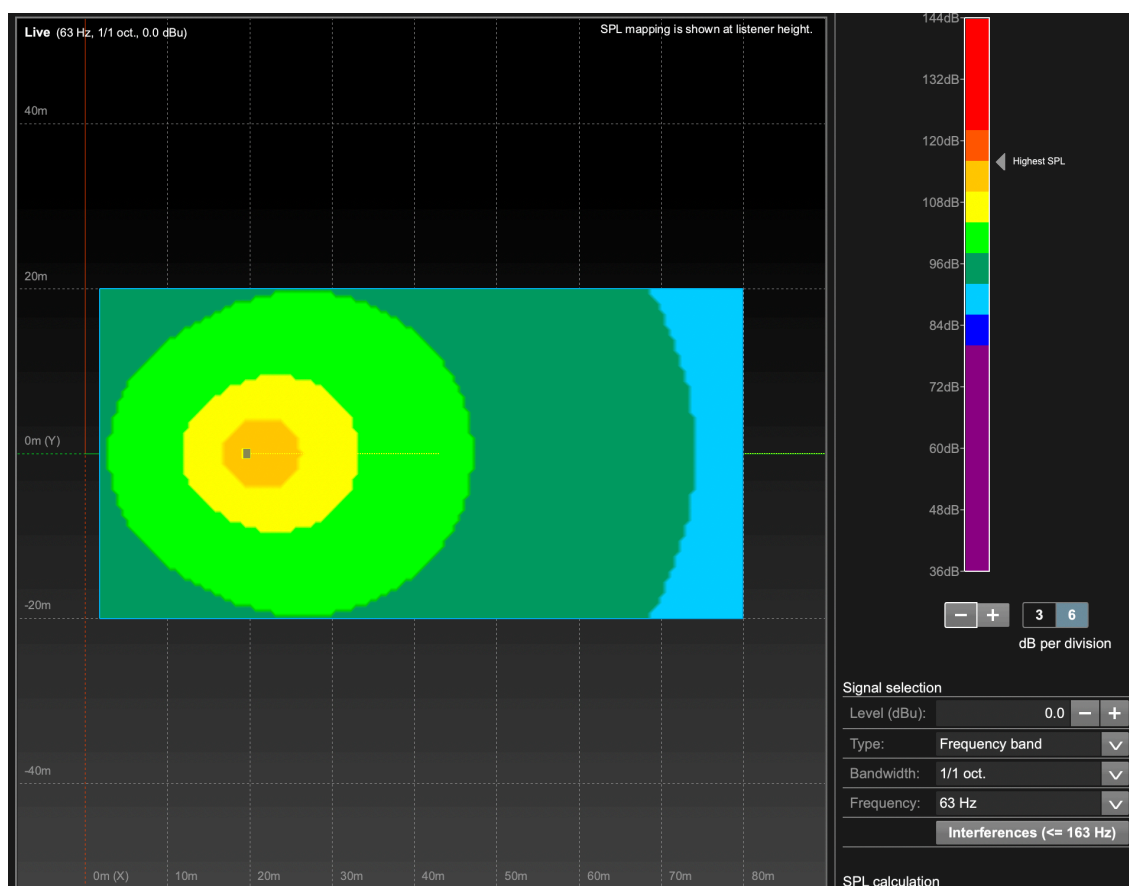


Kuva 28. Sama kaiutin tarkasteltuna neljältä eri oktaavikaistalta. Tarkasteltavan kaistan keskitaajuus näkyy kunkin laatikon yläreunassa. Yksi värialue kuvaa 6 dB muutosta äänenpaineessa. Kuvakaappaus d&b ArrayCalc V10 -ohjelmistosta.

Kuva 29 on vaihdettu mid/high-kaiuttimen tilalle subikaiutin. Kyseinen kaiutin on ns. kardiodisubi, joka pyrkii vaimentamaan taaksepäin lähtevää ääntä. Kuvassa onkin nähtävissä, että äänen muoto muistuttaa enemmän edellisen kuvan korkeampien taajuuksien jakaumaa kuin 250 Hz oktaavikaistan jakaumaa, vaikka 250 Hz on taajuudeltaan lähempänä subin toistamia bassotaajuuksia kuin korkeammat äänet. On kuitenkin paljon subikaiuttimia, joista ääni lähtee käytännössä yhtä voimakkaasti joka suuntaan (Kuva 30).



Kuva 29. Kardioidisubi pyrkii vaimentamaan taaksepään lähtevää ääntä. Kuva-kaappaus d&b ArrayCalc V10 -ohjelmistosta.



Kuva 30. Tavallisesta subista ääni lähtee lähes yhtä suurella voimakkuudella joka suuntaan. Kuvakaappaus d&b ArrayCalc V10 -ohjelmistosta.

Oman mausteensa tonaliteetin huomiointiin tuovat erilaiset kaiuttimet prosessointitekniikoineen. Nykyaikaisilla äänijärjestelmillä, joissa pystytään yhdistämään useampia kaiuttimia toimimaan yhtenä äänilähteenä, on mahdollista ohjata ylempiä taajuuskaistoja pitkienkin matkojen päähän. Yleensä niissä on kuitenkin rajoitteita sen suhteen, miten kauas alakeskiäänät kantavat. Jotta näitäkin taajuuksia pystyttäisiin ohjaamaan yläkeskiäänten tavoin, tulisi kaiuttimien fyysisen koon olla epäkäytännöllisen suuri alakeskiäänten pidemmän aallonpituuden vaatimien fyysisten mittojen takia. Kaiutinvalmistajat kuitenkin kehittelevät koko ajan tähän erilaisia ratkaisuja, ja käytössä olevan järjestelmän mukaan lopputulokset tonaliteetin pysymisen näkökulmasta voivat olla hyvinkin vaihtelevia, vaikka kaiutinjärjestelmäsuunnittelija pyrkisi tekemään parasta mahdollista jälkeä.

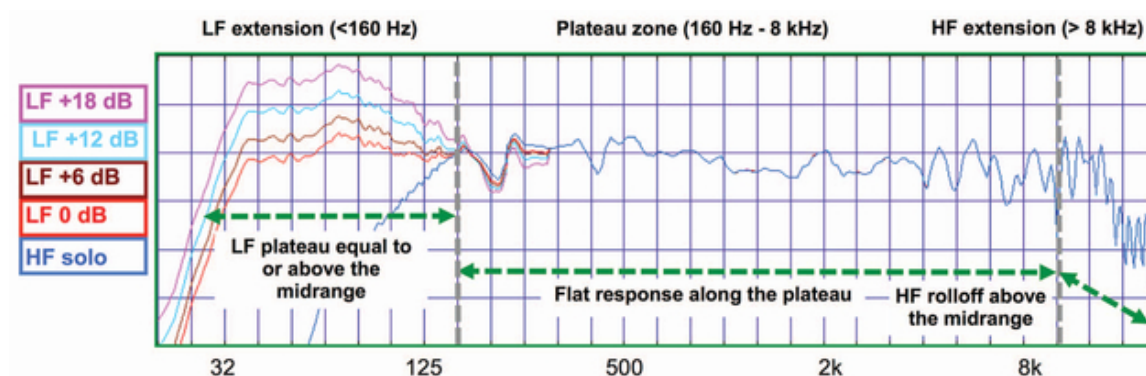
3.4.4 Tavoitevaste

Tavoitevaste (target curve) on äänijärjestelmän taajuusvasteen tavoite, johon järjestelmää suunniteltaessa ja optimoidessa pyritään. Sillä pyritään jo etukäteen suunnittelemaan, miten järjestelmä toistaa eri taajuuskaistat: toistetaanko kaikki taajuudet samalla voimakkuudella vai korostetaanko tai vaimennetaanko joitain alueita. Käyttöönoton ja optimoinnin yhteydessä järjestelmää pyritään prosessoimaan eri työkaluilla siten, että sen toistama taajuusvaste noudattaisi etukäteen asetettua tavoitetta. (Lively 2018.)

Tavoitevasteen muoto voi vaihdella paljonkin järjestelmästä ja järjestelmän suunnittelijasta tai käyttöönottajasta ja optimoijasta riippuen, eli se ei ole universaali vakio vaan enemmänkin jokaisen tekijänsä näköinen. Tavoitevaste ei myöskään ole yksi konkreettinen asetus, jonka voisi vaikkapa kaiutinjärjestelmän hallintaohjelmasta kytkeä päälle, vaan yleensä enemmänkin järjestelmän optimoijan näkemys kyseiselle järjestelmälle kyseiseen tilaisuuteen sopivasta vasteesta, jonka saavuttaakseen voi joutua tekemään monenlaisia säätöjä järjestelmään sen käyttöönotto- ja optimointivaiheessa. Myös jo suunnitteluvaiheessa tehdyt valinnat vaikuttavat siihen, millainen tavoitevaste kyseisellä järjestelmällä on edes mahdollista toteuttaa. Tavoitevaste ei myöskään suoraan kerro sitä, miltä järjestelmä lopullisessa käyttöpaikassaan kuulostaa: käytettävissä oleva kaiutinjärjestelmä, huoneen akustiset ominaisuudet ja lopulta myös esimerkiksi varsinaisen esityksen kokonaisäänenpaine vaikuttavat siihen, miten ihmiskorva ja -aivot kuulemansa kokevat (McCarthy 2016, 663–665; Kauhanen 2021).

Tavoitevaste kuvataan usein viivagrafiikalla taajuusikkunassa, jonka avulla pyritään havainnollistamaan eri taajuuskaistojen välisiä suhteita: puhetilaisuuteen todennäköisesti halutaan kaikkien taajuuksien tulevan samalla voimakkuudella, kun taas musiikitapahtumiin yleensä bassotaajuuksia korostetaan. Joskus bassotaajuuksia korostetaan vain hieman ja joskus huomattavankin paljon (Kuva 31, Kuva 32). Näkemyksiä, teorioita, tutkimuksia ja kokemukseen perustuvia tapoja valita tavoitevaste on valtava määrä, joskin muutamista peruseriaatteista suurin osa toimijoista tuntuu olevan samaa mieltä. Esimerkiksi nousevaa vastetta, jossa matalat taajuudet toistuvat hiljempaa kuin korkeammat, ei yleensä suosita. Sen

sijaan laskevia vasteita, jossa basso- ja alakeskitaajuuksia on korostettu suhteessa ylä- ja yläkeskitaajuuksiin, on monenlaisia. Toiset tekijät korostavat vain alimpia bassotaajuuksia ja laskeutuvat sitten neutraalille tasolle tarvittaessa jyrkälläkin käyrällä (slope), osa pyrkii tekemään tuon laskeutumisen loivemmin useamman oktaavin alueella. (McCarthy 2016, 663–665; Lively 2018; Kauhanen 2021).



Kuva 31. Esimerkkejä tavoitevasteesta. McCarthy (2016, 664) esittelee tavoitevasteelle erilaisia vaihtoehtoja, jotka vaikuttavat lähinnä siihen, kuinka paljon voimakkaammin järjestelmä toistaa bassotaajuuksia suhteessa mid/high -taajuuksiin. Mukana vaihtoehdoissa on myös HF solo, jossa bassotaajuuksia ei toisteta lainkaan. McCarthy'n target curve -esimerkissä aivan ylimpien taajuuksien annetaan vaimentua.



Kuva 32. Esimerkkejä erilaisista tavoitevasteista. Sinisessä ehdotuksessa bassotaajuuksia on korostettu 3 dB, ja korostus tehdään tasaisesti alakeskitaajuuksia kohti matalampia taajuuksia mentäessä korostaen välillä 1kHz – 125 Hz. Vihreässä tavoitevasteessa bassotaajuuksia korostetaan 9 dB, ja sinne nouseaan yhden oktaavin aikana välillä 250 Hz – 125 Hz. Oranssissa vasteessa bassotaajuuksia on korostettu 15–18 dB, nousu kohti matalia taajuuksia aloitetaan noin

400 Hz kohdalta siten, että haluttu taso on saavutettu 100 Hz mennessä. Lisäksi oranssissa vasteessa on haluttu vaimentaa aivan ylintä yläpäättä. Muokattu kuvakaappaus Smaart v8 -ohjelmistosta.

Äänitekniikkojen keskusteluissa tavoitevasteet grafiikoiden sijaan usein puhutaan tai kirjoitetaan auki konkreettisten grafiikkapiirrosten sijaan. Voidaan vaikka kirjata ylös, että tavoite on tehdä tasainen taajuusvaste kaistalla x-y, siitä nousu kohti taajuutta z kulmalla n dB / oktaavi. Lisäksi tulee ottaa huomioon loppukäyttäjän toiveet ja tehdä vielä optimoinninkin jälkeen muutoksia tarpeen mukaan (McCarthy 2016, 664).

Osa kaiutinvalmistajista antaa laitteistojensa käyttäjille jonkinlaisia suosituksia tavoitevasteista erilaisiin käyttötilanteisiin, mutta kaikki eivät näin tee. Huomattavaa on, että nämäkin suositukset poikkeavat toisistaan osittain paljonkin. Lisäksi on huomattava, että vaste ei siltikään ole täysin samanlainen joka ikisessä paikassa yleisöaluetta: jossain basso toistuu voimakkaammin kuin toisaalla, jonnekin ylimmät äänet ovat jo vaimentuneet enemmän kuin muualle. Siispä on tärkeää miettiä paitsi varsinainen tavoitevaste, myös se mistä ja miten se mitataan ja mitä mittauksia tulkittaessa otetaan huomioon.

On hyvä myös huomata, että yksittäisen kaiuttimen taajuusvaste on eri asia kuin järjestelmän tavoitevaste. Järjestelmää optimoitaessa yhdistetään useita kaiuttimia toimimaan yhtenä kokonaisuena järjestelmänä, ja lopputulokseen vaikuttaa aina myös huoneakustiikka.

3.4.5 Signaali-kohinasuhde

Signaali-kohinasuhteella tarkoitetaan hyötysignaalin ja taustakohinan tai muun epätoivotun hälyn välistä suhdetta. Termiä käytetään erityisesti sähköisistä signaaleista puhuttaessa, mutta sillä voidaan viitata myös esimerkiksi puheen voimakkuuteen suhteessa taustahälyyn (Maltby 2016). Äänentoiston yhteydessä termiä ehkä käytetään harvemmin, mutta lopulta koko äänentoiston idean voi tiivistää tarkoittamaan nimenomaan signaali-kohinasuhteen parantamista: vahvistetaan niitä ääniä, joita halutaan kuulla, jotta tilassa oleva muu ääni ei peitä niitä alleen.

3.4.6 Heijastukset

Äänen lähtiessä äänilähteestä se leviää ympäristöönsä laajenevan pallon kaltaisesti. Kohdatessaan esteen, pinnan, se heijastuu siitä takaisin samassa kulmassa, kuin osui pintaan. Nämä heijastukset (reflections) saattavat osua toiseen heijastavaan pintaan, jolloin syntyy heijastusten heijastuksia. Pintojen materiaali vaikuttaa siihen, kuinka voimakkaita heijastukset ovat, sillä pehmeisiin materiaaleihin osa äänestä imeytyy (absorption). Huoneessa heijastukset sekoittuvat alkuperäisen äänen kanssa ja vaikuttavat siihen, miten äänen kuulemme ja koemme. (Adelman-Larsen 2014, 5; Everest & Pohlmann 2022, 3.2–3.3, 6–6.1). Heijastumisen ja imeytymisen lisäksi ääni voi esteen kohdatessaan myös mennä esteestä läpi (transmission), kiertää sen (diffraction) tai hajota (diffusion) (Everest & Pohlmann 2022, 3.2–3.3, 6–6.1).

Heijastukset ovat läsnä kaikkialla, missä tapahtumia järjestetään. Ulkotapahtumissa heijastuksia on yleensä vähemmän kuin sisätiloissa, mutta merkittäviäkin heijastuksia saattaa tulla vaikkapa yleisöalueen takana olevan kerrostalon seinästä tai asfalttikentältä silloin, kun yleisöalueella on vähemmän ihmisiä. Suomen sääolosuhteissa miksauspiste on välttämätöntä suojata teltalla tai muulla rakenteella, ja sen seinät ja katto aiheuttavat heijastuksia miksaajalle, vaikka yleisö ei niitä kuulekaan. Tämä voi joskus johtaa miksaajan tekemään miksausukseensa muutoksia, jotka eivät olekaan optimaalisia muun yleisön kuulokuvulle. Teltoista aiheutuvat haasteet tunnistetaan hyvin, ja niitä pyritään välttämään esimerkiksi avaamalla telttojen seinät hyvällä säällä, mikäli se kyseisessä telttamallissa on mahdollista.

Heijastuksia on käytännössä aina enemmän tyhjässä tilassa, joten äänentoistojärjestelmää käyttönotettaessa ja optimoitaessa tila kuulostaa aina kaikuisamalta kuin yleisön tultua sisään. Vaikka yleisö vaimentaa lattiasta ja vaikkapa kovista istuimista tulevaa heijastusta keski- ja ylätaajuuksilla tehokkaasti, se ei auta matalien taajuuksien eikä sisätilojen suurimman heijastavan pinnan, katon, kanssa (Adelman-Larsen 2014, 17; Laukkanen 2021).

3.4.7 Suoran ja heijastuneen äänen suhde

Lähellä äänilähdettä kuuntelija todennäköisesti kuulee paljon suoraa ääntä. Se tarkoittaa ääntä, joka kantautuu kuuntelijan korviin suoraan äänilähteestä osu-matta matkalla heijastaviin pintoihin. Kuuntelijan siirtyessä kauemmas ääniläh-teestä ehtii suoraan ääneen sekoittua enemmän heijastuksia, jotka kimpoilevat kaikista tilassa olevista kovista pinnoista eri suuntiin ja eri voimakkuuksilla. Jos kuuntelija menee tarpeeksi kauas tai esimerkiksi sivuun äänilähteestä, voi käydä niin, ettei hän kuule enää suoraa ääntä lainkaan, vaan pelkästään heijastuksia. Termillä suoran ja heijastuneen äänen suhde (Direct to Reverberant Ratio, D/R) tarkoitetaan yllä kuvailtua: mikä on tietyssä kuuntelupaikassa siihen ääniläh-teestä tulevan suoran ja seinien, kattojen, lattian ja muiden kovien pintojen kautta tulevan heijastuneen äänen suhde (Kuva 16, sivu 36) (Everest & Pohlmann 2022, 6; Adelman-Larsen 2014, 5).

Kuuntelijan ollessa kaiuttimesta sellaisella etäisyydellä, missä hän kuulee tismal-leen yhtä paljon sekä suoraa että heijastunutta ääntä, hän on saavuttanut eng-lanninkielisessä kirjallisuudessa *critical distanceksi*, kriittiseksi etäisyydeksi, kut-sutun kohdan. Siitä kauemmas mentäessä kuulija kuulee enemmän heijastuksia kuin suoraan kaiuttimista tulevaa ääntä. Mitä enemmän suoraan ääneen on se-koittunut heijastuksia, sitä haastavampaa on kuulijan saada toistetusta äänestä selvää. Mitä suuntaavampi kaiutin on, sitä pidemmän matkan päässä *critical dis-tance* on. (Adelman-Larsen 2014, 19; Kauhanen 2021; Everest & Pohlmann 2022 3.5).

Suoran ja heijastuneen äänen suhteen mittaaminen ja tulosten ilmoittaminen lie-nee enemmän akustikkojen kuin tapahtumien ääniteknikoiden osaamisaluee-seen kuuluva asia. Tapahtumien äänentoiston parissa ilmiöstä kuitenkin puhu-taan, yleensä ilman numeerisia arvoja. Ilmiö voi nousta keskusteluihin esimer-kiksi erityisen kaikuisiin tiloihin järjestelmiä suunniteltaessa. Voi olla, että vastaa-vankokoiseen, vähemmän kaikuisaan tilaan kokenut ääniteknikko näkisi järke-vänä rakentaa yhden isomman line array -järjestelmän lavan lähelle, kun taas erityisen kaikuisassa tilassa mahdollisesti sama määrä kaiuttimia jaettaisiin use-ampaan sijaintipaikkaan läpi yleisöalueen. Näin kaikkien yleisön edustajien suo-ran ja heijastuneen äänen suhde pysyisi parempana. Vaikka tällaisen hajautetun

järjestelmän rakentaminen voi tapahtuman rakennusaikataulun ja budjetin näkökulmasta olla haastavampi kuin yksi isompi järjestelmä yhteen paikkaan, on suoran ja heijastuneen äänen suhde hyvä perustelu sellaisen puolesta.

3.4.8 Järjestelmän soundi

Äänijärjestelmän soundi, eli miltä järjestelmä kuulostaa, lienee haastavin tämän opinnäytetyön aihealueista yksiselitteisesti määritellä. Hyvä tai huono soundi on kuulijan täysin subjektiivinen kokemus. Jo soundin arvostelijan edustama sukupolvi saattaa vaikuttaa kokemukseen: koko kehoa ravistellut EDM-keikka huomattavalla bassokorostuksella voi olla 2000-luvulla syntyneen mielestä parasoundinen järjestelmä mitä hän on koskaan kuullut. Saman kuuntelukokemuksen saanut 1940-luvulla syntynyt ei välttämättä jaa hänen mielipidettään. Soundia arvostellessa on kuitenkin vaikeaa eritellä, arvosteltiinko lopulta musiikkia, musiikkityyliä, sen miksausta, äänenpainetta, tilan akustiikkaa, äänijärjestelmää vai jotain aivan muuta.

Kuuntelijan tehtävä ei ole osata erotella, miksi esitys kuulosti hyvältä. Äänijärjestelmien parissa työskentelevien on kuitenkin hyödyllistä mahdollisuuksien mukaan pyrkiä erottamaan soundin syntyyn vaikuttavia osatekijöitä. Jos joku kokonaisuuteen vaikuttava osatekijä ei toimi, on sitä muiden vaikea muiden osa-alueiden kompensoida paremmaksi. Joskus esityksen soundi voidaan tuomita karmeaksi vain siksi, että kuuntelija ei pidä kyseisestä esiintyjästä tai musiikkityylistä. Toisaalta joskus yleisö jättää karkeatkin virheet kuulemassaan huomioimatta, jos lavalla on tarpeeksi mielenkiintoinen esiintyjä.

Äänentoiston näkökulmasta voidaan objektiivisesti tarkastella esimerkiksi äänenpainetta, taajuusvastetta ja kattavuuden tasaisuutta ja samankaltaisuutta koko yleisöalueella. Akustikot osaavat antaa huoneesta ja sen soinnista mitattua dataa. Yleisö ei kuitenkaan ole kiinnostunut erilaisten ammattilaisten mittaustuloksista vaan niiden yhdessä muodostamasta kuuntelukokemuksesta. Tätä kokemusta jokainen kuuntelija arvioi subjektiivisesti omien mieltymystensä ja tottumustensa mukaan. (McCarthy 2016, 318–320, 325; Davis, Patronis & Brown 2013, 4.2.)

Äänijärjestelmälle voitaneen joka tapauksessa asettaa muutamia perusedellytyksiä, jotka osaltaan vaikuttavat soundiin ja sen kokemiseen. Laitteiston ja signaalireittien tulee olla ehjiä. Irralliset osat kaiuttimissa tai vahvistimissa voivat aiheuttaa paitsi lisävaurioita laitteistoon, myös räminää, kolinaa, pirinää tai muuta häiriöääntä. Järjestelmän tulee myös kyetä toistamaan siihen ajettu ohjelmamateriaali toivotulla voimakkuudella ilman, että sen osat ylikuormittuvat ja sitä kautta aiheuttavat odottamattomia muutoksia ohjelmaaäneen (McCarthy 2014, 289). Lisäksi kaiutinjärjestelmän taajuusvasteen tulee olla riittävän kattava esitettävään ohjelmamateriaaliin nähden.

Audioalan tietokirjailija Don Davisin (2013) mukaan paras tapa kaiutinjärjestelmän soundin arviointiin on kuunnella siitä ihmisääntä. Davisin mukaan ihmisille toisen ihmisen puhe on tutuinta ohjelmamateriaalia, ja mikäli järjestelmä toistaa puhujan äänen tunnistettavasti, on äänijärjestelmän soundi onnistunut. Daviskin muistuttaa, että kuuntelutesti tulee tehdä koko yleisöalueella, ja eroavaisuudet tonaalisuudessa tulee ottaa huomioon soundia arvioidessa. Davisin mukaan kokenut kuuntelija, jolla hän viitanee esimerkiksi äänentoiston ammattilaiseen, pystyy kuuntelutestin perusteella huomaamaan, mikäli järjestelmässä on vaiheita viiveaikaongelmia. Kotistereoiden soundin arviointiin Davis toteaa, että mikäli pystyt kuuntelemaan lempimusiikkiasi järjestelmästä tuntikausia, järjestelmä kuulostaa hyvältä. Kuitenkin hän toteaa useampaan otteeseen, että toisella kuuntelijalla voi olla eri näkemys ja mielipide siihen, mikä on hyvä soundi. (Davis, Patronis & Brown 2013, 4.2.)

McCarthy (2016) lähestyy hyvän soundin määritelmää soveltamalla akustiikan kriteereitä hyvälle musiikin kuuntelukokemukselle. Niiden joukossa mainitaan esimerkiksi kokemus siitä, että musiikki on lähellä ja läsnä, äänenkorkeuksissa on vaihtelevuutta ja matalampien taajuuksien tuomaa lämpöä sekä että ääni on selkeä. Lisäksi mainitaan muun muassa esitykseen sopiva äänen voimakkuus, soitinten hyvä balanssi ja kokonaissoundin rikkaus. Huoneakustiikan osalta epätoivotut kaiut sekä ylimääräinen taustameteli halutaan pitää minimissä, ja yleisötilan sointi tai kaikuisuus tulisi olla sopiva esitettyyn musiikkiin nähden. Listan viimeisenä mainitaan yhdenmukaisuus: musiikin tulisi kuulostaa jokaiselle kuulijalle samalla samalta. (McCarthy 2016, 329–330.)

Näitä McCarthyn (2016, 329–330) mainitsemia akustiikan subjektiivisesti arvioitavia kriteerejä voitaneen käyttää runkona myös äänijärjestelmien soundia arviotaessa, vaikka niiden toteutus akustiikan keinoin voi olla hyvin erilainen kuin äänijärjestelmien avulla. Suurin osa mainituista arviointikriteereistä kuitenkin on jonkun muun kuin äänijärjestelmän suunnittelijan käsissä. Yleisöalueen kuuntelukokemuksen yhdenmukaisuus tulee olla koko äänijärjestelmän suunnitelman peruslähtökohtana, mutta muut mainitut osa-alueet ovat enemmän esiintyjien, miksaajien, esiintymistilan suunnitteleiden akustikkojen tai jopa tilan tämänhetkisten omistajien käsissä. Äänijärjestelmän suunnittelija voi varmistaa, että järjestelmän kaiuttimet riittävät toistamaan koko kuuloalueen taajuusalueen, mutta hän ei voi vaikuttaa siihen, onko esityksessä tai miksausuksessa niin ala- kuin yläääniäkin tai onko miksaus balanssissa. Alan käytännön mukaan Suomessa äänijärjestelmästä vastaavan tehtävä ei ole myöskään puuttua esityksen äänenvoimakkuuteen muuta kuin ohjeistaen ja mahdollisista äänenpainerajoista tiedottaen. Lopullinen voimakkuuden määrittäminen jää miksaajalle.

Davisin (2013, 4.2) mainitsema kuuntelutesti ympäri yleisöaluetta on tärkeä osa äänijärjestelmän kalibrointityötä tai sen tarkistusta, mutta kuuntelemalla löydettyjä virheitä voi olla mahdoton korjata ilman akustisia mittauksia. Toisaalta pelkällä puheäänellä kuunteleminen voi jättää aivan järjestelmän matalimpien taajuuksien arvioinnin puutteelliseksi, sillä ihmisäänessä ei niitä yleensä ole, ja siksi useimmiten kuuntelutesti tehdäänkin puheäänen lisäksi myös musiikilla. Ainoaksi tarkastusmetodiksi sitä ei kuitenkaan voi suositella.

