

VAASAN YLIOPISTO

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

SÄHKÖTEKNIikka

Asko Lemmetyinen

**IEC 61850 -STANDARDIN SOVELTAMINEN SULAUTETULLA LINUX-
JÄRJESTELMÄLLÄ**

Diplomityö, joka on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten

Vaasassa 5.2.2015

Työn valvoja

Professori Kimmo Kauhaniemi

Työn ohjaaja

DI Mickey Shroff

Työn tarkastaja

TkT Petri Välisuo

ALKULAUSE

Diplomityö on tehty Wapice Oy:lle Vaasassa. Sen tarkoituksena on luoda pohja IEC 61850 -tietoliikennetoteutukselle Wapicen käyttötarkoituksiin hyödyntäen muun muassa Wapicen omia sulautettuja Linux-tietokoneita, jotka tunnetaan nimillä WRM247 sekä WRM247+.

Esitän lämpimät kiitokset työn valvoja professori Kimmo Kauhaniemelle. Kiitokset työn ohjaaja DI Mickey Shroffille avusta ja teknisistä neuvoista, sekä käyttämästään ajasta. WRM-kehitystiimin jäsenille, jotka ovat auttaneet järjestelmän käyttämisessä ja ohjelmistokehitysympäristön käyttöönotossa.

Erittäin lämpimät kiitokset haluan esittää lisäksi Vaasan yliopiston tutkijalle TkT Petri Väliuolle erittäin merkittävästä avusta ja yhteistyöpanoksesta muun muassa oheismateriaalien ja tietotaidon jakamisessa. Esitän kiitokset työn oikolukemisesta DI, KTM Tuomo Heikkilälle.

E erityiskiitokset perheelleni motivoinnissa sekä kannustamisessa kohti diplomi-insinöörin tutkintoa.

Vaasassa 3.12.2014

Asko Lemmetyinen

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE	1
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	4
TIIVISTELMÄ	7
ABSTRACT	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn taustat ja motivaatio	9
1.2 Työn tavoitteet	9
1.3 Ennen työn aloittamista selvitettyt asiat	10
1.4 Käytännön haasteet ja työn toteutus	11
1.5 Työn rakenne	11
2 IEC 61850 -STANDARDI	13
2.1 IEC 61850 -standardin historia ja tavoitteet	13
2.2 Työssä käsiteltävät standardisarjan osat	14
2.3 IEC 61850 -väylien roolit ja hierarkia	18
2.4 Tiedonsiirtomallit ja -palvelut	20
2.4.1 Abstract Communication Service Interface (ACSI)	20
2.4.2 Specific Communication Service Mapping (SCSM)	30
2.5 Tietoliikenneprofiilit ja -protokollat	30
2.5.1 Ajan synkronointi ja siirtoaikavaatimukset IEC 61850 -väylällä	31
2.5.2 Manufacturing Message Specification (MMS)	33
2.5.3 Generic Substation Events (GSE)	35
2.5.4 Generic Object Oriented System Event (GOOSE)	35
2.5.5 Generic Substation Status Event (GSSE)	40
2.5.6 Sampled Values (SV)	40
2.6 IEC 61850 -konfigurointi	43
2.6.1 System Configuration Language (SCL)	45
2.6.2 System Specification Description (SSD)	48
2.6.3 IED Capability Description (ICD)	48
2.6.4 Configured IED Description (CID)	48
2.6.5 System Specification Description (SCD)	49
2.6.6 IEC 61850 -konfigurointiprosessi	49
2.7 Verkkorakenteet kahdennetulle IEC 61850 -tietoliikenteelle	51
2.7.1 Parallel Redundancy Protocol (PRP)	54
2.7.2 High-availability Seamless Redundancy (HSR)	56
2.7.3 PRP- ja HSR-protokollien ominaisuuksien vertailua	57
2.8 IEC 61850 -väylien laitteet	59
2.8.1 Kytkimet	59
2.8.2 IED-laitteet	59
3 JÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT	61
3.1 Sulautettu Linux-järjestelmä	61
3.1.1 Raspberry Pi rev. B.	61

3.1.2	WRM 247+	63
3.2	Käytetyt Linux-käyttöjärjestelmät	64
3.3	Lämpöanturi	64
3.4	Valitut IEC 61850 -konfigurointityökalut	66
3.5	Tietoverkon komponentit ja rakenne	66
3.6	IEC 61850 -ohjelmointikirjasto (LibIEC61850)	67
4	IEC 61850 -JÄRJESTELMÄN TOTEUTUS	70
4.1	Järjestelmän toiminnallisuudet	70
4.2	Ohjelmointi	72
4.3	Järjestelmän toteutuksen asentaminen ja valmistelu	73
4.4	Toteutuksen testaus ja saadut tulokset	73
5	JÄRJESTELMÄN JATKOKEHITYKSEN POHDINTA	76
5.1	Liitynnät ylemmän tason järjestelmiin	76
5.2	Liitynnät alemman tason järjestelmiin	76
5.3	Järjestelmän potentiaalinen asema älykkään sähköverkon kannalta	77
5.4	Reaalimaailman sovelluksen kannalta tärkeimmät jatkokehitystarpeet	78
5.5	IEC 61850 -standardin tulevaisuusskenaariot	79
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	82
7	YHTEENVETO	84
	LÄHDELUETTELO	86
	LIITTEET	98
	LIITE 1. SCD-tiedosto kuvaesimerkin kanssa.	98
	LIITE 2: Työn IEC 61850 -palvelinohjelman ICD-konfiguraatiodiedosto	110
	LIITE 3: Työn IEC 61850 -ohjelmistojen C-lähdekoodit.	115

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

ABB	Asea Brown Boveri, globaali sähköteollisuusyhtiö
ACSI	Abstract Communication Service Interface
APDU	Application Protocol Data Unit
API	Application Programming Interface
ASDU	Application Service Data Unit
ASN.1	Abstract syntax notation one, tietoliikenneviestien koodausstandardi
CASM	Common Application Service Models
CDC	Common Data Class
CID	Configured IED description
CHP	Combined Heat and Power, yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto
DA	Data Attribute, IEC 61850 -palvelimen data-attribuutti
DANH	Double Attached Node with HSR
DANP	Doubly Attached Node with PRP
DEMVE	Development of the Education Services of IEC 61850 in Multi Vendor Environment
DNV GL	Det Norske Veritas ja Germanischer Lloyd, yritysfuusiossa syntynyt kansainvälinen luokituslaitos, johon KEMA kuuluu
DO	Data Object, IEC 61850 -palvelimen dataobjekti
EHV	Extra High Voltage
EMC	Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
FC	Functional Constraint, IEC 61850 -palvelimen dataobjektin tai data-attribuutin toiminnallinen rajoite-luokka
FCDA	Functional Constrained Data Attribute
FCDO	Functional Constrained Data Object
GPIO	General Purpose Input/Output
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HSR	High-availability Seamless Redundancy -protokolla
ICD	IED Capability Description
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent electronic device, älykäs sähköverkon laite
IP	Internet protokolla
GCC	GNU Compiler Collection

GIS	Gas Insulated Switchgear
GNU	Gnu is not unix, eräs avoimen lähdekoodin käyttöjärjestelmäohjelmistoprojekti.
GPL	General Public Licence, ohjelmistolisenssi
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event
GoCB (tai GCB)	GOOSE Control Block
KEMA	Keuring Van Elektrotechnische Materialen, Eräs IEC 61850 -luokituksia myöntänyt luokituslaitos
LD	Logical Device, IEC 61850 -palvelimen looginen laite
LN	Logical node, IEC61850 -palvelimen looginen solmu
MAP	Manufacturing Automation Protocol, MMS-protokollan edeltäjä 80-luvulta
MAC	Media Access Control -osoite
MMS	Manufacturing Message Specification
MSVCB (tai SVCB)	(Measured) Sampled Value Control Block
MU	Merging Unit, mittamuuntajien arvot SV-tietoliikenteeksi muuttava laite
OSI	Open Systems Interconnection
PC	Personal Computer, henkilökohtainen tietokone
PD	Physical Device, IEC 61850 -palvelinohjelmaa ajava IED-laite
PRP	Parallel Redundancy Protocol
ROM	Read Only Memory, tietokoneen lukumuisti
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol, nopea tietoliikenteen reitittämisen hallintaan käytetty protokolla
RTU	Remote terminal unit, etähallintayksikkö
SAN	Single Attached Node
SCADA	Supervision, Control and Data Acquisition, käytönvalvontajärjestelmä
SCD	System Configuration Description
SCL	System Configuration description Language, mm. sähköasemakonfiguraation laatimiseen tehty XML-pohjainen merkintäkieli
SCSM	Specific Communication Service Mapping
SCP	Secure Copy, tiedostonsiirtoprotokolla verkkoyhteyden ylitse
SFTP	Secure File Transfer Protocol, tiedostonsiirtoprotokolla verkkoyhteyden ylitse

SNTP	Simple Network Time Protocol, digitaalinen ajan tahdistusprotokolla
SSH	Secure Shell, protokolla komentorivikäskyjen etäsuorittamiseen
SV (tai MSV tai SMV)	(Measured) Sampled Values, IEC 61850 -tietoliikenneprotokolla mm. mittamuuntajien virta- ja jännitemittausdataa varten
TC57 WG10	Technical Committee nro. 57, IEC 61850 -standardista vastaavan IEC:n teknisen komitean nro. 57 työryhmä nro. 10
TCP	Transfer Control Protocol, siirronohjaus-protokolla
THD	Total Harmonic Distortion, yliaaltojen suhde perusaaltoon
TLS	Transport Layer Security, tiedonsalausprotokolla
TVE	Total Vector Error, kokonaisvirhevektori IEEE C37.118.1 -standardissa
UCA	Utility Communications Architecture
UDP	User Datagram Protocol-tiedonsiirtoprotokolla
USB	Universal Serial Bus
VMD	Virtual Manufacturing Device
WAN	Wide Area Network (esim. internet)
WRM	Wapice Remote Management, Wapice Oy:n etähallintajärjestelmä
XML	Extensible Markup Language, joustava elementtipohjainen merkintäkieli

VAASAN YLIOPISTO**Teknillinen tiedekunta**

Tekijä:	TkK Asko Lemmetyinen
Diplomityön nimi:	IEC 61850 -standardin soveltaminen sulautetulla Linux-järjestelmällä
Valvoja:	Professori Kimmo Kauhaniemi
Ohjaaja:	DI Mickey Shroff
Tarkastaja:	TkT Petri Välisuo
Tutkinto:	Diplomi-insinööri (DI)
Koulutusohjelma:	Sähkö- ja energiatekniikan koulutusohjelma
Suunta:	Sähkötekniikka
Opintojen aloitusvuosi:	2010
Työn valmistumisvuosi:	2015

Sivumäärä: 118

TIIVISTELMÄ

IEC 61850 -standardi määrittelee nykypäivän tietoliikenneyhteyksikäytännön, jota sovelletaan monessa ympäristössä sähkötekniikan alueella. Standardin viimeisimmät versiot kattavat myös hajautetut energialähteet, kuten aurinko- ja tuulivoimajärjestelmät. Tämän diplomityön tarkoituksena on perehtyä IEC 61850 -standardiin ja koota sen sisällöstä kattava tietopaketti sisältäen muun muassa esimerkin standardin soveltamisesta tietoliikenteen toteuttamiseen sulautetulla Linux-järjestelmällä.

Tänä päivänä sulautetut pienikokoiset Linux-tietokoneet ovat yhä halvempia ja useamman saatavilla, joka osaltaan mahdollistaa esimerkiksi IEC 61850 -standardin helpomman toteuttamisen yhä useammassa kohteessa. Työn sovelluksessa yhdistyy sekä avoin Linux-käyttöjärjestelmä että avoin IEC 61850 -tietoliikennestandardi, joita hyödyntävä sovellus ajetaan sulautetun laitteen ARM-prosessorilla.

Olenaisena osana diplomityössä tarkastellaan standardin tietoliikenneprotokollia, niiden mallinnusta, kuvauksia ja protokollatoteutuksen sovellusta sulautetulle Linux-järjestelmälle. Diplomityön tarkoituksena on kerätä kaikki tarpeellinen tieto käyttökelpoisen IEC 61850 -yhteensopivan järjestelmän toteuttamiseksi. Toteutuksen avulla voitaisiin tarkastella IEC 61850 -väyliin kytkettävien laitteiden kuten suojarleiden tietoliikennettä, välittää ohjauksia ja lukea arvoja esimerkiksi MMS-protokollan avulla joiltakin väylän laitteilta. Kehitetyn toteutuksen pohjalta olisi mahdollista suunnitella kaupallinen sovellus IEC 61850 -standardille.

Työn tulokset osoittavat, että edullisilla pienikokoisilla sulautetuilla Linux-järjestelmillä voi tehdä IEC 61850 -yhteensopivia tietoliikennetoteutuksia, jopa kotiooloissa. Tämä osoittaa, että standardilla on edelleen hyvät edellytykset laajentua keskeiseksi kaikenlaisten energiajärjestelmien tietoliikennestandardiksi. Standardin perustana onkin saada eri valmistajien ja tahojen laitteet kommunikoidaan keskenään, joka mahdollistaa muun muassa käytännöllisemmän älykkäiden sähköverkkojen toteuttamisen lähempänä pienkuluttajia ja mahdollisesti edullisemmilla kustannuksilla kuin ennen.

AVAINSANAT: IEC 61850, sulautettu Linux-järjestelmä, älykkäät sähköverkot, sähköverkkojen tietoliikenne

UNIVERSITY OF VAASA**Faculty of technology**

Author:	Asko Lemmetyinen
Topic of the Thesis:	Application of IEC 61850 standard on embedded Linux-system
Supervisor:	Professor Kimmo Kauhaniemi
Instructor:	M.Sc. (Tech.) Mickey Shroff
Evaluator:	Ph.D. (Tech.) Petri Välisuo
Degree:	Master of Science in Technology
Degree programme:	Degree programme in Electrical and Energy Engineering
Major of Subject:	Electrical engineering
Year of Entering the University:	2010
Year of completing the Thesis:	2015

Pages:118

ABSTRACT

The IEC 61850 standard defines today's telecommunication implementation in many electrotechnical environment. The latest versions of the standard have already been defined also for distributed energy resources like solar and wind power systems. The purpose of this thesis is to familiarize the standard and gather topics related to IEC 61850 into one comprehensive package including the application of the standard into practical implementation of IEC 61850 with an embedded Linux system.

Small single board Linux computers are cheaper and commonly available, which allows applying of IEC 61850 standard easier and in numerous targets. In the application of the thesis publicly open Linux operating system and IEC 61850 telecommunication standard are combined whose applications can be executed in ARM-processors running in common embedded Linux computers.

An essential part of the thesis is modelling, description and implementation of IEC 61850 communication protocol for embedded Linux computers. Another goal of the thesis is also to gather all required knowledge for implementation of a practical IEC 61850-compliant system. With the implementation it could be possible to monitor communication of IEC 61850 bus devices such as protection relays, deliver control commands and read values of some devices with MMS-protocol, for example. The next possible step would be to plan commercial implementation of IEC 61850 standard.

The results of the thesis show that IEC 61850-compliant telecommunication implementations are feasible, even in a domestic environment. This indicates that the standard has possibilities to expand to be crucial communication standard of all kinds of energy systems. One original purpose of the standard is to get the devices of different vendors to interoperate successfully and enable better and more practical implementation of smart power grid applications closer to consumers and possibly with lower expenses than before.

KEYWORDS: IEC 61850, embedded Linux system, smart grids, electricity distribution network communication

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat ja motivaatio

Vaasan yliopiston sähkötekniikan yksikön yhtenä tärkeänä painopisteenä on IEC (International electrotechnical commission) 61850 -standardi ja myös siihen liittyvä tutkimus. Opintojen aikana on mahdollista perehtyä aiheeseen paremmin esimerkiksi sähköverkkojen tietoliikenne -kurssilla. Kurssi antaa hyvät perusteet, jonka pohjalta voi syventyä aiheisiin, kuten sähköverkkojen tietoliikenne ratkaisuihin ja niiden toteuttamiseen käytännössä. Kurssilla oppii teorian kautta idean, miten laitteiden tulisi kommunikoida ja mitä vaatimuksia kommunikoinnille asetetaan. Kurssin pohjalta on mahdollista ymmärtää ja selvittää syvemmin käytäntöjä IEC 61850 -tietoliikenne ratkaisujen toteutuksen suhteen.

Wapice Oy:ssä on myös kiinnostuttu ohjelmistoista, jotka voivat kommunikoida IEC 61850 -väylällä. Kehitystyön tekemistä helpottaa myös se, että ohjelmistoja pystyy testaamaan Vaasan yliopiston kampusalueella sijaitsevan Technobothnian DEMVE (Development of the Education Services of IEC 61850 in Multi Vendor Environment)-laboratoriossa, jossa on toteutettu kokonainen sähköasemasimulaatioympäristö IEC 61850 -tietoliikenteellä. DEMVE-laboratoriossa on tarkoitus järjestää koulutustilaisuuksia IEC 61850 -standardia tukevien laitteiden tietoliikenteen konfigurointia ja asettelua varten (Vaasa Energy Institute 2014).

1.2 Työn tavoitteet

Diplomityön päätavoitteena on kehittää kokeellinen IEC 61850 -tietoliikenne ratkaisu, jonka pohjalta voi jatkokehittää edistyneemmän järjestelmän. Työn ratkaisussa on tarkoitus pohtia, mitkä ovat sen lähtökohdat ja mitä vielä olisi hyvä kehittää edelleen tai toteuttaa, jotta ratkaisu olisi valmiimminkin hyödynnettävissä reaali maailman IEC 61850 -järjestelmässä.

Sivutavoitteena on toimittaa kattava tietopaketti IEC 61850 -standardista ja siihen läheisesti liittyvistä sovelluksista suomen kielellä. Tietopaketti myös selkeyttää merkittävästi IEC 61850 -järjestelmän toteuttamista oikealla tavalla, johon työn päätavoitteen ratkaisussa on pyritty. Tietopaketin tiedot ovat kerätty standardeista, alan kirjallisuudesta, kausijulkaisuista sekä tieteellisistä julkaisuista. Mukana on myös muutamia standardityöryhmien jäsenten ja standardointityössä mukana olleiden asiantuntijoiden blogikirjoituksia, joita ovat ainakin työssä viitattujen kirjoitusten osalta muun muassa jäljitettävyyden ja niiden käyttämien lähdeviitteiden vuoksi arvioitu luotettaviksi ja hyvin tietoa tarjoaviksi tietolähteiksi.

1.3 Ennen työn aloittamista selvitetty asiat

Nykyään markkinoille tuodaan yhä enemmän sähkötekniisiä toimilaitteita, jotka toteuttavat IEC 61850 -standardin mukaisen tietoliikennetarkaisun Ethernet-verkossa. Ensiksi pitää selvittää, miten IEC 61850 -standardin mukaisesti voi viestiä. Selvitin tätä asiaa seminaarityössäni, jossa tutkin avoimeen lähdekoodiin (open source) perustuvia IEC 61850 -ohjelmointikirjastoja, sillä niitä on ilmestynyt saataville 2010-luvulla (Lemmetyinen 2014). Tarkastelin perusteellisemmin kolmea ohjelmointikirjastoa, jotka olivat OpenIEC61850-, Rapid61850- ja LibIEC61850. Tähän diplomityöhön valittiin LibIEC61850-kirjasto seuraavista syistä:

- Sen kehitystyö on erittäin aktiivista ja se jatkuu edelleen.
- Se on kehitetty mahdollisimman tehokkaaksi, eikä edellytä kohdelaitteelta suuria suorituskykyresursseja.
- Kirjaston dokumentaatio on selkeä ja sisältää hyviä esimerkkejä.
- LibIEC61850-kirjastolle on saatavilla kaupallinen lisenssi.

Lisäksi muut tarkastelluista ohjelmointikirjastoista olivat rajoittuneempia IEC 61850 -standardin mukaisilta ominaisuuksiltaan, tai niitä ei oltu kehitetty muuhun kuin kokeelliseen tutkimuskäyttöön.

Lyhyesti sanottuna LibIEC61850-kirjasto oli työtä aloitettaessa ja on edelleenkin vuoden 2015 alussa todennäköisesti valmiuksiltaan paras helposti saatavilla olevista avoimen lähdekoodin IEC 61850 -ohjelmointikirjastoista.

1.4 Käytännön haasteet ja työn toteutus

Esiselvitysten jälkeen oli valittu ohjelmointikirjasto, jolla voi toteuttaa yksinkertaisen IEC 61850 -tietoliikennesovituksen, jota voidaan käyttää perustana kehittyneempään IEC 61850 -järjestelmän tietoliikenteeseen. Aluksi piti suunnitella, miten simuloida yksinkertaisesti IEC 61850 -tietoliikenneväylää. Yksinkertaisimmillaan sen olisi voinut tehdä jopa yhdessä henkilökohtaisessa tietokoneessa. Tässä työssä on kuitenkin päätetty toteuttaa järjestelmä, jossa laitteita on vähintään kaksi ja joista toinen voi toimia esimerkiksi tietoliikenteen palvelimena tarjoten mittaustietoa ja toinen tietoliikenteen asiakkaana kyselemällä palvelimelta kyseistä mittaustietoa hyödyntäen ns. asiakas-palvelin (client-server) -kommunikaatiomallia. Nämä laitteet olisivat yhdistettynä Ethernet-kaapelilla kytkimen kautta toisiinsa ja muodostaisivat yksinkertaisen IEC 61850 -verkon.

1.5 Työn rakenne

Diplomityön ensimmäisen kappaleen johdanto-osuuden jälkeen toinen kappale edustaa työn sivutavoitteena olevaa tietopakettia IEC 61850 -standardista. Toisen kappaleen alussa esitellään lyhyesti IEC 61850 -standardin syntyä ja historiaa, sekä keskeisimmät tavoitteet. Kappaleen alkuosion jälkeen käsitellään IEC 61850 -tietoliikennestandardia ja sen yhteydessä tyypillisesti käytettäviä tietoliikenneprofiileja protokollineen, standardin tietomalleja, kahdennettun tietoliikenteen verkkorakenteita eli -topologioita IEC 61850 -väylällä. IEC 61850 -tietomalli liittyy läheisesti myös IEC 61850 -väylän laitteiden konfigurointiin, sillä koko liikenteen toimivuus, ohjelmoitavuus ja ymmärrettävyys perustuvat näihin tietomalleihin. Toisen kappaleen lopussa esitellään muutamia tyypillisimpiä laitteita, jotka kytkeytyvät IEC 61850 -tietoliikenneväylälle.

Kolmannessa kappaleessa selvitetään valitujen laitteistoalustojen ja käyttöjärjestelmien soveltuvuutta IEC 61850 -tiedonsiirtoon. Tässä osassa havainnollistetaan suunniteltu simulaatioympäristö ja tietomalli järjestelmän kokeilemiseen. Kappaleen lopussa mainitaan LibIEC61850-kirjaston tiettyjä hyödyllisiä ominaisuuksia, jotka se IEC 61850 -standardien mukaisesti toteuttaa.

Neljännessä kappaleessa käsitellään yksityiskohtaisemmin toteutettua järjestelmää, sen ohjelmointia ja toimintaa. Tarkasteltavana on myös käytetyt ohjelmistotyökalut ja niiden käyttötarkoitukset järjestelmän kannalta. Tässä osassa käsitellään myös järjestelmän testausta ja järjestelmällä saavutettuja tuloksia, sekä niiden analysointia.

Viidennessä kappaleessa pohditaan ratkaisun toteuttaneen järjestelmän tilaa ja jatkokehitysmahdollisuuksia. Järjestelmää tarkastellaan myös mahdollisten käyttöympäristöesimerkkien kautta, joissa sitä voitaisiin laajemmin hyödyntää. Viidennen kappaleen lopussa pohditaan standardin tulevaisuudennäkymiä. Kuudes kappale liittyy läheisesti viidenteen kappaleeseen, jossa tehdään diplomityössä toteutetun järjestelmän pohjalta johtopäätöksiä ja arvioidaan työn tavoitteiden onnistumista.

Seitsemännessä kappaleessa työ vedetään kaikilta osiltaan tiivistäen yhteen.

2 IEC 61850 -STANDARDI

2.1 IEC 61850 -standardin historia ja tavoitteet

Vuodesta 1994 lähtien kokoontunut IEC TC 57:än (Technical Committee) "Sähköaseman ohjaus- ja suojausrajapinnat"-työryhmä (Substation Control and Protection Interfaces) selvitti mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja sähköasema-automaatiojärjestelmien tietoliikennestandardille. Tämän seurauksena seuraavat ehdotukset esitettiin ja kansalliset IEC-komiteat hyväksyivät ne (IEC 61850-1 2003: 11):

- Standardin toiminnallisen arkkitehtuurin kehittäminen, tietoliikenteen rakenne ja yleiset vaatimukset
- Tietoliikennestandardin kehittäminen sähköaseman sisäiseen ja sähköasemien väliseen tietoliikenteeseen.
- Tietoliikennestandardin kehittäminen sähköaseman prosessi- ja yksikötasolle ja näiden väliseen tietoliikenteeseen.
- Kumppanistandardin kehittäminen sähköasemien suojalaitteiston informatiiviselle rajapinnalle.

Viimeisenä listattu kumppanistandardi on kehitetty aikanaan ja julkaistu IEC 60870-5-103-standardina (IEC 61850-1 2003: 11).

Standardin kehittämisen alun jälkeen saatiin muodostettua tavoitteita standardille, jotka tulisi ehdottomasti täyttää (IEC 61850-1 2003: 10):

- Kaikkien kommunikaatioprofiilien perustuminen IEC/IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)/ISO (International Standardization Organization)/OSI (Open Systems Interconnection) -tietoliikennestandardeille, jos vain mahdollista.
- Protokollien tulee olla avoimia ja tukea itseään selkeästi kuvaavia laitteita. Lisäksi uusien toiminnallisuuden lisääminen pitää olla mahdollista.

- Standardin perustuminen dataobjekteihin, jotka liittyvät sähköteollisuuden tarpeisiin.
- Kommunikoinnin syntaksin ja sisällön tulee perustua yhteisiin dataobjekteihin, jotka liittyvät sähkövoimajärjestelmään.
- Tietoliikennestandardin tulisi ottaa huomioon tarpeet, jotka seuraavat siitä että sähköasema on yksittäinen solmu sähköverkossa. Esimerkiksi sähköautomaatiojärjestelmäkokonaisuus olisi yksi elementti koko tehonhallintajärjestelmässä.

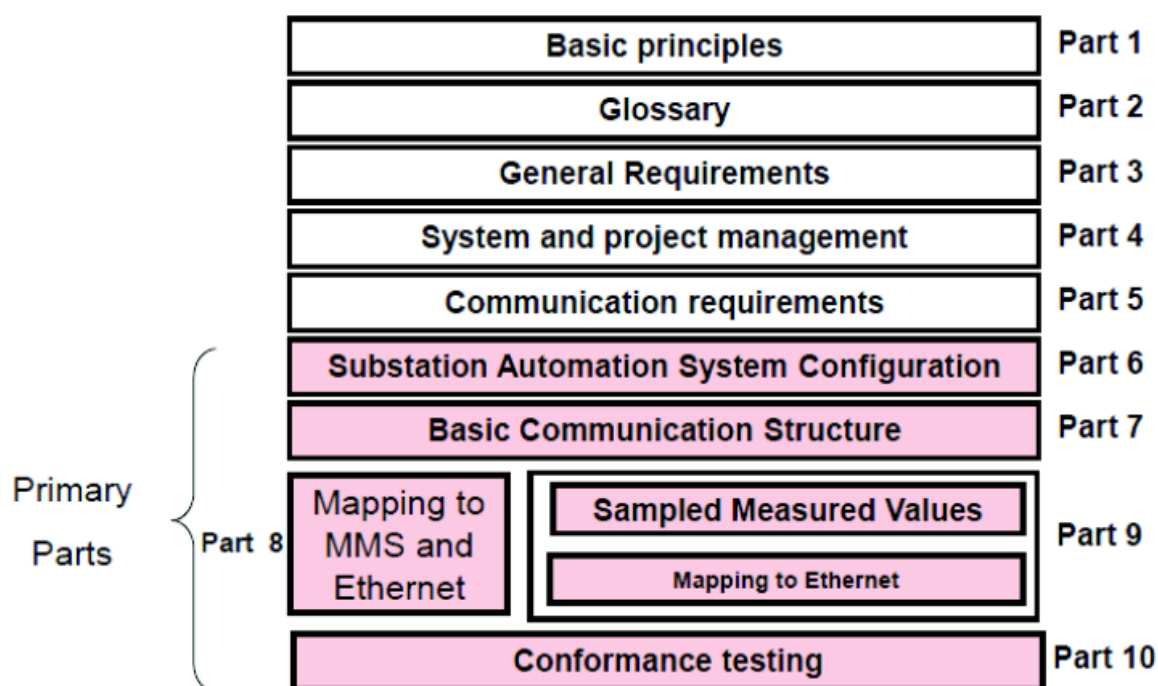
Vuosituhanen vaihteen jälkeen ABB (Asea Brown Boveri), Alstom ja Siemens alkoivat yhdessä kehittämään tietoliikennetarkaisua, jolla heidän valmistamat laitteet pystyisivät kommunikoimaan keskenään. Kehitys edistyi ja muutaman vuoden päästä saatiinkin jo IEC 61850 -standardin ensimmäisiä tietoliikennesovellusta käsitteleviä versioita julkaistua. (ABB Group 2002.)

