



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MIKA KOSKI
HAJAUTETTU CCAP JA HALLINTATYÖKALUN
VAATIMUSMÄÄRITTELY

Diplomityö

Tarkastaja: Professori Pekka Loula
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Talouden- ja rakentamisen tiedekun-
taneuvoston kokouksessa 4. touko-
kuuta 2016

TIIVISTELMÄ

MIKA KOSKI: Hajautettu CCAP ja hallintatyökalun vaatimusmäärittely
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 63 sivua, 0 liitesivua
Toukokuu 2016
Tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Tietoliikennetekniikka
Tarkastaja: professori Pekka Loula

Avainsanat: DOCSIS, CCAP, CMTS, hajautettu

Internetin kasvava palvelutarjonta asettaa kovia vaatimuksia palveluntarjoajille. Kaistan tarve kasvaa jatkuvasti. Kaapeliverkkojen kapasiteettia on perinteisesti kasvatettu jakamalla tilaajaverkon soluja pienempiin osiin tai kanavien määrää kasvattamalla. DOCSIS 3.1 nostaa kaapeliverkon nopeudet uuteen luokkaan, mutta asettaa myös kovia vaatimuksia verkon laitteille. Uudet kaapelimodeemijärjestelmien hajautetut arkkitehtuurit antavat operaattoreille lisää mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja sekä valmistavat järjestelmiä uutta DOCSIS-standardia varten.

Diplomityössä tarkasteltiin erilaisia CMTS- ja CCAP-arkkitehtuureja sekä DOCSIS-standardien ominaisuuksia. Järjestelmäarkkitehtuurien rakennetta, hyötyjä ja haittoja sekä mitä lisäarvoa ne tuovat operaattoreille, vertailtiin keskenään. DOCSIS-standardien osalta tutkittiin järjestelmän toimintaa ja mitä uutta viimeisin standardiversio tuo mukanaan. Testiympäristössä, joka perustui DAH100-laitteeseen, testattiin DOCSIS-järjestelmää käytännön tasolla.

Telesten valmistamilla DAH100-laitteilla voidaan toteuttaa hajautetun arkkitehtuurin kaapelimodeemijärjestelmä. Hajautetun järjestelmän ongelmana on kokonaisuuden hallinta. Eri puolilla verkkoa olevia laitteita on hankala hallita ja ylläpitää ilman keskitettyä hallintatyökalua. Tässä diplomityössä tehtiin hallintatyökalun vaatimusmäärittely, jota voidaan käyttää apuna sovelluksen kehittämisessä.

Tutkimus osoittaa, että hajautettujen kaapelimodeemijärjestelmien avulla voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä, kun samalla verkon kapasiteettia saadaan kasvatettua.

ABSTRACT

MIKA KOSKI: Distributed CCAP and Requirement Specification of Management Tool

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 63 pages, 0 Appendix pages

May 2016

Master's Degree Programme in Information Technology

Major: Communications Engineering

Examiner: Professor Pekka Loula

Keywords: DOCSIS, CCAP, CMTS, distributed

The increasing service offering of the Internet set a hard requirements for the service providers. The need for bandwidth is constantly growing. Capacity of the cable networks have been traditionally increased by dividing the cells of access network into smaller parts or by increasing the number of channels. DOCSIS 3.1 raises rates of the cable network to a new category, but also sets tough demands for the networks equipment. The new distributed architectures of the cable modem systems offer the service providers more opportunities and options as well as lay foundations for the new DOCSIS standard.

A variety of CMTS- and CCAP-architectures as well as features of the DOCSIS standards was looked at in this thesis. The structure of system architectures, their advantages and disadvantages, and what kind of added value they bring to service providers, were compared with each other. For the part of DOCSIS standards, the operation procedures of the system and what new the latest version of the standard brings with, were studied. In the test environment which was based on DAH100 device, the DOCSIS system was tested at the practical level.

A distributed cable modem system can be implemented with DAH100 devices, manufactured by Teleste. The problem of the distributed system is a management of the whole system. Devices which are around the network are difficult to manage and maintain without a centralized management tool. In this thesis requirement specification for a management tool that can be used to help in the development of the application was made.

Research shows that with distributed cable modem systems can be achieved significant cost savings, while at the same time the capacity of the network to be increased.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Telestelle. Haluan kiittää Matti Nurmea ja Olli Leppästä mahdollisuudesta tehdä diplomityö, sekä ohjeista ja tuesta sen tekemisen aikana. Haluan kiittää myös Professori Pekka Loulaa työni ohjauksesta sekä vaimoani Johannaa tuesta ja avusta, jota ilman tämä ei olisi onnistunut.

Turussa, 23.5.2016

Mika Koski

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	HFC-VERKKO	2
2.1	Verkon rakenne ja komponentit	2
3.	TIETOLIIKENNE HFC-VERKOSSA	5
3.1	CMTS-arkkitehtuurit	5
3.2	DOCSIS	8
3.2.1	MAC-kerros	9
3.2.2	Kanavien niputus (Channel Bonding)	12
3.2.3	Kaapelimodeemin toiminta	13
3.2.4	EdgeQAM	17
3.2.5	IPv6	18
3.3	DOCSIS 3.1	18
3.3.1	Downstream	19
3.3.2	Upstream	23
3.4	Hajautettu CCAP	24
3.4.1	Remote PHY	25
3.4.2	Remote MAC PHY	28
4.	HALLINTATYÖKALU	30
4.1	Perinteisen vs. hajautetun järjestelmän ylläpito	30
4.2	Järjestelmien vertailu	32
4.3	Vaatimusmäärittelyn yleiskuvaus	33
4.3.1	Käyttötarkoitus	33
4.3.2	Käyttäjät ja toimintaympäristö	34
4.3.3	Liittymät muihin järjestelmiin	34
4.4	Toiminnalliset vaatimukset	35
4.4.1	Käyttötapauskaavio	36
4.4.2	Käyttäjätarinat	37
4.4.3	Tietoturva	38
4.4.4	Ylläpidettävyys ja toimintavarmuus	38
4.4.5	Järjestelmän arkkitehtuurikuvaus	39
4.4.6	Tiedot ja tietokannat	40
4.4.7	Standardit	41
4.5	Käyttöliittymät	42
4.5.1	Käyttöliittymäkartta	43
4.5.2	Käyttöliittymäsivut	44
4.6	DAH100-laitteen käyttöönotto testiympäristössä	51
5.	YHTEENVETO	59
	LÄHTEET	60

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AES	Advanced Encryption Standard
ATDMA	Advanced Time Division Multiple Access
BER	Bit Error Rate
BPI+	Baseline Privacy Plus
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CAT	Category
CCAP	Converged Cable Access Platform
CLI	Comman-line Interface
CMTS	Cable Modem Termination System
CPE	Customer Premises Equipment
CRC	Cyclic Redundancy Check
DAH	Docsis Access Hub
DCID	Downstream Channel Identifier
DEPI	Downstream External PHY Interface
DES	Data Encryption Standard
DHCP	Dynamic Host Control Protocol
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DPD	Downstream Profile Descriptor
DPM	Dual-stack Provisioning Mode
DS	Downstream, myötäsuunta
DTI	DOCSIS Timing Interface
DVB-C2	Digital Video Broadcasting,
EAE	Early Authentication and Encryption
EdgeQAM	Edge Quadrature Amplitude Modulator
EPON	Ethernet over Passive Optical Network
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
GCP	Generic Control Plane
GPON	Gigabit Passive Optical Network
GPS	Global Positioning System
HFC	Hybrid Fiber Coax
IBM	International Business Machines
ICMP	Internet Control Message Protocol
I-CMTS	Integrated-CMTS
IETF	The Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
IPDR	Internet Protocol Detail Record
Ipsec	Internet Protocol Security
IPv4	Internet Protocol versio 4
IPv6	Internet Protocol versio 6
ITU	International Telecommunication Union
IUC	Interval Usage Code
L2TPv3	Layer 2 Tunneling Protocol version 3
LDPC	Low Density Parity Check
LLC	Logical Link Control
MAC	Media Access Control
MAP	Media Access Protocol
M-CMTS	Modular-CMTS

MER	Modulation Error Rate
MIB	Management Information Base
MPEG	Moving Picture Experts Group
NCP	Next Code Pointer
NMS	Network Management System
NSI	Network-Side Interface
NTP	Network Time Protocol
OCD	OFDM Channel Descriptor
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OLT	Optical Line Termination
PAL	Phase Alternate Line
PDU	Protocol Data Unit
PHY	Physical Layer
PKI	Public Key Infrastructure
PLC	PHY Link Channel
PON	Passive Optical Network
PTP	Precision Time Protocol
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
R-DTI	Remote DOCSIS Timing Interface
REST	Representational State Transfer
RF	Radio Frequency
RFI	Radio Frequency Interface
RMD	Remote MAC PHY Device
RPD	Remote Phy Device
RSA	Rivest, Shamir, Adleman
S-CDMA	Synchronous Code Division Multiple Access
SC-QAM	Single Channel-QAM
SFID	Service Flow Identifier
SNMP	Simple Network Management Protocol
SNR	Signal to Noise Ratio
SQL	Structured Query Language
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
TLV	Type Length Value
ToD	Time of Day
UCD	Upstream Channel Descriptor
UCID	Upstream Channel Identifier
UDP	User Datagram Protocol
UEPI	Upstream External PHY Interface
US	Upstream, paluusunta
UTP	Unshielded Twisted Pair
VLAN	Virtual Local Area Network
XML	Extensible Markup Language
WAN	Wide Area Network

1. JOHDANTO

Jatkuva tietoliikenteen kasvu asettaa vaatimuksia palveluntarjoajille ja haasteita vanhoille teknologia-alustoille. Nykyaikaisilla kuitupohjaisilla verkoilla päästään suuriin tiedon- siirtonopeuksiin, mutta kokonaan uusien verkkojen rakentaminen on kallista. Mobiiliverkot ovat myös yhä vahvemmin mukana kilpailussa vaihtoehtona kiinteille verkoille. Mobiililiittymien ongelmana on, että ruuhka-aikoina ja alueesta riippuen voi nopeuksissa olla suuria vaihteluja. Tämän päivän kaapeli-tv-verkot ovat HFC-verkkoja (Hybrid Fiber Coax), jotka yhdistävät kuitu- ja perinteistä koaksiaalikaapelitekniikkaa. Vaihdamalla vanhan yksisuuntaisen kaapeli-tv verkon komponentteja kaksisuuntaisiksi, voidaan jo olemassa olevia kaapelointeja hyödyntää myös tietoliikenteessä ja saada niiden tarjoama kapasiteetti hyödynnettyä entistä tehokkaammin. Vanhankin verkon elinkaarta voidaan tällä tavoin pidentää vielä vuosikymmeniksi eteenpäin. Perinteisen kaapelimodeemijärjestelmän ydin on palveluntarjoajan keskussalissa. Yksi järeä CMTS-laite (Cable Modem Termination System) palvelee useita tuhansia kaapelimodeemeita ja yhdistää ne globaaliin verkkoon. Uudet kaapelimodeemijärjestelmien arkkitehtuurit hajauttavat keskussalien toiminnallisuuksia lähemmäs loppuasiakasta. Tämän diplomityön tarkoituksena on tutkia erilaisia arkkitehtuureita ja teknologioita, joita kaapelimodeemijärjestelmissä käytetään tai joita on tulossa käyttöön lähitulevaisuudessa sekä vertailla teoreettisesti eri ratkaisujen hyötyjä ja haittoja suhteessa toisiinsa.

Toiminnallisuuksien hajauttaminen pienempiin yksiköihin tuo mukanaan haasteita verkon hallinnan kannalta. Tämän työn hallintatyökalun vaatimusmäärittelyosa liittyy Teles- ten DAH100-tuotteeseen (Docsis Access Hub), jonka avulla voidaan toteuttaa hajautetun CCAP-arkkitehtuurin (Converged Cable Access Platform) ratkaisuja. Verkon hallinta helpottuu jos käytettävissä on hallintatyökalu, jossa fyysisesti erillään olevia laitteita pys- tytään hallinnoimaan keskitetysti.

Tämän työn toisessa luvussa käsitellään perinteisen HFC-verkon tekniikkaa ja kom- ponentteja. Kolmannessa luvussa tutkitaan erilaisia laitteistoarkkitehtuureja ja teknologi- oita, jotka mahdollistavat tietoliikenteen HFC-verkoissa. Neljännessä luvussa esitellään hajautetun Remote MAC-PHY-järjestelmän (Media Access Control; Physical) hallinta- työkalusovelluksen vaatimusmäärittely ja tarkastellaan DOCSIS-standardiin liittyviä asi- oita käytännössä testiympäristön avulla. Viimeisessä luvussa on yhteenveto työstä.

2. HFC-VERKKO

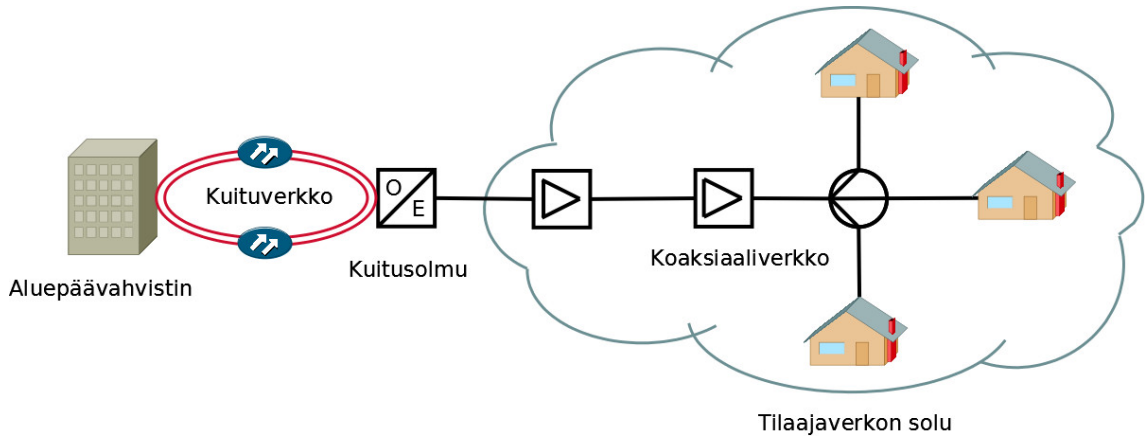
Kaapelitelevision aikakausi suomessa alkoi 1970-luvulla. Ensimmäiset järjestelmät olivat ruotsinkielisellä Pohjanmaalla rakennetut suuryhteisannenniverkot, jotka välittivät Pohjanlahden yli tulevia Ruotsin television lähetyksiä. Varsinainen kaapeliteleviotoiminta käynnistyi 1973, kun Kaapelitelevisioliitto perustettiin. [1] Kaapelitelevisioliittymien määrä on jatkuvasti kasvanut ja kesäkuun lopussa 2015 liittymiä oli jo yli 1,5 miljoonaa [2].

Ensimmäisiä kaksisuuntaiseen kaapelitelevisioverkkoon perustuvia kaapelimodeemijärjestelmiä rakennettiin Suomeen 90-luvun loppupuolella [3]. Kaapelimodeemiliittymien määrä on myös kasvanut viime vuosina hyvää vauhtia. Vuonna 2014 kaapelimodeemiliittymien määrä kasvoi toiseksi eniten kaikista kiinteistä laajakaistaliittymätekniikoista [4]. Perinteinen kaapelimodeemijärjestelmä perustuu CMTS:n lisäksi kaksisuuntaiseen HFC-verkkoon. Tässä luvussa tutustutaan HFC-verkon rakenteeseen ja tekniikkaan.

2.1 Verkon rakenne ja komponentit

HFC-verkko koostuu useista osaverkoista. Ylimmällä tasolla verkko on jaettu palvelualueisiin. Yksittäiset palvelualueet, jotka tyypillisesti ovat kaupunkeja, yhdistetään toisiinsa runkoverkolla. Palvelualue koostuu alueverkosta, joka kokoaa yhteen palvelualueen kaikki tilaajaverkon solut. Signaali tuodaan kuidulla aluepäävahvistimelta tilaajaverkon solun nodelle (kuitusolmupiste), jossa signaali muutetaan optisesta sähköiseen muotoon (kuva 1). [5] Nodelta lähtien signaali kulkee RF-muotoisena (Radio Frequency) koaksiaalikaapelia pitkin aina kiinteistöihin asti.

Signaalin siirtotienä päävahvistinasemalta (head-end) nodelle on kuitu. Yksimuotokuidun ominaisuudet, suurempi kaistanleveys ja pienempi vaimennus, sopivat HFC-verkon vaatimuksiin monimuotokuitua paremmin. Välimatkat voivat olla pitkiä, yleensä muutamia kymmeniä kilometrejä. Yksimuotokuidun pienestä vaimennuksesta johtuen, sillä voidaan toteuttaa jopa yli 100 kilometrin Gbit/s taseisia yhteyksiä ilman toistimia [6, s. 10]. Kuitu on täysin immuuni sähkömagneettisille häiriöille ja se tarjoaa valmistusmateriaalistaan johtuen myös galvaanisen erotuksen, koska lasi on sähkötekniisestä näkökulmasta katsottuna eriste.



Kuva 1. HFC-verkon rakenne.

Noden ja tilaajien välisessä verkossa siirtotienä on koaksiaalikaapeli. Koaksiaalikaapelin rakenne antaa hyvän suojan häiriöitä vastaan. Putkimaisen ulkojohtimen ja sen sisällä olevan sisäjohtimen välissä on eristekerros, joka toimii samalla myös sisäjohtimen keskittäjänä. Ulkojohtimen ympärillä on johtimia suojaava polyeteenimuovivaippa. Johtimien välissä olevalla eristekerroksella on tärkeä rooli kaapelin tukirakenteena, mutta sen vaikutus kaapelin sähköisiin ominaisuuksiin on myös merkittävä. Eristemateriaalina käytetään yleisesti vaahdotettua polyeteenimuovia sen pienemmän permittiivisyyden vuoksi. Tästä johtuen tietyillä eristehalkaisijoilla voidaan käyttää paksumpia sisäjohtimia, jolla puolestaan saavutetaan pienempi vaimennus. [7, s 70-76]

Kaapeli-tv-verkko on rakenteeltaan hierarkinen. Ylemmällä tasolla, lähempänä päävahvistinta, käytetään paksumpia, vaimennukseltaan vähäisempiä kaapelityyppejä. Matalammalle tasolle, lähemmäs tilaajaa siirryttäessä, käytetään ohuempia kaapeleita. Keskeinen asia kaapeli-tv-verkossa on ominaisimpedanssi. Antennijärjestelmissä käytetään standardoitua 75Ω ominaisimpedanssia, joka koskee kaapeleita ja siihen kytkettäviä laitteita. Jotta ikäviltä heijastusilmiöiltä voitaisiin välttyä, kaapeleiden ja myös niihin kytkettävien laitteiden ominaisimpedanssien pitää olla riittävän lähellä toisiaan. Vaimennus on suoraan verrannollinen lämpötilaan ja taajuuteen. Vaimennuksen yksikkönä käytetään dB/100m. Vaimennuksen taajuusriippuvuus esitetään kaavassa (1) [7, s 70-76]. Lämpötilaeroista johtuvat vaimennusmuutokset tulevat esiin erityisesti pitkissä vahvistinkaskadeissa, jossa vaikuttavat sekä kaapeleiden että vahvistimien muuttuvat vaimennukset.

$$\alpha = \alpha_1 \sqrt{f} + \alpha_2 f \quad (1)$$

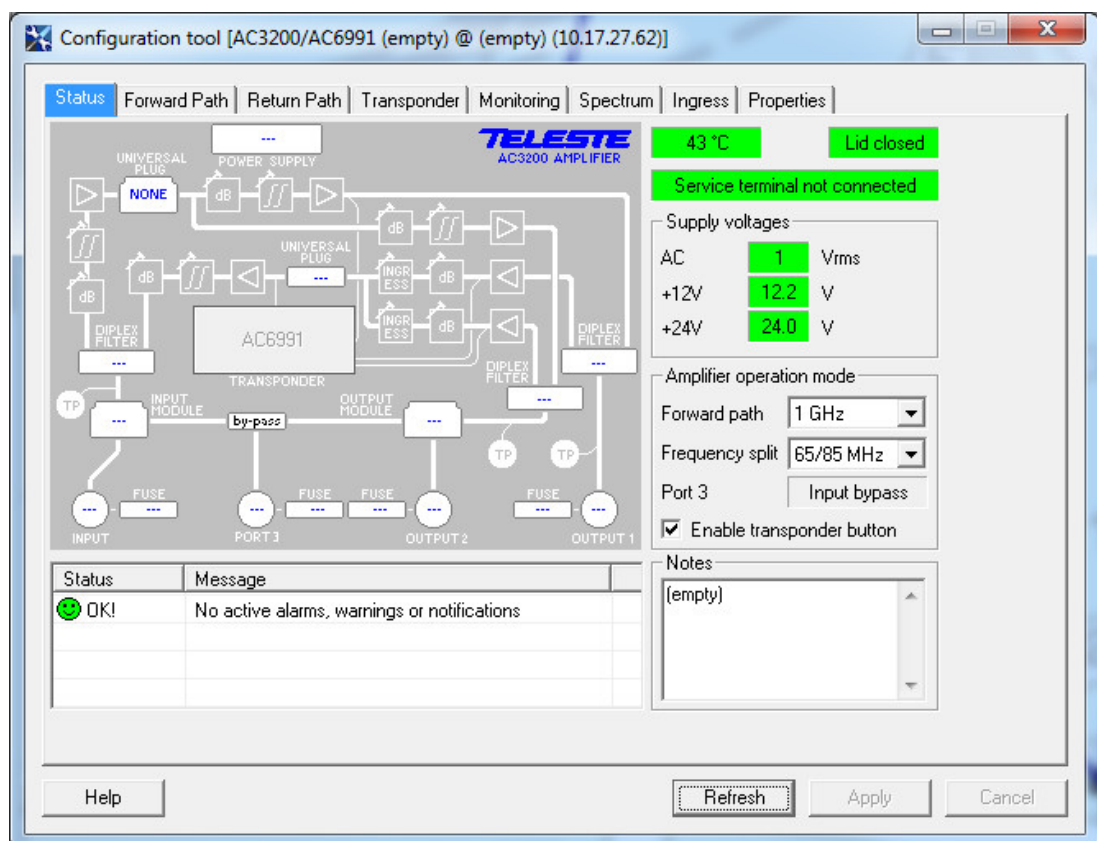
α on vaimennus (dB/100 m), α_1 on resistanssista riippuva kerroin, α_2 eristehäviöistä riippuva kerroin ja f taajuus (MHz). Vaimennus muuttuu lämpötilan suhteen siten, että se kasvaa 0,2 % kun lämpötila kasvaa yhden asteen. [7]

Kaapeli-tv-verkon vahvistimet sijaitsevat yleisimmin katujakokaapeissa. Vahvistimien tehtävänä on kompensoida kaapeleista, jaoista ja haaroituksista syntyvät vaimennukset

sekä pitää signaalitasot vakiona. Kaapeli-tv-vahvistimet ovat sarjaan kytkettäviä. Suosituksena on, että käytetään korkeintaan kuutta vahvistinta peräkkäin, jotta signaalin laatu pysyisi riittävän hyvänä [7, s. 145-146].

Vahvistimien tarvitsema sähköteho siirretään samassa koaksiaalikaapelissa yhdessä signaalien kanssa. Vahvistimien tehollähteet ovat hakkuri tyyppisiä, jolloin vahvistimen ottama virta on riippuvainen jännitteestä. [7, s. 147]

Vahvistimien säätäminen perustuu pilottigeneraattoreiden tuottamiin pilottisignaaleihin. Pilottisignaalit ovat taajuusallokaation ala- ja yläpäässä olevia, tietyllä signaalivoimakkuudella päävahvistinasemalta lähetettäviä signaaleita. Automaattisäätöiset vahvistimet säätävät pilottisignaalien avulla jatkuvasti vahvistustaan ja taajuusvastettaan. Nykyaikaiset runkoverkon vahvistimet ovat tyypillisesti etähallittavia. Kuvassa 2 on Telesten AC3200 vahvistimen etähallintänäkymä.



Kuva 2. Telesten AC3200-vahvistimen etähallintänäkymä.

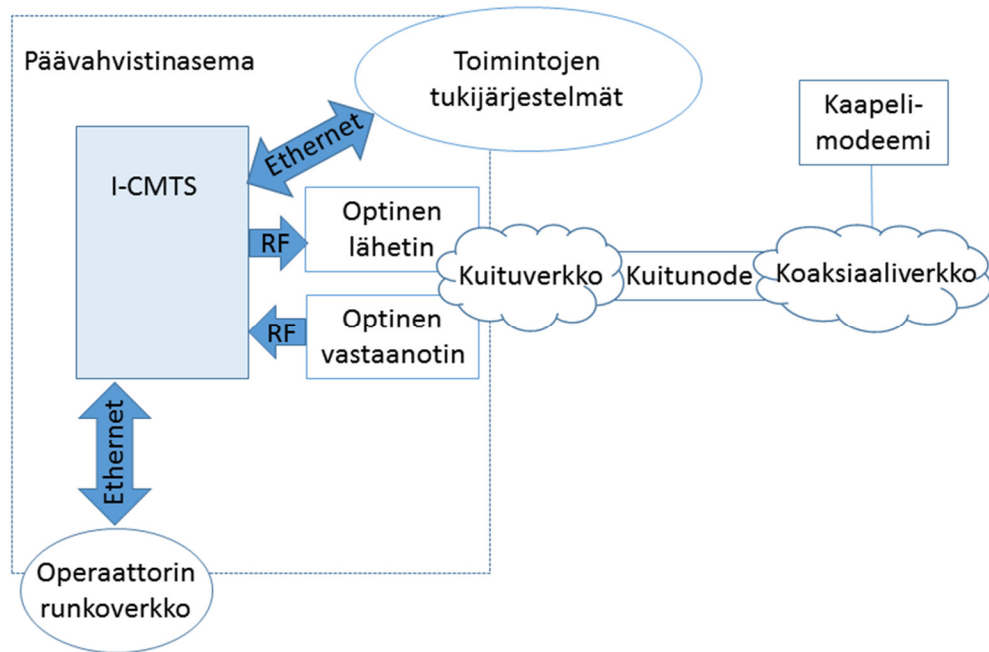
Etähallintaan tarvittava tietoliikenne kulkee yleensä muuta liikennettä alemmilla taajuuksilla, on yksinkertaisemmalla modulaatiolla moduloitua ja sietää siksi paremmin häiriöitä. Etähallinnan toteuttaminen vaatii toimiakseen vahvistimien lisäksi oman valmistajakohertaisen järjestelmänsä, joka koostuu ohjelmistoista, palvelimista ja päävahvistinaseman laitteistosta.

3. TIETOLIIKENNE HFC-VERKOSSA

Tässä luvussa tarkastellaan HFC-verkkoa hyödyntävän tietoliikennejärjestelmän rakennetta DOCSIS 3.0- (Data Over Cable Service Interface Specification) ja DOCSIS 3.1-standardien pohjalta. CMTS on kaapeli-tv-verkossa toimivan tietoliikennejärjestelmän ydin, joka yhdistää palveluntarjoajan IP-runkoverkon (Internet Protocol) ja tarvittavat tukijärjestelmät sekä HFC-verkon toisiinsa. Sen pääasiallisena tehtävänä on välittää paketteja näiden verkkoalueiden välillä [8, s. 14]. Laittevalmistajat ovat tarjonneet perusrakenteeltaan kahteen erilaiseen CMTS-arkkitehtuuriin perustuvia ratkaisuja. Myötäsuunnan (DS, Downstream) IP-liikenne muutetaan RF-signaaliksi rajapinnassa, jonka sijainti riippuu järjestelmän arkkitehtuurista. I-CMTS-arkkitehtuurin (Integrated-CMTS) mukaisessa järjestelmässä signaali lähtee RF-muotoisena CMTS-laitteelta. M-CMTS-arkkitehtuurin mukaisessa järjestelmässä (Modular-CMTS) RF-muunnos tapahtuu ulkoisella EdgeQAM-laitteella (Edge Quadrature Amplitude Modulator). Molemmissa järjestelmissä RF-muotoinen signaali viedään optiselle lähettimelle, josta se kulkee optisen linkin yli kuitulähtetin/-vastaanottimelle (node). Nodella signaali muutetaan takaisin optisesta sähköiseen muotoon ja syötetään koaksiaalikaapeliverkkoon. Paluusuunnalla (US, upstream) kaapelimodeemien generoima RF-signaali muutetaan nodella optiseen muotoon ja kuljetetaan kuidun kautta päävahvistinaseman optiselle vastaanottimelle, josta signaali viedään CMTS:lle RF-muotoisena.