Järjestelmän soundin syntymistä voidaan tarkastella myös teknisemmästä näkökulmasta. Jokaisella kaiuttimella on oma ominaissoundinsa. Vaikka esimerkiksi kaiuttimen taajuusvastetta voidaan erilaisilla prosessointilaitteilla säätää, ei kaiuttimen fyysistä kokoa, elementtejä tai yksittäisen elementin toistaman taajuusalueen laajuutta pystytä tavanomaisin äänijärjestelmän käyttöönoton ja optimoinnin keinoin muuttamaan. Nämä kaikki vaikuttavat osaltaan siihen, miltä kaiutin ja sen myötä äänijärjestelmä kuulostaa. Vaikka säätäisimme kaksi erilaista kaiutinta näyttämään mittauksissa niin samalta kuin mahdollista, ne kuulostavat eli soundaavat silti keskenään erilaisilta. Tällaisia testejä, joissa kaikki mitattavissa olevat ääniominaisuudet viilataan mahdollisimman samanlaisiksi, järjestetään toisinaan

asiakkaille, jotka harkitsevat äänijärjestelmän hankkimista kahden tai useamman kaiutinvalmistajan mallistojen välillä.

Äänentoiston ammattilainen ei siis voi kaiutinjärjestelmän säätöjä ruuvaamalla muuttaa kaikuisaa tilaa soveltuvammaksi sähköisesti vahvistetulle esitykselle tai parantaa miksaajan miksausta, vaikka siinä olisi selkeitä ongelmia. Vastaavasti huonosti suunnitellulla tai optimoidulla järjestelmällä voi pilata loistavan esityksen, vaikka kaikki muut asiat esityksessä ja tilan akustiikassa olisivat kunnossa. Voidaan toki terminologiaa pohdittaessa miettiä, oliko kyseessä äänijärjestelmän huono soundi vai huonolla ammattitaidolla toteutettu järjestelmä. Kuulijan kannalta lopputulos kuitenkin kuulostaa, soundaa, huonolta. Erilaisia mittauksia voidaan käyttää varmistamaan, että tekniset vaatimukset toteutuvat. Esityksen soundin hyvyttä tai huonoutta ei kuitenkaan voi mitata, vaikka mittausten perusteella voidaan toki päätellä ainakin selkeiden ongelmien läsnäolo, jotka osaltaan vaikuttavat myös koettuun soundiin.

3.5 Suunnitteluohjelmistot

Markkinoilla on erilaisia suunnittelu- ja mallinnusohjelmistoja, joilla äänentoistojärjestelmiä voidaan mallintaa tiloihin joko kaksi- tai kolmiulotteisina. Suurin osa yleisesti käytössä olevista ohjelmistoista on tapahtumassa käytettävän kaiutinvalmistajan tarjoama, yleensä maksuton tietokoneohjelma. Ohjelmistoissa on eroavaisuuksia esimerkiksi sen suhteen, millä termeillä samoista asioista puhutaan tai millaisia näkymiä tilasta ja äänen käyttäytymisessä tilassa on mahdollista tarkastella. Toimintaperiaatteet niissä ovat kuitenkin samoja: tehdään yksinkertaistettu 2- tai 3D-mallinnos tilasta, lisätään sinne kyseisen valmistajan kaiuttimia, tarkastellaan äänen jakautumista tilassa ja tehdään havaintojen perusteella muutoksia kaiuttimien asentoon, asennuskorkeuteen, määrään tai sijaintiin. Osassa ohjelmistoista voi myös mallintaa esiintymistilan lämpötilan ja kosteuden, jolloin ohjelmisto huomioi nämä laskennassaan. (McCarthy 2016, 352–368; Kauhanen 2021).

Tällaisten ohjelmistojen käyttö vaatii harjaantumista, sillä ne eivät suoraan kerro, kuinka järjestelmä saadaan toimimaan tilassa parhaiten, vaan niistä pitää osata

etsiä ne tiedot ja näkymät, joilla uskoo lopputuloksen olevan paras. Tämän opin-
näytetyön kirjoituksen aikaan Euroopassa käytetään yleisesti ainakin suuria ää-
nentoistojärjestelmiä valmistavien d&b audiotechnikin ArrayCalcia, L'Acousticsin
Soundvisionia, Adamsonin Blueprintiä sekä Meyer Soundin Mapp XT:tä sekä sen
uudempaa versiota Mapp 3D:tä. Mapp XT tekee mallinnoksia kaksiulotteisesti,
muut ohjelmistot kolmiulotteisesti. Myös monet muut kaiutinjärjestelmiä valmista-
vat yritykset tarjoavat käyttäjilleen tämäntyyppisiä suunnitteluohjelmistoja.

Yleensä kaiutinsuunnitelmaohjelmistoissa voi esimerkiksi katsoa äänen jakautu-
mista yleisö- ja esiintymisalueelle jollain tietyllä, kapeammalla taajuuskaistalla tai
koko taajuuskaistan kattavalla kohinalla. Ohjelmiston käyttämän asteikon kanssa
tulee olla tarkkana: mikäli ääntä kuvataan väreinä, värinmuutos voi tarkoittaa yh-
den, kolmen vai vaikkapa kuuden desibelin muutosta äänenpaineessa. Osassa
ohjelmistoissa tätä väriskaalaa voi ohjelmiston asetuksista säätää haluamak-
seen, osassa ei. Joissain väriskaala myöskään ei ole portaittainen vaan liukuu
väristä toiseen. Ohjelmistot eivät yleensä osaa ottaa huomioon tilan akustiikkaa
tai heijastuksia, vaan ne näyttävät pelkkää teoreettista suoraa ääntä.

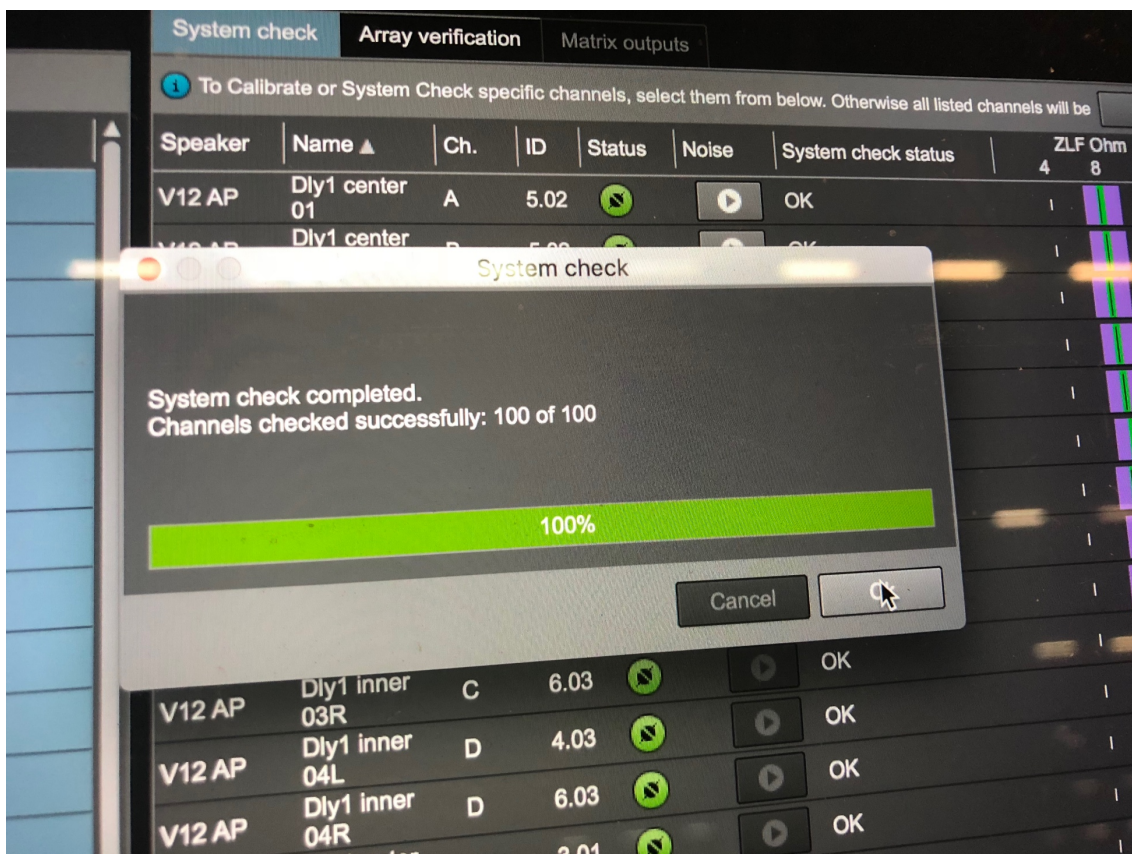
On olemassa myös maksullinen ohjelmisto (EASE), jonne voidaan tuoda minkä
tahansa kaiutINVALMISTAJAN kaiuttimien tiedot, mikäli valmistaja on jakanut kaiutti-
mistaan soveltuvassa muodossa olevan kaiutinmallinnostiedoston. EASEa käy-
tetään ainakin Suomessa lähinnä kiinteästi asennettavien äänijärjestelmien
suunnittelussa.

Suunnitteluohjelmistot ovat tärkeitä työkaluja äänijärjestelmää suunniteltaessa,
mutta on paljon asioita, joita ne eivät kerro. Kuten mainittua, esimerkiksi akustii-
kan vaikutusta äänijärjestelmän toimintaan niistä ei yleensä näe. Siksi järjestel-
män optimointivaiheessa onkin tärkeää tehdä akustisia mittauksia yleisöalueella
ja verrata saatuja tuloksia tehtyyn suunnitelmaan. Tämä auttaa tekijää ymmärtä-
mään, mitkä asiat suunnitelmassa toimivat ja mitä siinä mahdollisesti jäi huoma-
matta tai näkymättä. (McCarthy 2016, 368; Kauhanen 2021.)

3.6 Käyttöönotto ja optimointi

Olipa äänentoistojärjestelmän koko mikä tahansa, se tulisi aina ottaa käyttöön ja optimoida siihen tilaan ja käyttötarkoitukseen, johon se on suunniteltu. Alan ammattislangissa puhutaan edelleen usein järjestelmän virittämisestä tai vain mitaamisesta, jotka ovat paitsi vanhentuneita, myös puutteellisia ja jopa harhaanjohtavia määritelmiä näille työvaiheille.

Käyttöönotto ja optimointi tehdään järjestelmän asennuksen jälkeen. Kun kaikki asennustyö, suuntaus, kaapeleiden kytkentä ja muu vastaava fyysinen asennustyö on tehty, alkaa käyttöönotto- ja optimointityö järjestelmän verifiomisella. Tässä työvaiheessa tarkistetaan, että kaikki järjestelmän osat on asennettu, suunnattu ja kytketty annetun suunnitelman mukaan, että jokaiseen kaiuttimeen kulkee oikea signaali ja että kaikki järjestelmän osat ovat ehjiä. Osaan tästä työstä laitevalmistajat tarjoavat omia erityisiä työkalujaan järjestelmän hallintaohjelmistossa (Kuva 33), osa pitää tehdä manuaalisesti esimerkiksi testisignaalia kaiuttimesta soittamalla ja kuuntelemalla, että se todella tulee oikeasta kaiuttimesta eikä esimerkiksi viereisestä. Lisäksi voidaan tehdä akustisia mittauksia. Käytettävissä oleva aika määrittää, kuinka perusteellisesti tämä työvaihe on mahdollista tehdä, ja toisaalta osan tästä työstä voi valmistella jo ennen kyseiseen tapahtumaan lähtöä rakentamalla ja kaapeloimalla ainakin osan järjestelmästä varastolla ja tarkistamalla, että kasatut järjestelmän osat toimivat odotetulla tavalla (Kuva 34). (Ballou 2015, 49.2–49.3; McCarthy 2016, 558; Kauhanen 2021.)



Kuva 33. Kaiutinjärjestelmän hallintaohjelmisto on tarkistanut, onko kaikki järjestelmään suunnitellut kaiuttimet kytketty. Vaikka tämä ei vielä kerro, onko ne kytketty oikeaan järjestykseen, on tarkistuksen tulos hyvä alku verifiointille. (Kuva: Terhi Salo 2018)



Kuva 34. Kaiutinjärjestelmän päätevahvistimet ja signaalin jakeluun liittyvät laitteistot rakennettuna ja kytkettynä ennen tapahtumaa varastolla. Laitteet on asennettu pyörällisille alustoille, joilla ne voidaan kuljettaa osittain valmiiksi kaapeloituna tapahtumapaikalle. Testiin ei ole otettu mukaan kaiuttimia, mutta koko järjestelmän muu osa on kytketty kuten se tapahtumassa tullaan tekemään ja varmistettu, että kaapelointi, verkkoliikenne ja signaalin reititys toimivat odotetusti. (Kuva: Terhi Salo 2022)

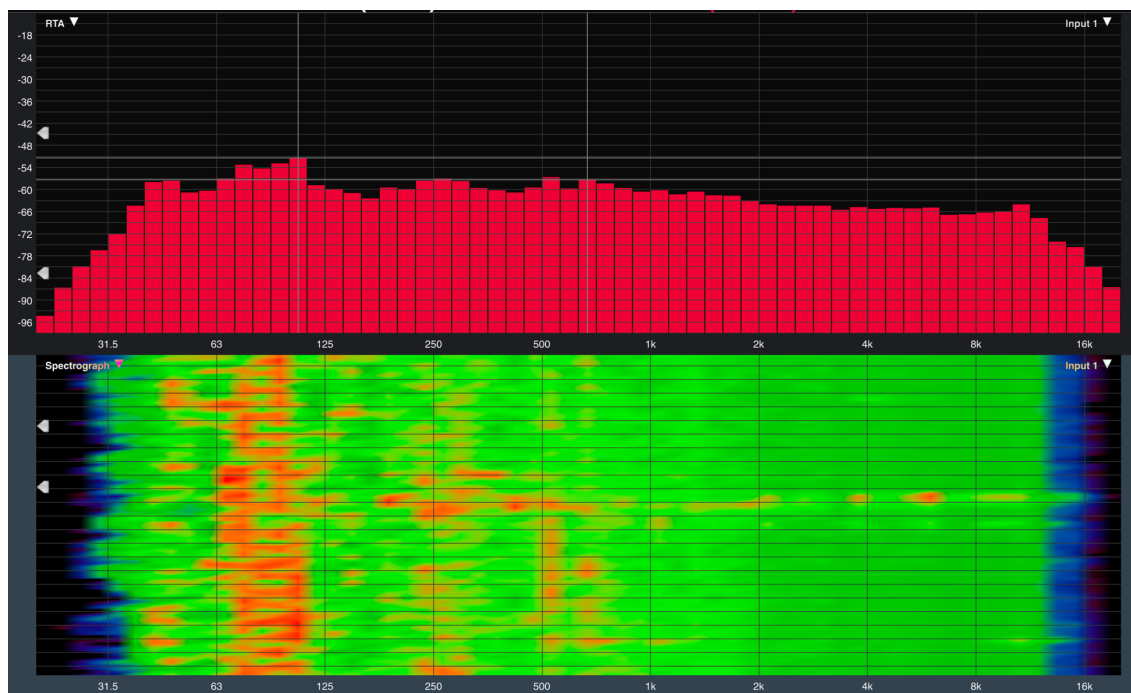
Verifioinnin jälkeen voidaan aloittaa järjestelmän kalibrointi, jonka aikana suoritetaan sarja akustisia mittauksia. Niiden perusteella järjestelmän käyttöönottaja säätää järjestelmän sähköisiä parametreja sen mukaisesti, että järjestelmälle asetetut odotukset ja toimintakriteerit toteutuisivat mahdollisimman kattavasti. Kalibroinnin aikana yhdistetään yksittäiset kaiuttimet tai kaiutinarrayt toimimaan yhtenä kokonaisuena äänijärjestelmänä, joka tuottaa koko yleisöalueelle mahdollisimman samanlaisen äänen. Kaiutinryhmien välille asetetaan toisiinsa oikeassa suhteessa olevat voimakkuudet ja viiveajat sekä korjataan niiden taajuusvasteet vastaamaan toisiaan mahdollisimman tarkasti. Äänijärjestelmän merkistä ja käytettävissä olevista ohjelmistoista riippuen voivat tässä kohtaa käytössä olevat prosessointimahdollisuudet vaihdella paljonkin, mutta yleisiä työkaluja valmistajasta riippumatta ovat esimerkiksi kaiuttimien tasosäädöt, taajuuskorjaimet sekä

mahdollisuus viivästä kaiuttimelle menevää signaalia. (Ballou 2009, 1.3; McCarthy 2016, 637–638; Kauhanen 2021.)

3.6.1 Spectrum-mittaukset

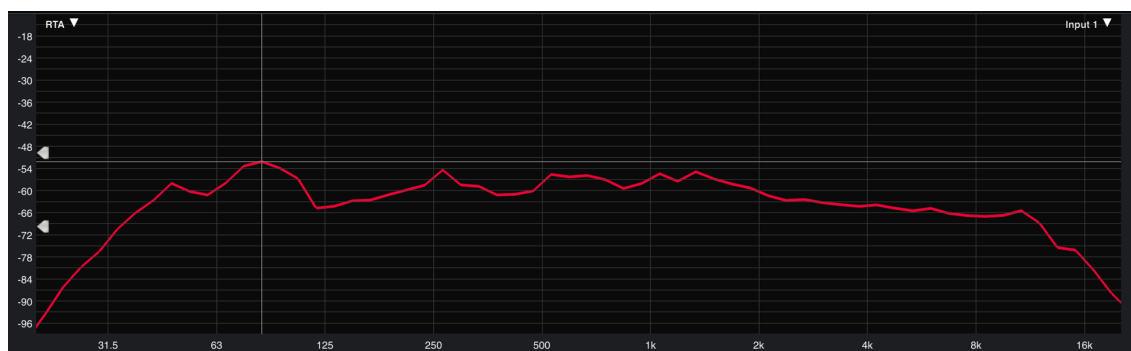
Spectrum- eli spektrimittaukset ovat yksikanavaisia mittauksia. Niissä käytetään yhtä mittamikrofonia tai sähköisessä ympäristössä yhtä input-kanavaa, jonka signaali analysoidaan ja voidaan muuttaa erilaisiksi visuaalisiksi esityksiksi kuvaamaan äänen spektriä. Spectrum-mittauksilla saadaan reaaliaikaista tietoa siitä, mitä mikrofoni havaitsee sijaintipaikassaan tai millaista signaalia input-kanavaan syötetään. (McCarthy 2016, 572–574; Kauhanen 2021.)

Spectrum-mittauksia voidaan käyttää monipuolisesti reaaliaikaisen äänen taajuusvasteen visuaaliseen kuvantamiseen. Esitystapoja on monenlaisia, joista yleisimpien joukkoon kuuluvat RTA (Real Time Analyzer) ja spektrograafi (Kuva 35). Spectrum-mittauksissa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että mittalaite ei osaa ottaa huomioon mittalaitteiston mukanaan tuomia virheitä mittaukseen, sillä ääntä ei mittaohjelmiston sisällä verrata mihinkään, kuten transfer function -mittauksissa. Spectrum-mittaukset eivät myöskään osaa kertoa äänen vaihevas-teesta, eivätkä ne erota kaiuttimesta tulevaa ääntä muiden tilassa työskentelevien aiheuttamasta hälystä. Näistä mittauksista ei näe, mikä on suoraa ääntä ja mikä heijastusta. Spectrum-mittaus analysoi sen signaalin taajuusvasteen, mikä siihen joko mikrofoniin kautta tai sähköisesti syötetään. (McCarthy 2016, 572–574; Kauhanen 2021).



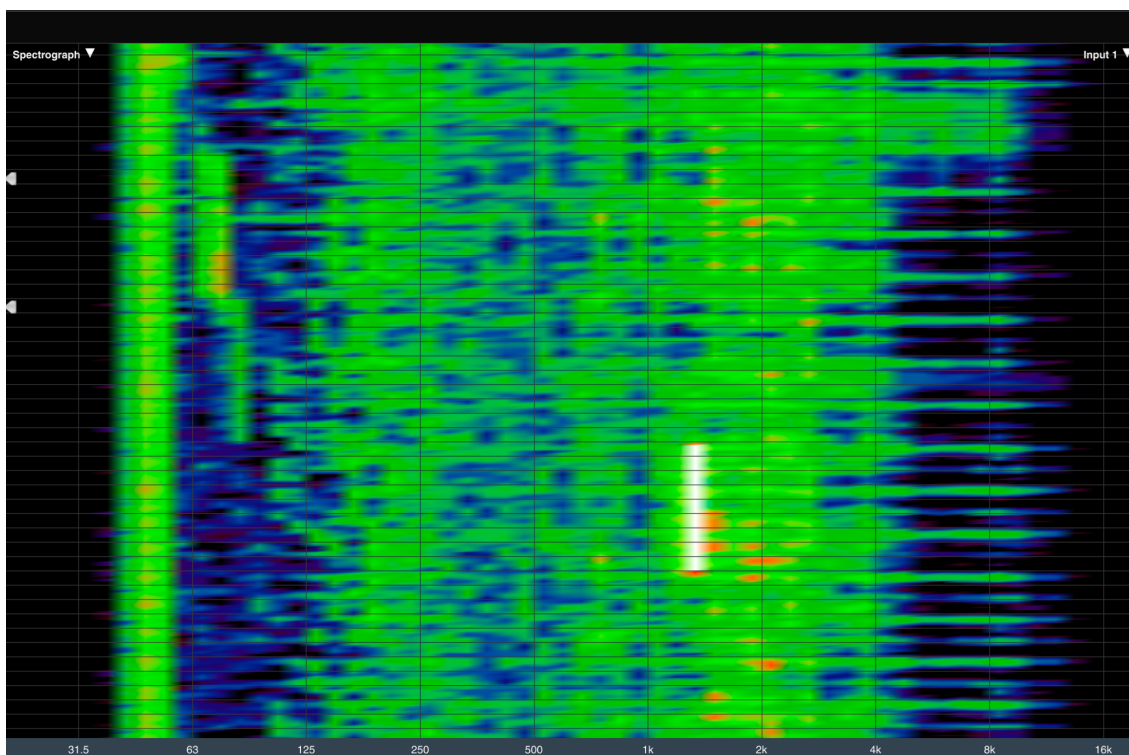
Kuva 35. RTA palkeilla ylempänä, spektrograafi alempana. Kuvakaappaus Smart v8 -ohjelmistosta.

RTA esittää ääntä valitulle aikajaksolle keskiarvotettuna ja valitun levyisissä osioissa. Erilaisia heiluvia palkkeja näkyy paljon myös kuluttajatuotteissa, joten tällainen esitystapa lienee tuttu muillekin kuin audioalan ammattilaisille. RTA-analysaattorin voi joissain analysaattoreissa palkkien sijaan asettaa näyttämään tasot myös viivagraafina (Kuva 36). Lisäksi useissa RTA-analysaattoreissa on mahdollista jättää näkyviin esimerkiksi erillisenä viivana jokaisen palkin peak-taso, eli korkein taso, jolla palkki on käynyt. RTA:ta on helppo lukea, mutta se näyttää aina vain juuri senhetkisen tilanteen, eikä äsken tapahtunutta tilannetta, johon kaipaisi analysaattorin apua, voi enää palauttaa mittarin ruudulle.



Kuva 36. RTA:n esitystapa muutettu palkeista viivaksi. Kuvakaappaus Smart v8 -ohjelmistosta.

Spektrografissa on toisella akselilla taajuudet ja toisella aika. Spektrografi näyttää jatkuvasti paitsi nykyhetkeä visuaalisena esityksenä, myös laitteen asetuksista riippuen jonkin aikaa mennyttä. Eri valmistajien käyttämät värit voivat vaihdella, mutta yleensä mitä voimakkaampi väri, sitä voimakkaampi ääni on ollut. Kun spektrografia oppii lukemaan, se on hyödyllinen työkalu esimerkiksi hetki sitten tapahtuneen kierron taajuuden jäljittämiseen, sillä vinkaisu todennäköisesti näkyy kuvassa selkeästi (Kuva 37). Osassa spektrografeja on mahdollista pysäyttää reaaliaikainen mittaus ja kelata historiaa taaksepäin laitteen ja käyttäjän antamien asetusten mukaisesti joko sekunteja tai jopa minuutteja.

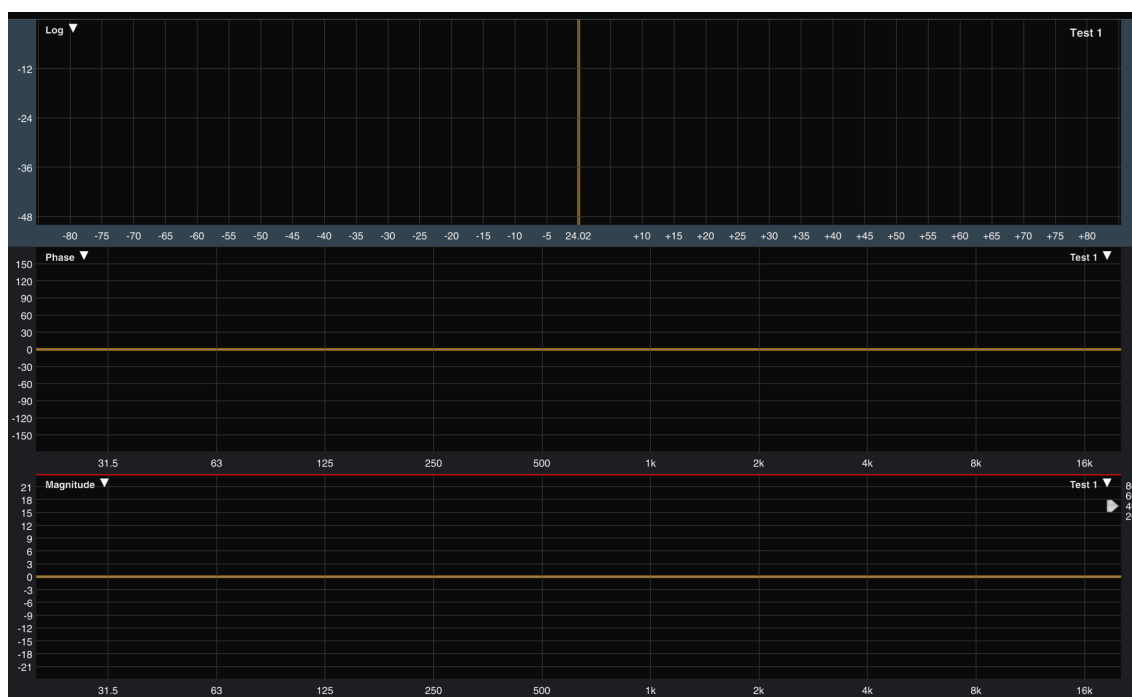


Kuva 37. Spektrografissa näkyy valkoisena voimakkaampi, kapeakaistainen ääni noin 1,3 kHz kohdalla. Se on kuulunut muutama sekunti ennen kuvakaappauksen ottamista. Kuvakaappaus Smart v8 -ohjelmistosta.

Erilaisia RTA-näkymiä voidaan käyttää tapahtuman aikana äänijärjestelmän tuottaman äänen seuraamiseen, missä ne rajoitteistaan huolimatta ovat hyödyllisiä työkaluja. McCarthy (2016) tiivistääkin kirjassaan spectrum-mittausten olevan observointia, ei optimointia (McCarthy 2016, 573).

