



Langattomien radiojärjestelmien perusteet elokuva- ja TV-tuotannoissa

Ville Färm

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2022

Media-alan tutkinto-ohjelma
Äänisuunnittelu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Media-alan tutkinto-ohjelma
Äänisuunnittelu

Färm, Ville:

Langattomien radiojärjestelmien perusteet elokuva- ja TV-tuotannoissa.

Opinnäytetyö 61 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Marraskuu 2022

Opinnäytetyössä selvitettiin elokuvatuotannossa ääniosaston käyttämien radiojärjestelmien perusteita. Opinnäytteen tarkoitus oli koostaa kattava opas, joka selittäisi selkokielisesti äänittäjille langattomien järjestelmien toiminnan perusteet, ja poistaisi sitä mystiikkaa, joka langattomiin signaaleihin liittyy.

Kiinnostus tutkimukseen heräsi työelämän kautta, sillä ääniosasto käyttää langattomia työssään päivittäin. Lähdemateriaalina on suuri määrä laitevalmistajien kuten Shuren tai Lectrosonicsin opetusmateriaalia langattomien järjestelmien toiminnasta, sen lisäksi lähteinä on blogitekstit, verkkosivut, kirjalliset lähteet ja äänittäjä Anssi Kainulaisen kanssa tehty lyhyt haastattelu.

Langattomat järjestelmät ovat monille ammattilaisillekin kompastuskivi, sillä niiden kanssa toimiminen on hyvin kaukana konkretiasta. Valon voi nähdä ja äänen voi kuulla. Radiosignaalin näkee vain mittarista ja kuulee vain silloin, kun signaalissa on jotain häiriötä. Opinnäyte selittää mystiikan langattomien takana, ja auttaa ymmärtämään haasteita ja häiriöitä, jota järjestelmät voi kohdata. Opinnäytteessä kerrotaan myös, miten voi konkreettisilla toimilla välttää langattoman signaalin katkeamisen.

Opinnäyte rajautuu radiojärjestelmien väliseen signaaliin, ja niiden tutkimiseen. Tutkimus ei kata erilaisten mikrofoniin, tai laitteiden suoranaista vertailua, vaan keskittyy pelkästään radiosignaaliin, joka on universaali vakio ja kaikkien eri järjestelmien kesken perusteet pysyvät samana.

Asiasanat: Langattomat, Radiomikrofonit, Lähettimet, Vastaanottimet, Radiosignaali

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Culture, Film and Television
Sound Design

FÄRM VILLE

Basics of wireless radio systems in film and TV productions

Bachelor's thesis 61 pages, appendices 0 pages

October 2022

This thesis explores the fundamentals of the radio systems used by the sound department in film and television productions. The purpose of the thesis was to create a comprehensive guide, that would explain in simple terms the basics of how wireless radio systems work, and remove the mysticism associated with the wireless systems.

The authors interest to study the subject arose through work experience, as the sound department uses wireless devices in their daily work every day. The source material consisted of a large amount of educational material created by large equipment manufacturers such as Shure and Lectrosonics. In addition to guides by manufacturers, the sources included blog posts, websites, book sources, and a short interview with Anssi Kainulainen, who works as a production sound mixer.

Wireless systems are a stumbling block for many people, including working professionals. Working with wireless systems is far from concrete. The user can see light and hear sounds, but the only way a person can see the radio signal is on a spectrogram, and the only way to hear it is when there are disturbances in the signal. The thesis explains the inner functions behind wireless signals and helps to understand the challenges that the systems may face. The thesis also points out concrete actions that can be taken to avoid interference in the wireless signals.

The thesis is limited to the signal between radio transmitters and receivers. The research does not include a direct comparison of different microphones, or sound quality of different transmitters. The thesis focuses only on the radio signal, which is a universal standard, and the basics remain the same between all different systems.

Key words: Wireless, Transmitter, Receiver, Radio, Signal

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	ÄÄNIOSTON LANGATTOMAT JÄRJESTELMÄT.	6
2.1	Langaton radiojärjestelmä.....	7
2.1.1	Lähetintyyppiä.....	7
2.1.2	Lähetysteho.....	9
2.1.3	Vastaanotintyyppiä.....	10
2.1.4	"Pilottiääni" ja "squelch"	14
2.1.5	Järjestelmien yhteensopivuus	15
2.2	Antennit.....	16
2.2.1	Erilaiset antennityypit	17
2.2.2	Antennin suuntaavuus.....	22
2.2.3	Passiiviset ja aktiiviset antennit.....	23
2.2.4	Polarisaatio.	24
2.2.5	"Multi-path" ja diversiteetti.	26
2.2.6	Antennijaot	30
2.2.7	Antennikaapeli.....	31
2.3	Radioaallot.....	33
2.3.1	Kantoaalto	33
2.3.2	Modulaatiometodit.....	33
2.3.3	Taajuusalue.....	35
2.3.4	Lailliset taajuudet	36
2.3.5	Intermodulaatio	38
3	Taajuuksien koordinointi	43
3.1	Spektrianalysointori	43
3.2	Taajuuksien koordinointi valmiita ryhmiä hyödyntäen.....	45
3.3	Taajuuksien koordinointi FreqFinderä hyödyntäen	46
3.4	Taajuuksien koordinointi Shuren Wireless Workbenchillä	48
4	Käytännön soveltaminen	53
4.1	Ennakkosuunnittelu.....	53
4.2	Kuvaustilanne	53
4.3	Yleisiä vinkkejä äänittäjille	55
5	POHDINTA	56
	LÄHTEET.....	58

1 JOHDANTO

Käsittelen opinnäytetyössäni elokuva ja tv-tuotannoissa käytettävien langattomien järjestelmien toimintaperiaatteita. Modernissa elokuvasetissä siirrytään jatkuvasti enemmän langattomiin järjestelmiin, niiden tuoman nopeuden ja joustavuuden ansiosta. Radiojärjestelmät niin korkealaatuisia, että niitä käytetään erityisesti äänen taltioimiseen langattomasti. Opinnäytetyöni keskittyykin enimmäkseen juuri langattomiin järjestelmiin ääniosaston perspektiivistä, ja selitän periaatteet, joihin langattomien käyttö pohjautuu.

Mielestäni on äärimmäisen tärkeää ymmärtää radiojärjestelmien perusteet elokuväänittäjän työn kannalta. Langattomien järjestelmien vakiintuessa standardiksi, äänittäjän työn onnistumisen kannalta on merkittävää, että pystytään takaamaan mahdollisimman luotettava radiosignaali. Signaalissa tapahtuvia häiriöitä on usein melkein mahdotonta korjata jälkikäteen ja uusintaottojen ottaminen voi olla tilanteesta riippuen haastavaa, kallista tai pahimmillaan jopa mahdotonta.

Radiosignaaleihin ja niiden toimintaan liittyy paljon matematiikkaa, ja erilaisia kaavoja. Sivuan näitä opinnäytetyössäni hyvin pintapuoleisesti. Näiden kaavojen tuntemisesta, ja laskemisesta ei elokuvatyöläisen arjessa ole juurikaan hyötyä. Vaikka esimerkiksi keskinäismodulaation lasku ei loppupeleissä olekaan kovin monimutkaista, nykyaikaisten työkalujen olemassaolo tekee siitä turhaa. Hyödyllisempää mielestäni on ymmärtää laajoja konsepteja, kuten se, että miten antennit kannattaa asemoida oikein, tai millaisessa tilanteessa kannattaa todennäköisesti käyttää suurempaa tai pienempää lähetystehoja. Esittelen myös taajuuksien koordinoimiseen käytettäviä ohjelmistoja ja keinoja.

Tutkimukseni on luonteeltaan selvittävä. Lähteinä käytän paljon alan ammattilaisten keskusteluseminaareja, blogeja ja valmistajien nettisivuja. Haluan kehittää omaa tietouttani, sekä luoda helposti lähestyttävän ja käytännöllisen oppaan äänittäjille, jotka haluavat ottaa kalustostaan kaiken mahdollisen irti.

2 ÄÄNIOSASTON LANGATTOMAT JÄRJESTELMÄT.

Ääniosaston langattomat järjestelmät rakentuvat erilaisista osista, joista jokaisella on tärkeä rooli signaalitien kulussa. Yksinkertaisimmillaan langaton järjestelmä koostuu lähettimestä, vastaanottimesta ja näiden antenneista.

Monimutkaisemmissa järjestelmissä on usein jonkinlainen antennijako, joka jakaa yhdestä antenniparista saatavan signaalin kaikille vastaanottimille. Antenniparina voidaan käyttää kahta tarkoitukseen soveltuvaa erillistä antennia, joilla on useita etuja yksinkertaiseen $\frac{1}{4}$ antenniin verrattuna.

Ääniryhmän koon ja käyttötarkoituksen mukaan järjestelmiin tulee kuitenkin monia lisäosia, jotka helpottavat ja tehostavat signaalin kuuluvuutta, tai ratkaisevat ongelmia, joita kevyemmät järjestelmät voivat kohdata.

Moderni ääniosasto käyttää langattomia radiojärjestelmiä nykyään käytännössä kaikkeen. Missä ennen on ollut XLR johto, niin se korvataan korkealaatuisilla radiojärjestelmillä. Langattomilla järjestelmillä lähetetään ja vastaanotetaan signaaleja, joita halutaan tallentaa, tai kuulla.

Ääniosaston langattomien järjestelmien laajuus riippuu paljon tuotannon ja äänitiimin koosta. Yksinkertaisimmillaan äänitys tapahtuu mikrofonin ja tallentimen avulla.

Tärkein käyttötarkoitus langattomille järjestelmille ääniosastolla on langattomat mikrofonit. Tämä sisältää näyttelijöille piilotettavat nappimikrofonit ja isommat mikrofonit, kuten puomittajien operoimat haulikkomikrofonit ja piilotettavat ”jemmamikit”.

Näiden langattomien signaalien puhtaus on yksi äänittäjän työn tärkeimmistä kulmakivistä. Se, että näyttelijöiden dialogi on käyttökelvotonta jälkitöissä sen takia, että radiojärjestelmässä on häiriötä ei ole hyväksyttävää.

Äänittäjä taltioinnin lisäksi lähettää myös äänisignaaleja eteenpäin. Elokuvan kuvauksissa on useita ihmisiä, joiden on työnsä kannalta välttämätöntä kuulla mitä

kuvauspaikalla puhutaan. Äänittäjän vastuualueisiin kuuluu se, että hänen on pidettävä huoli siitä, että ihmiset pystyvät kuulemaan dialogin kohtauksesta, vaikka he eivät olisi suoraan kameran takana. Kuunteluita pyritään lähettämään aina vähintään ohjaajalle ja kuvaussihteerille.

Ohjaajan, kuvaussihteerin ja muiden ääntä tarvitsevien lisäksi, on hyvin tavallista, että myös kameraan lähetetään langattomasti apuääni. Apuääni on yleensä miksaus eri mikrofoneista. Tämä mahdollistaa kuvauspaikalla otetun kuvan lähes täyslaatuisen äänen kanssa. Ilman apuääntä toistettava video olisi joko mykkää, tai kameran omilla mikrofoneilla tallennettua.

2.1 Langaton radiojärjestelmä.

Langattomassa radiomikrofonijärjestelmässä on yksinkertaistuttuna kolme komponenttia: mikrofoni, lähetin ja vastaanotin. Järjestelmä terminä, viittaa näiden osien yhdistelmään.

Mikrofonit osana järjestelmää ovat useimmiten irrallisia komponentteja, joita voidaan yhdistellä lähettimiin käyttötarkoituksen tai olosuhteiden optimoimiseksi. (Lectrosonics) En käsittele tarkemmin erilaisten mikrofoniin valintaa osana radiojärjestelmää vaan keskityn lähettimien ja vastaanottimien väliseen toimintaan.

2.1.1 Lähetintyyppejä.



Kuva 1 Kuvassa Sennheiser SKM 500 g3 langaton kapulamikrofoni, Lectrosonics HMA Plug on lähetin ja Lectrosonics SMWB Taskulähetin

Ääniryhmä käyttää työssään useita erilaisia radiolähettämiä. Yleisimmät käytössä olevat lähettimet ovat taskulähettimet, ”plug-on” lähettimet, ja kädessä pidettävät kapulamikrofonin ja lähettimen yhdistelmät. (Baxter 2007)

Nimensä mukaisesti radiolähettimet ottavat äänisignaalin, muuntavat sen radio-signaaliksi ja lähettävät sen eteenpäin

Taskulähettämiä on erittäin montaa erilaista mallia, joiden koko, lähetysteho tai akun kesto eroavat toisistaan. Kaikki ammattitason laitteet ajavat kuitenkin saman asian. Pääfunktiona on saada nappimikrofoni ja lähetin piilotettua näyttelijälle. Taskulähettämiä voi nappimikrofonien lisäksi käyttää minkä tahansa äänisignaalin, kuten vaikka kuunteluiden tai kameraan lähetettävän apuäänen lähettämiseen.

Joidenkin valmistajien kuten esimerkiksi Sound Devicesin A10 lähetin on hyvin suosittu puomittajien keskuudessa, sillä se kykenee antamaan suoraan phantom-virtaa mikrofonille. Tämä eliminoi tarpeen käyttää erillistä etuastetta mikrofonin ja lähettimen välissä, keventäen puomia poistamalla XLR johdon tarpeen kokonaan.



Kuva 2 Sound Devices A10 Lähetin puomimikrofonin lähettimenä

”Plug-on” lähetin on suunniteltu muuntamaan mikä tahansa mikrofoni langattomaksi. Plug-on lähetintä ei lähtökohtaisesti järeämmän kokonsa puolesta

käytetä nappimikrofonien lähettimenä, vaan lähtökohtaisesti puomimikrofoneissa ja kuvauspaikalle piilotettaviin kylmiin ”jemmamikkeihin”. Plug-on lähentintä voi myös käyttää samoin kuin taskulähetintä, radiosignaalien lähettämiseen äänittimestä eteenpäin.

Kolmas lähetintyyppi on kapulamikrofonit. Jos elokuvassa on kohtaus, jossa käytetään rekvisiittana mikrofonia, kuten vaikka laulukohtauksissa, tai ”haastattelutilanteissa”, kannattaa käyttää mikrofonia, jonka äänen voi myös tallentaa. Tähän voidaan käyttää juuri langatonta kapulamikrofonia. Langattomia kapulamikrofoneja löytyy lähtökohtaisesti kaikkien valmistajien valikoimista.

Kaikki mikrofonit, joita elokuvan kuvauksissa käytetään, eivät välttämättä ole tarkoitettu dialogin tallentamiseen. Langattomia kapulamikrofoneja voidaan hyödyntää myös ”voice of god”:iin, eli komentoja varten. Apulaisohjaaja tai ohjaaja voi käyttää langatonta kapulamikrofonia ja kaiutinta työryhmän, avustajien tai näyttelijöiden ohjeistamiseen.

On olemassa myös räkkimallisia lähettäjiä, mutta näitä löytyy paljon useammin tapahtumatuotannon puolelta tai paikoista, joissa ollaan kiinteästi yhdessä paikassa pitkään, jolloin päästään verkkovirtaan kiinni. Räkkimallista lähetintä voi hyödyntää esimerkiksi korvamonitorien lähettimenä. Suuren kokonsa vuoksi niistä ei ole käytännön hyötyä kameran edessä. Elokuvatuotannossa räkkimallinen lähetin ei lähtökohtaisesti tee mitään, mihin ei voisi käyttää pienempää ja kevyempää taskulähetintä.

Ammattilaistason valmistajien kuten Lectrosonicsin Wisycomin ja Zaxcomin laitteilla on kaikilla oma metodinsa siihen, miten jotkut yksityiskohdat heidän järjestelmissään toimivat. Lähtökohtaisesti jokaisella ammattitason järjestelmällä pysytään työskentelemään elokuvatuotannossa.

2.1.2 Lähetysteho.

On hyvin tärkeää tiedostaa käytössä olevien langattomien radiomikrofonien voimakkuus. Suomessa ja suurimassa osassa Eurooppaa on määräys, jonka

mukaan suurin laillinen lähetysteho radiomikrofoneilla on 50mW (Traficom Radiotaajuusmääräys 15)

Lähetystehon kanssa on oltava tarkkana. Jos käyttää radiojärjestelmiä, jotka ovat ostettu esimerkiksi USA:sta, jossa voi hankkia lisenssin aina 250mW luvaliseen lähetystehoon saakka (Gotham Sound), voi laitteet toimia liian suurilla voimakkuuksilla. Laittevalmistajat valmistavat laitteita erilaisilla ominaisuuksilla eri markkinoille. Pohjois-amerikkalaiseen käyttöön rakennetut lähettimet voivat olla paljon tehokkaampia, kuin eurooppalaiset ja jos asetuksia ei tarkasta, voidaan ylittää laillinen lähetysteho.