3.1 CMTS-arkkitehtuurit

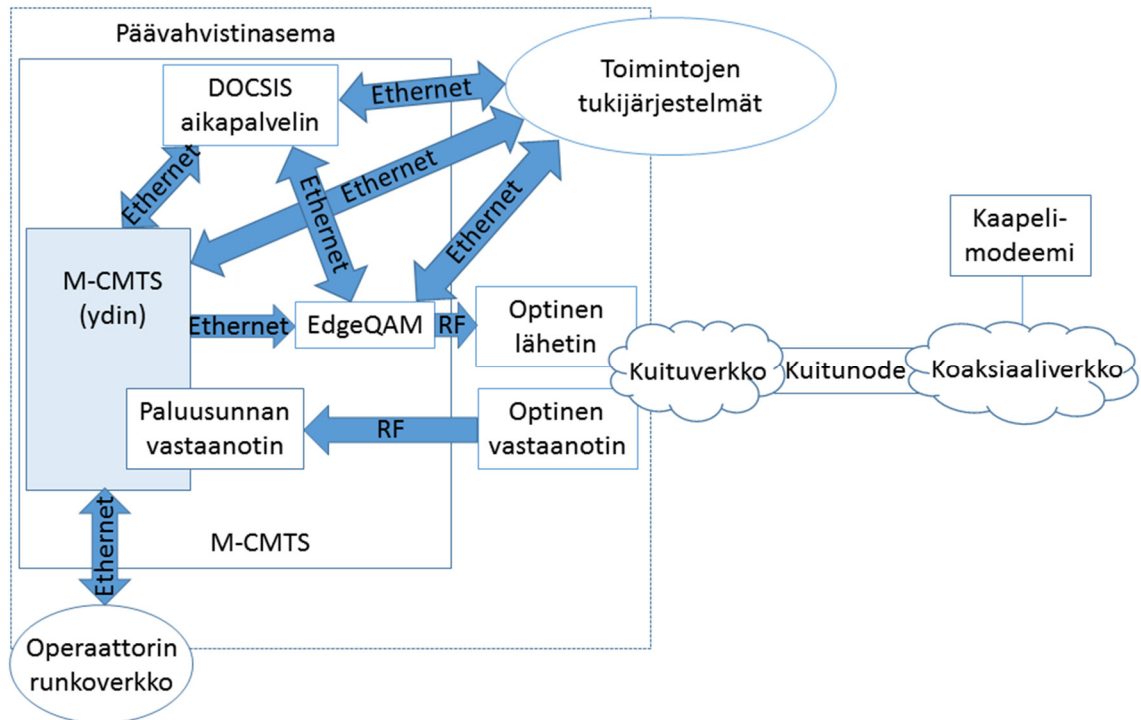
I-CMTS-arkkitehtuuri (kuva 3) on ollut mukana DOCSIS 1.0-standardista asti. Nimensä mukaisesti arkkitehtuuri perustuu siihen, että kaikki komponentit joita tarvitaan DOCSIS-operaatioihin, on integroitu yhteen laitteeseen, yhdelle kortille tai yhteen isoon runkoon useammalle linjakortille. I-CMTS liittyy optisiin lähettämiin ja vastaanottimiin RF-porttien kautta. Ne ovat kuituverkon rajalla päävahvistinasemalla. Kuitunode-laitteet ovat kuituverkon ja koaksiaaliverkon rajalla tilaajaverkon solussa. Toimintojen tukijärjestelmiin ja palveluntarjoajan runkoverkkoon I-CMTS liikennöi Ethernet-liitäntöjen kautta.



Kuva 3. I-CMTS-arkkitehtuurin keskeiset osat.

I-CMTS-arkkitehtuurin etuna on helpompi sijoittaminen laitetiloihin, kun kaikki tarvittava on yksissä kuorissa. Arkkitehtuurin vahvuudeksi voidaan laskea myös se, että se minimoi RF- ja Ethernet-kaapelointien määrää keskuksella, koska osa kytkennöistä on laitteen sisäisiä. Kaapelointitarpeen minimointi vähentää osaltaan potentiaalisten vikapaikkojen lukumäärää. I-CMTS-arkkitehtuurin haittapuoli on se, että se on yhden valmistajan ratkaisu eikä skaalaudu kuten vastaava M-CMTS-arkkitehtuurin järjestelmä, jossa fyysisen kerroksen (PHY) laitteisto on CMTS-laitteesta erillään. Mahdollisuutta valita esimerkiksi markkinoiden paras tai edullisin QAM-modulaattori ei ole, kun ne ovat integroituna CMTS-laitteeseen. [11]

M-CMTS arkkitehtuurissa järjestelmän toimintaa on hajautettu fyysisesti erillään oleville komponenteille. Kuvassa 4 on M-CMTS-arkkitehtuurin rakenne. Sen ytimenä on CMTS, jossa ovat DOCSIS-MAC-toiminnot. Näihin toimintoihin kuuluvat signaali, myötäsunnan kaistan (downstream) aikajako ja DOCSIS-kehystys. EdgeQAM sisältää fyysisen kerrokseen (PHY) myötäsunnan liikenteeseen liittyvät toiminnallisuudet kuten QAM-modulaattorit ja tunnelointilogiikan, jonka kautta se on yhteydessä CMTS:ään. EdgeQAM-laitteessa on tyypillisesti yksi tai useampi gigabit Ethernet tuloliitäntä ja useita QAM-modulaattoreita ja RF-muuntimia lähtöpuolella. [13, s. 11] Paluusuunnan liikenne tulee optiselta vastaanottimelta M-CMTS-ytimen paluusuunnan vastaanottimelle RF-muotoisena. DOCSIS-aikapalvelin (DOCSIS Timing Server) on kolmas oleellinen komponentti M-CMTS-järjestelmän toiminnan kannalta. Se huolehtii CMTS- ja EdgeQAM-laitteiden välisestä synkronoinnista syöttämällä molempiin referenssikellosignaalia. M-CMTS-arkkitehtuurin ratkaisussa voidaan käyttää universaaleja EdgeQAM-laitteita, jotka tukevat erityyppisiä palveluita.



Kuva 4. M-CMTS arkkitehtuurin keskeiset osat ja niiden suhteet toisiinsa.

Sadhana Pal, Gyan Prakash, Aradana Jyotsana ja Vivek Birla esittävät artikkelissaan M-CMTS-järjestelmän luomiseen johtaneita syitä, joista merkittävimpänä nousee esiin mahdollisuus skaalata myötäsunnan kanavien lukumäärää riippumatta paluukanavien lukumäärästä, [32, s. 1]. Huonona puolena on järjestelmän monimutkaisuus. Erilliset komponentit vaativat enemmän tilaa ja kaapelointeja sekä hankaloittavat järjestelmän hallintaa ja ylläpitoa. Runsaammasta kaapelointitarpeesta johtuen, myös potentiaalisia vika- paikkoja on I-CMTS-järjestelmää enemmän ja vian paikallistaminen voi olla siksi haasteellisempää.

Ainoa ero I-CMTS- ja M-CMTS-järjestelmien datasiirtomallien välillä on siinä miten myötäsunnan kanavien kuljettama tieto siirretään. M-CMTS-järjestelmässä myötäsunnan kanavan sisältö kapseloidaan IP-pohjaiseen DEPI-tunneliin (Downstream External PHY Interface) siirtoa varten ulkoiselle EdgeQAM-laitteelle, jossa RF-muunnos tehdään. I-CMTS-järjestelmässä myötäsunnan kanavien sisältö moduloidaan suoraan ja siirretään sen jälkeen RF-porttien kautta eteenpäin. [14, s. 51]

Angel Martín, Rafael Coomonte ja Claudio Feijóo ovat vertailleet tutkimuksessaan I-CMTS- ja M-CMTS-arkkitehtuurien eroa kustannusten näkökulmasta espanjalaisten operaattoreiden verkoissa. Tutkimus osoitti, että evoluutio I-CMTS-järjestelmästä kohti M-CMTS-järjestelmää näkyi keskimäärin 33 % pienempinä investointikustannuksina. [33]

DOCSIS-järjestelmä vaatii toimiakseen monia erilaisia sovelluksia ja tukipalveluita. OSS-järjestelmät (Operation Support System) ovat DOCSIS-toimintojen tukijärjestelmiä.

DHCP-palvelin (Dynamic Host Control Protocol) tarjoaa kaapelimodeemille sen rekisteröitymisprosessin yhteydessä mm. IP-osoitteen. Konfiguraatitiedostopalvelimelta ladataan konfiguraatitiedosto kaapelimodeemille sen käynnistyessä. Konfiguraatitiedosto on binäärisessä muodossa ja se sisältää kaapelimodeemin tarvitsemat konfiguraatioparametrit. Ohjelmiston latauspalvelinta käytetään tarvittaessa lataamaan ohjelmistopäivitykset kaapelimodeemille. Aikapalvelin tarjoaa kaapelimodeemille oikean kellonajan. Varmennepalvelimelta voidaan tarkistaa sertifikaatin status. [15, s. 20]

Verkonhallintajärjestelmä NMS (Network Management System) sisältää myös useita järjestelmiä. SNMP-Manager (Simple Network Management Protocol) antaa palveluntarjoajalle mahdollisuuden konfiguroida ja monitoroida SNMP-agentteja, tyypillisesti kaapelimodeemia ja CMTS-laitetta. Syslog-palvelin kerää laitteiden operointiin liittyvät viestit yhteen paikkaan. IPDR-palvelin (Internet Protocol Detail Record) kerää palveluntarjoajalle statistiikkaa IP-pohjaisten palveluiden toiminnasta, jonka avulla voidaan analysoida esimerkiksi järjestelmän tehokkuutta. [15, s. 20]

3.2 DOCSIS

CableLabs (Cable Television Laboratories, Inc.) on vuonna 1988 [9, s. 25] Yhdysvalloissa kaapelitelevisio-operaattoreiden perustama voittoa tavoittelematon tutkimus- ja kehitysyhteisliittymä, jonka julkaisemiin DOCSIS-standardeihin tietoliikenne kaapeli-tv-verkoissa perustuu [10]. Ensimmäinen DOCSIS-standardin versio 1.0 julkaistiin vuonna 1997. Nykyään yleisesti käytössä oleva DOCSIS 3.0-versio on vuodelta 2006. DOCSIS-standardit ovat taaksepäin yhteensopivia, joka varmistaa että myös vanhempia versioita tukevat modeemit pystyvät liikennöimään verkossa. Suomen kaapeli-tv-verkoissa käytetään eurooppalaisiin järjestelmiin sopivia EuroDOCSIS-variantteja.

Suurin ero DOCSIS- ja EuroDOCSIS-standardien välillä on käytettävien myötäsuunnan kanavien kaistanleveydet. EuroDOCSIS käyttää PAL-järjestelmästä (Phase Alternate Line) periytyvää 8 MHz kaistanleveyttä ja pohjoisamerikkalainen DOCSIS puolestaan 6 MHz kaistaa. [12] Myötäsuunnan taajuusalueen alareuna voi olla 54 MHz tai 108 MHz. Myötäsuunnan taajuusalueen yläreuna voi toteutuksesta riippuen olla 300 – 1002 MHz. Paluusuunnalla voi käytössä olla taajuusalue 5 – 30 MHz, 5 – 42 MHz, 5 – 65 MHz tai 5 – 85 MHz. [17, s. 19]

Taulukosta 1 voidaan nähdä DOCSIS- ja EuroDOCSIS-standardien erot tiedonsiirtonopeuksissa. EuroDOCSIS mahdollistaa suuremmat tiedonsiirtonopeudet mm. suuremman kaistanleveyden sekä korkeamman QAM-symbolinopeuden avulla.

Taulukko 1. *Vertailutaulukko DOCSIS- ja EuroDOCSIS-standardien käytettävissä olevista siirtonopeuksista.*

Versio	DOCSIS		EuroDOCSIS	
	Myötäsuunta (Downstream)	Paluusuunta (Upstream)	Myötäsuunta (Downstream)	Paluusuunta (Upstream)
	(Mbit/s)	(Mbit/s)	(Mbit/s)	(Mbit/s)
1.x	38	9	50	9
2.0	38	27	50	27
3.0, 4-kanavaa	152	108	200	108
3.0, 8-kanavaa	304	108	400	108

Muita eroja eurooppalaisten ja pohjoisamerikkalaisten standardien välillä on mm. käytettävissä taajuusalueissa, kantoaalto-kohinasuhteen- ja modeemien teho vaatimuksissa sekä tietyissä virheenkorjaukseen liittyvissä parametreissa [12]. EuroDOCSIS pohjautuu kansainvälisen televiestintäliitto ITU:n (International Telecommunication Union) televiestintäsektorin televisiosignaalin siirtostandardiin (ITU-T J.83 Annex A). Standardi määrittelee kehysrakenteen, kanavakoodauksen ja modulaation digitaalisessa signaalissa, jota jaetaan kaapeli-tv-verkossa [18].

3.2.1 MAC-kerros

DOCSIS MAC-protokollan päällä toimivat kaikki myötä- ja paluusuunnan liikenteen ohjaukseen liittyvät operaatiot. Sen tehtäviin kuuluu mm. kaistan allokointi, QoS (Quality of Service), tuki eri datansiirtonopeuksille, siirtoyhteykskerroksen turvallisuus (virheenkorjaus/salaus) ja useiden fyysisten kanavien yhdistäminen loogiseksi kanaviksi.

DOCSIS MAC-Domain on CMTS:n looginen alikomponentti, joka vastaa kaikista myötä- ja paluukanavanippujen (Channel Bonding) DOCSIS-toimintojen toteutuksista. CMTS MAC-domain sisältää vähintään yhden myötä- ja paluukanavan. MAC-domain on vastuussa tietyille MAC-domainille rekisteröityneiden kaapelimodeemien MAC-hallintaviestiliikenteestä. Kaapelimodeemi voi olla rekisteröityneenä vain yhteen MAC-domainiin kerrallaan. MAC-domain tarjoaa kerroksen 2 datasiirtopalvelut CMTS-edelleenvälittäjien (forwarder) ja MAC-domainiin rekisteröityneen kaapelimodeemijoukon välillä. Se luokittelee myötäsuunnalla liikkuvat paketit johonkin palveluvuohon kuuluvaksi paketin kerroksien 2, 3 ja 4 tietojen perusteella. MAC-domain aikatauluttaa ja jakaa jokaisessa palveluvuossa kulkevat myötäsuunnan paketit myötäsuunnan kanavanipun kanaville. Paluusuunnalla MAC-domain ilmoittaa CMTS-edelleenvälittäjäkomponentille kun kerroksen 2 paketti on vastaanotettu tietyltä kaapelimodeemilta. Jokainen CMTS-edelleenvälityskomponentti vastaa kerroksen 2 pakettien välityksestä CMTS MAC-domainin ja NSI-porttien (Network-Side Interface) välillä. NSI-porttien kautta CMTS kytkeytyy palveluntarjoajan runkoverkkoon. Kaikki DOCSIS-kerroksen 2 paluusuunnan paketit toimitetaan CMTS-edelleenvälitys alikomponentille. [14, s. 53]

MAC-domain tarjoaa myötäsuunnan DOCSIS-datan edelleenvälityspalvelua käyttämällä MAC-domainiin sidoksissa olevaa myötäsuunnan kanavaryhmää. Jokaiselle MAC-domainiin myötäsuunnan kanavalle on annettu 8-bittinen DCID-tunniste (Downstream Channel ID). Myötäsuunnan kanava voi olla ”Downstream (RF) Channel”, jolloin se tarkoittaa yksikanavaista myötäsuunnan RF-signaalia I-CMTS järjestelmän myötäsuunnan RF-portissa tai ”Downstream M-CMTS Channel”, jolla tarkoitetaan yksikanavaista myötäsuunnan RF-signaalia joka kulkee CMTS-ytimeistä DEPI-tunnelin kautta EdgeQAM-laitteelle. [14, s. 53] MAC-kehys on siirtoyksikkö, johon CMTS:n ja kaapelimodeemin välinen MAC-alikerroksen liikenne perustuu. Samaa perusrakennetta käytetään sekä paluu- että myötäsuunnalla. MAC-kehysen otsakkeessa on tieto siitä, minkä tyyppistä liikennettä kehys kuljettaa. Jokaisella MAC-domainiin loogisella paluukanavalla on 8-bittinen UCID-tunniste (Upstream Channel ID). [14, s. 53]

MAC-kerros käsittelee loogisia paluukanavia. Paluukanavalla voidaan tarkoittaa joko fyysistä- tai loogista paluukanavaa. Fyysinen paluukanava on tietylle keskitaajuudelle määritelty DOCSIS RF-signaali. Useat loogiset kanavat voivat jakaa yhden fyysisen paluukanavan keskenään aikajakoperusteisesti. [14, s. 53] MAC-domain tarjoaa paluusuunnan DOCSIS-datan edelleenvälityspalvelua loogisten kanavien ryhmälle joka liittyy kyseiseen MAC-domainiin.

Paluusuunnalla aikajana on jaettu aikaväleihin kaistan allokointimekanismin avulla. Looginen paluukanava koostuu jatkuvasta virrasta ”minisloteja”, jotka kuvataan UCD-viesteissä (Upstream Channel Descriptor) ja allokoidaan kaapelimodeemien kesken tiettyyn kanavatunnisteseen sidottujen MAP-viestien avulla [14, s.73]. ”Minislotit” ovat aikavälejä, joissa paluusuunnan liikennettä on mahdollista lähettää ja se kuvaa aikaa jonka kaapelimodeemi tarvitsee lähettääkseen tietyn määrän symboleja. ”Minislotin” koko TDMA-tilassa (Time Division Multiple Access) määräytyy aikayksikön ”Tick” avulla, jonka kesto on 6,25 mikrosekuntia. ”Minislotin” koko T on jokin luvun 6,25 monikerroista. ”Minislotin” koko T määritellään DOCSIS 2.0- tai 3.0-kanaville kaavalla $T=2^M$, jossa M voi saada arvon 0-7. Sallittuja kokoja ovat 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ja 128. [14, s. 708] DOCSIS 2.0- ja 3.0-kanavat jotka toimivat S-CDMA-tilassa (Synchronous Code Division Multiple Access), ”minislotin” koko on riippuvainen modulaationopeudesta, informaatiota kuljettavien levityskoodien lukumäärästä ja yksittäisen levityskoodin lähettämiseen kuluva ajasta [14, s. 72].

DOCSIS 1.0-standardin mukaisesti toimivat laitteet käyttävät perinteistä ”best effort” mekanismia, joka ei anna yhteydelle minkäänlaisia palvelunlaadullisia takeita. Tietoliikenteen luokittelu ja priorisointi QoS tuli DOCSIS 1.1-standardin myötä kaapelimodeemijärjestelmiin [14, s. 54]. QoS käyttää palveluvuo- ja palveluluokka malleja. Palveluvuolla tarkoitetaan yksittäisen kaapelimodeemin tietoliikennettä CMTS:n ja kaapelimodeemin välillä. Liikennetyypit voidaan merkitä erilaisilla QoS-parametreilla, jolloin niiden väliin suhteisiin saadaan joustavuutta, kun käytettävissä olevan kaistan tilassa tapahtuu

muutoksia. Tuki useammalle palveluvuolle per kaapelimodeemi sallii yksittäisen kaapelimodeemin tukea data-, ääni- ja videoliikenteen yhdistelmiä. Vähintään kaksi palveluvuota pitää olla määriteltynä jokaisessa konfiguraatitiedostossa. Minimi konfiguraatiossa on yksi palveluvuo paluusuunnan- ja yksi myötäsuunnan palveluille. Jokaisella palveluvuolla on oma 32-bittinen CMTS:n määrittämä SFID-tunnus (Service Flow Identifier). [14, s. 54-55]

Ensimmäinen paluusuunnan palveluvuo on samalla primäärinen ja toimii oletuspalveluvuona luokittelemattomalle liikenteelle sisältäen sekä MAC-hallintaviestit että data PDU-lohkot (Protocol Data Unit). Myötäsuunnalla ensimmäinen palveluvuo on myös primäärinen ja toimii samoin oletuspalveluvuona luokittelemattomalle liikenteelle. Lisäpalveluvuot voidaan määrittellä konfiguraatitiedostoon huolehtimaan lisä-QoS-palveluista. Saatavia paketteja sovitellaan luokittelijaan, joka määrittää mihin QoS-palveluvuohon paketti edelleenvälitetään. Luokittelija voi tutkia paketin LLC- (Logical Link Control), IP-/TCP- (Transmission Control Protocol)/UDP-otsaketta (User Datagram Protocol) tai jotain edellä mainittujen kahden yhdistelmää. Paketin sopiessa johonkin luokitukseen se edelleenvälitetään luokittelijan SFID-attribuutin merkitsemään palveluvuohon. Jos paketti ei sovi mihinkään luokitukseen, se ohjataan primääriseen palveluvuohon. [14, s. 54-55]

M-CMTS-arkkitehtuurin tulon myötä tuli myös tarve ulkoiselle aikapalvelimelle. Aikapalvelin pitää järjestelmän osat keskenään synkronoituna DTI-rajapinnan (DOCSIS Timing Interface) kautta. Järjestelmässä on yleensä primäärinen DOCSIS aikapalvelin jota kutsutaan juuripalvelimeksi (DTI Root Server) ja orjapalvelin (DTI Slave Server), joka monitoroi juuripalvelinta. DTI-palvelimet tuottavat 10.24 MHz referenssikellosignaalia. Orjapalvelimen tehtävänä on tuoda järjestelmään vikasietoisuutta jos juuripalvelin viikaantuu. [19, s. 7-10]

DOCSIS DTI-suositus määrittelee menetelmän, jonka avulla juuri- ja orjapalvelimet kommunikoi toistensa kanssa IP-verkon yli. DTI-palvelinlaitteet kytketään asiakaslaitteeseen UTP CAT 5E (Unshielded Twisted Pair, Category 5 E) tai paremmalla Ethernet-kaapelilla, joka voi olla maksimissaan 200 metriä pitkä [19, s. 16]. M-CMTS-arkkitehtuurin mukaisessa järjestelmässä on mahdollista, että CMTS-, EdgeQAM-, ja paluusuunnan vastaanotinlaitteet ovat maantieteellisesti erillään toisistaan. Jos laitteet sijaitsevat kaukana toisistaan, ei ole kovin käytännöllistä vetää pitkiä Ethernet-kaapelointeja eri sijaintien välillä. Toisaalta Ethernet-kaapelointi ei suosituksen mukaan saa ylittääkään 200 metriä DTI-palvelinten välillä. Eri sijainteihin asennetut DTI-palvelimet voidaan synkronoida keskenään GPS:n avulla, joka tarjoaa globaalia aikapalvelinsignaalia. [19, s. 48-50]

DTI-palvelin voi toimia myös NTP-palvelimena (Network Time Protocol), joka tarjoaa ToD-palvelua (Time of Day) kaapelimodeemeille ja muille verkon laitteille [19, s. 19]. ToD-palvelua tarvitaan, jotta kaikkien verkon laitteiden järjestelmäkellot saadaan synkronoitua samaan järjestelmäaikaan. Tämä mahdollistaa tarkat aikaleimat SNMP-viesteihin (Simple Network Management Protocol) ja virhelokimerkintöihin. [20, s. 142] Ongelmatilanteissa auttaa, jos eri laitteiden virhelokeista voidaan tutkia tapahtumamerkin- töjä tarkalleen samalta ajalta.

3.2.2 Kanavien niputus (Channel Bonding)

DOCSIS 3.0-standardin myötä mukaan tuli konsepti, jossa kaapelimodeemi voi sekä vastaanottaa useita myötäsunnan kanavia samanaikaisesti että myös lähettää usealla kana- valla samanaikaisesti kanavien niputuksen avulla (Channel Bonding). Tekniikka sallii asiakkaille yli 100 Mbps tiedonsiirtonopeudet myötäsunnalla ja samanaikaisesti säilyy yhteensopivuus myös perinteisten, tekniikkaa tukemattomien kaapelimodeemien kanssa. Kanavien niputtamisella viitataan MAC-kerroksen yhteen palveluvuohon kuuluvien pa- kettien jakamista usealle kanavalle. Kanavien niputtamisella voidaan yhteyksien huippu- nopeuksia kasvattaa merkittävästi. [14, s. 49]

Jokainen myötäsunnan kanava kanavanipussa on 8 MHz (EuroDOCSIS) MPEG-kulje- tuskanava (Moving Picture Experts Group), joka on yhteensopiva aikaisempien DOCSIS- versioiden kanssa [14, s. 56]. Jokainen paketti merkitään sekvenssinumerolla niin, että oikea datapaketin järjestys ei sekoja, jos kanavanipun kanavien latensseissa on eroja. CMTS jakaa paketit palveluvuohon kuuluvien myötäsunnan kanavien kesken. Kaapeli- modeemilla puolestaan on useita vastaanottimia ja ne on viritetty vastaanottamaan kaikki kanavanipun kanavat. Kaapelimodeemi uudelleenjärjestee myötäsunnan datavirran paketit sekvenssinumeroiden perusteella ja palauttaa alkuperäisen pakettijärjestyksen nii- den paketin välillä, jotka se edelleenvälittää CPE-portteihinsa (Customer Premises Equipment). Yksittäinen kaapelimodeemi tai multicast-istunnon kaapelimodeemiryhmä, joka vastaanottaa sekvenssinumerolla merkityjä paketteja, vaatii oman sekvenssinume- rovaruutensa. Myötäsunnan kanavat voidaan konfiguroida toimimaan samanaikaisesti perinteisten kaapelimodeemien kanssa, jotka eivät tue kanavien niputusta. Jotta voitaisiin säilyttää paras palvelun laatu, perinteisten kaapelimodeemien populaatiota voidaan dy- naamisesti hajauttaa myötäsunnan kanavanipun kanaville, jolloin kukin niistä vastaan- ottaa yhdellä kanavalla kerrallaan. [14, s. 56]

Myös paluusuunnalla voidaan päästä suurempiin tiedonsiirtonopeuksiin käyttämällä useita paluukanavia samanaikaisesti. CMTS ohjaa kanavien niputusta jakamalla lähetyk- silypua osana paluusuunnan ajoitusprosessia. Kaapelimodeemi pyytää kaistaa jollakin tiet- tyyn palveluvuohon liittyvällä paluukanavalla. CMTS päättää, myöntääkö se lähetyk- silyvan yhdelle vai useammalle palveluvuon kanavalle. CMTS on vastuussa kaistan allokoin- nista yksittäisten paluukanavien välillä. Aikajakokanavointi tapahtuu näin keskitetysti

CMTS:n ohjaamana ja sallii reaaliaikaisen kuormantasauksen paluukanavanipun kanavien kesken. Kun kaapelimodeemi vastaanottaa lähetyslupia useille paluukanaville, se jakaa lähetyksen lähetysluvissa määrätyn kokoisiin paketteihin ja lähettää paketit lähetyslupien määrääminä aikoina vastaaville kanaville. Kaapelimodeemi merkitsee lähettämänsä paketit kasvavalla sekvenssinumerolla lupakohtaisesti. Lähetyslupia voi tulla palveluvuon miltä tahansa kanavalta tai kaikilta kanavilta ajallisesti lomittuneina ja se voi edellyttää kaapelimodeemia lähettämään kaikilla niputetuilla kanavilla samanaikaisesti. CMTS käyttää pakettien sekvenssinumeroita palauttaakseen takaisin alkuperäisen datavirran. [14, s. 57]

Paluusuunnan kanavien niputusmekanismi vaatii toimiakseen kanavien synkronoinnin masterkellon kanssa. Voidakseen lähettää, kaapelimodeemin pitää osua sille varattuun aikaväliin eli tietää tarkka lähetyksen aloitusajankohta. Kaapelimodeemit ovat kukin eri välimatkan päässä CMTS:stä, josta seuraa, että siirtoviive vaihtelee modeemikohtaisesti.

