

Opinnäytetyö (AMK)
Tietotekniikan ko.
Hyvinvointiteknologia
2016

Joel Jouhki

KAAPELITELEVISIOVERKON VUOTOJEN MITTAUS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikka | Hyvinvointiteknologia

2016 | 66

Ohjaaja(t): ins.(AMK) Henri Aittomaa, DI. Teppo Saarenpää

Joel Jouhki

KAAPELITELEVISIOVERKON VUOTOJEN MITTAUS

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua kaapelitelevisioverkon RF-vuotojen mittaamiseen Trilithic-mittalaitteistolla autenttisessa toimintaympäristössä. Työn teoriaosuudessa käsiteltiin kaapelitelevisioverkon rakennetta, laitteita, kaksisuuntaista tietoliikennettä sekä verkossa esiintyviä häiriöitä ja suureita. Teoriaosuudessa käsiteltiin lisäksi myös matkapuhelinverkkoa sekä opinnäytetyön aiheeseen olennaisesti liittyviä standardeja ja SCTE:n julkaisemaa teknistä raporttia.

Käytännön osuutena suoritettiin kaapelitelevisioverkon vuotojen mittaamisen mahdollistavan järjestelmän käyttöönotto, siihen liittyvät konfiguraatiot sekä testi- että kenttäympäristössä ja varsinaiset mittaukset eräällä Teleste Oyj:n asiakasyrityksen saneerattavalla kaapelitelevisioverkon alueella. Mittaukset suoritettiin ennen ja jälkeen saneerauksen. Tarkoituksena oli tutkia, muuttuuko vuodon määrä ja suuruus eri mittapisteillä saneerauksen valmistuttua, ja pohtia mahdollisia syitä vuotomäärien muutoksiin.

Opinnäytetyön tuloksena oli riittävä teoriapuolinen tarkastelu kaapelitelevisioverkosta sekä mahdollisista matkapuhelinverkon aiheuttamista häiriöistä. Käytännön osuus käsittelee kaikki olennaisesti mittalaitteiston konfigurointiin sekä käyttöönottoon liittyvät asiat ja mahdollistaa yhdessä varsinaisten käyttöohjeiden kanssa mittalaitteiston käyttöönoton.

Työ tehtiin Teleste Oyj:n toimeksiannosta ja sitä voi hyödyntää vastaavanlaisia tutkimuksia ja mittauksia suorittaessa.

ASIASANAT:

KTV-verkko, DOCSIS, LTE, mittaukset, häiriöt

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information Technology | Healthcare informatics

2016 | 66

Instructor(s): B.Eng. Henri Aittomaa, M.Sc. (Tech.) Teppo Saarenpää

Joel Jouhki

CABLE TELEVISION NETWORK LEAKAGE MEASUREMENT

The purpose of this bachelor's thesis was to familiarize oneself with topic of cable television network RF-leak measurement in authentic environment using leak detection system provided by Trilithic Inc. The theory part of this thesis covers cable television network structure, devices, two way communication and also includes different communication disorders and variables. Theory part also covers cellular network, essential standards and SCTE technical report.

The practical part of the thesis was implementation of leak detection system including configuration both in test and field environment and on top of that the actual measurements in a cable television network owned by one of Teleste Corporation's client. The area where leakage measurements were taking place was undergoing renovation at the time of making this thesis. The leakage measurements were done before and after the renovation. The purpose of the leak measurements was to observe if the amount and quantity of leaks changed and ponder the possible reasons for the changes.

The result of this thesis was a sufficient theory review about cable television network and possible disorders caused by cellular network. The practical part covers all essential parts of leak detection system configuration and implementation.

The thesis was assignment from Teleste Corporation and it can be utilized on doing similar studies and measurements.

KEYWORDS:

Cable television, DOCSIS, LTE, measurements, interference

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	9
2 HFC-VERKON RAKENNE JA LAITTEET	11
2.1 HFC-verkon laitteet	13
2.1.1 CMTS-keskitin	13
2.1.2 Vahvistimet	15
2.1.3 Passiiviset laitteet	17
2.1.4 Kaapelit	18
2.1.5 Asiakaspäätelaitteet	19
2.2 Häiriöt	20
2.2.1 Säröt	22
2.2.2 Muita suureita	22
2.3 Hyvät asennuskäytännöt	26
3 MATKAPUHELINVERKKO	28
3.1 LTE-verkko	28
3.2 Asiakaspäätelaitteet	30
4 STANDARDIT JA SUOSITUKSET	32
4.1 DOCSIS-standardit	32
4.2 SCTE:n tekninen raportti 209	34
4.3 Matkapuhelinverkon standardit	37
5 KAAPELITELEVISIOVERKON VUOTOJEN MITTAUS	39
5.1 Trilithic-mittalaitteisto ja sen konfigurointi	39
5.1.1 CT-4-laite	39
5.1.2 Seeker D -laite	44
5.1.3 Seeker MCA III -laite	47
5.1.4 Seeker Setup software -ohjelma	48
5.1.5 Leakage Analysis Workshop (LAW)	50
5.2 Testiympäristö ja alustavat havainnot	51
5.3 Mittausympäristö	52

6 MITTAUSTULOKSET	54
7 YHTEENVETO	62
LÄHTEET	64

LIITTEET

Liite 1. Mittaustulokset.

KUVAT

Kuva 1. HFC-verkon rakenteen havainnollistus [6].	12
Kuva 2. M-CMTS-arkkitehtuurin havainnollistus [11].	14
Kuva 3. Telesten AC3000-vahvistimen modulaarisuuden havainnollistus [13].	16
Kuva 4. Kantoaalto-kohinasuhteen havainnollistus [19].	21
Kuva 5. MER-havainnollistus yhden QAM-konstellaatiopisteen läheisyydessä [21].	23
Kuva 6. 16-QAM ja 64-QAM konstellaatioiden vertailu [23].	25
Kuva 7. Vahvistimen kannen oikeaoppisen kiristämisen havainnollistamiskuva [21].	26
Kuva 8. Matkapuhelinverkon kehitys vanhimmasta uusimpaan vasemmalta (2G) oikealle (4G) [25].	28
Kuva 9. Havainnollistus LTE-verkon rakenteesta ja rajapinnoista [25].	29
Kuva 10. Taajuusalueen visioitu kasvu DOCSIS 3.1:n myötä [38].	34
Kuva 11. CT-4 asennettuna asennuskehikkoon.	40
Kuva 12. CT-4:n signaalin tarkastelua R&Z-spektrianalysaattorilla.	42
Kuva 13. Tasomittarin mittaama taso 610 MHz:in QAM-kanavan kohdalla.	44
Kuva 14. Seeker D -laitteen hallintapainikkeet [45].	45
Kuva 15. Seeker D -mittalaitteen näytön symbolit [45].	46
Kuva 16. Seeker Setup Software'n hallintänäkymä.	49
Kuva 17. Vuodon havainnollistus karttapohjalla.	50
Kuva 18. Tyypillinen katujakokaappi mitatulla alueella.	53
Kuva 19. Vuotavan jakamon laitteita.	57
Kuva 20. Node ja passiivilaitteet vuodolla 1379.	58
Kuva 21. Vuodon tarkka paikantaminen saneeraamattomassa verkossa.	59
Kuva 22. Mittaustilanne kentällä.	61

KUVIOT

Kuvio 1. Matkapuhelinverkossa siirretyn tiedon määrä teratavuina [30].	31
--	----

TAULUKOT

Taulukko 1. Nopeusvertailu Channel bonding -kanavien määrän ja DOCSIS-standardien välillä [8].	15
Taulukko 2. Tasovaatimukset pistorasiassa [18].	20
Taulukko 3. Kantoaalto-kohinasuhteet pistorasiassa [18].	21
Taulukko 4. Sallitut vuotorajat tietyillä taajuusalueilla [1].	35
Taulukko 5. Vuotomittausten tulokset ennen saneerausta alueella 1.	55

KÄYTETYT LYHENTEET

3GPP	The 3 rd Generation Partnership Project, kolmannen sukupolven matkapuhelinverkon kehittämisen yhteistyöjärjestö
4G	Neljännän sukupolven matkapuhelintekniikoiden yleisnimitys
BER	Bit Error Rate, bittivirhesuhde
CMTS	Cable Modem Termination System, HFC-verkossa kaapelimodeemiyhteyksistä vastaava keskitin
CNR	Carrier Noise Ratio, kantoaaltokohinasuhde
CSO	Composite Second Order, toisen kertaluokan särö
CTB	Composite Triple Beat, kolmannen kertaluokan särö
dB	Yksikkö tehosuureiden vertailuun logaritmisella asteikolla
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol, verkkoprotokolla, joka jakaa IP-osoitteita lähiverkon laitteille
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification, standardi KTV-verkossa tapahtuvaan tiedonsiirtoon
DVB-C	Digital Video Broadcasting – Cable, standardi KTV-verkkoa hyödyntävälle tiedonsiirrolle TV-kuvien osalta
GPS	Global Positioning System, yleinen satelliittipaikannusjärjestelmä
HDTV	Teräväpiirtotelevisio
HFC	Hybrid Fiber-Coaxial, koaksiaali- ja valokuituverkkojen yleisnimitys
IP	Internet Protocol, Internetin protokollaosoite IP-verkkoihin kytkettyjen verkkosovittimien yksilöimiseen
KTV	Kaapelitelevisio

LTE	Long Term Evolution, edistynyt 3G-tekniikka (4G)
MER	Modulation Error Ratio, modulaatiovirhesuhde
NODE	Vahvistin, joka muuttaa valokuitusignaalin RF-signaaliksi ja RF-signaalin valosignaaliksi
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, modulaatio, joka perustuu diskreettiin Fourier-käänteismuunnokseen
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access, yhdistelmä OFDM- ja SC-DMA-tekniikoista
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying, 4-vaiheinen modulaatiotekniikka
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, tekniikka, joka yhdistää vaihe- ja amplitudimodulaation
RF	Radio Frequency, radiotaajuus
SCTE	Society of Cable Telecommunications Engineers, kaapelitelekomunikaatiojärjestö
SNR	Signal to Noise Ratio, signaalikohinasuhde
SC-FDMA	Single Carrier FDMA, yhden leveämmän kantaallon hyödyntäminen tiedonsiirrossa
TDMA	Time Division Multiple Access, aikajakokanavointitekniikka
UHF	Ultra High Frequency, 300 MHz – 3000 MHz välinen radiotaajuusalue
VHF	Very High Frequency, 30 MHz – 300 MHz välinen radiotaajuusalue
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkkotekniikka

1 JOHDANTO

Datan määrän kasvu vaatii entistä suurempaa tiedonsiirtokapasiteettia sekä kiinteässä että langattomassa verkossa. Tiedonsiirtokapasiteettia on kasvatettu muun muassa ottamalla käyttöön uusia taajuusalueita ja kehittämällä uusia tiedonsiirtostandardeja. Taajuusalueiden laajamittainen hyödyntäminen on johtanut siihen, että kiinteässä verkossa ja vapaasti ilmassa liikkuvan datan taajuusalueet ovat osittain lomittuneet. Taajuusalueiden lomittuminen tuo omia haasteitaan verkon käyttäjille ja verkko-operaattoreille. Koska taajuusalueet ovat päällekkäin, eikä siirrettävä data ole samanlaista eri verkkojen välillä, saattavat verkkojen viat päästä häiritsemään toisen verkon liikennettä tai pahimmassa tapauksessa estää sen kokonaan. Tämä asettaa KTV-verkolle (kaapelitelevisioverkolle) laatuvaatimuksia, joita verkko-operaattoreiden tulisi ottaa huomioon. [1]

Ennen KTV:n ja langattoman verkon taajuusalueiden lomittumista UHF-alueella kaapelitelevisio- ja matkapuhelinverkon välillä ei ollut samanlaista vaaraa häiriöistä, koska tiedonsiirto tapahtui omilla taajuusalueillaan. Tästä syystä kaapelitelevisioverkon vuotomittauksiakaan ei ole aikaisemmin tehty kuin VHF-taajuusalueella. Matkapuhelinverkon uusien standardien ja uuden, LTE(4G)-taajuusalueen myötä on huomattu uudenlaisia ongelmia sekä KTV- että matkapuhelinverkossa. Perinteiset mittaukset KTV-verkon VHF-alueella eivät enää ole riittäviä, sillä on huomattu, että VHF- ja UHF-taajuudet ovat joissain määrin tai jopa kokonaan riippumattomia toisistaan RF-vuotojen osalta. [1]

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan kaapelitelevisioverkon asennusten laatua ja laitekannan vaikutusta mahdollisen RF-vuotosignaalin suuruuteen. Työssä käsitellään lisäksi LTE-verkkoa, jotta lukijalle muodostuu käsitys kahden eri järjestelmän välisestä suhteesta. Molempien tiedonsiirtoverkkojen osalta käsitellään yleisimmät verkon laitteet sekä avataan niiden toiminnallisuuksia

osana käsiteltävää kokonaisuutta. Lisäksi paneudutaan kaapelitelevisioverkon vuotojen mittaamiseen ja vuotojen mahdollisiin syihin. Kaapelitelevisioverkkoa ovat aiemmin tutkineet Henri Aittomaa [2] opinnäytetyössään KTV-verkon saneeraus, Miro Kaunisto [3] opinnäytetyössään DOCSIS 3.1 –standardin vaikutukset KTV-verkon suunnitteluun ja Kimmo Janhu [4] opinnäytetyössään Tietokoneen lisälaitelahmotelma KTV-mittauksiin. Matkapuhelinverkkoja on tutkinut Ilkka Meerto [5] opinnäytetyössään 4G-Antennien testaus ja vertailu. Teoriaosuuden standardien ja SCTE:n teknisen raportin käsittelyyn varatussa luvussa paneudutaan HFC-verkon sallittuihin vuotorajoihin ja avataan standardien vaatimusten sekä teknisten raporttien sisältöä.

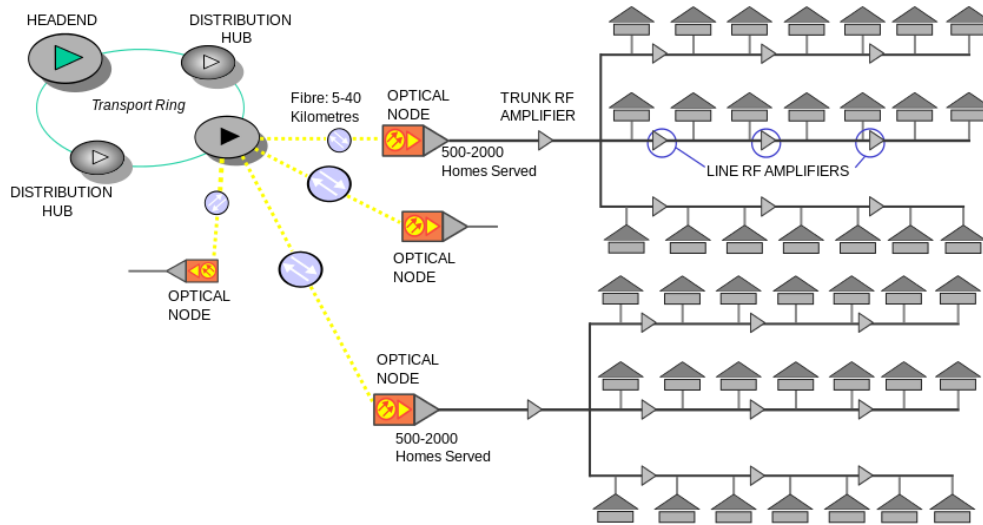
Opinnäytetyön lopussa on käsitelty varsinainen käytännön työn osuus, jossa tutkittiin erään Teleste Oyj:n asiakkaan KTV-verkkoa ja siellä esiintyviä vuotoja ennen ja jälkeen saneerauksen. Mittaus suoritettiin Trilithic-mittalaitteistolla. Työn tarkoituksena on löytää eroja vanhan ja uuden laitekannan RF-vuotojen voimakkuuksien välillä sekä löytää mahdollisia asennus- tai muita virheitä, joista vuodot voisivat johtua.

Opinnäytetyö tehdään Teleste Oyj:n toimeksiannosta ja työtä voi hyödyntää vastaavanlaisia tapauksia tutkittaessa ja käyttää pohjamateriaalina aiheeseen liittyviä jatkotutkimuksia varten.

2 HFC-VERKON RAKENNE JA LAITTEET

HFC-verkko (Hybrid Fibre-Coaxial) on nimitys kaapelitelevisioverkosta, jossa tietoa siirretään sekä valokuitu- että koaksiaalikaapeleissa. HFC-verkon tarkoituksena on toimia tiedonsiirtoväylänä, jolla lähteistä kootut signaalit toimitetaan verkon asiakkaille. Ennen tiedon siirtämistä HFC-verkkoon tulee eri lähteistä tulevat signaalit koota, järjestellä ja moduloida sopivaksi ennen eteenpäin lähettämistä. Tietoa kokoavana ja lähettävänä solmukohtana toimii päävahvistin, eli headend. [2]

Ennen kaksisuuntaistamista kaapelitelevisioverkossa tieto liikkui vain yhteen suuntaan, päävahvistimelta asiakkaiden päätelaitteiden suuntaan. Tämä mahdollisti esimerkiksi televisiokanavien lähettämisen melko kapeallakin taajuuskaistalla. Kapeampi taajuuskaista saattoi hyvinkin rajoittua jo 400 MHz:iin [2]. Nykyisin asiakkaat ovat vaativampia ja on arkipäivää, että verkko mahdollistaa vuorovaikutteiset palvelut. Tämä vaatii myötä- ja paluusuunnalle omat taajuusalueensa. Tiedon määrän suuri kasvu ja -käyttäjämäärä vaatii entistä tehokkaamman siirtotien käytön ja laajemman spektrin hyödyntämisen nykypäivän asiakkaiden vaatimusten täyttämiseksi esimerkiksi HDTV:n ja Internetin osalta. Kuvassa 1. havainnollistetaan HFC-verkon rakennetta.



