

**RADIOAALTOJEN ETENEMISMUODOT SUOMEN  
KOLMELLA KANSAINVÄLISELLÄ YLEISRADIOALUEELLA**

Pulkkinen Lauri-Pekka Johannes

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Lauri-Pekka Johannes Pulkkinen	Vuosi	2019
<b>Ohjaaja</b>	Pasi Laurila		
<b>Toimeksiantaja</b>	Lapin ammattikorkeakoulu		
<b>Työn nimi</b>	Radioaaltojen etenemismuodot Suomen kolmella kansainvälisellä yleisradioalueella		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	55		

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli radioaaltojen etenemismuodot Suomen kolmella eri kansainvälisellä yleisradioalueella. Tarkastelun kohteena olevat radioaaltoalueet koskevat siten tarkemmin Suomessa käytettävää viittä eri yleisradioaluetta. Työn tarkoitus oli valottaa ja selventää radioaaltojen eri etenemistapoihin liittyviä käsitteitä, seikkoja ja niistä koituvia erinäisiä vaikutuksia yleisellä tietotasolla.

Opinnäytetyö toteutettiin eri tiedon ja perusteiden haalimisella niin kirjallisuudesta kuin Internetistäkin. Tiedonhankinnassa käytettiin apuna myös useiden eri alan harrastajien ja asiantuntijoiden tietämystä esimerkiksi sähköpostin ja suorien keskustelujen välityksellä. Lisäksi opinnäytetyöhön kuului hankitun tiedon vahvistamiseksi käytännön kautta tapahtuva Suomen yleisradioliikenteen radioaaltojen eri etenemistapojen havainnointi. Kyseinen käytännön havainnointi tapahtui omatoimisesti erilaisilla radiovastaanottimilla ja -antenneilla.

Opinnäytetyössä on siis tuotu monipuolisesti esille kohteena olevien yleisradioalueilla esiintyvien radioaaltojen erilaisia etenemistapoja ja niistä aiheutuvia erinäisiä vaikutuksia. Myös eri aihealueita kuten maanmittaustekniikkaa sivutaan huomattavasti muun muassa geofysiikan kautta. Lisäksi työssä tulee jonkin verran läpikäytyä esimerkiksi Suomen radiohistoriaa.

Technology, Communication and Transport  
Degree Programme in Land Surveying  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Lauri-Pekka Johannes Pulkkinen	Year	2019
<b>Supervisor</b>	Pasi Laurila		
<b>Commissioned by</b>	Lapland University of Applied Sciences		
<b>Subject of thesis</b>	Propagation Forms of the Radio Waves in Finland's Three Different International Broadcasting Areas		
<b>Number of pages</b>	55		

---

The subject of this thesis was the propagation forms of the radio waves in Finland's three different international broadcasting areas. The wave areas in question apply to Finland's five different broadcasting areas in more detail. The objective of this thesis was to clarify the concepts related to the different propagation forms of radio waves and their various effects at a general level.

Information for the thesis was acquired from from the Internet and the literature. Furthermore, information was gathered by discussing with the enthusiasts and experts in the field, for example, by email. In addition, the different radio wave propagation forms were observed through practice. This practical observation was done independently using various radio receivers and antennas.

The various propagation forms of radio waves and their effects in the broadcasting areas were presented in a diverse manner in this thesis. In addition, other subjects such as land surveying was also discussed especially related to geophysics. Finland's radio history was also discussed in this thesis.

Key words                      radio, TV, radio waves, frequency, radio weather, geophysics

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	RADIOAALTOJEN ETENEMISMUODOT ERI TAAJUUKSILLA.....	4
2.1	Yleistä radioaaltojen etenemisestä .....	4
2.2	Eteneminen MF-alueella.....	5
2.3	Eteneminen VHF- ja UHF-alueella .....	8
3	RADIOAALTOJEN ERI ETENEMIMUODOT .....	10
3.1	Pinta-aalto .....	10
3.1.1	Pinta-aaltoon vaikuttavat heijastumat.....	10
3.2	Troposfäärinen eteneminen.....	12
3.3	Ionosfäärinen eteneminen .....	16
3.3.1	D-kerroksen vaikutus etenemiseen .....	20
3.3.2	E-kerroksen vaikutus etenemiseen.....	21
3.3.3	F-kerroksen vaikutus etenemiseen.....	25
3.3.4	Auringon häiriöiden vaikutus ionosfääriseen etenemiseen.....	27
3.4	Meteoriheijastumat .....	31
3.5	Muut satunnaiset heijastumat .....	32
4	RADIOAALTOJEN ETENEMISMUOTOJEN VAIKUTUKSET IHMISILLE..	34
4.1	Vaikutukset tavallisille kuluttajille radio- ja tv -ohjelmien vastaanotossa . .....	34
4.2	Vaikutusten ehkäiseminen.....	39
4.3	Vaikutusten tehostaminen .....	45
4.4	Vaikutukset viranomaisille sekä Suomen sisä- ja ulkopolitiikkaan .....	46
5	POHDINTA JA YHTEENVETO .....	50
	LÄHTEET.....	52

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitukseni käsitellä ja pohtia eri radioaaltojen etenemismuotoja kansainvälisesti kolmella eri yleisradioalueella joita käytetään myös Suomessa. Etenemismuotojen käsittelyyn liittyy myös niiden syntyminen ja niistä aiheutuvat erinäiset seuraukset niin yksittäisille ihmisille kuin laajemminkin mittakaavassa. Tarkastelemani kolme eri kansainvälistä yleisradioaaltoaletta koskevat keskiaaltoja (MF= Medium frequency 300–3000 kHz), VHF-aaltoja (VHF= very high frequency 30–300 MHz) ja UHF-aaltoja (ultra high frequency 0,3–3 GHz). Yksi megahertsi vastaa siis 1000:ta kilohertsiä, lyhenne kHz ja vastaavasti 0,001 gigahertsiä, lyhenne GHz.

Opinnäytetyöni rajaa siis edellä mainituista maailmanlaajuisesti sovitusta radioaaltoalueista koskemaan ainoastaan lähinnä Länsi-Euroopassa Suomi mukaan lukien käytettäviä yleisradioalueita, jotka ovat huomattavasti suppeampia aaltoalueita kansainvälisesti sovittujen aaltoalueiden sisällä. Kansainvälisten eli maailmanlaajuisten keskiaaltojen MF kohdalla tarkasteltavani alueeni sijoittuu Euroopassa lähetettäviin keskiaalto eli AM-lähetysiin, mitkä tapahtuvat taajuusvälillä 526,5–1606,5 kHz. Maailmanlaajuisten VHF-aaltojen osalta tarkasteltava alueeni sijoittuu vastaavasti muun muassa Länsi-Euroopassa lähetettäviin ULA- eli FM-lähetysiin, mitkä tapahtuvat taajuuskaistalla 87,5–108,0 MHz. Lisäksi VHF-aaltoalueeseen kuuluu VHF III -alueella laajalti Länsi-Euroopassa oman standardinsa mukaisesti lähetettävät yleisradio- ja tv-lähetykset taajuusvälillä 174–230 MHz. Kansainvälisten UHF-aaltojen eli 300 MHz - 3 GHz:n osalta tarkasteluni kattaa Länsi-Euroopan kansainvälisen UHF-alueen, mikä on 470–958 MHz.

Opinnäytetyöni rajaa vielä tarkemmin nämä aaltoalueet ainoastaan nykyisin Suomen valtion käytössä oleviin yleisradioaaltoalueisiin koskien ilmateitse tapahtuvaa maanpäällistä radio- ja tv-toimintaa, mitkä on määrännyt Viestintävirasto eli siis nykyinen Traficom eli entinen Ficora. Työssäni keskitytään tarkastelemaan eri radiokelimuotoja pelkästään Suomessa olevien yleisradio- ja tv-lähetysten aaltoalueilla. Rajauksen olen tehnyt siksi, että mikäli opinnäytetyö käsittelee kokonaisuudessaan koko UHF-taajuusalueita aina 3 GHz:n asti, työstä tulisi jo turhan laaja, eikä välttämättä olisi ymmärtämisen kannalta enää niin selkeää varsinkin tavallisille, asiaan perehtymättömille ihmisille. Työn tekeminen kävisi myös

liian työlääksi puhumattakaan siitä, jos otetaan mukaan erikseen lyhytaaltoalue eli 3–30 MHz. Aihepiirit äkkiä kasvaisivat huomaamattoman laajoiksi. Kaiken lisäksi nykypäivän Suomessa oleellisessa yleisradioliikenneasemassa on ULA -alue ja digitaalisen tv:n VHF- ja UHF-alueet, mistä se UHF-alue on Suomen yleisradioliikenteelle merkityksellisin. Pitkä- ja lyhytaaltopuoli on Suomen yleisradio-toiminnassa tänä päivänä käytännössä jo unohdettu, ja keskiaaltoalueellakin on myös aivan marginaalinen merkitys Suomen yleisradioliikenteessä.

Kansainvälisesti sovittujen keskiaaltojen eli MF-alueen taajuuskaistalle 300 kHz:n - 3 MHz:n sisään siis sijoittuvat Suomelle varatut ja aina ajoittain nykyäänkin tilapäisesti käytössä olevat yleisradioalueet eli keskiaaltojen 526,5–1606,5 kHz:n aaltoalue sekä lyhytaaltolähetysten alkupään 2300–2498 kHz:n alue. Kansainvälisen eli maailmanlaajuisen VHF-aaltoalueen 30–300 MHz:n sisälle sijoittuvat puolestaan Suomen FM- yleisradiotoiminta taajuusvälille 87,5–108,0 MHz sekä Länsi-Euroopan standardin mukaiset VHF III -verkon digitaaliset televisiolähetykset VHF-kanaville 5–12 eli taajuuskaistalle 174–230 MHz. Maailmanlaajui- seen UHF-radioaaltoalueeseen 300 MHz-3 GHz taajuusvälille taas kuuluu nykyään Suomessa 470–694 MHz:n alueella läheittävät eli Länsi-Euroopan ja Suomen standardin mukaisilla UHF-kanavilla tapahtuvat digitaaliset televisiolähetykset. Kyseinen 470–694 MHz:n taajuusväli koskee siis UHF -kanavia 21–48. Tosin mi- kään Suomen yleisradioliikenteen alainen tv-asema ei lähetä toistaiseksi UHF-kanavalla 21, vaan lähetystaajuudet alkavat UHF kanavasta 22 eli taajuudesta 478 MHz ylöspäin. Tähän kansainväliseen UHF-radioaaltoalueeseen 300 MHz - 3GHz:n eli siis 0,3–3 GHz:n taajuuskaistaan kuuluisi myös eri kännykkä ja Inter- net palvelutarjoajien verkkoja, mutta kuten edellisessä kappaleessa mainittu, ra- jaan ne tässä opinnäytetyössäni pois. Tarkasteluni UHF-alueen osalta kohdistuu täten vain nykyään Suomen yleisradioliikenteen tv-lähetyskäyttöön myönnettyllä taajuusvälillä 470–694 MHz.

Valitsin tämän opinnäytetyön aiheeni, koska radioaaltojen eteneminen ja siihen liittyvät eri asiat alkoivat yhä enemmän kiinnostaa minua tämän koulutuksen ai- kana. Myös viime aikoina yhä suuremmissa määrin virinnee omakohtaisen ra- dioharrastamiseni tueksi lähdin toteuttamaan tätä opinnäytetyötäni. Kokemukset radiotekniikkaan ja radioaaltojen tutkimiseen liittyen muutaman viime vuoden ajalta antavat hyvät perusteet erilaisiin johtopäätöksiin päätelmineen, joita tuke- vat lisäksi pitemmältäkin aikaväliltä muilta alan harrastajilta käydyt sananvaihdot

keskusteluineen. Lisäksi haluan valottaa tavallisille kansalaisille yhä enemmän ja selvemmin radioaaltoihin liittyviä erinäisiä käsitteitä, ilmiöitä sekä niiden syy- ja seuraussuhteita ihan jokapäiväiseen arkielämäämmekin liittyen. Maanmittaajan työvälineetkin perustuvat tänä päivänä pitkälle radioaaltoihin esimerkiksi takymetri ja GPS-paikannin, tosin ne toimivat käsittelemiäni aaltoalueita ylemmillä gigahertsiluokan taajuuskaistoilla. Erilaiset radiohäiriöt ja radiokenttien mittailu voi olla lisäksi useille maanmittausinsinööreille hyvinkin tuttua työkohteista riippuen.

## 2 RADIOAALTOJEN ETENEMISMUODOT ERI TAAJUUKSILLA

### 2.1 Yleistä radioaaltojen etenemisestä

Radioaaltojen etenemisessä on siis perimmäisenä kysymyksenä kaikilla käsittelemälläni aaltoalueilla energian siirtymisestä paikasta toiseen niin kutsuttuna sähkömagneettisena värähtelynä. Värähtelyn etenemistä, syntymistä ja vastaanottoa hallitsevat kaksi tunnettua peruslakia. Kyseisissä peruslaissa sähköinen varaus liikkuessaan synnyttää sähkömagneettisen kentän ja toisaalta sähkömagneettinen kenttä pyrkii saamaan varaukset liikkeeseen. Radioasemien koneistot muuntavat magneettinauhoille taltioidun tai mikrofoneihin tulevan äänen sähköiseksi värähtelyiksi eli signaaleiksi, mitkä syötetään sitten lähetinantenniin. Kyseinen syöttö saa lähetinantennin varaukset eli vapaat elektronit liikkeeseen, jonka seurauksena antennissa kulkee virta. Virta on ajallisesti suuruudeltaan vaihtelevaa, ja se muuttaa kulkusuuntaansa lähettimelle asetetun tietyn taajuuden määräämällä nopeudella. Antennin muodosta sekä sijainnista ympäristön suhteen riippuu, minkälainen on virran sen hetkinen jakautuma antennilaitteistossa. Ympäristöön syntyy sitten kulkevan virran seurauksena sähkömagneettinen kenttä eli aalto, minkä jakauma riippuu itse virran jakautumasta ja sähkömagneettisen kentän ajallinen vaihtelu seuraa sähkövirran vaihtelua. Syntynyt radioaalto, jossa on kohtisuorassa tasoissa toisiaan vastaan erikseen ja magneettien ja sähköinen kenttä, etenee siten lähetysantennista poispäin valon nopeudella. (Hjelt 2014, 76; Wikipedia 2019a.)

Radioaalloista siten muodostuu laajempi sähkömagneettinen kenttä, joka siten ajallisesti vaihdellen jakautuu aaltona laajemmalle lähettimen ympäröivään alueeseen eli maahan, veteen, ilmakehään ja avaruuteen. Kentän voimakkuutta voidaan kuvata havainnollisesti esimerkiksi nuolella, joka ajan mukana muuttaa jatkuvasti suuntaansa ja suuruuttansa. Minkälaisen kuvan tämän nuolen pää sitten piirtääkin sen määrää radioaallon polarisaatio joka voi olla esimerkiksi horisontaalinen, pysty- ja ympyräpolarisaatio. Jatkuvasti laajetessaan radio- eli sähkömagneettinen aalto luonnollisesti heikkenee. Kentän heikkenemiseen vaikuttavat suuresti johonkin tiettyyn suuntaan muun muassa lähetysantennissa toteutettu suuntakuvio. Radiokentän voimakkuutta mitataan monesti useilla eri yksiköillä. Eri yksiköt vaihtelevat yleensä radioaaltojen käyttötarkoituksista tai käyttökohteista riippuen. Radiokentän mittasuurena puolestaan käytetään desibeliä, jota



sitten verrataan suhteessa johonkin vaihtuvaan mittayksikköön edellä mainittuun eri käyttötarkoituspäätteen takia. Desibeliä voidaan verrata esimerkiksi mikrovolttiin. Tästä saadaan sitten jokin tietyn radiokentän tehoa tai voimakkuutta kuvaava lukema. Saapuvan radiokentän eli -signaalin voimakkuudesta muun muassa televisio- tai radioantenniin käytetään kokonaisyksikköä dB $\mu$ V eli desibelin suhdetta mikrovolttiin. (Hjelt 2014, 76; Wikipedia 2017; Wikipedia 2018a; Wikipedia 2019a.)

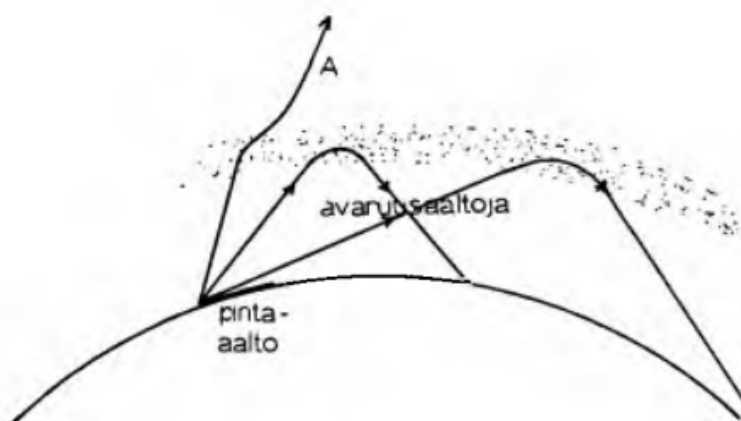
## 2.2 Eteneminen MF-alueella

Radioaallot etenevät MF-alueella eli keskiaaltoalueella monella eri tapaa. Suomessa on siis käytössä kansainvälisen keskiaaltoalueen eli 300–3000 kHz:n sisällä kaksi erillistä taajuusalueita eli Euroopan kansainvälinen keskiaaltoalue 526,5–1606,5 kHz ja kansainvälisen lyhytaaltoalueen ensimmäinen 2300–2498 kHz:n aaltoalue. Jälkimäinen tunnetaan myös 120 metrin aaltoalueena. Suomessa ei ole enää nykyään valitettavasti tällä MF-alueella juurikaan päivittäistä yleisradiotoimintaa, satunnaista kylläkin. Päiväsaikaan pääasiassa näillä aaltoalueilla eteneminen tapahtuu pinta-aaltona. Pinta-aalto kantaa lähettimen tehosta ja antennikorkeudesta riippuen yleensä hyvin 100–600 kilometriä lähtimestä, missä maastonmuodot ja erityisesti maaperän sähkönjohtavuus vaikuttaa kantamaan. Lisäksi kantamaan vaikuttaa hyvin suurestikin lähetysantennin suuntaus, mitoitus ja sen antama säteilykeila ja tietysti myös vastaanottoantenninkin suuntaus aallonpituuden mitoituksineen, unohtamatta tietenkään itse vastaanottimen vastaanotto-ominaisuuksia. (Yli-Paavola 2010, 13; Hjelt 2014, 76; Wikipedia 2019a.)

Suurin osa lähetinantennien säteilystä kuitenkin ohjautuu pinta-aallon lisäksi avaruuden ionosfääriin. Vuorovaikutus ionosfääriin sekä radioaallon hiukkasten välillä vaikuttaa suuresti siihen, millä tavalla radioaallon etenemissuunta muuttuu. Sopivissa olosuhteissa ionosfääri riittää palauttamaan radioaallon takaisin maanpinnalle parhaimmillaan alkuperäisen signaalin voimakkuuden juurikaan kärsimättä, tai sitten radiosignaali ionosfäärissä heikkenee huomattavasti eli absorboituu. Absorboituminen tunnetaan myös käsitteellä radioaaltojen imeytyminen

(Hallikainen s.a.). Magneetti- ja sähkökenttä radioaallossa pyrkivät värähdellessään liikuttamaan ionosfäärin varattuja hiukkasia, lähinnä elektroneja. Osa radioaallon käyttämästä energiasta siis siirtyy elektronien liikkeeksi. Kun elektronit pystyvät ionosfäärissä riittävän vapaasti liikkumaan törmäämättä muihin hiukkasiin, niiden värähtelevä liike toimii ikään kuin uutena heijaste- eli läheteantennina. Tällöin säteilyn suunta vain muuttuu eri suuntaan alkuperäisestä säteilysuunnastaan eli alaspäin kohti maanpintaa. Kyseinen heijastuminen myös tunnetaan yleisesti termillä radioaallon taipuminen. Aallon etenemissuunta, ionosfäärin hiukkastiheys, polarisaatio, maan magneettikenttä sekä sen suunta ja erityisesti radioaallon taajuus ratkaisee, minkälainen on aallon etenemistie kokonaisuudessaan ionosfäärin heijastuksien kera. (Granlund 2001, 12; Hjelt 2014, 77.)