Yksittäinen paluusuunnan kanava voi olla mikä tahansa modulaatiotyyppien, symbolinopeuksien ja TDMA- (Time Division Multiple Access) tai S-CDMA-kanavointien (Synchronous Code Division Multiple Access) sekoitus. Paluusuunnan kanavanipussa voi siten olla kanavia, joilla on hyvin erilaiset fyysisen kerroksen ominaisuudet tietyinä ajanhetkenä, kun eri kanavat käyttävät esimerkiksi eri modulaatioprofiilia. CMTS päättää miten segmentoida kaistaa perustuen kaapelimodeemin kaistapyyntöön ja muuhun liikenteeseen paluusuunnan kanavilla. [14, s. 57]

Bittivirhesuhdetta BER (Bit Error Rate) voidaan parantaa virheenkorjauksella. Myötä- ja paluusuunnalla käytetään FEC-virheenkorjausta (Forward Error Correction). Ideana FEC-virheenkorjauksessa on, että dataan lisätään virheenkorjausbittejä, joiden avulla siirtovirheet voidaan sekä havaita että korjata vastaanottopäässä ja välttyä datan uudelleenlähetyksiltä. Virheenkorjausta tehostetaan Interleaving-tekniikalla, jossa data lomitetaan keskenään. Datan lomituksella saadaan suojaa pursketyyppisille häiriöille. Virheenkorjausmenetelmänä käytetään Reed-Solomon-koodeja. [18, s. 4; 21, s. 36]

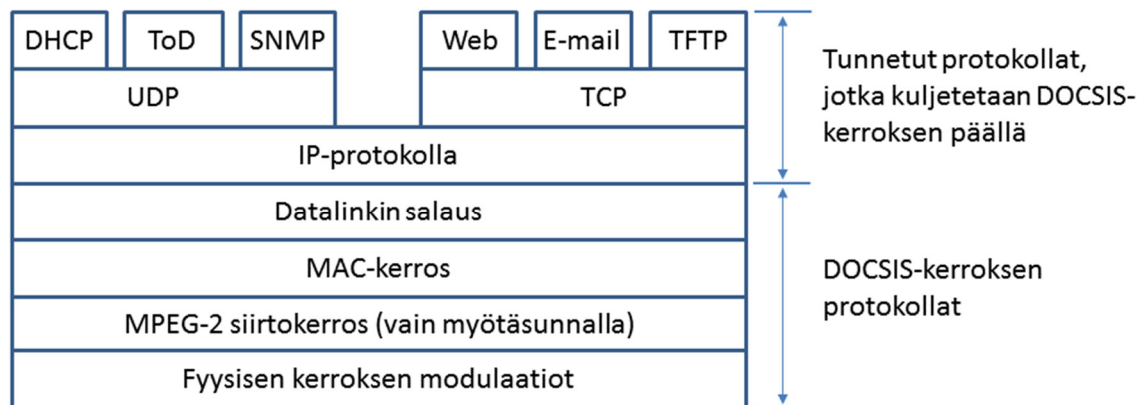
3.2.3 Kaapelimodeemin toiminta

Kaapelimodeemi on DOCSIS-verkon elementti, joka välittää siirtoyhteyskerroksen liikennettä RFI-radiotaajuusrajapinnan (Radio Frequency Interface) ja yhden tai useamman tilaajalaitteportin välillä [15, s. 56]. Kaapelimodeemi yhdistää palveluntarjoajan HFC-verkon ja asiakkaan kotiverkon toisiinsa.

Kaapelimodeemi vastaanottaa IP-paketteja CPE-laitteelta tyypillisesti Ethernet-verkon kautta ja lisää niihin salauksen. Salattu data välitetään paluukanavalle ja moduloidaan lopulta kaapeliverkkoon. Salaus suojaa käyttäjien liikenteen. Kaapeliverkko on jaettu media, minkä vuoksi pitää olla menetelmä käyttäjien tietoliikenteen suojaamiseen väärin-

käytöksiltä. Myötäsuunnalla CMTS-data kapseloidaan 188 tavun mittaisiin MPEG-2 kehyksiin. MPEG-2 siirtokerros on käytössä vain myötäsuunnalla. MAC-kerros ohjaa kaapelimodeemin paluusuunnan liikennettä tarjoamalla menetelmän, jonka avulla CMTS kertoo kaapelimodeemille milloin sen on aika lähettää ja miten pitkään. Alin eli fyysinen kerros sisältää koaksiaaliverkon vaatimat moduointijärjestelmät RF-siirtoa varten. [22]

Kuvassa 5 on DOCSIS-kaapelimodeemin protokollapino. Protokollapinoon 4 alinta kerrosta ovat DOCSIS-protokollia ja läsnä vain kaapelimodeemin ja CMTS:n välillä. Protokollat IP-kerroksesta ylöspäin, aina sovelluskerroksen protokollisiin asti, kuljetetaan DOCSIS-kerrosten päällä HFC-verkon RF-osuuden yli Internet-kommunikaatiota varten. [22]



Kuva 5. DOCSIS-kaapelimodeemin protokollapino [22].

DOCSIS 3.0-standardin mukainen kaapelimodeemi aloittaa linjalle pyrkimisen myötäsuunnan kanavien skannauksella tai vaihtoehtoisesti sillä voi olla muistiin tallennettuna tieto viimeisimmästä ”hyvästä” myötäsuunnan primäärikanavasta. Ensimmäisestään tulee käyttää muistiinsa tallennettuja tietoja hakiessaan myötäsuunnan primäärikanavaa. Mikäli muistiin tallennetun kanavan hyödyntäminen epäonnistuu, kaapelimodeemi aloittaa kanavien skannauksen koko myötäsuunnan taajuusalueelta, kunnes se löytää kelpoisen myötäsuunnan primäärikanavan. [15, s. 301]. CMTS lähettää järjestelmän synkronointia varten Sync-viestejä primäärikanaviksi konfiguroiduilla kanavilla vähintään 200 millisekunnin välein [15 s. 475]. Lisäksi CMTS lähettää UCD-viestejä määrätyn aikavälein. UCD-viestit ovat MAC-hallintaviestejä, jotka määrittelevät loogisten paluukanavien ominaisuudet. CMTS lähettää erillisen UCD-viestin jokaista käytettävissä olevaa paluukanavaa kohden. UCD-viestit on lähetettävä samalla myötäsuunnan kanavalla kuin tiettyä paluukanavaa koskevat MAP-viestitkin (Media Access Protocol). [15, s. 97]

Saatuana myötäsuunnan kanavan symbolikellon synkronoitua ja opittuaan paluukanavien tiedot UCD-viestin kautta, kaapelimodeemi etsii MAP-viesteistä tiedot Broadcast Initial Maintenance-lähetysalueesta, jota yhteydenmuodostusta yrittävä modeemi voi käyttää datan lähettämiseen CMTS:n suuntaan. [15, s.175]. CMTS:n lähettämissä MAP-vies-

teissä kerrotaan milloin kaapelimodeemin lähetysvuoro on. Kun useampi kaapelimodeemi yrittää rekisteröitymistä samanaikaisesti, on mahdollista, että ne häiritsevät toisiaan ja aiheuttavat törmäyksiä samanaikaisilla lähetyksillään. Tämän kaltainen tilanne syntyy usein massiivisen vian, esim. sähkökatkon jälkeen virran palattua, jolloin verkkoon syntyy impulssityyppinen kuormitus. CMTS voi kasvattaa näissä tapauksissa Initial Ranging-slotien määrää, jouduttaakseen modeemien linjalle nousua [32, s. 3]. Törmäyksen sattuessa kaapelimodeemi käyttää perääntymisalgoritmia ja yrittää lähetystä uudelleen [15, s. 190].

Kun kaapelimodeemi on tietoinen myötä- ja paluusuunnan kanavista, alkaa Ranging prosessi. Ranging-prosessin aikana lasketaan kaapelimodeemille lähetystehotaso, jolla saavutetaan vaadittu signaalitaso CMTS:n tuloliitännässä. Paluukanavan kantoaallon on oltava riittävän voimakas, jotta CMTS:n vastaanottimen olisi mahdollista erottaa QAM-moduloidusta signaalista symbolit oikein. Liian voimakas taso johtaa signaalin leikkautumiseen, joka aiheuttaa keskeismodulaatiohäiriöitä ja vääristymää aktiivisen paluukanavan signalointiin. Erityyppisten häiriöiden myötä bittivirhesuhde (Bit Error Rate, BER) kasvaa. [23]

Osana Ranging prosessia selvitetään myös CMTS:n ja kaapelimodeemin välinen edestakainen viive eli Timing Offset. Kaapelimodeemi saa aikaleimatiedon CMTS:n lähettämässä Sync-viestissä, jonka mukaan se säätää omaa kelloaan. CMTS lähettää MAP-viestin, jossa se komentaa kaapelimodeemia lähettämään tietyn ajanhetkenä Ranging-Response-viestin. CMTS:n vastaanotettua viestin se laskee Timing Offset-viivearvon lähetys- ja vastaanottoaikaleimojen perusteella. [24] Aikasynkronointi on kriittinen toiminto MAC-protokollan toiminnan kannalta. Kaapelimodeemi ottaa viivearvon huomioon lähettäessään paluusuunnan liikennettä. Se lähettää viiveen verran aikaisemmin kuin sille määritetty mini-slot edellyttää, jotta CMTS vastaanottaa lähetyksen oikeaan aikaan. [22, s. 206]

Ranging-prosessi alkaa initial-ranging-vaiheella, jonka kaapelimodeemi aloittaa lähettämällä Ranging-Request-viestejä MAP-viesteissä kerrottujen initial-maintenance-aikavälien aikana. [22] Jos kaapelimodeemi ei saa Ranging-Response-viestiä CMTS:ltä 200 millisekunnin aikana, tapahtuu T3-aikakatkaistu ja uudelleenlähetytlaskurin lukua kasvatetaan. Mikäli laskurin luku on pienempi kuin suurin sallittu lähetyksien määrä, se kasvattaa lähetystehoaan 3 dB ja lähettää Ranging-Request-viestin uudelleen. Prosessi toistuu kunnes Ranging-Response-viesti saadaan vastauksena tai uudelleenlähetytlaskurin arvo saavuttaa maksimin, jolloin kaapelimodeemi resetoitaa kaapeliliitännänsä ja aloittaa ranging-prosessin uudelleen. Ranging-Response-viesti sisältää CMTS:n laskeman Timing Offsetin sekä tehonkorjauksen, jotka kaapelimodeemin on tehtävä. Kaapelimodeemi jatkaa Ranging-Request-pyyntöjä ja tekee säätöjä kunnes Ranging-Response-viesti indikoi niiden olevan kohdallaan. [23]

Ranging-vaiheen jälkeen CMTS on tietoinen kaapelimodeemista ja mitkä myötä- ja paluusuunnan fyysiset kanavat ovat sen saavutettavissa. Fyysisen kerroksen päälle luodaan tässä vaiheessa väliaikainen MAC-kerros, joka saa täyden toiminnallisuutensa vasta viimeisessä vaiheessa. Seuraavaksi tehdään autentikointiin ja salaukseen liittyviä toimenpiteitä jos EAE-ominaisuus (Early Authentication and Encryption) on käytössä. Muussa tapauksessa autentikaatio ja kaapelimodeemin ja CMTS:n välisen yhteyden salaus muodostetaan rekisteröitymisvaiheen jälkeen. Kaapelimodeemi lähettää X.509-muotoisen digitaalisen sertifiikaattinsa, joka sisältää julkisen RSA-avaimen, CMTS:lle tarkistettavaksi. CMTS vastaa viestillä, joka käynnistää AES- (Advanced Encryption Standard) tai DES- (Data Encryption Standard) salausavainten vaihdon, mikäli X.509-sertifikaatti on validi. Myötä- ja paluusuunnan liikenne on salattua tästä vaiheesta eteenpäin. [14, s. 60]

Kun tilapäinen MAC-kerros on saatu luotua CMTS:n ja kaapelimodeemin välille, kaapelimodeemi saa IP-osoitteen palveluntarjoajan osoitevaruudesta. Se saa myös järjestelmäikatiedon ToD-palvelimelta sekä konfiguraatitiedoston. Kaapelimodeemit saavat toiminnalliset parametrinsa konfiguraatitiedoston kautta. Konfiguraatitiedosto määrittelee, minkälainen liittymätyyppi tilaajalla on ja minkälaisia lisäpalveluita on aktiivisena. Konfiguraatitiedosto on binäärinen ja koostuu erilaisista TLV-tietueista (Type Length Value). Yksittäisen TLV-tietueen sisältämä arvo voi olla toinen TLV-tietue, jonka johdosta konfiguraatitiedoston sisältö on TLV- ja ali-TLV-tietueista muodostuva puumainen rakenne. Konfiguraatitiedostossa on vähintään oltava tieto, onko kaapelimodeemilla lupa liikennöidä verkossa sekä palveluvuotiedot myötä- ja paluusuuntien liikenteelle. Konfiguraatitiedosto lähetetään kaapelimodeemille osana provisiointiprosessia käyttämällä TFTP-protokollaa (Trivial File Transfer Protocol). [25]

Rekisteröitymisvaihe sisältää kolmitiekättelyn kaapelimodeemin ja CMTS:n välillä, jossa kaapelimodeemi syöttää tiettyjä konfiguraatitiedoston sisältöjä CMTS:lle. CMTS tarkistaa sisällöt ja varaa tai aktivoi MAC-kerroksen resursseja vastaanottamiensa tietojen pohjalta sekä ilmoittaa niistä takaisin kaapelimodeemille. Kun kaapelimodeemi kuittaa CMTS:n vastauksen, on MAC-kerroksen alustus valmis. Tämän jälkeen kaapelimodeemi on yhtenä hallittavana verkkoelementtinä palveluntarjoajan IP-verkossa. [14, s. 61]

CMTS lähettää kaikille kaapelimodeemeille määrätyn välein Station Maintenance-informaatiota, jonka pohjalta kaapelimodeemien odotetaan suorittavan yhteyden ylläpitoon liittyviä rutiineja. Näiden rutiinien tarkoituksena on varmistaa kaapelimodeemien paluusuunnan signaalin luotettavuus. Kaapelimodeemia voidaan pyytää säätämään lähetysteho, lähetyksen ajoitusta ja taajuutta sekä pre-equalization kerroinparametria Station Maintenance-viestien informaation pohjalta. [16, s. 180] Pre-equalization-ominaisuuden ideana on, että ideaalisen signaalin sijaan lähetetään muokattua signaalia, joka kompensoi siirtotien häiriöitä ja näkyy vastaanottopäässä ”virheettömänä”.

3.2.4 EdgeQAM

Yksi keskeisistä ajatuksista M-CMTS-arkkitehtuurissa on myötäsuunnan fyysisellä kerroksella QAM-moduloinnin ja taajuusmuunninkomponenttien erottaminen CMTS:ltä ja toimintojen sijoittaminen EdgeQAM-laitteeseen. EdgeQAM-laite (Edge Quadrature Amplitude Modulator) on M-CMTS-järjestelmässä käytettävä laite, joka päättää CMTS:ltä tulevan DEPI-tunnelin (Downstream External PHY Interface) ja toteuttaa fyysisen myötäsuunnan RF-kanavan tunnelin kautta tulevalle liikenteelle. M-CMTS-ydin ja kaikki EdgeQAM-laitteet on synkronoitu DOCSIS Timing Serverin avulla, käyttämällä standardoitua DOCSIS DTI-rajapintaa. [13, s. 1, 11] EdgeQAM-laitteen tulopuolella on yksi tai useampi Gigabit Ethernet-liitäntä sekä DOCSIS Timing Interface kellotulot kahdennettuna. Laitteen RF-lähdöissä on F-liittimet. Yleisesti EdgeQAM-laitteessa on selainpohjainen käyttöliittymä, jonka kautta laitteen konfiguraatio voidaan tehdä. EdgeQAM-konfiguraatiossa määritellään M-CMTS-kanavien fyysisen kerroksen parametrit sekä DEPI-tunnelin terminointiportti, josta tuleva data ohjataan haluttuun EdgeQAM-laitteen RF-porttiin.

DEPI on ulkoinen myötäsuunnan fyysinen rajapinta M-CMTS-järjestelmän ytimen ja EdgeQAM-laitteen välissä. Tarkemmin sanottuna se on IP-tunneli, joka toimii M-CMTS-järjestelmän ytimen DOCSIS MAC-kerroksen ja EdgeQAM-laitteen fyysisen (PHY) kerroksen välillä. DEPI-tunneli sisältää dataliikenteen kanavan DOCSIS-kehyksille sekä yhteysistuntojen avaamiseen, ylläpitämiseen ja lopettamiseen vaadittavan ohjausliikenteen kanavan. [13, s. 11] DEPI:n tehtävänä on kuljettaa joko DOCSIS-kehyksiä tai MPEG-paketteja siirtoyhteys- tai verkkokerroksen yli ja toimittaa ne EdgeQAM-laitteelle. Perusprotokolla jota DEPI käyttää on L2TPv3 (Layer 2 Tunneling Protocol version 3).

L2TPv3-protokolla on IETF-yhteisön (The Internet Engineering Task Force) määrittelemä yleisprotokolla ns. pseudowire-linkkejä varten. Pseudowire-linkillä tarkoitetaan pakettikytkentäisessä verkossa muodostettuja tunneleita, jotka voivat kuljettaa siirtoyhteyskerroksen (Layer 2) protokollia verkkokerroksen (Layer 3) yli. Jokainen datapaketti sisältää 32-bittisen istunto tunnisteiden, joka on sidoksissa yksittäiseen QAM-kanavaan. L2TPv3 sallii aliotsakkeet, jotka määrittävät kuljetettavan hyötykuorman. Ohjauskanava mahdollistaa signaalointiviestien lähettämisen M-CMTS-ytimen ja EdgeQAM-laitteen välillä. Tyypilliset ohjausviestit muodostavat ”ohjausyhteyden” M-CMTS-ytimen ja EdgeQAM-laitteen välille ja sen jälkeen oman dataistunnon jokaiselle myötäsuunnan QAM-kanavalle. [13, s. 12] L2TPv3-protokolla voi siis kuljettaa useita IP-pohjaisia datavirtoja samanaikaisesti samassa fyysisessä mediassa, mikä on tärkeä ominaisuus DOCSIS-verkossa, koska DEPI-tunnelin pitää datavirtojen lisäksi hallita myös video-streamit sekä QoS-toiminnot. [32]

3.2.5 IPv6

IPv6 on internetin perustana olevan IPv4-protokollan seuraajaksi kehitetty osoitestandardi. IPv4-protokolla (Internet Protocol version 4) esiteltiin jo 1980-luvun alussa ja se on yhä laajalti käytössä. IPv4-protokollan käyttämän 32-bittisen osoiteavaruuden noin 4,3 miljardia osoitetta ovat loppumassa. Siirtyminen IPv6-pohjaiseen (Internet Protocol version 6) liikenteeseen on yhä ajankohtaisempaa ja sen käyttö onkin jatkuvasti lisääntynyt [34].

IPv6-protokollan 128-bittinen osoiteavaruus tarjoaa 2^{128} osoitetta, mikä näillä näkymin riittää pitkälle tulevaisuuteen. DOCSIS 3.0 toi mukanaan tuen IPv6-osoitteille. DOCSIS 3.0-kaapelimodeemit voidaan provisoida joko IPv4- tai IPv6-hallintaosoitteella tai mahdollisesti molemmilla (DPM, Dual-stack Provisioning Mode). DOCSIS 3.0-versiota tukeva kaapelimodeemi voi kuljettaa IPv6-liikennettä ja tarjota läpinäkyvän IPv6-yhteyden takanaan oleville CPE-tilaajalaitteille. [16, s. 21]

3.3 DOCSIS 3.1

Vuonna 2013 julkaistu DOCSIS 3.1 on standardin viides ja samalla viimeisin versio. Sen tavoitteena on tarjota 10 Gigabitin/s nopeuksia myötäsuunnalla ja 1 Gigabitin/s nopeuksia paluusuunnalla. Taaksepäin yhteensopivuuden takaamiseksi DOCSIS 3.1 sisältää paljon ominaisuuksia, jotka ovat mukana jo aikaisemmissa DOCSIS-versioissa [15, s. 49]. Yhteensopivuus mahdollistaa, että DOCSIS 3.0 mukaiset laitteet toimivat verkossa ja yksinkertaistaa uuden tekniikan käyttöönottoa, kun se voidaan tehdä nykyisessä verkkoympäristössä [15, s. 19]

DOCSIS 3.1 määrittelee paluusuunnalle taajuusalueen 5-204 MHz ja myötäsuunnalle 258-1218 MHz. Edellä mainitut taajuusalueet ovat vaatimuksena toimivalle DOCSIS 3.1-järjestelmälle, mutta standardi tukee myötäsuunnalla 1794 MHz ylärajataajuutta. DOCSIS 3.1 antaa täyden hyödyn vasta kun korkeampi ylärajataajuus on saavutettu. [27]

DOCSIS 3.1-standardista ei enää ole olemassa EuroDOCSIS-varianttia vaan samaa versiota käytetään kaikilla alueilla. Uusina ominaisuuksina ovat uuden sukupolven laajakaisetaiseen OFDM-modulointiin (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) perustuva fyysinen kerros ja parannettu FEC-virheenkorjaus, joka käyttää tehokkaampaa LDPC-koodausta (Low Density Parity Check) [15, s. 49]. DOCSIS 3.1 keskittyy koko käytettävissä olevan spektrin käyttöön tehokkaiden tekniikoiden avulla. Dataa voidaan siirtää jopa 50 prosenttia aikaisempaa enemmän samassa spektrissä. Taulukosta 2 voidaan nähdä DOCSIS 3.1-versioon määritellyt modulaatiotyypit sekä ero DOCSIS 3.0-versioon käytettävien modulaatiotyyppien osalta.

Taulukko 2. DOCSIS 3.0- ja 3.1-versioiden vertailutaulukko, jossa näkyvät käytettävät modulaatiotyypit myötä- ja paluusuunnalla. [26, s. 35, 100; 8, s. 73, 135]

DOCSIS 3.0		DOCSIS 3.1	
Myötäsuunta (modulaatio)	Paluusuunta (modulaatio)	Myötäsuunta (modulaatio)	Paluusuunta (modulaatio)
64-QAM	QPSK	BPSK	BPSK
256-QAM	8-QAM	QPSK	QPSK
	16-QAM	16-QAM	8-QAM
	32-QAM	64-QAM	16-QAM
	64-QAM	128-QAM	32-QAM
	128-QAM (S-CDMA)	256-QAM	64-QAM
		512-QAM	128-QAM
		1024-QAM	256-QAM
		2048-QAM	512-QAM
		4096-QAM	1024-QAM
		8192-QAM	2048-QAM
		16384-QAM	4096-QAM

3.3.1 Downstream

DOCSIS 3.1 käyttää myötäsuunnan liikenteessä OFDM-modulaatiota. OFDM jakaa korkean modulointinopeuden symbolivirran useisiin rinnakkaisiin matalamman modulointinopeuden symbolivirtoihin, joista jokainen on moduloitu eri alikantoaaltoon. OFDM mahdollistaa eri alikantoaaltojen ahtamisen hyvin lähelle toisiaan käyttämällä tietyllä alikantoaallolla modulaatiota, joka on ortogonaalinen muihin alikantoaaltoihin verrattuna. Täydellisesti ortogonaalisella alikantoaallolla on hyvin vähäinen vaikutus naapurialikantoaaltoon. [27]

OFDM-kanavan leveys voi myötäsuunnalla olla 24 - 192 MHz ja paluusuunnalla 6,4 - tai 10 - 96 MHz. OFDM voi toimia myötäsuunnalla 4K FFT-tilassa (Fast Fourier Transform), jolloin aktiivisina on 3800 kpl 50 kHz alikantoaaltoja, tai 8K FFT-tilassa, jossa vastaavasti on 7600 kpl 25 kHz:n välein olevia aktiivisiä alikantoaaltoja. Molemmissa näytteenottotaajuutena on 204,8 MHz. Paluusuunnalla toimintatila voi olla 4K FFT (25 kHz alikantoaallot) tai 2K FFT, jossa käytetään 50 kHz alikantoaaltoja. [27]

OFDM-moduloinnin etuna perinteiseen SC-QAM-kanavaan (Single Channel-QAM) verrattuna on, että jokainen alikantoaalto voidaan mukauttaa/optimoida erikseen, jolloin käytävissä oleva spektri voidaan käyttää tehokkaammin. Yksittäisten alikantoaaltojen modulaatiotyyppiä voidaan muuttaa tarvittaessa, kun signaalin laatu vaihtelee. OFDM-kanavan kaistanleveyttä voidaan säätää lisäämällä/poistamalla alikantoaaltoja. Lisäksi levittämällä informaatiota yli eri alikantoaaltojen ja käyttämällä datan suojausmekanismeja

OFDM tarjoaa suojaa taajuusselektiiviselle häivynnälle. Osaa OFDM-kanavan kantoaaltoista käytetään pilotti- ja ”tyhjinä” kantoaaltoina. Pilottikantoaaltoja voidaan käyttää esim. kanavan tilan mittaamiseen ja synkronointiin. ”Tyhjät” kantoaalto eivät sisällä tehoa ja niiden avulla spektriin saadaan luotua tarvittaessa halutun levyisiä välejä esimerkiksi perinteisten kaapelimodeemien käyttämiä leveämpiä SC-QAM-kanavia varten. DOCSIS 3.1-järjestelmässä voidaan käyttää erilaisia uusien OFDM-kanavien ja perinteisten SC-QAM-kanavien yhdistelmiä. [27]

OFDM-kanavassa on mahdollista, että symbolien välistä häiriötä tapahtuu kun naapurikanavien välinen ajallinen synkronointi ei ole täydellinen. Viiveiden leviäminen ja vastaanottimien taajuus-synkronoinnin epätarkkuudet johtavat kanavien välisen ortogonaalisuuden huononemiseen, jolloin naapurikanavien symbolit voivat lomittua keskenään. Ratkaisuna tähän ongelmaan on Cyclic Prefix- menetelmä, jossa OFDM-symbolia jatketaan kopioimalla säännöllisesti osa symbolin lopusta kyseisen symbolin alkuun. Toistamalla osa signaalista, voidaan lieventää mikroheijastumien vaikutusta, jolloin signaali pitää ortogonaaliset ominaisuutensa ja samalla symbolien välinen suojaväli (guard interval) kasvaa. Cyclic Prefix-parametria säätämällä voidaan vaikuttaa siirron laatuun. Pidemmällä aika-arvolla saadaan parempi bittivirhesuhde kapasiteetin kustannuksella, kun symbolin kesto aika suojaväleineen kasvaa. [27]

Jokaisen OFDM-kanavan sisällä on yksilöllinen PLC-kanava (PHY Link Channel), jonka kautta kuljetetaan OFDM-kanavaan itseensä liittyvää hallintainformaatiota. PLC-kanava on tärkeässä roolissa OFDM-kanavan toiminnan kannalta. Se on ympäröity symmetrisesti neljällä pilottikantoaaltoparilla 6 MHz leveälle kaistalle. Kaapelimodeemit poimivat PLC-kanavalta DPD- (Downstream Profile Descriptor) ja OCD-viestejä (OFDM Channel Descriptor). DPD-viestit sisältävät profiilin tunnusteen ja mitä kanavia profiili koskee. DPD-viesti on profiilikohtainen ja sen sisältöä voidaan muuttaa dynaamisesti. Kaapelimodeemi saa DPD-viestin välityksellä tiedon, miten demoduloida kantoaaltojen signaaleja. OCD-viesti kuvaa OFDM-kanavan rakenteen. Se kertoo mm. mistä OFDM-kanava alkaa (parametri $X[0]$), mitä kantoaaltoja kanavassa käytetään sekä missä pilotit sijaitsevat. [27]

PLC-kanavalla lähetetään 128 OFDM-symbolin välein toistuvaa PLC-preamble-rakennetta, jonka avulla kaapelimodeemit pystyvät lukkiutumaan PLC-kanavalle ja synkronoimaan vastaanottimensa lähetyksensä kellon kanssa. OFDM-kanavan alikantoaalloilla lähetetään myös hajautettua pilottia, joka kiertää symboli/kantoaalto periaatteella järjestyksessä läpi datakantoaaltojen samassa 128 OFDM-symbolin syklissä PLC-preamble-rakenteen kanssa. Hajautetun pilotin siirtymä kantoaalloilta toiselle on joko 1 tai 2 kantoaaltoa kerrallaan riippuen FFT-tilasta. Hajautetun pilotin lisäksi OFDM-kanavassa on jatkuvia pilottikantoaaltoja, joiden taajuudet ilmaistaan OCD-viesteissä. Kaikille piloteille on yhteistä BPSK-modulaatio (Binary Phase Shift Keying) ja +6 dB datasyboleja korkeampi lähetysteho. [27]

Myötäsuunnan datansiirrossa DOCSIS 3.1 käyttää FEC-menetelmänä LDPC-koodausta. LDPC-menetelmä kehitettiin jo 1960-luvun alussa, mutta se oli pitkään unohduksissa, koska sen käyttö vaatii tehokasta prosessointia. 1990-luvun puolivälissä LDPC nousi uudelleen esiin, kun prosessoriteho ei enää ollut käytön esteenä. LDPC-koodien avulla siirtojärjestelmän toimintapiste saadaan hyvin lähelle Shannon-Hartley lain määrittelemää teoreettista rajaa, kun samalla signaali-kohinasuhteella päästään spektrin tehokkaampaan käyttöön, toisin sanoen voidaan siirtää enemmän bittejä/Hz. LDPC on lineaarinen lohkokoodausmenetelmä, joka perustuu matriisilaskentaan. Fyysisellä kerroksella saapuvaan dataan lisätään virheenkorjausbittejä, kun lähetystä varten muodostetaan koodisanoja. Vastaanottopäässä virheenkorjausbittejä käytetään virheiden havainnointiin ja korjaukseen. LDPC-koodauksen suorituskykyä parannetaan datan lomituksella (interleaving), joka minimoii purskekohinan vaikutusta DOCSIS-signaaleihin. Datan lomitusta tehdään sekä aika- että taajuustasossa. [60]

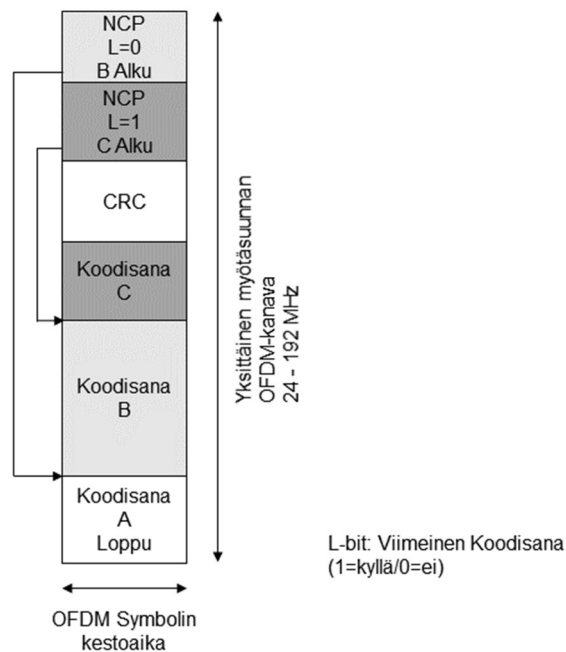
RF-ominaisuudet, kuten vaimennus ja signaalikohinasuhde, vaihtelevat kaapelimodeemi-kohtaisesti. Kuitenkin esimerkiksi saman kadun varrella sijaitsevilla kaapelimodeemeilla, jotka ovat saman vahvistinkaskadin takana, on todennäköisesti myös samankaltaiset RF-ominaisuudet. Siksi DOCSIS 3.1:een on sisällytetty käsite profiileista, jotka mahdollistavat optimoidun kommunikation vallitsevilla SNR-arvoilla (Signal to Noise Ratio) kaapelimodeemin ja CMTS:n välillä. Profiileja käytetään sekä myötä- että paluusuunnalla. Eri profiileilla on oma tunnisteensa. Tunnisteilla 0, 1, 2, 3 varustettuja profiileja kutsutaan myös profiileiksi A, B, C ja D. Tunnisteet 16 – 254 on varattu ja tunniste 255 kuuluu NCP-profiilille (Next Code Pointer).