Vaikka laite olisi valmistettu erikseen amerikkalaisille markkinoille, ja siinä olisi mahdollisuus käyttää 250mW lähetystehoa niin kauan, kuin laitetta käyttää säästösten mukaisesti, eli käyttää laitteesta maksimissaan 50mW lähetystehoa, on laite laillinen käyttää. (Traficom)

Jos signaalia eteenpäin lähettäessä halutaan käyttää erillisiä antennoja, on tärkeää pitää mielessä, että lähettimen ja antennin väliin ei saa kytkeä erillistä vahvistinta. Erillinen vahvistin voi nostaa signaalin lähetystehoa, jolloin teho saattaa herkästi nousta liian suureksi. ”Radiolähettimeen saa kytkeä, ja sitä saa käyttää vain sellaisen antennin kanssa, että muodostettu kokonaisuus on vaatimustenmukainen. Radiolähettimen ja antennin väliin ei saa kytkeä vahvistinta, ellei laitekokonaisuuden vaatimustenmukaisuutta ole varmistettu. ” (Traficom määräys 1(26))”

2.1.3 Vastaanotintyyppejä.

Samaan tapaan, kun on olemassa useita eri tyyppisiä lähettimiä, jotka soveltuvat eri käyttötarkoituksiin, ääniosaston käytössä on usein monia erilaisia vastaanottimia.

Samaa kokoluokkaa kuin taskulähettämiä edustaa taskuvastaanottimet. Näistä pienistä taskukoon laitteista toimii esimerkkinä, vaikka Sennheiserin evolution G sarjan vastaanottimet.



Kuva 3 Sennheiser G sarjan taskukoon lähetin ja vastaanottimet

Taskuvastaanottimia löytyy jokaiselta laitevalmistajalta. Ammattituotannoissa taskukokoisia vastaanottimia käytetään enimmäkseen kuunteluiden tai apuäänien vastaanottimina.

Kuunteluvastaanottimet ovat tavallisia taskuvastaanottimia, jotka ovat varustettu kuulokevahvistimella ja säätimellä, jolla pystytään säätämään kuulokkeiden voimakkuutta. Mikään ei kuitenkaan periaatteessa estä käyttämästä tavallista taskuvastaanotinta myös kuunteluvastaanottimena.

Langaton radiovastaanotin ei kykene vastaanottamaan signaalia kahdesta eri lähettimestä samanaikaisesti. Kaksi lähetintä ei siis kykene toimimaan samalla taajuudella. Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, että kaksi vastaanotinta ei pystyisi vastaanottamaan yhdestä lähettimestä saapuvaa signaalia. Yhdellä radiotaajuudella voi olla useita langattomia radiovastaanottimia, ilman että ne vaikuttaisivat toistensa toimintaan millään tavalla. Tätä voi hyödyntää esimerkiksi langattomien kuunteluiden järjestämisessä. Voimme lähettää langattoman kuuntelun yhdellä lähettimellä ja jakaa langattomia kuunteluvastaanottimia ilman, että jokaisella vastaanottimella on oltava oma lähetin.

Tuotannoissa käytetään usein taskumallisia vastaanottimia myös kameroiden apuäänen vastaanottimena. Taskuvastaanottimet ovat kevyt ja näppärä tapa saada apuääni langattomasti kameraan ilman, että kameraan tarvitsee lisätä merkittävästi painoa.

Taskumalliset vastaanottimet ja lähettimet toimivat lähtökohtaisesti AA-akuilla/paristoilla.



Kuva 4 Wisycom MCR54 nelikanavainen vastaanotin

Näiden taskuvastaanottimien lisäksi on olemassa myös "slot" ja "compact" mallisia vastaanottimia, joita löytyy jokaiselta ammattilaitteiston valmistajalta. Nämä vastaanottimet ovat useimmiten monikanava-vastaanottimia. Wisycomin MCR54 vastaanotin esimerkiksi pystyy vastaanottamaan neljää erillistä langatonta kanavaa yhden laitteen sisällä. Nämä vastaanottimet ovat yleisimpiä ammattilaisten käyttämiä radiojärjestelmiä erinomaisen kannettavuuden, ja kompaktissa koossa olevien kanavamäärien ansiosta.



Kuva 5 Äänikärnyssä oleva laukku, jossa äänittimenä toimii Sound Devices Scorpio, ja langattomia ovat neljä Wisycomin MCR42 vastaanotinta.

Kannettavien vastaanottimien lisäksi on olemassa rakkimallisia, ja puolirakkimallisia vastaanottimia. Näitä käytetään myös elokuva & tv-tuotannoissa, mutta useimmiten vasta hyvin isoissa tuotannoissa. Suomessa en ole henkilökohtaisesti vielä törmännyt tuotantoon, jossa rakkivastaanottimia olisi käytössä.

Rakkimallisten vastaanottimien ongelma on suurempi koko, joka lisää äänikärnyssä äkkiä painoa. Sen lisäksi ne vaativat verkkovirtaa, jolloin äänikärny vaatii suuren akun, josta pystytään antamaan sopivaa virtaa laitteille.



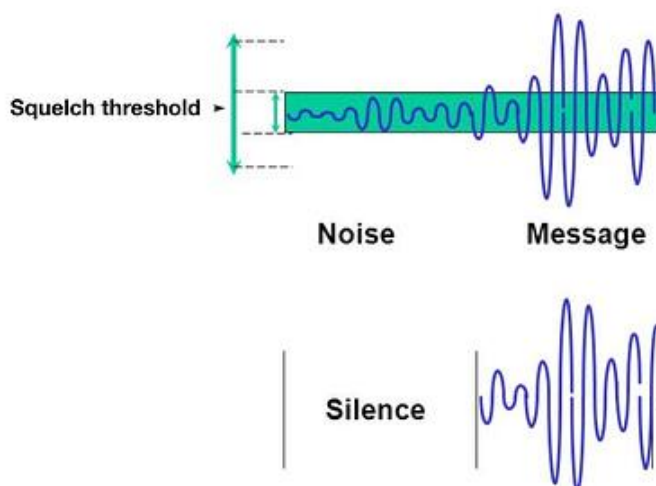
Kuva 6 Lectrosonics Venue 2 Rakkivastaanotin.

Jos ilmenisi tarve saada äänitallennin liikkeelle lähtevän auton kyytiin, olisi rakkimallinen vastaanotin paljon hitaampi saada kyytiin, kuin laukku, joka on rakennettu kevyiden slot-mallisten vastaanottimien ympärille.

Räkkivastaanottimien etuna on se, että niissä on mahdollista hyödyntää Dantea signaalin kuljettamisessa. Dante on Australialaisen Audinate yrityksen kehittämä äänensiirtoprotokolla, joka mahdollistaa useiden äänikanavien siirtämisen digitaalisessa muodossa yhtä CAT5 kaapelia pitkin (Shure). Räkkimallisen vastaanottimen voi teoriassa viedä lähelle kuvauspaikkaa ja vetää kaiken siitä saatavan signaalin takaisin äänitallentimeen yhtä kevyttä kaapelia pitkin.

2.1.4 ”Pilottiääni” ja ”squelch”

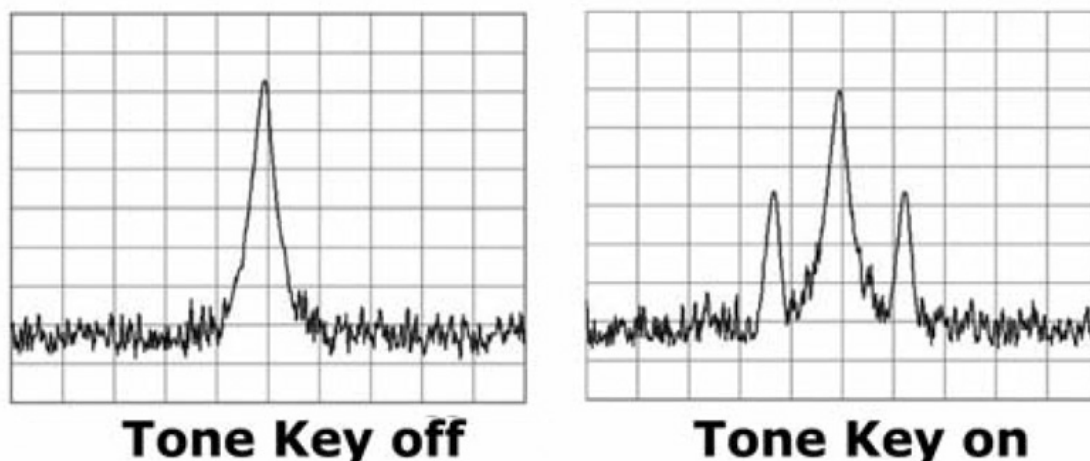
Squelch on ominaisuus, joka on olennainen osa langattomien järjestelmien toimintaa. Squelch mykistää vastaanottimen ulostulon, mikäli tarpeeksi voimakasta radiosignaalia ei havaita. (Shure) Jos squelch on asetettu liian kovalle, signaalin kantavuus saattaa heikentyä. Mikäli squelchin kynnyks on asetettu liian hiljaiseksi, tai kytketty kokonaan päältä, voi lähettimen signaalin kadotessa lähettimestä kuulla erittäin kovaäänisiä häiriöitä.



Kuva 7 Squelch

Pilot tone, eli ”tone-code” squelch, on kehittyneempi muoto squelchista. Pilotti-signaali koodaa lähetettävään radioaaltoon mukaan ylimääräisen signaalin. Vastaanotin pitää kanavan mykistettynä, kunnes se kuulee signaalin mukana tulevan pilottiäänien. Pilottiäänien mukana lähetin voi myös lähettää ylimääräistä informaatiota vastaanottimelle, kuten esimerkiksi lähettimessä jäljellä olevan virran. (Shure)

Jos langattomista ei kuulu mitään, vaikka taajuudet ovat asetettu oikein ja mittareissa näkyy, että radiosignaalia vastaanotetaan, on hyvä käydä tarkastamassa pilotti ja squelch asetukset molemmista päistä signaaliketjua. Jos lähettimestä on jostain syystä otettu pilottisignaali pois päältä pysyy vastaanotin mykistettynä, kunnes se aktivoidaan.



Kuva 8 Pilottisignaali

2.1.5 Järjestelmien yhteensopivuus

Kun käytetään langattomia järjestelmiä, saattaa langattomien käyttäjä herkästi huomata, että eri valmistajien laitteet eivät välttämättä ”keskustele” keskenään. Lähtökohtaisesti ei ole suositeltavaa sekoittaa ristiin eri valmistajien lähettimiä ja vastaanottimia.

Kaikki digitaaliset järjestelmät käyttävät omaa algoritmia langattoman signaalin moduloimiseen ja jotta vastaanotin pystyy purkamaan tämän signaalin, sen täytyy käyttää samaa algoritmia vastaanottimessa. Ja koska jokaisella valmistajalla on oma algoritmi signaalin koodaamiseen, ei signaalia pysty purkamaan toisen valmistajan laitteessa. (Shure.com)

Analogiset järjestelmät voivat kuulla toisensa, mutta sekään ei ole taattua. Analogisella FM signaalilla on parhaimmillaan noin 50dB dynamiikka-alue, joka ei ole mitenkään hirveän suurta. Maksimoidakseen signaalin tällä dynamiikka-alueella

analogiset järjestelmät hyödyntävät ”compander” tekniikkaa signaalin laadun parantamiseksi.

Compander on sanojen compressor ja expander sulautuma. Compander toimii sillä, että lähettimessä signaali ajetaan kompressorin läpi, jotta pystytään pakkaamaan signaalin dynamiikka pienemmäksi lähetystä varten. Vastaanottimessa signaali ajetaan vuorostaan laajentimen, eli expanderin lävitse, jonka algoritmi on käänteinen lähettimen kompressoriin nähden. (Stephens) Tällä tavalla menetelmällä pystytään palauttamaan signaalin alkuperäinen dynamiikka. Valmistajilla on omat compander-algoritmit, joita heidän laitteensa hyödyntää.

Radiojärjestelmien valmistajilla on usein laitteissa yhteensopivuustiloja, joilla pahassa paikassa saa signaalin kulkemaan. Nämä yhteensopivuustilat eivät kuitenkaan ole laadultaan yhtä hyviä, kuin valmistajien omat algoritmit. Tämän johdosta ei analogisiakaan laitteita kannata käyttää ristiin.

Digitaaliset järjestelmät eivät hyödynnä companderia signaalin lähettämiseen, koska signaali muunnetaan digitaaliseen muotoon ennen lähetystä. Tämä johtaa teoreettisesti puhtaampaan signaaliin. (Stephens)

Vastaanottimista saattaa löytyä yhteensopivuustila, esimerkiksi Wisycomin vastaanottimissa on olemassa asetus, jonka avulla se pystyy kuuntelemaan Sennheiserin lähettimiä, mutta äänenlaatu ei valmistajien kesken ristiin mennessä ole vastaava, mikä samalta valmistajalta olevassa laitteessa olisi. Yhteensopivuustiloilla voidaan myös menettää muita hyödyllisiä ominaisuuksia. Esimerkiksi pilot-tiään toimiminen ei valmistajien laitteiden välillä ole taatua.

2.2 Antennit

Langattomat järjestelmät vaativat toimiakseen antennin. Antenni on muunnin, joka muuntaa sähkövirran radioaaltoiksi, tai toisin päin. Kaikki antennit toimivat resiprookkisesti. (Boomer). Käytännössä tämä tarkoittaa, että sama antenni toimii molempiin suuntiin, lähettävänä tai vastaanottavana. Äänitekniikan

termistöön tottuneemmat ihmiset, voivat käsittää antennin samalla tavalla kuin AD/DA muuntimen. Erona on se, että kun AD muunnin muuntaa jännitteen digitaaliseen muotoon, niin antenni muuntaa sähkövirran radioaaltoiksi.

Antenneja on montaa erilaista tyyppiä, joilla on erilaisia ominaisuuksia, joita hyödyntämällä pystytään toimimaan erilaisten vaatimusten ja radioympäristöjen mukaan.

2.2.1 Erilaiset antennityypit

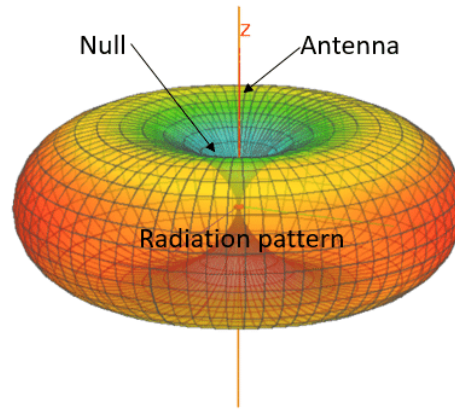
Kaikista yleisin antenni, jota äänen taltioinnissa käytetään, tunnetaan nimellä $\frac{1}{4}$ wave antenna, eli piiska-antennina. Piiska-antennit vastaanottavat radioaaltoja kaikista suunnista atsimuutissa, sekä mikä tärkeintä, ovat hyvin pieniä.



Nimensä $\frac{1}{4}$ eli "quarter-wave antenna" saa siitä, että antennin fyysinen pituus

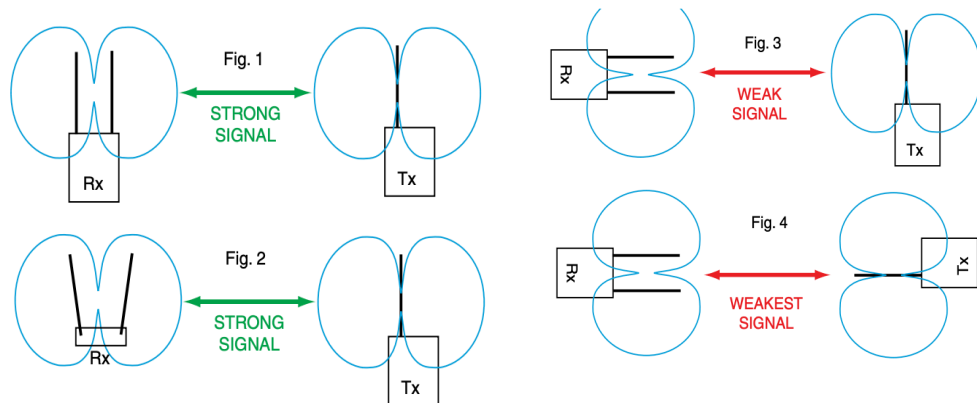
Kuva 9 Piiska-antenni

on neljäsosa radioaallon koosta. Antennin pituudella on siis hyvin paljon väliä sen kannalta, että minkä taajuuden signaaleja antenni kykenee vastaanottamaan. Piiska-antennit ovat siis optimoitu toimimaan tietyllä taajuudella. (Sound Devices)



Kuva 10 Piiska-antennin säteilykuvio

Piiska-antenni säteilee atsimuuttinsa suhteen tasaisesti jokaiseen suuntaan. Piiskat ovat siis äärimmäisen huonoja vastaanottamaan signaaleja kärjen tai pohjan kautta. On erittäin tärkeää, että piiskoja käytettäessä, ei antennin kärjellä osoiteta vastaanotettavaa kohdetta.



Kuva 11 Piiska-antennien aseointi. Vasemmalla vahva signaali antennien ollessa suunnattu oikein. Oikealla heikko signaali. Antennien kärjet osoittavat toisiaan.

Lähettimissä on melkein aina piiska-antenni pienen kokonsa takia. Ainoa poikkeus saattaa tapahtua silloin, kun lähetin on käytössä äänittäjän karrystä lähteville signaaleille, ja se on kytketty suurempaan anteeniin paremman hyötysuhteen tai asemoinnin saavuttamiseksi.



