

Nadja Hautamäki

**Television näkyvyyteen vaikuttavat tekijät
UHF-radiotaajuuksilla kuluttajan näkökulmasta.**

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

30. huhtikuuta 2022

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Nadja Hautamäki

Yhteystiedot: nadja.hautamaki@gmail.com

Ohjaaja: Jonne Itkonen

Työn nimi: Television näkyvyyteen vaikuttavat tekijät UHF-radiotaajuuksilla kuluttajan näkökulmasta.

Title in English: Factories affecting UHF band from a consumer perspective.

Työ: Kandidaatintutkielma

Sivumäärä: 25+0

Tiivistelmä: Tutkitaan radiotekniikkaan liittyviä tekijöitä, jotka vaikuttavat televisiolähetysten näkyvyyteen. Tavoitteena on keksiä tai löytää erilaisia keinoja, joilla kuluttajan olisi mahdollista parantaa television näkyvyyttä. Tavoitteena on myös ymmärtää miten televisiolähetykset toimivat. Tutkimusmenetelmänä on kirjallisuuskatsaus. Tuloksena saatiin parempi ymmärrys televisiolähetysten näkyvyyteen vaikuttavien tekijöiden teoriasta ja käytännöstä. Näiden tulosten perusteella kuluttaja pystyy kuitenkin vain vähäisesti vaikuttamaan televisionsa näkyvyyteen.

Avainsanat: radioaallot, UHF-taajuusalue, televisio

Abstract: Factors influencing the visibility of TV broadcasts around radio technology will be examined. The goal is to find different ways how a consumer can improve their television visibility. The research method in this work is a literature review. The results provided a better understanding of the theory and practice of the factors influencing the visibility of television broadcasts. With these results consumer can only affect very subtly to the visibility of her/his television.

Keywords: radio waves, UHF band, television

Termiluettelo

siirtolinja	Kahden pisteen välinen suljettu yhteysväli. Radiotekniikassa yleensä antennin ja lähettimen tai vastaanottimen välinen yhteysväli.
heijastuminen	Radioaalto heijastuu eli kimpoaa osuessaan pintaan. Kimpoaminen tapahtuu samassa kulmassa kuin pintaan osuminen. Aallonpituus ja etenemisnopeus pysyvät samana heijastumisen jälkeen.
diffraktio	Aallon taipumista eli kun aalto kulkee pienien reikien läpi tai kulkee kulman ohi, se jatkaa matkaansa useaan suuntaan. Aaltorintama saa ikään kuin uuden pisteen, josta levitä. Näin aalto voi taipua esineiden taakse.
vapaan tilan eteneminen	Signaalin tai aallon etenemistä optimaalisessa tilassa, ilman törmäämistä.
vapaan tilan vaimeneminen	Signaalin tai aallon vaimenemista etäisyydestä johtuen eli signaalin taso alkaa laskea etäisyyden kasvaessa.
interferenssi	Aaltojen summautumista superpositioperiaatteen mukaan. Interferenssi voi olla destruktiivista eli heikentävää tai konstruktivistista eli vahvistavaa.
kantoaalto	Tasavaiheinen ja tasa-amplitudinen aalto, johon saadaan lisättyä informaatiota moduloimalla. Kantoaalto kuljettaa informaatiota.
resiprookkinen	Kuvaa antennin toimintaa, jossa sillä on samanlaiset ominaisuudet vastaanotossa ja lähetyksessä.

Kuviot

Kuvio 1. Fresnelin ellipsoidi	4
Kuvio 2. 16QAM Konstellaatio.....	7
Kuvio 3. suuntakuviokuva.....	10
Kuvio 4. Eurajoki.....	12
Kuvio 5. Pyhävuori	13

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	RADIOAALLOT YLEISESTI	2
2.1	Sähkömagneettinen spektri	2
2.2	Radioaaltojen eteneminen.....	3
2.3	Radiotien vaimennus	3
3	RADIOYHTEYS	5
3.1	Televisiolähetykset radioyhteydellä	5
3.2	Modulointi	6
3.2.1	QAM	6
3.2.2	OFDM.....	7
3.3	Kohina ja signaali-kohinasuhde	8
3.4	Vahvistin	8
3.5	Antenni	9
4	HÄIRIÖT RADIOLIIKENTEESSÄ	11
4.1	Maasto ja sää	11
4.2	Linkkiväli	11
5	TEORIASTA POHDINTAAN JA KÄYTÄNTÖÖN	14
5.1	Mittaukset.....	14
5.2	Pohdinta.....	15
6	YHTEENVETO.....	18
	LÄHTEET	19

1 Johdanto

Radioaallot ovat luonnonilmiö, jota voidaan käyttää langattomaan tiedonsiirtoon. Yhtenä sovellutuksena tälle on televisio. Suomessa digitaalinen televisio toimii radioaaltojen avulla, tarkemmin UHF-taajuusalueen aalloilla.

Television näkyvyyteen vaikuttavat monet asiat. Kohina, sää, maasto, linkkiväli, signaalin vahvuus ja radiotien vaimennus ovat näitä tekijöitä. Myös antenni ja sen suuntaus vaikuttavat merkittävästi television näkyvyyteen. Perehtymällä television ja radioaaltojen toimintaan, kuluttajalla on mahdollisuus vaikuttaa televisionsa näkyvyyteen.

Tutkielmassa perehdytään aluksi radioyhteyden peruspilareihin eli yleisesti radioaaltoihin ja niiden etenemiseen. Luvussa kaksi käydään läpi näitä edellä mainittuja ja niiden lisäksi myös radiotiellä tapahtuvaa vaimennusta. Luvussa kolme käsitellään miten UHF-taajuiset radiosignaalit kuljettavat televisiolähetystä Suomessa, sisältäen käytetyt modulaatiotekniikat. Tässä luvussa käydään myös läpi radioyhteyksiin liittyviä asioita, kuten kohinaa, vahvistimia ja antennejä.

Luvussa neljä käsitellään radioyhteyden häiriöitä. Millainen on käytännön linkkiväli ja miten se sidotaan alun teoriaan? Lopussa eli luvussa viisi pohditaan mittauksen ja käytännön linkkivälin avulla, mitkä asiat tulee ottaa huomioon television signaalikulussa ja miten niihin voidaan vaikuttaa. Pohdinnassa pyritään saamaan ratkaisua tutkimusongelmaan eli yritetään löytää keinoja parantaa television näkyvyyttä kuluttajana. Lisäksi kootaan saatua ymmärrystä pintatason radiotekniikasta.