Kuva 1. HFC-verkon rakenteen havainnollistus [6].

HFC on ratkaisu, jossa valokuitu on tuotu lähemmäksi loppuasiakkaita. HFC-verkossa on mahdollista siirtää dataa kahteen suuntaan, eli sillä on sekä myötää että paluusuunta. Kahdensuuntainen liikenne mahdollistaa muun muassa kaapelimodeemyhteydet ja esimerkiksi operaattoreiden tarjoamat erilaiset viihdepalvelut. HFC-verkon laitteisiin kuuluu sekä aktiivisia että passiivisia verkkolaitteita. Verkkolaitteita ovat esimerkiksi kuitunodet, vahvistimet, passiiviset komponentit, kaapelit ja asiakaspäätelaitteet. Suomessa on tyypillisesti käytössä 5 – 65 MHz:n taajuusalue paluusuunnalle ja 85 – 862 MHz:n taajuusalue myötäsunnalle [2]. Ylärajataajuutta on nostettu uusien standardien myötä ja uusimmassa DOCSIS 3.1 –standardissa (Data Over Cable Service Interface Specification) määritelty ylärajataajuus voidaan nostaa jopa 1791 MHz:iin [3]. Nykyiset laitteet tukevat yleisesti 1 Ghz:iin asti ulottuvaa taajuusaluetta, mutta esimerkiksi Telesten ACE3-vahvistimessa on tuki 1,2 GHz:iin asti myötäsunnalla [7].

2.1 HFC-verkon laitteet

HFC-verkko koostuu erilaisista aktiivisista ja passiivisista verkkolaitteista. Aktiivisten ja passiivisten verkkolaitteiden erona on se, että aktiiviset laitteet tyypillisesti vahvistavat signaalia kun taas passiiviset laitteet vaimentavat signaalia [2]. Aktiivilaitteet vaativat myös virtaa toimiakseen. Aktiivilaitteita HFC-verkossa ovat kuitunodet, vahvistimet ja viimekädessä asiakaspäätelaitteet. Päävahvistimella aktiivisia laitteita ovat CMTS (Cable modem termination system), eQAM (Edge QAM) ja DTI-kellopalvelinlaitteet (DOCSIS timer source/server). Passiivisiin laitteisiin kuuluu valo- ja koaksiaalikaapelit, haaroittimet, jaottimet ja muut passiiviset komponentit kuten vaimentimet.

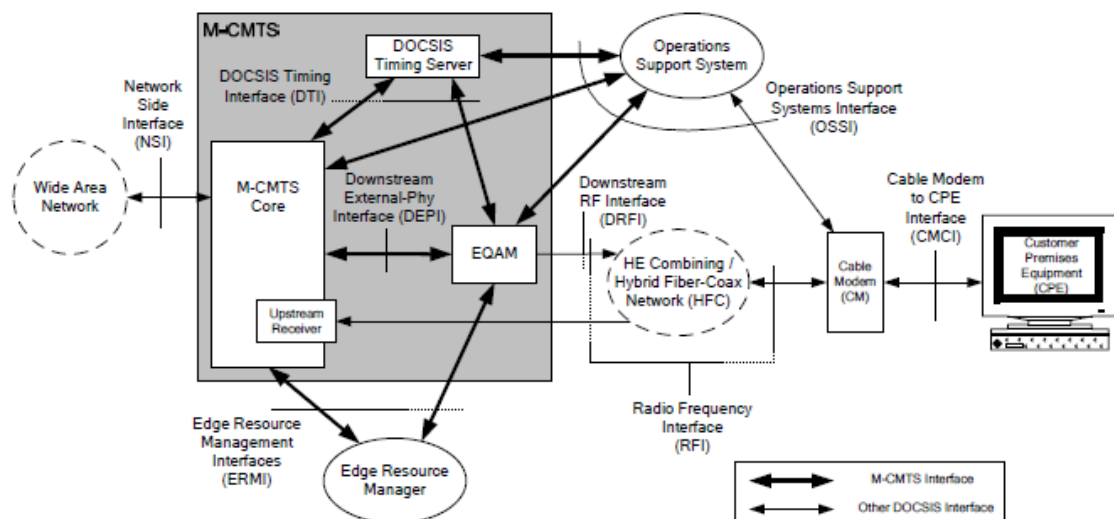
Kaapelitelevisioverkossa tiedon siirron solmupisteenä toimii päävahvistin, jossa on muun muassa kaapelimodeemiliikenteestä vastaavat CMTS-laitteet. HFC-verkossa tieto siirretään pää- tai alivahvistimelta kuitukaapelilla kuitunodelle ja nodelta RF-vahvistimille muualle verkkoon. Passiivikomponenteilla signaalia tyypillisesti jaetaan, haaroitetaan ja tarpeen mukaan vaimennetaan, jotta se saadaan oikealla signaalitasolla loppuasiakkaalle tai muuhun seuraavaan pisteeseen.

2.1.1 CMTS-keskitin

CMTS sijaitsee operaattorin päävahvistintiloissa. CMTS:n vastuulla on reitittää dataa HFC-verkon kaapelimodeemien ja IP-runkoverkon välillä. [3] Liikenne CMTS:ltä HFC-verkkoon, eli lopulta asiakkaan kaapelimodeemille on myötäsuunnan liikennettä. Myötäsuunnan liikenne siirtyy IP-paketteina, jotka on kapseloitu DOCSIS-standardin mukaan. [8] Paketit kuljetetaan datavirrassa, joka on tyypillisesti moduloitu joko 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) tai 256-QAM-modulaatioilla. Paluusuunnalla modulaatiovaihtoehtoina ovat

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM tai jopa 128-QAM-modulaatio. [9]

CMTS voi olla joko integroitu (I-CMTS) tai modulaarinen (M-CMTS). Integroidun CMTS:n etuna on muun muassa helppo käyttöönotto ja alhaisempi hinta, sillä kaikki tarpeelliset komponentit on integroituna CMTS-korttiin. Lisäksi I-CMTS-arkkitehtuurin pitäisi olla toimintavarmempi, sillä mahdollisia virhepisteitä on huomattavasti vähemmän esimerkiksi kevyemmän kaapeloinnin vuoksi M-CMTS-ratkaisuihin verrattuna. [10] Modulaarinen CMTS jakaa perinteisen CMTS:n useampaan osaan. [11] M-CMTS-arkkitehtuuria on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. M-CMTS-arkkitehtuurin havainnollistus [11].

Modulaarinen CMTS mahdollistaa mm. DOCSIS 3.0 -version tukeman channel bonding -ominaisuuden hyödyntämisen. Nykyisin myös I-CMTS-ratkaisut tukevat DOCSIS 3.0:aa. Channel bonding mahdollistaa jopa neljän myötä- ja paluusuunnan kanavan yhtäaikaista käyttämistä ja mahdollistaa moninkertaiset nopeudet aiempiin DOCSIS-versioihin verrattuna. [10] Taulukossa 1. on vertailtu nopeuksia eri DOCSIS-standardien välillä.

Taulukko 1. Nopeusvertailu Channel bonding -kanavien määrän ja DOCSIS-standardien välillä [8].

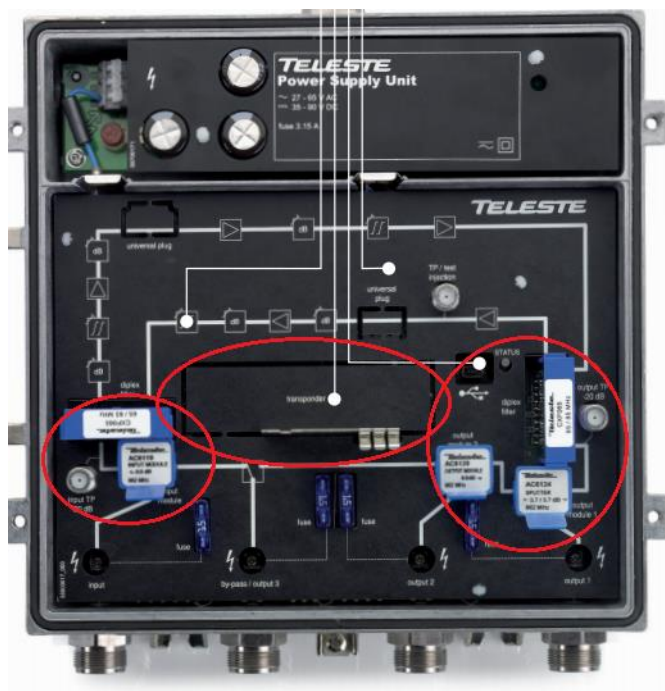
Channel configuration		Downstream throughput		Upstream throughput
Number of downstream channels	Number of upstream channels	DOCSIS	EuroDOCSIS	
4	4	171.52 (152) Mbit/s	222.48 (200) Mbit/s	122.88 (108) Mbit/s
8	4	343.04 (304) Mbit/s	444.96 (400) Mbit/s	122.88 (108) Mbit/s
16	4	686.08 (608) Mbit/s	889.92 (800) Mbit/s	122.88 (108) Mbit/s
24	8	1029.12 (912) Mbit/s	1334.88 (1200) Mbit/s	245.76 (216) Mbit/s
32	8	1372.16 (1216) Mbit/s	1779.84 (1600) Mbit/s	245.76 (216) Mbit/s

Yhdysvalloissa on käytössä DOCSIS-standardi, joka tukee 6,4 MHz:n laajuista myötäsuunnan kaistaa. Euroopan KTV-verkoissa käytetään DVB-C-standardiin (Digital Video Broadcasting - Cable) pohjautuvaa ohjeistusta, jossa moduloitujen TV-kanavien kaistanleveys on 8 MHz. Parempaa yhteensopivuutta varten on luotu EuroDOCSIS-standardi, jossa datalle varatun myötäsuunnan kaistanleveys on myös 8 MHz. [3] Näin on taattu muun muassa tehokkaampi spektrin käyttö ja yhteensopivuus DVB-C-standardin kanssa.

2.1.2 Vahvistimet

Kaapelitelevisioverkon ominaisuuksiin kuuluu, että signaali vaimenee tietyn määrän tietyllä matkalla tietyn passiivisen laitteen läpi kulkiessaan. Jotta signaali saadaan riittävän vahvana haluttuun pisteeseen tulee sitä vahvistaa tarvittaessa. Vahvistimien tehtävänä on tarpeen mukaan vahvistaa

vaimentunutta signaalia ja mahdollistaa RF-signaalin eteenpäin siirtäminen KTV-verkossa. Vahvistimet nimensä mukaisesti vahvistavat signaalia, jotta se saadaan sopivalla tasolla haluttuun pisteeseen, esimerkiksi seuraavalle vahvistimelle. Vahvistimien välillä tulee olla riittävästi vaimennusta, jotta vastaanottava vahvistin kykenee vahvistamaan vaimentunutta signaalia oikein [3]. Vahvistimen ominaisuuksiin kuuluu esimerkiksi suurin mahdollinen vahvistus, lähtötasoarvot ja kohinaluku. Ominaisuudet vaihtelevat laitekohtaisesti. Vahvistimesta riippuen voi siinä olla eri määrä modulaarisuutta ja yksi tai useampi aktiivinen lähtö [12]. Osaan Telesten valmistamista vahvistimista on mahdollista asentaa etävalvonnan mahdollistava transponder-yksikkö. Transponder-yksikkö parantaa vahvistimen etävalvontamahdollisuuksia ja antaa mahdollisuuden vahvistimen säätämiseen etäkäyttöisesti. Kuvassa 3. havainnollistetaan Telesten AC3000-vahvistimen modulaarisuutta. Vaihdettavat lisäosa-moduulit ja paikka transponderille on ympyröity punaisella.



Kuva 3. Telesten AC3000-vahvistimen modulaarisuuden havainnollistus [13].

Vahvistimissa on erilaisia säätöominaisuuksia eri taajuusalueiden vaimenemisen kompensoimiseksi. Esimerkiksi ala- ja ylätaajuuksien välistä vaimenemiseroa koaksiaalikaapelissa kompensoidaan kaltevuuden säädöllä, jolla saadaan vahvistimella lähtevään signaaliin esimerkiksi 8 dB:n vahvistus ylätaajuuksille, jotka vaimenevat nopeammin. Tarkoituksena on säätää vahvistin siten, että taajuusvaste saadaan mahdollisimman vaakasuorana seuraavalle vahvistimelle. [2]

2.1.3 Passiiviset laitteet

Passiivisiin laitteisiin kuuluu KTV-verkossa jaottimet, haaroittimet ja vaimentimet. Lisäksi viimeisenä pisteenä asiakkaan sisäverkossa on tyypillisesti antennirasia. Jaottimen tarkoituksena on jakaa signaali samansuuruisiin osiin pitäen häviöt mahdollisimman pieninä. Sen heikkoutena on pieni haaravaimennus, joten se ei sovellu suoraan loppuasiakkaalle lähteviin syöttöihin häiriösuojauksen varmistamiseksi. Loppuasiakkaalle lähteviin syöttöihin parempana vaihtoehtona pidetään haaroitinta, joka eroaa sähköisiltä ominaisuuksiltaan jaottimesta. Sillä on suurempi häiriövaimennus eri ulostulojen välillä. Parempi haarojen välinen häiriövaimennus ehkäisee häiritsevien signaalien pääsyä haaroihin ja soveltuu siksi paremmin asiakkaalle lähtevien signaalien jakokomponentiksi. Haaroittimen ja jaottimen käyttämättömät lähdöt tulee päättää 75Ω :n päätevastuksella, jotta ylimääräisiä signaaleita ei pääse päättämättömien lähtöjen kautta verkkoon. [14]

Passiivisia laitteita on myös vaimentimet, jotka liitetään suoraan koaksiaalikaapeliin. Vaimentimilla saadaan viimekädessä suoritettua verkon säätämistä mikäli vahvistimilla ei tähän syystä tai toisesta pystytä. Ensisijaisesti vahvistimilla pitäisi saada verkon tasot kuntoon, mutta tietyissä tapauksissa, joissa esimerkiksi asiakkaan sisäverkossa on ongelmia, voi olla tarvetta turvautua vaimentimeen signaalitasojen saamiseksi järkevälle tasolle asiakkaan

pistorasialla. Esimerkiksi Telesten sisäkäyttöön tarkoitetut FAM-passiivit vaimentavat signaalia 5 – 1000 MHz:n taajuusalueella 3 – 20 dB passiivista riippuen [15]. Kiinteästi vaimentavien komponenttien lisäksi on olemassa myös säädettäviä vaimentimia [16].

2.1.4 Kaapelit

HFC-verkossa on käytössä kahdenlaista kaapelityyppiä. Päävahvistimelta signaalit lähtevät valokuitukaapelissa tietyn kaapelitelevisioverkon alueen kuitunodelle ja nodella valokuidussa siirretty signaali muunnetaan RF-muotoon ja syötetään signaali koaksiaalikaapeliin. Valokuitukaapeleita on useita eri tyyppisiä, mutta kaksi yleisesti käytettyä ovat yksimuoto- ja monimuotokuidut. Valokuidun eri kaapelityypeillä on erilaisia ominaisuuksia. Yksimuotokuitua käytetään tyypillisesti enemmän KTV-verkoissa niiden pienemmän vaimennuksen ja suuremman kaistanleveyden vuoksi monimuotokuituihin verrattuna. Valokuidun etuna koaksiaalikaapeliin verrattuna on sen moninkertaisesti pienempi vaimennus. Esimerkiksi kuitukaapelien vaimennus on 0,4 dB/km kun taas koaksiaalikaapeli Tellu 3:n vaimennus on 50 dB/km 862 MHz:lla. [17]

Koaksiaalikaapeleita on myös useammanlaisia. Ne voidaan jakaa vaimennuksen mukaan eri tyyppisiin ja sitä kautta eri käyttötarkoituksiin. Eräs Suomessa tyypillisesti käytössä oleva kaapeli on Tellu-kaapeli, jossa numero sen perässä kertoo vaimennuksen desibeleinä sataa metriä kohden. Esimerkiksi Tellu7 vaimentaa signaalia 7 dB/100m 400 MHz:n taajuudella. Lisäksi kaapelien vaimennukseen vaikuttaa lämpötila. Vaimennus nousee +0,2 % yhtä celsiusastetta kohden. Fyysisesti paksumpi kaapeli tarkoittaa pienempää vaimennusta. Tyypillisesti KTV-runkoverkossa voidaan käyttää esimerkiksi Tellu3-kaapelia, kun taas asiakkaan sisäverkossa Tellu13 on usein riittävä. Muiden KTV-verkon laitteiden tapaan on kaapeleiden

ominaisimpedanssi on 75Ω . Käyttämällä samaa impedanssia kaikissa verkon komponenteissa taataan, että signaaliteho päättyy mahdollisimman hyvin loppuasiakkaan vastaanottimelle. Laadukkailla koaksiaalikaapeleilla on lisäksi suuri suojavaimennus, joka suojaa kaapelia ulkoisilta häiriöiltä. [18]

2.1.5 Asiakaspäätelaitteet

KTV-verkossa asiakaspäätelaitteina toimivat tyypillisimmin televisiot, digivastaanottimet ja kaapelimodeemit. Asiakaspäätelaitteet liitetään KTV-verkkoon asiakkaan omalla antennirasialla. Rasialla käytetään tarpeen vaatiessa esimerkiksi T-haaroitinta. Digivastaanottimien tulee kaapelitelevisioverkossa olla DVB-C-tyyppiä, jotta ne osaavat purkaa vastaanotettavan signaalin ja syöttää sen edelleen televisiovastaanottiin. Nykyisissä televisioissa saattaa olla sisäänrakennettuna virittimet eri lähteistä tuleville läheteille, joten erillisen digivastaanottimen omistaminen ei enää ole välttämätöntä.

