



Langattomien äänentoistojärjestelmien teoria ja käyttö Suomessa

Jan-Mikael Träskelin

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015
Musiikkipedagogi
Musiikkiteknologian sv

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Musiikkipedagogi
Musiikkiteknologian sv

Jan-Mikael Träskelin:
Langattomien äänijärjestelmien teoria ja käyttö Suomessa

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Toukokuu 2015

Ääniteknikassa on monta tärkeää teknistä osa-aluetta. Nykypäivänä langattomat äänentoistojärjestelmät ovat tulleet standardiksi useissa tapahtumissa ja tilanteissa. Langattomien äänentoistojärjestelmien käyttö on kuitenkin tarkasti säädeltyä, mutta useat järjestelmien käyttäjät eivät ole aina tarkasti tietoisia kaikista lain asettamista rajoitteista ja määräyksistä.

Tässä opinnäytetyössä tekijä luo selkeän koosteen sekä teknisistä tarpeista että lain vaatimista luvista erilaisille langattomille äänentoistojärjestelmille. Hanke pohjautuu vahvasti omaan kokemukseen ja oppiin työskentelystä langattomien äänentoistojärjestelmien kanssa, mutta tämän lisäksi tekijä on hankkinut ajankohtaista tietoa säädöksistä ja teknisistä rajoitteista useista lähteistä ja kyselyillä. Tärkeimmät tiedot ovat hankittu, kokemuksen lisäksi, keskusteluissa alaa johtavien yritysten kanssa (Sennheiser, Shure). Tämän lisäksi Suomen viestintävirasto on antanut useita lausuntoja sekä teknisten tietojen, että lainopillisten ohjeistuksien saralta.

Teos luo myös kuvaa alan jatkuvasta kehityksestä ja heijastaa tilanteita eri vuosikymmeniltä. On tärkeätä ymmärtää järjestelmien käytösäädöksiä määräävien instanssien tietojenjakokanavat, sekä niiden toiminnan periaatteet. Teoksen tiedon koonnin yhteydessä tekijälle painottui keskitettyjen tiedonlähteiden löytämisen vaikeus, sekä teknisellä puolella suomenkielisen materiaalin hyvin heikko tarjonta. Tämän vuoksi opinnäytetyö tarjoaa myös laskelmia suomessa käytettävien järjestelmien toimivuudesta lain määrittämien rajoitteiden mukaisesti. Näitä laskelmia ammattilaiset toteuttavat tapahtuma-kohtaisesti, mutta yleisiä Suomen laajuisesti sovellettavia esimerkkilaskelmia ei kyetty löytämään. Lopuksi tarjotaan koosteen perustava tieto ja esimerkkejä, mitä Suomessa toimivan langattoman äänentoistokokonaisuuden luonti ja ylläpito vaatii.

Asiasanat: musiikkiteknologia, langattomat äänentoistojärjestelmät, radiotaajuudet, antennit, langattomat mikrofonit

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Music Pedagogy
Music Technology

Jan-Mikael Träskelin:
Theory and usage of wireless sound systems in Finland

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 1 page
May 2015

There are many important technical fields in sound engineering but lately wireless sound systems have become the standard for a variety of situations and events. The use of these systems is heavily regulated, but often users are either inadequately trained or unaware of these regulations.

The aim of this bachelor's thesis is to create a comprehensive summary of both the technical needs and basic regulations that have to be taken into account when building and using wireless sound systems. This thesis is based strongly on the author's training and practical experience of using wireless sound systems. In addition the author has acquired knowledge of the legal regulations and technical limitations through discussions with leading manufacturers in the field (Sennheiser, Shure). The Finnish Communications Regulatory Authority has replied to enquiries with statements on both technical regulations and legal issues.

This thesis generates understanding of the on-going development of the field whilst also reflecting on its past developments over the last few decades. It is important to understand which information channels the regulating bodies use and how they function. During the process of writing of this thesis the author realized the difficulty of finding comprehensive sources of information within specific field as well as the lack of literature on the subject in Finnish. To address these issues the thesis also presents original calculations of specific wireless systems and their frequency usage in accordance with the law of Finland. Whilst such calculations are usually created for specific events, generic calculations – as guiding principles for the wider use in Finland - were not been previously available. In summary author offers basic knowledge and examples to address the question of what needs to be taken into account while creating and maintaining wireless sound systems in Finland.

Key words: music technology, wireless audio systems, radio frequencies, antennas, wireless microphones

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	Langattomien äänentoistojärjestelmien historia.....	8
2.1	Langattomien mikrofonien historia.....	8
2.2	Langattomien kuuntelujärjestelmien historia.....	9
3	Langattomien äänentoistojärjestelmien perusteet.....	11
3.1	Langattomat mikrofonit	11
3.1.1	Lavalier	11
3.1.2	Headset.....	12
3.1.3	Handheld	12
3.2	Langattomien mikrofonijärjestelmien lähettimet.....	12
3.2.1	Beltpack-lähettimet	13
3.2.2	Plug on -lähettimet	13
3.3	Langattomien mikrofonijärjestelmien vastaanottimet	13
3.4	Langattomien mikrofonijärjestelmien antennit.....	14
3.4.1	Antennien merkitys ja käyttötarkoitus	14
3.4.2	Passiivi- ja aktiiviantennien ero	15
3.4.3	Antennien käyttösoveltuvuus ja yhteensopivuus	16
3.5	Langattomat monitorijärjestelmät.....	17
3.6	Langattomien monitorijärjestelmien lähettimet.....	17
3.7	Langattomien monitorijärjestelmien vastaanottimet.....	18
3.8	Langattomien monitorijärjestelmien antennit.....	18
4	Langattoman signaalin synty ja toiminta.....	19
4.1	Äänisignaalin modulaatio	19
4.2	Signaalihäiriöt	21
4.2.1	Intermodulaatio	21
4.2.2	Monitiehäiriöt (multipath inteference).....	24
5	Langattoman äänentoistojärjestelmän suunnittelu	26
5.1	Antennisuunnittelu ja sijoittelu äänentoistojärjestelmissä.....	26
5.1.1	Passiivinen antenniryhmä.....	26
5.1.2	Vaiheenkäntöpiirin omaava antenniryhmä.....	27
5.1.3	Diversiteettinen antenninvaihtajajärjestelmä	27
5.1.4	Diversiteettinen vastaanotinvaihtajajärjestelmä.....	28
5.1.5	Äänisignaaleita yhdistävä vastaanotinjärjestelmä.....	28
5.2	Taajuussuunnittelu Suomessa	29
5.3	Taajuusalueiden käytön teoria	30
5.3.1	Luvasta vapautettujen taajuusalueiden käyttö.....	30

5.3.2	Luvanvaraisten taajuusalueiden käyttö	34
5.4	Taajuusalueiden käyttö	39
5.4.1	Esimerkki taajuussuunnittelun vaiheista	39
5.4.2	Langattomien äänentoistojärjestelmien käyttäjän vastuu.....	40
6	POHDINTA.....	43
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET	46
	Liite 1. Viestintävirasto 15 AF/2013 M Kohta 13.....	46

LYHENTEET JA TERMIT

TS	Tip sleeve, monofonisen eli yksikanavaisen äänisignaalin siirtotapa
TRS	Tip ring sleeve, stereofonisen eli kaksikanavaisen äänisignaalin siirtotapa
FOH (Front of house)	Saliääntä miksaavan ääniteknikon työpiste
IEM	In-ear monitor, kuulokkeilla toimiva monitorijärjestelmä (yleensä langaton)
IF	Intermediate frequency, välitaajuus
RF	Radio frequency, radiotaajuus
AM	Amplitude modulation, amplitudimodulaatio
FM	Frequency modulation, taajuusmodulaatio
IM	Intermodulation, intermodulaatio
UHF	Ultra high frequency, osa mikroaaltotaajuuksia

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käyn läpi langattoman äänentoistotekniikan kehitystä, sen luomia mahdollisuuksia, ja sille asetettuja rajoitteita. Langattomat äänentoistojärjestelmät ovat kehittyneet ja yleistyneet 1950-luvulta lähtien ja niistä onkin tullut nykypäivänä yksi tärkeimmistä osista suurien tapahtumien äänentoistojärjestelmissä. Laitteiston kehityksen myötä myös mahdollisuudet ovat kasvaneet ja käyttäjäkunta laajentunut muutamista muusikoista maailmanlaajuisesti kuluttajille kotikäyttöön.

Suomessa radiotaajuuksien käyttöä, johon useimmat langattomat äänentoistojärjestelmät perustuvat, on säädelty tarkasti. Tämän vuoksi kuluttajalla oleva vastuu järjestelmän lainmukaisuudesta on kasvanut ja myös kotikäyttäjän pitää olla tietoinen laitteistonsa käytettävyydestä. Suurimpana tekijänä tähän vaikuttaa vuonna 2013 tehty lakimuutos, joka muutti luvasta vapautettujen radiotaajuuksien alueita. Tämän myötä osa kuluttajakäyttöön myydyistä järjestelmistä vanheni ja niiden käyttö on nykyään kiellettyä.

Käsittelen myös äänentoistojärjestelmien toiminnan teoriaa, järjestelmäsuunnittelua, sekä häiriöitä ja niiden poistoa. Vertailen järjestelmämahdollisuuksia ja eroja ennen ja jälkeen lakimuutoksen, sekä käyn läpi viestintäviraston ohjeistuksien käytännön merkityksiä. Suurimpana seikkana on antennisuunnittelu ja taajuussuunnittelu. Nämä ovat laajoja aihealueita joihin vaikuttavia tekijöitä on useita ja teoriassa toimivat ratkaisut voivat usein pettää käyttötilanteessa.

Olen vertaillut järjestelmien käyttöstandardeja ja useimmat lähteeni sekä tiedusteluni ovatkin markkinoilla valta-asemilla olevilta yrityksiltä (muun muassa Shurelta, Sennheiserilta ja Electro-Voicelta). Tämän lisäksi olen saanut viestintävirastolta, ja heidän lakiosastolta paljon informaatiota säädöksen syntyperästä, tarkoituksenmukaisuudesta ja myös lainopillisia tietoja säädösten rikkomisten seuraamuksista.

Pyrkimykseni on selittää teoriassa ja käytännössä vaatimukset langattomien äänentoistojärjestelmien rakentamiseen ja toiminnan ylläpitoon. Tämän lisäksi toteutan käyttö-laskelmia taajuusalueille Suomen lainsäädännön rajoitteiden puitteissa.

2 Langattomien äänentoistojärjestelmien historia

2.1 Langattomien mikrofonien historia

Langattomat mikrofonit ovat alkaneet yleistyä maailmalla 1950-luvun ja 1960-luvun vaihteessa. Ei ole varmaa tietoa kuka on langattoman mikrofonin alunperin kehittänyt, sillä useampi taho on väittänyt omaavansa tämän kunnian. Ensimmäiset tekniset järjestelmät eivät myöskään olleet patentoituja. Viihdekäytössä ensimmäinen varmasti käytetty järjestelmä oli kehitetty 1947 Reg Mooresin (1922 – 2011) toimesta, mutta tämä järjestelmä käytti laittomasti 76MHz:in taajuutta signaalin lähetykseen. Tämän vuoksi tekniikkaa käytettiin tiedettävästi vain Aladdin On Ice -esityksessä joulukautena 1949. Tätä järjestelmää ei patentoitu, mutta Moores lahjoitti sen myöhemmin vuonna 1972 museo-
viranomaisille. (The Telegraph 2011.)

Ensimmäisen viihdekäyttöön tarkoitetun kuluttajatuotantoon päätyneen langattoman mikrofonin tekijäksi julistautuvat Shuren veljekset vuonna 1953 julkaistulla Vagabond-järjestelmällään. Tämä järjestelmä kykeni lähettämään signaalia noin 60 neliömetrin alueelle, ja kalliista hinnastaan huolimatta löysi käyttäjiä varsinkin Las Vegasin esiintymislavoista. (Clark2008a,2008b.) Ei kulunut pitkään, ennen kuin muut yritykset näkivät myös potentiaalisen markkinaraon ja aloittivat oman tuotekehittelyn. Sennheiserin vuonna 1958 tuoma (Telefunken merkkisen nimen alla tuotettu) mikroport-järjestelmä oli urauurtava mikrofonin laadun ja lähetinyksikön käytännöllisyyden vuoksi. (Sennheiser 2014.)

Tämän jälkeen kilpailu muuttui hyvinkin laajaksi, patenteja alkoi tulla 1950-luvun loppupuolella ja langattomia mikrofoneja otettiin käyttöön televisioissa, livekonserteissa, teattereissa ja lukuisissa muissa viihdetilaisuuksissa. Itse perusajatus ei ole kuudenkymmenen vuoden aikana muuttunut, mutta lähetystehot ovat parantuneet, lähettimien akkujärjestelmät kehittyneet ja mikrofonien laatu parantunut. Myös taajuusvaihtoehdot ovat monipuolistuneet ja ne on myös kartoitettu toimimaan eri maiden omien lainsäädäntöjen mukaisesti. Kehitystyössä Saksa ja Yhdysvallat ovat olleet langattomien mikrofonien kärkivalmistajia näiden laitteiden historian alusta aina tähän päivään asti.

2.2 Langattomien kuuntelujärjestelmien historia

Langattomat korvamonitorit eli IEM-järjestelmät ovat toinen yleisimmin käytetty langaton äänentoistojärjestelmä langattomien mikrofonien rinnalla. Langattomat korvamonitorit ovat syntyneet enimmäkseen langattomien mikrofonien kehitystyön pohjalta. Kun signaalin siirtoa ja laatua on kehitetty, on samalla huomattu, että langattomia lähetimiä ja vastaanottimia pystytään käyttämään myös linjatasoisista audiolähteistä tulevan materiaalin siirtämiseen.