2 Radioaallot yleisesti

Radioaallot ovat vanha ja tutkittu luonnonilmiö, kertovat Räisänen ja Lehto kirjassaan (Antti Räisänen 2001). Niitä on käytetty tiedon lähettämiseen ensimmäisen kerran 1800-luvun lopussa. Radioaalloille tapahtuu vaimenemista radiotiellä, johtuen monista fysikaalisista ilmiöistä.

2.1 Sähkömagneettinen spektri

Räisänen ja Lehto kirjassaan (Antti Räisänen 2001, 9–11) sekä Knight kirjassaan (Knight 2014) kertovat sähkömagneettisen säteilyn aiheutuvan sähkö- ja magneettikenttien värähtelystä ja se etenee poikittaisena aaltoliikkeenä. Kun sähkömagneettinen aalto etenee, sykkivät sen sähkö- ja magneettikenttä saman vaiheisina, kuitenkin kohtisuorassa etenemissuuntaa ja toisiaan vastaan. Eteneminen on suoraviivaista ja tapahtuu valon nopeudella tyhjiössä. Radioaallot ovat osa sähkömagneettista spektriä. Ne ovat sähkömagneettista säteilyä ja ovat matalataajuisin ja pitkäaaltoisin osa sähkömagneettista spektriä. Radioaaltojen spektri jaetaan seuraavassa taulukossa ITU:n artikkelin (ITU 2020, 25) mukaan taajuusalueisiin.

Lyhenne	Taajuusalue
VLF	3-30 kHz
LF	30-300 kHz
MF	300-3000 kHz
HF	3-30 MHz
VHF	30-300 MHz
UHF	300-3000 MHz
SHF	3-30 GHz
EHF	30-300 GHz

UHF-taajuusalue on radioaaltojen spektrin melko korkea taajuusalue. Aallonpituus on siis tällä alueella ITU:n artikkelin (ITU 2020) mukaan 10-100 cm.

2.2 Radioaaltojen eteneminen

UHF-taajuinen säteily etenee Räisäsen ja Lehdon (Antti Räisänen 2001, 183) mukaan pääasiassa näköyhteysreittiä pitkin ja eteneminen on ominaisuuksiltaan melko samankaltaista kuin vapaantilan eteneminen. Näköyhteysreitti tarkoittaa, että suurimmaksi osaksi radioaallot kulkevat suoraa reittiä lähettimeltä vastaanottimelle.

UHF-taajuusalueen aaltojen eteneminen voi tapahtua myös monitie-etenemisenä, jolloin osa aalloista voi heijastua, sirota tai diffraktoitua (Knight 2014) matkalla. Osa näistä aalloista saapuu määränpäähänsä lopulta. Nämä interferoivat (Knight 2014) muiden aaltojen kanssa, myös suoraa reittiä kulkeneiden aaltojen kanssa. Tähän liittyy käsite Fresnelin ellipsoidit, joiden avulla voidaan paremmin ymmärtää signaalin eri aaltokomponenttien summautuminen. Fresnelin ellipsoidit liittyvät myös radiotien vaimenemiseen, siksi niistä kerrotaan lisää kappaleessa 2.3 Radiotien vaimennus.

Radioaallot etenevät myös monilla muilla tavoilla riippuen niiden aallonpituuksien määrittämisestä ominaisuuksista. Näistä muista tavoista löytyy lisää tietoa esimerkiksi Räisäsen ja Lehdon kirjasta Radiotekniikan perusteet (Antti Räisänen 2001).

2.3 Radiotien vaimennus

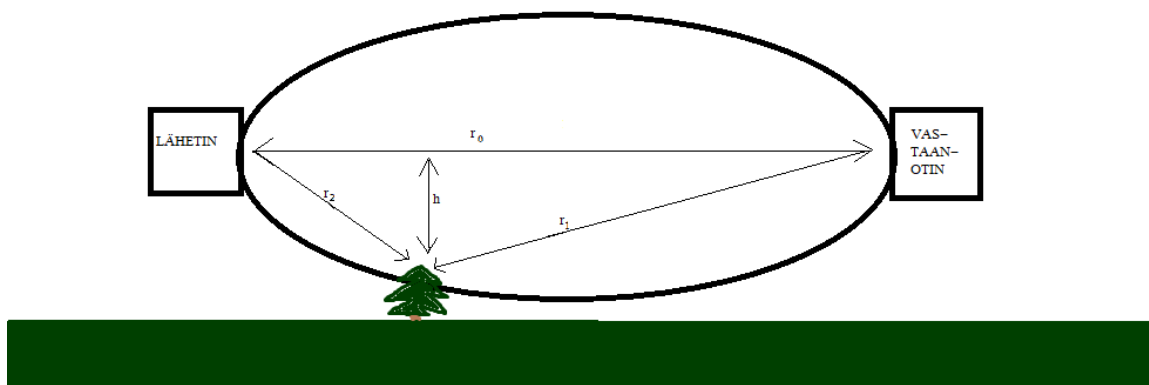
Räisänen ja Lehto kirjassaan (Antti Räisänen 2001, 188–190) sekä Hristov kirjassaan (Hristov 2000, 40–44) kertovat UHF-taajuusalueen radioaaltojen vaimenemisen johtuvan esteistä näköyhteysreitillä. Esteet aiheuttavat sirontaa, diffraktiota sekä heijastumista, jotka vaimentavat aaltoja. Esimerkiksi rakennukset tai maastonkohdat, jotka estävät aallon kulun, aiheuttavat radiotien vaimenemista. Tätä aiheuttavat myös sade ja sumu aallon siroamisen kautta. Fresnelin ellipsoidit liittyvät vahvasti radiotien vaimenemiseen. Ne kuvaavat alueita, joiden sisällä heijastuessaan aallot joko vahvistavat tai heikentävät toisia aaltoja. Aalto vaimenee osuessaan esteeseen, esimerkiksi rakennukseen. Näin ollen aalto tarvitsee riittävän suuren vapaan tilan edetäkseen.

Ensimmäisen ellipsoidin sisällä heijastuneet aallot interferoivat suoraan etenevien aaltojen kanssa vahvistavasti. Toisessa ellipsoidissa heijastuneet aallot summautuvat suoraan etene-

vien aaltojen kanssa heikentäen signaalia vastaanottimessa. Tämä tapahtuu aallonpituuksien ja etäisyyksien perusteella kaavan 2.1 mukaan, jossa r_1 ja r_2 ovat vastaanottimen tai lähettimen, sekä esteen väliset välimatkat. Lähettimen ja vastaanottimen välinen etäisyys on r_0 ja λ on aallonpituus.

$$r_1 + r_2 - r_0 = \frac{\lambda}{2} \quad (2.1)$$

Kuviossa 1 nähdään havainnollistettu Fresnelin ensimmäinen ellipsoidi ja suoraan etenevän aallon sekä heijastuneen aallon etäisyydet lähettimen ja vastaanottimen välillä. Fresnelin ensimmäinen ellipsoidi pyritään jättämään vapaaksi esteistä, jotta eteneminen ei vaimentuisi.