Kaapelimodeemit voidaan digivastaanottimien ja televisioiden tavoin liittää suoraan tai asiakkaan omistaman haaroittimen kautta antennipistorasiaan. Kaapelimodeemit saavat CMTS:ltä tiedot, jotka ne tarvitsevat onnistuneeseen liikennöintiin. Kaikki asiakaspäätelaitteet toimivat kunnolla ainoastaan signaalin ollessa pistorasialla riittävän laadukas ja sopivan voimakas. Standardin IEC 60728-1 (2007) mukaiset tasovaatimukset asiakkaan pistorasialla on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tasovaatimukset pistorasialla [18].

Signaalitasot pistorasialla (dB μ V)		
Palvelutyyppe	Minimi	Maksimi
AM-VSB-televisiokanava	60	77
FM-monoääni	40	70
FM-stereoääni	50	70
DVB-C, 64-QAM	47	67
DVB-C, 256-QAM	54	74

Kaapelimodeemit mahdollistavat Internetin ym. vuorovaikutteisten palveluiden käyttämisen HFC-verkossa. Digivastaanottimesta poiketen kaapelimodeemi käyttää samalla siirtotiellä myös paluusuunnan kaistaa pyyntöjen ja datan lähettämiseen.

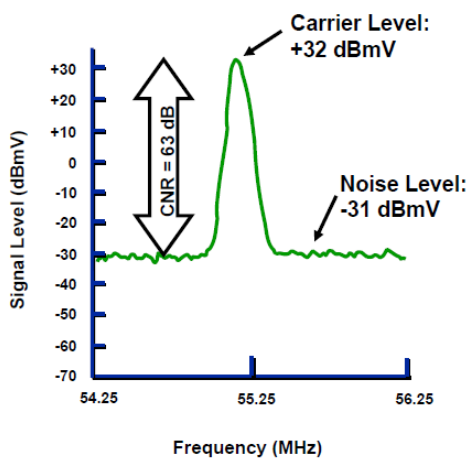
2.2 Häiriöt

Kaapelitelevisioverkossa esiintyy kaikkien muiden tiedonsiirtoväylien tapaan taustakohinaa, jonka eliminoiminen kokonaan ei ole mahdollista. Tietty määrä kohinaa järjestelmässä tulee sallia. Vahvistimet luovat verkkoon lisää kohinaa kohinalukunsa verran ja vahvistavat hyötysignaalin lisäksi myös muuta kohinaa. [18] Vahvistinten luoman kohinan vuoksi rajoittuu myös verkon vahvistinkaskadien pituus, jotta kohina ei kasva liian suureksi [4]. Käyttämällä monimutkaisempia ja vaativampia modulaatioita kasvaa myös verkolle asetettavat vaatimukset. Siirrettävän hyötysignaalin tulee olla tarpeeksi voimakas kohinatasoon verrattaessa, jotta hyötysignaali voidaan erottaa ja tulkita vastaanottimella oikein [3]. Taulukossa 3. On standardin IEC 60728-1-2 (2009) määrittelemät kantoaalto-kohinasuhteet pistorasialla.

Taulukko 3. Kantoaalto-kohinasuhteet pistorasiassa [18].

Kantoaalto-kohinasuhteet pistorasiassa (dB)		
Palvelutyyppi	Minimi	Kohinakaista
AM-VSB-televisiokanava	43	4.75 MHz
FM-monoääni	37	0.2 MHz
FM-stereoääni	47	0.2 MHz
DVB-C, 64-QAM	31	Sym.Nopeus
DVB-C, 256-QAM	37	Sym.Nopeus

Signaalin ja kohinan suhdetta kuvaava yksikkö on SNR (Signal to Noise Ratio) ja kantoaalto-kohinasuhteen kuvaava yksikkö on CNR (Carrier Noise Ratio). SNR- ja CNR-arvojen ollessa hyvät on niitä kuvaava arvo suuri. Molemmat voidaan ilmaista desibeleinä. [19] Kantoaalto-kohinasuhdetta taajuustasossa on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Kantoaalto-kohinasuhteen havainnollistus [19].

Kohinaa syntyy vahvistimien lisäksi muistakin lähteistä. Lämpötilan ollessa absoluuttisen nollapisteen yläpuolella esiintyy aina lämpökohinaa [4]. Lämpökohina aiheutuu elektronien satunnaisesta liikkeestä johtimessa ja sitä esiintyy koko taajuuskaistalla [2]. Paluusuunnan kaista on myötäsuuntaa

alttiimpi kohinasta aiheutuville häiriöille, koska häiriöt summautuvat kaikista verkon eri osista pelkän vahvistinkaskadin pituuden sijasta [3].

2.2.1 Säröt

Ihannetilanteessa HFC-verkon aktiivilaitteet olisivat täysin lineaarisia, jolloin ne eivät tuottaisi lainkaan säröjä. Todellisuudessa tähän ei kuitenkaan täysin pystytä ja siksi vahvistimet vääristävät signaalia eli toisin sanoen tuottavat säröjä. [18] Täysin särötön järjestelmä vaatisi vakiota viivettä ja amplitudivastetta [4]. Säröt tulevat sitä merkittävimmäksi mitä korkeampi on signaalin amplitudi [18]. Aktiivilaitteiden lisäksi myös passiiveissa voi ajan myötä alkaa syntyä säröjä, mikäli ne pääsevät syöpymään ja alkavat tämän jälkeen toimimaan epälineaaristen puolijohteiden tavoin [20].

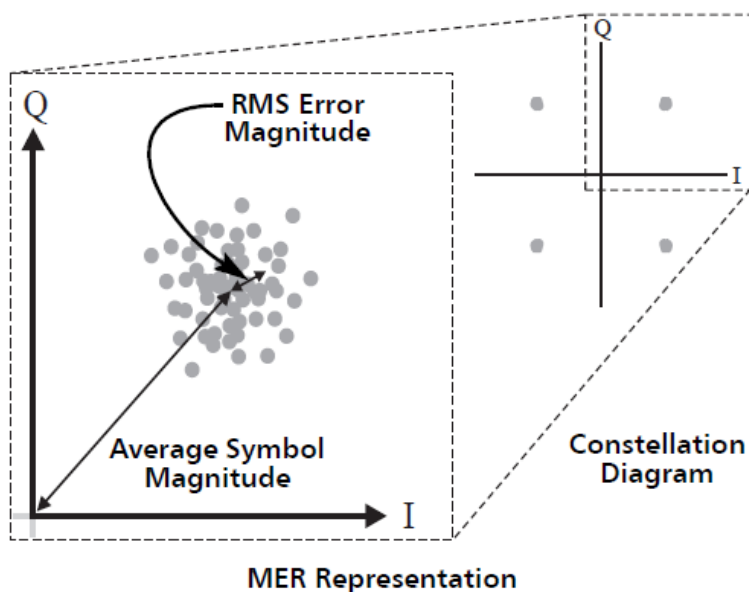
Säröjä on useita eri tyyppisiä, mutta pääsääntöisesti ne voidaan jakaa kahteen eri luokkaan. CSO (Composite Second Order) on toisen kertaluokan särö ja CTB (Composite Triple Beat) on kolmannen kertaluokan särö. [4]

2.2.2 Muita suureita

Tämän opinnäytetyön käytännön osuudessa mitataan KTV-verkon vuotoja. KTV-verkosta vuotavan signaalin voimakkuutta voidaan mitata, mutta mittaus ei suoraan kerro verkon laadusta tai siitä kuinka hyvin tieto siinä kulkee. Vuotomittaus on yksi väline muiden joukossa verkon toimivuuden arvioinnissa. Vuotomittauksen lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi MER- (Modulation Error Ratio) ja BER-(Bit Error Rate) mittauksia arvioinnin välineinä. [1] Nämä ovat huomattavasti havainnollisempia pelkkään vuotomittaukseen verrattuna ja antavat konkreettisia arvoja, joilla arvioida verkon laatua ja sen toimivuutta.

Edellä mainittuja suureita voidaan mitata niiden mittauksiin tarkoitetuilla tasomittareilla [4].

MER eli modulaatiovirhesuhde ilmaisee vastaanotetun ja lähetetyn arvon eroa digitaalisessa tiedonsiirrossa. Arvot voivat erota sekä amplitudiltaan tai vaiheeltaan toisistaan. MER-arvo kuvastaa modulaation laatua ja se ilmaistaan desibeleinä. Korkeampi MER-arvo tarkoittaa parempaa signaalia. MER ilmaisee signaalin tehoa suhteessa häiritsevän signaalin tehoon. MER-mittaus huomioi kaikki digitaaliseen signaaliin vaikuttavat häiriöt, kuten lämpö- ja vaihekohinan, lineaariset sekä epälineaariset säröt ja epäedullisen modulaatioprofiilin. Huono MER-arvo näkyy mitattaessa QAM-konstellaation I/Q-kuvaajassa laajempina pistekuvion hajontana yksittäisessä I/Q-solussa, kun taas MER:in ollessa hyvä ovat pisteet lähempänä toisiaan. [21] I/Q-hajontaa havainnollistetaan kuvassa 5.



Kuva 5. MER-havainnollistus yhden QAM-konstellaatiopisteen läheisyydessä [21].

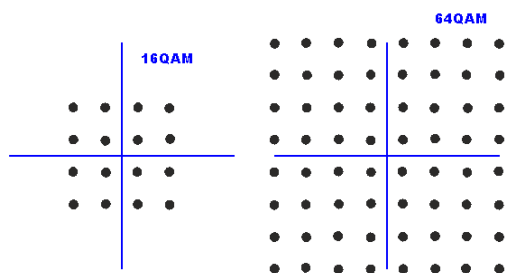
Teoreettinen MER-arvo voidaan laskea kaavasta: [19]

$$MER(dB) = 10 \log \left(\frac{\text{Average Symbol Power}}{\text{Average Error Power}} \right),$$

jossa Average Symbol Power tarkoittaa keskimääräistä symbolitehoa ja Average Error Power keskimääräistä virhetehoa [19].

Hyväksyttävä MER-arvo 256-QAM-modulaatiolla antennijärjestelmän vahvistimen lähdöstä mitattuna on 32 dB [22]. MER ei ota huomioon ajoittaisia virheitä mitattautilanteessa, joten MER-mittauksen yhteydessä olisi suotavaa mitata myös BER-arvo (Bit Error Rate). Kun symbolit eivät osu niille määrättyyn soluun riittävän useasti, heikkenee BER-arvo nopeasti. BER-arvo ilmaisee virheellisesti tulkittujen bittien suhteen lähetettyihin bitteihin. [4] Tarkemmin sanottuna BER on bittivirheiden määrä jaettuna kaikkien lähetettyjen bittien määrällä. BER voidaan ilmaista desibeleinä, mutta tyypillisesti se ilmaistaan 10^{-x} -muodossa. Esimerkiksi BER-arvo 10^{-9} tarkoittaa, että yksi bitti lähetetystä miljardista bitistä on virheellinen. [21]

Siirtotien tulee olla hyvässä kunnossa ja mahdollisimman häiriötön, jotta MER- ja BER-arvot pysyvät sallitulla tasolla, etenkin jos QAM-modulaatiota nostetaan tulevaisuuden standardien myötä esimerkiksi 4096-QAM:iin. Vaativampi modulaatio mahdollistaa suuremman bittimäärän siirron symbolia kohden, mutta se nostaa sekä modulaatiovirhesuhteen että bittivirhesuhteen heikkenemisen mahdollisuutta. QAM-kuvion konstellatiopisteiden entistä suurempi määrä vaatii entistä tarkempaa symbolin sijoittumista konstellatioon, jotta se tulkitaan oikein. [23] QAM-konstellatiota on havainnollistettu kuvassa 6.



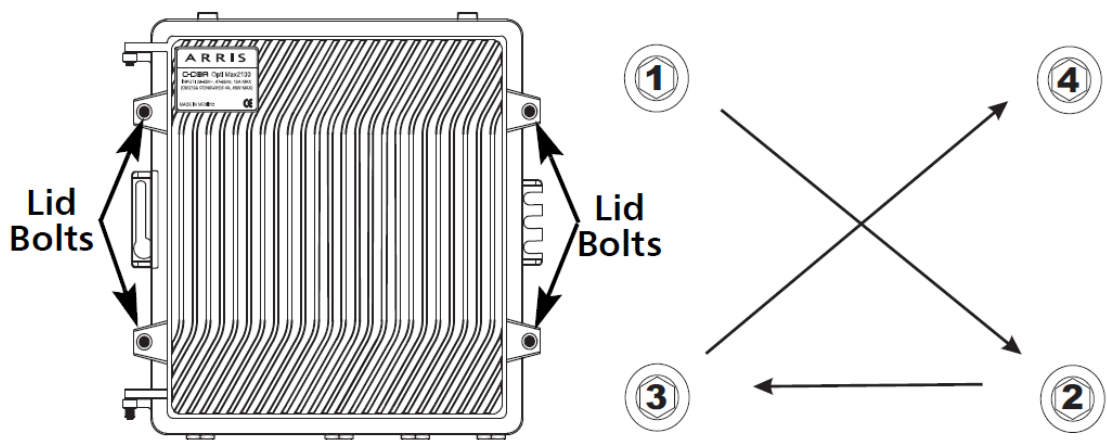
Kuva 6. 16-QAM ja 64-QAM konstellaatioiden vertailu [23].

Kun siirrossa tapahtuu virheitä, eivät kaikki symbolit osu niille tarkoitettuihin paikkoihin konstellaatiossa. Virheellisiä bittejä voidaan korjata useilla erilaisilla virheenkorjausmenetelmillä. Kaapelitelevisioverkon siirtotien ollessa hyväkuntoinen voidaan käyttää esimerkiksi Reed-Solomon-virheenkorjausmenetelmää, jossa 16 bittiä 204:stä on varattu virheenkorjaukselle. Loput bitit ovat tiedonsiirtoa varten. Tämä mahdollistaa pituudeltaan jopa 8 bitin virheellisen bittijonon korjauksen kokonaisuudessaan. [3]

HFC-verkon omien laitteiden ja taustakohinan lisäksi voi häiriöitä aiheuttaa myös verkon ulkopuoliset tekijät, kuten LTE-laitteet (Long Term Evolution). LTE-laitteille on myönnetty uusia taajuusalueita, jotka ovat limittyneet osittain KTV-verkon myötäsuunnan kanavien päälle 800 MHz:n taajuuskaistalla. LTE, eli 4G-verkon signaalit voivat päästä KTV-verkkoon esimerkiksi loppuasiakkaiden päästä verkkoa, joka on aina ollut suurin paluusuunnan taajuusalueella häiriöitä aiheuttava tekijä. [24] Matkapuhelinverkkoa ja siihen liittyviä häiriöitä on käsitelty enemmän luvuissa 3 ja 4.3.

2.3 Hyvät asennuskäytännöt

Häiriöiden minimoimiseksi ja vuotovikojen pitkäaikaiseen poistamiseen operaattorin vastualueen KTV-verkossa tulisi aina huolehtia hyvien asennuskäytäntöjen ja työkalujen sekä laadukkaiden verkkokomponenttien käytöstä. Laitteiden käyttämättömät lähdöt tulisi aina päättää pätevästulla ja huolehtia kaikkien mahdollisten osien oikeanlaisesta kiristämisestä. Lisäksi kaapeleiden liittimet tulisi olla mahdollisimman laadukkaita ja oikein tehtyjä. Nodejen ja vahvistimien osalta tulisi varmistaa, että kannet tulevat aina oikeaoppisesti kiristettyä ja kunnolla kiinni. Tarkoituksena on minimoida riski siitä, että KTV-verkkoon pääsisi ilmasta vapaasti liikkuvia signaaleita häiritsemään ja toisaalta minimoidaan riski KTV-verkon vuodoista, jotka voisivat päästä vaikuttamaan esimerkiksi LTE-taajuuksilla toimivien laitteiden toimintaan. [1] Vahvistimen kannen oikeaoppista kiristämistä on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Vahvistimen kannen oikeaoppisen kiristämisen havainnollistamiskuva [21].

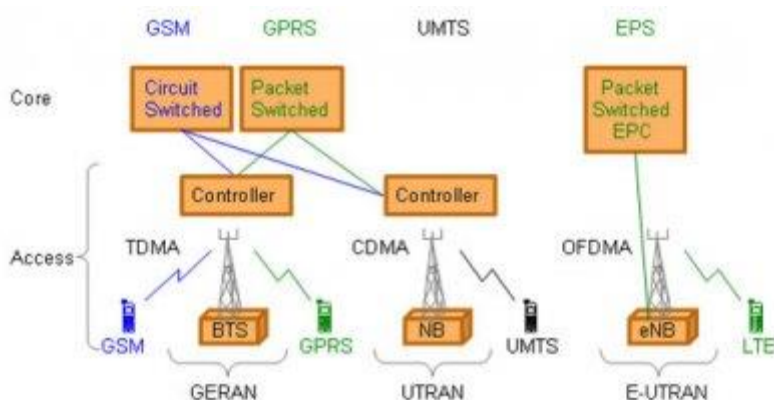
Eräitä ratkaisuita verkon ongelmiin on tehdä verkosta kuluttajan käytöksestä riippumaton, estää RF-vuotojen pääseminen verkkoihin esimerkiksi löysistä liitoksista ja valvoa radiotaajuusaluetta koko käytettävällä spektrillä sekä

langattomassa että langallisessa verkossa. Telesten BarrIER-tekniikalla varustetut F- tai IEC-tyyppin liittimet toimivat 5 – 2400 MHz:in taajuusalueella ja luovat automaattisesti jopa 40 dB:n vaimennuksen avoimiin liittimiin. Niiden toimintamekanismi myös estää löysien liitosten syntymisen. Näin saadaan kokonaisvaltaisesti parannettua sekä langattoman että langallisen verkon laatua ja mahdollisesti vapautetaan ennen käyttökelpotonta spektriä siellä esiintyneen voimakkaan häiriöinnin takia. [24]

3 MATKAPUHELINVERKKO

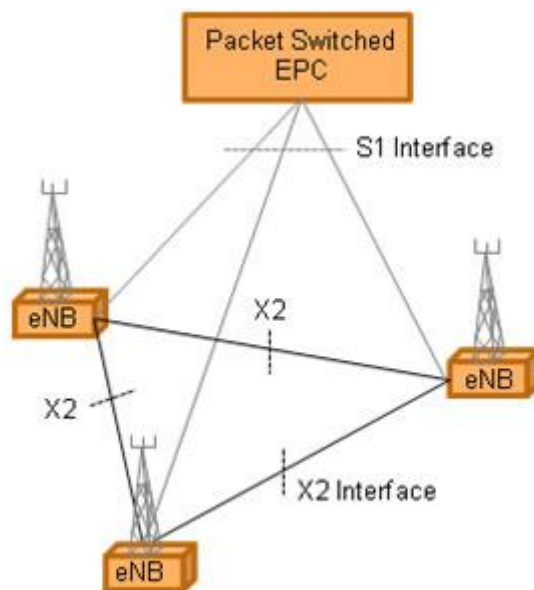
3.1 LTE-verkko

Matkapuhelinverkko on kehittynyt aikojen saatossa aivan kuten KTV-verkkokin. On tehostettu entisestään spektrin käyttöä ja otettu käyttöön uusia tehokkaampia tiedonsiirtotekniikoita, jotka ovat mahdollistaneet entistä suuremmat datanopeudet ja vähentäneet verkon viiveitä. HFC-verkon kiinteistä siirtoteistä poiketen matkapuhelinverkossa tiedon siirtäminen tapahtuu langattomasti. Langaton tiedonsiirto mahdollistaa suuremman ulottuvuuden ja paikasta riippumattomuuden. Uusin käytössä oleva matkapuhelinverkon standardi on luotu neljännen sukupolven (4G) LTE-tekniikalle (Long Term Evolution). Uuden standardin taustalla on ollut halu varmistaa vanhemman 3G-verkon jatkuvuus ja kilpailukyky tulevaisuudessa. Lisäksi käyttäjien vaatimukset suuremmista nopeuksista, yhteyden laatuvaatimuksista ja suuremmasta datan määrästä ovat edesauttaneet uuden tekniikan käyttöönottoa. Matkapuhelinverkon rakennetta on myös yksinkertaistettu uusien standardien myötä. [25] Matkapuhelinverkon kehitystä 2G:stä aina 4G:hen on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. Matkapuhelinverkon kehitys vanhimmasta uusimpaan vasemmalta (2G) oikealle (4G) [25].