Radioaallon absorboitumisella eli heikkenemisellä tarkoitetaan sitä, että radioaalto voi ionosfäärin heijastuspinnassaan heikentyä huomattavasti tai jopa kadota kokonaan. Tilanne syntyy siis tarkemmin, kun ionosfäärissä radioaallon vaikutuksesta osa elektroneista väkisin törmää muihin ionosfäärin hiukkasiin sekä menettää siten liikkeessä arvokasta energiaa. Tämän seurauksena elektronien osuus eteenpäin siirtyvän kentän voimakkuudesta jää osittain tai jopa kokonaan pois, joka siis on suoraan verrannollinen radioaallon voimakkuuteen. Voimakkain radioaaltojen absorboituminen keskittyy ionosfäärin alaosiin eli D-kerrokseen ja vastaavasti voimakkain taipuminen eli heijastuminen keskittyy puolestaan ionosfäärin yläosiin eli F-kerrokseen. Mikäli absorboituminen on kyllin voimakasta ionosfäärin alaosassa, niin sen yläosasta heijastuu maapinnalle niin olematon määrä radioaaltoja eli radiosignaalia, jolloin radion kuuntelu esimerkiksi keskiaaltoasemien suhteen on hyvillään vastaanotin- antennikokoonpanoilla mahdollista. Toinen epäkelvoinen tilanne syntyy myös silloin, kun taipuminen ei ole ionosfäärin yläosassa riittävän voimakasta jolloin radioaallot karkaavat avaruuteen, eivätkä heijastu takaisin maapinnalle. Tosin ne silloinkin voivat taipua hieman mutteivat käänny tarpeeksi jyrkästi saavuttaakseen maapallon pintaa uudelleen, vaan karkaavat tosin hieman loivemmassa menokulmassa avaruuteen. (Hjelt 2014, 77.)



**Kuva 30.** Radioaaltojen eteneminen. Aalto A ei pysty taipumaan tarpeeksi ionosfäärissä.

Kuvio 1. Radioaaltojen heijastumista ionosfääriin suhteen (Hjelt 2014, 77)

Päivisin pääasiassa koko Suomen yleisradioliikenteen käytössä olevilla MF-alueilla eli MW-alueella 526,5–1606,5 kHz ja lyhytaaltoalueen HF:n eli eurooppalaisittain SW:n ensimmäisellä 2300–2498 kHz:n aaltoalueella erityisesti kesäisin D-kerros vaimentaa eli absorboi käytännössä kokonaan ionosfäärissä tapahtuvan radioaaltojen heijastumisen. Vaimennuksen takia nämä MF-alueen aallot etenevät päivisin pääasiassa yksinomaan maapinta-aaltoina. Lähettimen korkeudesta, sen tehosta ja tietysti myös vastaanottoantennin sekä itse vastaanottimen tehokkuudesta riippuu, miten pitkälle esimerkiksi 1035 kHz:n taajuinen keskiaaltolähete kantaa. (Lindell 1985, 153; Hjelt 2014, 76–77.)

Alle 3000 kHz:n eli 3 MHz:n taajuuksilla radioaallot heijastuvat ilmakehän yläosassa olevasta ionosfääristä, erityisesti F-kerroksesta, jolloin pitkät, kansainväliset yhteydet onnistuvat helposti. Yli 30 MHz:n VHF-taajuudet eivät yleensä heijastu vaan menevät yleensä ionosfääriin lävitse. Pitkät yhteydet ionosfääriin kautta MF-alueella ovat lähinnä mahdollisia yöllä ja hämärän aikaan. Tosin hyvin tehokkailla lähetin- ja vastaanottoantennin kokoonpanoilla pitkät yhteydet MF-alueella voivat onnistua myös niin sanotusti valoisaankin aikaan, jolloin aurinko voi olla esimerkiksi lähetyspaikassa noin 10–20 astetta horisontin alapuolella ja vastaanotto paikassa taas korkeintaan muutaman asteen korkeudella. Yhteys voi onnistua myös, mikäli kummassakin vastaanotto paikassa aurinko on lähellä horisont-

tia. Tällainen tilanne voi olla muun muassa keskitalvella jolloin esimerkiksi Suomen vastaanottopäässä aurinko keskitalven alkuiltapäivästä jo laskemassa ja vastaavasti muun muassa Pohjois-Amerikan lähetyspäässä samalla ajanhetkellä vasta nousemassa. (Lindell 1985, 153–155.)

Nämä kaksi myös Suomen yleisradioliikenteeseen kuuluvaa keskiaaltoaluetta eli 526,5–1606,5 kHz:n ja 2300–2498 kHz:n taajuuskaistat eivät loppujen lopuksi kovinkaan paljon eroa etenemistavoiltaan ja -ominaisuuksiltaan toisistaan. Tuo lyhytaaltoalueenkin ensimmäinen osa on niin suuri aallonpituudeltaan, ettei päivisin tapahtuvaa ionosfäärin F-kerroksen heijastumistakaan oikein tapahdu merkittävästi. Vastaavasti pimeään aikaan myös tuo SW-alueen ensimmäinen osa heijastuu suunnilleen yhtä tehokkaasti kuin Suomen yleisradion toimintaan varattu 526,5–1606,5 kHz:n keskiaaltoalueenkin kaista, johtuen siis ionosfäärin D-kerroksen absorboiman vaikutuksen hävitessä käytännössä kokonaan pimeänä aikana. (Hjelt 2014, 82.)

### 2.3 Eteneminen VHF- ja UHF-alueella

Pinta-aalto eli suoran etenemisen malli on myös tärkeässä roolissa radioaaltojen VHF-taajuusalueella eli 30–300 MHz:n välillä. VHF-aallotkin taipuvat ilmakehässä vain vähän jolloin lähettimen ja vastaanottimen väliä ei kannata kasvattaa kovinkaan paljoa näköyhteyden yläpuolelle. Lisäksi kansainvälisellä VHF-alueella olevalla, Suomessa käytettävällä kahdella erillisellä yleisradioalueella kulkevien radioaaltojen etenemiseen eli 87,5–108.0 MHz:n ja 170–230 MHz:n taajuuspektreille vaikuttaa toisinaan satunnainen eli sporadinen E-kerroksen heijastuma. Sporadinen E vaikuttaa huomattavasti yleisimmin tuolla alemmalla ULA-alueen taajuuskaistalla. Se heijastaa kaikkein tavallisemmin noin 40–70 MHz:n väliltä olevia radiotaajuuksia ja ainakin toistaiseksi korkein havaittu heijastunut taajuus tämän ilmiön seurauksena on 220 MHz (Korjus 1978). (Hjelt 2014, 83; Talvitie 2014.)

UHF-alueella radioaaltojen eteneminen on suurelta osin samankaltaista kuin VHF-alueellakin. Eteneminen tapahtuu siis pääasiassa suorana etenemisenä

miltei näköyhteyden vallitessa lähettimen ja vastaanottopään välillä. Tällaista etenemistä kutsutaan siis pinta-aallon tai maapinta-aallon etenemiseksi. Etenemistavat ovat siten suora eteneminen pinta-aallon kautta, monitie-eteneminen eri lähialueiden kuten maastonmuotojen heijastuksien kautta, varsinainen heijastuminen eli niin sanottu kanavoituminen troposfääristä ja ajoittaiset heijastukset satunnaisista esineistä alailmakehässä eli esimerkiksi lentokoneista, linnuista tai matalla ilmakehässä lentävistä avaruussukkuloista. (Yli-Paavola 2019, 10.)

Käsittelimilleni VHF- ja UHF-alueiden pinta-aallon suoralle ja puhtaalle etenemismallille merkittäväkin häiriötekijä saattaa olla maastosta sekä ympäristöstä yleensäkin saatavat erityyppiset heijastukset. Vastaanottoantenniin saattaa siis saapua esimerkiksi näköyhteyden päästä tulevan lähettimen suoran signaalin lisäksi mm. viereisestä kalliosta heijastunut saman lähettimen signaali, joka voi pahimmillaan jopa kumota suoraan lähettimestä saatavan signaalin. Tällöin puhutaan siis monitie-etenemisestä. Signaali voi kumoutua jopa kokonaan, mikä heijastus sattuu sopivaan aallonpituuden vastakkaisvaiheessa olevaan kohtaan lähettimeltä suoraan saapuneen signaalin kanssa. Tällaisten heijastuksen tuloksena esimerkiksi UHF-alueella tapahtuvassa digitaalisen tv-kuvan vastaanotossa voi olla kokonaan musta ruutu tai hyvin pikselimäinen ja katselukelvoton kuva siitäkin huolimatta, vaikka halutun aseman signaali olisi kyseisessä paikassa kokonaisuudessaan hyvinkin vahva. Niin VHF- kuin UHF-signaaleilla on myös minimi- ja maksimikohtansa ja ne ovat hyvin taajuuskohtaisia, eli esimerkiksi UHF kanavan 27 kanavanippu näkyy hyvin jossain antennipaikassa, muttei UHF kanavalla 34 oleva nippu ollenkaan. Antennin siirto muun muassa 20 senttimetriä eteen- tai alaspäin voi muuttaa edellä esitetyn esimerkkitalanteen täysin päinvastaiseksi. Tavallaan on siis olemassa eräänlaisia vaakakerroksia, joissa on sekä maksimi- että minimikohtia. (Käki s.a.a.)

### 3 RADIOAALTOJEN ERI ETENEMIMUODOT

#### 3.1 Pinta-aalto

Pinta-aaltona ja tarkemmin sanottuna suoran etenemisen kautta tapahtuva radioaaltojen eteneminen on nykyajan tv- ja radioviestinnän eri palveluissa monestikin yleisin ja jopa usein se ainut hyväksikäytetty etenemistapa. Pinta-aalto onkin pääasiällisin etenemismuoto VHF- ja UHF-alueilla. Pinta-aaltoa käytetäänkin siis yleensä usein ainoana etenemistapana tv- ja radio-ohjelmien niin kutsutulla ohjelmaseurantatasolla. Ohjelmaseurantatasolla nyt tarkoitetaan sitä, että radio- ja tv-lähetystä pyritään ottamaan koko ajan mahdollisimman häiriöttömästi ja eri radiokelimuodoista riippumatta.

Pinta-aaltoa esiintyy kaikilla tässä opinnäytetyössäni käsittelemilläni aaltoalueilla. Pinta-aalto on sitä voimakkaampi mitä matalampi taajuusalue on, mitä korkeampi on lähetinteho ja mitä korkeammalla lähetystaajuus on. Esimerkiksi 684 kHz:n pystypolarisoitu lähete kantaa ympärisäteilevästä antennista 1 kw:n lähetinteholla kohtalaisena signaalilla olevana pinta-aaltona sellaisen 125 kilometrin etäisyydelle. Vastaavasti saman polarisaation, tehon ja antennikorkeuden omaava 107,5 MHz:n taajuinen ULA-lähete kantaa tuolla vastaanottosignaalin vain vajaan 10 kilometrin päähän ja 650 MHz:n taajuinen UHF-lähete taas ulottuu samaisella kentänvoimakkuudella arviolta vain muutaman kilometrin päähän lähetimestä. (Lindell 1985, 116–117.)

##### 3.1.1 Pinta-aalton vaikuttavat heijastumat

Pinta-aallon etenemiseen vaikuttavilla heijastuksilla tässä tarkoitetaan nyt lähetimen ja vastaanottimen lähiympäristössä tapahtuvia heijastuksia sekä kauempaa tulevia muun muassa ionosfäärisiä heijastumia, mitkä voivat sotkea pahastikin pinta-aallon vastaanottoa. Jokaisella käsittelemälläni radioaaltoalueella heijastukset eli toisin sanoen monitie-eteneminen vaikeuttavat toisinaan huomattavasti pinta-aallon kautta tapahtuvaa vastaanottoa. Pinta-aallon etenemiseen vaikuttavat erilaiset heijastukset ovat yleensä ottaen tavallisille kansalaisille ja kuluttajille kielteinen sekä haittavaikutuksia aiheuttava asia. Erityisesti nykyään Suomessa FM-yleisradioliikenteessä ja digitaalisen television katselussa erityisen

kiusallisia ja ikäviä tavallisille kansalaisille ovat nuo lähiympäristön aaltojen heijastukset esimerkiksi viereisistä kerrostaloista. (Granlund 2001, 15–16.)

Keskiaaltoalueella tämä voi olla pahakin ongelma, sillä pinta-aallon reuna-alueilla esimerkiksi 400 kilometrin päässä lähettimestä, iltaisin ja öisin esiintyvä ionosfäärinen heijastus voi sotkea pahastikin vastaanottoa. Samaan niin sanottuun radioaallon vaiheeseen pinta-aalto ja ionosfääristä heijastunut saman lähettimen kantaalto voivat pahimmillaan vastaanottopaikassa jopa kumota toisensa, jolloin tuloksena on pelkkää kohinaa. Ylipäätään tällaisella pinta-aallon sekä ionosfäärin heijastuksen vaikutuspiirin kuuluvilla alueilla radioasemien signaalien voimakkuuden vaihtelut erityisesti pimeänä ja hämäränä vuorokaudenaikana saattavat olla hyvinkin suuria ja nopeita. Esimerkiksi nykyään 1602 kHz:llä Virroilta lähetettävän Skandinavian Weekend radion pinta-aallon kuuluvuussäteen reunamilla eli noin 150–200 kilometrin päässä lähettimestä, pimeään aikaan tapahtuva ionosfääristä tuleva heijastus eli monitie-eteneminen saattaa häivyttää vastaanottoa päivään verrattuna paljon huonommaksi. Lisäksi kauempana Euroopasta heijastuvat radioasemat samalla taajuudella voivat jopa kumotakin kokonaan jokaisen kuukauden ensimmäisenä lauantaina lähetyksiä tekevän kyseisen keskiaaltoaseman. (Lindell 1985, 153; Scandinavian Weekend Radio 2019.)

VHF- ja UHF-alueilla ionosfääriheijastuksen kokonaisuudessaan miltei puuttessa, pinta-aaltoa etupäässä sotkevat lähiympäristöstä aiheutuvat heijastukset. Tällaisia monitie-etenemiseen liittyviä heijastuksia voi olla muun muassa FM-radiovastaanottoa säröyttävä voimakas signaalin heijastus läheisestä kallioseinämästä. Saman aseman signaali suoraan lähetinmastosta vastaanotetun signaalin lisäksi voi siis saapua antenniin heijastuneena edellä mainitusta kallioseinämästä, joka voi sijaita vaikkapa antennin takana. Pahimmillaan heijastus voi sopivaan aallonpituuden vastakkaiseen kohtaan sattuessaan huonontaa jonkin FM-aseman kuuluvuuden kokonaan rätinäksi ja kohinaksi. Samankaltaisia häiriöitä voi aiheuttaa myös voimakkaat troposfääriset heijastumat ja ajoittain paikallisemminkin, kuten lentokoneheijastumat. Troposfäärinen heijastuma korostuu erityisesti, kun pinta-aallon kautta tulevaa radiosignaalia vastaanotetaan lähettimen näkyvyysalueen reunamilla esimerkiksi 90 kilometrin päässä mastosta. Tällaisella välimatkalla saman aseman signaali kerkeää jo kulkea troposfäärissäkin hyvän matkaa ja sieltä heijastuessaan voimakkaasti sopivaan kohtaan eli vastaanottopaikan antenniin voi se merkittävästi heikentää suoraan mastosta saapuvaa

pinta-aaltosignaalia. Radioaseman kuuluvuus voi joko heikentyä tai voimistua riippuen siitä mihin kohtaan aallonpituuden sykliä radioaseman heijastesignaali saapuu pinta-aallon suhteen vastaanottoantenniin tullessaan. Kappaleessa edellä mainitut FM:n radiosignaalin pinta-aallon vastaanottoa vaikeuttavat eri signaalien heijastumistavat pätevät hyvin myös käsittelemääni UHF-alueen yläpään saakka eli 694 MHz:iin.

### 3.2 Troposfäärinen eteneminen

Yleensä näköyhteyden päässä tai hieman sitä kauempana olevan eli niin sanotun radiohorisontin päässä saavutetaan tv:n katselulle tai radion kuuntelulle riittävän voimakas signaali. Troposfäärinen eteneminen voi ainakin tilapäisesti mahdollistaa huomattavasti tätä pidemmät yhteydet. Troposfääriseen etenemiseen usein törmää melko yleisestikin arkipäiväisessä VHF- ja UHF-alueilla tapahtuvassa yleisradiotoiminnassa. Troposfäärinen eteneminen alkaa vaikuttaa VHF-alueen alkupäästä eli 30 MHz:stä ylöspäin. Se siis koskee käsittelemiäni ULA, VHF III, ja UHF -alueen 490–694 MHz:n taajuuksia. Troposfäärisessä etenemisessä voivat VHF- ja UHF-signaalit sopivissa olosuhteissa kanavoitua ilmakehässä. Kanavoituminen syntyy yleensä Suomen seudulla korkeapainesään aikana yleisimmin kesäisin ja syksyisin erityisesti auringonnousun ja -laskun aikaan sekä useimmiten öisin. Ilman täytyy kanavoitumisen syntymiselle olla varsin heikkotuulista, suhteellisen kosteuden tulee olla verrattain suuri ja lämpötilainversiota pitää mielellään olla. Säteily- eli lämpöinversiota voi esiintyä erityisesti tasaisilla laaksoilla, aukeilla paikoilla ja järvenrannoilla erityisesti tyyninä ja kirkkaina kesäiltoina ilman ollessa kuivaa (Oh3ac a.s., 8). Näiden edellä mainittujen tekijöiden yhteisvaikutuksesta ilmaan muodostuu tiheydeltään poikkeava kerros, missä radioaalto voi kerroksen seinämistä heijastellen taipua eli ”poukkoillen” parhaimmillaan jopa tuhansien kilometrien päähän. (Nousiainen 2017.)

Lämpötilainversiolla tarkoitetaan ilman lämpötilan nousua maanpinnasta aina muutamien satojen metrien korkeudelle asti, kun normaalisti ilma jäähtyy useimmiten noin 1–3 asteella maanpinnasta 500 metrin korkeudelle siirryttäessä. Lämpötilainversio on Suomessa parhaiten huomattavissa keskitalven paukkupakka- silla jolloin esimerkiksi korkean tunturin tai vaaran huipulla voi olla vain 20 astetta



pakkasta, mutta noin 300 metriä alempana olevan lähilaakson pohjalla voi pakkasta olla kaksi kertaa tätä enemmän. Normaalisti esimerkiksi sateisella matalapainesäällä yleensä 300 metriä muuta maastoa ylempänä olevan vaaran laella on se 1-2 astetta laaksoa kylmempää, mikä näkyy talvisin muun muassa vaara-seutujen runsaslumisuuksena korostuen erityisesti lauhoina ja sateisina talvina. (Ilmatieteenlaitos s.a.c.)

Kunnon troposfääristä etenemistä joidenkin tutkimusten mukaan pääsee Suomessa usein vasta sitten esiintymään, kun inversiokerros alkaa olla vain alle 500 metrin korkeudella. Tällä tarkoitetaan siis sitä, että inversiokerroksen ollessa esimerkiksi 400 metrin korkeudessa ilman lämpötila maanpinnalta tuohon korkeudelle asti nousee huomattavasti, usein yli 10 astetta. Yleensä huomattavaa lämpötilan nousua edellytetäänkin kunnollisen troposfäärisen etenemisen muodostumiselle maanpinnan tasosta noustessa inversiokerroksen yläosaan. Vastavasti suhteellinen ilmankosteus samalla pienenee. 400 metristä ylöspäin edelleen siirryttäessä tilanne kääntyy tavallaan taas normaaliksi eli ilman lämpötila alkaa ruveta laskemaan ja ilman suhteellinen kosteus nousemaan, tosin ei läheskään yhtä nopeasti suhteessa tiettyyn matkaan kuin inversiokerroksessa. (Nousiainen 2017.)

Kuitenkin Lapissa voi olla jopa 30 asteen lämpötilaeroja vain muutamien satojen metrien korkuisissa ja levyisissä ilmapatjoissa eli inversiokerroksissa, mutta siellä troposfäärinen ylipitkä eteneminen ei läheskään toimi yhtä tehokkaasti Etelä-Suomen suunnilleen samoihin tai jopa ”laimeampiin inversiokerroksiin” verrattuna. Etelämpänä, esimerkiksi Välimeren ja sen eteläpuolisilla alueilla taas paljon korkeammalla olevat sekä lämpöjakautumaltaan paljon vaatimattomat inversiokerrokset toimivat Suomen matalampia ja ohuempia kerroksia jostakin syystä paljon paremmin troposfäärisen etenemisen suhteen. Syitä tähän ei valitettavasti vielä osata juurikaan edes arvailla. (Nousiainen 2017.)