3.6.2 Transfer function -mittaukset

Transfer function- eli TF-mittauksessa analysoidaan FFT-analyysillä (Fast Fourier Transfer) mittamikin signaalin lisäksi vertailusignaali eli referenssi. TF-mittaukset ovat kaksikanavaisia mittauksia, jossa mitattavaa signaalia verrataan järjestelmään lähetettyyn alkuperäiseen signaaliin (referenssi). TF-mittauksesta on nähtävissä esimerkiksi mitattavan kohteen taajuusvaste, vaihevaste sekä mittauksen laatu eli koherenssi (coherence). Järjestelmä siis arvioi mittausta tehdesään, kuinka luotettava sen antama mittatulos on. Jos tehdään sähköinen TF-mittaus ilman mitään prosessointia, on mittauksen tulos ehjällä laitteistolla suora viiva, koska verrattaessa mittausta referenssisignaaliin ei nähdä minkäänlaista muutosta (Kuva 38). Kun siirrytään akustiseen ympäristöön, tulee mittaustuloksiin mukaan sitä enemmän tulkittavaa, mitä kauemmas mitattavasta kaiuttimesta mennään (Kuva 39, Kuva 40). (Ballou 2009, 1.3.4.2; McCarthy 574–575.)

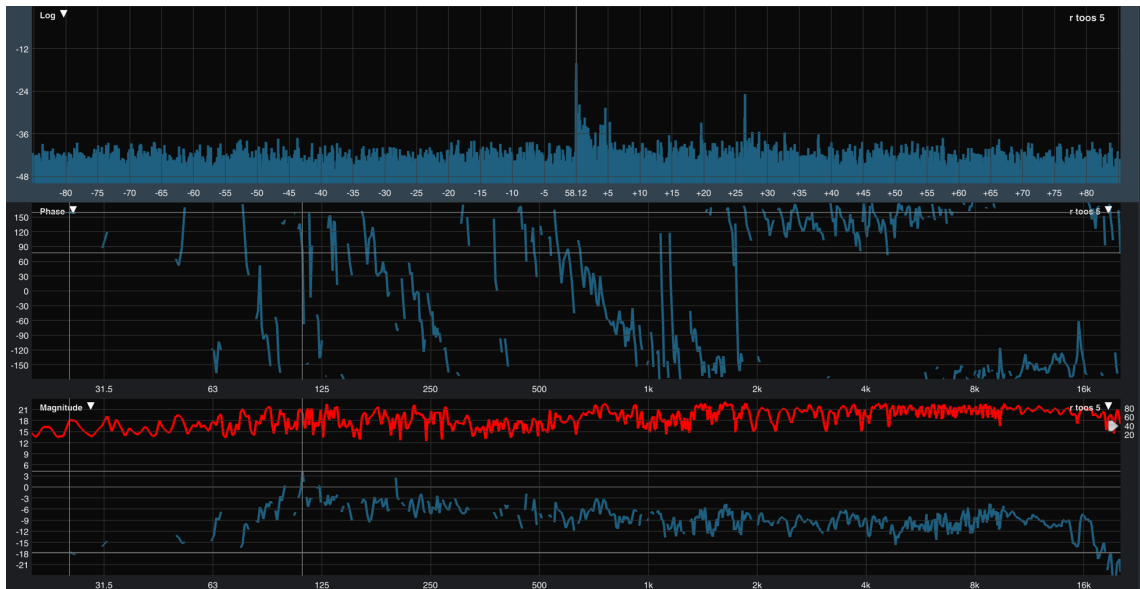


Kuva 38. Sähköinen TF-mittaus, jossa signaali lähtee mittaohjelmasta ja palaa sinne takaisin ilman minkäänlaista muutosta matkallaan. Ylimmässä ikkunassa on pystyviivan alla näkyvillä kompensatioaika, joka referenssisignaaliin on pitänyt antaa, jotta mittatulos on oikein. Se on aika millisekunteina, joka mittasignaali on kestänyt sen kiertäessä mitattavan järjestelmän läpi. Keskimmaisessä ikkunassa näkyy mittauksen vaihevaste – graafinen kuvaus mitatun signaalin eri taajuuksien vaihe-eroista suhteessa toisiinsa. Tässä mittauksessa vaihe-eroa ei ole, joten jokaisen taajuuden arvo on 0° . Alimmassa ikkunassa on graafinen esitys taajuusvasteesta eli jokaisen taajuuden voimakkuudesta suhteessa toisiinsa.

Tässä mittauksessa voimakkuuseroja eri taajuuksien välillä ei ole, joten jokaisen taajuuden arvo on 0 dB. Kuvakaappaus Smart v8 -ohjelmistosta.

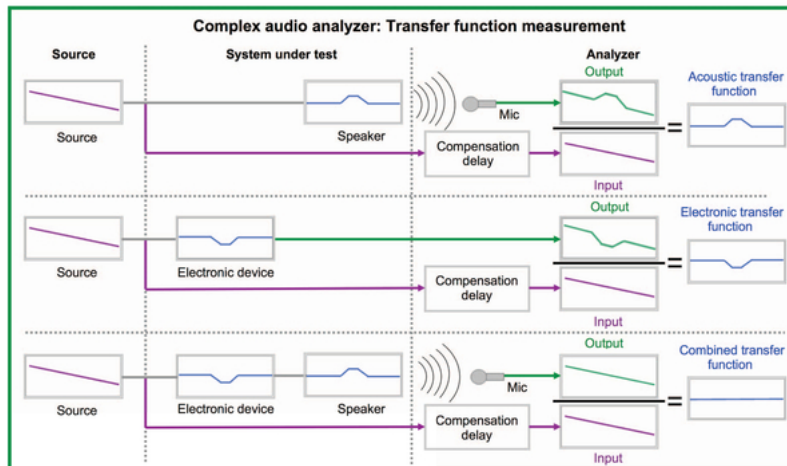


Kuva 39. Mittaus noin metrin päästä keskikokoisesta point source -kaiuttimesta. Keskimmaisessä ikkunassa näkyy mitattu vaihevaste. Toisin kuin sähköisessä mittauksessa, nyt taajuuksilla on mittauksessa toisiinsa nähden vaihe-eroja, jotka esitetään vaihe-ikkunassa näkyvänä grafiikkana. Alemmassa ikkunassa näkyy kaiuttimen taajuusvaste vihreällä. Mittauksen mukaan taajuudet suunnilleen väliltä 125 Hz – 12 kHz ovat yhtä voimakkaita, joskin pieniä eroja on koko kaistalla. Aivan ylimmät taajuudet (n. 12–18 kHz) ovat mittauksessa korostuneet ja alle 125 Hz taajuudet vaimentuvat tasaisesti. Punainen viiva alimman ikkunan yläreunassa kertoo, että mittaustulos on erittäin luotettava suurimmalla osalla kaiuttimen toistamista taajuuksista. Aivan matalammilla taajuuksilla koherenssi huononee, koska kaiutin ei pysty toistamaan niin matalia taajuuksia. Koherenssin luotettavuus esitetään prosentteina, ja asteikko näkyy alimman ikkunan oikeassa yläreunassa. Kuvakaappaus Smart v8 -ohjelmistosta.



Kuva 40. Etäisyyden kasvaessa mittaustuloksissa alkaa näkyä enemmän heijastusten vaikutus, ja tuloksia on vaikeampi lukea. Punainen koherenssiiviiva näyttää prosentteina arvion, kuinka luotettava mittaustulos on. Kuvakaappaus Smart v8 -ohjelmistosta.

Mittasignaalina voidaan käyttää mitä tahansa ääntä, joka sisältää kaikkia mittauksessa tarkasteltavia taajuuksia. Mittasignaalin taajuusvasteella ei siis ole merkitystä mittaustuloksen kanssa, koska mittaus ei analysoi mitattua signaalia vaan eroa alkuperäisen ja järjestelmän läpi kulkeneen signaalin välillä (Kuva 41.) TF-mittauksia tehtäessä on tärkeää viivästä referenssisignaalia saman verran kuin mitä mittasignaalilla on mennyt aikaa kulkea mitattavan järjestelmän läpi mittapisteeseen, jotta vertailtavat signaalit saapuvat tutkittavaksi ajallisesti samaan aikaan. Yleensä mittasignaalina käytetään kaikkia kuuloalueen taajuuksia sisältävää vaaleanpunaista kohinaa (pink noise) tai ns. sweeppiä, joka soittaa kaikki sweepiin valitut taajuudet järjestyksessä läpi muutaman sekunnin aikana. (McCarthy 2016, 574–577; Kauhanen 2021.)



Kuva 41. Kaavio TF-mittausten periaatteesta (McCarthy 2016, 575)

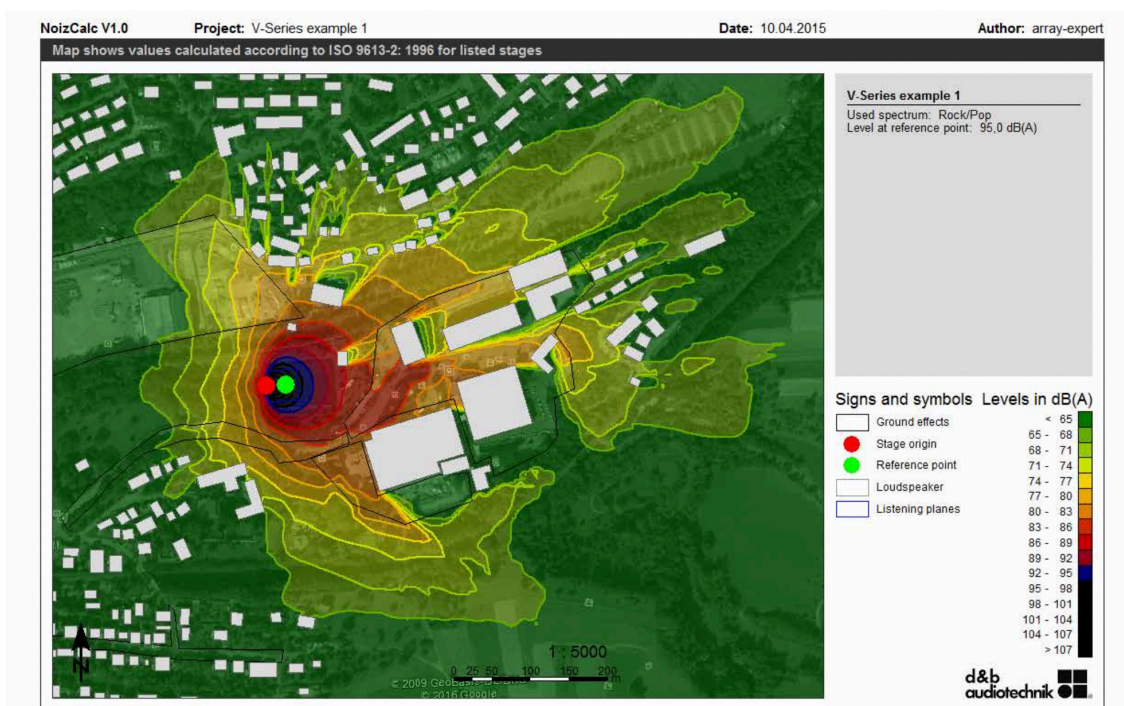
TF-mittauksella voi selvittää, kauanko pidempään äänellä on kestänyt kulkea tiettyyn mittapisteeseen kuin toisesta lähteestä tulevalle äänelle, ja se on siksi hyödyllinen työkalu kaiutinjärjestelmien viiveaikoja asetettaessa. TF-mittauksella voidaan tutkia äänen vaihevastetta eli kuvausta siitä, mihin aikaan eri taajuudet saapuvat mittapisteeseen suhteessa toisiinsa. Mitä enemmän mittauksessa on mukana heijastuksia, sitä huonommaksi koherenssi putoaa. Tämä voi koskea koko mittausta tai vain tiettyjä taajuusalueita. Vaikka mittaaminen on suhteellisen yksinkertaista mittaohjelmistojen tehdessä kaiken laskennan, on käyttäjän aina mietittävä, millaisia ratkaisuja mitattujen tietojen perusteella tekee (Ballou 2015, 49.4).

3.6.3 Äänenpaineen mittaaminen

Kuten kappaleessa 3.4.2 *Äänenpaine* kerrottiin, ei äänenpaineen mittaaminen ole aivan yksiselitteistä. Sitä kuitenkin mitataan tapahtumien yhteydessä monin eri tavoin. Paikalla voi olla ulkopuolinen ympäristömelumittaja, jonka kalibroidut mittalaitteet täyttävät tietyt laatuvaatimukset ja jotka tarkistetaan määräajoin. Tällainen melumittaja raportoi tapahtuman aikaiset tasot ennalta sovittujen mittaus-tapojen ja sijaintipaikkojen mukaisesti, jotka määräytyvät tapahtuman saaman meluluvan sallimien rajojen mukaisesti (Saarinen 2023). Äänijärjestelmästä vastaava ja tapahtuman miksaaja todennäköisesti seuraavat äänenpainetta muutamien eri tavoin järjestelmällä, joka ei välttämättä täytä melumittaukseen vaadittuja laatuvaatimuksia mutta on riittävän tarkka tähän seurantaan.

Joskus myös yleisön edustajat saattavat tutkia äänenpainetta vaikkapa matkapuhelimistaan löytyvillä kalibroimattomilla äänenpainemittareilla. Niilläkin voi osavissa käsissä saada hyvän kuvan vaikkapa suhteellisista äänenpaineen eroista eri kohdissa yleisöaluetta, mutta koska niitä ei voi kalibroida, on niiden antamiin lukuihin suhtauduttava suurella kriittisyydellä. Monet äänen kanssa työskentelevät kuitenkin vertaavat omien puhelimiensa tuloksia ja käyttäytymistä kalibroituun mittalaitteeseen ja pystyvät suurta harkintaa käyttäen hyödyntämään aina tasakustaan löytyvää laitetta osana työtään esimerkiksi tilanteissa, joissa suuren mittarin kanssa ympäriinsä kuljeskeleminen voisi kiinnittää liikaa huomiota.

Tapahtumien aiheuttamaa ympäristömelua mitataan Suomessa usein sekä esiintymispaikan miksaus pisteeltä että tapahtumapaikan ulkopuolelta, usein lähimmän asuinrakennuksen vierestä tai joskus rakennuksen katolta tai jonkin asunnon parvekkeelta. Kaiutinjärjestelmän suunnittelija on joskus kahden tulen välissä: toisaalta tulee varmistaa, että kaiutinjärjestelmän tuottama äänenpaine on riittävä kyseiseen tapahtumaan, toisaalta meluluvan maksimilukuja tapahtuma-alueen ulkopuolella ei saa ylittää. Erityisesti taajaan asutuilla alueilla järjestettävissä ulkoilmatilaisuuksissa molempien vaateiden toteuttaminen samanaikaisesti voi olla haastavaa. Osa Suomen kaupungeista vaatii kaupunkialueilla järjestettävistä tapahtumista etukäteen melumallinnosta, jollaisia on mahdollista tehdä siihen suunnitellulla tietokoneohjelmistolla (Kuva 42) (Saarinen 2023). Ohjelmisto laskee äänen leviämistä ympäristöön tarkemmin ja monimutkaisemmin kuin kaiutinsuunnitteluohjelmisto, ja sen käyttö on tämän takia myös hitaampaa ja vaatii tehokkaamman tietokoneen.



Kuva 42. NoizCalc-ohjelmiston laskema mallinnus ympäristömelun leviämisestä tapahtumaa ympäröiville alueille (d&b Audiotechnik GmbH 2016, 5)

Äänenpainemittauksissa ei voida datan perusteella erotella, mikä osa äänestä aiheutuu äänentoistojärjestelmästä ja mikä vaikkapa mittauspisteen ohi ajavasta raitiovaunusta. Se on yksikanavaista mittaamista, kuten spectrum-mittauskin, ja mitattuun arvoon vaikuttavat niin mittarin kalibrointi kuin laitteiston kuntokin. Kalibroitaviakin mittareita on eri laatuluokkiin kuuluvia, joista osalle sallitaan suurempi mittavirhe kuin toisille. Paremman luokan mittalaitteet ovat luonnollisesti kalliimpia.

3.6.4 Viiveaikojen mittaaminen

Kun kaiutinjärjestelmässä on useampi osa, tulee eri osien väliset kulkuajakaerot kompensoida (Kuva 10, sivu 28). Mikäli tätä ei tehdä, voi ääni esimerkiksi kuulostaa tulevan kahteen kertaan tai vääristyä kampsuodinilmiön takia, kuten kapaleessa 3.1 *Äänen ominaisuudet* todettiin. Äänijärjestelmässä voi olla pääkaiuttimien lisäksi kaiuttimia, jotka huolehtivat äänen kuulumisesta esimerkiksi aivan lavan edessä (front fillit), osaan sivukatsomoa (sivu-PA) ja yleisöalueen taaempiin osiin (pää- ja sivudelayt). Lisäksi järjestelmässä voi olla maahan aseteltujen

maasubien lisäksi ripustettuja eli lentosubeja (flown subs) niin pää- kuin viivekaiuttimien yhteydessä. Tarvittavien kaiutinryhmien määrä riippuu aina muun muassa tapahtumapaikasta ja yleisöalueen laajuudesta (Kuva 43). (McCarthy 2016, 673–677; Kauhanen 2021.)



Kuva 43. Stadionkonsertin kaiutinjärjestelmän eri osia (Kuva: Terhi Salo)

Tapoja mitata kaiutinryhmien välisiä viiveaikoja on useita. Yksinkertaisimmillaan voidaan mitata kahden kaiutinryhmän etäisyysero haluttuun pisteeseen ja laskea sen mukaan äänen kulkuaikaero hyödyntämällä äänen teoreettista kulkunopeutta ilmassa. Tämä metodi ei kuitenkaan ole tarkka, ja äänen nopeus ilmassa myös vaihtelee lämpötilan ja kosteusprosentin mukaan, joten lopputulos on käytännössä aina enemmän tai vähemmän epätasainen.

TF-mittauksen impulssi-ikkunaa hyödyntäen voidaan tarkastella äänen suhteellisia kulkuaikaeroja tarkemmin. Tässäkin mahdollisuuksia on monia: mittaohjelmassa on yleensä mahdollista tarkastella äänen kulkuaikaa lineaarisesti (yhtä monta näytettä per valittu hertsimäärä) tai logaritmisesti (yhtä monta näytettä per oktaavi) näytteitä ottavassa mittauksessa, tai tarkastella ainoastaan tiettyä taajuuskaistaa (esim. oktaavin levyinen alue, jonka keskitaajuus on valittavissa). (Rational Acoustics LLC 2018, 27, 142–143, 145, 147–148, 152, 157–158, 160; AFMG Ahnert Feistel Media Group 2014, 70–71, 73–75.)

Impulssi-ikkuna ei toimi matalampien taajuuksien kanssa, ja yleensä subien ja mid/high-kaiuttimien välistä kulkuaikaeroa pitääkin tutkia jollain muulla menetelmällä. Yleensä tässä kohtaa tutkitaan molempien kaiutintyyppien vaihevastetta ja etsitään viiveaika, jolloin vaihevasteet vastaisivat toisiaan siltä alueelta, millä molemmat kaiutinryhmät toimivat. Keskenään samanmerkkisten kaiuttimien kanssa tämä yleensä onnistuu kohtuullisen hyvin, sillä valmistajat pyrkivät rakentamaan kaiuttimensa niin että käyttäjän on mahdollista tehdä siististi yhdistyvä järjestelmä. Yhdistettäessä erimerkkisiä kaiuttimia voi joutua tekemään kompromisseja tai käyttämään erityisiä työkaluja, joilla vaihevastetta voi muokata.

4 TUTKIMUS SUOMALAISTEN MUSIIKKITAPAHTUMIEN ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMISTÄ

4.1 Tutkimuksen tarkoitus, tutkimusstrategia ja -etiikka

Opinnäytetyön tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia, kuinka aiemmin tässä työssä mainitut äänentoistojärjestelmien suunnitteluun vaikuttavat seikat toteutuvat suomalaisten äänentoistoalan ammattilaisten työssä. Tarkoitus oli tutkia, kuinka ammattilaiset painottavat eri näkökulmia lähestymistavassaan suunnitella äänentoistojärjestelmä musiikkitapahtumaan sekä kuinka heidän painotuksensa näkyy tehdyssä suunnitelmassa. Tutkimuksessa pyydettiin vastaajia valitsemaan yksi suunnitteluohjelmalla tehty kaiutinjärjestelmäsuunnitelma ja lähettämään se tutkimukseen analysoitavaksi. Kaiutinjärjestelmän merkillä tai käytetyllä suunnitteluohjelmalla ei ollut merkitystä, mutta osallistujille painotettiin, että suunnitelman tulee olla sellainen, jota on oikeasti käytetty tapahtumassa. Lisäksi vastaajilta kysyttiin lomakkeella lisätietoja kyseisestä tapahtumasta, heidän omia näkemyksiään lähetetyn suunnitelman onnistumisesta sekä taustatietoja. Tutkimus on tehty eettisen ja hyvän tieteellisen käytännön ohjeistuksia noudattaen, erityisesti vastaajien anonymiteettiä suojellen (Arene ry 2019).

Tutkimuksen toteuttamiseksi laadittiin kyselytutkimuslomake (Liite 1) Formsitesivustolle, jonka kautta oli mahdollista pyytää vastaajia myös lähettämään tiedosto. Linkki tutkimuslomakkeeseen lähetettiin suoraan viidelle suomalaiselle äänentoistoyritykselle, ja pyydettiin jakamaan linkkiä heidän työntekijöilleen ja freelancereilleen. Lisäksi linkki julkaistiin yhden yrityksen omassa äänitekniikoille tarkoitetussa Facebook-ryhmässä ja yhdessä kaikille suomenkielisille äänitekniikoille avoimessa Facebook-ryhmässä. Näitä väyliä pitkin oli todennäköistä tavoittaa suurin osa tutkimuksen kohderyhmään kuuluvista ihmisistä.

Tutkimuksessa on yhdistelty laadullisen (kvalitatiivinen) ja määrällisen (kvantitatiivinen) tutkimuksen menetelmiä. Kyselytutkimuksen vastauksia ja lähetettyjä kaiutinsuunnitelmia tutkittiin määrällisesti numeerisiin tuloksiin perustuen, mutta arviointi oli pääasiassa kvalitatiivista työssä esiteltyä taustatietoa vasten. Vaikka suuresta osasta vastauksia pystyttiin luomaan erilaisia tilastokaavioita, vastaajien

maltillisen määrän takia tutkimuksen perusteella ei varsinaisia koko alaa koskevia tilastomatemattisia päätelmiä voi tehdä. Tutkimusstrategiana on käytetty myös vertailevaa tutkimusta. (Tuominen 2005, 1–13; Jyväskylän yliopisto 2015.)

4.2 Tutkimuslomakkeen sisältö

Tutkimuslomakkeen (Liite 1) alussa esiteltiin tutkimuksen tarkoitus, tutkija sekä tutkimuksen sisältö pääpiirteittäin. Tekstissä kerrottiin, millaisissa työtehtävissä toimineita henkilöitä tutkimukseen toivottiin osallistuvan ja että osallistuakseen tutkimukseen tulee antaa analysoitavaksi yksi vastaajan tekemä kaiutinjärjestelmäsuunnitelma toteutuneesta musiikkitapahtumasta. Lisäksi kerrottiin, että tutkimukseen vastaaminen tapahtuu anonyymisti.

Vastaajalle kerrottiin lomakkeen täyttämiseen arviolta menevä aika sekä vakuutettiin, että kaikki kerätty data pysyy ainoastaan tutkijan ja mahdollisesti häntä ohjaavien opettajien nähtävillä. Tekstissä kerrottiin myös, että kerätty data analysoitaisiin manuaalisesti ja että mitään kerättyjä tietoja ei käytettäisi muuta, kun kyseessä olevaa tutkimusta varten. Vastaajaa kehoitettiin halutessaan ottamaan yhteyttä tutkijaan, ja annettiin tutkijan sähköpostiosoite. Tervehdystekstin lopussa kerrottiin vielä, mihin saakka kysely on auki, sekä kiitettiin kaikkia vastaajia avusta. Kysely toteutettiin huhti-toukokuussa 2021, jolloin koronapandemia rajoituksineen oli aiheuttanut suurimmalle osalle potentiaalisia vastaajia joko työttömyyttä tai pakottanut heidät muiden alojen töihin.

Ensimmäisessä varsinaisessa kyselyosiossa kysyttiin, onko vastaaja toiminut työtehtävissä, joissa hän on suunnitellut ja käyttöönottonut sekä optimoinut musiikkitapahtuman äänentoistojärjestelmän. Mikäli tähän vastasi kyllä, pääsi seuraavaan kysymykseen. Mikäli tähän vastasi ei, kiitettiin vastaajaa osallistumisesta. Tutkimus päättyi tähän kiitokseen.

Seuraavassa kysymyksessä kysyttiin, onko vastaajalla tallessa vähintään yksi toteutuneen musiikkitapahtuman kaiutinjärjestelmäsuunnitelma suunnitteluohjelman tiedostona. Mikäli tähän vastasi kyllä, pääsi seuraavaan osioon. Mikäli tähän vastasi ei, kiitettiin vastaajaa osallistumisesta tutkimukseen ja tutkimus päättyi

tähän. Kysymykseen oli mahdollista vastata myös ”kyllä, mutta en halua antaa sitä tämän tutkimuksen käyttöön”. Tutkimus päättyi, mikäli valitsi tämän vaihtoehdon.

Toisessa osiossa vastaajaa pyydettiin lähettämään tutkimuksen käyttöön jokin kaiutinsuunnitelma, jonka tekijä on tehnyt ja jota on oikeasti käytetty musiikkitaapahtumassa. Tiedostosta pyydettiin poistamaan kaikki tekijään tai kyseiseen tapahtumaan liittyvät tiedot. Ohjeissa todettiin kuitenkin, että mikäli tilaisuus on ollut jollain yleisesti tunnetulla tapahtumapaikalla, jossa järjestetään paljon muitakin tilaisuuksia, voi tapahtumapaikkaan viittaavat tiedot jättää. Ohjeissa korostettiin, että tavoitteena on saada tiedostot sellaisina, ettei niiden tekijää pysty päättämään tiedoston tiedoista. Lisäksi mainittiin, että mikäli näistä toimenpiteistä huolimatta tutkija silti tunnistaa kyseisen vastauksen lähettäjän, sen ei anneta vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin, ja että kaikessa saadun datan tutkimuksessa noudatetaan eettisen tutkimuksen periaatteita. Vastaajalle myös kerrottiin, että lähettämällä tiedoston hän samalla antaa suostumuksensa sen käyttöön tässä tutkimuksessa.

Tutkimuksen kolmannessa osiossa pyydettiin antamaan lisätietoja lähetetystä kaiutinsuunnitelmasta ja kyseessä olleesta tapahtumasta. Vastaajaa pyydettiin arvioimaan, mikä kyseisessä suunnitelmassa oli onnistunut hyvin ja mitä hän muuttaisi tai kehittäisi suunnitelmassa nyt jälkeenpäin. Näihin kysymyksiin annettiin valmiita vastausvaihtoehtoja sekä tekstikenttä omaa vastausta varten. Seuraavaksi pyydettiin vastaajaa kertomaan, millä ohjelmalla suunnittelu oli tehty. Lomakkeelle oli listattu muutamia yleisimmin käytettyjä ohjelmistoja sekä tekstikenttä omaa vastausta varten.

Seuraavaksi lomakkeella pyydettiin lisätietoja tapahtumasta, jossa suunnitelmaa oli käytetty. Vastaajaa pyydettiin kuvailemaan, millainen musiikkitapahtuma oli kyseessä, sekä tilaa, jossa tilaisuus järjestettiin. Vastaajalta kysyttiin myös, oliko hänelle selkeästi määritelty tapahtuman yleisöalue joko asiakkaan tai esimerkiksi projektipäällikön taholta. Kaikkiin näihin kysymyksiin oli tarjolla valmiita vastausvaihtoehtoja sekä tekstikenttä omaa vastausta varten.

