

# LIIKENTEENHALLINNAN TIETOLIIKENNEVERKON KEHITTÄMINEN

Korpela Toni

Opinnäytetyö  
Tekniikan ja liikenne  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

KEMI 2016

Tekniikka ja liikenne  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Toni Korpela	<b>Vuosi</b>	2016
<b>Ohjaaja</b>	Ins. Antti Niemelä		
<b>Toimeksiantaja</b>	Oulun Energia Urakointi Oy, Ins. Jani Koppelo		
<b>Työn nimi</b>	Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon kehittäminen		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	81		

---

Opinnäytetyön aihe oli Oulun kaupungin ja ELY-keskuksen Oulun seudun liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon kehittäminen, mikä valittiin Oulun Energia Urakointi Oy:n tarpeen mukaisesti.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkko on pääasiassa suunniteltu ja toteutettu hälytysajoneuvojen etuuksia ja liikennevalokojien etäkäyttö- ja erillisohjauksia varten. Oulun kaupungin alueella liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa on tietoliikennekytkimien kautta yhdistetty 97 liikennevalokojetta ja seutuliittymät mukaan laskettuna lähemmäs 200 liikennevalokojetta.

Työn tavoitteena oli tarkastella ja dokumentoida olemassa olevan liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon tila ja samalla pohtia tietoliikenneverkon kehityskohteita. Tavoitteena oli myös ennaltaehkäistä liikenteenhallinnan tietoliikenneverkkoa vaivaavien verkkomyrskyjen syntyminen. Verkkomyrskyt aiheuttavat pahimmassa tapauksessa koko tietoliikenneverkon ja liikennevalokojien ruuhkautumisen. Samalla kartoitettiin verkon virheet sekä puutteelliset toiminnot. Havaintojen pohjalta on tehty korjaustoimenpiteitä ja ehdotuksia korjattavista asioista.

Tarkasteltavia kohteita olivat olemassa olevan verkon dokumentaatio, verkon valvonta ja hallinta, ylläpidon työskentelytavat ja käytännöt, ja tietoturva. Jokaisen tarkasteltavan asian kohdalla on pohdittu, kuinka asia olisi järkevintä toteuttaa.

Opinnäytetyöstä saatavia tuloksia hyödynnetään olemassa olevan verkon ja verkon ylläpidon kehityksessä. Tuloksia voidaan käyttää hyväksi myös tulevissa verkonlaajennushankkeissa.

**Avainsanat** tietoliikenneverkko, kehittäminen, verkkohyökkäykset, liikennevalot.

Industry and Natural Resources  
Electrical Engineering

---

<b>Author</b>	Toni Korpela	Year	2016
<b>Supervisor</b>	Antti Niemelä, B.Eng		
<b>Commissioned by</b>	Oulun Energia Urakointi Corporation, Jani Koppelo, B.Eng		
<b>Subject of thesis</b>	The development of traffic management telecommunications network		
<b>Number of pages</b>	81		

---

The topic of the present thesis was assigned by the Oulun Energia Urakointi Corporation. The subject being mapping, documentation and development of the traffic management telecommunications network in the Oulu region. The traffic management telecommunications network is owned by the City of Oulu and Centre for Economic Development, Transport and the Environment.

The traffic management telecommunications network is mainly planned and implemented for the HALI systems (Emergency vehicle preemption systems) needs and remote management of the traffic lights. There are 97 traffic light units connected to the traffic management telecommunications network in the Oulu region. If all the maintained traffic lights are counted, there are estimatedly 200 units under the HALI system.

The aim of the thesis was to examine and document the existing network, while targeting and resolving issues within the problematic network development process. Furthermore, proposing solutions for the improvement of the telecommunication network. The main aim is to prevent the broadcast storms. These broadcast storms are causing situations where all the switches of the network send the broadcast traffic. The broadcast traffic is causing the network to jam.

This thesis mainly observes documentation, management and control of the existing network, the methods and practices used for the maintenance and the network security. All these observed issues were scrutinized and evaluated in order to find the most rational implementation.

The results of the thesis are used in the development of the existing network and maintenance of network development. The results can also be used in future projects where the network is expanded.

**Key words** telecommunications network, improvement, network attacks, traffic lights.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	11
2	TARVE JA TYÖN KULKU.....	12
2.1	Tarve.....	12
2.2	Työn kulku .....	12
3	LIIKENTEENHALLINNAN TIETOLIIKENNEVERKKO .....	14
3.1	HALI - Hälytysajoneuvojen pakkoetusjärjestelmä .....	14
3.2	Liikennevalot.....	17
3.3	Ajoneuvolaitteet .....	18
3.4	YLLI-yleisliitännäyksikkö .....	18
3.5	Tietoliikenneverkko .....	19
3.5.1	Ethernet-silta .....	19
3.5.2	Spanning Tree -protokolla .....	21
3.5.3	Rapid Spanning Tree -protokolla.....	23
3.6	Tietoliikenneverkon kytkimet.....	25
3.6.1	Actelis ML2300-keskuslaite .....	28
3.6.2	Actelis ML698.....	29
3.6.3	Actelis ML622 -päätelaitte .....	30
3.6.4	Actelis ML530.....	30
3.6.5	Actelis XR239 EFM-toistin ja PFU-8-tehonsyöttöyksikkö .....	31
3.7	Tietoliikenneverkon työkalut.....	32
3.7.1	Actelis MetaASSIST™ View 7.40.....	32
3.7.2	Actelis MetaASSIST™ EMS 3.0.....	32
3.7.3	Kolmannen osapuolen sovellukset.....	33
4	TIETOLIIKENNEVERKON KEHITYSKOhteET .....	34
4.1	Dokumentointi.....	34
4.1.1	Laiteluettelo .....	34
4.1.2	Kytkimien sijainti kartalla .....	35
4.1.3	Rinkikuvat.....	36
4.1.4	MLP- ja HSL-yhteyksien dokumentointi.....	39
4.1.5	Käyttöohjeet .....	40
4.2	Verkon hallinta ja valvonta.....	41
4.2.1	Nagios ja Nagmap.....	42

4.2.2	MetaASSIST™ EMS 3.0 .....	44
4.3	Kytkimien nimeäminen.....	46
4.4	Hälytykset .....	47
4.5	HSL-yhteyksien Office ja Customer suhteet .....	47
4.6	Verkkomyrskyjen ehkäiseminen .....	49
4.6.1	Käyttämättömien porttien sulkeminen .....	50
4.6.2	Renkaiden ja pistojen pienentäminen.....	50
4.6.3	Tehonsyöttöyksiköiden ja toistimien käyttöönotto.....	59
4.6.4	Rapid Spanning Tree -asetukset.....	63
4.6.5	Reitittimien käyttäminen tietoliikenneverkossa.....	67
4.7	Varmennettu sähkönsyöttö .....	69
4.8	Varmuuskopiointi ja tietojen palauttaminen.....	69
4.9	Tietoturvan kehittäminen.....	71
4.9.1	Käyttäjienhallinta .....	72
4.9.2	RADIUS-palvelu .....	73
4.9.3	IP-osoitepääsystä .....	74
4.9.4	SSH-yhteyksien käyttöönotto .....	74
5	POHDINTA.....	76
	LÄHTEET.....	79

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Oulun Energia Urakointi Oy:tä mahdollisuudesta tehdä tämä monipuolinen ja opettavainen päättötyö. Kiitokset Oulun Energia Urakointi Oy:n älyliikenneasiantuntijalle Jani Koppelolle ja asentajalle Markku Huhtalle, jotka auttoivat monin tavoin työssä.

Oppilaitoksen puolelta haluan kiittää sähkötekniikan koulutusohjelmavastaavaa Aila Petäjäjärveä ja työn ohjaajia, DI, Tapani Ruokasta ja projekti-insinööriä Antti Niemelää.

Eryiskiitokset opintojen ja tämän päättötyön valmistumisesta kuuluu myös avovaimolleni Sannalle sekä lapsilleni Ronille ja Kristianille. Haluan lopuksi kiittää myös Salme Kinnusta avusta lastenhoidossa, sillä ilman tätä ratkaisevaa apua opinnäytetyö olisi jäänyt tekemättä.

Oulussa 1.5.2016

Toni Korpela

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

BPDU	Bridge Protocol Data Unit, spanning tree - rengasverkon datakehys
CO	Central Office, operaattorin päätelaite
COLAN	Actelis kytkimen RJ-45-hallintaportti
CPE	Central Premises Equipment, asiakastilan päätelaite
CPU	Central Processing Unit, keskusprosessori
CyberWI	Cyber-security in the Wireless Industrial use case, ky- berturvallisuushanke
DiffServ	Differentiated services, verkonhallinta-arkkitehtuuri
DSL	Digital Subscriber Line, laajakaistatekniikka
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer, laajakaistakeskitin
EC-2	Peak Traffic EuroController 2 -liikennevalokoje
EFM	Ethernet in the First Mile, operaattori-tilaajayhteys en- simmäiselle mailille
EFMplus	Ethernet in the First Mile plus, tilaajayhteyden jat- kaminen toistimella
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EMS	Element Management System, verkkolaiteiden hallinta- järjestelmä
ERPS	Ethernet Ring Protection Switching, ERPS-protokolla
GPS	Global Position System, paikannusjärjestelmä
G.SHDSL.bis	G. Symmetrical High-speed Digital Subscriber Line.bis, laajakaistatekniikka
HALI-järjestelmä	Hälytysajoneuvojen etuusjärjestelmä
MMI	Man-Machine Interface, käyttöliittymä
HSL	High Speed Link, kupariparien yhteyslinkki kytkimien välillä
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, tekniikan alan standardointijärjestö
I/O	Input/Output, sisään/ulos
IP	Internet Protocol, Internet-protokolla

ISR G2	Cisco Systemsin Integrated Services Routers Generation 2 -reititinsarja
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunications, Kansainvälinen televiestintäliitto televiestintäsektori
LAN	Local Area Network, lähiverkko
LCM	Light Control Unit, lamppukortti
L2	Layer 2, OSI-mallin siirto- ja yhteyskerros
L3	Layer 3, OSI-mallin verkkokerros
MAC	Media Access Control, Ethernet-laitteen osoite
Mbps	Megabyte per seconds, megatavua sekunnissa
MDU	Main Distribution Unit, virtalähde
MGMT	Management, hallinta
MLxxx tai ML	Meta Light, Actelis ML -kytkintuoteperhe
MLP	Modem Line Port, modeemiportti
MLU32	Modem Line Unit 32, modeemilinjakortti
OSI-MALLI	Open Systems Interconnection Reference Model, seitsenkerroksinen tiedonsiirtomalli
PFU-8	Power Feed Unit, tehonsyöttöyksikkö
Q-in-Q	Moni-VLAN-tekniikka
QoS	Quality of Service, tietoliikenteen luokittelu ja priorisointi
RADIUS	Remote Authentication Dial In User Service, käyttäjien tunnistustekniikka
RJ-45	Registered Jack 45, Ethernet-liitin
RS-232	Recommended Standard 232, tietoliikennesarjaportti
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol, RSTP-protokolla
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Line, laajakaistatekniikka
SSH	Secure Shell, suojattu etäkäyttöohjelma
STP	Spanning Tree Protocol, spanning tree -protokolla
TCP	Transmission Control Protocol, yhteyshallintaprotokolla
TEKES	Teknillinen keskus, innovaatorahoituskeskus
ToS	Type of Service, priorisointi-arkkitehtuuri



UPS	Uninterruptible Power System, keskeytymätön sähkönsyöttö
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line, laajakaistatekniikka
VLAN	Virtual Local Area Network, virtuaalinen lähiverkko
XR239	EFM-toistin
YLLI	Yleisliitäntäyksikkö
3G	Third Generation of Mobile Telecommunications, kolmannen sukupolven langaton puhelintekniikka
10/100Base-T	10/100 Megatavun kierrettykupariparitiedonsiirtotekniikka
10/100Base-TX	10/100 Megatavun kierrettykupariparitiedonsiirtotekniikka
100/1000Base-SFP	10/1000 Megatavun kuitutiedonsiirtotekniikka

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää ja kuvata Oulun seudun liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon nykytila sekä esittää konkreettisia tapoja parantaa verkon luotettavuutta ja tietoturvaa. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Oulun Energian Urakointi Oy:n liikennevalaistus ja televerkot -yksikkö.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkko yhdistää ajoneuvoliikenteessä käytettävät ohjaus- ja hallintalaitteet yhden tietoliikenneverkon alle. Opinnäytetyössä esitellään aluksi Oulun kaupungin ja ELY-keskuksen omistama Oulun seudun liikenteenhallinnan tietoliikenneverkko ja verkossa olevat laitteet. Tämän jälkeen esitellään tietoliikenneverkon nykyinen toteutus sekä perehdytään muutamiin tietoliikenneverkon kehityskohtiin.

Omassa luvussa käsitellään liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa havaittuja puutteita, minkä jälkeen esitetään tehtyjä toimenpiteitä ja erilaisia esitetään erilaisia keinoja verkon toiminnan parantamiseksi. Pohdinnassa käydään läpi, mitä on saavutettu työn aikana ja mitä työn aikana olisi voinut tehdä toisin.

Työn laajuuden vuoksi kaikkia verkon kehityskohteita ei ole voitu kirjata tähän työhön, koska verkon kehittäminen on ikuinen projekti. Tämän opinnäytetyön tulokset ovat tärkeitä tietoliikenneverkon ylläpidosta vastaavalle organisaatiolle ja verkon käyttäjille. Työn tarkoituksena on antaa myös tietoa ja ohjeita muille tietoliikenneverkon rakentajille.

## 2 TARVE JA TYÖN KULKU

### 2.1 Tarve

Oulun Energia Urakointi Oy:n liikennevalaistus ja televerkot -yksiköllä on ylläpidettävänä Oulun kaupungin ja Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen liikenteenhallinnan tietoliikenneverkko. Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkko on pääasiassa suunniteltu ja toteutettu hälytysajoneuvojen etuutta ja liikennevalokojoiden etäkäyttö- ja erillisohjauksien suorittamista varten. Oulun kaupungin alueella liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa on tietoliikennekytkimien kautta yhdistetty 97 liikennevalokojetta.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkko on otettu käyttöön vuonna 2011 toiminnasta vastaavan henkilön, yrityksen teleasentajien ja kytkimien maahantuojaan toimesta. Tietoliikenneverkko on kasvanut nopeasti heti verkon käyttöönoton jälkeen. Räjähdyksmäisen kasvun vuoksi verkon dokumentaatio, suunnitelmat ja ohjeistukset eivät ole pysyneet ajan tasalla. Kehitys ja ylläpito tarvitsevat selkeät ohjeistukset, suunnitelmat ja toimintatavat verkon ylläpitämiseksi. Myös liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon toiminnasta vastaava henkilö oli poistunut yrityksen palveluksesta. Työn aloitushetkellä yrityksen organisaatiossa ei ollut verkon ylläpidosta ja kehityksestä systemaattisesti vastaavaa henkilöä.

Liikenteenhallinnan tietoliikennettä ovat vaivanneet Oulun kaupungin alueella kiusalliset verkkomyrskyt, (Data Storm, Broadcast Storm), jotka aiheuttavat pahimmassa tapauksessa koko tietoliikenneverkon ja liikennevalokojoiden ruuhkautumisen.

### 2.2 Työn kulku

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin perehtymällä liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon saatavilla olleisiin dokumentteihin. Lisäksi verkon ylläpidosta vastaavia henkilöitä haastateltiin. Haastattelujen tarkoituksena oli selvittää, oliko sillä hetkellä tiedossa verkon luotettavuuteen ja turvallisuuteen vaikuttavia ongelmia.

Tämän jälkeen verkon rakennetta tutkittiin tarkemmin selvittämällä tietoliikennekytkimistä käsin vanhan dokumentaation paikkansapitävyys. Myös fyysiset kytkennät kiinteistöissä ja kentällä käytiin läpi.

Verkkokuvien laadinnassa käytettiin Corel Draw X6- ja Microsoft Visual- ohjelmistoa. Kuvista piirrettiin aina kahdet versiot: kaapelointikuvat fyysisten johtojen sijainnin näyttämistä varten sekä loogiset kytkentäkuvat kytkimien ja reitittimien asetusten ylläpitoa varten.

Osa opinnäytetyössä dokumentoiduista verkkokuvista sisältää luottamuksellista tietoa, joten niitä ei ole sisällytetty tähän raporttiin.

### 3 LIIKENTEEHALLINNAN TIETOLIIKENNEVERKKO

#### 3.1 HALI - Hälytysajoneuvojen pakkoetusjärjestelmä

Nykyaikainen tietoliikenneverkko antaa edellytykset erikoistoiminnoille kuten hälytysajoneuvoetuuksille ja joukkoliikenne-etuuksille. Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon tehtävänä on parantaa ajoneuvo- ja kevyen liikenteen liikenneturvallisuutta ja sujuvuutta. Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkko on yksi osa vuorovaikutteisempaa ja älykkäämpää liikenteenhallintaa, jossa liikenteen ylläpitäjät ja eri liikennekäyttäjät otetaan paremmin huomioon. Ylläpitäjä voi vaikuttaa liikenteen ohjaukseen ja liikennettä ohjaavien laitteiden toimintaan etäältä. Vastaavasti liikenteessä olevat eri käyttäjät voivat saada erilaisia etuuksia ja ohjauksia. Tietoliikenneverkko on rakennettu Actelis-tietoliikennelaitteilla.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkko mahdollistaa TCP/IP-protokollaa käyttävien laitteiden liittämisen verkkoon, kuten HALI-järjestelmän verkkolaitteet, liikennevalokojeet ja liikenteenseurantakamerat.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon pääasiallisin tapa edistää liikenneturvallisuutta on liikennevalojen pakkoetus. Oulun seudulla kehitetty HALI-järjestelmä on automaattinen pakkoetusjärjestelmä, jonka avulla hälytystehtävissä olevat hälytysajoneuvot saavat automaattisesti vihreän valon niihin liikennevaloihin, jotka kuuluvat HALI-järjestelmän piiriin. (Oulun kaupunki 2015.)

Pakkoetusjärjestelmä on kehitetty ennen kaikkea parantamaan ajoneuvoliikenteen ja kevyen liikenteen turvallisuutta. Koska nykyiset hälytysajoneuvot ovat nopeita, raskaita ja vaarallisia muille liikenteen käyttäjille, saavat ne poiketa liikennesäännöistä hälytysajon aikana. Liikennevalojen pakkoetuudella varmistetaan, että liikennevaloristeykseen saapuva hälytysajossa oleva hälytysajoneuvo saa aina vihreät valot ennen muita liikenteen käyttäjiä.

HALI-järjestelmän avulla tehdään hälytysajoneuvojen hälytysajosta kaikille liikenteen käyttäjille turvallista ja selkää. HALI-järjestelmän avulla nopeutetaan

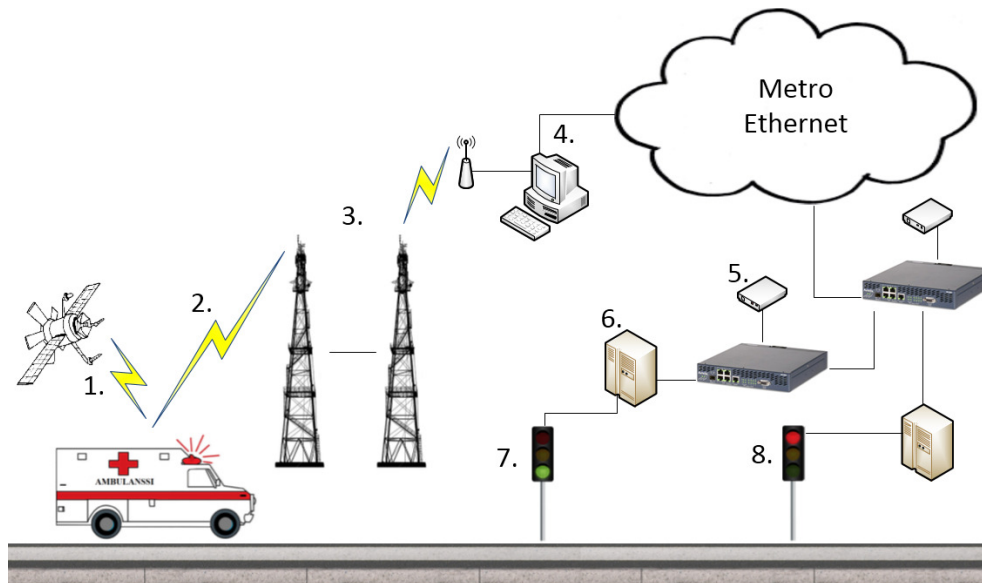
myös huomattavasti hoitoavun saapumista sekä minimoidaan liikenteelle aiheutuvat haitat. (Oulun kaupunki 2015.)

HALI-järjestelmän alla on kaikki Oulun seudun liikennevaloristeykset ja valtaosa hälytysajoneuvoista. Oulussa saatujen hyvien kokemusten myötä järjestelmä on laajentunut ja on tällä hetkellä käytössä 11 kunnassa Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa. Järjestelmä on kahdennettu myös Tampereelle Oulun mallin mukaisesti vuonna 2015 ja laajenee myös tällä hetkellä Itä-Suomessa. Järjestelmää ovat käyneet Oulussa myös tarkastelemassa kaikki Suomen suurimmat kaupungit. (Talvi 2015.)

HALI-etuusjärjestelmä on herättänyt myös suurta kiinnostusta ulkomailla. Järjestelmää on esitelty muun muassa Tokiossa ja Berliinissä pidettävässä älyliikenteen maailmankongresseissa. Vuonna 2015 järjestelmä sai kansanvälisessä European Satellite Navigation Competition 2015 -kilpailussa Saksan liikenne- ja viestintäministeriön PRS-erikoispalkinnon. Saksan liikenne- ja viestintäministeriö on luvannut tukea järjestelmän pilotointia Saksassa. (European Satellite Navigation Competition 2016.)

HALI-järjestelmän toimintaperiaate on yksinkertainen. Hälytysajossa olevat hälytysajoneuvot lähettävät automaattisesti kerran sekunnissa paikka- ja suuntavilkkutietoa keskusjärjestelmälle. HALI-palvelinohjelmisto päättelee etuustarpeen paikka- ja suuntavilkkutiedon perusteella ja lähettää ohjaukaskäskyjä liikennevalokojeille. Liikennevalokojeet myöntävät etuuden ohjaukaskäskyjen perusteella. (Talvi 2015.)

Käytännössä etuusjärjestelmän toiminta perustuu useamman olemassa olevan tekniikan hyödyntämiseen. Kuviossa 1 on esitetty yksityiskohtaisemmin tiedon siirto ja tiedon käsittely eri vaiheissa, jotta lujalle muodostuu parempi käsitys liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon merkityksestä HALI-järjestelmässä.



Kuvio 1. HALI-järjestelmän toimintaperiaate

HALI-järjestelmä toimii seuraavalla tavalla kuvion 1 mukaisesti:

1. Hälytysajoneuvoihin kalustettu käyttölaite noutaa paikkatietonsa GPS-satelliiteilta.
2. Käyttölaite lähettää kerran sekunnissa hälytysajoneuvon paikka- ja suuntavilkkutiedon hälytysajoneuvoon kalustetun tiedonsiirtomodeemin kautta operaattorin 3G-verkkoon.
3. Paikka- ja suuntavilkkutiedot siirtyvät operaattorin 3G-verkon kautta HALI-keskusjärjestelmälle.
4. Keskusjärjestelmän HALI-palvelinohjelmisto vastaanottaa liikkuvien ajoneuvojen paikka- ja suuntavilkkutiedot. HALI-palvelinohjelmisto päättelee etuustarpeen saapuvan tiedon perusteella ja lähettää ohjaukskäskyjä liikennevaloristeyksissä oleville YLLI-yleisliitäntäyksiköille.
5. Ohjaukskäskyt siirtyvät liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon kautta YLLI-yleisliitäntäyksikölle.
6. Liikennevaloristeyksissä olevat YLLI-yleisliitäntäyksiköt välittävät pyynnön suoraan liikennevalokojeille.
7. Liikennevalokojeet käynnistävät etuuden hälytysajoneuvoille.
8. Etuus poistetaan liikennevaloristeyksestä, kun ajoneuvo on saapunut liittymäalueelle tai pyyntöalueella ei ole muita hälytysajoneuvoja.

### 3.2 Liikennevalot

Liikennevalojen ohjaus on toteutettu liikennevaloristeyksissä sijaitsevilla liikennevalo-ohjauskojeilla, -opastimilla, -pylväillä ja -ilmaisimilla sekä eri osat yhdistävällä yhdyskaapeloinnilla. Liikennevalo-ohjauskojeisto on sijoitettu liikennevalokaappiin. Risteyksen liikennevalo-ohjauksen ”äly” on ohjelmoitu ohjauskojeeseen, joihin on nykyään mahdollista tehdä erilaisia liikennevaloetuuksia ajoneuvoille ja kevyen liikenteen käyttäjille. Kuvassa 1 on TCP/IP-protokollaa tukeva Peek Traffic EC-2 -ohjauskojeisto.