Radio ja tätä kautta äänisignaalin langaton siirto on kehittynyt jo 1800-luvun lopulta lähtien. Ideatasolla radiojärjestelmä syntyi dokumentoidusti jo vuonna 1873 James Clerk Maxwellin ansiosta. Ensimmäisen onnistuneen radiosignaalitestin todisti Heinrich Rudolf Hertz vuonna 1888, vaikka on mahdollista, että tätä ennen David Edward Hughes onnistui tehtävässä jo vuonna 1879, vaikka kokeen dokumentointi ja lopputulokset jäivät kiistanalaisiksi. Kuitenkin lyhytsignaali siirtoon vaadittavan laitteiston kehittyminen ja edullisuus toivat järjestelmät kuluttajakäyttöön vasta langattomien mikrofonien kehittymisen jälkeen. (Fahie 1899; White 1999; Bellis.)

Langattomien korvamonitorien keksijänä pidetään Stephen D. Ambrosea. Hän alkoi kehittämään ideaa jo vuonna 1965 ollessaan 13-vuotias, mutta silloin suurimmaksi ongelmaksi tuli vastaan nappikuulokkeiden, sekä korvamonitorien laatu. Tässä vaiheessa hän vielä rakensi järjestelmää vain langallisena teknologiana. 1976 Stephen yhdisti yksitoista vuotta kestäneen kehityksen tuloksen korvamonitorijärjestelmistä itse modifioimaan langattomaan kitaralähettimeen, joka pohjautui John Nady'n kehittämään langattomaan kitarasignaalin lähetin-vastaanotin järjestelmään. (Asius Technologies.)

On kiistanalaista ketä voidaan kutsua langattoman instrumenttilangattoman kehittäjäksi. Ken Schafferin julkaisemaa instrumenttilangatonta Schaffer-Vega Diversity System-lähetin- ja -vastaanotinjärjestelmää pidetään yleisesti ensimmäisenä kaupallisena instrumenttilangattomana, kun taas John Nady omistaa vieläkin patentin jota käytetään alalla standardina pohjakohinan rajoittamiseen langattomassa signaalin lähetyksessä. (Guitarplayer magazine 1979; Nady Systems 2011.)

Lopputuloksena 1978 Stephen esitteli Sound Sight Micro-Monitors -nimisen (SSMM) langattoman korvamonitorijärjestelmänsä NAMM-messuilla sadoille muusikoille ja

teknikoille. Tämän jälkeen SSMM-järjestelmä yleistyi nopeasti varsinkin Hollywoodissa ja muusikoiden keskuudessa. Stephen jatkoi korvamonitorien kehittämistä, jotta korvat eivät väsyisi kuulemastaan äänestä ja laatu saataisiin lähemmäs studiokuuntelua. (Asius technologies.)

Suurena kehitysaskeleena nykypäivän IEM-järjestelmän luomisessa pidetään myös Jerry Harveyn Van Halenille kehittämää korvamonitorijärjestelmää, joka toimi samalla myös korvatulppina ulkoiselle melulle ja joissa äänenlaatu oli hiottu huippuunsa. Tämä järjestelmä oli 1995 Van Halenin käytössä, jonka jälkeen Jerry perusti yrityksensä Ultimate Ear-yrityksensä, joka mielletään yhtenä ensimmäisistä nykyaikaisten korvamonitorien valmistajana. (Shambro 2007.)

3 Langattomien äänentoistojärjestelmien perusteet

3.1 Langattomat mikrofonit

Langaton mikrofonijärjestelmä on kiistatta yleisimmin käytetty langaton äänentoistojärjestelmä. Langaton mikrofonijärjestelmä pitää aina sisällään mikrofonin, lähettimen, vastaanottimen ja antennin. Tietyissä tapauksissa lähetin voi olla esimerkiksi rakennettu kiinni mikrofoniin, mutta yleisimmin nämä kaikki neljä elementtiä ovat irrallaan toisistaan.

Useimmat mikrofonit kiinnitetään johdolla lähettimeen. On olemassa myös useita erilaisia kädessä pidettäviä handheld-mikrofoneja, joissa useimmiten lähetinyksikkö on rakennettu kiinni mikrofoniin. Tämän lisäksi on olemassa lähettimiä, jotka kykenevät toimimaan mikserin etuasteen kaltaisesti melkein minkä tahansa mikrofonin kanssa huolimatta niiden virran eli phantom power - +48V tarpeesta. Yleisimmät langattomat mikrofonityypit ovat:

*Lavalier

*Headset

*Handheld

3.1.1 Lavalier

Lavalier-mikrofonit ovat pieniä dynaamisia tai elektriteetti mikrofoneja. Näillä saadaan pienestä koostaan huolimatta hyvin tasainen ja laadukas äänisignaali. Lavalierejä käytetään varsinkin puheen ja laulun toistamiseen. Pienestä koostaan johtuen ne voidaan helposti kiinnittää vaatteisiin tai teipata kasvoihin ilman suurempaa visuaalista haittaa. Mikrofonin tyypistä riippuen, sitä voidaan käyttää hyvinkin tarkasti suunnattuna äänisignaalin poimimiseen tai myös laajasti yleisäänen vahvistukseen. Yleisimmät lavalier-mikrofonit ovat suuntakuvioltaan palloja, eli ottavat ääntä tasaisesti joka puolelta, mutta lavalier-mikrofoneja on olemassa myös muilla suuntakuvioilla.

3.1.2 Headset

Headset-mikrofonit ovat useimmiten lavalier-mikrofoneja, jotka ovat rakennettu kiinni korvien taakse puettavaan pantajärjestelmään. Näin mikrofoni saadaan helpommin suunnattua juuri halutulla tavalla ilman suurempaa huolta resonanssi- tai muista häiriöäänistä, sillä mikrofoni ei ole suoraan kontaktissa ihon tai vaatteiden kanssa. Headset-mikrofoneissa käytetään useammin kardioidi tai superkardioidi suuntakuviota, koska suuntaaminen on helpompaa kun mikrofoni ei ole kiinni ihossa tai vaatteissa. Samaten pystytään vähentämään muiden ei haluttujen äänilähteiden kuulumista mikrofonista

3.1.3 Handheld

Handheld-mikrofonit pitävät sisällään laajimman määrän variaatioita. Nimi kuvaa kädessä pidettävää mikrofonia (eli perinteistä laulumikrofonia). Suurin hyöty handheld-mikrofonista on laulajalle, sillä laulaja kykenee itse säätämään mikrofonin sijaintia samalla tavalla kuin perinteisellä langallisella laulumikrofonilla. Kuitenkaan ei tarvitse huolehtia lavasijainnista tai johtojen riittävydestä kesken esityksen. Mikrofonit mukailivat usein yleisimpiä dynaamisia laulumikrofoneja ja ovat suuntakuvioltaan yleisimmin kardioidia, superkardioidia tai hyperkardioidia.

Handheld-mikrofoneihin on yleensä rakennettu sisään lähetin ja tämän takia näiden lähettimien säätömahdollisuudet ovat usein beltpack-lähttimiä suppeampia, vaikka mikrofonin laatu voikin olla vastaava tai parempilaatuinen. Suurimpana erona on, että handheld-mikrofonin (ja sisään rakennetun lähettimen) pitää olla vastaanottimen kanssa yhteensopiva, kun taas lavalier- ja headset-mikrofonit voidaan liittää melkein mihin tahansa beltpack-lähettimeen ja täten ne soveltuvat moniin eri langattomiin äänentoistojärjestelmiin.

3.2 Langattomien mikrofonijärjestelmien lähttimet

Lähetin toimii pattereilla tai akkujärjestelmällä ja siihen kiinnitetään mikrofoni. Yksiköstä säädetään yleensä ainakin lähetyksen taajuus, mahdollisia häiriöpoisto eli squelch-ominaisuuksia, lähetyksen voimakkuus ja mikrofonin voimakkuustaso (RF power ja

sensitivity). Monissa malleissa löytyy myös muun muassa ekvalisaattori ja muita äänenprosessointiominaisuuksia. Lähettimissä on myös antenni, mutta käytännöllisyyden vuoksi lähettimien antenni on usein pieni kiinnirakennettu antenni ja suurempi merkitys signaalin laadulle on vastaanottimen antennin laadulla ja sijainnilla.

3.2.1 Beltpack-lähetimet

Beltpack-lähetimet tarjoavat liikkuvalla esiintyjälle soveltuvimman lähetinmallin. Lähetin on pieni, helposti vyötärölle tai vaatteiden alle kiinnitettävä laite, jossa on antenni kiinni. Lähetin toimii akuilla tai pattereilla. Useimmat beltpack-lähetimet kyetään lukitsemaan siten että esiintyjä ei pysty esiintymisen aikana vahingossa muuttamaan laitteessa olevia säätöjä.

3.2.2 Plug on -lähetimet

Vaihtoehtona beltpack-lähettimelle on myös plug on -lähetin, eli lähetinyksikkö, joka kiinnitetään perinteiseen mikrofoniin. Tämän avulla kyetään muuttamaan melkein mikä tahansa mikrofoni langattomaksi. Lähetinyksikkö itsessään pitää sisällään usein lähes samantyyppiset säädöt kuin beltpack-lähetin ja useat mallit kykenevät syöttämään myös tarvittaessa phantom virtaa (+48v).

Plug on -lähettimiä käytetään useimmiten yhtyeiden langattomassa äänentoistossa. Esimerkiksi teattereissa soittajat voivat soittaa pienemmällä liikuteltavalla lavalla jota pysytään kesken esityksen siirtämään paikasta toiseen. Tällöin soittimet usein mikitetään perinteisillä mikrofoni-ratkaisuilla, mutta äänisignaali siirretään langattomasti plug on -lähettimien avulla mikserille.

3.3 Langattomien mikrofoni-järjestelmien vastaanottimet

Vastaanotinyksikkö on yleensä rack hardware eli rakkilaatikkoon kiinnitettävä laite, joka sijaitsee FOH:lla, monitorimiksaajalla tai mikkiteknikon työpisteellä. Sijoittelussa yleensä pyritään mahdollistamaan järjestelmän säätömahdollisuus ongelmatilanteissa.

Jos on useampi äänitekniikko, niin vastaanottimet sijoitetaan mielellään lavan läheisyydessä työskentelevän äänitekniikon työpisteelle. Tähän vaikuttaa myös antennisijoittelumahdollisuudet, joita käsitelen tarkemmin kappaleessa 5.1 Antennisuunnittelu ja sijoittelu.

Lähettimet kalibroidaan vastaanottimien kanssa yhteensopiviksi ja näin saadaan määrättyä mikä vastaanotin vastaanottaa minkäkin lähettimen signaalia. Vaikka toimintataajuudet ovat standardeja, törmätään usein yhteensopivuusongelmiin, minkä vuoksi lähtökohtaisesti käytetään saman sarjan lähettämiä ja vastaanottimia.

Vastaanottimesta pystytään yleensä seuraamaan tulevan signaalin vahvuutta, säätämään myös signaalin ulostulotasoa (AF gain) ja muita vastaavanlaisia ominaisuuksia, joita säädetään myös lähetimestä. Vastaanottimesta äänisignaali siirretään yleensä mikseriin, josta se ohjataan vahvistimen kautta kaiuttimeen, ja täten yleisön kuuluviin.

Tämän lisäksi on olemassa myös belt-pack-lähettimen tyyliä vastaanottimia, mutta näitä ei yleensä käytetä langattomissa mikrofonijärjestelmissä (vaikka tarvittaessa se on useimmiten mahdollista).

3.4 Langattomien mikrofonijärjestelmien antennit

3.4.1 Antennien merkitys ja käyttötarkoitus

Antennit ovat tärkein tekijä signaalin liikkumisen kannalta. Mikrofonijärjestelmissä yleensä vahvemmat antennit sijoitetaan vastaanottiin kiinni, johtuen lähettimien sijoittelun aiheuttamista rajoitteista. Antenneja on yleensä kaksi kappaletta vastaanotinjärjestelmää kohti. Tämä johtuu niin kutsutusta true diversity-ominaisuudesta, joka on nykypäivän laitteistossa hyvin vakiintunut. Idea on että vastaanotin saa koko ajan tasaisesti kahta erillistä samaa signaalia lähetimestä ja käyttää vahvempana tulevaa signaalia välttääkseen häiriöt.

Antennien määrä on laitteistokohtaista, mutta useimmiten kaksi antennia voivat toimia 6–12 vastaanottimen antennina samanaikaisesti. Tässä välissä on vielä antennijakaja eli

antennasplitter joka on aktiivinen laite, johon kiinnitetään vastaanottimet sekä antennit ja joka jakaa antenneista tulevan signaalin vastaanottimille. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että yhteen antennijakajaan menee yleensä kaksi johtoa jokaisesta jakajaa käyttävästä vastaanottimesta (riippuen siitä kuinka monta antennia vastaanotin pystyy hyödyntämään) ja antennivahvistimeen kytketään itse antennit.

Alunperin antennit ovat olleet kiinnirakennettuja vastaanottimiin, mutta irtonaisilla antenneilla mahdollistettiin laitteiston vapaampi sijoittelu. Näin vastaanottimien ei tarvitse olla välittömässä läheisyydessä lähettimien kanssa, kun taas antennit suositellaan sijoitettavan näköyhteydelle lähettimistä. Tämä järjestely vahvistaa signaalia ja vähentää heikosta signaalista johtuvia pohjakohinoita ja muita vastaavia häiriöääniä.