Kuvio 1. Fresnelin ensimmäinen ellipsoidi

3 Radioyhteys

Räisäsen ja Lehdon mukaan (Antti Räisänen 2001, 224) radioyhteys muodostuu kokonaisuudesta, jossa on lähetin, etenemistie ja vastaanotin. Tässä tutkielmassa sovellamme teoriaa eräälle linkkivälille, vastaanotin sijaitsee Satakunnassa Pomarkussa ja etenemistie riippuu lähettimestä, jolle on olemassa kaksi mahdollista sijaintia.

3.1 Televisiolähetykset radioyhteydellä

Digitan (Digita 2020d) mukaan Suomessa näkyvät televisiolähetykset kulkevat UHF-radio-
taajuuksilla, kaapeliverkolla, satelliittiyhteydellä tai Internetin kautta. Tässä tutkielmassa tarkastellaan maanpäällistä UHF-televisioverkkoa. Liikenne- ja viestintäministeriön (Liikenne- ja viestintäministeriö 2007a) sekä Digitan (Digita 2022) mukaan tässä verkossa televisiokanavat toimitetaan kanavanippuina. Eri alueiden lähetyksille on jaettu omat taajuusalueet, jotta vältetään päällekkäisiltä lähetyksiltä. Tällä taajuusalueella ne lähettävät tiettyjä kanavanippuja. Yhden kanavanipun kaistanleveys UHF-alueella on 8 MHz. Nämä eri asemien taajuusalueet lähetyksiä varten näkee Digitan (Digita 2022) koonnista.

Antennioppaan (SANT ry 2017) sekä Digitan (Digita 2020c) mukaan tämä televisioverkko tukee nykyään ainoastaan digitaalisia lähetyksiä. Analogisista lähetyksistä on siirretty kokonaan digitaalisiin Suomessa vuonna 2007. Suomen televisiopalvelut käyttävät DVB-järjestelmää eli vaativat DVB-T tai DVB-T2 vastaanottimen. Se tarkoittaa tällä merkinnällä varustettua digitaalisovitinta, eli tutummin digiboksia. DVB-T2 sovitin on tarkoitettu HD-laatuisten televisiolähetysten vastaanottoon. Myös muualla Euroopassa digitaalitelevisiolähetyskäyttöön käytetään DVB-järjestelmää.

Televisiopalveluilla on seuraavanlainen jakeluketju: televisioyhtiöt (esimerkiksi Nelonen tai MTV3), seuraavaksi verkko-operaattorit (Digita tai DNA) ja viimeisenä loppuasiakkaat eli kotitaloudet. Verkon kattavuudesta ja rakenteesta vastaavat verkko-operaattorit. Myös television radiosignaalin lähetyksen tapahtuu operaattoreiden toimesta. Digita (Digita 2020a) tarjoaa sivuillaan tiedon kunkin lähetyksiaseman kanavanippujärjestelmästä. Kanavaniput A, B, C, D, E ja F sisältävät tietyt televisiokanavat. Esimerkiksi kanavanippuun A kuuluu Yle TV1, Yle

TV2, MTV3 ja Nelonen.

Kumar ja muut, sekä Engels julkaisuissaan (Suresh Kumar, Arora ja Sharma 2018) (Engels 2002) kertovat, että DVB-T-järjestelmässä digitaalisen television lähetykset kootaan videokuvasta, äänestä ja tekstityksestä. Tätä koontia kutsutaan multipleksoinniksi, jonka tuloksena saadaan yksi tietovirta. Näitä tietovirtoja kootaan yhteen ja saadaan yksi siirtovirta. Multipleksoitujen tietovirtojen formaatti on MPEG-ohjelmavirta, josta siis koostetaan MPEG-siirtovirta. Siirtovirta sisältää 188 tavun kokoisia paketteja, jotka voidaan viedä eteenpäin lähetettäväksi.

3.2 Modulointi

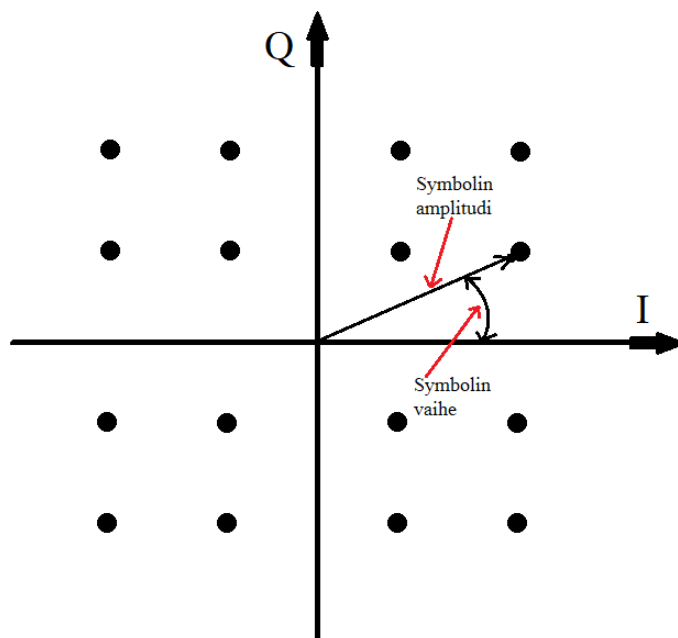
Räisänen ja Lehdon mukaan (Antti Räisänen 2001, 202–215) yksinkertaisimmin modulointi tarkoittaa signaalin muokkaamista toisella signaalilla, minkä tarkoituksena on liittää informaatiota kantaaltoon. Signaalia voidaan moduloida digitaalisesti tai analogisesti monella eri menetelmällä. Tutuimpana esimerkiksi analoginen taajuusmodulaatio FM, jota käytetään radiolähetyksissä. Digitaalinen ja analoginen modulaatio eroavat toisistaan. Analogisesti informaatio moduloidaan niin, että se voi ottaa minkä tahansa arvon, kun taas digitaalisessa modulaatiossa signaali voi kuljettaa vain tiettyjä arvoja, jotka esitetään yleensä binaarisina 0 ja 1 sarjoina.