Lisäksi troposfäärissä etenemisessä voi normaalisti lähetysaseman signaali lähempänä kuuluvuusalueen laittaa esimerkiksi jo 50–60 kilometrin päässä lähettimestä heikentyä merkittävästikin, koska osa signaalista jää troposfäärin kanaviin mennessä vastaanottoaikaan yli ja palautuen maanpinnalle sitten vasta paljon kauempana. Häiriöt yleisradioliikenteessä ovat tällöin troposfäärissä etenemisessä hyvinkin tavallisia ja yleisiä. Yleisradioverkkoja on pyritty suunnittelemaan

siten, että samalla taajuuksilla olevia eri radio ja tv-lähetyksiä lähetettäisiin vähintään useiden satojen kilometrein päässä toisistaan olevissa mastoissa, mutta paikoin taajuuksien ruuhkaisuuden sekä rajallisuuden vuoksi etäisyydet samalla taajuudella pyörivien kanavien suhteen voivat jäädä vain sataan tai pariin sataan kilometriin. Tämän seurauksena on yleistä, että voimakkaan troposfäärisen etenemisen aikana esimerkiksi 94,6 MHz:n Yle Mikkelin taajuudella kauempana oleva joku toinen radiokanava saattaa kumota kokonaan Yle Mikkelin, mikäli se tulee riittävän voimakkaasti siihen verrattuna. Kumoaminen voidaan parhaimmillaan havaita halutun kanavan FM-taajuudella jopa häiriöttömänä aivan eri aseman lähetyksenä, jolloin muun muassa kaikki aseman RDS-tiedotkin vaihtuvat, mikäli radiovastaanotin tukee RDS-palvelua. Asiaa tehostaa entisestään se, jos käytetään ulkoantennia ja häiritsevä asema sattuu olemaan halutun aseman suhteen samassa suunnassa. (Digita s.a.b; Traficom 2018a.)

Digitv-puolella eli VHF- ja UHF-alueilla samalla taajuuskaistalla oleva kaukaisempi eri kanavanippu voimakkaan troposfäärisen etenemisen seurauksena voi ruveta aluksi haluttua kanavanippua häiritsemään, jolloin halutun kanavanipun kyseisissä tv-kanavissa alkaa esiintyä kuvan palikoitumista eli pikselöintiä sekä äänen pätkimistä ja kirskuntaa. Toisinaan jos jonkun vierekkäiselläkin kanavalla olevan kanavapaketin signaalin voimakkuus kasvaa huomattavan suureksi haluttuun naapurikanavapakettiin eli ”muksiin” nähden, vastaanottimella voi olla hankalaa saada selvää heikommasta signaalista. Tässä ”selektiivisyys-” eli erottelukysymyksessä korostuvat jälleen antennin ja erityisesti eri vastaanottimien erot digitaalisten televisiolähetysten suhteen. Häiriön kasvaessa riittävän voimakkaaksi samalla tai vierekkäisellä kanavataajuudella häiriköivän ei-toivotun digitaalisen tai analogisen tv-lähetteen takia, signaalin tulo lopulta halutulta kanavapaketiltä estyy täydellisesti ja kuva äänineen kyseiseltä kanavanipulta häviää kokonaan. Television katselijan suorittaessa tilanteen korjaamiseksi esimerkiksi uudelleen kanavanippujen automaattihakua, voi yllätys olla melkoinen, kun digivastaanotin päivittyikin jopa vieraan maiden tv-lähetyksistä, mikäli boksen tai tv:n muut asetukset sen sallivat. Yleensä vieras asema kumotessansa kokonaan halutun lähettimen taajuuden se ei ala itsestään näkyä, ellei DVB-T tai DVB-T2-vastaanottimessa ole jotakin automaattista kanavanhakua signaalin loppuessa tai käytössä olemattomaksi. Analogisella puolella voi tällaisissa tilanteissa näkyä terävällä kuvalla olevia ulkomaan lähetyksiä esimerkiksi Venäjältä 300 kilometrin

päästä. Tällainen haluttujen kanavien häiriintyminen tai jopa vieraan kanavapakettien näkyminen voi kestää tunteista vuorokausiin ja yleisimmin se häviää säätilan muuttuessa, eli useimmiten korkeapaineen väistyessä. Kovilla pakkaskeleillä on myös havaittavista jonkinlaista UHF- ja VHF-alueiden digitaalisten televisiolähetysten signaalien voimistumista erityisesti 50–150 kilometrin etäisyyshaarukasta. Kovasta pakkasesta johtuvaa signaalien voimistumisen syytä ei aivan kokonaisuudessaan kuitenkaan tiedetä, mutta aikaisemmin mainittu lämpöinvertio lienee pääsyyntä asiaan. (Digita s.a.b; Härö 2007, 31–32; Kuitunen 2018a; Kuitunen 2018c.)

Erittäin voimakkaalla troposfäärisellä etenemisellä eli ”radiokelillä” voi tv- ja radiovastaanotto häiriintyä, vaikka olisi lähetysyhteysmastoon suora näköyhteyskin. Kovat troposfääriset heijasteet voivat nimittäin kumota voimakastakin pinta-aaltoa, kun ne saapuvat antenniin pinta-aaltojen suhteen sopivan vastakkaisvaiheisina ja kovina. Näin kävi esimerkiksi syys-lokakuun taitteessa vuonna 2017 esimerkiksi Itä-Suomessa, kun lähes koko Suomessa oli korkeapaineen seurauksena havaittavissa paikoitellen harvinaisen voimakasta ylipitkää kanavoitumista troposfäärissä. Esimerkiksi Kainuun Suomussalmella näkyivät Ruotsin digitaaliset tv-kanavat noin 300–400 kilometrin päästä ja Etelä-Savon Pieksämäellä Venäjän vastaavanlaiset lähetykset suunnilleen samanlaiselta etäisyydeltä. (Kuitunen 2018a.)

Troposfääristä radioaaltojen ylipitkää etenemistä ja siitä kansalaisille koituvia vaikutuksia koetaan keskimääräisesti hieman enemmän Etelä-Suomessa kuin Lapissa (Kuitunen 2018b). Kyseistä eroavaisuutta selittää todennäköisesti muutama eri tekijä. Ensimmäinen näistä tekijöistä on radio- ja tv-asemien lähetinmastojen sekä taajuuksien suhteellisen runsaampi tiheys Etelä-Suomessa kuin Lapin perukoilla. Tällöin troposfäärisen ylipitkän etenemisen eli ”radiokelin” vallitessa taajuudet menevät etelässä helpommin tukkoon ja päällekkäin. Toinen tärkeä tekijä on Etelä-Suomessa radio- ja tv:n antennitalouksien huomattavasti suurempi kokonaismäärä Lappiin verrattuna. Lisäksi Etelä-Suomessa antennitaloudet ovat myös paljon tiheämmässä eli niiden suhteellisen suurempi määrä maapinta-alan nähdenkin on selvästi suurempi kuin Lapissa. Troposfääristä etenemistä voi Etelä-Suomen ja erityisesti etelärannikon suhteen auttaa meren läheisyys sekä avoimet näkymät erityisesti etelään päin. Meren lämmittävä vaikutus koros-

tuu erityisesti loppukesäisin ja syksyisten troposfäärisen etenemisen otollisempaan aikaan. Lisäksi meren ilman kosteuspitoisuutta nostattava vaikutus voi usein voimistaa tätä usein korkeapaineeseen liittyvää troposfäärissä tapahtuvaa radioaaltojen ylipitkää etenemistä. On myös huomattava, että pääkaupunkiseudun kaikenlaisista tapahtumista tai ilmiöistä uutisoidaan muuta maatamme hie- man herkemmin, kuten näistä ”radiokeleistäkin”.

Troposfäärisestä etenemisestä johtuvia häiriöitä tapahtuu siis yleensä näkyvyys- ja kuuluvuusalueen reunamilla eli yleensä 60–100 kilometrin päässä, mutta toisi- naan vaikeammassa vastaanotto-olosuhteissa jo 20–60 kilometrin päässä läheti- miltä. Tähän reunaetäisyyteen vaikuttavat monet jo tutuksi tulleet radiotekniikan perusasiat eli muun muassa lähettimen antennikorkeus ja teho, maaperän säh- könjohtavuus ja vastaanottajan vastaanottimen ja antennin kombinaatio eli ko- koonpano tai kokonaisuus. Troposfääriset häiriöt lähempänä asemaa, esimer- kiksi hyvän näköyhteyden päässä lähettimestä ovat harvinaisempia mutta niitä voi sielläkin sopivissa olosuhteissa esiintyä, riippuen suuresti muun muassa lähettinantennien suuntakeiloista. (Digita s.a.b; Pientalon antenniopas 2017, 17.)

### 3.3 Ionosfäärinen eteneminen

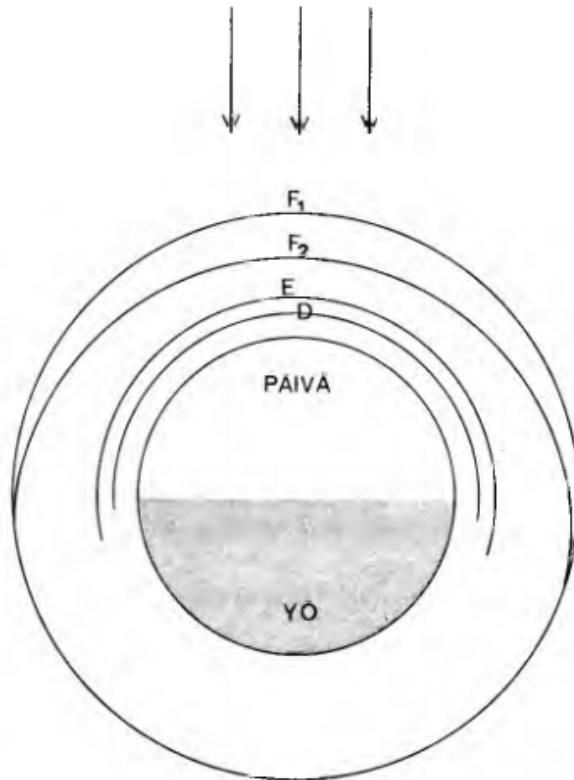
Ionosfääriksi kutsutaan yleisesti ilmakehän yläosaa, jossa esiintyy ioneista ja elektroneista muodostunutta plasmaa eli ionisoituja kaasumolekyylejä (Lindell 1985, 138). Ionosfäärinen eteneminen on suuressa roolissa varsinkin keskiaalto- jen MF (Medium frequency) 300–3000 kHz:n aaltoalueella, ja joissain määrin eri- tyisesti VHF-alueen ULA-kaistalla, joka on siis muun Länsi-Euroopan tavoin Suo- men yleisradioliikenteenkin käytössä taajuusvälillä 87,5–108,0 MHz. Kuitenkin nykyinen Traficom on määrännyt tuon ULA eli FM:n taajuuskaistan käytettäväksi 87,6–107,9 MHz leveydeltä, eli toisin sanoen mikään FM -radioasema joka on saanut Suomessa Traficomilta oikean radioluvan, niin ei lähetä taajuuksilla 87,5 MHz ja 108,0 MHz. Kyseessä on Suomessa käytettävä varotoimenpide eli esi- merkiksi 87,6 MHz:n mahdollisesti viallinen lähete ei pääse vuotamaan yleisra- diotoiminnan suhteen niin helposti luvattomalle alueelle eli 87,4 MHz:lle, kuin vaikka 87,5 MHz:llä väärin toimiva lähetys. FM-alueen läheisyydessä sen ylä- ja

alapuolella on useita eri radioverkkoja jotka voivat olla hyvin herkkiä harhalähet-  
teistä johtuville häiriöille. Erityisen tärkeää näiden häiriöiden välttäminen on FM -  
alueen yläpuolella, jossa on muun muassa ILS-mittarilaskeutumisjärjestelmä.  
(Ovaska 2019.)

Ionosfäärissä on siis neljä eri kerrosta mitkä vaikuttavat erinäisillä tavoilla eri taa-  
juisten radioaaltojen etenemiseen. Kyseiset kerrokset ovat alhaalta ylöspäin D-,  
E-, F1- ja F2-kerrokset. Nämä kerrokset tullaan myöhemmin tässä työssä eritte-  
lemään vielä tarkemmin. Ionosfääri on virallisen määritelmän mukaan se osa  
maapalloa ympäröivää ilmakehäämme missä vapaana olevien elektronien määrä  
on niin suuri, jolloin niistä aiheutuu merkittävää vaikutusta radioaaltojen eteni-  
seen. Ionosfääri ulottuu kokonaisuudessaan noin 60–80 kilometrin korkeudelle  
maanpinnasta jatkuen selvimmin aina 400–600 kilometrin korkeuteen. Kesällä  
tämän ionosfäärin suuripiirteinen yläraja on Suomen kohdalla korkeimmillaan eli  
tuossa vajaassa 600 kilometrissä, mutta talvella se laskee 300–400 kilometrin  
korkeudelle maanpinnasta. Kuitenkin ionosfääri jatkuu ilman tarkkaa ylärajaa  
aina tuhansien kilometrien korkeudelle (Ilmatieteenlaitos s.a.a). Siellä yli tuhan-  
nen kilometrin korkeudessa ionosfääri vähitellen sulautuu jo käytännössä puh-  
dasta avaruutta muistuttavaan magnetosfääriin. Karkeasti sanoen tässä noin 500  
kilometrin paksuisessa avaruuden ja ilmakehän ”väliaineessa” on nuo aikaisem-  
min mainitut neljä muun muassa ilman lämpötiloiltaan sekä tiheyksiltään erilaista  
kerrosta. Radioliikenteen kannalta keskeisimmät ja mielenkiintoisimmat ilmiöt ta-  
pahtuvat juurikin tässä vajaan sadan ja reilun neljänsadan kilometrin korkeudella  
maanpinnasta. (Perkiönmäki 2005; Hjelt 2014, 78.)

Ionosfääriä hallitsee melkein dominoivasti Aurinko ja sen aiheuttama säteily. Au-  
ringosta tulevan röntgen-, ultraviolettisäteilyn ja jonkin verran sieltä tulevien mui-  
den eri hiukkasten vaikutuksesta Maan ilmakehän kaasuatomeista irtoaa elekt-  
roneja, mitkä jättävät atomit sähköisesti varautuneiksi eli ionisoituneiksi. Syntyvät  
elektronit ovat siten atomeja paljon keveämpiä ja näin helpompia radioaaltojen  
liikuteltavia. Ionosfäärin rakenne seuraa Auringon keskeisestä merkityksestä joh-  
tuen tarkasti niitä vaihteluita sekä muutoksia joita Aurinkokuntamme suurim-  
massa taivaankappaleessa aiheutuu. Säteilyn voimistuessa esimerkiksi elektro-  
nien määrä vastaavasti ionosfäärissä kasvaa ja seurauksena radioaaltojen ete-  
nemisolot muuttuvat. Auringon säteilyn ollessa hyvin oleellista elektronien synty-

miselle, yö ja päivä merkitsevät selvää vuorokautista vaihtelua elektronien määrään ionosfäärissä. Illalla Auringon säteilyn lakatessa ionosfäärissä, elektronit pyrkivät siellä joukolla takaisin ionisoituneiden atomien pariin muodostaen taas neutraaleja kaasuatomeja. Tämän uudelleen yhdistymisen seurauksena osa näistä ionosfäärin neljästä eri kerroksesta katoaa melkein kokonaan yöaikaan. Ionosfäärillämme on siis selkeä vuorokausirytmä, joka korostuu erityisesti täällä meidän korkeilla leveysasteillamme (Kaaretkoski 2011, 12). Lisäksi Auringostamme purkautuu aurinkotuulena eli jatkuvasti välillä suurenakin virtana varautumattomia sekä varautuneita hiukkasia, mistä osa Maan magneettikentän takia jää ionosfääriin ikään kuin ansaan aiheuttaen muun muassa revontulia. Aurinkotuulen hiukkaspuurkauksista syntyvät revontulet vaikuttavat erityisen voimakkaina ollessaan suuresti varsinkin MF-alueen yleisradioliikenteeseen. Oikein pahat aurinkotuulen purkaukset voivat aiheuttaa jopa laajamittaisia ja päiväkausia kestäviä häiriöitä yleisradioyhteyksiin, ulottuen joskus jopa VHF-alueellekin. Tällöin puhutaan jo yleisesti ionosfäärin häiriötilasta. Suomen pohjoisesta ja osin myös Pohjois-Amerikankin pohjoisesta sijainnista johtuen erityisesti juuri Pohjois-Amerikan kaukoyhteydet MF-alueella ovat erityisen häiriöherkkiä. Pohjois-Amerikka on samoilla leveyspiireillä sijaitsevia Aasian maita häiriöille herkempi sen takia, että Maan magneettinen napa sijaitsee paljon lännempänä oikeaan pohjoisnaapaan verrattuna. Sen takia revontulienkin esiintymisyleisyys vyöhykkeiden rajat kulkevat Suomessakin etupäässä länsilounaasta itäkoilliseen olevien linjojen suuntaisesti, eikä siis itä-länsi-akselien mukaan. (Hjelt 2014, 78–79.)



**Kuva 34.** Kaaviokuva ionosfäärin kerrosten vaihtelusta vuorokauden eri aikoina. Kuvassa on liioteltu kerrosten etäisyyttä maapallosta.

Kuvio 2. Maan Ionosfäärin kerrokset vuorokauden eri aikoina (Hjelt 2014, 79)

MF-alueen yölliselle etenemiselle juuri tuo ionosfäärin kaikista ylin kerros eli F2 on se oleellisin kerros, josta MF-alueen signaalit heijastuvat aina kerrallaan 1000–3000 kilometrin pituisina hyppyinä eteenpäin. Yleensä ottaen F- ja eritoten siinä oleva F2-kerros on MF-radioaaltoalueen kannalta se oleellisin kerros. Nimitäin D- ja E-kerrokset ovat MF-alueen 300–3000 kHz:n taajuuskaistalle enimmäkseen kokonaan vaimentavia ja yöllä pimeän tultua nämä alimmat kerrokset lähes häviävät kokonaan pois, enempi tai vähempi Auringon kulloisestakin korkeudesta riippuen. Lisäksi yöaikaan F1- ja F2 kerrokset sulautuvat ja tiivistyvät lähes yhteen eli yhdeksi suureksi F-kerrokseksi. (Karttunen s.a; Hjelt 2014, 80.)

Yksinkertaistettuna lähetinaseman toimintataajuus vaikuttaa suuresti eri radioaaltojen etenemiseen. Matalilla taajuuksilla radioaaltojen huippujen väli eli aallonpituus on suurempi kuin korkeammilla taajuuksilla. Ionosfäärin ja radioaallon elektronien välinen vuorovaikutus muodostuu aivan erilaiseksi riippuen lähinnä

siitä, miten paljon elektronit ehtivät liikkua ja törmäillä mahdollisesti muihin ionosfäärin hiukkasiin ennen elektroneille kohdistuvaa seuraavaa radioaallon huipun heilautusta. Hyvin paljon MF-alueenkin alemmilla olevilla taajuuskaistoilla kuten esimerkiksi VLF-alueilla radioaalto etenee suoraviivaisesti maanpinnan ja ionosfäärin alemman D-kerroksen välillä poukkoillen. Ionosfääri on näille hyvin matalille taajuuksille lähinnä vain seinämä, josta nämä taajuudet sitten vaan kimpoavat takaisin maanpinnalle täten kiertäen helposti maapallon ympärillä. Ionosfääri itsessään esimerkiksi häiriöineen ei vaikuta juuri mitenkään tämän VLF-alueen eli 3–30 kHz:n etenemiseen. (Hjelt 2014, 82.)