3.4.2 Passiivi- ja aktiiviantennien ero

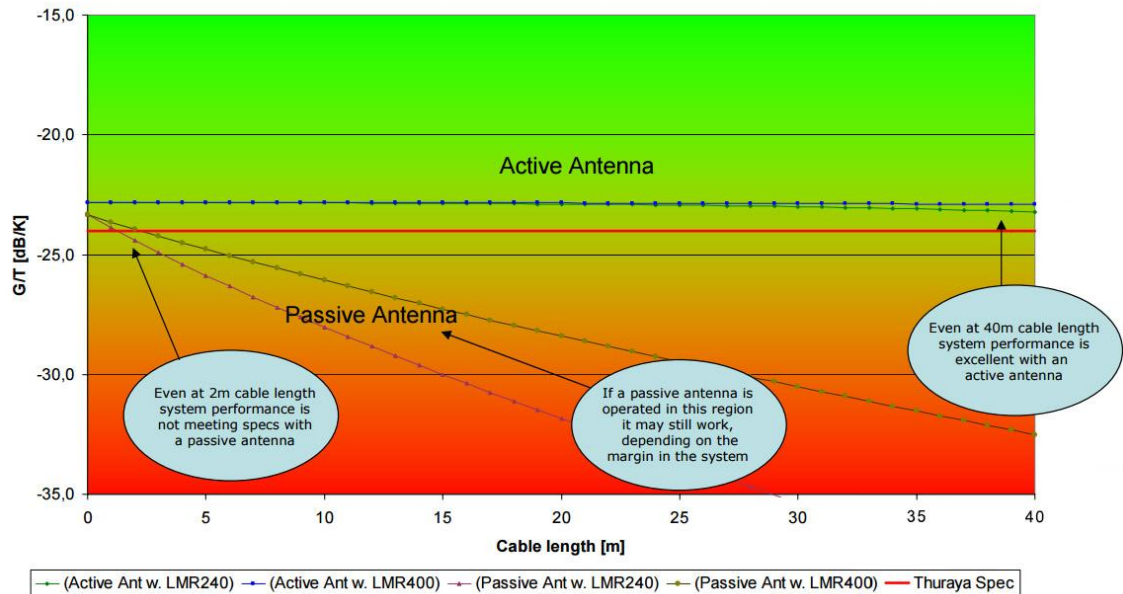
Antennien yhteensopivuus on hyvin tärkeää toimivan signaalitien mahdollistamiselle. Antenneja on useanlaisia, mutta tärkein ero on aktiivi- ja passiiviantenneilla.

Passiiviset antennit ovat vain antennijohtimia ilman erillisiä vahvistimia. Niiden rakenne on huomattavasti yksinkertaisempi ja tämän vuoksi ne ovat myös edullisempia. Ilman vahvistusta kuitenkin niiden vastaanottamaa signaalia voidaan siirtää vain lyhyitä matkoja, yleensä muutamia metrejä, ilman huomattavaa signaalihävikkiä. Tämän vuoksi antennien sijoittelu on hyvin rajoitettua ja riippuvaista vastaanottimien sijainnista.

Aktiiviantennit pitävät sisällään kaksi vahvistinta, downlink-vahvistimen ja uplink-vahvistimen. Downlink-vahvistin toimii niin sanottuna etuvahvistuksena johon signaali siirtyy suoraan antennin vastaanottimesta. Tarkoituksena tällä on mahdollistaa parhaan laadun saaminen antennin vastaanottimesta. Uplink-vahvistin taas toimii niin sanottuna RF power-vahvistimena, jonka tarkoitus on muuttaa matalatehoinen radiotaajuus-signaali vahvemmaksi ja laajemmaksi signaaliksi, joka mahdollistaa signaalin pidemmän siirtämisen ilman huomattavaa signaalihävikkiä. (United States Patent.)

Vertailussa yleisessä radiotoiminnassa käytetty LMR400 aktiiviantennin lähettämä signaali on pysynyt samana 40m siirron jälkeen kun LMR400 passiiviantennin lähettämä signaali putoaa -23 G/T [dB/K] lähtötasosta alle -25 G/T [dB/K] (heikkotasoista signaa-

lia) noin 7 metrin siirron jälkeen ja alle -30 G/T [dB/K] (viimeinen yleisesti toiminnallinen taso) noin 28 metrin kohdalla. (Scan Antenna.) Mittaustulokset näet kuvasta 1.



KUVA 1. Aktiivi- ja passiiviantennien ero. (Scan Antenna.)

3.4.3 Antennien käyttösoveltuvuus ja yhteensopivuus

Passiivisen ja aktiivisen antennin lisäksi tärkeitä ominaisuuksia ovat antennien suunta-kuviot ja signaalialueet. Useimmat irralliset antennit ovat niin sanottuja kolmioantenneja joiden suuntaavuus on noin $75 - 120$ astetta. Tämän lisäksi on myös 360 :n asteen antenneja ja monia muita yksilöitä. Oikean antennin valinta riippuu sijainnista ja laitteistosta. Näitä järjestelmiä käsitelen tarkemmin kappaleessa 5.1 Antennisuunnittelu ja sijoittelu.

Tärkeää on myös tarkistaa antennin yhteensopivuus taajuusalueellisesti. Osa antenneista on taajuusalueellukittuja, mikä tarkoittaa sitä, että ne pystyvät lukemaan ja vastaanottamaan vain tietyn taajuusalueen signaaleja. Nämä taajuudet ovat silloin ainoita joita voidaan käyttää langattomassa järjestelmissä, joissa nämä antennit ovat kiinni.

Usein antennit myydään osana järjestelmää ja niiden yhteensopivuus on tällöin jo laitteiston tuottajan puolesta mietitty ja varmistettu. Kuitenkin jos tekijä käyttää eri lähteistä koottua järjestelmää, on tärkeitä varmistaa laitteiston yhteensopivuus. Myös kytkentäkaapeleiden laadulla on suuri merkitys langattomissa äänentoistojärjestelmissä, joissa

häiriöherkkyys on yleensä moninkertainen verrattuna vastaavaan johdolliseen järjestelmään.

3.5 Langattomat monitorijärjestelmät

Langattomat monitorijärjestelmät pohjautuvat hyvin pitkälle langattomien mikrofonijärjestelmien kehityksen tulokseen. Langaton monitorijärjestelmä pitää sisällään lähettimen, vastaanottimen, antennin ja äänilähteen. Yleisimmin langaton monitorijärjestelmä on korvamonitorijärjestelmä eli niin sanottu in-ear monitor (IEM).

IEM-järjestelmän tarkoitus on mahdollistaa esiintyjälle vakiintunut kuulokuva huolimatta esiintyjän sijainnista lavalla. Esiintyjällä on mukanaan vastaanotin, joka on yleensä muodoltaan vastaavanlainen laite mikrofonien beltpack-lähettimien kanssa. Kuitenkin lähettämisen sijasta tämä laite vastaanottaa äänisignaalia. Laitteessa on pieni antenni yleensä kiinnirakennettuna ja äänilähteenä useimmiten käytetään normaaleja nappikuulokkeita jotka liitetään 3.5millimetrin monofonisella TS tai stereofonisella TRS kytkennällä.

3.6 Langattomien monitorijärjestelmien lähetimet

Langattomassa monitoroinnissa lähetinyksikkö sijoitetaan yleensä FOH:in tai Monitorimiksaajan välittömään läheisyyteen. Lähetin on usein rack hardware-laite, josta säädetään lähtevän signaalin taajuus, mahdollinen kompressointi, mono- tai stereosignaali-määritys ja signaalin lähtötaso. Tämän lisäksi lähetinyksiköissä voi olla myös ääniprosessointiyksiköitä tai muita vastaavia äänenkäsittelyominaisuuksia.

Käytännössä lähetin voi olla vaikka mikrofonilähetin jos vastaanottimen ja lähettimen signaalikäsittely on yhteensopivaa. Silti parhaan laadun ja laajempien ominaisuuksien saavuttamiseksi yleensä käytetään erillisiä langattoman monitorijärjestelmän luomiseen tarkoitettuja lähettimiä.

3.7 Langattomien monitorijärjestelmien vastaanottimet

Monitorijärjestelmän vastaanottimessa on yleensä verrattavia ominaisuuksia mikrofonijärjestelmän vastaanottimeen. Vastaanottimesta pystytään seuraamaan tulevan signaalin vahvuutta, säätämään signaalin ulostulotasoa ja muita vastaavanlaisia ominaisuuksia mitä säädetään myös mikrofonijärjestelmän vastaanottimesta. Vastaanottimet kykenevät yleensä vastaanottamaan joko mono- tai stereosignaalia. Tämä vaatii vastaavan ominaisuuden myös lähettimestä.

Äänilähteenä käytetään useimmin edellä mainittuja korvanappeja, mutta jossain tilanteissa voidaan myös käyttää normaaleja kaiutinjärjestelmiä suoraan tai mikserin välityksellä. Nämä riippuvat aina monitorijärjestelmän tarkoituksesta ja sijainnista.

3.8 Langattomien monitorijärjestelmien antennit

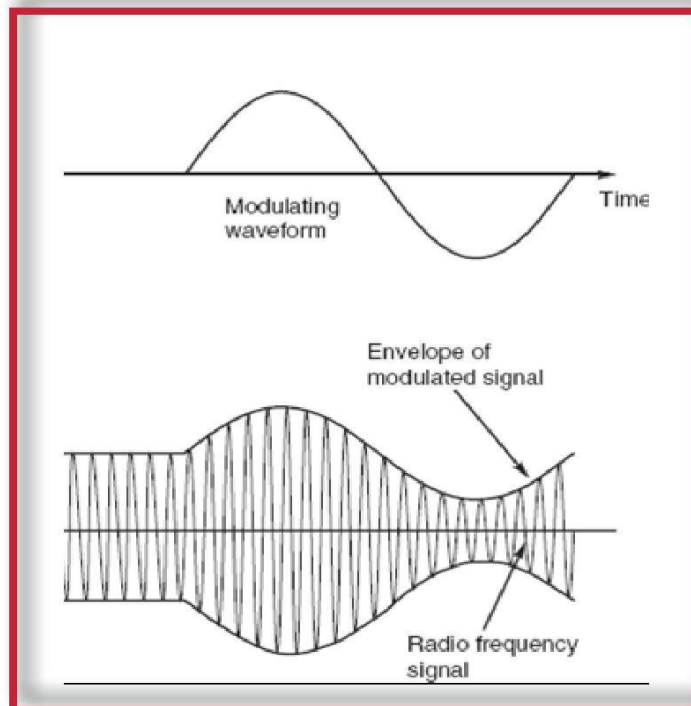
Antennijärjestelmä on täysin verrannollinen langattoman mikrofonijärjestelmän antenneihin, ja on yleensä jopa täysin samaa laitteistoa. Ainoa ero on, että vastaanottimessa on tällöin yleensä heikompi kiinnirakennettu antenni ja vahvempia aktiivi- tai passiiviantenneja käytetään signaalilähettimessä.

4 Langattoman signaalin synty ja toiminta

4.1 Äänisignaalin modulaatio

Langattomassa äänijärjestelmässä kantosignaali (carrier signal) on radiotaajuus, jolla äänisignaali lähetetään. Äänisignaali moduloidaan kantotaajuudeksi (carrier frequency), jotta vastaanotin pystyy purkamaan sen takaisin äänisignaalksi. On olemassa lukuisia RF-modulaatioita (radio frequency modulation), mutta kaksi yleisintä ovat AM eli amplitudimodulaatio ja FM eli taajuusmodulaatio. Kantosignaalin modulaatiossa äänisignaali, joka käännetään radiosignaalksi, kantautuu kantosignaalin mukana, joka luo uuden taajuuden. (Electrovoice 2012.)

Amplitudimodulaatiossa audiosignaali määrittää signaalin amplitudin. Esimerkki modulaatiosta (kuva 2).