3.2.1 QAM

Kumar ja muut julkaisussaan (Suresh Kumar, Arora ja Sharma 2018) sekä Sampaio de Alencar kirjassaan (Alencar 2018) kertovat 64QAM-OFDM modulaatiosta, jota käytetään televisiolähetyksien modulointiin. QAM tulee sanoista *Quadrature Amplitude Modulation* ja se on digitaalinen modulointitapa. Nimensä mukaan siinä moduloidaan amplitudia, mutta myös vaihetta. QAM modulaatiomenetelmässä yhdistetään kaksi signaalia samalle kaistalle, 90 asteen vaihe-erolla. Ennen yhdistämistä, eli QAM-signaalin luontia, nämä kantaallot moduloidaan erikseen.

Lukuarvo QAM merkinnän edessä kertoo montako pistettä sen konstellaatiokuviossa on eli montako symbolia on käytössä. 64QAM modulointimenetelmässä on siis $2^6 = 64$ symbolia

käytössä, eli kuusi bittiä, joilla voidaan ilmaista 64 eri tilaa. Kuviossa 2 nähdään konstellaatiokuvio 16QAM moduloinnista. Tässä moduloinnissa symboleita on käytössä $2^4 = 16$. Ne koostuvat taas neljän bitin eri variaatiosta.



Kuvio 2. 16QAM konstellaatiokuvio.

Kumar ja muut julkaisussaan (Suresh Kumar, Arora ja Sharma 2018) sekä Alencar kirjassaan (Alencar 2018) kertovat, että käytännössä QAM-modulaatiossa lopputuloksena saatava moduloitu kantaalto tai digitaalisen informaation tapauksessa, joukko modulaatiosymbolien arvoja, muodostetaan moduloimalla kahden keskenään eri vaiheessa olevan kantaallon amplitudia. Kumpaakin moduloidaan omalla signaalilla tai bittivirralla.

3.2.2 OFDM

OFDM tulee sanoista *Orthogonal frequency-division multiplexing*, suomeksi *kohtisuora taajuusjakoinen multipleksointi*. Engels kertoo kirjassaan (Engels 2002) OFDM-modulaation olevan multipleksoimalla koostettuja QAM-datasignaaleja. Tässä modulaatiossa dataa siirretään monilla eri alakantajilla, joiden määrä vaikuttaa suoraan signaalin kaistan kaistanleveyteen. Kumar ja muut artikkelissaan (Suresh Kumar, Arora ja Sharma 2018) kertovat, että OFDM on modulaatiotekniikka, joka pystyy antamaan suuremman suorituskyvyn lähettämäl-

lä juurikin näitä monia itsenäisiä QAM-alikantoaaltoja yhtäaikaaisesti.

Engels kirjassaan (Engels 2002) sekä Kumar ja muut artikkelissaan (Suresh Kumar, Arora ja Sharma 2018) esittävät, että digitaalisen signaalin vaihtelu luodaan diskreetin Fourierkäänteismuunnoksen avulla, tällöin muunnellaan moduloitavien symbolien amplitudia ja vaihetta. Demodulaatio tehdään taas käyttämällä diskreettiä Fouriermuunnosta. Pinsky julkaisussaan (Pinsky 2002), kertoo Furierin muunnoksen perustuvan teoreemaan, jonka mukaan kaikki säännölliset ja jatkuvat funktiot pystytään esittämään sinimuotoisten funktioiden integraalina.

3.3 Kohina ja signaali-kohinasuhde

(Jyri Kosola 2013, ss. 86-87) Kohina on sähköenergiaa, joka häiritsee lähetettäviä ja vastaanotettavia signaaleja. Vaikuttavia tekijöitä siihen, kuinka pahasti kohina häiritsee, on esimerkiksi käytetty modulaatiotekniikka. Kohinaa aiheutuu myös komponenteista radiolaitteistossa, esimerkiksi liittimistä ja kaapeleista. (Antti Räisänen 2001, 224) Signaali-kohinasuhde kuvaa signaalin vahvuutta verrattuna kohinaan. Kohina siis summautuu hyötysignaaliin. Tämän suhteen pitäisi televisiolähetyksissä olla yli 40 dB hyvän kuvan saavuttamiseksi.

Barclay (Barclay 2003, 8) ja Hagen (Hagen 2009, 219) kertovat julkaisuissaan, että kohinan aiheuttajat tulee ottaa huomioon järjestelmien suunnittelussa. Kohinaa on kahden tyyppistä: sisäinen vastaanottimen kohina ja ulkoinen antennin vastaanottama kohina. Sisäisellä kohinalla tarkoitetaan vastaanottimen sisällä muodostuvaa kohinaa ja ulkoisella taas muusta lähteestä antenniin tulevaa kohinaa. Sisäiseen kohinaan voidaan luokitella antennin kaapeliin muodostuva kohina, vahvistimen itse aiheuttama kohina sekä kaikkiin antennikaapeleiden liitoksiin muodostuva kohina. Näin ajatellen kohinaa muodostuu hieman kaikkialta.

3.4 Vahvistin

Kosola (Jyri Kosola 2013) ja Hagen (Hagen 2009) julkaisuissaan kertovat vahvistimen vahvistavan signaalin tehoa, jolloin se pystytään saamaan esimerkiksi liian heikkolaatuisesta käytettäväksi signaaliksi. Jokaisella vahvistimella on omat ominaisuutensa, esimerkiksi

maksimivahvistus ja toimintataajuus. Nämä pitää olla tilanteeseen sopivat, jotta vahvistimesta on mahdollista saada hyötyä.

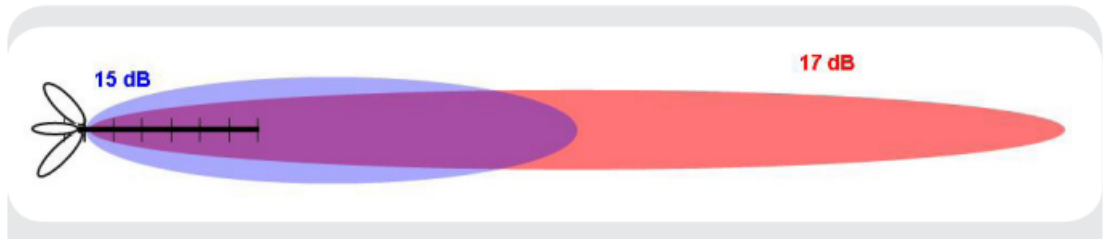
Antennioppaan mukaan (SANT ry 2017, 14) kuluttaja pystyy mittamaan signaalin vahvuuden antennin suuntausmittarilla. Jos mitattu signaali-kohinasuhteen taso on alle $45 \text{ dB}\mu\text{V}$, eli yksikössä dBm tämä on -62, voidaan hyödyntää masto- tai antennivahvistinta. Pitää huomata, että jos vahvistuksen asettaa liian suureksi, se voi vaikuttaa muuhun langattomaan samoilla radiotaajuuksilla kulkevaan liikenteeseen. Tämä muu liikenne kuitenkin käyttäjällä on luultavasti vähäistä UHF-taajuuksilla. Myös kuvanlaatu saattaa huonontua liiallisen vahvistuksen myötä.