Lyhyesti standardin tarkoituksena on mahdollistaa eri valmistajien laitteiden yhteistoiminta yhteisen kattavan tietoliikennetarkaisun avulla.

2.2 Työssä käsiteltävät standardisarjan osat

Koko IEC 61850 -standardisarja on erittäin laaja, yhteensä yli 3300 sivua ja kaikkia osia ei ole välttämättä olennaista edes käsitellä (IEC Webstore 2014b). Tässä työssä olennaisimmat osat standardista koskevat IEC 61850 -tietoliikennettä ja sen toteuttamista. Kuva 1 esittää ABB Groupin näkemyksen tietoliikenteen kannalta olennaisimmista standardisarjoista merkittynä vaaleanpunaisella taustalla.

IEC 61850 -standardien ensimmäisiä versioita (ed 1.0) on alun perin julkaistu jo vuodesta 2002 (IEC Webstore 2014a). Käytännössä standardin yhtenä päätavoitteena oleva eri valmistajien IED-laitteiden yhteensopivuus ei kuitenkaan ole ennen viime vuosina julkaistuja päivitettyjä (ed 2.0) IEC 61850 -standardien versioita voinut kunnolla toteutua. (Muschlitz & EnerNex LLC 2012.)



Kuva 1. IEC 61850 -standardin tietoliikennettä käsittelevät osat (ABB Group 2014: 9).

Kuva 1 esittää, että IEC 61850-6 -standardi käsittelee sähköasema-automaatiojärjestelmien konfigurointia. Standardin tarkoitus tarkemmin luonnehdittuna on määrittellä tiedostoformaattit, joilla kuvataan IED (Intelligent electronic device)-laitteiden tietoliikenteeseen liittyvät asetelut ja konfiguraatiot, parametrit, tietoliikennejärjestelmäkuvaukset, kytkentäkenttätoimintojen rakenteet ja edellä mainittujen suhdetta toisiinsa (IEC 61850-6 2009: 8). IEC 61850-6 -standardista on liikkeellä erilaisia tulkintoja. Tätä standardin osaa kutsutaankin melko vaikealukuiseksi (Brunner 2010; Muschlitz 2013). Konfiguroinnin käytäntöä ja siihen liittyviä haasteita on käsitelty tarkemmin kappaleessa 2.6.

IEC 61850-7 -standardisarja käytännössä määrittelee käytettävät tietomallit, ACSI (Abstract Communication Service Interface)-palvelurajapinnan ja määrittelee kuvauksia, joihin laitteiden, anturien ja ohjelmistojen välinen tietoliikenne perustuu. Käytännössä IEC 61850-7 -sarja selittää, miten eri valmistajien laitteiden yhteensopivuus toteutetaan (IEC 61850-7-1 2011: 11). Viime vuosina IEC 61850-7

-sarjaan on julkaistu myös standardeja, jotka määräävät dataobjektit sekä tietomallit esimerkiksi vesivoimaloille (IEC 61850-7-410) ja hajautetulle energiatuotannolle (IEC 61850-7-420). IEC 61850-7 -sarjan standardit 61850-7-1 ja 61850-7-2 liittyvät vahvasti myös IEC 61850-5 -standardiin ja ne tulisikin lukea yhtenä kokonaisuutena (IEC 61850-8-1 2011: 13).

IEC 61850-8-1 käsittelee IEC 61850 -verkon palveluiden määräämien arvojen, datapisteiden ja muuttujien kuvausta, jotka määrätään IEC 61850-7-2, IEC 61850-7-3 ja IEC 61850-7-4 -standardeissa MMS (Manufacturing Message Specification)- ja Ethernet-protokollille (IEC 61850-8-1 2011: 14). Käytännössä standardi määrittelee säännöt tiettyjen tietoliikenteen käskyjen kuvaamiselle sen käsittelemissä protokollissa. IEC 61850-8-1 määrittelee lisäksi GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)-protokollan palveluiden kuvauksen MMS-protokollalle. (IEC 61850-8-1 2011: 87.)

IEC 61850-9-1 ja IEC 61850-9-2 -standardit määrittelevät SV (Sampled Values)-protokollan toteutuksen kuvauksen tiedonsiirrolle, jonka tehtävänä on välittää nopeasti ja luotettavasti reaaliaikaista mittausdataa esimerkiksi johtolähdön mittamuuntajien virroista ja jännitteistä (IEC TR 61850-1 2003: 25). IEC 61850-9-1 ja IEC 61850-9-2 -standardit eroavat toisistaan siten, että IEC 61850-9-1 rajoittuu määrittelemään vain SV-protokollaviestin ja viestinnän ohjausyksikön, MSVCB:n (Measured Sampled Values Control Block). Sen määrittely sallii soveltamisen vain yksisuuntaisena rajapintana, joka on tarkoitettu käytettäväksi vain kahden osapuolen suorassa yhteydessä (point-to-point). Edellä mainitun voisi tulkita siten, että IEC 61850-9-1 -standardin soveltaminen ei ole niin käytännöllistä kuin IEC 61850-9-2 -standardin soveltaminen. Tämän voi päätellä myös siitäkin, ettei monessakaan nykyään tuotettavassa IED-laitteessa mainita muita kuin tuki IEC 61850-9-2 -standardin sovellukselle ominaisuusmäärittelyissä. Näyttää myös siltä, että IEC 61850-9-1 -standardin soveltaminen jäänee pois, sillä IEC 61850-9-2 on sen seuraaja. (Brunner 2005, Erni 2002.)

IEC 61850-9-2 määrittelee tavan lähettää SV-dataa ISO/IEC 8802-3 mukaisesti, joka on yksi keskeisin Ethernet-standardeista. Viestin koodaus toteutetaan ASN.1(Abstract Syntax Notation One)-koodauksella. IEC 61850-9-2 määrittelee SV-protokollan tiedonsiirron horisontaaliseksi ja monelle väylän laitteelle yhtäaikaaisesti lähetettäväksi.

IEC 61850-9-2 on myös joustavampi ja mukautuvampi kuin IEC 61850-9-1, mutta vaatii myös enemmän suorituskykyä laitteelta. Lisäksi ohjelmallinen toteutus on selvästi vaikeampaa kuin IEC 61850-9-1 -standardille. Käytännössä IEC 61850-9-1 ja IEC 61850-9-2 välinen samankaltaisuus on myös löydettävissä ModbusTCP- ja ModbusRTU-protokollista, joista ModbusRTU on sarjaväylätoteutus Modbus-protokollasta kun taas ModbusTCP toteutetaan Ethernet-yhteydellä kaksisuuntaisena eli full duplex -yhteytenä. (Brunner 2005; Real Time Automation Inc. 2014; Yunpeng, Hong, Liang & Tao 2012: 2.)

Työssä ei käsitellä suuremmin IEC 61850-10 -standardin sisältöä, mutta on mainitsemisen arvoista, että sen tarkoituksena on määritellä menetelmät, joiden avulla voidaan todeta, että testattavat IEC 61850 -laitteet **eivät ole epäyhteensopivia** IEC 61850 -standardin tietoliikenteen suhteen. Tämä tarkoittaa sitä, ettei eri laitteiden yhteensopivuutta (interoperability) taata, vaikka laite olisi IEC 61850 -sertifioitu. Tämä on tehty siksi, että IEC 61850 -standardeissa joitakin IED-laitteiden toiminnallisuuksia ei oltu ainakaan viitatus artikkelin aikoihin täsmällisesti määritelty (Ito & Ohashi 2008). Tätä asiaa on toisaalta pyritty parantamaan säännöllisesti päivittyvän IEC 61850 Technical issue database -tietokannan avulla, joka löytyy (11.1.2015) osoitteesta: <http://tissue.iec61850.com/parts.msp>. Sen tarkoituksena on nostaa esiin standardin epäselvyydet ja ongelmat, sekä esittää ongelmiin korjauksia ja päivittää nämä tuleviin standardijulkaisuihin.

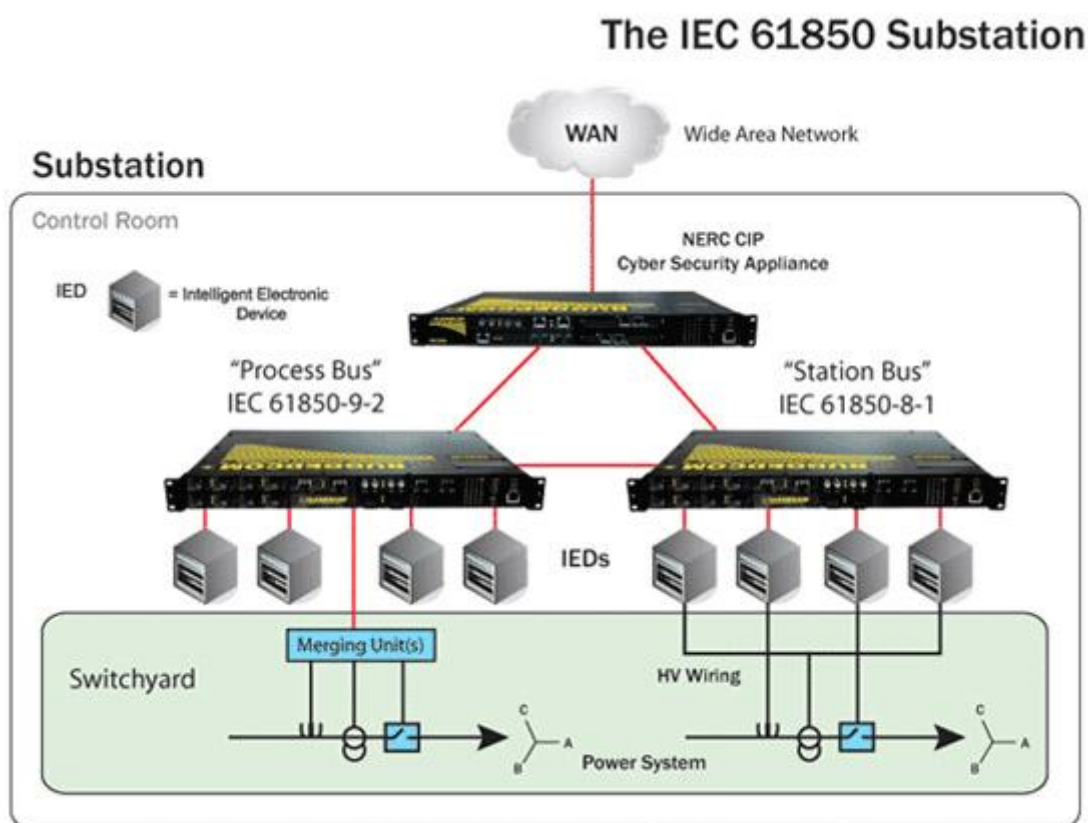
Yhteensopivuusongelman ratkaisemiseksi IED-laitteiden valmistajat ovat ryhtyneet ainakin IEC 61850-9-2 -standardin osalta ja laatineet niin sanotun IEC 61850-9-2LE -ohjeistuksen, jolla määritellään tietyt yhteiset säännöt laitteille, jotka kommunikoivat IEC 61850-9-2 -standardin mukaisesti SV-protokollan avulla, jotta laitteet toimisivat ainakin SV-protokollan suhteen yhtenäisesti salliessa myös eri valmistajien laitteiden keskinäisen yhteensopivuuden. (UCA International Users Group 2004: 1.)

Mikäli haluaa tutustua muun muassa IEC 61850 -sarjan standardeihin käytännön sovelluskohteiden kautta, kannattaa tutustua IEC:n sivustoon <http://smartgridstandardsmap.com/>, jonka avulla löytää kätevästi tiettyihin Smart Grid-sovelluksiin läheisesti liittyvät standardit.

2.3 IEC 61850 -väylien roolit ja hierarkia

Kuva 2 esittää tyypillisen IEC 61850 -verkon hierarkian, jota voidaan käyttää esim. sähköasema-automaatiossa. Pääosin verkkotopologia voidaan jakaa kolmeen hierarkiatasoon:

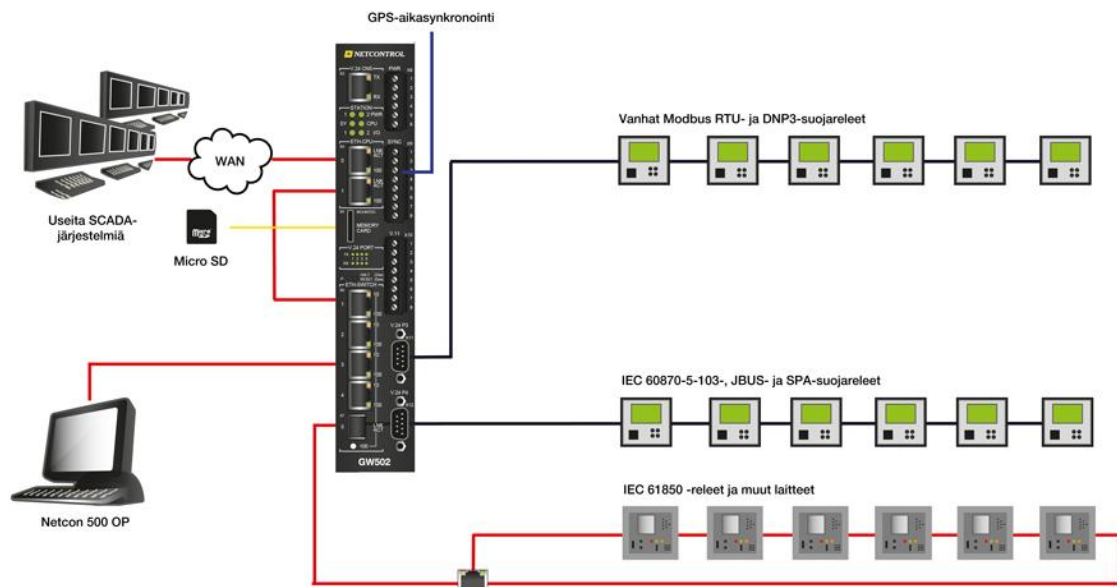
1. Liitynnät ylempään tasoon
2. IEC 61850 -asemaväylä (station bus)
3. IEC 61850 -prosessiväylä (process bus)



Kuva 2. Esimerkki nykyaikaisen IEC 61850 -sähköaseman tietoverkon väylien rooleista (Ruggedcom 2014).

Liityntätasossa tyypillisesti sähköaseman RTU (Remote Terminal Unit)-laite vastaanottaa IED-laitteiden tiedot ja välittää ne ylemmän tason järjestelmiin, kuten käytönvalvonta- eli SCADA (Supervision, Control And Data Acquisition)-järjestelmään

laajaverkko- eli WAN (Wide Area Network)-yhteyden kautta, usein Internetin välityksellä. Vastaavasti RTU välittää myös SCADA-järjestelmän käskyt alemmalle IED-laitteiden tasolle (Subnet solutions Inc. 2014). IEC 61850 -standardissa ei välttämättä tarvita suoraan erillistä RTU-laitetta vaan voidaan käyttää esimerkiksi IEC 61850 -standardin tietoliikennettä tukevaa reititintä, jota voidaan kutsua myös yhdyskäytävälaitteeksi (gateway), joka yhdistää sähköaseman IED-laitteiden verkon esimerkiksi internetin kautta SCADA-järjestelmään (Netcontrol Oy 2014). Tiivistäen, RTU- tai yhdyskäytävälaite huolehtii telemetrian toteuttamisesta kahden fyysisesti toisistaan erillisen järjestelmän välillä. Kuva 3 havainnollistaa erään yhdyskäytävälaitteen toimintaa sovellusesimerkkikaavion avulla.



Kuva 3. Sähköaseman yhdyskäytävälaitteen sovellusesimerkkikaavio (Netcontrol Oy 2014).

IEC 61850 -asemaväylän tasolla SCADA-järjestelmä tai muu vastaava järjestelmä, kuten paikallinen käyttöpääte eli HMI (Human Machine Interface) kommunikoi pääosin tällä väylällä. Asemaväylän tarkoituksena on muun muassa toimittaa prosessiväylän tiedot edelleen ylemmälle tasolle, antaa komentoja IED-laitteille, etäohjata, siirtää tietoja ja suorittaa muuta tämänkaltaista toimintaa. Asemaväylän hierarkiatasolla

voidaan käsitellä aikakriittistä ja ei-aikakriittistä tietoa IED-laitteiden lähiverkossa. Asemaväylän aikaleimat ovat 1 ms tarkkuudella, mikä voidaan toteuttaa tarkasti SNTP (Simple Network Time Protocol)-protokollalla (ABB Group 2010: 11, IEC 61850-8-1 2011: 14). Asemaväylä toteutetaan IEC 61850-8-1 -standardin mukaisesti, jossa on IEC 61850 -tietomalli ja ACSI-palvelurajapinnan kuvaus MMS-protokollalle. (IEC 61850-8-1 2011: 14.)

2.4 Tiedonsiirtomallit ja -palvelut

IEC 61850 -standardin tietoliikenne toteutetaan Ethernet-väylällä, joka on erittäin suosittu tietoverkoissa ympäri maailman. On myös mahdollista käyttää valokuitukaapeleita jos tarvitaan esimerkiksi parempaa sähkömagneettisten häiriöiden sietoa. IEC 61850 -standardi hyödyntää useampaa protokollaa ja mallia tiedonsiirrossa, joilla kullakin on oma tarkoituksensa.

2.4.1 Abstract Communication Service Interface (ACSI)

ACSI on monikerroksinen tietoliikennearkkitehtuuri, joka tarjoaa sähkönjakeluautomaatiojärjestelmissä virtuaalisen, abstraktin rajapinnan reaali maailman analogisiin arvoihin (Söderbacka 2013: 59). ACSI-palvelurajapinta tarjoaa käyttäjälleen yksinkertaisen rajapinnan, jonka avulla voidaan jakaa ja näyttää esim. IED-laitteen dataobjektien ja data-attribuuttien numeerisia arvoja, jotka on tuotu esimerkiksi mittamuuntajalta. ACSI-rajapinnan palvelut ovat määritelty IEC 61850-7-2 -standardissa.

ACSI-palvelurajapinta koostuu seuraavista osista (Söderbacka 2013: 59):

- Hierarkkiset tietomalliluokat
- Palvelut, jotka käyttävät edellä mainittuja luokkia
- Kuhunkin palveluun liittyvät parametrit.

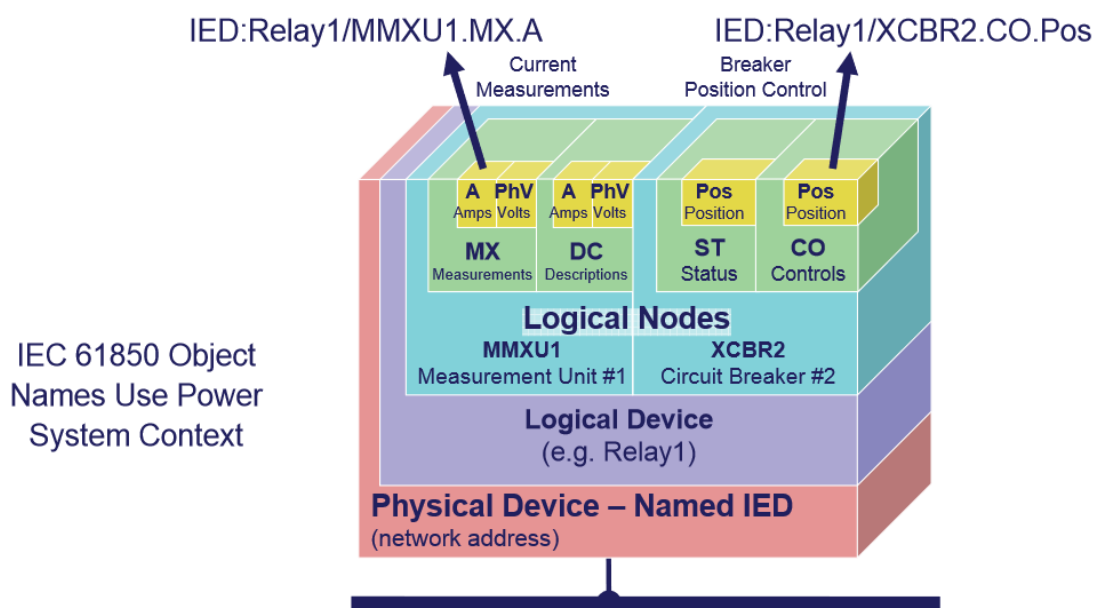
ACSI-rajapinnan avulla eri valmistajien laitteiden ei tarvitse tietää vastaanottavasta laitteesta mitään erityistä vaan asiointi voidaan hoitaa ACSI-palveluilla ja tarvittava tieto saadaan kulkemaan näiden laitteiden välillä. (Söderbacka 2013: 59.)

ACSI-palvelurajapinnan tietomalliluokat koostuvat alenevassa hierarkiajärjestyksessä korkeimmasta lähtien (Beckhoff Automation 2014):

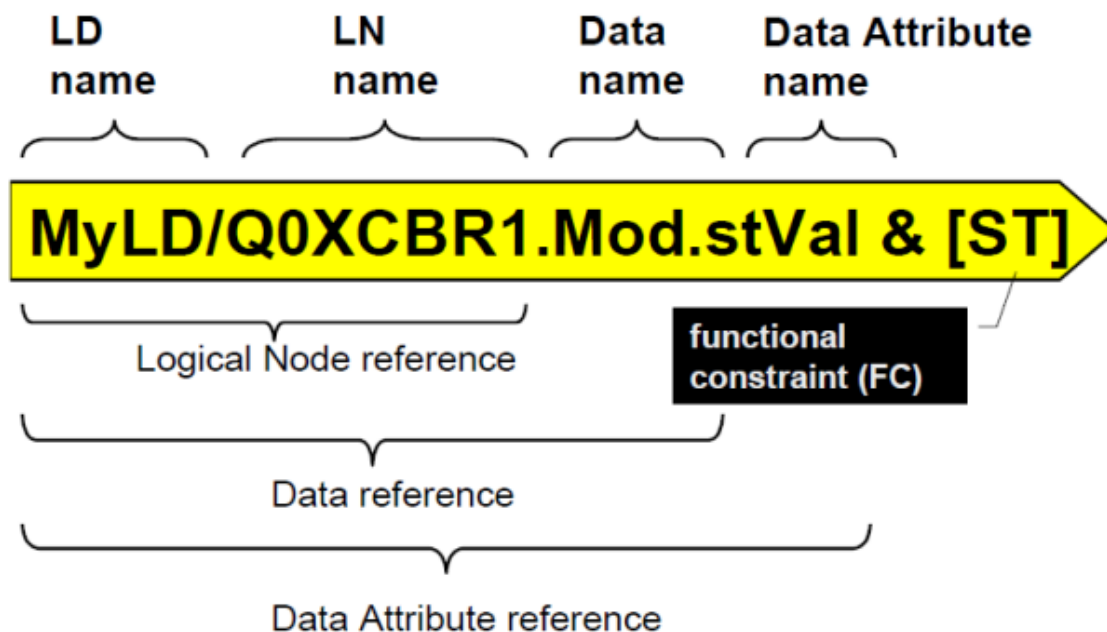
1. fyysisistä laitteista/palvelimista (Physical Device, PD, server)
2. loogisista laitteista (Logical Device, LD)
3. loogisista solmuista (Logical Node, LN)
4. data-objekteista (Data Object, DO)
5. data-attribuuteista (Data Attribute, DA)

Kuva 4 havainnollistaa IEC 61850 -tietomallia, josta nähdään, että IED-laitteisiin ja niiden palvelinohjelmiin otetaan yhteyttä suoraan käyttämällä verkon osoitetta eli IP(Internet Protocol)-osoitetta ja MMS-protokollan TCP(Transfer Control Protocol)-porttia 102 (Sørensen & Jaatun 2008: 2). Sen jälkeen voidaan viitata IEC 61850 -tietomallin dataobjektiin, kuten kuvan 5 esimerkki havainnollistaa.

IEC 61850 Object Models



Kuva 4. IEC 61850 -standardin ACSI-palvelurajapinnan tietomalliluokat havainnollistettuna (Mackiewicz 2011: 15).



Kuva 5. IEC 61850 -dataobjektin viittauksen ohjesyntaksi (IEC 61850-7-1 2011: 93).

Looginen laite (LD) kuvaa toiminnallisuuksien ryhmää, jotka kuvataan loogisina solmuina. Loogisen laitteen voi nimetä melko vapaasti ja LD-yksiköiden nimi tai nimet määritellään SCL-kielellä esimerkiksi ICD-tiedostossa. Looginen solmu (LN) esittää jotain yksittäistä toiminnallisuutta. Loogisen solmun edessä voi olla etuliite, esimerkiksi PH- tai EF- ja jälkiliitteenä tulisi olla numero. Loput viittauksesta on samantyyppinen kaikkialla tietomallissa eli loogisten solmujen ovat alla dataobjektit, jotka määräytyvät dataluokasta, jonka alla ovat data-attribuutit (DA). Data-attribuutit ja dataobjektit kuvaavat tietyn tyyppistä dataa, esimerkiksi katkaisijan asentotilaa sisältäen aikaleiman ja datan laatuinformaation.

Loogisen solmun osalta standardi määrittää nelikirjaimisen loogisen lyhenteen, joiden kirjaimista voidaan päätellä, mitä se kuvaa. Ensimmäinen kirjain määrittelee loogisen solmun pääluokan, jotka ovat taulukossa 1. Nelikirjaimisen tunnuksen loppuosa tulee englanninkielisestä lyhenteestä, jonka usein pystyy päättelemään. Mainitaan esimerkkeinä eräitä standardin määrittelemiä loogisia solmuja, kuten PDIS, PTOC ja PTRC, joista voi heti päätellä ensimmäisen P-kirjaimen perusteella kyseessä olevan suojaustoiminnoista. Loput kolme kirjainta ovat "DIS" = distance, distanssi(suojaus), "TOC" = time overcurrent, ylivirta(suojaus) ja "TRC" = trip conditioning, (suojareleen) katkaisijaohjaus, jonka avulla ohjataan katkaisijaa, jonka standardilyhenne vastaavasti on XCBR. (IEC 61850-7-1 2011: 31, 54, 71–72.)

Taulukko 1. Loogisten solmujen (LN) 1. kirjaintunnukset (IEC 61850-7-1 2011: 18).