LTE-liitäntäverkko (access network) koostuu tukiasemien verkosta (eNB, evolved NodeB), jotka yhdessä muodostavat käytössä olevan verkon. Aikaisemmista tekniikoista poiketen ei käytössä ole keskitettyä ohjainta, (kuva 8) vaan tukiasemat ovat yhteydessä toisiinsa X2-rajapinnoilla ja runkoverkkoon S1-rajapinnoilla. X2-rajapinnat mahdollistavat eNB-tukiasemien välisen suoran vuorovaikutuksen, kun taas S1-rajapinta toimii linkkinä muuhun runkoverkkoon. [5] Rajapintoja ja LTE-verkon rakennetta on havainnollistettu kuvassa 9. Keskitetystä ohjaimesta luopumisen syynä LTE:ssä on nopeuttaa yhteydenmuodostusta ja vähentää aikaa, jota tarvitaan yhteyden siirtämiseen tukiasemalta toiselle. Loppukäyttäjälle yhteyden muodostuksen tulee nykypäivänä olla nopeaa, sillä reaaliaikaiset palvelut ovat monesti ratkaisevia esimerkiksi Internet-pelejä pelatessa. Nopea yhteyden siirto tukiasemien välillä on myös tärkeää, jotta asiakas ei huomaa yhteyden siirtymistä tukiasemalta toiselle esimerkiksi puhelun aikana. [25]



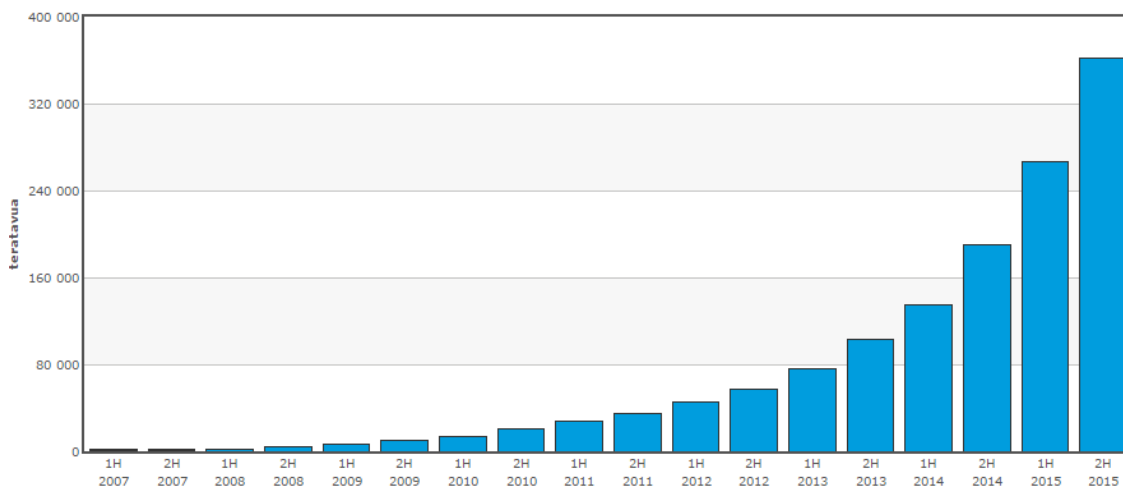
Kuva 9. Havainnollistus LTE-verkon rakenteesta ja rajapinnoista [25].

LTE-verkossa on siirrytty käyttämään OFDM:ään (Orthogonal frequency-division multiplexing) pohjautuvia modulaatiomenetelmiä. Myötäsuunnalla käytetään OFDMA-tekniikkaa (Orthogonal Frequency Division Multiple Access),

kun taas paluusuunnalla käytössä on SC-FDMA-tekniikka (Single Carrier – Frequency Division Multiple Access). OFDMA on monikantoaalto-tekniikka, joka pilkkoo käytettävissä olevan taajuuskaistan kapeisiin alikantoaaltoihin, jotka ovat ortogonaalisia keskenään. OFDMA:ta käyttämällä voidaan nämä alikantoaallot jakaa useampien käyttäjien kesken. [5, 25] Näin saadaan spektrin käyttöä tehostettua huomattavasti. SC-FDMA-ratkaisussa käytetään yhtä leveämpää kantoaaltoa käyttäjää kohden [25]. Modulaatiomenetelmistä on kerrottu lisää luvussa 4.1. Suomessa 800 MHz:n LTE-taajuudet sijoittuvat 791 – 862 MHz välille [26], joka on osittain KTV-verkossa käytettyjen taajuuksien päällä.

3.2 Asiakaspäätelaitteet

Matkapuhelinverkkoa hyödyntävien laitteiden määrä on kasvanut nopeasti viime vuosien aikana. Ennen käytössä oli ainoastaan perusominaisuuksilla varustettuja laitteita. Nykyisin lähes kaikki Suomessa myydyistä matkapuhelimista on älypuhelimia. Älypuhelimet ovat vanhoihin puhelinmalleihin verrattuna huomattavasti monipuolisempia ominaisuuksiltaan ja mahdollistavat viihdekäyttöön tarkoitettujen palveluiden käytön. Viihdepalveluiden käyttö vie moninkerroin enemmän kapasiteettiä pelkkiin puheluihin verrattuna. Myydyimmistä matkapuhelimiksi tarkoitetuista laitteista suurin osa on jo 4G-yhteensopivia. [27, 28] Suomessa matkaviestinoperaattoreita ovat muun muassa Elisa Oyj, TeliaSonera Finland Oyj ja DNA Oyj [29]. Kuviossa 1. havainnollistetaan matkapuhelinverkossa siirretyn datan määrän kasvua.



Kuvio 1. Matkapuhelinverkossa siirretyn tiedon määrä teratavuina [30].

Matkapuhelinten lisäksi tablettien ja mobiililaajakaistatuotteiden saatavuus on parantunut. Suomessa suurimmat teleoperaattorit tarjoavat verkkokaupoissaan mobiililaajakaistaratkaisuja 4G-nopeuksilla sekä useita eri malleja tablet-laitteita, jotka myöskin tukevat 4G-nopeuksia ja taajuuksia. [31, 32]

4 STANDARDIT JA SUOSITUKSET

4.1 DOCSIS-standardit

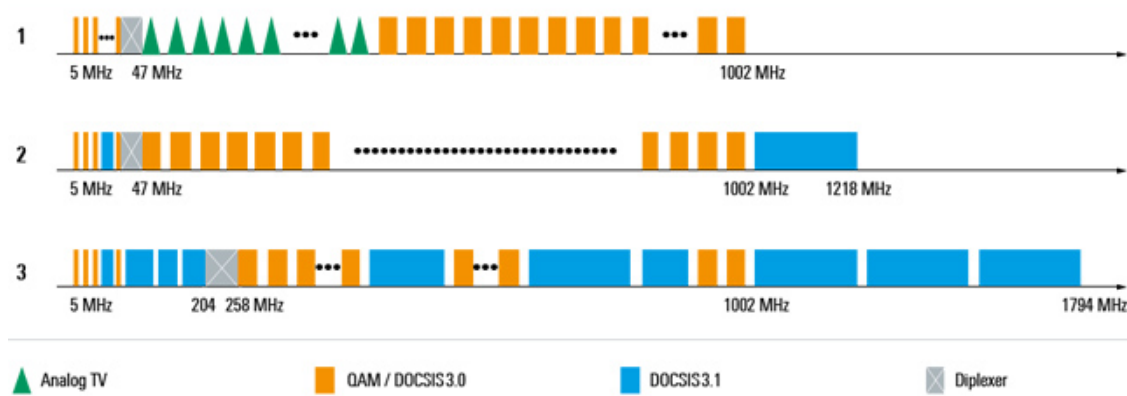
DOCSIS-standardeista on luotu useita eri versioita vuosien saatossa. Ensimmäinen versio, DOCSIS 1.0, standardista julkaistiin vuonna 1997. Tämän jälkeen on julkaistu versiot 1.1, 2.0, 3.0 ja uusimpana versio 3.1 vuonna 2013. Uudemmat standardit pohjautuvat vanhoihin standardeihin, mutta niihin on tehty uudistuksia, jotka ovat mahdollistaneet muun muassa entistä suuremmat nopeudet kaapelimodeemeille esimerkiksi modulaatiomenetelmiä parantamalla ja mahdollistamalla channel bonding –menetelmän käytön. [8] DOCSIS-standardi mahdollistaa kaksisuuntaisten palveluiden käytön KTV-verkossa [33]. DOCSIS 3.0 -standardissa ylärajataajuus voi olla jopa 1 GHz [34].

Euroopassa on käytössä DOCSIS-standardiin pohjautuva EuroDOCSIS-standardi, joka eroaa jonkin verran DOCSIS-standardista. Alalla parhaiten tunnettuna erona pidetään standardeissa määriteltyjen kaistanleveyksien eroa. DOCSIS käyttää myötäsuunnalla 6 MHz:n levyistä kaistaa kun taas EuroDOCSIS mukailee DVB-C-standardia, jossa myötäsuunnalla yhden kaistan kaistanleveys on 8 MHz. [35, 36] Lisäksi symbolinopeudella on DOCSIS-standardien välillä eroja. Symbolinopeus vaikuttaa suoraan myötäsuunnan bittinopeuteen, joka yhdellä EuroDOCSIS-standardin mukaisella 256-QAM kanavalla on 55,62 Mb/s. Vastaava DOCSIS-standarilla on 42,88 Mb/s. Symbolinopeuden lisäksi myös tehovaatimukset eroavat standardien välillä hieman. [35]

DOCSIS 3.0 –standardin julkaisemisen myötä mahdollistui Channel bonding –menetelmä, jossa myötä- ja paluusuunnan kanavia on mahdollista niputtaa yhteen entistä suurempien latausnopeuksien saavuttamiseksi. Pienin hyväksyttävä määrä niputettavia kanavia on 4 sekä myötä- että paluusuunnalla.

[33] Kanavaniputus mahdollistaa vanhoihin standardeihin verrattuna moninkertaiset nopeudet, jotka on esitelty jo aiemmin taulukossa 1 luvussa 2.1.1. Suurin tuettu modulaatio DOCSIS 3.0 -standardissa myötäsunnalla on 256-QAM ja paluusuunnalla 128-QAM. Tyypillisesti paluusuunnalla on korkeintaan käytetty 64-QAM:a. [8]

Uusin DOCSIS 3.1 -standardi mahdollistaa entistä tehokkaampien modulointimenetelmien käytön. DOCSIS 3.1 -standardissa modulaatiota on nostettu jopa 4096-QAM:iin ja siirrytty yhden kantaallon sijasta käyttämään useita satoja erillisiä kantaaloja. Useiden kantaalojen käyttö perustuu myös 4G-verkossa käytössä olevaan OFDM-tekniikkaan. Myötäsunnan OFDM-kantaallosysteemi koostuu suuresta määrästä alikantaaloja, joiden kaistanleveys on joko 25 kHz tai 50 kHz. Alikantaallot niputetaan erikseen konfiguroitaviin OFDM-kanaviin, jotka voivat olla jopa 192 MHz:n levyisiä myötäsunnalla. Paluusuunnalla suurin sallittu kaistanleveys on 96 MHz. [37] Paluusuunnalla käytössä on OFDMA-tekniikka, jossa on yhdistetty OFDM- ja TDMA-tekniikat (Time Division Multiple Access). TDMA:lla lähetys voidaan pilkkoa pieniin osiin ja siirtää palat eri aikoina. OFDMA:ssa alikantaallolla voidaan siis siirtää useiden käyttäjien dataa, koska OFDMA jakaa alikantaallot käyttäjien kesken siten, että useiden käyttäjien dataa voidaan lähettää samanaikaisesti yhdellä alikantaallolla. [3] DOCSIS 3.1 -standardin taajuusalueen kasvua on visioitu kuvassa 10.



Kuva 10. Taajuusalueen visioitu kasvu DOCSIS 3.1:n myötä [38].

DOCSIS 3.1 -standardin myötä laitevalmistajien tulee varautua uusien laitteiden kehittämiseen ja valmistamiseen, sillä nykyinen DOCSIS 3.0:n mukainen taajuusalue laajenee asteittain aina 1 794 MHz:iin asti. [37] Nykyiset KTV-verkon laitteet tukevat tyypillisesti korkeintaan 1,2 GHz:iin ulottuvaa taajuusaluetta. Suomessa on toistaiseksi yleisesti käytössä taajuusalue 862 MHz:iin asti [18]. Uudet DOCSIS-standardit ovat yhteensopivia vanhempien DOCSIS-versioiden kanssa, mutta entistä laajemman RF-spektrin hyödyntämiseksi tulisi laitteiden ylärajataajuutta nostaa uuden standardin mahdollistamalle tasolle.

4.2 SCTE:n tekninen raportti 209

SCTE (Society of Cable Telecommunications Engineers) on johtava jäsenjärjestö kaapeliverkon ammattilaisille Yhdysvalloissa. Se tarjoaa muun muassa koulutuksia, tapahtumia ja sertifiointikoulutuksia jäsenilleen. [39] SCTE on ANSI:n (The American National Standards Institute) valtuuttama toimija teknisten spesifikaatioiden kehittämiseksi kaapelitelekkommunikaatiossa.

Tämä sisältää myös standardien luomista monilla eri telekommunikaation osaluilla. [40]

SCTE:n tekninen raportti 209 vuodelta 2015 antaa ohjeistusta ja suosituksia kaapelioperaattoreille kaapelitelevisioverkossa esiintyvien signaalivuotojen ja häiriöiden mittaamiskäytäntöihin sekä toimintatapoihin. Tarkoituksena on ollut vähentää signaalivuotoja ja häiriöitä UHF-radiotaajuusalueella. Teknisessä raportissa mainitut vuotorajat sekä UHF- että VHF-taajuusalueilla pohjautuvat FCC:n (Federal Communications Commission) säädökseen § 76.605(a)(12), jossa suurinta kentän vuotovoimakkuutta on rajoitettu tietyillä taajuusalueilla. [1] Taajuusalueet ja sallitut signaalin vuotorajat on esitelty taulukossa 4.

Taulukko 4. Sallitut vuotorajat tietyillä taajuusalueilla [1].

Frequencies	Signal leakage limit (micro-volt/meter)	Distance in meters (m)
Less than and including 54 MHz, and over 216 MHz	15	30
Over 54 up to and including 216 MHz	20	3

Taulukosta selviää, että suurin sallittu signaalin vuotomäärä alle 54 MHz:llä (kuitenkin sisältäen 54 MHz) ja yli 216 MHz:llä on 30 metrin päässä vuotokohteesta 15 $\mu\text{V}/\text{m}$. Vuotoraja 3 m:n vuotokohteesta voidaan laskea käyttämällä seuraavaa kaavaa: [1]

$$E_{\mu\text{V}/\text{m}} \text{ 3 m:n päästä kohteesta} = E_{\mu\text{V}/\text{m}} \text{ 30 m:n päästä kohteesta} * \left(\frac{30}{3}\right),$$

$$\text{eli } E_{\mu\text{V}/\text{m}} \text{ 3 m:n päästä kohteesta} = 15 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} * \left(\frac{30}{3}\right) = 150 \mu\text{V}/\text{m},$$

jossa $E_{\mu\text{V}/\text{m}}$ on kentän voimakkuus mikrovoltteina metriä kohden.

Taajuusalueella 54 – 216 MHz suurin sallittu vuotoraja kolmen metrin päästä vuotokohteesta on 20 $\mu\text{V/m}$. [1] Pelkästään vuotorajojen sisäpuolella pysymiseen ei kuitenkaan tulisi tuudittautua, sillä teknisessä raportissa viitataan vuotorajojen määrittelyn lisäksi myös toiseen säädökseen, jossa määrätään vuodon korjaus mikäli vuoto aiheuttaa haitallista häiriötä, vaikka vuodon suuruus olisikin sallituissa rajoissa.