DOCSIS 3.1-verkossa on mahdollista, että esimerkiksi lähempänä CMTS:ää oleva kaapelimodeemi käyttää myötäsuunnalla korkeampaa QAM-modulaatiota verrattuna toiseen kaapelimodeemiin, joka sijaitsee kauimmaisena kuitunodesta katsottuna. Yksittäisen kaapelimodeemin ja CMTS:n välinen signaalitie kuvataan mittaamalla koodisanojen virheitä ja kantoaaltokohtaista MER-modulaatiovirhesuhdetta (Modulation Error Rate), jonka jälkeen ne ryhmitellään ominaisuuksiensa perusteella tiettyyn profiiliin. Profiili käyttää parasta taajuuskohtaista modulaatiota, joka määräytyy vallitsevan signaalikohinasuhteen mukaan. Myötäsuunnan profiilit kuvataan DPD-viesteissä, jotka kulkevat PLC-kanavan kautta. Myötäsuunta sisältää jatkuvan virran OFDM-symboleja, joista toiset ovat korkeammalla ja toiset matalammalla modulaatiolla moduloituja. Tuloksena on, että tietyt kaapelimodeemit ovat kykeneviä vastaanottamaan kaikki symbolit ja loput kaapelimodeemit matalammilla modulaatioilla moduloituja symboleja. [27]

Haleema Mehmood, Syed Rahman ja John M. Cioffi ovat tutkineet eri algoritmeja, joiden avulla kaapelimodeemit voidaan ryhmitellä eri perustein ja liittää tiettyyn profiiliin sekä profiilien lukumäärän vaikutusta siirtonopeuksiin. Yhden profiilin järjestelmässä modulaatiotyyppi olisi valittava heikoimpien kaapelimodeemien SNR-arvojen mukaan, joka rajoittaisi paremmassa asemassa olevien modeemien liikennöintiä dramaattisesti. Toisaalta, jos kaikilla kaapelimodeemeilla olisi oma profiilinsa käytössä, tarvittaisiin esim.

1000 kaapelimodeemia käsittävässä järjestelmässä 1000 profiilia. Tuloksena olisi kallis ja monimutkainen järjestelmä, valtava muistitarve ja pitkät latenssit. Tutkimus osoittaa, että yksinkertaisimmillakin lajittelualgoritmeilla päästään merkittävästi suurempiin järjestelmän kokonaisnopeuksiin ja että profiilien suurempi lukumäärä vaikuttaa järjestelmän tehokkuuteen positiivisesti. Kompromissina profiilien lukumäärät on valittu järkevän alhaiselle tasolle. CMTS:llä voi olla käytössä 16 myötäsunnan ja 7 paluusuunnan erilaista profiilia. [35]

DOCSIS 3.1-kaapelimodeemi etsii ensin PLC-kanavan, jonka jälkeen se vastaanottaa kanavalta OCD-viestit sekä A- ja 255- profiilien DPD-viestit. Seuraavaksi se poimii OCD-viestistä kanavaan liittyviä parametreja kuten X[0], poistetut alikantoaallot sekä pilottien taajuudet. A-profiilin DPD-viestistä löytyvät profiiliin kuuluvat alikantoaallot ja 255-profiilista NCP-parametrit, joita kaapelimodeemi tarvitsee, jotta se osaa lukea OFDM-symbolit oikein. Myötäsunnan datansiirrossa käytetään DOCSIS 3.0-versiossa käytetyn MPEG-2 kapseloinnin sijaan DVB-C2-standardiin (Digital Video Broadcasting – Cable) pohjautuvaa tekniikkaa. Siirrettävä data koodataan koodisanoihin, jotka sisältävät hyötykuorman lisäksi koodisanan otsakkeen ja virheenkorjausdataa (kuva 6). Koodisanan rakentajakomponentti yhdistää tavut tietyn profiilin puskurilta ja lisää siihen virheenkorjausdatan. Profiilin modulaatiosta sekä koodisanan pituudesta riippuen, koodisana laiteetaan osittaiseen-, yhteen- tai useampaan OFDM-symboliin. OFDM-symboli voi sisältää enemmän kuin yhden koodisanan.



Kuva 6. NCP-lohkojen ja koodisanojen sijoittuminen OFDM-symboliin.

Koodisanojen lukumäärää per OFDM-symboli ei voi kuvata kokonaisluvulla, koska koodisana voi ”ylivuotaa” yhdeltä OFDM-symbolilta toiselle. Aina kun uusi koodisana lisätään OFDM-symboliin, lisätään siihen myös uusi NCP-lohko osoittamaan mistä koodisana alkaa. NCP-osoittimet luetaan ylhäältä alaspäin ja niiden osoittamat koodisanat alhaalta ylöspäin. NCP-lohkojen eheys tarkistetaan CRC-sekvenssillä (Cyclic Redundancy Check). [27]

3.3.2 Upstream

Paluusuunnalla DOCSIS 3.1 käyttää OFDMA-tekniikkaa (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). OFDMA-tekniikassa yhden symbolin aikana voi monta lähdettä lähettää dataa eri alikantoaalloilla samanaikaisesti. Synkronoinnin on oltava erittäin tarkkaa sekä aika- että taajuustasossa. [27]

”Minislotien” toimintaa ei enää määritellä aikayksikön ”Tick” avulla, vaan ”minislot” on joukko symboleita ja alikantoaaltoja. Paluusuunnalla DOCSIS 3.1 mahdollistaa eri modulaatiot eri ”minisloteille”. Koska yksittäinen ”minislot” levittäytyy useammalle alikantoaallolle, on tietyn ”minislotin” sisällä käytettävä samaa modulaatiota. MAP-viestien IUC-koodit (Interval Usage Code) mahdollistavat eri kaapelimodeemien käyttävän eri modulaatioita samanaikaisesti CMTS:n ohjaamana. [15, s. 49] MAP-viesti ilmaisee mitä ”minislotia” ja modulaatiota tietty kaapelimodeemi voi käyttää lähetykseen. MAP-viestit kuvaavat ”annoksen” ”minisloteja” kerrallaan. MAP-viestin kuvauksen ei tarvitse rajoitua OFDMA-kehysten sisäpuolelle, vaan se voi alkaa tai päättyä missä kohtaa kehystä tahansa, kuitenkin niin, etteivät kuvatut alueet mene päällekkäin.

Loogisia paluukanavia on määritelty 5 eri päätyyppiä. Jokainen paluukanavatyyppejä tukee tiettyä DOCSIS-versiota tai versioiden yhdistelmää. Loogiset paluusuunnan kanavat kuvataan UCD-viesteissä, joita CMTS lähettää määrätyn aikavälein. UCD-viestissä kerrotaan, paljonko alikantoaaltoja on käytössä, mitkä alikantoaallot on poistettu ja mitkä ovat käyttämättöminä sekä minkälainen on OFDMA-kehysten rakenne. Kaapelimodeemi lähettää CMTS:n ohjaamana ”luotaus” sekvenssejä eri alikantoaalloilla, myös käyttämättömillä alikantoaalloilla, joiden avulla tutkitaan OFDMA-signaalin laatua.

Kun kaapelimodeemi tietää mitä ”minislotia” se voi käyttää, tarvitaan vielä tieto käytettävästä modulaatiosta. IUC-koodien avulla kaapelimodeemit voidaan ryhmitellä käyttämään tiettyä profiilia. CMTS voi näin tarjota matalamman modulaation ”minisloteja” kaapelimodeemeille, joilla on heikompi paluusuunnan SNR. Modulaatiotyyppi määritetään ”minislot”-kohtaisesti. Jotta CMTS voi demoduloida tietyn kaapelimodeemin tuottaman OFDMA-purskeen ja lukittua siihen, täytyy ”minislotin” sisältää riittävästi pilotteja. [27]

Paluusuunnan pilotit ovat BPSK-moduloituja signaaleja. CMTS:n vastaanotin mukautuu kanavan ominaisuuksiin ja taajuuspoikkeamaan pilottien avulla [8, s. 114]. ”Minislot” voi

olla joko 8- tai 16- alikantoaallon levyinen. Molempiin ”minislot”-leveyksiin on määritetty useita erilaisia pilottikuvioita, joissa kuvataan pilottien sijainti ”minislotin” sisällä. Pilottikuviot eroavat toisistaan pilottien lukumäärän ja sijainnin suhteen. CMTS voi eri pilottikuvioiden avulla optimoida suorituskykyään esim. taajuuden SNR-vaihteluiden mukaan. [8, s. 115]

Paluusuunnan data segmentoidaan ja suojataan FEC-virheenkorjauksella jossa käytetään, samoin kuin myötäsuunnallakin, LDPC-koodeja [8, s. 40]. DOCSIS 3.1 käyttää paluusuunnalla kolmea eripituista LDPC-koodisanaa, joissa jokaisessa pariteettibittien prosentuaalinen osuus kokonaisbittimäärästä on eri. Tietyissä purskeissa käytettävä koodisanan koko valitaan MAP-viestin mukana tulevan lähetyksluvan perusteella. Datasegmentin on oltava tietyn mittainen, jotta se voidaan syöttää LDPC-kooderille. Tarvittaessa segmenttiin lisätään täytebittejä [8, s. 57].

CMTS voi yhdistellä saumattomasti OFDMA- ja perinteisiä SC-QAM-purskeita tarpeen mukaan. OFDMA ja SC-QAM voivat toimia samanaikaisesti eri taajuuksilla tai samalla taajuudella aikajakoisesti. Tämä mahdollistaa maksimaalisen spektrin käytön ja samalla taaksepäin yhteensopivuus säilyy, jolloin voidaan joustavammin siirtyä kohti puhdasta DOCSIS 3.1-järjestelmää. [15, s. 63]

3.4 Hajautettu CCAP

CMTS-alusta on ajan myötä kehittynyt askeleittain. Yksi ensimmäisiä kehitysaskelaita oli modulaarisen arkkitehtuurin luominen, jossa myötäsuunnan fyysinen kerros erotettiin ja siirrettiin erilliseen EdgeQAM-laitteeseen. Seuraava iso askel CMTS-alustan evoluutiossa oli CCAP (Converged Cable Access Platform). [28, s. 16] CCAP yhdistää CMTS:n, kytkennän ja reitityksen sekä QAM-toiminnallisuudet siten, että data-, video- ja äänitoimintoja voidaan käsitellä IP-liikenteenä ennen niiden muuttamista RF-muotoon tai optiseksi signaaleiksi [28, s. 14].

Jorge Salinger kirjoittaa artikkelissaan miksi CCAP-arkkitehtuuria tarvitaan. Hyötyä voidaan saavuttaa suunnittelun, verkko-arkkitehtuurin, hankintakustannusten ja operatiivisesta näkökulmasta. Suunnittelun kannalta merkittävä etu saadaan tilan säästöllä kun samanaikaisesti kapasiteettia voidaan kasvattaa. Säästöä syntyy pienempien jäähdytyskustannuksien myötä sekä pienemmän tehonkulutuksen johdosta, joka myös parantaa olemassa olevien sähkönvarmistusjärjestelmien suorituskykyä. Verkkoarkkitehtuurin näkökulmasta katsottuna kaapeloinnin määrää saadaan minimoitua, kun sekä video- että DOCSIS-palveluita voidaan ajaa saman alustan kautta. Hankintakustannukset ovat pienemmät erityisesti myötäsuunnan kanavien suhteen. Operatiiviselta kannalta on paljon vähemmän ylläpidettävää ja hallittavaa laitteistoa, lyhempi huoltoikkuna sekä mahdollisuus muuttaa QAM-kanavatyyppäjä konfiguraation kautta ilman laitteistomuutoksia. CCAP:n suurim-

mat haasteet ovat Salingerin mukaan operatiivisella puolella eli miten hoidetaan eri palveluiden ylläpitotoimenpiteet ja viankorjaus niin, että ne eivät vaikuta muiden palveluiden toimintaan. [36]

QAM-kanavia voidaan käyttää joustavasti erityyppisissä videopalveluissa sekä DOCSIS-pohjaisissa datapalveluissa. Uutena ominaisuutena on, että konfigurointirajapinta on yhteinen. Erilliset QAM-kanavaryhmät voidaan toteuttaa tehokkaasti narrowcast- ja broadcast-sovelluksille esimerkiksi siten, että narrowcast palveluiden QAM-kanavista on yksilöllinen toteutus jokaisessa RF-portissa ja broadcast-palveluiden käyttämät QAM-kanavat voidaan jakaa jokaisen myötäsunnan linjakortin porttien kesken. Erilaisia narrowcast- ja broadcast-QAM-kanavien kombinaatioita voidaan toteuttaa eri RF-porteille CCAP-konfigurointirajapinnan kautta ilman monimutkaisia muutoksia RF-kytkentöihin.

CCAP-alusta hyödyntää olemassa olevaa teknologiaa ja sen odotetaan tukevan myös tulevaisuuden teknologioita kytkettävien- tai vaihdettavien komponenttien avulla. Alustaa voidaan päivittää ja ottaa uusia teknologioita käyttöön asentamalla uusia- tai korvaamalla vanhoja komponentteja. Ohjelmistoympäristön modularisointi antaa mahdollisuuden päivittää tiettyjä palveluita ilman vaikutusta muihin palveluihin. Palveluiden osittaminen auttaa myös varmistamaan, että mahdolliset ohjelmisto-ongelmat tiettyjen palveluiden toteutuksissa eivät välttämättä vaikuta muiden palveluiden toimintaan. [29, s. 10]

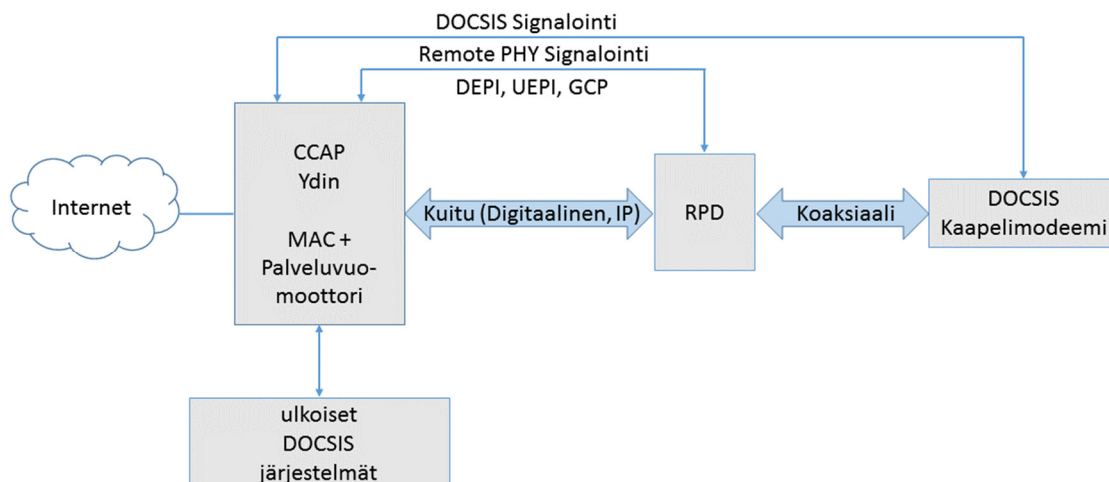
Hajautetut CCAP-toteutukset voivat tuoda merkittäviä lisäetuja tiettyihin HFC-verkko ympäristöihin. Hajautettuja CCAP-arkkitehtuuri ratkaisuja on useita erilaisia, mutta perusideana kaikissa on siirtää joitain tai kaikki CMTS-/CCAP-laitteiston toiminnot lähemmäs loppuasiakasta samaan paikkaan, jossa kuitunode sijaitsee. Se mahdollistaa korkeamman fyysisen kerroksen suorituskyvyn, jota tarvitaan DOCSIS 3.1-toteutuksissa ja vähentää tilan ja tehon tarvetta päävahvistinasemalla. Seuraavassa tarkastellaan lähemmin Remote PHY- ja Remote MAC PHY-variaatioita. Remote PHY- ja Remote MAC PHY-arkkitehtuurien lisäksi on olemassa mm. Split-MAC-arkkitehtuuri sekä useita erilaisia C-DOCSIS-arkkitehtuuri variaatioita (China-DOCSIS).

3.4.1 Remote PHY

Remote PHY-järjestelmässä integroitu CCAP on jaettu kahteen erilliseen komponenttiin. CCAP-ydin on omana erillisenä laitteenaan ja toisena on Remote-PHY eli RPD-laite (Remote Physical layer Device). CCAP-ytimeen kuuluu CMTS-ydin DOCSIS MAC- ja palveluvuotoimintoja varten ja EdgeQAM-ydin, videosignaalin prosessointiin. Remote PHY-laitteessa on pääosin fyysisen kerroksen toimintoja kuten myötäsunnan QAM-modulaattorit, paluusuunnan QAM-demodulaattorit ja pseudowire-tunnelointilogiikka (DEPI, UEPI) CCAP-ytimelle liittymistä varten. [28, s. 21] CCAP-ytimen ja RPD-laitteen välillä kulkee lisäksi GCP-signaalia. RPD-laite toimii orjalaitteena CCAP-ytimelle. CCAP-ydin ohjaa RPD-laitetta GCP-protokollan (Generic Control Plane) avulla.

GCP on geneerinen ohjaustason protokolla, joka toimii master- ja slave- yksiköiden välillä. Master-yksikkönä toimiva CCAP-ydin käynnistää luku- ja kirjoitus operaatiot RPD-laitteelle, joka toimii slave-yksikkönä. GCP-slave-yksikkönä toimiva laite voi lähettää viestejä saadakseen master-yksiköltä huomiota. [28, s. 26]

CCAP-ytimeistä on rajapinnat ulkoisille DOCSIS- järjestelmille. Kuvassa 7 on kuvattu Remote PHY järjestelmän rakennetta.



Kuva 7. Remote PHY-järjestelmän rakenne [30, s. 25].

Siirtämällä myötäsunnan fyysisen kerroksen toimintoja lähemmäs tilaajaa, pyritään parantamaan verkon suorituskykyä. Lyhempi RF-osuus signaalitiellä vähentää häiriöitä sekä pienentää signaalin vaimenemista, joka näkyy suoraan parempina BER- ja SNR-arvoina ja mahdollistaa sitä kautta korkeampien QAM-modulaatioiden käyttämisen. [28, s. 16] Täysin digitaalisen IP-verkon jatkamisesta syvemmälle verkkoon on hyötyä kustannusten, yksinkertaisemman operoinnin ja paremman suorituskyvyn kannalta [28, s. 24]. Remote PHY-teknologiassa HFC-verkon kuituosuus perustuu digitaaliseen IP-pohjaiseen tiedonsiirtoon, joka käyttää jotakin kantataajuista verkon siirtoteknologiaa. Mahdollisia teknologioita ovat esim. Ethernet, EPON (Ethernet over Passive Optical Network) tai GPON (Gigabit Passive Optical Network). Yleensä RPD on integroitu kuitunode-laitteeseen, joka sijaitsee optisen- ja koaksiaaliverkon rajalla. [30, s. 9]

Klassinen HFC-verkko käyttää lineaarioptiikkaa, jossa koaksiaaliverkon RF-spektri moduloidaan optisille aallonpituuksille. Tämäntyyppisessä verkossa voidaan kuljettaa vain RF-moduloitua signaalia, kuten QAM- tai OFDM- signaalit. Klassisen HFC-verkon muunnelmassa käytetään digitaali-optiikkaa paluusuunnalla. RF-spektri digitoidaan kuitunodella ja lähetetään päävahvistinasemalle, jossa se muutetaan takaisin analogiseksi signaaliksi CMTS:n vastaanottoa varten. Tässäkin tekniikassa kyse on tavallaan HFC-verkon lineaarioptiikasta, koska sen toiminta on läpinäkyvää siirtolinjan kannalta ja siirrettävä signaali on yhä QAM- tai OFDM- moduloitua. [30, s. 23-24] Uusissa HFC-verkon

arkkitehtuureissa voidaan verkon optisella osuudella käyttää mitä tahansa kuituyhteensopivaa käytettävissä olevaa kantataajuisia verkkotekniikkaa. Digitaali-optinen IP-pohjainen linkki voidaan kytkeä suoraan CCAP-ytimen ja etäpäähän kuitunoden väliin koaksiaalisen verkonosan pysyessä samana. [30, s. 24]

CMTS-ytimen MAC-kerros ja eri RPD-laitteet yhdistetään toisiinsa pseudowire-linkkeillä. Pseudowire-linkit toteutetaan L2- tai L3-yhteysverkon päälle DEPI-tunneleilla. DEPI on myötäsuunnan IP-tunneli joka kuljettaa DOCSIS-kehysiksi ja MPEG-paketteja sekä istuntojen ohjausdataa MAC-kerroksen ja RPD-laitteen välillä. [28, s. 25]

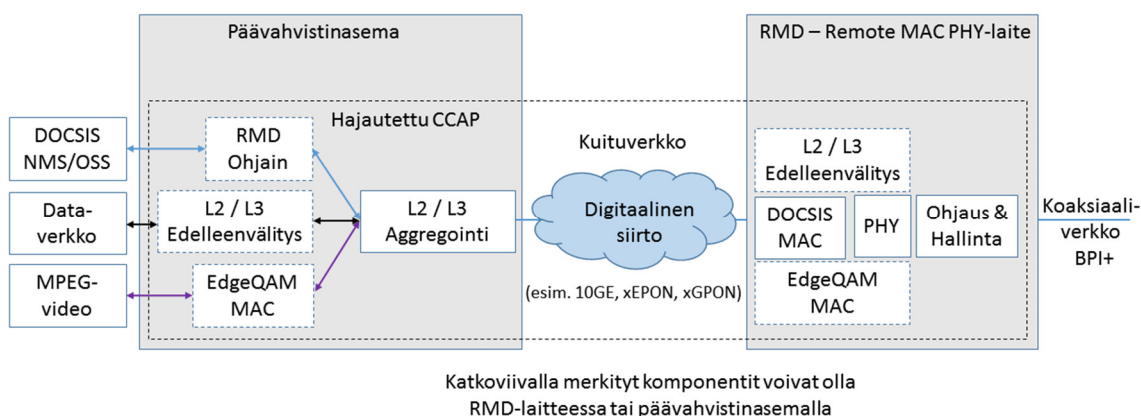
Paluusuunnalla RPD-laite ja CCAP-ydin yhdistetään UEPI-tunnelilla (Upstream External PHY Interface). Samoin kuin DEPI myös UEPI on pseudowire-linkki, joka sisältää sekä data- että kontrollipolut istuntoja varten. UEPI kuljettaa RPD-laitteen vastaanottamat ja demoduloimat DOCSIS-kehukset CCAP-ytimelle prosessoitavaksi. RPD-laite ei tarjoa paluusuunnan DOCSIS-prosessointia yhtä poikkeusta lukuunottamatta: RPD poimii kais-tanpyyntikehukset DOCSIS-virrasta ja lähettää ne erillistä pseudowire-linkkiä pitkin siten, että ne saavat datakehysiksi korkeamman prioriteetin. [28, s. 26]

Remote PHY-järjestelmän synkronointi hoidetaan sille standardoidun R-DTI-rajapinnan (Remote DOCSIS Timing Interface) kautta. Myötä- ja paluusuunnan fyysisen kerroksen toiminnot sijaitsevat samassa paikassa eli RPD-laitteessa ja niitä ohjataan yhteisellä kellolla. Paluusuunnan ajoitus ja MAP-viestien generointi on osa MAC-kerroksen toimintaa ja tapahtuu CMTS-ytimessä. CMTS-ytimellä ja RPD-laitteella pitää olla yhteinen tieto DOCSIS-ajasta. R-DTI hyödyntää PTP-protokollaa (Precision Time Protocol), joka korvaa M-CMTS-järjestelmissä käytetyn DTI-infrastruktuurin. [28, s. 28]

Remote PHY-arkkitehtuuri edellyttää, että suuri määrä IP-verkossa liikennöiviä RPD-laitteita sijoitetaan eri puolille verkkoa suhteellisen matalan turvatason paikkoihin kuten esim. katujakokaappeihin. Tämä vaarantaa verkon lukuisille turvallisuushille, kuten verkon luvaton käyttö, asiakkaan yksityisyyttä vastaan tehdyt hyökkäykset tai itse verkkoa vastaan tehtävät palvelunestohyökkäykset. Näiden uhkien minimoimiseksi voidaan käyttää RPD-laitteen autentikaatiota, CCAP-ytimen ja RPD-laitteen keskinäistä autentikointia ja niiden välisten ohjaus- ja datapolkujen suojausta. [28, s. 27]

3.4.2 Remote MAC PHY

Remote MAC PHY-ratkaisussa, jonka rakenne on esitetty kuvassa 8, DOCSIS MAC- ja PHY-kerroksen toiminnot siirretään kuitunoden sijaintipaikkaan [28, s. 21]. Erilaiset Remote MAC PHY-variantit eroavat toisistaan RMD-laitteeseen (Remote MAC-PHY Device) sisällytettyjen lisätoimintojen osalta, mutta DOCSIS MAC- ja PHY-kerrosten toiminnot ovat aina yhdessä ja sijaitsevat RMD-laitteessa. [31, s. 13] Tuettujen myötä- ja paluukanavien lukumäärät sekä käytettävät kanavataajuudet voivat vaihdella eri toteutuksissa. Tärkein komponentti Remote MAC PHY-arkkitehtuurin ratkaisussa on itse RMD-laitte, joka korvaa HFC-verkon perinteisen analogisen kuitunode-laitteen. [28, s. 30]



Kuva 8. Remote MAC PHY-järjestelmän osat ja rakenne [31, s. 13].