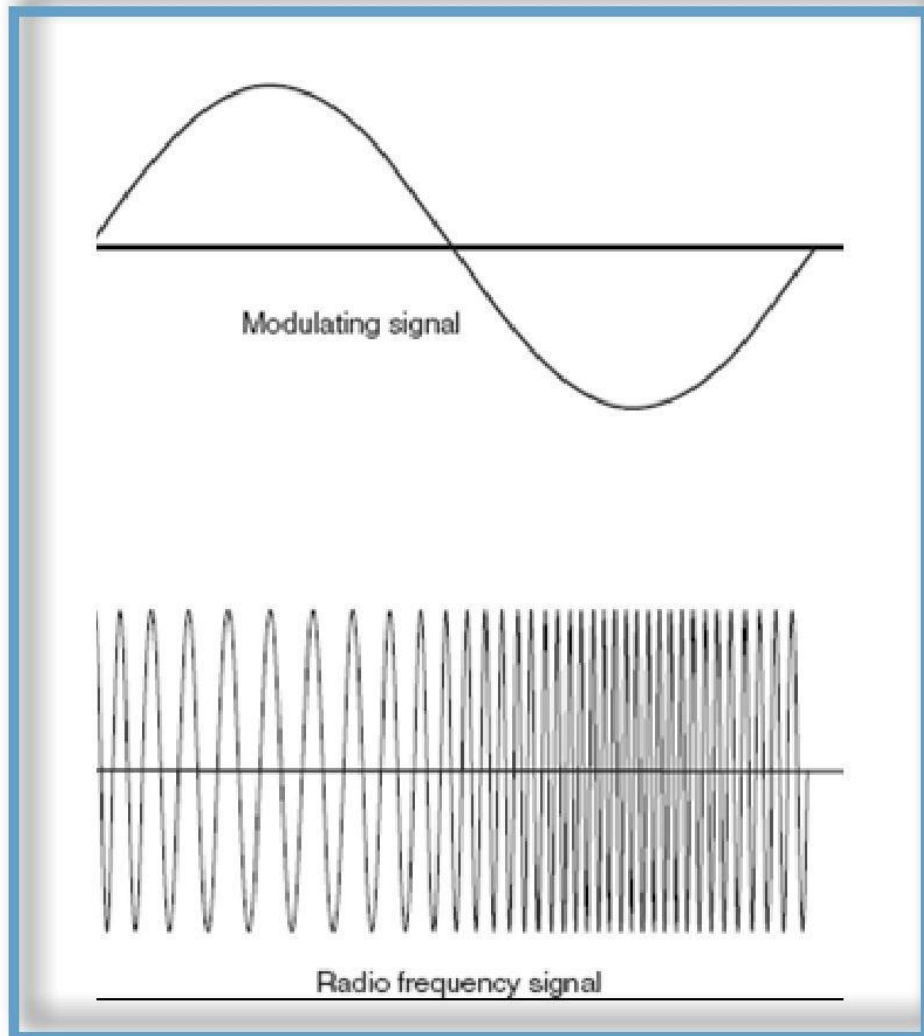


KUVA 2. AM Modulaatio. (Electrovoice 2012.)

Tällä modulaatiotekniikalla pystytään lähettämään signaalia hyvin pitkiä matkoja, mutta samalla audiomateriaali on alttiimpi ylimääräiselle melulle (noise). Samaten AM:lle määritetyt lainmukaiset tekniset rajoitteet aiheuttavat taajuusvasteen ja dynaamisen alu-

een suppeuden. Taajuusvaste on noin 50–9 000Hz ja dynaaminen alue n. 50 dB. (Shure 2005.)

Taajuusmodulaatiossa kantosignaali moduloidaan pienellä muutoksella, joka pohjautuu äänisignaaliin (kuva 3).



Kuva 3. FM Modulaatio. (Electrovoice 2012.)

Tämä modulaatiotapa on kiistatta yleisin modulaatiojärjestelmä langattomissa äänijärjestelmissä. Se mahdollistaa paremman tarkkuuden äänisignaalin purkamisessa ja luo vähemmän melusignaalia. Samaten dynaaminen alue ja taajuusvaste ovat laajemmat. Taajuusvaste on noin 50–15 000Hz ja dynaaminen alue yli 90 dB. (Shure 2005.)

4.2 Signaalihäiriöt

Lähettimen lähettämään signaaliin voi tulla monta erilaista ongelmaa ja häiriötä matkalla lähettimelle. Näistä yleisimpiä ongelmia ovat kiistatta intermodulaatiohäiriöt ja monitiehäiriöt. Onneksi molemmat häiriöt ovat ratkaistavissa. Intermodulaatiohäiriöiden välttämiseksi tärkeimpänä tekijänä on toimiva taajuussuunnittelu. Monitiehäiriötä pystytään välttämään taas hyvällä antennisijoittelulla ja antennijärjestelmän suunnittelulla.

4.2.1 Intermodulaatio

Intermodulaatio on häiriö, joka syntyy yleensä kun vähintään kaksi lähetintä sijaitsevat lähellä samaa vastaanottavaa antennia ja lähettävät signaalejaan samaan vastaanottiin. Lähettimien toiminnasta syntyy ei-toivottuja signaaleja eri taajuuksille ja nämä signaalit voivat aiheuttaa häiriötä toisen lähettimen lähettämän signaalin taajuudelle. Intermodulaatiosignaaleita syntyy myös, kun kaksi tai useampi lähetin ovat hyvin lähellä toisiansa. Tässä tapauksessa lähetin signaalilähetysten lisäksi vastaanottaa viereisen lähettimen lähettämää signaalia. Tällöin lähettimet luovat ja lähettävät yhdistettyä materiaalia, joka voi aiheuttaa häiriötä suunnitelluille taajuuksille. (Sennheiser. SIFM Manual.)

Järjestelmätoimivuuden vuoksi langattomat UHF-lähetin järjestelmät ovat rajoitettuja vaihtotaajuusalueella (switching bandwidth). Tämä vaihtotaajuusalue on luotu taajuuskaistarajaimilla (input filters) vastaanottimessa. Intermodulaatiohäiriöt tällä taajuusalueella voivat häiritä järjestelmän toimintaa tai pahimmassa tapauksessa estää koko järjestelmän toimivuuden. Häiriöt ilmenevät akustisessa äänessä mm. suhinana, vinkumisena tai toistuvina räähdyksen kaltaisina ääminä. (Shure 2008; Sennheiser. SIFM Manual.)

Lähetyksessä ja intermodulaatiolaskelmissa on huomioitava perustaajuuksien harmoniset taajuudet, perustaajuuksien summautuvat taajuudet ja perustaajuudet. Harmoniset taajuudet ovat niin kaukana vastaanottimen taajuusalueelta, että vastaanottimen taajuuskaistarajaimet jättävät automaattisesti huomioimatta niiden sisältämän materiaalin.

Periaate monien samanaikaisesti toimivien UHF-lähettimien toiminnalle ja niistä syntyville intermodulaatiohäiriöille on laskennallisesti selvitettävissä. Tulevassa esimerkissä

lasken kahden taajuuden ($f_1 = 800 \text{ MHz}$ ja $f_2 = 801 \text{ MHz}$) käytöstä syntyvät intermodulaatiotuotokset. Nämä tuotokset aiheuttavat häiriötä muille samoilla taajuusalueilla liikkuville signaaleille (kuvat 4 ja 5)

$$2f_1 = 2 \times 800 \text{ MHz} = 1600 \text{ MHz}$$

$$2f_2 = 2 \times 801 \text{ MHz} = 1602 \text{ MHz}$$

$$3f_1 = 3 \times 800 \text{ MHz} = 2400 \text{ MHz}$$

$$3f_2 = 3 \times 801 \text{ MHz} = 2403 \text{ MHz}$$

$$f_1 + f_2 = 800 \text{ MHz} + 801 \text{ MHz} = 1601 \text{ MHz}$$

$$f_2 - f_1 = 801 \text{ MHz} - 800 \text{ MHz} = 1 \text{ MHz}$$

$$\text{IM } 3 = 2f_1 - f_2 = 1600 - 801 = 799 \text{ MHz}$$

$$\text{IM } 3 = 2f_2 - f_1 = 1602 - 800 = 802 \text{ MHz}$$

$$\text{IM } 5 = 3f_1 - 2f_2 = 2400 - 1602 = 798 \text{ MHz}$$

$$\text{IM } 5 = 3f_2 - 2f_1 = 2403 - 1600 = 803 \text{ MHz}$$

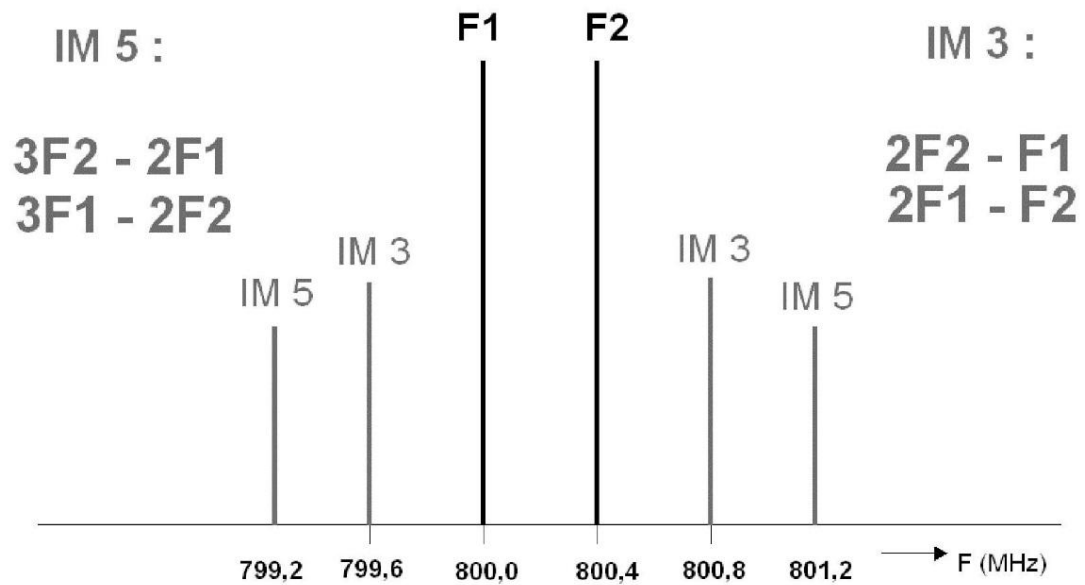
$$\text{IM } 7 = 4f_1 - 3f_2 = 3200 - 2403 = 797 \text{ MHz}$$

$$\text{IM } 7 = 4f_2 - 3f_1 = 3204 - 2400 = 804 \text{ MHz}$$

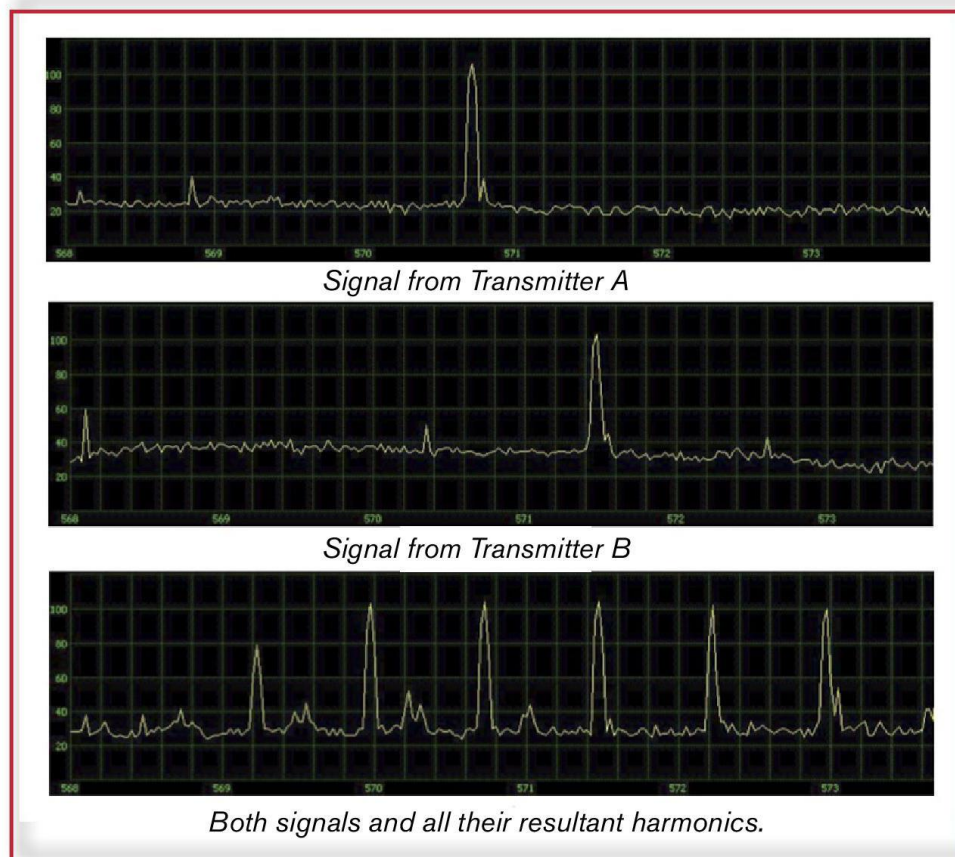
(Sennheiser. SIFM Manual.)

Tämä laskusuoritus toteutetaan yhdellä taajuudella, mutta laajemmissa laskelmissa on otettava huomioon taajuusleveys, joka on yleisesti n. 200kHz FM eli taajuusmodulaatioita käyttävissä järjestelmissä. Tällöin lähetin lähettäessään 800 MHz taajuudella lähettää tarkemmin sanottuna 799.900-800.100 alueella. (Electrovoice 2012.)

Intermodulation

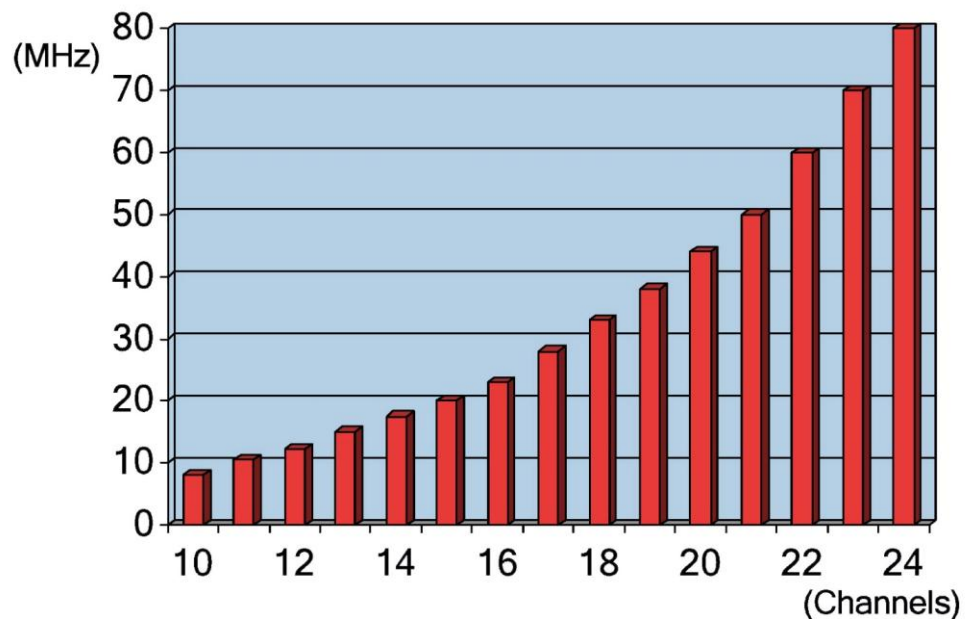


KUVA 4. Intermodulaatio 1. (Sennheiser. SIFM Manual.)