Teknisessä raportissa avataan vuotojen syitä ja niiden tyypillisiä paikkoja. Esimerkiksi UHF-vuodoista sanotaan, että niiden aiheuttajat ovat pitkälti samoja kuin VHF-vuodoissakin. Tyypillisesti kuitenkin UHF-vuoto on yleisempää runkoverkossa, sillä signaalitasot ovat siellä kovemmat verrattuna asiakaspäähän ja lisäksi vahvistimissa vahvistetaan myötäsuunnalla ylätaajuuksia niiden nopeamman vaimenemisen vuoksi. Vuotoja voi kuitenkin esiintyä sekä runko- että asiakaspäässä verkkoa. Eräät yleisimmät esimerkit UHF-vuodon aiheuttajista ovat löysät, huonosti asennetut tai vahingoittuneet liittimet ja adapterit sekä rengasmurtumat kaapeleiden suojissa. Lisäksi ongelmia voi aiheuttaa löysät passiivilaitteiden kannet, vahingoittuneet tai puuttuvat tiivisteet sekä aktiivi- että passiivilaitteissa ja joissain tapauksissa jopa jyrsiöiden tekemät vauriot. [1]

Raportti antaa myös vinkkejä vuotojen etsintään. Apuna voi käyttää esimerkiksi spektrianalysaattoria tai spektrimonitoria alueella, jossa ilmoitettuja ongelmia on. Käytännössä tutkitaan siis missä häiriötä esiintyy ja siten kavennetaan tutkittavaa aluetta pala palalta. Huomiota tulee kiinnittää myös siihen, että joissain tapauksissa häiriöt saattavat peittyä QAM-signaaleiden alle mikäli ne sattuvat olemaan samalla taajuudella. Tämä vaikeuttaa vianrajausprosessia, sillä tyypillisesti QAM-signaalien hetkellinenkään poiskytkeminen ei ole suotavaa asiakasvaikutuksen vuoksi. [1]

Tekninen raportti käsittelee myös KTV-verkon asiakaspäätelaitteiden suoraa altistumista häiriölle. Häiriöitä voi tulla eri lähteistä, mutta huomattavana riskinä mainitaan 4G-laitteet. Häiriöille alttiita KTV-verkon laitteita ovat esimerkiksi digiboksit, kaapelimodeemit, televisiot tai muut suoraan KTV-verkkoon liittyneenä olevat laitteet. Joissain tapauksissa esimerkiksi laitteiden fyysiset muodot, koko tai riittävään ilmanvaihtoon suunnitellut ratkaisut voivat altistaa ulkopuolisille signaaleille. [1]

Erilaisten esimerkkien ja tyypillisten korjaustoimenpiteiden lisäksi tekninen raportti käsittelee joitakin kaupallisia ratkaisuita RF-vuotojen paikantamiseen. Yhtenä vaihtoehtona on esitelty Trilithicin tarjoama ratkaisu, jota on tässä opinnäytetyössä käytetty vuotojen etsintään. Trilithicin ratkaisuihin tutustutaan luvusta 5 alkaen.

4.3 Matkapuhelinverkon standardit

Matkapuhelinverkon toiminta on tarkoin säädeltyä. Kansallisten säännösten lisäksi on olemassa yleismaailmallisia teknisiä spesifikaatioita, jotka määrittävät yhteiset pelisäännöt alan toimijoille. Näin saadaan taattua yhteensopivuus eri laitevalmistajien ja laitteiden välillä. Merkittävin matkapuhelinverkon standardien määrittelijä on 3GPP-yhteenliittymä (3rd Generation Partnership Project), joka luotiin alunperin 3G-verkkojen spesifikaation luontia varten, mutta yhteenliittymän toimintaa on tämän jälkeen laajennettu ja se käsittää myös 2G- ja 4G-standardien kehitystä ja ylläpitoa. [41] Yhteenliittymässä on mukana seitsemän erillistä telekommunikaation standardien kehittäjäorganisaatiota (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA ja TTC). [42]

3GPP:n Teknisessä spesifikaatiossa 36.101 v13.2.1 (2016-01) määritellään muun muassa neljännen sukupolven matkapuhelinverkon taajuusalueiden

käyttö asiakaspäätelaitteiden (UE, User equipment) osalta. Kuten luvussa 3 mainittiin käytetään Suomessa 800:n MHz:n taajuusalueella spesifikaation määrittelemää 791 – 862 MHz taajuusaluetta. Standardi määrittelee sekä downlink (tukiasemalta asiakaspäätelaitteelle)- että uplink (asiakaspäätelaitteelta tukiasemalle)-taajuudet. Tukiasemalta päätelaitteelle on määritelty taajuusalue 791 MHz – 821 MHz. Asiakaspäätelaitteelta tukiasemalle on määritelty taajuudet 832 – 862 MHz:n välille. [43]

Dokumentissa määritellään suurin ja pienin sallittu asiakaspäätelaitteiden lähetysteho luvuissa 6.2 ja 6.3. Suurin sallittu asiakaspäätelaitteen lähetysteho on 23 dBm, jossa sallitaan ± 2 dB toleranssi. Näin ollen standardin suurin sallima asiakaspäätelaitteen lähetysteho on 25 dBm. [43] LTE-laitteen kentän voimakkuus on SCTE:n teknisessä raportissa 209 asiakaspäätelaitteen lähetystehon ollessa 25 dBm teoreettisesti laskettu 782 MHz:n taajuudella. Kentän voimakkuus 1 m:n päässä laitteesta on tällöin n. 2,2 V/m. [1]

Täten siis teoreettisesti suurin laskettu teho, jota LTE-laite voi lähettää suurimmalla lähetysteholla yhden metrin päästä kohteesta on noin 2,2 V/m. Matkan kaksinkertaistuessa 2 m:iin laskee teho n. 1,1 V:iin/m. Joissain tapauksissa voi kentän voimakkuus olla riittävä aiheuttamaan huomattavia häiriöitä HFC-verkkoon ja sen päätelaitteiden toimintaan. Oireina voi olla esimerkiksi heikentyneet CNR-, MER- ja BER-arvot useilla käytössä olevilla myötäsuunnan taajuuksilla. Joissain tapauksissa digiboksin päällä tai vieressä ollut LTE-laite on aiheuttanut voimakasta pikselöintiä ja kuvan- sekä äänen menetystä LTE-laitteen käyttämällä taajuudella tai jopa kaikilla käytössä olevilla digitaalisilla kanavilla. [1]

5 KAAPELITELEVISIOVERKON VUOTOJEN MITTAUS

5.1 Trilithic-mittalaitteisto ja sen konfigurointi

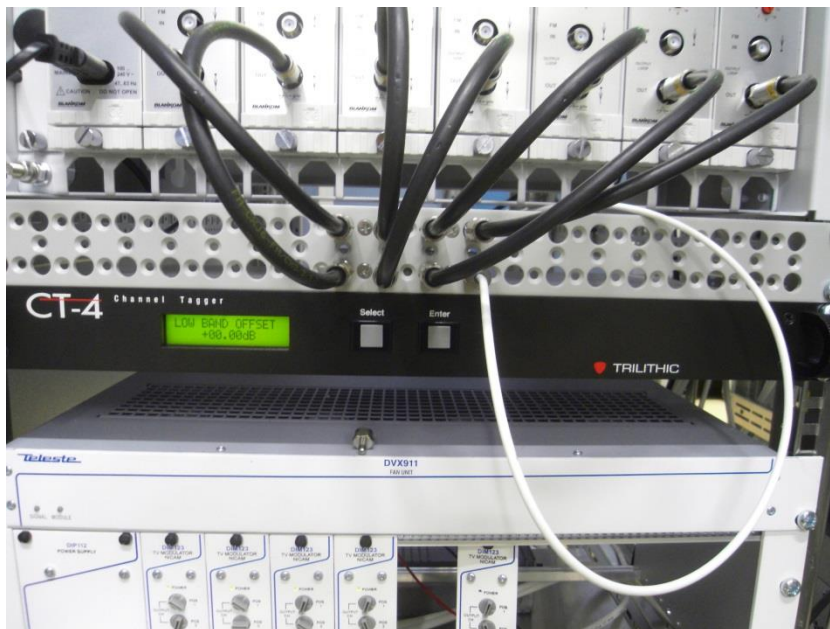
Opinnäytetyön käytännön osuutta varten tuli valmistella ja konfiguroida mittalaitteisto sekä mittalaitteiston käyttöön olennaisesti vaikuttavat lisälaitteet. Vuotomittauksia varten tässä tapauksessa käytettiin Trilithic-nimisen yrityksen laitteita. Laitteet ja niiden konfigurointi on esitelty erillisissä luvuissaan 5.1.1:stä alkaen. Mitattavan vuotosignaalin luontiin käytettiin CT-4 (Digital Leakage Tagger) –laitetta. Laitteen asennus suoritettiin erään alueen päävahvistin-tiloissa. Syötetyn signaalin vuotojen mittaamiseen kaapelitelevisioverkosta käytettiin saman firman Seeker D (Digital Leakage Detection System) –laitetta sekä sen optionaalista lisälaitteita Seeker MCA III:a. Seeker MCA III mahdollisti vuotopaikkojen tarkastelun karttapohjalta, sillä se keräsi mittauksen aikana GPS- ja vuototietoja.

Kiinteiden laitteiden konfigurointiin käytettiin Seeker Setup software –nimistä ohjelmaa. Lisäksi erillistä LAW-ohjelmaa (Leakage Analysis Workshop) käytettiin GPS- ja vuotopaikkojen yhdistämiseen ja näyttämiseen karttapohjalla. Tämä mahdollisti vuotojen tarkastelun niiltä alueilta, joissa vuotomittausta oli alustavasti jo tehty. Kokonaisuuden lopussa käsitellään vielä mittausympäristöä siinä määrin kuin on mahdollista sovittujen tietosuojasopimusten puitteissa sekä avataan ennen varsinaisia vuotomittauksia tehtyjä vuotojen testimittauksia sekä niiden alustavia havaintoja.

5.1.1 CT-4-laite

Ennen varsinaista kenttämittausten suorittamista asennettiin CT-4-yksikkö asiakkaan headend-tiloihin sopivaan asennuskehikkoon. Laitteen tuottama

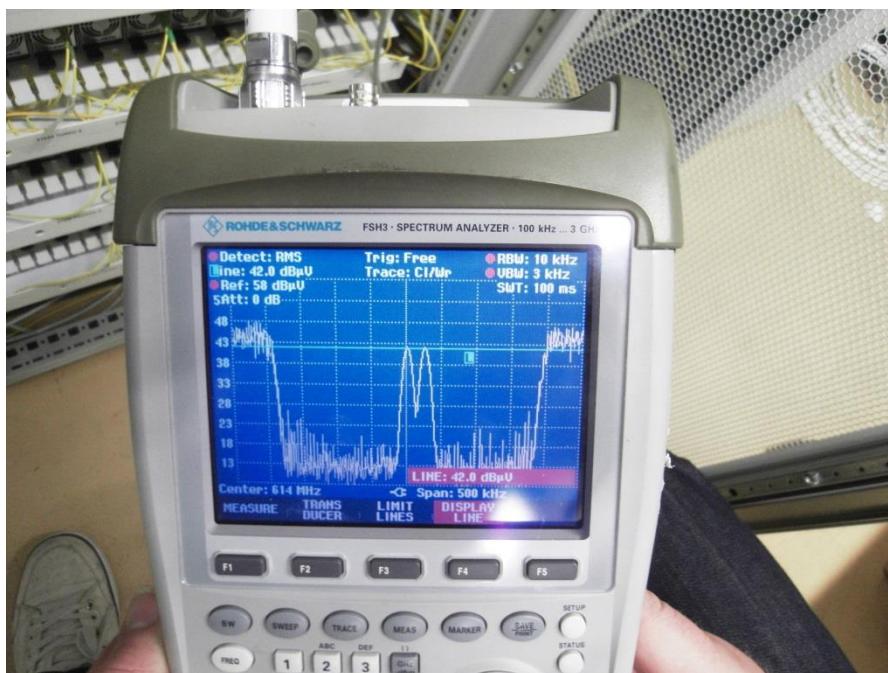
signaali kytkettiin siten, että se syötti asiakkaan HFC-verkkoa kokonaisuudessaan. Tämän tyyppinen asennus mahdollisti asiakkaan verkon valvonnan kokonaisuudessaan yhdellä päävahvistimelle asennetulla laitteella. Asiakkaan laitetilassa oli käytössä Rittal-merkkiset asennuskehikot, jotka sopivat asennukseen erinomaisesti. Asennusta varten tuli valmistella asennuskohta asianmukaisilla korimuttereilla, jotta laite saatiin tukevasti paikalleen. Laitteen paikalleen asentamisen jälkeen laitteen lähtöliitännän syöttämä signaali kytkettiin koaksiaalikaapelilla osaksi asiakkaan koostamaa lähetettä. Lopuksi laitteeseen kytkettiin virrat liittämällä laitteen virtakaapeli asianmukaiseen pistorasiaan. Virransyöttöön käytettiin tyyppillistä laitteissa käytettävää virtakaapelia. Kuvassa 11 on CT-4 asennettuna asennuskehikossa.



Kuva 11. CT-4 asennettuna asennuskehikkoon.

Laitteen signaalitasojen säätämistä ja tarkkailua varten käytettiin ROHDE&SCHWARZ FSH3 -spektrianalysaattoria. Spektrianalysaattori kytkettiin Telesten toimittaman HDO903-myötäsuunnan lähettimen testipisteeseen. HDO oli yksi monista laitetilassa sijaitsevista lähettimistä, jotka syöttivät asiakkaan eri verkon osia. Spektrianalysaattorilla saatiin kartoitettua

konfiguroinnin lähtötilanne, nähtiin, millä tasolla hyötysignaaleja syötetään verkkoon, ja pystyttiin tämän perusteella säätämään laitteen omat signaalit oikealle tasolle, tässä tapauksessa 30 dB viereisiä QAM-kanavia matalammalle tasolle. Matalammalla syöttötasolla varmistuttiin siitä, etteivät laitteen syöttämät signaalit häirinneet viereisiä QAM-kanavia, jotka olisivat voineet alkaa virheilemään voimakkaan häiriösignaalin vuoksi. Asennuksen aikana suoritettiin useita silmämääräisiä tarkastuksia kahdella kanavanipulla molemmilla puolilla syötettyä vuotosignaalia. Silmämääräiset testit suoritettiin tarkastelemalla kuvanlaatua kuluttajatasoisella DVB-C-virittimellä varustetulla televisiolla. Kahdella eri kanavanipulla sijainneita kanavia tarkasteltiin säädetyin 614 MHz:n ylätaajuuden molemmilta puolilta. Kanavaniput ja kanavat valittiin syötetyn signaalin molemmilta puolilta, jotta voitiin varmistua ettei syötettävä vuotosignaali häiritse viereisiä QAM-kanavia. Kuvan laadun tarkastelun lisäksi tarkkailtiin myös television ilmoittamaa signaalin laatua ja tasoa. Ei asennusvaiheessa eikä asennuksen jälkeen havaittu laadun tai signaalitason laskua tai kuvan silmämääräistä heikkenemistä tarkastelluilla kanavanipuilla. Näin voitiin turvallisin mielin jättää laite syöttämään signaalia headendille ilman huolta siitä, että se vaikuttaisi vakavasti alueen talouksien KTV-kuvanlaatuun. CT-4:n verkkoon syöttämän signaalin tarkastelua spektrianalysaattorilla on havainnollistettu kuvassa 12.

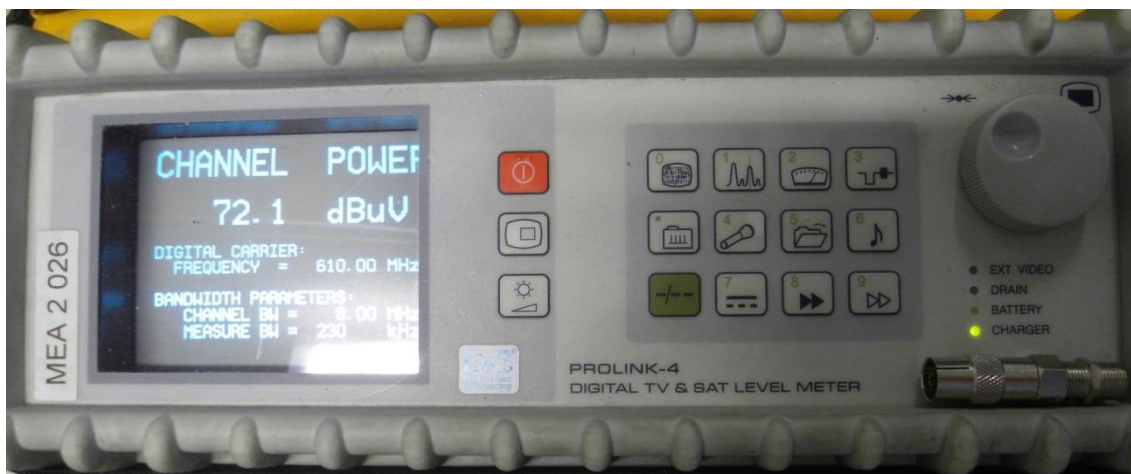


Kuva 12. CT-4:n signaalin tarkastelua R&Z-spektrianalysaattorilla.

CT-4:n konfigurointi suoritettiin laitteen paikalleen asentamisen jälkeen etupaneelin SELECT- ja ENTER-hallintapainikkeiden avulla. SELECT-painikkeen toiminnallisuutena oli eri valikkovaihtoehtojen välillä siirtyminen ja toisaalta eri numeeristen vaihtoehtojen vaihtaminen näytöllä. Laitteen toimintaa varten tuli määrittellä taajuudet sekä VHF- että UHF-alueille. Laitteen alataajuuden valinta voidaan tehdä VHF-alueella 136 – 139 MHz välillä. UHF-alueella laitteen syöttämän signaalin asettaminen on mahdollista 610,5 – 615 MHz välillä. Taajuusalueiden muuttaminen onnistuu 12,5 kHz:n välein molemmilla em. taajuusalueilla. [44] Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin laitteen syöttämän signaalin vaikutusta tarkasteltiin QAM-kanavilta kummaltakin puolelta vuotosignaalia. CT-4:n syöttämä signaali asetettiin kahden QAM-kanavan väliin, ns. suojakaistalle. Tässä tapauksessa ylätaajuus asetettiin taajuudelle 614 MHz. CT-4:n syöttämän signaalin alataajuus asetettiin 138 MHz:iin. Alataajuudella ei ollut analogisignaaleita tai QAM-kanavia valitun taajuuden välittömässä läheisyydessä.