Kuva 1. Liikennevalokaapissa sijaitseva EC-2-ohjauskojeisto

Ohjauskojeisto toimii kuten ohjelmoitava logiikka. Esimerkiksi Peek Traffic EC-2 -ohjauskojeistossa on usean ohjelmoitavan logiikan tavoin prosessoriyksikkö (CPU), virtayksikkö (MDU), analogisia ilmaisinyksikköjä, I/O-kortteja ja lamppukortteja (LCM). Lisäksi ohjauskojeesta löytyy yleensä ohjauskojeiston käsikäytön mahdollistava MMI-paneeli. Ohjauskojeisto on Ethernet-liityntää varten yksi RJ-45-portti ja sarjaporttiliitintä varten yksi RS-232-portti.

Liikennevalo-ohjauskojeen virtayksikössä (MDU) on jännitevalvonta, verkkomuuntaja, häiriösuodatin sekä turvareleitä. Opastimien lamput on kytketty



lamppukortteihin (LCM). Lamppukorteissa on neljä opastinryhmää yhdellä valokytkinkortilla. Opastinryhmiä valvotaan virtavalvonnalla.

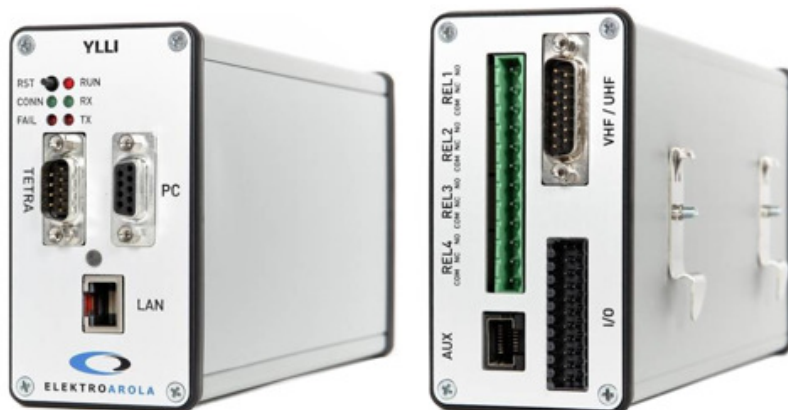
Risteyksissä olevat ilmaisinsilmukat voidaan kytkeä johonkin ilmaisinyksikössä olevaan kuuteentoista ilmaisinkanavaan. Ilmaisinyksikössä on myös RS-232-portti sarjaväyläkommunikointia varten. Liikennevalokojeet ovat myös varustettu I/O-kortilla reletulojen ja -lähtöjen ohjaamiseen.

### 3.3 Ajoneuvolaitteet

HALI-järjestelmän hälytysajoneuvojen käyttölaite tulee Elektro Arola Oy:ltä, ja tiedonsiirtomodeemit ja antennit tulevat Signal Partner Oy:ltä. Laitteiden toiminta perustuu GPS-satelliittipaikannukseen ja langattomaan 3G-tiedonsiirtoon. Liikennevalojen ohjauksissa käytetään hyväksi hälytysajoneuvojen hallintalaitteista saatavaa tietoa. Ajoneuvon suuntavilkulla pystytään ilmaisemaan liikennevaloristeykselle vihreän valon tarve kääntymissuuntaan. (Arola 2016.)

### 3.4 YLLI-yleisliitântäyksikkö

HALI-järjestelmän liikennevaloristeykseen tulevat YLLI-yleisliitântäyksiköt tulevat Elektro Arola Oy:ltä. YLLI-yleisliitântäyksiköt mahdollistavat pakko-ohjaustiedon välittämisen liikennevalokojeelle. Käytössä olevilla liikennevalokojeilla ei ole olemassa rajapintaa vastaanottaa HALI-keskusjärjestelmästä saapuvia pakko-ohjaustietoja, minkä vuoksi YLLI-yleisliitântäyksikkö vastaanottaa ohjaustiedon tietoliikenneverkon kautta ja välittää ohjaustiedon kojeelle I/O-tietona. I/O-tiedon perusteella liikennevalokoje osaa ohjata poikkeusohjelman päälle, joka kestää vain sen aikaa kun hälytysajoneuvo on kulkenut risteyksen läpi. Kuvassa 2 on YLLI-yleisliitântäyksiköstä kuva. (Elektro Arola Oy Ab 2016.)



Kuva 2. YLLI-yleisliitintäytysyksikkö (Elektro Arola Oy Ab 2016).

HALI 2.0 tulee korjaamaan tämän aikaisemmin mainitun rajapintaongelman liikennevalokojeille. HALI-järjestelmän uusin versio HALI 2.0 toteutetaan kansallisena Tekesin rahoittamassa CyberWI-hankkeessa. HALI 2.0:n myötä mikä tahansa kaupunki voi liittyä HALI-etuusjärjestelmän piiriin helposti ja kustannustehokkaasti. HALI 2.0 on avoin tuote viranomaisille ja vastaavasti avoin järjestelmä yrityksille. (Oulun kaupunki 2015.)

### 3.5 Tietoliikenneverkko

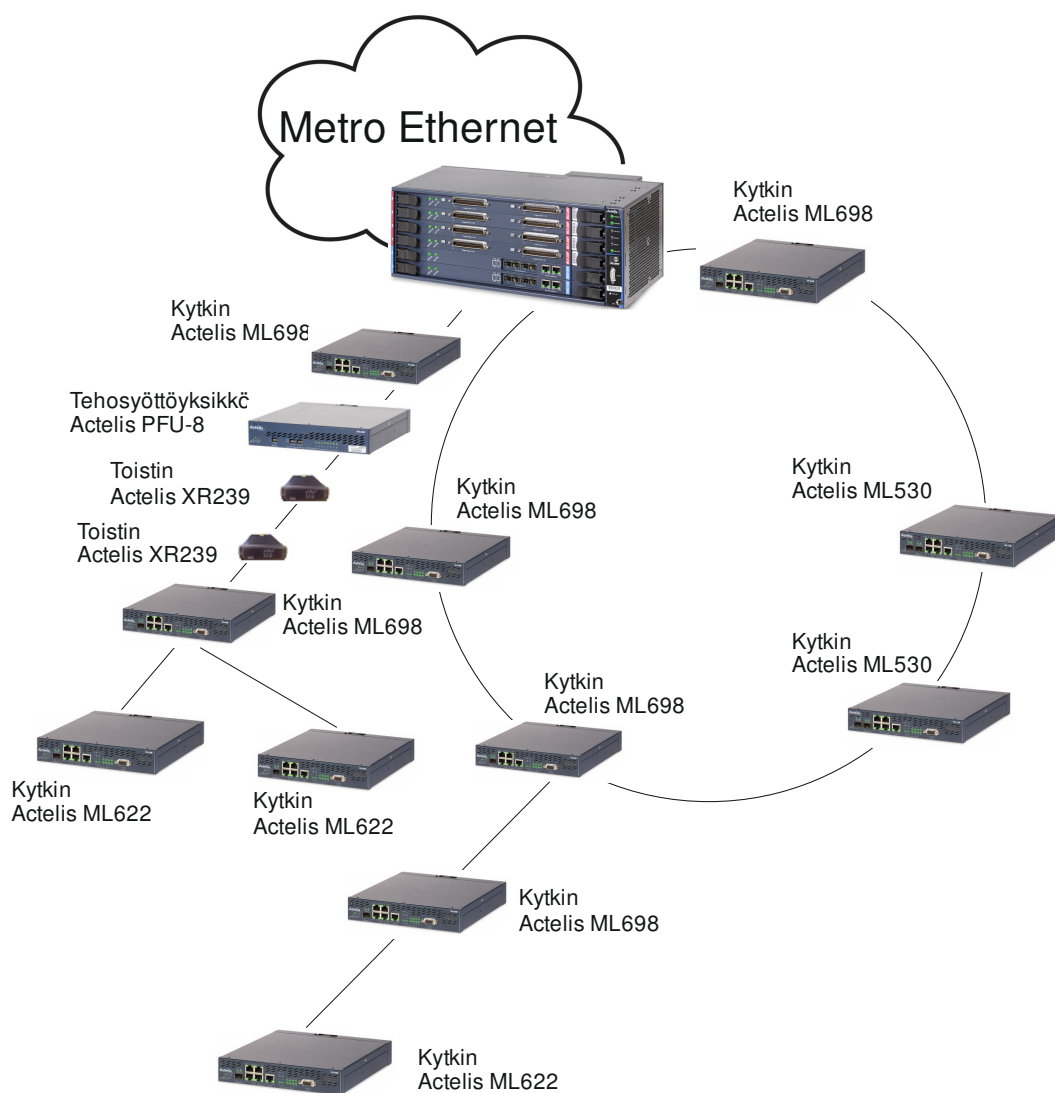
Liikennevaloristeyksien kojeiden välille on rakennettu kupari- ja kuitukaapelit, joita on käytetty Oulun alueella aikaisemmin liikennekojeiden etävalvontaan ja erillisohjauksiin EC-Trak-keskusjärjestelmän kautta. EC-Trak on liikennevalokojeiden ohjaukseen käytetty vanhempi keskusjärjestelmä, joka on poistumassa kokonaan käytöstä vuoden 2016 aikana. EC-Trak-keskusjärjestelmä on vanhanaikainen, yhteyksien ylläpitäminen ja viankorjaus liikennevalokojeiden välillä on työlästä. EC-Trak ei myöskään palvele useamman järjestelmän käyttöä olemassa olevien kupariyhteyksien kautta.

#### 3.5.1 Ethernet-silta

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkko on toteutettu Actelis-kytkimillä liikennevaloristeyksien välisten kupari- ja kuitukaapeleiden avulla. Actelis-kytkimet mahdollistavat useamman TCP/IP-protokollaa tukevien laitteiden liittämisen tie-

toliikenneverkkoon. Actelis-kytkimet mahdollistavat myös olemassa olevien kuituyhteyksien käyttämisen.

Actelis-kytkimet tukevat verkkotopologiaaltaan tähtimäistä, rengasmaista ja hybridirengasmaista verkkoa. Hybridirengasmaisissa verkoissa laitteiden välillä käytetään sekä kupari- että kuituyhteyksiä. Olemassa olevan kuparikaapeloinnin vuoksi kytkimet ovat kytketty toisiinsa sekä tähtimäisesti että rengasmaisesti kuvion 2 mukaisesti. (Actelis Networks XRL8 2013, 1-2).



Kuvio 2. Liikenteenhallinnantietoliikenneverkon laitteet ja topologia

### 3.5.2 Spanning Tree -protokolla

Spanning Tree -protokollan (STP) ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 1990 ja se tunnetaan tarkemmin IEEE:n standardoimana standardina 802.1d. Myöhemmin protokolla on tullut päivityksiä standardeilla 802.1w ja 802.1s. STP-protokolla on Ethernet-lähiverkkoyhteyksien hallintaprotokolla, joka tarjoaa luotettavia vaihtoehtoisia reittejä verkossa samalla estäen häiritsevien silmukoiden syntymisen verkkoon. Protokollan ensisijainen tehtävä on aina varmistaa toimiva yhteys myös tilanteissa, joissa esimerkiksi kaivinkone katkaisee kahden rakennuksen välisen tietoliikennekaapelin. Protokollan toissijainen tehtävä on estää verkkoon syntyvät silmukat esimerkiksi virhekytkentöjen toimesta. (Cisco Systems 2006.)

Kytkimet ovat lähiverkon laitteita, joissa jokaisella verkkoon liittyvällä laitteella yksilöllinen osoite eli MAC-osoite. Kytkimet välittävät liikennettä MAC-osoitteiden perusteella oikeisiin portteihin. Jos verkossa olevan Ethernet-kehysen vastaanottajan MAC-osoite on tuntematon tai kehys on broadcast- tai multicast-tyyppiä, kehys toistetaan kaikkiin muihin kytkimen portteihin paitsi tuloporttiin. Nämä toistettavat kehykset muodostavat helposti silmukoita verkkoon tuottaen verkkomyrskyjä. (Techopedia 2016.)

Spanning Tree -protokollassa kytkimet neuvottelevat silmukattoman verkkohierarkian, jossa kytkimet ja verkon muut laitteet ovat yhdistyneenä toisiinsa porttien kautta. Spanning Tree -protokollan neuvotteluissa valitaan verkosta yksi pääkytkin, ja muista liikennettä välittävistä kytkimistä tulee siltakytkimiä (Bridge-kytkimiä). Silta-kytkimet laskevat edullisimman reitin pääkytkimelle. Tätä prosessia kutsutaan pääkytkimen tai juurikytkimen (Root-kytkimen) äänestykseksi, joka kestää yleensä 30–50 sekuntia. (Cisco Systems 2006.)

Pääkytkin päättää, mitkä yhteydet kytkinten välillä asetetaan aktiiviseksi, eli mitkä portit lähettävät liikennettä. Muut portit suljetaan liikenteeltä ja jäävät varalle. Tällä tavalla saadaan kytkinten välille näennäisesti rinnakkaisia yhteyksiä, joista vain yksi yhteys on kerrallaan käytössä. Kytkimet pysäyttävät vikatilanteessa

liikenteen välityksen vain siksi aikaa, kunnes vaihtoehtoinen reitti verkossa on saatu selville. (Cisco Systems 2006.)

Kun kytkimet yhdistetään ensimmäistä kertaa toisiinsa, neuvottelu alkaa siten, että kytkimet muodostavat keskenään linkit, joissa ei kulje muuta liikennettä kuin Spanning Tree -protokollan Bridge Protocol Data Unit -viestejä (BPDU). Tätä kutsutaan kuuntelevaksi tilaksi eli listening-tilaksi, jossa kytkimet lähettävät kaikista porteistaan BPDU-viestejä muille kytkimille porttiansa kautta ja vastaavasti vastaanottavat BPDU-viestejä muilta kytkimiltä porttiansa kautta. (Cisco Systems 2006.)

Listening-tilan jälkeen kytkimien portit siirtyvät oppivaan tilaan eli Learning-tilaan. Oppivassa tilassa kytkimien portit luovat kuunneltavien BPDU-viestien perusteella kytkimelle MAC-ohjaustaulun. Linkkien kautta ei edelleenkään lähetetä muuta liikennettä kuin BPDU-viestejä.

Seuraavaksi kytkimet siirtyvät välittävään tilaan eli Forwarding-tilaan. Tässä tilassa portit edelleen kuuntelevat ja lähettävät BPDU-viestejä, sekä aloittavat liikenteen lähettämisen kytkimien välillä ja verkon muiden laitteiden välillä. Verkossa on myös portteja, jotka ovat suljetussa tilassa, eli Blocked-tilassa. Suljetussa tilassa olevat portit nimensä mukaisesti estävät kaiken liikenteen välittämisen paitsi BPDU-viestien välittämisen. Päälaitteeksi valitaan kytkin, jonka MAC-osoite on pienin. (Cisco Systems 2006.)

Useamman kytkimen verkossa, kytkimen porttiin liitettävä tietoliikennekaapeli tai muu verkon topologinen muutos muuttaa muutoksen kokeneen kytkimen portin tilan ensin suljetuksi. Portti vastaanottaa BPDU-paketteja mutta ei välitä liikennettä. Kytkin odottaa oletusarvoisesti 20 sekunnin (Max Age) ajan BPDU-viestiä pääkytkimeltä alkuperäistä reittiä pitkin. Actelis-kytkimellä Max-Age on oletusarvoisesti 20 sekuntia. (Cisco Systems 2006).

Kytkimen portti siirtyy suljetun tilan jälkeen kuuntelutilaan. Kuuntelutila kestää oletusarvoisesti 15 sekuntia. Kuuntelutilassa kytkin poistaa siltaustaulustaan reitit, jotka on opittu ennen muutosta. Kuuntelutilasta kytkimen portti siirtyy op-

pivaan tilaan. Oppivassa tilassa siltaustaulu rakennetaan uudestaan. Kesto on oletusarvoisesti 15 sekuntia. (Cisco Systems 2006.)

Lopuksi kytkimen portti siirtyy liikennettä välittävään tilaan. Mainituilla oletusasetuksilla topologian muutos pysäyttää kytkimen portin liikenteen välityksen 50 sekunnin ajaksi, kun kyseessä on uuden kytkimen lisäyksestä aiheutuva muutos. Kaapelin katkeaminen olemassa olevassa verkossa aiheuttaa viasta toipumisen puolestaan 30 sekunnissa (Forward Delay). (Cisco Systems 2006.)

Vikatilanteessa pääkytkin lähettää Spanning Tree -protokollan Hello-paketteja oletuksena kahden sekunnin välein. Hello-pakettien avulla siltakytkimet havaitsevat porteistaan verkon topologiaan tulleet muutokset. Jos jokin siltakytkin havaitsee muutoksen, ilmoittaa siltakytkin topologian muutoksesta lähettämällä viestin takaisin pääkytkimelle. Kun pääkytkin saa tiedon muutoksesta, pääkytkin vastaavasti lähettää muutosviestin kaikille siltakytkimille topologian korjaamiseksi. (Cisco Systems 2006.)

### 3.5.3 Rapid Spanning Tree -protokolla

Spanning Tree -protokollasta on jatkokehitetty IEEE:n standardilla 802.1w Rapid Spanning Tree -protokolla. Sana Rapid viittaa nopeampaan Spanning Tree -protokollaan. Rapid Spanning Tree -protokolla on kehitetty, koska Spanning Tree ei toipunut riittävän nopeasti verkkoon kohdistuneesta muutoksesta.

Rapid Spanning Tree -protokollan toiminnassa kytkimien porteilla on suuri merkitys protokollan toimintaan. Jos portit ovat väärin konfiguroitu, Rapid Spanning Tree -protokolla toimii kuten Spanning Tree -protokolla. Kytkimet muodostavat porttien kautta verkkorakenteeltaan renkaan, jossa liikenne kulkee parasta reittiä pitkin. Renkaassa jokainen portti ja laite ovat toiminnan kannalta tietyssä tilassa. (Cisco Systems 2006.)

Rapid Spanning Tree -protokolla toimii kuten Spanning Tree -protokolla, eli renkaassa yhdestä laitteesta tulee pääkytkin eli Root-laite, ja muista laitteista tulee siltalaitteita, eli Bridge-laitteita. Pääkytkin määräytyy renkaassa ensisijaisesti

pienimmän MAC-osoitteiden perusteella, seuraavaksi kytkimen keskinäisten prioriteettien perusteella (Bridge priority), tämän jälkeen portin STP prioriteettien perusteella (STP port priority) ja lopuksi kytkimien välisten porttien reittiarvojen perusteella (Path cost). (Cisco Systems 2006.)

Rapid Spanning Tree -protokollassa päälaitteen valinta tapahtuu ensisijaisesti MAC-osoitteen perusteella, jos kaikkien laitteiden Rapid Spanning Tree -asetukset ovat kaikilla kytkimillä samanlaiset. Pääkytkimeksi valikoituu laite, jonka MAC-osoite on kaikista renkaassa olevista kytkimistä pienin. (Cisco Systems 2006.)

Rapid Spanning Tree -protokollassa pääkytkintä voidaan vaihtaa muuttamalla pääkytkimeksi valittavan kytkimen prioriteettia. Kytkin, jonka prioriteetti on silmukoidussa verkossa pienin, on pääkytkin silmukoidussa verkossa. Tällä tavalla voidaan ohjata kaikki liikenne kytkimen kautta, jolla on suurin laskentateho. (Cisco Systems 2006.)

Rapid Spanning Tree -protokollassa silmukoidussa verkossa olevilla porteilla on tila ja rooli, jotka kulkevat rinnakkain. Pääkytkimen portit ovat aina ainoastaan liikennettä välittävissä tilassa ja roolissa. Vastaavasti siltakytkin voi olla kaikissa mahdollisissa tiloissa ja rooleissa. (Cisco Systems 2006.)

Tila ilmaisee välittääkö portti liikennettä, Forward-tilassa oleva portti välittää liikennettä, eli liikenne kulkee näiden porttien kautta normaalisti. Blocked-tilassa oleva portti ei välitä liikennettä. Rapid Spanning Tree -protokollassa silmukan syntyminen rengasverkkoon estetään samalla tavalla kuin Spanning Tree -protokollassa, eli asettamalla renkaassa yksi portti Blocked-tilaan. (Cisco Systems 2006.)

Rooli ilmaisee liikennettä välittävän tilan lisäksi portin roolin. Roolilla Designated ilmaistaan sekä pääkytkimellä ja siltakytkimellä, että portti välittää liikennettä siltakytkimien porteilta, joiden tila on Forward ja rooli on Root. Root ilmaisee siltakytkimen pääportin, josta liikenne ohjautuu aina kohti pääkytkintä. Rooli Alternative liittyy aina Blocked-tilaan, joka ilmaisee, että tämä on vaihtoehtoinen

reitti, kun verkkoon syntyy kytkennän tai kaapelivian vuoksi reittimuutos. Portin, joka on Blocked/Alternative-tilassa, läpi ei kulje muuta liikennettä kuin BPDU-paketteja. BPDU-paketeilla Rapid Spanning Tree -protokolla tutkii verkon vaihtoehtoisia reittejä, joilla rengas muodostetaan. (Cisco Systems 2006.)

Kaikille porteille on myös erikseen määritelty Rapid Spanning Tree -protokollan mukaisesti tyypit, joita on kahdenlaisia. Ensimmäinen porttityyppi on point-to-point-portti, jota käytetään kytkinten välisiin yhteyksiin, eli niin sanottuihin runkoyhteyksiin. Point-to-point-portin tarkoitus on neuvotella nopeasti kytkimien väliset linkit kuntoon. Toinen porttityyppi on edge -portti. Edge-portin tarkoitus on, että siihen kytketään verkon oheislaitteet. Edge-portti yhdistää verkkoon työasemat ja muut verkkoon liitettävät oheislaitteet huomattavasti nopeammin kuin point-to-point -portti. Point-to-point-portti odottaa vastapuolen olevan Rapid Spanning Tree -protokollaa tukeva laite ja vastaavan lähetettyyn protokollan mukaiseen viestiin protokollan mukaisesti. Kun oheislaitteiden portit määritellään Edge-porteiksi, nopeutetaan Rapid Spanning Tree -protokollan toimintaa ja verkko toimii oikein. (Actelis Networks XLR8 2013a.)

### 3.6 Tietoliikenneverkon kytkimet

Liikenteenhallinnan tietoliikennelaitteet ovat Actelis Networks:in valmistamia G.SHDSL.bis EFM -standardin mukaisia tiedonsiirtolaitteita. Lyhenne SHDSL tulee englanninkielisestä sanasta "Single-pair High-speed Digital Subscriber Line" tai sanasta "Symmetric High-Bitrate Digital Subscriber Loop/Line", joka tarkoittaa kupariparilla toteutettavaa symmetristä ja digitaalista tiedonsiirtotapaa tietoliikennelaitteiden välillä. (Cisco Systems 2015b.)

G-kirjain ja bis-lyhenne tulevat ITU-T standardeista G.991.2 ja G.991.2.bis, jotka määrittelevät tarkemmin mitä kaikkea linjan yli siirrettäviä protokollia ne tukevat. EFM (IEEE standardi 802.3ah) on Ethernet-protokolla, joka tulee sanasta "Ethernet in the First Mile". EFM:llä tarkoitetaan asiakkaan näkökannalta ensimmäistä mailin yhteyttä, jolla asiakas liittyy operaattorin verkkoon. EFM mahdollistaa useamman kupariparin yhdistämisen lyhyellä johto-osalla nopeampien yhteyksien saamiseksi. (Zhone Technologies Inc. 2007.)



Actelis-tietoliikennelaitteet ovat Metro Ethernet -sertifioituja. Tämä tarkoittaa sitä, että Metro Ethernet -sertifioidut laitteet käyttävät tiedon siirtämiseen Ethernet-standardien mukaisia fyysisiä yhteyksiä ja tiedonsiirtotapaa. Metro Ethernet -sertifionti takaa, että Metro Ethernet -sertifioidut laitteet yhteensopivia keskenään laitevalmistajasta riippumatta. Metro Ethernet -sertifioiduilla laitteilla mahdollistetaan etäällä toisistaan olevien lähiverkkojen yhdistäminen ja samalla suurempien kaupunkiverkkojen muodostaminen. Muita Metro Ethernet -sertifioituja toimittajia ovat muun muassa Cisco, Alcatel ja D-Link. (The Metro Ethernet Forum 2004.)

Actelis-tietoliikennelaite tukee myös Ethernet over Copper™ -ratkaisua, joka on yksi esiintymismuoto EFM-standardista. Ethernet over Copper™ -ratkaisulla rakennetaan point-to-multipoint tai point-to-point -yhteyksiä kierretyllä kupariparikaapelilla kuparipariverkossa. Liittimenä käytetään RJ-45-liitintä, kuten perinteisessä Ethernet-verkossa. Tekniikkaa hyödynnetään pääasiassa toteutetussa liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa. (Daimler Finland Oy Ab 2010.)