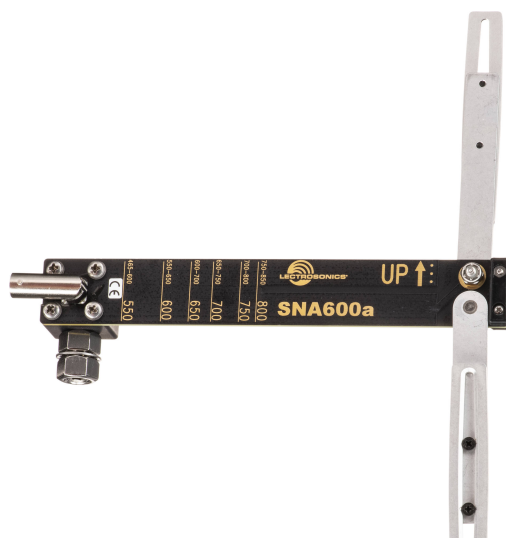
Kuva 12 Äänilaukku, joka on rakennettu valjailla kannettavaksi. Kaikki vastaanottimet toimivat piiska-antenneja hyödyntäen.

Vastaanottimissa käytetään usein myös $\frac{1}{4}$ antenneja, jos ollaan työskentelemässä ”laukkukeikalla” jossa äänittäjällä on laukku valjailla ja ollaan lähellä toimintaa. Tällaisessa tilanteessa välimatka lähettimen ja vastaanottimen välillä on harvoin kovin suuri. Piiska-antennin hyötysuhde ei ole yhtä suuri kuin esimerkiksi dipoliantennin, mutta lyhyemmästä välimatkasta johtuen siitä koituu harvoin ongelmia.

Piiska-antenni hyödyntää vastaanottimen/lähettimen runkoa signaaliin vastaanottamisessa. Piiskat toimivat siis erittäin huonosti, jos sen kytkee irrallisena vastaanottimen rungosta. Antenni käyttää vastaanottimen runkoa maadoituksena, joka toimii heijastimena muodostaakseen toisen puoliskon aallosta.

(Lectrosonics) Yksinkertaistettuna tämä vain tarkoittaa sitä, että toimiakseen, $\frac{1}{4}$ antennin pitää olla kiinni lähettimessä/vastaanottimessa kun taas muut käytetyt antennityypit pystytään nostamaan jalustalle, ja asemoimaan optimaalisemmin.

Seuraava antennityyppi on nimeltään ”dipoli” tai ”1/2 antenni. Dipolia voi ajatella 1/4 antennin isoveljenä. Nimensä 1/2 antenni saa 1/4 antennin tapaan fyysisestä koostaan. Dipoliantennin pituus on siis puolet radioaallon taajuudesta. Dipolilla on samanlaiset fyysiset ominaisuudet kuin 1/4 antennilla, eli se säteilee kaikkiin suuntiin atsimuutillaan yhtä vahvasti. Samat säännöt pätevät antennin kärkien kanssa, eli kannattaa välttää signaalin lähteen osoittamista dipolin kärjellä.



Kuva 13 Lectrosonics SNA600a Dipoliantenni

Dipoliantennin etu piiska-antenniin on se, että se ei vaadi lähettimen runkoa toimimiseen. Piiska-antenni vaatii lähettimen tai vastaanottimen rungon toimiakseen. Laitteiden runko ei ole kuitenkaan optimaalinen signaalin vastaanottoa ajatellen. Dipoli siis useimmiten toimii korkeammalla hyötysuhteella kuin piiska-antenni. (Lectrosonics)

LPDA eli Log-Periodinen antenni on yleisin draamatuotannossa langattomien radiovastaanottimien kanssa käytetty antennityyppi. Nimensä ”Log-periodinen” se saa rakenteestaan, jossa ”Antennin ominaisuudet toistuvat jaksollisesti taajuuden logaritmin suhteen” (Räisänen). Toisin sanoen LPDA antenni yhdistää dipolielementtejä tavalla, joka aiheuttaa kaksi hyvin tärkeää ominaisuutta.

Ensimmäinen ominaisuus aiheuttaa sen, että antenni on herkkä suuremmalle taajuusalueelle kuin yksittäinen dipoliantenni. Kun dipolin kattama optimaalinen taajuusvaste on noin 50–60 MHz (SoundDevices.com), on LPDA antennin taajuusvaste paljon laajempi. Esimerkiksi Lectrosonicsin ALP500 antennin

taajuusalue on 450–862 MHz, (Lectrosonics.com) joka kattaa käytännössä koko laillisesti käytössä olevan taajuuskaistan. Äänittäjän käyttämien kanavien taajuudet ovat usein hyvin laajalla spektrillä, jolloin LPDA antennin tarjoama laaja kaista on optimaalisempi kaikkien signaalien vastaanottamiseen, kuin yksittäinen dipoliantenni.



Kuva 15 Lectrosonics ALP500 antenni

Toinen tärkeä ominaispiirre, joka on ominaista LPDA antennille on suuntaavuus. Antennien suuntaavuudesta kerron lisää seuraavassa luvussa.

Neljäs antennityyppi, johon elokuvatuotannossa saattaa törmätä, on heliksiantenni. Heliksiantennin ominaispiirre on vasen tai oikeakätisesti kierretty johdin. Kierteen ansiosta antenni säteilee ”pyöreässä polarisaatiossa”. Tämä tarkoittaa, että antenni ei välitä lineaarisen antennin polarisaatiosta, vaan toimii samalla voimakkuudella antennin orientaatiosta riippumatta. Heliksit ovat kaikista käy-



Kuva 16 Shuren HA-8241 Heliksiantenni

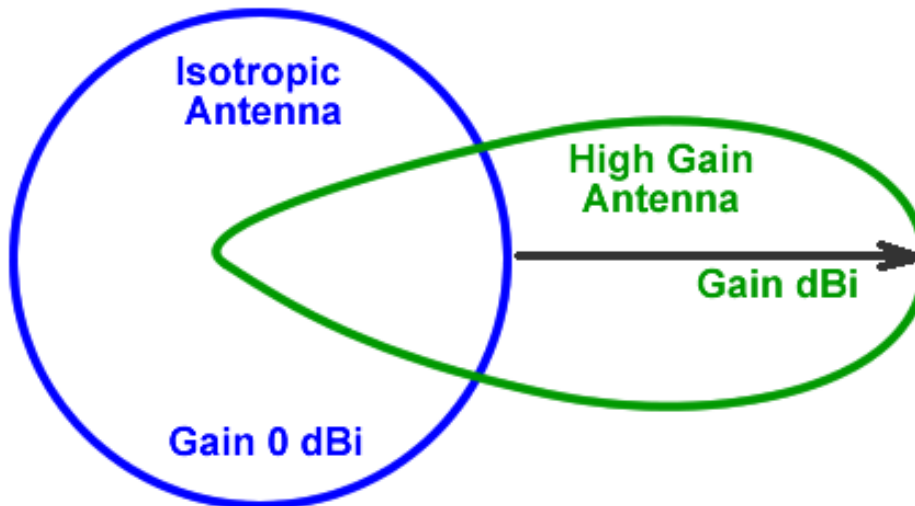
tössä olevista antenneista kapeimman keilan omaavia antenneja. (Rochman)

Heliksiantenneja käytetään usein korvamonitorien kanssa lähettävänä antennina tapahtuma, tai studiotuotannoissa juuri pyöreän polarisaationsa takia. Tämä pitää signaalin mahdollisimman tasaisena, vähentäen liikkeestä johtuvia mahdollisia häiriöitä. (Boomer)

2.2.2 Antennin suuntaavuus.

Suuntaavuus on yksi antennien perusominaisuuksista. Se mittaa sitä, miten suuntaava antennin säteilykuvio on. Antennin suuntaavuus ilmoitetaan useimmiten lyhtenteillä dB, eli desibeli, tai dBi, ”decibels relative to an isotropic antenna”. (Bevelacqua)

Antennien suuntaavuutta useimmiten määritetään termillä ”gain”. Gain merkitsee antennin kykyä säteillä tiettyyn suuntaan. Kaikkiin suuntiin tasaisesti säteilevällä, ”isotrooppisella antennilla” ei siis ole suuntaavuutta ollenkaan. Tämän tyyppisen antennin suuntaavuus olisi 0dB.



Kuva 17 Antennin suuntaavuus suhteessa isotrooppiseen antenniin

Antennin suuntaavuus on eri asia kuin radiolähettimen lähetysteho, joka mitataan wateissa, joka viittaa radiolähettimen lähetystehoon.

Antenneista puhuttaessa gain kuvastaa siis sitä, kuinka voimakkaasti radioaalto säteilee tiettyyn suuntaan (suhteessa isotrooppiseen lähteeseen). (Bevelacqua)

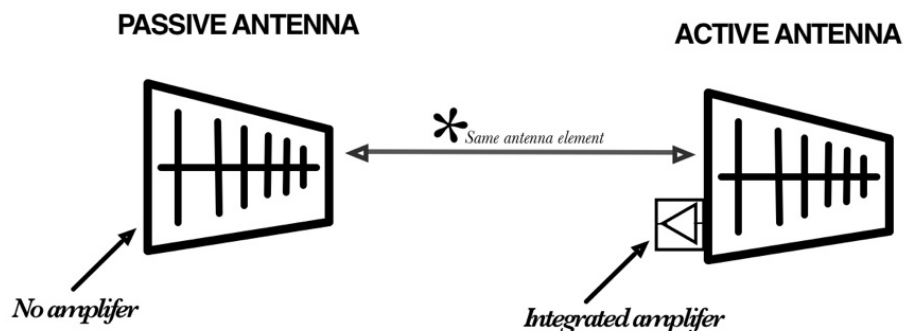
Toisin sanoen, esimerkkinä meillä on samassa kohdassa kaksi lähettävää antennia. Antenni A on isotrooppinen antenni, jonka gain on 0 dB ja antenni B on antenni, jolla on 3 dB gain. Kun lähetämme radiosignaalia molemmista antennista samalla voimakkuudella, antenni B:n signaali on vastaanottavassa antennissa 3 dB voimakkaampi.

Elokuvakäytössä suositaankin äänikärryssä vastaanottimien antennina usein LPDA antennija, näiden hyvän suuntaavuuden takia. Kuvaustilanteessa voi olla kohtausta, jossa näyttelijät kävelevät hyvin monen sadan metrin matkan, jolloin antennin suuntaavuuden tuoma kantama voi hyvinkin olla ero käytettävän ja käyttökelvottoman signaalin välissä.

Yksi hyödyllisimmistä ominaisuuksista joka suuntaavilla antennilla on se, että ne hylkivät signaalia, joka osuu niiden takapuolelle. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää erittäin tehokkaasti. Jos kuvauspaikalla on jokin voimakas häiritsevä radiosignaalia lähettävä laite, voidaan suuntaava antenni asemoida siten, että epähaluttu lähde jää antennin taakse. Näin menettelemällä pystytään minimoimaan häiriösignaali hyvin yksinkertaisesti pelkästään antennin oikealla sijoittelulla. Tämä ei tietenkään aina ole elokuvatuotannossa mahdollista, sillä kuvan rajaus määrittää mihin äänikärry ja antennit pystytään asemoimaan.

2.2.3 Passiiviset ja aktiiviset antennit

Elokuvakäytössä antennit jakaantuvat kahteen tyyppiin. Aktiivisiin ja passiivisiin. Molemmissa tyypeissä antennielementti on samanlainen, ja ainoa ero on se, että aktiivisissa antennissa on vahvistin, joka lisää signaalin voimakkuutta.



Kuva 18 Passiivisen ja aktiivisen antennin ero

Aktiiviantennista voi siis nostaa tehoa. Tämä tehon nosto ei kuitenkaan merkitse antennin vastaanottotehon nostoa, vaan signaalia, joka lähtee antennista eteenpäin. Aktiiviantennin vahvistusta käytetään siis signaalitiessä tapahtuvan hävikin kompensoimiseksi. (Milne)

Aktiiviantennien käytössä kannattaa olla varovainen. Signaalin vahvistuksella voi olla päinvastainen vaikutus, kuin toivottu tehon lisääminen. Äänikärryssä antennien ja vastaanottimien välimatka on yleensä hyvin pieni, ja hävikkiä ei pääse merkittävästi tapahtumaan. Vahvistimella signaalin voimakkuuden lisääminen saattaa pahimmillaan yliajaa vastaanottimen etuasteet, ja sen sijaan, että saisi signaalin voimakkaammaksi, tulee nostettua pohjakohinaa ja pienennettyä dynamiikkaa. (Milne)

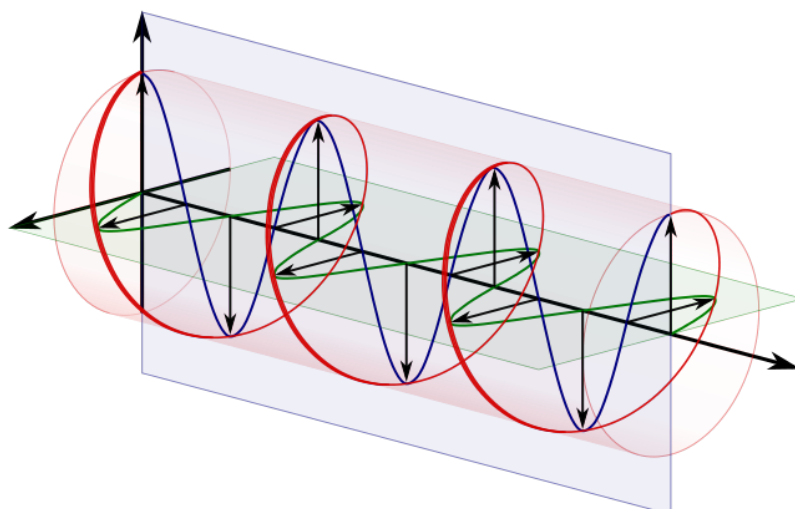
2.2.4 Polarisaatio.

“Polarisaatio kuvaa liikkeen muotoa, jonka sähkömagneettinen aalto saa liikkessaan avaruudessa.” (RFVenue) Antennit voidaan kategorisoida pääsääntöisesti lineaarisesti polarisoituihin, ja pyöreästi polarisoituihin aaltoihin. Antennin polarisaatio merkitsee antennista säteilevän aaltoliikkeen muotoa. Lineaarisesti polarisoidut antennit rajoittavat radioaallon liikkeen yhteen tasoon. (rfvenue) Pyöreästi polarisoidut antennit sen sijaan lähettävät pyörivää aaltoa. Antennin ja radioaallon polarisaatio kulkevat siis käsikädessä (Weber).

Lineaarisesti polarisoitujen aaltojen reunat (jotka voivat olla pystysuoraa, vaakasuoraa tai mitä tahansa lähetysantennin suuntaista aaltoliikettä,) kulkevat tasaisesti tasoa pitkin. (Boomer)

Pyöreän polarisaation voi puolestaan ymmärtää niin, että "Aallon reunat pyörivät ympyrää aallon liikkeessä eteenpäin avaruudessa luoden spiraalin muodon." (Boomer)

Tekstistä polarisaatiota voi olla vaikea havainnollistaa. Alla olevassa kuvassa nähdään vihreällä vaakasuorassa eli horisontaalisesti polarisoitu lineaarinen aalto, sinisellä pystysuorassa eli vertikaalisesti polarisoitu lineaarinen aalto, ja punaisella pyöreänä kulkeva pyöreästi polarisoitu aalto.



Kuva 19 Kolme eri polarisaation suuntaa. Sinisellä lineaarisesti polarisoitu vertikaalinen aalto. Vihreällä Lineaarisesti polarisoitu horisontaalinen aalto ja punaisella pyöreästi polarisoitu oikeakätinen aalto

Lähettimen signaalin polarisaatiolla saattaa olla rajuja vaikutuksia vastaanotetun signaalin voimakkuuteen. Havainnollistavana esimerkkinä lineaarisesti polarisoitu antenni, vastaanottaa lineaarisesti polarisoidusta lähettimestä tulevaa signaalia, eli esimerkiksi näyttelijän radiomikrofonista $\frac{1}{4}$ antennin kautta lähtevää signaalia, joka vastaanotetaan äänikärryssä LPDA antenniin.