SELECT-painikkeella siirryttiin eri konfigurointivaihtoehtojen välillä ja varsinainen konfigurointi tehtiin CT-4 SETUP-välilehdeltä. Tältä välilehdeltä säädettiin ala- ja ylätaajuudet, asetettiin taajuudet aktiivisiksi ja määriteltiin CT-4 TAG -asetus, jolla määriteltiin laitteen syöttämän signaalipiikkien välinen etäisyys joko 156,25 Hz:n tai 625 Hz:n välille toisistaan. Laitteen konfigurointivaiheessa oli myös tarpeellista käyttää valikon LOW RES VIEW -valintaa. Tämä valinta mahdollistaa myös hieman pienemmän tarkkuuden omaavien spektrianalysaattorien käyttämisen konfigurointivaiheessa. Viimeisenä navigaatiomenussa on LOW BAND OFFSET -kohta, jolla saadaan tarvittaessa säädettyä ala- ja ylätaajuuksien välistä tasoa sopivaksi. Työssä ei ollut tarvetta säätää LOW BAND OFFSET -asetusta. [44] ENTER-valinnalla vahvistettiin SELECT-painikkeella suoritettut asetusmuutokset.

Asennusvaiheessa käytettiin spektrianalysaattorin lisäksi myös PROMAX PROLINK-4 -tasomittaria, jolla saatiin viereisten QAM-kanavien taso selville. Tasomittarilla mitattiin viereistä QAM-kanavaa, jonka keskitajuus oli 610 MHz. Mitattu taso oli n. 72,1 dB μ V. Näin voitiin karkeasti määrittää taso 30 dB heikommaksi CT-4:n syöttämälle signaalille eli n. 42 dB μ V:iin. Suorittamalla yksinkertainen vähennyslasku voitiin laskennallisesti todentaa, että tasot täsmäävät ja voitiin säätää CT-4:n syöttämät signaalit oikealle tasolle QAM-kanaviin nähden. Tasomittarin mittaamia arvoja on esitetty kuvassa 13 ja spektrianalysaattorin mittaamaa tasoa signaalipiikeistä 42 dB μ V:n tasolla kuvassa 12.



Kuva 13. Tasomittarin mittaama taso 610 MHz:in QAM-kanavan kohdalla.

Asennuksen jälkeen laite jätettiin syöttämään vuotosignaalia sekä saneeraamattomiin ja saneerattuihin verkonosiin. Varsinainen vuotomittaus suoritettiin Seeker D –mittalaitteella. Vuotomittausta käsitellään luvussa 6.

5.1.2 Seeker D -laite

Vuotosignaalin tasoa verkosta mitattiin Seeker D -laitteella. Mittalaitetta on mahdollista käyttää myös taustasäteilyn määrän mittaamiseen laitteelle määritellyllä taajuusalueella. Tämä mittaustapa ei kuitenkaan anna tarkkaa viitettä siitä, mistä RF-vuoto tulee. Käyttämällä Seeker D:tä yhdessä CT-4:n kanssa on mahdollista mitata ja tunnistaa CT-4:n syöttämää signaalia muiden verkkoon syötettyjen signaalien joukosta. Seeker D -mittalaitteen mitta-alueet ovat samat kuin CT-4-lähtetimen, eli alataajuuksilla 136 – 139 MHz ja ylätaajuuksilla 610,5 – 615 MHz [44]. Oikein konfiguroituna Seeker D -mittalaite mittaa CT-4:n vuotosignaalia ja jättää tällöin muista lähteistä samalla taajuusalueella olevat signaalit huomioimatta. Näin säästetään aikaa RF-vuotojen vianrajauksesta esimerkiksi minimoimalla virheellisten hälytysten

aiheuttamat huoltokäynnit, jotka eivät pahimmassa tapauksessa tule edes operaattorin hallinnoimasta verkosta, jonne CT-4-yksikkö on asennettu. [45]

Laitteen käyttäminen on varsin yksinkertaista, kun käyttöohjeisiin on tutustunut sillä hallintapainikkeita on yhteensä kuusi kappaletta. Hallintapainikkeilla on mahdollista muuttaa etäisyyttä mitattavasta kohteesta, säätää äänenvoimakkuutta sekä valita ja vaihtaa tiettyjä toimintoja. Tämän lisäksi laitteessa on SNAPSHOT-painike, joka mahdollistaa senhetkisen vuototiedon tallentamisen sekä pidempään painettaessa tietojen synkronoinnin Seeker MCA III -laitteen kanssa. Kuudes nappi on lyhyesti painettuna mittalaitteen näytön valon aktivointi ja pidempään painettuna se toimii käynnistys- ja sammutuspainikkeena. [45] Hallintapainikkeita on havainnollistettu kuvassa 14.

Front View

DISTANCE button

Press this button to change the distance from the vehicle to the cable plant.

VOLUME button

Press this button to change the speaker volume of the leakage tone. Brief presses increase the volume to maximum and then it rolls over to the minimum volume.

SNAPSHOT button

Press this button to activate the Snapshot mode or pres and hold this button to synchronize data with the option Seeker MCA III when the Seeker D is in the mobile mount.

ON/OFF button

Press and hold this button to turn the Seeker D on or off. Also, when the meter is on, press this button to activate the display's backlight for approximately 60 seconds.

CHANGE button

Toggles or alters the current display selection.

SELECT button

Press to advance to the next display mode.



Kuva 14. Seeker D -laitteen hallintapainikkeet [45].

Vaihto- ja valintapainikkeilla pystytään navigoimaan näytöllä näkyvien eri vaihtoehtojen välillä. Näytön valikossa olevat eri symbolit on esitelty kuvassa 15.



Kuva 15. Seeker D -mittalaitteen näytön symbolit [45].

Mittalaitteen konfigurointi suoritettiin siten, että se vastasi CT-4:ään asetettuja arvoja. Konfigurointi suoritettiin Trilithic Seeker Setup -ohjelmalla. Ohjelman konfigurointia ja konfigurointinäkymää on esitelty luvussa 5.2.4. Seeker D:lle määriteltiin käytettävät taajuusalueet sekä VHF- että UHF-alueille. VHF-alueella taajuusalueeksi valittiin CT-4:n mukaisesti 138 MHz ja UHF-alueella 614 MHz. Lisäksi nämä taajuusalueet asetettiin aktiivisiksi, jotta mittalaite mittaa em. taajuuksia. Tämän jälkeen määriteltiin Tag-väli, eli väli hertseinä, jonka päässä toisistaan CT-4:n syöttämät signaalipalkit olivat toisistaan. Vaihtoehtoina oli valittavissa Tag 1- ja Tag 2 -asetukset. Tag 1 -asetuksella palkit olivat 156,25 Hz:n etäisyydellä toisistaan ja Tag 2 -asetuksella väli on 625 Hz [44]. Mittauksissa käytettiin Tag 1 -asetusta. Valitun asetuksen signaalipalkkien välinen etäisyys toisistaan on karkeasti nähtävissä jo esitetyssä kuvassa 12. Konfiguroinnin lopuksi asetukset tuli lähettää mittalaitteeseen painamalla Send Setup -painiketta Seeker Setup -ohjelmassa. Tämän jälkeen asetukset olivat siirtyneet mittalaitteeseen ja varsinainen mittaus voitiin aloittaa.

5.1.3 Seeker MCA III -laite

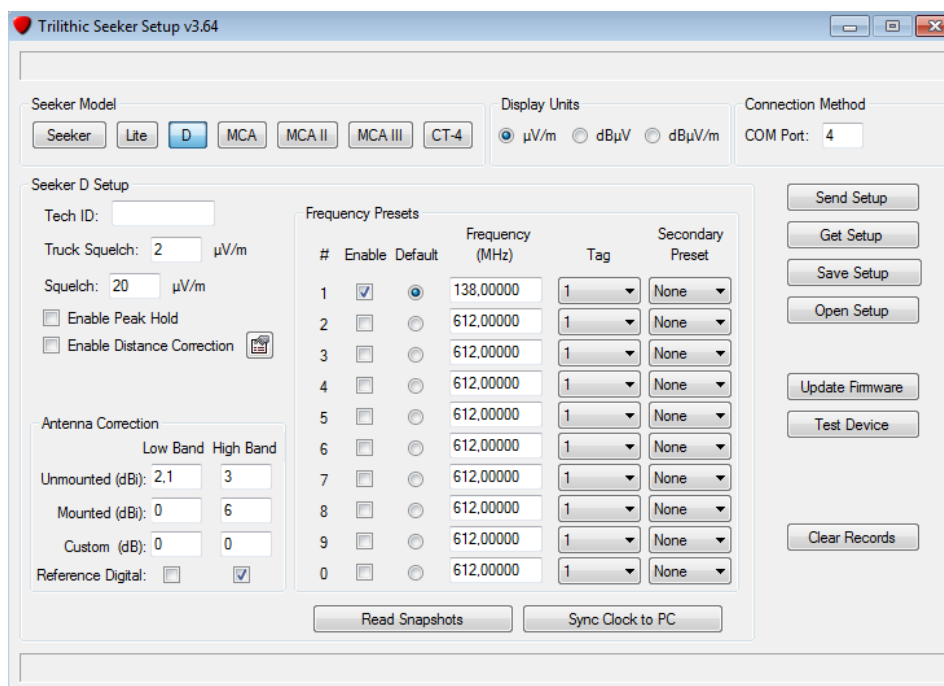
Seeker MCA III on optionaalinen lisäosa Seeker D -laitteen käyttämisen tehostamiseksi. Sen tuomiin lisäominaisuuksiin kuuluu GPS-paikannus, WLAN-yhteys ja muut huoltoautoon asennettavat lisäominaisuudet. [46] Ottamalla käyttöön Seeker MCA III ja sen mukanaan tuomat lisäominaisuudet saatiin vuotomittaukseen liittyvää vianrajausta tehostettua huomattavasti. Asennuspaketti mahdollistaa Seeker D:n asentamisen kiinteään telakkaan autossa. Tähän kiinteään telakkaan on yhdistetty WLAN-, GPS- ja antennimoduulit. Antennimoduuleiden asennus mahdollistaa laitteen mittaustoiminnan, vaikka varsinaista vuotoon liittyvää tehtävää ei juuri sillä hetkellä laitteen hallitsijalla olisikaan. GPS-moduulin avulla laite kykenee päällä ollessaan yhdistämään GPS-paikkatiedon ja antennimoduulista tulevat mahdolliset vuotosignaalien voimakkuudet toisiinsa. Nämä tiedot on mahdollista ladata LAW-ohjelmaan, joka tuo GPS- ja vuototiedot karttapohjalle. Karttapohjalta voidaan tarkastella vuotojen voimakkuuksia ja näin suunnitella huoltotöitä tai -reittejä. [46] Tietojen lataaminen LAW-ohjelmaan onnistui sallitun WLAN-tukiaseman lähdeisyydessä suoraan autosta, tässä tapauksessa WLAN-tukiasema oli niin lähellä käytettävää parkkipaikkaa, että vuotojen lataus oli erityisen vaivatonta.

Seeker MCA III:n konfigurointi suoritettiin muiden laitteiden tapaan (lukuunottamatta CT-4:ää) Seeker Setup softwarella. Ohjelmasta valittiin laitteen kuvake, jonka jälkeen tuli määritellä mittalaitteelle haluttuja parametrejä. Ensimmäisenä määritettiin Truck ID -kenttä, jolla yksilöidään tietty auto, jossa laite on käytössä [47]. Tämä helpottaa työsuunnittelijaa muun muassa työmääräysten luonnissa ja mahdollistaa tietyt tarkastelutoiminnot LAW-ohjelmalla. Laitteelle on myös mahdollista asettaa ehdot, joiden mukaan se toimii. Tässä tapauksessa oli riittävää valita Enable Remote Upload -kohta, jolla saatiin muodostettua WLAN-yhteys tietojen lataamiseksi. WiFi Setup -valintapainikkeesta avautui langattoman verkon asetusten muuttamisen

mahdollistava sivu. Tälle sivulle on mahdollista määrittää useita Access Point -kohtia, jotka mahdollistavat laitteen WLAN-yhteyden muodostuksen [47]. Tässä tapauksessa riittävää oli määritellä vain yksi Access Point -välilehti, sillä se koettiin riittäväksi langattoman tiedonsiirron mahdollistamiseksi. Yhteyden luomiseen laitteelle valittiin eräs Telesten omista WLAN-verkoista. IP-asetukset oli mahdollista määrittää DHCP:ta tai staattista IP-osoitetta käyttäen. Salasana-asetuksista tuli erikseen määritellä mitä suojausta WLAN-verkko käyttää ja tietää verkon salasana, joka syötettiin myös laitteen tietoon. Lisäksi oli mahdollista valita joko 2.4 GHz:n tai 5 GHz:n WLAN-taajuuksien välillä.

5.1.4 Seeker Setup software -ohjelma

Seeker Setup softwaresen asennus oli varsin yksinkertainen prosessi. Sähköpostilla toimitettu .zip-paketti sisälsi kaiken tarvittavan asennusohjelman asentamiseen. Kyseinen .zip-tiedosto purettiin tietokoneelle, jonka jälkeen asennus aloitettiin avaamalla asennustiedosto. Asennuksen aikana ohjelmalle valittiin sopiva tiedostosijainti, esimerkiksi C:\Program Files\Trilithic. Asennuksen jälkeen ohjelman avaaminen onnistui Käynnistä-valikkoon ilmestyneen Trilithic-kansion alta painamalla Seeker Setup -kuvaketta. Ohjelmalla asetettiin halutut asetukset kaikille luvuissa 5.1:stä eteenpäin käsitellyille laitteille CT-4:ää lukuunottamatta. Kuvassa 16 havainnollistetaan Seeker Setup softwaresen hallintanäkymää.

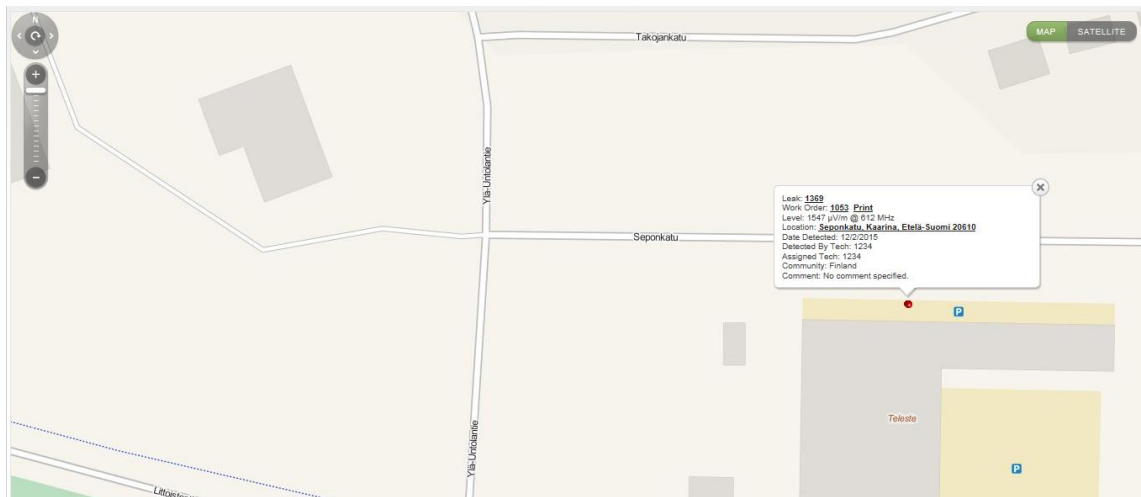


Kuva 16. Seeker Setup Softwarin hallintanäkymä.

Seeker Model -painikkeista valitaan kulloinkin ohjelmoinnin alaisena oleva laite. Kyseisen laitteen ollessa kytkettynä voi laitteen käytössä olevat asetukset hakea painamalla Get Setup -painiketta. Tällöin ohjelma lataa kyseiset tiedot laitteesta näkyville ja niiden muuttaminen on helpompaa pohjatietojen ollessa näkyvillä. Seeker D -laitteelle asetetaan CT-4:ään asetetut ala- ja ylätaajuudet Frequency Presets -kentässä. Taajuusalueita on mahdollista säätää useita, joka mahdollistaa laitteen käyttämisen monilla eri alueilla. Tämä kuitenkin edellyttää, että CT-4-laitteet käyttävät eri taajuuksia, jolloin alueiden signaalivuodot voidaan erottaa toisistaan. Seeker D:tä konfiguroidessa voidaan myös muuttaa Truck Squelch- ja Squelch-kenttiä. RF-vuodon suuruuden ollessa alle määritellyn Squelch-lukeman ei laite hälytä vuodosta. [47] Kuvassa 16. näkyvässä Antenna Correction -kentässä on mahdollista muuttaa mittalaitteen kanssa käytettävien antennien oletusvahvistustasoja. Tässä työssä kenttien muuttaminen ei ollut tarpeellista, vaan käytössä olivat kuvassa 16 näkyvät oletusarvot.