Kirjaintunnus	Selite
A	Automatic control, automaattinen ohjaus
C	Supervisory control, valvottu ohjaus
D	DER, hajautettu energiatuotanto
F	Functional blocks, toiminnalliset lohkot
G	Generic function references, yleistoiminnalliset viittaukset
H	Hydro power, vesivoima
I	Interfacing and archiving, rajapinnat ja arkistointi

K	Mechanical and non-electrical primary equipment, mekaaniset ja ei-sähköiset primaarilaitteet
L	System logical nodes, järjestelmän loogiset solmut
M	Metering and measurement, mittaaminen
P	Protection functions, suojaustoiminnot
Q	Power quality events detection related, tehon laatuun liittyvät tapahtumahavainnot
R	Protection related functions, suojaukseen liittyvät toiminnallisuudet
S	Supervision and monitoring, valvonta ja tarkkailu
T	Instrument transformer and sensors, mittamuuntajat ja anturit
W	Wind power, tuulivoima
X	Switchgear, katkaisijalaitteet
Y	Power transformer and related functions, tehomuuntaja ja siihen liittyvät toiminnallisuudet
Z	Further (power system) equipment, muut tehojärjestelmälaitteet

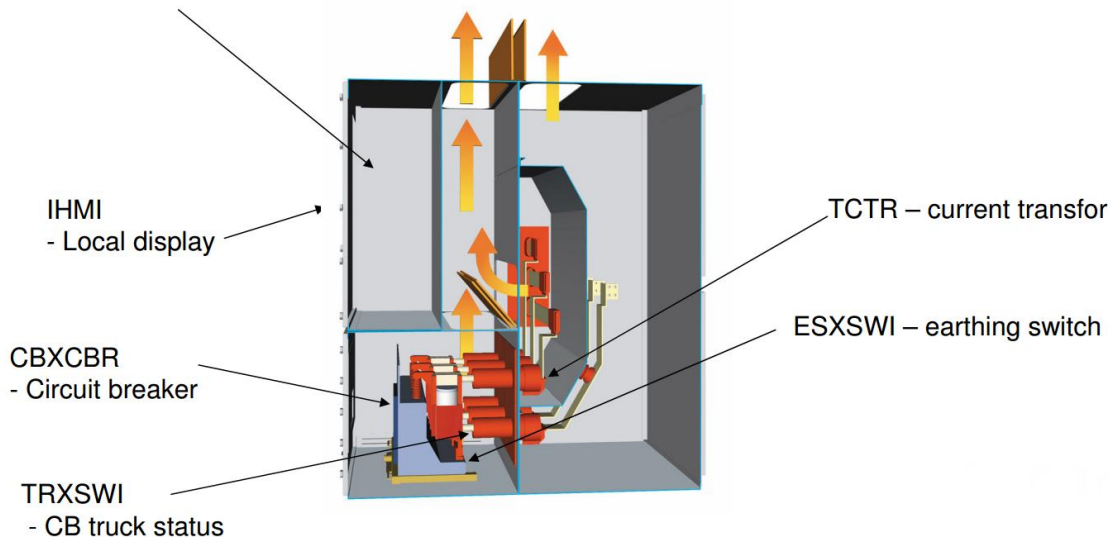
Kuvan 5 sisältämän viittauksen lopussa on mainittu myös niin sanottu toiminnallinen rajoitus -luokka (FC, Functional Constraint), jonka avulla on tarkoitus lokeroida dataobjektien- tai data-attribuutin käyttötarkoitus. FC-luokan idea on yksinkertaistaa palveluiden parametrien kuvausta ACSI-palvelukutsuja laadittaessa. Täten IEC 61850-7-1 -standardissa määritellään lisäksi toiminnallisesti rajattuja data-objekteja (FCD tai FCDO, Functionally constrained data (object)) sekä toiminnallisesti rajattuja data-attribuutteja FCDA(Functional Constrained Data Attribute). Standardin FC-luokat ovat taulukossa 2. Kaikki nimet loogisista solmuista (LN) aina data-attribuutteihin (DA) ovat ennalta määrätty ja tulevat suoraan IEC 61850-7 -sarjan standardeista. Kuva 6 havainnollistaa, miten loogiset solmut voivat sijoittua reaali maailman IEC 61850 - tietomallia tukevaan IED-laitteeseen. (IEC 61850-7-1 2011: 93–95, 71–72, EC 61850-7-2 2010: 53–54.)

Taulukko 2. Dataobjektien ja data-attribuuttien FC-luokat selitteineen (IEC 61850 2010: 54–55).

FC-luokka	Selite
ST	Status information, tilatiedot
MX	Measurands (analogue values), analogiset mittausarvot
SP	Setting (outside setting group), asetukset jotka ovat SG-luokan ulkopuolella
SV	Substitution, korvatut tiedot
CF	Configuration, konfiguraatitiedot
DC	Description, kuvaustiedot
SG	Setting group, asetteluryhmätiedot, ei muutettavissa
SE	Setting group editable, asetteluryhmätiedot, muutettavissa
SR	Service response, palvelun vastaustiedot
OR	Operate received, operaatiopyyntöjen käsittelytiedot
BL	Blocking, arvojen päivitysten esto
EX	Extended definition(application name space), laajennetut määritelmät sovelluksen nimiavaruudessa.
XX	Representing all Data Attributes as a service parameter, kaikkien data-attribuuttien esittäminen palveluparametreina

IEC 61850-7 modeling example – real world

EFPTOC – earth fault protection
 PHPTOC – 3phase over current protection
 INPHAR – motor and trafo inrush detector
 CBCSWI – breaker control
 CBCILO – breaker interlocking
 IMMXU – current measurement



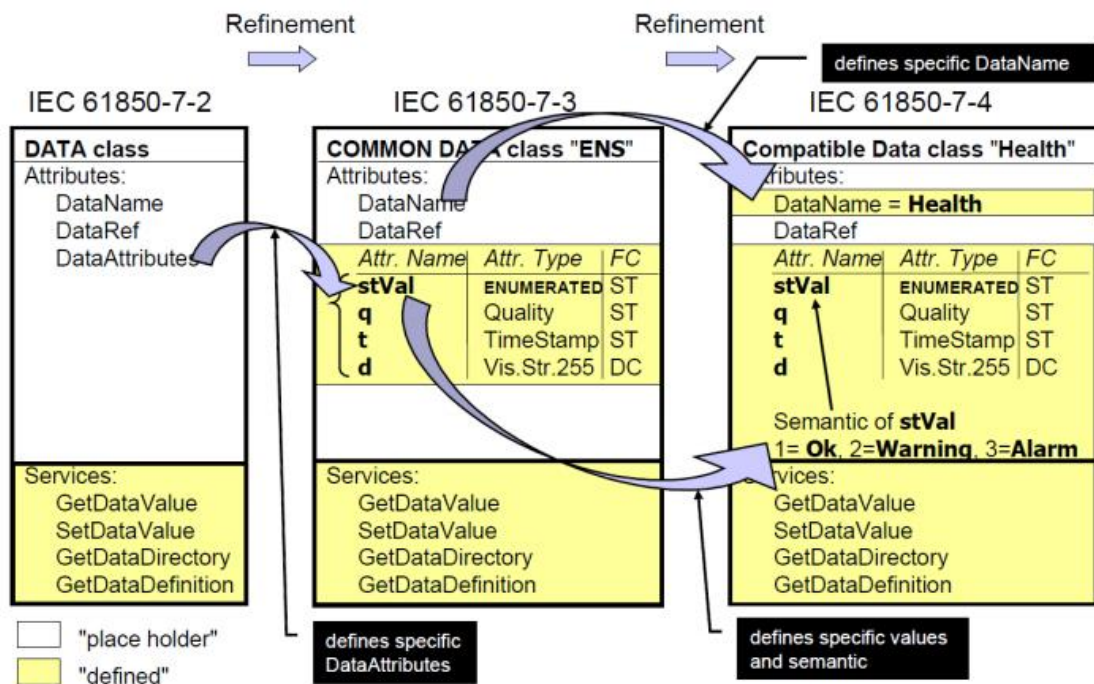
Kuva 6. Esimerkki loogisten solmujen suhteesta reaailmaailman toiminnallisuuksiin (Strefanka 2007: 14).

Common Data Class (CDC) eli niin sanottu yhteinen dataluokka on IEC 61850-7-3 -standardin määrittelemä osajoukko generisistä dataluokista, joista luodaan dataobjekteja. CDC-luokat ovat jaoteltu seuraavasti:

- Yhteiset dataluokat tilatiedoille (CDCs for status information)
- Yhteiset dataluokat mittaustiedoille (CDCs for measured information)
- Yhteiset dataluokat ohjauksille (CDCs for control)
- Yhteiset dataluokat tila-asetuksille (CDCs for status settings)
- Yhteiset dataluokat analogisille asetuksille (CDCs for analogue settings)

Edellä mainittujen lisäksi CDC-luokkien attribuuttien tyypit määritellään IEC 61850-7-3 -standardissa. Kuva 7 havainnollistaa muun muassa CDC-dataluokkien standardoinnin kautta tapahtuneen kehityksen 61850-7-2 standardista aina 61850-7-4 standardiin asti

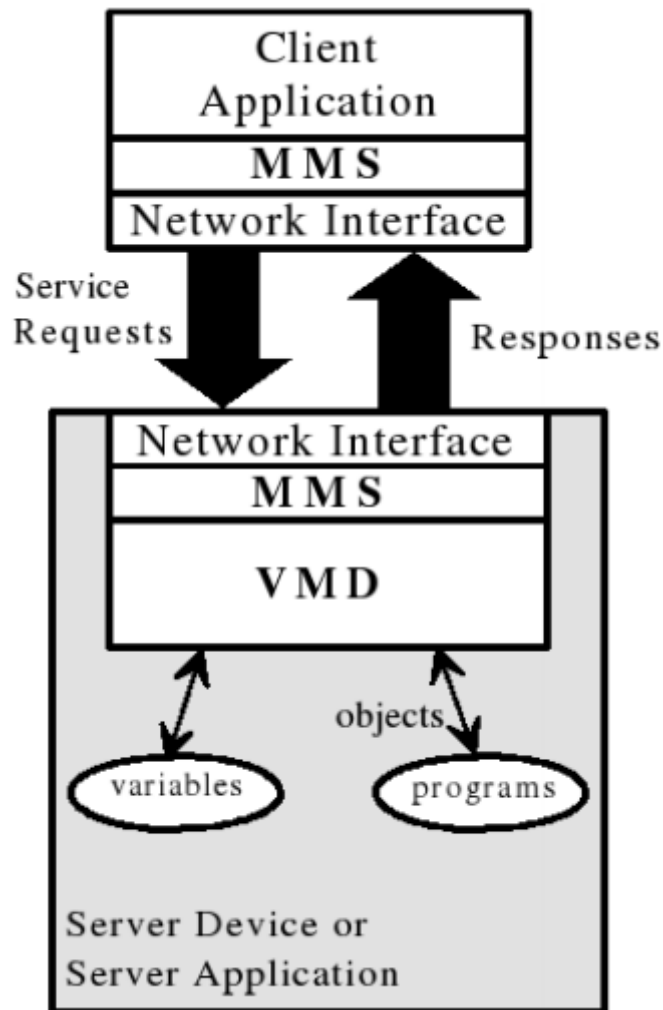
luotaessa IEC 61850 -objektimallia. Lyhyesti lausuttuna CDC-luokat määrittelevät tyyppin ja rakenteen loogisen solmun dataobjekteille ja attribuuteille. Kyseinen rakenne on jokseenkin kaikilla loogisilla solmuilla yleisesti sama. Siitä tulee nimi common data class = "yleinen dataluokka". CDC-luokkien tunnukset ovat hieman samantyyliisiä kuin loogisten solmujen, eli ne ovat myös ennalta standardissa määrätty ja voivat olla pituudeltaan 3-5 kirjainta. Esimerkiksi Device Name Plate (DPL) tai Setting Curve (CURVE). CDC-luokilla on enemmän käytännön merkitystä laadittaessa muun muassa IED-laitteen ICD- tai CID-konfiguraatitiedostoa. (Adamiak, Baigent & Mackiewicz 2009 : 63; IEC 61850-7-3 2010: 2-4, 9; Zillgith 2014a.)



Kuva 7. IEC 61850 -objektimallin dataluokkien kehityksen esimerkki (IEC 61850-7-1 2011: 81).

Yhdistäessään palvelinohjelmaan asiakasohjelmat voivat viitata ACSI-mallin mukaisesti vain johonkin dataobjektiin ja palvelin tarjoaa standardin määrittelemällä tavalla vastauksen. Tarkemmin sanottuna asiakasohjelma viittaa MMS-protokollan

käyttämään VMD (Virtual Manufacturing Device)-malliin, joka abstrahoi esimerkiksi IED-laitteen palvelinohjelmiston hallitsemien muuttujien, kuten anturien mittaustiedot IEC 61850 -objektimalliksi (Mini, Ikbal & Nitin 2013: 3–4). Kuva 8 havainnollistaa VMD-mallin roolia MMS:n asiakas-palvelinkommunikaatiossa.



Kuva 8. VMD-mallin rooli MMS-protokollan asiakas-palvelinviestinnässä (Sørensen & Jaatun 2008: 3).

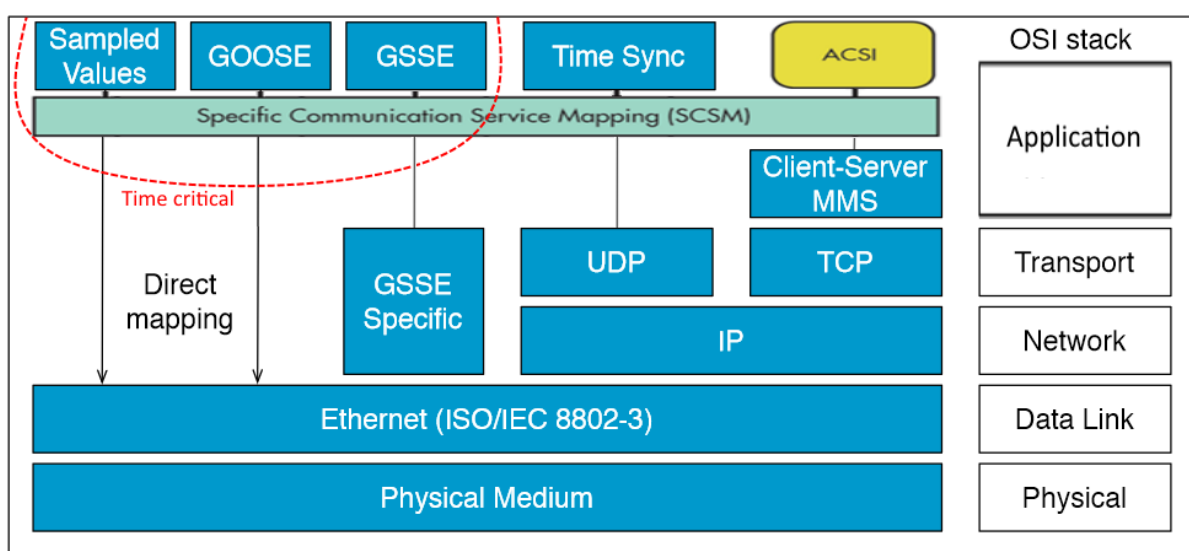
ACSI-malli muodostaa tiedonsiirron mallintamiseen seuraavanlaisia luokkia (IEC 61850-7-2 2010: 18–19; IEC 61850-7-1 2011: 71–72):

- a) Datajoukko (Data set) – sallii dataobjektien ja -attribuuttien ryhmittelemisen joukoksi. Käytetään esim. viittaamalla datajoukkoon, jolloin saadaan tieto kaikista joukon jäsenistä, käytetään myös raportointiin, lokiin kirjaamiseen, GOOSE-viestintään ja SV-näytteiden tiedonsiirtoon.
- b) Korvaaminen (Substitution) – mahdollistaa prosessiarvon korvaamisen toisella arvolla.
- c) Asetusryhmien hallinta (Setting group control) – määrittää, miten vaihtaa toisen ryhmän arvoja johonkin toiseen ryhmään, sekä miten asetusryhmiä voi hallita.
- d) Raportoinnihallinta ja lokiin kirjoittaminen (Report control and logging) – määrittää ehdot raporttien ja lokien tuottamiselle perustuen konfiguraatioparametreihin tai yhteyden yli asiakasohjelman käskyyn. Raportointi voidaan käynnistää kun prosessiarvot muuttuvat kuten esimerkiksi tilanmuutoksessa, elottomuus (ei minkään tapahtuminen) tai laadunmuutoksissa. Raportit voidaan lähettää välittömästi tai lykättyinä. Raportit tarjoavat tilanmuutos- tai tapahtumasekvenssitietoa.
- e) GSE(Generic Substation Event)-ohjauslohkot – mahdollistavat nopean ja luotettavan järjestelmänlaajuisen sisääntulojen ja ulostulojen arvojen jakamisen. Vertaisverkkokommunikointi (peer-to-peer) IED-laitteiden binäärisistä tilatiedoista, esimerkkinä mainittakoon suojareleen laukausignaali (trip signal).
- f) SV-näytteiden ohjauslohkot – määrittää nopean ja syklisen tiedonsiirron esimerkiksi mittamuuntajien ottamista näytteistä IED-laitteille.
- g) Ohjaus(control) - määrittää palvelut, joilla ohjataan esimerkiksi IED-laitteita.
- h) Aika ja ajan synkronointi (Time and time synchronization) – tarjoaa järjestelmälle ja sen laitteille aikatiedon ja synkronoinnin.
- i) Tiedostojärjestelmä (File system) – määrittelee suurien tietokappaleiden, kuten ohjelmien siirron.
- j) Seuranta (tracking) – tarjoaa diagnostiikkarajapinnan ohjaus-, konfiguraatio- ja tiedonsiirtopalveluihin.

Edellä mainitut luokat tarjoavat kaikki IEC 61850 -verkon palvelut, joiden avulla voidaan onnistuneesti havainnoida, ylläpitää ja seurata muun muassa sähköseman automaation toimintaa.

2.4.2 Specific Communication Service Mapping (SCSM)

SCSM on tässä asiayhteydessä kuvaus IEC 61850-7 -sarjan standardien tietomalleille. Sen avulla määritellään, miten IEC 61850-7 -standardisarjan mukainen tietomalli kuvataan esimerkiksi SV-, GOOSE-, tai MMS-protokollassa, jotka edelleen voidaan kuvata ISO/IEC 8802-3 Ethernet -protokollan paketteina ja lähettää muun muassa sisäverkon kautta eteenpäin muille verkon laitteille (Söderbacka 2013: 12). Käytännössä IEC 61850-8 -sarja ja IEC 61850-9 -sarja sisältävät SCSM-määrittelyt IEC 61850-7 -sarjan määrittelemille palveluille. Kuva 9 havainnollistaa SCSM-määrittelyjen roolia IEC 61850 -tietoliikenteessä. (IEC 61850-8-1 2011: 14; IEC 61850-9-2 2011: 7.)



Kuva 9. IEC 61850 -tietoliikenneprofiilit. (Mukailtu: Tuite 2013 ja Konka, Arthur, Garcia & Atkinson 2011: 2).

2.5 Tietoliikenneprofiilit ja -protokollat

SV- ja GOOSE-protokollien viestit julkaistaan multicast-viesteinä tilaaja-julkaisijamallin (subscriber-publisher pattern) mukaisesti ja ne kuvataan suoraan Ethernet-linkkikerroksen paketteina. Taulukko 3 esittää SV-, GOOSE- ja GSSE (Generic Substation Status Events)-protokollille standardissa asetetut suositukset MAC

(Media Access Control)-osoiteväleille, joille viestintä kohdistetaan (IEC 61850-8-1 2011: 143). ACSI-palvelut kuvataan pitkälti MMS-protokollalla, joka taas kuvataan TCP/IP (Internet Protocol)-kerroksissa ennen Ethernet-linkkikerrokseen paketoitua. GSSE-protokolla on vanhempi ja tukee vain binääristä tila-arvojen kommunikointia ja tulee poistumaan käytöstä, sillä IEC 61850 -standardi on asettanut protokollan vanhentuneeksi ja GOOSE-protokolla korvaa sen. Kuva 9 kokoaa yhteen IEC 61850 -standardin tietoliikenneprofiilien ja protokollien rooleja. (Söderbacka 2013: 18–19; IEC 61850-7-2 2009: 131.)

Taulukko 3. Standardin suosittelemat multicast-viestien MAC-osoitevälit (IEC 61850-8-1 2011: 143).

Palvelu/protokolla	Suositeltu MAC-osoiteiden sijoitteluväli	
	Aloituseroite (heksadesimaali)	Lopetusosoite (heksadesimaali)
GOOSE	01-0C-CD-01-00-00	01-0C-CD-01-01-FF
GSSE	01-0C-CD-02-00-00	01-0C-CD-02-01-FF
Multicast sampled values (SV)	01-0C-CD-04-00-00	01-0C-CD-04-01-FF

2.5.1 Ajan synkronointi ja siirtoaikavaatimukset IEC 61850 -väylällä

IEC 61850 -väylällä on olennaista, että kaikkien laitteiden aika on mahdollisimman hyvin tahdissa. Tarvittaessa muun muassa suojarleiden laukaisusta kertovien tilaviestien pitää kulkea perille rinnakkaisen johtolähdön suojarleelle vain muutamassa millisekunnissa. IEC 61850 -asemaväylällä ACSI-palvelut toteutetaan ja kommunikoidaan MMS- ja GOOSE-protokollilla. Tapahtumasekvenssien aikaleimojen tarkkuutena on 1 ms, joka on selvästi lyhyempi aika kuin mikään sähköverkon kytkennän muutos. Tällöin ajan synkronoinnin tarkkuudeksi riittää T1-luokan tarkkuus eli 1 ms. Standardin keskeisimmät siirtoaikavaatimukset ovat taulukossa 4. SNTP (Simple Network Time Protocol)-protokollan avulla voidaan saavuttaa asemaväylälle

riittävä 1 ms tarkkuus. SNTP-protokollan aikaleimat lähetetään IEC 61850 -väylälle multicast-viestien tyyliin UDP (User Datagram Protocol)-paketteina, joiden tiedoista laitteet saavat aikareferenssinsä. IEC 61850 -väylän IED-laitteet tahdistavat kellon aikapalvelimen viestien avulla samaan tyyliin kuin internetiin kytketyt PC (Personal Computer)-laitteet. (ABB Group 2010: 10.)

Taulukko 4. IEC 61850 -standardien määrittelemien viestityyppien siirtoaikavaatimukset (Dolezilek, Hou 2008: 4, IEC 61850-5 2013: 68, IEC 61850-7-2 2010: 28).

Tyyppi	Sovellus	Suorituskykyluokka	Siirtoaikavaatimus/tarkkuus
1A	Nopeat viestit (esim. releen laukaisuviesti)	P1	10 ms
		P2/P3	3 ms
1B	Nopeat viestit (muut)	P1	100 ms
		P2/P3	20 ms
2	Keskinopea	-	100 ms
3	Hidas	-	500 ms
4	Raakadata	P1	10 ms
		P2/P3	3 ms
5	Tiedostonsiirto		≥ 1000 ms
6a	Aikasykronointi, IEC 61850 - asemaväylä	T0,T1,T2	± 10 ms, ± 1 ms, ± 100 μ s
6b	Aikasykronointi, IEC 61850 - prosessiväylä	T3,T4,T5	± 25 μ s, ± 4 μ s, ± 1 μ s

Ajan synkronointi IEC 61850 -prosessiväylällä, jossa kommunikoidaan SV-protokollan avulla, voidaan toteuttaa esimerkiksi IEEE 1588 -standardin mukaisesti, PTP (Precision Timing Protocol)-protokollan avulla. IEEE 1588 PTP -protokollalla päästään alle 1 μ s tarkkuuteen, joka riittää tiukimpaan T5-luokkaan. 1 μ s tarkkuudella voidaan luotettavasti määrittää SV-protokollan näytteiden avulla sähköverkon vektorisuureiden arvot, siten että kokonaisvirhevektori (Total Vector Error, TVE) 50 Hz- ja 60 Hz -verkoissa pysyy selvästi alle 1% rajoissa, kuten IEEE C37.118.1 -standardi määrää (Arnold 2014; ABB Group 2010: 9.)

Edellä mainittu esimerkki aikasykronoinnista IEC 61850 -väylillä hyödyntää multicast-viestinnän käyttöä, mutta IEC 61850-8-1 (2011: 58) ilmoittaa, että aikasykronointi voidaan toteuttaa myös perinteisen kahden osapuolen viestinnän avulla, samaan tyyliin kuin asiakas-palvelinviestintä.

2.5.2 Manufacturing Message Specification (MMS)

MMS-protokollan kehitys alkoi jo 80-luvulla MAP(Manufacturing Automation Protocol)-protokollana, joka 90-luvulla muutettiin MMS-protokollaksi. MMS-protokollan nykyinen rakenne on määritelty ISO 9506-1- ja ISO 9506-2 -standardeissa ja perustuu 7-kerroksiseen ISO/OSI-malliin. MMS-protokolla on hyvin geneerinen, mutta myös monipuolinen ja se soveltuu luontevasti kuvaamaan monimutkaista IEC 61850 -tietomallia. (Schwartz 2008: 3–4; Söderbacka 2013: 113; Adamiak ym. 2009: 62–69.)

IEC-valitsi ACSI-palveluiden luokkien kuvaamisen MMS-protokollalla, koska (Söderbacka 2013: 113):

- Sillä on vankka toteutushistoria
- Se tarjoaa tarvittavat menetelmät ja palvelut monimutkaisille tietomalleille
- Se tukee monimutkaista IEC 61850 -standardin objektien nimeämistä
- Sitä voidaan käyttää täydellisten TCP/IP- tai OSI-protokollapinojen päällä.

MMS-protokollalle on määritelty myös MMS-palveluita, jotka voivat melko hyvin kuvata IEC 61850 -standardin palveluita eli pitkälti ACSE-palveluita. MMS-protokollaa voi ajatella taulukon 4 perusteella keskinopeana protokollana, jolloin siirtoaika normaaleille viesteille tulisi olla enintään 100 ms (ABB Group 2010: 59). Taulukko 5 havainnollistaa, miten IEC 61850 -objekteja esitetään MMS-protokollan objekteina. Taulukosta 5 voi lisäksi päätellä, mitä MMS-protokollaan liittyviä osia on määritelty kussakin IEC 61850-7 -sarjan standardissa. Voisi sanoa, että kaikki, mitä IEC 61850 -tietoliikenteessä ei ole muuten GOOSE- tai SV-protokollalla toteutettuna, toteutetaan MMS-protokollan avulla (Zhang & Gunther 2011: 42).

Taulukko 5. IEC 61850 -objekteja kuvattuna MMS-objekteina ja standardit joissa mainitut IEC 61850 -objektit määritellään (IEC 61850-7-1 2011: 127, Schwarz 2000).