Kun antennit molemmat ovat samassa polarisaatiossa, ne kuulevat toisensa parhaalla mahdollisella tasolla. Mutta jos näyttelijä esimerkiksi kumartuu, jolloin näyttelijän selässä olevan lähettimen antenni menee 90 asteen kulmaan

vastaanottavaan antenniin verrattuna voi signaalin voimakkuudessa tapahtua pahimmillaan jopa 30 dBm hävikki. (Boomer)

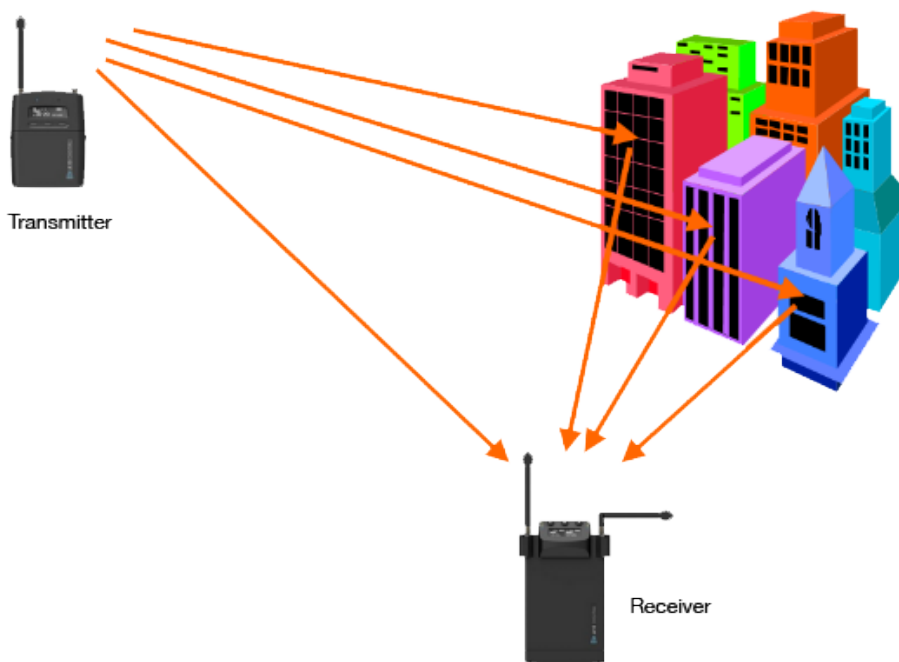
Polarisaatio on tieteellisesti mitattu ilmiö, mutta henkilökohtaisesti en ole vielä kokenut, että antennien polarisaation ollessa ristiin keskenään, olisi järjestelmän kantavuus merkittävästi huonompi. Lectrosonicsin ex-toimitusjohtaja Larry Fisher on todennut vuonna 2013 JWSoundgroup.net foorumin keskustelussa, että Lectrosonicsin testeissä ei ole huomattu signaalissa merkittävää eroa antennien orientaatiosta huolimatta. Samaan viestiin hän kuitenkin toteaa, että muut äänittäjät ovat kokeneet antennien kulman muuttamisen auttavan hiukan. (Fisher 2013)

Antennien polarisaatio on kuitenkin hyvä pitää mielessä. Vaikka polarisaatio ei välttämättä olisi syy, miksi signaali katkeaa, on se silti hyvä tiedostaa antenneja asemoidessa. Jos polarisaatiosta johtuvan katkeamisen voi välttää yksinkertaisesti asemoimalla lähettimen tai vastaanottavan antennin eri tavalla kannattaa se ottaa huomioon.

2.2.5 ”Multi-path” ja diversiteetti.

Yksinkertaisimmillaan radiosignaali kulkee suoraa tietä pitkin lähettävästä antennista vastaanottimeen. Tällainen signaalin kulku on kuitenkin erittäin harvinaista, koska se voi toteutua käytännössä vain ulkoilmassa hyvin tasaisessa ja esteettömässä maastossa. (Boomer)

Suurimmanosan ajasta signaali kulkee kuitenkin tilassa/ympäristössä, jossa on erilaisia pintoja, joista radioaallot pääsevät heijastumaan. Antenni siis poimii suoran, halutun signaalin lisäksi myös monia heijastuksia. Koska heijastukset kulkevat matkalla antenniin eri reittejä pitkin, ne tunnetaan termillä ”multi-path”.



Kuva 20 Multi-path heijastukset visualisoituna

Heijastusten johdosta antenniin saapuu ”sama” signaali, useita kertoja, eri voimakkuuksissa, ajassa, tai vaiheessa. Tämä aiheuttaa vastaanotetun signaalin rajuakin vaihtelua, joka voi aiheuttaa pahimmassa tapauksessa signaalin täyden katkeamisen. (Sound Devices)

Tätä efektiä on käytännössä mahdoton vältellä, ja jos käytössä on vain yksi antenni, on hyvin todennäköistä kohdata häiriötä signaalissa.

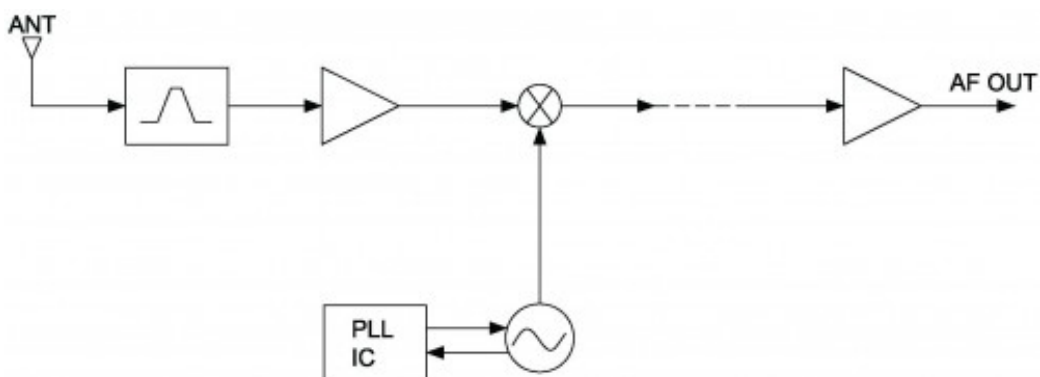
Ääniosaston langattomat järjestelmät ovat kuitenkin suunniteltu toimimaan tätä ongelmaa vastaan. Vastaanottimet toimivat useimmiten kahden tai useamman antennin voimin. Tätä kutsutaan diversiteetiksi.

Diversiteetti perustuu yksinkertaistettuna siihen, että vastaanottimeen syötetään kaksi erillistä antennia, jotka sijaitsevat erillään toisistaan. On hyvin epätodennäköistä, että kahteen erilliseen antenniin osuisi samaan aikaan häiriötä aiheuttavia signaaleja. Vastaanotin voi automaattisesti valita antennien väliltä vahvemman signaalin, ja täten välttää suurimman osan heijastumista aiheutuvista häiriöistä.

Antennien oikeaoppinen sijoittelu on hyvä tiedostaa. ”Jos kaksi samansuuntaisesti polarisoitua antenna sijaitsee hyvin lähellä toisiaan, ne saattavat alkaa vaikuttaa toisiinsa ja alkavat toimia yhtenä antennina (Milne). Milnen mukaan on erittäin haastavaa mitata, milloin ilmiö oikeasti alkaa vaikuttaa, mutta se vaatii kuitenkin sen, että antennit ovat äärimmäisen lähellä toisiaan, melkeinpä jopa päällekkäin.

Eriävät lähteet suosittelevat eri välimatkoja antennien välille. Toiset ovat sitä mieltä, että mitä kauempana toisistaan antennit ovat, sen parempi, kun taas toiset toteavat, että $\frac{1}{4}$ vastaanotettavan aallon pituudesta olisi tarpeeksi. Milnen mukaan antennien sijoittelulla ei ole testeissä näkynyt parannusta enää puolikkaan aallonmitan jälkeen. 470MHz taajuuden radioaalto, on pituudeltaan 63 cm, joten jos nyrkkisääntönä lähdetään siitä, että antennit sijaitsevat vähintään 30 cm päässä toisistaan, diversiteettiefekti saadaan aikaiseksi. Suurempi etäisyys ei kuitenkaan ole haitaksi. Tärkeintä asemoinnissa olisikin pyrkiä siihen, että molemmilla antennilla olisi suora näkyvyys lähettimen antennin kanssa. Diversiteetin voi kategorisoida kolmeen pääkategoriaan. Yhden antennin ”non-diversityyn”, tai kahden antennin ”Antenna diversityyn” ja ”true diversityyn”.

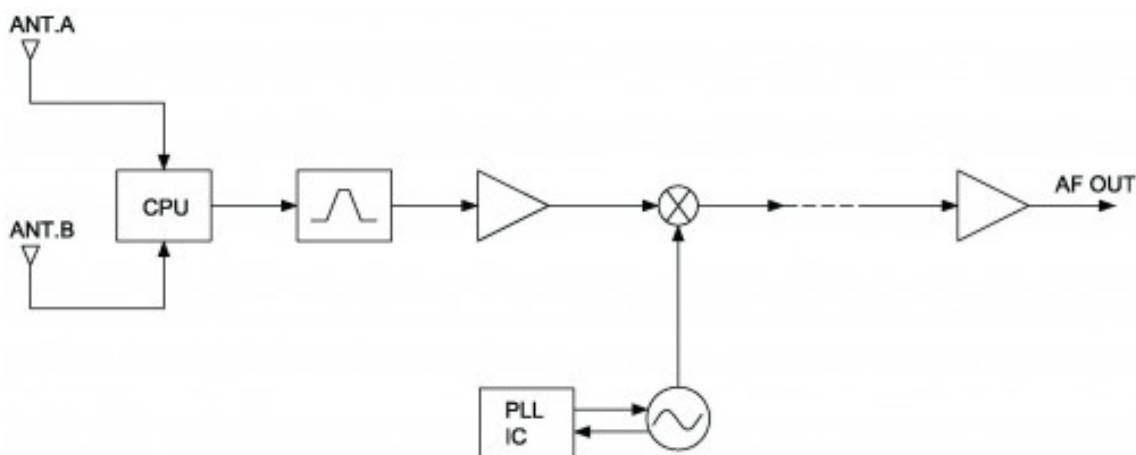
”Non-Diversity”ssä vastaanottimella on vain yksi antenni, joten diversiteettiä ei tietenkään ole. Tämä on halvin mahdollinen versio, ja käytännössä vastustuskyvyn häiriösignaaleja vastaan. (Avlex)



Kuva 21 Non-diversity

Ensimmäinen diversiteetin muoto on nimeltään antennidiversiteetti, jossa vastaanotin käyttää kahta antenna hyväkseen signaalin vastaanottamisessa.

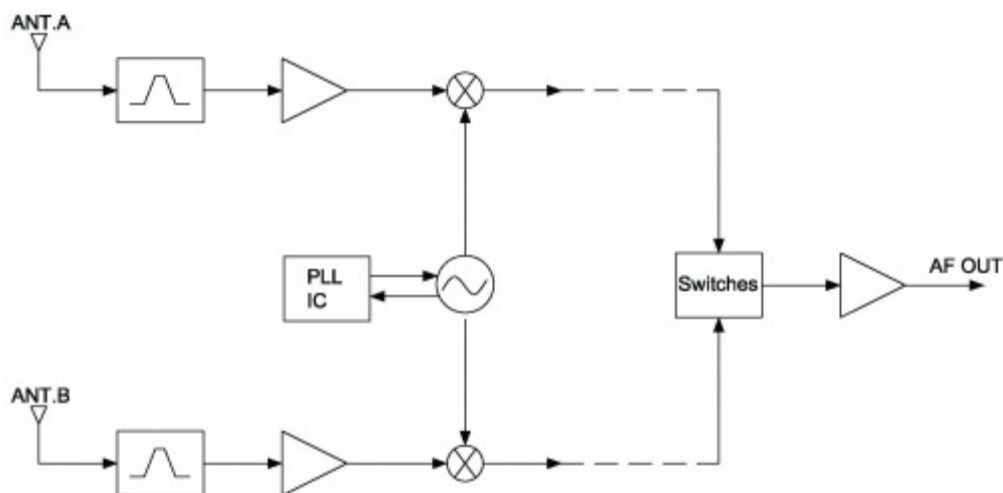
Antennidiversiteetin toiminta perustuu vastaanottimessa oleva prosessoriin, joka vertailee kumpi antenni vastaanottaa voimakkaampaa signaalia, ja vaihtaa automaattisesti aina vahvempaan radiosignaaliin, täten välttämällä signaalin puuttamisen ja pahimmat häiriöt. (Avlex)



Kuva 22 Antennidiversiteetti

Antennidiversiteetin heikkous on se, että se monitoroi pelkkää raakaa radiosignaalin voimaa. On myös tapauksia, joissa antennin A vastaanottama signaali on voimakkaampi kuin antennin B, mutta A:n vastaanottama signaali on laadultaan kuitenkin huonompaa. (Sound Devices) Tästä johtuvan signaalin heikkenemisen voi välttää kalliimmilla "True-Diversity" järjestelmillä.

Kolmas taso diversiteetistä kulkee nimellä "True-Diversity". True-diversity järjestelmä ei vertaa keskenään pelkästään voimakkaampaa radiosignaalia, vaan signaalia, jonka "laatu" on parempi.

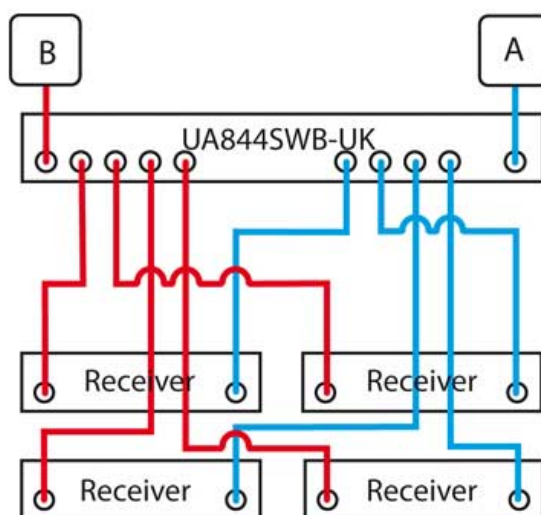


Kuva 23 "True-Diversity"

True-Diversity järjestelmässä vastaanottimella on kaksi viritintä, jotka suodattavat kaikista antennin näkemistä taajuuksista sen tietyn taajuuden, jota halutaan vastaanottaa. Sen jälkeen vastaanotin vertaa näiden kahden viritinien signaalia, ja vertailee niitä, ei vahvuuden, vaan laadun kannalta. True-Diversity käy paljon kalliimmaksi, koska siinä on kaksi vastaanotinta yhtä kanavaa kohti.

2.2.6 Antennijaot

Äänittäjällä on käytössä usein useita erillisiä vastaanottimia. Olisi erittäin epäkäytännöllistä, jos jokaiselle laitteelle tarvitsisi oman antenniparin. Antennijako on tapa saada signaali samasta antenniparista usealle eri vastaanottimelle.



Kuva 24 Kaavio antennisignaalin jakamisesta neljälle eri vastaanottimelle

Samaan tapaan, kun on olemassa aktiivisia ja passiivisia ja antennoja, on myös aktiivisia ja passiivisia jakoja. Jos käytetään passiivista antennijakoa, joka kerta, kun signaali jaetaan, sen voimakkuus puolittuu, eli laskee 3dB:tä. Aktiivinen jako kompensoi tätä hävikkiä. (Colman) Shure suosittelee lähtökohtaisesti käyttämään aktiivista antennijakoa, jos käytössä on enemmän kuin kaksi vastaanotinta.



Kuva 25 Äänilaukussa käytettäviä pienikokoisia kannettavia antennijakoja.

2.2.7 Antennikaapeli

Antennikaapeli tunnetaan myös nimellä koaksiaalikaapeli. Koaksiaalikaapelia käytetään esimerkiksi television antennijohtona. Koaksiaalikaapelia on kahta eri tyyppiä. Kaapeleita on 75 Ohmin vastuksella, ja 50 Ohmin vastuksella. 75 Ohmin kaapeleita käytetään useimmiten videosaaleihin, kun taas 50 Ohmin kaapeleita käytetään langattomissa järjestelmissä. (Henshall)

Kameraosaston monitoreissa voikin havaita usein samanlaista kaapelia, jota ääniosaston antennissa käytetään. Nämä ovat kuitenkin suuremman vastuksen kaapeleita. Pahassa tapauksessa videokaapelia voi käyttää antennissa, mutta niissä esiintyy vastuksen takia enemmän hävikkiä.

Koaksiaalikaapeli on paljon herkempi vahingolle, kuin muut kaapelit. Koaksiaalikaapelin toiminta perustuu pieneen johtimeen kaapelin keskellä, joka on ohuen punotun tai kiinteän metalliputken sisällä. Tämä ulompi suoja estää epähalutun

häiriön pääsyn johtimeen. Suojan vahingoittuminen voi merkittävästi vaikuttaa signaalin laatuun. (Milne)

Antennikaapelia löytyy usein joko BNC, tai SMA liittimillä varustettuna. BNC esiin-
tyy useimmiten antenneissa, kun taas SMA liitin on pienempi kooltaan, ja löytyy
usein vastaanottimista tai antennijaoista.



Kuva 26 Koaksiaalikaapeli, jossa vasemmalla BNC Liitin, ja oikealla SMA liitin.

Antennikaapelia tarvitaan, kun vastaanottimet ovat liian kaukana toiminnasta, ja antennien asemointi jäisi etäälle. (Henshall) Antennikaapelin avulla pystytään vetämään antennit lähemmäs toimintaa ilman, että äänikärä tai vastaanottimia täytyy tuoda fyysisesti lähemmäs settiä.