5.1.5 Leakage Analysis Workshop (LAW)

Tässä opinnäytetyössä erillistä LAW-palvelinta ei asennettu, vaan vuotojen tallennukseen saatiin tunnukset Trilithicillä jo käytössä olevaan LAW-palvelimeen. Käyttäjätunnuksella ja salasanalla päästiin kirjautumaan palvelimelle, jonne vuotohavainnot oli ladattu. Palvelimella päästiin tarkastelemaan Seeker MCA III:n tallentamia vuotohavaintoja. Kuten luvussa 5.1.3 mainittiin voidaan vuotohavaintojen pohjalta suunnitella vuotoihin liittyviä huoltotöitä tai -reittejä. LAW-serverille tallennetut vuototiedot sai näkyviin havainnolliselle karttapohjalle, joten vuotojen paikantaminen oli vaivatonta. Vuotopaikkaa karttapohjalla on havainnollistettu kuvassa 17.



Kuva 17. Vuodon havainnollistus karttapohjalla.

Kun halutut vuodot on rajattu voi hiiren osoittimella mennä vuotopisteen päälle ja painaa hiiren vasenta painiketta, jolloin avautuu lisätietoja vuotopaikasta. Lisätietoja saa muun muassa vuodon suuruudesta, osoitteesta, ajankohdasta ja kyseisen vuodon havainneesta laitteesta. Ohjelmalla on mahdollista määrittää tietyllä alueella havaitut vuodot tietylle asentajalle, joka saa tarvittaessa tiedon vuodosta sijaintitietoineen LAW-serverin lähettämän sähköpostin avulla [48].

5.2 Testiympäristö ja alustavat havainnot

Ennen laitteen varsinaista käyttöä tositilanteessa suoritettiin laitteelle erilaisia käyttötötestejä, joilla pyrittiin varmistamaan laitteen toiminta varsinaisessa mittaustilanteessa. Mittauslaitteiston testausta suoritettiin kuvitteellisessa mittaussympäristössä sisätiloissa Teleste Oyj:lle kuuluvissa toimistotiloissa. Testausympäristön luomisen tarkoituksena oli tutustua laitteistoon ja sen toimintaan sekä erilaisiin konfigurointimahdollisuuksiin. CT-4:n konfigurointi suoritettiin siihen integroiduilla konfigurointipainikkeilla. Konfiguraatio aloitettiin asettamalla CT-4:n vuotosignaali satunnaiselle tasolle. Säättömahdollisuuksia testattiin useilla eri tasoilla +10 – +30 dBmV:n välillä. CT-4:än ulostuloliitäntään kiinnitettiin lyhyitä päättämättömiä koaksiaalikaapeleita ja muita passiivilaitteita. Testivuotoa on havainnollistettu edellisessä luvussa kuvassa 17.

Seeker D -mittalaitteelle asetettiin CT-4:ää vastaavat asetukset ja testattiin eri mittapäitä, jotka kuuluivat osaksi laitteen varustusta. Testattavana oli mm. AFS-7 Yagi -antenni, kaksi erilaista monopoli antennia (ala- ja ylätaajuuksille omansa) sekä near field probe lähitarkastelua varten. Testausmittauksia suoritettaessa havaittiin huomattavia eroja vuotojen määrässä päätevastuksella varustettujen ja päättämättömien lähtöjen välillä. Myös päättämättömät kaapelit vuosivat huomattavia määriä päätettyihin tai asiallisesti kytkettyihin kaapeleihin verrattuna.

Testausmittauksissa sisätiloissa havaittiin mittalaitteiston osalta hieman arvaamattomuutta, sillä välillä signaali saattoi kadota kokonaan ja hieman mittapäätä liikautettaessa vuoto ilmaantui jälleen näkyviin. Vaikka testausta suoritettiin melko pienissä tiloissa, joissa vuotosignaalin lähde ja sen syöttämät laitteet olivat lähekkäin, voidaan kuitenkin todeta, ettei lähekkäin olevat laitteet, jossa injektointua signaalia oli, häirinneet mittausta ja vuotopaikan paikannusta merkittävästi. Tarkoituksenmukaisesti luotu vuotopaikka löytyi aina selvästi,

vaikka signaalilähteenä toimiva CT-4-laite oli mittauspaikan välittömässä läheisyydessä.

Toimistolla suoritetuissa taustasäteilyn mittaamiseen keskittyneissä testeissä havaittiin myös, että tietokoneiden näyttöpäätteet säteilivät huomattavia määriä 138 MHz:n taajuudella. Vuodon voimakkuus saattoi olla yli 1200 $\mu\text{V}/\text{m}$ mitattavasta näyttöpäätteestä lähietäisyydellä mitattuna. Ylätaajuutta 614 MHz mitattaessa ei taustasäteilyn määrä juurikaan poikennut eri paikkojen ja mittauskohtien välillä. 614 MHz:llä havaittiin keskimäärin n. 20 $\mu\text{V}/\text{m}$ lukemia. Sekä ylä- että alataajuudella vuotoa mitattaessa testiympäristössä, jossa kaapelinpää oli päättämätön, oli vuoto n. 3m:n päässä mittauskohteesta molemmilla taajuuksilla n. 150 – 200 $\mu\text{V}/\text{m}$.

5.3 Mittausympäristö

Varsinaiset mittaukset suoritettiin erään suomalaisen kaupungin taajama- ja keskusta-alueella. Alueiden kaapelitelevisioverkon runkoverkon laitteet sijaitsivat pääasiallisesti katujakokaapeissa. Tyypillinen katujakokaappi alueella on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Tyypillinen katujakokaappi mitatulla alueella.

Mitattava taajama-alue oli arviolta 1980–2000-luvulla rakennettua omakotitalo-
aluetta. Mittauksia suoritettiin varsinaisen saneerattavan alueen lisäksi myös
muilla alueilla vertailukohtien saamiseksi. Vertailualueet olivat keskusta-
aluetta lukuun ottamatta myös taajama-asutusaluetta, joissa pääasiallinen
rakennuskanta oli omakoti- ja rivitaloa. Keskusta-alueella oli runsaasti
kerrostalo- ja hieman vanhempaa puutaloaluetta. Keskusta-alueen
rakennuskanta oli rakennusajankohdan suhteen varsin vaihtelevaa.

6 MITTAUSTULOKSET

Mittaustulokset hankittiin vuotomittauslaitteistolla, joka asennettiin Telesten käytössä olevaan huoltoautoon. Vuotomittaukset suoritettiin ennalta valikoiduilla alueilla simuloiden tavanomaista huoltoajoa vastaavia ajoreittejä. Tarkoituksena oli ajamalla kattaa mitattavan alueen jokainen paikka, johon autolla suinkin pääsi vaivattomasti. Ajot suoritettiin alueen vahvistinten ennakkosijaintitietojen perusteella. Ensisijaisena vuotojen havainnoinnissa pidettiin katujakokaappeja, sillä tämän opinnäytetyön aikana on asiakkaan kaapelitelevisioverkossa suoritettu runkoverkkolaitteiden osalta saneeraustöitä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia muuttuvatko vuotomäärät ennen- ja jälkeen saneerauksen ja mitä syitä tähän voisi olla. Mittauksia suoritettiin sekä taajama-että kaupunkialueella. Mittauksia suoritettiin viidellä eri alueella, jotka on nimetty salassapidollisista syistä alueiksi 1-5. Alue 1 oli pääasiallinen tutkimusalue, jossa opinnäytetyön tekemisen kannalta sattui saneeraus hyvään aikaan. Muut alueet 2-5 ovat vertailualueita. Alueet 2-4 ovat verrattavissa alueen 1 rakennuskantaan ja -tyyliin. Alueet ovat taajama-alueita, joissa on pääasiallisesti omakotitaloja. Alue 5 on erään kaupungin keskusta-alueita. Kaikilla alueilla runkoverkko oli pitkälti jatkettu katujakokaapeissa. Opinnäytetyössä ennen- ja jälkeen mittaukset on suoritettu ainoastaan alueen 1 osalta. Muiden alueiden osalta mittaukset on suoritettu vain kerran. Mittaustulokset alueen 1 osalta ennen saneerausta on esitelty taulukossa 6. Mittaustulokset ja värikoodaukset vuotojen suuruuksien osalta on kokonaisuudessaan esitelty liitteessä 1.

Taulukko 5. Vuotomittausten tulokset ennen saneerausta alueella 1.

Alue 1, taajama. Mittaus ennen saneerausta 21.12.2015		
Havaitun vuodon tunnus (Leak)	Vuoto ennen saneerausta ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)
1381	11	614
1374	94	614
1380	12	614
1420	50	138
1379	36	614
1383	10	614
1382	11	614

Mittaustuloksista on havaittavissa, että alueet 1-4 ovat vuotojen osalta varsin samankaltaisia muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Pääasiallisesti vuodot jäivät 10-20 $\mu\text{V}/\text{m}$ suuruusluokkaan, joka siis on sallittuihin vuotorajoihin nähden oikein hyvä tulos. Mittauksissa ei ole huomioitu alle 10 $\mu\text{V}/\text{m}$:n vuotoja. Huomionarvoista on myös, että vuodot ovat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta havaittu 614 MHz:n taajuudella. Havaintojen painottuminen 614 MHz:lle voi johtua esimerkiksi suuremmista vahvistimien lähtötasoista ylätaajuuksilla.

Vuotojen 1374 ja 1379 osalta päätettiin suorittaa lisätutkimuksia jo ennen saneerausta vuotojen syyn selvittämiseksi. Vuoto 1374 paikallistettiin erääseen katujakokaappiin, jossa oli runkoverkkoon tarkoitettuja aktiivi- ja passiivilaitteita. Huomio kiinnittyi em. jakamoon sen muuta aluetta huomattavasti suurempien vuotoarvojen vuoksi. Vaikka vuodon paikka olikin jo tiedossa, niin vuodon paikantamisen varmistamiseksi liitettiin Seeker D:hen Trilithicin tarjoama AFS-7 Yagi -antenni. Antenni on tarkoitettu käytettäväksi 580 – 640 MHz:n taajuusalueelle. Suuntaamalla antenni kohti oletettua vuodon alkupistettä saatiin varmistettua vuodon suunta ja kävelemällä oletettua vuotokohtaa kohden alkoi vuodon suuruus kasvamaan. Kun vuoto oli paikannettu olettamaamme katujakokaappiin mitattiin vuodon suuruus kolmen metrin etäisyydeltä vuotopaikasta. Mittatuloksena katujakokaapin kannen ollessa kiinni saatiin n. 300 $\mu\text{V}/\text{m}$. Tämän jälkeen kaapin kansi aukaistiin ja lukema nousi n. 1200 $\mu\text{V}/\text{m}$. Tämän jälkeen mittalaitteen mittapää vaihdettiin AFS-7 Yagi –

antennista NFP-1 near field probe -mittapähän. Tällä pienellä mittapäällä on mahdollista mitata sekä ala- että ylätaajuuksia erittäin läheltä vuotopisteitä. Near field probella mitattiin kaapin passiivit ja vahvistin pyrkien mahdollisimman kattavaan tarkistukseen. Passiivilaitteissa ja tulo- sekä lähtökaapeleiden läheisyydessä 1 – 5 cm:n etäisyydeltä mitattaessa havaittiin n. 200 – 700 $\mu\text{V}/\text{m}$ lukemia, hieman paikasta riippuen. Vahvistimen kannen ollessa kiinni havaittiin suurinta vuotoa vahvistimen päältä virtalähteen kohdalla. Täällä vuodon suuruus oli n. 1300 $\mu\text{V}/\text{m}$. Korjaustoimenpiteenä vahvistimen kansi avattiin ja tulo- sekä lähtökaapeleita heiluteltiin hieman ja varmistettiin kaapeleiden olevan asianmukaisesti kiinnitettynä. Tämän jälkeen vahvistimen kansi laitettiin kiinni ja kiristettiin sekä suoritettiin mittaukset uudelleen. Nyt vuodot olivat tippuneet virtalähteen päällä samasta paikasta mitattaessa vain n. 200 – 300 $\mu\text{V}/\text{m}$:iin ja passiiveissa sekä kaapeleissa 100 – 300 $\mu\text{V}/\text{m}$:iin. Tämän jälkeen AFS-7 Yagi – antennilla suoritettiin sama mittaus kuin aiemmin ja tuloksena saatiin katujakokaapin kannen ollessa auki n. 300 $\mu\text{V}/\text{m}$:n lukemia. Katujakokaapin ollessa kiinni putosi lukema 50 – 70 $\mu\text{V}/\text{m}$:iin. Katujakokaappi oli maadoitettu asianmukaisesti. Edellä mainituilla pikakorjaustoimenpiteillä saatiin vuotoa jakamolla laskettua huomattavasti ja paikalla tehtyjen havaintojen perusteella arvioitiin, että vika johtui väärin kiristetyistä vahvistimen kannesta. Vuotavan jakamon laitteet on esitelty kuvassa 19.



Kuva 19. Vuotavan jakamon laitteita.

Toinen vuotopaikka, joka käytiin tarkastamassa ennen saneerausta oli vuoto 1379. Tämä vuotopaikka sijaitsi ennakkotietojen perusteella erään alueen noden sijaintipaikalla. Ennakkotietojen perusteella tiedettiin, että vuoto tulee todennäköisimmin eräästä rakennuksesta. Vuodon paikannus suoritettiin kuten vuodossa 1374, eli alkumittaukset suoritettiin AFS-7 Yagi -antennilla. Ensimmäinen mittaus oli n. 15 metrin päästä oletetusta vuotokohteesta. Tällöin päästiin pahimmillaan mittaamaan jopa 200 – 350 $\mu\text{V}/\text{m}$ lukemia. Paikannuksen jälkeen siirryttiin rakennuksen sisätiloihin suorittamaan jatkomittauksia. Kolmen metrin päästä oletetusta vuotopaikasta mitattaessa vuodon suuruus oli hieman paikasta ja antennin asemoinnista riippuen 350 – 450 $\mu\text{V}/\text{m}$. Voimakkain vuoto tuli noden ja sen välittömässä läheisyydessä olevien passiivilaitteiden suunnasta. Tässä vaiheessa mittapäätä vaihdettiin Near Field Probeen ja vian paikantamista jatkettiin kuten vuodossa 1374. Noden ympäristö ja passiivit

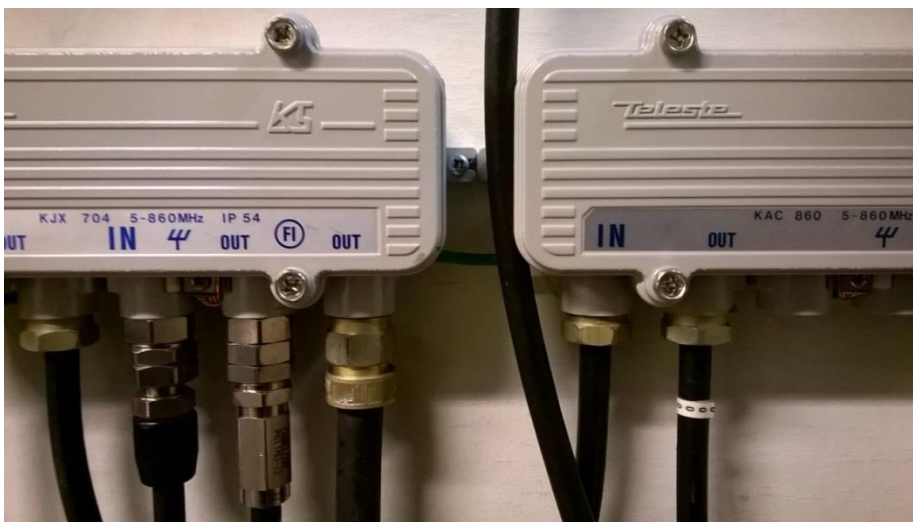
käytiin mittapäällä läpi huolellisesti ja suurin hetkellinen vuoto oli jopa 1100 $\mu\text{V}/\text{m}$, tyypillisesti vuoto vaihteli 300 – 700 $\mu\text{V}/\text{m}$:n välillä. Suurin vuoto tuli kahden passiivin välimaastosta, joissa oli käytössä vanhanmallisia kaapeliliittimiä. Passiivit ja node on esitelty kuvassa 20.



Kuva 20. Node ja passiivilaitteet vuodolla 1379.

Näiden passiivien kannet avattiin ja liittimet kiristettiin huolellisesti. Tämän jälkeen suoritettiin mittaus uudelleen, mutta vuodon vähenemistä ei ollut havaittavissa samoissa määrin kuin vuodolla 1374. Varsinaista vuodon syytä ei löytynyt, mutta paikalla tehdyn arvion perusteella voidaan arvioida, että vanhat passiiviset laitteet vuotavat uusia laitteita enemmän. Lisäksi vanhoilla liittimillä voi olla oma vaikutuksensa asiaan. Huomionarvoista on myös se, että alkutilanteessa noden kansi oli auki. Node ja passiivilaitteet olivat tähtimäisesti maadoitettuna, mutta ne eivät olleet yhteydessä maapotentiaaliin. Mittauksen aikana laitteet maadoitettiin väliaikaisesti toiseen maadoituskiskoon, mutta tällä ei ollut vaikutusta vuodon suuruuteen. Vuodon osalta päätettiin, että sitä tarkastellaan uudelleen saneerauksen jälkeen, mikäli sitä enää on havaittavissa. Alueilla 2-4 havaituissa vuodoissa vian rajaaminen ja

toimenpiteet olisivat pitkälti samanlaisia kuin tapauksissa 1374 ja 1379. Voimakkainta vuotoa tuli alla esitetyn kuvan 21 laitteiden välimaastosta.



Kuva 21. Vuodon tarkka paikantaminen saneeraamattomassa verkossa.