Aggregointilaitte kerää yhteen tietovirtoja eri palveluista. DOCSIS-toimintojen tuki- ja hallintajärjestelmien liikenne (OSS, NMS), data ja video kulkevat aggregointilaitteen kautta RMD-laitteelle. Myötäsunnalla RMD-laitte ottaa vastaan dataa aggregointilaitteelta, jossa eri palveluiden tietovirrat kerätään yhteen. Paluusuunnalla RMD-laitte kerää siihen liittyvien kaapelimodeemien lähettämän datan ja edelleenvälittää sen päävahvistin-/keskitin aseman aggregointilaitteelle. Aggregointilaitte voi sisältää L2- ja/tai L3-kytkimen, PON OLT-laitteen (PON, Passive Optical Network; OLT, Optical Line Termination) tai vastaavaa tekniikkaa. Tyypillisiä liitännästyyppejä joita käytetään aggregointi- ja RMD-laitteiden yhdistämiseen ovat Ethernet- tai erilaiset PON-linkkiteknologiat. RMD-laitteessa voi olla tuki CMTS L2-/L3-edelleenvälitys komponentille. Jos tukea ei ole, kaikki dataliikenne tunneloidaan päävahvistin-/keskitinaseman L2-/L3-komponentille, joka tekee edelleenvälitysratkaisut. [28, s. 30]

Remote MAC PHY-järjestelmässä videosignaalin lähetys voidaan tehdä kahdella eri tavalla. Remote EdgeQAM-järjestelmässä molemmat, sekä video- että datatoiminnot on siirretty etäpäähän kuitunoden sijaintipaikkaan. Video ja data siirretään kerroksen 2 Ethernet linkillä kuten mikä tahansa IP-pohjainen liikenne. Split EdgeQAM-järjestelmässä videosignaalin EdgeQAM-ytimen MAC-toiminnot tapahtuvat päävahvistin- tai keskitinasemalla ja EdgeQAM PHY-toiminnot ovat RMD-laitteessa. Videosignaalin MPEG-pa-

ketit prosessoidaan päävahvistinasemalla EdgeQAM-ytimen toimesta ja etäpäähän kuitunodelaitteeseen integroitu RMD-laite hoitaa videon moduloinnin kaapeliin. [31, s. 20-21]

Kaikkien Remote MAC PHY-laitteiden oletetaan sisältävän hallintayksikön, jonka kautta erilaisten konfiguroitavien ominaisuuksien hallinta voidaan tehdä ja jonka kautta ylläpito- ja diagnostiikka informaatio saadaan DOCSIS-hallintajärjestelmälle. Tällä hetkellä ei ole olemassa standardoitua hallintarajapintaa RMD-laitteelle vaan hallintamekanismit käyttävät valmistajakohtaisia hallintaobjekteja ja protokollia. [28, s. 30]

Remote MAC PHY-järjestelmän turvallisuusarkkitehtuuri on samanlainen kuin Remote PHY-järjestelmässä ja käytössä on paljon samoja mekanismeja. Tietyiltä osin turvallisuusominaisuuksissa ja toiminnoissa on eroavuuksia. Remote MAC PHY-järjestelmässä BPI+ (Baseline Privacy Plus) salaa käyttäjän liikenteen vain kaapelimodeemin ja RMD-laitteen välillä koska CMTS MAC-kerroksen toiminnot on siirretty CCAP-ytimestä RMD-laitteeseen. Salattu BPI+-linkki luodaan laitteiden välille käyttämällä digitaalista PKI-varmennetta (Public Key Infrastructure). Käyttäjien sekä L3-tason hallinta- ja ohjausliikenne RMD-laitteen ja päävahvistinaseman aggregointilaitteen välillä turvataan IP-sec-protokollan (Internet Protocol Security) avulla. [28, s. 32]

4. HALLINTATYÖKALU

Tämän diplomityön hallintatyökalun vaatimusmäärittelyosa liittyy Telesten DAH100-tuotteeseen (DOCSIS Access Hub). Kuvassa 9 on Telesten valmistama DAH100-laite, joka edustaa hajautettua Remote MAC PHY-arkkitehtuuria. Se kykenee tarjoamaan CMTS-toiminnot n. 200 modeemin verkkosegmentille ja on yhteensopiva DOCSIS/EuroDOCSIS 2.0- ja 3.0- versioita tukevien modeemien kanssa. Nopeus voi myötäsunnalla olla 800 Mbps kun käytössä ovat kaikki 16 kanavaa ja 256-QAM modulaatio. Paluusuunnalla päästään parhaimmillaan 120 Mbps nopeuksiin 64-QAM modulaatiolla ja 4:llä paluukanavalla.



Kuva 9. Teleste DAH100

4.1 Perinteisen vs. hajautetun järjestelmän ylläpito

Tavanomaisia ylläpitotoimia CMTS-ympäristössä ovat viankorjaukseen liittyvät toimenpiteet sekä kapasiteetin laajentamiseen liittyvät solunjako-operaatiot. CMTS:ltä käsin voidaan tarkastella esimerkiksi kaapelimodeemien linja-arvoja, eri tiloissa olevien modeemien lukumääriä ja node-alueen paluu- ja myötäsunnan SNR-arvoja. Näiden tietojen pohjalta voidaan saada käsitys node-alueen verkon tilasta.

Tyypillinen viankorjausprosessi alkaa siitä, kun asiakas tekee vikailmoituksen toimimattomasta tai huonosti toimivasta palvelusta. Kaapelimodeemin MAC-osoitteella tietyn kaapelimodeemin tietoja voidaan tarkastella lähemmin. CMTS pitää kaapelimodeemin viimeistä tilatietoa rekistereissään tietyn ajan vielä sen jälkeen kun kaapelimodeemi on

pudonnut linjalta. Tämän ominaisuuden avulla voidaan havaita laajempia vikoja, kun esimerkiksi joukko kaapelimodeemeita on pudonnut linjalta samaan aikaan. Tyypillisiä laajempia vikoja ovat vahvistinviat, joissa vahvistimen takana oleva verkko pimenee, tai kaapelin tai kuitulinkin katko, joka on tullut esimerkiksi tietyllä alueella tehtävien kaivuutöiden seurauksena. Sähkökatkot aiheuttavat verkon palveluihin yleensä hetkellisiä katkoja, mutta toisinaan sähkökatko saattaa myös rikkoa KTV-verkon laitteita, jolloin viankorjaus saattaa olla haastavaa.

Hyvin tyypillisiä verkkovikoja ovat myös paluusuunnan kohinaviat, joissa paluusuunnan kanavien taajuusalueella pohjakohina nousee ja sen seurauksena signaalikohinasuhde heikkenee. Signaalikohinasuhteen pudotessa konfiguraatiossa määritellyn tason alapuolelle CMTS muuttaa modulaatioprofiilia paremmin kohinaa sietävään yksinkertaisempaan modulaatiomuotoon. Yksinkertaisemmalla modulaatiolla paluukanavan tiedonsiirtonopeus heikkenee, joka näkyy puolestaan asiakkailta hitaampina yhteyksinä. Isompien kohinavikojen jäljille päästää usein yksittäisen asiakkaan vikailmoituksen kautta kaapelimodeemin linja-arvoja tarkasteltaessa.

Jotta kaapelimodeemin linja-arvoja päästään tutkimaan, tarvitaan tieto siitä, mikä CMTS-järjestelmä kaapelimodeemia palvelee. Operaattoreilla saattaa olla verkkoja useilla paikkakunnilla ja CMTS-järjestelmien määrä voi vaihdella paikkakunnan koon mukaan. Verkot joissa alueen tai paikkakunnan asiakkaita palvelee yksi CMTS, ei ole ongelmaa, mutta isoissa kaupungeissa voi palveluntarjoajalla olla useita CMTS-järjestelmiä. Tieto siitä, minkä CMTS:n takana minkäkin alueen kaapelimodeemit ovat tai ovat viimeksi olleet, on hankalampi löytää ilman jonkinlaista keskitettyä järjestelmää. Palveluntarjoajalla voi olla käytössään keskitetty järjestelmä, jonka kautta voidaan tehdä hakuja asiakkaan tietojen tai MAC-osoitteen perusteella.

Perinteisissä järjestelmissä edellä mainittu ongelma on kuitenkin vielä melko vähäinen, koska yksi CMTS-laite palvelee useita tuhansia asiakkaita ja siksi niitä on lukumääräisesti melko vähän. Hajautetussa Remote MAC PHY järjestelmässä perinteinen node-laite korvataan Remote MAC PHY-laitteella, joka palvelee huomattavasti pienempää asiakasmäärää. Seurauksena on, että CMTS-toiminnot siirtyvät eri puolille verkkoa ja samalla CMTS-laitteiden määrä kasvaa. Järjestelmän hallinta ja ylläpito on helpompaa, jos olemassa on keskitetty järjestelmä, jonka kautta tietoa voidaan tarvittaessa hakea ja laitteiden tilaa tutkia sekä tehdä tarvittaessa konfiguraatiomuutoksia.

Kapasiteetinlaajennus perinteisessä, esimerkiksi M-CMTS järjestelmässä, hoidetaan solun alueen jakamisella osiin tai kanavia lisäämällä. Solun osiin jakamisella solukohtainen asiakasmäärä saadaan pienemmäksi, jolloin kaistaa on jakamassa vähemmän kaapelimodeemeita. Kanavien lisääminen on toinen tapa tuoda soluun lisää kapasiteettia. Se voi olla joskus nopeampi ja helpompi tapa tuoda ainakin väliaikaista helpotusta ruuhkaiseen soluun. Solun jakaminen vaatii joskus isoja muutoksia verkon koaksiaaliosuuden raken-

teeseen ja uusille node-laitteille tarvitaan lisäksi kuituyhteydet, joiden toteuttaminen vaatii yleensä kaivuutöitä. Lisäkanavien toteuttamiseen voidaan käyttää CMTS-/EdgeQAM-laitteiden mahdollisesti vapaana olevaa kapasiteettia tai ottamalla käyttöön uusia linjakortteja ja EdgeQAM-laitteita mikäli niille on tilaa. Vapaana oleva kapasiteetti saadaan nopeasti käyttöön konfiguraatiomuutoksilla, joka parantaa myös laitteiston käyttöastetta. Perinteisissä järjestelmissä tarvitaan ennemmin tai myöhemmin solujakojen ja kapasiteettilaajennusten vuoksi lisää tilaa päävahvistinasemalla uusia laitteistoja varten. Tilanpuute saattaa olla merkittävä haaste palveluntarjoajalle.

Kapasiteetin laajentaminen Remote MAC PHY arkkitehtuurin järjestelmässä menee samaan tapaan koaksiaaliverkon ja kuituyhteyden osalta. Uutta Remote MAC PHY laitetta varten tarvitaan kuituyhteydet ja jaettavaan koaksiaaliverkkoon on tehtävä tarvittavat muutokset. Koaksiaaliverkon osalta on solujaossa huomioitava, että tehon syöttö on järjestetty kaikille verkon vahvistimille. Tilantarve päävahvistinaseman laitteille on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin perinteisessä järjestelmässä.

4.2 Järjestelmien vertailu

Perinteisiä CMTS-arkkitehtuureja on kahta eri tyyppiä: I-CMTS ja M-CMTS. Molemmilla arkkitehtuureilla on sekä hyviä että huonoja ominaisuuksia. I-CMTS-arkkitehtuurin etuna on yhteen runkoon integroidut toiminnot. Toimintojen integrointi samaan runkoon vähentää kaapelointitarvetta, jolla on suora vaikutus myös luotettavuuteen kun mahdollisten vikapaikkojen määrä vähenee. Myös järjestelmän hallinta on helpompaa kun toiminnot ovat samassa rungossa. I-CMTS-arkkitehtuurin heikkoutena on skaalautuvuus. Myötä- ja paluusuunnan kanavamääriä suhteessa toisiinsa ei voi vapaasti määrittellä.

M-CMTS-arkkitehtuuri on I-CMTS-arkkitehtuuria monimutkaisempi. Se vaatii toimiakseen ulkoisia apulaitteita. Myötäsuunnan kanavat siirretään CMTS-laitteesta EdgeQAM-laitteelle, jossa signaali muutetaan RF-muotoon. Lisäksi tarvitaan ulkoinen aikapalvelin, joka syöttää kellosignaalia sekä CMTS:lle että EdgeQAM-laitteelle, jotta ne saadaan tarkasti synkronoitua keskenään. Kytkenät ulkoisiin apulaitteisiin lisäävät mahdollisten vikapaikkojen määrää ja järjestelmän monimutkaisuutta sekä hankaloittavat ylläpitoa. M-CMTS-arkkitehtuurin etuna on kanavien skaalautuvuus. Myötä- ja paluusuunnan kanavamäärät eivät ole riippuvaisia toisistaan.

Tavallaan I-CMTS- ja M-CMTS-arkkitehtuurit ovat toistensa vastakohtia. Toisen järjestelmän heikkous on toisen vahvuus. Tutkimuksen mukaan, johon viitataan luvussa 3.1, M-CMTS-arkkitehtuuri säästää investointikustannuksia verrattaessa I-CMTS-arkkitehtuurin järjestelmään. Voidaan sanoa, että M-CMTS-arkkitehtuurin edut ovat haittoja suuremmat.

Hajautetut CCAP-arkkitehtuurit, Remote PHY ja Remote MAC PHY, eroavat toisistaan DOCSIS MAC-toimintojen sijainnin osalta. DOCSIS MAC-toimintojen sijainnilla on

merkitystä järjestelmän toiminnan kannalta lähinnä signaloinnin suhteen. Remote PHY järjestelmässä tarvitaan dataliikenteen lisäksi DOCSIS- ja ohjaus-signaalia CCAP-ytimen ja Remote PHY-laitteen välillä. Remote MAC PHY-järjestelmässä vastaavaa signaalia ei tarvita, kun molemmat toiminnot sijaitsevat Remote MAC PHY-laitteessa. Remote PHY vaatii referenssikellon CCAP-ytimen ja etäpään välille. Remote MAC PHY järjestelmässä referenssikellolle ei ole tarvetta. Hallinnan ja ylläpidon kannalta Remote PHY saa etua, kun DOCSIS MAC toiminnot on keskitetty. Remote MAC PHY-järjestelmän hallinta on hankalampaa kun DOCSIS MAC-toiminnot on hajautettu eri sijainteihin.

4.3 Vaatimusmäärittelyn yleiskuvaus

Vaatimusmäärittely on uuden ohjelmiston laatimisen ensimmäisiä vaiheita. Ketterässä ohjelmistotuotannossa ensimmäinen versio vaatimusmäärittelystä ei ole lopullinen, vaan siihen palataan uudestaan ja se tarkentuu projektin edetessä.

Hallintatyökalun tarkoituksena on saada keskitetty hallinta hajautetulle DAH100-järjestelmälle. Tällä hetkellä jokaiseen laitteeseen on avattava hallintayhteys erikseen. Hallintatyökalun avulla on tarkoitus mahdollistaa muutosten tekeminen yhden sovelluksen kautta kaikkiin palveluntarjoajan hallinnoimiin laitteisiin. Tarkoituksena on myös, että muutoksia voi tehdä useisiin laitteisiin samalla kertaa.

Hallintatyökalun kautta on ylläpidon tarkoitus päästä katsomaan kaapelimodeemien tietoja. Tätä toimintoa varten hallintatyökalu tarvitsee ulkoisen palvelimen apua, joka poltaa säännöllisesti verkon DAH100-laitteita ja päivittää kaapelimodeemi MAC-osoite/DAH100-sidokset tietokantaan. Hallintatyökalu hakee ensin tietokannasta tiedon minkä DAH100-laitteen takana kaapelimodeemi on ja sitten reaaliaikaiset tiedot oikealta DAH100-laitteelta. Konfiguraatiomuutokset tehdään hallintatyökaluun integroidun terminaaliohjelman kautta.

Hallintatyökalua käyttävät käyttäjryhmät ovat pääkäyttäjät (admin group), ylläpitäjät (install group), operatiiviset käyttäjät (oper group) ja vierailija käyttäjät (monitor group).

4.3.1 Käyttötarkoitus

Hallintatyökalusovelluksen tarkoitus on helpottaa hajautetun järjestelmän ylläpito- ja huoltotöitä. Graafisen käyttöliittymän kautta voidaan saada nopeasti käsitys järjestelmän tilasta. Käyttäjän oikeuksista riippuen, he voivat tehdä erilaisia toimenpiteitä järjestelmään hallintatyökalun avulla. Tietyt oikeudet omaava käyttäjä voi tehdä vain niitä toimenpiteitä, jotka on määritelty sen käyttäjryhmän oikeuksiin johon käyttäjä kuuluu. Tämä toteutetaan niin, että eri käyttäjryhmille näytetään vain ne käyttöliittymän näkymät joita käyttäjryhmällä on oikeus käyttää. Hallintasovelluksen kautta voidaan tehdä konfigurointeja kaikkiin DAH100-laitteisiin, jotka on liitetty järjestelmään. Muutoksia voidaan tehdä useisiin laitteisiin tai vain yhteen laitteeseen kerrallaan. Muutokset, jotka

tehdään useaan laitteeseen samalla kertaa, ajetaan laitteisiin tiedostoina. Yksittäisen laitteen kaikki konfiguroinnit tehdään hallintatyökalusovelluksen komentorivikäyttöliittymän kautta. Järjestelmää voidaan sekä konfiguroida että monitoroida hallintatyökalun avulla.

4.3.2 Käyttäjät ja toimintaympäristö

Hallintatyökalua käyttävät useat eri käyttäjäryhmät. Pääkäyttäjillä on täydet oikeudet tehdä konfiguraatiomuutoksia sekä lisätä sijainteja ja laitteita järjestelmään. Ylläpitäjät käyttäjäryhmällä on täydet oikeudet tehdä konfiguraatiomuutoksia järjestelmään. He eivät voi kuitenkaan lisätä tai poistaa laitteita järjestelmästä. Ylläpitäjät käyttäjäryhmällä ei ole myöskään oikeuksia muokata hakemistorakennetta. Operatiivisilla käyttäjillä, on rajoitetut oikeudet tehdä muutoksia järjestelmään. He voivat testata kaapelimodeemien toimintaa, pakottaa niitä käyttämään toista primäärikanavaa tai tehdä niille resetointi- ja deletointi-operaatioita. Vierailijakäyttäjillä on ainoastaan järjestelmän lukuoikeudet. Vierailijakäyttäjät voivat hakea ja tutkia kaapelimodeemien linja-arvoja.

Järjestelmä toimii palveluntarjoajan verkossa. DAH100-laitteet ovat kuitu- ja koaksiaali-verkon rajalla samassa paikassa, jossa perinteisesti sijaitsee node-laite. DAH100-laitteille on oma hallintaverkon IP-avaruutensa. Kaapelimodeemit saavat IP-osoitteensa ulkoiselta DHCP-palvelimelta, joka on palveluntarjoajan verkossa. Työasemalla, josta hallintatyökalua käytetään, pitää olla pääsy autentikointipalvelimelle, DAH100-laitteille sekä tietokantaan.

4.3.3 Liittymät muihin järjestelmiin

Järjestelmässä on työasemalla toimivan hallintasovelluksen lisäksi ulkoinen palvelinohjelmisto, joka tekee kyselyjä SNMP-protokollan avulla DAH100-laitteille. Kyselyjen avulla palvelinohjelmisto ylläpitää tietokantaa, jossa on tieto kaikista järjestelmän DAH100-laitteista ja niiden takana olevien kaapelimodeemien MAC-osoitteista. Palvelinohjelmisto ylläpitää tietokannassa sekä DAH100-laitteiden että kaapelimodeemien tilatietoja.

Hallintatyökalusovelluksen hakutoiminto tekee SQL-kyselyitä kaapelimodeemien MAC-osoitteiden perusteella tietokantaan. Tietokannasta haetaan tieto siitä, minkä DAH100-laitteen takana tietty kaapelimodeemi on. Kyselyn tuloksena saadun tiedon avulla päästään tutkimaan kaapelimodeemin linja-arvoja tarkemmin.

Käyttäjien autentikointi hallintatyökalusovelluksessa suoritetaan sovelluksen käynnistyttyä ja käyttäjän painettua käyttöliittymän Yhdistä-painiketta. Järjestelmässä olevien DAH100-laitteiden tiedot haetaan hallintatyökalusovellukseen vasta, kun autentikointipalvelin on todentanut käyttäjän. Käyttäjän tunnukset ja hallinta tehdään keskitetysti ja autentikointiin käytetään RADIUS-palvelinta.

4.4 Toiminnalliset vaatimukset

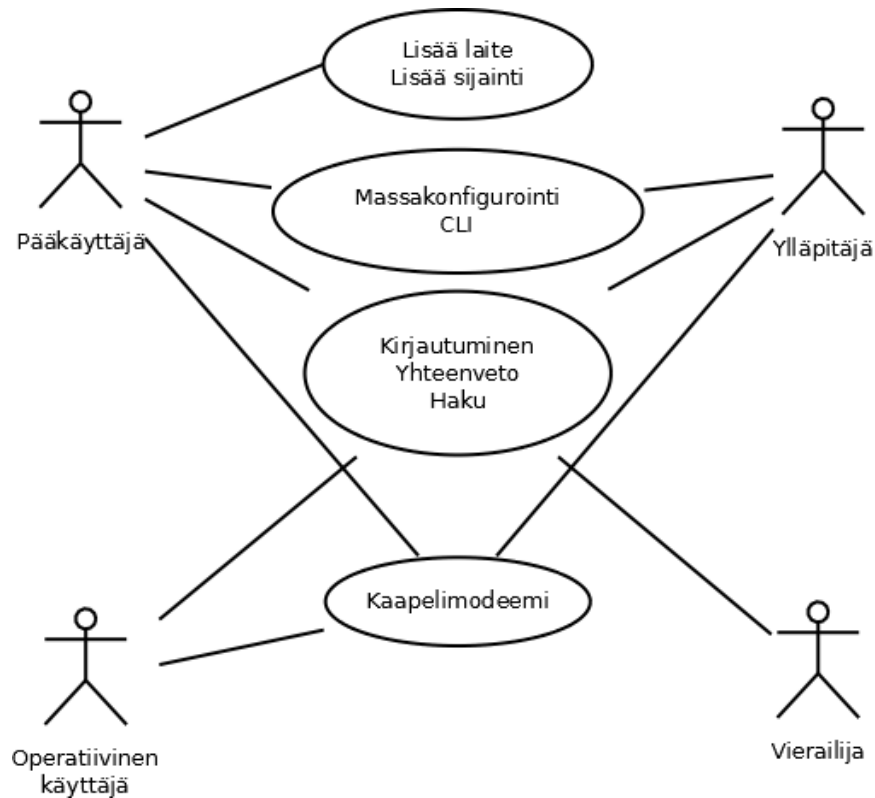
Hallintatyökalun käyttöliittymän on tarkoitus olla tarpeeksi yksinkertainen, jotta sen käyttö olisi helppo oppia. Hallintatyökalun avulla käyttäjä voi hallita DAH100-laitteista koostuvaa järjestelmää. DAH100-laitteet voidaan ryhmitellä hakemistorakenteeseen esimerkiksi sijaintipaikkojensa perusteella. Hallintatyökalu näyttää yksittäisen DAH100-laitteen tilatiedon hakemistorakenteessa. Jos laite ei vastaa kyselyihin, eikä siihen saada yhteyttä, muutetaan laitteen symbolia hakemistonäkymässä siten, että laitteen toimimattomuus voidaan sieltä helposti havaita.

Hallintatyökalussa on komentorivi-välilehti, jonka kautta DAH100-laitteiden konfigurointi tehdään. Graafisen käyttöliittymän kautta ei varsinaisia suoria konfigurointi toimenpiteitä voi laitteeseen tehdä. Graafisen käyttöliittymän kautta voidaan kuitenkin ajaa ohjelmistopäivitys tai konfiguraatitiedosto useisiin DAH100-laitteisiin samalla kertaa. Graafisen käyttöliittymän kautta voidaan katsella ja hakea tietoja sekä tehdä kaapelimodeemeille perus-operaatioita. Hallintatyökalulla voidaan toteuttaa seuraavassa luettelossa olevia toimenpiteitä.

- Käyttäjät kirjautuvat järjestelmään, kun hallintasovellus on käynnistynyt.
- Sijainteja voidaan lisätä/poistaa hakemistorakenteesta.
- DAH100-laitteita voidaan lisätä/poistaa järjestelmästä.
- DAH100-laitteita voidaan ryhmitellä halutulla tavalla hakemistorakenteeseen.
- Yksittäisiin DAH100-laitteisiin voidaan tehdä suoria konfigurointitoimenpiteitä komentorivikäyttöliittymän kautta.
- Massakonfigurointi toiminnolla voidaan konfiguroida useita laitteita samalla kertaa.
- Yksittäisen DAH100-laitteen yhteenvetotietoja voidaan tutkia.
- Hakutoimintoa voidaan käyttää kaapelimodeemin sijainnin selvittämiseksi.
- Kaapelimodeemin linja-arvoja voidaan tutkia.
- Kaapelimodeemeille voidaan tehdä perus-operaatioita (deletoi, resetoi, pingaa, taajuuspakota, lisätiedot).

4.4.1 Käyttötapauskaavio

Hallintatyökalua voivat käyttää useat eri käyttäjäryhmät. Käyttäjäryhmien käyttöoikeudet noudattavat hierarkiaa, jonka huipulla ovat pääkäyttäjät, jotka voivat käyttää kaikkia hallintatyökalun ominaisuuksia. Hierarkian pohjalla ovat vierailija käyttäjät, joilla on vain rajoitetut katseluoikeudet järjestelmän tietoihin. Ajatuksena on, että erilaisissa tehtävissä työskentelevät käyttäjät tarvitsevat erilaisia näkymiä järjestelmään. Kuvassa 10 on hallintatyökalun käyttötapauskaavio.



Kuva 10. Käyttötapauskaavio

Kaikkien käyttäjien on kirjauduttava järjestelmään, ennen kuin toimintojen käyttäminen on mahdollista. Pääkäyttäjä voi lisätä ja poistaa sijainteja ja laitteita järjestelmästä. Järjestelmän konfigurointia voivat tehdä pääkäyttäjä ja ylläpitäjä komentorivikäyttöliittymän CLI (Command-line Interface) kautta. Massakonfigurointeja voivat tehdä vain pääkäyttäjä ja ylläpitäjä. Kaapelimodeemi näkymää voivat käyttää kaikki paitsi vierailija käyttäjä. Yhteenvetonäkymään ja haku toimintoon pääsevät kaikki käyttäjätyypit kiinni.

4.4.2 Käyttäjätarinat

Käyttäjätarinoita (User Story) käytetään yleisesti ketterässä ohjelmistotuotannossa vaatimusten dokumentointimenetelmänä. Se on tavallaan työstetty versio käyttötapauksesta.

Käyttäjä lisää tai poistaa järjestelmästä laitteen (DAH100): Käyttäjä valitsee hakemistosta objektin aktiiviseksi, jonka alle hän haluaa lisätä uuden laitteen. Lisää laite-painikkeen painallus avaa ikkunan johon laitteen tiedot syötetään. Laitteelle annetaan nimi ja laite yhdistetään järjestelmään antamalla laitteen IP-osoite. Tallenna-painikkeen painamisen jälkeen laite ilmestyy hakemistorakenteeseen sen objektin alle, joka on aktiivisena. Laite voidaan poistaa järjestelmästä poistamalla se suoraan hakemistorakenteesta.

Käyttäjä hakee järjestelmästä kaapelimodeemia MAC-osoitteella: Käyttäjä syöttää hakukenttään tietyn kaapelimodeemin MAC-osoitteen ja painaa näppäimistön Enter-painiketta. Tietokantaan tehdään kysely siitä, mihin DAH100-laitteeseen kaapelimodeemi on tai on ollut viimeksi rekisteröityneenä. Hakutuloksena näytetään DAH100-laitteen tilatietoja, jonka takana kaapelimodeemi sijaitsee. Hakutuloksivulta voidaan hakea kaapelimodeemin tarkemmat tiedot päänäkymään Näytä tiedot-painikkeella tai siirtyä tarkastelemaan DAH100-laitetta tarkemmin Siirry laitteelle-painikkeella.

Käyttäjä deletoi kaapelimodeemin: Käyttäjä valitsee Kaapelimodeemi-välilehdeltä kaapelimodeemin, jonka rekisteröitymisen hän haluaa poistaa. Valinnan jälkeen Deletoi-painikkeen painallus poistaa kaapelimodeemin rekisteröitymisen DAH100-laitteelta ja kaapelimodeemi aloittaa uudelleenrekisteröitymisprosessin.

Käyttäjä resetoi kaapelimodeemin: Käyttäjä valitsee Kaapelimodeemi-välilehdeltä kaapelimodeemin, jonka hän haluaa resetoida. Valinnan jälkeen Resetoi-painikkeen painallus resetoi kaapelimodeemin, jolloin se käynnistyy uudelleen ja aloittaa uudelleenrekisteröitymisen.