Antennikaapeliin täytyy kuitenkin suhtautua eri tavalla kuin tavallisiin äänikaapeleihin. Balansoidulla äänikaapelilla voidaan vetää hyvinkin pitkiä vetoja, ilman että se aiheuttaa ongelmia signaalin laadulle. Antennikaapeleissa signaalin hävikki on kuitenkin paljon suurempi ongelma. (Henshall)

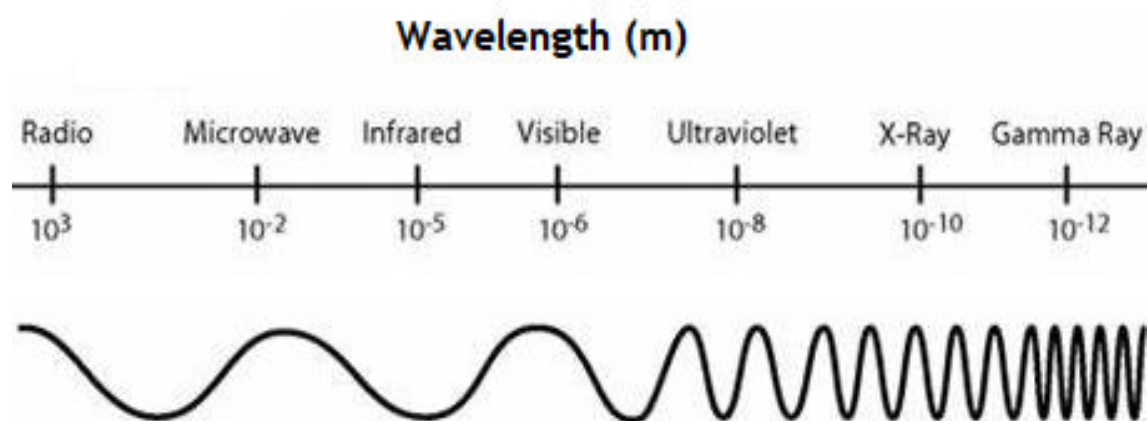
Antennikaapelissa tapahtuu noin 8–11 dB hävikki aina 30 metrin välein. (Milne) Milnen mukaan alle 15 metrin kaapelivedoissa ei ole tarvetta ulkoiselle vahvistukselle, jonka voi saada esimerkiksi aktiiviantennista.

Kun otetaan huomioon tämä hävikki, on suositeltavaa, että pidetään antennivedot aina mahdollisimman lyhyinä. Jos on mahdollista, sen sijaan, että vie antennin

kauas vastaanottimesta pitkällä antennikaapelilla, voisi yrittää viedä vastaanottimen lähemmäs antennia, ja vetää pidemmän vedon, vaikka balansoiduilla XLR kaapeleilla, tai Dantea hyödyntäen.

2.3 Radioaallot

Radioaallot ovat elektromagneettista säteilyä samaan tapaan kuin esimerkiksi mikroaallot, infrapuna, tai näkyvä valo. Käytännön ero näiden eri säteilyjen välillä on aallonpituus. Radioaallot ovat hyvin matalia, eli siis pitkiä aaltoja. (Boomer 2022)



Kuva 27 Elektromagneettinen spektri

2.3.1 Kantoaalto

Radiokanavan taajuus merkitsee kantoaallon taajuutta. Kantoaalto, on puhdas vakiotajuinen aalto. Se on hyvin samankaltainen kuin siniaalto. Kantoaalto ei vielä itsessään sisällä mitään hyödyllistä informaatiota. Liittääksemme halutun signaalin kantoaaltoon toinen aalto täytyy liittää kantoaaltoon. Tämä signaalin liittäminen tunnetaan modulaationa. Modulaatio muuntaa kantoaallon muotoa, ja ”koodaa” äänisignaalin, jota haluamme lähettää suoraan radioaaltoon. Vastaanottimessa voimme purkaa tämän modulaation, ja muuntaa sen signaalin takaisin äänisignaaliksi. (Noordhof, Jan)

2.3.2 Modulaatiometodit

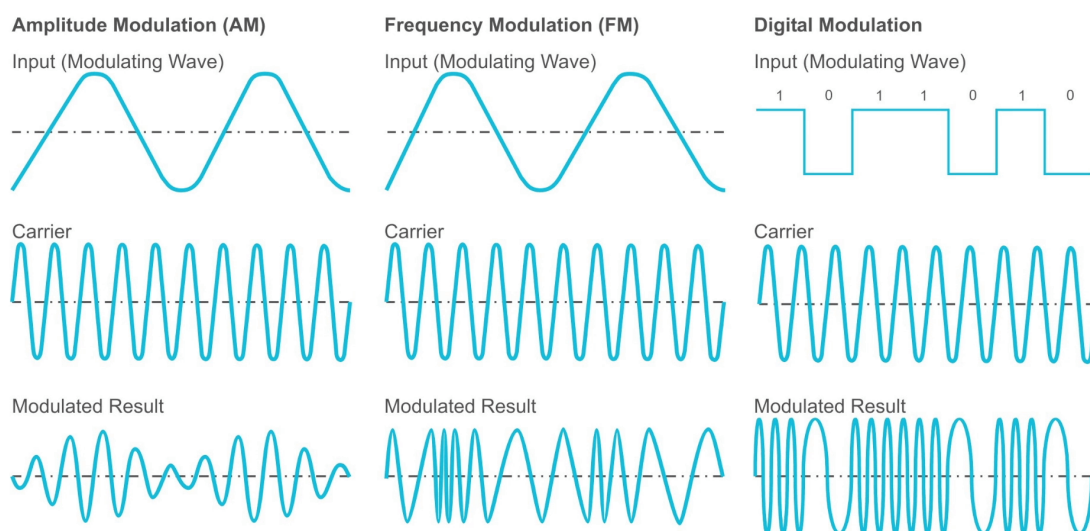
Aaltoliikkeellä on kolme perusominaisuutta. Amplitudi, eli aallon korkeus, Taajuus, eli kuinka monta kertaa aalto toistuu sekunnin aikana, ja vaihe. Missä vaiheessa aalto on kunakin hetkenä.

Lähtökohtaisesti on olemassa kolme erilaista metodia signaalin moduloimiseen.

Amplitudimodulaatiossa eli AM modulaatiossa (amplitude modulation) muunnetaan kantaallon amplitudia, eli voimakkuutta.

Taajuusmodulaatiossa eli FM modulaatiossa (frequency modulation) muunnetaan kantaallon taajuutta. Suurin osa langattomista järjestelmistä toimii analogista FM modulaatiota hyödyntäen, (Alex Milne).

Digitaaliset modulointimetodit ovat hiukan monimutkaisempia. Analoginen signaali on sähkövirtaa, eli aaltoliikettä. Digitaalisesti moduloitaessa täytyy ensin muuntaa analoginen äänisignaali digitaalisiksi ykkösiksi ja nolliksi, jonka jälkeen se voidaan muuntaa aalloksi, jonka voi taas liittää vuorostaan kantaaltoon.



Kuva 28 Modulaatiometodit

Kaikki radiolähettimet toimivat moduloimalla analogista kantaaltoa. ”Analogisen” ja ”Digitaalisen” lähettimen erottaa se tapa, jolla moduloidaan ääniaalto mukaan kantaaltoon. (Boomer)

2.3.3 Taajuusalue

Televisiokanavat, ovat tarkasti määritettyjä radiotaajuuksia, jota käytetään televi-



sion lähettämiseen radioaaltoja pitkin. Alla olevassa kuvassa näkyy radiospekt-
rissä kanavien 26 ja 32 kohdalla aktiiviset televisiokanavat. Taajuuksia valitessa
on hyvä tiedostaa paikalliset televisiotoiminnan käytössä ja välttää niiden sisään
omien langattomien järjestelmien sijoittamisen.

Kuva 29 Kuvankaappaus Shuren Wireless workbench ohjelmasta, jossa punaisten
viivojen sisällä näkyy paikalliset televisiokanavat

Langattomista järjestelmistä puhuessa saattaa törmätä ”blokkeihin”, jotka saatta-
vat mennä helposti sekaisin edellä mainittujen televisiokanavien kanssa. Blokit
ovat Lectrosonicsin tapa ilmaista langattomien järjestelmien taajuusvasteen.
Lectrosonicsin blokki on noin 25 MHz suuruinen. Esimerkiksi blokin 25 lähettimen
taajuusvaste on 640 MHz – 665.5 MHz.

Jokaisella valmistajalla on oma tapa ilmaista laitteiden taajuusalue. Esimerkiksi
Sennheiserin evolution G sarjan lähettimet ja vastaanottimet ovat eri ”bandeissa”,
esimerkiksi A bandin taajuusvaste on 516–558 MHz

Blokkit ovat selkeä tapa varmistaa, langattomien järjestelmien yhteensopivuus. Lectronin blokin 25 lähetin ei toimi blokin 21 vastaanottimen kanssa, koska niitä ei voi virittää samalle taajuusalueelle. Vierekkäisten blokkien laitteilla saattaa toisaalta joskus olla pieni määrä päällekkäisyyttä, jolloin ne toimivat keskenään.



Kuva 30 Lectrosonicsin SMQV lähettimiä. Ylempi blokkia 19 ja alempi blokkia 25

Jokaisella valmistajalla on oma tapansa ilmoittaa taajuusvaste, joten on hyvä olla perillä kunkin valmistajan merkinnöistä. Tiedot löytyvät yleensä valmistajien verkkosivuilta, tai laitteiden kyljestä.

Blokkit ovat vanhanaikainen tapa rakentaa langattomia järjestelmiä. 25 MHz blokki tarkoittaa sitä, että joudutaan rajaamaan käytössä olevat langattomat hyvin kaapeleille taajuusalueelle. Nykyaikaisilla laitteilla, kuten Wisycomin MCR54 vastaanottimella pystytään virittymään mille tahansa taajuudelle 470 ja 774 MHz välillä. Nykyaikaiset laitteet siis mahdollistavat sen, että ei tarvitse miettiä, että millä blokillä lähettimet sijaitsevat, tai toimiiko tämä blokki tässä kaupungissa. Yksi laite pystyy kattamaan kaikki luvasta vapaana olevat taajuudet.

2.3.4 Lailliset taajuudet

Langattomat radiomikrofonit ovat laillisia käyttää, niin kauan, kun ne toimivat luvasta vapautetuilla taajuuksilla. Suomessa "Mikrofonin käyttäjä saa valita toimintataajuuden, mutta taajuuden pitää olla väliltä 174–195 MHz, 216–225 MHz, 470–694 MHz, 823–832 MHz, 863–865 MHz tai 1785–1804 MHz." (Traficom.fi)

Näiden taajuusalueiden ulkopuolelle menevien laitteiden käyttöön tarvitaan erillinen lupa.

Elokuvakäyttöön suunnitellut järjestelmät ovat ensisijaisesti UHF taajuuksilta 470-694MHz. Mikrofonien käyttö ei kuitenkaan saa aiheuttaa häiriötä televisiovastaanotolle.

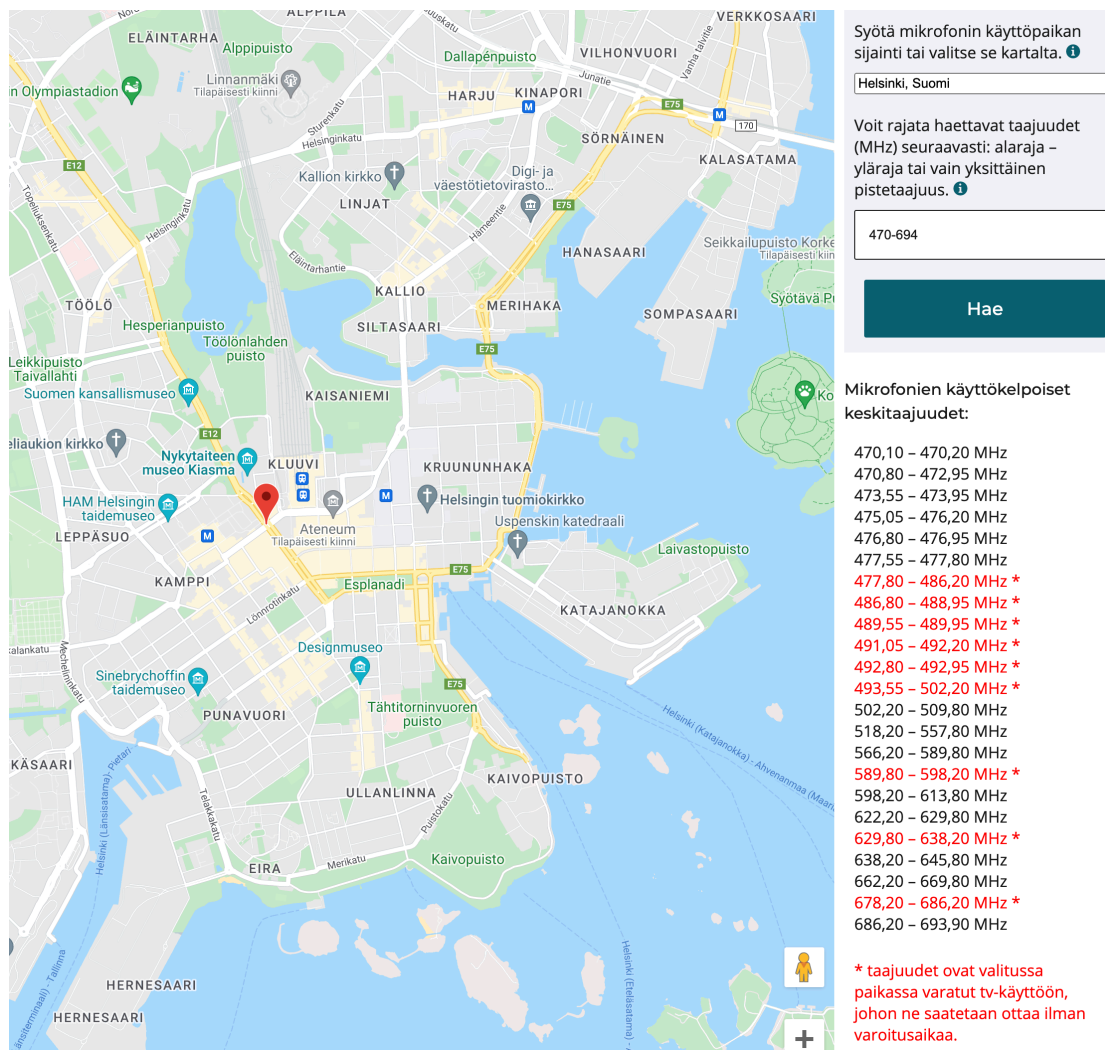
174-195 MHz (VHF)	Käyttö luvasta vapaata
216-225 MHz (VHF)	Käyttö luvasta vapaata
470-694 MHz (TV-UHF)	Käyttö luvasta vapaata
823-832 MHz (UHF)	Käyttö luvasta vapaata
863-865 MHz (UHF)	Käyttö luvasta vapaata
1785-1804,8 MHz (UHF)	Käyttö luvasta vapaata

Kuva 31 Luvasta vapaat mikrofoniaajuudet Traficomien nettisivuilta

Helppo keino tarkistaa paikkakunnilla käytössä olevat taajuudet, on Traficomien verkkosivuilta löytyvä mikrofoniaajuuksien hakupalvelu. Palveluun voidaan syöttää mikrofonia haluttu käyttöpaikka, ja rajata taajuusalue, jota ollaan käyttämässä.

Sovellus on tarkoitettu etsimään sellaisia radiomikrofoniaajuuksia, jotka voidaan ottaa käyttöön heti ja joiden käyttöä voidaan tämänhetkisen tiedon perusteella jatkaa mahdollisimman pitkään.

Sovellus ei ota huomioon käytössä jo olevia mikrofonitaajuuksia, koska niitä ei rekisteröidä Traficomin toimesta. Sovellus ei myöskään huomioi mikrofonitaajuuksien toisilleen mahdollisesti aiheuttamia keskinäismodulaatiohäiriöitä. (Traficom.fi 2021)



Syötä mikrofonin käyttöpaikan sijainti tai valitse se kartalta. **i**

Helsinki, Suomi

Voit rajata haettavat taajuudet (MHz) seuraavasti: alaraja – yläraja tai vain yksittäinen pistetaajuus. **i**

470-694

Hae

Mikrofonien käyttökelpoiset keskitajuudet:

470,10 – 470,20 MHz
 470,80 – 472,95 MHz
 473,55 – 473,95 MHz
 475,05 – 476,20 MHz
 476,80 – 476,95 MHz
 477,55 – 477,80 MHz
 477,80 – 486,20 MHz *
 486,80 – 488,95 MHz *
 489,55 – 489,95 MHz *
 491,05 – 492,20 MHz *
 492,80 – 492,95 MHz *
 493,55 – 502,20 MHz *
 502,20 – 509,80 MHz
 518,20 – 557,80 MHz
 566,20 – 589,80 MHz
 589,80 – 598,20 MHz *
 598,20 – 613,80 MHz
 622,20 – 629,80 MHz
 629,80 – 638,20 MHz *
 638,20 – 645,80 MHz
 662,20 – 669,80 MHz
 678,20 – 686,20 MHz *
 686,20 – 693,90 MHz

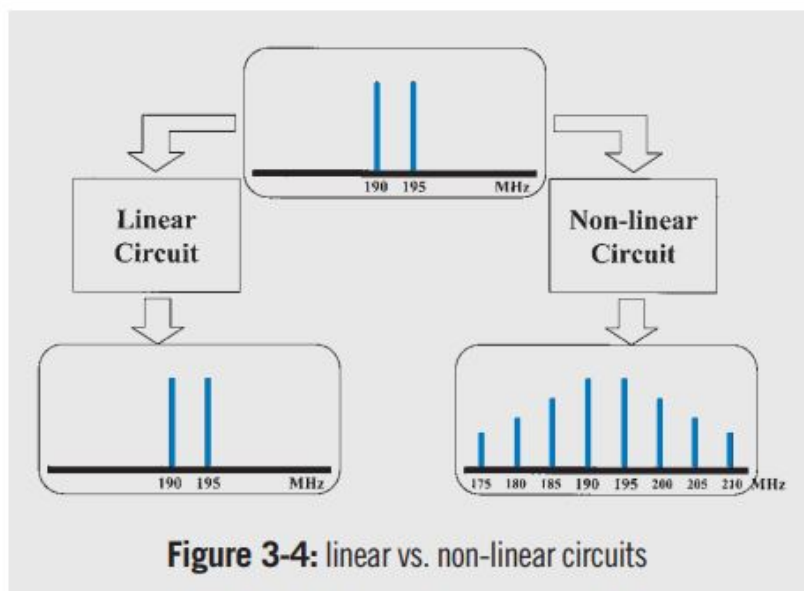
* taajuudet ovat valitussa paikassa varatut tv-käyttöön, johon ne saatetaan ottaa ilman varoitusaikaa.