Mitä kuvaa?	Kuvautuu
Looginen laite (sisältää loogisia solmuja), IEC 61850-7-2	MMS-protokollalle
Looginen solmu (sisältää dataa), IEC 61850-7-4	MMS-protokollan nimettynä muuttujana
Data(-piste), IEC 61850-7-4	MMS-protokollan nimetyille muuttujille (ja rakenteelliset osat, jotka esittävät "loogisten solmujen dataa")
Data attribuutti, IEC 61850-7-3	MMS-protokollan nimetyille muuttujille (ja rakenteelliset osat, jotka esittävät "dataa")
Datajoukko (data set), IEC 61850-7-2	MMS-protokollalle nimettyjen muuttujien listana
Ohjausyksiköt "control block" (attribuutit), IEC 61850-7-2	MMS-protokollan nimettynä muuttujana
Ohjausyksiköt "control block" (behaviour), IEC 61850-7-2	Tulee ohjelmoida, kuten IEC 61850-7-2 määrittää
Loki, IEC 61850-7-2	MMS-loki (journal)

2.5.3 Generic Substation Events (GSE)

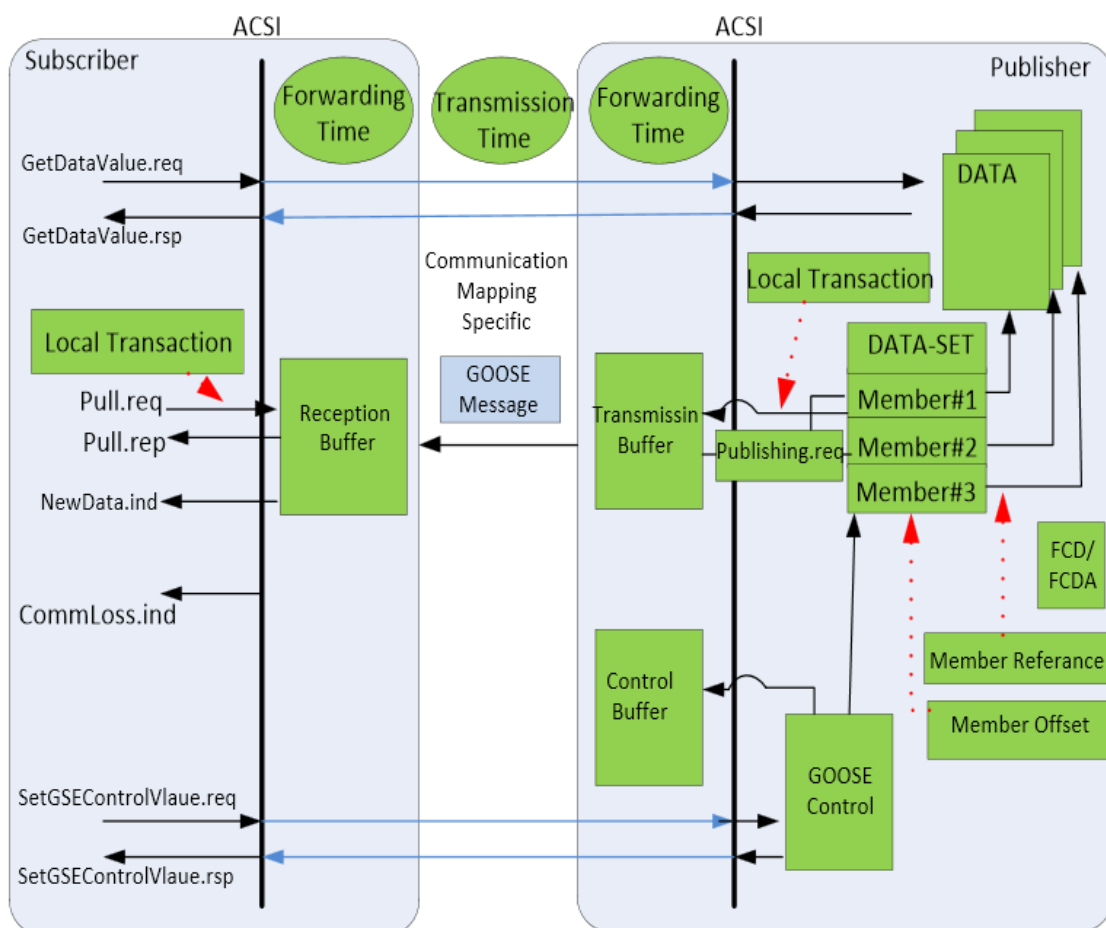
GSE-palveluiden malli, johon kuuluu GOOSE- ja GSSE-protokollat, on määritelty IEC 61850-7-2 -standardissa osana ACSI-palveluita. GSE-palveluiden hallinta voidaan suorittaa esim. MMS-protokollan avulla ylemmältä tasolta vertikaalisesti asiakaspalvelinviestinnällä, kun taas GOOSE-protokolla suorittaa IED-laitteiden horisontaalisesti vertaisverkkotietoliikenteen toteutuksen. GSE-hallintapalveluiden Ethertype-kehys on **88b9**. Ethertype-kehyksen avulla Ethernet-pakettien sisältö voidaan tunnistaa jonkin tietyn protokollan viestiksi varsinkin jos se IEEE-järjestön rekisteröimä. Ethertype-kehys on neljän heksadesimaalin mittainen eli se edustaa kahta oktettia eli 8-bitin tavua. (IEC 61850-7-2 2010: 131–132; IEC 61850-8-1 2011: 58; IEEE 2014a; IEEE 2014b.)

2.5.4 Generic Object Oriented System Event (GOOSE)

Goosen tarkoituksena on mahdollistaa laaja-alaisesti yleisen datan nopea lähettäminen, kuten analogisten mittausrvojen, binääristen tilatietojen ja kokonaislukuarvojen, jotka on ryhmitelty datajoukkoihin. (Mekkanen, Virrankoski, Elmusrati & Antila 2014: 2.)

GOOSE-protokolla perustuu viestintään, jossa kommunikointi hoidetaan yhteydettömästi multicast-viesteinä niin sanotulla julkaisija-tilaajamallilla. Yhteydettömyys tarkoittaa tässä tilanteessa sitä, että julkaisija ei määrittele erityisemmin kenelle viestit menevät vaan multicast-osoitteen, jolle IEC 61850-8-1 -standardi antaa suosituksen. Tilaajat voivat liittyä multicast-osoitteen tilaajiksi ja täten vastaanottaa GOOSE-viestejä julkaisijalta. Tilaajat vastaanottavat IEC 61850 -asemaväylältä julkaisijan viestit ja tekevät niiden perusteella tulkinnan esimerkiksi julkaisija-IED-laitteen tilasta. GOOSE-viestinnässä viestejä lähetetään jatkuvasti, jotta kaikki saman verkon solmun laitteet tietävät aina toistensa tilan. GOOSE-protokolla on kehitetty vertaisverkkokommunikointiprotokollaksi (peer-to-peer), jossa ei erikseen viestitä ylemmän kerroksen (esimerkiksi SCADA-järjestelmän) kautta vaan lähetetään viestit suoraan saman fyysisen väylän muille vertaislaitteille, kuten rinnakkaisten johtolähtöjen ja syöttökiskojen kojeistojen IED-laitteille. Julkaisijat julkaisevat

GOOSE-viestejä vähintään `timeAllowedToLive`-arvon määrittämän aikajakson välein, jonka avulla varmistetaan, että asemaväylän viestejä julkaisevat IED-laitteet ovat "hengissä" eli toimivat normaalisti eikä laitteissa tai tietoliikenneyhteyksissä ole vikaa. Mikäli GOOSE-viestejä ei saavu julkaisijalaitteelta `timeAllowedToLive`-aikajakson kuluttua, voidaan tulkita, että julkaisijalaitteessa on jotain vikaa tai tietoliikenneyhteys on poikki. IEC 61850 -standardi ei määrittele `timeAllowedToLive`-aikajaksolle enimmäisrajoitusta. Kuva 10 havainnollistaa julkaisija-tilaajamallia, mutta myös koko GOOSE-viestinnän toimintamekanismia. (Söderbacka 2013: 19, 81–85.)



Kuva 10. GOOSE-viestinnän mekanismi tilaajan ja julkaisijan välillä (Mekkanen ym. 2014: 2).

GOOSE-viestintää konfiguroitaessa IED-laitteisiin seuraavat pääparametrit tulisi sisältyä GoCB (GOOSE Control block)-konfiguraatioon. Listan eri kohdissa on sulkumerkkien sisällä mainittu myös kuvan 11 tarjoamaa lisätietoa, kuten Wireshark-ohjelman käyttämä lyhenne, ehtoja tai suosituksia (Sidhu, Kanabar, & Parikh 2011: 5; ABB Group 2014: 32; IEEE 2014a):

- i. Vastaanottajan MAC-osoite (dst, standardin suositus ks. taulukko 3)
- ii. Lähettäjän MAC-osoite (src, IED-laitteen Ethernet-moduulin MAC-osoite)
- iii. VLAN(Virtual Local Area Network)-prioriteetti (tulisi olla arvoltaan **vähintään 4**)
- iv. VLAN-ID (Suositeltu valittavaksi väliltä 2-1001, sillä 0 ja 1 sisältävät erityismerkityksen)
- v. EtherType (**0x88b8** GOOSE-protokollalle)
- vi. APPID (Application ID)

APDU (Application Protocol Data Unit, goosePdu), jossa on GOOSE-viestin tärkein sisältö (Sidhu ym. 2011: 5; ABB Group 2014: 32):

- i. GOOSE control block -viite (gocbref)
- ii. Time to live (timeAllowedtoLive) eli GOOSE-viestille määritelty elinaika millisekunneissa.
- iii. Datajoukon ID (datSet, GOOSE Control Blockin viittaama datajoukko)
- iv. GOOSE ID (goID, IED-laitteen GOOSE-viestien tunnus)
- v. GOOSE-viestin aikaleima
- vi. Configuration revision (confRev) eli konfiguraation versio
- vii. Datajoukon elementtien arvot (allData ja sen alla olevat)

Kuva 11 havainnollistaa hyvin edellä mainitun listan mukaisesti GOOSE-viestin sisältöä. Arvot joita ei mainittu listassa eivät ole tässä tarkastelussa oleellisia.

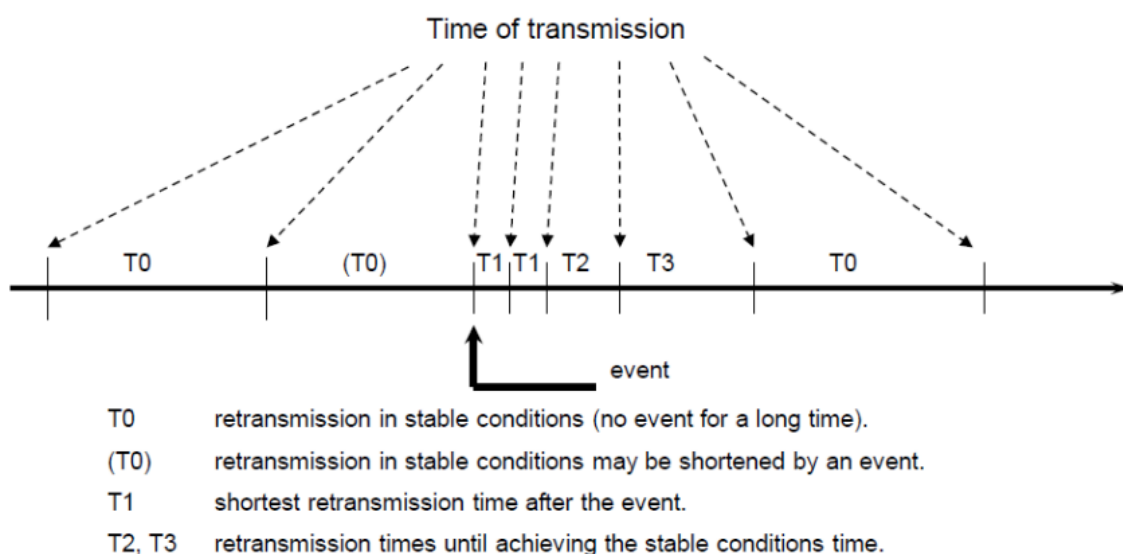
```

⊞ Frame 209: 135 bytes on wire (1080 bits), 135 bytes captured (1080 bits) on interface 0
⊞ Ethernet II, Src: vamp_00:57:91 (00:1a:d3:00:57:91), Dst: Iec-Tc57_01:00:12 (01:0c:cd:01:00:12)
⊞ 802.1Q Virtual LAN, PRI: 4, CFI: 0, ID: 1
⊞ GOOSE
  APPID: 0x0004 (4)
  Length: 117
  Reserved 1: 0x0000 (0)
  Reserved 2: 0x0000 (0)
  ⊞ goosePdu
    gocbRef: VAMP52_2Relay/LLN0$Go$gcb1
    timeAllowedtoLive: 10000
    dataSet: VAMP52_2Relay/LLN0$D5G1
    goID: VAMP2
    t: May 5, 2014 09:57:32.832499980 UTC
    stNum: 118
    sqNum: 576
    test: False
    confRev: 1
    ndsCom: False
    numDataSetEntries: 4
    ⊞ allData: 4 items
      ⊞ Data: boolean (3)
        boolean: False
      ⊞ Data: boolean (3)
        boolean: True
      ⊞ Data: boolean (3)
        boolean: False
      ⊞ Data: boolean (3)
        boolean: False

```

Kuva 11. Wireshark-tietoliikenneanalyysiohjelmalla kaapatun GOOSE-viestin sisältö.

GOOSE-viestejä lähetetään taajempaan, kun Goosella kommunikoiva IED-laite havaitsee jonkin ennalta määritellyn datajoukkonsa arvon muuttuneen, luo sen perusteella tapahtuman (event) ja lähettää sen välittömästi GOOSE-viestinä IEC 61850 -asemaväylälle ja muut väylän IED-laitteet voivat havaita muutoksen. Edellä mainittu tilanne voi olla seurausta esimerkiksi suoja-IED-laitteen valvoman johtolähdön virtarajojen ylittymisestä. Samalla kyseinen IED-laite voi lukita (interlock) muiden releiden laukaisun GOOSE-viesteillä ja erottaa tarvittaessa vain oman lähtönsä verkosta. Tilanteen vakiinnuttua GOOSE-viestien lähetysväli harvenee ja viestintää tapahtuu jälleen vain timeAllowedtoLive-aikajakson mukaisesti. Kuva 12 havainnollistaa edellä mainittua menettelyä. (Mekkanen ym. 2010: 17–18.)



Kuva 12. GOOSE-viestien uudelleenlähetyksien intervallit havainnollistettuna (IEC 61850-8-1 2011: 93).

GOOSE-viestinnällä voidaan kuljettaa tiukemman reaaliaikavaatimuksen viestejä ja välittää samalla käskyjä vertaislaitteille Ethernet-verkon välityksellä, kun taas ennen perinteisesti kukin IED-laite, kuten suojarele kytkettiin erikseen ristiin jokaisen rinnakkaisen johtolähtöjen suojareleisiin. GOOSE-protokollan ratkaisu yksinkertaistaa siten sähköasemien tietoliikennejohdotuksia. Lisäksi GOOSE-viestinnän seurauksena suoritettavat toimenpiteet ovat suunnilleen yhtä nopeita kuin perinteisesti ristiinkytketyt viestintäyhteydet. (Söderbacka 2013: 19, 81–85; Piirainen 2010: 30–38; Sidhu ym. 2011: 6.)

GOOSE-protokollan vertaisverkkoviestinnässä sovelletaan taulukon 4 arvoista tyyppiä 1A, jossa siirtoaikavaatimus on P1-suorituskykyluokassa on vähintään 10 ms ja parhaimmillaan P2- ja P3-suorituskykyluokissa 3 ms.

GOOSE-protokollalle datapaketeille on varattu ethertype-kehys: **88b8**, jonka avulla voidaan tunnistaa GOOSE-protokollan ethernet-paketit. (IEEE 2014a.)

2.5.5 Generic Substation Status Event (GSSE)

GSSE on protokolla IED-laitteiden tilatietoja varten, mutta IEC 61850-7-2 -sarjan toisessa versiossa (ed.2.0) GSSE on merkattu käytöstä poistuvaksi, joten valmistajatkään eivät aio tukea GSSE-protokollaa laitteissaan (IEC 61850-7-2 2009: 131). GSSE on paljolti GOOSE-protokollan kaltainen, muttei ominaisuuksiltaan yhtä kattava. Tällä hetkellä markkinoilla olevat uusimmat IED-laitteet eivät tue GSSE-protokollaa, sillä GOOSE-protokollalla voidaan ilmoittaa tilatiedot muiden haluttujen tietojen lisäksi. Täten GSSE-protokolla on jäänyt melko hyödyttömäksi.

2.5.6 Sampled Values (SV)

Sampled Values -protokollan päivänvalo lienee koittanut vuosituhannen vaihteen jälkeen vuonna 2002, jolloin ABB ja Siemens päättivät toteuttaa IEC 61850-9-1 -standardin mukaisen yksisuuntaisen sarjaliikenne ratkaisun, jolla ABB:n distanssirele ja Siemensin merging unit -yksikkö kommunikoivat keskenään. Vastavuoroisesti myös Siemensin releet ja sähköenergiamittari kommunikoivat ABB:n merging unit -yksikön kanssa. ABB:lla ja Siemensilla oltiin vakuuttuneita, että IEC 61850-9-1 oli lähitulevaisuuden ratkaisu yhdistää mittamuuntajat suojareleisiin. Tämä päätös johti myöhemmin IEC 6150-9-2 -standardin kehittämiseen, jossa kaikki prosessiväylän ja asemaväylän laitteet voidaan liittää yhteen. Tätä IEC 61850-9-2 -standardi soveltaa nykyään, sillä se määrittää SV-protokollan kuvauksen Ethernet-verkossa. (Erni 2002.)

SV-protokollan tehtävänä on välittää nopeasti ja luotettavasti mittamuuntajien mittaamaa analogisia arvoja digitaalisella viesteillä ISO/IEEE 8802-3 standardin mukaisesti. IEC 61850-9-2 -standardi määrittelee protokollan toteuttamat palvelut ja suorituskykyvaatimukset, jotka ovat erittäin kriittiset, koska yksikään analogisen mittausarvon tieto ei saa kadota tai viivästyä suhteessa muihin näytteisiin. SV-tietoliikenne on pääroolissa IEC 61850 -prosessiväylällä, jossa operoidaan esimerkiksi mittamuuntajiin liittyvien merging unit -yksiköiden ja suojareleiden välissä toimittaan mittamuuntajien SV-viestejä asemaväylälle ja sähköverkon suojalaitteisiin yhteydessä olevien suojareleiden tietoon. SV-protokollan viestintä konfiguroidaan MSVCB- tai USVCB (Unicast Sampled Values Control Block)-yksikön avulla. (Barron & Holliday 2010: 2–3; IEC 61850-9-2 2011: 18–21; Yunpeng ym. 2012: 2.)

Muun muassa jännitteiden ja virtojen näytteistämiseksi on asetettu seuraavanlaisia vaatimuksia (UCA International Users Group 2004: 9; Skendzic, Ender & Zweigle 2014):

- 80 näytettä yhden verkon taajuuden jakson aikana.

TAI

- 256 näytettä yhden verkon taajuuden jakson aikana.

Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että 50 Hz sähköverkossa näytteitä otetaan 4000/s tai 12800/s ja vastaavasti 60 Hz sähköverkolle arvot ovat 4800/s ja 15360/s (Kenwick & Schaub 2009: 40). Jokainen näyte lähetetään digitaalisena viestinä IEC 61850 -prosessiväylälle, joka ohjelmallisesti sitten esimerkiksi IED-laitteessa tulkitaan. Hitaammat näytteenottotaajuudet riittävät sähköisten perussuureiden tarkkailuun, mutta nopeampia näytteenottotaajuuksia tarvitaan muun muassa harmonisten yliaaltojen tarkkailuun. (Moore & Goraj 2011: 2; Skendzic ym. 2014.)

SV-protokolla aiheuttaa jonkin verran tietoliikennekuormaa IEC 61850 -prosessiväylällä, mutta siitä ei koitune ongelmia IEC 61850-9-2LE mukaan, sillä 256 näytettä/jakso näytteistyksessä yhteen SV-pakettiin pakataan 8 näytettä, jolloin tietoliikennekuormaa prosessiväylälle tulee yhteensä 32 pakettia/aikajakso. Vaikka tämän takia syntyykin viivettä näytteistuksen välittämisessä prosessiväylälle se ei käytännössä haittaa, koska muun muassa THD (Total Harmonic Distortion)-arvon tarkkailutieto ei ole äärimmäisen aikakriittinen. Täten IEC 61850-9-2LE -ohjeistuksen mukainen 80 näytettä/jakso aiheuttaakin enemmän tietoliikennekuormaa, sillä jokainen näyte lähetetään omassa paketissaan prosessiväylälle. Taulukko 6 esittää SV-pakettien aiheuttaman teoreettisen kapasiteettitarpeen 100 megabitin väyläkapasiteetista. (Starck, Wimmer & Majer 2013: 5.)

Taulukko 6. Eri SV-näytteistystaajuuudet ja niiden tarvitsema 100 megabitin Ethernet-väylän kapasiteetti ja suhde väylän kokonaiskapasiteettiin Starck ym. 2013: 5).

Pakettia/ jakso	Pakettien määrä 50 Hz verkossa (kpl / s)	Kapasiteettitarve /SV- julkaisijalaite (Mb/s)	Kapasiteettitarpeen suhde kokonaiskapasiteettiin (%)
256	12800	12,5	12,5
80	4000	5,3	5,3
32	1600	2,1	2,1

Kuva 13 havainnollistaa, mitä SV-viesti käytännössä voi sisältää. Tulee huomata, että kuvan viestinäytteen sisältö ei noudata täysin standardin suosituksia, mutta yleiseen protokollan tarkasteluun näyte on pätevä. Periaate muilta osin on sama kuin GOOSE-viestilläkin, paitsi varsinainen APDU-osa eroaa siten, että SV-protokollassa on seqASDU-osa jossa voi olla yksi tai useampia näytteitä sisällytettynä yhteen SV-pakettiin. Näyte on sisällytetty ASDU (Application Service Data Unit)-osaan johon sisältyy (Konka ym. 2011: 2–4):

- i. svID, joka kertoo näytteen ottaneen laitteen SV-tunnuksen.
- ii. smpCnt on näytteen järjestysnumero, jonka avulla näytteet voidaan järjestää ajan suhteen.
- iii. confRef, (Wireshark-ohjelmassa lievä kirjoitusvirhe, sillä IEC 61850-9-2 standardissa lukee confRev) kokonaisluku, joka näyttää MSVCB-yksikössä tehtyjen konfiguraatiomuutosten määrän.
- iv. smpSync kertoo, onko viestintä kellosynkronoitu (0 = ei synkronointia, 1,2 ja 5 - 254 arvot kertovat synkronoinnista sekä luonnehtivat synkronointilähdettä)
- v. seqData kertoo 8 tavun (64 bittiä) sekvenssinä näytteistetyt arvot.

```

⊕ Frame 16: 667 bytes on wire (5336 bits), 667 bytes captured (5336 bits)
⊕ Ethernet II, Src: Dell_08:4e:6c (00:1e:c9:08:4e:6c), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
⊕ 802.1Q Virtual LAN, PRI: 4, CFI: 0, ID: 25
⊕ IEC61850 Sampled values
  APPID: 0x400f
  Length: 649
  Reserved 1: 0x0000 (0)
  Reserved 2: 0x0000 (0)
  savPdu
    noASDU: 5
    seqASDU: 5 items
      ASDU
        sVID: XJPA_MU1501
        smpCnt: 27220
        confRef: 1
        smpSynch: none (0)
        seqData: 000003d600000000fffffe1500000000fffffe1500000000...
      ⊕ ASDU
      ⊕ ASDU
      ⊕ ASDU
      ⊕ ASDU

```

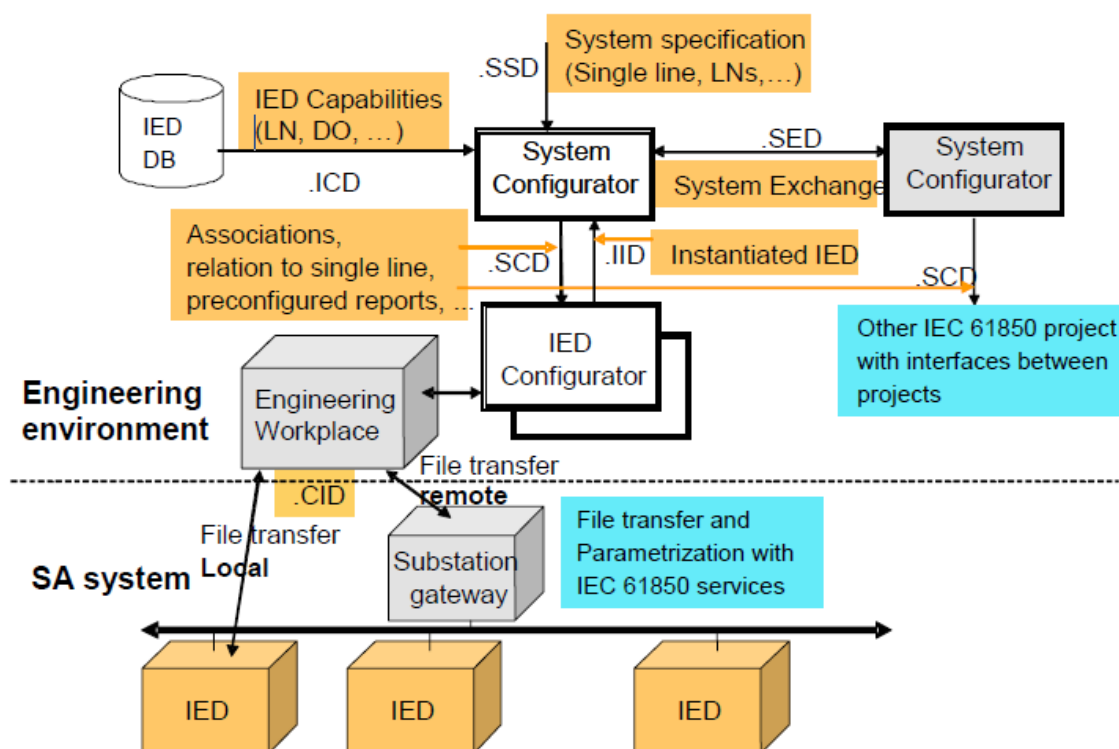
Kuva 13. Wireshark-tietoliikenneanalysohjelmalla tallennetun SV-viestin sisältö.

Sampled values -protokollalle on oma Ethertype-kehys, joka on **88ba** (IEEE 2014a) ja tästä Sampled Values -paketit voi Ethernet-väylillä tunnistaa. Siitä huolimatta, että edellä on esitelty SV-protokollan toimintaa multicast-viestinnän näkökulmasta, IEC 61850-9-2(2011: 21) -standardi sallii myös SV-pakettien lähettämisen unicast-viesteinä, jolloin SV-viestit lähetetään prosessiväylällä vain yhdelle määrätylle vastaanottajalle.

2.6 IEC 61850 -konfigurointi

IEC 61850 -standardissa konfiguroinnit tehdään SCL (System Configuration Language)-kielellä, joka perustuu XML (eXtensible Markup Language)-kieleen. Kullekin tiedostolle on tarkoin rajattu käyttötarkoituksensa. Mitä isompia ja täydellisempiä järjestelmäkokonaisuuksia toteutetaan, sitä enemmän tulee tarvetta eri SCL-tiedostotyypeille. Pieniä kokeellisempia järjestelmiä, joissa on vain yksi IED-laite, jossa on palvelinohjelma, ja asiakasohjelma toisessa laitteessa, voi tehdä pelkästään esimerkiksi ICD-tiedostoilla, sillä ne eivät yksin voi kuvata suurta järjestelmää. Liitteissä 1 ja 2 on SCL-koodiesimerkkejä, joista voi tutkia SCL-tiedostojen syntaksia.

Käytännössä IEC 61850-6 -standardi sisältää SCL-kielen mukaiset tavat esittää CID (Configured IED Description)-, ICD (IED Capability Description)-, SCD (System Configuration Description)- ja SSD (System Specification Description)-tiedostojen säännöt ja määritelmät, joilla konfiguraatiot laaditaan. (Pan, Sun & Ma, 2012: 1; Yun 2011: 2). Seuraavat alikappaleet kuvaavat tarkemmin SCL-tiedostoja syntaksiesimerkkien kanssa. Edellä mainittujen lisäksi standardi määrittää myös IID (Instantiated IED Description)-tiedostot ja SED (System Exchange Description)-tiedostot (IEC 61850-6 2009: 27). IID-tiedosto on tuotu uutena standardiin kuvaamaan IED-laitteen toteutusta, jonka suhteen on myös ollut ennestään epäselvyyttä standardin soveltamisessa (Brunner 2010). Työssä tutkituissa materiaaleissa IID- ja SED-tiedostoja ei havaittu käytettävän missään. Havainnollisempi standardin ohjemalli tyypillisistä SCL-tiedostojen käyttötarkoituksista on kuvassa 14.



Kuva 14. Standardin ohjemalli SCL-tiedostojen käyttökohteille (IEC 61850-6 2009: 13).

SCL-tiedostojen laatiminen on erittäin haastavaa ja vaatii syvää perehtyneisyyttä standardiin. Siitä huolimattakin se voi olla vaikeaa (Muschlitz 2013). Edellä mainittu ongelma näkyy myös siinä, että SCL-tiedostojen luomiseen tehdyt ohjelmistot eivät välttämättä toteuta standardin mukaista näkemystä, vaan sitä sovelletaan eri tavoilla, jolloin niitä soveltavien ohjelmistojen selkeys sekä käyttökokemus kärsivät merkittävästi. Näin on tapahtunut kun ohjelmistot ovat käytännössä sekoittaneet esimerkiksi ICD-tiedostojen ja CID-tiedostojen käyttötarkoituksia (Brunner 2010).