KUVA 5. Intermodulaatio2. (Electrovoice 2012.)

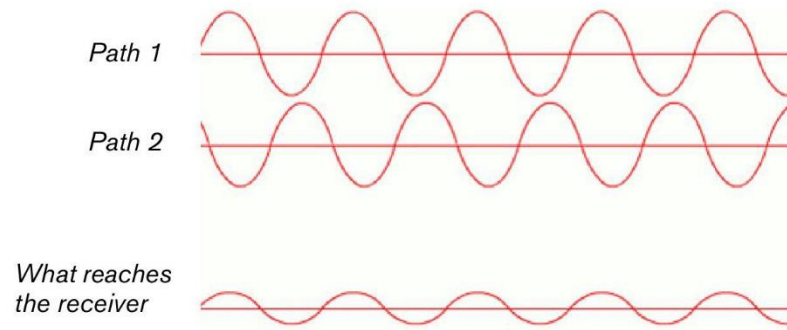
Monikanavaisissa järjestelmissä intermodulaatioiden määrä on ohessa olevan esimerkin mukaisesti moninkertainen. Tämän vuoksi laajojen järjestelmien suunnittelussa käytetään lähtökohtaisesti tietokoneilla toimivia intermodulaatiolaskentaohjelmia. Samaten jokainen lisäkanava kasvattaa tarvittavan taajuusalueen laajuutta huomattavasti (kuva 6).



KUVA 6. Kanavamäärä taajuusalueeseen suhteutettuna. (Sennheiser. SIFM Manual.)

4.2.2 Monitiehäiriöt (multipath interference)

Monitiehäiriöt ja signaalikato johtuvat saman signaalin summautumisesta tilassa syntyvistä heijastuksista. Kun signaali lähtee lähettimestä se voi matkustaa useita eri reittejä, eli heijastua eri pinnoista, vastaanottimen antenniin. Tällöin saman signaalin eri heijastereittien aiheuttama aikaero vaikuttaa signaalien muotoon niiden summautuessa lähettimen antennivastaanotuksessa. Tätä kutsutaan vaiheongelmaksi ja huonoimmalla tuurilla signaalit voivat olla vastavaiheessa, jolloin summautuessaan signaalit kumoavat toisensa (kuva 7).



KUVA 7. Monitiehäiriö. (Electrovoice 2012.)

Tätä ongelmaa pystytään hallitsemaan ja vähentämään niin kutsutulla diversiteettihallintaominaisuudella (Diversity) ja tehokkaalla antenniasemoinnilla. Diversiteettiset vastaanottimet kykenevät poistamaan signaalin aikaerosta johtuvat ongelmat käyttäen hyväksi antennien sijoittelua, usean antennin vastaanottamaa samaa signaalia ja näiden keskinäistä prosessointia. Tästä syystä vastaanottimessa on lähtökohtaisesti aina nykyäänä kaksi antennia. Tällöin toisen antennin kärsiessä huomattavasta monitiehäiriöstä asemointinsa vuoksi, saa toinen antenni yleensä vahvempaa signaalia joka on käytökelpoisempaa.

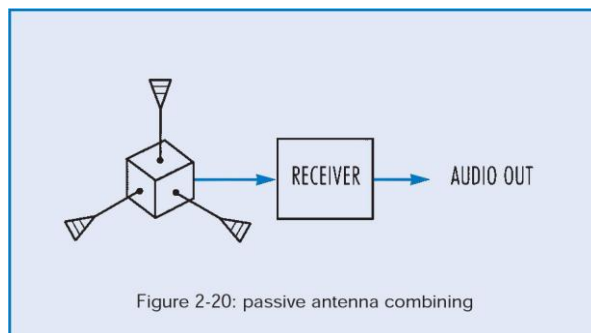
5 Langattoman äänentoistojärjestelmän suunnittelu

5.1 Antennisuunnittelu ja sijoittelu äänentoistojärjestelmissä

Antennijärjestelmiä on käytännössä lukematon määrä. Toimivan järjestelmän suunnittelu vaatii aina tilaan perehtymistä ja tarkkaa suunnittelua käyttöalueesta sekä laitteistosta ja mahdollisista häiriöstä riippuen. Kuitenkin kuluttajajärjestelmissä nykypäivänä käytetään vieläkin usein vastaanottimeen kiinnirakennettuja antennia. Näitä järjestelmiä on useita, vaikka nykypäivänä järjestelmien kehittyessä ovat kalliimmat ratkaisut tulleet edullisemmaksi ja halvimmiksi, mutta heikkokkykyisimmät järjestelmät ovat alkaneet poistua käytöstä.

5.1.1 Passiivinen antenniryhmä

Yksinkertaisin ja halvin diversity-antennijärjestelmä on niin sanottu passiivinen antenniryhmä (Passive antenna combining). Tässä vastaanottimeen kiinnitetään kaksi tai kolme passiivista antennia jotka muodostavat antenniryhmän, joka toimii yhtenä antennina pysyvillä suuntaavilla ominaisuuksilla (kuva 8).



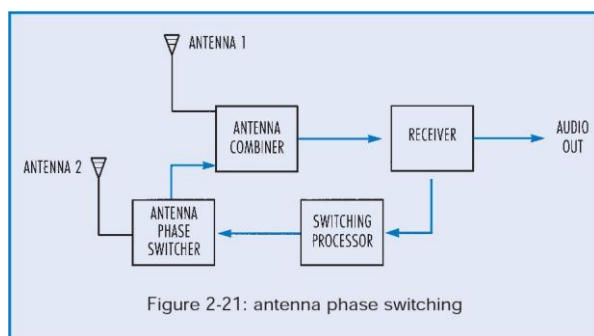
KUVA 8. Passiivinen antenniryhmä. (Shure 2005.)

Tehokkaimpana versiona kolmella antennilla, jotka ovat optimaalisella etäisyydellä ja kulmalla sijoitettuna toisiinsa nähden, tämä järjestelmä kykenee välttämään monitiehäiriöstä johtuvan signaalin täydellisen häviämisen, mutta hyvin heikolla etäisyydellä lähettimestä. Tämä johtuu siitä, että kolmen antennin vastaanottaman signaalin yhteenlaskettu signaaliteho on melkein kokoajan pienempi kuin yhdellä antennilla toimivan vastaanottimen. Tämän vuoksi kyseinen järjestelmä on hyvin harvinainen (vaikkakin edul-

linen) ja tätä ei pidetä niin sanottuna todellisena diversiteetti (true diversity) -järjestelmänä, vaikka vastaanottavia antennia on useita. (Shure 2005.)

5.1.2 Vaiheenkääntöpiirin omaava antenniryhmä

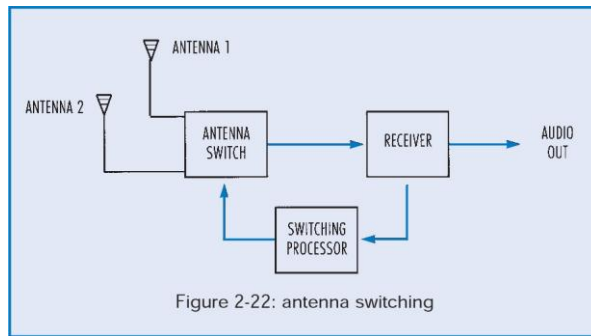
Tästä järjestelmästä on myös olemassa todellinen diversiteetti (true diversity) -versio, jossa on kaksi antennia jotka ovat molemmat kytkettyinä samaan aktiiviseen vaiheenkääntäjäpiiriin. Tämä piiri kääntää antennin vaihetta suhteessa toiseen vastaanottavaan antennaan ja näin poistaa mahdollisuuden täydelliseen signaalihäviöön. Kuitenkin vaiheenkäännöstä johtuva äänisignaalin muutos on kuultavissa ja voi aiheuttaa yllättävää äänenlaadun muutosta. Järjestelmän toimiva etäisyys on hyvällä antennisijoittelulla parempi kuin ilman vaiheenkääntöpiiriä omaavalla järjestelmällä. (Shure 2005.)



KUVA 9. Vaiheenkääntöpiirin omaava antenniryhmä. (Shure 2005.)

5.1.3 Diversiteettinen antenninvaihtajajärjestelmä

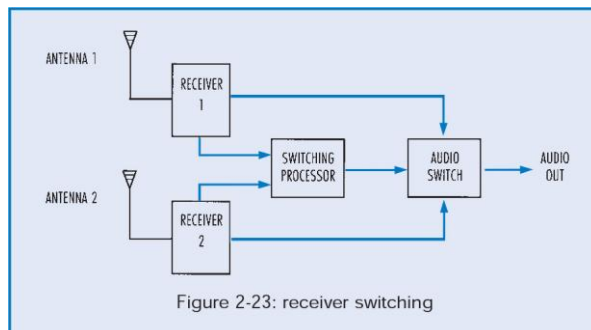
Tässä järjestelmässä vastaanottimessa on piiri, joka valitsee käytettävän antennin signaalin laadun perusteella. Vaihtumisesta voi seurata äänihäiriötä, mutta antennien signaaleja ei summata, joten vastavaiheista johtuvaa signaalihäviötä ei voi tapahtua summauksesta. Monitiehäiriön aiheuttamaa vaihehäiriötä voi kuitenkin tapahtua. Järjestelmän toimiva etäisyys on täysin verrattavissa yhden antennin järjestelmään. Näissä järjestelmissä voi olla myös sisäänrakennettuna ominaisuutena signaalin laaduntarkkailua suorittava piiri, joka tällöin myös kykenee ennustamaan signaaliheittelyn ääripäitä paremmin ja vähentämään turhaa käytettävän antennin vaihtamista. (Shure 2005.)



KUVA 10. Diversiteettinen antenninvaihtajajärjestelmä. (Shure 2005.)

5.1.4 Diversiteettinen vastaanotinvaihtajajärjestelmä

Tässä järjestelmässä on kaksi täydellistä vastaanotinyksikköä, joilla kummallakin on oma antenninsa. Piirilevy valitsee parempilaatuista, sekä tasaisempaa signaalia saavan vastaanottimen äänen ja käyttää sitä. Vastaanotinpuolen vaihtamisesta voi syntyä kuultavaa häiriötä, mutta hyvin suunnitellulla järjestelmällä signaalin häviämisen riski on minimaalinen ja kuultavat häiriöt hyvin pieniä ja huomaamattomia. Kantavuus on verrattavissa yksiantennijärjestelmään. (Shure 2005.)

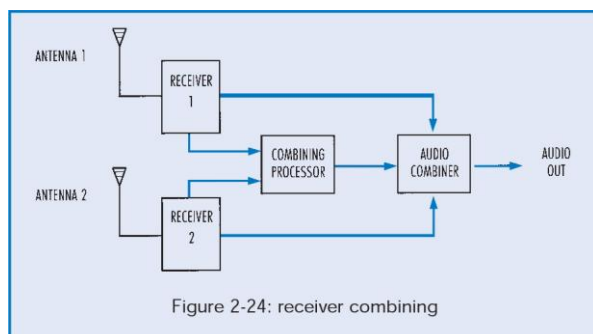


KUVA 11. Diversiteettinen vastaanotinvaihtajajärjestelmä. (Shure 2005.)

5.1.5 Äänisignaaleita yhdistävä vastaanotinjärjestelmä

Järjestelmä käyttää myös kahta täydellistä vastaanotinyksikköä, joilla on omat antenninsa. Tässä järjestelmässä suurin etu on, että melkein koko käytön ajan järjestelmä käyttää molempien vastaanottimien samaa signaalia ja yhdistää sen äänimateriaaliksi sisäisellä mikserillä. Jos toisen vastaanottimen laatu heikkenee, miksaus suhde vaihtuu tai ongelmatapauksessa järjestelmä voi myös hetkellisesti vaihtaa toisen vastaanottimen

kokonaan. Tämä tarjoaa laadukasta audiosignaalia ilman vaihtoääntä ja melkein täydellisen signaalihävikin eston. Häiriöetäisyys (signal-to-noise) paranee aina 3dB:iin asti, verrattuna aiemmin mainittuihin järjestelmiin. Samaten signaalin vastaanottoalue on kaikista mainituista järjestelmistä laajin. (Shure 2005.)



KUVA 12. Äänisignaaleita yhdistävä vastaanotinjärjestelmä. (Shure 2005.)