Käyttäjä testaa kaapelimodeemin toimintaa ping-toiminnolla: Käyttäjä valitsee Kaapelimodeemi-välilehdeltä kaapelimodeemin, jota hän haluaa testata. Pingaa-painikkeen painallus käynnistää testauksen, jonka tulos näytetään erillisessä ikkunassa.

Käyttäjä taajuuspakottaa kaapelimodeemin toiselle primääritaajuudelle: Käyttäjä valitsee Kaapelimodeemi-välilehdeltä kaapelimodeemin, jonka hän haluaa taajuuspakottaa toiselle primääritaajuudelle. Taajuuspakota-painike avaa ikkunan, jonka alasetoalokossa ovat käytettävissä olevat myötäsunnan primääritaajuudet. Taajuusvalinnan jälkeen Pakota-painikkeen painaminen käynnistää pakotusprosessin, jossa kaapelimodeemi pakotetaan käyttämään toista primääritaajuutta.

Käyttäjä tutkii kaapelimodeemin linja-arvoja: Käyttäjä voi valita Kaapelimodeemi-välilehdeltä tietyn laitteen. Lisätiedot-painikkeen painallus hakee kaapelimodeemin reaaliaikaiset linja-arvot DAH100-laitteelta erilliseen ikkunaan.

Käyttäjä tutkii DAH100-laitteen kanavien tilaa: Käyttäjä valitsee tietyn DAH100-laitteen hakemistorakenteesta aktiiviseksi. Laitteen kanavien tilatiedot tulevat näkyviin Yhteen-veto-välilehdelle.

4.4.3 Tietoturva

Käyttäjien autentikointi tehdään ulkoista RADIUS-palvelinta käyttämällä. RADIUS-protokollan avulla voidaan käyttäjien autentikointi ja ”kirjanpito” tehdä keskitetysti. Käyttäjä autentikoidaan kirjautumisvaiheessa hallintatyökalun kautta. RADIUS-protokolla käyttää asiakas/palvelin mallia, jossa DAH100-laite on asiakkaan roolissa. DAH100-laite vastaa käyttäjien tietojen kuljettamisesta RADIUS-palvelimelle. RADIUS-palvelin on vastuussa käyttäjien autentikoinnista ja ”kirjanpidosta”. Transaktio DAH100-laitteen ja RADIUS-palvelimen välillä autentikoidaan jaetun salaisuuden menetelmällä (Shared Secret). Käyttäjän salasana kulkee salattuna DAH100-laitteen ja RADIUS-palvelimen välillä.

DAH100-laitteessa on kerroksella 2 toimiva kytkin. Kytkin tukee IEEE 802.1Q-standardia, joka määrittelee virtuaalilähiverkot (VLAN, Virtual Local Area Network). Virtuaalisia lähiverkkoja käytetään erottamaan OSI-mallin kerroksen 2 liikenne erillisiin Broadcast-toimialueisiin. Eri liikennetyypit voidaan erottaa omiin virtuaalisiin lähiverkkoihinsa, joka on tietoturvan kannalta hyvä asia. Virtuaalisten lähiverkkojen avulla voidaan esimerkiksi käyttäjien liikenne ja hallintaliikenne erottaa omiin virtuaalisiin lähiverkkoihinsa, jolloin kommunikaatio verkkojen välillä ei onnistu ilman reititystä.

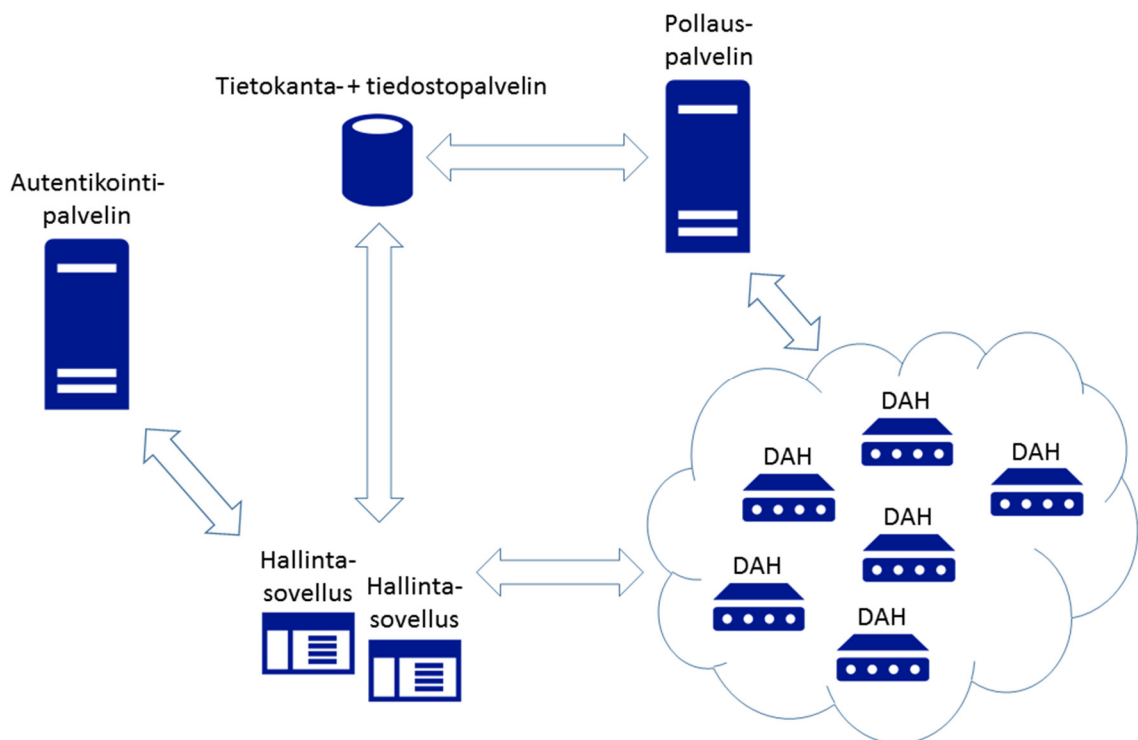
4.4.4 Ylläpidettävyys ja toimintavarmuus

Hallintatyökalusovellusohjelman rakenteen suunnittelussa olisi hyvä ottaa huomioon, että asiakkaalla (palveluntarjoaja) voi olla tarve integroida omien järjestelmiensä toimintoja hallintatyökalusovellukseen. Esimerkkinä asiakastietorekisterin osoitetiedot, jotka voitaisiin liittää asiakkaiden kaapelimodeemien MAC-osoitetietoihin. Hallintatyökalusovellusohjelma vaatii todennäköisesti adaptiivista- ja täydentävää ylläpitoa kun se otetaan käyttöön palveluntarjoajan järjestelmässä.

Järjestelmän toimintavarmuutta voidaan parantaa varajärjestelmien avulla. Järjestelmän verkossa olevia osia voidaan kahdentaa tai monistaa. Esimerkiksi tietokannan eri instanssit voivat replikoida keskenään, jolloin kaikilla instansseilla on täydet valmiudet toimia varajärjestelmän osana. Vikatilanteessa varalla oleva osa otetaan käyttöön.

4.4.5 Järjestelmän arkkitehtuurikuvaus

Kuvassa 11 on järjestelmän arkkitehtuurikuvaus. Hallintasovellus on yhteydessä DAH100-laitteisiin, autentikointipalvelimeen sekä tietokantaan. Pollauspalvelin käy kysymässä DAH100-laitteilta määrätyin aikavälein tietoja niille rekisteröityneistä kaapelimodeemeista ja päivittää tiedot tietokantaan. Hallintatyökalun hakupalvelu käyttää tietokantaa, jossa on tieto kaapelimodeemien ja DAH100-laitteiden välisistä sidoksista. Hallintatyökalusovellus hakee tietokannasta kaapelimodeemi/DAH100-laite sidoksien tiedot ja muut DAH100-laitetta tai kaapelimodeemeja koskevat tiedot suoraan DAH100-laitteilta. Autentikointipalvelimen avulla käyttäjät todennetaan hallintatyökalusovelluksen käynnistyessä.



Kuva 11. Järjestelmän osat ja suhteet toisiinsa.

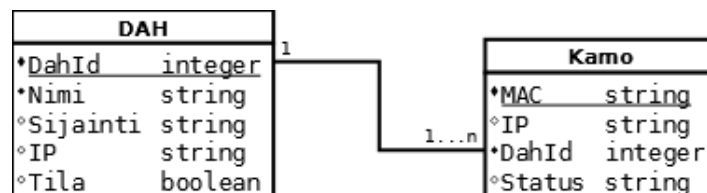
Monta hallintatyökalusovellus-ilmentymää voi olla auki samanaikaisesti. Pääkäyttäjän tekemät muutokset hakemistorakenteeseen tallennetaan XML-tiedostoon. Hallintasovelluksen käynnistyessä hakemistorakenne haetaan hallintasovellukseen XML-tiedostosta. XML-tiedoston kautta muutokset viedään myös muihin avoimena oleviin hallintasovelluksen ilmentymiin.