Tässä työssä tarvitsee määritellä ainoastaan ICD-tiedostoa, jolla voidaan kuvata yksittäisen IED-laitteen kykyä toteuttaa IEC 61850 -tietomallin palveluita. Käytetty ohjelmointikirjasto käyttää kyseistä tiedostoa myös suoraan IED-laitteen palvelinohjelman konfiguraationa, vaikka periaatteessa varsinainen konfiguraatio pitäisi tehdä CID-tiedostolla (IEC 61850-6 2009: 27). Ne ovat syntaksiltaan jokseenkin identtisiä. Suittio (2010: 52) diplomityössään kuitenkin toteaa, että joskus eri valmistajien laitteiden asiakasohjelman konfigurointiin tarvitsee käyttää CID-tiedostoa, sillä ICD-tiedosto ei sisällä kaikkia tarvittavia tietoja. Tällöin CID-tiedostolla voidaan kuvata paremmin haluttuja tietopisteitä, joita ei IED:n oma palvelinohjelma toteuta. Suittion käsittelemä tapaus ei kuitenkaan ole ihan sama tämän diplomityön tilanteessa, sillä LibIEC61850-kirjaston asiakasohjelmaa ei lähtökohtaisesti konfiguroida millään SCL-tiedostolla, vaan se toteutetaan ohjelmakoodilla. Tarkemmin ohjelmoinnista puhutaan kappaleessa neljä.

2.6.1 System Configuration Language (SCL)

SCL-kielellä kuvataan esim. sähköaseman automaatiojärjestelmän infrastruktuuria ja IED-laitteiden välistä kommunikointia. Kielen päätarkoituksena on, että IED-laitteiden konfiguraatioita voidaan käyttää ja vaihdella eri valmistajien SCL-kieltä tukevien järjestelmätyökalujen kanssa ilman yhteensopimattomuusongelmia, samalla myös eri valmistajien laitteiden kesken. SCL-kielen säännöt määritellään IEC 61850 XML-skematiedoistoissa, joita tulisi käyttää valmiiden SCL-tiedostojen syntaksin ja rakenteen tarkastukseen sekä validointiin. (IEC 61850-6 2009: 8; Starck ym. 2013: 1; Söderbacka 2013: 26–27.)

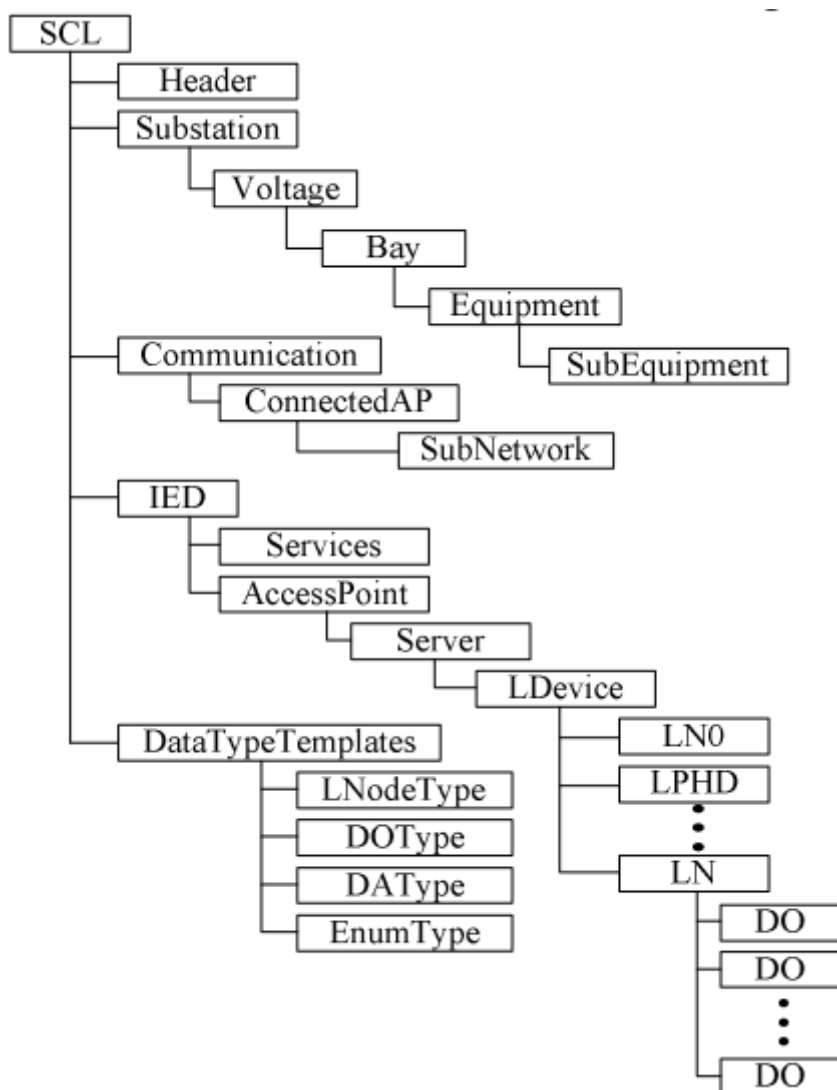
SCL-kielellä kuvataan seuraavanlaisia objektimalleja (Yun 2011: 1):

- Primaarijärjestelmän rakenne, jossa kuvataan laitteiden toiminnallisuudet ja miten laitteet ovat yhdistetty toisiinsa.
- Tietoliikennejärjestelmä, jossa kuvataan miten IED-laitteet liittyvät verkkoihin ja niiden aliverkkoihin.
- Sovellustason tietoliikennetietomalli ja sen tietorakenteiden ryhmittely muun muassa datajoukkoihin. Myös IED-laitteiden sisääntulodatan, ulostulodatan ja niiden sisältöjen perusteella toimimisen määrittely.
- Kaikki IED-laitteet, jotka sisältävät loogisia laitteita, loogisia solmuja, raportteja, datasisältöjä sekä muiden samanlaisten yhteys- ja lokiin kirjattavat tiedot.
- Loogisten solmujen ilmentymien tyyppimäärittelyt.
- IED-laitteiden loogisten solmujen ja kytkentäkentän laitteistojen toiminnallisuuksien keskinäinen suhde.

Tämän lisäksi SCL-tiedostoilla on määrätty rakenne, joka on havainnollistettu Kuva 15. SCL-tiedosto noudattaa yleisesti tämän kaltaista järjestystä, jolla voidaan kuvata esim. sähköautomaatiojärjestelmää (Yun 2011: 1–2):

- Otsikko (header) sisältää SCL-tiedoston tyyppin tunnistetiedot sekä versio- ja nimien signaalikuvaustiedot.
- Järjestelmä-elementti (tässä esimerkissä sähköasema, substation) kuvaa järjestelmän toiminnallisuusrakenteen, määrittelee primaarilaitteet ja niiden sähköiset liitokset.
- IED-elementti kuvaa IED-laitteen konfiguraatitiedot, johon sisältyvät sen tietoverkon liityntäpisteet (esimerkiksi IP-osoite), loogiset laitteet ja loogiset solmut. Lisäksi se määrittelee IED-laitteen kyvyt, kuten mitä tietoliikennepalveluita ja mitä dataobjekteja laite tarjoaa sekä määrittää näille IED-laitteessa käytettävät oletusarvot.
- Tietoliikennejärjestelmäelementti (Communication) kuvaa suorat tietoliikennesyhteysmahdollisuudet loogisten solmujen välillä aliverkkojen avulla sekä IED-laitteen dataobjektien viittaukset.

- Tietotyyppielementti (Data Type Templates) kuvaa loogisten solmujen, dataobjektien, data-attribuuttien ja lueteltujen tyyppien (enumerations) tietotyypit. Edellä mainitut tyytit voidaan yksilöidä tyyppin tunnuksen (type id) ja iedType-attribuutin avulla.



Kuva 15. SCL-tiedoston elementtien yleisrakenne (Yun 2011: 2).

2.6.2 System Specification Description (SSD)

SSD-tiedoston avulla järjestelmän kuvaus tuodaan järjestelmän määrittelytyökaluohjelmasta järjestelmäkonfiguraattorihjelmaan. Tiedosto sisältää yksiviivakuvausten järjestelmästä ja tarvittavista loogisista solmuista, joita ei vielä tässä vaiheessa kohdisteta IED-laitteisiin. Lisäksi tiedosto sisältää järjestelmänkuvausosion, tarvittavien tietotyyppien mallipohjat (data type template) ja loogisten solmujen määritelmät. (Yun 2011: 2; Apostolov 2010: 5)

2.6.3 IED Capability Description (ICD)

ICD-tiedostoa käytetään IED-laitteen kuvauksen tuomiseen IED-konfiguraattorista järjestelmäkonfiguraattoriin. Yleisesti tämä tiedosto on ennestään valmiina IED-laitteen lähtiessä valmistajan tehtaalta. Sen tulisi sisältää kolme SCL-elementtiä: Otsikko-, IED- ja tietotyyppien mallipohjaelementit. (Yun 2011: 2.)

Työssä käytetty IEC61850-testipalvelinohjelman ICD-tiedosto löytyy liitteestä 2.

2.6.4 Configured IED Description (CID)

CID-tiedostoa käytetään kuvauksen tuomiseen IED-konfiguraattorista IED-laitteeseen. Se kuvaa IED-laitteessa kyseisessä järjestelmässä käytettävät toiminnallisuudet. (Yun 2011: 2)

Kuten Brunner (2010) asiaa luonnehtii, CID-tiedostojen ja ICD-tiedostojen soveltamisen kanssa on ollut hankaluuksia. ABB:n suojuureille tarkoitetun PCM600-ohjelman avulla suoritetaan konfigurointeja esimerkiksi ABB REF 630 -suojuureille. DEMVE-laboratoriosta tallennettiin PCM600:sta CID-tiedosto tutkittavaksi. Verrattaessa saman ohjelman antamaan ABB REF 630 -laitteen ICD-tiedostoon kyseessä olivat jokseenkin identtiset tiedostot. Tiedostojen tutkimisen tuloksena ei nähty CID-tiedostolle muuta erityistä tarkoitusta kuin sen, että **asiakasohjelman** ACSI-toiminnallisuudet ja esimerkiksi tietoliikenteen yhteyspisteet voitaisiin konfiguroida siihen, koska ICD-tiedostolle tämä ei asiakasohjelman suhteen, työn pohjalta tehdyn tulkinnan mukaan, kuulu. Saman toteaa myös Suittio (2010: 52). CID-tiedostosta voisi kuitenkin kehittyä käytännöllisempi standardin kehittyessä ja sitä voi pitää täysin

mahdollisena. Seuraavana on ote SCL-koodista, joka on ABB PCM600 -ohjelmiston antamasta CID-tiedostosta ABB REF 630 -IED-laitteen kuvauksen aloittava elementti. Oteesta on myös nähtävissä IED-laitteen palvelinohjelmiston konfiguraation tukemat ACSI-palvelut service-elementin sisällä:

```
<IED name="TEMPLATE" desc="REF630" type="IED630" manufacturer="ABB"
configVersion="REF630ver1.1.0.1">
  <Private type="ABBPCMInternalObjRef">363a938f-175d-4b25-a4c1-
e169acda41a4</Private>
  <Private type="ABB_PCMObjectTypeName">REF630</Private>
  <Private type="ABB_PCMIEDConfigurationTemplate">
</Private>
  <Services>
    <DynAssociation />
    <SettingGroups />
    <GetDirectory />
    <GetDataObjectDefinition />
    <DataObjectDirectory />
    <GetDataSetValue />
    <ConfDataSet max="100" maxAttributes="300" />
    <ReadWrite />
    <ConfReportControl max="100" />
    <GetCBValues />
    <ReportSettings datSet="Conf" rptID="Dyn" optFields="Dyn"
bufTime="Dyn" trgOps="Dyn" intgPd="Dyn" />
    <GSESettings datSet="Conf" appID="Conf" />
    <GOOSE max="20" />
  </Services>
```

2.6.5 System Specification Description (SCD)

SCD-tiedoston avulla tuodaan tietoa järjestelmäkonfiguraattorista IED-konfiguraattoriin. Se kuvaa kaikki järjestelmän IED-laitteiden tunnistet, tietoliikennekonfiguraatiot ja järjestelmäkuvaus-osiot. (Yun 2011: 2.)

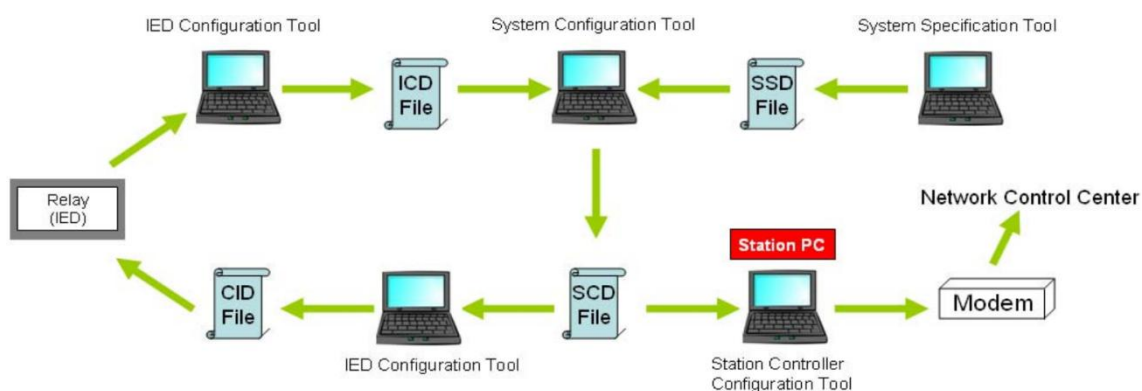
SCD-tiedosto ja sen suhde reaali maailman järjestelmään ovat esitelty liitteessä 1.

2.6.6 IEC 61850 -konfigurointiprosessi

IEC 61850-4 -standardi antaa ohjesuosituksen, miten toteuttaa ja johtaa sähköasema-automaation tietoliikennejärjestelmäprojektia. Se mainitsee myös keskeiset tehtävät työt järjestelmän rakentamisen eri vaiheissa. Konfigurointeja tehdään käytännössä silloin kun lähes kaikki tai kaikki rakenteelliset seikat ovat valmiina. Standardi mainitsee myös ohjelmistotyökalujen keskeiset ominaisuudet, joita tarvitaan standardin mukaiseen

konfigurointiin. Konfiguroinnin oleellisena osana on myös konfiguraatioiden testaaminen ja toimivuuden toteaminen, jonka jälkeen järjestelmä voidaan normaalisti ottaa käyttöön. Käyttöönoton jälkeen konfiguraatioiden avulla voidaan hallita tarvittavia muutoksia järjestelmän elinkaaren aikana kuten päivityksiä, laajennuksia ja ylläpitoa. (IEC 61850-4 2011: 11-19, 24–27.)

Kuva 16 havainnollistaa käytännöllistä mallia konfigurointiprosessille. Työssä esimerkkinä viitataan ABB REF 615 IEC 61850 Engineering manual -opaskirjan tarjoamaan ohjeistukseen, jotta käytännön työstä IEC 61850 -konfiguroinnissa voisi muodostaa yhteyden standardin ja reaali maailman sovelluksen välille. Opaskirja on pituudeltaan yli 100 sivua ja sisältää seikkaperäiset ohjeet monelle IEC 61850 -konfiguraatiolle, kuten GOOSE ja SV-protokollien konfiguroinnille. Viitatuksi osaksi valittiin ohjeistus SV-protokollan dataliikenteen konfigurointiprosessille, jossa ohjeen mukaisesti laadittu konfiguraatio ladataan lopuksi REF 615 -suojareleeseen, joka on IEC 61850 -standardin mukainen IED-laite.



Kuva 16. SCL-tiedostojen konfigurointiprosessi havainnollistettuna (Aguilar & Ariza 2010: 2).

SV-konfigurointi laaditaan IEC 61850 -konfiguraattorilla, jolla hallitaan SV-paketin lähettäjän ja vastaanottajan yhteys, jolloin suoritetaan tarkemmin sanottuna niin sanottu julkaisija-tilaajayhteyden määrittely, jota **käsitellään tarkemmin kappaleissa 2.5.4 ja**

2.5.6. Oppaan osuus on alleviivattu. Joitain kohtia on täydennetty kommentteilla (ABB Group 2014: 61–64):

- 1) Käynnistä IEC 61850 Configuration tool-ohjelma.
- 2) Valitse alavetovalikosta "Process Bus Communication". Käsky viittaa IEC 61850 -prosessiväylän konfigurointiin IEC 61850-9-2 -standardin mukaisesti. SV-paketin lähettäjä-IED-laite ja mahdollinen SV-paketin vastaanottaja-IED-laite ilmestyvät näkyville ohjelmaan.
- 3) Muokkaa SV-ohjausyksikön (SVCB, Sampled Values Control Block) ominaisuudet ja osoitteet. Ennen seuraavaa kohtaa ohjeistus huomauttaa: jotkut Ethernet-kytkimet eivät tue Ethernet-liikenteen multicast-suodatusta, jos VLAN-konfiguraatioarvo on 0 tai 1. Suositellut arvot ovat välillä 2 ja 1001. Toisena huomautuksena ennen seuraavaa kohtaa ohje neuvoo yksilöllisen multicast-osoitteen käyttämisestä jokaiselle SVCB-yksikölle. Osoitealue SV-tietoliikenteen multicast-osoitteille on 01-0C-CD-04-00-00..01-0C-CD-04-01-FF. Käytännössä multicast-osoitteilla ohje tarkoittaa IED-laitteiden kommunikointirajapinnan MAC-osoitteita, joille IEC 61850-9-2 määrittää sallitun välin, jota käytetään SV-tietoliikenteen konfiguroinnissa.
- 4) Yhdistä SV-paketin lähettäjälaite vastaanottajalaitteisiin.
- 5) PCM600-ohjelmassa valitse "Write to IED". Tässä kohtaa ohje huomauttaa, että mikäli konfiguraatio päivittyy laitteisiin siten, että se vaikuttaa SVCB-yksikön "Conf.Rev" (konfiguraatioversio) arvoon, niin SV-pakettien lähettäjälaitteen ja kaikkien vastaanottajalaitteiden konfiguraatiot pitää uudelleenkirjoittaa PCM600-ohjelmalla. Tässä kohdassa on käytännössä kyse vastaavasta tilanteesta kuin kuvassa 16, jossa CID-tiedoston avulla konfiguraatio ladataan IED-laitteeseen.

2.7 Verkkorakenteet kahdennetulle IEC 61850 -tietoliikenteelle

Alun perin IEC 61850 -standardissa ei käsitelty sähköasemien tietoliikenteen osalta menetelmiä kahdennetuista, redundantisista menetelmistä tai edes Ethernet-verkkotopologioista. Tämän seurauksena laitteistovalmistajat alkoivat kehittämään omia

redundanttisia menetelmiään. Nämä olisivat taas uhanneet IEC 61850 -standardin yhtä alkuperäistä ideaa: eri valmistajien laitteiden yhteensopivuutta. Estääkseen edellä mainitun uhkakuvan toteutumista IEC 62439 -standardi otettiin esille. IEC 61850 soveltaa kahta IEC 62439-3 -standardissa määriteltyä redundanssiprotokollaa: PRP (Parallel Redundancy Protocol)- ja HSR (High-availability Seamless Redundancy)-protokollia. (Taikina-aho 2011: 53.)

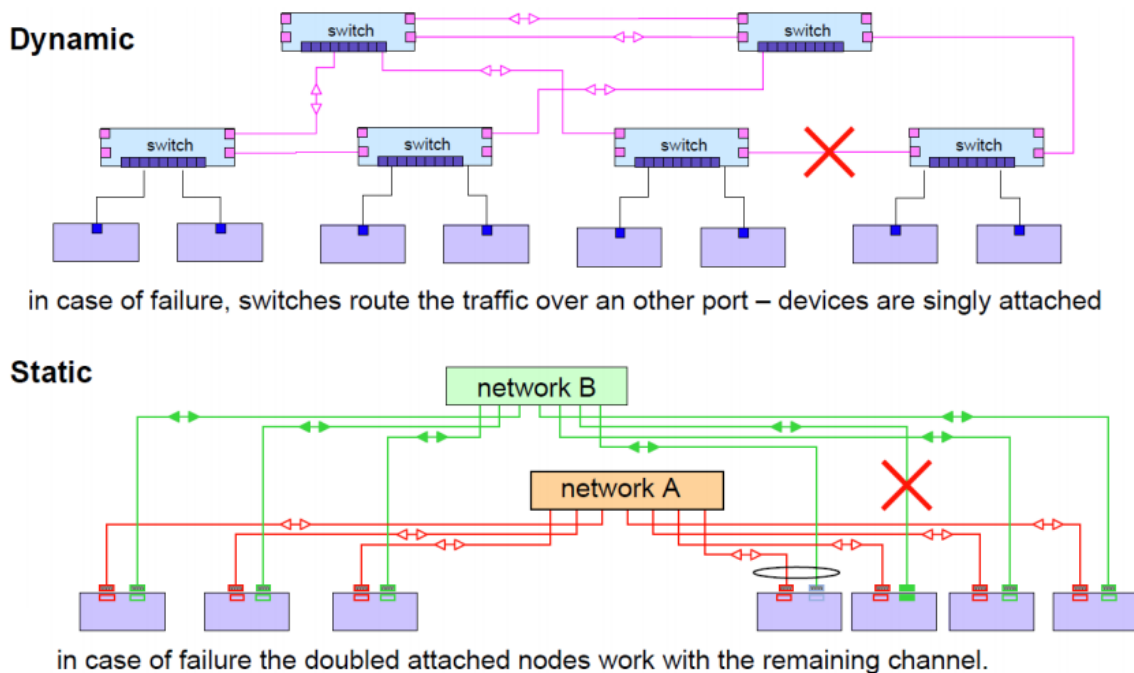
Kahdennettu tietoliikenne toteutetaan tarvittaessa IEC61850 -asema- ja -prosessiväylällä, jossa vaaditaan joko välitöntä (seamless recovery) tai erittäin nopeaa tietoliikenneyhteyden palautumista. Välitön palautuminen on erityisen tärkeää prosessiväylällä, koska yhdenkin SV-pakettiin pakattu analogimittauksen katoaminen näkyy mittauskatkoksenä. Taulukko 7 havainnollistaa palautumisajat IEC 61850 -standardin tietoliikennesovelluksille tapauksittain. Taulukon sisältö on IEC 61850 TC57 WG10 -työryhmän määrittelemä. (Taikina-aho 2011: 53.)

Taulukko 7. IEC TC57 WG10 -työryhmän määrittelemät palautumisaikavaatimukset tietoliikenteelle (Taikina-aho 2011: 53).

Tietoliikenteen osapuolet	Väylä	Palautumisaika
SCADA - IED, asiakas-palvelinyhteys	Asemaväylä	400 ms
IED - IED, vyöhykeselektiivinen lukitseminen (interlocking)	Asemaväylä	4 ms
IED - IED, suunnattu ylivirtasuojaus (reverse blocking)	Asemaväylä	4 ms
Kiskosuojaus	Asemaväylä	0 ms (välitön)
Sampled Values-protokolla	Prosessiväylä	0 ms (välitön)

Redundanssimenetelmät voidaan jaotella tyyppin perusteella. IEC 62439 jakaa redundanssimenetelmät kahteen luokkaan, joihin kaikki nykyiset ja uudet IEC 62439-redundanssiprotokollat voidaan jakaa (ABB Group 2010: 59–60; Taikina-aho 2011: 55):

- Tietoverkon sisällä hallittu redundanssi (dynaaminen redundanssi)
 - Yhteysreitit vikaantuessa reititin ohjaa tietoliikenteen reitittävän laitteen toiseen fyysiseen porttiin (ks. kuva 17).
- Tietoliikenteen päätepisteissä hallittu redundanssi (staattinen redundanssi)
 - Yhteysreitit vikaantuessa kahdennetusta tietoliikennereiteistä ehjää käytetään, kun vikaantunut reitti estyy toimimasta (ks. kuva 17).



Kuva 17. Dynaaminen ja staattinen redundanssi IEC 62439 mukaan (Kirmann 2006: 21).

PRP ja HSR kuuluvat staattisen redundanssin luokkaan. Tällöin ei tule yhtään Ethernet-pakettien katoamisia, mutta IED-laitteiden pitää erikseen tukea näitä protokollia. IEC

61850 -standardissa on valittu nämä protokollat, koska yhden tietoliikennereitin vikaantuessa datapaketteja ei katoa (Taikina-aho 2011: 81).

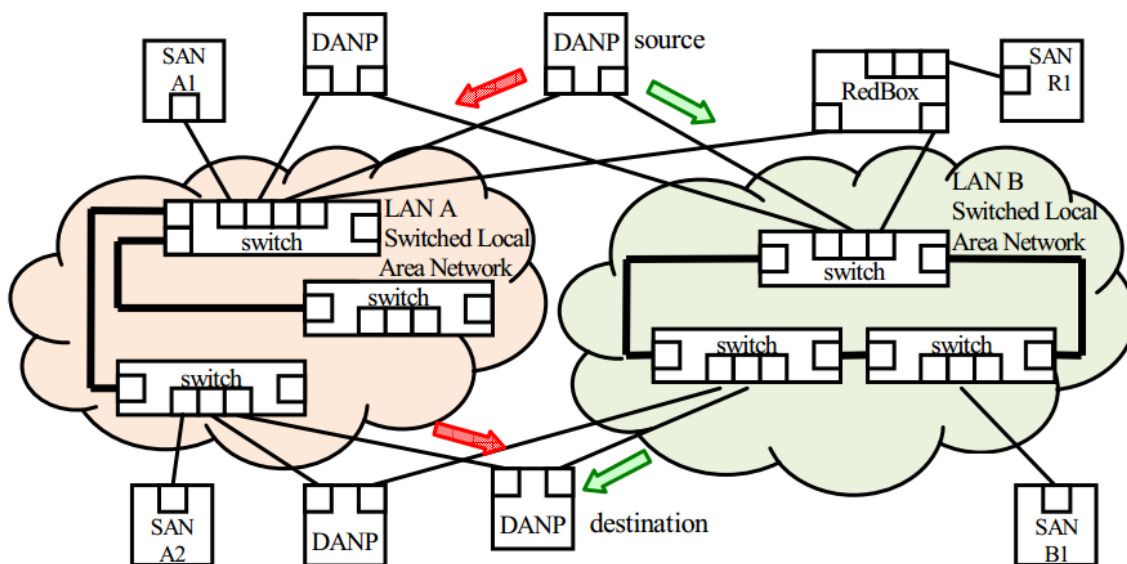
PRP-protokollan avulla on helpompi integroida verkkorakenteeseen ei-redundanttisia laitteita, kun taas HSR-protokollan avulla voi rakentaa kustannustehokkaita rengas-topologioita. Vastaavasti PRP-protokollan avulla kaikki verkon komponentit pitää olla kaksinkertaisena, joka nostaa PRP-verkon kustannuksia (ABB Group 2010: 60; Taikina-aho 2011: 67).

Käytännöllisiä esimerkkejä protokollien hyödyntämisestä ehdottaa Harada (2013), jonka mukaan HSR olisi oikea ehdokas kompakteille GIS (Gas Insulated Switchgear)-laitteistojen sähköasemille. Harada myös ehdottaa PRP- ja HSR-protokollan hybridiratkaisua EHV (Extra High Voltage)-sähköasemille. RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol)-protokollan heikkoudet, kuten viiveellinen palautuminen, voitaisiin poistaa käyttämällä nykyisissä sähköasema-automaatiojärjestelmissä HSR-protokollaa. (Harada 2013.)

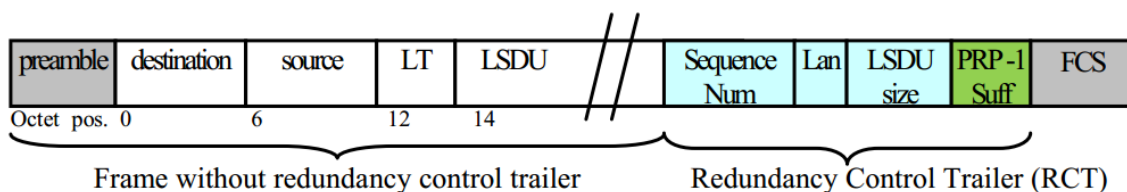
2.7.1 Parallel Redundancy Protocol (PRP)

Jokaista laitetta, joka käyttää PRP-protokollaa kutsutaan DANP (Doubly Attached Node with PRP)-solmuksi. DANP-solmussa on kaksi tietoliikenneliityntää joista kumpikin ovat liitettyinä eri verkkoihin, jotka toimivat rinnakkain. PRP-protokolla perustuu pakettien kahdentamiseen. Lähettävä DANP-solmu lähettää saman paketin yhtäaikaaisesti kumpaankiin rinnakkaisverkkoon ja vastaanottava DANP-solmu vastaanottaa kummankin verkon paketin tietyssä ajassa. Ensimmäisenä saapunut paketti käytetään ja toisena saapunut kopio hylätään. DANP-solmun tarvitsee ylläpitää ja hallita kahta verkkoa. Vain yhden fyysisen tietoliikenneyhteyden omaavia SAN (Single Attached Node)-solmuja on helpohkoa lisätä PRP-verkon osaksi, joko yhdistämällä se suoraan PRP-verkon kytkimeen, jolloin se liittyy vain toiseen rinnakkaisverkkoon tai RedBoxin(Redundancy Box)-laitteen avulla, joka kahdentaa SAN-solmun liikenteen PRP-liikenteeksi. Kuva 18 havainnollistaa PRP-verkon topologiaa ja sen kahta samanlaista rinnakkaisverkkorakennetta. Kuva 19 puolestaan havainnollistaa standardin

mukaista PRP-pakettia. (Taikina-aho 2011: 56, 67; Araujo, Lazaro, Astarloa, Zuloaga & Garcia 2013): 1.)