5.2 Taajuussuunnittelu Suomessa

Suomessa tapahtui suuri taajuusaluemuutos vuoden 2013–2014 vaihteessa. Tämä koski suurinta osaa suomalaisista, sillä muutos tapahtui luvasta vapaille taajuuksille. Katso Liite 1 (Viestintävirasto 15 AF/2013 M Kohta 13)

Taajuusmodulaatiota käyttävässä langatonjärjestelmässä lähettimen lähettämä taajuus on leveydeltään n. 200kHz. Tämä jo pelkästään poistaa mahdollisuuden käyttää muita luvasta vapaita taajuusalueita kuin 823–826 MHz, 826–832 MHz, 863,000–864,800 MHz. Taajuusalueiden 790–822 MHz ja 854–862 MHz mikrofoni käyttö on päättynyt 31.12.2013. Tilalle on luotu myös uusia vapaita taajuuksia, 1785–1800 MHz (UHF) käyttö luvasta vapaata 1.1.2015 alkaen.

Luvanvaraiset taajuudet suomessa radiomikrofonien käyttöä varten ovat nykyään:

174–230 MHz (TV-VHF)

470–694 MHz (TV-UHF)

694–789 MHz (TV-UHF)

Ammattikentälle, jossa yleisesti työskennellään luvanvaraisten järjestelmien kanssa, on tulossa myös muutoksia. 694–789 MHz:in (TV-UHF) taajuusalueen luvanvarainen käyttö lopetetaan 31.12.2016. Tämän jälkeen luvanvaraisista taajuuksista UHF käyttöön

jää jäljelle enää 470–694 MHz alue. Luvanvaraisia taajuusalueita suositaan ammattikentällä, koska häiriömäärät muusta saman alueen radioliikenteestä ovat yleisesti pienempiä.

5.3 Taajuusalueiden käytön teoria

5.3.1 Luvasta vapautettujen taajuusalueiden käyttö

Luvasta vapautetut taajuudet koskevat suurempaa osaa suomalaisista kuin luvanvaraiset taajuudet. Moni ihminen käyttää näitä laitteita, vaikka ei edes tiedä käyttävänsä luvasta vapautettuja taajuusalueita. Näillä taajuuksilla toimivat käytännössä kaikki langattomat mikrofoni- ja kuulokejärjestelmät, jotka ovat kuluttajille vapaasti myynnissä. Näitä ovat esimerkiksi langattomat kuulokkeet kotistereoissa tai langattoman mikrofonin omaava kotikaraokejärjestelmä. Tämän vuoksi vieläkin moni ihminen saattaa käyttää vanhoilla taajuuksilla toimivia laitteita, eikä edes ole tietoinen, että järjestelmän käyttö on kiellettyä.

Keskusteluissani viestintäviraston Markku Laasosen kanssa, (Radioverkkoasiantuntija, Taajuushallinto) esitin seuraavan kysymyksen:

Mikä oli syy taajuusalueuutokselle? (viitaten 1.1.2014 voimaan tulleeseen muutokseen)

Vastaus:

Taajuusalueiden 790-822 MHz ja 854-862 MHz käyttö päättyi 31.12.2013, koska ne otettiin valtioneuvoston päätöksellä matkaviestinkäyttöön. Tv-taajuudet avattiin laajamittaiseen radiomikrofonikäyttöön paitsi korvaamaan matkaviestinkäyttöön menetettyjä taajuuksia niin myös vastauksena kentältä esitettyihin toiveisiin.

Luvasta vapautetuille taajuuksille mahtuu kuitenkin vielä hyvin liikennettä. Kotikäyttäjälle suurin harmi oli se, että hän saattoi joutua hävittämään käyttökelttomaksi muutuneita järjestelmiä. Ammattikentällä muutos aiheutti suurempia ongelmia, sillä yksi langaton kanava ammattitasolla saattaa kustantaa helposti monta tuhatta euroa ja näitä järjestelmiä jouduttiin heittämään pois (tai vaihtoehtoisesti yritettiin myydä maihin jois-

sa alueet ovat vielä käytettävissä). Suurin turhautuminen aiheutui selvästikin siitä, että vaikka laite pääsisi nykyäänkin käytössä oleville taajuuksille on sen käyttö kiellettyä, jos laite kykenee pääsemään kielletyille taajuuksille.

Tätä viestintävirasto perusteli tiedustelussa seuraavasti:

Määräyksellä pyritään estämään luvasta vapaan laitteen tahaton käyttö sellaisella taajuusalueella, jossa se saattaisi aiheuttaa haitallisia häiriöitä muulle radioliikenteelle.

Samaten muutos toi viestintävirastolle uusia asiakkaita, sillä luvasta vapautettujen taajuusalueiden pienentyessä moni pienempi äänentoistoyritys joutui siirtymään käyttämään luvanvaraisia taajuuksia. Edellä mainitusta intermodulaatiohäiriöstä johtuen taajuusalueen pienentyessä laitteiston kanavamäärä pienenee usein huomattavasti, tämä riippuu kaistojen alkuperäisestä leveydestä. On mahdotonta sanoa täysin tarkkaa laskutapaa, sillä tilanne on aina laitteisto ja tilakohtaista, mutta hyviä teoreettisia laskelmia pystyy toteuttamaan mm. SIFM-ohjelmalla (Sennheiser Intermodulation and Frequency Management) ohjelmalla.

Olen tulevissa esimerkeissä toteuttanut taajuuslaskelmat SIFM-laskentaohjelmalla yleisesti neuvottujen minimikanavavälien mukaisesti. Keskusteluissani Jonas Næsbyn (Sennheiser Application Engineer) kanssa selvitin SIFM-laskentaparametreja. Vaikka sain ohjeistuksia minikanavaväleistä, ei ole olemassa täydellistä laskentamallia ilman, että kyetään ottamaan lähettimien ja antennien tarkat sijainnit (jotka yleisesti liikkuvat esityksen aikana), sekä huomioimaan kaikki mahdollinen radioliikenne ja muuttujat esiintymistilassa. Tämän vuoksi laskelmat ovat viitteellisiä, mutta kuitenkin useimpiin tilanteisiin soveltuvia.

Ohjelman käyttämät parametrit laskuja varten ovat aina näkyvissä laskelmassa ja piilotettuja muuttujia ei ole ohjelmassa lainkaan. Varmistin IM-välien laskutavat ohjelmassa sekä kanavavälin teoreettisen vaikutuksen laskusuoritukseen Sennheiserilta.

Kysymys:

...Spacing value should be min. 0.300 (0.375 with evolution series) but what actually spacing parameter changes in the calculation formula...

Vastaus:

It has to do with the precision of the systems PLL, and the IF bandwidth.

Eli samaten kuin muissa tutustumissani ohjelmissa kanavien jaotuksessa (spacing) suurin vaikutus on IF-kaistan leveyslaskelmilla. Lyhyesti sanottuna IF-kaistan, eli niin kutsutun välitaajuuden leveys määrittellään asentamalla erilaisia IF-filttereitä. Näillä on suuri vaikutus taajuuden mittausta ja lukemisenopeuteen sekä laatuun. (David Hall 2013.) Tämän vuoksi eri laitteistossa olevat erilaiset IF-kaistat tarvitsevat teoreettisesti toteutetuissa IM-laskuissa erilaiset lähtöarvot.

Kysymys:

Two and three transmitter IM products in 3rd (and 5th) spacing field(s) distances can be lowered to produce more free channels, however it will increase possibility to get IM interference. What actually these values control and how the min value to basic usage can be calculated?

Vastaus:

These determine how close to any carrier the intermodulation products are accepted. How close you can go depends on technical behaviour of the systems in use, and how close transmitters will be during operation, and the operating range needed.

Eli oletukseni mukaisesti SIFM 2Tx IM(3) ja 3Tx IM(3) arvot toimivat ennakoiden määritteinä, mikä on pienin hyväksytty väli intermodulaatio tuotokseen (joka aiheuttaa häiriötä signaaliin). Samat ominaisuudet ovat muissakin mainitsemisissäni ohjelmissa, mutta useimmissa ne ovat lukittuina, kun taas SIFM antaa mahdollisuuden etsiä kompromisseja vaihtamalla parametreja.

Ennen 1.1.2014 olevilla luvasta vapailta taajuuksilla kykeni teoreettisesti käyttämään kahtakymmentäkolmea kanavaa ilman häiriötä (taulukko 1). Taajuuskartta on viitteellinen, mutta kanavamääräisesti laajimman intermodulaatio häiriöstä vapaan laskelmatuloksen esimerkki.

SIFM 1.3.4.

RTF Document, created 04-01-2015 22:14:54

System #1: EW G3

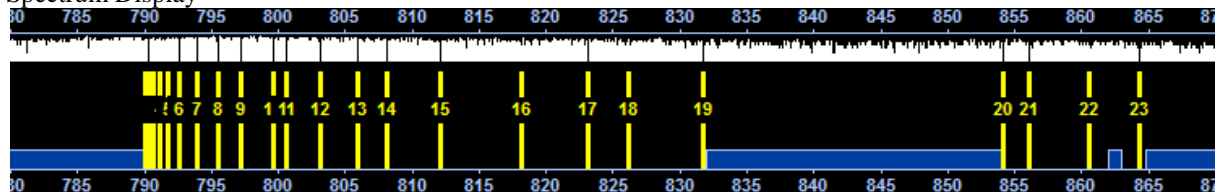
Parameters

Parameters Checked	Status	Bandwidth
Spectrum	On	0.000
Spacing	On	0.300
2Tx IM(3)	On	0.100
2Tx IM(5)	Off	0.100
3Tx IM(3)	On	0.100

Channel Configuration (23)

	Frequency	Label	Color
1	790.000 MHz	1	
2	790.300 MHz	2	
3	790.700 MHz	3	
4	791.200 MHz	4	
5	791.800 MHz	5	
6	792.600 MHz	6	
7	793.900 MHz	7	
8	795.500 MHz	8	
9	797.200 MHz	9	
10	799.600 MHz	10	
11	800.600 MHz	11	
12	803.100 MHz	12	
13	805.900 MHz	13	
14	808.100 MHz	14	
15	812.100 MHz	15	
16	818.200 MHz	16	
17	823.100 MHz	17	
18	826.100 MHz	18	
19	831.700 MHz	19	
20	854.100 MHz	20	
21	856.100 MHz	21	
22	860.500 MHz	22	
23	864.300 MHz	23	

Spectrum Display



TAULUKKO 1. Luvasta vapautetut taajuudet ennen 1.1.2014

Kun poistan tästä alueesta nykyään kielletyt alueet jää jäljelle kaksitoista kanavaa (taulukko 2)

SIFM 1.3.4.

RTF Document, created 04-01-2015 22:16:04

System #1: EW G3

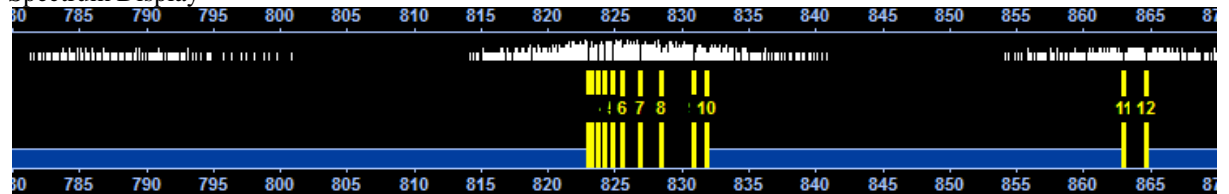
Parameters

Parameters Checked	Status	Bandwidth
Spectrum	On	0.000
Spacing	On	0.300
2Tx IM(3)	On	0.100
2Tx IM(5)	Off	0.100
3Tx IM(3)	On	0.100

Channel Configuration (12)

	Frequency	Label	Color
1	823.000 MHz	1	Yellow
2	823.300 MHz	2	Yellow
3	823.700 MHz	3	Yellow
4	824.200 MHz	4	Yellow
5	824.800 MHz	5	Yellow
6	825.600 MHz	6	Yellow
7	826.900 MHz	7	Yellow
8	828.500 MHz	8	Yellow
9	830.900 MHz	9	Yellow
10	831.900 MHz	10	Yellow
11	863.000 MHz	11	Yellow
12	864.700 MHz	12	Yellow

Spectrum Display



TAULUKKO 2. Luvasta vapautetut taajuudet 1.1.2014 jälkeen

1785–1800 MHz luo mahdollisuuden käyttää keskimäärin kolmeatoista kanavaa, mutta ikävä kyllä tätä aluetta ei ole aikaisemmin ollut Suomessa mahdollisuus käyttää missään muodossa ja yleisestikin se on uusimpia langattomien mikrofonijärjestelmien alueita. Tämän vuoksi alueelle saatava kalusto on hyvin rajallista ja toistaiseksi varsinkin Suomessa hyvin harvinaista.

5.3.2 Luvanvaraisten taajuusalueiden käyttö

Luvanvaraisten taajuuksien käyttöön siirtymisessä on tietysti hyötyjä. Alueet ovat usein laajempia ja tämän vuoksi yleensä kalustolla on enemmän variaatioita käytettävissä taajuuskartoissa. Eli jos huomataan että alueella on muuta radioliikennettä, joka aiheuttaa häiriötä, on helpompi siirtyä vapaalle alueelle. Varjopuolena on TV-alueiden päällekkäisyys taajuusalueilla.

Kaikki luvanvaraiset mikrofoniaajuudet ovat yhteiskäytössä digitaalisten televisioverkkojen kanssa. Tämän lisäksi ne ovat osoitettu ensisijaisesti televisiokäyttöön. Keskustelluissani Markku Laasosen kanssa kävi ilmi, että tästä syystä taajuusalueiden 174–230, 470–694 ja 694–789 MHz radiomikrofonien lupaehtona on seuraava:

Radiomikrofonijärjestelmää saa käyttää vain sellaisilla taajuuksilla, joita radiomikrofonijärjestelmän käyttöpaikkakunnalla ei ole osoitettu televisiotoimintaan. Jos radiomikrofonijärjestelmän käyttö aiheuttaa häiriötä televisiotoiminnalle, on radiomikrofonijärjestelmän käyttö keskeytettävä.