MF-alueen voimakas absorboituminen päiväsaikaan taas johtuu siitä, että ionosfäärin elektronit pyrkivät pyörimään maan magneettikentän voimaviivojen ympärillä eli niin sanotulla gyrotaajuudella. Radioaalloilta vaaditaan huomattavan suuri energia eli suurempi taajuus, jotta elektronit noudattaisivat aaltojen heilahtelua eivätkä pyörimisliikettä. Radioaaltojen absorboituminen osuus erityisesti tällä MF-alueella päiväsaikaan on hyvin voimakasta lähes kaikkialla maapalolla. Pimeällä tai toisinaan erityisesti hämärässä keskiaaltojen jopa yhtä pitkät yhteydet lyhytaaltoihin verrattuna saattavat olla hyvinkin mahdollisia, mutta usein heijastuneiden keskiaaltojen signaalienvoimakkuudet jäävät usein lyhytaaltoja heikoimmiksi. Huomattavaa on myös sekin, että pisimmät kaukoyhteydet eivät synny useinkaan 300–3000 kHz:n taajuuskaistalla täysin pimeään aikaan, vaan tilanteissa joissa joko lähetin- tai vastaanottoaika tai jopa molemmat voivat olla maapallon hämäräalueella sijaitsevissa vyöhykkeessä. Hieman yleisempää kuitenkin on toisen näistä osapuolista sijaitessa pimeällä ja toisen hämärällä vyöhykkeellä. Hämräalueella tarkoitetaan siis vyöhykettä, jossa aurinko on juuri laskenut tai on juuri nousemassa. (Hjelt 2014, 82.)

### 3.3.1 D-kerroksen vaikutus etenemiseen

Ionosfäärissä on siis useita radioaaltojen etenemiseen vaikuttavia heijastekerroksia. D-kerros on niistä alimmainen ja sijaitsee 60–100 kilometrin korkeudessa maanpinnalta. D-kerroksen vaikutus radioaalloille on lähes yksinomaan absorboiva eli vaimentava, toisin sanoen siis haitallinen. Tosin erittäin pitkäaalloiset radiolähteet eli signaalit saattavat heijastua ionosfäärin D-kerroksesta, mutta tämä ei koske MF-aluetta, vaan paljon matalammalla taajuudella olevia radioaaltoja. (Hjelt 2014, 79.)



Öisin tosin D-kerroksen elektronitiheys laskee tuntuvasti ja radioaaltojen vaimenus erityisesti tällä MF-alueella vähenee merkittävästi. Yöaikaan erityisesti syys- ja kevätpäiväntasauksien välisellä vuoden pimeämmällä puoliskolla onkin kuultavissa helposti muun muassa Suomessa MW-lähetteitä ympäri Keski- ja Etelä-Eurooppaa yllättävänkin voimakkailla signaaleilla vaatimattomillakin antennilla. Parhaiten D-kerroksen vaikutuksen heikkenemisen huomaa siis juurikin tämän keskiaaltoalueen eli MW-bandin kaukoyhteyksien voimistumisena. Kaukoyhteyksien syntyminen vaatii, että koko D-kerros on siis pimeänä lähettimen ja vastaanottimen välissä, tai korkeintaan niin että jommassakummassa päässä aurinko on korkeintaan muutaman asteen horisontin yläpuolella. Nyrkkisääntönä voidaan kutakuinkin pitää sitä, että auringon noustua joko vastaanotto- tai lähetinpaikassa kestää enintään puolesta puoleentoista tuntiin, jolloin kaikki kaukoasemien signaalit erityisesti 526,5–1606,5 kHz:llä ovat vaimentuneet ionosfäärin kautta kulkevan etenemisen johdosta käytännössä olemattomiin. Tämä on kuitenkin yleisyys, ja lähetin- sekä vastaanotinkokoonpanoilla antennilleen on jälleen kerran hyvin suuri merkitys. (Hjelt 2014, 79, 85.)

### 3.3.2 E-kerroksen vaikutus etenemiseen

Ionosfäärin toiseksi matalin kerros eli E-kerros sijaitsee noin 90–160 kilometrin korkeudella maanpinnasta ja sen ominaisuudet muistuttavat vielä melko paljon alempana olevaa D-kerrosta. E-kerroksen paksuus ja korkeus maanpinnasta voivat eri vuoden- ja vuorokauden aikoina vaihdella muutamilla tai korkeintaan muutamilla kymmenillä kilometreillä. E-kerros on erityisesti MF-alueen radioaaltojen suhteen myös pääsääntöisesti absorboiva eli vaimentava. E-kerroksenkin vaikutus on suurelta osin D-kerroksen tapaan radioaaltoja vaimentava ja alempana olevan naapurikerroksensa tavoin sekin heikkenee ja usein lähes häviääkin kokonaan yön ajaksi. E-kerroksen kuitenkin huomiota herättäviä erikoisuuksia radioaaltojen etenemisen suhteen on satunnaisesti esiintyvä elektronitihentymä eli niin sanottu sporadinen E-kerros. Kyseinen termi tunnetaan tutummin myös kansankielisemmältä nimeltään es-kerros tai es-keilit. Tämä sporadinen E-kerros esiintyy suunnilleen sadan kilometrin korkeudella maanpinnasta ja kerroksen elektronitiheys voi olla niin suuri, että jopa VHF-aallot kuten ULA -radioaallot FM-taajuuskaistalla voivat heijastua tästä. Heijastumisen seurauksena saattaa FM-

taajuuksilla esiintyä kaukoyhteyksiä helpostikin vaatimattomilla radiolaitteilla, esimerkiksi tavallisella kännykkäradiolla voidaan saavuttaa jopa tuhansien kilometrien yhteyksiä erinomaisilla signaaleilla. Vastaanotettavan radiokanavankaan ei välttämättä tarvitse olla muun muassa mikään satojen kilowattien lähetintehon omaava mylly, vaan E-kerroksessa tapahtuvien satunnaisten heijastumien kautta on mahdollista kuulla edellä mainituilla vastaanottolaitteistolla joskus jopa vain muutamien kymmenien watin lähetteitä parin tuhannen kilometrien päästä. (FM-kuuntelijan kesä 2000 2000; Hjelt 2014, 79–80.)

Sporadinen E tunnetaan tutuimmin kansankielisimmillä synonyymeillä Es-kerros tai Es-kehit. Es-kehit ovat yleensä se tutuin termi ja tälle satunnaiselle ionosfäärin E-kerroksessa korkeita VHF-alueen taajuisia radioaaltoja taittavan ilmiön lempinimeksi vääntyy usein radioharrastajien ja DX-kuuntelijoiden keskuudessa pelkkä ”essi”. Kyseinen termi voi olla usein kansan korvaankin ilmiöstä puhuttaessa tutuin, joskin itse ilmiö termeineen on monelle tavalliselle kansalaiselle tuntematon asia. Syynä kansantietämättömyydelle ilmiötä kohtaan on usein juurikin se, että itse ilmiö on Suomessakin nimensä mukaisesti erittäin satunnainen ja eikä se kerralla esiintyessään ole välttämättä läheskään koko Suomen laajuista. Tämä heijastumatyyppi on Suomessa suhteellinen harvinainen yleisimpänä ajankohtanaankin eli kesäisin ja vaihtelut kaiken lisäksi eri kesien välillä sporadisen E:n esiintymisessä voivat olla hyvin suuria.

Ionosfäärinen E-kerroksen radio-ominaisuuksista puhuttaessa ei pidä siis ollenkaan unohtaa tätä sporadista eli satunnaista ionosfäärin E-kerroksessa tapahtuvaa metalli-ionien paikallisesti huomattavaa tihentymää ympäristöön nähden. Metallioneja syntyy ionosfääriin esimerkiksi Maan ilmakehään palaneista meteoreista ja avaruusromusta. Kyseisessä tapahtumassa pitkäikäiset metalli-ionit kokoontuvat laajalta alueelta ja puristuvat ympäristöön nähden tiiviiksi sekä tiheiksi ja usein vielä aika laaja-alaisiksi kerroksisiksi eli niin sanotusti pilviksi. Tämä tiivistynyt metalli-ionien kerros voi olla jopa kymmenkertaisesti tiiviimpi ympäröivään ympäristöön nähden. Tämän seurauksena yllättävän korkeat taajuudet normaaliin nähden voivat heijastua takaisin maapalolle, eivätkä siis jatka matkaa lähettimestä suoraan avaruuteen tämän ionosfäärin E-kerroksen läpi. Sporadisen E-kerroksen heijastumaa ei vielä nykyäänkään pystytä selittämään tai tuntemaan tarkasti, on vain kasa erilaisia arvailuja ja olettamuksia kyseisestä aiheesta. Yksi

mahdollinen selitys kuitenkin on muun muassa se, että esimerkiksi erilaiset tuuli-leikkaukset ja ionosfäärin sähkökenttä kokoavat näitä metalli-ioneja laajoilta korkeusalueilta yhteen ja puristavat niitä sitten hyvin tiheiksi pilviksi. Ukkosilla ja ukkosherkällä säällä tuntuu Suomessa olevan sporadisen E:n syntyyn olevan positiivinen vaikutus, samoin korkea- ja matalapaineiden raja-alueilla. Suoraa korkeapainetta sporadinen E tuntuu kuitenkin välttelevän. (Lehtoranta 1981; Nousiainen 2017.)

Sporadinen E-kerroksen heijastuma heijastaa tavallisesti käsittelemilläni radioaaltoalueilla näitä FM:n 87,5–108,0 MHz:n ja harvemmin VHF III -alueen alapuoliskon taajuuksia. Toistaiseksi korkein havaittu heijastunut taajuus tämän ilmiön seurauksena on jo aikaisemmin mainittu 220 MHz (Korjus 1978). Normaalin voimakkaissa satunnaisen E-kerroksen heijastumissakin korkein heijastetaajuus eli MUF voi käydä kohtalaisen useinkin siinä 150–190 MHz:n hujakoilla, mutta monesti vain hyvin lyhyen aikaa ja melko paikallisesti, esimerkiksi 400 neliökilometrin säteellä. Tämä tarkoittaa siis sitä, että muun muassa vain noin 20 kertaa 20 kilometriä kokoisella alueella on mahdollista vastaanottaa teoriassa 180 MHz:n digity-lähetyksiä vain tietyn aikaa. Yleensä ionipilvellä minkä korkein heijastetaajuus pyörii tavallisimmin vaikkapa 60–120 MHz:n välissä voi sen laajuus useimmiten itä-länsi -akselilla olla satoja kilometrejä ja etelä-pohjois -akselillakin toisinaan myös saman verran. Pystysuunnassa ”Es-pilvi” on kuitenkin vaakasuuntaa aina pienempi. Joskus E-kerroksessa oleva elektronitihentymä voi olla vain aikaisemmin mainitun muutaman kymmenen kilometrin pituinen ja levyinen sekä korkein heijastetaajuus tällä saattaa olla vain 40–50 MHz. Toisessa ääripäässä ionosfäärin E-kerroksessa olevan heijastepilven koko voi olla niin vaaka- kuin pystysuunnassakin tuhansia kilometrejä laajojen alueiden taittaessa hyvin jopa 150–200 MHz:n taajuuksia. Paksuutta tällä ionitihentymäpilvellä voi olla sen koosta riippumatta sadoista metreistä ainakin muutamiin kilometreihin.

Satunnaista E-kerroksen tihentymän esiintymistä eli ”Es-keliä” tarkasteltaessa Suomen näkökulmasta, huomataan aktiivisimman ajanjakson tälle ilmiölle olevan kesän eli karkeasti sanottuna toukokuun alusta syyskuun alkuun oleva aika. Suurin piirtein paras kausi on kuukausi ennen ja jälkeen kesäpäiväntasauksen. Toki muinakin kuin aikaisemmin kerrotuilla ajankohdilla tätä ilmiötä voi Suomessa esiintyä, tosin paljon harvinaisempaa ja heikompa se on silloin kesään verrattuna. Esimerkiksi huhtikuussa tai marraskuun aikana voidaan toisinaan tehdä

vielä heikkoja havaintoja FM:llä sporadisen E:n aiheuttamista kaukoyhteyksistä. Kesälläkin kun Es-kerrosten satunnaiset heijastumat korkeampien VHF-aaltojen suhteen ovat yleisimmillään, niin silloinkin yleensä niitä on Suomessa keskimäärin kerran viikossa. ”Kerran viikossa” käsitteellä tarkoitetaan siis tilannetta, jossa satunnaisesta E-kerroksen heijastumasta aiheutuvat vaikutukset koskevat suureen osaan Suomea ja vaikutukset voivat olla helposti havaittavissa esimerkiksi autoradiolla tapahtuvan radiokanavien automaattihaun yhteydessä. Päivinä kun sporadista E-kerroksessa tapahtuvaa radioaaltojen heijastumista tapahtuu, niin niillä on yleensä ajallisesti kaksi maksimiaikaa. Yleistäen todeten nämä maksimit ovat vuorokaudessa aamupäivällä ja sitten iltapäivällä sekä alkuillasta. Kuultujen asemien ilmansuunnatkin noudattelevat karkeasti näitä kellonaikoja, ikään kuin sporadisen E:n heijastamat asemat seuraisivat Auringon liikettä taivaalla kuuntelijan nähdessä. Täten aamupäivällä yleisimpiä FM:llä kuultavia sporadisen E:n aikaansaamia asemia ovat esimerkiksi Venäjän ja Ukrainan asemat, kun taas alkuiltapäivästä kuuluu yleisimmin Brittein-Saarten ja Ranskan ULA taajuutta käytäviä FM -radiolähetysasemia. (Lehtoranta 1981; FM-kuuntelijan kesä 2000 2000; Nousiainen 2017.)

Viime vuosina ja vuosikymmeninä on Suomessa hiljattain huomattu pieni maksimi sporadisen E-kerroksen heijastumisen esiintymisenä myös talvipäivän seisauksen aikoihin, tavallisesti muutama viikko joulunpyhien molemmin puolin voi olla tämän parasta ajanjaksoa. Kyseinen ilmiö on kuitenkin kesällä tapahtuvaan verrattuna huomattavasti heikompaa, eikä sitä välttämättä joka talvi Suomessa esiinnykään juurikaan havaittavasti. Talvella esiintyvien ”es-kelien” syntymekanismi on kaiken lisäksi yhä enemmän mysteeri kuin kesällä esiintyvän. (Lehtoranta 1981.)

Ilmiön satunnaisuudesta puhuu sekin, etteivät vuodet ole veljeksiä tämänkään suhteen. Voi olla hyviä ja huonoja kesiä, jolloin huonojen kesien niin sanotut kelipäivät voivat kattaa vain murto-osan hyvien kesien kelipäivistä. Suomessa muun muassa kesällä 2008 koettiin yllättävän vähän kelipäiviä ja vuoden 2010 kesällä niitä oli taas totuttuun verrattuna runsaammin. Pohjoisessa Suomessa eli Oulu-Suomussalmi linjan pohjoispuolella sporadisen E:n heijastumasta johtuvaa radioaaltojen ylipitkää etenemistä tapahtuu muuhun maahan verrattuna hieman harvemmin ja ilmiön esiintymistodennäköisyys kesässä laskee tasaisesti pienellä

muutoksella jokaista sataa kilometriä kohden, kun aletaan etelärannikolta siirtymään kohti pohjoista. Kuitenkin loppukesällä heijastavien elektronipilvien tullessa alkukesään verrattuna Suomen suhteen lähemmäksi, heijastuminenkin siten tapahtuu sen mukaisesti pohjoisempana. Tällöin voi jonakin päivänä loistaa esimerkiksi Etelä-Suomessa kaukaiset FM-asetat poissaolollaan, mutta esimerkiksi Lapissa niitä voi kuulua voimakkailla signaaleilla aamusta iltaan.

Radioaaltojen heijastuminen tapahtuu sporadisen heijastumisen aikana noin 100 kilometrin korkeudessa, jossa siis ionosfäärin E-kerros sijaitsee. Tämä tarkoittaa sitä, että ionipilvi on tavallisimmin noin 700–100 kilometrin etäisyydellä niin läheltä kuin vastaanottopaikastakin eli näiden välissä, jolloin tavalliset sporadisen E:n aikana saavutetut yhteyspituudet ovat noin 1700–2000 kilometrin luokkaa. Tämän edellä mainitun keskiarvon alle ja yli voidaan kuitenkin toisinaan mennä reilustikin, sillä alle 800 kilometrin ja toisaalta yli 4000 kilometrin yhteysväliäkään eivät tällä kelityypillä ole loppujen lopuksi niin hirveän harvinaisia. Pisimmät ennätykset näissä yhteyspituuksissa voivat olla puolestaan jopa 10 000 kilometrin luokkaa ja vastaavasti lyhimmat jopa alta viidensadan kilometrin. Kuitenkin pitkät yli 4000 kilometrin yhteydet vaativat usein niin kutsutun tuplahypyn eli siinä esimerkiksi jonkun radioaseman signaali heijastuu takaisin ionosfääriin maanpinnasta ensimmäisen noin 2000 kilometrin hyppynsä jälkeen, jonka jälkeen se voi taas palata maanpinnalle ja toistaa saman homman mahdollisesti useammankin kerran, jolloin 10 000 kilometrin yhteydet ovat mahdollisia. Suomen maassa 01.08.2013 kaukaisin kuultu FM-radioasema sporadisen E-kerroksen heijastuman kautta on nykyään korjattu todennäköisimmin 5400 kilometriin, sillä se on alun perin arveltu olevan noin 4400 kilometrin luokkaa (Yle 2013; Radiomaailma 2014, 5). Tällaisiin niin kutsuttuihin tuplahyppyihin vaaditaan jo tuhansien kilometrien pituista joskus poikkeuksellisenkin laajaa metalli-ionitihentymäpilveä ionosfäärin E-kerrokseen. (FM-kuuntelijan kesä 2000 2000.)

### 3.3.3 F-kerroksen vaikutus etenemiseen

F-heijastumalla tarkoitetaan ylhäällä ilmakehässä niin kutsutussa F-kerroksessa tapahtuvaa radioaaltojen heijastumaa. F-kerros on siis ylimmäinen ionosfäärin kolmesta eri kerroksista ja se jakautuu vielä F1- ja F2-kerroksiin. Maapallomme

ionosfäärissä on kokonaisuudessaan siis neljä eri kerrosta. Ionosfäärin ylin kerros on siitä erikoinen, että se muuttaa vuoden- ja vuorokauden ajan mukaan korkeuttaan erityisesti enemmän mitä lähempänä napa-alueita ollaan. Esimerkiksi Suomen kohdalla kesäpäiväisin F-kerroksen yläosa eli F2-kerros ulottuu arviolta noin 500 kilometriin asti ja talviaikaan vastaavasti noin 350 kilometrin korkeudelle maanpinnasta. F1-kerros on noin 100 kilometriä F2-kerrosta alempana. On kuitenkin huomattava, että eri tietolähteissä esiintyy suurta jopa yli sadan kilometrin korkeusvaihteluita erityisesti F-kerrosten suhteen, joten esitetyt suuri piirteiset korkeudetkin ovat todellakin vain arvioita. On lisäksi huomattava, ettei ionosfäärillä ole selväpiirteistä ylärajaa vaan se vähitellen häviää avaruuteen, kuten on jo aikaisemminkin tullut ilmi. Tiedemiehet eivät siis nykyäänkään pysty vielä määrittelemään kovinkaan tarkasti näiden oikuttelevien ionosfäärin tarkkoja korkeusvaihteluita. Myös D- ja E-kerroksenkin kohdalla esiintyy eri lähteistä riippuen noin kymmenien kilometrin vaihteluita todennäköisistäkin korkeuksista. Vaihtelu johtuu varmasti paljon myös siitä, että Maan ilmakehän ja lähiavaruuden tarkempi tutkiminen sekä mittailu teknologian kehittymisen myötä ovat tulleet mahdolliseksi vasta viime vuosikymmeninä. (Perkiönmäki 2005.)

F-kerros siis jakautuu päivällä F1- ja F2-kerroksiksi, joista erityisesti F2-kerros on tärkein yhteys MF-yleisradioliikenteen kaukoyhteyksille. F-kerroksen ionisoituminen johtuu pääasiassa auringon UV-säteilystä, joka siis aiheuttaa ionosfäärin F-kerroksella päivittäiset vuorokausirytmät (Altair ry, 2014). F-kerroksen vuorokausivaihtelussa siis F1- ja F2-kerrokset ovat keskipäivällä alimmillaan ja eniten myös eroavat silloin toisistaan. Yöllä taas ne voivat jopa täysin sulautua yhteen. (Karttunen s.a.)