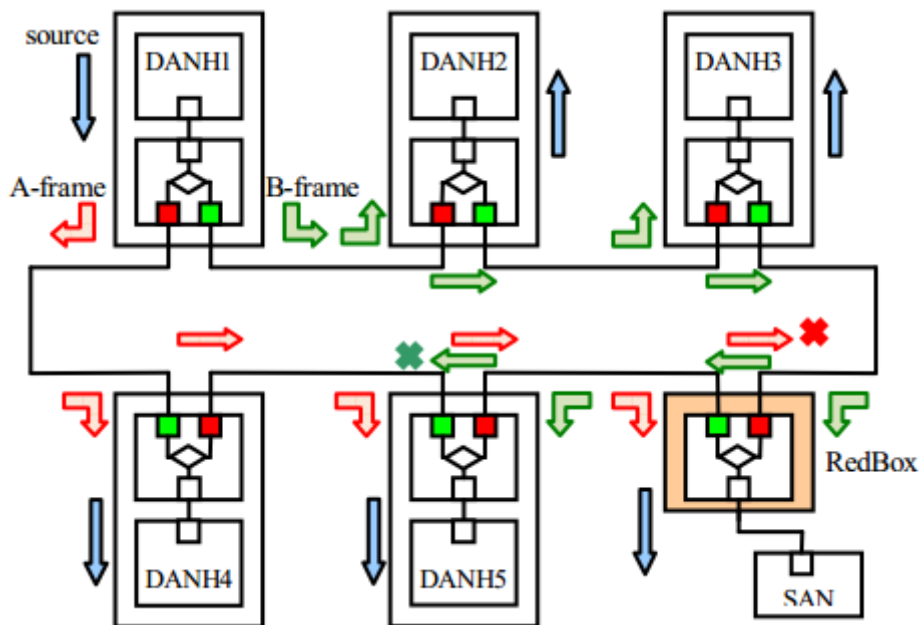
Kuva 18. Topologiakaavio PRP-verkon rinnakkaisrakenteesta (Araujo, Lazaro, Astarloa ym. 2013: 1).



Kuva 19. IEC62439-3 ed.2.0 standardin määrittämä rakenne PRP-paketille (Araujo ym. 2013: 2)

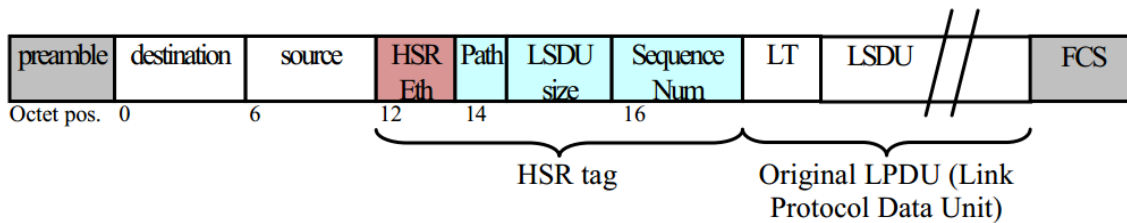
2.7.2 High-availability Seamless Redundancy (HSR)

Laitteita, jotka käyttävät HSR-protokollaa kutsutaan DANH (Doubly Attached Node with HSR)-solmuiksi. HSR-solmuissa tulee PRP:n mukaisesti myös olla kaksi fyysistä tietoliikenneliityntää, jolla DANH-solmu liittyy HSR-verkon rengasrakenteeseen. Tietoliikenteen paketit myös kahdennetaan HSR-verkossa ja lähetetään kumpaankin suuntaan rengasverkossa ja vastaanottaja huolii ensimmäisenä saapuneen paketin. Kaikkien DANH-solmujen pitää välittää paketteja eteenpäin tietoliikenneliityntöjensä läpi rengasrakenteesta johtuen. Paketin lähettäjän vastuulla on hallita HSR-paketin tarpeettoman duplikaattiviestin poistaminen verkosta, kun se saapuu takaisin vastaanottajalle. Täten estetään pakettien turha kiertäminen ja ylimääräinen tietoliikennekuorma HSR-rengasverkossa. HSR-verkkoon ei voi liittää SAN-solmua muuten kuin RedBoxin avulla. Kuva 20 havainnollistaa HSR-verkon rengasrakennetta ja tietoliikenneperiaatetta. (Araujo ym. 2013: 2–4.)



Kuva 20. Topologiakaavio HSR-verkon rengasrakenteesta (Araujo ym. 2013: 2).

Tulee huomata, että **IEC62439-3 ed.2.0 -standardissa** HSR-protokollan rakennetta muutettiin siten, että sen **Ethertype-kehys muuttui 0x88FB:stä 0x892F:ksi**. Nyt HSR-liikenneteellä on oma Ether-type-kehys, kun edellisessä standardin versiossa HSR- ja PRP-protokollien Ether-type-kehys oli sama. Kuva 21 havainnollistaa standardin mukaisen HSR-paketin rakennetta. (Araujo ym. 2013: 2.)



Kuva 21. IEC62439-3 ed.2.0 standardin määrittämä rakenne HSR-paketille (Araujo ym. 2013: 2).

2.7.3 PRP- ja HSR-protokollien ominaisuuksien vertailua

IEC 61850 -standardissa on määritelty HSR- ja PRP-protokollat vaihtoehtoina luotettavalle tietoliikenteelle. Kummallakin protokollalla voi ajaa saman asian, mutta verkon rakentaminen PRP-protokollalle maksaa enemmän suunnilleen kaksinkertaisen komponenttimäärän takia, mutta PRP-pakettien käsittely voidaan toteuttaa ohjelmallisesti. HSR-verkko on taas edullisempi rakentaa, mutta monimutkaisempi toteuttaa, koska pakettien välittäminen tulisi mielellään toteuttaa erillisellä fyysisellä prosessorilla, joka hoitaisi HSR-pakettien käsittelyn. Kummatkin protokollat tukevat erittäin tarkkaan kello-synkronointiin tarvittavaa IEEE 1588 -standardin määrittelemää PTP-protokollaa. PRP-protokollan suhteen ei tietoliikennekuorma ole suurikaan ongelma, sillä verkot ovat rinnakkaiset eivätkä vaikuta toisiinsa mitenkään. HSR-verkossa taas yhden fyysisen verkon sisällä kulkee kaksinkertainen tietoliikenne, joka käytännössä puolittaa verkon tietoliikennekapasiteetin. Kaksi HSR-rengasverkkoa voidaan liittää yhteen niin sanotun QuadBox-laitteen avulla, joka on periaatteessa sama kuin kaksi yhteenliitettyä RedBox-laitetta. Taulukko 8 kerää yhteen PRP- ja HSR-

protokollien ominaisuuksia. Lisäksi taulukossa on myös RSTP-protokollan vastaavat ominaisuudet vertailun vuoksi. (Taikina-aho 2011: 77–83; Araujo ym. 2013: 1–6; Starck, Hakala-Ranta & Stefanka 2012: 7.)

Taulukko 8. PRP- ja HSR-protokollien ominaisuuksia, vertailun vuoksi mukana myös RSTP-protokolla (Taikina-aho 2011: 81).

Ominaisuus	RSTP	PRP	HSR
Standardi	IEEE 802.1D	IEC62439-3	IEC62439-3
Pakettien katoamista verkon vikaantuessa?	Kyllä	Ei	Ei
Redundanssin käsittely	Verkossa (dynaaminen)	Päätesolmuissa (staattinen)	Päätesolmuissa (staattinen)
Palautumisaika	n. 5 ms / verkkokytkin rengasrakenteessa, riippuu toteutuksesta	Välitön, 0 ms	Välitön, 0 ms
Huomioitavaa kustannuksissa	Ei lisäkustannuksia, protokolla toteutettu Ethernet-kytkimissä	Tuplamäärä Ethernet-kytkimiä ja muita verkkotarvikkeita. Päätesolmujen pitää tukea	Muutama ylimääräinen yhteys, muttei tarvitse ylimääräisiä kytkimiä. Päätesolmujen pitää tukea
Tukee RSTP-protokollaa?	RSTP	Kyllä	Kyllä
SAN-solmujen liitynnät	Vain SAN-solmuja	Toiseen rinnakkaisverkkoon tai RedBoxilla	Vain RedBoxilla
Solmujen maksimimäärä	40	Ei määritelty protokollassa	Ei määritelty protokollassa, riippuu kuitenkin rengasverkon tietoliikenteestä
Lisenssihintatoteuttamiselle	Ilmainen	Ilmainen	Ilmainen
Viitattu IEC 61850-standardissa	Kyllä	Kyllä	Kyllä

2.8 IEC 61850 -väylien laitteet

2.8.1 Kytkimet

Sähköasemaprojekteihin hankitaan reitittämään ja kytkemään tietoliikenneyhteyksiä erikoisvalmisteiset teollisuuden Ethernet-verkon reitittimet ja kytkimet, jotka tukevat IEC 61850 -standardin tietoliikennettä, sekä läpäisevät IEC 61850-3 -standardin asettamat olosuhdevaatimukset. Erikoiskytkimet ovat erittäin nopeita ja niillä on mahdollista hallita ongelmitta suurempia tietoliikennekapasiteetteja, mikäli verkon topologia on huolellisesti suunniteltu.

Mikäli verkon suorituskyky ja sen aikakriittisyys ei ole äärettömän tärkeää voi muun muassa IEC 61850 -kehitysympäristössä käyttää ihan yleisesti saatavaa tavallista Ethernet-kytkintä. Jos tarvitsee hyödyntää GOOSE- tai SV-viestintää, kytkimen tulee tukea IEEE 802.1Q-standardia, joka sisältää tuen VLAN:lle ja Ethernet-pakettien prioriteettimerkinnälle. (Schwarz 2011.)

Eräs tunnettu valmistaja teollisuustason IEC 61850 -kytkimille ja -reitittimille on RuggedCom, joka on nykyään Siemensin omistuksessa (Financial Post 2012). Eräästä internet-kaupasta löytyi käytetty RuggedCom RS900G-HI-D-SFP-C01 -mallin Ethernet-kytkin, joka täyttää IEC 61850 -standardien vaatimukset, noin 82 euron hintaan. Uusia kytkimiä, kuten GarrettCom Magnum mP62 -mallin kytkimiä sai noin kahdella sadalla eurolla. Tulee huomata, että esimerkkinä mainitut mallit olivat hyvin rajoittuneita esimerkiksi Ethernet-liityntöjen määrän suhteen, joka näissä laitteissa oli 6-8 kappaletta, joten IEC 61850 -verkkohallintalaitteet voivat maksaa vielä selvästi enemmän.

2.8.2 IED-laitteet

Oikeastaan melkein kaikki IEC 61850 -väylillä kommunikoivat laitteet ovat IED-laitteita, sillä IED-laite IEC 61850 -standardin määrittelemänä on itsenäinen kokonaisuus, joka suorittaa ohjaus-, liikkumis- ja/tai aistimistoiminnallisuuksia sekä muodostaa yhteyksiä oman rajapintansa kautta muihin samankaltaisiin automaatiojärjestelmän laitteisiin. (IEC 61850-7-2 2010: 13.)

Esimerkkeinä IED-laitteista voidaan mainita muun muassa suojareleet, yhdyskäytävälaitteet ja merging unit-laitteet. Kappalehinnat esimerkiksi tämän päivän suojareleillä voivat alkaa noin 950 Yhdysvaltojen dollarista aina lähes 4000 dollariin. Tulee ottaa huomioon, että kutakin suojarelemallia valmistetaan vuodessa yleensä vain muutamia tuhansia kappaleita, joten yksikköhinnat pysyvät pienten valmistusmäärien takia korkeahkoina. (Electronics 360 2012.)

3 JÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT

Diplomityön ohjelmistot, jotka toteuttavat IEC 61850 -tietoliikenteen, on tarkoitettu suoritettavaksi ARM-proessoriarkkitehtuuriin perustuvissa sulautetuissa Linux-järjestelmissä, jotka ovat viime vuosina yleistyneet nopeasti muun muassa Raspberry Pi-tietokoneen myötä. LibIEC61850-kirjaston avulla on myös mahdollista toteuttaa ja ajaa IEC 61850 -ohjelmistoja PC-tietokoneella. Tarkemmin sanottuna lähes millä laitteella vain, joka kykenee suorittamaan C-koodista käännettyä ohjelmaa ja kykenee kommunikoimaan Ethernet-verkossa.

Järjestelmän liikenne vastaa samanlaista liikennettä, jota reaali maailman sähköasemalla tapahtuisi pääosin IEC 61850 -asemaväylällä IED-laitteiden välillä. Kommunikointi tapahtuu käytännössä kokonaan MMS-protokollalla, mutta myös GOOSE-protokollaa olisi mahdollista käyttää, sillä LibIEC61850-kirjasto tukee GOOSE-viestintää. Järjestelmä olisi luontevasti myös liitettävissä asiakasohjelmiston kautta internetin ylitse SCADA-järjestelmään, jolloin voitaisiin puhua yhdyskäytäväratkaisusta IEC 61850 -väylien ja internet-palveluiden välillä.

3.1 Sulautettu Linux-järjestelmä

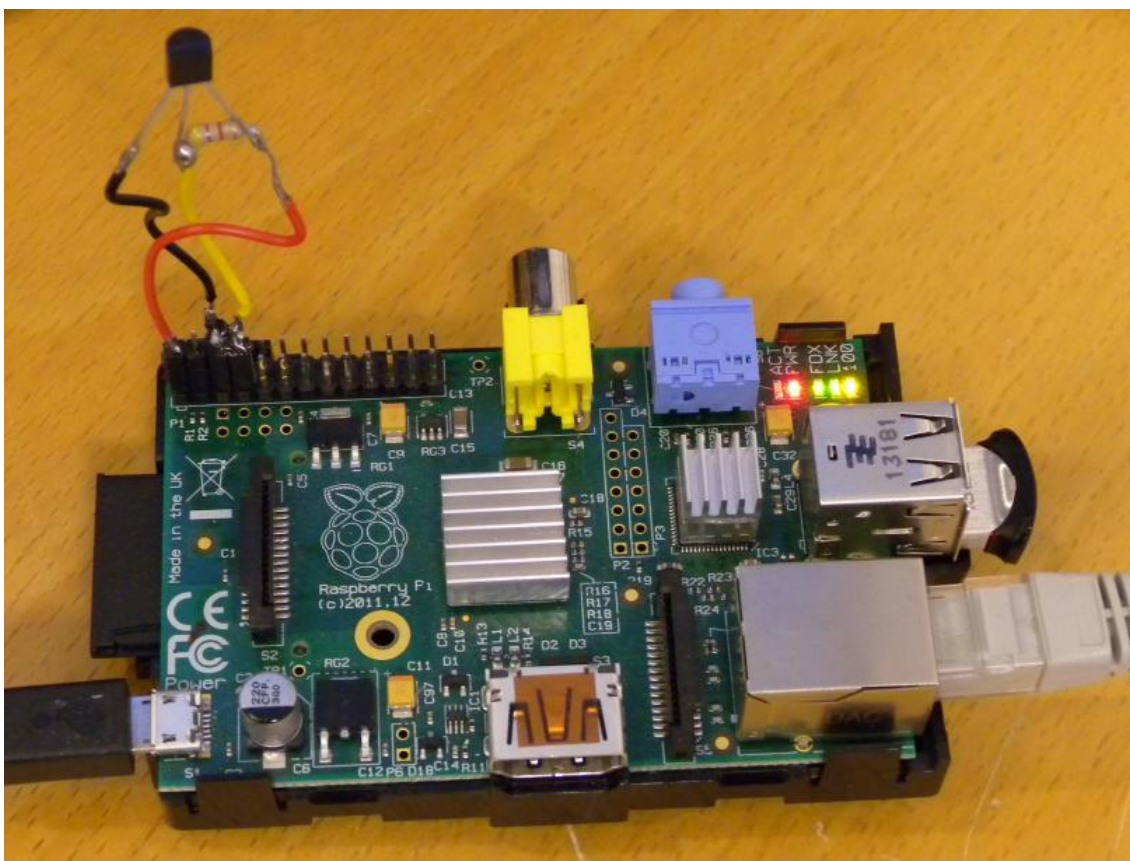
Sulautetut Linux-käyttöjärjestelmät ovat suosituin käyttöjärjestelmäryhmä kehittyneemmille ja hieman tehokkaammille sulautetuille järjestelmille. Työssä käytettiin LibIEC61850-kirjastolla kehitettyjen ohjelmistojen suorittamiseen Raspberry Pi rev. B -tietokonetta ja Wapicen kehittämää WRM247+-tietokonetta, joka perustuvat räätälöityihin Linux-ytimiin kyseisille laitealustoille.

3.1.1 Raspberry Pi rev. B.

Raspberry Pi -tietokoneet ovat pienikokoisia ja erittäin edullisia hinnaltaan sekä Suomestakin helposti saatavilla. Raspberry P -laitteen avulla on helpohkoa aloittaa kokeellisten järjestelmien kehittäminen, sillä siihen saa liitettyä jonkin verran antureita

ja muita lisälaitteita, joiden avulla automaatiojärjestelmätkin yleensä toimivat. Tärkeimmät Raspberry Pi -laitteen ominaisuudet ovat muun muassa 2 kappaletta USB (Universal Serial Bus)-portteja, HDMI (High-Definition Multimedia Interface)-ulostulo, kameraliitin, Ethernet-liityntä ja GPIO (General Purpose Input/Output)-piikkirimat. Raspberry Pi -tietokone koostuu BCM2835-järjestelmäpiiristä, johon kuuluu pääprosessori ja grafiikkaprosessori. Laitteen ROM (Read Only Memory)-muistina toimii käyttäjän itse hankkima SD (Secure Digital)-muistikortti tai USB-muisti. Laite on varustettu 512 megatavun keskusmuistilla. Raspberry Pi -laitteen arvellaan vastaavan laskennalliselta suorituskyvyltään nyt jo vanhaa 300 MHz Pentium 2 -tietokonetta, mutta selvästi paremmalla grafiikkasuorituskyvyllä. (Raspberry Pi Foundation 2015a; Raspberry Pi Foundation 2015b.)

Raspberry Pi toimi tässä työssä IED-laitteena, jossa on IEC 61850 -palvelinohjelma, joka tarjoaa lämpöanturidataa IEC 61850 -standardin mukaisesti. IED-laitteen tietomalliin on konfiguroitu standardin mukaisesti mukaisesti looginen solmu TTMP, jonka tehtävänä on tarjota lämpötilatietoa lämpöanturilta. IED-laitteena toimiva Raspberry Pi -tietokone on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. 1-wire lämpöanturi Raspberry Pi -tietokoneeseen kytkettynä.

3.1.2 WRM 247+

WRM247+-tietokone on Wapicen vuonna 2014 julkistama sulautettuun Linux-järjestelmään perustuva mukautuva laite, joka voidaan räätälöidä esimerkiksi teollisuusympäristöön halutun asetelman mukaiseksi niin ohjelmistoltaan kuin elektroniikaltaan. WRM247+ on WRM247-tietokoneen seuraajamalli, joka tarjoaa parempaa suorituskykyä ja monipuolisempia liitännäismahdollisuuksia verrattuna WRM247-malliin. Lisätietoa järjestelmästä saa osoitteesta www.wrm.fi. Tässä työssä WRM247+-tietokone suorittaa IEC 61850 -asiakasohjelmaa, joka ottaa yhteyttä Raspberry Pi -tietokoneen IEC 61850 -palvelinohjelmaan. Kuvassa 23 on esitetty eräs WRM247+-tietokone.



Kuva 23. Wapice WRM247+-tietokone.

3.2 Käytetyt Linux-käyttöjärjestelmät

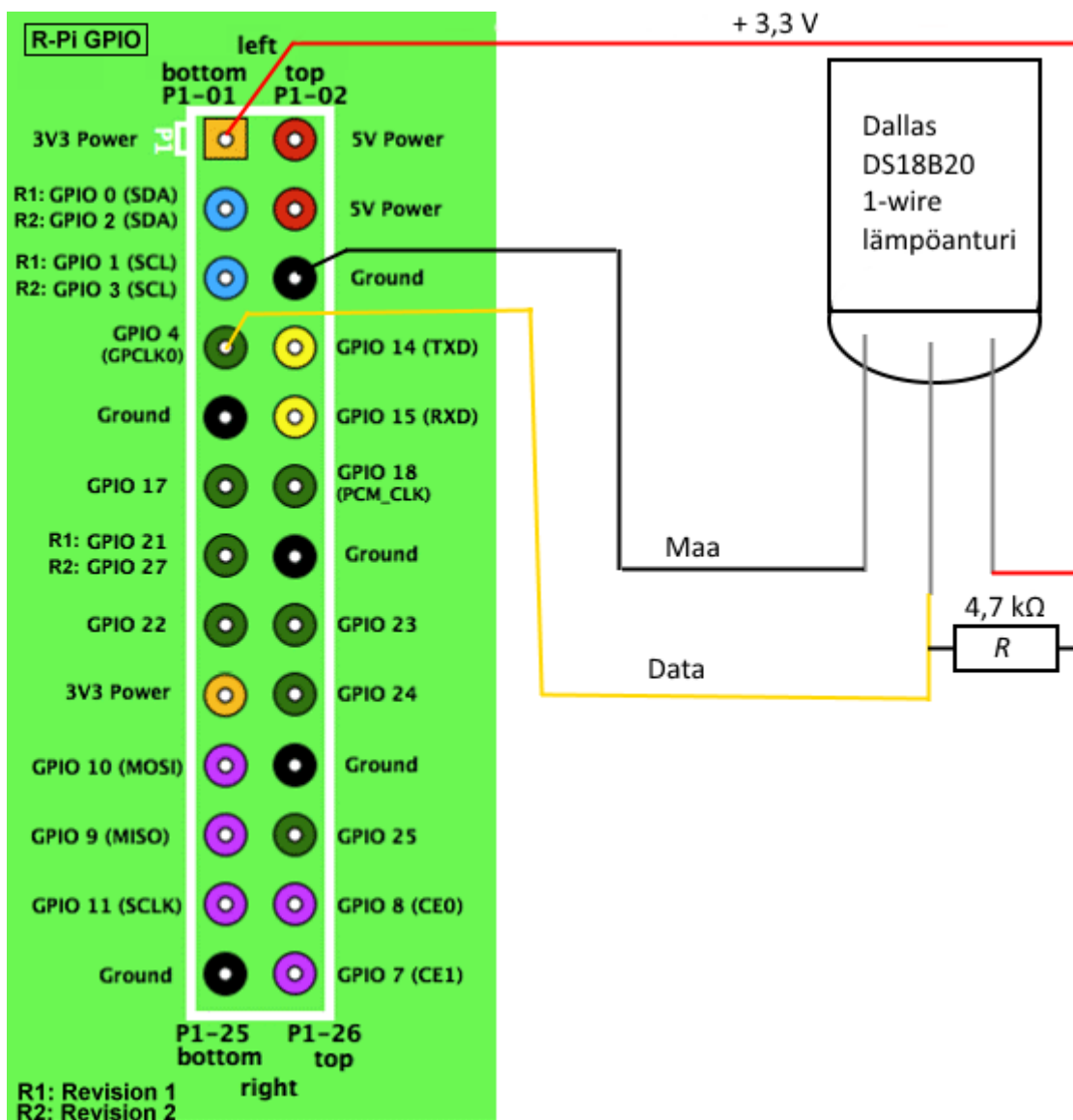
Raspberry Pi -tietokoneessa käytettiin sille erityisesti räätälöityä Raspbian-käyttöjärjestelmäjakelua, joka perustuu Linux Debian -jakeluun ARM-arkkitehtuurin prosessoreille. Raspbian-käyttöjärjestelmän kehitys on jatkunut erittäin aktiivisena koko Raspberry Pi -tietokoneen elinkaaren ajan ja se onkin yksi suosituimmista jakeluista Raspberry Pi-laitteille. (Raspberry Pi Foundation 2015b).

WRM247+-tietokoneen käyttöjärjestelmä perustuu Linux-ytimeen, joka on tietokoneen ominaisuuksien, kuten eri järjestelmäpiirien, mukaan räätälöity.

3.3 Lämpöanturi

Työssä toteutetussa järjestelmässä mitataan lämpötilaa Dallas Semiconductor DS18B20-lämpöanturilla, joka käyttää 1-wire tiedonsiirtoprotokollaa. Anturi asennetaan kytkemällä se 4,7 k Ω ylösvetovastuksen kanssa Raspberry Pi -laitteen

GPIO-piikkirimoihin, joiden kautta lämpötilatieto saadaan Raspberry Pi-tietokoneen Linux-pohjaisessa Raspbian-käyttöjärjestelmässä ohjelmallisesti luettua anturista 1-wire protokollalla. Valmis anturiasetus on kuvassa 22 ja kytkennän yksityiskohdat on selostettuna kuvassa 24.



Kuva 24. Dallas DS18B20 lämpöanturin kytkentäohje Raspberry Pi -tietokoneeseen (sovellettu Embedded Linux Wiki 2015).

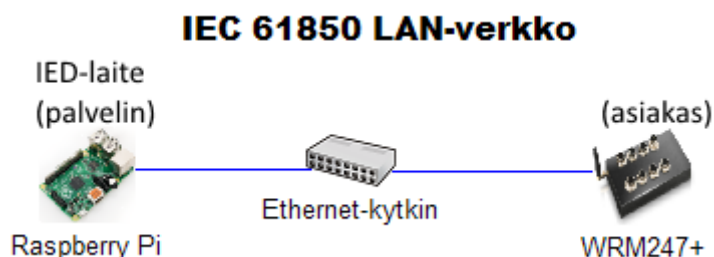
3.4 Valitut IEC 61850 -konfigurointityökalut

Työssä kokeiltiin muun muassa IED Modeler-ohjelmaa, joka sisälsi paljon hyviä ominaisuuksia, kuten opastekstit, jotka tuntuivat melko kattavilta. Opastekstit helpottivat loogisten solmujen valintaa ICD-konfigurointia laadittaessa. Ohjelmisto vaikutti kuitenkin vielä keskeneräiseltä ja sen takia hankalalta käyttää jopa pieniä konfiguraation muutoksia tehtäessä. Vastaavanlainen PC-ohjelmisto on myös OpenSCLConfigurator, mutta se vaikutti vieläkin keskeneräisemmältä kuin IED Modeler.

Lopulta konfiguraatio päädyttiin muokkaamaan XML-tiedoston Oxygen XML Editorilla, joka ei ole mitenkään IEC 61850 -spesifinen vaan yleiskäyttöinen XML-editori, jolla sovellettiin valmiita mallipohjia ICD-tiedostoille. XML-editorilla laadittu valmis testipalvelinohjelmiston ICD-konfiguraatio on liitteessä 2. Valmiin ICD-tiedoston IEC 61850 -tietomalli ja sen loogisten solmujen määrittelyt tarkastettiin IEC 61850-7 -sarjan standardeja vastaaviksi.