Käytännössä luvanvaraiset taajuusalueet antavat riittävän laajan mahdollisuuden kanavamäärällisesti luoda suuria ja monikanavaisia langattomia järjestelmiä. Ongelmia tulee, jos käytettävä kalusto tarjoaa suppeampia alueita ja osa näistä alueista on paikkakunnalla TV-käytössä. Nämä tiedot pystytään toki tarkistamaan etukäteen viestintäviraston tiedoista ja tätä kautta tekemään toimiva taajuuskartta etukäteen. Jokaista muuttujaa ei pystytä ennakkoon ottamaan huomioon, mutta hyvin tehdyt taajuuskartat ja taajuussuunnittelut ovat avaintekijöitä langattomien äänentoistojärjestelmien käytössä.

Tässä ovat esimerkkilaskelmat 470–789 MHz alueesta yhtenä alueena (kuvio 3), sekä jaoteltuna kahdeksi (470–694 MHz ja 694–789 MHz) erikseen (eri tilassa) käytettäväksi alueeksi (kuviot 4 ja 5), jolloin ne eivät huomioi toisistansa syntyviä IM tuotoksia. Tämän jaottelun tein, jotta pystytään hahmottamaan kuinka suuri vaikutus tulevalla lakimuutoksella on kun 694–789 MHz alue tulee poistumaan käytöstä.

Alue kokonaisuutena, eli 470–789 MHz, tämä tarjoaa neljäkymmentäneljä kanavaa. (taulukko 3)

SIFM 1.3.4.

RTF Document, created 05-15-2015 12:34:01

System #1: EW G3

Parameters

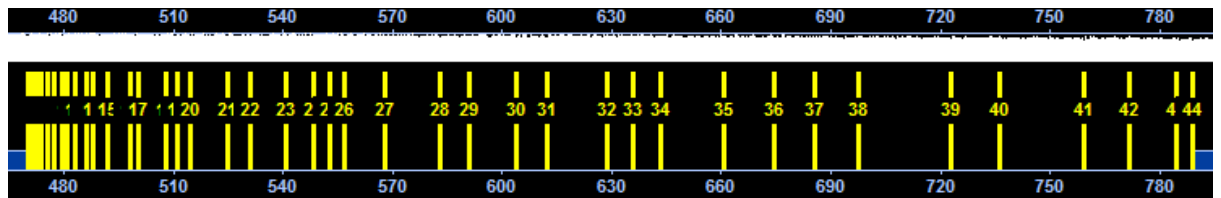
Parameters Checked	Status	Bandwidth
Spectrum	On	0.000
Spacing	On	0.300
2Tx IM(3)	On	0.100
2Tx IM(5)	Off	0.100

3Tx IM(3)	On	0.100
-----------	----	-------

Channel Configuration (44)

	Frequency	Label	Color
1	470.000 MHz	1	
2	470.300 MHz	2	
3	470.700 MHz	3	
4	471.200 MHz	4	
5	471.800 MHz	5	
6	472.600 MHz	6	
7	473.900 MHz	7	
8	475.500 MHz	8	
9	477.200 MHz	9	
10	479.600 MHz	10	
11	480.600 MHz	11	
12	483.100 MHz	12	
13	485.900 MHz	13	
14	488.100 MHz	14	
15	492.100 MHz	15	
16	498.200 MHz	16	
17	500.200 MHz	17	
18	507.900 MHz	18	
19	510.900 MHz	19	
20	514.700 MHz	20	
21	524.700 MHz	21	
22	531.100 MHz	22	
23	540.900 MHz	23	
24	548.300 MHz	24	
25	552.700 MHz	25	
26	556.900 MHz	26	
27	568.000 MHz	27	
28	582.800 MHz	28	
29	591.100 MHz	29	
30	604.000 MHz	30	
31	612.200 MHz	31	
32	628.900 MHz	32	
33	636.000 MHz	33	
34	643.300 MHz	34	
35	660.600 MHz	35	
36	674.500 MHz	36	
37	685.700 MHz	37	
38	697.400 MHz	38	
39	722.800 MHz	39	
40	736.000 MHz	40	
41	759.300 MHz	41	
42	771.500 MHz	42	
43	784.500 MHz	43	
44	789.000 MHz	44	

Spectrum Display



TAULUKKO 3. Luvanvaraiset taajuudet ennen 1.1.2017

470–694 MHz alue yksinään joka tarjoaa kolmekymmentäkahdeksan kanavaa (taulukko 4)

SIFM 1.3.4.

RTF Document, created 05-15-2015 21:21:26

System #1: EW G3

Parameters

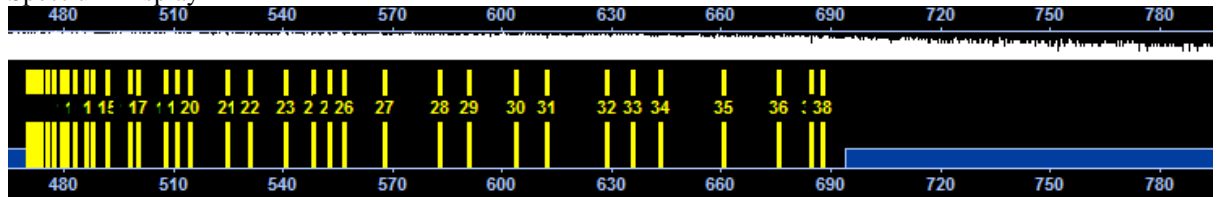
Parameters Checked	Status	Bandwidth
Spectrum	On	0.000
Spacing	On	0.300
2Tx IM(3)	On	0.100
2Tx IM(5)	Off	0.100
3Tx IM(3)	On	0.100

Channel Configuration (38)

	Frequency	Label	Color
1	470.000 MHz	1	
2	470.300 MHz	2	
3	470.700 MHz	3	
4	471.200 MHz	4	
5	471.800 MHz	5	
6	472.600 MHz	6	
7	473.900 MHz	7	
8	475.500 MHz	8	
9	477.200 MHz	9	
10	479.600 MHz	10	
11	480.600 MHz	11	
12	483.100 MHz	12	
13	485.900 MHz	13	
14	488.100 MHz	14	
15	492.100 MHz	15	
16	498.200 MHz	16	
17	500.200 MHz	17	
18	507.900 MHz	18	
19	510.900 MHz	19	
20	514.700 MHz	20	
21	524.700 MHz	21	
22	531.100 MHz	22	
23	540.900 MHz	23	
24	548.300 MHz	24	
25	552.700 MHz	25	

26	556.900 MHz	26	
27	568.000 MHz	27	
28	582.800 MHz	28	
29	591.100 MHz	29	
30	604.000 MHz	30	
31	612.200 MHz	31	
32	628.900 MHz	32	
33	636.000 MHz	33	
34	643.300 MHz	34	
35	660.600 MHz	35	
36	675.600 MHz	36	
37	684.700 MHz	37	
38	687.800 MHz	38	

Spectrum Display



TAULUKKO 4. Luvanvaraiset taajuudet 1.1.2017 jälkeen

694–789 MHz alue yksinään, joka tarjoaa kaksikymmentäseitsemän kanavaa (taulukko 5)

SIFM 1.3.4.

RTF Document, created 05-15-2015 00:18:50

System #1: EW G3

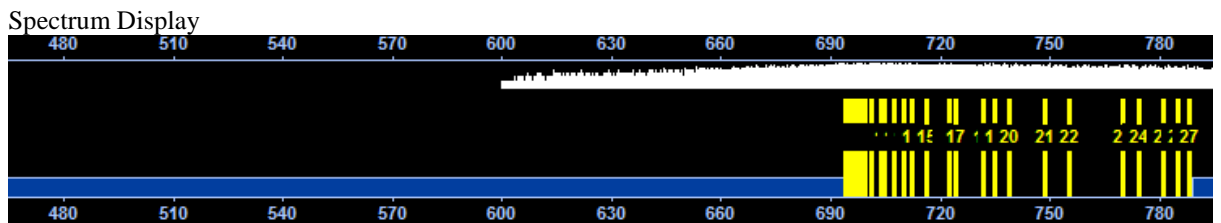
Parameters

Parameters Checked	Status	Bandwidth
Spectrum	On	0.000
Spacing	On	0.300
2Tx IM(3)	On	0.100
2Tx IM(5)	Off	0.100
3Tx IM(3)	On	0.100

Channel Configuration (27)

	Frequency	Label	Color
1	694.000 MHz	1	
2	694.300 MHz	2	
3	694.700 MHz	3	
4	695.200 MHz	4	
5	695.800 MHz	5	
6	696.600 MHz	6	
7	697.900 MHz	7	
8	699.500 MHz	8	
9	701.200 MHz	9	

10	703.600 MHz	10	
11	704.600 MHz	11	
12	707.100 MHz	12	
13	709.900 MHz	13	
14	712.100 MHz	14	
15	716.100 MHz	15	
16	722.200 MHz	16	
17	724.200 MHz	17	
18	731.900 MHz	18	
19	734.900 MHz	19	
20	738.700 MHz	20	
21	748.700 MHz	21	
22	755.100 MHz	22	
23	769.900 MHz	23	
24	774.400 MHz	24	
25	781.000 MHz	25	
26	785.200 MHz	26	
27	788.300 MHz	27	



TAULUKKO 5. 31.12.2016 poistuvat taajuudet

5.4 Taajuusalueiden käyttö

5.4.1 Esimerkki taajuussuunnittelun vaiheista

Esimerkissä pystytän 16-kanavaisen langattoman mikrofonijärjestelmän Tampereen keskustorille. Ensiksi on tiedettävä käytössä oleva kalusto. Tässä esimerkissä työskenteleen kahdella 8-kanavaisella järjestelmällä. Toinen järjestelmä on Sennheiser EW-500 G3 Band A (516–558 MHz) ja toinen on Sennheiser EW-500 G3 Band G (566–608 MHz). Laitteisto on luvanvaraista ja lupien haltijalla on käyttöoikeus koko Suomen alueelle.

Käytän esimerkissä WSM (Wireless System Manager) nimistä Sennheiserin ilmaisohjelmaa taajuuskartan tekoon. Tällä ohjelmalla pystyn tekemään ennakkoon taajuussuunnittelua ja paikan päällä mittamaan taajuusalueilla olevan liikenteen kytkemällä WSM-tietokoneen Sennheiserin vastaanottiin. Lisäksi pystyn kopioimaan asetukset tietoko-

neelta laitteistoon ja täten nopeuttamaan laitteiston konfigurointia. Vastaavia ohjelmia on esimerkiksi Shuren julkaisema WWB (Wireless Workbench).

Ensimmäiseksi lisään ohjelmaan käytössä olevan laitteiston: langattomat vastaanottimet, merkit ja mallit. Seuraavaksi selvitän esiintymisalueen digitaalisten TV-lähetysten taajuusalueet viestintäviraston sivuilta ja syötän WSM ohjelmaan mikrofonien taajuusalueilla olevat alueet, joita en voi käyttää. Tässä tapauksessa niitä ovat vain TV-käyttöön varatut taajuusalueet, koska tapahtumassa ei ole muita langattomia järjestelmiä. Esimerkkitapauksessa en saa teoreettisesti täysin puhdasta taajuuslaskelmaa järjestelmälle johtuen TV-kanavien asettamista suurista rajoitteista. Tällöin valitsen WSM-laskelmista vähiten IM-häiriöitä omaavan laskelman ja asetan sen kanavakartaksi. Määritän ohjelmaan myös mahdolliset varataajuudet ja käytän sitä priorisoimaan tärkeimmät mikrofonikanavat vähiten IM-häiriöitä omaaville taajuuksille.

Saavuttuani esiintymispaikalle pystytän vastaanottimet ja antennit. Seuraavaksi kytken WSM-tietokoneen vastaanottimiin ja teen mittaukset käytössä olevista taajuusalueista. Käyn mittauksien tulokset läpi ennakkoon tehdyn taajuuskartan kanssa ja tässä tapauksessa alueelta, jota olen käyttämässä, löytyy ylimääräistä häiriösignaalia. En pysty paikallistamaan signaalin lähdettä, joten lisään häiriöalueet taajuuskarttaan ja teen järjestelmälle vielä kerran uuden kartoituksen. Tämän jälkeen syötän uuden kartan tietokoneen avulla vastaanottimiin ja synkronoin lähettimet vastaanottimien kanssa. Näin järjestelmä on valmis ja toiminnassa.

5.4.2 Langattomien äänentoistojärjestelmien käyttäjän vastuu

Niin kuin aikaisemmin olen jo maininnut, radiotaajuusalueiden käyttö on hyvin tarkkaan säädeltyä Suomessa. Tämän myötä käyttäjillä on myös vastuu järjestelmän laillisuudesta käyttötilanteessa. Ensisijaisesti vastuussa on aina järjestelmän hallussapitäjä käyttöhetkellä, eli useimmissa tapauksissa ääniteknikko.