Kahden Actelis-tietoliikennelaitteen välillä voidaan muodostaa yhtä kupariparia käyttäen maksimissaan noin 15,2 Mbps -siirtonopeutta yhden kilometrin päähän. Tämä maksimikaistanleveys saavutetaan yleensä ainoastaan testiolosuhteissa. Oikeassa käyttöympäristössä nopeudet ovat alle teoreettisen maksimikaistanleveyden, koska kupariparin tiedonsiirtonopeuteen vaikuttavat käytettävien kaapeleiden laatu ja yhdistettyjen laitteiden välinen etäisyys. (Actelis Networks XLR8 2013a.)

Actelis-tietoliikennelaitteet tukevat tärkeimpiä lähiverkon protokollia, kuten IEEE 802.1, IEEE 802.1ad, IEEE 802.1d, IEEE 802.1s, ja IEEE 802.1w. Lähiverkkoprotokolla IEEE 802.1 mahdollistaa dynaamisten siltauksien tekemisen. Mikäli nykyinen lähiverkon yhteys katkeaa, toisin sanoen silta katkeaa, verkkolaite pyrkii säilyttämään yhteyden verkkoon ja yrittää muodostaa yhteyden toiseen tietoliikennelaitteeseen, mikäli vaihtoehtoinen yhteys on olemassa. (Daimler Finland Oy Ab 2010a.)

Lähiverkkoprotokolla IEEE 802.1Q mahdollistaa tietoliikennelaitteille virtuaalilähiverkkojen muodostamisen. VLAN:in (Virtual Local Area Network) avulla fyysinen liikenteen hallinnan tietoliikenneverkko voidaan jakaa loogisiin osiin. Liikenteen hallinnan tietoliikenneverkossa olevat laitteet voidaan toiminnallisuutensa mukaan jakaa omiksi verkoiksi riippumatta siitä, miten laitteet on jaoteltu toimintaympäristöönsä. Virtuaalilähiverkossa lähetettäviin paketteihin liitetään VLAN-tunnuksia, joiden avulla vastaanottava laite tietää ohjata vastaanotetun paketin oikeaan virtuaalilähiverkkoon. (Cisco Systems 2016.)

Protokolla IEEE 802.1ad on laajennus protokollasta IEEE 802.1Q. Lähiverkkoprotokollaa IEEE 802.1ad kutsutaan myös Q-in-Q-tekniikaksi. Q-in-Q-tekniikka mahdollistaa tietoliikenteen tuplamerkitsemisen. Tätä käytetään yleensä etäällä toimivan lähiverkon yhdistämiseen operaattorin verkon ylitse siten, että operaattorin kytkimet liittävätkin lähetettäviin paketteihin toisen VLAN-tunnuksen, jonka avulla operaattorin vastaanottava laite tietää ohjata vastaanotetun paketin toisen lähiverkon virtuaaliverkkoon. (Starnetworks 2014.)

Actelis-tietoliikennelaitteet tukevat myös tietoliikenteen luokittelua ja priorisointia (QoS, Quality of Service). Tietoliikenteen luokittelu ja priorisointi tehdään lähiverkossa eli L2-tasolla IEEE 802.1p-protokollalla. Vastaavasti luokittelu ja priorisointi TCP/IP-tasolla eli L3-tasolla, IPv4-protokollan ToS- (Type of Service) ja DiffServ-kentillä (Differentiated Service). (Actelis Networks XLR8 2013b.)

Ethernet -paketti ei tue luonnostaan liikenteen luokittelua ja priorisointia, mutta VLAN-merkitty Ethernet-pakettia voidaan luokitella ja priorisoida. IEEE 802.1p-protokolla on osa IEEE 802.1Q-protokollaa, josta käytetään hyvin usein nimitystä IEEE 802.1Q/p. Ethernet-paketin kehysessä oleva IEEE 802.1Q-merkintä pitää sisällään 3 bittisen IEEE 802.1p-merkinnän. Näillä kolmella bitillä määritellään Ethernet-paketin prioriteetti. Kolmella bitillä voidaan muodostaa kahdeksan lukua 0-7. Mitä suurempi luku, sitä suurempi on paketin prioriteetti lähiverkossa. (Actelis Networks XLR8 2013b, 7-9).

TCP/IP-tasolla liikenteen luokittelua ja priorisointia tehdään IPv4-kehysessä ToS- ja DiffServ-kentillä. ToS-kentällä voidaan vaikuttaa verkossa olevien

TCP/IP-laitteiden tietoliikenteen viiveeseen, läpimenoaikaan ja luotettavuuteen. DiffServ-kentällä voidaan vaikuttaa TCP/IP-laitteille varattuun kaistanleveyteen. (Cisco Systems 2003; Cisco Systems 2005).

### 3.6.1 Actelis ML2300-keskuslaite

Actelis ML2300 on EFM-liityntäverkon jakelukytin (G.SHDSL-keskitin tai DSLAM) (Kuva 3). Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon keskuslaite on ML2300, joka kokoaa liikennevaloristeyksien Actelis-tietoliikennelaitteet yhteen pisteeseen. (Daimler Finland Oy Ab 2010b.)



Kuva 3. Actelis ML2300 -keskuslaite (Actelis Networks 2016a).

ML2300 tukee neljää kappaletta MLU32- tai MLU64-linjakortteja. Yhdessä MLU32-linjakortissa on 32 kappaletta modeemiporttia (Modem Line Port, MLP). Yhteen modeemiporttiin (MLP) voidaan liittää yksi kuparipari, jolloin yhteen linjakorttiin voidaan liittää vastaavasti 32 kappaletta kuparipareja. Neljällä MLU32-linjakortilla saadaan yhteensä 128 kupariparia. Jos ML2300:lla muodostetaan puhtaasti tähtimäinen verkko, yksiparisilla yhteyksillä voidaan muodostaa yhteensä 128 linjaa. Kaksiparisina yhteyksinä voidaan muodostaa vastaavasti 64 linjaa. (Actelis Networks XLR8 2013a.)

Oulussa on otettu periaatteeksi, että MLU32-linjakortteilla muodostetaan pääasiassa rengasmaisia verkkoja. Actelis-tietoliikennelaitteet tukevat rengasmaisia verkkoja ja hybridirengasverkkoja, joita käytetään hyväksi niin sanottujen ”rinkien” muodostamisessa. Tällöin neljällä MLU32-linjakortilla voidaan muodostaa yksiparisina telekaapeliyhteyksinä yhteensä 64:ään eri Actelis-kytkimeen, kaksiparisina yhteyksinä 32:een eri Actelis-kytkimeen.

MLU32-linjakorttien kautta voidaan muodostaa 1-200 Mbps symmetrisiä datayhteyksiä, koska keskuslaite tukee 1-8 kupariparin solmimista yhteen HSL-linkkiin (High Speed Link). Kahden Actelis-tietoliikennelaitteen välillä voidaan muodostaa yhtä kupariparia käyttäen maksimissaan noin 15,2 Mbps:n siirtonopeutta. Kahden kupariparin solmimisella saadaan teoriassa 30 Mbps:n yhteysnopeus, neljän kupariparin solmimisella teoriassa 60 Mbps:n nopeus ja vastaavasti kahdeksan kupariparin solmimisella teoriassa 120 Mbps:n symmetrinen yhteys.

Keskuslaitteessa on kaksi SDU-440 CPU -korttia, molemmissa on dataliityntöjä varten neljä 1000Base-FX-kuituliitäntää ja kaksi 1000Base-T-liitäntää. CPU-kortit eivät ole koskaan samaan aikaan aktiivisia, ainoastaan toinen CPU-korteista hoitaa keskuslaitteeseen liittyvän laskentatehon suorittamisen. Passiivisessa tilassa oleva CPU-kortti kopioi aktiivisen kortin asetukset itseensä ja tarvittaessa vaihtaa tilansa aktiiviseksi, mikäli aktiivisena oleva CPU-kortti viikaantuu tai kuormittuu liikaa. (Actelis Networks XLR8 2013a.)

### 3.6.2 Actelis ML698

Actelis ML698 on EFM-liityntäverkon mini-jakelukytkin, jota käytetään point-to-point- ja point-to-multipoint -yhteyksiin (Kuva 4). Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa Actelis ML698 kokoaa pääasiassa pistonokassa olevat liikennevalokeskukset Actelis-tietoliikennelaitteet ja yhdistää ne Actelis ML2300 -liikenteenhallinnan tietoliikennekeskuslaitteeseen. (Actelis Networks 2015a.)



Kuva 4. Actelis ML698 mini-DSLAM-keskitin (Actelis Networks 2015a).

Keskittimessä on yksi 100/1000Base-SFP-liitäntä, neljä 10/100Base-T-liitäntää TCP/IP-laitteita varten ja yksi 10/100Base-TX-liitäntä erilliselle hallintayhteydelle. 100/1000Base-SFP-kuituliitännän kautta voidaan yhdistää kuituyhteys toiseen Actelis ML698-laitteeseen tai ML530-laitteeseen. Actelis ML698:ssa on

olemassa kahdeksan modeemiporttia ja se tukee neljää HSL-linkkiä. (Actelis Networks 2015a.)

### 3.6.3 Actelis ML622 -päätelaitte

Actelis ML622 on EFM-liityntäverkon päätelaitte, jota käytetään ainoastaan point-to-point-yhteyksiin (Kuva 5). ML622 sopii paikkoihin, joista kupariyhteyttä ei tulla jatkamaan eteenpäin. (Actelis Networks 2015b.)



Kuva 5. Actelis ML622 -päätelaitte (Actelis Networks 2016b).

ML622-sarjan päätelaitteessa on neljä 10/100Base-T-liitäntää TCP/IP-laitteita varten ja yksi 10/100Base-TX-liitäntä erilliselle hallintayhteydelle. Laitte tukee ainoastaan kahta kupariaria ja yhtä HSL-linkkiä. (Actelis Networks 2015b.)

### 3.6.4 Actelis ML530

ML530-laitte soveltuu pitkien etäisyyksien päässä olevien liikennevalokojien yhdistämiseen, joiden yhteysvälit muodostetaan kuituyhteyksinä (Kuva 6). ML530-sarjan laitteissa on neljä 10/100Base-T-liitäntää TCP/IP-laitteita varten ja kaksi 100/1000Base-FX-liitäntää. 100/1000Base-SFP-kuituliitöjen kautta voidaan yhdistää kuituyhteydet joko Actelis ML698-laitteisiin tai ML530-laitteisiin. Laitteessa ei ole modeeminporteja. (Actelis Networks 2016c.)



Kuva 6. Actelis ML530 -päätelaitte (Actelis Networks 2016c).

### 3.6.5 Actelis XR239 EFM-toistin ja PFU-8-tehonsyöttöyksikkö

Actelis XR239 EFM -toistimella ja PFU-8-tehonsyöttöyksiköllä voidaan yhdistää pitempien etäisyyksien päässä sijaitsevia liikennevaloristeyksiä järjestelmän piiriin ilman että yhteyden kaistanleveys putoaa matkan suhteessa (Kuva 7). Actelis XR239 EFM -toistin ja PFU-8-tehonsyöttöyksikkö käyttävät EFMplus-tekniikkaa. Tekniikan avulla pystytään jatkamaan yhteyttä jokaisen yhden kilometrin jälkeen sijoitettavalla toistimella. Yhden kilometrin kohdalle sijoitettava toistin tarjoaa saman yhteysnopeuden vielä yhdellä lisäkilometrillä eteenpäin. (Actelis Networks 2016d.)



Kuva 7. Actelis XR239 EFM Repeater -toistimia ja PFU-8-tehonsyöttöyksikkö (Daimler Finland Oy Ab 2016).

Ilman Actelis XR239 EFM -toistinta ja PFU-8-tehonsyöttöyksiköä, kupariparien nopeus vaimenee lineaarisesti kolmannekseen kolmen kilometrin etäisyydellä. Sijoittamalla kaksi toistinta kilometrin välein kolmen kilometrin matkalla, pystytään säilyttämään sama yhteysnopeus koko kolmen kilometrin matkalla. Kahdeksaa kupariparia käyttäen voidaan toteuttaa teoriassa 45 Mbps nopeus noin 15 kilometrin matkalla. (Actelis Networks 2008.)

Toistimien tehonsyöttö tapahtuu PFU-8-tehonsyöttöyksiköllä. Tehonsyöttöyksikkö voidaan sijoittaa yhteyden alku- tai loppupäähän tai molempiin päihin yhteyttä. Toistimia voidaan linkittää 1-16 yksikköä peräkkäin. Yhteyden alku- ja loppupäässä voi olla 1-8 toistinta. Yhteyden luvataan kantavan noin 30 kilometrin päähän. Toistimia voidaan Acteliksensa mukaan käyttää mihin tahansa EFM-liityntäverkkoon. (Actelis Networks 2016d.)

### 3.7 Tietoliikenneverkon työkalut

Tietoliikenneverkko koostuu yksittäisistä laitteista, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Tietoliikenneverkon kehittämistä tehdään yksittäisen kytkimen ja koko järjestelmän tasolla. Yksittäisen kytkimen tilaa seurataan, kehitetään ja ylläpidetään pääsääntöisesti MetaASSIST™ View:in kautta. Koko tietoliikenneverkon tilaa seurataan, kehitetään ja ylläpidetään MetaASSIST™ EMS -työkalun kautta.

#### 3.7.1 Actelis MetaASSIST™ View 7.40

MetaASSIST™ View 7.40 on graafinen Actelis-kytkimien Java-pohjainen hallintaohjelmisto. Ohjelmisto mahdollistaa paikallisyhteyden muodostamisen RJ-45- ja RS-232-portin kautta, ja etäyhteyden muodostamisen tietoliikenneverkon kautta. Ohjelman kautta on mahdollista tarkastella verkossa olevien yksittäisen Actelis-kytkimien tietoja. (Actelis Networks XLR8 2013b, 1-15.)

Ohjelman kautta on mahdollista luoda turvallinen ja suojattu hallintayhteys kytkimiin SSH-protokollaa käyttäen. Ohjelma on omiaan vianetsinnän käytössä ja ohjelman kautta tehdään yksittäisten Actelis-kytkimien konfigurointia, ohjelmistopäivitystä, suorituskyvyn monitorointia ja ylläpitoa. (Actelis Networks XLR8 2013b).

#### 3.7.2 Actelis MetaASSIST™ EMS 3.0

MetaASSIST™ EMS 3.0 on Java-pohjainen hallintaohjelmisto suurten Actelis-verkkojen hallintaan. Ohjelmistolla hoidetaan keskitetty verkon hallinta ja valvonta. MetaASSIST™ EMS 3.0 sisältää EMS-palvelin ohjelmiston, tietokannan sekä graafisen Client-ohjelmiston. MetaASSIST™ EMS:llä voidaan hallinnoida 5000 Acteliksien ML-laitetta (ML50, ML600, ML130, ML2300, ML42). (Actelis Networks XLR8 2011, 2-3).

Ohjelman kautta on mahdollista luoda turvallinen ja suojattu hallintayhteys kytkimiin SSH-protokollaa käyttäen. Ohjelma on keskitetyssä vianetsinnässä ja ohjelma kautta tehdään keskitetysti Actelis-kytkimien konfigurointia, ohjelmisto-

päivityksiä, suorituskyvyn monitorointia ja ylläpitoa. (Actelis Networks XLR8 2011.)

### 3.7.3 Kolmannen osapuolen sovellukset

Operaattoreilla ja muilla verkon omistamilla tahoilla on usein ennestään käytössä muu verkonhallintaohjelmisto. Actelis Networks on kehittänyt Northbound -rajapintoja Actelis-kytkimien hallintaan muiden ohjelmistojen kanssa. SNMP:tä käyttäen MetaASSIST™ EMS voidaan integroida esimerkiksi Nagios-järjestelmän kanssa. (Actelis Networks XLR8 2011, 49–50.)



## 4 TIETOLIIKENNEVERKON KEHITYSKOHTTEET

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon tehtävänä on turvata ensisijaisesti HALI-etuusjärjestelmän ja liikennevalojen etä- ja erillisohjauksien toiminta, ja toissijaisesti liikennekameroiden toiminta. Verkon ylläpitäjän tehtävänä on pitää yhteydet kunnossa huomioiden siirtokapasiteetin riittävyys, luotettavuus ja turvallisuus.

Tässä luvussa on arvioitu olemassa olevan tietoliikenneverkon puutteita. Puutteen pohjalta on esitelty kiireellisimmät ja välttämättömimmät korjaustoimenpiteet sekä kuinka ongelmien korjaukset on toteutettu tai voidaan toteuttaa.

### 4.1 Dokumentointi

Verkon dokumentointi on tärkein osa tietoliikenneverkon ylläpitämistä. Ajan tasalla olevat dokumentit helpottavat verkon ylläpitämistä ja kehittämistä. Vikatilanteissa verkon korjaaminen on lähes mahdotonta ilman ajan tasalla olevaa dokumentaatiota.

Työ aloitettiin perehtymällä liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon saatavilla oleviin dokumentteihin.

#### 4.1.1 Laiteluettelo

Alun perin oli ajateltu, että laiteluetteloa toisin sanoen IP-listaa, ei tarvitsisi päivittää, koska listaa on käytetty aktiivisesti viankorjauksessa. Pikaisen investointikatselmuksen pohjalta huomattiin, että laiteluettelossa olevat IP-osoitteet eivät olleet kaikkien liikennevaloristeyksien kannalta ajan tasalla.

Laiteluettelon päivityksessä käytettiin hyväksi Cison verkkoakatemian investointikatselmuksen mukaisia tietoja. Cisco akatemian investointikatselmuksessa laitteista tehdään lista, jossa on IP-osoitteiden lisäksi kaikki verkon laitteet, ohjelmistot, laitteiden sarjanumerot ja tyypit. (Holtinen 2002.)

Ylläpidon laiteluettelo vastasi lähes investointikatselmuksen mukaista listaa, sillä käytössä olevien laitteiden IP-osoitteet, sijainti kartalla, sarjanumerot, tyypit olivat jo listattu. Laiteluettelo päivitettiin kuitenkin kokonaan, koska laitteiden IP-osoitteet, tyypit ja ohjelmistoversiot eivät olleet ajan tasalla.

Kaikkien laitteiden sarjanumerot ja tyypit käytiin erikseen läpi kytkin kytkimeltä MetaASSIST™ View -ohjelmistolla. Jälkikäteen ajatellen tämä olisi ollut kaikista helpointa toteuttaa keskitetysti Actelis MetaASSIST™ EMS -ohjelmistolla, jos tämä olisi ollut jo käytössä.

Laiteluettelon päivittäminen IP-osoitteiden osalta oli helppo ja nopea toimenpide. Tähän laadimme perl-ohjelmointikielellä skriptin, joka pingasi kaikki verkon IP-osoitteet. Skripti listasi ainoastaan ne IP-osoitteet, joiden laitteet vastasivat pingiin. Pingauksella tarkoitetaan, että IP-osoite on käytössä ja on täten varattu verkossa. Listan perusteella pystyi tarkistamaan olemassa olevasta laiteluettelosta, pitikö vanhan listan varatuksi merkityt osoitteet paikkaansa ja mitä uusia osoitteita listaan piti päivittää.

#### 4.1.2 Kytkimien sijainti kartalla

Ciscon verkkoakatemian tilakatselmuksessa dokumentoidaan laitteiden sijainti verkossa muistiin. Tilakatselmuksessa kirjataan käytetyt kaapeloinnit ja tietoliikennelaitteet, kuten keskittimet, sillat ja reitittimet. Myös laitteiden sijainnit merkitään.

Tilakatselmuksen kirjauksen jälkeen luodaan verkkokartta suoraan esimerkiksi rakennuksen pohjapiirustukseen tai kaupungin karttaan. Verkkokarttaan merkitään verkkolaitteiden fyysinen sijainti. Ciscon verkkoakatemian mukaan myös verkkosolmujen välisten kaapelinvetojen pituudet, IP- ja MAC-osoitteet on suositeltavaa kirjata ylös. Vikojen selvittäminen jatkossa helpottaa, kun tilakatselmus tehdään kattavasti. (Holttinen 2002.)

Tilakatselmuksen tekeminen oli organisaatiossa myös jo toteutettu, sillä liikennevaloristeyksien paikat on merkitty karttapohjalle. Karttapohjalle on merkitty

myös kiinteällä viivalla ja katkoviivalla kuparipari- ja kuituyhteydet liikennevaloristeyksien välillä. Laitteiden sijainnit on merkitty myös erikseen Nagios-ohjelmistossa fyysisesti karttapohjalle, joka näyttää verkossa olevien aktiivilaitteiden ja TCP/IP-protokollaa käyttävien tietoliikennelaitteiden tilan vihreänä tai punaisena. Vihreä väri tarkoittaa, että laite on aktiivinen, ja punainen väri vastaavasti että laite on pudonnut verkosta. Nagios-ohjelmistosta pystytään myös tarkastelemaan verkossa olevien laitteiden IP-osoitteita.

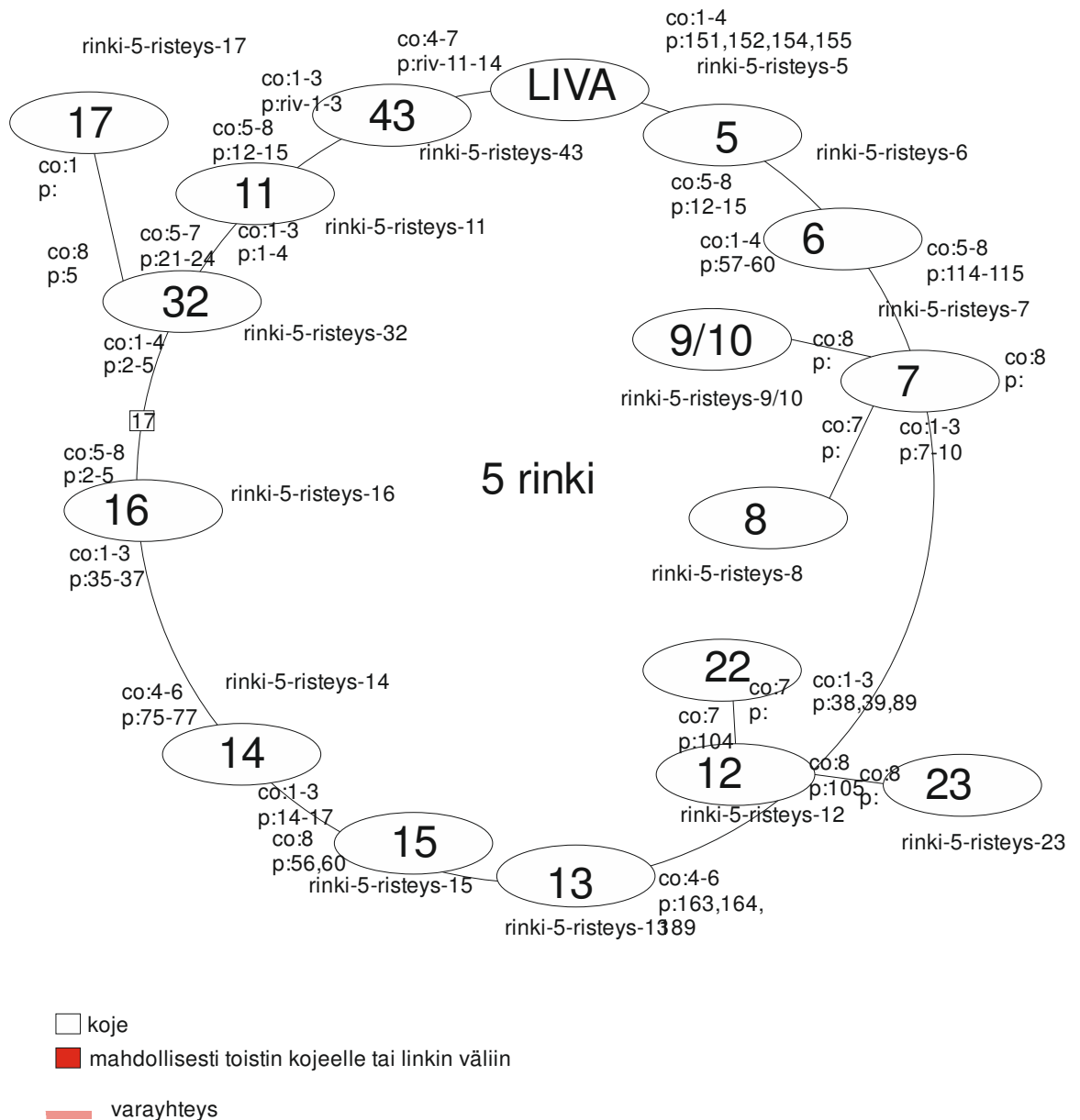
Ainoana puutteen havaitsin olemassa olevassa dokumentaatiossa, että dokumentaatiosta puuttuu kolmannen osapuolen reitittimien, siltojen ja keskittimien sijainnit ja IP-osoitteet. Sijainti olisi mielestäni hyvä merkitä sekä Nagios-ohjelman karttapohjalle että risteyksien väliseen karttapohjaan. Myös Nagios-palvelin olisi hyvä laittaa seuraamaan kolmannen osapuolen aktiivilaitteiden toimintaa, koska kolmannen osapuolen laitteiden toimimattomuus heijastuu suoraan liikenteenhallinnan tietoliikenneverkkoon.