3.5 Tietoverkon komponentit ja rakenne

Ennestään oli jo valittu, että IEC 61850 -tietoliikennesovelluksessa käytetään kahta fyysisesti erillistä sulautettua Linux-tietokonetta, jotka on liitetty toisiinsa LAN-verkon Ethernet-kytkimen kautta. Kuva 25 havainnollistaa toteutuksen IEC 61850 -LAN-verkkoa rooleineen, jossa Raspberry Pi on IEC 61850 -palvelin ja WRM247+ IEC 61850 -asiakas. Reaalimaailman IEC 61850 -järjestelmät eivät käytännössä ole näin yksinkertaisia, mutta tietoliikenne toimii samalla periaatteella. Ethernet-kytkin on yritystason Hewlett-Packard HP 1410-24G, mutta sen voisi olla tässä tapauksessa lähes mikä tahansa Ethernet-kytkin. Kytkimen rooli on vain välittää Ethernet-viestit nopeasti keskenään viestivien laitteiden välillä. Kytkimen valinnalla on enemmän merkitystä tapauksissa, joissa tietoliikennekuorma ja vasteaikaavaatimukset kasvavat.



Kuva 25. Toteutuksen IEC 61850 -LAN-verkon ja verkkokomponenttien rooleja havainnollistava kuva.

3.6 IEC 61850 -ohjelmointikirjasto (LibIEC61850)

Kuten ennestään on mainittu, työn sovelluksessa hyödynnetään valmista IEC 61850 -standardin mukaista ohjelmointikirjastoa nimeltään LibIEC61850 (Zillgith 2014a). Ohjelmointikirjastoa on julkaistu vuoden 2013 alkupuolelta lähtien. LibIEC61850 tarjoaa käyttäjälle API (Application Programming Interface)-rajapinnan, joka sisältää valmiita C-kielen funktioita, joita kutsutaan sovelluksessa.

Ohjelmistolla tehdään tietoliikenne IEC 61850 -standardin sääntöjen mukaiseksi, jolloin muiden rinnakkaislaitteiden ohjelmistot ymmärtävät tietoliikennettä niiden käyttäessä samoja sääntöjä. LibIEC61850-ohjelmointikirjasto sisältää näiden sääntöjen ohjelmallisen toteutuksen, eikä siitä tarvitse normaalitilanteissa itse huolehtia, vaan ohjelmoijan tehtävänä on sitoa ohjelmointikirjaston yksittäiset toiminnallisuudet hyödylliseksi toimivaksi kokonaisuudeksi, joka toteuttaa IEC 61850 -tietoliikennetarkaisun ohjelmoijan tarpeen mukaan.

LibIEC61850 tukee muun muassa seuraavia tarpeellisia IEC 61850 -ominaisuuksia (Zillgith 2014a; 2014b):

- Suurimman osan standardien määrittämistä ACSI-palveluista.
 - Mukaan lukien myös GOOSE- ja MMS-protokollat.
 - Toistaiseksi puuttuvat ACSI-palvelut ovat suunnitelmissa toteuttaa.

- IEC 61850 -standardeihin pian lisättävät ominaisuudet tulossa kirjastolle, kuten tietoturvatoinnallisuudet.
- Model generator -työkaluohjelma, jolla voi komentoriviltä generoida ICD-konfiguraatitiedoston pohjalta valmiit lähdekooditiedostot tietomallille ohjelmointikirjaston vaatimaan muotoon.
 - Model generator -työkalulla voi luoda staattisen IEC 61850 -tietomallin lähdekoodin, jota palvelinohjelmisto tarvittaessa käyttää, mikäli palvelimen haluaa toteuttaa staattisesti. Tämän ideana on saavuttaa parempi suorituskyky ja nopeus verrattuna dynaamiseen tietomallin käsittelyyn, mutta muutosten jälkeen koko palvelinohjelman koodi pitää aina kääntää uudelleen.
 - Model generator-työkalulla voi vaihtoehtoisesti luoda myös tekstitiedostopohjaisia konfiguraatiolistoja, joihin voi muokata palvelinohjelman tietomallia dynaamisesti ilman että koko palvelinohjelmaa tarvitsee kääntää uudelleen. Tämän menetelmän ideana on parempi joustavuus, joka kuitenkin voi näkyä ajoittain palvelinohjelman huonommassa suorituskyvyssä ja nopeudessa verrattuna staattista tietomallia käyttävään palvelinohjelmaan.

Lievänä puutteena tarkasteltaessa kirjaston yleistä IEC 61850 -soveltuvuutta voisi mainita, että LibIEC61850-ohjelmointikirjasto ei tue SV-protokollaa, mutta IEC 61850-9-2 -standardin mukainen SV-toteutus on suunnitelmassa (Zillgith 2014b).

LibIEC61850-ohjelmointikirjasto on vapaasti lähdekoodeineen saatavilla ja lisensoitu GPL(General Public License)-lisenssillä, joka edellyttää lähdekoodin kehittämistyön ja lähdekoodista johdetun ohjelmiston kehitystyön koodien julkaisemista niin pyydettyäessä. Tämän takia LibIEC61850-kirjaston kehittäjä tarjoaa myös kaupallista lisenssiä, jonka soveltajalla ei ole lähdekoodien julkaisuvelvoitteita.

Kaupalliset mahdollisuudet LibIEC61850-ohjelmointikirjastolle vaikuttavat hyviltä, sillä sen kaupallinen lisenssi vaikuttaa melko joustavalta sekä sen investointikustannus ei ole kohtuuttoman suuri pienemmällekään toimijalle. Lähtöhinta kaupalliselle lisenssille vuoden 2014 lopussa oli 2500€, mikä ei sisältänyt rojaltimeksuja, mutta

sisälsi oikeudet päivityksiin kahden vuoden ajalle lisensointiajankohdasta. (Zillgith 2014b.)

4 IEC 61850 -JÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

Työssä tehtävän järjestelmän pohjalta olisi mahdollista rakentaa järjestelmä, joka soveltuisi esimerkiksi hajautetun energiatuotannon kohteisiin, kuten tuuli- ja aurinkovoim, mutta mahdollisesti moniin muihinkin tarpeisiin. Järjestelmän asiakasohjelmaa ajava laite voisi toimia esimerkiksi yhdyskäytävänä internetin-liitynnän ja IEC 61850 -asemaväylän välissä ja järjestelmän suojaustoiminnallisuuksista vastaavat IED-laitteet olisivat järjestelmän palvelimia, joita asiakas voisi ohjata ja seurata MMS-protokollalla. Palvelimet voivat myös keskenään kommunikoida rinnakkaisesti muun muassa GOOSE-protokollalla. Työn ohjelmistot kuitenkin toteuttavat vain MMS-protokollan viestintää, mutta GOOSE-protokollan toteuttaminen olisi myös LibIEC61850-ohjelmointikirjastolla mahdollista.

4.1 Järjestelmän toiminnallisuudet

Järjestelmän toiminnallisuuksien yleiskuva on seuraavanlainen: palvelinohjelma ylläpitää MMS-protokollan VMD-mallia, joka kuvaa asiakasohjelmalle IED-laitteen ominaisuudet virtuaalisesti. Tähän malliin on yhdistetty IEC 61850 -tietomalli ja sen dataelementteihin tieto haetaan yleensä palvelinohjelmaa ajavan IED-laitteen antureilta ja toimilaitteiden tilahavaitsijoilta. Tässä vaiheessa ohjelmoijan pitää tuntea myös miten IED-laitteen tiedot viedään palvelinohjelmaan. Vastaavaa vaihetta tässä työssä edustaa muun muassa 1-wire lämpöanturidatan hakeminen Linux-käyttöjärjestelmästä hyödyntämällä siihen tarkoitettuja komentoja. Tämän jälkeen tarvittaviin muuttujiin tallennetut tiedot pitää ohjelmallisesti antaa LibIEC61850-ohjelmointikirjaston ymmärtämään muotoon, joka välittää tässä tapauksessa TCP/IP-yhteyden ylitse MMS-protokollan viestinä asiakasohjelmalle lämpötiladatan kyselyn tuloksen. Yhteyden ollessa avattuna asiakasohjelma vastaanottaa viestin ja tallentaa sen muuttujaan, josta se voidaan esimerkiksi tulostaa komentoriville.

Raspberry Pi ajaa palvelinohjelmaa ja edustaa IED-laitetta, joka mittaa lämpötiladataa. WRM247+ ajaa asiakasohjelmaa ja kysyy lämpötiladataa, saa sen vastauksena sekä tulostaa sen komentoriville, jolta ohjelmaa ajetaan.

IEC 61850 -järjestelmän ohjelmistojen toteuttamiselle ovat tässä työssä tarkastelussa seuraavat vaihtoehdot:

- IED-laitteen palvelinohjelmiston tietomalli on staattinen ja se tiedetään etukäteen, jolloin asiakasohjelmiston ohjelmointi on erittäin yksinkertaista. Huonona puolena kuitenkin on se, että asiakasohjelmisto ei ole joustava ja on spesifinen vain tähän toteutukseen ja konfiguraatioon. Lisäksi tietomallin muuttaminen ei ole mielekäästä ilman koko palvelinohjelmakoodin uudelleenkäntämistä. **Diplomityössä toteutettu asiakasohjelmisto on toteutettu tämän mallin mukaisesti.**
- Asiakasohjelmisto kysyisi yhdistäessään ensimmäisen kerran palvelinohjelmistoon tämän IEC 61850 -tietomallin rakennetta ja sisältöä ja muodostaa siitä esimerkiksi hakutaulukon, jota voi tarvittaessa päivittää. Taulukon avulla tiedettäisiin kyseltävissä olevat tietopisteet, eikä tarvitsisi tuntea palvelinohjelmiston tietomallia etukäteen, mikäli se vain toteuttaa IEC 61850 -standardin mukaisen tietomallin. Tällöin asiakasohjelmisto voisi sopeutua helpokosti kuhunkin installaatioon ja ohjelmisto olisi monikäyttöisempi. **Järjestelmän jatkokehitys olisi järkevää tehdä tämän mallin mukaisesti,** sillä se tarjoaa joustavuutta, jota tarvitaan kun ohjelmistosta halutaan monipuolisempi ja useampaan asetelmaan soveltuvuutta. Huonona puolena on se, että asiakasohjelman ohjelmoiminen on merkittävästi monimutkaisempaa ja täten vaatii enemmän työpanosta.
- Asiakasohjelma määräisi, palvelimen niin salliessa, palvelimen tietomallin ja määrittäisi tietomallille datapisteet. **Tämä ei ole yksinkertainen ohjelmoida ja vaatii lähtökohtaisesti yhdistettävän ja konfiguroitavan palvelinohjelmaa ajavan IED-laitteen ja sen ohjelmiston perusteellisemmän tuntemisen.** Dynaaminen konfigurointi eli "livekonfigurointi" asiakasohjelmalla voisi olla mahdollista jos palvelinohjelmaa ajavan IED-laitteen kyvyt tiedetään ja se tukisi asiakasohjelman antamien konfiguraatiokäskyjen asettelua samaan tyyliin kuin konfiguraatio-ohjelma CID-tiedoston käyttöä. Tällöin voitaisiin antaa vain CID-tiedosto, josta tulkitaan aseteltava IEC 61850 -tietomalli. Tämä ei kuitenkaan vaikuta tässä tarkastelussa tarpeelliselta toteuttaa, mutta mikäli järjestelmä olisi

erittäin monimutkainen ja edellyttäisi konfiguraation helppoa muuttamista asiakasohjelmalla, voisi CID-tiedoston hyödyntäminen olla järkevää.

Listauksessa viimeisenä mainittu toteutustapa olisi tietoturvan näkökulmasta ehkä ongelmallisinkin, sillä mikäli palvelinohjelmat yleisesti sallisivat asiakasohjelmien tekemät konfiguraatiomuutokset niin sähköasemaympäristössä olisi mahdollista tehdä melko pienilläkin muutoksilla suurehkoa tuhoa esimerkiksi poistamalla IED-laitteiden palvelinohjelmien tietomallien tärkeitä tietopisteitä. Tähän asti IEC 61850 -laitteissa tietoturva on perustunut pitkälti siihen, että nämä tietoverkot ovat fyysisesti suojattuja sähköasema-alueen ympäröivillä aidoilla ja sähköaseman rakennuksilla. IEC 61850 -standardeissa on käsitelty tietoturvaa ja määritelty tapoja suojata tietoliikenne ja IED-laitteet, mutta vaikuttaa siltä että nämä menetelmät eivät ole vielä laajasti käytössä (Hoyos, Dehus & Brown 2012: 1–2). IEC 61850 -standardin uusimpiin versioihin on ehdotettu TLS (Transport Layer Security)-protokollaa tietoturvaratkaisuna, jolloin tietoliikenteen kaappaaminen ja tulkitseminen tai muu haitallinen kolmannen osapuolen väliintulo vaikeutuisi. (Zillgith 2014b; IEC 61850-80-3 TR 2014: 35–38.)

Erinomainen paikka IEC 61850 standardin mukaisten loogisten solmujen ja data-attribuuttien nimien hakemiselle löytyy internetistä (5.1.2015) osoitteesta: <http://www.nettedautomation.com/download/std/61850/Abbreviations-IEC61850.pdf>. Työssä käytettiin tiedoston sisältämää listaa myös suunnitelmassa kehitetyn järjestelmän palvelinohjelmaa, jonka perusteella valittiin looginen solmu tunnukseltaan TTMP, joka on määritelty IEC 61850-7-4 -standardin 2. versiossa. TTMP-solmu kuvaa yleistä lämpötila-anturia (Schwarz 2013: 142).

4.2 Ohjelmointi

Asiakasohjelman oletettiin tässä työssä olevan tietoinen palvelinohjelmasta ja siten asiakasohjelmaan kirjoitettiin viite, jolla palvelinohjelmisto palauttaisi kysytyn data-attribuutin arvon, joka on konfiguroitu palvelinohjelmaan liitteen 2 ICD-tiedostoon perustuen. Palvelinohjelma huolehti lämpötilan mittauksesta säännöllisesti ja tuloksen

tallentamisesta muuttujaan. Asiakasohjelman kysyessä muuttujan arvoa, se lähetetään vastauksena kyselyyn MMS-protokollalla.

Ohjelmakoodit ovat liitteessä 3 suomeksi kommentoituna.

4.3 Järjestelmän toteutuksen asentaminen ja valmistelu

Työn järjestelmässä kaksi laitetta kommunikoivat keskenään Ethernet-kytkimen kautta. Järjestelmä valmisteltiin kääntämällä asiakas- ja palvelinlaitteille lähdekoodi GCC (GNU Compiler Collection)-kääntäjällä, joka kääntää C- ja C++-kielisiä ohjelmia binäärisiksi suoritettaviksi konekielen koodeiksi. Kääntämisen jälkeen suoritettavat koodit siirrettiin kohdelaitteisiin SCP (Secure Copy)- tai SFTP (Secure File Transfer Protocol)-protokollan välityksellä. Lopuksi ohjelmat suoritettiin kohdelaitteissa SSH (Secure Shell)-yhteyden avulla Linux-komentoriviltä. Kuva 25 havainnollistaa fyysistä järjestelmäkokonaisuutta asennuksen jälkeen.

4.4 Toteutuksen testaus ja saadut tulokset

Ohjelmakoodien kääntämisen ja kohdelaitteisiin siirtämisen jälkeen laitteisiin otettiin SSH-yhteys, jonka komentorivillä suoritettiin ohjelmat palvelin- ja asiakaslaitteessa.

Kuva 26 osoittaa MMS-viestin sisältönä lähetetyn lämpötilakyselyn tuloksen IED-laitteena palvelinohjelmaa suorittavalta Raspberry Pi -tietokoneelta. Se on IEEE 754-standardin liukulukuformaattissa, josta voidaan kääntää lukuarvo desimaaliluvuksi. Kuva 26 esittää kyseisen liukuluvun myös binäärimuodossa, josta **neljä viimeistä oktettia eli 8-bittistä tavua esittää varsinaista lukuarvoa**. Tämä liukuluku on desimaalijärjestelmässä **arvoltaan 22,437** ja yksikkönä °C. Lämpötila on myös oikein mitattu, sillä se on kuvan 22 Raspberry Pi -laitteen 1-wire-anturin mittaama huoneen lämpötila, joka erittäin lähellä mitattua arvoa.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
290	6.176579	10.0.5.213	10.0.0.32	MMS	125	confirmed-ResponsePDU
293	6.214430	10.0.0.32	10.0.5.213	MMS	127	confirmed-RequestPDU
294	6.216322	10.0.5.213	10.0.0.32	MMS	296	confirmed-ResponsePDU
295	6.236860	10.0.0.32	10.0.5.213	MMS	128	confirmed-RequestPDU
296	6.238732	10.0.5.213	10.0.0.32	MMS	272	confirmed-ResponsePDU
303	6.396867	10.0.0.32	10.0.5.213	MMS	151	confirmed-RequestPDU
304	6.397843	10.0.5.213	10.0.0.32	MMS	102	confirmed-ResponsePDU

Frame 304: 102 bytes on wire (816 bits), 102 bytes captured (816 bits)						
Ethernet II, Src: Raspberr_3b:ca:4b (b8:27:eb:3b:ca:4b), Dst: wapice_02:ec (00:50:c2:c7:42:ec)						
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.5.213 (10.0.5.213), Dst: 10.0.0.32 (10.0.0.32)						
Transmission Control Protocol, Src Port: 102 (102), Dst Port: 55838 (55838), Seq: 5745, Ack: 560, Len: 36						
TPKT, Version: 3, Length: 36						
ISO 8073/X.224 COTP Connection-Oriented Transport Protocol						
ISO 8327-1 OSI Session Protocol						
ISO 8327-1 OSI Session Protocol						
ISO 8823 OSI Presentation Protocol						
MMS						
confirmed-ResponsePDU						
invokeID: 6						
confirmedServiceResponse: read (4)						
read						
listofAccessResult: 1 item						
AccessResult: success (1)						
success: floating-point (7)						
floating-point: 0841b37efa						

0000	00000000	01010000	11000010	11000111	01000010	11101100	10111000	00100111	.P..B..'
0008	11101011	00111011	11001010	01001011	00001000	00000000	01000101	00000000	.;.K..E.
0010	00000000	01011000	00010010	10100000	01000000	00000000	01000000	00000110	.X..@.@.
0018	00001110	00001100	00001010	00000000	00000101	11010101	00001010	00000000
0020	00000000	00100000	00000000	01100110	11011010	00011110	10001100	11001100F....
0028	11101111	00100011	11000011	10111110	01010000	01000010	10000000	00011000	..#.PB...
0030	00000001	11010110	00011010	00111111	00000000	00000000	00000001	00000001	...?....
0038	00001000	00001010	00000000	00001001	11001010	01000010	00000000	00000010B..
0040	11101011	10111010	00000011	00000000	00000000	00100100	00000010	11110000\$.
0048	10000000	00000001	00000000	00000001	00000000	01100001	00010111	00110000a.0
0050	00010101	00000010	00000001	00000011	10100000	00010000	10100001	00001110
0058	00000010	00000001	00000110	10100100	00001001	10100001	00000111	10000111
0060	00000101	00001000	01000001	10110011	01111110	11111010			..A.~.

Kuva 26. Raspberry Pi:n ajaman IEC 61850 -palvelinohjelman lähettämä vastausviesti asiakasohjelman kysymään lämpötilatietoon binäärimuodossa IEEE 754 -liukulukuna. Kuvakaappaus Wireshark-ohjelmasta.

Kuva 26 antaa myös viitteitä millaista MMS-viestintä on luonteeltaan ja miten nopeasti MMS-protokollan kyselyihin voidaan vastata. Esimerkiksi lämpötilakyselyyn IEC 61850 -palvelimenohjelmaa ajava Raspberry Pi vastasi hieman alle 1 ms aikana, joka on riittävä nopeus IEC 61850 -viestinnässä MMS-protokollalla. Vastauksen viive tietysti riippuu vastauksen prosessointitarpeesta ja kyselyn luonteesta, mutta myös nopea vastaus kyselyviestiin on mahdollista. Tulee huomioida, että tämä tarkastelu ottaa kantaa vain palvelinohjelman kysely-vastaus-prosessiin IED-laitteen päässä, eikä asiakasohjelman tai LAN-verkon viestinnän nopeuteen, jossa verkon yli lähetetyn viestin vastaanottamisen viiveeseen vaikuttaa verkon topologia, laitteiden topologinen etäisyys verkossa, käytettävissä oleva kapasiteetti verkossa ja viestejä välittävät verkkokomponentit, kuten kytkimet ja protokollamuuntimet.

Toteutus ja sen tulokset ovat IEC 61850 -standardin TCP/IP-viestinnän päälle rakennetun MMS-protokollan mukaisia, kuten IED-laitteen TCP-portti 102 ja IP-osoitteiden käyttö. Työn tulokset vastaavat odotuksia ja täyttävät käytännöllisen IEC 61850 -standardin toteutuksen periaatteet, jotka ovat esiteltynä työn alkuosan teoreettisessa osuudessa IEC 61850 -standardista.

5 JÄRJESTELMÄN JATKOKEHITYKSEN POHDINTA

5.1 Liitynnät ylempään tason järjestelmiin

Työn pohjalta on mahdollista luoda järjestelmä, joka kykenee tuomaan IED-laitteiden IEC 61850 -asemaväylän tietoja ja lähettämään ne esimerkiksi internet-yhteyden ylitse SCADA-järjestelmälle. Lisätyönä tarvitsisi laatia yhdyskäytävä toteutus asiakasohjelmaa ajavan laitteen tietojen viemiseksi esimerkiksi TCP/IP-yhteyden avulla. Tällöin myös SCADA- ja IEC 61850 -asemaväylän välisen WAN-yhteyden tietoturvatoteutus olisi tärkeä suorittaa asianmukaisesti, jolloin tiedot eivät ole niille kuulumattomien saatavilla ja järjestelmää kohtaan ei olisi niin mutkatonta hyökätä internetin kautta, mikä saattaisi uhata koko IEC 61850 -asemaväylän alaista järjestelmää sekä SCADA-järjestelmää.

Myös SCADA-järjestelmän kautta IEC 61850 -järjestelmän IED-laitteiden ohjaaminen voisi olla mahdollista, mutta tämä olisi monimutkaisempaa kuin pelkän tiedon kerääminen IED-laitteilta. Tällöin täytyisi tietää, mikäli saatavilla olevat IED-laitteet tukevat IEC 61850 -standardin ohjaustoiminnallisuuksia, sekä tulisi huomioida ohjauksen rajoitteet, kuten pitkät vasteajat etävalvonnan tietoliikenneyhteyksiä käytettäessä.

SCADA-järjestelmällä olisi mahdollista näyttää vaikka web-käyttöliittymässä visuaalisesti IEC 61850 -järjestelmän tietopisteitä ja tilatietoja, jolloin käytönvalvonta onnistuisi suunnilleen kaikilla yleisillä internet-selailua tukevilla laitteilla, kuten älypuhelimilla.

5.2 Liitynnät alemman tason järjestelmiin

Tällä hetkellä LibIEC61850 (2.1.2015) ei tue SV-protokollaa, joten työssä tehdyn järjestelmän liittäminen alemman tason IEC 61850 -prosessiväylän järjestelmiin vaatisi vielä lisätyötä, eikä sitä tässä työssä toteutettu. Se on kuitenkin mahdollista toteuttaa, sillä mitään fyysisiä lisärajoitteita ei ole. Yleensä ottaen palvelinohjelmaa ajavat IED-laitteet voivat kyetä keräämään SV-protokollan mittausdataa ja kuvaamaan sitä MMS-

protokollan ACSI-palveluilla, jolloin se olisi saatavilla työn järjestelmän pohjalta kyselemällä IED-laitteilta, joilla tarvittava tieto on tarjolla. Mikäli pitäisi toteuttaa palvelinohjelma, joka tarjoaa dataa SV-protokollalla niin silloin LibIEC61850-kirjasto ei välttämättä sovellu sellaisenaan, sillä SV-protokollan viestien pakkaaminen ja lähettäminen IEC 61850 -prosessiväylälle edellyttää tiukempia kellosynkronoinnin ja reaaliaikaisuuden vaatimuksia, lähes samaan tyyliin kuin GOOSE-protokolla.

SV-protokollan kuunteleminen ja sen tietojen seuraamisen ohjelmointi asiakasohjelmaan ei olisi liian vaikeata, sillä se on ohjelmallisilta periaatteiltaan hyvin samanlainen kuin GOOSE-protokollan kuunteleminen. Tämä ominaisuus tulee mahdollisesti LibIEC61850-kirjastoon lähitulevaisuudessa. (Zillgith 2014b.)

5.3 Järjestelmän potentiaalinen asema älykkään sähköverkon kannalta

Järjestelmän pohjalta voitaisiin kehittää järjestelmiä esimerkiksi hajautetun energiatuotannon käytönvalvontaan ja ohjaukseen, kuten tuulivoimaloiden tai aurinkoenergiajärjestelmien yhteyteen. IEC 61850 -standardi mahdollistaa myös uusien pienempien valmistajien tulevista sähköautomaatiojärjestelmämarkkinoille juurikin hajautetun tuotannon ja älykkäiden sähkömittarisovellusten osalta. Järjestelmä voitaisiin myös laajentaa muihinkin sähköä käyttäviin automaatiojärjestelmiin ja liittää IEC 61850 -kommunikaatiolla sähköverkon tietojärjestelmiin mahdollistaen esimerkiksi kysyntäjoustokapasiteetin myynnin. Järjestelmästä voitaisiin myös kehittää älykkäiden laitteiden internetin ja älykkään sähköverkon yhdistävä järjestelmä, sillä käytetyt tietokonelaitteet kykenevät muun muassa langattomaan tiedonsiirtoon Ethernet-yhteyden lisäksi vaikka yhtäaikaaisesti.

IEC 61850 -standardin historia on näyttänyt toteen sen, että standardin määrittämää tietoliikennetarkaisua on voitu käyttää luotettavasti niinkin kriittisissä ympäristöissä, kuin sähköasemat. Tämä myös vahvasti tukee IEC 61850 -standardin potentiaalia laajeta muihin järjestelmiin. Lisäksi IEC 61850 -tietomallien monipuolisuus tarjoaa toistaiseksi riittävän mallinnusratkaisun monenlaisille uusille ja entistä monimutkaisemmille älykkäille järjestelmille, joille eivät entuudestaan sovelletut

tietoliikennetarkaisut sovi tietomallien suppeuden tai esimerkiksi Ethernet-väylän tuen puuttumisen takia. Standardin avoimuus ja saatavuus myös mahdollisesti kannustaa hyödyntämään sen tarjoamaa valmista ratkaisua sen sijaan, että valmistajien pitäisi kehittää omia suljettuja tietoliikenneprotokollia. Tämän työn järjestelmä päätettiin kehittää myös edellä mainittuja seikkoja mielessä pitäen.

5.4 Reaalimaailman sovelluksen kannalta tärkeimmät jatkokehitystarpeet

Työn kokeellinen järjestelmä sinällään ei ole tarpeeksi soveltuva reaalimaailman käytännöllisenä järjestelmänä, sillä se ei tarjoa juuri mitään joustavuutta. Työn sovellus tarjoaa kuitenkin jokseenkin kaiken tarvittavan lähtötiedon, jotta reaalimaailman IEC 61850 -sovellus olisi mahdollista toteuttaa, varsinkin jos ohjelmointitoteutusten laatiminen ei aiheuta ongelmia.

Järjestelmää täytyisi kehittää edelleen siten, että sen konfiguroiminen olisi dynaamisempaa ja joustavampaa. Lisäksi verkkoon voisi lisätä useita IED-laitteita ajamaan palvelinohjelmia. Olisi myös mahdollista laajentaa järjestelmä hyödyntämään kahdennettua tietoliikennettä HSR- tai PRP-protokollalla, jolloin olisi mielenkiintoista testata järjestelmän toimivuutta tietoverkon vikatilanteissa. Tämä toisaalta voi olla hyvinkin välttämätöntä reaalimaailman järjestelmän korkeiden luotettavuusvaatimusten takia.

GOOSE- ja SV-protokollien seuranta olisi myös yksi keskeinen lisä järjestelmän ominaisuuksiin, sillä silloin asiakasohjelmalla voitaisiin mahdollisesti seurata lähes koko IEC 61850 -toimintaa ja tilaa yhdestä tarkastelupisteestä. Järjestelmien ohjauksien suorittaminen olisi mahdollista ACSI-palveluiden avulla vaikka MMS-protokollan välityksellä. Myös datajoukkojen asetteleminen ja seuranta olisi tärkeä ominaisuus muun muassa IED-laitteiden tilaseurannan esimerkiksi niiden suojaamien verkkokomponenttien suhteen.