Tutkimusdatan käsittelyä varten pyydettiin vielä lisätietoja kaiutinsuunnitelmatiedoston toteutuksesta. Lomakkeella kysyttiin, käykö lähetetyn kaiutinsuunnitelman yleisöalueiden nimistä ilmi, missä yleisöä todellisuudessa oli. Mikäli tähän kysymykseen vastasi ei, pyydettiin antamaan lisätietoa yleisöalueista. Tämän kysymyksen tarkoituksena oli varmistaa, että tutkijan on mahdollista analysoida suunnitelmaa samoista lähtökohdista kuin tiedoston lähettäjäkin on tehnyt. Mikäli tiedostossa olisi näkyvillä esimerkiksi kokonainen jääkiekkohalli, mutta yleisöä on todellisuudessa ollut vain jäällä, on hyvä tietää, että nousevissa katsomoissa ei ole ollut ketään, eikä siellä näin ollen ole tarvinnut äänen kuuluakaan. Tämän osion lopuksi vastaajalle tarjottiin vapaaehtoinen lisätietokenttä, johon pyydettiin kertomaan muita lisätietoja tapahtumasta tai kaiutinsuunnitelmasta, mikäli vastaaja niin halusi. Kenttää saattoi käyttää myös esimerkiksi tarkentamaan sanallisesti lähetetyn tiedoston yleisöalueiden rajoja.

Tutkimuksen neljännessä osiossa pyrittiin kartoittamaan vastaajien työskentelytapoja ja näkemyksiä yleisellä tasolla tarkemmin. Vastaajaa pyydettiin arvioimaan, mitkä ovat hänen oman näkemyksensä mukaan tärkeimpiä lähtökohtia kaiutinjärjestelmän suunnittelulle ja missä asioissa hän oman näkemyksensä mukaan onnistuu parhaiten. Näihin kysymyksiin oli annettu valmiita vastausvaihtoehtoja sekä tekstikenttä omaa vastausta varten. Vastaajalta kysyttiin myös, kuinka hän määrittelee tarvitsemansa subwoofer-kaiuttimien määrän. Lisäksi kysyttiin, kuinka tekijä määrittelee tarvitsemansa apukaiutinryhmien määrän.

Tutkimuksen viidennessä osiossa kysyttiin äänentoistojärjestelmien käyttöönottoon ja optimointiin liittyviä kysymyksiä. Vastaajalta kysyttiin, tekeekö hän akustisia mittauksia käyttöönoton ja optimoinnin yhteydessä, sekä tarkentavana kysymyksenä, millaisia mittauksia. Jälleen vastaajalla oli mahdollisuus valita valmiista vastausvaihtoehdoista tai kirjoittaa oma vastaus tekstikenttään. Seuraavaksi kysyttiin, kuinka vastaaja pääsääntöisesti määrittää eri kaiutinryhmien väliset viiveajat. Valmiiksi annettujen vaihtoehtojen lisäksi vastaajan oli mahdollista kirjoittaa oma vastauksensa tekstikenttään. Mikäli vastaaja valitsi vaihtoehdon ”mittaan ajat mittaohjelmalla”, pyydettiin vastaajaa kuvailemaan tekstikenttään, kuinka hän mittaohjelmaa hyödyntää tässä toimenpiteessä.

Kuudennessa ja viimeisessä osiossa kartoitettiin vielä hieman vastaajan taustoja. Vastaajaa pyydettiin kertomaan, onko hän toiminut äänentoistoalalla alle viisi, viidestä kymmeneen vai yli kymmenen vuotta. Lisäksi kysyttiin, onko vastaajalla äänentoistoon tai äänen käsittelyyn edes etäisesti liittyvä tutkinto. Vastaajaa pyydettiin kertomaan, onko hän osallistunut äänentoistoon liittyville kursseille tai koulutuksiin. Mikäli tähän kysymykseen vastattiin kieltävästi, pyydettiin vastaajaa vielä kertomaan miksi hän ei käy kursseilla tai koulutuksissa. Tämän jälkeen tutkimus päättyi, ja vastaajaa kiitettiin osallistumisesta.

Kysymyksissä, jossa pyydettiin arvioimaan kaiutinsuunnitelmaa tai vastaajan omia näkemyksiä siitä, mikä äänentoistojärjestelmissä on tärkeää, käytettiin samoja vastausvaihtoehtoja. Vastaajaa pyydettiin valitsemaan 1–3 omasta mielestään tärkeintä vaihtoehtoa kuhunkin kysymykseen liittyen. Näitä äänentoistoon liittyviä termejä ja ilmiöitä on selitetty tarkemmin tässä opinnäytetyössä kohdassa *3.4 Äänentoistojärjestelmän suunnitteluun vaikuttavat seikat*. Mainitut vastausvaihtoehdot olivat:

- Järjestelmän soundi
- Äänenpaineen riittävyys (max SPL)
- Äänenpaineen vaihtelun hallinta (koko yleisöalue määrittelemäsi äänenpaineikkunan sisällä)
- Tonaliteetin jatkuvuus/pysyvyys (sub/mid/high -kaistat seuraavat toisiaan mahdollisimman hyvin)
- Tavoitevaste (target curve)
- Järjestelmän optimointi/viritys
- Signaali-kohinasuhde (Signal to noise -ratio, S/N)
- Suoran ja heijastuneen äänen suhde (Direct to reverberant ratio, D/R)
- Heijastusten välttely
- Muu, mikä?

4.2.1 Kaiutinsuunnitelman analysointi

Vastaajien lähettämät kaiutinsuunnitelmat analysoitiin niitä ohjelmistoja apuna käyttäen, joilla ne oli tehty. Suunnitelmista otettiin kuvakaappauksia värianalyysiä

varten. Kuvakaappaukset muutettiin pikseligrafiikaksi verkkosivusto www.stitch-fiddle.comin avulla. Tämän jälkeen laskettiin kunkin värin prosenttiosuus kuvapinnasta kunkin värin pikselimäärää hyödyntäen. Tätä prosessia on kuvattu tarkemmin liitteessä 2. Tutkittavat suunnitelmat oli tehty kolmella eri ohjelmistolla.

Suunnitelmista ei ollut mahdollista saada tismalleen samanlaisia tietoja, sillä vastaajien käyttämät ohjelmistot ovat ominaisuuksiltaan erilaisia. Niissä ohjelmissa, joissa oli mahdollista valita laskentaan mukaan matalien taajuuksien kumoutumisalueet, tämä valinta laitettiin päälle. Eri ohjelmistoista saaduissa tuloksissa on siis ohjelmiston ominaisuuksien mukanaan tuomia eroavaisuuksia. Suunnitelmia analysoitaessa on kuitenkin pyritty varmistamaan, että saatu data olisi mahdollisimman vertailukelpoista asettamalla ohjelmistojen asetukset mahdollisimman samankaltaisiksi ja käsittelemällä niitä värianalyysin osalta samojen periaatteiden mukaisesti.

Jokaisesta suunnitelmasta määritettiin vastaajan antamien tietojen perusteella yleisöalue ja sen pituus pääkaiuttimien akselilla. Yleisöalueen äänenpaineen jakautumista tarkasteltiin ohjelmistoissa neljällä taajuuskaistalla, joiden keskitäajuuksiksi pyrittiin saamaan 10 kHz, 4 kHz, 250 Hz ja 63 Hz. Yhdessä ohjelmistoista kaistan leveydeksi pystyi määrittämään oktaavin. Toisessa kaistan keskitäajutta ei voinut valita, vaan tarjolla oli ennalta valittuja rajataajuuksia, joiden väliin kaistan pystyi määrittämään. Analyysiä tehdessä arvot pyrittiin valitsemaan tässä ohjelmassa siten, että ne vastaisivat mahdollisimman hyvin yllä mainittuja keskitäajuuksia ja noin oktaavin leveyttä. Kolmannessa ohjelmistossa pystyi vain valitsemaan keskitäajuuden, mutta kaistan leveyttä ei käyttöohjeessa tai ohjelmiston sisällä ilmoitettu.

Kahdessa ohjelmistossa yleisöaluetta pystyi tarkastelemaan 3D-näkymässä. Näihin ohjelmistoihin määritettiin yhden värialueen vaihteluväliksi 3 dB ja otettiin kuvakaappaukset äänenpaineen jakautumisesta yleisöalueelle värianalyysiä varten. Kolmannessa ohjelmistossa äänen jakautumista pystyi tarkastelemaan vain 2D-näkymässä, eikä värialueen vaihteluväliä ei ollut mahdollista muokata samantapaiseksi kuin kahdessa muussa. Tällä ohjelmistolla tehdyistä suunnitelmista ei saatu kaikkia samoja tietoja analysoitua kuin muista.

Värianalyysin tueksi samat kuvat arvioitiin silmämääräisesti sekä yhdellä ohjelmistolla sen tarjoamaa työkalua hyväksi käyttäen. Tässä arvioinnissa arvioitiin yleisöalueen äänenpaineen vaihtelu samoilla taajuuskaistoilla kuin millä värianalyysikin tehtiin. Lisäksi tarkasteltiin vielä koko yleisöalueen äänenpaineen vaihtelua A-painotettuna. Yhdellä ohjelmistoista A-painotetun äänenpaineen tarkastelu ei kuitenkaan onnistunut.

Järjestelmän tonaliteetin pysyvyyttä arvioitiin jokaisesta ohjelmasta siihen soveltuvassa näkymässä mutta yhdestä ohjelmistosta sellaista ei löytynyt. Tonaliteetin pysyvyyden arviointi tehtiin tutkijan subjektiivisen näkemyksen mukaan arvioiden tonaliteetin pysyvyyttä asteikolla 1–3. Arvosanan 1 saivat ne, joissa tonaliteetti pysyi vähintäänkin kohtuullisen hyvin koko yleisöalueella. Arvosanan 2 sai, jos tonaliteetti pysyi vain osalla yleisöaluetta. Arvosanan 3 sai, jos tonaliteetti vaihteli koko yleisöalueella selkeästi.

Mikäli suunnitelmassa oli monikanavaääneen, lavamonitorointiin tai miksaajan omaan työskentelyyn liittyviä kaiuttimia, niitä ei huomioitu tutkimuksessa. Suunnitelmien tilamallinnuksia ei muokattu, mutta niistä laitettiin osia päälle ja pois vastaajan antamien lisätietojen mukaan siten, että jäljelle jäänyt osa mahdollisimman totuudenmukaisesti edustaisi todellista yleisöaluetta.

4.3 Tutkimuksen tulokset

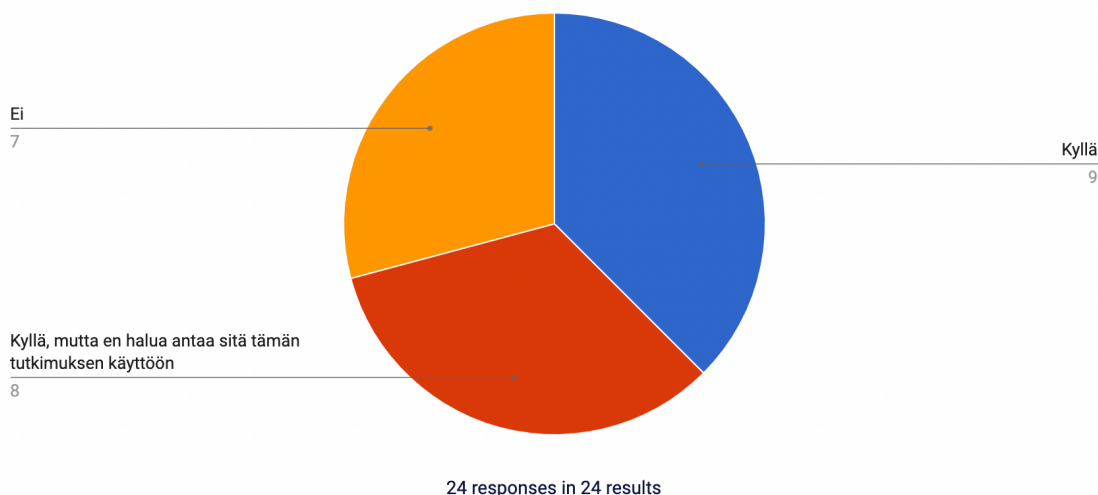
4.3.1 Tutkimukseen kelpaavat vastaukset

Tutkimuksen alussa karsittiin vastaajista pois ne, jotka eivät kuuluneet tutkimuksen kohderyhmään. Ensimmäisenä kysyttiin: ”Oletko toiminut työtehtävissä, joissa olet suunnitellut ja käyttöönottanut sekä optimoinut musiikkitapahtuman äänentoistojärjestelmän?” Tutkimukseen tuli kaiken kaikkiaan 25 vastausta, joissa kaikkiin pyydettyihin kysymyksiin oli vastattu. Näistä yksi oli vastannut heti tähän ensimmäiseen karsintakysymykseen ei.

Toinen karsintakysymys kuului: ”Onko sinulla tallessa vähintään yksi toteutuneen musiikkitapahtuman kaiutinjärjestelmäsuunnitelma suunnitteluohjelman tiedostona?” Jäljellejääneistä 24 vastaajasta seitsemän vastasi ei, ja kysely päättyi heidän osaltaan tähän. Kahdeksan vastaajaa ei halunnut antaa suunnitelmaansa tutkimuksen käyttöön, vaikka heillä sellainen olikin. Heidänkin osaltaan tutkimus päättyi tähän. Yhdeksän vastaajaa vastasi kyllä ja lähetti pyydetyn tiedoston.

Kaksi vastaajista oli kuitenkin lähettänyt kaiutinsuunnitelman puhetilaisuudesta, jossa ei heidän antamiensa lisätietojenkaan perusteella ollut musiikkiesityksiä. Koska tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia nimenomaan musiikkitapahtumien äänentoistojärjestelmiä, jouduttiin nämä vastaukset jättämään huomiotta. Tämän opinnäytetyön tutkimusosio perustuu jäljelle jääneiden seitsemän vastaajan vastauksiin ja heidän lähettämiensä suunnitelmien analysointiin (Kuvio 2).

Onko sinulla tallessa vähintään yksi toteutuneen musiikkitapahtuman kaiutinjärjestelmäsuunnitelma suunnitteluohjelman tiedostona?
Tapahtuman tai kaiutinjärjestelmän koolla tai kaiuttimien valmistajalla ei ole merkitystä.



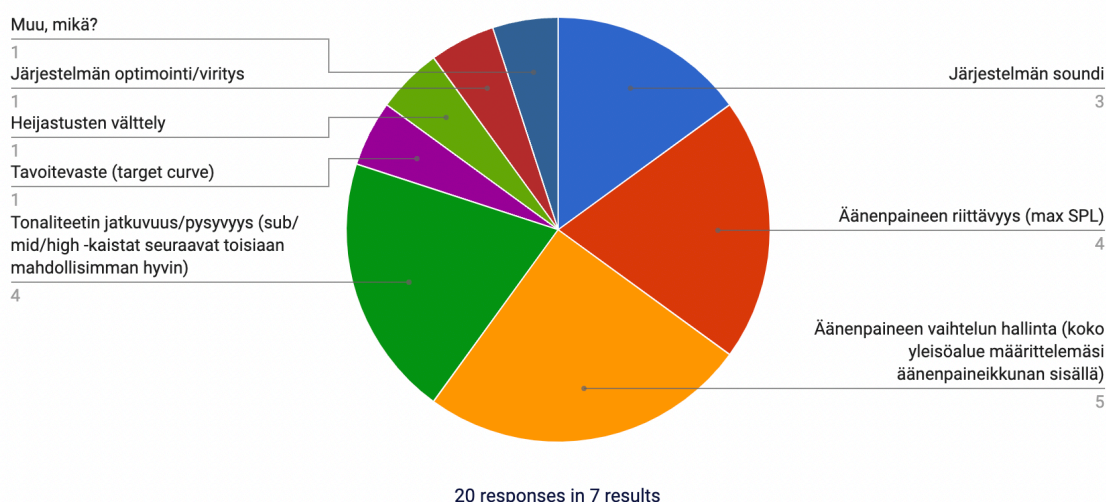
Kuvio 2. Kohderyhmän vastausten jakautuminen kysyttäessä, onko vastaajalla tallessa vähintään yksi toteutuneen musiikkitapahtuman kaiutinjärjestelmäsuunnitelman suunnittelutiedosto. Kaksi myöntävästi vastannutta lähetti kuitenkin suunnitelman puhetilaisuuteen. Piirakkakaavio.

Tutkimukseen hyväksytyt tiedostot oli tehty kolmella eri ohjelmistolla. Jokainen näistä ohjelmistoista oli kaiutinvalmistajan käyttäjilleen ilmaiseksi tarjoama sovellys, jolla voi tutkia kyseisen yrityksen valmistamien kaiuttimien tuottaman äänen käyttäytymistä yleisöalueella.

4.3.2 Vastaajien arviot omista kaiutinsuunnitelmistaan

Omia kaiutinsuunnitelmia arvioidessaan vastaajia pyydettiin valitsemaan 1–3 omasta mielestään parhaiten onnistunutta asiaa suunnitelmastaan. Parhaiten vastaajat kokivat onnistuneensa äänenpaineen vaihtelun hallinnassa yleisöalueella, jonka oli valinnut viisi seitsemästä vastaajasta. Seuraavaksi parhaiten vastaajat kokivat onnistuneensa äänenpaineen riittävyyden suunnittelussa sekä tonaliteetin jatkuvuuden / pysyvyyden pitämisessä. Nämä vaihtoehdot oli vastaukseensa valinnut neljä vastaajaa. Järjestelmän soundin osalta koki onnistuneensa kolme vastaajaa. Kuvio 3 esittää vastausten jakautumista.

Mitkä asiat omasta mielestäsi onnistuivat tässä kaiutinsuunnitelmassa hyvin? Valitse 1–3 omasta mielestäsi parhaiten onnistunutta.



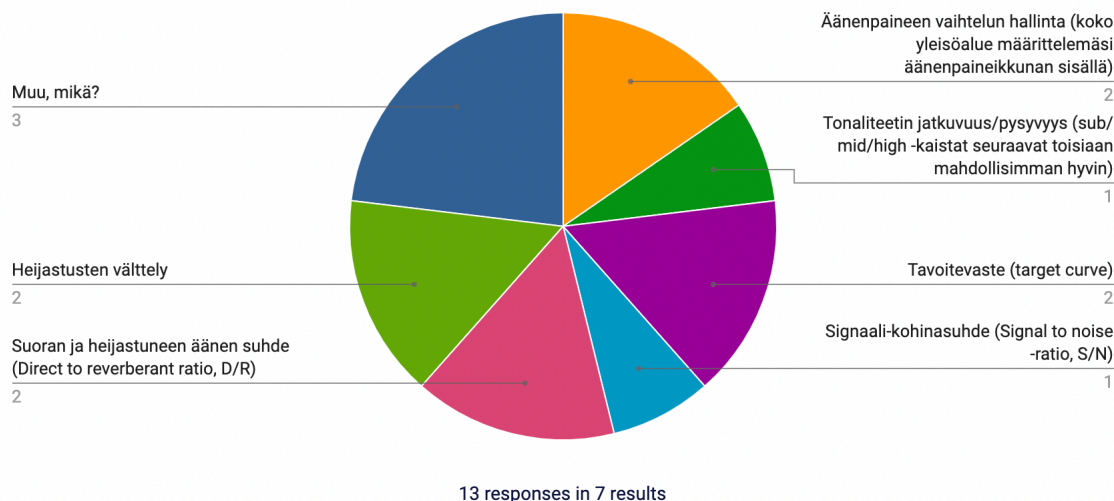
Kuvio 3. Vastausten jakautuminen vaihtoehtojen kesken. Piirakkakaavio.

Arvioidessaan omissa kaiutinsuunnitelmissaan onnistuneita asioita kukaan ei valinnut vaihtoehtoja signaali-kohinasuhde tai suoran ja heijastuneen äänen suhde. Yksi vastaaja oli kuitenkin kokenut onnistuneensa heijastusten välttelyssä hyvin. Yksi vastaaja käytti vapaan vastauksen tekstikenttää ja kertoi, että tapahtumassa olleet suuret videoscreenit olivat hankaloittaneet kaiuttimien sijoittelua, sillä kaiuttimet eivät saaneet tulla screenien eteen. Hän koki tämän mukanaan tuomista rajoitteista huolimatta onnistuneensa kaiuttimien sijoittelussa hyvin.

Siinä missä vastaajat olivat omasta mielestään onnistuneet pitkälti samantyyppisissä asioissa, löysivät he kaiutinsuunnitelmistaan muutettavaa tai kehitettävää

hyvinkin eri kulmilta. Suosituimmat valinnat valmiista vastausvaihtoehdoista tulevaisuuden kehityskohteiksi vastaajien töissä olivat vastaajien mukaan tavoitevaste, heijastusten välttely sekä suoran ja heijastuneen äänen suhde. Kukin vastausvaihtoehto oli valittu kahden vastaajan toimesta (Kuvio 4).

Mitä muuttaisit / kehittäisit designissasi nyt jälkikäteen? Valitse 0–3 omasta mielestäsi eniten kehittämistä vaativaa.



Kuvio 4. Vastausten jakautuminen vaihtoehtojen kesken. Piirakkakaavio.

Eniten vastauksia tuli kohtaan, jossa sai kertoa kehityskohteistaan omin sanoin. Kehityskohteiden joukossa mainittiin ympäristömelun parempi hallinta asutuksen suuntaan, pääkaiuttimien parempi kattavuus eturivistä lähtien sekä kaiuttimien ripustuskorkeus suhteessa yleisöalueen pituuteen. Yhdessä vastauksessa todettiin, että järjestelmä olisi kaivannut apukaiutinryhmiä lavan sivuilla oleville ihmisille. Kukaan vastaajista ei vastannut, että he haluaisivat muuttaa tai kehittää nyt jälkikäteen kaiutinsuunnitelmassaan järjestelmän soundia, äänenpaineen riittävyyttä tai järjestelmän optimointia ja viritystä.

4.3.3 Musiikkitapahtumien taustatiedot

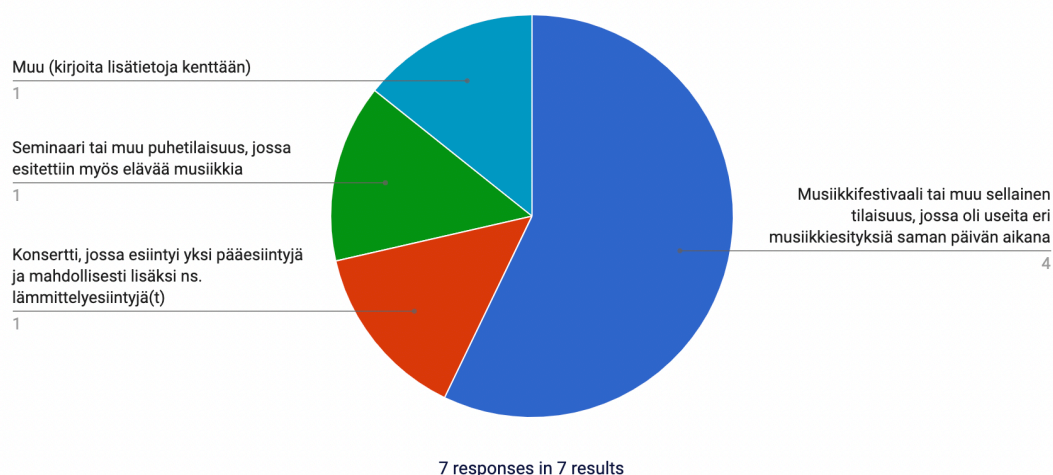
Vastaajia pyydettiin luonnehtimaan, millaisessa tilaisuudessa lähetettyä kaiutinsuunnitelmaa oli käytetty. Kuten jo aiemmin mainittu, tässä kohtaa kaksi vastaajaa kuitenkin ilmoitti lähettäneensä suunnitelman puhetilaisuudesta, jossa ei ollut

elävää musiikkia. Vaikka näissä tilaisuuksissa mitä suurimmalla todennäköisyydellä on soitettu ainakin jonkinlaista taustamusiikkia, jätettiin nämä vastaukset kuitenkin tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

Suurin osa (5 kpl) tutkittavista suunnitelmista oli tehty konserttiin tai musiikkifestivaalille. Yksi vastaaja kertoi tilaisuuden olleen seminaari tai muu puhetilaisuus, jossa oli myös elävän musiikin esityksiä. Yksi kertoi vapaassa tekstikentässä tilaisuudessa olleen kaksi osaa, joista ensimmäisessä oli pääasiassa puhe-esityksiä ja toisessa bändi (Kuvio 5).

Tilaisuuksista sisällä oli ollut kolme ja ulkona kolme. Yksi tilaisuuksista oli ollut ulkona telttarakennelmassa, jossa on pelkkä katto. Ulkona ja telttakaton alla oli ollut musiikkifestivaaleja tai muu sellainen tilaisuus, jossa oli useita eri musiikkiesityksiä saman päivän aikana. Sisätiloissa oli ollut seminaarityyppisiä tilaisuuksia sekä konsertti. Kaikki kolme ulkona järjestettyyn tilaisuuteen suunnitelman tehneet vastaajat kertoivat, että tapahtuman yleisöalue oli määritelty esimerkiksi asiakkaan tai projektipäällikön toimesta.

Millainen tapahtuma tai tilaisuus oli kyseessä? Vastaa sen esiintymispaikan osalta, minne lähettämäsi kaiutinsuunnitelma on tehty.



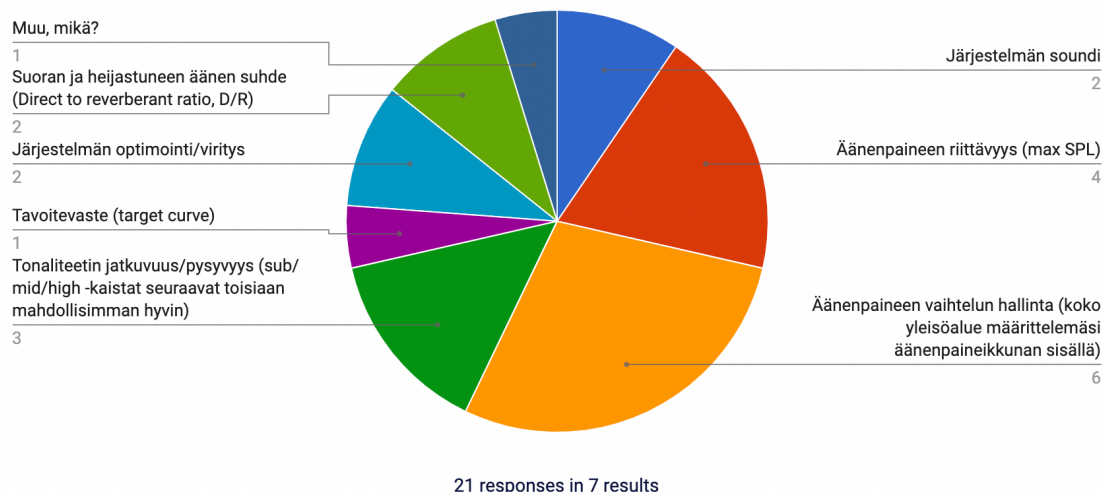
Kuvio 5. Vastausten jakautuminen vaihtoehtojen kesken. Piirakkakaavio.

Vastaajat kertoivat tämän osion viimeisessä, vapaan tekstin kentässä selkeitä lisätietoja tapahtumista ja niihin tehdyistä kaiutinsuunnitelmista. Nämä lisätiedot auttoivat ymmärtämään paremmin, mitä vastaajat ovat yrittäneet tavoittaa äänentoistosuunnitelmiaan tehdessään. Näitä lisätietoja hyödynnettiin määritettäessä suunnitelmista yleisöaluetta suunnitelman analysointia varten.

4.3.4 Vastaajien arviot omista työskentelytavoistaan ja näkemyksistään

Vastaajien mielestä tärkein lähtökohta kaiutinjärjestelmän suunnittelulle oli äänenpaineen hallinta koko yleisöalueella, jonka oli valinnut tärkeimpien joukkoon kuusi seitsemästä vastaajasta. Seuraavaksi tärkeimpänä pidettiin vastausten mukaan äänenpaineen riittävyttä, jonka oli valinnut neljä vastaajaa. Yksi vastaaja oli tarkentanut tekstikenttään, että äänijärjestelmän kattavuus on tärkein lähtökohta suunnitelmalle, ja hänen mukaansa se pitää sisällään niin kaiuttimien suuntauksen, äänenpaineen vaihteluvälin hallinnan kuin suoran ja heijastuneen ääneen suhteenkin. Samainen vastaaja muistutti, että myös ohjelmasisältö on tärkeä suunnitteluun vaikuttava tekijä. Kukaan vastaajista ei valinnut suunnittelun tärkeimpien lähtökohtien joukkoon signaali-kohinasuhdetta eikä heijastusten välttelyä (Kuvio 6).