#### 4.1.3 Rinkikuvat

Rinkikuvat ovat organisaatiossa verkon topologiakuvia, joissa kuvataan olemassa olevan verkon perusrakennetta eli tapaa, jolla verkon laitteet on liitetty toisiinsa. Parempi nimitys kyseisille dokumenteille olisi rengasverkkokuvat, mikä viittaa suoraan paremmin verkon toteutustapaan. Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon perustopologioita ovat rengas ja tähti.

Alun perin oli ajateltu, että rengasverkkokuvia ei tarvitsisi tehdä, vaan ainoastaan päivittää. Olemassa oleva dokumentaatio ei valitettavasti ollut ajan tasalla ja kaikkea tietoa ei ollut dokumentoitu saman kaavan mukaisesti. Vaikutti siltä, että kuvien puutteellisuus johtui pääasiassa siitä, että verkosta vastaavilla henkilöillä oli ollut ja on edelleen suuresta työkuormasta johtuva ajanpuute. Myös suunnitteluvaiheessa syntyneet dokumentit eivät olleet sellaisinaan kelvollisia kuvaamaan olemassa olevaa liikenteenhallinnan tietoliikenneverkkoa.

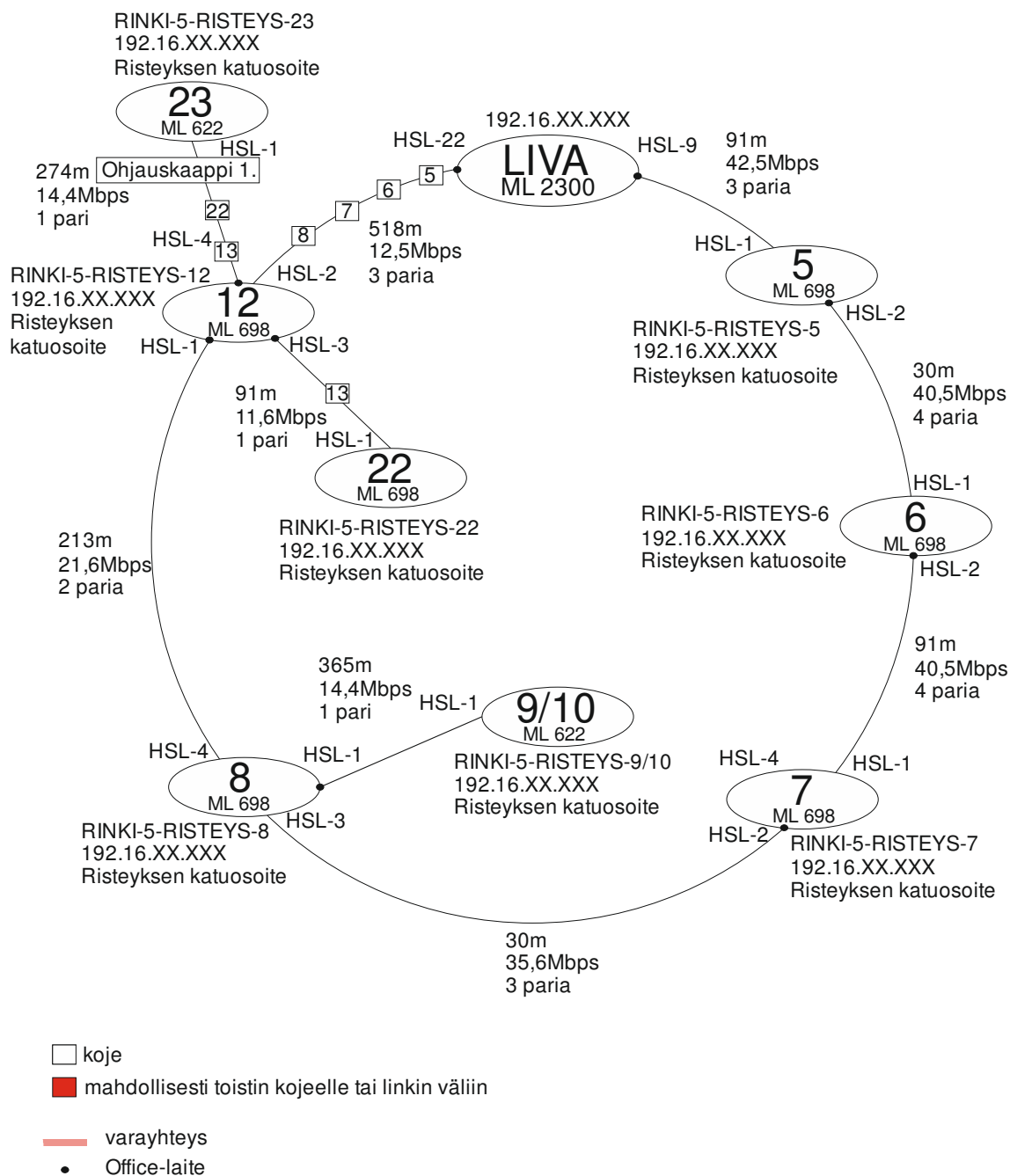
Rengasverkkokuvien osalta päädyttiin siis piirtämään kaikki verkkotopologia kuvat kokonaan uusiksi. Olemassa olevat verkkotopologia kuvat olivat joko kuvion 3 mukaisessa muodossa tai niitä ei ollut olemassa.



Kuvio 3. Vanha rengasverkkokuva renkaasta 5

Verkon kaikki kytkimet käytiin laitetasolla läpi MetaASSIST™ View -työkalulla ja verkon verkkotopologia kuvat päivitettiin ulkoasultaan vanhan dokumentaation mukaisesti, koska olemassa oleva dokumentti oli todettu hyväksi verkkoa ylläpitävän organisaation keskuudessa. Kuviossa 4 näkyy päivitetty verkkotopologia kuva ”5 ringistä”.

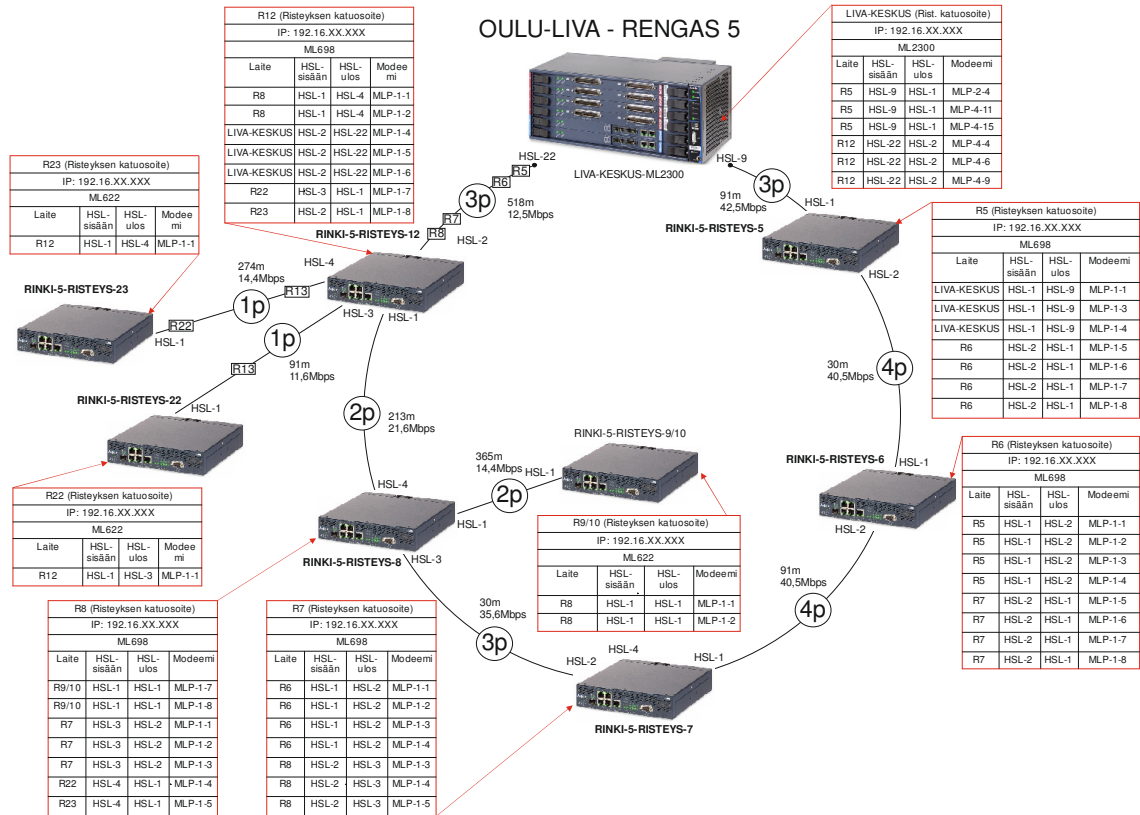
## Oulu, 5 rinki



Kuvio 4. Päivitetty rengasverkkokuva renkaasta 5

Rengasverkkokuvaan on lisätty mukaan tietoa, joka helpottaa ja nopeuttaa ylläpitoa tekevän henkilökunnan toimintaa. Mukaan on lisätty risteysnumeroinnin lisäksi Cison verkkoakatemian tilakatselmuksen mukaisesti laitteiden sijainti osoitetietona, kytkimien etäisyys toisistaan yhteyden muodostetussa parikaapelissa ja IP-osoitteet. MAC-osoitteiden kirjausta ei työntekohetkellä pidetty oleel-

lisena. Lisäksi rengasverkkokuvaan on lisätty kytkimien tyypit, kytkimien väliset yhteydet, nopeudet ja yhteydessä käytettyjen kupariparien määrä.



Kuvio 5. Suosituskuva renkaasta 5

Jatkossa verkkotopologia kuvien dokumentointi voitaisiin suorittaa Kuvion 5 mukaisella tavalla, jossa on tarkemmin esitetty HSL-yhteydet ja HSL-yhteyksien muodostamiseen käytetyt MLP-modeemiportit. Myös rengasverkkokuvien nimeämisen voisi muuttaa rengaskuviksi, koska verkon rakennetta kutsutaan virallisesti topologiaaltaan renkaaksi.

#### 4.1.4 MLP- ja HSL-yhteyksien dokumentointi

Ciscon akatemian investointikatselmuksessa mainitaan, että on suotavaa kerätä tiedot verkkolaitteiden asetuksista. Tämän pohjalta on erikseen luotu kytkimien MLP-porteista ja HSL-linkeistä Excel-listat, joiden pohjalta pystytään näkemään käytössä olevien yhteyksien tiedot ja yhteyksien historia.

Listat on muodostettu verkkotopologian mukaan, eli rengaskohtaisesti. Listalta näkee yhdellä katsomalla käytössä olevat HSL-linkit ja niiden modeemiportit. Samaan dokumenttiin on myös dokumentoitu modeemiporttikohtaisesti kaistanleveydet, käytössä olevat toistimet ja porttien tilat. Listassa otetaan kantaa myös kantaa siihen, miksi portit ovat huoltotilassa tai kokonaan poiskäytöstä, tai miksi yhteyden nopeutta on rajoitettu.

Näiden tietojen perusteella pystytään kartoittamaan risteyksien välisten kupari-kaapeleiden parien riittävyys ja huoltotarve. Ongelmana liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa ovat pitkät etäisyydet ja vanhat kuparipariyhteydet.

#### 4.1.5 Käyttöohjeet

Organisaatiolla on käytössään kytkinvalmistajan toimittamat käyttöohjeet. Kyt-kinvalmistajan käyttöohjeissa on ongelmana niiden yleisluontoisuus ja englan- nin kieli. Organisaation henkilökunnan mukaan oli tarkoituksena saada käyttö- ohjeet, joista ilmenee suoraan suomen kielellä, mitä asetuksia kytkimille on vä- hintään tehtävä, jotta kytkin voidaan liittää osaksi verkkoa.

Organisaatiolla on tarve kouluttaa liikennevaloasentajia konfiguroimaan Actelis ML698- ja ML622-kytkimiä. Osana tätä opinnäyteyötä organisaatiolle on luotu ML698 ja ML622:n mukainen käyttöohje. ML2300 varten ei ole luotu erikseen käyttöohjetta.

Työn aikana on kuitenkin havaittu, että koulutus kannattaa suorittaa vain tark- kaan valikoidulle asentajalle. Jos asentaja asentaa kentälle kytkimen, on verkon haltijan aina tarkistettava kytkimen asetukset ennen kuin kytkin asennetaan verkkoon. Väärin tehdyllä konfiguroinnilla voi pahimmallaan olla tuhoisa vaiku- tus, sillä yksittäisen kytkimen lisäys verkkoon voi pahimmillaan kaataa koko verkon.

## 4.2 Verkon hallinta ja valvonta

Suurien verkkojen hallinta on vaikea tehdä MetaASSIST™ View -sovelluksella, sillä se on tarkoitettu yksittäisten kytkimien hallintaan ja valvontaan. Tietoliikenneverkkojen hallinta ja valvonta on perinteisesti toteutettu keskitetysti TCP/IP-pohjaisissa verkoissa SNMP (Simple Network Management Protocol) avulla. Protokollan avulla voidaan automaattisesti kysyä verkossa olevien laitteiden tilaa tai vastaavasti laitteet voivat itse automaattisesti ilmoittaa tilastaan, kuten virhetiloistaan. Protokollan avulla mahdollistetaan myös verkon kuormitusten havaitseminen. (ManageEngine 2016.)

SNMP-protokolla on sovellustason protokolla, jota käytetään hallinta-aseman (Management Station) ja -agentin (Management Agent, SNMP-agent) välisessä liikenteessä. Hallinta-agentin tehtävä on kerätä laitteen toiminnasta tietoja hallinta-agentin MIB-tietokantaan (Management Information Base). Hallinta-aseman tehtävänä on kysellä hallinta-agentin keräämiä tietoja agentin MIB-tietokannasta. Hallinta-agentti vastaa hallinta-asemalle kyselyn mukaan. Hallinta-agentille määritellään raja-arvot tapahtumille. Raja-arvon ylityttyä hallinta-agentti lähettää viestin hallinta-asemalle arvon ylityksestä. Raja-arvoksi voidaan määritellä esimerkiksi Actelis-kytkimien virtakatkokset, joiden havaitsemiseen käytetään tällä hetkellä Nagioksessa pingausta. (ManageEngine 2016.)

Verkossa olevat vikatilanteet tulee havaita ja paikallistaa niin kaapelointijärjestelmissä kuin tietoliikennelaitteissa. Niiden havaitseminen suuremmissa verkoissa edellyttää keskitettyä hallintaa ja valvontaa, jota tarjoavat muun muassa Actelis MetaASSIST™ EMS -verkonhallintaohjelmisto tai Nagios-verkonvalvontaohjelmisto.

Verkon hallintaan ja valvontaan Actelis-kytkimien maahantuoja tarjoaa MetaASSIST™ EMS -hallintaohjelmistoa, joka perustuu SNMP-protokollan käyttöön. Organisaatiossa on aikaisemmin käytetty MetaASSIST™ EMS -hallintaohjelmistoa, mutta sen käytöstä on luopunut verkon hallinnasta vastaava henkilö. Verkon hallintaan on käytetty ainoastaan MetaASSIST™ View -työkalua. Syytä luopumiselle ei tiedetä.



Organisaatiossa verkon valvonta on toteutettu Nagios-verkonvalvonta- ja hallintaohjelmistolla. Nykyisen verkon valvonnassa käytetään SNMP-protokollan sijasta ICMP-protokollaa, tarkemmin sanoen pingiä. Mikäli verkosta putoaa verkolaite, Nagios-verkonseurantatyökalu lähettää sekä tekstiviestin että sähköpostin päivystävälle liikennevaloasentajalle, liikennevalotyönohjausjärjestelmään ja verkon ylläpidosta vastaavalle henkilölle.

#### 4.2.1 Nagios ja Nagmap

Organisaatiossa on käytössä Nagios-verkonvalvonta- ja hallintaohjelmisto, joka valvoo verkossa olevia laitteita ja resursseja. Työn aloitushetkellä varsinaista keskitetyn hallintaan tarkoitettua verkonhallintatyökalua ei ollut käytössä mutta verkon valvonnassa käytettiin Nagiosta. Verkon hallintaan on käytetty pääasiassa Actelis MetaASSIST™ View -ohjelmistoa, jolla pystyy ainoastaan hallitsemaan yksittäisiä Actelis-kytkimiä.

Nagioksen erinomaisena ominaisuutena on, että organisaatio voi räätälöidä sen omiin käyttötarpeisiin sopivaksi. Lisäksi ohjelmalla on mahdollista hallita ja valvoa kolmannen osapuolen laitteita. Opinnäytetyön aikana on käytössä olevaa Nagios – verkonseurantatyökalua kehitetty edelleen.

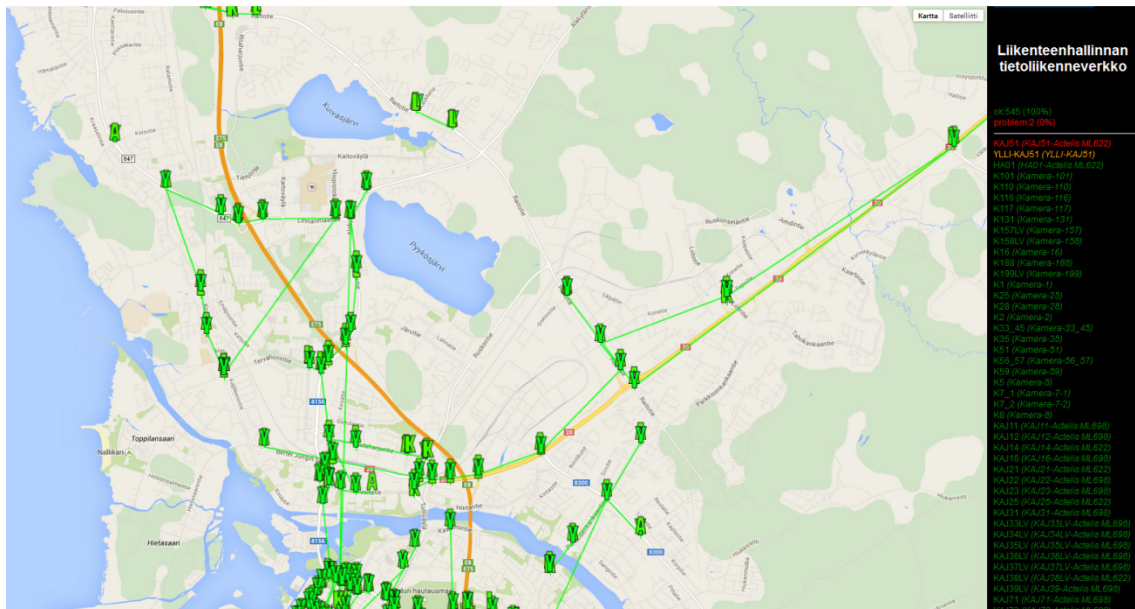
Työn aloitushetkellä Nagios-palvelin lähetti kaikista verkosta pudonneista laitteista hälytykset. Pahimmillaan päivystäjälle tai verkonhaltijalle saattoi tulla kerrallaan jopa 50 viestiä verkosta pudonneista laitteista. Tämä aiheutti sen, että verkon haltijan piti erikseen avata Nagios-palvelimen Nagmap-karttanäkymä, jossa kaikki verkossa olevat laitteet näkyvät. Karttapohjalla laitteiden tila näkyi joko punaisena tai vihreänä.

Tämä auttoi osaltaan jo niin paljon, että verkonhaltija näki kartalta alueen, jossa vika on. Kuitenkaan verkonhaltija ei tiennyt tarkalleen, missä vika on syntynyt ja mikä on ensimmäinen laite, joka on pudonnut verkosta. Tämän pohjalta päivystäjä katsoi olemassa olevaa kuparikaapeliverkon kuvaa ja päätteli sen perusteella, missä risteyksessä vika mahdollisesti olisi.

Edellä mainittu toimintatapa oli ylläpidolle liian työläs ja hidas etsiä ja paikallistaa virhe oli liian työlästä ja hidasta. Tämän pohjalta Nagiosta kehitettiin edelleen siten, että Nagioksen parent-child-toiminto otettiin käyttöön. Tämä vanhempi-lapsi-toiminto mahdollisti olemassa olevan verkon topologian dokumentoinnin Nagios-palvelimelle. Vanhempi-lapsi-toiminnolla määriteltiin Nagios-palvelimelle, mistä yhteys lähtee, minkä risteysten kautta yhteys on muodostettu ja mitkä laitteet ovat toisien laitteiden takana.

Toteutettujen toimintojen jälkeen Nagios-palvelin hälytti tekstiviestillä ja sähköpostilla ainoastaan verkosta pudonneesta laitteesta, joka tehosti ja helpotti ylläpidon toimintaa.

Tämän pohjalta myös Nagmap-karttanäkymää kehitettiin siten, että kartalle piirrettiin laitteiden väliset yhteydet suorina viivoina risteysten välillä. Kun verkosta putoaa laite, Nagmap-karttanäkymässä näkyy punainen viiva. Vastaavasti verkosta pudonnut viallinen laite näkyy punaisella symbolilla ja vastaavasti laitteen takana olevat muut laitteet keltaisina symboleina. Kuvassa 8 on esitetty kuva Nagmapista kehityksen jälkeen.



Kuva 8. Nagmap-näkymä liikenteenhallinnan tietoliikenneverkosta

Nagmap-kartta näkymää kehitettiin edelleen siten, että symbolin klikkaaminen hiirellä avasi puhekuplan. Puhekuplasta oli mahdollista tarkastella kyseisen ris-

teyksen rengasverkkokuvia, HSL- ja MLP-dokumentteja, viestiyhteyskaaviota ja webmap-näkymää. Webmap-näkymästä on mahdollista tarkastella liikennevalokojien syöttäviä jakokaappeja ja jakokaappien kortteja. Nagioksesta ja Nagmapista tehtiin koko liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon verkkotietojärjestelmä, jossa kaikki verkkoon liittyvä tieto on kerätty yhden ohjelman alle.

#### 4.2.2 MetaASSIST™ EMS 3.0

Opinnäytetyön alkuperäinen otsikko oli ”Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon kehittäminen ja EMS käyttöönotto”. Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon kehittäminen on käsitteenä niin laaja, että ”EMS käyttöönotto” oli rajattava pois. MetaASSIST™ EMS 3.0 -palvelin on otettu organisaatiossa testikäyttöön. Organisaatio ei ole kuitenkaan ottanut kaikkia ohjelman tarjoamia ominaisuuksia käyttöön, koska niitä ei ole koettu organisaatiossa tarpeellisiksi tai ominaisuudet eivät toimi kuten pitäisi.

MetaASSIST™ EMS -ohjelmisto perustuu asiakas-palvelinmalliin. Palvelimella on MetaASSIST™ EMS Server -ohjelmisto ja työasemilla on MetaASSIST™ EMS Client -ohjelmisto. Palvelin tekee asetuksien jakamiset ja laitteiden tilakyselyt verkon hallinnassa tietoliikennelaitteiden tukemia protokollilla. Käytettäviä protokollia ovat SNMP v1- ja v2c- tietoliikenneprotokolla, TL1-tietoliikennehallintaprotokolla (Transaction Language 1), etähallintaan Telnet-yhteysprotokolla, ajanhallintaan SNTP v3-protokolla (Simple Network Time Protocol), selainhallintaan HTTP-protokolla ja tiedostojen siirtämiseen FTP- ja TFTP-tiedonsiirto-protokolla (File Transfer Protocol) (Trivial File Transfer Protocol). (Actelis Networks XLR8 2011.)

Ohjelman ehdottomina positiivisina asioina voidaan pitää huomattavaa helpotusta dokumentaation tuottamisessa ja ylläpidossa, käyttäjien hallintaoikeuksien hallinnassa, kytkimien ohjelmistopäivitysten jakamisessa, kytkimien konfiguraatiotiedostojen varmuuskopiointissa, koko verkon toimintaan vaikuttavissa vikojen etsimisessä ja suorituskyvyn monitoroinnissa.

Negatiivisia käyttökokemuksia aiheutti kytkimien lisääminen MetaASSIST™ EMS 3.0 -ohjelmistoon. Ohjelma tunnistaa ainoastaan kytkimet, joissa jokin HSL-yhteys on O (Office)-tilassa. Ohjelma jätti osan olevista ML622-kytkimistä tunnistamatta, koska kytkimissä ei ollut O (Office)-tilassa olevia HSL-linkkejä. Ongelman vuoksi ohjelmalla ei pystynyt tekemään keskitetysti kaikille verkon laitteille ohjelman tarjoamia toimintoja.