Kuva 32 Traficom.fi mikrofonitaajuuksien hakupalvelu.

2.3.5 Intermodulaatio

Yksittäinen langaton järjestelmä voi teoreettisesti toimia millä tahansa valitulla taajuudella, jos oletetaan, että ulkoista radiohäiriötä ei ole.

Kun otamme käyttöön toisen järjestelmän, sen on toimiakseen oltava taajuudella, joka ei ole ensimmäisen kanavan käytössä. Radiolähetin ei siis pysty vastaanottamaan kahta erillistä signaalia, jotka saapuvat samalla taajuudella. Jos yksi signaali on merkittävästi voimakkaampi kuin toinen, vastaanotin saattaa kyetä erottamaan vahvemman signaalin ja toimia jollakin tapaa. Jos signaalit ovat lähellä samaa voimakkuutta, kumpikaan ei toimi kunnolla.



Kuva 33 Lineaarinen ja epälineaarinen virtapiiri

Kun lisäämme kolmannen järjestelmän mukaan, täytyy tiedostaa järjestelmien vuorovaikutus keskenään. Tärkein vuorovaikutuksen tyyppi tunnetaan intermodulaationa, tai keskinäismodulaationa. Opinnäytteessä olen puhunut, ja tulen puhumaan keskinäismodulaatiosta intermodulaationa.

Intermodulaatio syntyy, kun signaali kulkee epälineaarisen virtapiirin läpi. Kaikki radiovastaanottimet käyttävät epälineaarisia suodattimia muuntaakseen signaalin ääniaalloiksi.

Epälineaarille järjestelmälle tyypillistä on se, että sen ulostulossa esiintyy ”uusia” signaaleja, alkuperäisen signaalin lisäksi. Nämä signaalit koostuvat alkuuperäisen kantoaallon summista ja kerrannaisista.

Jos signaalille muodostuisi pelkästään näitä kerrannaisia, ei minkäänlaista ongelmaa syntyisi, sillä kerrannaiset esiintyvät kaukana käytössä olevilta taajuuksilta. Esimerkiksi taajuuden 500 MHz kerrannainen on taajuudella 1000 MHz.

Ongelma on kuitenkin se, että kaikki signaalit, ja niiden kerrannaiset vuorovai-
kuttavat keskenään, synnyttäen signaaleja taajuuksille, jotka eivät ole käytössä.

Intermodulaatiohäiriötä ei voi esiintyä kahden järjestelmän kesken, sillä niiden
keskenään aiheuttamat intermodulaatiot eivät voi osua samalle taajuudelle kan-
toaallon kanssa. Kolmella järjestelmällä se on jo mahdollista, ja sitä useammalla
jopa todennäköistä, jos taajuuksia ei koordinoita oikeaoppisesti.

Havainnollistaaksemme intermodulaation tuottamat ongelmat voimme valita
kolme hypoteettista taajuutta, ja laskea niiden väliset kolmannen asteen inter-
modulaatiot. Kolmannen asteen intermodulaatiot ovat periaatteessa hyvin yksin-
kertaisia laskea. Kaavat ja laskutositukset nähdään alapuolella.

$$F1 = 512,000 \text{ MHz}$$

$$F2 = 512,400 \text{ MHz}$$

$$F3 = 512,800 \text{ MHz}$$

$$512,000 + 512,400 - 512,800 = 511,600 \text{ MHz} \quad (F1+F2-F3)$$

$$512,000 + 512,800 - 512,400 = \mathbf{512,400 \text{ MHz}} \quad (F1+F3-F2)$$

$$512,800 + 512,400 - 512,000 = 513,200 \text{ MHz} \quad (F2+F3-F1)$$

$$512,000 \times 2 - 512,400 = 511,600 \text{ MHz} \quad (2F1-F2)$$

$$512,000 \times 2 - 512,800 = 511,200 \text{ MHz} \quad (2F1-F3)$$

$$512,400 \times 2 - 512,000 = \mathbf{512,800 \text{ MHz}} \quad (2F2 - F1)$$

$$512,400 \times 2 - 512,800 = \mathbf{512,000 \text{ MHz}} \quad (2F2 - F3)$$

$$512,800 \times 2 - 512,000 = 513,600 \text{ MHz} \quad (2F3 - F1)$$

$$512,800 \times 2 - 512,400 = 513,200 \text{ MHz} \quad (2F3 - F2)$$

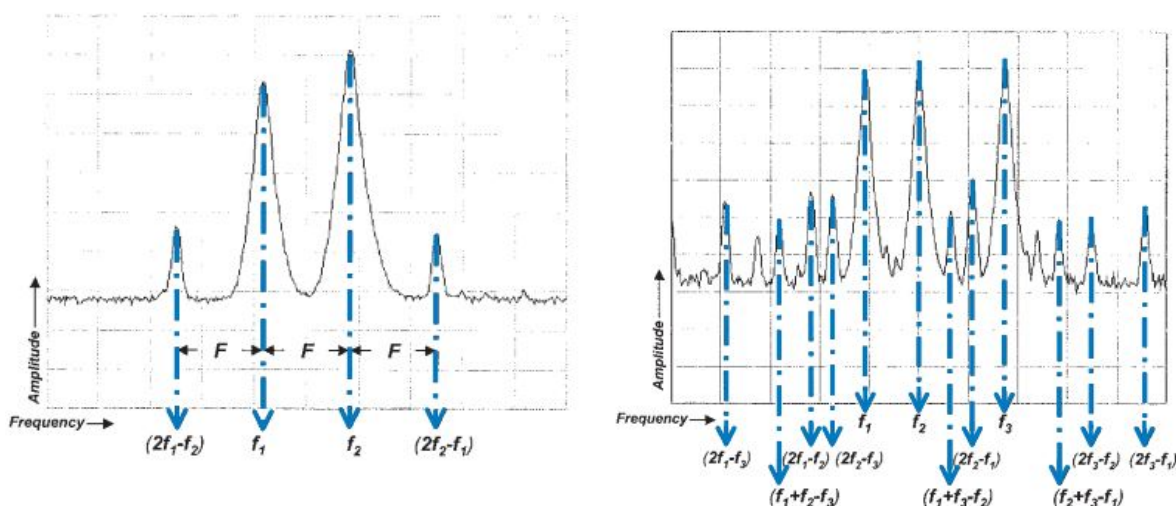
Näemme, että valitsemamme taajuudet aiheuttavat kolme eri osumaa alkuperäi-
sille kantaaltojen taajuuksille. Tämä päällekkäisyys aiheuttaa erittäin todennä-
köisesti signaalin katkeamisen, IMD3 johdosta.

Kolmella radiojärjestelmällä on yhteensä yhdeksän kolmannen asteen intermodulaatiota. Niiden lasku käsin vielä onnistuu, mutta lisätessämme radiojärjestelmien määrää, myös intermodulaatioiden määrä kasvaa eksponentiaalisesti.

TX List		
Channel 2		00 - 512.000
Hits Created: 2 Hits Received: 1	TV21	Lectrosonics Block 20
Channel 1		04 - 512.400
Hits Created: 3 Hits Received: 1	TV21	Lectrosonics Block 20
Channel 3		08 - 512.800
Hits Created: 2 Hits Received: 1	TV21	Lectrosonics Block 20

Kuva 34 Kuvankaappaus FreqFinder ohjelmasta, jossa näkyy valitsemamme hypoteettiset taajuudet, ja ilmoitus, että näiden välille osuu intermodulaatiota

Järjestelmässä, jolla on 4 kantaaltoa, esiintyy 16 kappaletta kolmannen asteen intermodulaatiota. Viidellä kantaallolla, näitä esiintyy 40, ja 10 kanavan järjestelmässä on jo 480 erillistä kolmannen asteen modulaatiota. (Kos, ym. 2006)



Kuva 35 Vasemmassa kaaviossa kahden järjestelmän ja oikeassa kolmen järjestelmän väliset "3rd order" intermodulaatiohäiriöt

Tämän eksponentiaalisen kasvun johdosta kolmannen asteen modulaatioiden käsin lasku olisi äärimmäisen aikaa vievää. Onneksi on kehitetty useita eri tietokoneohjelmia, tai sovelluksia, jotka voivat laskea taajuudet nopeasti ja tehokkaasti.

3 Taajuuksien koordinointi

Jos toimitaan usean langattoman järjestelmän kanssa, on välttämätöntä, että koordinoi taajuudet keskenään. Taajuuksien koordinoinnilla vältetään omien laitteiden keskenään aiheuttamat intermodulaatiohäiriöt.

Taajuuksien koordinoinnissa kannattaa hyödyntää siihen tarkoitettuja työkaluja, kuten erilaisia laitevalmistajien tarjoamia ohjelmistoja ja spektrianalysaattoreita, jotta voidaan minimoida radiohäiriöt. Käytät mitä ohjelmaa, tai metodia tahansa, on langattomien järjestelmien koordinointi kriittinen osa langattomien järjestelmien toimimisen kannalta.

3.1 Spektrianalysaattori

Spektrianalysaattori on elektroninen mittalaite, jolla voidaan mitata signaalin spektri, eli taajuusjakauma. (Wikipedia.fi) Selkokielellä tämä tarkoittaa laitetta, jolla pystytään tarkkailemaan paikallista radioliikennettä. Mittauksen pystyy näkemään graafisesti laitteen näytöllä.

Esimerkki spektrianalysaattorista on ääniteknikoiden käyttöön suunniteltu RF Explorer, joka on pieni kevyt kannettava analysaattori.

Kun taajuudet koordinoidaan spektrianalysaattoria hyödyntäen, voidaan taajuudet laskea tarkasti. Kun taajuudet lasketaan ilman analysaattoria, ne ovat täysin irrallaan paikallisesta radioliikenteestä. Analysaattorin kanssa pystytään ottamaan huomioon intermodulaation lisäksi myös paikalliset radiohäiriön lähteet, ja välttämään ne.



Kuva 36 RF Explorer, spektrianalysaattori. Spektrissä vasemmalla näkyvät tasaiset huiput, ovat TV-kanavia. Oikealla näkyvät terävät huiput ovat radiolähettämiä. TV-Kanavien ja kolmen lähettimen välissä oleva matala terävä huippu, on lähettimien muodostama intermodulaatio.

Kun skannataan taajuuksia, on kaikkien lähettimien hyvä olla pois päältä. Analysaattori ei pysty erottamaan aktiivisen lähettimien signaalia signaaleista, joita yritetään välttää. Päinvastoin se nostaa pohjakohinaa, ja näyttäytyy piikkeinä analysaattorissa. (Boomer)

RF Explorer voidaan kytkeä suoraan tietokoneeseen, ja käyttää sen tuottamaa dataa reaaliajassa. Joillain RF Explorer malleilla voidaan myös skannata radiospektri varastoon, ja tuoda skannaus myöhemmin koordinoitiohjelmaan.

Tätä ominaisuutta äänittäjänä voisi hyödyntää esimerkiksi recellä. Kun mennään tutustumaan lokaatioon, voidaan skannata radioympäristö, ja käyttää skannausta taajuuksien laskemiseen etukäteen.

Hyvälaatuisissa radiovastaanottimissa on usein sisäänrakennettu ominaisuus, jolla vastaanotin itse pystyy skannaamaan paikallisen radiospektrin, ja laskemaan sen perusteella parhaat mahdolliset taajuudet.

Valmistajat tarjoavat tietokoneohjelmia, joita voi käyttää taajuuksien koordinointiin. Esimerkiksi Lectrosonics tarjoaa esimerkiksi oman ”Wireless Designer” ohjelmansa. Se pystyy käyttämään esimerkiksi DCR822 vastaanotinta analysaattorina, ja koordinoimaan kaikkien kanavien taajuudet vastaanottimen skannausta hyödyntäen. (Lectrosonics.com)

Meguru Film sound Oy:lle työskentelevä äänittäjä Anssi Kainulainen kertoo käyttävänsä RF Exploreria lähtökohtaisesti vain tilanteen tarkastamiseen kuvauspaikalla. Analysaattorilla on nopeaa tarkistaa mahdollisten voimakkaiden häiriötä aiheuttavien taajuuksien olemassaolo. Sillä voi myös etsiä häiriötä lähettäviä laitteita.

3.2 Taajuuksien koordinointi valmiita ryhmiä hyödyntäen

Lähtökohtaisesti kaikkien valmistajien lähettimistä löytyy mahdollisuus hyödyntää vastaanottimeen ennakkoon asetettuja taajuuksia. Esimerkkinä käytän Sennheiserin evolution G sarjan vastaanottimia.



Kuva 37 Sennheiser G4 lähettimen frequency preset valikko

Sennheiserin vastaanottimista löytyy ”frequency preset” asetus, jonka alla on kaksi numeroa. Ensimmäinen numero määrittää ”pankin”, ja toinen numero merkitsee pankin sisällä olevaa taajuutta. Kaikki saman pankin sisällä olevat taajuu-
det ovat keskenään intermodulaatiosta vapaita.

Channel	Bank 1	Bank 2	Bank 3	Bank 4
1	519,150	524,250	530,250	536,400
2	520,050	525,000	530,700	537,450
3	520,650	525,450	532,350	539,250
4	521,700	526,950	533,250	539,700
5	522,450	528,000	533,850	540,900
6	522,900	529,800	535,200	541,800
7	516,450	519,300	517,200	516,600
8	526,350	523,350	524,850	517,950
9	534,300	533,250	538,950	520,350
10	538,800	538,350	544,500	524,550
11	540,900	540,750	549,750	530,400
12	542,850	544,950	553,650	547,350
13	548,250	548,100	556,050	550,050
14	549,600	550,350	557,100	552,000
15	552,600	556,200	557,850	555,150
16	555,750	557,550	–	–

Kuva 38 Osa Sennheiser G3 Sarjan ennakkoonmääritetyistä taajuuksista. Pankkeja G3 sarjan laitteista löytyy yhteensä 20 kappaletta

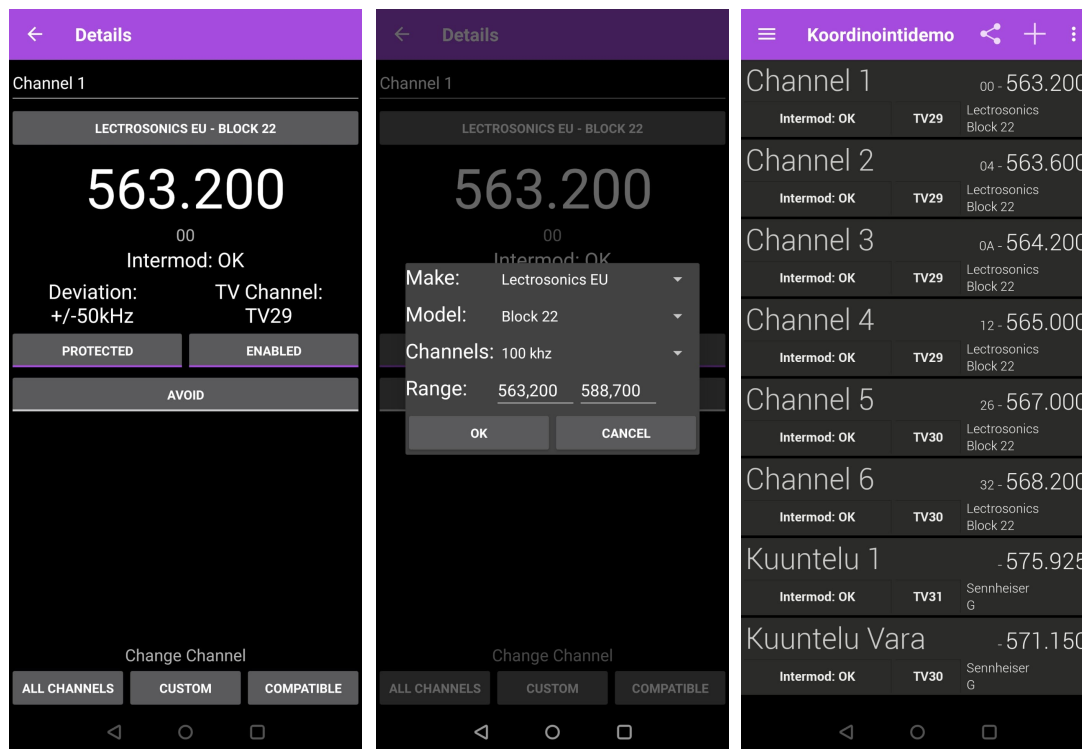
Jos muita työkaluja ei ole käytettävissä, kannattaa vähintään käyttää näitä ennakkoon määritettyjä taajuuksia. Muiden työkalujen hyödyntäminen tulee ajan-
kohtaiseksi, kun aletaan sekoittamaan eri valmistajien ja eri taajuuskaistoille viritettyjä laitteita.