Radioaaltojen heijastuminen riippuu siis kahdesta hyvin tärkeästä seikasta; taajuuden kasvaessa D- ja E-kerrosten vaimennus vähenee, mutta samalla erityisesti ylimpänä olevassa F2-kerroksessa liian korkean taajuuden vallitessa ionosfäärin elektronit eivät ehdi enää seurata radioaallon heilahdusten tahtia jolloin taipuminen jää osittaiseksi ja radioaalto jatkaa matkaansa vain vähän suuntaa muuttaneena kohti avaruutta. Riittävän korkealla taajuudella oleva radioaalto ei siis taivu enää ollenkaan F-kerroksista takaisin maanpinnalle vaan menee siis sen läpi (Wikipedia 2018c). Lisäksi rajataajuus myös riippuu siitä kulmasta, jossa radiosignaali kohtaa ionosfäärin eli toisin sanoen lähettimen kulma johonkin tiet-

tyyn ionosfäärin pisteeseen. Näiden kahden lainalaisuuden avulla voidaan määrittää kaksi radioilmiöissä ja -tekniikassa käytettävää erittäin tärkeitä käsitettä. Kyseiset käsitteet ovat LUF minkä lyhenne tulee englannin kielestä "Lowest Usable Frequency" ja MUF juontuu sanoista "Maximum Usable Frequency". LUF:n suomenkielinen käänös on vastaavasti: käyttökelpoisen kaukoliikenteen pienin mahdollinen taajuus ja MUF taas tarkoittaa suurinta käytettävissä olevaa taajuutta kaukoliikenteelle. Erityisesti lyhytaaltoliikenteen HF- eli SW-alueen kauko- ja ulkomaanpalvelun yhteyksiä suunnitellessa ovat LUF ja MUF-arvojen tarkka huomioon ottaminen hyvin tärkeää. (Hjelt 2014, 82.)

Keskiaaltoalueella ei siis pystytä pitämään kaukoyhteyksiä ympäri vuorokauden, koska 300–3000 kHz:n taajuusväli on liian matala eli toisin sanoen herkkä päivisin D-, E- ja osin vielä F1-kerroksessakin tapahtuvalle absorptiolle, jolloin elektronein liikkuaessa ja värähdellessä radioaaltojen takia osa elektroneista törmää väkisin muihin näissä ionosfäärin kerroksissa oleviin hiukkasiin ja menettää siten radioaallon sisältämää energiaa näille muille hiukkasille. Tämän seurauksena elektronien osuus eteenpäin siirtyvän radioaallon kentästä jää siis osittain tai jopa kokonaan pois, jolloin tuloksena ionosfäärissä on radioaallon heikkeneminen tai sen kokonaan estyminen. Vastaanottopäässä tämä havaitaan puuttuvina tai erittäin surkeina kaukoyhteyksinä MF-alueella. Tosin sanoen elektronien sisältämä energia imeytyy näihin ionosfäärin muihin hiukkasiin, josta käsite absorboituminen eli absorptio tulee. Tämän absorption vaihtelu johtuu siis yksinkertaisesti maapallon pyörimisestä ja auringon alati vaihtelevasta UV-säteilystä maapallon ionosfäärin eri osissa. Lisäksi keskiaaltoalue ei pimeään aikaankaan heijastu ionosfäärin F2-kerroksesta niin tehokkaasti kuin 3–30 MHz:n lyhytaaltoalue. Keskiaalloilla tapahtuu siis yöaikaankin tehokkaampaa vaimennusta ionosfäärissä kuin lyhytaalloilla normaalisti. (Hjelt 2014, 77, 82.)

### 3.3.4 Auringon häiriöiden vaikutus ionosfääriseen etenemiseen

Auringon aktiivisuus sekä sen erityyppinen häiriöisyys kulloinkin vaikuttavat monilla tavoilla ionosfäärin eri kerrosten radioaaltojen heijastusominaisuuksiin. Auringolla on hyvin monia vaikutuksia maapallomme ionosfäärimme ja ionosfääri onkin suorastaan riippuvainen aurinkomme toiminnasta. Päivittäisen ionosfäärin

rytmin jokaisessa sen kerroksessa määräävät auringon nousu- ja lasku mihin taas vaikuttaa oleellisesti sijainti maapalolla. Lisäksi Auringon aktiivisuus erilaisine aurinkotuuliseen ja -purkauksineen vaikuttaa ionosfäärin eri kerroksien käyttäytymiseen suuresti. Eri vuodenaikojen muutokset Auringon aseman suhteen tuovat myös omat vaihtelunsa ionosfäärin. Pahat ionosfäärin häiriötilat muun muassa kovien aurinkomyrskyjen takia ovat radioliikenteemme suhteen niitä haitallisimpia ja hankalimmin ennustetaviakin. (Hjelt 2014, 80.)

Auringon hiukkassuihkua ja säteilyä yleensä sanotaan auringonpilkkujaksoksi. Yhden auringonpilkkujakson pituus on noin 11 vuotta, mutta perättäisten pilkkujaksojen ominaisuudet poikkeavat niin paljon toisistaan, jolloin varsinaisen auringonpilkkujakson katsotaan kestävä 22 vuotta. Auringonpilkkujakso tunnetaan myös auringon aktiivisuuden säännöllisinä jaksoina. Auringon aktiivisuutta mitataan juuri auringonpilkkujen määrällä. Auringonpilkkualueilla tavallinen piirre on nopeiden hiukaspurkausten esiintyminen alueen keskustassa, missä purkaus alkaa ultraviolettisäteilyllä muutaman minuutin aikana jonka aikana Auringon pinnan lämpötila voi kasvaa jopa kolme kertaa alkuperäistä korkeammaksi. Muutaman minuutin kuluttua tästä hiukkaset pääsevät valloilleen. Purkaus yleensä kestää muutaman minuutin ja alkaa sitten heiketä, jonka aikana pilkkuryhmän magneettikenttä sinkoaa hiukkaset hurjalla nopeudella avaruuteen. Tällaisia edellä mainittuja purkauksia syntyy, kun auringonpilkkuryhmä siirtyy Auringon reunalta toiselle ja purkausten kesto on kokonaisuudessaan tavallisesti vajaasta puolesta tunnista tuntiin. Voimakkaat ja voimakkaimmat hiukaspurkaukset ovat yleensä tyypillisempiä aktiivisille ja suurille pilkkuryhmille. Lisäksi näitä purkauksia jossain määrin esiintyy myös vaaleammilla Auringossa olevilla läikkäalueilla, mitkäs siis ovat auringonpilkkujen jäänteitä ja säilyvät vielä kauan itse pilkkujen häviämisenkin jälkeen. (Kilpua 2013; Hjelt 2014, 81.)

Auringonpilkuista lähtevän säteilyn vaikutus tuntuu maapallollamme hyvin pian eli reilun 8 minuutin kuluttua purkauksesta, koska säteily etenee valon nopeudella. Ionosfäärissä tämä säteilyn roima kasvu merkitsee heti suurempaa elektronien muodostumisnopeutta. Säteilymäärän kasvusta johtuen erityisesti ionosfäärin alaosassa radioaaltoja vaimentava absorptio lisääntyy. Itse hiukkassuihkun vaikutus tuntuu tosin huomattavasti myöhemmin vasta noin 1–1,5 vuorokauden kuluttua purkauksesta. Mikäli maa sattuu osumaan hyvin suihkun tielle, voi-



daan havaita laajastikin revontulia ja magneettikenttä maapalolla tulee vaihtelevaan normaalia voimakkaammin. Maan säteilyvyöhykkeiden kautta niin sanottujen puskurivyöhykkeiden ohjaamina purkautuu lopulta runsas hiukkasvirta ionosfäärin alempiin kerroksiin. Hiukkasten virtaus siis edustaa sähkövirtaa, mikä näkyy Maan magneettikentän erilaisina vaihteluina. Kuten jo kappaleen alussa kävi ilmi, niin Maan magneettikentän voimakkaatkin vaihtelut saavat ionosfäärin alaosissa absorboitumisen kasvamaan hyvinkin voimakkaasti jolloin MF-alueella erityisesti kaukoyhteydet pahoin kärsivät ja jopa kokonaan katkeavatkin. Katkokset voivat kestää muutamista tunteista pahimmillaan jopa muutamaa päivää. Tällaista Auringosta aiheutuvaa kovaa hiukkaspurkausta kutsutaan myös magneettiseksi myrskyksi. Kaiken kaikkiaan Maan ionosfääri vaatii useita vuorokausia palautuakseen ennen magneettista myrskyä edeltäneeseen rauhalliseen tilaansa. Myös suhteelliset lähelläkin olevat keskiaaltoyhteydet eli muun muassa 700–1000 kilometrin haarukassa olevat yhteysvälit voivat kärsiä pahimmissa myrskyissä joskus jopa päivien katkoista. Suomessakin tiedetään muutamia kovia aurinkomyrskyjä, jolloin ei edes Euroopan voimakastehoiset MW-lähettimet kuuluneet juuri mitenkään alle 1000 kilometrin päästä. (Ilmatieteenlaitos s.a.b; Kaaretkoski 2011; Kilpua 2013; Hjelt 2014, 81.)

Auringon häiriötilat ovat kuitenkin suurelta osin satunnaisia, joskin laajimmat häiriöalueet voivat kestää Auringon pinnalla useiden pyörähdysten eli kuukausien ajan, yksi Auringon pyörähdys akselinsa ympäri kestää nimittäin 27 vuorokautta. Näin ollen Maassa voimakkaampi Auringosta aiheutuva häiriö tulee toistumaan noin kuukauden välein. Johtopäätöksenä voimme karkeasti todeta, että ionosfäärin häiriötilat tulevat toistumaan aina 11:sta vuoden huipuissa ja noin kuukauden jaksoissa. Tätäkin esiintymistiheyttä on kuitenkin hankalaa lähteä suuremmalti yleistämään, sillä Aurinko on purkkauksissaan loppujen lopuksi aika arvaamaton ja vaikeasti ennustettava, niin kuin yleensäkin tällaiset laajan mittakaavan ilmiöt, muun muassa maassa tapahtuvat geologiseen toimintaan liittyvät maanjäristykset ja tulivuorenpurkaukset. Täytyy myös muistaa, että Aurinkokuntamme Aurinkoonkin on se reilun kahdeksan minuutin valovuoden matka eli se ei ole kovinkaan lähellä ihmisten tutkittavaksi. (Kilpua 2013; Hjelt 2014, 81.)

Auringon purkauksista aiheutuvat voimakkaimmatkin häiriöt tai varsinaiset vaikutukset suurin piirtein päättyvät tuonne VHF-alueen loppupuolen perukoille, eli kattaen aika lailla myös Suomen digitaalisten tv-lähetysten käytössä olevan 174–

230 MHz:n III-alueen. Yleistä epäselvyyttä on edelleenkin siitä, että mihin asti Auringon purkaukset todellisuudessa vaikuttavat, mutta ajoittain on kuitenkin havaittu UHF-puolen eli jopa yli 400 MHz:n yhteyksiäkin. Käytännössä Auringon purkaukset yms. sen aktiivisuus ei vaikuta juuri lainkaan Suomen yleisradioalueella olevan VHF III -alueen radio- ja yleisradioliikenteeseen. VHF alueeseen kuuluvalla ULA -alueella kuitenkin Auringon toiminta vaikuttaa jo sanottavasti kyseisen alueen yleisradioliikenteeseen muun muassa sporadisen E:n kautta. (Oh3ac. s.a..)

ULA-alueen taajuuskaistalla voi kovien Auringon purkausten aikaan esiintyä lisäksi niin sanottua Auroraa ja Aurorasta aiheutuvaa sporadista E:tä eli Aurora-Es -keliä. Heijastuminen tapahtuu sporadisen E:n tapaan myös tuolla ionosfäärin E-kerroksessa. Puhdas Aurora-keli on siis sellaista, että siinä esimerkiksi taajuuskaistalla 87,5–108,0 MHz oleva FM-asema kuuluu yleensä jostain vajaan 1000 kilometrin päästä erittäin säröisenä, jolloin puheestakaan ei saa juurikaan kunnolla selvää. Huono äänenlaatu johtuu heijastuspinnan epätasaisuudesta koska itse heijastuminen tapahtuu revontulien alueilla elektronisuihkuissa. Aurora-Es on puolestaan lähes normaalin sporadisen E-kerroksen heijastuman kanssa hyvin samankaltaista ja näitä kahta kelityyppiä on usein vaikea erottaa toisistaan. Toisinaan Aurora-Es antaa helposti asemien RDS- koodit ja asemat tulevat usein silläkin mukavan lujaa ja puhtaasti. Selvimpiä eroja normaalin sporadiseen E:än on kuitenkin siinä että, asemat usein tulevat Suomessa eteläsektorin sijasta pohjoissektorilta sekä suoraan idästä ja lännestä. Etelä-Suomessa FM-asemat tulevat useammin pohjoissektorilta, mutta voivat joskus jopa sielläkin tulla eteläsektorilta, kun aktiivinen Aurora-es heijastusalue valuu riittävän etelään tilanteen edetessä. Aurora-Es esiintyy normaalista sporadisesta E:stä poiketen illalla ja yöllä, toisinaan pitkälle aamuyöhön asti. Lisäksi asemat Aurora-es kelissä saattavat ”feidata” normaalia sporadista E:tä usein hieman enemmän. ”Feidaaminen” siis tarkoittaa aseman voimakasta signaalin vaihtelua lyhyessä ajassa. Aurora-Es -kelin esiintymisen maksimiaikaa on sporadisen E:n tapaan kesäkuukaudet ja talvella Aurora-Es on hyvin harvinainen ja satunnainen. Kesälläkin se on sporadista E:tä jonkin verran harvinaisempi. (Oh3ac. s.a..)

### 3.4 Meteoriheijastumat

Meteoriheijastumat eivät ole laajuuksiltaan ja vaikutuksiltaan läheskään niin laaja-alaisia kuin aikaisemmin tässä opinnäytetyössäni esittelyssä olleet erilaiset radioaaltojen etenemistä koskevat heijastumistavat. Kuitenkin tämäkin heijastusmuoto on hyvin yleinen ja jokapäiväinen. Kuitenkaan tämän ilmiön havaitseminen ei ole läheskään niin helppoa ja laajamittaista kuin esimerkiksi ionosfäärin F- tai E-kerroksissa tapahtuvia eri heijastumia.

Meteorien siis tullessa maapallon ilmakehään riittävän kovalla vauhdilla tapahtuu ionosfäärissä tihentyvää ionisaatiota, joka voi esiintyä kilometrien ja jopa kymmenienkin kilometrien pituisena vanana. Meteorin synnyttämä vana ei ole kuitenkaan kovin pitkäkestoinen ja kestää vain muutamista kymmenistä sekunneista korkeintaan muutamiin minuutteihin ja hyvin harvoin edes kymmentä minuuttia kauempaa. Tällöin esimerkiksi 15–30 minuuttia kestävässä jatkuvissa yhteyksissä meteorin pitää olla melko kookas joka voi jo aiheuttaa merkittävää tuhoa Maahan iskeytyessään. Kuitenkin joinakin päivinä meteoreista johtuvia heijastuksia yleisradioalueilla voi olla hyvinkin runsaasti tunneista toisiin vuosittaisten meteorisateiden aikana, muun muassa elokuun puolenvälin seutuvilla olevan Perseidin tähdenlentoparven maksimin aikoihin. Meteoriheijastus siis kattaa ainakin Suomen yleisradioliikenteen käyttämät taajuusalueet VHF-alueella. Nimittäin koko ULA- alue heijastuu meteorin aiheuttamasta ionisaatiosta hyvin ja ainakin jossain määrin vielä VHF III -alueen 174–230 MHz:n taajuuskaista, joskin tätä digitaalisilla televisio vastaanottimilla on käytännössä mahdotonta havaita. Meteorin aiheuttava heijastuspinta ionosfäärin alaosassa siis sijaitsee heijastuneen aseman ja vastaanottimen välimatkan puolivälissä ja luonnollisesti samassa ilmansuunnassa vastaanottopäätä katsottuna kuin heijastunutkin asema. Meteoriheijastuman pituus on tavallisimmin 500–2000 kilometriä ja kaikkein yleisimpiä heijastusvälejä on noin 700–1300 kilometrin yhteyspituudet. Meteoriheijastumasta aiheutuva esimerkiksi FM -aseman kuuluvuus signaalin voimakkuuksineen ei ole useinkaan yhtä korkea kuin sporadisen E:n aiheuttamien heijastumien aikana. (Lindell 1985, 182–183; Yrjölä 2007.)

### 3.5 Muut satunnaiset heijastumat

Muut satunnaiset heijastumat yleisradioliikenteelle eli toisin sanoen sironnat ovat meteoriheijastumisiakin pienempiä ja paikallisempia. Troposfäärissä tapahtuvasta heijastumasta tai ylipitkästä etenemisestä yleensäkin voidaan käyttää termiä sironna. Näitä ovat esimerkiksi lentokoneista ja muista suhteellisen matalalla lentävistä ilma-aluksista aiheutuvat. Tällaiset heijastumat lähinnä vaikuttavat hetkellisesti käsittelemilleni VHF III, ULA sekä UHF-alueiden taajuuksiin. Lentokoneesta aiheutuvien heijastusten kantama vastaanottimelle on yleensä varsin lyhyt; noin 100–600 kilometrin haarukassa. Lentokone saa heijastuksen syntymään koska sen aiheuttama vana ”sotkee” ala-troposfäärin sen hetkistä tilaa ja muuttaa siis näiden radiosignaalien etenemisreittejä. (Mangs 2017, 44; Mäki 2018, 36.)

Lentokoneen aikaansaama heijastus ilmenee esimerkiksi FM-radiovastaanotuksessa erityisesti kantama-alueen rajoilla tai sen ulkopuolella olevien asemien kohdalla, esimerkiksi 200 kilometrin päässä olevan 50 kw:n tehoisen Kuopion Vehmasmäeltä lähetettävän 98,1 MHz:n Yle Radio Suomen kuuluvuuden suhteen lentokoneheijastuma voi ilmetä nopeana äänen ”pumppauksena” jossa ääni voi alle sekunnin väleinkin säksättää kohinan ja kirkkaan kuuluvuuden välillä (Traficom 2018a). Tätä kestää korkeintaan muutaman minuutin ja ääni rauhoittuu, jollei vastaanottimen ja lähettimen välillä lennä uusia lentokoneita. UHF-puolen digitaalisessa tv-vastaanotossa voimakas lentokoneen tekemä heijastuma voi ilmetä ajoittaisena lähetyksen pätkimisenä. Heijastumailmiö on sitä voimakkaampi mitä isompi lentokone on, mitä lähempänä se lentää vastaanotinta ja mitä paremmin se sattuu lentämään lähettimen ja vastaanottimen välisellä linjalla. Lentokoneesta aiheutuvien heijastumien helppo havaitseminen edellyttää sitä, että lentokoneet lentävät pääsääntöisesti alle kilometrin korkeudessa ja muutama kilometrin etäisyydellä vastaanottopaikasta. Lisäksi ilmiö korostuu erityisesti, jos lentokoneet sattuvat pitkään lentämään lähettimen ja vastaanottimen välisellä linjalla, eli esimerkiksi sellaisessa tilanteessa jossa lentokenttä on noin 10 kilometriä vastaanottopaikasta lähettimen suuntaan. Lentokoneista aiheutuvat VHF- ja UHF-alueiden radioaaltojen heijastumat Suomen yleisradioliikenteessä ovat hyvin yleisiä alueilla jossa on suuria vilkasliikenteisiä lentokenttiä, esimer-

kiksi Rovaniemen ja Vantaan seuduilla. Myös suuret hyttys- ja lintuparvet saattavat lentokoneiden lisäksi aiheuttaa hyvin heikkoja heijastumisia näille Suomen VHF- ja UHF-alueiden yleisradioliikenteen radioaalloille. (Mangs 2017, 44; Mäki 2018, 36.)