Mitkä ovat mielestäsi tärkeimmät lähtökohdat kaiutinjärjestelmän suunnittelulle? Valitse 1–3 omasta mielestäsi tärkeintä.

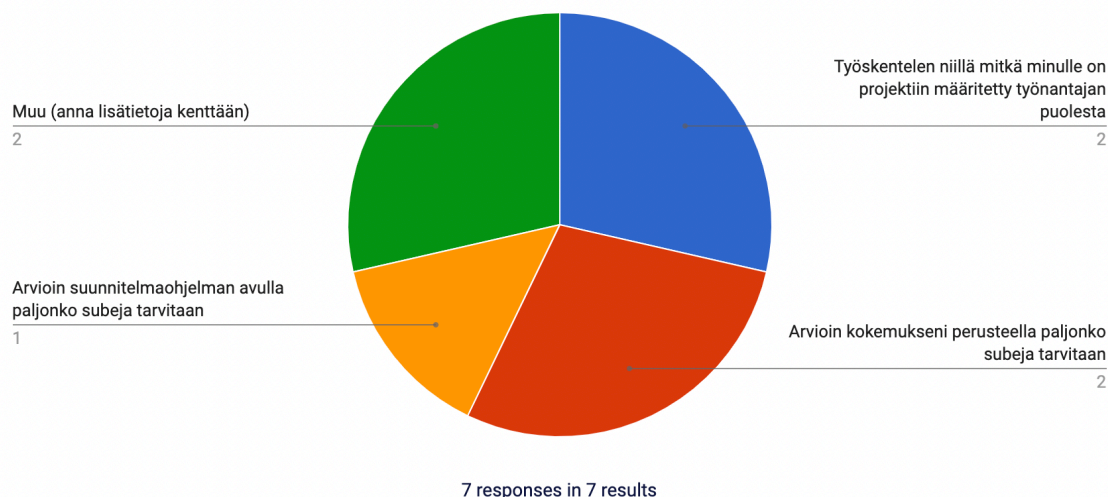


Kuvio 6. Vastausten jakautuminen vaihtoehtojen kesken. Piirakkakaavio.

Vastaajilta kysyttiin, kuinka he määrittelevät tarvittavien apukaiuttimien ja subwoofer-kaiuttimien määrän. Apukaiuttimien osalta neljä seitsemästä vastaajasta kertoi arvioivansa tarvetta suunnitteluohjelmaa apuna käyttäen. Subien osalta suunnitteluohjelmaa käytti apuna vain yksi vastaaja muiden turvautuessa kokemukseen tai sopeutuvansa siihen mitä työnantaja antaa käytettäväksi. Yksi vastaajista kertoi vapaassa tekstikentässä vastauksensa riippuvan tilanteesta: toisinaan subeja tulee sen verran kuin työnantaja on jo aiemmin projektiin määrittänyt, toisinaan suunnitteluohjelmaa apuna käyttäen määrään on vielä mahdollista

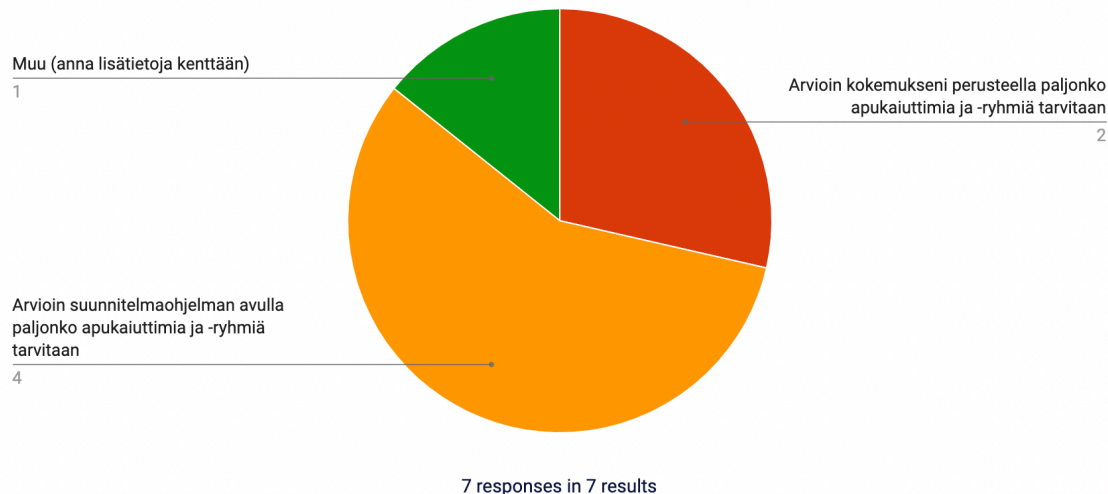
vaikuttaa itsekin. Sama vastaaja vastasi toimivansa samoin myös apukaiuttimien osalta. Kaksi vastaajaa kertoi tukeutuvansa kokemukseensa apukaiuttimien määrää arvioitaessa. (Kuvio 7; Kuvio 8.)

Miten pääsääntöisesti määrittelet järjestelmässä tarvittavien sub-kaiuttimien määrän?



Kuvio 7. Vastausten jakautuminen vaihtoehtojen kesken. Piirakkakaavio.

Miten pääsääntöisesti määrittelet järjestelmässä tarvittavien apukaiutinryhmien (esim. sivu-PA, etufillit, viiveet jne) tarpeen ja määrän?

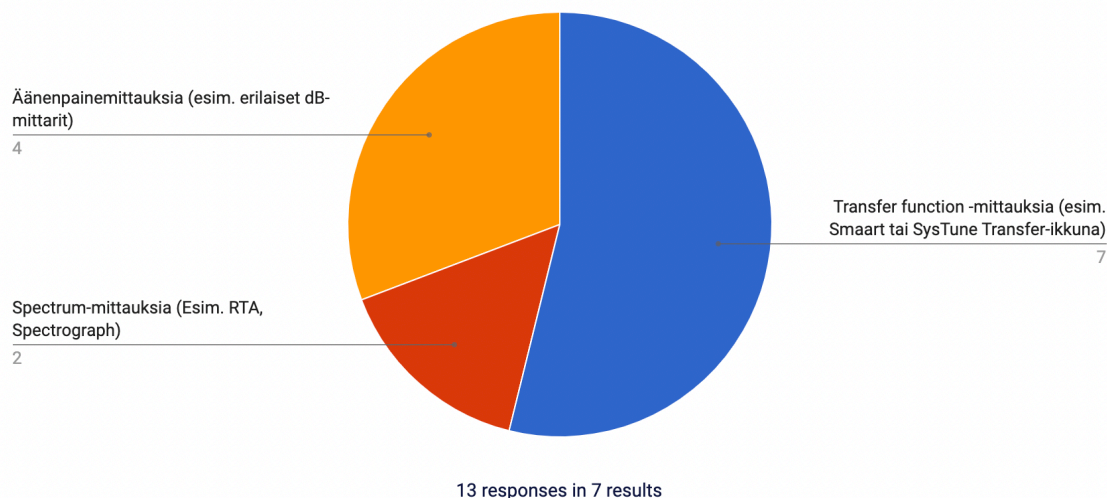


Kuvio 8. Vastausten jakautuminen vaihtoehtojen kesken. Piirakkakaavio.

Kaikki vastaajat kertoivat tekevänsä akustisia mittauksia kaiutinjärjestelmää käyttöönottaessaan ja optimoidessaan. Kaikki vastaajat vastasivat myös tekevänsä transfer function -mittauksia mittaohjelmalla. Neljä vastaajaa kertoi tekevänsä lisäksi äänenpainemittauksia, ja kaksi vastaajaa kertoi tekevänsä RTA-mittauksia. Kaksi vastaajista oli valinnut kaikki mainitut kolme vaihtoehtoa vastaukseensa,

lopun vain yhden tai kaksi mittauksena. Kukaan ei vastannut tekevänsä mittauksia mobiililaitteilla. (Kuvio 9.)

Millaisia akustisia mittauksia yleensä teet? Voit valita useita.



Kuvio 9. Vastausten jakautuminen vaihtoehtojen kesken. Piirakkakaavio.

Kaiutinryhmien välisiä viiveaikoja määrittäessään kuusi vastaajaa seitsemästä kertoi käyttävänsä mittausohjelmaa, joka käyttää transfer functionia. Yksi vastaaja kertoi vapaassa tekstikentässä mittaavansa kaiutinryhmien väliset etäisyydet ja tarkistavansa viiveajat kuuntelemalla tai mittaamalla. Vastauksesta ei suoraan käy ilmi, millä metodilla vastaaja määrittää viiveajan ennen mainittua tarkistamista, mutta koska valmiissa vastausvaihtoehdoissa oli tarjolla ”Mittaaan kaiutinryhmien välisen etäisyyden esim. lasermittarilla tai mittanauhalla ja lasken siitä äänen kulkuajan”, on mahdollista, että vastaaja tarkoitti tätä metodologiaa mutta halusi täydentää vastaustaan käyttämällä vapaan tekstin kenttää. Mittaamisella voidaan kuitenkin tässä yhteydessä yhtä hyvin tarkoittaa myös akustisia mittauksia.

Niitä vastaajia, jotka kertoivat määrittävänsä viiveajat transfer functionia käyttävällä mittausohjelmalla, pyydettiin omin sanoin kertomaan miten he viiveajat mittaavat. Vastauksissa toistuvasti samantyyppiset lähestymistavat, toisissa tarkemmin ja toisissa epämääräisemmin kerrottuina. Subien osalta ajan määrittäminen vaihevastetta yläpäähän kaiuttimien vaihevasteeseen vertaamalla mainittiin vastauksissa kolme kertaa, ja muita tapoja subin viiveajan määrittämiseen ei tullut esille. Kahdessa vastauksessa mainittiin mittamikrofonille sijoituspaikka subeja

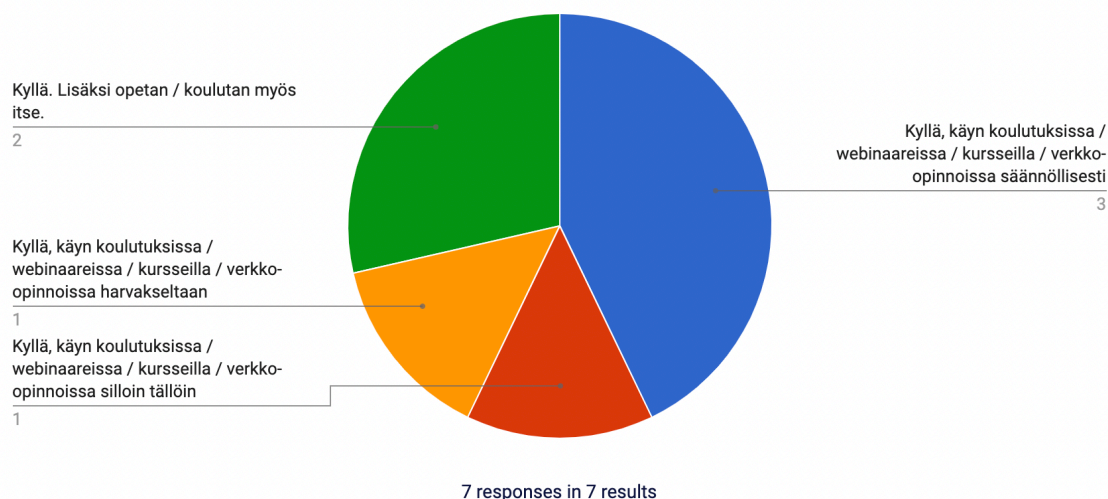
mitattaessa: toisessa hieman FOH:ista sivuun, ja toisessa kerrottiin paikan riippuvan siitä, miksaako hän tilaisuuden itse vai tekeekö järjestelmää jotain toista henkilöä varten. Tällöin vaihtoehtoiksi mittamikin paikalle annettiin pääkaiuttimien akselilta, FOH:ista eli miksauspisteeltä tai näiden välistä, mutta ei tarkennettu, missä tilanteissa mikäkin sijaintipaikka valittaisiin.

Mid/high-kaiuttimien osalta mainittiin työskentelyjärjestys, jonka mukaan ensin tehdään kaiutinryhmälle tarvittavat EQ-muutokset, sitten päätetään kaiutinryhmälle oikea taso ja lopuksi mitataan tarvittava viiveaika sellaisesta kohdasta, jossa kaksi kaiutinryhmää soivat yhtä lujaa. Apuryhmien osalta mittauspaijaksi mainittiin juuri tuo, missä eri ryhmät soivat yhtä voimakkaasti, kaikkiaan kolmessa vastauksessa. Neljässä vastauksessa mainittiin mittaushjelman impulssi-ikkuna. Yksi vastaajista kertoi, millä metodilla hän varmistaa tutkivansa nimenomaan puhekaistan alueen aikaa molemmista kaiutinryhmistä. Yksi vastaaja ei antanut lainkaan tarkentavia tietoja viiveajan mittaamiseen liittyvistä työtavoistaan.

4.3.5 Vastaajien taustatiedot

Kaikki vastaajat kertoivat toimineensa äänentoistoalalla yli kymmenen vuotta. Kolmella vastaajista oli alaan edes etäisesti liittyvä tutkinto, loppuilla neljällä tällaista ei ollut. Kaikki vastaajat kertoivat myös osallistuvansa äänentoistoon liittyville kursseille ja koulutuksiin vähintäänkin harvakseltaan, ja kaksi kertoi opettavansa tai kouluttavansa myös itse. (Kuvio 10.)

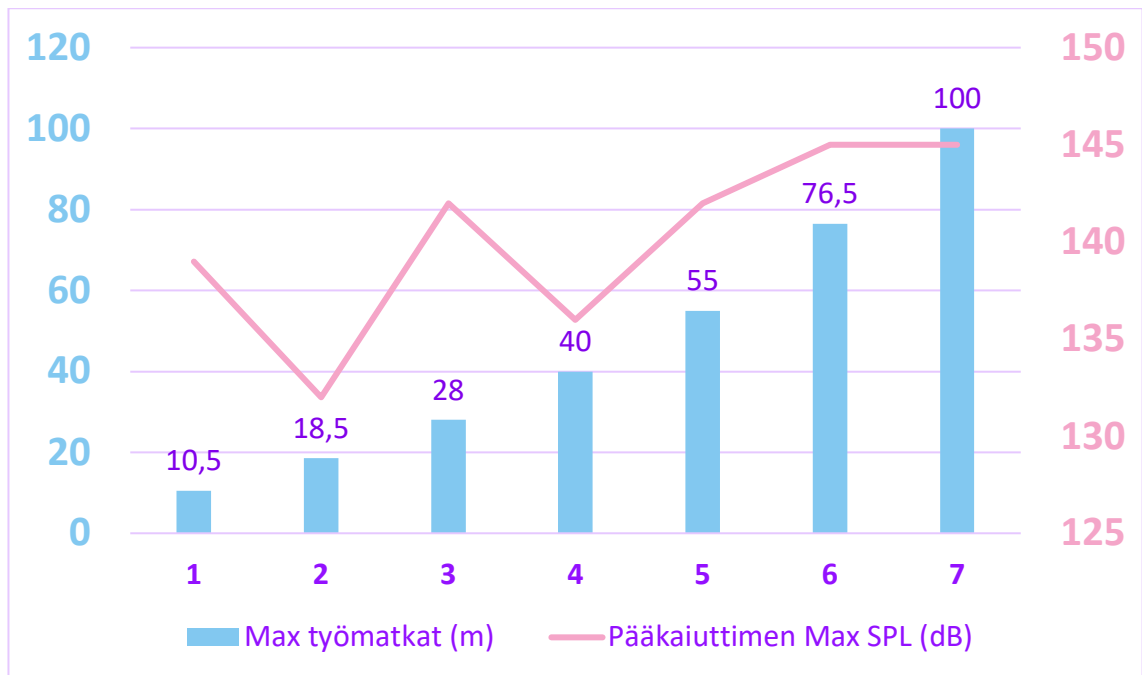
Oletko osallistunut äänentoistoon liittyville kursseille tai koulutuksiin?



Kuvio 10. Vastaajien aktiivisuus käydä erilaisilla alaan liittyvillä kursseilla ja koulutuksissa. Piirakkakaavio.

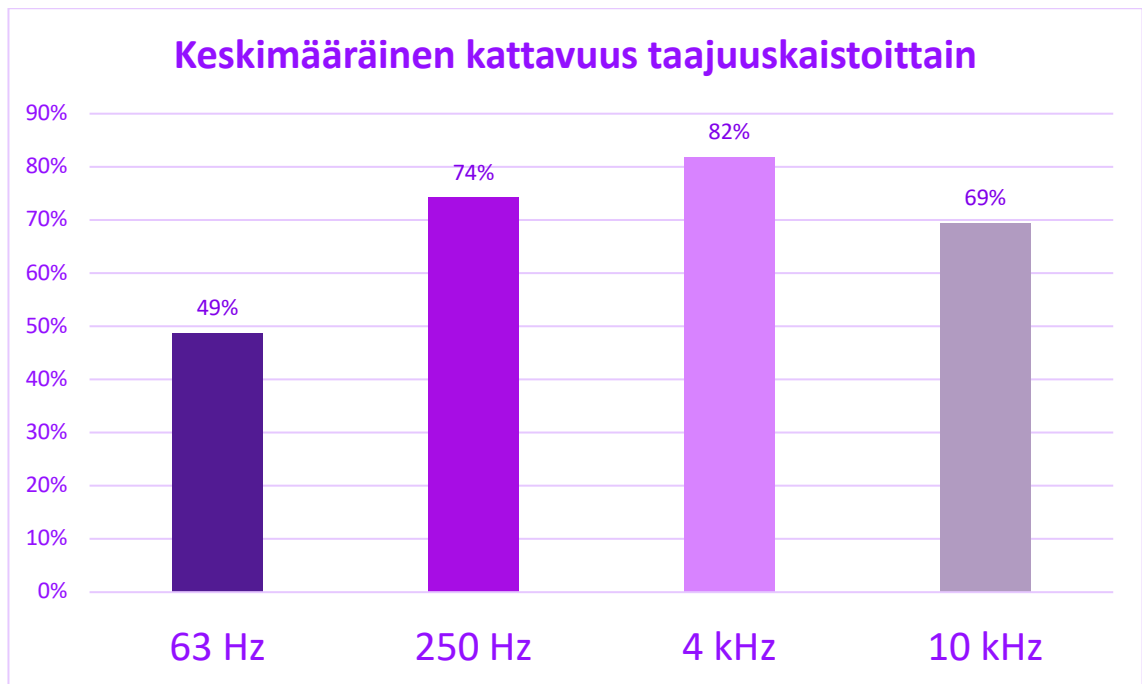
4.3.6 Tutkittavat kaiutinsuunnitelmat

Analysoituja kaiutinsuunnitelmia oli seitsemän kappaletta, ja ne oli tehty kolmella erilaisella ohjelmistolla. Suunnitelmat oli tehty hyvin eri kokoisiin tiloihin ja tilaisuuksiin, ja pääkaiuttimien työmatka vaihteli välillä 10,5–100 m. Myös järjestelmien pääkaiuttimina käytetyt kaiuttimet vaihtelivat ominaisuuksiltaan (Kuvio 11). Kaikkien suunnitelmien pääkaiuttimet olivat kuitenkin tyypiltään line array -kaiuttimia. Kaikissa järjestelmissä oli subikaiuttimia matalimpia taajuuksia varten, mutta vain yhdessä osa subeista oli ripustettu lentosubeiksi. Lopuissa kaikki subit olivat maassa lavan lähellä. Kuudessa suunnitelmassa oli subien lisäksi myös muita apukaiutinryhmiä, jotka oli pääasiassa toteutettu point source -kaiuttimilla, mutta myös line-array-kaiuttimia oli käytetty apukaiutinryhmissä. Vain yhdessä suunnitelmassa oli käytetty viivekaiuttimia.



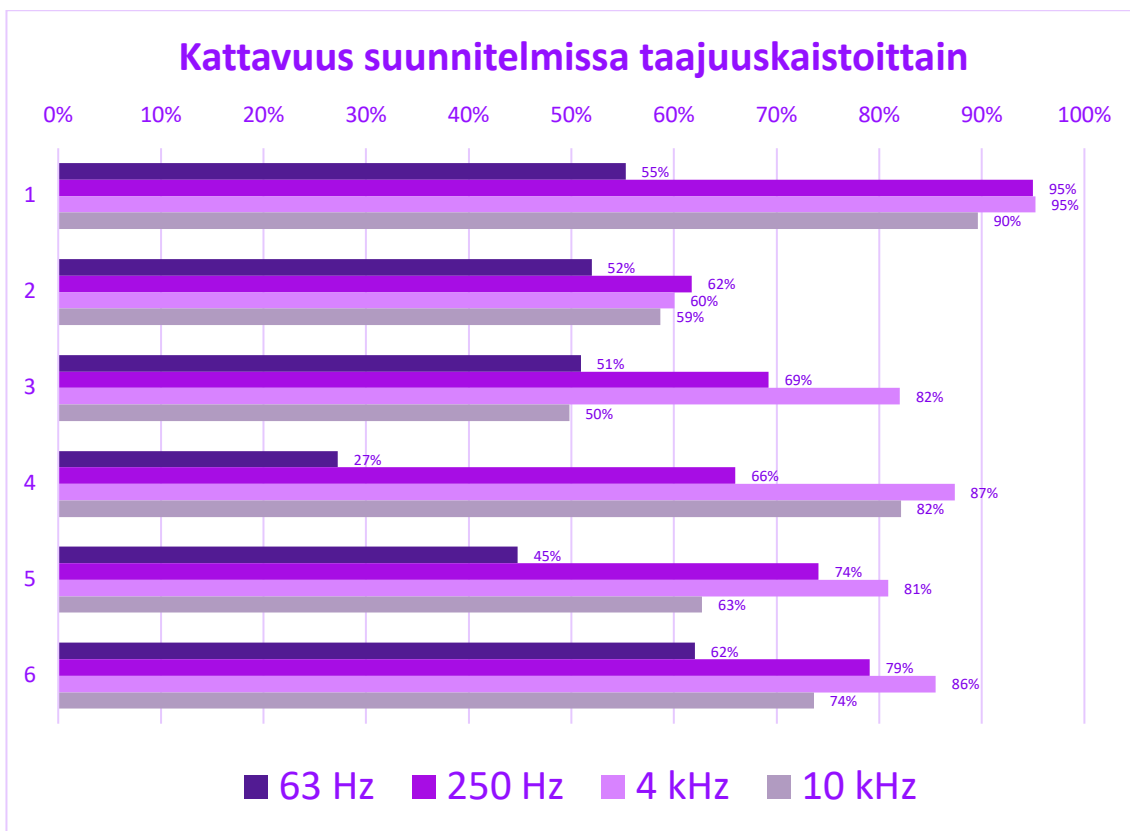
Kuvio 11. Järjestelmän pääkaiuttimien työmatka palkkeina, kaiutinmallin valmistajan ilmoittama maksimiäänepaine viivakuvaajana. Yhdistelmäkaavio.

Järjestelmien kattavuutta eri taajuuskaistoilla tutkittiin kohdassa 4.2.1 *Kaiutinsuunnitelman analysointi* kuvatulla tavalla värianalyysin avulla. Värien avulla laskettiin, kuinka suuri osa yleisöalueesta on 6 dB sisällä eri taajuuskaistoilla. Värianalyysiä ei pystytty tekemään yhdelle suunnitelmalle. Kuvio 12 esittää kaikkien tutkittujen suunnitelmien kattavuuksien keskiarvoja taajuuskaistoittain.

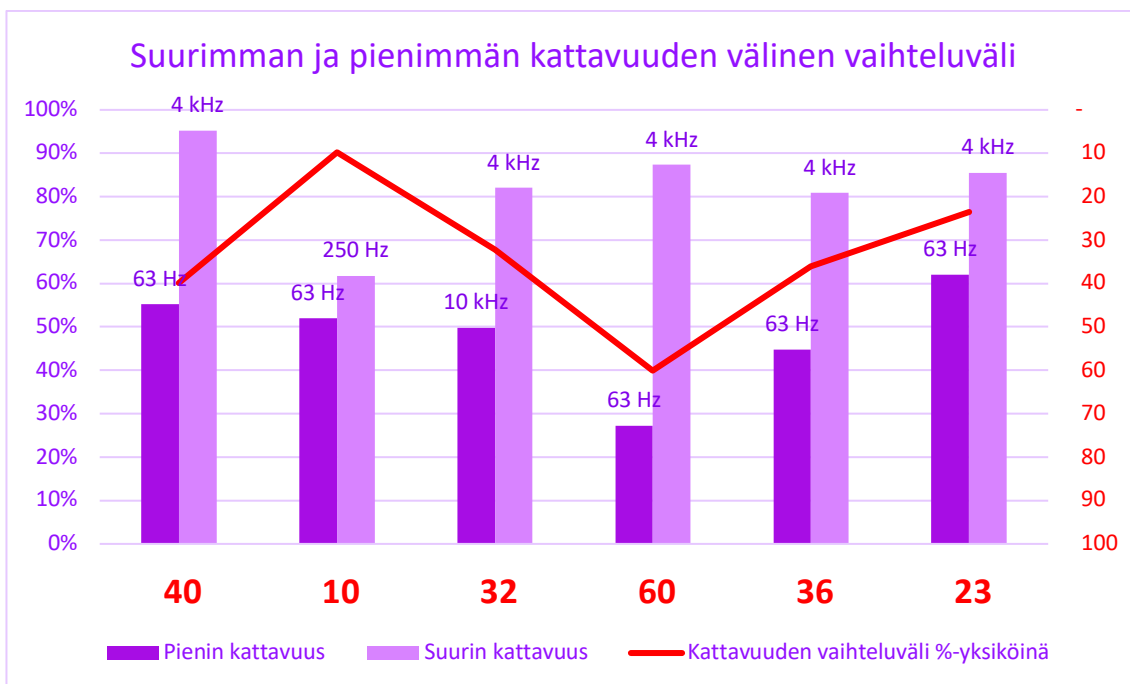


Kuvio 12. Keskimääräinen kattavuus taajuuskaistoittain tutkituissa kaiutinsuunnitelmissa. Pylväskaavio.

Taajuuskaistojen kattavuudet suunnitelmakohtaisesti on esitelty kuviossa alla (Kuvio 13). Kun otetaan huomioon kaikki taajuuskaistat, on isoin vaihteluväli yhden suunnitelman sisällä 60 % ja pienin 13 % (Kuvio 14). Isompi vaihteluväli viittaa eri taajuuskaistojen epätasaisempaan jakautumiseen yleisöalueella. Yhdessä suunnitelmassa kaikki taajuuskaistat jakautuivat yleisöalueelle melko tasaisesti, mutta kattoivat koko yleisöalueesta ainoastaan 52–62 % (Kuvio 14).