4.4.6 Tiedot ja tietokannat

Tietokantana voidaan käyttää mitä tahansa relaatiotietokantaa, joka ymmärtää SQL-standardin mukaisia kyselyitä. Tietokannan lisäksi hallintatyökalun hakemistorakenne täytyy tallentaa ulkoiselle palvelimelle, jotta muutokset voidaan viedä näkyviin kaikkiin hallintatyökalun ilmentymiin. Hakemistorakenne voidaan tallentaa XML-tiedostoon seuraavan esimerkin osoittamalla tavalla.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<laitehakemisto>
  <kaupunki1>
    <dah>DAH1</dah>
    <dah>DAH2</dah>
    <dah>DAH3</dah>
    <dah>DAH4</dah>
  </kaupunki1>
  <kaupunki2>
    <verkko1>
      <dah>DAH5</dah>
      <dah>DAH6</dah>
      <dah>DAH7</dah>
      <dah>DAH8</dah>
    </verkko1>
    <verkko2>
      <dah>DAH9</dah>
      <dah>DAH10</dah>
      <dah>DAH11</dah>
      <dah>DAH12</dah>
    </verkko2>
  </kaupunki2>
</laitehakemisto>
```

Hallintatyökalu tarvitsee ulkoista tietokantaa hakupalvelua varten (kuva 12). Pollauspalvelin kerää tietoja kaikilta DAH100-laitteilta tietyin väliajoin ja päivittää tietokantaa tarpeen mukaan. Tietokannassa on tieto mihin DAH100-laitteeseen kaapelimodeemi on tai on viimeksi ollut rekisteröityneenä. Tietokantaan tallennetaan myös DAH100-laitteen sekä kaapelimodeemin tilatiedot.



Kuva 12. Tietokannan taulut ja niiden suhde.

Taulujen välinen relaatio perustuu siihen, että yhteen DAH100-laitteeseen voi olla rekisteröityneenä monta kaapelimodeemia, mutta tietty kaapelimodeemi voi olla rekisteröityneenä vain yhteen DAH100-laitteeseen kerrallaan. Kuvan 12 tietokantarakenteessa Kamo-tauluun tulevat kaapelimodeemien tiedot ja DAH-tauluun kootaan DAH100-laitteiden tiedot.

DAH-taulun pääavaimena on DahId-kenttä, joka on kokonaisluku-tyyppinen (integer). Nimi-kenttä, joka on merkkijono-tyyppinen (string), sisältää laitteen osoitetiedon. IP-kenttä on merkkijono-tyyppiä ja sisältää laitteen IP-osoitteen. Tila-kentässä on laitteen tilatieto, joka on totuusarvo-tyyppinen (boolean) ja voi sisältää joko true- tai false- tilatiedon. Tilatiedon ollessa true tarkoittaa se, että hallintayhteys DAH100-laitteeseen toimii. Jos tilatieto on false, ei DAH100-laitteeseen ole saatu muodostettua hallintayhteyttä, jolloin laite on mahdollisesti vikaantunut.

Kamo-taulun pääavaimena on MAC-osoite ja sen tyyppi on merkkijono. IP-kenttään tallennetaan laitteen IP-osoite, jonka tyyppi on merkkijono. DahId-kenttä on Kamo-taulun merkkijono-tyyppinen viiteavain, joka viittaa DAH-taulun pääavaimen. Status-kenttään tallennetaan kaapelimodeemin tilatieto merkkijonona.

4.4.7 Standardit

Hakemistorakenteen tallennukseen käytetään XML-tiedostoa (Extensible Markup Language). XML on ohjelmisto- ja laitteistoriippumaton työkalu tiedon tallennukseen ja kuljettamiseen. Se on rakenteellinen kuvauskieli, jonka avulla voidaan kirjoittaa rakenteisia dokumentteja. XML-kielellä kirjoitettuja rakenteellisia dokumentteja on helppo lukea koneellisesti ja ne soveltuvat selkeytensä vuoksi myös ihmis-silmällä luettaviksi.[37]

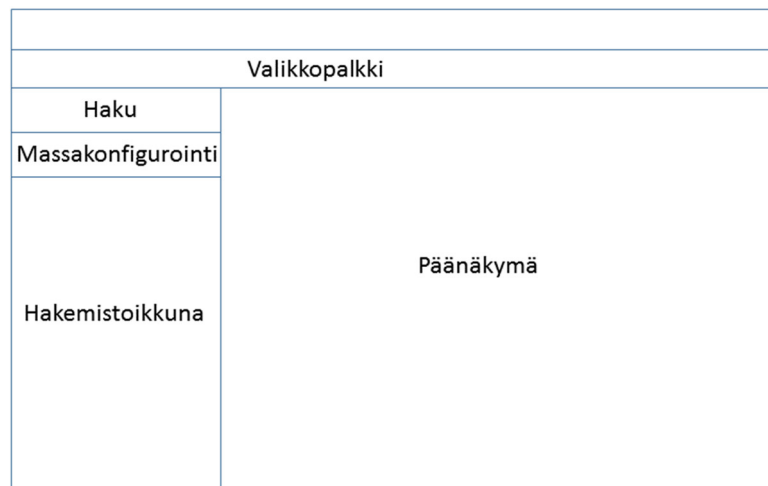
Tietokantakyselyt hallintasovelluksesta tietokantaan tehdään SQL-kielellä (Structured Query Language). SQL on standardoitu IBM:n (International Business Machines) kehittämä rakenteellinen kyselykieli. SQL-kieli on puhekielen kaltainen relaatiotietokantoja varten suunniteltu helposti omaksuttava kieli. Sen avulla tietokantaan voidaan tehdä hakuja ja tietokantaa voidaan myös muokata sen avulla. [38]

DAH100-laitteen ja hallintatyökalun välisessä viestiliikenteessä käytetään REST-arkkitehtuurityyliä (Representational State Transfer). REST-arkkitehtuurityyli on Roy Thomas Fieldingin vuonna 2000 väitöskirjassaan määrittelemä tyyli, joka määrittelee yhtenäisen rajapinta liittymän [39]. REST-arkkitehtuurityyliä käytetään yleisesti Web-kehityksessä, mutta sitä voidaan soveltaa myös muuhun sovelluskehitykseen.

Hallintatyökalu ohjelmoidaan java-ohjelmointikielellä ja käyttöliittymän rakentamiseen käytetään javan käyttöliittymäkirjastoja. Java on yleiskäyttöinen olio-pohjainen ohjelmointikieli, jolla ohjelmoituja sovelluksia voidaan ajaa erilaisilla laitealustoilla ja niitä voidaan käyttää eri käyttöjärjestelmissä.

4.5 Käyttöliittymät

Käyttöliittymän osat on esitetty kuvassa 13. Päänäkymässä näytetään Haku-toiminnon tarkat tiedot ja DAH100-laitteen yhteenvedon tiedot. Näkymät DAH100-laitteen välilehdille sekä Massakonfigurointi-toiminnon laitevalinta-näkymä näytetään myös päänäkymässä. Hakemistoikkunassa näkyvät järjestelmän laitteet, jotka voidaan ryhmitellä sinne halutulla tavalla. Hakemistoikkunan yläpuolella on Massakonfigurointi- ja Hakutoiminnot. Valikkopalkissa ovat Yhdistä- ja Sulje Yhteys-painikkeet sekä Lisää sijainti- ja Lisää laite-painikkeet.

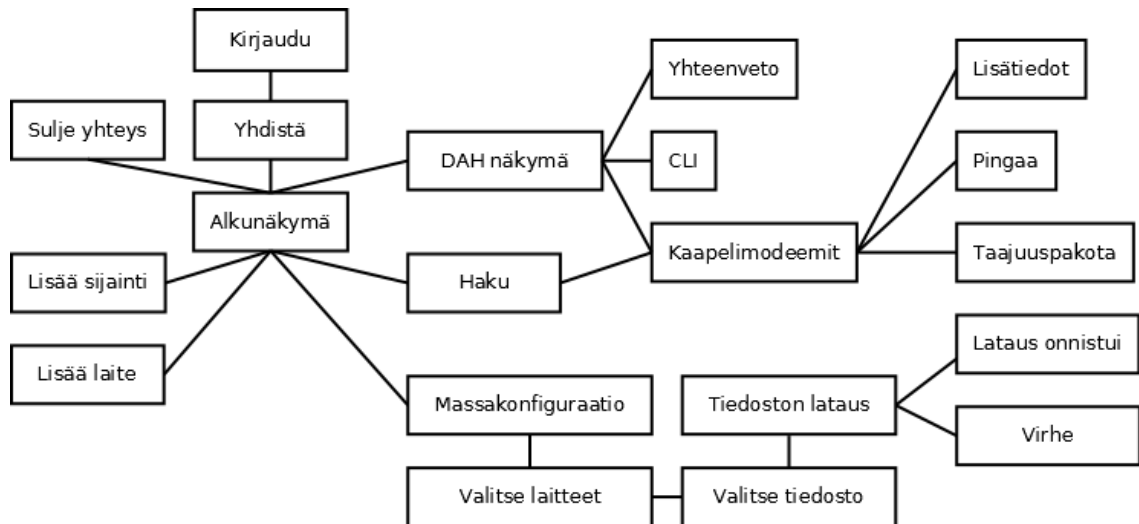


Kuva 13. Käyttöliittymän pääosat

Hallintatyökalun toiminnot, joiden suorittaminen vaatii useampia vaiheita avaavat uuden ikkunan, jossa toiminnon suorittamista jatketaan uudella näkymällä. Nämä ikkunat ovat modaalisia eli hallintatyökalun pääikkunan toimintoja ei voida käyttää, ennenkuin ikkunat on suljettu. Osa toiminnoista avaa uuden ikkunan toiminnon tuloksen näyttämistä varten. Tulosikkunat ovat ei-modaalisia, jolloin voi olla avoinna useita tulosikkunoita samaan aikaan.

4.5.1 Käyttöliittymäkartta

Käyttöliittymä kartassa (kuva 14) on esitetty näkymien suhde toisiinsa. Alkunäkymä avautuu kun ohjelma käynnistetään. Yhdistä-painiketta painamalla aukeaa kirjautumisikkuna. Käyttäjä kirjautuu järjestelmään syötettyään pyydetyt tiedot kirjautumisikkunaan ja painettuaan Kirjaudu painiketta.

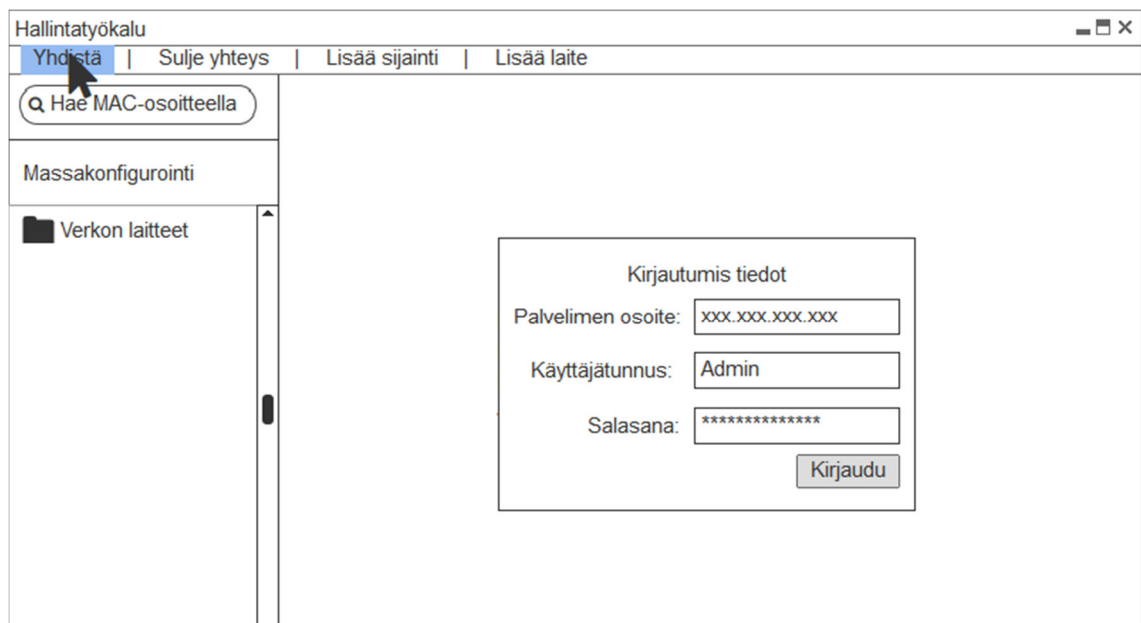


Kuva 14. Käyttöliittymäkartta

Alkunäkymästä päästään suoraan käyttämään Haku- ja Massakonfiguraatio-toimintoja. Haku-toiminnon tulos näytetään päänäkymässä. Tulos-näkymään voidaan hakea kaapelimodeemin tarkemmat tiedot Näytä tiedot-painikkeella. Tulos-näkymän Siirry laitteelle-painikkeesta päästään suoraan DAH100-laitteen, johon kaapelimodeemi on rekisteröityneenä, Kaapelimodeemit-välilehdelle. DAH100-laitteen näkymiä päästään käyttämään, kun hakemistorakenteesta on valittu aktiiviseksi haluttu DAH100-laite. Näkymät DAH100-laitteeseen on järjestetty eri välilehtiin. Yhteenveto-välilehden näkymässä näytetään DAH100-laitteeseen rekisteröityneinä olevien kaapelimodeemien lukumäärä sekä myötä- ja paluukanavien tilatietoja. CLI-välilehdellä on komentorivityökalu-näkymä, jota voidaan käyttää DAH100-laitteen konfigurointiin. Kaapelimodeemit-välilehdellä näytetään DAH100-laitteeseen rekisteröityneiden kaapelimodeemien listaus. Kaapelimodeemi-välilehden kautta voidaan kaapelimodeemeille tehdä ylläpitoon liittyviä operaatioita. Kaapelimodeemit-välilehden Lisätiedot-, Pingaa-painikkeista avautuvat toimintojen tulos-ikkunat ja Taajuuspakota-painikkeesta avautuu taajuuden valintaikkuna.

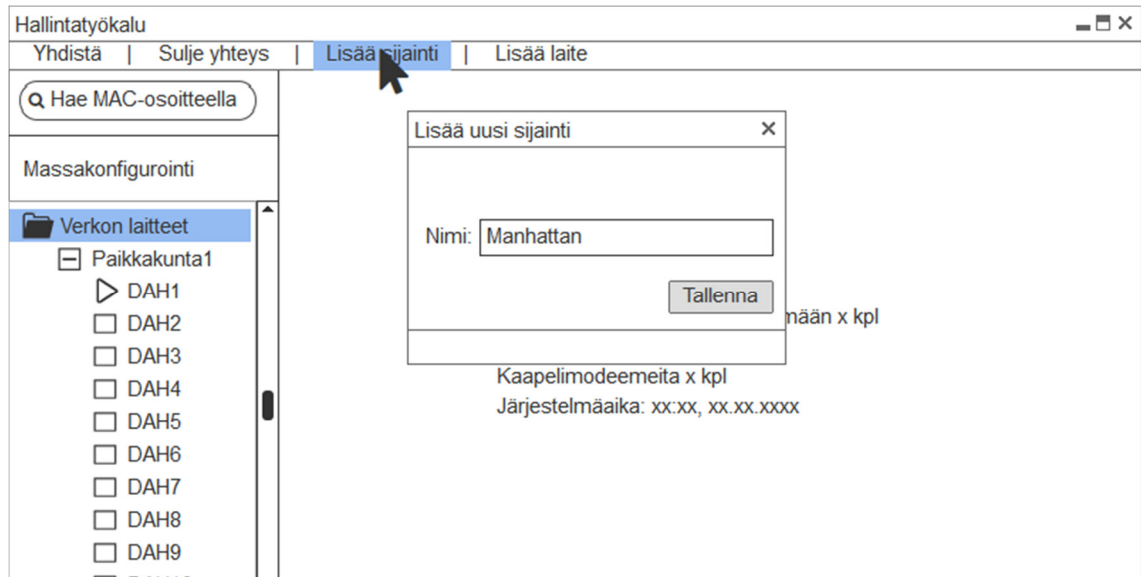
4.5.2 Käyttöliittymäsivut

Kun hallintatyökalu avataan, tulee näkyviin päänäkymä (kuva 15). Käyttäjän pitää painaa ”yhdistä”-painiketta, jolloin avautuu kirjautumis-ikkuna. Kirjautumis-ikkunassa on kentät, joihin käyttäjä syöttää tunnuksensa autentikointia varten sekä tietokantapalvelimen osoitetiedon, josta laitetiedot haetaan. ”Kirjaudu”-painikkeen painallus autentikoi käyttäjän. Jos käyttäjällä on oikeudet järjestelmään, hallintatyökalu hakee laitetiedot tietokannasta vasemman näyttölohkon hakemistorakenteeseen ja päänäkymä aktivoituu. Muussa tapauksessa hallintatyökalu ei aktivoidu. Käyttöliittymässä ovat aktiivisena vain ne toiminnot, joihin käyttäjällä on oikeudet.



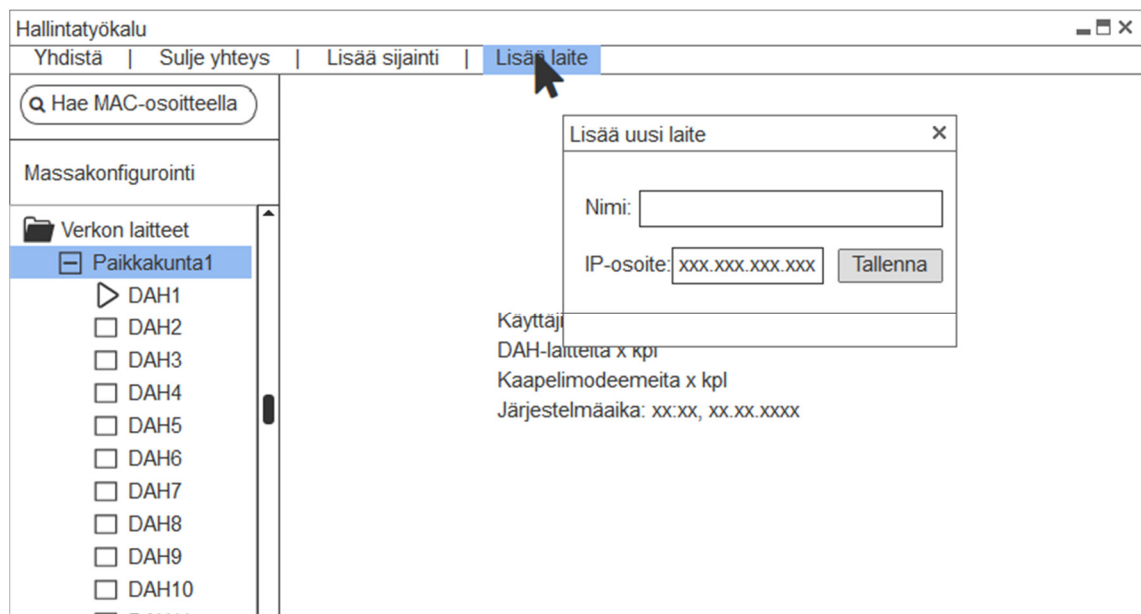
Kuva 15. Kirjautuminen ohjelman avauduttua.

Pääkäyttäjällä voi lisätä sijainteja hakemistorakenteeseen valikkopalkin lisää sijainti-toiminnolla (kuva 16). Sijainti saadaan suoraan haluttuun paikkaan hierarkiassa valitsemalla kohde (kuvassa verkon laitteet valittuna), jonka alle uusi sijainti halutaan luoda ja valitsemalla hiirellä valikkopalkista lisää sijainti-valinta. Valinta avaa ikkunan johon voidaan kirjoittaa uuden sijainnin nimi. Painamalla ”tallenna”-painiketta, uusi sijainti luodaan hierarkiaan. Pääkäyttäjällä voi muokata hakemistorakennetta ja ryhmitellä laitteita haluamallaan tavalla jälkikäteen. Laitteen kuvakkeeseen voidaan tarttua hiirellä ja raahata se haluttuun paikkaan hakemistohierarkiassa.



Kuva 16. Sijainnin lisääminen hakemistohierarkiaan.

Valikkopalkin lisää laite-valinnalla (kuva 17) pääkäyttäjä voi lisätä DAH100-laitteita hakemistohierarkiassa haluttuun paikkaan. Valitsemalla aktiiviseksi hakemistoikkunasta sijainti (kuvassa paikkakunta1 valittuna), jonka alle uusi laite halutaan tuoda, avaa valikkopalkin lisää laite-valinta lisää uusi laite-ikkunan, johon voidaan syöttää laitteen nimi- ja IP-osoite yhteyden muodostamista varten.



Kuva 17. Laitteen lisääminen hakemistoon.

Tallenna-painikkeen painallus lisää laitteen valittuun paikkaan hakemistohierarkiassa. Pääkäyttäjä voi muokata hakemistohierarkiaa jälkikäteen, tarttumalla laitekuvakkeeseen hiirellä ja raahaamalla sen haluamaansa sijaintiin hakemistorakenteessa.

Hakemistorakenteessa olevan laitteen kuvakkeen valinta avaa päänäkömään välilehdet Yhteenveto, Kaapelimodeemit ja CLI, joista Yhteenveto-välilehti on aluksi aktiivisena (kuva 18). Välilehdellä näytetään yleistä tietoa solun tilasta.

Hallintatyökalu

Yhdistä | Sulje yhteys | Lisää sijainti | Lisää laite

Hae MAC-osoitteella

Yhteenveto | Kaapelimodeemit | CLI

Massakonfigurointi

Verkon laitteet

- Paikkakunta1
 - DAH1
 - DAH2
 - DAH3
 - DAH4
 - DAH5
 - DAH6
 - DAH7
 - DAH8
 - DAH9
 - DAH10
 - DAH11
 - DAH12
 - DAH13
- Paikkakunta2

DAH1 **Total: 157**
Offline: 0

Upstream						Downstream				
Kanava	Oper	Init	Offline	SNR (dB)		Kanava	Oper	Init	Offline	Usage
US 1	150	0	0	29		DS1	75	0	0	0
US 2	150	0	0	30		DS2	75	0	0	0
US 3	150	0	0	31		DS3	75	0	0	0
US 4	150	0	0	32		DS4	75	0	0	0
Total	150	0	0			DS5	75	0	0	0
						DS6	75	0	0	0
						DS7	75	0	0	0
						DS8	75	0	0	0
						DS9	75	0	0	0
						DS10	75	0	0	0
						DS11	75	0	0	0
						DS12	75	0	0	0
						DS13	75	0	0	0
						DS14	75	0	0	0
						DS15	75	0	0	0
						DS16	75	0	0	0

Kuva 18. Laitteen yhteenvetonäkymä välilehti.

Näkymästä voidaan nähdä kaapelimodeemien kokonaislukumäärä, paluu- ja myötäsuunnan kanavilla kiinni olevien kaapelimodeemien lukumäärät ja paluusuunnan SNR-arvoja. Tietojen avulla voidaan saada kuva laitteen takana olevan verkon tilasta. Yhteenveto-välilehti on monitorointinäkömää, jonka kautta ei saa tehtyä konfiguraatiomuutoksia. Yhteenveto-välilehdelle on pääsy kaikilla käyttöoikeuksilla.

Kaapelimodeemit-välilehdellä on listaus kaikista DAH100-laitteen takana olevista kaapelimodeemeista (kuva 19). Listauksessa näkyy kaapelimodeemin MAC- ja IP-osoitteet, tilatieto, paluu- ja myötäsuunnan teho- ja SNR-arvot. Kaapelimodeemit-välilehti on aktiivisena vain operatiivisesta käyttäjäryhmästä ylöspäin. Näkymässä voidaan valita haluttu kaapelimodeemi ja päänäkömään yläreunan toimintopainikkeilla valita sen jälkeen haluttu toiminto. Deletoi-painikkeen painaminen poistaa modeemin DAH100-laitteen rekistereistä, jonka seurauksena kaapelimodeemi aloittaa rekisteröitymisprosessin. Reset-painike resetoit kaapelimodeemin, jonka jälkeen kaapelimodeemi käynnistyy uudelleen ja aloittaa rekisteröitymisprosessin.

Hallintatyökalu

Yhdistä | Sulje yhteys | Lisää sijainti | Lisää laite

Hae MAC-osoitteella

Yhteenveto Kaapelimodeemit CLI

Deletoi Resetoi Pingaa Taajuuspakota Lisätiedot

Massakonfigurointi

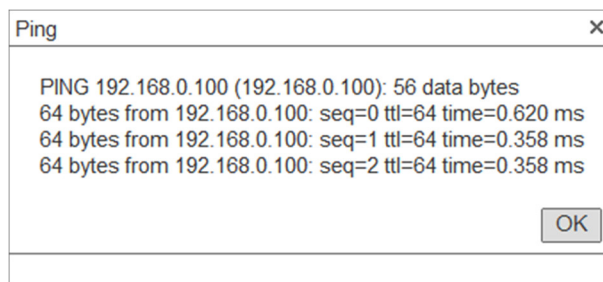
Verkon laitteet

- Paikkakunta1
 - DAH1
 - DAH2
 - DAH3
 - DAH4
 - DAH5
 - DAH6
 - DAH7
 - DAH8
 - DAH9
 - DAH10
 - DAH11
 - DAH12
 - DAH13
- Paikkakunta2

Valitse	MAC	IP	tila	US power	US SNR	DS power	DS SNR
<input type="checkbox"/>	0000.1111.2222	192.168.100.1	online	42.2	28.4	6.8	37.2
<input type="checkbox"/>	0000.1111.2223	192.168.100.4	online	39.8	29.4	5.5	38.5
<input type="checkbox"/>	0000.1111.2224	192.168.100.6	online	45.1	29.8	4.0	39.1
<input type="checkbox"/>	0000.1111.2225	192.168.100.10	online	57.2	28.3	1.0	39.2
<input type="checkbox"/>	0000.1111.2226	192.168.100.11	online	51.7	28.9	2.0	41.0
<input checked="" type="checkbox"/>	0000.1111.2227	192.168.100.15	online	35.4	29.9	2.0	41.1
<input type="checkbox"/>	0000.1111.2228	192.168.100.17	online	40.7	29.0	-6.0	40.0
<input type="checkbox"/>	0000.1111.2229	192.168.100.18	online	41.5	28.6	5.0	41.2
<input type="checkbox"/>	0000.1111.2230	192.168.100.20	online	43.4	29.7	6.0	40.3
<input type="checkbox"/>	0000.1111.2231	192.168.100.22	online	44.7	28.8	1.0	41.2
<input type="checkbox"/>	0000.1111.2232	192.168.100.45	offline				

Kuva 19. Kaapelimodeemit näkymä, jossa on kaapelimodeemilistaus.

Pingaa-painikkeen painallus avaa Ping-ikkunan (kuvassa 20). Ping on TCP/IP-työkalu, joka lähettää modeemille sarjan ICMP (Internet Control Message Protocol) echo request-pyyntöjä. Ping-työkalun avulla voidaan tutkia, vastaako tietty laite pyyntöihin eli onko se linjalla. Kaapelimodeemi vastaa pyyntöihin echo reply-paketilla, jonka perusteella työkalu tulostaa pakettien edestakaiseen matkaan kuluneen ajan. Aikatiedon perusteella voidaan tutkia tietyn kaapelimodeemin linjan tilaa.



Kuva 20. Ping-ikkunasta nähdään pingauksen tuloste.

Lisätiedot-painike näyttää kaapelimodeemin tarkemmat tiedot. Painikkeen painallus avaa ikkunan, johon on tulostettu kaapelimodeemin käyttämiin kanaviin liittyviä yksityiskohtaisia tietoja (kuva 21).

Modeemin (MAC-osoite) tiedot							
Connectivity state : operational							
DsChIDs[8] : 1,2,3,4,5,6,7,8							
	Rx Pwr	Snr					
Dch	dBmV	dB					
1	7.8	46.4					
2	8.3	47.2					
3	8.7	47.4					
4	9.1	47.3					
5	9.4	46.8					
6	9.5	46.6					
7	9.6	46.4					
8	9.6	46.8					
	Power	Timing			Snr		
Uch	dBmV	offset	unerrored	Cor	UnCor	dB	uRef
1	37.5	0	3822150	68	0	39.1	0
2	37.7	0	4270401	154	6	38.8	0
3	38.2	0	3794887	154	3	38.8	0
4	38.2	0	6107895	4	2	39.1	0

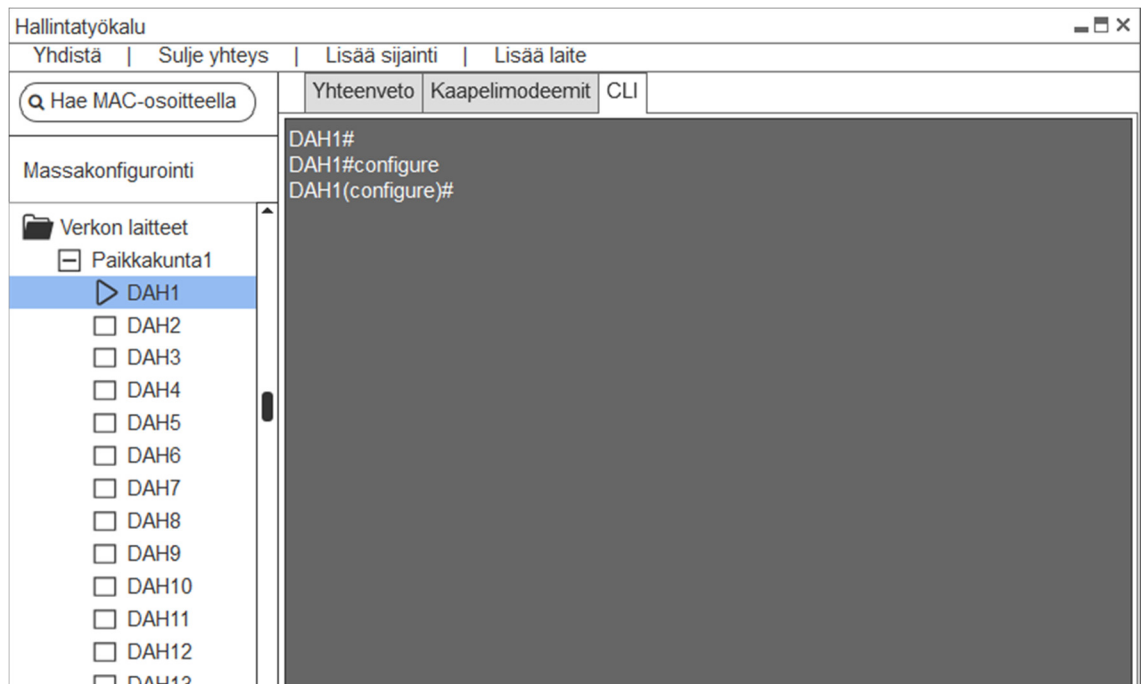
Kuva 21. Näkymä kaapelimodeemin tarkkoihin tietoihin.

Taajuuspakota-painikkeella (kuva 22) voidaan kaapelimodeemi pakottaa käyttämään toista primääritaajuutta. Taajuuspakota-painike avaa ikkunan, jossa voidaan valita käytettävissä olevista myötäsuunnan primääritaajuuksista haluttu vaihtoehto, joka kuitataan Pakota-painikkeella.

Taajuuspakotus	
Valitse taajuus:	400000000 ▾
Pakota	

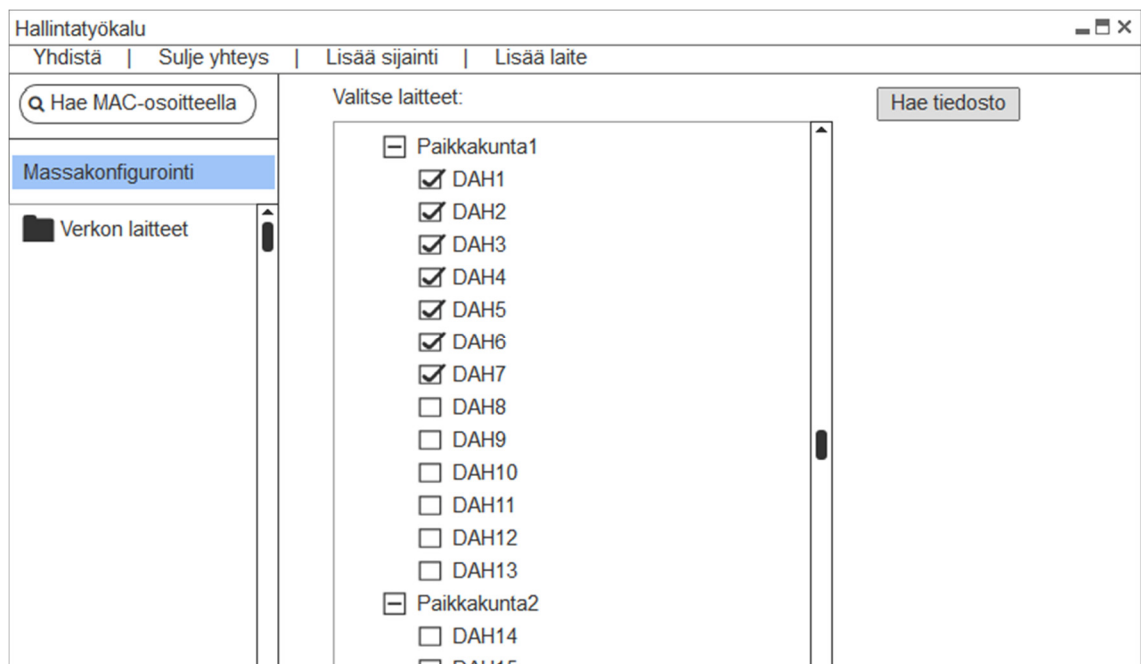
Kuva 22. Taajuuspakotusikkuna, jossa voidaan valita haluttu primääritaajuus.

CLI-välilehdelle (kuva 23) on pääsy vain pääkäyttäjä- ja ylläpitäjät ryhmillä. Välilehdellä on komentorivityökalu, jonka kautta voidaan tehdä kaikki konfigurointitoimet, joita DAH100-laitteeseen on mahdollista tehdä.



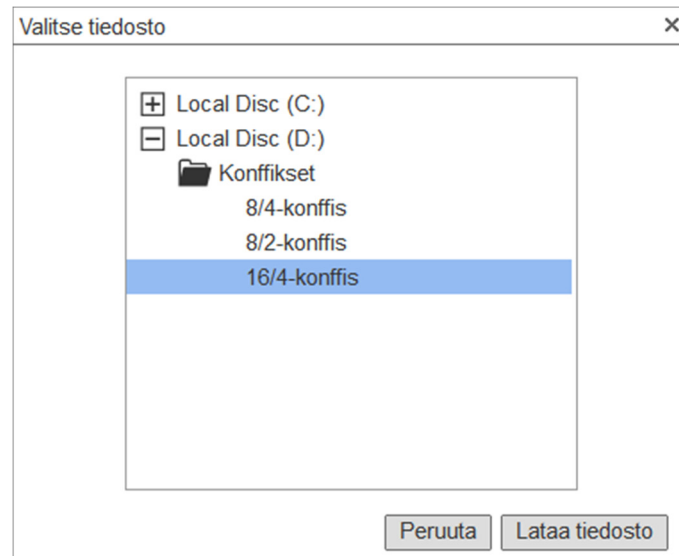
Kuva 23. CLI välilehden komentorivityökalu.

Käyttöliittymän vasemman reunan Massakonfigurointi-valinnalla voidaan ajaa tietty konfiguraatiodoston ”mallipohja” useisiin laitteisiin samalla kertaa (kuva 24). Massakonfigurointi-toimintoa voivat käyttää pääkäyttäjä- ja ylläpitäjä käyttäjäryhmiin kuuluvat käyttäjät. Päänäkymän Valitse laitteet-ikkunasta voidaan valita DAH100-laitteet, joihin konfiguraatiodosto halutaan ajaa sisään.



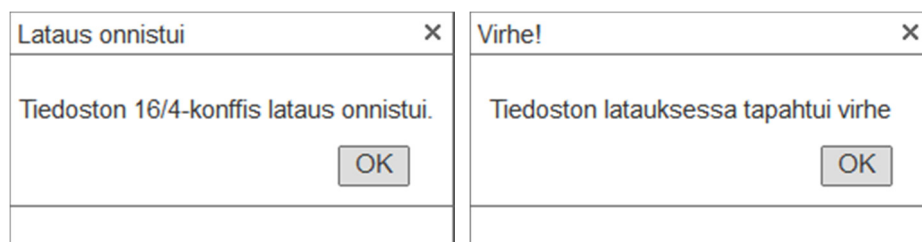
Kuva 24. Massakonfiguraatio näkymä.

Kun valinnat on tehty, Hae tiedosto-painike avaa Valitse tiedosto-ikkunan paikallisen työaseman tiedostonäkymään (kuva 25), jonka kautta voidaan hakea haluttu konfiguraatiotiedosto, joka ladataan valittuihin DAH100-laitteisiin.



Kuva 25. Tiedoston valintanäkymä, jonka kautta haluttu konfiguraatiotiedosto voidaan hakea laitteisiin lataamista varten.

Valitse tiedosto-näkymän Lataa tiedosto-painike avaa Tiedoston lataus-ikkunan ja käynnistää valitun konfiguraatiotiedoston lataamisen valittuihin DAH100-laitteisiin. Latauksen eteneminen näytetään käyttäjälle. Lataaminen voidaan keskeyttää Keskeytä-painikkeella. Latauksen onnistuminen ilmoitetaan käyttäjälle Lataus onnistui-viestillä ja jos lataus ei onnistu ilmoitetaan siitä käyttäjälle Virhe!-viestillä (kuva 26).



Kuva 26. Latauksen onnistumisesta ja latauksen aikana ilmenneestä virheestä kertovat viesti-ikkunat.

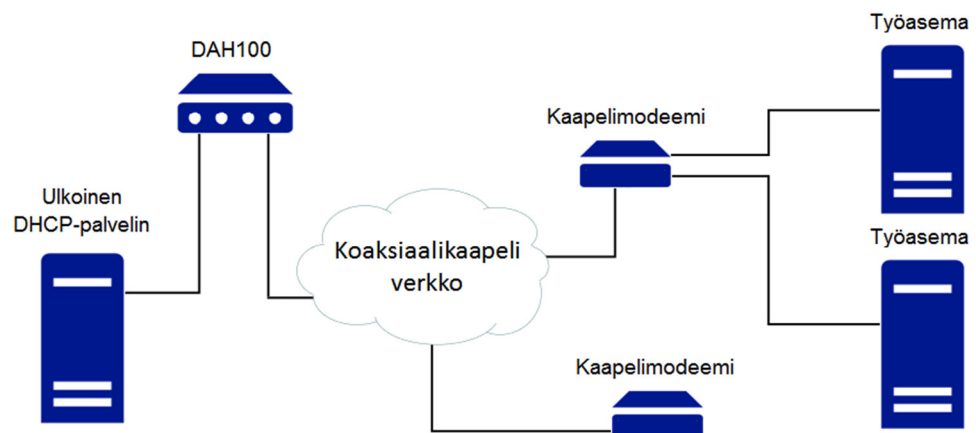
Hallintatyökalun Haku-toiminnolla (kuva 27) voidaan tiettyä kaapelimodeemia hakea MAC-osoitteen avulla. MAC-osoite kirjoitetaan haku-kenttään ja painetaan näppäimistön Enter-painiketta. Hakutoiminto hakee kaapelimodeemin rekisteröitymistiedon tietokannasta ja näyttää sen pääikkunan yläosassa. Näytä tiedot-painiketta painamalla modeemin tarkat tiedot haetaan pääikkunaan. Siirry laitteelle-painike vie kyseisen DAH100-laitteen Kaapelimodeemit-välilehdelle ja valitsee kaapelimodeemilistauksesta haun kohteena olleen kaapelimodeemin. Siirry laitteelle-painike toimii vain operatiivisilla tai ylemmillä käyttäjäryhmillä.

Hallintatyökalu		Yhdistä Sulje yhteys Lisää sijainti Lisää laite																																																	
<input type="text" value="xx:xx:xx:xx:xx:xx"/>		MAC-osoite xx:xx:xx:xx:xx:xx on rekisteröitynyt laitteelle DAH-x																																																	
Massakonfigurointi		Connectivity state : operational DsChIDs[8] : 1,2,3,4,5,6,7,8																																																	
Verkon laitteet		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dch</th> <th>Rx Pwr dBmV</th> <th>Snr dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>7.8</td><td>46.4</td></tr> <tr><td>2</td><td>8.3</td><td>47.2</td></tr> <tr><td>3</td><td>8.7</td><td>47.4</td></tr> <tr><td>4</td><td>9.1</td><td>47.3</td></tr> <tr><td>5</td><td>9.4</td><td>46.8</td></tr> <tr><td>6</td><td>9.5</td><td>46.6</td></tr> <tr><td>7</td><td>9.6</td><td>46.4</td></tr> <tr><td>8</td><td>9.6</td><td>46.8</td></tr> </tbody> </table>		Dch	Rx Pwr dBmV	Snr dB	1	7.8	46.4	2	8.3	47.2	3	8.7	47.4	4	9.1	47.3	5	9.4	46.8	6	9.5	46.6	7	9.6	46.4	8	9.6	46.8																					
Dch	Rx Pwr dBmV	Snr dB																																																	
1	7.8	46.4																																																	
2	8.3	47.2																																																	
3	8.7	47.4																																																	
4	9.1	47.3																																																	
5	9.4	46.8																																																	
6	9.5	46.6																																																	
7	9.6	46.4																																																	
8	9.6	46.8																																																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Power</th> <th colspan="2">Timing</th> <th colspan="4">Snr</th> </tr> <tr> <th>Uch</th> <th>dBmV</th> <th>offset</th> <th>unerrored</th> <th>Cor</th> <th>UnCor</th> <th>dB</th> <th>uRef</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>37.5</td><td>0</td><td>3822150</td><td>68</td><td>0</td><td>39.1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>37.7</td><td>0</td><td>4270401</td><td>154</td><td>6</td><td>38.8</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>38.2</td><td>0</td><td>3794887</td><td>154</td><td>3</td><td>38.8</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>38.2</td><td>0</td><td>6107895</td><td>4</td><td>2</td><td>39.1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>		Power		Timing		Snr				Uch	dBmV	offset	unerrored	Cor	UnCor	dB	uRef	1	37.5	0	3822150	68	0	39.1	0	2	37.7	0	4270401	154	6	38.8	0	3	38.2	0	3794887	154	3	38.8	0	4	38.2	0	6107895	4	2	39.1	0
Power		Timing		Snr																																															
Uch	dBmV	offset	unerrored	Cor	UnCor	dB	uRef																																												
1	37.5	0	3822150	68	0	39.1	0																																												
2	37.7	0	4270401	154	6	38.8	0																																												
3	38.2	0	3794887	154	3	38.8	0																																												
4	38.2	0	6107895	4	2	39.1	0																																												

Kuva 27. Haun tulokset näytetään päänäkymässä.

4.6 DAH100-laitteen käyttöönotto testiympäristössä.

Testiympäristö koostui DAH100-laitteesta, kaapelimodeemeista (2 kpl) ja kolmesta työasemasta. Testiympäristössä käytettiin DAH100-laitteen sisäistä DHCP-palvelinta kaapelimodeemeita varten ja ulkoista työasemalle asennettua DHCP-palvelinta työasemia varten (CPE-laitteet). Testikäytön tarkoituksena oli tutkia DOCSIS standardiin liittyviä asioita käytännössä. Kuvassa 28 on testausta varten rakennetun järjestelmän osat ja kytkennät.



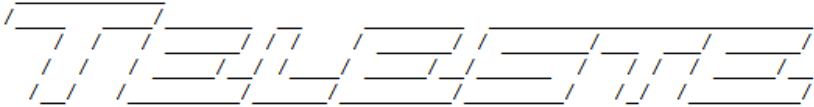
Kuva 28. Testiympäristön laitteet ja kytkennät.

DAH100-laitteeseen pääsee kiinni joko USB-portin kautta tai Ethernet-liitännästä. USB-liitännän käyttäminen vaatii ajuriasennuksen. Ethernet liitäntöjen kautta laitteeseen pääsee kiinni oletusosoitteella 192.168.0.100 (kuva 29). Tässä testiympäristössä käytettiin DAH100-laitteen hallintaan USB-liitäntää.

```

Welcome to Command Line Interface.

unnamed login: admin
Password:



Welcome to Teleste's network element management console.

For product support, please call +358 (0)2 260 5611 or send e-mail
to support@teleste.com or visit http://club.teleste.fi

Contains licensed technologies. Please see the product documentation
for details.

Copyright (C) Teleste Corporation
No entry for terminal type "vt102";
using dumb terminal settings.
unnamed# █

```

Kuva 29. Kuvassa aloitusnäkyä kirjautumisen jälkeen.

Terminaaliiohjelmana voidaan käyttää mitä tahansa saatavissa olevaa terminaaliiohjelmaa. Terminaaliiohjelman yhteystyypiksi valittiin serial ja portiksi COM-portti, johon USB-ajuri asentui. Ensimmäisenä toimenpiteenä tarkistettiin, mikä ohjelmistoversio oli käytössä. Komennolla show version saadaan käytössä olevan ohjelmiston tiedot näkyviin (kuva 30).

```

unnamed# show version
=====
Hardware           Version           Serial number
=====
DAH100             A20               KK20281517
=====

Software           Version
=====
DAH                 2.2.10           "Release (Fri Aug 7 14:41:44 EEST 2015)"
U-Boot              1.1.5
=====

CmcApp.bin         4.3.0rel103
=====

Primary boot       0.9.0
=====

```

Kuva 30. DAH100-laitteen ohjelmistoversio.

Laitteessa on valmiina peruskonfiguraatio, jossa on valmiiksi määriteltynä 16 myötäsuunnan ja 4 paluusuunnan kanavaa. Myötäsuunnan kanavat ovat oletuksena alhaalla ja paluusuunnan kanavat on peruskonfiguraatiossa nostettu valmiiksi ylös. Paluusuunnalla on

kuitenkin tässä vaiheessa vielä hiljaista vaikka kaapelimodeemit olisi RF-portin taakse kytkettykin. Kaapelimodeemit eivät lähetä mitään ennen kuin ne ovat lukkiutuneet johonkin myötäsuunnan primäärikanavaan ja saaneet tiedon paluusuunnan kanavien taajuuksista. Kuvasta 31 voidaan nähdä osa laitteen myötäsuunnan kanavakonfiguraatiosta oletusasetuksissaan.

```
TestiDAH# show running-config cable-downstream
!
! interface cable-downstream configuration
!
configure
interface cable-downstream all shutdown
cable annex A
interface cable-downstream 1 frequency 298000000
interface cable-downstream 1 interleaver 128:1
interface cable-downstream 1 modulation 256qam
interface cable-downstream 1 shutdown
interface cable-downstream 2 frequency 306000000
interface cable-downstream 2 interleaver 128:1
interface cable-downstream 2 modulation 256qam
interface cable-downstream 2 shutdown
interface cable-downstream 3 frequency 314000000
interface cable-downstream 3 interleaver 128:1
interface cable-downstream 3 modulation 256qam
interface cable-downstream 3 shutdown
interface cable-downstream 4 frequency 322000000
interface cable-downstream 4 interleaver 128:1
interface cable-downstream 4 modulation 256qam
interface cable-downstream 4 shutdown
interface cable-downstream 5 frequency 330000000
interface cable-downstream 5 interleaver 128:1
```

Kuva 31. Kuvassa on osa myötäsuunnan kanavakonfiguraatiosta.

Kanavat alkavat peruskonfiguraatiossa 298 MHz:n taajuudelta. Kanavia on 16 kpl ja ne ovat ITU-T J.83 Annex A:n mukaisesti 8 MHz:n välein, jolloin kanava 16 on taajuudella 418 MHz. Kuvassa näkyy myös käytettävä QAM-modulaatio, kanavan tila sekä interleaver parametri. Kuvassa 32 on alimman paluukanavan oletuskonfiguraatio.