## 4 RADIOAALTOJEN ETENEMISMUOTOJEN VAIKUTUKSET IHMISILLE

### 4.1 Vaikutukset tavallisille kuluttajille radio- ja tv -ohjelmien vastaanotossa

Radioaaltojen erityyppinen eteneminen vaikuttaa käsittelemilläni taajuusalueilla monella tapaa tavallisten kuluttajien eli ihmisten elämään. Vaikutukset kuitenkin tavallisten kansalaisten kohdalla kohdistuvat näillä kyseisillä taajuusalueilla yksinomaan tv:n katseluun ja radion kuunteluun, mutta nämä kaksi ”viihdykekeinoa” ovat useiden ihmisten elämässä ja siihen liittyvien nautintojen luomisessa vankkoja peruspilareita. Hyvin monet nykyäänkin katsovat tv:tä ja kuuntelevat radiota, mutta se ei vain tapahdu pelkästään näitä käsittelemiäni yleisradioliikenteen taajuusalueita pitkin, vaan esimerkiksi myös Internetin välityksellä. Internetin välitys tavallisille kansalaisille on toteutettu monien eri siirtoteiden ja teknisten ratkaisuiden kautta. Internet voi puolestaan käyttää tiedon välittämiseen muun muassa useiden gigahertsien taajuusalueita, tai sitten noita 800 MHz:n kieppeillä olevia taajuuksia. Pääosin koko Suomen yleisradioliikenteen alaisista tv- ja radiolähetyksistä tavallisten kansalaisten vastaanottimiin välittävä Digita joutui juuri muutama vuosi sitten laissa säädettyjen päätösten nojalla luovuttamaan operaattoreiden käyttöön UHF -alueen yli 700 MHz:n taajuuksia. Kyseisen taajuusluovutuksen syynä on Internetin käyttämän kapasiteetin jatkuva lisääminen ja sen kautta tarve uusista taajuuksista, jotta kasvavan datavirran siirtämiseen saadaan toteutettua onnistuneesti kansalaisille. (Digita s.a.c.)

Vaikutukset radioaaltojen erityyppisillä etenemismuodoilla ovat karkeasti jaoteltuna kahtiajakoiset radio- ja tv-ohjelmien vastaanotossa eli kansankielisesti ohjelmien seuraamisessa. Vaikutukset ovat joko kielteisiä tai myönteisiä. Vaikutukset herättävät toisinaan suurestikin ihmetystä ja paljon erilaisia kysymyksiä tavallisten kuluttajien kesken. Lisäksi radioaaltojen erityyppiset etenemismuodot ja niiden vaihtelut aiheuttavat tavallisten kansalaisten keskuudessa niin närkästymistä kuin ilon hetkiäkin.

Nykyään Suomen yleisradioalueilla tapahtuvat radioaaltojen eri etenemismuodot vaihteluineen vaikuttavat vähemmän tv:n katseluun, koska Suomi on lähes kaikkien muiden Euroopan maiden tavoin luopunut analogisista lähetyksistä. Ennen varsinkin VHF I -alue eli noin 40–80 MHz:n taajuuskaista oli Suomessakin hyvin herkkä sporadisen E-kerroksen häiriöille, joka korostui erityisesti näkyvyysalueen

reunamilla tai sopivissa katvepaikoissa lähetyksaseman suhteen. Asiaa tehosti entisestään se, jos lähetyks- ja häiriöasema sattuvat olemaan samalla suunnalla, esimerkiksi etelässä jolloin hyvä antenni vahvistaa siltä suunnalta kauempaakin tulevia signaaleita. Nykyään taas digitaaliset tv-lähetykset tapahtuvat melko korkeilla taajuuksilla eli VHF III -alueella sekä UHF -kanavilla 22–49. Suomessa käytettävän VHF III -alueen taajuusspektri on siis 174–230 MHz ja nykyinen television UHF-alue kattaa taajuusspektrin 478–694 MHz. Ennen eli noin muutama vuosi sitten digitaaliset terestiaali- eli antenniverkon tv-lähetykset ulottuivat aina UHF-kanavan 60 tuntumaan, siis lähes 790 MHz: in. Syynä siis UHF-kaistan kaiventamiseen sekä madaltamiseen oli noiden yli 700 MHz:n eli kanavan 49 yläpuolella olevien taajuuksien siirtyminen mobiili- ja Internetdatan käyttöön (Digita s.a.c). (Käki s.a.b; Wikipedia 2018f.)

Suomessa on siis kaksi eri verkko-operaattoria jotka välittävät tällä hetkellä tv-lähetyksiä ilmateitse antenniverkon kautta. Kyseiset operaattorit ovat Digita ja DNA. Digita siis käyttää UHF-verkkoaan Suomen suurimmissa sekä korkeimmissa mastoissa välittäen perustarkkuudella olevaa eli DVB-T lähetystekniikalla toteutettuja tv-lähetyksiä. DNA puolestaan käyttää VHF III -aluetta HD-tarkkuuden eli DVB-T2 -lähetystekniikan omaavien digitaalisten tv-kanavien välittämiseen meille kuluttajille. DNA:n käyttämät lähetyksetehot ja mastojen korkeudet tv-palvelujen välittämiseen ovat huomattavasti Digita pienemmät ja matalammat. Digita on siten suurien mastojen ja lähetyksetehojen ansiosta lähes koko Suomen kattava tv-palvelujen operaattori, noin 99 prosenttia Suomen kotitalouksista kuuluu Digitan tv-verkon näkyvyysalueen piiriin. Tosin tv-kanavien määrät Digitan osalta vaihtelevat suuresti eri puolilla Suomea ja tällä hetkellä vain muutamat kanavat, esimerkiksi YLE TV1 ja Nelonen kattavat tuon 99 prosenttia väestöstä. DNA:lla taas on Digitaan verrattuna paljon pienemmät mastot ja lähetyksetehot. DNA:n mastoja on paljon harvemmassa ja eikä DNA:n operoiman tv-verkon näkyvyysalue kata ollenkaan Oulu-Kajaani-Lieksa linjan koillispuolella olevaa aluetta. (Digita s.a.a; DNA 2019.)

Nykyään siis digitaaliseen tv:n katseluun täällä Suomessa siis vaikuttaa pääsääntöisesti pinta-aallon suora eteneminen ja jossain määrin myös troposfäärinen eteneminen. Etäisyydet normaalisti ovat usein verrattain lyhyitä, korkeintaan hieman reilut 100 kilometriä linnuntietä lähettimestä vastaanottimelle. Normaaliin vastaanottoetäisyyteen vaikuttaa monta tekijää kuten lähettimen korkeus, teho ja

maaston mäkisyys sekä tietysti tv-katselijan vastaanottopään koko kokonaisuus antennista televisioon saakka.

Tv:n katselumme antenniverkon kautta perustuu siis pinta-aallon suoraan etene- miseen mikä edellyttää erityisesti UHF-alueella melkein näköyhteyttä lähetin- tennista vastaanottoantenniin. Kuitenkin radioaallot UHF-alueellakin hieman tai- puvat, jolloin suoraa näköyhteyttä ei tarvita. Maasto vaikuttaa UHF-alueella voi- makkaasti aaltojen vaimenemiseen ja hyvin mäkinen maasto voi pudottaa esi- merkiksi 80 kw:n tehoisen ja yli 300 metrin korkuisessa mastossa lähetettävän tv-kanavanipun ongelmattoman vastaanottamisen vain muutamaa kymmeniä ki- lometreihin lähettimestä hyvälläkin antenni- vastaanotinkokonaisuudella. Tällai- nen tilanne voi syntyä, jos esimerkiksi asutaan oikein syvässä kanjonissa korkei- den vaarojen tai tuntureiden ympäröivänä. Lisäksi puusto antennin lähellä voi vaikuttaa paljonkin signaalin voimakkuuteen alentavasti. Muun muassa lehtipuut lehteen tuleksaan voivat halutun signaalin voimakkuutta pudottaa useita desibe- lejä, jos ne ovat aivan antennissa kiinni tai sen vieressä sekä erityisen paljon lehtipuita on antennin ja lähetinmaston välissä. (Digita s.a.b.)



oh2bio 2005

Kuvio 3. Lähetysaseman pinta-aaltosignaalin heijastuminen (Käki s.a.a)

Digitaalinenkin lähete on loppujen lopuksi aika herkkä lähiympäristöstä tuleville heijastukselle joka sitten laittaa kanavanipun taajuusspektrin helposti kaltevaksi. Tämän seurauksena muun muassa UHF kanavalla 34 olevan DVB-T lähetystek- niikalla lähetettävän kanavanipun noin 8 MHz:n levyisestä taajuuskaistalta osa tulee voimakkaammin ja osa heikoimmin. UHF kanavan 34 keskitaajuus on siis



578 MHz ja sen lähete ulottuu kokonaisuudessaan 574–582 MHz:n välille. Tällainen heijastuma näkyy digitaalivastaanottimen signaalin voimakkuuskentässä esimerkiksi heikkona laatuna. Signaalin voimakkuus voi olla itsessään hyvä, mutta laadun ollessa surkea on itse tv-kuvakin surkea. Antenniasennuksissa onnistuneen lähetysten vastaanottamisen kannalla jopa oleellisempaa on siis signaalin hyvä laatu eikä sen suuri voimakkuus, vaikka on sekin toki tärkeää muun muassa säistä johtuvien vaihteluiden eliminoimiseksi. Digivastaanottimien signaalien voimakkuusmittareihin ei pidä kuitenkaan liikaa luottaa aivan kaikessa, koska jokaisessa eri vastaanottimessa on valmistajan omakohtainen toteutus parhaaksi näkemästään tv-vastaanoton mittaustavasta. Mikäli haluaa tarkemmin tutkia näitä eri kanavanippujen taajuuskaistoja eli spektrejä, kannattaa pyytää esimerkiksi antenni- ja tv-liikkeistä spektrianalysaattoria, mikäli osaa sitä riittävän hyvin käyttää, tai sitten pyytää paikan päälle alan ammattilainen mittaamaan näitä tv-signaalitasoja. (Käki s.a.a; Pientalon antenniopas 2017, 15.)

Joskus digivastaanotossa pystytään joissain määrin hyödyntämään heijastuksiaikin, mutta niiden hyödyntämistä pitäisi ensisijaisesti välttää. Mikäli tv-kenttä on jo ennestään niin heijastuksia täynnä, ettei suorasta lähetysasemaan päin olevasta suunnasta voida vastaanottaa kelpoista signaalia vaan joudutaan turvautumaan muun muassa betonimuurista tulevaan heijastukseen, on riskinä silloin tv-lähetysten vastaanoton ajoittainen häiriintyminen. Usein täynnä voimakkaita heijasteissa olevassa kentässä joudutaan turvautumaan kauempana olevaan lähetysmastoon, joka saattaa olla jo varsinaisen näkyvyysalueen ulkopuolella. Kovissa heijastuskentissä esimerkiksi hyvin mäkisissä maastoissa voi varsinaisen lähetysaseman signaali olla itsessään voimakas ja itse lähetysasema yllättävänkin lähellä muun muassa 20 kilometrin päässä, mutta heijastusten takia hyvän kuvan saaminen voi olla lähes mahdotonta laadukkaimmillakin antenni- vahvistinkoonpanoilla. Voimakkaat, esimerkiksi kalliomäistä tulevat heijasteet täysin vastakkaisvaiheisina lähettimestä suoraan antenniin saapuvan signaalin aallonpituuden suhteen voivat parhaimmillaan kokonaan kumota suoraan lähettimeltä vastaanotettavaa haluttua signaalia. (Käki s.a.a; Härö 2007, 30–31.)

Periaatteessa digitaalisten televisiolähetysten vastaanottamisessa on myös mahdollista, että oikein kovilla ja kunnollisilla sporadisen E:n aikana tapahtuvilla keleillä voi VHF III -alueen alapää mahdollisesti joutua alttiiksi riittävän voimakaille heijastuksille, jolloin esimerkiksi digitaalisia lähetteitä voi olla mahdollista

katsoa Suomessa jopa Etelä-Euroopasta asti. Korkein todettu taajuus sporadisen E:n aikana on ainakin 220 MHz (Korjus 1978). Aikaisemmin opinnäytetyöni luvussa ” 3.3.2 E-kerroksen vaikutus etenemiseen” on tuotu esille se, että esimerkiksi 180–190 MHz:n taajuuksien radiolähetteen heijastuminen ei ole mitenkään niin tavatonta laajemmissa ja voimakkaimmissa sporadisen E:n esiintymistapauksissa. Yli 180 MHz:n lähetteen heijastuminen usein on kuitenkin hyvin paikallinen ja eikä sitä välttämättä huomaa, jollei kaukainen asema esimerkiksi satu voimakkaasti häiritsemään paikallista ohjelmakatselussa käytettävää asemaa. Lisäksi ilmiön havaitseminen digitaalisilla tv-vastaanottimilla eli virittimillä on aika hankalaa, koska joitakin vapaita testi- eli päivystystaajuuksia tulisi olla oikealla hetkellä hakemassa tai sitten halutut kanavapaketit eli kanavaniput olisivat jo valmiiksi laitteen muistissa, mikä ei taas onnistu muuten kuin laitetta käytettäessä haluttujen maiden tv-asemien näkyvyysalueilla. Tässä tapauksessa siis esimerkiksi matkatelevisio pitäisi viedä Espanjaan, hakea siellä jonkun tietyn lähetimen kanavat ja tuoda tv sitten Suomeen takaisin hävittämättä haettuja kanavia. Suomessa sitten tarkkaillaan näitä signaalittomia kanavapaketteja mahdollisten Eskelien aikana. Kovin monimutkaista ja vaikeaa siis. Kaiken lisäksi digitaalinen lähetete vaatii suhteellisesti korkeamman signaalitason edes jotenkin näkyäkseen, verrattuna vastaavaan analogiseen tv-läheteteeseen ja digitaalisen kuvan häipymävara näkymättömästä erinomaiseen on signaalin voimakkuuden suhteen analogista lähetettä paljon pienempi. Digitaalinen tv -vastaanotin ei siis pysty valmiiksi hakemaan muistiin signaalitonta kanavanippua tyhjine ohjelmapaikkoinen esimerkiksi VHF kanavalta 5, kun taas analoginen viritin voi vastaavasti tallentaa tyhjän ohjelmapaikan eli itse varsinaisen kanavan muistiin muun muassa tältä samalta VHF kanavalta 5.

Nykyään Suomen yleisradioalueilla tapahtuvat radioaaltojen eri etenemismuodot vaihteluineen vaikuttavat vähemmän myös radionkin kuunteluun, koska Suomi on lopettanut käytännössä kaikki MF-alueilla tapahtuvan yleisradioliikenteen. Kansainvälisellä MF -keskiaaltoalueella on Suomen kohdalla ajoittaista yleisradiotoimintaa lähinnä harrastelijoiden ja eri järjestöiden toimesta. Kyseisen liikenne koskee käytännössä kokonaan vain Suomen ja Länsi-Euroopan käytössä olevaa MW- eli 526,5–1606,5 kHz:n aluetta ja se on siis suurelta osin tilapäistä ja kaiken kaikkiaan erittäin vähäistä. Tampereen Pispalan radio 729 kHz:llä ja

joka kuukauden ensimmäinen lauantai 24 tuntia vuorokaudessa lähetävä Skandinavian Weekend Radio 1602 kHz:llä ovat nykyisestä Suomen keskiaaltotoiminnasta käytännössä ainoita esimerkkejä (Traficom 2018; Scandinavian Weekend Radio 2019).

Nykyisen radion kuuntelemiseen tavallisten kuluttajien kannalta eivät juuri enää vaikuta MF-alueen erilaiset etenemistyytit ja -ilmiöt. Keskeiset radioaaltojen eri etenemistavat koskevat tänä päivänä lähinnä vain VHF -alueella olevan ULA -kaistaa eli FM:ää 87,5–108,0 MHz:llä, tosin Suomen yleisradioliikenteessä siis 87,6–107,9 MHz:llä tapahtuvia radiolähteyksiä (Ovaska 2019). Yhteenvetona tähän tiivistettynä jo tässä opinnäytetyössäni aikaisemminkin ilmi tulleet vaikutuksia FM-alueella erilaisista radioaaltojen etenemistavoista ja niiden muutoksista aiheutuvista seurauksista kuluttajille voidaan todeta, että vaikutukset ovat positiivisia- tai negatiivisia, useimmiten kuitenkin kielteisiä.

Kertauksena vielä todettakoon, että halutun radiokanavan signaali esimerkiksi taajuudella 105,1 MHz voi kumoutua kokonaan pois samalla taajuudella kauempana olevan toisen aseman eli kanavan johdosta. Häiritsevä asema voi olla vaikka 200–3000 kilometrin etäisyydellä vastaanottajasta radiosignaalin erilaisista etenemis- eli kelityypeistä riippuen. Kielteisiä häiriöitä toivomaansa radiovastaanottoon voivat aiheuttaa pinta-aallon erivaiheiset heijastukset antenniin, kaikenlaiset sähköhäiriöt ympäröivistä elektroniikkalaitteista yms., huono vastaanotin- antennikokonaisuus tai niiden äkillinen vioittuminen, lähetyspään häiriöt ja jopa virheellinen informaatio kuunneltavan kanavan taajuudesta.

#### 4.2 Vaikutusten ehkäiseminen

Radioaaltojen eri etenemistavoista johtuvia vaikutuksia pystytään ehkäisemään monin tavoin niin lähetys- kuin vastaanottopäässäkin. Yleensä tavallinen kuluttaja tai käyttäjä pyrkii minimoimaan yleisradioliikenteen tv- ja radiovastaanotossa esiintyviä epäsäännöllisiä vaikutuksia, kuten esimerkiksi heijastumisista johtuvaa radioaaltojen ajoittaista tai ylipitkää etenemistä. Heijastumisella voidaan tarkoittaa muun muassa aikaisemmin käsiteltyjä ionosfäärissä tapahtuvia heijastumisia tai troposfäärissä tapahtuvia heijastumia. Tavallinen kansalainen eli vastaanottaja yleensä turvautuu suoralla etenemisellä tapahtuvaan pinta-aallon etenemi-

seen, välttämällä mahdollisimman paljon myös lähiympäristöstä tapahtuvia lähiheijastuksia. Lähiheijastuksia voi kuitenkin olla hieman hyvässäkin vastaanotossa, oleellisesta niiden eliminoimisesta on kuitenkin se, etteivät ne koskaan häiritse vastaanottoa. Usein normaalilla vastaanottajalla lähetin on usein näköyhteyden päässä tai etäisyys siihen on korkeintaan sadan kilometrin luokkaa. Halutaan siis vastaanottaa signaalia, joka etenee vakiotavalla päivästä toiseen mahdollisimman muuttumattomana eli stabiilina, mihin eivät siis radioaaltojen eri etenemistavoista ja niiden muutoksista johtuvat signaalien voimakkuuden vaihtelut vaikuta vaan korkeintaan lähetysaseman mahdolliset vika- ja huoltokatkokset. Edellä kuvattujen kaltaisissa tilanteissa siis ollaan usein lähetysaseman varsinaisella näkyvyys- kuuluvuusalueella ja harvemmin sen reunamilla sekä erittäin harvoin hiemankaan sen ulkopuolella.

Tällainen niin sanottu tavallinen vastaanottaja eli kuluttaja ei ole juuri kiinnostunut radiotekniikasta eikä varsinkaan radioaaltojen etenemisestä vaan käyttää radio- ja tv-palveluja lähinnä niiden varsinaisissa tarkoituksissaan eli viihteen ja informaation tuojina. Kuluttaja vain haluaa, että hänen kannaltaan halutut asemat kuuluvat ja näkyvät hyvin, eikä hän sitten kiinnitä radiotoimintaan tai keleihin huomiota kuin korkeintaan silloin kun ne haittaavat merkittävästi vastaanottoa nimenomaan antennin kautta. Mikäli häiriöitä ilmenee, niin usein turvaututaan Internetin puoleen viihdetarjonnassa ja jätetään nämä perinteisemmät välineet vastaanottopulmien kera oman onnensa nojaan.

Suurin osa Suomen kansalaisista on siis edellä kuvattujen tavallisten kuluttajien kaltaisia. Tällaisilla kuluttajilla erityisesti näinä päivinä Internetpalveluihin perustuva radio- ja tv-tarjonta on tulemassa rinnalle ja jopa osittain syrjäyttämässä perinteisimpiin tekniikkoihin perustuvan analogisen FM -radion ja digitaalisella DVB-T tai DVB-T2 tekniikalla lähetettävät tv-lähetykset. Yhä useimmilla Internettekniikkaan perustuvat radio- ja tv-viihdepalvelut eivät ole kuitenkaan varsinaisesti syrjäyttämässä perinteisempiä versioita näistä, mutta ne ovat kovasti tulossa rinnalle jopa vanhempien eläkeikäistenkin ihmisten keskuudessa, eikä vain pelkästään keski-ikäisten tai nuorten.