3.5 Antenni

Antenni on määritelty julkaisussa IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas (IEEE 2014, 5) seuraavasti: ”Lähtävän tai vastaanottavan järjestelmän osa, joka on suunniteltu säteilemään tai vastaanottamaan elektromagneettisia aaltoja.” Räsänen kertoo kirjassaan (Antti Räsänen 2001, 151) antennin ottavan vastaan signaalin vapaasti etenevistä radioaalloista ja siirtää sen siirtolinjaa pitkin eteenpäin. Signaali voidaan myös siirtää toiseen suuntaan eli siirtolinjalta antennin kautta vapaaseen tilaan. Antennit ovat pääsääntöisesti resiprookkisia, ellei niissä ole epäresiprookkisia komponentteja. Näitä epäresiprookkisia komponentteja ovat muun muassa vahvistimet ja ferriittikomponentit.

Antennioppaan (SANT ry 2017) ja Balaniksin (Balanis 2016) mukaan antenneja on monenlaisia ja ne voidaan jakaa suuntaaviin tai pallomaisiin antenneihin. Pallomaiset antennit säteilevät joka suuntaan saman verran, kun taas suuntaavat antennit vahvistavat fyysisen muotonsa vuoksi jostain suunnasta tulevaa tai johonkin suuntaan lähtevää signaalia. Suuntaavien antennien säteilykuvio on hieman erinäköinen kuin pallomaisten, jotka ympärisäteilevät. Kuvassa 3 nähdään suuntaavan antennin suuntakuvio. Kuvan perusteella antennin vahvistus eteen on 15 dB tai 17 dB. Tällaisen antennin kuuluu vaimentaa sivulta tulevat signaalit. Etu-takasuhde tarkoittaa edestäpäin tulevan signaalin vahvistuksen suuruutta verrattuna taakse tulevan signaalin vahvistuksen suuruuteen.

Tämän työn teoriaa soveltaessa käytettiin tavallista jagi-antennia, joka soveltuu hyvin UHF-



Kuvio 3. (SANT ry 2017) suuntaavan antennin suuntakuvio

taajuuksien ja yleisesti televisiolähetysten vastaanottoon. Kosola julkaisussaan (Jyri Kosola 2013) kertoo jagi-antennin olevan suuntaava antenni ja yleisesti sen vahvistuksen olevan noin 13 - 15 dBi. Tämä vahvistus on ilmoitettu desibeliä yli isotrooppisen vahvistuksen eli ideaaliin ympärisäteilevään antenniin verrattuna. Balaniksin (Balanis 2016, 3) mukaan antennilla voidaan parantaa huomattavasti vastaanottoa esimerkiksi televisiolähetyksissä. Antenni onkin siksi kovin kriittinen komponentti.

4 Häiriöt radioliikenteessä

Räisänen ja Lehdon kirjan (Antti Räisänen 2001) sekä Kosolan ja Solanteen julkaisun (Jyri Kosola 2013) mukaan häiriöt radioliikenteessä voivat aiheutua signaalin kulun haasteista linkkivälillä ja säästä. Linkkivälillä tarkoitetaan kokonaisuutta, johon kuuluu tavanomaisesti pääteasemat ja toistinasemat.

4.1 Maasto ja sää

Digitan (Digita 2020b) ja Solanteen (Jyri Kosola 2013) mukaan television vastaanotettavan signaalin vahvuuteen vaikuttaa laitteiden ohella merkittävästi myös sää. Kun ilmassa on enemmän esteitä, vaimenee signaali. Tätä aiheuttaa vesi- ja lumisade, puiden lehdet ja sumu. Kuitenkin näiden vaikutus etenemisvaimennukseen riippuu radioaaltojen aallonpituudesta. Tarkasteltaviin UHF-taajuisiin aaltoihin vaikutus on miltei olematon. Sää voi kuitenkin vaikuttaa suoraan antennin toimivuuteen, esimerkiksi lumen kertymisenä, mikä heikentää sen ominaisuuksia.

Sääoloihin vaikuttaminen kuluttajan näkökulmasta on tietenkin mahdotonta. Kuluttaja voi ainoastaan pitää antennin puhtaana lumesta ja jäädä, jotta sen ominaisuudet pysyvät toimivina. Tällä pyritään vaikuttamaan sään tuomaan ongelmaan, ei itse säähän.

Räisänen ja Lehto kirjassaan (Antti Räisänen 2001, 188–190) toteavat, että signaalin eteen tulevat esteet vaimentavat sitä sädeteorian mukaan, mikä päteeikin korkeammilla taajuuksilla. UHF-taajuuksien toimintaa voidaan paremmin esittää Huygensin periaatteella, eli jokainen aaltorintaman piste toimii uutena aallon lähtökohtana. Kyseisen taajuiset radioaallot voivat siis myös taipua näköesteen taakse eli ohittaa sopivan korkuisia esteitä näköyhteysreitillä. Maaston vaikutus ilmenee käytännössä antennin korkeuden valinnassa.