Suurin vastuu on tilanteissa, joissa hankitaan luvanvaraisia järjestelmiä (joita lähtökohteisesti myydään vain yritystoimintaan), koska tällöin vastuu siirtyy suurelta osin myyjältä käyttäjälle. Kaupasta kuluttajan ei pitäisi pystyä ostamaan laitteistoa, jonka käyttö

olisi rajoitettu tai kielletty ainakaan ilman tarkempaa ohjeistusta myyjän puolelta. Ote vastauksesta viestintäviraston lakimiehelle esittämästäni kyselystä

Kysymys:

Työntekijä X on palkattu ääniteknikoksi tapahtumaan Y. Tapahtumajärjestäjä toimittaa paikalle kaluston. X kytkee kaluston ja ryhtyy töihinsä. Myöhemmin käy kuitenkin selville että tapahtumalla Y ei ole ollut lupia hankittuna kyseisen kaluston käyttämille taajuuksille. Minkälaiset ovat seuraukset ja kuka on vastuussa?

Vastaus:

Kyseessä on tietoyhteiskuntakaaren [\(917/2014\) 348 §:n 1 momentin 1 kohdassa tarkoitettu telelaiterikkomus, jossa pidetään hallussa tai käytetään radiolähetintä ilman saman lain 39 §:ssä säädettyä radiolupaa. Seuraamus on sakkoa. Edellytys on, että kysymyksessä tarkoitettuun kalustoon kuuluu radiolähettäviä.](#)

Vastuussa teosta on käyttäjä eli se joka käyttää ja pitää hallussa radiolähetintä (X). Hän voi kuitenkin vapautua seuraamuksista ns. subjektiivisten syiden perusteella eli katsotaan, että hänen tekonsa on esimerkiksi henkilöön tai tekoon nähden anteeksi annettava tai kokonaisuutena arvostellen vähäinen. Myös tapahtumajärjestäjä Y voi joutua vastuuseen, jos kyseessä on järjestäjän omistama tai hallitsema kalusto jolloin ainakin luvaton radiolähettimen hallussapito on ilmeinen.

Eli käytännössä ääniteknikolla on vastuu varmistaa kaluston lainmukaisuus ja asiallisten lupien hankinta. Tilanteessa, jossa voidaan osoittaa, että häntä on tietoisesti johdettu harhaan tai annettu uskoa laitteiston lupien asianmukaiseen hankintaan järjestäjän puolelta, voidaan teko mahdollisesti katsoa anteeksiannettavaksi.

Myös lainmukaisten taajuuksien käytöstä vääränlaisella kalustolla tai liian suurella läheysteholla voi koitua seuraamuksia. Tämän vuoksi on tärkeitä, että laitteiston käyttö suunnitellaan asianmukaisesti aina eri sijainteihin. Ensisijaisesti radiomikrofonit eivät saa häiritä mitään muuta samoilla taajuuksilla tapahtuvaa liikennettä. Ote vastauksesta viestintäviraston lakimiehelle esittämästäni kyselystä:

Tehorajan ylittamisestä ei ole säädetty rangaistusta tietoyhteiskuntakaaren telelaiterikkomusta koskevassa 348 §:ssä, jos kyseessä on pelkästään Viestintäviraston määräyk-

sessä olevan käyttömääräyksen rikkomisesta eikä samalla ole muutettu käytettävää radiolähetintä teknisesti siten, että se ei enää ole sen radiolähtetimen mukainen, jonka vaatimustenmukaisuus on varmistettu. Jos lähetintä on muutettu, niin kyseessä on vastauksessa 2” (tässä teoksessa esitetty kysymys 1 viraston lakimiehelle) ”tarkoitettu telelaiterikkomus, koska luvasta vapaiden radiolähtetinten yhteistaajuuksista ja käytöstä annettu Viestintäviraston määräyksen (15 M) luvasta vapauttaminen koskee vain sellaisia radiolähtetimiä, joiden vaatimustenmukaisuus on varmistettu.

Jos kyseessä on taas pelkästään käyttömääräyksen rikkominen, niin seurauksena voi olla tietoyhteiskuntakaaren 330 §:ssä tarkoitettu valvontapäätös, jossa veloitetaan korjaamaan tehty rikkomus. Ylitehon käytöstä voi myös aiheutua häiriötä muulle radioviestinnälle, joka voi taas johtaa Viestintäviraston tekemään häiriöselvitykseen. Jos ylitehon käyttö olisi poikkeuksellisen törkeää ja tehty esimerkiksi ilkeävaltaisessa tarkoituksessa muu radioviestinnän häiritsemiseksi, niin rikoslain 38 luvun tietoliikenteen häirintää koskevat säännökset voisivat myös tulla sovellettaviksi.

Joka tapauksessa yleisesti kotikäyttäjällä ei pitäisi tulla ongelmia, jos kalusto on hankittu lakimuutoksen jälkeen. Edellä mainittu tieto on kuitenkin tärkeää tietää, jos ostaa käytettyjä langattomia järjestelmiä tai käyttää kalustoa, joka on hankittu ennen lakimuutosta. Viestintävirasto suorittaa taajuusvalvontaa ympäri Suomea ja käyttäjä on loppupeleissä aina vastuussa käyttämästään kalustosta.

6 POHDINTA

Tämän työn teko oli itselleni hyvin opettavaista. Suurimmat yllättävät ja ennakkoluuloistani poikkeavat toteamukset sain lukuisista keskusteluista, joita kävin kymmenien äänitekniikkaa ammatikseen tekevien ihmisten kanssa. Osa henkilöistä on saanut äänitekniikan ammatillisen koulutuksen. Yllätyin, kuinka vähän toisella asteella ja korkeakouluopinnoissa käydään läpi langattomia äänentoistojärjestelmiä. Varsinkin käytännön vastuujaako ja rikkomusten rangaistusseuraamukset olivat melkein jokaiselle haastattelemalleni ihmiselle epäselviä, tai he eivät olleet edes koskaan kuulleet asiasta.

Huomasin, että vaikka langattomat äänentoistojärjestelmät ovat tärkeässä osassa useiden tapahtumien teknisessä rakentamisessa, silti Suomessa useat yritykset eivät ole erikoistuneet niiden toimintaan. Verratessani monen suomalaisen yrityksen toimintaa useaan kansainvälisen yrityksen toimintaan totesin muutamia perustavia eroja. Suomalaiset äänentoistoyritykset käyttävät useasti teknikoiden yleistä tietotaitoa langattomien järjestelmien rakentamiseen. Tällöin oletetaan, että valtaosa ääniteknikoista tuntee perustiedot radiotaajuuksista, niiden toiminnan sääntelystä, antennisijoittelusta ja laitteiden teknisestä toiminnasta. Selvityksieni pohjalta huomasin kansainvälisten yritysten käyttävän useasti langattomiin äänentoistojärjestelmiin erikoistuneita työntekijöitä. Toki tätä toimintaa harjoitetaan myös Suomessa, mutta omien kyselyideni pohjalta hyvin pienessä määrin.

Suomen viestintävirasto oli hyvin avulias ja valmis vastaamaan kyselyihini, vaikkakin vastausajoista tekemieni päätelmiäni mukaan kyseisen aiheen kyselyt vaikuttavat olevan hyvin harvinaisia. Yllätyin myös siitä, kuinka vaikeaa oli löytää asiasta suomenkielistä opetusmateriaalia tai teknistä informaatiota. Tämän vuoksi päädyin ottamaan yhteyttä Sennheiserin ja Shuren kansainvälisiin toimipisteisiin, joista sain yleisiä ohjeita, joita kykenin soveltamaan taajuusaluekalkelmien kohdistamisessa Suomen säädöksiin mukaisiksi. Täten vaikka tieto on saatavilla, selkeän ja helposti ymmärrettävän suomenkielisen tiedon saatavuus on yllättävän vaikeaa. Toisaalta langattomien järjestelmien suosio kasvaa koko ajan, joten uskon tämänkin tilanteen tulevan muuttumaan nopeasti.

LÄHTEET

Asius technologies. Musician, inventor, visionary - Stephen D. Ambrose.

Tulostettu 18.09.2014

<http://asiustechnologies.com/gallery/>

Bellis, M. The Invention of Radio. Tulostettu 13.11.2014.

<http://inventors.about.com/od/rstartinventions/a/radio.htm>

Clark, K. 2008a. Interview With Michael Pettersen of Shure. Julkaistu. Internetartikkeli. Julkaistu 06.01.2008. Tulostettu 17.09.2014.

http://www.prosoundweb.com/article/interview_with_shures_michael_pettersen/P4/

Clark, K. 2008b. Shure Timeline: Milestones From 1925 To 2000. Julkaistu 06.01.2008. Tulostettu 17.09.2014.

http://www.prosoundweb.com/article/shure_timeline_milestones_from_1925_to_2000/P2/

Electrovoice. 2012. Wireless Microphone Basics. Internetartikkeli. Tulostettu 2.2.2015.

<http://www.electrovoice.com/downloadfile.php?i=972305>

Fahie, J. 1899. A History of Wireless Telegraphy. 2. painos. New York: Dodd, Mead and co.

Hall, D. 2013. Understanding IF Bandwidth In RF Signal Analyzers. Internetartikkeli.

Julkaistu 22.11.2013. Tulostettu 7.3.2015. <http://electronicdesign.com/test-amp-measurement/understanding-if-bandwidth-rf-signalanalyzers>

Mulhern, T.1979. Wireless transmitters. Guitar Player Magazine. 3/1979, 98-102.

Nady Systems. 2011. Father of the modern wireless microphone John Nady. Internetartikkeli. Julkaistu 09/2011. Tulostettu 15.11.2014

http://www.nady.com/news/Making_M_Mag_sept_oct11_NAdy.pdf

Scan Antenna. Why use active antenna?. Luentomateriaali. Tulostettu 18.11.2014

<http://www.scan-antenna.com/sites/default/files/uploads/div/SCAN%20Application%20Note%20-%20Why%20use%20an%20Active%20antenna.pdf>

Sennheiser. 2014. History in decades. Internetartikkeli. Julkaistu 2014. Tulostettu 17.09.2014.

<http://en-au.sennheiser.com/about-sennheiser-at-a-glance-animted-history-history-in-decades>

Sennheiser. SIFM Manual. Ohjelmistomanuaali. Tulostettu 2.2.2015. http://enus.sennheiser.com/downloads/download/file/2066/User_Manual_pro_US.pdfWireless

Shambro, J. 2007. Ultimate Sound, Ultimate Ears: A Look Inside Ultimate Ears´ Legendary Quality. Internetartikkeli. Tulostettu 15.11.2014

<http://homerecording.about.com/od/interviewstipstricks/a/ultimateears1.htm>

The Telegraph. 2011. Reg Moores Obituary. Muistokirjoitus. Julkaistu 04.03.2011. Luettu 16.09.2014.

<http://www.telegraph.co.uk/news/obituaries/technology-obituaries/8362736/Reg-Moores.html>

United States Patent. 13.12.2011/US 8,077,111 B2

Vear, T. 2005. Microphone Systems. Opetuskirja. Julkaistu 2005. Tulostettu 2.2.2015.
https://engineering.purdue.edu/ece103/References/wireless_microphone_systems.pdf

White, T. 1999. United States Early Radio History. Internetartikkeli. Julkaistu 1999.
Tulostettu 13.11.2014.
<http://earlyradiohistory.us/sec022.htm>

LIITTEET

Liite 1. Viestintävirasto 15 AF/2013 M Kohta 13

13 LANGATTOMAT KAIUTTIMET, KORVAMONITORIT, KUULOKKEET, KUUNTELUAPUVÄLINEET, KYPÄRÄPUHELMET JA RADIOMIKROFONIT

Taajuusalueilla, joilla kanavaväli on määritelty, ensimmäisen kanavan keskitaajuus on

31,100 MHz	33,500 MHz	Efektiivinen säteilyteho \leq 10 mW ERP. Lähetteen kokonaiskaistanleveys enintään 200 kHz.
32,100 "	36,700 "	
32,900 "	37,100 "	
42,400–43,600 MHz		
169,4000–169,4750 MHz		Efektiivinen säteilyteho \leq 10 mW ERP. Kanavaväli \leq 50 kHz. Kuunteluapuvälineet. Jaettu käyttö lyhyen kantaman laitteiden kanssa.
169,4875–169,5875 MHz		Efektiivinen säteilyteho \leq 10 mW ERP. Kanavaväli \leq 50 kHz. Kuunteluapuvälineet. Jaettu käyttö lyhyen kantaman laitteiden kanssa.
173,965–174,015 MHz		Efektiivinen säteilyteho \leq 2 mW ERP. Kanavaväli \leq 50 kHz. Ainoastaan kuunteluapuvälineet.
823–826 MHz		Efektiivinen säteilyteho \leq 12 mW ERP, asusteisiin kiinnitettävillä radiomikrofoneilla \leq 60 mW ERP. Kanavaväli \leq 200 kHz. Ainoastaan radiomikrofonit, korvamonitorit ja kuunteluapuvälineet.
826–832 MHz		Efektiivinen säteilyteho \leq 60 mW ERP. Kanavaväli \leq 200 kHz. Ainoastaan radiomikrofonit, korvamonitorit ja kuunteluapuvälineet.
863,000–865,000 MHz		Efektiivinen säteilyteho \leq 10 mW ERP.
864,800–865,000 MHz		Efektiivinen säteilyteho \leq 10 mW ERP. Kanavaväli enintään 50 kHz. Kapeakaistaiset analogiset radiolähettimet puheensiirtoon.

²⁴ Lyhyen kantaman radiolähettimet, ERC:n suositus CEPT/ERC/REC 70-03, liitteet 10 ja 13 soveltuvin osin, ECC:n päätös ECC/DEC/(05)02. Euroopan komission päätökset 2005/928/EY ja 2008/673/EY. Euroopan komission päätös 2006/771/EY, jonka voimassa oleva tekninen liite on päätös 2013/752/EU.