Mutta mikäli laadukkaasta vastaanotosta haluaa nauttia lähettimen varsinaisella näkyvyysalueellakin, olisi hyvä tavallisten kansalaisten edes hiukan kiinnittää tarkempaa huomioita vastaanottojärjestelmiinsä. Toki on hyvin suositeltavaa, että

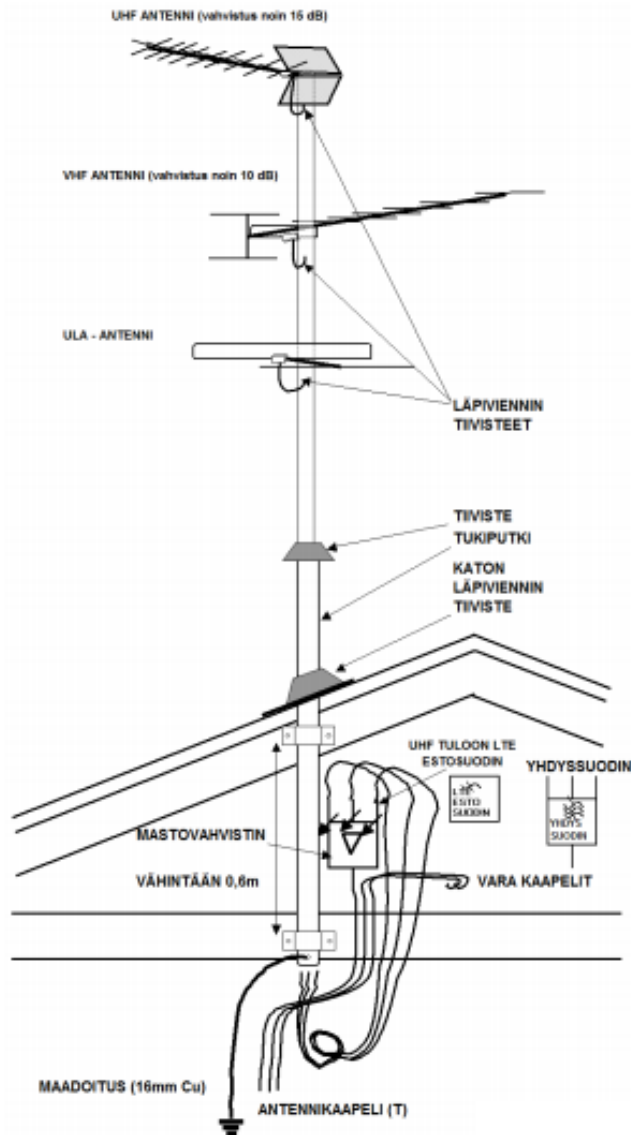
antenniasioissa ja eri asentamistoimissa erityisesti tv:n puolella kutsutaan ammattilainen hätiin, mikäli halutaan oikein laadukasta lopputulosta (Pientalon antenniopas 2017, 4). Kokemattomalle esimerkiksi antennin asennus katolla voi olla hengenvaarallista. Hieman vaativimmassa vastaanotto paikassa kaikenlaisten signaalien tasojen ja mastovahvistimien säätäminen hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi voi olla kokemattomalle usein mahdoton tehtävä. Kuitenkin maalaisjärjen käyttö on suositeltavaa näissäkin asioissa. Kannattaa esimerkiksi kysellä antenniverkon tv- ja radiovastaanoton suhteen naapureilta ja lähiseudun asukkailta alueen vastaanotto-olosuhteista ja tiedustella edullisinta sekä luotettavinta antennifirmaa. Hyvä on myös olla tietoinen, että mistä lähettimestä alueen parhaimmat tv- ja radiolähetykset vastaanotetaan. Lisäksi useampia tv- ja radiomastoja voi olla tarve vastaanottaa monella eri antennilla useista suunnista, mikäli asutaan sellaisella paikalla jossa varsinainen masto ei lähetä kaikkia saatavissa olevia tv- ja radiokanavia, mutta toinen masto lähettää ne vastaanotto paikan ollessa vielä tämän toisenkin lähettimen näkyvyysalueella. Internet tähän on oiva apu ja paikallisilta saa usein korvaamattomia vihjeitä. Mikäli vastaanotto-olosuhteet ovat oikeinkin edulliset muun muassa tv-lähetysten suhteen, kannattaa jopa harkita sisäantennin ostamista ja sen sijoittamista harkittuun ja hyväänkin paikkaan. Sisäantennin soveltuvuuskin omalla vastaanottoalueella kuitenkin selviää aina parhaimmin vain kokeilemalla.

Kunnollisesta ULA -alueella tapahtuvasta radiovastaanotosta haluavan kannattaa mahdollisuuksien mukaan hommata sellainen radio missä on ulkoantenniliitäntä ja asennuttaa antennimastoon tv-antennin asennuksen yhteydessä ulkoantenni radiollekin, mikäli se ei tule kohtuuttoman kalliiksi ja radiokanavien kuuluvuus alueella on ennestään keho. Ilman ulkoantenniakin voi pärjätä yllättävän hyvin, kun ostaa radiovirittimen kaveriksi esimerkiksi hyvän lapamato- eli dipoli-antennin. Kyseinen antenni nimittäin käy radion ulkoantenniliitäntään ja oikein aseteltuna on yllättävän tehokas vaativimmissakin olosuhteissa. Hyvin suotuisissa olosuhteissa vähänkin laadukkaimmissa radioissa niiden oma teleskooppi-antenni riittää häiriöttömään vastaanottoon hyvin sisätiloissakin. Erityisesti radion ulkoantennia asennettaessa on hyvä tietää lähetettävien asemien polarisaatio ja lähetys suunnat. Hyvissä kuuluvuusoloissa riittää niin sanottu Z-mallinen ulkoantenni, mutta heikommissa kentissä kannattaa eri lähetyspolarisaatio ja eri suunnissa olevia mastoja varten olla omat ulkoantenninsa ja mahdolliset vahvistimet

erilaisten johto- ja liitinhäviöiden minimoiseksi. Vahvistimet kuin johdotkin liittimien tulee olla antennin ohella laadukkaita, jos haluaa todellakin aina vastaanottaa mahdollisimman häiriötöntä tv- ja radiolähetystä keliolosuhteista riippumatta. Tv-lähetysten optimaalisimman vastaanoton varmistamisen tavoin kannattaa suosia radioantenniasennuksissakin muun muassa mahdollisimman pienen kohina-arvon omaavia vahvistimia ja hyvin suojattuja liittimiä sekä johtoja sääolosuhteita ja ulkoisia sähkökentän häiriöitä vastaan.

Oleellista niin televisio- kuin radiopuolenkin suhteen on selvittää ja poistaa kaikki ylimääräiset sähköhäiriöt jotka voivat vaikeuttaa niin sisä- kuin ulkoantennin kautta tapahtuvaa tv- ja radiovastaanottoa. Ylimääräisiä sähköhäiriöitä voivat aiheuttaa esimerkiksi monet talon sisäiset sähkölaitteet ja sähköjärjestelmät kuten viallisesti toteutetut tai huonosti maadoitetut pistorasiat, huonosti suojatut ja tehdyt sähkölämmitysjärjestelmät, matkapuhelinten laturit, tietokoneiden hakkurivirtalähteen ja niin edelleen (Härö 2007, 58). Häiriöt voivat ilmetä esimerkiksi ULA-alueella äänen pärinänä ja digi-tv:n puolella ajoittaisena kuvan palikoitumisena sekä äänen pätkimisenä, kirsuntana tai sihahteluna. Häiriöitä voivat tietysti myös aiheuttaa naapurien ja lähiseudulla asuvien ihmisten vastaavat järjestelmät ja laitteet, sekä toisinaan kaupungeissa ylipäättäänkin tolkkuttoman korkea sähköhäiriökenttä. Kaupunkien korkea sähköhäiriötaso johtuu muun muassa tänä päivänä erilaisten sähkölaitteiden älyttömästä määrästä ja muun muassa kauppa-keskusten generaattoreista, sähköuuneista, ledivalosarjoista yms. Sähköhäiriöiden ehkäisyssä lähdetään ensisijaisesti liikkeelle häiriölähteiden paikallistamisesta ja niiden eliminoinnista mahdollisuuksien mukaan. Seuraavaksi antennin sijoittelulla ja sen eri ratkaisulla varsinkin vahvistimien, johtojen ja liittimien suhteen pyritään pienentämään ulkopuoliset sähköhäiriöt minimiin. Lisäksi naapureiden ja lähiseudun asukkaiden kesken on hyvä puhua näistä asioista, mikäli he itsekin kokevat vastaavanlaisia häiriöitä esiintyvän. Erittäin pahoissa häiriötapauksessa on syytä kutsua ammattiasentajat ja mittaajat paikalle. Ammattihenkilökunnan avulla voidaan saada esimerkiksi talon huolimattomasti maadoitettu tai toteutettu sähkö- tai lämmitysjärjestelmä onnistuneesti kuntoon, mikä siis voi olla pitkällä tähtäimellä jopa hengenvaarallinen aiheuttaen siis kohonnutta tulipalon tai sähköiskunriskiä.

Eri oman alueen antenni- ja televisioliikkeet antavat hyviä vinkkejä käytettävistä hyvistä vastaanottojärjestelmän komponenteista, paikallisista häiriötasoista, lähetinmastoista ja niin edelleen, mikäli haluaa suorittaa näitä antenniasennuksia itse. Rivi- tai kerrostalojen yhteisantenniverkoissa asukkaan ei koskaan pidä ruveta suorittamaan antenniasennuksia omin päin, koska huonolla tuurilla seurauksena voi olla muun muassa muiden tv-lähetysten täydellinen pimeneminen ja radio-ohjelmien mykistyminen. Erityinen lupa pitää ainakin talon isännöitsijältä saada, jotta pystyy kyseisiä hommia tämän kaltaisissa paikoissa tekemään.



Antennimaston ja antennien asennus katolle, maston kiinnitys kattotuoliin. UHF-antennin yhteyteen on tarvittaessa asennettava LTE 700 -alipäästösuodatin (694 MHz:n rajataajuus). Suodin sijoitetaan ennen mastovahvistinta tai käytetään UHF-antennia, jossa on LTE 700 -suodin sisäänrakennettuna. Tarvittaessa asennetaan netti-tv-palveluja varten 4G-antenni, joka sijoitetaan mastoon alimmaksi mahdollisimman etäälle UHF-antennista.

Kuvio 4. Oikein toteutettu omakotitalon antennijärjestelmä (Pientalon antenniopas 2017, 18)

Vaativimmissa paikoissa tv- radioantennien asennusurakka voi tulla joskus yllättävän hintavaksikin, mutta se kannattaa, mikäli haluaa nauttia alkuperäisen ai- doista radio- ja tv-palveluista netistä riippumatta. Juuri kalleuden, työläyden ja



lukemattomien ilmaisten radiokanavien rajattoman määrän takia monet valitsevatkin useimmiten nettiradion perinteisen radion sijaan. Tv:n puolella nettitarjonnan valitsemiseen antennitarjonnan sijaan ajavat pääasiassa myös samat kriteerit kuin radiopuolenkin osalta, joskin netti-tv palvelut joidenkin kanavien kohdalla voivat olla hieman maksullisia verrattaessa saman verkon ilmaisiin antennikanaviin. Suomen Lapissa tilanne voi olla taas ilmaisten netti- ja antenniverkon tv-kanavien suhteen päinvastainen, nimittäin pohjoisimmassa osassa Suomeamme näkyy tälläkin hetkellä vain 5 ilmaista antenniverkon kautta vastaanotettavaa tv-kanavaa, siis yhtä paljon kuin Etelä-Suomessa näkyi 1990-luvulla analogiaikana. Ironista sekin, että nuo 1990-luvun Etelä-Suomen analogikanavat ovat käytännössä samoja kuin nyt Pohjois-Lapissa näkyvät digikanavat. (Traficom 2018b.)

#### 4.3 Vaikutusten tehostaminen

Radioaaltojen eri etenemistavoista aiheutuvia vaikutuksia pystytään myös tehostamaan monin tavoin niin lähetys- kuin vastaanottopäässäkin. Tähän tulevat nyt myös mukaan eri heijastustavoista johtuvat etenemiset, mitkä siis eivät ollenkaan takaa jonkun tv- tai radioaseman ympärivuokokautista kuuluvuutta tai näkyvyyttä vuorokauden jokaisena tuntina. Kyse voi olla esimerkiksi vain jonkun aikaisemmin huomaamattoman, erityisen kaukaisen radio- tai tv-aseman mahdollisimman hyvälaatuisesta ja pitkästä kuuluvuudesta tai näkyvyydestä, missä aseman tunnistamien on oleellisesta. Kyse ei ole siis useinkaan ohjelmankuuntelun tai katsomisen tasolla tapahtuvasta viihdekäytöstä, vaikka tosin se erityisesti harrastelijoiden kuten DX-kuuntelijoiden suhteen voi joskus sitä ollakin, kuultujen asemien ja niiden vastauksien keräilemisen ohella (Kumpulainen 2011). Siksi radioaaltojen erilaisista etenemistavoista johtuvien vaikutusten tehostamisesta ovat lähinnä kiinnostuneet erilaiset radioharrastajat sekä tutkijat kuten muun muassa radioamatöörit, DX-kuuntelijat, ilmasto- ja geofysiikantutkijat. Vaikutusten tehostamisen tarkoituksena on näillä ryhmillä tehdä uusia saavutuksia ja löytöjä omalla alallansa, siis edetä työssään tai harrastuksessaan eteenpäin. (Lehtinen 2014; Wikipedia 2018b.)

Eri etenemistavoista johtuvia vaikutuksia kuten esimerkiksi jonkun aseman ylipitkän esiintymisen havaitsemista kaukana sen varsinaisesta kuuluvuus- tai näkyvyysalueestaan, pystyvät radioaaltojen parissa joko työkseen tai harrastukseen puuhailevat monin tavoin tehostamaan. Tärkeimmät tehostamisen keinot vastaanottopäässä ovat jo tässä työssä aikaisemminkin tutuksi tulleet eli hyvä vastaanotin antennineen. Lisäksi ylipitkää tai muuta normaalisuudesta poikkeavaa aseman havainnointia tehostaa suuresti ilmakehän sääilmiöiden jatkuva tarkkailu niin kalliilla laitteistoilla kuin ihmissilmin tehtävillä havainnoillakin. Samaan sarjaan kuuluvat myös geofysikaalisten ilmiöiden kuten Auringon aktiivisuuden tarkkailu monenlaisilla eri menetelmillä, mistä huomattava osa ei onnistu jopa ilman miljoonien hintaisia ammattivälineitä. Ilmiöiden hyvä ja edustava havainnointi tapahtuu myös edustavalla paikalla eli esimerkiksi mahdollisimman häiriötömällä ja korkealla sekä avoimella paikalla. Tällaisella paikoilla ovat esimerkiksi monet observatoriot kuten Suomen Lapin Sodankylässä sijaitseva Sodankylän Geofysiikan Observatorio. Eri luonnonilmiöiden hyvä tunteminen on myös oleellisen tärkeää tässä. Radiotekniikan ja siihen liittyvien erilaisten ilmiöiden sekä tapahtumien monipuolisen syvällinen tuntemus auttaa suuresti radioaaltojen erilaisista etenemistavoista johtuvien erityyppisten vaikutusten onnistunutta tehostamista. Mitä enempi on radiotekniikkaan ja sen ilmiöihin liittyvää syvällistä tunte- musta, niin sitä enemmän voidaan tehostaa haluttuja ilmiöitä kuten radioaaltojen erilaisista etenemistavoista johtuvia vaikutuksia. (Kumpulainen 2011.)

#### 4.4 Vaikutukset viranomaisille sekä Suomen sisä- ja ulkopolitiikkaan

Tiivistetysti voidaan todeta, että radioaaltojen erilaiset etenemistavat ja niiden muutokset aiheuttavat vaikutuksia Suomen viranomaisille sekä Suomen sisä- ja ulkopolitiikkaan. Viranomaisillekin voi koitua erilaisia toimenpiteitä radioaaltojen eri etenemistapoihin ja niiden jopa äkillisesti aiheutuneiden muutoksista johtuvien vaikutusten takia opinnäytetyöni käsittelemilleni MF-, VHF-, ja UHF-aaltoalueille Suomen yleisradioliikenteessä. Lähinnä toimenpiteet koskevat yleistäen tapauksia joissa on kysymys pinta-aallon suorasta etenemisestä. Huomattavasti har-

vemmin kyseessä saattaa olla muun muassa troposfäärinen eteneminen ja esimerkiksi sporadinen E:n aiheuttamat tapaukset ovat nykyään käytännössä olemattomia.

Suomen valvovia viranomaistahoja tutkimillani yleisradioaaltoalueilla ovat Viestintävirasto eli Traficom ja Säteilyturvakeskus eli STUK. Viestintävirasto on lisäksi Suomen liikenne- ja viestintäministeriön alaisuudessa toimiva virasto. Suomen liikenne- ja viestintäministeriö on esimerkiksi antanut 23.06.2010 Suomen ULA-taajuisten radioaaltojen käytöstä viimeisimmän käyttösuunnitelman joka on astunut voimaan 01.08.2010 alkaen. Kyseisessä käyttösuunnitelmassa yleisradioasemien taajuudet on määritelty kymmenessä taajuuskokonaisuudessa radiotaajuuksien käyttösuunnitelman perusteella, jonka lisäksi on vielä päätetty paikallisen ja alueellisen toimiluvanvaraisen radiotoiminnan käyttämät taajuudet. Myös Tukes eli Turvallisuus- ja kemikaalivirasto valvoo Suomessa muun muassa sähkölaitteiden eli esimerkiksi kuluttajille suunnattujen radioiden ja television toimintaa sekä sähköturvallisuutta. STUK puolestaan esimerkiksi valvoo sitä, ettei muun muassa ihmisen kehoon radio- ja tv-mastojen välittömässä läheisyydessä olevissa sallituissa oleskelupaikoissa kohdistuisi vaarallista määrää radiosäteilyä käsittelemilläni VHF- ja UHF -alueilla. Suuritehoistenkin tv- ja radiomastojen antennit pyritään suunnittelemaan niin, että aivan maston lähelläkään radiosäteilyn määrä ei olisi erityisen, eikä varsinkaan haitallisen korkea (STUK 2009, 5). Traficom eli entinen Viestintävirasto valvoo taas radiolähtetymiseen annettujen lupaehtojen noudattamista muun muassa taajuuksien, lähtetymen tehon ja lähettinantennien suuntakuvioiden suhteen. (Tukes s.a; STUK 2009; Wikipedia 2018e; Wikipedia 2019a.)

Radioaaltojen valvonta ja lupaehtojen noudattaminen viranomaistahoilla ihmiseen kohdistuvan suoran säteilyn suhteen perustuu useisiin lakeihin ja säädöksiin. Niitä ovat ensiksi useat kansainväliset suositukset kuten muun muassa IC-NIRP-, IEEE, WHO- ja jopa Neuvostoliiton aikaisetkin suositukset. Neuvostoliiton aikaiset suositukset ovat aikoinaan annettu Venäjän ja Kiinan tahoilta. Kansainvälisten suositusten jälkeen tulevat useat EU:n suositukset ja velvoitteet. Näitä ovat esimerkiksi radiolaitedirektiivi (RED 2014/53/EU), pienjännittdirektiivi (LVD, 2014/35), työntekijöiden suojeleminen (2013/35EU) ja yleinen tuoteturvallisuusedirektiivi (GPSD 2001/95EY). Lisäksi EU:n neuvostokin on antanut erilaisia suosituksia, jotka eivät ole siis velvoittavia säädöksiä, mutta niiden noudattaminen on erittäin

suositeltavaa. Tällaisia suosituksia ovat esimerkiksi väestön suojeleminen (1999/519/EC). (Toivonen 2016, 5–6.)

Tärkein laki on kuitenkin käsittelemieni yleisradioaaltoalueidenkin suhteen Suomessa 27.3.1991 määrätty säteilylaki. Kyseinen laki on sittemmin kumottu vuonna 2018 ja korvattu uudella säteilylailla joka on astunut voimaan 9.11.2018. Vuoden 2018 laki on ollut voimassa 15.12.2018 alkaen. Uusimman lain periaatteet ovat suunnilleen samat kuin vanhemmassakin laissa. Vuoden 2018 joulukuussa voimaan tulleen lain tarkoitus on siis ihmisten terveyden suojeleminen erilaisen säteilyn, kuten radiosäteilyn aiheuttamilta haitoilta. Uusimman säteilylain tarkoituksena on lisäksi vähentää ja ehkäistä kaikenlaisesta säteilystä aiheutuvia ympäristö- ja muita haittoja (Säteilylaki 859/2018 1:1 §). Vuoden 2018 säteilylakia sovelletaan muun muassa radioaalloista aiheutuvalle säteilytoiminnalle, vallitsevalle altistustilanteelle ja säteilyvaaratilanteelle (Säteilylaki 859/2018 1:2 §). (Säteilylaki (kumottu) 592/1991 1:2 §; Säteilylaki 859/2018 1:2 §; Toivonen 2016, 7.)