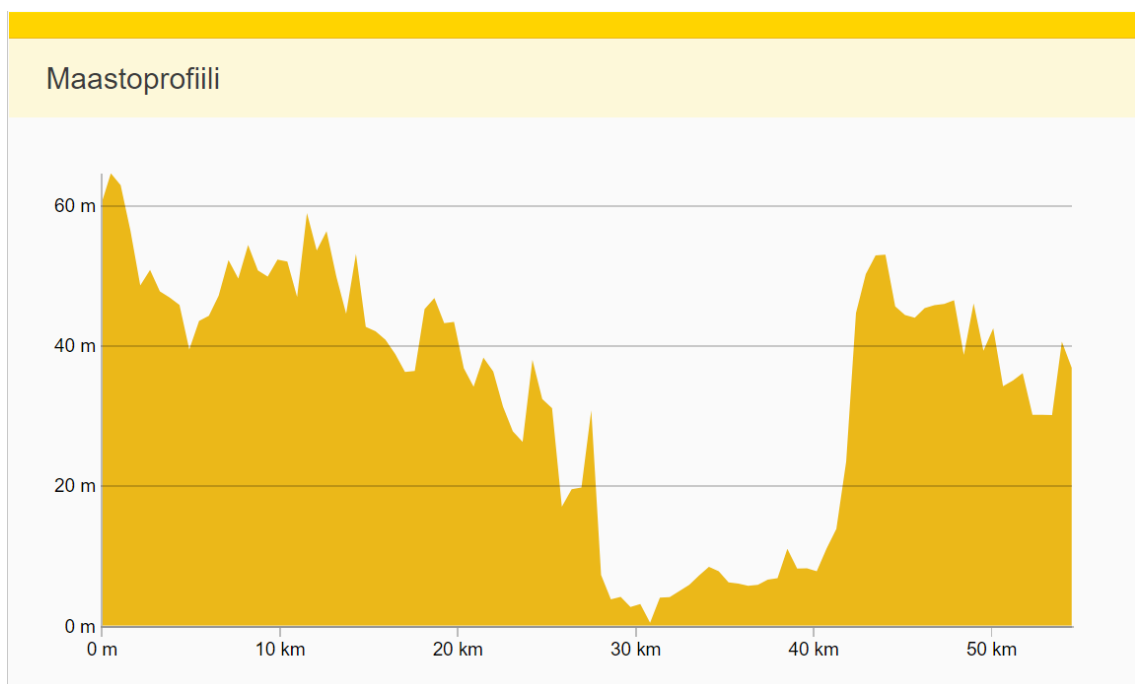
4.2 Linkkiväli

Tässä tutkielmassa toisena pääteasemana toimii televisiolähetysasema ja toisena televisiovastaanotin. Toistinasemia ei tällä välillä ole, mutta toistinaseman tarkoituksena on jatkaa

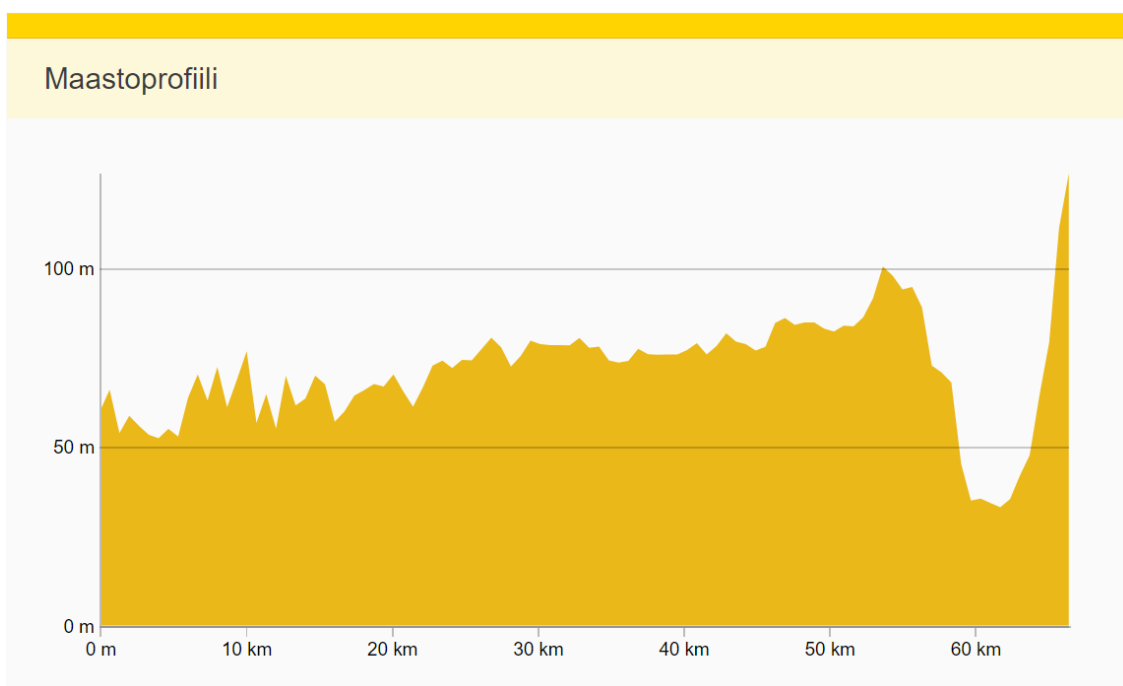
liikennettä pidemmälle etäisyydelle. Linkkivälin vastaanottopää sijaitsee Satakunnassa Pomarkussa. Digitan tarjoamia (Digita 2020a) lähetyksasemia, jotka kattavat vielä tämän alueen, ovat Eurajoen ja Pyhävuoren asemat. Asemista Eurajoki tarjoaa kattavamman kanavanippu-tarjonnan (A, B, C, D, E, F), kun taas Pyhävuori hieman suppeamman (A, B, E). Viestintäministeriön mukaan (Liikenne- ja viestintäministeriö 2007b) Pyhävuoren asemalla lähetyssantennin korkeus maasta on 311 m ja Pyhävuoren asemalla 207 m.

Maastoprofiilista voimme nähdä ainoastaan maaston muotoja, jotka voivat vaimentaa tai estää signaalin kulkua. Näistä kuvista ei voida päätellä mitään esimerkiksi ihmisen luomista esteistä linkkivälille. Tällaisia esteitä voisivat olla vaikkapa korkeat rakennukset.

Kuviosta 4 voidaan nähdä ainakin Eurajoen asemalta tulevan signaalin kulun haasteet. Suurin haaste tällä välillä on nyppylä juuri ennen vastaanottoasemaa. Kuviosta 5 voidaan nähdä sama haaste myös Pyhävuoren ja Pomarkun välillä.



Kuvio 4. (Maanmittauslaitos 2020) Maastoprofiili linkkivälille Pomarkku-Eurajoki



Kuvio 5. (Maanmittauslaitos 2020) Maastoprofiili linkkivälille Pomarkku-Pyhävuori

5 Teoriasta pohdintaan ja käytäntöön

Käytännön linkkivälille mitattiin signaali-kohinasuhteet kahdesta eri lähetysasemasta, Eurajoen ja Pyhävuoren. Etäisyys Eurajoen asemaan oli noin 50 km, kun taas Pyhävuoren asemaan noin 70 km. Mittauksen tarkoituksena ei ole tuottaa uusia tuloksia, vaan ainoastaan simuloida kuluttajan toimia ja yrittää luoda teorialle mielenkiintoista vastetta käytännön puolelta.