Alueella 5 tehdyissä mittauksissa havaittiin alueisiin 1-4 verrattaessa huomattavasti voimakkaampia vuotoja sekä 138 MHz:n että 614 MHz:n taajuudella. Vuotojen suuruudet olivat ajoittain jopa yli 450 $\mu\text{V}/\text{m}$. Vuotoja esiintyi ajokierroksen aikana monissa eri paikoissa, eikä aina oltu katujakokaapin läheisyydessä. Tämä yhdessä alataajuudella havaittujen vuotojen kanssa viittaa siihen, että vuoto saattoi ajoittain tulla esimerkiksi lähikiinteistöstä loppuasiakkaiden sisäverkosta. Osa kaupungin keskusta-alueesta oli hyvin tiiviisti rakennettua vanhaa puu- sekä kerrostaloaluetta eikä verkon kunnosta ollut juurikaan ennakkotietoja. Eräässä paikassa mittauskierroksen aikana alkoi mittari hälyttää jopa yli 700 $\mu\text{V}/\text{m}$:n vuodosta 138 MHz:llä asiakkaan kiinteistön ulkoseinän välittömässä läheisyydessä. Näiden havaintojen pohjalta voidaan todeta, että tiiviisti asutut kaupunkialueet, joissa verkko on mahdollisesti heikkokuntoista, ei voida suoraan verrata hieman väljemmin asuttuun ja hieman uudempaa rakennuskantaa edustavan alueen kanssa. Mielenkiintoista oli kuitenkin huomata, että mitatussa kaupungissa

vuoto oli ajoittain todella voimakasta. Kaupungin osalta vaadittaisiin ehdottomasti lisätutkimuksia vuotojen syiden selvittämiseksi.

Kuten vuotomittausten tuloksia esittelevästä liitteestä 1 selviää, ei uusintamittauskierroksella alueella 1 saneerauksen jälkeen ollut enää havaittavissa minkäänlaisia vuotoja, jotka autoon asennettu mittalaite olisi havainnut. Mielenkiinnon vuoksi mittaukset suoritettiin kuitenkin jalkautumalla uudelleen alkuperäisten vuotojen 1374 ja 1379 kohdille. Saneerauksen jälkeen vuodon 1374 mittaustulos kolmen metrin päästä katujakokaappia 614 MHz:llä oli ainoastaan 16 $\mu\text{V}/\text{m}$. Ennen saneerausta pikakorjaustoimenpiteiden jälkeen vuoto oli vielä 50 – 70 $\mu\text{V}/\text{m}$. 138 MHz:llä vuotoa ei tälläkään kertaa ollut havaittavissa lainkaan. Mielenkiintoista oli sen sijaan, että ajoittaista vuotoa oli havaittavissa katujakokaapin läheisyydessä sijaitsevien omakotitalojen suunnalta. Vuotoja ei lähdetty tutkimaan tarkemmin, mutta syynä voi tietysti olla ettei siihen ennen saneerausta kiinnitetty huomiota tai uusitulla vahvistimella on muutettu lähetystehoja hieman korkeammalle, joka omalta osaltaan näyttäytyy nyt verkon osissa, joita se syöttää. Kuvassa 22 on havainnollistettu mittaustilannetta kentällä.



Kuva 22. Mittaustilanne kentällä.

Alkuperäisen vuodon 1379 kohdalla mitattaessa ei myöskään ollut havaittavissa vuotoa kummallakaan taajuudella. Noden läheisyydessä mitattaessa mittalaite havaitsi 138 MHz:llä jotain muuta kuin CT-4:n syöttämää signaalia. Muun signaalin voimakkuus oli hieman paikasta riippuen n. 600 $\mu\text{V}/\text{m}$, mutta tämä ei siis tullut mitattavasta KTV-verkosta. Tässä luvussa tehtyjen havaintojen pohjalta voidaankin todeta, että saneeraus oli erittäin onnistunut ja vuodot kokonaisuudessaan kadonneet niistä kohteista, joissa verkon saneeraus oli suoritettu. Saatujen tulosten pohjalta voidaan myös todeta, että etenkin keskusta-alueen saneerausta voisi harkita. Vastaavanlaisia mittauksia on mahdollista jatkaa muiden alueiden osalta ja vertailla niiden tuloksia nyt saatujen tuloksien kanssa.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kaapelitelevisioverkon vuotojen mittauksen mahdollistavan mittausjärjestelmän käyttöönotto ja varsinaiset vuotomittaukset. Mittaukset suoritettiin saneerattavalla alueella ennen ja jälkeen saneerauksen sekä lisäksi mitattiin neljällä muulla alueella esiintyviä vuotoja vertailukohtien saamiseksi.

Teoriaosuudessa käsiteltiin HFC-verkkoa, sen laitteita ja siellä esiintyviä häiriöitä sekä suureita. Myös hyviä asennuskäytäntöjä käsiteltiin lyhyesti. Teoriaosuudessa käsiteltiin myös matkapuhelinverkkoa ja etenkin 800 MHz:n LTE:n taajuusalueita. Teoriaosuuden lopussa käsiteltiin aiheeseen liittyviä standardeja ja teknisiä raportteja, joiden käsittely tukee vahvasti käytännön osuudessa käsiteltävää aihetta.

Käytännön osuudessa käsiteltiin Trilithic-mittalaitteiston käyttöönottoa sekä laitteiden konfigurointia käyttökuntoon. Myös testiympäristöä käsiteltiin, jotta voitiin varmistua laitteiston oikeanlaisesta toiminnasta kenttäolosuhteissa. Mittaustulokset-luvussa käsitellään havaintoja mittauksista sekä pohditaan vuotojen syitä sekä arvioidaan saneerauksen onnistumista.

Opinnäytetyön aikana saatujen kokemusten perusteella nousi ajatus siitä, että vastaavanlaista järjestelmää voisi käyttää esimerkiksi asuinkiinteistöissä esiintyvien vuotojen paikantamiseen, mutta toistaiseksi se on vasta ajatuksen tasolla. Runkoverkon vianrajaukseen Trilithic-mittalaitteisto osoittautui oivaksi työkaluksi.

Opinnäytetyö tehtiin Teleste Oyj:n toimeksiannosta ja toimeksiannon alkuperäisenä tarkoituksena oli tutkia KTV-verkon vuotojen mittausta. Työstä saadut mittaustulokset olivat onnistuneita ja tukivat omalta osaltaan näyttöä runkoverkon saneerauksen onnistumisesta.

LÄHTEET

- [1] Society of Cable Telecommunications Engineers, SCTE Technical Report, UHF Leakage, Ingress, Direct Pickup, [www-dokumentti]. Saatavilla: <https://www.scte.org/documents/pdf/Standards/SCTE%202009%202015.pdf>. (Luettu: 22.3.2016).
- [2] Aittomaa, H., KTV-verkon saneeraus, Opinnäytetyö, Elektroniikan koulutusohjelma 2012.
- [3] Kaunisto, M., DOCSIS 3.1 –standardin vaikutukset KTV-verkon suunnitteluun, Opinnäytetyö, Elektroniikan koulutusohjelma 2015.
- [4] Janhu, K., Tietokoneen lisälaitteahahmotelma KTV-mittauksiin, Opinnäytetyö, Elektroniikan koulutusohjelma 2014.
- [5] Meerto, I., 4G-Antennien testaus ja vertailu, Opinnäytetyö, Elektroniikan koulutusohjelma 2015.
- [6] Wikipedia, HFC network diagram, [www-sivu]. Saatavilla: https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_fibre-coaxial#/media/File:HFC_Network_Diagram.svg. (Luettu: 10.2.2016).
- [7] Teleste, ACE3 Amplifier, [www-sivu]. Saatavilla: <https://www.teleste.com/products/broadband-network/docsis-31-compliant-products/ace3-amplifier>. (Luettu: 10.2.2016).
- [8] Wikipedia, DOCSIS, [www-sivu]. Saatavilla: <https://en.wikipedia.org/wiki/DOCSIS>. (Luettu: 22.3.2016).
- [9] Wikipedia, Cable modem termination system, [www-sivu]. Saatavilla: https://en.wikipedia.org/wiki/Cable_modem_termination_system. (Luettu: 22.3.2016).
- [10] The Volpe Firm, DOCSIS 3.0 Tutorial – CMTS Architecture, [www-sivu]. Saatavilla: http://volpefirm.com/docsis3_architecture/. (Luettu: 22.3.2016).
- [11] CableLabs, Data-Over-Cable Service Interface Specifications – Modular Headend Architecture, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-M-OSSI-I08-081209.pdf>. (Luettu: 22.3.2016).
- [12] Jaakkola, A. 2014. Koaksiaalikaapeliverkko. Koulutusmateriaali. Littoinen: Teleste Oyj.
- [13] Teleste, AC3000 Intelligent Amplifier, [www-dokumentti]. Saatavilla: https://www.teleste.com/sites/default/files/attachments/pae207e_v.1.3_a4.pdf. (Luettu: 10.2.2016).
- [14] SANT ry, Pientalon antenniopaas, [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.sant.fi/doc/Antenniopaas_2010_nettiversio.pdf. (Luettu: 10.2.2016).
- [15] Teleste, Indoor RF passives, [www-dokumentti]. Saatavilla: https://www.teleste.com/sites/default/files/attachments/attenuators_spec_v13.pdf. (Luettu: 22.3.2016).
- [16] DKTOMEGA, Coaxial passives, [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.dktomega.com/Files/Filer/pdf/coaxial_passives_fin.pdf. (Luettu: 10.2.2016).
- [17] Jaakkola, A. 2014. Kuituteoria verkon optinen osa. Koulutusmateriaali. Littoinen: Teleste Oyj.
- [18] Jaakkola, A. 2014. HFC Tekniikan perusteita. Koulutusmateriaali. Littoinen: Teleste Oyj.

- [19] Hranac, R., Carrier-to-Noise Versus Signal-to-Noise, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://romvchvlcomm.pbworks.com/f/SCTE+CNR+vs+SNR.pdf>. (Luettu: 11.2.2016).
- [20] ROHDE&SCHWARZ, CSO, SCT & XMOD characterisation of CATV line extenders with the aid of vector signal generators, [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.rohde-schwarz.de/file_5000/RAC-0605-016.pdf. (Luettu: 11.2.2016).
- [21] ARRIS Enterprises, Inc. Cable Technician pocket guide, [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.arris.com/globalassets/resources/other/cable_technology_pocket_guide.pdf. (Luettu: 11.2.2016).
- [22] Viestintävirasto, Määräys kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista, [www-dokumentti]. Saatavilla: <https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/M65A2014.pdf>. (Luettu: 22.3.2016).
- [23] Poole, I., Comparison of 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM 128-QAM, 256-QAM, Types, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/quadrature-amplitude-modulation-qam/8qam-16qam-32qam-64qam-128qam-256qam.php>. (Luettu: 11.2.2016).
- [24] Teleste, Blocking the ingress flood, [www-sivu]. Saatavilla: <http://telesteblog.com/2015/04/21/blocking-the-ingress-flood/>. (Luettu: 11.2.2016).
- [25] 3GPP, LTE, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>. (Luettu: 22.3.2016).
- [26] Viestintävirasto, Radiolupapäätökset – 800 MHz:n matkaviestintaajuuskaista, [www-sivu]. Saatavilla: <https://www.viestintavirasto.fi/ohjausjavalvonta/laitmaarayksetpaatokset/lupapaatokset/radiolupapaatokset.html>. (Luettu: 22.3.2016).
- [27] Vali, K., Myydyimmät puhelimet, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.puhelinjalური.technologyforum.com/?cat=29>. (Luettu: 22.3.2016).
- [28] DNA, Myyntitilastot, [www-sivu]. Saatavilla: <https://www.dna.fi/dna-oy/myyntitilastot>. (Luettu: 22.3.2016).
- [29] Viestintävirasto, Matkaviestinoperaattorit ja matkaviestinverkot, [www-sivu]. Saatavilla: <https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radioluvat/matkaviestinoperaattorit.html>. (Luettu: 22.3.2016).
- [30] Viestintävirasto, Matkanviestinverkossa siirretty tietom [www-sivu]. Saatavilla: <https://www.viestintavirasto.fi/tilastotjatutkimukset/tilastot/2013/matkaviestinverkossasiirrettytieto-2.html>. (Luettu: 22.3.2016).
- [31] Elisa, Puhelimet, [www-sivu]. Saatavilla: https://kauppa.saunalahti.fi/?&_ga=1.121747339.1237001764.1442654934#!/puhelimet. (Luettu: 22.3.2016).
- [32] DNA, Nettyhteydet ja laitteet, [www-sivu]. Saatavilla: <https://kauppa4.dna.fi/DNA-Open/Nettyhteydet-ja-laitteet/Tabletit/c/tabletit>. (Luettu: 22.3.2016).
- [33] CableLabs, Data Over Cable Service Interface Specifications – DOCSIS 3.0, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-PHYv3.0-I12-150305.pdf>. (Luettu: 23.3.2016).
- [34] The Volpe Firm, DOCSIS 3.0 Tutorial – Downstream Channel Bonding, [www-sivu]. Saatavilla: <http://volpefirm.com/downstream-channel-bonding/>. (Luettu: 12.2.2016).

- [35] Sercu, K., The differences between US DOCSIS and EuroDOCSIS, and will DOCSIS 3.1 eliminate them?, [www-sivu]. Saatavilla: <https://www.excentis.com/blog/differences-between-us-docsis-and-eurodocsis-and-will-docsis-31-eliminate-them>. (Luettu: 12.2.2016).
- [36] ETSI EN 300 429 v1.2.1, Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems, [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300429/01.02.01_60/en_300429v010201p.pdf. (Luettu: 12.2.2016).
- [37] CableLabs, Data-Over-Cable Service Interface Specifications – Docsis 3.1, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-PHYv3.1-I08-151210.pdf>. (Luettu: 23.3.2016).
- [38] ROHDE&SCHWARZ, DOCSIS Technology, [www-sivu]. Saatavilla: https://www.rohde-schwarz.com/fi/technologies/cable_tv/docsis/docsis-technology/docsis_technology_55513.html. (Luettu: 13.2.2016).
- [39] Society of Cable Telecommunications Engineers, SCTE/ISBE: Essential Knowledge for Cable Professionals, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.scte.org/SCTE/Home/SCTE/Default.aspx>. (Luettu: 9.3.2016).
- [40] Society of Cable Telecommunications Engineers, SCTE Standards Program, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.scte.org/SCTE/Standards/SCTE/Standards/standards_home.aspx?hkey=6f9a2481-268c-425b-b715-5fb6328d4f7b. (Luettu: 9.3.2016).
- [41] Wikipedia, 3GPP, [www-sivu]. Saatavilla: <https://en.wikipedia.org/wiki/3GPP>. (Luettu: 23.3.2016).
- [42] 3GPP, About 3GPP Home, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>. (Luettu: 23.3.2016).
- [43] 3GPP, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception, [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.101/36101-d21.zip. (Luettu: 23.3.2016).
- [44] Trilithic, CT-4 Digital Leakage Tagger – Operation Manual, [www-dokumentti]. Saatavilla: https://vault.trilithic.com/instruments/documents/manuals/ct_4_operation_manual.pdf. (Luettu: 26.3.2016).
- [45] Trilithic, Seeker D Digital Leakage Detection System – Operation Manual, [www-dokumentti]. Saatavilla: https://vault.trilithic.com/instruments/documents/manuals/seeker_d_operation_manual.pdf. (Luettu: 30.3.2016).
- [46] Trilithic, Seeker MCA III Mobile Communications Adapter – Operation Manual, [www-dokumentti]. Saatavilla: https://vault.trilithic.com/instruments/documents/manuals/seeker_mca_iii_operation_manual.pdf. (Luettu: 30.3.2016).
- [47] Trilithic, Seeker Setup Software – Operation Manual, [www-dokumentti]. Saatavilla: https://vault.trilithic.com/instruments/documents/manuals/seeker_setup_operation_manual.pdf. (Luettu: 30.3.2016).
- [48] Trilithic, LAW – Leakage Analysis Workshop, [www-sivu]. Saatavilla: <https://instruments.trilithic.com/products/law.html>. (Luettu: 8.3.2016).

MITTAUSTULOKSET

Alue 1, taajama. Mittaus ennen saneerausta 21.12.2015			Mittaus saneerauksen jälkeen 4.2.2016	
Havaitun vuodon tunnus (Leak)	Vuoto ennen saneerausta ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)	Saneerauksen jälkeen ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)
1381	11	614	-	-
1374	94	614	-	-
1380	12	614	-	-
1420	50	138	-	-
1379	36	614	-	-
1383	10	614	-	-
1382	11	614	-	-
Alue 2, vertailualue. Taajama. 4.2.2016			Mittausta ei suoritettu	
Havaitun vuodon tunnus (Leak)	Vuoto ennen saneerausta ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)	Saneerauksen jälkeen ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)
2391	71	614	-	-
2396	28	614	-	-
2397	13	614	-	-
2398	159	614	-	-
2409	13	614	-	-
2408	17	614	-	-
2405	16	614	-	-
2406	18	614	-	-
2407	17	614	-	-
2403	13	614	-	-
2404	11	614	-	-
Alue 3, vertailualue. Taajama. 4.2.2016			Mittausta ei suoritettu	
Havaitun vuodon tunnus (Leak)	Vuoto ennen saneerausta ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)	Saneerauksen jälkeen ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)
2384	34	614	-	-
2389	11	614	-	-
2425	69	614	-	-
2424	10	614	-	-
2419	119	614	-	-
2426	10	614	-	-
2414	80	614	-	-
2413	14	614	-	-
2390	10	614	-	-
2412	10	614	-	-
2411	14	614	-	-
Alue 4, vertailualue. Taajama. 4.2.2016			Mittausta ei suoritettu	
Havaitun vuodon tunnus (Leak)	Vuoto ennen saneerausta ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)	Saneerauksen jälkeen ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)
2410	11	614	-	-
Alue 5, vertailualue. Kaupungin keskusta. 8.1.2016			Mittausta ei suoritettu	
Havaitun vuodon tunnus (Leak)	Vuoto ennen saneerausta ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)	Saneerauksen jälkeen ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Taajuus (MHz)
1425	15	138	-	-
1384	541 / 75	138 / 614	-	-
1399	347 / 95	138 / 614	-	-
1394	457	614	-	-
1409	187	138	-	-
1414	84 / 66	138 / 614	-	-

Vuotojen värikoodausten raja-arvot	
	$\geq 2 \mu\text{V}/\text{m}$
	$\geq 10 \mu\text{V}/\text{m}$
	$\geq 25 \mu\text{V}/\text{m}$
	$\geq 50 \mu\text{V}/\text{m}$
	$\geq 200 \mu\text{V}/\text{m}$