3.3 Taajuuksien koordinointi FreqFinderiä hyödyntäen

Yksi yleisimmistä äänittäjien käyttämistä ohjelmista on maksullinen ”FreqFinder”
puhelinsovellus. FreqFinderin saa ladattua sekä Android-, että iOS puhelimiin.
FreqFinder maksaa noin 30 euroa, mutta oman kokemukseni mukaan se on eh-
dottomasti hintansa arvoinen.

FreqFinder on suunniteltu erityisesti äänittäjien käyttöön. Sen tärkein funktio on-
kin helpottaa kanavien vaihtamista, jos jokin lähetin kokee häiriöitä. (NewEn-
dian.com)

Jos tarve taajuuksille ilmenee äkkiä, on FreqFinder todella näppärä työkalu nopeaan koordinointiin. Ohjelmassa voidaan valikosta valita minkä valmistajan lähetin on käytössä, jonka jälkeen kanavia voidaan lisätä yhtä nappia painamalla. Ohjelma listaa allekkain suoraan intermodulaatiosta keskenään vapaita taajuuksia.



Kuva 39 Kuvankaappaus FreqFinder ohjelmalla tehdystä taajuuksien koordinoinnista. Oikealla olevassa listassa on kuusi taajuutta Lectrosonicsin lähettimille ja kaksi Sennheiserin kanavaa kuunteluita varten.

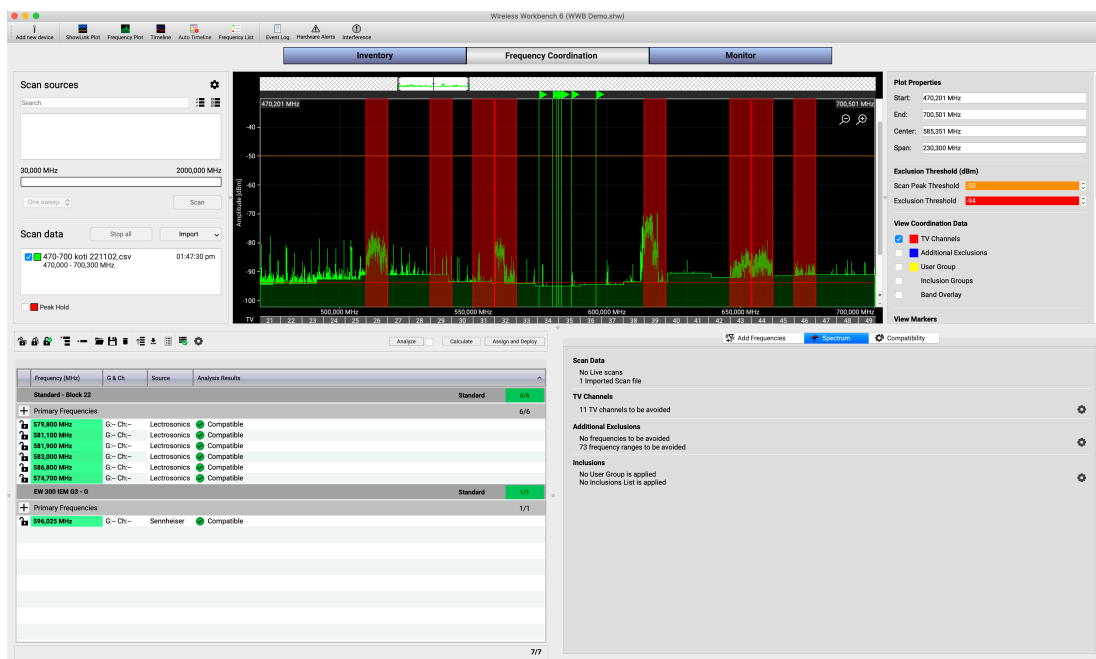
Jos jollakin käytössä olevalla kanavalla ilmenee häiriötä, FreqFinderillä on erittäin nopeaa lisätä listaan uusi lähetin, jolloin ohjelma tarjoaa uuden intermodulaatiosta vapaan taajuuden.

FreqFinderä käyttäessä täytyy muistaa, että se ei tiedä paikallisista radiotaajuuksista mitään, joten se ei kykene muodostamaan ulkopuolisesta häiriöstä puhtaita taajuuksia. Uusi intermodulaatiovapaa taajuus ei siis takaa häiriötöntä taajuutta, mutta ohjelman tarjoaman uuden taajuuden kokeileminen ei ainakaan aiheuta muille kanaville ongelmia.

FreqFinderistä pystyy myös tuomaan ulos listan koordinoituista taajuuksista, jonka pystyy joko avaamaan toisessa puhelimessa, tai pelkkänä tekstitiedostona. Tämä helpottaa erittäin paljon ääniryhmässä toimimista, sillä äänittäjä

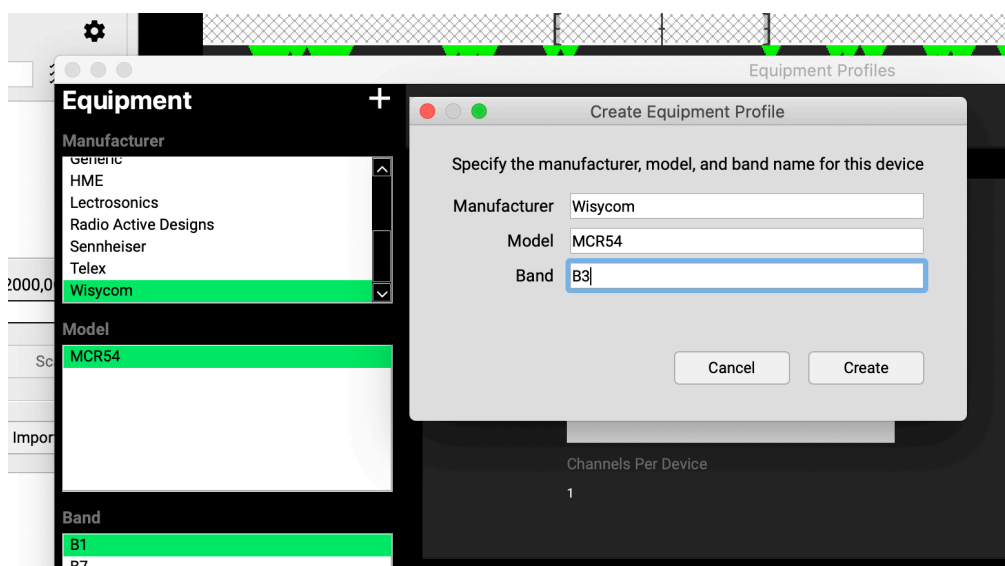
pystyy jakamaan listan taajuuksista, ja jakamaan mahdolliset muutokset tai uudet taajuudet muille ääniryhmän jäsenille.

3.4 Taajuuksien koordinointi Shuren Wireless Workbenchillä



Kuva 40 Shuren Wireless Workbench

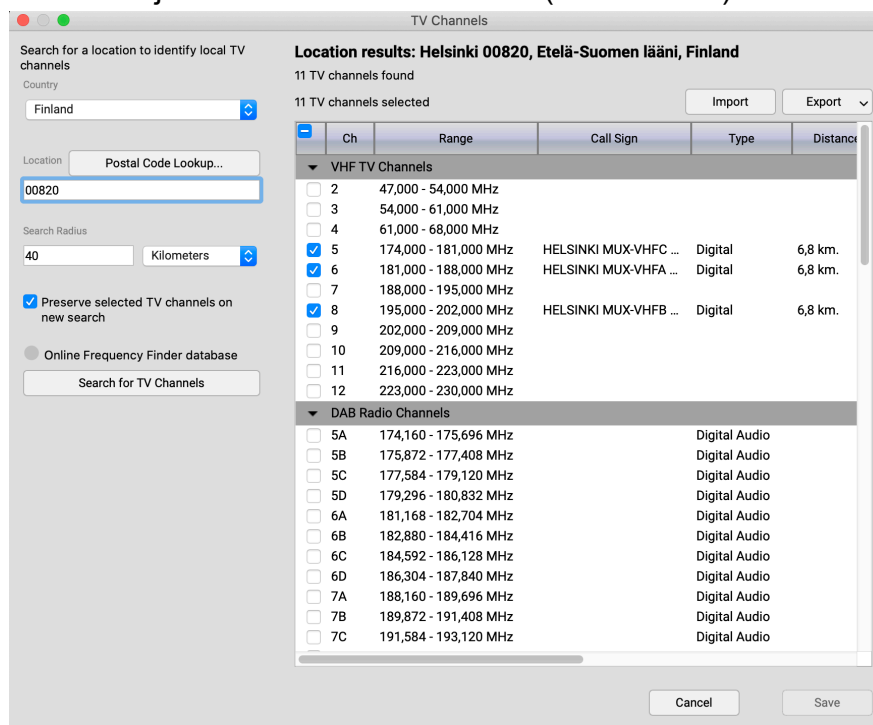
Jos taajuuksien koordinoinnille on enemmän aikaa, on Shuren Wireless Workbenchin tai vastaavan järeämmän koordinoitiohjelman käyttö järkevää. Workbenchin tehokas käyttö vaatii hiukan enemmän esivalmistelua mutta ohjelmaan on sisäänrakennettu ominaisuuksia, joiden ansiosta lasketut taajuudet ovat laadukkaampia.



Kuva 41 Wireless workbenchin equipment profiles valikko, josta voi lisätä manuaalisesti laitteita, joita ei löydy ohjelmistosta valmiiksi.

Workbenchin kalustovalikko ei välttämättä sisällä suoraan kaikkia käytössä olevia langattomia järjestelmiä. Esimerkiksi Wisycomin lähettimiä ei ole oletusarvoisesti rakennettu ohjelman sisään lainkaan. Workbenchiin pystyy kuitenkin lisäämään manuaalisesti laitteita equipment profiles -ikkunan alta. Tästä valikosta voi määrittää itse laitteelle nimen, ja sen kattaman taajuuskaistan. Kun laite on lisätty tätä kautta workbenchiin, voi sitä käsitellä täysin samalla tavalla, kuin valmiiksi määritettyjä laitteita. Laitteiden kattamat taajuusalueet löytyvät helposti valmistajien verkkosivuilta, tai nopealla googlauksella.

Workbenchissa voi postinumeron perusteella hakea tv-kanavat ym. tiedossa olevat häiriötaajuudet ja laskea taajuudet niin, että ne otetaan huomioon. Voi myös valita kuinka vahvasti taajuudet välttävät keskinäistä intermodulaatiota, eli kuinka vähän lasketut taajuudet häiritsevät toisiaan. (Kainulainen)



Kuva 42 Workbenchin televisiokanavien hakutoiminto

Shurella on kolme eri tasoa, taajuuksien koordinointiin. "Robust", "standard" ja "more frequencies", robustin ollessa kaikkein vähiten herkkä intermodulaatiolle. Robusteja taajuuksia saa aina vähemmän sopimaan käytössä olevalle alueelle. (Kainulainen)

Workbenchiin voi myös tuoda analysaattorilla tehtyjä skannauksia, jolloin ohjelma ei anna vain intermodulaatiovapaita taajuuksia, vaan se osaa asettaa taajuudet puhtaimmille mahdollisille taajuuksilla, jotka ovat saatavilla kussakin tilanteessa.

Kainulainen kertoo oman workflownsa langattomien taajuuksien laskemiseen olevan seuraavanlainen:

”Käytän koordinointiin Shuren Wireless Workbench-softaa. Saman homman ajaisi varmaan moni muukin softa, mutta tämä on ollut näppärä, vaikka en käytäkään yhtään Shuren langattomia. Jos olisi vain yhden valmistajan laitteita, voisi olla fiksua käyttää sen valmistajan softaakin. Kalustossa on muutaman eri valmistajan laitteita, lähinnä Wisycomilta, Lectrosonicsilta ja Sennheiserilta.

Käytännössä toimin niin, että lasken mahdollisimman monta, mahdollisimman hyvää taajuutta per laite siihen kaupunkiin, missä tulen olemaan keikalla. Voin myös miettiä mihin kohtaan taajuusaluetta haluan tietyt laitteet. Esimerkiksi Wisycomien taajuusalue kattaa koko UHF-kaistan, kun taas vaikka Lectrot voivat olla vain yhdessä pienessä blokissa. Tällöin mietin, haluanko Wisyt vaikka Lectrojen alle taajuusalueella.

Eli, esimerkiksi Wisycomeille pistän koneen laskemaan minulle mahdollisimman monta robustia taajuutta, jotka jäävät Lectrojen alle. Tämän jälkeen lasken mahdollisimman monta robustia taajuutta Lectrojen blokkiin. Toistan tätä niin pitkään kuin laitteita riittää ja jos robustina en saa mielestäni tarpeeksi taajuuksia (mitä voi hyvinkin tapahtua esim Lectrojen kapeissa blokeissa) lasken lisää "standardina". ” (Kainulainen)

Kun Kainulainen kertoo laskevansa taajuusalueella ”alle” jäävät taajuudet hän tarkoittaa, taajuuksia, jotka jäävät taajuuspektrissä matalammalle. Esimerkiksi jos käytössä on Lectrosonicsin blokin 24 lähettämiä, joiden taajuusvaste 614 MHz – 639 MHz, Kainulainen laskee Wisycomeilleen, joilla on paljon laajempi viritysalue niin monta taajuutta, kuin hän saa mahtumaan 470 MHz ja 614 MHz väliin.

Lopussa käytössäni on lista, jossa on mahdollisimman monta taajuutta kaikille laitteilleni, jotka välttävät tv-kanavia ja ovat keskenään yhteensopivia. Näistä taajuuksista, kun asetan minkä tahansa mihin tahansa kanavaan, tiedän että se toimii ainakin kaikkien muiden omien taajuksieni kanssa ja välttää ainakin suurimmat tiedossa olevat häiriölähteet. (Kainulainen)

Type	Band	Frequency	
Wisycom B1 - MCR54		G:- 502,300 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Wisycom B1 - MCR54		G:- 485,600 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Wisycom B1 - MCR54		G:- 480,600 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Wisycom B1 - MCR54		G:- 478,800 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Wisycom B1 - MCR54		G:- 473,500 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Wisycom B1 - MCR54		G:- 471,100 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Standard Block 24		G:- 639,800 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Standard Block 24		G:- 638,600 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Standard Block 24		G:- 636,600 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Standard Block 24		G:- 634,400 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Standard Block 24		G:- 631,900 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Standard Block 24		G:- 631,000 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
Standard Block 24		G:- 630,400 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
EW 500 B G3		G:- 667,200 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>
EW 500 B G3		G:- 645,600 Ch:- MHz	<input type="checkbox"/>

Kuva 43 Esimerkki listasta, johon on koordinoitu keskenään sopivia taajuuksia.

Kainulainen siis taajuuksia koordinoimassa luo itselleen listan, joka toimii samalla periaatteella, kuin laitevalmistajat, jotka määrittävät ennakkoon taajuudet. Kun lista on valmis, voidaan mitä tahansa taajuutta käyttää millä tahansa laitteella. Jos jollain kanavalla ilmenee ongelmia, Kainulaisen täytyy vain vilkaista ennakkoon koordinoitua listaa ja valita uusi taajuus.

Wisycomin langattomiin Kainulainen ohjelmoi tämän listan etukäteen yhdeksi ”groupiksi”. Kun lista on ohjelmoitu vastaanottimeen, pystyy hän vastaanottimen taajuusskannerilla skannaamaan kaikki listalta löytyvät taajuudet, jolloin vastaanotin itse määrittää kanavat puhtausjärjestykseen.

Etu valmistajien tarjoamiin ennakkoon koordinoituihin listoihin on se, että workbenchin kanavahakuominaisuuden ansiosta Kainulaisen koordinoima lista välttää vaivattomasti kaikki televisiokanavat. Itse koordinoitu lista on myös nopea käyttää ja yhteensopiva kaikkien eri valmistajien laitteiden kesken.