5.1 Mittaukset

Signaali-kohinasuhdetta mitattiin käyttämällä R&S Fsh6 Spektrianalysaattoria. Tämä analysaattori tunnistaa automaattisesti 8 MHz leveän kanavanipun ja mittasi tälle signaali-kohinasuhteen.

Asetuksina mittarissa oli seuraavat arvot:

- VBW (Video bandwidth): 3 MHz
- SWT (sweeptime): 100 ms
- Mittaustapa: channelpower
- CBW (channel bandwidth): 8 MHz
- RBW (resolution bandwidth): 300 kHz

Mittauksen alussa antennilta tuleva antennikaapeli tuotiin suoraan spektrianalysaattorille. Välistä jätettiin siis pois vahvistin. Mittarin ja antennin välissä oli noin 1,5 m antennikaapelia. Kummankin aseman suuntaan mitattiin siten, että löydettiin oletetusta suunnasta voimakkain signaali ja pienin signaali-kohinasuhde arvo. Tämän arvon annettiin vakiintua eli antennin annettiin olla hetki paikallaan ja otettiin pienin mahdollinen arvo ylös. Sää mittauksen aikana oli pilvinen, mutta sateeton. Mittauspäivänä puissa ei ollut lunta, eikä lehtiä. Mittaustuloksina saatiin seuraavat arvot Eurajoen asemalta:

Kanvanippu	Keskitaajuus	signaali-kohinasuhde
A	610 MHz	-59 dBm
B	666 MHz	-65 dBm
E	602 MHz	-60 dBm

Mittaustuloksina saatiin seuraavat arvot Pyhävuoren asemalta:

Kanvanippu	Keskitaajuus	signaali-kohinasuhde
A	530 MHz	-70 dBm
B	634 MHz	-75 dBm
E	586 MHz	-72 dBm

Mittaustuloksista Eurajoen signaalin signaali-kohinasuhde oli antennioppaan (SANT ry 2017, 14) mukaan rajoilla siinä, voidaanko sitä käyttää television katseluun. Oppaassa rajana pidettiin -62 dBm. Kuitenkin televisio näkyi tällä antennin suuntauksella antennivahvistimen ansiosta. Pyhävuoren signaali oli heikkoa eikä sitä vahvistuksellakaan saatu riittävän voimakkaaksi.

5.2 Pohdinta

Räisäsen mukaan (Antti Räisänen 2001, 202) radiojärjestelmien toiminta, joten myös yksittäisen radioyhteysvälin toiminta, riippuu neljästä peruspilarista. Nämä ovat tietenkin lähetin, vastaanotin, antenni ja sen ominaisuudet, sekä aaltojen eteneminen tietyllä välillä. Tällä yksinkertaistamisella voidaan pohtia koko katsauksen tuloksia paremmin.

Liikenne- ja viestintäministeriön (Liikenne- ja viestintäministeriö 2007b) mukaan lähettimen tehoina oli kummassakin asemassa 50 kW. Tämän ei siis pitäisi vaikuttaa eroavaisuuksiin kahden linkkivälin signaali-kohinasuhteen välillä. Antennin korkeus maasta on Eurajoen asemalla 311 m, kun taas Pyhävuoren asemalla 207 m. Tämä antennien vertikaalinen sijainti saattaa olla osaltaan syynä siihen, miksi Pyhävuorelta tuleva signaali oli niin heikkolaatuinen.

Aaltojen etenemiseen vaikuttavien tekijöiden pohdinta näillä kahdella linkkivälillä on haastavaa. Yhtenä syynä voi olla rakennusten tai muiden näköesteiden hankala huomioiminen

linkkivälillä. Kuitenkin maastoprofiileista (kuvioit 4 ja 5) voidaan nähdä, että kummankin välin vastaanottavassa päässä on maaston korkeampi kohta ennen vastaanottimen sijaintia. Tämä voi olla kohtalokas signaalin kululle.

Jos lähettävät antennit ovat riittävän korkealla, jää Fresnelin ensimmäinen ellipsoidi vapaaksi, eikä silloin ole huolta nyppylästä. Kuitenkin Pyhävuoren antenni on yli 100 metriä matalammalla kuin Eurajoen. Tämä saattaa selittää myös mittaustuloksissa esiintyneet erot eli Fresnelin ensimmäinen ellipsoidi ei ole ehkä jäänyt vapaaksi. Myös linkkivälin pituuden aiheuttama signaalin heikentyminen puoltaa mittaustuloksia, koska Eurajoen asema on noin 20 kilometriä lähempänä kuin Pyhävuoren. Näin pitkillä etäisyyksillä UHF-taajuusalueella tapahtuu merkittävää vaimenemista.

Tarkastelussa havaittiin joitain asioita, joihin kuluttajana pystyy vaikuttamaan. Näitä ovat ainakin antennin valinta ja sen suuntaaminen. Käytännössä antennin valinnalla tarkoitetaan tehokkaamman, suuntaavamman ja paremmalla etu-takasuhteella varustetun antennin hankintaa. Tällöin antennin vahvistaa oikeasta suunnasta tulevaa televisiosignaalia ja vaimentaa sivuilta tulevia epäoleellisia muita signaaleja. Antennin suuntaamisessa kuluttajana kannattaa perehtyä eri lähetysasemien ominaisuuksiin, jotta signaalilla olisi mahdollisuus edetä radiotiellä. Näitä lähetysasemien ominaisuuksia ovat ainakin lähetysmaston korkeus, lähetysteho, kanavanipputarjonta ja aseman etäisyys. Kanavanipputarjonnan niukkuus voi kuluttajalla tiputtaa jonkin lähetysaseman pois laskuista eli se ei suoranaisesti vaikuta signaalin kulkuun, mutta voi aiheuttaa heikomman lähetysaseman valinnan antennin suuntaukselle.

Tärkeässä roolissa signaalin kulussa ovat myös kaikki television katseluun tarkoitetut komponentit. Näiden pitäminen toimintakuntoisena edesauttaa signaalin kulkua suljetulla siirrotiellä antennilta televisiovastaanottimelle. Antennikaapelit kannattaa pitää ehjinä ja niiden väliset liitokset toimivina. Myös antenni on syytä pitää kunnossa eli puhdistaa lumesta ja estää kaikki siinä tapahtuva mekaaninen kuluminen.