```
interface cable-upstream 1 channel-width 6400000
interface cable-upstream 1 no docsis30
interface cable-upstream 1 frequency 34000000
interface cable-upstream 1 power-level 0
interface cable-upstream 1 profile ATDMAMediumNoise64QAM
interface cable-upstream 1 threshold 240 170 30 80
interface cable-upstream 1 hysteresis 20
interface cable-upstream 1 fec-checking corr disabled uncorr disabled
interface cable-upstream 1 no shutdown
interface cable-upstream 1 type atdma
```

Kuva 32. Yhden paluukanavan konfiguraatio.

Alin paluukanava on oletusasetuksissaan 34 MHz:n taajuudella. Paluukanavat ovat 6,4 MHz leveitä ja ne ovat 7 MHz:n välein, jolloin paluukanava nro. 4 on taajuudella 55 MHz. Parametri ”no docsis30” on oletusasetus ja tarkoittaa, että DOCSIS 2.0-yhteensopivuustila on käytössä. Yhteensopivuustilassa sekä DOCSIS 2.0- että 3.0-kaapelimodeemit voi-

vat liikennöidä. ”Power-level” parametri on pyyntitaso DAH100-laitteen paluuvastaanottimen tulossa, johon pyritään pääsemään kaapelimodeemien lähetystehoja säätämällä. Paluukanaville voidaan konfiguroida useita erilaisia modulaatioprofiileita, joita käytetään dynaamisesti kun kohinataso solussa vaihtelee. ”Treshold” parametreillä määritellään paluusuunnan SNR raja-arvot sekä FEC-virheentarkistuksessa ilmenevien virheellisten koodisanojen prosentuaalinen määrä, jolloin paremmasta profiilista siirrytään huonompaan. ”Hysteresis” parametri määrittelee sen missä vaiheessa palataan takaisin parempaan profiiliin. Kuvan konfiguraatiossa ”hysteresis” parametrin arvo on 20, joka tarkoittaa että SNR arvon on oltava 2 dB parempi kuin ”treshold” parametrissa määritelty raja-arvo, ennen kuin palataan takaisin parempaan modulaatio profiiliin. Ilman hystereesiä voisi syntyä tilanne, jolloin modulaatioprofiili vaihtuisi jatkuvasti, jos SNR vaihtelisi raja-arvon tuntumassa sen molemmin puolin. FEC-virheentarkistus voidaan ottaa käyttöön erikseen korjatuille ja korjaamattomille koodisanoille. Oletuksena ne ovat molemmat pois päältä. Lisäksi voidaan nähdä kanavan tila (shutdown) ja käytössä oleva aikajakokanavointityyppi (ATDMA, Advanced Time Division Multiple Access).

DAH100-laitteeseen on integroitu TFTP-palvelin, joka tarjoaa kaapelimodeemeille laitteessa valmiina olevaa oletuskonfiguraatiotiedostoa (kuva 33).

```

File: default_conf_file.bin
... Network Access Control (3) [Len = 1]: 1
... Maximum Number of CPEs (18) [Len = 1]: 64
... SNMP MIB Object (11) [Len = 21]: docsDevNmAccessIp.1 / 0.0.0.0
... SNMP MIB Object (11) [Len = 21]: docsDevNmAccessIpMask.1 / 0.0.0.0
... SNMP MIB Object (11) [Len = 23]: docsDevNmAccessCommunity.1 / "public"
... SNMP MIB Object (11) [Len = 18]: docsDevNmAccessControl.1 / 2
... SNMP MIB Object (11) [Len = 19]: docsDevNmAccessInterfaces.1 / 40 00
... SNMP MIB Object (11) [Len = 18]: docsDevNmAccessStatus.1 / 4
... SNMP MIB Object (11) [Len = 21]: docsDevNmAccessIp.2 / 0.0.0.0
... SNMP MIB Object (11) [Len = 21]: docsDevNmAccessIpMask.2 / 0.0.0.0
... SNMP MIB Object (11) [Len = 24]: docsDevNmAccessCommunity.2 / "private"
... SNMP MIB Object (11) [Len = 18]: docsDevNmAccessControl.2 / 3
... SNMP MIB Object (11) [Len = 19]: docsDevNmAccessInterfaces.2 / 40 00
... SNMP MIB Object (11) [Len = 18]: docsDevNmAccessStatus.2 / 4
[-] Downstream Service Flow Encodings (25) [Len = 10]:
... Service Flow Reference (1) [Len = 2]: 1
... Quality of Service Parameter Set Type (6) [Len = 1]: 07
... Traffic Priority (7) [Len = 1]: 0
[-] Upstream Service Flow Encodings (24) [Len = 19]:
... Service Flow Reference (1) [Len = 2]: 2
... Quality of Service Parameter Set Type (6) [Len = 1]: 07
... Traffic Priority (7) [Len = 1]: 0
... Service Flow Scheduling Type (15) [Len = 1]: 2
... Request/Transmission Policy (16) [Len = 4]: 00 00 00 80
  
```

Kuva 33. DAH100-laitteessa olevan oletuskonfiguraatiotiedoston sisältö.

Oletuskonfiguraatiotiedosto on perusmallia, joka sallii kaiken. Konfiguraatiotiedostossa kaapelimodeemille viedään kaikki parametrit, jotka kaapelimodeemi tarvitsee, jotta se

toimii niin kuin palveluntarjoaja haluaa sen toimivan. Tiedoston yläosassa näkyvät kaapelimodeemin MIB-kantaan (Management Information Base) vietävät TLV-tietueet ja alaosassa näkyvät myötä- ja paluusuuntien pakolliset palveluvuo määrittelyt.

Kaikki myötäsuunnan kanavat saadaan nostettua samalla kertaa tai yksitellen ylös. Tässä tapauksessa kaikki 16 myötäsuunnan kanavaa nostettiin ylös. Kanavien tila konfiguraatiomuutoksen jälkeen näkyy kuvassa 34.

```
TestiDAH# sh interface cable-downstream all
Ch Enable Frequency Annex Interleaver Modulation power-level
-----
```

Ch	Enable	Frequency	Annex	Interleaver	Modulation	power-level
1	true	298000000	A	128:1	256qam	45.0
2	true	306000000	A	128:1	256qam	45.0
3	true	314000000	A	128:1	256qam	45.0
4	true	322000000	A	128:1	256qam	45.0
5	true	330000000	A	128:1	256qam	45.0
6	true	338000000	A	128:1	256qam	45.0
7	true	346000000	A	128:1	256qam	45.0
8	true	354000000	A	128:1	256qam	45.0
9	true	362000000	A	128:1	256qam	45.0
10	true	370000000	A	128:1	256qam	45.0
11	true	378000000	A	128:1	256qam	45.0
12	true	386000000	A	128:1	256qam	45.0
13	true	394000000	A	128:1	256qam	45.0
14	true	402000000	A	128:1	256qam	45.0
15	true	410000000	A	128:1	256qam	45.0
16	true	418000000	A	128:1	256qam	45.0

Kuva 34. Kanavalistauksessa näkyy, että kaikki 16 kanavaa ovat ylhäällä.

Kun kaapelimodeemi kytketään järjestelmään se alkaa skannaamaan myötäsuunnan taajuuksia. Hallintayhteyden kautta voidaan tutkia tietyn kaapelimodeemin tilaa. Kuvassa 35 näkyy kaapelimodeemi, joka on linjalle nousun alkuvaiheen Initial Ranging-tilassa. Kun operational-tila saavutetaan, ovat DOCSIS-kerrokset ja niiden päällä oleva kaapelimodeemin ja DAH100-laitteen välinen IP-yhteys toiminnassa.

```
TestiDAH# sh cable modem | grep 5C:35:3B:55:A5:AC
MAC address IP address Bonded Ver CPE State
-----
```

MAC address	IP address	Bonded	Ver	CPE	State
5C:35:3B:55:A5:AC	192.168.0.154	1x1	1.0	2	InitialRanging

```
-----
Total Operational Initial Offline
1 0 1 0
```

Kuva 35. Kuvassa näkyy Initial Ranging tilassa olevan kaapelimodeemin tietoja.

Järjestelmä listaa linjalla olevat kaapelimodeemit ja niiden tilatiedot ”show cable modem” komennolla. Kuvassa 36 näkyvät järjestelmään kytketyt 2 kaapelimodeemia, jotka ovat operational-tilassa. Tulosteesta nähdään järjestelmään kytkettyjen kaapelimodeemien MAC- ja IP-osoitteet, niiden käyttämien myötä- ja paluusuunnan kanavien lukumäärät, DOCSIS versio, kytkettyjen CPE-laitteiden lukumäärä ja kaapelimodeemin toi-

mintatila. Kaapelimodeemi, jonka MAC-osoite on 50:39:55:98:BD:4A, näyttää tulosteessa, että siihen on kytkettynä 1 kpl CPE-laitteita. Kyseinen kaapelimodeemi on reititettävää mallia, eivätkä sen Ethernet-portteihin liitetyt laitteet näy ulospäin. Testiympäristössä ei kyseiseen kaapelimodeemiin ollut kytkettynä työasemia, vaan molemmat työasemat olivat kytkettynä siltaavassa tilassa toimivaan kaapelimodeemiin, jonka kohdalla lukema on tulosteessa oikein. Tulosteesta nähdään myös, että luvussa 3.2.2 käsitelty kanavien niputus on käytössä 8:lla myötäsuunnan- ja 4:llä paluusuunnan kanavalla.

```
TestiDAH# sh cable modem
```

MAC address	IP address	Bonded	Ver	CPE	State
50:39:55:98:BD:4A	192.168.0.155	8x4	3.0	1	operational
5C:35:3B:55:A5:AC	192.168.0.154	8x4	3.0	2	operational

Total Operational		Initial	Offline		
2		2	0	0	

Kuva 36. Järjestelmän kaikki kaapelimodeemit.

Ulkoisen DHCP-palvelimen käynnistyksen jälkeen CPE-laitteet saivat IP-osoitteen ja tulivat näkyviin kaapelimodeemin taakse. Kuvan 37 listauksessa näkyy CPE-laitteiden ja vastaavan kaapelimodeemin MAC- ja IP-osoitteet. CM MAC- ja CM IP-sarakkeiden osoitteet ovat kaapelimodeemien hallintaosoitteita. Reitittävän kaapelimodeemin rivillä näkyvä CPE MAC-osoite 50:39:55:98:BD:4E on laitteen WAN MAC-osoite (Wide Area Network). Kyseinen kaapelimodeemi ei jostain syystä saanut ulkoiselta DHCP-palvelimelta IP-osoitetta.

```
TestiDAH# sh cable modem cpe
```

Active	CPE IP	Cable-MAC untagged	VLAN	CPE MAC	CM MAC	CM IP
Active	192.168.100.162	100	00:11:2F:AE:72:05	5C:35:3B:55:A5:AC	192.168.0.154	
Active	192.168.100.164	100	28:D2:44:52:E1:E4	5C:35:3B:55:A5:AC	192.168.0.154	
Active	0.0.0.0	100	50:39:55:98:BD:4E	50:39:55:98:BD:4A	192.168.0.155	

Total	Shown	Active	no IP			
3	3	3	0			

Kuva 37. Kaapelimodeemit ja niihin kytketyt CPE-laitteet.

Tietyn kaapelimodeemin linja-arvoja voidaan tarkastella lähemmin. Kuvassa 38 on yksityiskohtainen listaus kaapelimodeemin myötä- ja paluusuunnan linja-arvoista. Kuvassa näkyvät kanavakohtaisesti myötäsuunnan vastaanottotehot (Rx Pwr) ja SNR-arvot ja alhaalla vastaavasti paluusuunnan lähetystehot (Tx Pwr) ja SNR-arvot. Alhaalla näkyvät myös paluukanavien Timing offset-arvot (käsitelty luvussa 3.2.3), jotka ovat kaikilla paluukanavilla 0, koska DAH100-laitteen etäisyys kaapelimodeemiin on testiympäristössä noin 1 metri. Käytännössä Remote MAC PHY-järjestelmän kaapelimodeemien etäisyydet RMD-laitteeseen ovat satoja metrejä.

```
TestiDAH# show cable modem detail | grep 5C:35:3B:55:A5:AC
```

PriUp	MAC addr	IP addr	Doc Ver	Addr Type				
1	5C:35:3B:55:A5:AC	192.168.0.154	3.0	IPv4				
Connectivity state : operational								
DsChIDs[8] : 1,2,3,4,5,6,7,8								
Dch	Rx Pwr dBmV	Snr dB						
1	4.8	38.9						
2	4.8	39.3						
3	4.8	38.9						
4	4.8	38.2						
5	5.4	37.3						
6	5.4	37.9						
7	5.4	38.2						
8	5.3	38.2						
Uch	Tx Pwr dBmV	Rx Pwr ofst dB	Timing offset	unerrored	Cor	UnCor	SnR dB	uRef
1	32.0	0.0	0	2988	0	0	41.0	0
2	32.0	0.0	0	2271	0	0	39.1	0
3	32.5	0.0	0	910	0	1	40.4	0
4	33.0	0.0	0	1226	0	1	38.5	0

Kuva 38. Näkymä kaapelimodeemin keskeisistä linja-arvoista.

DAH100 laitteessa on mahdollisuus säätää vahvistinosaa sekä etänä ohjelmallisesti komentorivin kautta että paikallisesti säätöpotentioimetreillä. Kuvassa 39 on näkymä vahvistimen säätöarvoista.

```
TestiDAH(configure)# sh amplifier
```

Temperature	(C) : 45.6
Power 12	(V) : 11.8
Power 24	(V) : 23.9
Power Remote AC	(V) : 0.0
Control Mode	: SW
Gain	(dB) : Low (34 dB)
Input Attenuator	(dB) : 8.0
Input Slope	(dB) : 16.0
Mid Slope	(dB) : 12.0
DS Modem Attenuator	(dB) : 8.0

Kuva 39. Komentorivinäkymä vahvistimen tilatietoihin sekä säätöarvoihin.

Koko solun kaapelimodeemin tilatietojen perusteella voidaan päätellä, onko kyseessä mahdollisesti isompi vika. Kuvassa 40 näkyvät kaikki käytössä olevat myötä- ja paluusuunnan kanavat, sekä kullakin kanavalla kiinni olevien kaapelimodeemien lukumäärät. Total-sarake näyttää DAH100-laitteeseen rekisteröityjen kaapelimodeemien lukumäärän ja Oper-sarake sen, montako niistä on toimivassa tilassa kullakin kanavalla. Init-sarak-

keessa näytetään Initial Ranging-tilassa olevien kaapelimodeemien lukumäärä kanava-kohtaisesti. Usage-sarakkeessa pitäisi olla kanavan prosentuaalinen käyttöaste muutaman viimeisimmän minuutin mittausaikaväliltä. Kuvan alaosassa näkyy kaapelimodeemien kokonaismäärä sekä eri tiloissa olevien modeemien lukumäärät.

```
TestiDAH(configure)# sh cable modem summary
Channel  Total    Oper    Init  Usage
-----
DS  1      1      1      0     1
DS  2      1      1      0     1
DS  3      1      1      0     1
DS  4      1      1      0     1
DS  5      1      1      0     1
DS  6      1      1      0     1
DS  7      1      1      0     1
DS  8      1      1      0     1
DS  9      1      1      0     1
DS 10      1      1      0     1
DS 11      1      1      0     1
DS 12      1      1      0     1
DS 13      1      1      0     1
DS 14      1      1      0     1
DS 15      1      1      0     1
DS 16      1      1      0     1

US  1      2      2      0     0
US  2      2      2      0     0
US  3      2      2      0     0
US  4      2      2      0     0

-----
Total Operational Initial Offline
          2          2          0          0
```

Kuva 40. Yhteenvetönäkymä kaapelimodeemien käyttämistä kanavista.

Koko solun tila paluusuunnan kohinan kannalta on käytännössä tärkeä ja usein tarvittava tieto. Sen avulla voidaan nopeasti saada kuva solun tilasta. Kuvassa 41 ovat paluukanavien signaalikohinasuhteet sekä koodisanalaskurit.

```
TestiDAH# sh interface cable-upstream signalquality
Ch          unerroreds      uncorrecteds      correcteds      SnR
-----
1           9215            1                 0              41.10
2           8765            0                 0              39.10
3           6776            1                 0              40.30
4           7704            2                 0              39.70
```

Kuva 41. Yleistietoa solun paluusuunnan tilasta.

5. YHTEENVETO

Siirtymäkausi kohti uusia teknologioita on käynnistynyt. Palveluntarjoajat ovat aloittaneet uusien teknologioiden käyttöönotot. DOCSIS 3.1 nostaa nopeudet aivan uudelle tasolle, mutta matkaa uuden standardin käyttöönottoon on vielä. Jotta DOCSIS 3.1-standarista voidaan saada täysi hyöty, pitää verkon ylärajataajuus olla 1,8 GHz. Se asettaa kovat vaatimukset kaapelitelevisioverkolle ja sen laitteille. Alkuvaiheessa ylärajataajuutena on 1,2 GHz, joka sekkin vaatii verkkojen saneerausta, jotta järjestelmä voi toimia standardin mukaisesti. Siirtymävaihe tulee hyvin todennäköisesti kestäämään pitkään.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia kaapelimodeemijärjestelmien arkkitehtuureita ja niihin liittyviä teknologioita teoreettisesti. Lisäksi tehtiin hajautetun järjestelmän hallintatyökalun vaatimusmäärittely, joka liittyy Telesten DAH100-laitteeseen.

Työssä kerrottiin lyhyesti HFC-verkkojen historiasta Suomessa. HFC-verkkojen tekniikan osalta tarkasteltiin lähemmin verkkojen rakennetta ja komponenttien toimintaa.

Perinteisen kaapelimodeemijärjestelmän perustana on CMTS-laite, johon kaapelimodeemit ovat yhteydessä ja joka ohjaa niiden liikennettä. Työssä tarkasteltiin perinteisten CMTS-arkkitehtuurien rakenteellisia eroja sekä niiden ominaisuuksia.

Tärkeä osa HFC-verkkojen kaksisuuntaista tekniikkaa ovat DOCSIS-standardit. Tällä hetkellä kaapelimodeemijärjestelmissä käytetään DOCSIS 3.0-versioon perustuvaa teknologiaa. Työssä tutkittiin keskeisiä asioita, jotka liittyvät kyseiseen teknologiaan ja sen eri kerrosten toimintaan. DOCSIS 3.1-versio poikkeaa 3.0-versiosta pääosin fyysisen kerroksen osalta ja siksi tarkastelu painottui myötä- ja paluusuunnan kanavilla käytettävien fyysisen kerroksen modulointitekniikoiden toimintaan.

Hajautettuja CCAP-arkkitehtuurin toteutuksia on otettu jo käyttöön, mutta teknologia on vielä uutta ja käyttöönotot ovat vielä melko alkuvaiheessa. Hajautettujen järjestelmien yhteinen tekijä on, että toimintoja siirretään lähemmäs loppuasiakasta. Työssä tarkasteltiin kahta erilaista hajautetun CCAP-arkkitehtuurin vaihtoehtoa.

Vaatimusmäärittelyosassa tehtiin hajautetun CCAP-järjestelmän hallintatyökalun vaatimusmäärittely. Hajautetun järjestelmän hallinta ja ylläpito helpottuvat kun järjestelmää voidaan hallita keskitetysti. Vaatimusmäärittelyn tuloksena saatiin aikaan dokumentaatio, jota voidaan käyttää apuna hallintasovelluksen kehittämisessä Telesten DAH100-laitteita varten.

Käytännön testiä varten rakennettiin DAH100-laitteeseen perustuva testiympäristö. Testiympäristössä testattiin DOCSIS 3.0-versioon liittyviä ominaisuuksia käytännön tasolla.

LÄHTEET

- [1] Suomen Kaapelitelevisioliiton värikkäät vuosikymmenet, FiCom, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.1.2016): http://www.ficom.fi/ajankohtaista/ajankoh-taista_1_1.html?Id=1209452182.html
- [2] Kaapelitelevisio- ja IPTV-liittymien määrän kasvu hidastui, Viestintävirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.11.2015): <https://www.viestintavirasto.fi/tietoatoimialasta/katsauksetjaartikkelit/tvjaradio/kaapelitelevisio-jaiptv-liittymien-maarankasvuhidastui.html>
- [3] Kaapelitelevisioverkon hyödyntäminen teletoinnassa, Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavissa (viitattu 10.1.2016): http://www.lvm.fi/documents/20181/819315/1_23_2002.pdf
- [4] Kiinteän verkon laajakaistaliittymien kehitys 2014, Viestintävirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.11.2015): <https://www.viestintavirasto.fi/tietoatoimialasta/katsauksetjaartikkelit/internetjapuhelin/kiinteanverkonlaajakaistaliittymienkehitys2014.html>
- [5] Kaksisuuntaisen kaapeliverkon rakenne, Teleste Oyj, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.11.2015): <https://www.teleste.com/sijoittajat/teleste-sijoituskoh-teena/strategia/toimintaymparisto-kaapelitelevisioverkot>
- [6] Helkama, Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa, Tampere, 2001, 128 s.
- [7] ST-Käsikirja 12, Antennijärjestelmät, Sähkötieto ry, Tampere, 2010, 302 s.
- [8] Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.1, Physical Layer Specification, CM-SP-PHYv3.1-I08-151210, Cable Television Laboratories, Inc. 10.12.2015, 245 p. Saatavissa (viitattu 20.1.2016): <http://www.cable-labs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-PHYv3.1-I08-151210.pdf>
- [9] The Cable History Timeline, The Cable Center, 2014, 85 p. Saatavissa (viitattu 10.1.2016): <http://cablecenter.org/images/files/pdf/CableHistory/CableTimeline-Fall2015.pdf>
- [10] About CableLabs, Cable Television Laboratories, Inc, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.11.2015): <http://www.cablelabs.com/about-cablelabs/>
- [11] Next Generation CMTS – An Architectural Discussion, 2008, 50 p. Saatavissa (viitattu 3.12.2015): www.johntchapman.com/NG-CMTS-WP-071125.pdf
- [12] The differences between US DOCSIS and EuroDOCSIS and will DOCSIS 3.1 eliminate them?, Excentis, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.12.2015):

<https://www.excentis.com/blog/differences-between-us-docsis-and-eurodocsis-and-will-docsis-31-eliminate-them>

- [13] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Modular Headend Architecture, Downstream External PHY Interface Specification, Cable Television Laboratories, Inc, 11.6.2010, 152 p. Saatavissa (viitattu 3.12.2015): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-DEPI-I08-100611.pdf>
- [14] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, DOCSIS 3.0, MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification, Cable Television Laboratories, Inc, 27.8.2015, 795 p. Saatavissa (viitattu 7.12.2015): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-MULPIv3.0-I28-150827.pdf>
- [15] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, DOCSIS 3.1, MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification, Cable Television Laboratories, Inc, 10.12.2015, 816 p. Saatavissa (viitattu 21.12.2015): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-MULPIv3.1-I08-151210.pdf>
- [16] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, DOCSIS 3.0, MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification, Cable Television Laboratories, inc, 10.12.2015, 796 p. Saatavissa (viitattu 20.12.2015): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-MULPIv3.0-I29-151210.pdf>
- [17] Data Over Cable Service Interface Specifications, DOCSIS 3.0, Physical Layer Specification, CM-SP-PHYv3.0-I09-101008, Cable Television Laboratories, inc, 10.10.2008, 170 p. Saatavissa (viitattu 15.1.2016): http://www.cable-europe.eu/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/3_CM-SP-PHYV3.0-I09-101008.PDF
- [18] Series J: Cable Networks and Transmission of Television, Sound Programme and Other Multimedia Signals, Digital Transmission of Television Signals, Recommendation ITU-T J.83, International Telecommunication Union, 14.12.2007, 66 p. Saatavissa (viitattu 21.1.2016): <http://www.itu.int/rec/T-REC-J.83-200712-I>
- [19] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Modular Headend Architecture, DOCSIS Timing Interface Specification, CM-SP-DTI-I06-150305, Cable Television Laboratories, Inc. 5.3.2015, 92 p. Saatavissa (viitattu 3.1.2016): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-DTI-I06-150305.pdf>
- [20] Cisco IOS CMTS Software Configuration Guide, Cisco Systems, Inc. 15.2.2015, 2072 p. Saatavissa (viitattu 15.3.2016): http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/cable/cmts/config_guide/b_cisco_cmts_scg.pdf

- [21] Data Over Cable Service Interface Specifications, DOCSIS 3.0, Physical Layer Specification, CM-SP-PHYv3.0-I12-150305, Cable Television Laboratories, Inc. 5.3.2015, 184 p. Saatavissa (viitattu 20.3.2016): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-PHYv3.0-I12-150305.pdf>
- [22] D. Fellows, D. Jones, DOCSIS cable modem technology, IEEE Communications Magazine, vol. 39, no. 3, pp. 202-209, Mar 2001
- [23] Troubleshooting uBR Cable Modems Not Coming Online, Cisco Systems Inc. verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.1.2016): <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/broadband-cable/cable-modems/16510-troubleshooting-cm-online.html>
- [24] Why Do Some Cable Modems Display a Negative Time Offset? Cisco Systems Inc. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.1.2016): <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/broadband-cable/cable-modems/3984-timingoffset.html>
- [25] How to create a cable modem config file, Excentis, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.12.2015): <https://www.excentis.com/blog/how-create-cable-modem-config-file>
- [26] Data Over Cable Service Interface Specifications, DOCSIS 3.0, Physical Layer Specification, CM-SP-PHYv3.0-I12-150305, Cable Television Laboratories Inc. 5.3.2015, 184 p. Saatavissa (viitattu 15.3.2016): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-PHYv3.0-I12-150305.pdf>
- [27] DOCSIS 3.1, Excentis, Gent, Tammikuu 28-29, 2016, Kurssimateriaali 296 p.
- [28] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, DCA, Distributed CCAP Architectures Overview Technical Report, CM-TR-DCA-V01-150908, Cable Television Laboratories Inc. 8.9.2015, 44 p. Saatavissa (viitattu 10.3.2016): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-TR-DCA-V01-150908.pdf>
- [29] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Converged Cable Access Platform, Converged Cable Access Platform Architecture Technical Report, CM-TR-CCAP-V03-120511, Cable Television Laboratories, Inc. 11.5.2012, 50 p. Saatavissa (viitattu 10.3.2016): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-TR-CCAP-V03-120511.pdf>
- [30] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, DCA-MHAv2, Remote PHY Specification, CM-SP-R-PHY-I03-160121, Cable Television Laboratories, Inc.

- 21.1.2016, 182 p. Saatavissa (viitattu 15.3.2016): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-R-PHY-I03-160121.pdf>
- [31] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, DCA-Remote MACPHY, Remote MAC-PHY Technical Report, CM-TR-R-MACPHY-V01-150730, Cable Television Laboratories, Inc. 3.7.2015, 54 p. Saatavissa (viitattu 15.3.2016): <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-TR-R-MACPHY-V01-150730.pdf>
- [32] Sadhana Pal, Gyan Prakash, Aradhana Jyotsana, Vivek Birla, M-CMTS & DOCSIS 3.0 Standards at High Speed, International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 2, Issue 10, Oct-2011, 6 p.
- [33] Angel Martín, Rafael Coomonte, Claudio Feijóo, Which could be the role of Hybrid Fibre Coax in Next Generation Access Networks?, Telecommunication, Media and Internet Techno-Economics (CTTE), 10th Conference of, Berlin, Germany, 2011, 12 p.
- [34] Kansallinen IPv6-käyttöönotto 9.6.2015, Viestintävirasto. Saatavissa (viitattu 14.12.2015): [https://www.viestintavirasto.fi/attachments/Kansallinen_IPv6-kayttoonotto_sisalto-_ja_verkkopalveluntarjoajille.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/Kansallinen_IPv6_kayttoonotto_sisalto-_ja_verkkopalveluntarjoajille.pdf)
- [35] Haleema Mehmood, Syed Rahman, John M. Cioffi, Bit Loading Profiles for High-Speed Data in DOCSIS 3.1, IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 3, 3/2015, 114-120 pp.
- [36] Jorge Salinger, Deploying CCAP: Not just another box swap, CED Jun2013, Vol. 39 Issue 6. 2013, 22-24 pp.
- [37] XML Tutorial. W3Schools.com. Saatavissa (viitattu 19.5.2016): <http://www.w3schools.com/xml/default.asp>
- [38] Kevin Kline, Brand Hunt, Daniel Kline, SQL in a Nutshell: A Desktop Quick Reference, O'Reilly Media, Inc, 24.9.2004, 720 p.
- [39] Fielding, Roy Thomas, Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, Doctor of Philosophy, University of California, Irvine, 2000, 180 p.