Käytännössä havaittiin, että kytkimet kannattaa lisätä MetaASSIST™ EMS 3.0 -ohjelmistoon yksi kytkinrenkasverkko kerrallaan. Jos ohjelmistoon lisää suoraan koko verkon keskuskytkimen Actelis ML2300, verkon puurakenteesta ei saada hierarkialtaan kronologisesti kytkinrenkasverkkoja järjestykseen vaan kaikki kytkimet listautuvat satunnaisessa järjestyksessä keskuskytkimen alle. Renkaittain muodostettavalla hierarkialla on kuitenkin ikävänä puolena se, että ei saada ollenkaan lisättyä ML2300-pääkytkintä. Jos pääkytkimen lisää ohjelmistoon, se kumoaa kronologisen kytkinrenkasverkoittain tehdyn puurakenteen.

Selkeä puute ohjelmassa on myös se, että olemassa olevia käyttäjätunnuksia ei voi poistaa keskitetysti, vaan yksittäinen käyttäjä on poistettava jokaiselta verkossa olevalta kytkimeltä erikseen MetaASSIST™ View -työkalulla. Uusien käyttäjien lisääminen ja salasanan muuttaminen onnistuu kuitenkin vaivattomasti.

Ohjelmiston karttatoiminnossa oli niin suuria puutteita, ettei sitä kannattanut käyttää. Kartalle lisättyjen kytkimien tulisi tunnistaa toistensa riippuvuudet. Kytkimet ilmestyivät yksittäisinä kohteina kartalle, mutta kartalla olevien kytkimien välille ei muodostunut yhteysviivoja kaikkien kytkimien välillä. Tämän pohjalta kytkimien välisiä yhteyksiä ei voitu tunnistaa kartalta kokonaisvaltaisesti. Tähän ei löytynyt tapaa, jolla viivat olisi saatu esiin kartalle erikseen määrittelemällä. Tämän vuoksi MetaASSIST™ EMS 3.0 epäonnistuu pahoin karttatoiminnon osalta.

MetaASSIST™ EMS 3.0 -ohjelmisto ei tue rengasmuodossa olevia verkkoja ja verkkojen kuvausta, joten se ei sovellu liikenteen hallinnan tietoliikenneverkon

käyttöympäristöön. Aikaisemmin mainitut epäkohdat ovat Suomen maahan-  
tuojan mukaan Acteliksella kehitystyön alla. (Wiik 2014.)

MetaASSIST™ EMS 3.0 -esittelymateriaalissa mainitaan, että MetaASSIST™  
EMS 3.0 tunnistaa ja kysyy myös kolmannen osapuolen verkkolaitteiden tiloja.  
Kolmannen osapuolen laitteiden tunnistus tapahtuu käyttämällä Northbound-  
rajapintoja, joiden avulla SNMP:tä käyttäen Actelis-hallintajärjestelmä voidaan  
integroida Nagios-järjestelmän kanssa. Rajapintojen ja eri järjestelmien integ-  
rointia ei ole tämän opinnäytetyön aikakehyksen rajoissa testattu. (Actelis Net-  
works XLR8 2012.)

### 4.3 Kytkimien nimeäminen

Kaikissa Actelis-kytkimissä on oletuksena Acteliksien antama nimi. Samaa ni-  
meämistä käytetään oletuksena myös SNMP-kyselyssä kytkimen nimenä. Acte-  
likseen antama nimi ei ole informatiivinen verkon ylläpitävälle taholle.

Actelis-kytkimet on mahdollista uudelleen nimetä ja uutta nimeä voidaan käyttää  
myös SNMP-kyselyissä. Nimeämisessä suositeltavaa on käyttää nimeämistä,  
joka ilmaisee kytkimen sijainnin. Tätä periaatetta on käytetty jo aikaisemmin  
liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa ja kaikki verkon kytkimet on pyritty ni-  
meämään yhdenmukaisella tavalla.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon laitteet on nimetty seuraavan nimeämis-  
käytännön mukaisesti "RINKI-X-RISTEYS-X". RINKI-X ilmaisee missä verkko-  
renkaassa kytkin sijaitsee, ja RISTEYS-X ilmaisee liikennevaloristeyksen, jossa  
kytkin sijaitsee.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon kaikkia kytkimiä ei oltu nimetty, tai kyt-  
kimien nimet noudattivat vanhoja verkkorakenteita. Kytkimien nimeäminen teh-  
dään MetaASSIST™ View -ohjelmistolla, ja kaikki verkon kytkimet käytiin yksi-  
tellen läpi. Nimeämisen yhteydessä oli lähinnä tarvetta muuttaa kytkimien verk-  
korengasta, mutta pääosin risteys numerointi oli kunnossa.

#### 4.4 Hälytykset

ML-laitteet ilmaisevat avoimena ja käyttämättömänä olevien porttien tilaa hälytyksinä. Hälytykset näkyvät Actelis MetaASSIST™ View ja EMS -työkalujen kautta. Hälytykset näkyvät myös ML- laitteiden etupaneelissa olevasta hälytys-LED-merkkivalosta.

Actelis-kytkimiin voidaan muodostaa kentällä hallintayhteys joko COLAN- tai CRAFT-porttien kautta. COLAN-portti on RJ-45-hallintaportti ja CRAFT-portti on RS-232-hallintaportti.

ML-kytkimien COLAN-hallintaporttien hälytykset jäävät aina oletuksena hälytystilaan, jos niitä ei muuteta. Hälytykset vastaavasti näkyvät ”turhina” hälytyksinä Actelis MetaASSIST™ View- ja EMS-työkaluissa. COLAN-portin hälytys on systemaattisesti asetettu kaikilta verkon kytkimiltä pois päältä.

Myös ML-kytkimessä Hälytys-LED-merkkivalo palaa oletuksena avoimista ja käyttämättömistä porteista. Hälytys-LED-merkkivalo ilmaisee kytkimen tilan. Jos Hälytys-LED-merkkivalo palaa, asentajalla on syytä olettaa huoltokäynnin aikana, että kytkimessä on vika. Merkkivalo palaa myös avoimista ja käyttämättömistä porteista oletuksena. Tämä on aiheuttanut aikaisemmin sen, että asentajat epäilivät kytkimissä olevan vikaa, vaikka merkkivalon palaminen ilmaisi ainoastaan kytkimen COLAN-hallintaportti olevan auki. Hälytykset vastaavasti näkyvät ”turhina” hälytyksinä Actelis MetaASSIST™ View- ja EMS-työkaluissa. COLAN-portin hälytys on systemaattisesti asetettu kaikilta verkon kytkimiltä pois päältä. Myös Hälytys-LED-merkkivalon hälytys on systemaattisesti asetettu kaikilta verkon kytkimiltä pois päältä COLAN-portin kohdalla. Kaikki muut käyttämättömät portit, kuten HSL-linkit, modeemiportit (MLP) ja Ethernet-portit on suljettu jo aikaisemmin verkkomyrskyjen eliminoimiseksi.

#### 4.5 HSL-yhteyksien Office ja Customer suhteet

Actelis-kytkimet muodostavat telekaapeleiden kautta tapahtuvat yhteydet HSL-linkkien kautta. HSL-linkissä solmitaan modeemiporttien (MLP) avulla suurempi laajakaistainen yhteys. Vastakkain olevien kytkimien HSL-linkissä on aina toi-

sen kytkimen HSL-linkki hallitseva O (Office) ja vastaavasti toisen kytkimen HSL-linkki vastaanottava R (Customer). (Actelis Networks XLR8 2013b.)

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon rakentamisen aikana kytkimien väliset HSL-linkit on muodostettu nopeasti. HSL-linkki on usein määritelty lähimmälle työstettävälle kytkimelle Customer-tilaan ja seuraavalle kytkimelle Office-tilaan. Näin suhteet eivät käytä yhden mukaista ennalta sovittua kaavaa Office ja Customer suhteiden määrittelyssä HSL-linkkeille.

Office ja Customer suhteiden määrittelyillä on iso merkitys etäyhteyden avulla tehtävään ylläpitoon MetaASSIST™ View -työkalulla ja vastaavasti siihen kuinka MetaASSIST™ EMS -ohjelmisto osaa muodostaa kytkimien puurakenteen ohjelmaansa. HSL-linkkien kalibrointi on ainoastaan mahdollista suorittaa HSL-linkistä, joka on Office-tilassa.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa on yleistä, että yksittäinen yhteys käy poikki. Kaikissa paikoissa verkkoa ei ole olemassa varayhteyttä. Yhteysvirheen sattuessa, kaikki yhteyden takana olevat kytkimet ja verkkolaitteet putoavat verkosta. Kytkimien asetuksissa on määritelty, että kytkimet yrittävät ottaa yhteyttä toisiinsa, jos yhteys katkeaa. Joskus yhteys on kalibroitava verkonhaltijan toimesta.

Kalibroinnin yhteydessä on tärkeää, että kahden kytkimen välisen HSL-yhteyden hallitseva HSL-linkki (Office) on verkon puolella, eikä kentän puolella. Mikäli kytkimen hallitseva HSL-linkki on kentän puolella, verkonhaltija ei voi kalibroida yhteyttä etäyhteyden kautta. Tämä vaatii kentälle menemistä ja yhteyden kalibrointia kentältä käsin.

MetaASSIST™ EMS 3.0 -ohjelmisto ei muodosta koko verkon tai verkkorenkkaan puurakennetta oikein ohjelmistoon, jos verkossa jossakin verkossa olevassa kytkimessä HSL-linkit ovat ainoastaan Customer-tilassa. Tämän vuoksi, kaikkien HSL-linkkien Office ja Customer suhteet on muutettu siten, että Office-laitteet ovat verkon puolella ja jokaisella laitteella on pyritty määrittelemään vähintään, että yksi HSL-linkki Office-tilassa.

Käytännössä kaikille laitteille ei ole kuitenkaan mahdollista määrittää olemassa olevien ja aktiivisten yhteyksien kautta HSL-linkkiä, jossa yhteys on Office-tilassa. Tämä koskee usein Actelis ML622 -kytkimiä, jotka saattavat olla yhdellä HSL-linkillä yhdistetty verkon puolella olevaan Actelis ML698 -kytkimeen. Ongelman voi kuitenkin kiertää asettamalla kytkimelle myös toinen HSL-linkki, jota ei yhdistetä mihinkään.

#### 4.6 Verkkomyrskyjen ehkäiseminen

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon suurin yksittäinen ongelma on verkkoon syntyvät verkkomyrskyt. Verkkomyrsky syntyy kun työntekijä tai ulkopuolinen urakoitsija kytkee tai katkaisee kupariparikaapelin, kuidun tai verkkokaapelin. Muutos aiheuttaa verkkoon silmukan. Jos Rapid Spanning Tree -protokollan asetukset eivät ole kunnossa koko verkossa, verkkoon syntynyt silmukka aiheuttaa kytkimien ylikuormittumisen. Ylikuormittumisen aikana verkko täyttyy yleislähetysliikenteestä, eli broadcast-liikenteestä.

Kytkimet ML698, ML530 ja ML622 tukevat rengastopologiaa, eli Spanning Tree- ja Rapid Spanning Tree -protokollaa. Jakelukytkimet ML2300 ja ML230 tukevat Spanning Tree- ja Rapid Spanning Tree -protokollan lisäksi rengastopologian muodostusta Ethernet Ring Protection Switching -protokollalla (ERPS). Ethernet Ring Protection Switching -protokollassa silmukoiden syntyminen on mahdotonta. Olemassa oleva verkko on toteutettu kustannussyistä kytkimillä ML698, ML530 ja ML622, jonka vuoksi verkossa on käytettävä olemassa olevia rengastopologioita. (Dre weblog 2012).

Spanning Tree- ja Rapid Spanning Tree -protokollilla on kaksi tehtävää. Ensimmäisenä tehtävänä on varmistaa toimiva varayhteys, toisena tehtävänä on poistaa verkossa olevat silmukat.

Oulun liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa on valittu Rapid Spanning Tree -protokolla käytettäväksi, koska Rapid Spanning Tree -protokolla toipuu verkkoon tapahtuvista muutoksista nopeammin kuin Rapid Spanning Tree -protokolla. Kahden kytkimen välisestä suorasta yhteysviasta toipuminen kestää



Spanning Tree -protokollalla yli puoli minuuttia, kun vastaavasti Rapid Spanning Tree -protokollalla vastaava toipuminen tapahtuu noin viidessä sekunnissa.

#### 4.6.1 Käyttämättömien porttien sulkeminen

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkkoon on syntynyt useita verkkomyrskyjä väärin tehdyistä kytkennöistä joko liikennevalokeskuksen ML2300-keskuskytkimessä tai kentällä olevissa ML698- tai ML622-kytkimissä. Usein verkkomyrsky on syntynyt myös virhekytkennöistä ristikytkentäkeskuksissa tai kytkentärimoilla. Tämän vuoksi verkon jokaisen kytkimen osalta noudatetaan periaatetta, että ainoastaan käytössä olevien porttien kuuluu olla auki. Käyttämättömät portit suljetaan tai asetetaan huoltotilaan. Menettelyllä estetään mahdollisimman pitkälle verkkomyrskyjen syntyminen viallisesta kytkennän aiheuttamista toimenpiteistä.

Porttien sulkemiset on toteutettu MetaASSIST™ View -työkalulla yksitellen kytkin kytkimeltä koko verkosta, koska keskitetysti tämän tekeminen ei ole mahdollista MetaASSIST™ EMS 3.0 -ohjelmiston kautta. Porttien sulkemista vähemmän työllistävällä tavalla ei ratkaistu työn aikana. Kyseessä on kertaluontoinen toimenpide kaikkien verkon kytkimien kohdalla, joten kyseistä työtä ei tarvitse enää tehdä kun uusien kytkimien portteja ei jätetä auki kuten aikaisemmin.

#### 4.6.2 Renkaiden ja pistojen pienentäminen

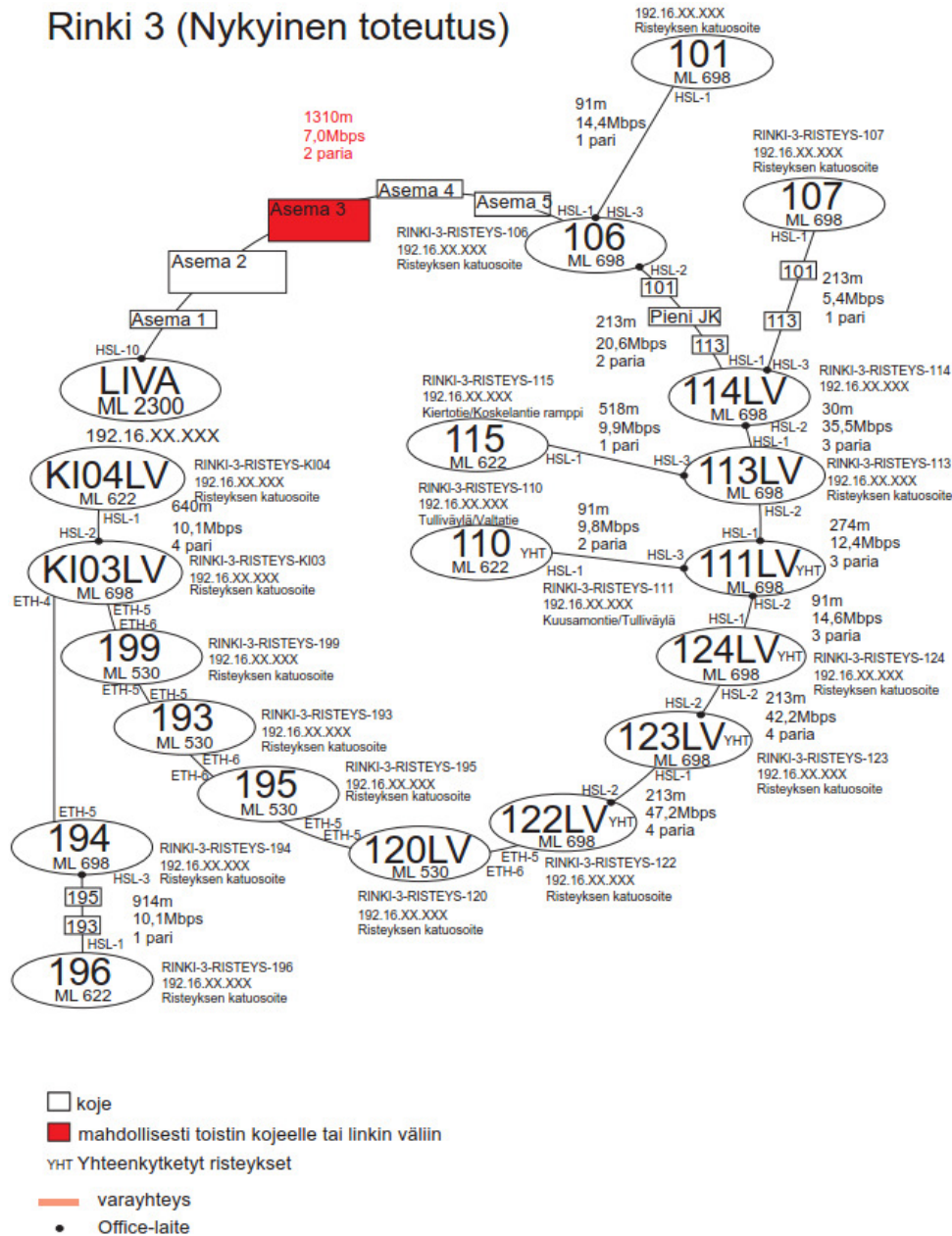
Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon yksi suurimmista yksittäisistä ongelmista ovat huonokuntoiset kupariparit telekaapeleissa, pitkät etäisyydet, liian isot verkkorenkaat ja liian pitkät tähdessä, eli pistossa, olevat verkon osat. Acteliskytkimien maahantuojan mukaan, yksittäisten verkkorenkaiden koko saa olla maksimissaan seitsemän kytkimen kokoisia renkaita. Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa renkaiden koko oli pahimmillaan jopa kahdenkymmenen kytkimen kokoisia ennen opinnäytetyön aloittamista.

Renkaiden kokoa on pienennetty työn aikana. Nykyiset renkaat ovat maksimissaan yhdentoista kytkimen kokoisia, lukuun ottamatta kahta verkossa olevaa pitkää pistonnokassa olevaa verkkoyhteyttä. Näiden kahden pitkän piston varal-

le on suunniteltu neljän verkkorenkkaan toteuttamista. Renkaiden muodostamisessa käytetään osittain rinnakkain olevaa kuitu- ja kuparipariverkostoa. Pisimpien telekaapeleiden kohdalla hyödynnetään myös XR239 EFM -toistimia. Toistimien avulla voidaan siirtää haluttu yhteysnopeus pidempien etäisyyksien päähän.

Ainoat jäljellä olevat ongelmalliset yhteydet tulevat maantieteellisesti Oulun kaupungin itä- ja eteläpuolelle. Kyseisiin paikkoihin on kuitenkin laadittu seuraavanlaiset korjaustoimenpiteet. Pahimmillaan olemassa olevissa yhteyksissä on 22 kytkintä point-to-point-yhteydellä toisiinsa kytkeytyneenä peräkkäin. Kuviossa 6 on esitetty Oulun kaupungin itäpuolella sijaitseva verkkopiston nykyinen tila.

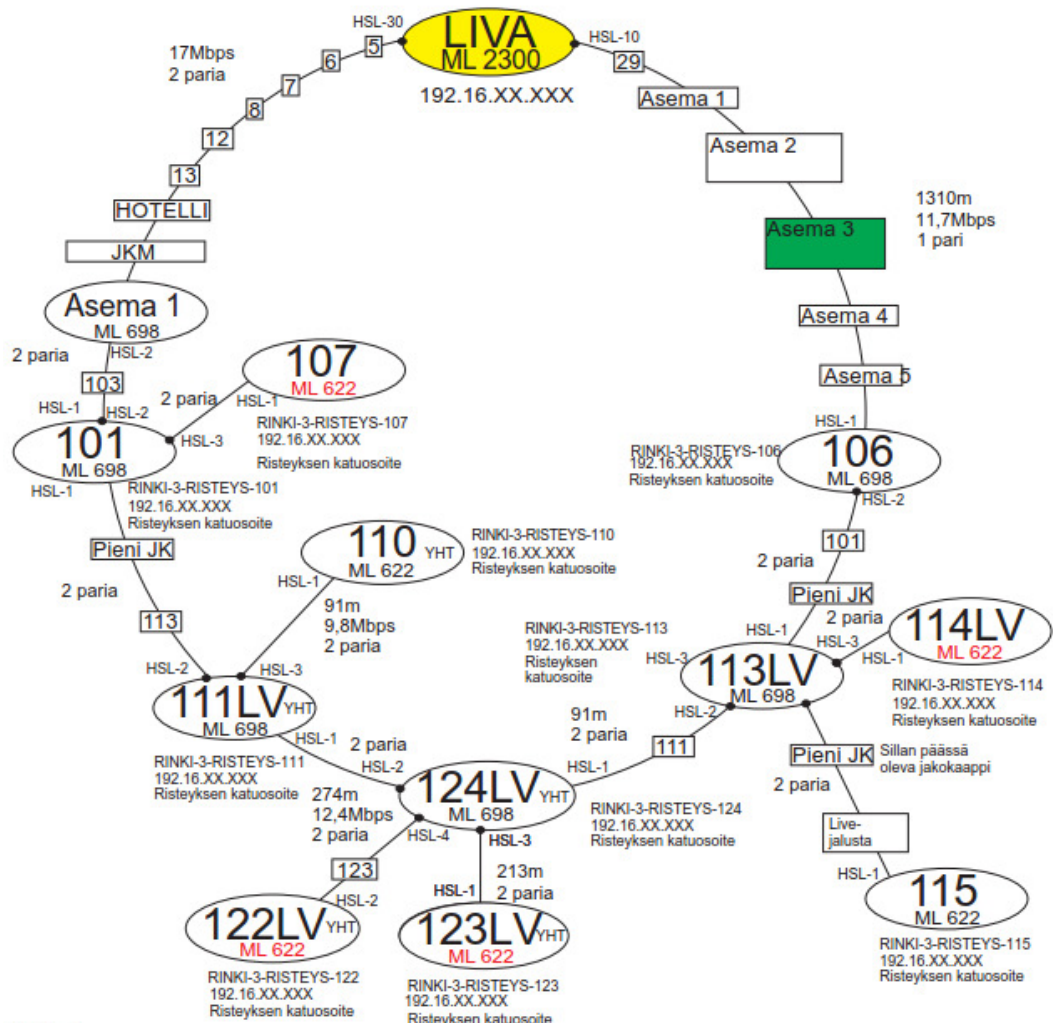
## Rinki 3 (Nykyinen toteutus)



Kuvio 6. Rengas 3 vanha topologia

Kuvion 6 mukaista verkkoa vaivaavat pitkät etäisyydet, hitaat yhteydet ja vanhat kuparit. Tilanne pyritään korjaamaan kuvioden 7 ja 8 mukaisilla suunnitelmissa.

## Rinki 3 (Uusi toteutus)



### Lisätietoa:

- 4 kpl ML698 vaihdetaan 4 kpl ML622 (Punaisella merkityt laitteet: Punainen väri kertoo että kyseinen laite on vaihdettava esiteltyyn).