Kuitenkin monet tekijät jäävät kuluttajan vaikutuksen ulkopuolelle. Näitä ovat ainakin linkkiväliin ja säähän vaikuttaminen. Kuluttajan ponnistelut television näkyvyyden parantamiseksi eivät kuitenkaan riitä, jos signaali on heikko tai jo katkennut jostain kuluttajasta riippumattomasta syystä. Suomessa on myös paikkoja, joihin televisiolähetysten kantama ei riitä.

Näissä ainut keino olisi saada toistinasema, mutta tähän kuluttajan on hankalampi vaikuttaa.

6 Yhteenveto

Tutkielman yhteenvetona voidaan sanoa, että haluttuina tuloksina saatiin tietoa ja teoriaa radioaaltojen ja televisiosignaalin kulusta. Kaikki, aina modulaatiosta demodulaatioon asti, käytiin läpi pintatasolla. Tällä tiedolla voidaan ymmärtää hyvin televisioliikenteen kulku Suomessa ja tekijät sen ympärillä. Käytännön toimia, joita kuluttajana voidaan suorittaa television näkyvyyden parantamiseksi, saatiin tutkielman tuloksina kuitenkin verrattain vähän. Mitä mittaukseen tulee, saatiin sillä sidottua teoriaa käytäntöön ja pystyttiin pohtimaan tuloksille loogisia syitä teorian pohjalta.

Näitä käytännön toimia kuluttaja ovat ainakin antennin valinta ja sen suuntaus. Suuntauksessa kuluttajan kannattaa tarkastella eri lähetysasemia, erityisesti niiden etäisyyttä, kanavanipputarjontaa, antennimaston korkeutta ja lähetystehoa. Muita toimia kuluttajana on huoltaa television katseluun vaadittavia komponentteja, kuten antennikaapelit, liittimet ja itse antenni.

Tutkielman teoriaosuus on monelta osin niin sanottua arkitietoa, joten työn teoriaa voidaan pitää melko luotettavana. Kirjallisuudessa haasteena oli perustiedon puute. Aiheeseen liittyvissä kirjoissa se sivuutettiin olettaen, että lukija sen jo ymmärtää. Kirjallisuudesta saatava tieto upposi siis liian syvälle tiettyyn aiheeseen, kun taas tässä tutkielmassa olisi kaivattu juuri tuota osatuksi oletettua perustietoa. Kuitenkin lähteitä, joita tässä työssä käytettiin, voidaan pitää luotettavina, koska suurin osa niistä on oppikirjoja.

Työ oli todella pintaraapaisua radiotekniikasta ja sitä koskevista aihealueista. Tarjolla olisi ollut paljon syventävää tietoa jota ei otettu mukaan aiheen järkevän rajaamisen vuoksi. Jatkoissa tähän tekniikan alueeseen uppoutuen saisi mielenkiintoisia ja aina ajankohtaisia aiheita erilaisille tutkimuksille ja opinnäytteille. Tämän työn jatkoksi voisi tulevaisuudessa tutkia pelkästään HD -laatuista lähetyksiä ja niiden toimittamista kuluttajalle.

Lähteet

- Alencar, Marcelo Sampaio de. 2018. *Modulation Theory*. Tanska ja Alankomaat: River Publishers.
- Antti Räisänen, Arto Lehto. 2001. *Radiotekniikan perusteet*. Helsinki: Otatieto Oy.
- Balanis, Constantine A. 2016. *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN*. New Jersey: John Wiley Sons, Inc.
- Barclay, Les. 2003. *Propagation of radiowaves*. London, Unted Kingdom: The institution of engineering / technology.
- Digita. 2020a. *AntenniTV:n kartta ja saatavuus*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.digita.fi/verkkojen-saatavuus/antennitvn-kartta-ja-saatavuus/>, viitattu 10.3.2022.
- . 2020b. *radiokeli*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.digita.fi/antennitv/vapaat-kanavat-ja-vastaanotto/hyodyllista-tietoa-tvsta/radiokeli/>, viitattu 10.3.2022.
- . 2020c. *Tv:n kehitysvaiheet*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.digita.fi/antennitv/vapaat-kanavat-ja-vastaanotto/hyodyllista-tietoa-tvsta/kehitysvaiheet/>, viitattu 10.3.2022.
- . 2020d. *vastaanotintyytit-ja-vastaanottotavat*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.digita.fi/antennitv/vapaat-kanavat-ja-vastaanotto/hyodyllista-tietoa-tvsta/vastaanotintyytit-ja-vastaanottotavat/>, viitattu 10.3.2022.
- . 2022. *Taajuustaulukko*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.digita.fi/wp-content/uploads/2022/02/Taajuustaulukko-2022-02.pdf>, viitattu 10.3.2022.
- Engels, Marc. 2002. *Wireless OFDM Systems : How to Make Them Work?* New York: Springer.
- Hagen, Jon B. 2009. *Radio-Frequency Electronics*. New York: Cambridge University Press.
- Hristov, Hristo D. 2000. *Fresnel Zones in Wireless Links, Zone Plate Lenses, and Antennas*. Norwood: ARTECH HOUSE, INC.

- IEEE. 2014. *IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas*. New York: IEEE.
- ITU. 2020. *Radio Regulations Articles*. Switzerland, Geneva: International Telecommunication Union.
- Jyri Kosola, Tero Solante. 2013. *Digitaalinen taistelukenttä*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu.
- Knight, Randall. 2014. *Physics for Scientists and Engineers*. Englanti: Pearson Education.
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2007a. *Analogisten televisiotaajuuksien käyttö siirryttäessä digitaaliseen jakeluun*. Saatavilla WWW-muodossa, https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78813/LVM31_2007.pdf?sequence=2, viitattu 10.3.2022.
- . 2007b. *tv asemat Suomessa*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/tv-ja-radio/tv-asetat-suomessa>, viitattu 06.4.2022.
- Maanmittauslaitos. 2020. *paikkatietoikkuna*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/?lang=fi>, viitattu 10.3.2022.
- Pinsky, Mark A. 2002. *Introduction to Fourier Analysis and Wavelets*. Rhode Island: American mathematical society.
- SANT ry. 2017. *Pientalon antenniopas*. Satelliitti- ja antenniliitto SANT ry.
- Suresh Kumar, Akshaya Dhingra, Payal Arora ja Deepak Sharma. 2018. “A Comprehensive Review of QAM-OFDM Optical Networks”. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER SCIENCES AND ENGINEERING* 6 (11): 2347–2693. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i11.811817>.