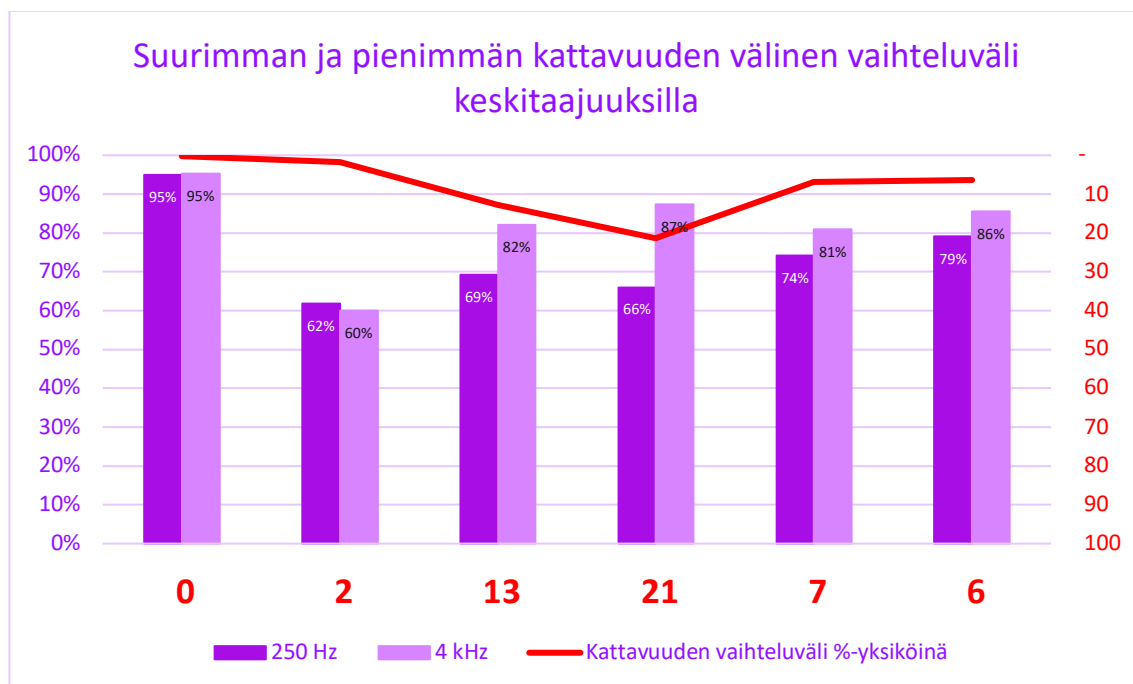


Kuvio 13. Neljän eri taajuuskaistan kattavuus yleisöalueella kuvattuna palkkikaaviolla suunnitelmittain. Palkkikaavio.



Kuvio 14. Suunnitelmien kattavuuden vaihteluväli tutkituilla taajuuskaistoilla. Yhdistelmäkaavio.

Tarkasteltaessa kattavuuden jakautumista vain ala- ja yläkeskitaajuuksilla (250 Hz ja 4 kHz) erot kattavuudessa tasoittuvat jonkin verran. Yhdessä suunnitelmassa ala- ja yläkeskitaajuuksien kattavuus on prosentuaalisesti sama. Suurin ero ala- ja yläkeskitaajuuksien kattavuudessa yhden suunnitelman sisällä on 21 prosenttiyksikköä.

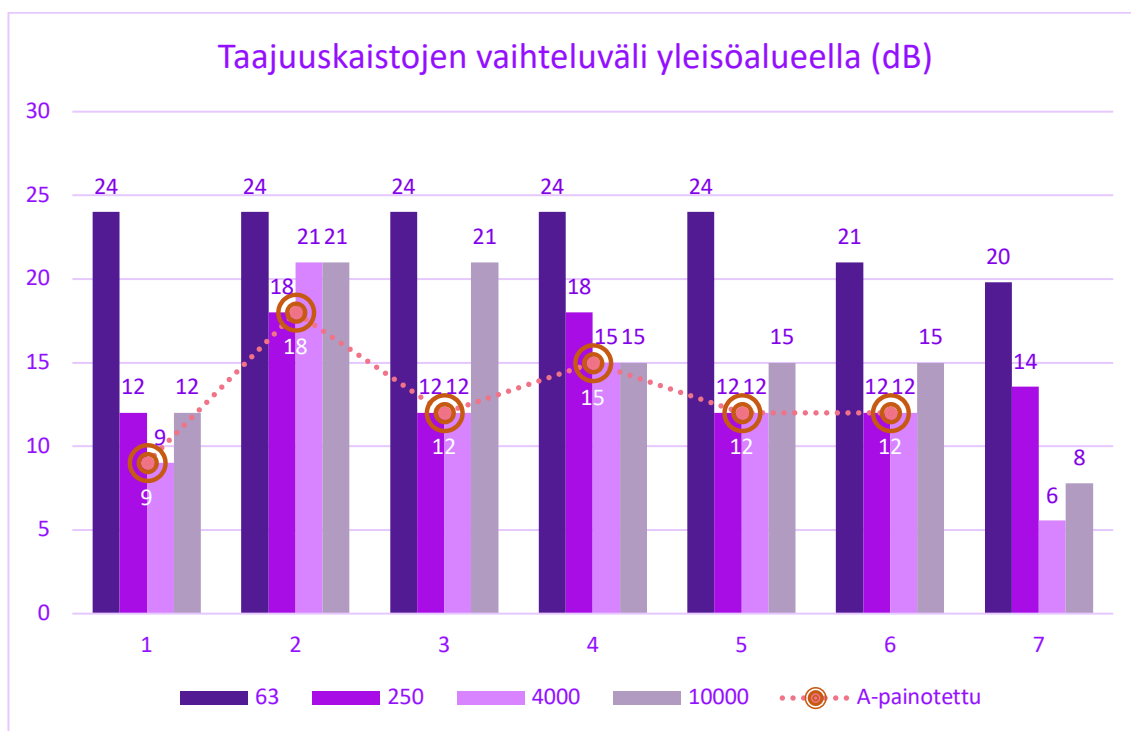


Kuvio 15. Suunnitelmien kattavuuden vaihteluväli ala- ja yläkeskitaajuuksien välillä. Yhdistelmäkaavio.

Pelkkien keskitaajuuksien tarkastelu on siinä mielessä mielekästä, että ne ovat välttämättömiä informaation välittymisen osalta. Niin musiikista kuin puheestakin saa kyllä selvän ilman kaikkein matalimpia ja korkeimpia taajuuksia, joskin niiden puuttuminen voi vaikuttaa kuuntelukokemuksen laatuun negatiivisesti. Monissa kaiutinsuunnitteluohjelmissa on myös mahdollista verrata samassa ikkunassa ala- ja yläkeskitaajuuksien vaimenemista etäisyyden kasvaessa, joten tämän-tyyppisiä näkymiä tekijät todennäköisesti myös tutkivat suunnitelmaa työstäessään. Mitä paremmin kaistat pitävät keskinäisen suhteensa eli tonaliteettinsa, sitä samankaltaisemmalta ääni kuulostaa eri puolilla yleisöaluetta.

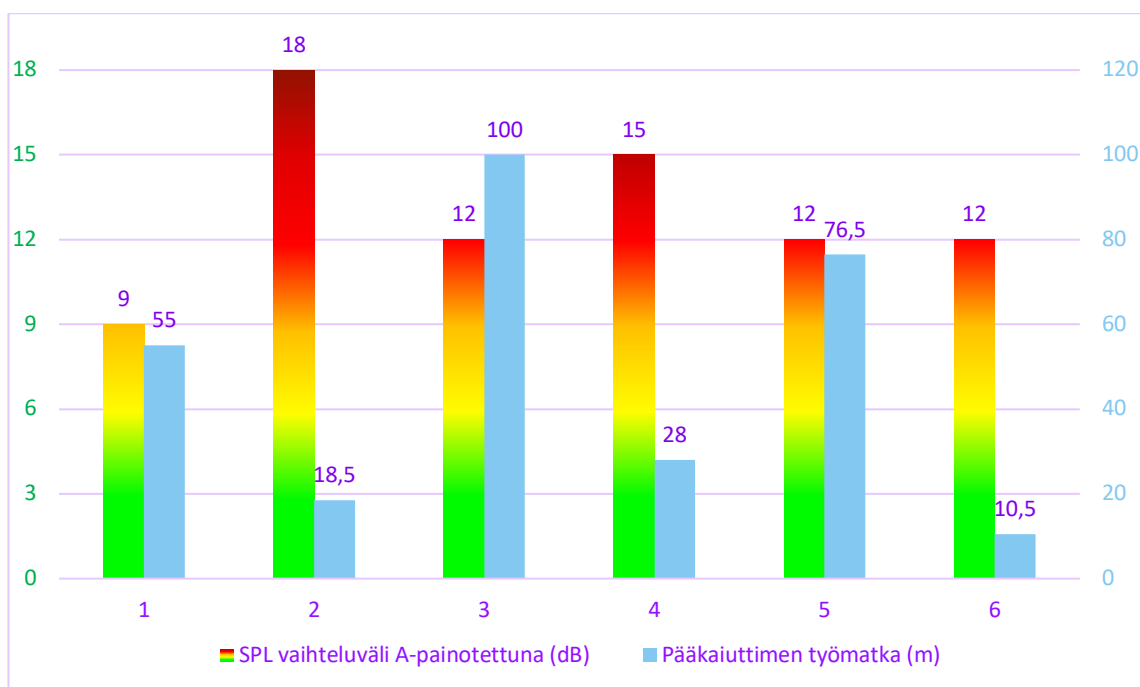
Tutkittavat suunnitelmat analysoitiin lisäksi ihmissilmällä, ilman värianalyysiä. Analyysissä laskettiin äänenpaineen vaihteluväli yleisöalueelle taajuuskaistoit-

tain. Lisäksi laskettiin koko yleisöalueen äänenpaineen vaihteluikkuna A-painotettuna (Kuvio 16). Tässä analyysissä aivan pienimpiä värimuutoksia ei huomioitu, kuten tosielämässäkään ei tehtäisi. Kuitenkin kaikki suunnitelmat pyrittiin arvostelemaan samoin kriteerein, vaikka se oli osittain haastavaa erilaisten ohjelmistojen antamien erilaisten näkymien vuoksi. Yhtä suunnitelmista ei voitu arvioida A-painotettuna tällä tavalla sen ohjelmiston rajoitteiden vuoksi.

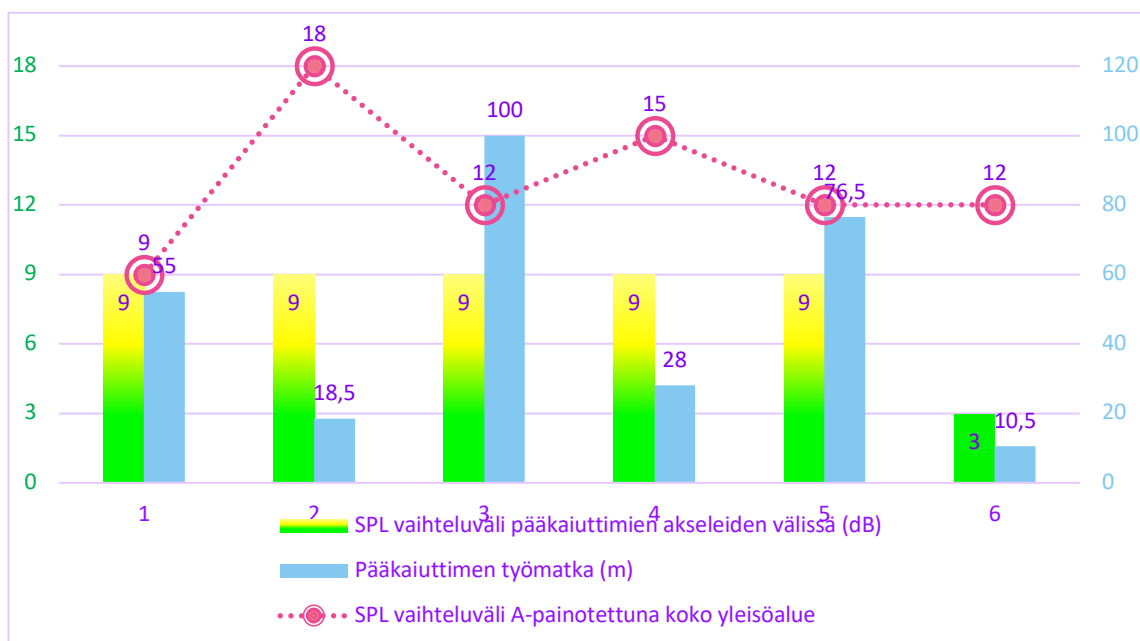


Kuvio 16. Suunnitelmien äänenpaineen vaihteluväli yleisöalueella taajuuskaistoittain kuvattu palkkeina. Viivakaaviona suunnitelmien äänenpaineen vaihteluväli A-painotettuna koko taajuuskaistalta. Yhdistelmäkaavio.

Suunnitelmien A-painotetut äänenpaineet koko yleisöalueella olivat 9–15 dB ikkunassa (Kuvio 17). Äänenpaineen ikkunan suuruus ei näyttänyt korreloivan suoraan tilan koon suhteen. Osa suunnitelmista oli pääkaiuttimien työalueella huomattavasti pienemmässä dB-ikkunassa (Kuvio 18), mutta yleisöalue jäi vajaasti katetuksi apukaiuttimien työskentelyalueilta.



Kuvio 17. Värilliset palkit kuvaavat äänenpaineen vaihteluikkunaa koko yleisöalueella. Vertailukohtana katettavan alueen pituus pääkaiuttimien akselilla. Palkki-kaavio.



Kuvio 18. Värilliset palkit kuvaavat äänenpaineen vaihteluikkunaa pääkaiuttimien akselien välissä. Vertailukohtana katettavan alueen pituus pääkaiuttimien akselilla. Näkyvillä myös äänenpaineen vaihteluväli samassa suunnitelmassa koko yleisöalueella. Yhdistelmäkaavio.

Suunnitelmien tonaliteetin pysyvyyttä arvioitiin subjektiivisesti asteikolla 1–3. Arvosanan 1 saivat ne, joissa tonaliteetti pysyi vähintäänkin kohtuullisen hyvin koko

yleisöalueella. Arvosanan 2 sai, jos tonaliteetti pysyi vain osalla yleisöaluetta. Arvosanan 3 sai, jos tonaliteetti vaihteli koko yleisöalueella selkeästi. Yhdessä ohjelmistoista tonaliteetin pysyvyyden arviointiin ei ollut soveltuvia työkaluja, joten sillä tehtyä suunnitelmaa ei arvioitu.



Kuvio 19. Tonaliteetin pysyvyys / jatkuvuus läpi yleisöalueen oli suunnitelmissa onnistunut vaihtelevasti. Piirakkakaavio.

4.3.7 Vastaajien arviot suhteessa lähetettyihin suunnitelmiin

Tutkimuksessa pyydettiin vastaajia arvioimaan omia kaiutinsuunnitelmiaan. Vastausvaihtoehdoista osaan ei tutkijan ole mahdollista ottaa kantaa pelkän kaiutinsuunnitelman perusteella. Vastaajien omia arvioita voidaan kuitenkin verrata suunnitelmien analyysistä saatuihin tietoihin: äänenpaineen jakautuminen, tarvittavan äänenpaineen toteutuminen sekä tonaliteetti. Tässä osiossa kuitenkin otetaan arviointiin mukaan myös subjektiivista kokonaiskuvan tarkastelua, sillä kuten jo aiemmin on todettu, kaiutinjärjestelmää suunniteltaessa joutuu aina tekemään kompromisseja, joten pelkästään yhtä osa-aluetta tarkastelemalla voi joutua jättämään merkittävää jäädä huomaamatta. Tähän osioon on tuotu mukaan myös jo hieman pohdintaa.

Kaikkiaan viisi vastaajaa oli arvioinut onnistuneensa äänenpaineen vaihtelun hallinnassa yleisöalueella (Kuvio 3, sivu 89). Suurimmaksi hyväksytyksi vaihteluväliksi mainitaan kirjallisuudessa 6 dB. Kuitenkin, kuten Kuvio 17 (sivu 102) näyttää, ovat suunnitelmien A-painotettujen äänenpaineiden vaihteluvälit yleisöalueella 9–18 dB.

Tässä tutkimuksessa yleisöalue on otettu jokaisessa suunnitelmassa huomioon kirjaimellisesti. Jos ulkoilmatilaisuuden yleisöalueeksi oli piirretty suorakulmion muotoinen alue, se analysoitiin jokaista nurkkaa myöten. Todellisuudessa ihmiset kerääntyvät tämäntyyppisessä tilaisuudessa suunnilleen piirretylle alueelle, ja suunnitelmassa ei välttämättä voi realistisesti ottaa huomioon kauimmaista takanurkkaa. Kuvio 18 (sivu 102) näyttää suunnitelmien äänenpaineen vaihteluvälin ainoastaan pääkaiuttimien työskentelyalueella, sekä vaihteluvälin koko yleisöalueella. Pelkästään tätä aluetta tarkastelemalla osa suunnitelmista näyttääkin jo huomattavan paljon tasaisemmilta: vaihteluväli suunnitelmissa onkin enää 3–9 dB. On myös huomattava, että joskus voi olla perusteltua antaa äänenpaineen hieman laskea tuosta 6 dB tavoitteesta, jotta tonaliteetti pysyisi paremmin.

Osassa suunnitelmista selkeää yleisöaluetta oli kuitenkin myös pääkaiuttimien ulottumattomissa esimerkiksi sivussa. Yhtä lukuun ottamatta kaikissa suunnitelmissa oli apukaiuttimia, mutta lopputuloksia tarkastelemalla voi arvioida, ettei niitä kaikissa suunnitelmissa ollut riittävästi. Toisaalta tämä puute tunnistettiin hyvin näiden tekijöiden suunnitelmissa, ja asiasta oli mainittu kysymyksessä, jossa pyydettiin arvioimaan kyseisen suunnitelman kehityskohteita.

Neljä vastaajaa koki onnistuneensa äänenpaineen riittävyden osalta. Jos palataan McCarthyn esittämään karkeaan taulukkoon riittävästä äänenpaineesta (Kuva 23, sivu 46) sekä Kauhasen (2021) listauksesta esimerkkeineen (Kuva 24, sivu 48), voidaan laatia uusi taulukko äänenpaineen riittävyden tarkastelua varten (Taulukko 2).

Taulukko 2. Taulukkoon on koottu tietoja käytetyistä järjestelmistä ja arvioitu niitä McCarthyn esittämään kaiutinjärjestelmän äänenpaineen riittävydestä sekä verrattu Kauhasen arvioimiin maksimityömatkoihin (Kuva 23, sivu 46).

Pääkaiuttimen max SPL (dB)	Pääkaiuttimen työmatka (m)	Ohjelmamateriaali	Arvio McCarthyn taulukon perusteella	Kauhasen arvio maksimityömatkasta
132	18,5	Musiikki-festivaali	8 metriin saakka high level. 32 metriin saakka medium level	9 m
142	28	Yritystilaisuuden iltajuhla, bilebändi	23 metriin saakka high level, 32 metrissä medium level	30 m
145	76,5	Musiikki-festivaali	32 metriin saakka high level. 64–90 metriin saakka medium level.	42 m
145	100	Musiikki-festivaali	32 metriin saakka high level. 90–128 metriin saakka medium level.	42 m

Oliko äänenpaine näissä tilaisuuksissa riittävä ohjelmamateriaali huomioon ottaen? Ainakaan yksikään järjestelmä ei pudonnut pääkaiuttimen työmatkan perälläkään McCarthyn taulukon (Kuva 23, sivu 46) low level -tasolle. Yksi suunnitelmista pysyy myös Kauhasen (2021) näkemyksen mukaan varmasti riittävän työmatkan sisällä, loppujen osalta työmatkat ovat pidempiä kuin Kauhasen suositukset.

Lukuja ja taulukoita voinee pyöritellä loputtomiin, mutta niin kauan kuin kaiuttimet eivät ole räikeästi liian pienet tarvittavaan äänenpaineeseen nähden, lienee todella vaikeaa määrittää asia vedenpitävästi äänenpainetta ja sen laskennallista vaimentumista laskemalla. Ohjelmamateriaali sekä se, miten kaiuttimet tilaan asennetaan, tuovat loputtoman määrän muuttujia tähän yhtälöön. Tässä kohtaa

lienee järkevintä uskoa tilaisuudessa paikan päällä olleiden näkemystä, jota McCarthyn taulukko (Kuva 23, sivu 46) tukee niiltä osin, ettei se ole ainakaan täysin eri mieltä.

Tutkimuksessa arvioitiin tonaliteetin pysyneen vähintään kohtalaisesti koko yleisöalueella kahdessa suunnitelmassa, vain osalla yleisöaluetta kahdessa suunnitelmassa ja tonaliteetin vaihdelleen koko yleisöalueen kahdessa suunnitelmassa (Kuvio 19, sivu 103.) Neljä vastaajaa koki onnistuneensa hyvin tonaliteetin jatkuvuuden / pysyvyyden pitämisessä. Näiden vastaajien kaiutinsuunnitelmia oli arvioitu tonaliteetin osalta kaikkiin yllä mainittuihin kategorioihin.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

5.1 Karsintakysymykset

Kyselyyn vastasi 25 vastaajaa, joista yksi vastasi jo ensimmäiseen karsintakysymykseen kieltävästi. Tällä kysymyksellä varmistettiin, että vastaajat todella työskentelevät kaiutinjärjestelmien suunnittelun parissa: ”Oletko toiminut työtehtävissä, joissa olet suunnitellut ja käyttöönottanut sekä optimoinut musiikkitapahtuman äänentoistojärjestelmän?” Lopuista 24 vastaajasta, jotka vastasivat näissä töissä toimineensa, seitsemän ilmoitti, että heillä ei ole tallessa yhtään kaiutinjärjestelmäsuunnitelmatiedostoa toteutuneesta musiikkitapahtumasta. Tämä on 29,2 % vastaajista. Kahdeksan vastaajaa (33,3 % vastaajista) vastasi, että heillä oli tällainen tiedosto, mutta he eivät halua antaa sitä tämän tutkimuksen käytettäväksi (Kuvio 2, sivu 88).

Tällaiseen tutkimukseen osallistuminen on toki täysin vapaaehtoista, mutta on mielenkiintoista, että yli 60 % tutkimuksesta ainakin sen aloittamisen verran kiinnostuneista, kohderyhmään kuuluvista vastaajista joko ei halunnut jakaa omaa suunnitelmaansa tutkimuksen käyttöön tai heillä ei ollut ainoatakaan tallessa siitä huolimatta, että he kertoivat työskennelleensä musiikkitapahtumien kaiutinjärjestelmien parissa. Syitä olla jakamatta omia suunnitelmiaan on varmasti yhtä monta kuin ihmisiäkin. En kuitenkaan voi olla miettimättä, onko taustalla edelleen asia, joka nousi esiin menneistä vuosikymmenistä puhuttaessa haastatellessani asiantuntija Reima Saarista: Kyteekö alalla edelleen pelko, että jos jakaa osaamistaan, menettää jonkinlaisen kilpailuvaltin tai paljastaa liikesalaisuuksiaan (Saari- nen 2021)? Vai onko taustalla jonkinlainen epävarmuus omaan osaamiseen tai tekemiseen? Oliko tutkimuksen pyyntö lähettää omaan työhön liittyvä tiedosto liian henkilökohtainen?

Toisaalta on myös merkittävää, että 29,2 % kyselyyn vastanneista henkilöistä, jotka todella toimivat äänentoistojärjestelmien suunnittelun ja optimoinnin parissa, kertoivat, ettei heillä ole ainoataan suunnittelutiedostoa tallessa. Tämä herättää kysymyksiä: Onko heillä ollut suunnitelmia alun perinkään, vai eivätkö he

vain halua pitää vanhoja suunnitelmiaan tallessa? Paljonko edelleen on ammatilaisia, jotka eivät käytä minkäänlaisia suunnitteluohjelmia työssään? Liittykö tämä tapahtumien kokoon tai kenties vastaajien ikään tai koulutustaustaan? Onko nähtävissä maantieteellisiä eroja työskentelytavoissa? Aihetta olisi mielenkiintoista tutkia tarkemmin ja saada lisätietoa siitä, millaisia järjestelmiä sellaisissa tapahtumissa käytetään, joihin ei tehdä ennakkoon kaiutinsuunnitelmaa ääntä mallintavilla ohjelmistoilla.

Yllä mainittuihin kysymyksiin emme tietenkään saa tämän tutkimuksen myötä vastauksia, mutta nähdäkseni on hyvä pitää mielessä, että omiin suunnitelmiin ja työtapoihin suhtautuminen selkeästi on edelleen hajanaista. Kaikki varsinaiseen tutkimukseen lopulta mukaan päässeet vastaajat olivat työskennelleet alalla jo vähintään kymmenen vuotta, kaikki kertoivat käyvänsä koulutuksissa ja osa jopa kouluttavansa itse. Alaan liittyvää tutkintoa ei kuitenkaan ollut kuin kolmella seitsemästä, vaikka nämä vastaajat olivat selkeästi kokeneita ammattilaisia. Se kuvannee alan koulutustilannetta melko realistisesti, kuten jo kappaleessa 2.3 *Äänitekniikan koulutus* arvioitiin.

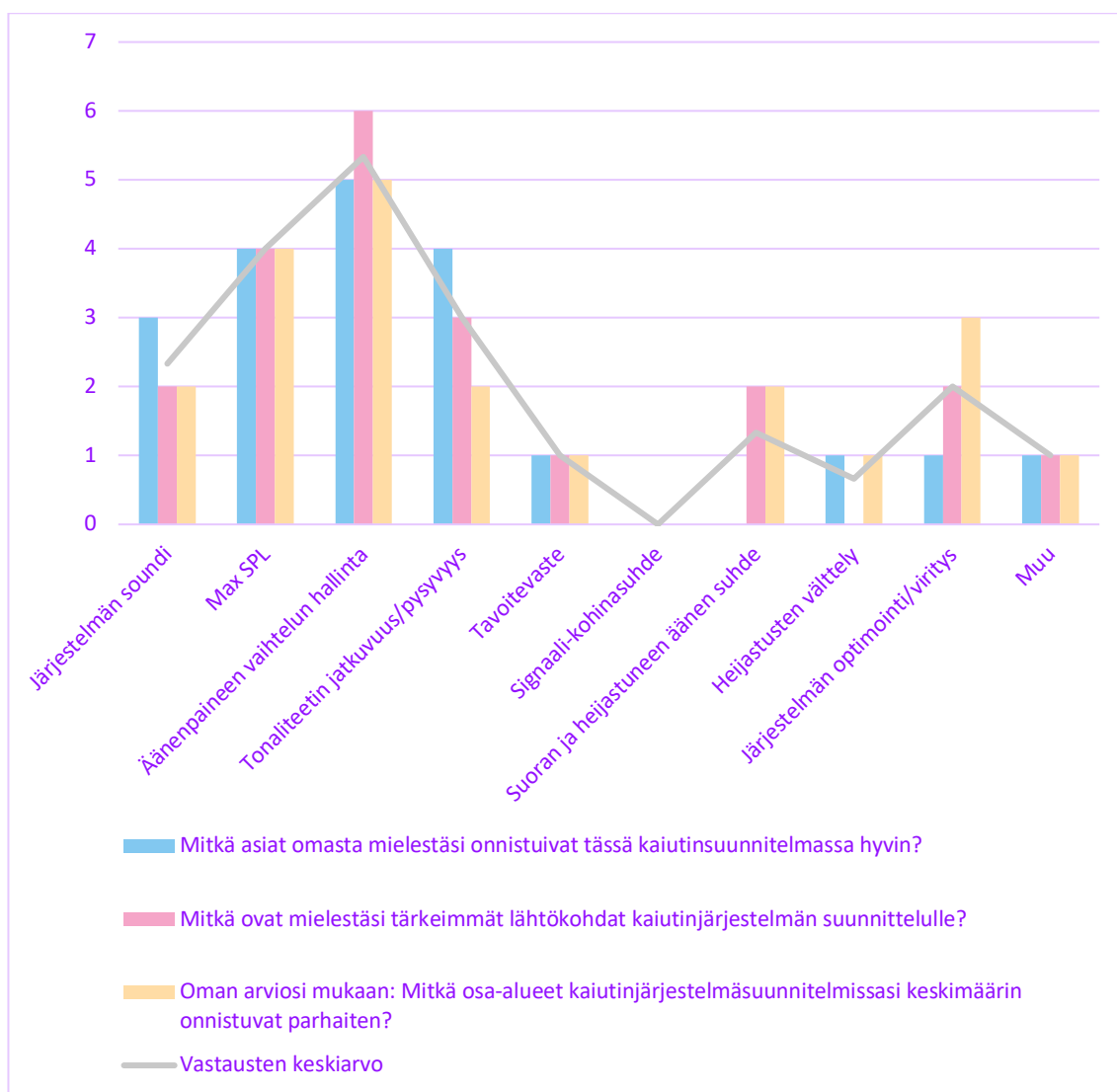
5.2 Huomioita tutkimuksen vastauksista

Tutkittavat tilaisuudet rajattiin koskemaan musiikkitapahtumia, mutta mukaan otettiin myös puhetilaisuudet, joissa oli lisäksi elävää musiikkia. Tutkittavien tilaisuuksien yleisöalueen koko vaihteli pääkaiuttimien 10,5 metrin työmatkasta aina sataan metriin, ja väliin mahtui tasaisesti eri kokoisia tapahtumia pääkaiuttimien akselilta yleisöalueen pituutta mitaten (Kuvio 11, sivu 31.) Mukana oli niin sisä- kuin ulkoilmatapahtumia, yhtä lailla konsertteja ja festivaaleja kuin yritystapahtuman iltajuhlakin. Nähdäkseni tapahtumat edustivat monipuolisesti sitä kenttää, jolla äänijärjestelmien suunnittelutöitä tekevät ihmiset työskentelevät. On myös tärkeää huomata, että kokoluokkaan sopivilla työkaluilla isokin alue on mahdollista kattaa tasaisemmin hyvällä suunnittelulla, kuin pienempi hieman vajavaisella suunnittelululla. Kuvio 18 (sivu 102) osoittaa, että tutkimuksen mukaan pääkaiuttimien lyhyempi työmatka ei suoraan tarkoita äänenpaineen pienempää vaihteluikkunaa.