□ koje

■ mahdollisesti toistin kojeelle tai linkin väliin

■ XR239-toistin kojeelle

YHT Yhteenkytketyt risteukset

— varayhteys

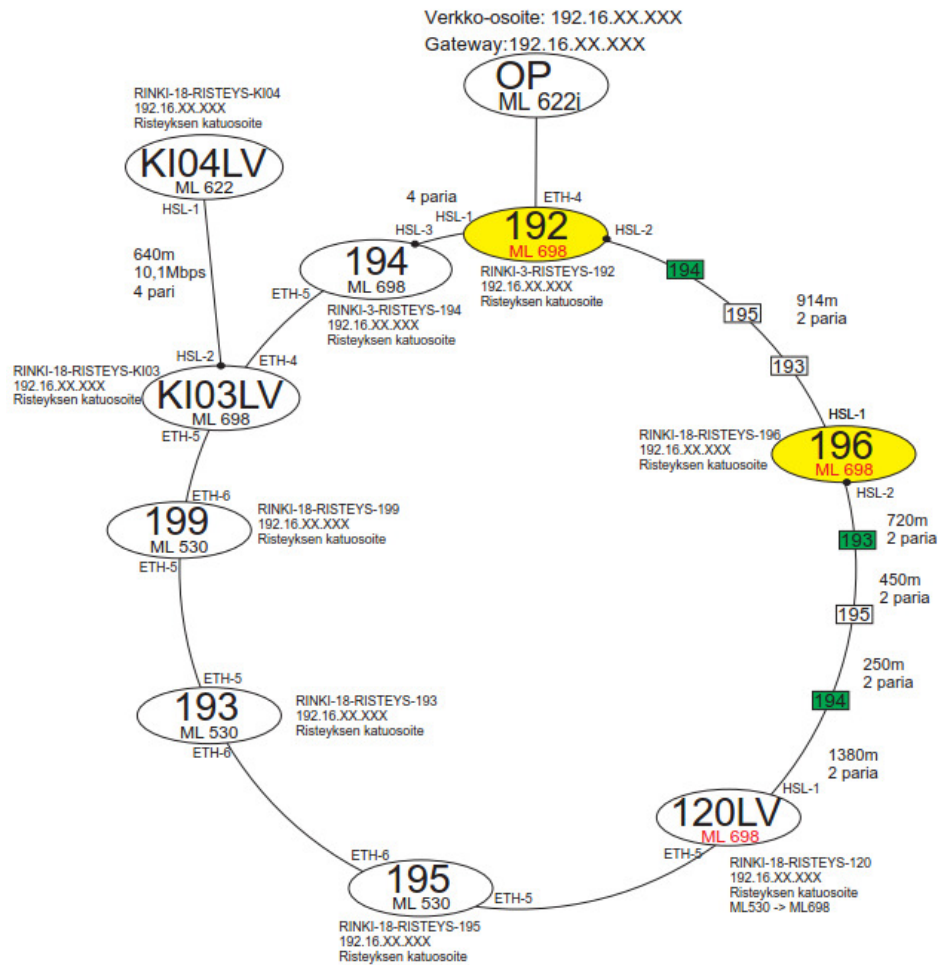
• Office-laite

Kuvio 7. Rengas 3 uusi topologia

Kuvion 7 mukaisen toteutuksen heikkoutena voidaan pitää pitkiä etäisyyksiä. Pitkät etäisyydet ovat liikennevalokeskuksen ja aseman 1 välillä ja vastaavasti liikennevalokeskuksen ja risteuksen R106 välillä. Kuvion 7 mukaisessa suunnitelmassa olevien kytkimien lukumäärä on kaksitoista laitetta per rengas, mikä on huono asia. Suunnitelman kytkinmäärä poikkeaa voimakkaasti maahantuojaan ohjeistuksesta. Maahantuojaan ohjeistuksen mukaisesti kytkimiä saa olla

maksimissaan seitsemän kytkintä per rengas. Verkkomyrkyt syntyvät sitä helpommin, mitä enemmän kytkimiä on verkkorenkaassa. Tähän ratkaisuun on päädytty, koska verkon renkaiden rakentamisessa käytetään olemassa olevaa telekaapeliverkkoa.

## Rinki 18 (Uusi toteutus)



### Lisätietoa:

- 2 kpl ML622 vaihdetaan ML698:ksi ja yksi ML530 vaihdetaan ML698:ksi (Punaisella merkityt laitteet: Punainen väri kertoo että kyseinen laite on vaihdettava esitettyyn.)

- koje
- XR239-toistin kojeelle
- mahdollisesti toistin kojeelle tai linkin väliin
- PFU-8C-tehonsyöttöyksikkö kojeelle varayhteys
- Office-laite

Kuvio 8. Uusi rengas 18

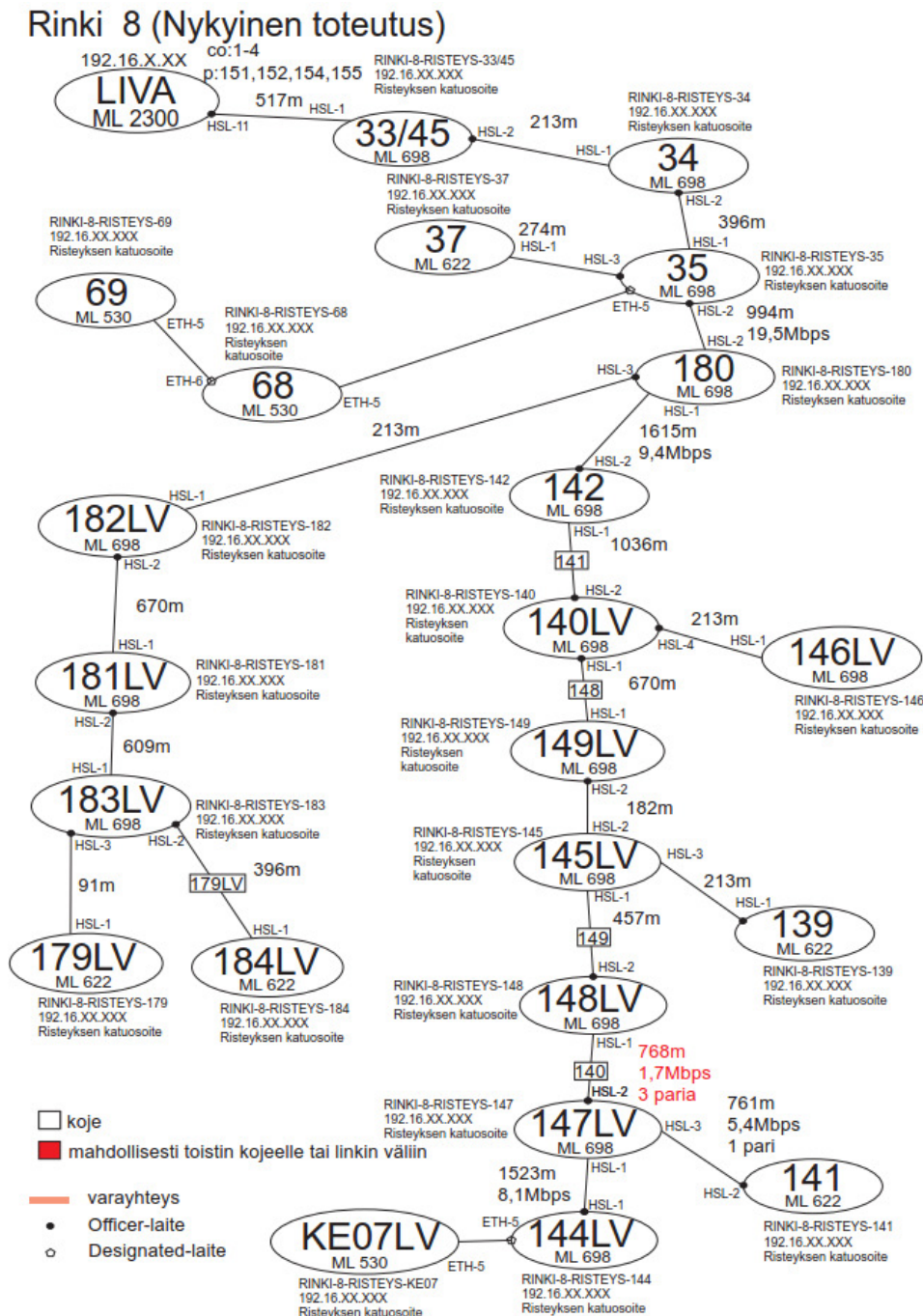
Kuvion 8 mukaisessa verkossa hyödynnetään osittain rinnan kulkevaa kuitu- ja kuparipariverkkoa. Kuvion 8 mukaisen toteutuksen heikkoutena on, että yhteydet kulkevat samojen liikennevalokaappien ja telekaapeleiden kautta. Kyseisellä

toteutuksella luodaan toimiva varayhteys siltä varalta jos yksi renkaan kytkimistä putoaa verkosta.

Kaikissa kuvissa kuituyhteyksiä esitetään porttien ETH-5 ja ETH-6 avulla, koska kyseiset portit ovat kuituportteja Actelis ML698- ja ML530-kytkimissä. Kuvassa näkyvät suorakulmiot ovat joko liikennevaloristeyksien kaappien tai rakennusten sisällä olevia ristikytkentärimoja, joiden kautta verkkorenkkaan telekaapelien kupariparit kulkevat. Esimerkiksi liikennevaloristeyksen R195 sähkönsyötön katkeaminen pudottaa risteyksen R195 verkosta. Verkkoyhteys risteykseen R120 ei katkea kuin hetkellisesti, koska varayhteys risteyksen R196 kautta toimii Rapid Spanning Tree -protokollaa käyttäen.

Mikäli kuvion 8 mukaisesta verkkorenkkaan risteys R195 tuhoutuu kokonaan esimerkiksi ajoneuvon yliajamana, verkon varayhteys ei toimi, koska varayhteys menevät liikennevaloristeyksen R195 kautta. Tällöin verkosta putoaa pois liikennevaloristeykset R120LV, R195 ja R196.

Kuviossa 9 on esitetty liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa oleva toinen ongelmallinen pitkän piston varassa oleva yhteys, joka sijaitsee Oulun kaupungin eteläpuolella.

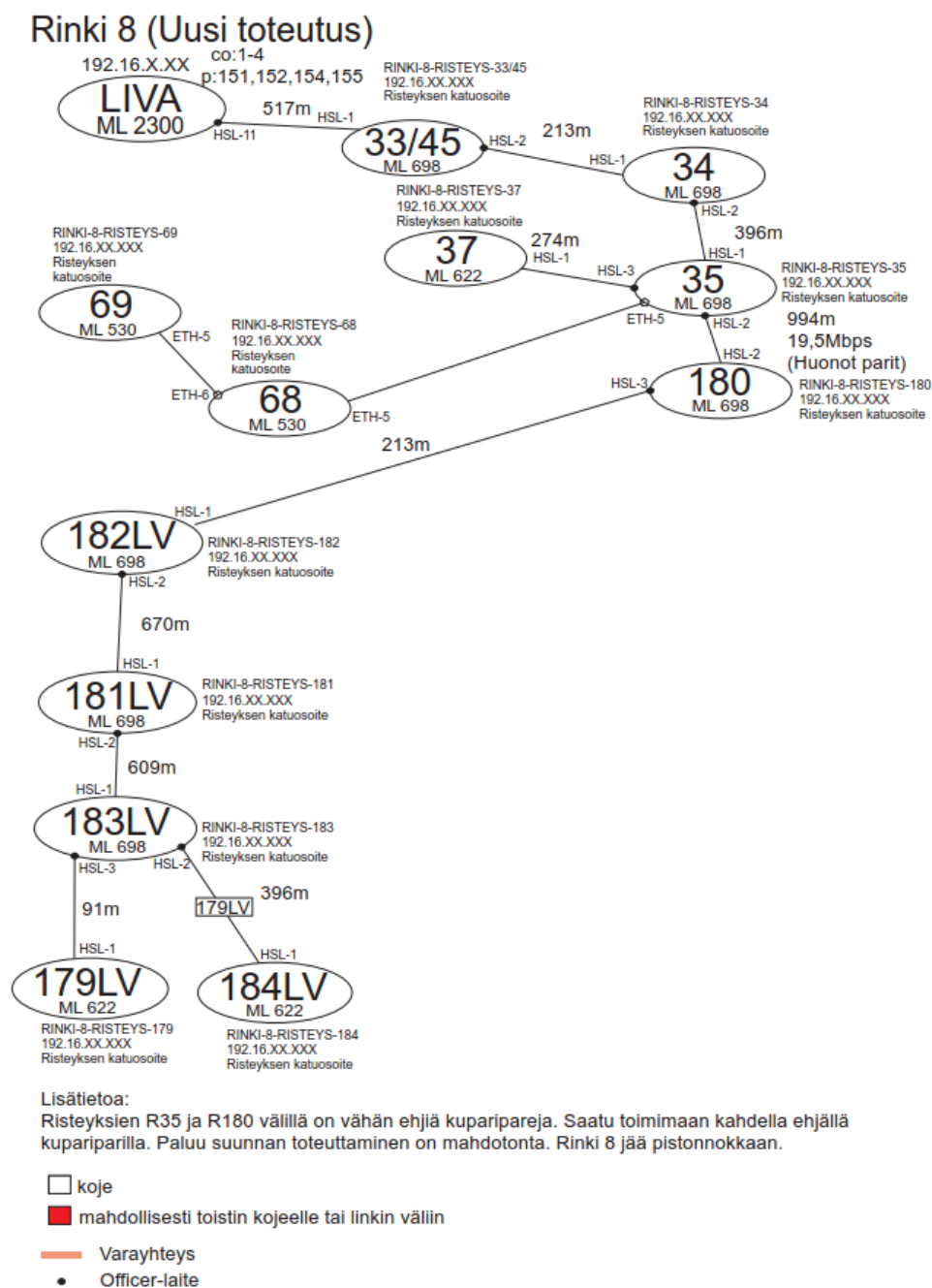


Kuvio 9. Rengas 8 topologia

Kuvion 9 mukaista verkkoa vaivaavat myös vaivaavat pitkät etäisyydet, hitaat yhteydet ja vanhat kuparit. Kuvan mukaisessa toteutuksessa risteykset on kytketty toisiinsa siten kun ne ovat maastossa.

Kuviossa 10 on esitetty, kuinka olemassa olevan verkon ongelmat jatkuvat uuteen toteutukseen. Periaatteessa kuvion 10 mukainen toteutus on huono komp-

romissi, johon ei voi vaikuttaa muutoin kuin rakentamalla risteyksien välille uusia yhteyksiä.



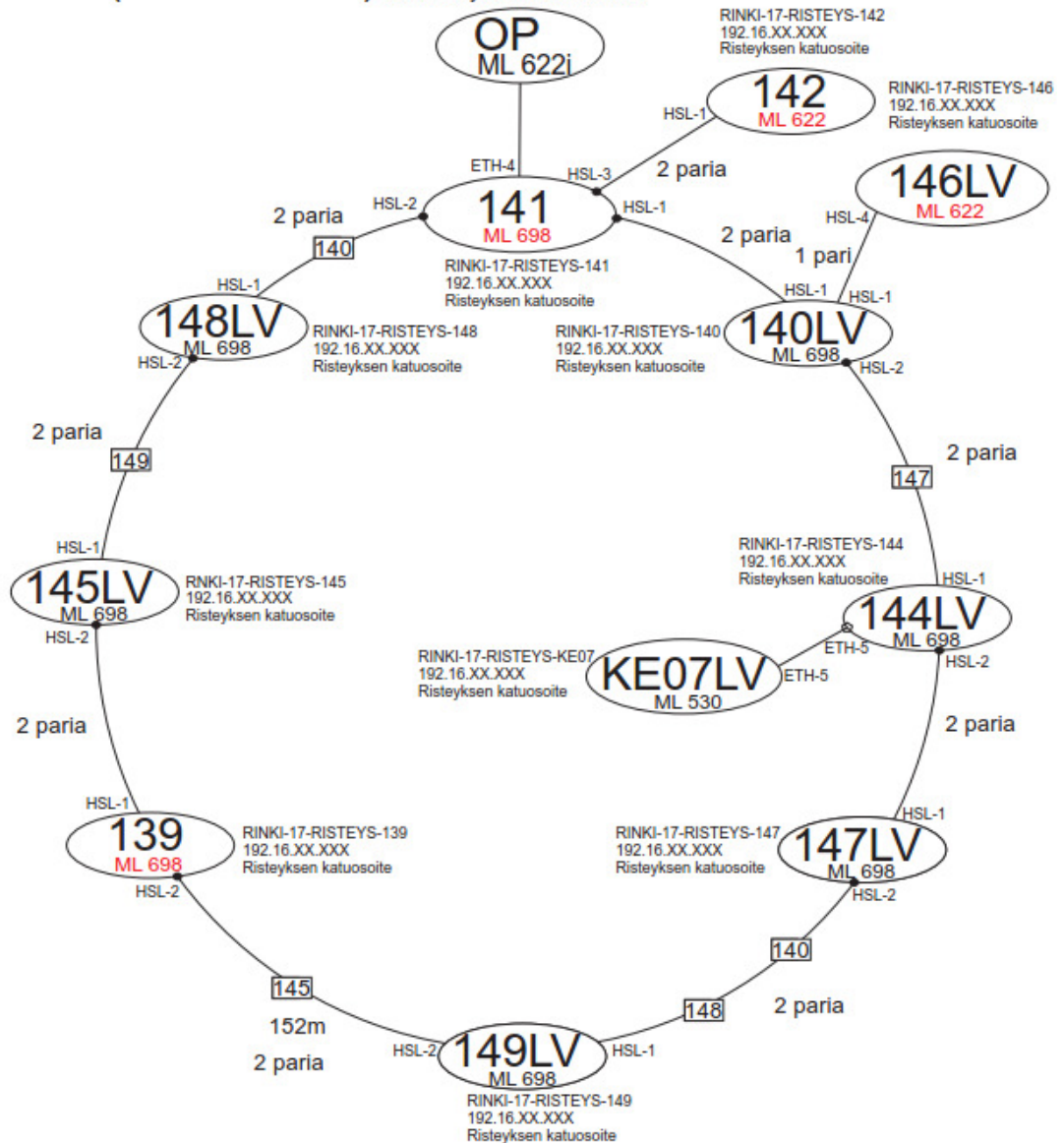
Kuvio 10. Rinki 8 uusi topologia

Kuviossa 11 esitetään ratkaisuksi seutuliittymän hankkimista operaattorilta. Verkkoja on toteutettu aikaisemminkin operaattorilta hankittujen yhteyksien kautta, koska kaikkialla liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon alueella ei ole yhtenäistä verkkoa. Tämä voisi olla jopa yksi suositeltava malli ehkäistä yhden ison L2-tason verkon syntyminen. Yleensä L2-tason verkkoja ei toteuteta näin



suurina ja useina renkaina, koska verkon ylläpidosta tulee haastavaa verkko-myrskyjen vuoksi.

## Rinki 17 (Uusi toteutus) Verkko-osoite: 192.16.XX.XXX Gateway:192.16.XX.XXX



Lisätietoa:

- 2 kpl ML622 ja 2 kpl ML698 vaihdetaan päikseen. (Punaisella merkityt laitteet: Punainen väri kertoo että kyseinen laite on vaihdettava esiteltyyn.)

□ koje

■ mahdollisesti toistin kojeelle tai linkin väliin

varayhteys

• Officer-laite

Kuvio 11. Rinki 17 topologia

Kuvion 11 mukaisen toteutuksen heikkoutena voidaan pitää sitä, että yhteyksissä käytetään samoja telekaapeleita renkaiden toteuttamiseen. Esimerkiksi riste-

yksen R141 sähkönsyötön katkeaminen tai operaattoriyhteyden katkeaminen kaataa koko verkon. Vastaavasti kuvasta havaitaan, että risteuksen R140 tuhoutuminen tai risteuksen R140-R141 välisen telekaapelin katkeaminen aiheuttaa sen, että verkkoon jää ainoastaan risteys R141.

#### 4.6.3 Tehonsyöttöyksiköiden ja toistimien käyttöönotto

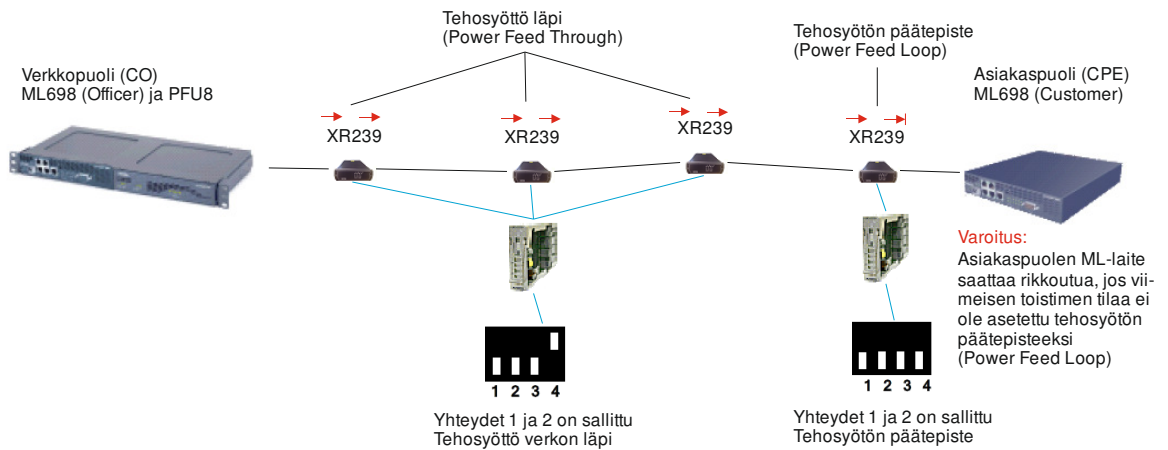
Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa on pitkiä etäisyyksiä liikennevaloristeuksien välillä. Pitkät etäisyydet aiheuttavat kytkimien välisissä HSL-linkkien nopeuden alentumista ja signaalin heikkenemistä telekaapeleissa. Vastaavasti pitkissä telekaapeleissa viestit vääristyvät ja aiheuttavat verkkomyrskyjä.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon kehittämisen osana oli ottaa käyttöön Acteloksen PFU8-tehonsyöttöyksiköt ja toistimet XR239. PFU-8-tehonsyöttöyksikköä käytetään toistimien tehonsyöttöön XR239-toistimille. Toistimien tehonsyöttö voidaan toteuttaa verkon puolelta CO-laitteelta (Office), asiakas puolelta CPE-laitteelta (Customer) tai tarvittaessa molemmista suunnista. PFU8-tehonsyöttöyksiköllä voidaan toimittaa tehoa 1-4 peräkkäiselle toistimelle riippuen kahden ML-yksikön etäisyydestä, olemassa olevien kupariparien kunnosta ja vaadittavasta kaistanleveydestä. Toteuttamalla HSL-linkin syöttö linjan molemmista päistä, voidaan toimittaa tehoa jopa kahdeksalle peräkkäiselle toistimelle XR239-toistimelle. (Actelis Networks XLR8 2013b, 1-10.)

PFU-8-tehonsyöttöyksiköstä on olemassa neljä mallia, PFU-8, PFU-8C, PFU-8D ja PFU-8E. Mallilla on väliä, sillä esimerkiksi PFU-8- ja PFU-8C-tehonsyöttöyksiköllä voidaan syöttää teho maksimissaan neljälle XR239-toimelle käyttäen kahta kupariparia telekaapelissa, vastaavasti PFU-8E-tehonsyöttöyksiköllä voidaan syöttää teho ainoastaan kahdelle XR239-toistimelle käyttäen kahta kupariparia telekaapelissa. Toistimien PFU-8D ominaisuudet eivät ole valitettavasti tiedossa, joten nämä on selvitettävä erikseen Actelis-kytkimien maahantuojalta.

Työssä tehonsyöttö on toteutettu ainoastaan verkon puolelta CO-laitteelta kuvion 12 mukaisella tavalla. Toistimien käyttöönotto suoritettiin siten, että ensimmä-

mäisenä aseteltiin verkkopuolen ML698-yksikkö (CO) käyttövalmiiksi. Tämän jälkeen otettiin käyttöön PFU-8/PFU-8C/PFU-8E-yksikkö, joka aseteltiin toimimaan M698-yksikön (CPE) kanssa. Tämän jälkeen XR235-toistimien asetukset laitettiin kuntoon ja nämä asennettiin linjalle. Lopuksi asetettiin asiakaspuolen ML6xx-yksikkö (Customer) käyttövalmiiksi.



Kuvio 12. Tehon syöttö verkon puolelta

Verkon puolelta tapahtuvassa tehonsyötössä on toiminnaltaan kahden tyyppisiä toistimia, tehoa syöttäviä toistimia (Power Feed Through) ja tehonsyötön päätepiisteenä toimiva toistin (Power Feed Loop). Toimintatyyppi määritellään toistimien DIP-kytkimillä kuvion 12 mukaisesti.

Yksi XR239-toistin tukee kahta linjaa, eli toistimeen kytketään neljä kupariparia (kaksi paria sisään ja kaksi paria ulos). Yhteyden voi muodostaa myös yhdellä linjalla, yhdellä parilla (yksi pari sisään ja yksi pari ulos). Toistimien välistä yhteyttä ei saa kytkeä siten, että yhteys muuttuu kahdesta parista yhteen pariin tai päinvastoin.

Toistimien käytössä on myös pohdittava, kuinka monta XR239-toistinta tehonsyöttöyksiköllä on tarkoitus syöttää, sillä virtalähteen valinnalla on suuri merkitys toistimien tehonsyöttöön. Actelis-kytkimiin on saatavana erilaisia virtalähteitä. Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa käytettiin kahdenlaisia virtalähteitä, ML6xx(G)-virtalähdettä ja ML6xx(G)-virtalähdettä suurempaa virtalähdettä.

Actelis ML698- ja ML622-kytkimen ML6xx(G)-virtalähteen lähtöjännite on 48 V kuvan 9 mukaisesti. ML6xx(G)-virtalähde antaa 0,75 A virtaa. Tästä voidaan laskea, että virtalähde antaa tehoa noin 36 W. (Wiik 2014.)



Kuva 9. ML6XX(G)-virtalähde

Vastaavasti suuremman virtalähteen lähtöjännite on 48 V ja virtalähde antaa 1,31 A virtaa kuvan 10 mukaisesti. Tästä voidaan laskea, että virtalähde antaa tehoa noin 62 W. (Wiik 2014.)