Suomen sisä- ja ulkopoliittikkaan koituu nykyään verrattain harvoin suurempia toimenpiteitä käsittelemilleni Suomen eri yleisradioaaltoalueiden erilaisiin radioaaltojen erilaisiin etenemistapoihin ja niiden muutoksiin liittyen. Näin ollen nämä yleisradioalueillani tutkimat radioaaltojen erilaiset etenemistavat ja niiden muutokset eivät kovinkaan suuresti kosketa vuosittain Suomen hallitusta ja eduskuntaa. Suomen hallitus kuitenkin valmistelelee eduskunnalle saapuvat lakiasiat ja toimeenpantavat sitten voimaan eduskunnassa hyväksytyt lait sekä päätökset (Eli-mäen lukio 2012). Kyseiset päätökset voivat kyllä tarvittaessa esimerkiksi koskea myös näiden yleisradioalueisiin liittyvien radioaaltojen etenemistapoja muutoksiin. Tällaiset muutokset voivat liittyä esimerkiksi lähetysteknisten säädösten muuttamiseen muun muassa tietyillä etäisyysvyöhykkeillä Suomen itärajalta, mikäli havaitaan säännöllistä haittaa tai sen uhkaa oman tai naapurimaamme radioliikenteelle yleisradioliikenteessämme tapahtuvista lähetyksistämme johtuen. Säännöllistä haittaa voi esimerkiksi ilmetä aina korkeanpaineen yhteydessä tapahtuvasta ylipitkästä etenemisestä, mikäli maidemme lähettimet ja taajuudet ovat esimerkiksi tehoihin ja antennikorkeuksiin nähden liian lähellä toisiaan ja eikä sitä ole vielä huomioitu ollenkaan muun muassa maidemme molemminpuolisilla tehonrajoituksilla rajoihimme päin.

Aikoinaan erityisesti 300–3000 kHz:n keskiaaltoalueella oli merkitystä Suomen sisä- ja ulkopoliitiikkaan aina kylmän sodan loppupuolelle 1970–1980 luvuille asti. Venäjä joka tuolloin Neuvostoliitonakin välillä tunnettiin, aiheutti silloin tarkoituksettisesti ja tahattomastikin radiohäirintää erityisesti keskiaaltolähettille ja myös muun muassa tutkimallani radioaaltoalueen ulkopuolella lähettäneelle toukokuun viimeisenä päivänä vuonna 1993 lopettaneelle Lahden pitkäaaltolähettille. Toisinaan Neuvostoliiton tutkat häiritsivät jopa pahasti analogisia tv-lähettyksiä varsinkin Etelä-Suomessa. Erityisesti sota-aikana ja ennen sitä keski- sekä myös pitkäaaltoliikenteellä oli aivan omanlaisensa merkitys, ja silloinhan ei ollut vielä edes nykyisen radioverkon yksinomaisen selkärangan muodostaneesta FM- eli ULA-alueestakaan vielä mitään tietoa. Suomen sisä- ja ulkopoliitiikassa siis saivat aivan oman merkityksensä Lahden 30–300 kHz:n kansainvälisellä LF-aaltoalueella toiminut koko Suomea palvellut pitkäaaltolähetin ja Porin ulkomaille suunnatut kansainvälisellä HF-alueella eli 3–30 MHz:llä toimineet lyhytaaltolähettykset. Lahden pitkäaaltoasema aloitti aikoinaan radiolähettyksillään lähes 91 vuotta sitten Suomen Yleisradio Oy taipaleen ja Yleisradio Oy on tänä päivänäkin aivan niitä tärkeimpiä mediatyhtiöitä. Tosin jo toukokuun 1926 lopussa perustettu nykyinen Suomen Yleisradio Oy lähetti ensimmäisen virallisen radiolähettyksensä Helsingistä 09.09.1926. Yleisradio Oy tunnetaan kansankielisimmin ja tuttavallisimmin nimellä Yle. Ylellä on kaiken kaikkiaan neljä eri televisiokanavaa kolmella eri ohjelmapaikalla, kuusi radiokanavaa ja hyvin laajat sekä monipuoliset Internet- ja mobiilipalvelut. Yleisradion tv- ja radiokanavat ovat seuratuimpia kanavia Suomessa maamme muuhun tv- ja radiotarjontaan verrattuna sekä niillä on myös luonnollisesti paras, monipuolisin ja laajin saatavuus koko Suomessa. Yle toimii Suomen eduskunnan alaisuudessa. (Peippo 2012, 2,7; Wikipedia 2018d; Wikipedia 2019b.)

## 5 POHDINTA JA YHTEENVETO

Opinnäytetyöni tavoitteena oli selvittää radioaaltojen etenemistä Suomen kolmella eri yleisradioaaltoalueella. Tarkoituksena oli saada kattava, mutta myös tavalliselle kansalaiselle mahdollisimman helposti ymmärrettävä selostus radioaaltojen maailmaan sekä siitä luonteva yhteys joka päiväiseen elämäämme. Ilman radioaaltojen etenemistä eivät ollenkaan täällä Suomessa vielä nykypäivänäkään esimerkiksi tavalliset tv- ja radiolähetykset näkyisi eivätkä kuuluisi. Vaikka nettipalvelutarjonta on tällä vuosikymmenellä kasvanut suuresti, eivät tavalliset ilman kautta välitettävät radio- ja tv-lähetykset ole katoamassa minnekään, ainakaan lähitulevaisuudessa.

Erityisesti Suomen antenniverkossa tapahtuvan digitaalisten tv-lähetysten osalta voidaan puhua periaatteessa useista vuosikymmenistä saman lähetystavan säilymiseen viitaten. Kuvan pakkaus- yms. kaikenlaiset ohjelmansiirtosysteemit voivat muuttua useastikin, mutta nykyinen lähetinmastoilta radioaaltoja pitkin vastaanottoantenniin tapahtuva tv-lähetys opinnäytetyössäni käsitellyillä VHF- ja UHF-taajuusalueilla tuskin tulee muuttumaan useampaan vuosikymmeneen. Minä ja kukaan muukaan emme kykene kuitenkaan koskaan ennustamaan pitkän tähtäimen tulevaisuutta täysin nappiin missään asiassa, joten nykyisten digitaalisten tv-lähetysten radioaaltoja hyväksikäyttämän lähetystavan säilyminen tulevaisuudessakaan ei ole koskaan satavarmaa.

Digitaalisten tv-lähetysten säilyttämiseen verrattuna epävarmempaa on analogisten eli nykyisten FM-radiopalveluiden lähettäminen. Voi olla, että Suomessakin siirrytään lähivuosikymmeninä tai jopa lähivuosina digitaaliseen eli DAB-radioon. Näin ollaan Suomen pohjois- ja länsinaapurissamme Norjassa menty jo noin parisen vuotta, eli kaikki analoginen FM-radiotoiminta taajuuskaistalla 87,5–108,0 MHz on korvattu kokonaan DAB-tekniikalla. Myös Ruotsissa on verrattain runsaasti DAB-lähetyksiä perinteisen FM:n lähetystavan rinnalla. Tällä hetkellä kuitenkin ainakin nopea siirtyminen tähän digitaaliseen radioon Suomessa näyttää kuitenkin melko epätodennäköiseltä. Kyseistä tekniikkaa on Suomessa kuitenkin kokeiltu viimeksi 2000-luvulla huonoin ja kannattamattomin menestyksin.

MF-alueella eli toisin sanoen vanhastaan tunnetulla keskiaalto eli am-alueella tapahtuva radiotoiminta on Suomessa nykyäänkin hyvin vähäistä ja tulevaisuudessa tulee vähenemään entisestään, muttei tästäkään voi olla koskaan täysin varma. Innokkaita radioharrastelijoita ja radioamatöörejä riittää kuitenkin yleisradioaaltoalueiden keskiaaltojakin piristämään. Mutta nykyään varsinkin uudemmat sukupolvet ovat yhä tietämättömpiä am-yleisradiotoiminnasta ja yhdistävät ylipäätäänkin radion etäisesti usein tuohon FM-alueeseen ja jotkut jopa vain pelkäävät nettiradiopalveluihin. Yllättävän harvat tietävät tuota radion FM-alueen sen tarkemmin puhumattakaan laajemmista taajuuskokonaisuuksista, vaan mieltävät radion ”vanhanajan vehkeeksi joka usein rätisee”. Sana ”analoginen radio” saattaa olla nuoremille polville myös hieman outo, kehitys kun kehittyy kovaa vauhtia. He eivät ole enää kasvaneet siihen samalla tavalla kiinni kuin esimerkiksi 1980- ja 1990-luvuilla syntyneet ikäpolvet.

## LÄHTEET

- Altair ry 2014. Ionosfääri ja SID. Viitattu 27.11.2018  
<https://www.ursa.fi/yhd/altair/sampo/sid.html>.
- Digita s.a.a. Näkyvyysalueet. Viitattu 14.01.2019  
<https://www.digita.fi/kuluttajille/tv/nakyvyysalueet>.
- Digita s.a.b. Radiokelit. Viitattu 04.04.2018  
[https://www.digita.fi/kuluttajille/tv/tv\\_ohjeet\\_ja\\_tietopankki/radiokelit](https://www.digita.fi/kuluttajille/tv/tv_ohjeet_ja_tietopankki/radiokelit).
- Digita s.a.c. Taajuusmuutos. Viitattu 17.05.2018  
<https://www.digita.fi/kuluttajille/tv/taajuusmuutos>.
- DNA 2019. Kanavien katselu antenniverkon peittoalueen ulkopuolella. Viitattu 14.01.2019  
<https://www.dna.fi/antennikoti>.
- Elimäen lukio 2012. Hallituksen tehtävät. Viitattu 20.01.2019  
<https://www.slideshare.net/yhkurssit/hallituksen-tehtvt>.
- Säteilylaki (kumottu) 27.3.1991/592. Viitattu 20.01.2019  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/kumotut/1991/19910592>.
- Säteilylaki 9.11.2018/859. Viitattu 20.01.2019  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180859>.
- FM-kuuntelijan kesä 2000 2000. Ulalla koko kesä. Viitattu 10.10.2018  
<https://people.uta.fi/~jk54415/uladx2000/jargon.htm>.
- Granlund, K. 2001. Langaton tiedonsiirto. Porvoo: WS Bookwell.
- Hallikainen, S. s.a. Radioaallot ja niiden eteneminen. Viitattu 21.12.2018  
<https://riku.kalinen.net/vapepa/viestikurssi-2001-04/Radioaallot-ja-eteneminen.pdf>.
- Hjelt, S-E. 2014. Radioaaltojen eteneminen. Viitattu 12.11.2018  
[https://sdxl.fi/wp-content/uploads/2014/09/DXKO\\_3.pdf](https://sdxl.fi/wp-content/uploads/2014/09/DXKO_3.pdf).
- Härö, M. 2007. Digitaaliset televisiotekniikat ja analogisen antenniverkon päivittäminen digiaikaan. Viitattu 21.12.2018  
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11953/2008-04-16-28.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ilmatieteenlaitos s.a.a. Ionosfääri. Viitattu 22.06.2018  
<https://ilmatieteenlaitos.fi/ionosfaari>.
- Ilmatieteenlaitos s.a.b. Maan magneettikehä. Viitattu 21.06.2018  
<https://ilmatieteenlaitos.fi/magneettikeha>.
- Ilmatieteenlaitos s.a.c. Talvinen inversiotilanne. Viitattu 04.07.2018  
<https://ilmatieteenlaitos.fi/talviset-inversiotilanteet>.



- Kaaretkoski, H. 2011. Nopean aurinkotuulen vaikutukset ionosfäärissä. Viitattu 18.11.2018  
[http://www.sgo.fi/Publications/SGO/thesis/KaaretkoskiHannu\\_mastert-hesis\\_2011.pdf](http://www.sgo.fi/Publications/SGO/thesis/KaaretkoskiHannu_mastert-hesis_2011.pdf).
- Karttunen, H. s.a. Ionosfääri. Viitattu 18.06.2018  
<http://www.astro.utu.fi/zubi/atmosph/iono.htm>.
- Kilpua, E. 2013. Mitä on avaruussää? Viitattu 07.07.2018  
<http://www.helsinki.fi/~ekilpua/akuvauus.html>.
- Korjus, K. 1978. Sporadinen eli satunnainen E 145 MHz:llä. Viitattu 08.09.2018  
<http://www.kolumbus.fi/kalervo.korjus/oh2cx/ra/es-juttu/satunnainen.htm>.
- Kuitunen, T. 2018a. Radiokelit. Sähköposti lapulkkinen@suomi24.fi 12.2.2018. Tulostettu 20.2.2019.
- Kuitunen, T. 2018b. Radiokelit. Sähköposti lapulkkinen@suomi24.fi 15.2.2018. Tulostettu 20.2.2019.
- Kuitunen, T. 2018c. Radiokelit. Sähköposti lapulkkinen@suomi24.fi 16.2.2018. Tulostettu 20.2.2019.
- Kumpulainen, M. 2011. DX-kuuntelu. Viitattu 10.01.2019  
<http://sdxl1092.mbnet.fi/dx/index.html>.
- Käki, M. s.a.a. Antennin paikan hakeminen. Viitattu 03.08.2018  
<http://www.mattikaki.fi/antennit/sijointus.htm>.
- Käki, M. s.a.b. 2 elementtisen HB9CV digiantennin valmistaminen. Viitattu 01.08.2018  
<http://www.mattikaki.fi/antennit/HB9CV.htm>.
- Lehtinen, J. 2014. Tämän päivän dx-kuuntelu. Viitattu 09.01.2019  
<https://sdxl.fi/taman-paivan-dx-kuuntelu/>.
- Lehtoranta, V. K. 1981. Ionosfäärinen eteneminen: Keskileveysasteiden sporadinen E ja siihen liittyvät geofysikaaliset ja meteorologiset ilmiöt (yhteenvedo). Viitattu 20.11.2018  
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Upj-CjO-xdNwJ:www.hard-core-dx.com/attachments/FinnishDX/doc55qYUoRgJD.doc+&cd=19&hl=fi&ct=clnk&gl=fi>.
- Lindell, I. 1985. Radioaaltojen eteneminen. Espoo: Otakustantamo.
- Mangs, O. 2017. Radioamatöörikurssi 2017. Viitattu 30.12.2018  
[https://prk.ayy.fi/wp-content/uploads/2017/11/2017\\_L5\\_Antennit\\_siirtojohdot\\_eteneminen.pdf](https://prk.ayy.fi/wp-content/uploads/2017/11/2017_L5_Antennit_siirtojohdot_eteneminen.pdf).
- Mäki, A. 2018. Radioamatöörikurssi 2018. Viitattu 30.12.2018  
[https://prk.ayy.fi/wp-content/uploads/2018/10/2018\\_Antennit\\_siirtojohdot\\_eteneminen.pdf](https://prk.ayy.fi/wp-content/uploads/2018/10/2018_Antennit_siirtojohdot_eteneminen.pdf).

- Oh3ac. s.a. Aaltojen eteneminen. Viitattu 15.11.2018  
[http://www.oh3ac.fi/T2/THII\\_Osa\\_7\\_Radioaaltojen\\_eteneminen\\_600dpi.pdf](http://www.oh3ac.fi/T2/THII_Osa_7_Radioaaltojen_eteneminen_600dpi.pdf).
- Ovaska, T. 2019. Suomen ULA:n taajuusalue. Sähköposti lapulkinen@suomi24.fi 20.2.2019. Tulostettu 25.2.2019.
- Perkiönmäki, J. 2005. Avaruussään vaikutuksesta HF-keliin. Viitattu 08.09.2018  
<http://www.voacap.com/avaruussaa.html>.
- Peippo, H. 2012. "Huomio, huomio, täällä Lahti" – Lahden pitkäaaltoaseman historiaa. Viitattu 27.01.2019  
[http://www.oh3ac.fi/Huomio\\_Huomio\\_2012.pdf](http://www.oh3ac.fi/Huomio_Huomio_2012.pdf).
- Pientalon antenniopas 2017. Uusi toimilupakausi 2017–2027. Viitattu 21.12.2018  
<http://sant.fi/doc/oppaat/Antenniopas.pdf>.
- Radiomaailma 2014. Kansainvälisen radiokuuntelun erikoislehti 3/2014. Viitattu 12.07.2018  
[https://sdxl.fi/wp-content/uploads/2015/12/2014\\_3.pdf](https://sdxl.fi/wp-content/uploads/2015/12/2014_3.pdf).
- Scandinavian Weekend Radio 2019. SWR on ensimmäinen suomalainen yksityinen radioasema lyhyt- ja keskipitkillä aalloilla!. Viitattu 08.01.2019  
<http://www.swradio.net/>.
- STUK 2009. Radioaallot ympäristössämme. Viitattu 04.03.2018  
[https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/125181/radioaallot-ymparistosamme\\_tammikuu2009.pdf?sequence=1](https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/125181/radioaallot-ymparistosamme_tammikuu2009.pdf?sequence=1).
- Nousiainen, J. Radiosivu 2017. Ajankohtaista. Viitattu 10.06.2018  
<http://www.saunalahti.fi/~jounin2/radios.html>.
- Talvitie, J. 2014. Kuuluvuuteen vaikuttavat tekijät. Viitattu 12.11.2018  
<http://www.oh3ac.fi/T1/07014.pdf>.
- Toivonen, T. 2016. Radioaallot. Viitattu 23.01.2019  
[https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/394550/mod\\_resource/content/1/Luento-6-2016-laki-ja-lahteet.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/394550/mod_resource/content/1/Luento-6-2016-laki-ja-lahteet.pdf).
- Traficom 2018a. Radioasemat Suomessa. Viitattu 07.01.2019  
<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/tv-ja-radio/radioasemat-suomessa>.
- Traficom 2018b. Tv-asemat Suomessa. Viitattu 07.01.2019  
<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/tv-ja-radio/radioasemat-suomessa>.
- Tukes s.a. Kuka valvoo mitäkin?. Viitattu 22.01.2019  
<https://tukes.fi/tee-nain/valvonta/kuka-valvoo-mitakin>.
- Wikipedia 2017. Polarisaatio. Viitattu 21.03.2019  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Polarisaatio>.
- Wikipedia 2018a. Desibeli. Viitattu 02.04.2018  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Desibeli>.

Wikipedia 2018b. DX-kuuntelu. Viitattu 09.12.2018  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/DX-kuuntelu>.

Wikipedia 2018c. Ionosfääri. Viitattu 15.02.2018  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Ionosf%C3%A4%C3%A4ri>.

Wikipedia 2018d. Lahden radioasema. Viitattu 29.01.2019  
[https://fi.wikipedia.org/wiki/Lahden\\_radioasema](https://fi.wikipedia.org/wiki/Lahden_radioasema).

Wikipedia 2018e. Suomen liikenne- ja viestintäministeriö. Viitattu 24.01.2019  
[https://fi.wikipedia.org/wiki/Suomen\\_liikenne-\\_ja\\_viestint%C3%A4ministeri%C3%B6](https://fi.wikipedia.org/wiki/Suomen_liikenne-_ja_viestint%C3%A4ministeri%C3%B6).

Wikipedia 2018f. Television channel frequencies. Viitattu 18.11.2018  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Television\\_channel\\_frequencies](https://en.wikipedia.org/wiki/Television_channel_frequencies).

Wikipedia 2019a. Radioaallot. Viitattu 29.01.2019  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Radioaallot>.

Wikipedia 2019b. Yleisradio. Viitattu 29.01.2019  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Yleisradio>.

Yle 2013. Radiohistoriaa Tohmajärvellä: Intialaiskanava yllätti harrastajan. Viitattu 12.07.2018  
<https://yle.fi/uutiset/3-6804673>.

Yli-Paavola, M. 2010. Radioaaltojen eteneminen. Viitattu 18.09.2018  
<https://slideplayer.fi/slide/2626364/>.

Yli-Paavola, M. 2019. Radioaaltojen eteneminen. Viitattu 18.09.2018  
<https://slideplayer.fi/slide/4994573/>.

Yrjölä, I 2007. Meteorihavaintoja radiotaajuuksilla Viitattu 14.07.2018  
<https://www.ursa.fi/ursa/jaostot/meteorit/rhavdoc.html>.