Tutkimuksessa käytetty metodi eri taajuuskaistojen kattavuudesta yleisöalueella ei ole aivan ongelmaton tapa tutkia kattavuutta. Kattavuuden analysoinnissa kuvista värianalyysillä ei millään lailla huomioitu esimerkiksi sitä, osuvatko eri taajuuskaistojen kattavuusalueet itse tilassa päällekkäin. Jos salista 50 % olisi täydellisesti katettu alakeskitaajuuksien osalta mutta vain salin etuosassa, ja 50 % olisi täydellisesti katettu yläkeskitaajuuksien osalta mutta vain salin takaosasta, voisi ajatella, että 50 % salista on hyvä kattavuus keskitaajuuksien osalta eli puolet yleisöstä saa esityksestä hyvin selvää. Todellisuudessaan sekä salin edessä että takana kuulostaisi todella kummalliselta. Tällaisen skenaarion aikaansaaminen ei kuitenkaan käytännössä ole mahdollista, mikäli kaiuttimet ovat ehjät.

Myös kuvakaappausten muuttaminen pikseligrafiikaksi on varmasti tuonut mukanaan jonkin verran pyöristysvirheitä, eikä tulokseksi saatuja prosentteja pidä tulkita liian kirjaimellisesti. Uskoakseni ne kuitenkin antavat hyvän yleiskuvan eri taajuuskaistojen kattavuusalueista ja yhden suunnitelman sisällä eri kaistojen välisistä eroista. Voidaan myös pohtia, onko bassokaistan tutkiminen 6 dB kattavuusperiaatteen mukaan järkevää tai realistista, sillä matalien taajuuksien osalta kattavuus on aina suurpiirteisempää kuin keski- ja ylä-äänien johtuen erilaisista kaiuttimista, pidemmistä aallonpituuksista, joiden hallinta on haastavampaa ja toisaalta kaistan pienemmästä merkityksestä kuullun äänen selkeyden kannalta.

Vaikka tutkimusaineisto käsittää vain seitsemän vastaajaa, on sieltä nähtävissä joitain selkeitä trendejä. Vastaukset kysymyksiin, joissa pyydettiin vastaajaa arvioimaan lähettämänsä kaiutinsuunnitelmaa ja omia vahvuuksiaan yleisellä tasolla kaiutinsuunnitelmien tekijänä sekä kertomaan, mitä vastaaja pitää tärkeimpinä lähtökohtina kaiutinsuunnitelman tekemiselle, jakautuivat melko tasaisesti samoille vaihtoehdoille (Kuvio 20).

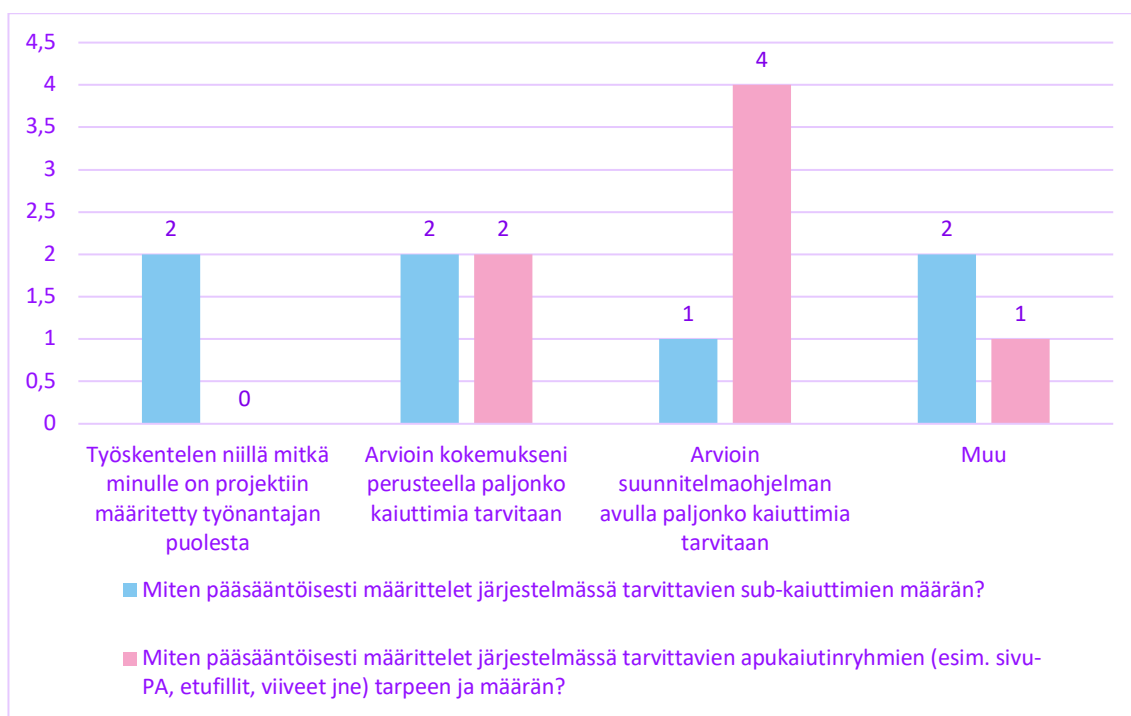


Kuvio 20. Kolmen eri kysymyksen vastauksien jakauman vertailu. Palkkikaavio.

On mielenkiintoista, että vastaukset ovat näinkin yhteneväisiä, vaikka esimerkiksi vastaajien koulutustausta oli vastausten perusteella hajanainen: vain kolme seitsemästä ilmoitti opiskelleensa ääneen tai äänen käsittelyyn edes etäisesti liittyvän tutkinnon. Toisaalta kaikki vastaajat kuitenkin kertoivat käyvänsä alaan liittyvillä kursseilla ja koulutuksissa edes harvakseltaan. Kaikki vastaajat olivat myös toimineet alalla yli kymmenen vuotta. Voidaan myös pohtia, koetaanko ne osa-alueet tärkeimmiksi, joilla kokee onnistuneensa parhaiten – vai toisinpäin. Tai onko kyse enemmän vain siitä, että paljon kannatusta saaneet osa-alueet ovat jollain lailla tutumpia kuin vähemmälle huomiolle jääneet. Joka tapauksessa näyttäisi siltä, että jonkinlainen yhteys on tietyn osa-alueen huomioidussa ja sen onnistumisen arvioinnissa.

Myös signaali-kohinasuhteen jääminen vaille huomiota minkään kysymyksen kohdalla herättää huomiota. Olemme ehkä tottuneet ajattelemaan varsinkin suomennettua termiä, signaali-kohinasuhdetta, enemmän sähköisessä kuin akustisessa ympäristössä. Englanninkielinen *signal-to-noise ratio* kuvaa paremmin (hyöty)signaalin ja minkä tahansa melun suhdetta. Kohinan ei tässä yhteydessä ehkä suomennettuna ajatella tarkoittavan taustamelua, (*background*) *noisea*, vaan enemmän jotain sähköisessä ympäristössä ilmenevää häiriötä tai selkeästi kuultavaa kohisevaa ääntä. Lopulta kuitenkin koko äänentoiston voidaan ajatella olevan signaali-kohinasuhteen parantamista akustisessa ympäristössä: nostetaan hyötysignaalin eli toistettavan esityksen äänitasoa suhteessa pohjameluun, oli se sitten hiljalleen huriseva ilmastointi tai raivopäisesti hurraava idolistaan hurmioitunut konserttiyleisö. Termin käyttäminen tutkimuksessa vastausvaihtoehtona olikin ehkä hieman epätasällista, sillä kuten mainittua, moni ehkä ajatteli sen viittavan nimenomaan sähköiseen ympäristöön ja siellä esiintyviin erilaisiin häiriöihin.

Kun tutkimuksessa kysyttiin, miten vastaajat määrittelevät tarvittavien mid/high-apukaiutinryhmien ja subien määrän, poikkesivat vastaukset jonkin verran toisistaan. Suunnitteluohjelmaa apuna käytti yli puolet vastaajista mid/high-kaiuttimien osalta (Kuvio 8, sivu 93), mutta subien kanssa vain yksi seitsemästä (Kuvio 7, sivu 93.) Kaksi vastaajaa tosin oli vastannut vapaaseen tekstikenttään käyttävänsä useampaa metodia, joista yksi on suunnitteluohjelman käyttäminen. Mid/high-kaiuttimien osalta kukaan ei myöskään kertonut tyytyvänsä vain siihen, mitä työnantaja on määritellyt, mutta subien osalta se käy kahdelle vastaajalle. (Kuvio 21.)



Kuvio 21. Tutkimukseen osallistujien mid/high-kaiuttimien ja subien määrittelytavat. Palkkikaavio.

Eroavaisuuksia määrittelytapoihin voidaan pohtia kahdesta eri näkökulmasta. Ensin voidaan miettiä, mitä taajuuskaistaa kaiuttimet toistavat ja kuinka välttämätöntä niitä on kuulla, jotta esityksestä voi nauttia. Vaikka bassotaajuudet eittämättä kuuluvat useimpiin musiikkityyleihin musiikkityylistä riippumatta, saa esityksestä kyllä selvää, vaikka matalien taajuuksien toisto ei olisikaan täydellinen juuri siinä kohtaa, jossa konserttia seuraa. Jos taas keski- ja ylä-äännet puuttuvat, kuulostaa musiikki siltä kuin se tulisi seinän takaa tai siinä olisi muuten jotain vikaa. Siinä mielessä voidaan ajatella, että bassokaistan kattavuus ei ole aivan niin kriittinen kuin mid/high-kaistan. Siksi ehkä sen tarpeiden määrittelemiseenkin voidaan suhtautua eri tavoin kuin mid/high-kaistan.

Toinen näkökulma on se, että bassokaiuttimien määrän arviointi suunnitteluohjelman avulla voi olla jonkin verran haasteellisempaa. Kuten jo kohdassa 4.3.7 *Vastaajien arviot suhteessa lähetettyihin suunnitelmiin* todettiin, on tarvittavan äänenpaineen arviointi mid/high-kaiuttimienkin osalta vaikeaa. Paljonko sitten on tarpeeksi bassoa, tai jos 6 dB:n vaihteluikkuna koko yleisöalueelle ei ole realistinen kuten ylempänä ehdotin, mikä sitten on?

Ensimmäiseen kysymykseen ei ole vastausta, sillä kokemus riittävästä basson määrästä riippuu kuuntelijasta. Vaikka joissain musiikkityyleissä suositaan valtavaa bassokorostusta (ja se heille sallittakoon), subit itsessään on vain kaiutin, joka laajentaa pääkaiuttimien toiminta-aluetta taajuuskaistan osalta. Se, että järjestelmässä on subit, ei tarkoita, että subikaista tulee muita voimakkaammin, vaan se tarkoittaa, että mataliakin taajuuksia toistetaan ylipäätään. Ohjelmamateriaali ja sen miksaus yhdessä subikaiuttimien määrän ja ominaisuuksien kanssa lopulta määrittävät sen, kuinka voimakkaasti matalia taajuuksia järjestelmästä kuuluu.

Voidaan myös miettiä, miksi yleisönosastoilla tai sosiaalisessa mediassa välillä on kommentteja, joiden mukaan tapahtumassa oli basso valtavan voimakkaalla tasolla. Äänijärjestelmän suunnittelun näkökulmasta yksi esiin nouseva haaste on se, että kuten tästäkin tutkimuksesta kävi ilmi, subit edelleen jäävät usein lattialle. Tällöin ensimmäisiin kuulijoihin voi olla matkaa vaikkapa vain 2–3 metriä. Kuitenkin samoilla subeilla saatetaan yrittää palvella yleisön edustajaa, joka istuu vaikkapa viidenkymmenen metrin päässä. Tutkimus osoitti selkeästi, että subikaistan kattavuus oli kaikissa suunnitelmissa heikoin ja että sen vaihteluväli yleisöalueella oli suurin (Kuvio 12, sivu 98; Kuvio 16, sivu 101).

Lopullisen päätöksen siitä, kuinka voimakkaasti bassotaajuuksia suhteessa muuhun materiaaliin toistetaan, tekee esityksen miksaaja, joka on usein yleisöalueen keskellä tai takaosassa. Suhteellinen etäisyys lavan lähellä olevien ja miksaajan välillä voi olla valtava, minkä takia lähempänä lavaa bassoa voi olla huomattavan paljon verrattuna yleisöalueen takaosiin. Ripustamalla subit voidaan suhteellista etäisyyseroa eri osissa yleisöaluetta sijaitseviin kuuntelijoihin pienentää, aivan kuten mid/high-kaiuttimienkin kanssa (Kuva 17, sivu 39). Tällöin myös voimakkuuden vaihteluerot yleisöalueen eri osissa tasoittuvat.

Kokonaisuutena arvioiden lähetetyistä kaiutinsuunnitelmista nousi esiin hyvä yleiskuva: valinnat pääkaiuttimiksi vaikuttivat järkeviltä, tonaliteettia oli ainakin osassa suunnitelmia mietitty ja äänenpaineen vaihteluvälit olivat ainakin pääkaiuttimien työalueella 3–9 dB vaihteluikkunassa, joskin taajuuskaistojen väleillä oli jonkin verran eroavaisuuksia. Suunnitelmien välillä oli tässä tutkimuksessa mitattuja eroja, joita on esitelty tämän opinnäytetyön aiemmissa luvuissa. Suunnitelmien äänenpaineen vaihteluväliä koko yleisöalueella olisi useissa tapauksissa

saanut pienemmäksi lisäämällä apukaiutinryhmiä tai laajentamalla olemassa olevia apukaiutinryhmiä kattamaan suuremman alueen. Tulosten perusteella voi myös arvioida, että tonaliteetin pysyvyys ja jatkuvuus on jo ajatustasolla tuttu, mutta tulkinta siitä, milloin siinä on onnistuttu, vaihtelee. Myös subien ripustaminen olisi saattanut useammassa tapauksessa pienentää subikaistan vaihteluväliä yleisöalueella. Monia tämän opinnäytetyön osassa 3 esiteltyjä suunnitteluun vaikuttavia seikkoja ei voida pelkästä suunnitelmasta jälkikäteen arvioida.

Pitää myös muistaa, että kaiutinsuunnitelmin analysointi on tehty niiden tietojen perusteella, joita lähettäjä on antanut. Osassa suunnitelmia oli alueita etenkin lavan sivuilla, jotka oli selkeästi suunnitelmaan merkitty yleisöalueeksi, mutta kaiuttimien suuntauksien perusteella voisi tulkita, että alueen ääri rajoilla ei ehkä kuitenkaan ole yleisöä ollut. Kuitenkaan ei voinut sanoa, että siellä ei varmasti olisi ollut yleisöä, joten nämäkin alueet tulkittiin tutkimuksessa yleisöalueeksi. Tutkijan oma arvio yleisöalueen päättymisestä vastoin tutkimukseen annettuja tietoja ei olisi ollut hyvän tieteellisen tavan mukaista. Vastaajille myös annettiin mahdollisuus sanallisesti selventää, mikä yleisöalue tarkalleen oli. Tutkimustuloksia tarkastellessa kuitenkin voi havaita, että muutamassa suunnitelmassa kokonaiskattavuus on matalahko, mutta suunnitelman sisällä eri taajuuskaistojen kattavat alueet varsinkin ala- ja yläkeskitaajuuksia tarkasteltaessa ovat kohtuullisen pienessä vaihteluikkunassa (Kuvio 15, sivu 100).

Suunnitteluohjelmistojen erilaisten käyttöliittymien takia kaikkia lähetettyjä tiedostoja ei ole voitu arvioida kaikilta tutkituilta osin. Kaikista suunnitelmista on kuitenkin mukana ainakin jotain tietoja. Käytettyjä ohjelmistoja tai suunnitelmien jakautumista niiden kesken ei ole tässä opinnäytetyössä raportoitu, jotta vastaajien henkilöllisyyttä tai mahdollista työpaikkaa ei käytetyn kaluston perusteella pystyisi päättelemään. Tutkimuksen tuloksia arvioitaessa on myös otettava huomioon, että huolellisesta tutustumisesta huolimatta toiset ohjelmistot olivat tutkijalle ennestään tutumpia kuin toiset.

5.3 Akustiset mittaukset

Kaikki tutkimukseen osallistuneet kertoivat tekevänsä akustisia mittauksia – ja nimenomaan transfer function -mittauksia. Vaikka niiltä 63 % vastaajista, joilla ei ollut halua tai mahdollisuutta lähettää tutkimukseen kaiutinsuunnitelmaa, ei kysytty lisätietoja, ei voi olla mieltämättä, millainen osa heistä tekee mittauksia. Vaikka mittaaminen on yleistynyt viimeisen 10–15 vuoden aikana, kaikki tapahtumien äänijärjestelmien parissa työskentelevät ääniteknikot eivät mittauksia edelleenkään tee.

Englanniksi puhutaan joskus järjestelmän smartittamisesta (smart the system), mikä viittaa yleisesti käytössä olevaan mittaohjelmistoon, Rational Acousticsin Smaartiin. Suomessakin puhutaan edelleen järjestelmän virittämisestä, kun tarkoitetaan järjestelmän käyttöönotto- ja optimointiprosessia. Nämä termit ovat ongelmallisia. Kun kaiuttimet on asennettu, mittaamalla voidaan tarkistaa, toimiiko järjestelmä odotetulla tavalla. Mittausten perusteella voidaan myös tehdä järjestelmään perusteltuja säätöjä tasojen, viiveaikojen ja taajuuskorjausten osalta. Mikäli kaiutinsuunnitelmassa on ollut ongelmia tai puutteita, ei niitä mittaamalla voi korjata, ainoastaan todentaa. Tämän tiedon saaminen kuitenkin voi auttaa suunnittelijaa välttämään vastaavantyyppiset ongelmat tulevissa suunnitelmissaan.

Mittaamaan oppii mittaamalla, mutta myös kaiutinjärjestelmiä oppii suunnittelemaan mittaamalla. Vaikka jotain mittauksessa näkyvää ongelmaa ei aikataulusyistä enää sinä päivänä pystyttäisikään korjaamaan, on mittaaja saanut arvokasta tietoa, mikä ei onnistunut. Näin saa siis palautetta omasta suunnittelutyöstään, ja saadun palautteen perusteella voi omaa osaamistaan pyrkiä parantamaan. Muuta palautetta harvoin saa – ainakaan rakentavaa. Tapahtuman miksaaja toki usein sanoo jotain, mutta he kuulevat järjestelmän yleensä yhdestä sijainnista. Entäpä ne 100, 1000, 10 000 tai 100 000 muuta sijaintia, joissa korvapareja ympäri yleisöaluetta sijaitsee? Entä onko heidän sosiaalisessa mediassa tai yleisönosastoilla antamansa palaute luotettavaa?

Vaikka ei ole mahdollista mitata jokaiselta istumapaikalta, voi kuitenkin mitata esimerkiksi reuna-alueilta tai muuten sellaisilta alueilta, jotka ovat suunnitelmassa vaikuttaneet haastavilta. Vertaamalla mittauksia pääkaiuttimen akselilta

otettuihin mittauksiin, jossa tuloksen ainakin pitäisi olla paras, saa arvokasta tietoa siitä, kuinka haastava tilanne lopulta olikaan. Antoiko suunnitteluohjelma liian positiivisen kuvan, vai oliko tilanne oikeassa elämässä parempi kuin miltä se tietokoneen ruudulla näytti? Tekemällä oppii ja mokaamalla muistaa, sanotaan, mutta ainoastaan todentamalla – tässä yhteydessä akustisin mittauksin – mitä tuli tehtyä tietää varmasti, oliko kyseessä tekeminen vai mokaaminen. Korvat ja analyttinen kuuntelu ovat äänialalla toimivan henkilön tärkein työkalu, mutta korvia ei voi kalibroida ja kuulomuisti on lyhyt. Kalibroitu ja ehjä mittalaitteisto sen sijaan kertoo joka päivä puolueettomasti tietoja äänijärjestelmän toiminnasta siinä akustisessa ympäristössä, minne se on milloinkin asennettu.

On myös asioita, joita korvin ei voi analysoida, vaikka niissä olevat puutteet lopputulosta korvin kuultaen häiritsevätkin: äänen vaihetta ei voi kuulla, mutta kahden tai useamman äänilähteen vaihe-erot aiheuttavat kuultuun ääneen havaittavissa olevia ongelmia. Kouluttamattomatkin korvat osaavat kyllä kertoa, että tässä on jotain outoa, vaikka outouden syytä ei osaisikaan selittää. Vaikka ongelmat voisi todentaa korvin, voi niiden korjaaminen ilman mittauksia olla lähes mahdotonta. Esimerkiksi kahden eri äänilähteen aikaeron arviointi millisekunnilleen on tietokoneen, ei ihmiskorvan tehtävä. Pelkkää tietokoneen ruutua tarkkailemaltaakaan ei kuitenkaan äänentoistojärjestelmiä voi optimoida, sillä kuten kappaleessa 3.4.8 *Järjestelmän soundi* todettiin, lopullisen arvioinnin tekee aina ihminen kuuntelemalla. Siksi äänijärjestelmien parissa työskentelevien tuleekin pystyä arvioimaan lopullista soundia myös analyttisesti kuuntelemalla, vaikka järjestelmän käyttöönoton ja optimoinnin työvaiheet kannattaakin tehdä mittalaitteita hyödyntäen.

5.4 Ajatuksia jatkotutkimusten aiheiksi

Tätä opinnäytetyötä tehdessä esiin nousi useampia aiheita jatkotutkimuksien aiheiksi. Tämä tutkimus ei kerännyt tarkempia tietoja tapahtumista, joissa kaiutinjärjestelmää ei suunnitella etukäteen tietokoneohjelmistoja hyödyntäen. Tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että sellaisia kuitenkin on. Tapahtumien äänentoistojärjestelmien tutkiminen myös näiden tapahtumien osalta sekä tällais-

ten järjestelmien parissa työskentelevien ääniteknikkojen koulutus- ja kokemustaustan kartoittaminen voisi auttaa alaa löytämään tapoja yhtenäistää alalla työskentelevien osaamista ja toimintatapoja.

Tämä tutkimus on luottanut ennakkosuunnitelmiin ja niiden tekijöiden omiin arvioihin kaiutinsuunnitelmien osalta. Laajempi tutkimus tapahtumissa järjestelmät tutkimuksen määrittelemällä mittalaitteistolla mitaten antaisi vertailukelpoisempaa dataa eri tapahtumien äänentoistojärjestelmistä ja niiden optimoinnista. Tällaisen tutkimuksen toteuttaminen vaatisi joustavuutta niin äänentoistosta vastaavilta kuin tapahtumien järjestäjiltäkin, mutta se voisi antaa tätä tutkimusta luotettavampaa tietoa siitä, millaisia äänentoistojärjestelmiä suomalaisissa tapahtumissa lopulta käytetään.

Opinnäytetyön historiaosuutta työstäessäni huomasin myös, että kattavaa historiaa liveäänentoiston kehitysvaiheista on haastavaa löytää niin kansainvälisestä kuin kotimaisestakin toimintaympäristöstä. Myös äänialan koulutuksen historia näyttäisi olevan oppilaitosten omien tietojen varassa. Näistä löytyisi aiheita useammankin historiaa dokumentoivan tutkimuksen aiheeksi. Naisten historiasta audioalalla on kirjoitettu tämänkin opinnäytetyön yhtenä lähteenä oleva kirja *Women in Audio* (Gaston-Bird 2020), mutta historian lisäksi olisi mielenkiintoista tutkia naisten ja muunsukupuolisten sijoittumista äänentoistokentän eri tehtäviin nykypäivänä.

LÄHTEET

Adamson Systems Engineering Inc. 2021. IS7p User Manual. Käyttöohje. Ladattava PDF-tiedosto. Viitattu 10.4.2023. <https://www.adamsonsystems.com/en/support/downloads-directory/is-series/is7p>

Arene ry. 2019. Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset. Ladattava PDF-tiedosto. Viitattu 8.4.2023. <https://www.arene.fi/wp-content/uploads/Raportit/2020/AMMATTIKORKEAKOULU-JEN%20OPINN%C3%84YTET%C3%96IDEN%20EETTISET%20SUOSITUKSET%202020.pdf? t=1578480382>

Adelman-Larsen, N. 2014. Rock and Pop Venues. E-kirja. Iso-Britannia: Dordrecht, Springer.

AFMG Ahnert Feistel Media Group. 2014. AFMG Systune Software Manual. Revision 5. Ladattava PDF-tiedosto. Viitattu 8.4.2023. https://www.afmg.eu/sites/default/files/2021-07/SysTune_Manual_1.3.pdf

Ballou, G. 2009. A Sound Engineer's Guide to Audio Test and Measurement. E-kirja. Yhdysvallat: Burlington, Focal Press.

Ballou, G. 2015. Handbook for Sound Engineers. 5. painos. E-kirja. Yhdysvallat: Burlington, Focal Press.

Blomberg, E. & Lepoluoto, A. 2005. Audiokirja. 3. painos. Verkkojulkaisu: PDF alkuperäisestä kirjasta.

Coules, A. 2014. The History of PA, Part 1. ProSoundWeb. Luettu 19.3.2023. <https://www.prosoundweb.com/the-history-of-pa-part-1/>

Coules, A. 2015. Modern Pioneers: The History of PA, Part 2. ProSoundWeb. Luettu 19.3.2023. <https://www.prosoundweb.com/modern-pioneers-the-history-of-pa-part-2/>

d&b audiotechnik GmbH. 2016. NoizCalc introductory brochure. Esite. Ladattava PDF-tiedosto. Viitattu 8.4.2023. <https://www.dbaudio.com/assets/products/downloads/brochures/dbaudio-intro-brochure-noizcalc-en.pdf>

d&b audiotechnik GmbH. 2020. KSL8/KSL12 Manual. Käyttöohje v1.2. Ladattava PDF-tiedosto. Viitattu 30.3.2023. <https://www.dbaudio.com/assets/products/downloads/manuals-documentation/sl-series/dbaudio-manual-ksl8-ksl12-1.2-en.pdf>

Davis, D., Patronis, E. & Brown, P. 2013. Sound System Engineering. 4. Painos. E-kirja. Yhdysvallat: Burlington, Focal Press.