Kuva 10. ML6XX(G)-virtalähde

Tehonsyöttöyksikön PFU-8C kuormitus on maksimissaan 135 W. Tehonsyöttöyksikössä PFU-8C on 8 kupariparilähtöä eli 8 syöttöä. Tästä laskettuna seu-

raa, että yksi kupariparilähtö voi syöttää 16,9 W per lähtö kaavan 1 mukaisesti. Yksi PFU-8C-tehonsyöttöyksikön lähtö syöttää maksimissaan neljää XR239-toistinta, eli yhden toistimen tehontarve on 4.2 W kaavan 2 mukaisesti. Toisin sanoen PFU-8C-tehonsyöttöyksiköllä voidaan syöttää yhteensä 32 kappaletta XR239-toistinta. Sama asia on havainnollistettu laskemalla:

$$P_{PFU-8C(MAX)} = 135W$$

$$P_{LÄHTÖ} = \frac{P_{PFU-8C(MAX)}}{\text{lähtöjen lkm}} = \frac{135W}{8 \text{ lähtöä}} = 16,9W \quad (1)$$

$$P_{XR239-toistin} = \frac{P_{LÄHTÖ}}{\text{toistimien lkm /lähtö}} = \frac{16,9W}{4 \text{ toistinta/lähtö}} = 4,2W \quad (2)$$

$$\Rightarrow P_{PFU-8C(MAX)} = \text{lähtöjen lkm} \times \frac{\text{toistimien lkm}}{\text{lähtö}} \times P_{XR239-toistin} \quad (3)$$

$$\Rightarrow P_{PFU-8C(MAX)} = 8 \text{ lähtöä} \times \frac{4 \text{ toistinta}}{\text{lähtö}} \times \frac{4,2W}{\text{toistin}} = 135W$$

Tästä saadaan myös virtalähteen virta laskettua kun PFU-8C on täydessä kuormassa kaavan 4 mukaisesti:

$$I_{PFU-8C(MAX)} = \frac{P_{MAX}}{U_{MAX}} = \frac{135W}{48V} = 2,8A \quad (4)$$

Teoriassa ML6xx(G)-virtalähteellä on mahdollista syöttää kahdeksaa virtalähdettä kaavan 5 mukaisesti:

$$P_{XR239-toistin} = 4,2W$$

$$P_{ML6XX(G)-virtalähde} = 63W$$

$$\text{Lukumäärä}_{ML6XX(G)-virtalähde} = \frac{P_{ML6XX(G)-virtalähde}}{P_{XR239-toistin}} \quad (5)$$

$$\Rightarrow \text{Lukumäärä}_{ML6XX(G)-virtalähde} = \frac{36W}{4,2W} = \frac{8 \text{ kpl}}{ML622(G)-virtalähde}$$

Vastaavasti suuremmalla virtalähteellä voidaan syöttää teho viidelletoista XR239-toistimille teho kaavan 6 mukaisesti:

$$P_{XR239-toistin} = 4,2W$$

$$P_{ML6XX(G)-virtalähde} = 63W$$

$$Lukumäärä_{tehovirtalähde} = \frac{P_{tehovirtalähde}}{P_{XR239-toistin}} = \frac{63W}{4,2W} = \frac{15 \text{ kpl}}{tehovirtalähde} \quad (6)$$

Tässä on myös tärkeää huomioida, että virtalähteen syöttämä jännitealueen vaihteluväli on 40 – 48 VDC. Tällöin toistin XR-239 tarvitsee virtaa 0,09 - 0,1 A kaavojen 7 ja 8 mukaisesti:

$$P_{XR239-toistin} = 4,2W$$

$$U_{MAX} = 48V$$

$$U_{MIN} = 40V$$

$$I_{XR239-toistin(MAX)} = \frac{P}{U_{MAX}} = \frac{4,2W}{40V} \approx 0,1A \quad (7)$$

$$I_{XR239-toistin(MIN)} = \frac{P}{U_{MAX}} = \frac{4,2W}{48V} \approx 0,09A \quad (8)$$

$$Lukumäärä_{tehovirtalähde} = \frac{P_{tehovirtalähde}}{P_{XR239-toistin}} = \frac{63W}{4,2W} = \frac{15 \text{ kpl}}{tehovirtalähde} \quad (6)$$

Actelis-kytkimien maahantuojan mukaan on kytkimiin myös mahdollista saada 135W syötävä tehovirtalähde. (Wiik 2014).

#### 4.6.4 Rapid Spanning Tree -asetukset

Paras tapa estää verkkomyrskyjen syntyminen on asettaa Rapid Spanning Tree -protokollan asetukset oikein koko verkkoon. Virheelliset asetukset ja verkkoon kohdistuvat muutokset aiheuttavat helposti verkkomyrskyjä. Verkkomyrskyjen syntymistä haittaa myös se, että Actelis-kytkimissä ei ole verkkoon syntyvien silmukoiden havaitsevaa toimintaa, eli Loop Protection -toimintaa. Loop Protection -toiminolla voitaisiin katkaista syntyvä verkkomyrsky millisekunneissa ennen kuin verkkomyrsky kaataa koko tietoliikenneverkon.

Aloitetaan asetusten määrittely Rapid Spanning Tree -protokollan lyhyellä kertauksella. Pääkytkin määryytyy renkaassa seuraavien asioiden perusteella:

- kytkimien MAC-osoitteiden perusteella,
- kytkimen keskinäisten prioriteettien perusteella (Bridge priority),
- portin STP prioriteettien perusteella (STP port priority) ja
- kytkimien välisten porttien reittiarvojen perusteella (Path cost).

Pääkytkimen valinta MAC-osoitteen perusteella ei ole järkevää, koska keskuslaitteet ovat suorituskyvyltään tehokkaampia kuin verkon reunakytkimet. Pahimmillaan kaikki liikenne pyritään ohjaamaan reunakytkimien kautta.

Pääkytkin määritellään muuttamalla pääkytkimeksi valittavan kytkimen prioriteettia. Verkkorenkään pääkytkimelle asetetaan renkaan pienin prioriteetti. Tällä tavalla ohjataan kaikki liikenne kytkimen kautta, jolla on suurin laskentateho. Oulun liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa ML2300-keskuskytkimen Bridge Priority on muutettu arvoon 0 ja kaikki muut ML2300:aan liittyvien kytkimien siltaprioriteetti on muutettu arvoon 32768. Ennen opinnäyteyötä, kaikkien kytkimien prioriteetit olivat yhtä suuria.

Rapid Spanning Tree -protokollassa verkossa olevilla porteilla on tila ja rooli, jotka kulkevat rinnakkain taulukon 1 mukaisesti. Taulukossa 1 on esitetty pääkytkimen ja siltakytkimen tilat ja roolit renkaassa. Taulukosta voidaan havaita, että pääkytkimen portit ovat ainoastaan liikennettä välittävissä tilassa ja roolissa. Vastaavasti siltakytkin voi olla kaikissa mahdollisissa tiloissa ja rooleissa.

Tila ilmaisee välittääkö portti liikennettä vai ei. Forward-tilassa oleva portti välittää liikennettä, eli liikenne kulkee näiden porttien kautta normaalisti. Blocked-tilassa oleva portti ei välitä liikennettä. Rapid Spanning Tree -protokollassa silmukan syntyminen rengasverkkoon estetään asettamalla renkaassa yksi portti Blocked-tilaan.

Taulukko 1. Kytkimien tilat ja roolit rengasverkossa

Pääkytkin	Siltakytkin	Tila	Rooli	Lyhyt kuvaus
x	x	Forward	Designated	Liikenteen välitys, välittäväportti
	x	Forward	Root	Liikenteen välitys, pääportti
	x	Blocked	Alternative	Liikenne estetty, vaihtoehtoinen reitti

Taulukossa 1 oleva rooli ilmaisee liikennettä välittävän tilan lisäksi portin roolin. Roolilla Designated ilmaistaan sekä pääkytkimellä ja siltakytkimellä, että portti välittää liikennettä siltakytkimien porteilta. Siltakytkimien tila on Forward ja rooli on Root.

Taulukossa 2 on kuvattu tarkemmin, missä tilassa pääkytkimen ja siltakytkimien portit on, kun laitteet on yhdistetty toisiinsa.

Taulukko 2. Pääkytkimen ja siltakytkimien välisten yhteyksien tilat ja roolit

Pääkytkin		Yhteys	Siltakytkin		Liikennettä
Forward	Designated	-	Forward	Root	Kyllä

Siltakytkin		Yhteys	Siltakytkin		Liikennettä
Forward	Designated	-	Forward	Root	Kyllä
Forward	Designated		Blocked	Alternative	Ei, paitsi BPDU-liikennettä

Kytkimet muodostavat porttien kautta verkkorakenteeltaan renkaan, jossa liikenne kulkee parasta reittiä pitkin. Usein kuitenkin renkaaseen tapahtuvat useat muutokset saattavat aiheuttaa tilanteen, jossa liikenne kulkee reittiä pitkin, joka on tiedon kulun kannalta nopein reitti. Tämä ei kuitenkaan ole välttämättä käyttökohteessa paras mahdollinen reitti pääkytkimelle. Ajallisesti lyhyin reitti saattaa joissakin tapauksissa olla kaistanleveydeltään heikompi. Oulun liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa tilanne on usein juuri vastaavanlainen.

Liikenteen reittiä voidaan muuttaa muuttamalla porttien STP prioriteettia (STP Port Priority), joka vaikuttaa suoraan kytkimen reitin valintaan. Pienimmällä STP prioriteettiarvolla priorisoidaan, mikä portti valitaan liikennettä välittäväksi portiksi. Vastaavasti suurimmalla STP prioriteettiarvolla priorisoidaan muut portit asettumaan Blocked/Alternative tilaan ja rooliin. Toisin sanoen, mitä pienempi prioriteetti, sen suuremmalla todennäköisyydellä portista tehdään välittävä portti. Portin prioriteettiasteikko on Actelis-kytkimissä 0-240, 16 askeleen pykälissä.

Liikenteen reittiä voidaan muuttaa vaihtamalla kytkinten porttien reittiarvoa (Path cost), mikä vaikuttaa myös suoraan kytkimen reitin valintaan. Reittiarvolla ilmaistaan COLAN-, ETH-portille ja HSL-linkille yhdysnopeus taulukon 3 mukaisesti:



Taulukko 3. STP Path Cost

Kytkimen portti	Reittiarvo (Ohjekirja)	Reittiarvo (Valittu)
Colan (MGMT)	220,000,000	200,000,000
ETH-1,-2, -3, -4	2,000,000	20,000,000
ETH-5, -6	200,000	200,000
HSL-1, -2, -3, -4	2,000,000	2,000,000

Oulun liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa STP Port Priority arvoon ei ole koskettu vaan priorisoinnissa on luotettu siihen, että Rapid Spanning Tree -protokolla käyttää reittivalinnassaan muun muassa taulukon 3 mukaisia kokeellisia reittiarvoja. Reittiarvot nopeuttaa Rapid Spanning Tree -protokollan toimintaa, koska arvoilla osoitetaan yhteystyyppien kaistanleveys arvioiden.

Jos renkaan reittiin on tarvetta enemmän puuttua, tämä toteutetaan porttikoh-  
taisella priorisoinnilla. Porttikoh-  
taiselle priorisoinnille on joskus liikenteenhallin-  
nan tietoliikenneverkossa tarvetta, sillä muutamat verkkorenkaat pitävät sisäl-  
lään enemmän liikennekameroita kuin maahantuojan suosittelee. Maahantuojan  
mukaan, yhdessä rengasverkossa voi olla maksimissaan kaksi kameraa. Portti-  
koh-  
taisella priorisoinnilla voidaan valita muun muassa kaistanleveydeltään pa-  
rasta yhteys kameroille.

Taulukosta nähdään että runkoyhteydet muodostetaan porttien HSL-1, HSL-2,  
HSL-3, HSL-4, ETH-5 ja ETH-6 kautta ja vastaavasti porttien COLAN-, ETH-1,  
ETH-2, ETH-3, ETH-4 reittiarvot ovat huonommat kuin runkoyhteyksien reittiar-  
vo.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa kaikille porteille on erikseen määritelty  
Rapid Spanning Tree -protokollan mukaiset point-to-point- ja edge-portit. Point-  
to-point-portit neuvottelevat nopeasti kytkimien väliset linkit kuntoon. Edge-  
portteihin kytketään liikennevalokojeet, yleisliitäntäyksiköt ja liikennekamerat.  
Edge-porteilla yhdistetään verkkoon liikennevalokojeet, yleisliitäntäyksiköt ja  
liikennekamerat huomattavasti nopeammin kuin point-to-point-portteilla. Point-  
to-point-portteja käytetään kytkimien välisissä yhteyksissä, jotka tukevat Rapid  
Spanning Tree -protokollaa.

Käytännössä on havaittu, että jos liikennevalokojelle, yleisliitäntäyksiköille, liikennekameraille ja muille päätelaitteille määritellyt portit eivät käytä Rapid Spanning Tree -protokollaa ja verkkoon tulee kaapelivika, aiheuttaa tämä verkkomyrskyn. Vastaavasti jos kyseiset portit määritellään käyttämään Rapid Spanning Tree -protokollaa ja porteista ei määritellä Edge-portteja, tämä hidastaa Rapid Spanning Tree -protokollaa niin paljon, että se käyttäytyy kuten Spanning Tree -protokollalla varustettu verkko. Kun liikennevalokojien, yleisliitäntäyksiköiden, liikennekameroiden ja muiden päätelaitteiden portit määritellään Edge-porteiksi, tällä nopeutetaan Rapid Spanning Tree -protokollan toimintaa ja verkko toimii oikein verkkoon kohdistuneissa muutoksissa.

#### 4.6.5 Reitittimien käyttäminen tietoliikenneverkossa

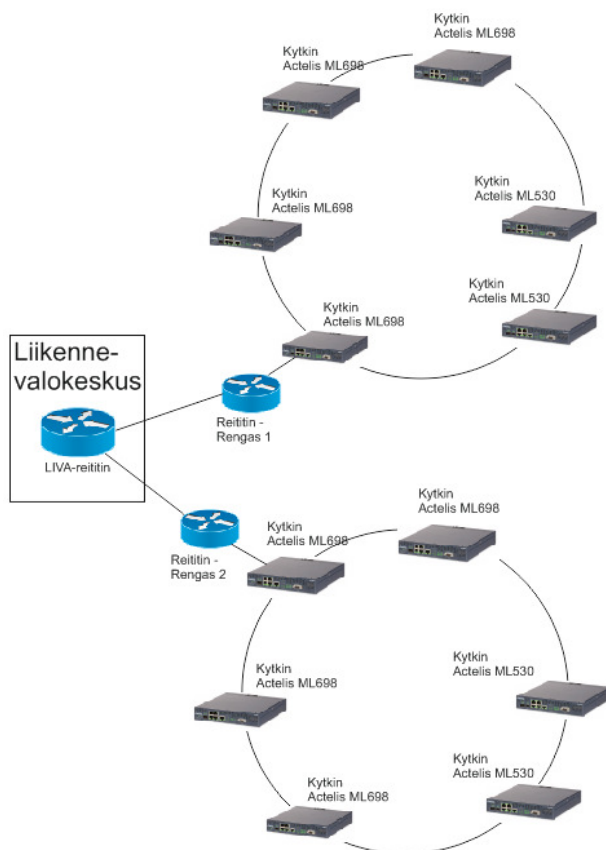
Reititin on L3-tason laite, eli verkkokerroksen laite, jonka tehtävä on yhdistää tietoverkkoja toisiinsa. Reitittimen tehtävä on ainoastaan reitittää, toisin sanoen välittää, tietoa lähiverkkojen välillä. Reititin on osallisena vähintään kahdessa lähiverkossa. (TectTarget 2016.)

Lähiverkossa kytkimet välittävät liikennettä kytkimeltä kytkimelle MAC-osoitteiden perusteella. Kun vastaanottajaa ei ole tiedossa, välittävä viesti lähetetään kaikille kytkimen porteille paitsi viestin vastaanottavalle portille Broadcast-viestillä, toisin sanoen vastaanotettu viesti kaiutetaan kaikkialle verkkoon. (Cisco Systems 2005b.)

Reitittimet välittävät liikennettä pääasiassa TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) yhdistelmätietoverkkoprotokollaa käyttäen. IP-protokolla vastaa verkkolaitteiden osoitteista ja pakettien reitittämisestä verkkolaitteiden välillä. IP-protokollan päällä kuljetetaan muita verkko- tai kuljetuserroksen protokollia, kuten TCP-protokollaa. TCP-protokolla vastaa verkkolaitteiden välisestä tiedonsiirtoyhteydestä. TCP-protokolla vastaa pakettien järjestämisestä ja lähettämisestä. (Cisco Systems 2005b.)

Reitittimet eivät välitä MAC-tason broadcast-liikennettä. Reitittimiä voidaan siis käyttää olemassa olevan liikenteen hallinnan tietoliikenneverkon verkkomyrsky-

jen pienentämiseen rengaskohtaisiksi. Tällä hetkellä verkkomyrsky leviää pahimmillaan verkon 97 kytkimeen kaataen koko verkon. Käyttämällä reitittimiä verkossa, viallinen rengasverkko on nopea havaita ja korjata koska vika tapahtuu ainoastaan viallisessa verkkorenkaassa. Kuviossa 13 on esitetty reitittimillä toteutettava vaihtoehto nykyisen ratkaisun rinnalle tai kokonaan korvaavaksi ratkaisuksi.



Kuvio 13. Toteutus käyttäen reitittimiä

Kuvion 13 mukaisessa toteutuksessa voitaisiin käyttää esimerkiksi Cisco Systemsin Integrated Services Routers Generation 2 -reitittimiä (ISR G2), kuten Cisco 1841, 2801, 2811, 2821, 2851 ja 3845. Kyseiset reitittimet käyttävät tiedonsiirtoon fyysisellä kerroksella samaa tekniikkaa kuin Actelis-kytkimet, eli symmetristä G.SHDSL-laajakaista tekniikkaa. Reitittimet käyttäisivät siirtotienä edelleen olemassa olevaa telekaapeleista muodostuvaa kuparipariverkkoa. Liikennevalokaapissa reitittimenä voitaisiin käyttää Cisco 1841 -reititintä ja vastaavasti liikennevalokeskuksessa useampaa Cisco 3845 -reititintä tai yhtä suurempaa reititintä kaikille yhteyksille. Mikäli yhteysvälit reitittimien välillä on yli

yhden kilometrin, matkaa voitaisiin jatkaa käyttämällä Acteloksen XR239 EFM-toistimia. (Cisco Systems 2015a.)

#### 4.7 Varmennettu sähkönsyöttö

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon EFM-liityntäverkon keskuslaite ML2300 sijaitsee liikennevalokeskuksessa. Suurin osa Oulun alueen yhteyksistä ja tietoliikenteestä kulkee ML2300-kytkimen läpi, joten on tärkeää varmistaa katkeamaton sähkönsyöttö ML2300-kytkimelle.

Opinnäytetyön aikana ML2300 syöttö oli käytännössä mahdollista testata, koska liikennevalokeskuksen ryhmäkeskuksiin piti vaihtaa etäluettavat mittarit. Vaihdon aikana ML2300 putosi kokonaan verkosta ryhmäkeskuksen etäluettavan mittarin vaihdon aikana. Tällöin huomattiin, että ML2300 sähkönsyöttö tuli yhden ryhmäkeskuksen takaa ja kytkintä ei ollut varmennettu keskeyttämättömällä virransyötöllä, eli UPS-laitteella (Uninterruptible Power Supply).

ML2300 sähkönsyötön kahdennus toteutettiin siten, että työssä käytettiin hyväksi liikennevalokeskukseen tulevia sähkönsyöttöjä ja ML2300-kytkimen kahdennettua virtalähdettä. Liikennevalokeskuksessa on kaksi kappaletta ryhmäkeskuksia, joihin tulee syöttö sekä kiinteistön sähköjakokeskuksesta että tontin rajalta olevasta jakokaapista. Virtalähteen ensimmäinen syöttö tulee kiinteistön sähköjakelukeskuksesta syötetystä ryhmäkeskuksesta. Liikennevalokeskuksen ryhmäkeskuksen ja ML2300-kytkimeen väliin on asennettu keskeytymätön virran syöttö. Hankittu keskeytymätön sähkönsyöttö syöttää nykyisellä kuormalaan ML2300-kytkintä kuusi tuntia. Vastaavasti virtalähteen toinen syöttö tulee tontin rajalta olevalta jakokaapilta.

#### 4.8 Varmuuskopiointi ja tietojen palauttaminen

Varmuuskopiointi on tärkeää varautumista tuleviin vikoihin ja vikatilanteisiin. Varmuuskopiointissa tärkeä tieto kopioidaan ja varastoidaan talteen. Varmuuskopiointi helpottaa huomattavasti ylläpidon toimintaa, koska kytkimet ja muut verkkolaitteet voidaan palauttaa nopeasti toimintavalmiuteen.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon varmuuskopiointi oli toteutettu siten että MetaASSIST™ View -työkalulla oli tehty ML2300-keskuskytkimestä sekä ML698- että ML622-kytkimestä yhdet konfiguraatitiedostot, joita käytetään pohjana yleisasetusten asettamiseen kytkimille. Actelis-kytkimien konfiguraatitiedostot ovat DAT-tiedostoja, jotka pitävät sisällään kytkimen käyttäjän asettamat asetukset.

Aikaisemmin tehtyä menettelyä ei voida puhtaasti kutsua puhtaasti varmuuskopiointista, koska yleiskonfiguraatitiedostot eivät ole olleet kytkinkohtaisia, vaan yleisesti käytettäviä konfiguraatitiedostoja. Käytännössä on vielä havaittu että Actelis-kytkimien konfiguraatitiedostot ovat kytkimen raudan ja ohjelmistojulkaisun kanssa riippuvaisia.

Ongelmallisen tilanteesta teki myös se että verkossa olevien kytkimissä oli käytössä useita ohjelmistoversioita tai julkaisuja (release) kuten R6.12, R7.36, R7.4 ja R7.45. Tämä teki yleiskonfiguraatit hyödyttömiksi koska esimerkiksi julkaisun R7.36 konfiguraatitiedostoa ei voida käyttää kytkimen kanssa, joissa on julkaisu R6.12, R7.4 ja R7.45 käytössä.

Varmuuskopioiden ottaminen on ollut vaillaista koska koko verkon kytkimien varmuuskopiointi ei ole ollut järkevää toteuttaa MetaASSIST™ View- työkalulla, koska tällä saadaan vain yksittäisen kytkimen konfiguraatitiedosto käyttöön.

Varmuuskopioiden tekeminen, ohjelmistojen asentaminen ja konfiguraatitiedostojen palauttaminen on mahdollista toteuttaa koko verkon kytkimille keskitetysti MetaASSIST™ EMS- ohjelmiston avulla. Samalla myös päätettiin että kaikkien verkossa olevien kytkimien ohjelmistot päivitetään käyttämään samaa ohjelmistojulkaisua. Varmuuskopiointi ja tietojen palauttaminen tulee muuttamaan koko olemassa olevaa työskentelymallia, jossa luovutaan kytkimien käsin uudelleen konfiguroinnista ja kytkimien konfigurointi tapahtuu ainoastaan palauttamalla vanhat konfiguraatitiedostot käyttöön.

Jossain tapauksissa varmuuskopioiden tekeminen, ohjelmistojen asentaminen ja konfiguraatitiedostojen palauttaminen ei ole mahdollista suorittaa MetaAS-

SIST™ EMS- ohjelmiston avulla. Vikatapauksissa ohjelmisto on asennettava kentällä kytkimen luona. Tämän vuoksi ohjelmistojulkaisut ja kytkimien konfiguraatiot olisi mielestäni parasta tallentaa paikkaan, jonne pääsevät kaikki kytkimien ylläpitoa tekevät henkilöt esimerkiksi VPN-yhteyden avulla. Samalla tiedostot olisi hyvä tallentaa paikkaan, jossa on versionhallintajärjestelmä käytössä. Versionhallintaa voidaan hyödyntää tilanteissa, joissa verkkoon tehdyt asetukset ovat olleetkin vääriä ja laitteille halutaan palauttaa alkuperäiset toimivat asetukset. Konfiguraatitiedostojen tallennuspaikaksi on valittu tällä hetkellä testipalvelimen oma kovalevy. Testipalvelinta on vastaavasti varmuuskopioidaan viikoittain Oulun Tietotekniikan toimesta.