4 Käytännön soveltaminen

4.1 Ennakkosuunnittelu

Ennakkosuunnittelu on vähintäänkin yhtä tärkeässä osassa langattomien järjestelmien toimintaa, kuin kuvaustilanteessa tehdyt ratkaisut.

Ennakkosuunnittelussa kannattaa panostaa taajuuksien koordinointiin ja tehdä ennakkoon mahdollisimman kattavat listat puhtaista taajuuksista. Kun listat ovat valmiita, kuvaustilanteessa ei tarvitse lähteä laskemaan uusia taajuuksia, vaan ne pystytään valitsemaan nopeasti ja vaivattomasti.

Taajuuksien koordinoinnin jälkeen on hyvä tehdä signaalitesti, jossa kaikki koordinoitua taajuuksia asetetaan kaikkiin käyttöön tuleviin langattomiin ja tarkastetaan, että kaikki signaalit ovat puhtaita. Jos signaalitestiä tehdessä kohdataan ongelmia signaalien kanssa, on vielä mahdollista tehdä muutoksia ja selvittää ongelmia. Jos testiä ei olisi tehty ja lähdettäisiin kuvauksiin, voisi kuvauspäivä herkästi myöhästyä, koska ääniosasto ei ole tehnyt kunnollista valmistautumista.

4.2 Kuvaustilanne

Jos langattomat taajuudet toimivat on turha lähteä koordinoimaan uusia ”puhtaampia” taajuuksia, vaikka kuvauspaikka vaihtuu. Kainulainen kertoo tarkistavansa uudella kuvauspaikalla vastaanottimista, ovatko signaalit puhtaita. Jos signaali on puhdas, on turha koordinoida uusia taajuuksia.

Mahdollisia häiriötekijöitä on modernissa tuotannossa useita. Aiemmin kaikki radiojärjestelmät olivat ääniosaston hallussa. Nykypäivänä kuitenkin melkein kaikilla osastoilla on käytössä jotain radiosignaalia hyödyntäviä laitteita. Valo-osasto käyttää langatonta valojen ohjausta ja kameraosasto langattomia videolinkkejä.

Yksi pahimmista uusista häiriön lähteistä kuvaustilanteessa on 5G verkot. Euroopassa 5G-verkkojen keskeisiksi pioneeritaajuuksiksi tunnistetut taajuusalueet, 700 MHz, 3400–3800 MHz ja 26 GHz ovat kaikki myönnetty käyttöön.

(Traficom.fi) Suurin ongelma on 700 MHz taajuudella sijaitsevat laitteet. Näitä laitteita on esimerkiksi uudet 5G matkapuhelimet. 5G-verkkoa käyttävistä puhelimista lähtee signaaleja, jotka vuorovaikuttavat langattomien lähettimien kanssa, aiheuttaen lisää intermodulaatiohäiriöitä. (Boomer) Kun langattomat mikrofonit vuorovaikuttavat keskenään intermodulaatiohäiriöt, joita ne synnyttävät ovat usein helppo havaita skannaamalla. Kun lähetin on vuorovaikutuksessa matalien 5G taajuuksien kanssa häiriö näyttäytyy pelkästään voimistuneena radiosignaalin pohjakohinana. (Boomer).

Jos kameraan lähetettävä apuääni kohtaa suhinaa, saattaa syypää herkästi olla kameran langaton videolinkki. Teradek ja muut langattomat videolähettimet lähettävät voimakasta signaalia, joka saattaa herkästi jyrätä kameran apuäänivastaanottimen ylitse. Kannattaa siis jälleen kiinnittää huomiota antennin asemointiin ja pyrkiä asettamaan radiovastaanotin mahdollisimman kauas muista radiosignaalia lähettävistä laitteista.

Kun mietitään konkreettisia toimia, joilla äänittäjä voi vaikuttaa signaalin kantavuuteen, suurin tekijä on antennien asemointi, ja lähettimen tehon säätäminen.

RFVenuen Don Boomer antaa vinkiksi radiojärjestelmien käyttöön sen, että pyrkii pitämään lähettimen tehon niin pienenä, kuin mahdollista. Moni äänittäjä saattaa ajatella, että kun ollaan sisätiloissa ja signaali ei kanna, joten täytyy lähettimestä nostaa tehoa. Tämä aiheuttaa kuitenkin voimakkaampia multi-path häiriöitä, ja pohjakohinan nousua. Oikea ratkaisu puhtaamman signaalin saavuttamiseksi olisi ollut oikeasti laskea lähettimen tehoa.

Lähettimen asemointiin kannattaa myös kiinnittää huomiota. Radiosignaalit eivät pysty kulkemaan veden läpi. Ihmiskehosta kuitenkin noin 60 % on kuitenkin vettä.

Lähettimen asemoinnista johtuvasta ongelmasta koin omakohtaisen kokemuksen "A very bad night" lyhytelokuvan kuvauksissa. Kohtauksessa näyttelijä kävi asfaltille makaamaan. Lähetin oli näyttelijän selässä, jolloin se hautautui täysin näyttelijän alle. Signaali katkesi samalla sekunnilla, kun lähetin hautautui näyttelijän ja tien väliin. Heti seuraavaan ottoon siirsin lähettimen kyljen puolelle, jolloin

langaton signaali oli täysin puhdas. On siis hyvä pyrkiä pitämään näköyhteys lähettimen ja antennien välillä.

Jos päädytään niin äärimmäiseen tilanteeseen, jossa ei langattomat signaalit yksinkertaisesti vain toimi, on myös hyvä varautua siihen, että kyetään työskentelemään vanhanaikaisesti XLR kaapelin avulla.

4.3 Yleisiä vinkkejä äänittäjille

Kainulaiselta neuvoa kysyttäessä langattomien järjestelmien kanssa toimimisesta saa seuraavanlaisen vinkin.

”Opetelkaa käyttämään omia kamoja. Esimerkiksi langattomista ei välttämättä tarvitse ymmärtää kaikkea niiden fysiikasta (itse en ymmärrä), mutta omista langattomista laitteista olisi hyvä ymmärtää ihan jokainen valikon kohta. Mitä kukin toiminto tekee, ja missä tilanteissa sellaista voi/pitää käyttää? Sama pätee muihinkin äänittäjän laitteisiin. Kuvauspaikalla ei ole ketään muuta, joka osaa auttaa, tiedä mikä piuha menee minnekin ja miten toimitaan eri tilanteissa” (Kainulainen)

Tämä on erittäin tärkeä neuvo. Langattomat järjestelmät voivat näyttäytyä kovin monimutkaisina ja mystisinä laitteina, jotka joko toimivat tai eivät toimi. Ne ovat kuitenkin vain työkaluja, jotka siirtävät signaalia paikasta A paikkaan B. Käytännön työssä ei tarvitse ymmärtää, että miten tämä signaali fyysisesti siirtyy. Äänittäjänä, jonka työ on vastata äänen taltioinnista elokuvasetissä, on erittäin tärkeää tiedostaa kuinka omat työkalut toimivat. Se on tärkeä osa sitä ammattitaitoa, josta äänittäjälle maksetaan.

5 POHDINTA

Kiinnostus radiosignaaleihin, ja niiden kanssa toimimiseen syntyi toisessa harjoittelussani. Elokuvasa oli kuvauspaikkana vesitorni, josta kirjaimellisesti kymmenen metriä ikkunan toisella puolella oli 5G antennimasto. Tästä mastosta lähtevät signaalit olivat niin voimakkaita, että ne aiheuttivat häiriötä mikrofonin ja MM-1 etuasteen välissä. Häiriö oli siis kuultavissa jo ennen yhtä ainoaa langatonta lähetintä. Tämän kokemuksen myötä tajusin, että en ollut oikeastaan kuullut, että missään puhuttaisiin langattomista järjestelmistä, tai niiden käytöstä. Halusin lähteä tutkimaan aihetta, ja huomasin, että suomenkielistä lähdemateriaali oli erittäin vähän.

Tutkimusta tehdessä ymmärsin, että suuri osa ongelmista, joita langattomien järjestelmien parissa esiintyy, on todennäköisesti itseaiheutettua. Itseaiheutettujen ongelmien hallinta on kuitenkin suhteellisen yksinkertaisia ja jokaisen äänittäjän olisi ehdottomasti hyvä omaksua se. Huomasin myös hyödyntäväni oppimaani tietoa joka ikisessä projektissa, jossa olen tutkimuksen aloittamisen jälkeen ollut mukana.

Tulevaisuudessa langattomien järjestelmien ymmärrys tulee olemaan varmasti entistä tärkeämpää. Amerikassa iso osa UHF-kaistasta myytiin matkapuhelinverkkojen käyttöön, ja jo valmiiksi ruuhkaisesta vapaasta kaistasta katosi yhtäkkiä puolet.

Langattomat järjestelmät eivät ole katoamassa ääniosastolta mihinkään. Päin vastoin, kanavamäärien tarpeet kasvavat ja uusien ääniosastoa häiritseviä signaaleja esiintyy uusien teknologioiden takia radioympäristöstä jatkuvasti enemmän ja enemmän.

Uudet kehitykset tuovat kuitenkin myös apuja tähän alati haastavampaan radioympäristöön. Laittevalmistajien uudet laitteet noudattavatkin tiettyä kaavaa. Rakentaa jatkuvasti laajemmalle taajuusalueelle virittyviä laitteita. Sound Devices esitteli äskettäin uuden A20-Nexus puoliräkkivastaanottimensa, joka pystyy vastaanottamaan 16 kanavaa langattomia ja virittymään kaikille luvasta vapaille

taajuuksille 470 MHz ja 1525 MHz välillä. Vanhanaikaiset kapeat 25 MHz blokit eivät välttämättä tulevaisuudessa enää riitä ääniosaston tarpeisiin.

Radioympäristön kehittymistä on hyvä seurata jatkossa. Tulevaisuus on täysin auki. Vuonna 2016 700 MHz taajuusalue siirrettiin televisioverkon käytöstä langattomalle laajakaistalle. Ei voi tietää, onko tulevaisuudessa esimerkiksi 600 MHz taajuusalue, joka USA:ssa otettiin matkapuhelinverkkojen käyttöön myös uhatuna Euroopassa.

Kainulaiselta tulevaisuudesta kysyessä vastaukseksi saa seuraavan: ”Käyttäjinä me ei oikein voida muuta kuin toivoa parasta ja ostaa sellaisia laitteita, jotka toimivat mahdollisimman laajalla taajuusalueella.”

LÄHTEET

Baxter, Dennis. 2007. **A practical guide to television sound engineering.**

Räisänen, Antti, 2011 **Radiotekniikan perusteet.**

Kainulainen, Anssi, Äänittäjä, 2022, Haastattelu, 20.11.2022

Milne, Alex. **The Myth of Half-wave Diversity Antenna Placement internet - sivusto. Haettu 20.4.2022** <https://www.rfvenue.com/blog/2014/12/15/the-myth-of-half-wave-diversity-antenna-placemen>

Milne, Alex. **Haettu 20.4.2022 Understanding the Difference, and Debunking the Myths, Between Active and Passive Antennas**
<https://www.rfvenue.com/blog/2014/12/15/active-v-passive-antennas>

Milne, Alex **What is Antenna gain? Haettu 22.4.2022**
<https://www.rfvenue.com/blog/2014/12/15/what-is-antenna-gain>

Milne, Alex. **Why coaxial cable goes bad? Haettu 11.12.2022**
<https://www.rfvenue.com/blog/2015/02/04/why-coaxial-cable-goes-bad>

Rochman, Davida. **Wireless systems and antenna placement. Haettu 20.11.2022** <https://www.shure.com/pt-BR/shows-e-producoes/louder/wireless-systems-and-antenna-placement>

Shure.com. 29.1.2019. **What is Dante? Haettu 11.12.2022.**
https://service.shure.com/s/article/what-is-dante?language=en_US

Shure.com **Five mistakes to avoid when using wireless 13.4.2021 Haettu 20.4.2022** https://service.shure.com/s/article/five-mistakes-to-avoid-when-using-wireless?language=en_US

Morin, Jeff. **An Introduction to Antenna and Amplifier Gain Haettu 24.11.2022**
<https://www.ubersignal.com/blog/antenna-amplifier-gain/>

Traficom.fi 23.06.2021. **Tietoa 5G:stä Haettu 9.12.2022**

<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/tietoa-5gsta>

Bevelacqua, P, J, Antenna-Theory.com **Polarization of Plane Waves Haettu 20.4.2022**

<https://www.antenna-theory.com/basics/polarization.php#polarization>

Bevelacqua, P, J, Antenna-Theory.com **Polarization of Plane Waves Haettu 20.4.2022** <https://www.antenna-theory.com/basics/directivity.php>

Bevelacqua, P, J, Antenna-Theory.com **Antenna Gain Haettu 20.4.2022**

<https://www.antenna-theory.com/basics/gain.php>

Boomer, Don **Squelch and Wireless mic Range Haettu 9.12.2022**

<https://www.rfvenue.com/blog/squelch-how-it-affects-me>

Boomer, Don **Antenna Polarization (not a trip to the Arctic). Haettu**

23.4.2022 <https://www.rfvenue.com/blog/antenna-polarization-not-a-trip-to-the-arctic>

Bucher, S. 2021. **“What's In Your Kit? With Stéphane Bucher CAS, Sound Mixer | URSA Exclusive. Julkaisija Ursa Straps 3.3.2022. Haettu**

10.12.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=CJ-AxRY8CuM>

SoundDevices.com 31.3.2021 **Multipath Interference and Diversity Switching Haettu 20.4.2022**

<https://www.sounddevices.com/multipath-interference-and-diversity-switching/>

SoundDevices.com. 11.1.2022 **Picking the right antenna for digital wireless audio Haettu 20.4.2022** <https://www.sounddevices.com/picking-the-right-antenna-for-digital-wireless-audio/>

WilsonAmplifiers.com 10.6.2022 **UNDERSTANDING COAXIAL CABLES - THE COMPLETE GUIDE** Haettu 25.11.2022 <https://www.wilsonamplifiers.com/blog/understanding-coaxial-cables-the-complete-guide/>

Henshall, Marc, **SHURE WHITEBOARD SESSION: UNDERSTANDING CABLES FOR RF** Haettu 27.11.2022 <https://www.shure.com/en-US/performance-production/louder/shure-whiteboard-understanding-rf-cables>

Lectrosonics.com Wireless FAQ, Antennas & RF, **Will a dipole antenna give me more range than a 1/4 wave whip (or 1/4 wave ground plane) antenna?** Haettu 22.4.2022 <https://www.lectrosonics.com/wireless-faq/antennas/will-a-dipole-antenna-give-me-more-range-than-a-1-4-wave-whip-or-1-4-wave-ground-plane-antenna.html>

Avlex.com **Why is a true diversity receiver required for professional performances?** Haettu 22.4.2022 <https://avlex.com/support/using-wireless-systems/why-is-a-true-diversity-receiver-required-for-professional-performances/>

Colman, Tom. **What is antenna distribution and when you should use it?** Haettu 27.11.2022 <https://www.shure.com/en-US/performance-production/louder/what-is-antenna-distribution-and-when-should-you-use-it>

Boomer, Don **Debunking Analog vs. "Digital Wireless" Microphones internet – sivusto** Haettu 20.04.2022 <https://www.rfvenue.com/blog/debunking-digital-wireless-microphones-0>

Gotham Sound 2022. **Part 74 Licenses internet -sivusto.** Haettu 20.04.2022 <https://www.gothamsound.com/part-74-licenses>

Noordhof, Jan, **Modulation And Radio Building blocks, How does modulation work?** Haettu 20.04.2022 <https://www.taitradioacademy.com/topic/how-does-modulation-work-1-1/>

Traficom.fi, **Langattomat kamerat, videolinkit ja mikrofonit. Haettu 21.4.2022** <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/langattomat-kamerat-videolinkit-ja-mikrofonit>

NewEndian.com **FreqFinder Haettu 10.11.2022**
<https://newendian.com/freqfinder>

Kos, Tomislav; Grgic Mislav; Grgic, Sonja. 20.1.2006 **Simple method for intermodulation products counting in multicarrier systems**
https://www.vcl.fer.hr/papers_pdf/Simple%20Method%20for%20Intermodulation%20Products%20Counting%20in%20Multicarrier%20Systems.pdf

Wikipedia.fi 20.06.2022 **Spektrianalysaattori Haettu 16.11.2022**
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Spektrianalysaattori>

Stephens, Stuart. **SHURE WHITEBOARD – WIRELESS SYSTEM COMPANDING EXPLAINED. Haettu 10.12.2022**
<https://www.shure.com/pt-BR/shows-e-producoes/louder/shure-whiteboard-wireless-system-companding-explained>

JWsoundgroup.com 4.9.2013 Fisher, Larry **Radio Mic Receiver Antenna polarisation in diversity setup Haettu 20.04.2022**
<https://jwsoundgroup.net/index.php?/topic/18940-radio-mic-receiver-antenna-polarisation-in-diversity-setup/&do=findComment&comment=219330>

Shure 10.09.2021 **What is intermodulation? Haettu 16.11.2022**
https://service.shure.com/Service/s/article/what-is-intermodulation?language=en_US

Lectrosonics 14.12.2020 **Wireless Designer Haettu 16.11.2022**
<https://www.lectrosonics.com/wireless-designer.html>