Davis, G. & Jones, R. 1990. The Sound Reinforcement Handbook. Written for Yamaha By Gary Davis & Ralph Jones. 2. painos. Yhdysvallat: Milwaukee, Hal Leonard Corporation.

Everest, F. & Pohlmann K. 2022. Master Handbook of Acoustics. 7. Painos. E-kirja. Yhdysvallat: New York, McGraw Hill.

Gaston-Bird, L. 2020. Women in Audio. E-kirja. Yhdysvallat: New York, Routledge.

Ilmonen, K. 1996. Yleisradion historia: 3. osa, 1926–1996: tekniikka, kaiken perusta. Helsinki: Yleisradio.

Jyväskylän Yliopisto. 2015. Vertaileva tutkimus. Luettu 9.4.2023.

<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/vertaileva-tutkimus>

Karjalainen, M. 2008. Kommunikaatioakustiikka. 2. painos. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

Kauhanen, V. Asiantuntija. Äänentoisto kuntoon, taso 1. Suoratoistettu seminaari. 1.-2.6.2021. Akun Tehtaan tilat, Ylöjärvi.

Klapholz, J. 1988. The History of Sound Reinforcement. AES 6th International Conference. Luettu 19.3.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=4651>

Koivumäki, A. 2023. Yliopettaja, Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähköpostiviesti 28.3.2023.

Kotimaisten kielten keskus. 2023. Kielitoimiston sanakirja. Hakusanat akustiikka, tonaalinen, tonaliteetti, äänentoisto. Luettu 3.3.2023. <https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/>

Laamanen, L. 2018. Roudarit. Vastuun ja kamojen kantoa jo vuodesta 1965. E-kirja. Helsinki: Johnny Kniga Kustannus.

Laukkanen, P. Akustikko. 2023. Haastattelu 9.3.2023. Haastattelija Salo, T.

Leipälä, J. 2023. Koulutuspäällikkö, Ammattiopisto Lappia. Sähköpostiviesti 30.3.2023.

Littlefield, B. 2015. The Beatles At Shea: A Sports Stadium Revolution. Only a game. Podcast-tallenne. WBUR 8.8.2015. Viitattu 20.3.2023. <https://www.wbur.org/onlyagame/2015/08/08/beatles-concert-shea-stadium-1965>

Lively, N. 2018. How to create a target trace in Smaart [GSwSST25]. Luento. Youtube-video. Julkaistu 8.6.2018. Viitattu 15.3.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=4j8BVIGGJOY>

Maltby, M. 2016. A Dictionary of Audiology. 2. painos. Hakusanat A-weighting, C-weighting, signal to noise ratio, threshold of hearing, Z-weighting. Oxford University Press. Luettu 3.3.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-oxfordreference-com.libproxy.tuni.fi/display/10.1093/acref/9780191830822.001.0001/acref-9780191830822-e-0157?rskey=PbYGFfi&result=190>

Manninen, J. 2015. Äänentoiston varhaiset vuodet. MS-Audiotronin merkitys suomalaisessa äänentoistossa. Esitys- ja teatteritekniikan tutkinto-ohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 17.2.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201503052775>

McCarthy, B. 2016. Sound Systems: Design and Optimization. Modern Techniques and Tools for Sound System Design and Alignment. 3. painos. E-kirja. Yhdysvallat: New York, Focal Press.

McNell, D. 1983. The Grateful Dead: A Continual Development Of Concert Sound. ProSoundWeb. Luettu 20.3.2023. <https://www.prosoundweb.com/the-grateful-dead-a-continual-development-of-concert-sound-circa-1983/>

Mulder, J. 2015. Early History of Amplified Music: Transectorial Innovation and Decentralized Development. AES 6th International Conference. Viitattu 19.3.2013. Vaatii käyttöoikeuden. <http://www.aes.org/e-lib/online/download.cfm/17830.pdf?ID=17830>

Myers, M. 2015. A Home Run for Rock; Fifty years ago, the Beatles played to a sold-out crowd at Shea Stadium and completely changed the idea of what rock concerts could be. Wall Street Journal (Online). Julkaistu 12.8.2015. Viitattu 20.3.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.proquest.com/docview/1703463559/851CE26C914F4494PQ/1?accountid=14242>

Rational Acoustics LLC. 2018. Smaart v8 User Guide. Käyttöohje. Release 8.5. Ladattava PDF-tiedosto. Viitattu 8.4.2023. <https://downloads.rationalacoustics.com/documentation/smaart-v8/Smaart-v8-User-Guide.pdf>

Puolustusvoimat. n.d. SA-kuva-arkisto. Hakusana kaiutin. Viitattu 9.4.2023. <http://sa-kuva.fi/>

Saarela, T. 2021. Pave Maijanen – Elämän nälkä. E-kirja. Helsinki: Tammi.

Saarinen, R. Asiantuntija. 2021. Haastattelu 6.4.2021. Haastattelija Salo, T. Litteroitu.

Saarinen, R. Asiantuntija. 2023. Sähköpostiviesti 21.3.2023.

Scientific American. 1907. The Telharmonium – An apparatus for the electrical generation and transmission of music. Julkaistu 9.3.1907. Viitattu 20.3.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.jstor.org/stable/26005405>

SFS-EN 61672-1. 2014. Electroacoustics – Sound Level Meters – Part 1: Specifications (IEC 61672-1:2013). Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 8.3.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/352822.html.stx>

Simola, S. 2016. Historia: Vain perille mennyt viesti ratkaisee. Reserviläinen 7/2016. Viitattu 9.4.2023. <https://reservilainen.fi/historia-vain-perille-mennyt-viesti-ratkaisee/>

Talbot-Smith, M. 1999. Audio Engineer's reference book. 2. painos. E-Kirja. Yhdistynyt kuningaskunta: Oxford, Focal Press.

Tiits, K. 2023. Musiikkiteknologian yliassistentti, Sibelius-Akatemia. Sähköposti-viesti 31.3.2023.

Veijalainen, M. 1980. Hurriganes – Roudarit. Lyhytelokuva. Youtube-video. Viitattu 20.3.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=qi-nsQy6GTs>

Weidenaar, R. 2001. New Grove Dictionary of Music and Musicians. Hakusana telharmonium. Oxford University Press. Viitattu 20.3.2023. <https://www-oxford-musiconline-com.libproxy.tuni.fi/grovemu-sic/view/10.1093/gmo/9781561592630.001.0001/omo-9781561592630-e-0000046183>.

Winer, E. 2018. The Audio Expert: Everything You Need to Know About Audio. 2. painos. E-kirja. Yhdysvallat: New Yourk, Routledge.

YLE. 1993. Yleisradion vuosikirja 1991–1992. 1993. YLE tiedotustoimikunta. Viitattu 9.4.2023. <https://drive.google.com/open?id=0B99iwmeg19YF-ZEq2Tm5EcWg2UnM>

Yle. 2007. Uskomaton 70-luku: Matti Sarapaltio muistelee. Podcast-tallenne. Yle Areena. Julkaistu 27.1.2007. Viitattu 9.4.2023. <https://areena.yle.fi/podcas-tit/1-50414872>

Yleisradio. 1957. Kertomus Oy Yleisradio Ab:n toiminnasta vuonna 1956. Viitattu 9.4.2023. <https://drive.google.com/file/d/0B99iwmeg19YFM3JSTUstWUVPWXM/view?resourcekey=0-n1su1lw23kXQGtR-qP1vKA>

Yleisradio. 1958. Kertomus Oy Yleisradio Ab:n toiminnasta vuonna 1957. Viitattu 9.4.2023. <https://drive.google.com/file/d/0B99iwmeg19YFOTd0MjRYOEtCOW8/view?resourcekey=0-IMbel0GzVoe5px4g0KDUzw>

Ylönen, H. 2023. Koordinaattori, Taideyliopiston Teatterikorkeakoulu. Sähköpostiviesti 28.3.2023

LIITTEET

Liite 1. Tutkimuslomake

08/04/2023, 17:07

Tutkimus suomalaisten musiikkitapahtumien äänentoistojärjestelmistä

Tutkimus suomalaisten musiikkitapahtumien äänentoistojärjestelmistä



Tämän tutkimuksen tarkoitus on kerätä tietoa suomalaisiin musiikkitapahtumiin tehdyistä kaiutinjärjestelmäsuunnitelmista. Tutkimus on osa Terhi Salon YAMK-tutkinnon opinnäytetyötä, joka julkaistaan valmistuttuaan Theseus-palvelussa (theseus.fi). Arvioitu valmistumisajankohta on marraskuussa 2021.

Tutkimus on tarkoitettu henkilöille, jotka toimivat musiikkitapahtumissa äänijärjestelmien suunnittelijoina ja toteuttajina, eli ns. systeemiseppinä. Tapahtuman tai kaiutinjärjestelmän koolla tai kaiuttimien valmistajalla ei ole merkitystä, mutta kyselyyn vastaamisen kriteerinä on, että tapahtuman äänijärjestelmä on tullut olla etukäteen suunnitteluohjelmalla (esim. ArrayCalc, Soundvision, Mapp XT) mallinnettu ja myös asennettu mallinnuksen mukaisesti.

Tutkimukseen vastaaminen tapahtuu anonyymisti. Tutkimuksessa pyydetään vastaajaa lähettämään yksi oikeasti musiikkitapahtumassa käytössä ollut kaiutinjärjestelmän suunnitelma (design) siten, että tiedostosta on poistettu kaikki tekijään tai tapahtumaan suoraan viittavat tiedot. Designeja ei julkaista eikä niitä käytetä sellaisenaan edes osittain varsinaisessa opinnäytetyössä. Designit analysoidaan manuaalisesti, ja kerätyn tiedon perusteella pyritään muodostamaan kokonaiskuva suomalaisista musiikkitapahtumien äänijärjestelmistä. Designeja ei myöskään käytetä mihinkään muuhun tarkoitukseen kuin tutkimusdatan keräämiseen.

Tiedoston lähettämisen ja siihen liittyvien tarkentavien kysymyksiä lisäksi tässä tutkimuskyselyssä pyydetään vastaamaan kysymyksiin jotka koskevat vastaajan omia näkemyksiä kaiutinjärjestelmän suunnittelusta ja optimoinnista, sekä muutamaa taustakysymykseen. Kysymykset ovat pääasiassa monivalintakysymyksiä. Koko kyselyyn vastaamiseen menee aikaa n. 15-30 minuuttia.

Kaikki kerätyt tiedot käsitellään ehdottoman luottamuksellisesti, eikä lähetettyjä tiedostoja pääse näkemään muut kuin työn tekijä ja mahdollisesti työtä ohjaava opettaja Tampereen korkeakoulu yhteisöstä. Mikäli haluat lisätietoja ennen kyselyyn vastaamista, ota yhteyttä terhi.salo@tuni.fi

Kyselyyn on mahdollista vastata 10.5. klo 16 saakka.

Koronapandemia on toistaiseksi estänyt teitä, arvoisat kyselyyn vastaajat, harjoittamaan ammattianne enemmän tai vähemmän kokonaan jo yli vuoden verran. Siitä huolimatta toivon, että mahdollisimman moni käyttäisi pienen hetken aikaa kyselyyn vastaamiseksi ja palaisi ajatuksissaan aikaan ennen rajoituksia tähän kyselyyn vastatessaan.

Kiitos kaikille vastaajille todella paljon jo etukäteen!

Terhi Salo

Musiikkipedagogi (YAMK) -opiskelija

Tampereen korkeakouluyhteisö TUNI, Tampereen ammattikorkeakoulu

terhi.salo@tuni.fi

▲ 1 / 2 ▼

1. Lähtötiedot

Oletko toiminut työtehtävissä, joissa olet suunnitellut ja käyttöönottanut sekä optimoinut musiikkitapahtuman äänentoistojärjestelmän? Tapahtuman tai kaiutinjärjestelmän koolta tai kaiuttimien valmistajalla ei ole merkitystä. *

- Kyllä
 Ei

Onko sinulla tallessa vähintään yksi toteutuneen musiikkitapahtuman kaiutinjärjestelmäsuunnitelma suunnitteluohjelman tiedostona? Tapahtuman tai kaiutinjärjestelmän koolta tai kaiuttimien valmistajalla ei ole merkitystä. *

- Kyllä
 Kyllä, mutta en halua antaa sitä tämän tutkimuksen käyttöön
 Ei

▲ 2 / 3 ▼

2. Kaiutinsuunnitelman valinta ja lähettäminen

1. Mieti musiikkitapahtumia, joiden äänentoistojärjestelmän suunnittelusta ja käyttöönotosta sekä optimoinnista olet vastannut. Tapahtuman tai kaiutinjärjestelmän koolta tai kaiuttimien valmistajalla ei ole merkitystä, mutta kyselyyn vastaamisen kriteerinä on, että tapahtuman äänijärjestelmä tulee olla etukäteen suunnitteluohjelmalla sinun itsesi mallintama, ja sen mukaan myös asennettu. Valitse työhistoriastasi tapahtuma, jonka järjestelmän suunnittelussa ja optimoinnissa onnistuit mielestäsi hyvin.

2. Avaa tapahtuman kaiutinjärjestelmäsuunnitelma. Jos sinulla on siitä useita versioita, käytä tässä sitä, jonka perusteella järjestelmä asennettiin. Se kannattaa siis olla versio, jonka viimeistelit saapuessasi tapahtumapaikalle ja varmistit tapahtumapaikan tai -alueen mitat. Se voi myös olla versio, jonka teit etukäteen, jos sille ei tehty muutoksia enää tapahtumapaikalla. Tärkeintä on, että suunnitelma ja asennettu järjestelmä vastaisivat toisiaan mahdollisimman tarkasti. Älä muokkaa suunnitelmaa enää jälkikäteen muilta, kuin tässä ohjeistuksessa pyydytin osin.

3. Poista tiedostosta oma nimesi, nimikirjaimesi tai muut sinuun viittaavat henkilötiedot. Poista myös tapahtuman nimeen tai erityiseen tapahtumapaikkaan viittaavat tiedot. Mikäli kyseessä on jokin yleinen tapahtumapaikka missä järjestetään paljon tilaisuuksia (esim. Tampere-talo, Kaisaniemen puisto, Kuopio-halli), voit halutessasi jättää niihin viittaavat tiedot tiedostoon. Tärkeää on, että tapahtumapaikan tiedoista ei pysty päättämään mikä yksittäinen tapahtuma on ollut kyseessä.

4. Jos designiin on mallinnettu sellaisia alueita, joissa ei ollut yleisöä tai äänentoistojärjestelmän ei ollut

08/04/2023, 17:43

Tutkimus suomalaisten musiikkitapahtumien äänentoistojärjestelmistä

tarkoitukseen palvelu näitä alueita, merkitse nämä alueet selkeästi joko designiin tai tämän lomakkeen lisätietokenttään siten, että designia analysoitaessa on mahdollista ymmärtää, mikä oli yleisöalue. Älä kuitenkaan poista näitä alueita designista, mieluummin kerro lisätiedoissa miksi ne ovat mukana design-tiedostossa.

5. Tallenna tiedosto nimellä **tutkimus_tuni.xxx**, missä xxx on käyttämäsi ohjelmiston tiedostopääte.

6. Lähetä tiedosto tämän sivun ohjeiden mukaan ja vastaa tarkentaviin kysymyksiin huolellisesti.

7. Mikäli tiedostoon jää tekijä- tai tapahtumatietoja, joiden pohjalta tutkija pystyy alan ja alan ihmisten yleisen tuntemuksensa perusteella arvaamaan tiedoston tekijän, ei tämän asian anneta vaikuttaa tietojen analysointiin tai käsittelyyn. Kaikessa datan analysoinnissa noudatetaan eettisen tutkimuksen periaatteita.

Lähetä edellä mainituin ohjein muokkaamasi tiedosto tässä. Lähettämällä tiedoston annat suostumuksesi tiedoston käyttämiseen tässä tutkimuksessa. *

 No file chosen

▲ 3 / 4 ▼

3. Lisätietoja lähettämästäsi suunnitelmasta

Anna tässä osiossa lisätietoja lähettämästäsi kaiutinsuunnitelmasta ja tapahtumasta, jossa sitä käytettiin. Näiden kysymysten tarkoitus on auttaa tutkijaa suunnitelmien analysoinnissa. Erityisen tärkeää on pystyä ymmärtämään designista, että missä oli yleisöalue, ja millaisia mahdollisia tarkentavia ohjeita yleisöalueen osalta suunnitelman tekijälle on annettu. Näitä kannattaa kertoa sivun lopussa olevaan lisätietokenttään.

Mitkä asiat omasta mielestäsi onnistuivat tässä kaiutinsuunnitelmassa hyvin? Valitse 1–3 omasta mielestäsi parhaiten onnistunutta. *

- Järjestelmän soundi
- Äänenpaineen riittävyys (max SPL)
- Äänenpaineen vaihtelun hallinta (koko yleisöalue määrittelemäsi äänenpaineikkunan sisällä)
- Tonaliteetin jatkuvuus/pysyvyys (sub/mid/high -kaistat seuraavat toisiaan mahdollisimman hyvin)
- Tavoiteväste (target curve)
- Signaali-kohinasuhde (Signal to noise -ratio, S/N)
- Suoran ja heijastuneen äänen suhde (Direct to reverberant ratio, D/R)
- Heijastusten välttely
- Järjestelmän optimointi/viritys
- Muu, mikä?

Mitä muuttaisit / kehittäisit designissasi nyt jälkikäteen? Valitse 0–3 omasta mielestäsi eniten kehittämistä vaativaa. *

https://s2.forms.site.com/res/showFormPreview?EPParam=m_OmK8agOTDmiLP_L4-vyhuJ3lg3ramcSudf0jpxUOW_so59Xmx1wVloC3U93NBe

3/9

08/04/2023, 17:43

Tutkimus suomalaisten musiikkitapahtumien äänentoistojärjestelmistä

- Järjestelmän soundi
- Äänenpaineen riittävyys (max SPL)
- Äänenpaineen vaihtelun hallinta (koko yleisöalue määrittelemäsi äänenpaineikkunan sisällä)
- Tonaliteetin jatkuvuus/pysyvyys (sub/mid/high -kaistat seuraavat toisiaan mahdollisimman hyvin)
- Tavoiteväste (target curve)
- Signaali-kohinasuhde (Signal to noise -ratio, S/N)
- Suoran ja heijastuneen äänen suhde (Direct to reverberant ratio, D/R)
- Heijastusten välttely
- Järjestelmän optimointi/viritys
- Muu, mikä?

Millä ohjelmalla lähettämäsi kaiutinsuunnitelmatiedosto on tehty? *

- d&b ArrayCalc
- LAcoustics Soundvision
- Meyer Soundin MAPP XT
- Adamson Blueprint
- Muu (kirjoita ohjelman nimi kenttään)

Millainen tapahtuma tai tilaisuus oli kyseessä? Vastaa sen esiintymispaikan osalta, minne lähettämäsi kaiutinsuunnitelma on tehty. *

- Musiikkifestivaali tai muu sellainen tilaisuus, jossa oli useita eri musiikkiesityksiä saman päivän aikana
- Konsertti, jossa esiintyi yksi pääesiintyjä ja mahdollisesti lisäksi ns. lämmittelyesiintyjä(t)
- Seminaari tai muu puhetilaisuus, jossa ei esitetty elävää musiikkia
- Seminaari tai muu puhetilaisuus, jossa esitettiin myös elävää musiikkia
- Yritystilaisuus
- Muu (kirjoita lisätietoja kenttään)

Millaisessa tilassa lähettämäsi kaiutinsuunnitelmaa käytettiin? *

- Sisällä
- Ulkona
- Teltassa, jossa oli pelkkä katto
- Teltassa, jossa oli myös sivu- ja / tai takaseinät
- Muu (anna lisätietoja kenttään)

https://fs2.formsite.com/res/showFormPreview?EParam=m_OmK8spOTDmiLP_L4-vyhuJ3lg3ramcSUd0lpxUOW_so59XmxIwVloC3U93NBe

4/9

Määriteltiinkö tälle tapahtumalle yleisöalue esimerkiksi asiakkaan edustajan tai oman projektipäällikön tms. Taholta? *

- Kyllä
- Ei
- Tapahtuma-alue oli rajattu esim. aidoin tai se myötäili puustoa, kasveja tai muita maanmuotoja siten, että oli joka tapauksessa ilmisevä, missä yleisöalue on

Käykö lähettämästäsi kaiutinsuunnitelmasta esimerkiksi plane-nimistä ilmi, mitkä alueet olivat yleisöaluetta? *

- Kyllä
- Ei (anna lisätietoja alueista, joilla oli yleisöä)

Voit halutessasi kirjoittaa tähän kenttään muita lisätietoja tästä tapahtumasta tai designista. Voit halutessasi myös esimerkiksi kertoa lisää taustoista tai syistä, miksi valitsit juuri tämän designin.

Mikäli designistasi ei suoraan näe esimerkiksi plane-nimien perusteella mitkä alueet olivat yleisöaluetta, kerro niistä tarkennuksia tässä.

Kiitos lähettämästäsi kaiutinsuunnitelmasta ja vastaamisesta tarkentaviin kysymyksiin siihen liittyen.

Tästä eteenpäin kysymykset koskevat näkemyksiäsi ja toimintatapoja äänentoistojärjestelmien suunnittelusta ja optimoinnista yleisellä tasolla.

▲ 4 / 5 ▼

4. Kaiutinjärjestelmän suunnittelu

Tässä osiossa kysytään yleisiä kysymyksiä työskentelytavoistasi ja näkemyksistäsi äänentoistojärjestelmien suunnitteluvaiheessa. Vastaa kysymyksiin yleisellä tasolla oman mielipiteesi mukaisesti.

Mitkä ovat mielestäsi tärkeimmät lähtökohdat kaiutinjärjestelmän suunnittelulle? Valitse 1–3 omasta mielestäsi tärkeintä. *

- Järjestelmän soundi
- Äänenpaineen riittävyys (max SPL)
- Äänenpaineen vaihtelun hallinta (koko yleisöalue määrittelemäsi äänenpaineikkunan sisällä)
- Tonaliteetin jatkuvuus/pysyvyys (sub/mid/high -kaistat seuraavat toisiaan mahdollisimman hyvin)
- Tavoitevaste (target curve)
- Järjestelmän optimointi/viritys
- Signaali-kohinasuhde (Signal to noise -ratio, S/N)
- Suoran ja heijastuneen äänen suhde (Direct to reverberant ratio, D/R)
- Heijastusten välttely
- Muu, mikä?

Oman arviosi mukaan: Mitkä osa-alueet kaiutinjärjestelmäsuunnitelmissasi keskimäärin onnistuvat parhaiten? Valitse 1–3 tärkeintä. *

- Järjestelmän soundi
- Järjestelmän optimointi/viritys
- Äänenpaineen riittävyys (max SPL)
- Äänenpaineen vaihtelun hallinta (koko yleisöalue määrittelemäsi äänenpaineikkunan sisällä)
- Tonaliteetin jatkuvuus/pysyvyys (sub/mid/high -kaistat seuraavat toisiaan mahdollisimman hyvin)
- Tavoitevaste (target curve)
- Signaali-kohinasuhde (Signal to noise -ratio, S/N)
- Suoran ja heijastuneen äänen suhde (Direct to reverberant ratio, D/R)
- Heijastusten välttely
- Muu, mikä?

Miten pääsääntöisesti määrittelet järjestelmässä tarvittavien sub-kaiuttimien määrän? *

- Työskentelen niillä mitkä minulle on projektiin määritetty työnantajan puolesta
- Arvioin kokemukseni perusteella paljonko subeja tarvitaan
- Arvioin suunnitelmaohjelman avulla paljonko subeja tarvitaan
- Muu (anna lisätietoja kenttään)

Miten pääsääntöisesti määrittelet järjestelmässä tarvittavien apukaiutinryhmien (esim. sivu-PA, etufillit, viiveet jne) tarpeen ja määrän? *

- Työskentelen niillä mitkä minulle on projektiin määritetty työnantajan puolesta
- Arvioin kokemukseni perusteella paljonko apukaiuttimia ja -ryhmiä tarvitaan
- Arvioin suunnitelmaohjelman avulla paljonko apukaiuttimia ja -ryhmiä tarvitaan
- Muu (anna lisätietoja kenttään)

▲ 5 / 6 ▼

5. Kaiutinjärjestelmän käyttöönotto ja optimointi

Tässä osiossa kysytään muutamia kysymyksiä kaiutinjärjestelmän käyttöönotossa ja optimoinnissa yleensä tekemistäsi työvaiheista. Vastaa rehellisesti oman mielipiteesi, näkemyksesi ja kokemuksesi mukaan yleisellä tasolla.

Teetkö yleensä akustisia mittauksia järjestelmän käyttöönoton ja optimoinnin aikana?

Akustisia mittauksia ovat kaikki erilaisilla laitteilla ja ohjelmistoilla tehtävät mittaukset, joilla mitataan äänen ja/tai tilan äänenpainetta, taajuusvastetta, vaihevastetta tai muuta mitattavissa olevaa ominaisuutta. *

- Kyllä
- Ei
- Toisinaan (anna lisätietoja kenttään)

Millaisia akustisia mittauksia yleensä teet? Voit valita useita. *

- Transfer function -mittauksia (esim. Smaart tai SysTune Transfer-ikkuna)
- Spectrum-mittauksia (Esim. RTA, Spectrograph)
- Äänenpainemittauksia (esim. erilaiset dB-mittarit)
- Mobiililaitteiden applikaatioilla tehtävät mittaukset
- Muita mittauksia (anna lisätietoja kenttään)

Miten pääsääntöisesti määrität eri kaiutinryhmien väliset viiveajat? *

- Mittaan kaiutinryhmien välisen etäisyyden esim. lasermittarilla tai mittanauhalla ja lasken siitä äänen kulkuajan
- Määritän viiveajat jo suunnitteluohjelmassa ja käytän niitä
- Arvioin kuuntelemalla
- Mittaan ajat mittausohjelmalla, joka käyttää transfer functionia

08/04/2023, 17:07

Tutkimus suomalaisten musiikkitahtumien äänentoistojärjestelmistä

- En viivästä eri kalutinryhmiä keskenään
- Muulla tavalla (anna lisätietoja kenttään)

Miten määrität kaiuttimen viiveajan mittausohjelman avulla? Kerro lyhyesti omin sanoin käyttämistäsi toimintatavoista.

▲ 6 / 7 ▼

6. Vastaajan tausta

Kauanko olet toiminut äänentoistoalalla? *

- Alle 5 vuotta
- 5–10 vuotta
- Yli 10 vuotta

Onko sinulla äänentoistoon tai äänen käsittelyyn (edes etäisesti) liittyvä tutkinto? *

- Kyllä
- Ei

Oletko osallistunut äänentoistoon liittyville kursseille tai koulutuksiin? *

- Kyllä, käyn koulutuksissa / webinaareissa / kursseilla / verkko-opinnoissa säännöllisesti
- Kyllä, käyn koulutuksissa / webinaareissa / kursseilla / verkko-opinnoissa silloin tällöin
- Kyllä, käyn koulutuksissa / webinaareissa / kursseilla / verkko-opinnoissa harvakseltaan
- Kyllä. Lisäksi opetan / koulutan myös itse.
- Olen käynyt koulutuksissa / webinaareissa / kursseilla verkko-opinnoissa aiemmin, mutta en enää nykyään
- En

Miksi et (enää) osallistu äänentoistoon liittyville kursseille tai koulutuksiin? *

- Olen lopettanut alalla työskentelyn tai en työskentele alalla päätoimisesti

08/04/2023, 17:07

Tutkimus suomalaisten musiikkitapahtumien äänentoistojärjestelmistä

- Työnantajani ei maksa tällaisten kurssien tai koulutusten kustannuksia tai ei anna minun käyttää niihin työaikaani
- Kurssit ja koulutukset ovat liian kalliita
- En opi kursseilta ja koulutuksista uutta
- Kurseilla ja koulutuksissa jaetaan huonoa tai väärää tietoa
- En tiedä, missä kurseja ja koulutuksia järjestetään tai kuinka niille voi osallistua
- Muu (anna lisätietoja kenttään)