#### 4.9 Tietoturvan kehittäminen

Verkon tietoturvan ylläpitoon ei voida koskaan kiinnittää liikaa huomiota muun kuin kustannusten rajoissa. Uhkia aiheuttavat ulkopuolelta ja sisäpuolelta tulevat uhkat. Ulkoa tulevat uhkat ovat verkkoon luvattomasti verkkoon tavalla tai toisella pyrkineitä henkilöitä tai tahoja, jotka toiminnallaan aiheuttavat ongelmia järjestelmien toimintaan. Vastaavasti sisäpuolelta tulevat uhkat ovat oman organisaation sisältä tulevia uhkia.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkossa oleva tämän hetkinen tieto ei sinällään ole arvokasta taloudellisesti ulkopuolisille tahoille, mikä motivoisi ulkopuolisia tahoja hyökkäämään verkkoon. Verkossa liikkuvalla tiedolla pyritään helpottamaan ajoneuvoliikenteenohjausta. Ajoneuvoliikenteen ohjauksen ja sujuvuuden kannalta verkon toiminta on kriittistä etenkin ajoneuvoliikenteen ruuhka-aikoina. Jos liikenteenohjauksen tietoliikenneverkkoon suoritetaan hyökkäyksiä, syynä on muu kuin arvokkaan tiedon kerääminen. Syinä voivat olla mahdollisuus vaikuttaa ajoneuvoliikenteeseen. Todennäköisempää on, että liikenteenhallinnan tietoliikenneverkkoa voidaan pitää linkkinä hyökkäyksen toteuttamiseen Oulun kaupunkia kohtaan.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon tietoturvasuutta voidaan parantaa Actelis-kytkimissä olevilla ominaisuuksilla. Merkittävimmät ominaisuudet parantaa tietoturvasuutta ovat käyttäjätunnusten ja salasanojen vaihtaminen, käyttäjien

tunnistus RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service) -palvelun avulla, kirjautumisen salliminen vain tietyistä IP-osoitteista, ja kirjautuminen vain salatun SSH (Secure Shell) -yhteyden kautta.

#### 4.9.1 Käyttäjienhallinta

Jokaisessa ML-kytkimissä tehdään käyttäjien tunnistus käyttäjätunnuksen ja salasanan avulla. Verkon käyttäjien käyttäjätunnukset ja salasanat ovat ML-laitteiden muistissa ja tunnuksille voidaan määritellä kolmen tason oikeuksia. Oikeudet ovat pääkäyttäjän oikeus, kirjoitus ja lukuoikeus, ja pelkkä lukuoikeus. Tehdasoletuksena laitteissa on olemassa kolme tunnusta: Admin, Read ja Write. ML-laitteisiin voidaan maksimissaan luoda 100 eri käyttäjätunnusta, joille voidaan antaa erilaisia käyttöoikeuksia. (Actelis Networks XLR8 2013b)

Tietoturvallisuuden kannalta, turvallisinta on vaihtaa verkon verkkolaitteiden oletuskäyttäjätunnukset ja salasanat. Vaihtaminen on mahdollista toteuttaa keskitetysti MetaASSIST™ EMS -palvelimen ja laitekohtaisesti MetaASSIST™ View:in kautta. Käyttäjätunnuksien ja salasanojen vaihtaminen on toteutettu ensimmäisten toimenpiteiden yhteydessä keskitetysti MetaASSIST™ EMS -ohjelmistolla siten että verkolle on kahdelle käyttäjälle luotu pääkäyttäjän tunnukset ja vastaavasti asentajille on luotu lukuoikeuksilla tai luku- ja kirjoitusoikeuksilla annettuja tunnuksia.

Pääkäyttäjän tunnuksilla voidaan toteuttaa kaikki mahdolliset toiminnot MetaASSIST™ View -ohjelmiston ikkunoissa. Luku- ja kirjoitusoikeuksilla on mahdollista avata muun muassa uusia HSL-yhteyksiä ja kalibroida yhteyksiä, mutta yhteyksien MLP-modeemiportteja ei ole mahdollista poistaa käytöstä. MetaASSIST™ View -työkalu joko muuttaa ohjelmistojen näppäimet harmaiksi ja piilottaa ikkunat, joihin luku- ja kirjoitusoikeuksilla ei ole pääsyoikeutta. Lukuoikeuksilla laitteiden asetuksia on mahdollista tarkastella, ei muuttaa.

Vastaavat käyttäjäoikeudet on saatavilla myös MetaASSIST™ EMS -ohjelmistoon. Lukuoikeuksien antaminen on järkevää verkon asiakkaille ja suunnittelijoille ylläpidon läpinäkyvyyden parantamiseksi. Osaavilla suunnitteli-

joilla voi esimerkiksi liikennevaloristeyksien suunnittelussa tarvetta saada lisää tietoa verkosta. Ohjelman kautta suunnittelijat pystyvät tarkastelemaan olemassa olevan verkon kapasiteettia, ja sitä onko risteyksiin järkevää toteuttaa kameravalvontaa nykyisen verkon kapasiteetilla, vai vaatiiko alue samalla uusia tietoliikenneyhteyksiä.

MetaASSIST™ EMS 3.0 -ohjelmassa on selkeä puute käyttäjien hallinnassa. Ohjelman kautta on helppo toteuttaa käyttäjien lisääminen, salasanojen vaihto, käyttöoikeuksien muuttaminen kaikille verkon Actelis-kytkimille. Itse asiassa tämä voidaan toteuttaa vain yhdellä tavalla, joka muuttaa kaikki edellä mainitut asiat yhdellä kertaa. Puute, joka liittyy käyttäjien hallintaan, liittyy olemassa olevien käyttäjien poistamiseen. MetaASSIST™ EMS 3.0 -ohjelmalla ei ole mahdollista poistaa käyttäjiä keskitetysti vaan käyttäjä on erikseen poistettava jokaisen kytkimen muistista MetaASSIST™ View -työkalulla. Ongelmaa voidaan toki kiertää siten että organisaatiosta poistuvan henkilön käyttäjätunnuksen salana muutetaan. Aikaa myöten tämä on kuitenkin suuri ongelma sillä kytkimien käyttäjämuiduisti täyttyy käyttäjistä, jotka eivät enää ole organisaation käytössä. Käyttäjienhallinta on kaikkein järkevintä toteuttaa RADIUS-palvelun kautta.

#### 4.9.2 RADIUS-palvelu

RADIUS-palvelulla voidaan hoitaa käyttäjienhallinta keskitetysti. Radius-palvelu on laajasti käytössä operaattoreiden toteuttamissa verkoissa. RADIUS-palvelun käyttö perustuu RADIUS-protokollan (Remote Authentication Dial-In User Service) käyttöön. (Cisco Systems 2014.)

Radius-protokollaa käyttäen verkossa olevat asiakas-kytkimet, eli Actelis-kytkimet, ottavat yhteyttä verkossa olevaan RADIUS-palvelimeen. RADIUS-palvelussa jokaiselle Actelis-kytkimelle välille pitää konfiguroida RADIUS-palvelimen IP-osoite, portti, metodi ja salasana, jolla kytkin saa yhteyden RADIUS-palvelimeen. Vastaavasti palvelimelle määritellään Actelis-kytkin. (Cisco Systems 2014.)



RADIUS-palvelimen käyttöön liittyy kuitenkin yksi ongelma. Jos palvelimeen ei saada yhteyttä, kytkimeen tapahtuva kirjautuminen epäonnistuu. Tämä tekee vian korjauksesta maastossa äärimmäisen vaikeaa, koska kytkimeen ei päästä kiinni verkkovian aikana. Vastaavasti Actelis-kytkimelle ei ole mahdollista kirjautua enää CRAFT-portin, eli RS-232-portin kautta sarjaliikennekaapelin avulla. Yhteys voidaan muodostaa ainoastaan RJ-45-portin kautta.

#### 4.9.3 IP-osoitepääsyylista

Actelis-kytkimille voidaan määrittellä IP-osoitepääsyylistat. IP-osoitepääsyylistoilla voidaan rajata, mistä verkon IP-osoitteista kirjautuminen on sallittua. Tällä hetkellä kirjautuminen on mahdollista jokaisesta Oulun Energian työasemasta ja palvelimesta. Periaatteessa tällä tavalla annetaan jokaiselle organisaation sisällä mahdollisuus kirjautua kytkimille, jos kirjautuja tietää käyttäjätunnuksen ja salasanan. (Actelis Networks XLR8 2013b, 1-25.)

IP-osoitepääsyylistaa voisi hyödyntää siten että annetaan pääsyoikeus vain tietyiltä palvelimilta. Kytkimille kirjautuminen vaatisi ensin kirjautumista palvelimelle ja palvelimelta verkon kytkimille.

IP-osoitepääsyylistat otetaan käyttöön kytkimillä MetaASSIST™ View -työkalulla. Kytkimelle annetaan sallittava IP-osoite ja yhteyden muodostus protokolla. Käytettäviä protokollia ovat Telnet, SSH, SNMP sekä HTTP. (Actelis Networks XLR8 2013b, 1-25.)

#### 4.9.4 SSH-yhteyksien käyttöönotto

Actelis-kytkimet tukevat salattuja yhteyksien käyttämistä hallintaohjelmissaan. Kirjautuminen ja tiedon siirto suojataan hallintaohjelman ja Actelis-kytkimen välillä SSH-yhteydellä (Secure Shell). Actelis-kytkimet tukevat 512-, 768- ja 1024-bittisiä DSA-kirjautumisavaimia. Salauksessa voidaan käyttää algoritmeja AES-, DES-, 3DES- ja Blowfish. (Actelis Networks XLR8 2013b, 1-29.)

Actelis-kytkimen SSH-avaimen generointi tapahtuu MetaASSIST™ View-työkalun kautta antamalla avaimelle nimi, salasana ja bittikoko. Generoimisen

jälkeen yhteys muodostetaan kytkimelle annettujen tietojen perusteella joko MetaASSIST™ View- tai EMS-ohjelmistolla. (Actelis Networks XLR8 2013b, 1-30.)

Alkujaan ajateltiin että kaikille kytkimille käytettäisiin samaa avainta. Suojatun liikenteen tärkein peruseriaate on, että mahdollisimman monelle kytkimelle käytettäisiin mahdollisimman montaa erilaista algoritmia ja salasanaa. Tällä tehdään verkossa luvattomasti vierailevalle henkilölle liikenteen suojausten murtaminen mahdollisimman hankalaa, koska yhden salauksen purku ei anna henkilölle mahdollisuutta purkaa muitakin yhteyksiä samalla keinolla. Tällä tavalla estetään tai vaikeutetaan kytkimien pääkäyttäjien tunnuksien ja salasanan joutuminen väärin käsiin.

## 5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ja kuvata liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon nykytila sekä esittää konkreettisia tapoja parantaa verkon luotettavuutta ja tietoturvaa. Nykytilan selvitys ja puutteet käyvät työssä ilmi, kaikkia korjauksia ei kuitenkaan ehditty käytännössä toteuttaa. Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon kehittäminen on jatkuva prosessi, ja tässä työssä ehdittiin käsitellä tietoliikenneverkon kehitystä lyhyen ajan osalta. Kaikkia tavoitteita ei pystytty saavuttamaan, koska kehitettäviä aiheita oli liian paljon.

Opinnäytetyön aikana tehtiin valmistelevat työt keskitetyn verkon hallinnan ja seuraamisen käyttöönottoa varten. Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkko on kokonaisuudessaan laaja ja käsittää yli toista sataa kytkintä. Verkon ylläpito vaatii keskitettyä verkon hallintaa ja seuranta, jonka MetaASSIST™ EMS 3.0 -ohjelmisto tarjoaa. MetaASSIST™ EMS 3.0 -ohjelmistossa on lukuisia puutteita, mutta puutteista huolimatta ohjelma vie ylläpidon uudelle tasolle.

Jatkossa ylläpidon pitää kehittyä suuntaan, jossa koko verkon kytkimien ylläpito hoidetaan varmuuskopioituilla konfiguraatitiedostoilla. Kun kytkimet vaativat syystä tai toisesta huoltoa, vikaantunut kytkin pitää vaihtaa kentällä. Kytkimien konfiguraatiot palautetaan varmuuskopioituilla konfiguraatitiedostoilla.

Liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon suurimpana ongelmana voidaan pitää verkkoa vaivaavat huonokuntoiset kupariparit, liian pitkät etäisyydet ja liian suuret verkkorenkaat. Ongelmaa pahentaa myös edeltävien suunnitelmien puute. Verkon verkkorenkaita ei ole suunniteltu työn aloitushetkellä vaan verkko on toteutettu siten, että liikennevalokojeille saadaan yhteys mahdollisimman nopeasti olemassa olevan kaapeloinnin mukaan. Ennen verkon rakentamista, verkossa olevien telekaapelien kupariparien kunto olisi pitänyt selvittää, ja tämän pohjalta muodostaa lista pikaisesti uudelleen kaapeloitavista telekaapeliosuksista. Vastaavasti verkkorenkaat olisi pitänyt muodostaa selvityksen pohjalta maksimissaan seitsemän kytkimen verkkorenkaiksi.

Ongelmien ratkaisu vaatii liikenteenhallinnan tietoliikenneverkolle pitkän aikavälin suunnittelua. Tällä hetkellä suunnitelmat tehdään liikennevaloille perusteellisesti mutta vastaavanlaista suunnittelua ei tehdä rengasverkoille. Hyvin usein tietoliikenneverkkoa pitävä taho saa tiedon uuden kytkimen lisäämisestä verkkoon, kun liikennevaloristeystä rakennetaan. Tämä tieto olisi pitänyt jo tietää siinä vaiheessa, kun kyseiselle alueelle rakennettiin verkkorengasta. Tämän vuoksi suurin osa työhön käytettävästä työstä kului dokumentaation ja liian suurien verkkorenkaiden pienentämiseen. Työn aikana ei ehditty asentamaan kaikille pitkille etäisyyksille toistimia. Osa ongelmista ratkaistiin operaattoreilta hankittavilla seutuliihtymillä.

Huonokuntoisille kuparipareille ei ole tehty mitään. Huonokuntoisille väleille pitää asentaa joko uusia telekaapeleita tai kuitukaapeleita. Osa huonokuntoisista kuparipareista on merkitty työn aikana luotuun dokumentaatioon.

Jälkikäteen ajatellen, työssä on tehty paljon ylimääräistä työtä opinnäytetyön kannalta. Suurin osa tehdystä työstä on kuitenkin ollut hyödyllistä olemassa olevan organisaation kannalta sekä oppimiseni kannalta. Työhön olisi voinut kirjoittaa enemmän tietoa tietoliikenneverkon suunnittelusta, rakentamisesta, dokumentoinnista, erilaisista tekniikoista ja MetaASSIST™ EMS käyttöönnotosta.

Työ oli kuitenkin rajattava. Rajaus olisi pitänyt tehdä selkeästi jo työn aloitushetkellä. Rajauksen suhteen ei ole saatu apua työtä valvovalta organisaatiolta vaan pikemminkin opinnäytetyöhön tulevia aiheita haluttiin koko ajan lisää. Lopulta kävi niin, että suurin osa asioista piti rajata pois, jotta opinnäytetyö saadaan tehtyä valmiiksi. Näin jälkikäteen voin jopa sanoa, että tärkeä punainen lanka oli hukassa pitkään. Lopulta sain kuitenkin puristettua pirstaleisen ja laajan kokonaisuuden yhteen, niin että teoria ja käytäntö suhteellisen hyvin vastaavat toisiaan. Opinnäytetyötä olisi todennäköisesti pitänyt edelleen tiivistää, kun sivumäärää katsotaan mutta rehellisesti voin todeta, että aika ja kärsivällisyys loppuivat viimehetkillä.

Työn rajauksen lisäksi, myös liikenteenhallinnan tietoliikenneverkon laajentuminen Kajaanin, Sotkamon, Vuokatin ja Kuhmon alueelle tuotti haasteita. Alkupu-

räinen opinnäytetyöhön varattu aika kului edellä mainitun tietoliikenneverkon laajennustyöhön.

Työn sarka ei loppunut opinnäytetyöhön vaan minulle kävi niin onnellisesti, että sain jatkaa organisaatiossa, tietoliikenneverkon kehittämisen parissa. Monen tekijän summana opinnäytetyöni venyi lopulta kahden vuoden mittaiseksi. Tämän kahden vuoden aikana huomasin, että opinnäytetyön aiheesta oli tullut minulle henkilökohtainen projekti, niin sanotusti sydämen asia. Työn aihe ei ollut helppo, mutta sitäkin palkitsevampi. Projektin kautta kehityin sekä ammatillisesti että sisäisesti ihmisenä.

Sain huomata, että perheellisen ihmisen opinnäytetyön tekeminen on haasteellista. Koulun, työn ja perhe-elämän yhdistäminen oli todellinen missio. Nyt opintojen viime metreillä voi kuitenkin todeta, että asia on nyt viety päätökseen osaltani ja tästä on hyvä jatkaa uusien haasteiden parissa!

## LÄHTEET

Actelis Networks 2008. Actelis Networks ML130, Carrier Ethernet Over Copper™.

Actelis Networks XLR8 2011. MetaASSIST EMS User Manual, Product Version 3.0, Revision No. A01.

Actelis Networks XLR8 2012. EMS 3.0 Introduction 311012, Accelerate Everything.

Actelis Networks XLR8 2013a. ML230/ML2300 User Manual, Release R7.40, Revision No. A01.

Actelis Networks XLR8 2013b. ML600/ML500/ML58N Rev.B User Manual, Release 7.4, Revision No. A01.

Actelis Networks 2015a. ML698. Viitattu 26.1.2015  
<http://actelis.com/actelis-products/aggregation-switches-by-type/ml698>.

Actelis Networks 2015b. Intelligent Transportation - Ethernet Access Devices. Viitattu 27.1.2015 [http://actelis.com/library/BRO\\_Traffic.pdf](http://actelis.com/library/BRO_Traffic.pdf).

Actelis Networks 2016a. ML2300 Highlights. Viitattu 25.1.2016  
<http://actelis.com/actelis-products/aggregation-switches-by-type/ml2300-aggregation-switch/ml2300-highlights/>.

Actelis Networks 2016b. Ethernet Access Devices: ML620/630. Viitattu 27.4.2016 <http://actelis.com/actelis-products/ethernet-access-devices/ml620630/>.

Actelis Networks 2016c. ML500. Viitattu 26.3.2016 <http://actelis.com/actelis-products/ethernet-access-devices/ml500/>.

Actelis Networks 2016d. XR239 and PFU-8. Viitattu 27.3.2016  
<http://actelis.com/actelis-products/efm-repeaters/xr239/>.

Arola, A. 2016. Elektro-Arola Oy. Teknisen johtajan puhelinhaastattelu 3.2.2016.

Cisco Systems 2003. Tunnel ToS. Viitattu 23.1.2016 [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12\\_0s/feature/guide/12s\\_tos.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_0s/feature/guide/12s_tos.html)

Cisco Systems 2005a. DIFFSERV - THE SCALABLE END-TO-END QUALITY OF SERVICE MODEL. Viitattu 22.1.2016  
[http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk543/tk766/technologies\\_white\\_paper09186a00800a3e2f.pdf](http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk543/tk766/technologies_white_paper09186a00800a3e2f.pdf).

Cisco Systems 2005b. TCP/IP Overview. Viitattu 20.4.2016  
<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/routing-information-protocol-rip/13769-5.html>.

Cisco Systems 2006. Understanding Rapid Spanning Tree Protocol (802.1w). Viitattu 2.1.2016 <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/lan-switching/spanning-tree-protocol/24062-146.html>.

Cisco Systems 2012. Catalyst 2940 Switch Software Configuration Guide - Configuring QoS. Viitattu 21.1.2016  
[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/lan/catalyst2940/software/release/12-1\\_19\\_ea1/configuration/guide/2940scg\\_1/swqos.pdf](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/lan/catalyst2940/software/release/12-1_19_ea1/configuration/guide/2940scg_1/swqos.pdf).

Cisco Systems 2014. Cisco IOS Security Configuration Guide, Release 12.2. Viitattu 10.4.2016  
[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12\\_2/security/configuration/guide/fsec\\_ur\\_c/scfrad.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/security/configuration/guide/fsec_ur_c/scfrad.html).

Cisco Systems 2015a. EHWIC-4SHDSL-EA. Viitattu 16.4.2016  
[http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/high-speed-wan-interface-cards/data\\_sheet\\_c78-692767.html?referring\\_site=RE&pos=3&page=http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/1800-2800-3800-8-wire-symmetric-high-speed-dsl-g-shdsl-high-speed-wan-interface-card/product\\_data\\_sheet0900aecd80581fa0.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/high-speed-wan-interface-cards/data_sheet_c78-692767.html?referring_site=RE&pos=3&page=http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/1800-2800-3800-8-wire-symmetric-high-speed-dsl-g-shdsl-high-speed-wan-interface-card/product_data_sheet0900aecd80581fa0.html)

Cisco Systems 2015b. G.SHDSL. Viitattu 18.1.2016  
[http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/1800-2800-3800-8-wire-symmetric-high-speed-dsl-g-shdsl-high-speed-wan-interface-card/prod\\_qas0900aecd80591ff1.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/1800-2800-3800-8-wire-symmetric-high-speed-dsl-g-shdsl-high-speed-wan-interface-card/prod_qas0900aecd80591ff1.html).

Cisco Systems 2016. Cisco Nexus 5000 Series NX-OS Software Configuration Guide. Viitattu 20.1.2016  
<http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/datacenter/nexus5000/sw/configuration/guide/cli/CLIConfigurationGuide/VLANs.html>.

Daimler Finland Oy Ab 2010a. Actelis Networks. Viitattu 25.9.2015  
<http://www.daimler.fi/tuotteet/xdsl-tekniikat/g-shdsl/actelis-efm>.

Daimler Finland Oy Ab 2010b. ML2300. Viitattu 24.1.2016  
<http://www.daimler.fi/tuotteet/xdsl-tekniikat/g-shdsl/actelis-efm/tuotteet/keskittimet-dslam/ml2300>.

Daimler Finland Oy Ab 2016. XR239 & PFU-8. Viitattu 24.1.2016  
[http://www.daimler.fi/images/tuotteet/xdsl-tekniikat/g-shdsl/actelis/xr239\\_pfu-8c\\_family.jpg/view](http://www.daimler.fi/images/tuotteet/xdsl-tekniikat/g-shdsl/actelis/xr239_pfu-8c_family.jpg/view).

Dre weblog 2012. ITU-T G.8032/Y.1344 Ethernet Ring Protection Switching. Viitattu 20.4.2016. <http://www.familievink.nl/en/node/104>.

Elektro Arola Oy 2016. YLLI YLEISLIITÄNTÄYKSIKKÖ. Viitattu 11.1.2016  
<http://www.elektro-arola.fi/ylli.aspx>.

European Satellite Navigation Competition 2016. SPECIAL PRIZE WINNER :  
BMVI/BMWi. Viitattu 14.4.2016  
<http://www.esnc.info/index.php?anzeige=prs15.html>.

Holttinen, J. 2002. Cisco Press: Cisco Verkkoakatemia Ensimmäinen vuosi.  
Helsinki: Edita.

The Metro Ethernet Forum 2004. MEF 8 - Implementation Agreement for the  
Emulation of PDH Circuits over Metro Ethernet Networks. Viitattu 19.1.2016  
[https://www.mef.net/Assets/Technical\\_Specifications/PDF/MEF\\_8.pdf](https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_8.pdf).

ManageEngine 2016. SNMP tutorial. Viitattu 24.3.2016  
<https://www.manageengine.com/network-monitoring/what-is-snmp.html>

Oulun kaupunki 2015. Kansainvälinen palkinto Oulussa kehitetylle HALI-  
järjestelmälle. Viitattu 13.1.2016 [http://www.ouka.fi/oulu/ajankohtaista/uutiset-ja-tiedotteet/-/asset\\_publisher/s8Z1/content/id/12552976](http://www.ouka.fi/oulu/ajankohtaista/uutiset-ja-tiedotteet/-/asset_publisher/s8Z1/content/id/12552976).

Starnetworks 2014. What is QinQ. Viitattu 29.11.2014  
<http://www.startnetworks.info/2011/06/what-is-qinq.html>.

Talvi, J.2015. HALI – Aina vihreää hälytysajoneuvoille. Viitattu 15.4.2016  
[http://www.kunnat.net/fi/tietopankit/tapahtumat/aineisto/2015/kuntamarkkinat/tietoyhteiskuntaseminaarit/Documents/JukkaTalvi\\_HALI.pdf](http://www.kunnat.net/fi/tietopankit/tapahtumat/aineisto/2015/kuntamarkkinat/tietoyhteiskuntaseminaarit/Documents/JukkaTalvi_HALI.pdf).

Techopedia 2016. Broadcast Storm. Viitattu 15.1.2016  
<https://www.techopedia.com/definition/6270/broadcast-storm>.

TectTarget 2016. Router. Viitattu 15.4.2016  
<http://searchnetworking.techtarget.com/definition/router>.

Wiik, P. 2014. Tarvikkeiden hinnat? Sähköposti patrik.wiik@daimler.fi  
31.3.2014.

Wiik, P. 2015. Daimler Finland Oy Ab. Tuotepäällikön puhelinhaastattelu  
15.2.2014.

Zhone Technologies Inc. 2007. Ethernet in the First Nile (EFM) for Municipal  
Operations Monitoring. Viitattu 1.4.2016  
<http://www.zhone.com/solutions/docs/zti-an-efm.pdf>.