Eräs viimeaikoina tärkeäksi aiheeksi noussut asia on sähköverkkojen tietoturvallisuus. Työn järjestelmän tietoliikenne ei toteuta oikeastaan mitään tietoturvaratkaisua ja olisikin mielenkiintoista nähdä, mikäli järjestelmän vakautta ja luotettavuutta voisi

testata esimerkiksi nostamalla IEC 61850 -väylän kuormaa merkittävästi tai väärentämällä tietoliikenneviestejä tekemään haitallisia toimintoja IED-laitteissa. LibIEC61850-kirjasto tukee tällä hetkellä yksinkertaista salasanasuojausta, mutta myös IEC 61850 -standardoitu tietoliikenteen salaus lisätään LibIEC61850-kirjaston ominaisuuksiin, sitten kun standardointityöryhmä saa sen lopullisesti vahvistettua (Zillgith 2014b). Vaikuttaa vahvasti siltä, että IEC 61850 -standardi tulee käyttämään TLS-protokollan suojausta ainakin MMS-protokollan tietoliikenteelle (IEC 61850-80-3 TR 2014: 35–38).

Lopulta kaikki yllämainittu pitäisi liittää rajapintaan, jonka kautta esimerkiksi käytönvalvontajärjestelmä eli SCADA-järjestelmä voisi seurata IEC 61850 -järjestelmän tietoja, mutta myös ohjata järjestelmää.

5.5 IEC 61850 -standardin tulevaisuusskenaariot

IEC 61850 -standardin tulevaisuus vaikuttaa edelleen lupaavalta, sillä standardille on tulossa uusia versioita, sekä standardin entistä laajempaa soveltamista mahdollistavia standardijulkaisuja, kuten IEC 61850-8-2.

Standardin nykytila on erittäin hyvä, sillä muun muassa Kiinassa IEC 61850 -tietoliikennettä hyödyntäviä sähköasemia on rakennettu jo 10 vuotta. Siellä on yli 10 000 35 kV - 1000 kV sähköasemaa, joissa IED-laitteet ovat 100 % digitaalisia ja käyttävät IEC 61850 -tietoliikennettä. IEC 61850 -standardi onkin ollut virallinen Kiinan kansallisesti sovellettava sähköasemakommunikaatiostandardi vuodesta 2005. Kiinassa on myös yli 20 IEC 61850 -laitetoimittajaa, joista suurimmilla on jo yli 10 000 IEC 61850 -standardiin perustuvaa IED-laitetta käytössä. Yhdessä asennetussa järjestelmässä toimii yhdessä enimmillään jopa 15 eri valmistajan laitteita, mikä on IEC 61850 -standardin yksi keskeinen tavoite (Cai, Xiang & Zha 2014: 1.)

Tulevaisuuden haasteina listataan muun muassa (Cai ym. 2014: 2):

- Sähköasemien verkkojen hallinnan ja tietoturvan parantaminen
- IED-laitteiden kunnonseuranta-/huoltokäytännöt

- Miten IEC 61850 -standardiin voisi sisällyttää releiden asetteluiden hallinnan?
- Miten hallita tulevaisuuden modernisointi-/laajennusasetukset eri IEC 61850 -standardiversiota tukevilla laitteilla?

IEC TC 57 -komitean jäsen Schwarz (2014a) ennakoi blogissaan, että IEC 61850 -standardin ydinosat, joita tämän työn teoriaosuudessa suurilta osin käsiteltiin, tulevat päivittymään versioon 2.1 vuoden 2015 alkupuolella. Standardeihin on ehdotettu parannuksia technical issues-sivuston kautta osoitteessa www.tissues.iec61850.com. Schwartz myös mainitsee vuodelta 2013 laajasti eri valmistajien IEC 61850 -laitteiden keskinäistä yhteensopivuutta testanneen tutkimuksen raportin valmistumisesta, jonka perusteella laitteiden valmistajat tekevät kovasti töitä, että heidän laitteensa olisivat yhteensopivia myös muiden valmistajien laitteiden kanssa. Standardin kehittäminen jatkuu aktiivisesti edelleen, eikä sen pysähtyminen ole näköpiirissä. Standardin päivitys mahdollisesti pyrkii myös selkiyttämään standardin tulkittamista epäselvissä tilanteissa. Konfiguraatioiden suhteen IEC 61850-6 ja IEC 61850-7 -sarjan standardit saattoivat työnkin aikana aiheuttaa hankaluuksia tulkinnassa.

On myös odotettavissa, että IEC 61850 -tietoliikennetkaisu tulevat yleistymään myös sähköasemaympäristöjen ulkopuolella. Standardin soveltaminen onkin jo levinnyt muun muassa vesivoimalaitoksiin, mutta sitä on alettu soveltaa myös perinteisten voimalaitosten hallintaan. Tutkimuksia on tehty myös IEC 61850 -sovelluksesta CHP(Combined Heat and Power)-voimaloihin. (Schwarz 2014b; Feuerhahn, Hollinger, Chau, Wille-Hausmann & Wittwer 2012: 1–4.)

Standardi on lähtöisin sähköasema-automaatiosta, mutta uudet standardin versiot ja julkaisu tähtäävät muun muassa hajautetun energiantuotannon sovelluksiin, mutta myös kohti muita automaatiosovelluksia ja niiden tietojen tuomista web-palvelurajapinnoille. Näitä aiheita käsitellään muun muassa IEC TR 61850-80-3 -luonnosversiossa, jonka pohjalta laaditaan muun muassa IEC 61850-8-2 -standardi. Lisäksi IEC 61850 -standardiin sovellettavan tietoturvaratkaisun kuvaus julkaistaan sen yhteydessä. Näitä IEC-julkaisuja ei ole kuitenkaan ole vielä vahvistettu lopullisesti vaan ne ovat luonnoksia.

Näyttää siltä, että internet, sulautetut järjestelmät ja älykäs sähköverkko hiljalleen tulevat lähemmäksi toisiaan, jolloin kaikki järjestelmät voisivat olla toisistaan ja toistensa tiloista tietoisia. Yksi syy tähän on, että teknologiat ovat kehittyneet ja halventuneet selvästi ja sähköenergia mahdollisesti tuotetaan enenevässä määrin uusiutuvista energialähteistä. Älykäs sähköverkko, muun muassa tehon suunnan vaihdellessa hajautetun energiatuotannon vaikutuksesta, vaatii avointa ja yhteisesti tunnustettua ratkaisua, joka mahdollistaisi älykkään sähköverkon tuottaja- ja kuluttajaosapuolien järjestelmien tietojenvaihdon. Lisäksi IEC 61850-8-2 -standardi on tulossa, joka määrittää IEC 61850 -tietomallin kuvauksen web-palvelurajapinnoille, jotka ovat ympäri maailman jo ennestään käytössä. Viime aikoina tärkeäksi puheenaiheeksi noussut tietoturvan asianmukainen toteutus on myös huomioitu standardin viimeisimpiä versioita kehittäessä. Teknologisia esteitä ei käytännössä ole sekä IEC 61850 on toivon mukaan yhteisesti hyväksytty tiedonsiirtoratkaisu, kun älykkään sähköverkon konseptia jatkokehitetään edelleen.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tulokset osoittavat, että nykypäivän edullisillakin sulautetuilla Linux-tietokoneilla on mahdollista luoda asianmukainen IEC 61850 -järjestelmä. Ohjelmointi ei myöskään olisi liian alustariippuvaista, vaan samankaltainen järjestelmä voitaisiin toteuttaa melko pienellä vaivalla lähes missä tahansa sulautetussa Linux-järjestelmässä, sillä LibIEC61850-ohjelmointikirjastossa voi käyttää ohjelmointikielenä C-kieltä, joka on lähdekooditasolla yhteensopivaa monissa sulautetuissa järjestelmissä. Työn teorian pohjalta periaatteessa yksityishenkilökin voisi rakentaa IEC 61850 -standardin mukaisen järjestelmän vaikka omaan käyttöön. Tämä ei kuitenkaan todennäköisesti täyttäisi sähkönjakeluyhtiön sähköverkkojärjestelmän tietoliikenteen liittymisehtoja, jos sitä ei ole esimerkiksi sertifioitu IEC 61850 -standardin laitteiden vaatimusten mukaiseksi.

Työssä tehdyllä IEC 61850 -järjestelmällä voitaisiin saavuttaa myös yleiset kaupallisen IEC 61850 -järjestelmän edellytykset, mikäli järjestelmää kehitetään edelleen ja LibIEC61850-ohjelmointikirjasto lisensoidaan kaupallisesti. Tällöin pitäisi vain valita tarpeelliset laitteet, joille tietoliikennetoteutuksen voisi ohjelmoida. Tästä johtuen työssä on käsitelty myös tarkemmin IEC 61850 -tietoliikenteen protokollia, suorituskykyä, kahdentamista eli redundanssia ja konfigurointia. Edellä mainitut tiedot ovat pitkälti edellytyksenä reaali maailman järjestelmän toteuttamisessa, jossa asioita pitää tarkastella laajasti ja monesta näkökulmasta sekä täyttää usein hyvinkin tiukkoja vaatimuksia. Kattavilla lähtötiedoilla IEC 61850 -järjestelmän oikeaoppinen rakentaminen on luontevampaa, sillä tällöin suunnitteluvaiheesta alkaen jokseenkin kaikki tarpeellinen osataan ottaa huomioon. Yleisesti kattavaa asiantuntemusta vaaditaan usein onnistuneen kaupallisen järjestelmän suunnittelussa.

Mikäli työn pohjalta haluaisi toteuttaa esimerkiksi kaupallisen IED-laitteen, tulisi huomioida, että IED-laitteen sertifiointi IEC 61850-10 -standardin asettamien testien vaatimusten mukaiseksi olisi erittäin suotavaa, muttei kuitenkaan välttämätöntä (Söderbacka 2013: 90). Lisäksi IEC 61850 -yhteensopivat laitteet tulisi muun muassa EMC (Electromagnetic Compatibility)- ja ympäristövaatimuksiltaan täyttää IEC 61850-3 -standardissa mainitut vaatimukset. Edellä mainittuja testejä voi suorittaa muun

muassa DNV GL (Det Norske Veritas ja Germanischer Lloyd) -luokituslaitos, johon ennen IEC 61850 -sertifiointeja laajalti myöntänyt KEMA (Keuring Van Elektrotechnische Materialen)-luokituslaitos tätä nykyä kuuluu.

Työstä tuli erittäin laaja kokonaisuus, mutta kaikkien osien käsittely tuntui perustellulta, sillä kaikki asiat liittyvät olennaisesti toisiinsa. Työ saavutti kaikki sille asetetut tavoitteet ja työstä saadut tulokset olivat positiivisia ja onnistuneita.

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli laatia kokeellinen järjestelmä, jossa kommunikaatio perustuu IEC 61850 -standardiin. Ennen varsinaista käytännön työn tekemistä IEC 61850 -standardin olennaisiin asioihin perehdyttiin riittävästi. Lisäksi työssä perehdyttiin reaali maailman IEC 61850 -järjestelmiä varten tarpeellisiin asioihin, kuten IEC 61850 -standardia tukevien käytössä olevien laitteiden konfigurointityökaluihin ja tietoliikenteen kahdentamiseen sekä sen toteuttamiseen käytettäviin protokolleihin. Näistä osista muodostui kattava IEC 61850 -standardia koskeva käytännöllinen tietopaketti, jonka avulla varsinaisten IEC 61850 -tietoliikennejärjestelmien ohjelmallinen toteuttaminen on mahdollista toteuttaa oikein.

Tietopaketin tietojen pohjalta työn käytännöllisemmässä osuudessa toteutettiin kokeellinen järjestelmä, johon kuuluivat IEC 61850 -standardin MMS-protokollalla keskenään kommunikoivat asiakas- ja palvelinohjelmistot, jotka sijaitsivat fyysisesti eri laitteissa samassa IEC 61850 LAN-verkossa. Kokeellisessa järjestelmässä palvelinohjelmaa ajava IED-laite tarjosi IEC 61850 -standardin tietomallin mukaisesti 1-wire-anturilla mitattua lämpötiladataa, jota eri laitteessa ajettava asiakasohjelmisto kysyi. Järjestelmän toteuttamiseen käytetyt laitteistot ovat myös lyhyesti esiteltynä työssä, jotta niistä voisi löytää helposti tarvittavaa lisätietoa.

Varsinaisten ohjelmistojen laatimisen vaihtoehtoja ja mahdollisuuksia käsiteltiin, jonka jälkeen valitun vaihtoehdon mukaisesti varsinaisen ohjelmointi suoritettiin. Ohjelmat kokeiltiin ja todettiin IEC 61850 -standardin tietomallia noudattaviksi, sekä työn kokeelliseen tarpeeseen toimiviksi. Ohjelmien lähdekoodit ja käytetyt konfiguraatiot ovat työn liitteinä ja niistä voi muodostaa LibIEC61850-ohjelmointikirjaston ja sen työkaluohjelmien avulla vastaavanlaisen järjestelmän, joka työssä toteutettiin.

Työn lopussa pohdittiin järjestelmän jatkokehitysmahdollisuuksia, asemaa älykkään sähköverkon kannalta ja IEC 61850 -standardin tulevaisuudennäkymiä. Näiden kaikkien osioiden jälkeen johtopäätöksenä työ todettiin kokonaisuudeltaan melko laajaksi, mutta onnistuneeksi. Työssä laadittiin onnistuneesti kattava IEC 61850 -standardia koskeva tietopaketti suomen kielellä ja IEC 61850 -tietoliikennettä hyödyntävä ratkaisu

ohjelmistoinen, minkä avulla teoreettinen standardiin perustuva tietopaketti avautuu paremmin ja selkeämmin ymmärrettävänä myös IEC 61850 -standardin käytännöllisemmän soveltamisen kannalta.

LÄHDELUETTELO

- ABB Group (2014). *615 series IEC 61850 Engineering Guide*. 24.1.2014. [online]
Saatavilla: [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/039669c5866ad206c1257c7100233836/\\$file/RE_615_iec61850eng_756475_EN1.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/039669c5866ad206c1257c7100233836/$file/RE_615_iec61850eng_756475_EN1.pdf)
- ABB Group (2010). *ABB review special report: IEC 61850* [online]. The corporate technical journal. 64 p. Saatavilla: [http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/ba5c0d1cacc015a7c12577840033f1a2/\\$file/abb_sr_iec_61850_72dpi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/ba5c0d1cacc015a7c12577840033f1a2/$file/abb_sr_iec_61850_72dpi.pdf)
- ABB Group (2002). *IEC 61850 Interoperability between ABB, Alstom and Siemens status review November 2002*. [online] [viitattu 3.12.2014] Saatavilla: [http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/a1fe6dd52f61b41ec1256d280037778b/\\$file/iec61850-p1results.ppt](http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/a1fe6dd52f61b41ec1256d280037778b/$file/iec61850-p1results.ppt)
- Adamiak, M. Baigent, D. Mackiewicz, R. (2009). IEC 61850 Communication Networks and Systems In Substations: An Overview for Users. *Protection & Control Journal 8th edition* [online] Saatavilla: <http://www.gedigitalenergy.com/multilin/journals/issues/spring09/iec61850.pdf>
- Aguilar, R. James, A. (2010). *Testing and configuration of IEC 61850 multivendor protection schemes*. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition 2010.
- Apostolov, A.P. (2010). *UML and XML use in IEC 61850*. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition 2010.

- Araujo, J. Lazaro, J. Astarloa, A. Zuloaga, A. Garcia, A. (2013) *PRP and HSR version 1 (IEC 62439-3 Ed.2), improvements and a prototype implementation* Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE pp.4410,4415, 10-13 Nov. 2013
- Arnold, D. (2014). *Time Synchronization Requirement for Synchrophasers* [online] [viitattu 28.10.2014] Saatavilla: <http://blog.meinbergglobal.com/2014/08/29/time-synchronization-requirement-synchrophasers/>>
- Barron, D.A. Holliday, P. (2010) *Implementation of IEC 61850 process bus. A Utility view on design, installation, testing and commissioning, and lifetime issues.* 10th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2010). Managing the Change.
- Beckhoff Automation (2014). *TS6509 / TS6511 | TwinCAT PLC Lib: IEC 61400-25 Server und IEC 61850 Server* (2014) [online] [viitattu 17.10.2014] Saatavilla: http://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclibiec61850server/html/tciec61850server_gen_datamodel.htm&id=
- Brunner, C. (2010). *IEC 61850 Engineering. Protection & Control Journal 12th edition* [online] Saatavilla: https://www.pacw.org/issue/june_2010_issue/iec_61850_update/iec_61850_engineering.html
- Brunner, C. (2005). *What is the difference between IEC 61850-9-1 and IEC 61850-9-2?* [online]. [viitattu 3.10.2014]. Saatavilla: <http://www.nettedautomation.com/qanda/iec61850/mappings/q-3.html>
- Cai, J. Y. Xiang, G. Zha, J. (2014). *A Few Facts on IEC61850-based Substation Integration & Automation in China.* [Online] [viitattu 7.1.2015]. Saatavilla: http://dsius.com/lib/Library/IEC61850_FACTS_Oct2014.pdf

- Dolezilek, D. Hou, D. (2008) *IEC 61850 – What It Can and Cannot Offer to Traditional Protection Schemes* [online] Saatavilla: <http://www.selinc.com/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=3546>
- Electronics 360 (2012). *ABB REF615 Feeder Protection and Control Teardown* [online] [viitattu 2.12.2014] Saatavilla: <http://electronics360.globalspec.com/article/3585/abb-ref615-feeder-protection-and-control-teardown>
- Embedded Linux Wiki (2015). *Raspberry Pi Low-level peripherals* [online] [viitattu 7.1.2015] Saatavilla: http://elinux.org/RPi_Low-level_peripherals
- Erni, P. (2002). *Successful demo of IEC 61850-9-1* [online] [viitattu 17.10.2014] Saatavilla: <http://www.nettedautomation.com/solutions/uca/products/9-1/>
- Feuerhahn, S. Hollinger, R.. Chau, D. Wille-Haussmann, B. & Wittwer, C. (2012). Modeling a vendor independent IEC 61850 profile for energy management of micro-CHP units. *2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe)*, 1-5
- Financial Post (2012). *Siemens to buy RuggedCom for \$382-million*. [online] [viitattu 2.12.2014]. Saatavilla: http://business.financialpost.com/2012/01/30/siemens-to-buy-ruggedcom-for-382-million/?__lsa=d826-882d
- Harada, R. (2013). *Migration Paths for IEC 61850 Substation Communication Networks Towards Superb Redundancy Based on Hybrid PRP and HSR Topologies*. *Transmission & Distribution – SMART GRIDS ASIA*. [online][viitattu 12.1.2015]. Saatavilla: <http://www.metering.com/wp-content/uploads/i/p/Asia/3/Davinder-Harcharan.pdf>
- Hoyos, J. Dehus, M. Brown, T.X. (2012). *Exploiting the GOOSE protocol: A practical attack on cyber-infrastructure*, Globecom Workshops (GC Wkshps), 2012 IEEE , vol., no., pp.1508,1513, 3-7 Dec. 2012

IEEE (2014a). *EtherType* - *The IEEE Standards Association*. [viitattu 26.11.2014]
[online] Saatavilla: <http://standards.ieee.org/develop/regauth/ethertype/eth.txt>

IEEE (2014b). *FAQ: What is an EtherType?* [viitattu 12.12] [online] Saatavilla:
<http://standards.ieee.org/faqs/regauth.html#23>

IEC TR 61850-1 (2003). *Communication networks and systems for power utility automation - Part 1: Introduction and overview*, 1st edition.

IEC 61850-4 (2011). *Communication networks and systems for power utility automation - Part 4: System and project management*, 2nd edition.

IEC 61850-5 (2013). *Communication networks and systems for power utility automation – Part 5: Communication requirements for functions and device models*, 2nd edition.

IEC 61850-6 (2009). *Communication networks and systems for power utility automation – Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs*, 2nd edition.

IEC 61850-7-1 (2011). *Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-1: Basic communication structure – Principles and models*, 2nd edition.

IEC 61850-7-2 (2010). *Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-2: Basic information and communication structure - Abstract communication service interface (ACSI)*, 2nd edition.

IEC 61850-7-3 (2010). *Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-3: Basic communication structure - Common data classes*. 2nd edition.

IEC 61850-7-4 (2010). *Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-4: Basic communication structure - Compatible logical node classes and data object classes*, 2nd edition.

IEC 61850-8-1 (2011). *Communication networks and systems for power utility automation - Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM) - Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3*, 2nd edition.

IEC 61850-9-2 (2011). *Communication networks and systems for power utility automation - Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3*, 2nd edition.

IEC 61850-80-3 TR (2014). *Communication networks and systems for power utility automation - Part 80-3: Mapping to web protocols - Requirement analysis and technology assessment*. (Standardin luonnos 1.8.2014).

IEC Webstore (2014a). *IEC 61850 replaced / withdrawn publications*. [online] [viitattu 4.11.2014] Saatavilla: <http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/mysearchajax?Openform&key=61850&sorting=&start=1&onglet=2>

IEC Webstore (2014b). *IEC 61850-SER ed1.0 (2013-12)*. [online] [viitattu 4.11.2014]. Saatavilla: http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/ArtNum_PK/33549?OpenDocument

Ito, H. Ohashi, K. (2008). High Performance IEC 61850 GOOSE and Protection Relay Testing. *PacWorld Magazine* [online] Winter 2008 [viitattu: 3.10.2014] Saatavilla: https://www.pacw.org/no-cache/issue/winter_2008_issue/protection_goose/high_performance_iec_61850_goose_and_protection_relay_testing/complete_article/1/print.html

- Kenwrick, A. Schaub, P. (2009). An IEC 61850 Process Bus Solution for Powerlink's iPASS Substation Refurbishment Project. *PacWorld Magazine* [online] summer 2009 [viitattu 6.10.2014] Saatavilla: http://www.pacw.org/fileadmin/doc/SummerIssue09/Powerlink_summer09.pdf
- Kirrmann, Hubert (2006). *Standard Redundancy Methods for Highly Available Automation Networks – rationales behind the upcoming IEC 62439 standard* [online]. Saatavilla: http://www.iestcfa.org/presentations/etfa06/EFTA06_Kirrmann.pdf
- Konka, J.W. Arthur, C.M. Garcia, F.J. Atkinson, R.C. (2011) "Traffic generation of IEC 61850 sampled values," *2011 IEEE First International Workshop on Smart Grid Modeling and Simulation (SGMS)*. 17 Oct. 2011
- Lemmetyinen, A. (2014). *Katsaus avoimen lähdekoodin IEC 61850 - ohjelmointikirjastoihin*. Vaasan yliopisto. Sähkötekniikan seminaarityö. 6.6.2014 (julkaisematon)
- Mackiewicz, R. (2011). *IEC 61850 Technical Overview And Summary of Other Related IEC Standards*. [online] [viitattu 17.10.2014] Saatavilla: www.ucaiug.org/Meetings/Austin2011/Shared Documents/IEC_61850-Tutorial.pdf
- Mekkanen, M. Virrankoski, R. Elmusrati, M. Antila, E. (2014). "Analysis and Methodology for Measuring the IEC61850 GOOSE Messages Latency: Gaining Interoperability Testing". *2014 World Congress on Computer Applications and Information Systems (WCCAIS)*, 17-19 Jan. 2014
- Mini, S.T. Iqbal, A. Nitin, G. (2013). *IEC 61850 Source Code Implementation for Accessing IED Data*. [online] IJAREEIE (International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering). Special Issue 2013 December. [viitattu 5.11.2014]. Saatavilla: http://www.ijareeie.com/upload/2013/dec13-special/9_nitin-iqbal.pdf

Moore, R. Goraj, M. (2011). *New paradigm of smart transmission substation – practical experience with Ethernet based fiber optic switchyard at 500 kilovolts*. 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe).

Muschlitz, B. (2013). *What's in my SCL File?* [online] [viitattu 19.11.2014] Saatavilla: <http://www.enernex.com/blog/whats-in-my-scl-file/>

Muschlitz, B. EnerNex LLC (2012). IEC 61850 Interoperability Challenges and Solutions. *PacWorld magazine* [online] December 2012 [viitattu 1.10.2014] Saatavilla: http://www.pacw.org/issue/december_2012_issue/interoperability/a_new_fault_location_method/complete_article/1.html

Männikkö, T. (2010) Jyväskylän yliopisto. *Tietoverkot-kurssin 11. luennon kalvot* (30.11.2010). [online] [viitattu 24.11.2014]. Saatavilla: <http://users.jyu.fi/~mannikko/tietoverkot/luennot/luento11.pdf>

Netcontrol Oy (2014). *Netcon GW502-iM*. [online] [viitattu 1.11.2014] Saatavilla <http://www.netcontrol.com/fin/tuottet/sahkoasema-automaatio/yhdyskaytava-ja-protokollamuunnin/netcon-gw502-im/>

Pan, Y. Sun, K. Ma, L. (2012). "*Design and implementation of visual SCL configurator*". Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012). International Conference on Advanced Power System Automation and Protection. pp.782,785, 3-5 March 2012

Piirainen, Jukka (2010). *Horizontal IEC 61850 communication*. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Sähkövoimatekniikka. Diplomityö. Saatavilla: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6601/piirainen.pdf?sequence=3>

UCA International Users Group (2004). *Implementation guideline for digital interface to instrument transformer's using iec 61850-9-2* [online] Saatavilla: http://iec61850.ucaiug.org/implementation%20guidelines/digif_spec_9-2le_r2-1_040707-cb.pdf

Raspberry Pi Foundation (2015a). *Raspberry Pi Models and Revisions*. [online] [viitattu 13.1.2015]. Saatavilla: <http://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/models/README.md>

Raspberry Pi Foundation (2015b). *FAQS*. [online] [viitattu 13.1.2015]. Saatavilla: <http://www.raspberrypi.org/help/faqs/>

Real Time Automation Inc. (2014). *Modbus TCP/IP*. [online] [viitattu 15.11.2014] Saatavilla: <http://www.rtaautomation.com/technologies/modbus-tcpip/>

Rene, A.; James, A. (2010) "Integration and testing challenges of IEC 61850 multivendor protection schemes," 10th IET International Conference on *Developments in Power System Protection (DPSP 2010)*, Manchester, UK.

RuggedCom (2014). *Evolution of Substation Communication*. [viitattu 12.10.2014] [online] Saatavilla: <http://www.ruggedcom.com/applications/electric-utilities/evolution/>

Schwarz, K. (2014a). *UCAIUG Interoperability Report (Munich 2013) available – And Now?* (Julkaistu 3.11.2014) [online] [viitattu 7.1.2015]. Saatavilla: <http://blog.iec61850.com/2014/11/ucaiug-interoperability-report-munich.html>

Schwarz, K. (2014b). *IEC 61850 in Hydro Power Plants* (Julkaistu 4.11.2014) [online] [viitattu 7.12.2014]. Saatavilla: <http://blog.iec61850.com/2014/11/iec-61850-in-hydro-power-plants.html>

- Schwarz, K. (2013). *Abbreviations in IEC 61850 and related documents*. (Julkaistu 5.8.2013) [online] [viitattu 17.10.2014]. Saatavilla: <http://www.nettedautomation.com/download/std/61850/Abbreviations-IEC61850.pdf>
- Schwarz, K. (2011). *Does IEC 61850 require special Ethernet Switches?* (julkaistu 18.2.2011). [online] [viitattu 2.12.2014] Saatavilla: <http://blog.iec61850.com/2011/02/does-iec-61850-require-special-ethernet.html>
- Schwarz, K. (2008). *Manufacturing message specification – ISO9506 (MMS)* [online]. [viitattu 3.12.2014]. Saatavilla: http://www.nettedautomation.com/download/MMS-R1-2_2008-02-26.pdf.
- Schwarz, K. (2000). *MMS Objects and Services (Introduction to MMS Nr. 4)*. [online] [viitattu 23.10.2014]. Saatavilla: http://www.nettedautomation.com/standardization/iso/tc184/sc5/wg2/mms_intro/intro4.html
- Sidhu, T. Kanabar, M. Parikh, P. (2011) "Configuration and performance testing of IEC 61850 GOOSE". *2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP)*. 16-20 Oct. 2011
- Skendzic, V. Ender, I. Zweigle, G. (2014). "IEC 61850-9-2 Process Bus". *PacWorld magazine* [online] June 2014 [viitattu 27.11.2014] Saatavilla: https://www.pacw.org/issue/june_2014_issue/cover_story/design_of_system_integrity_protection_schemes_sips/complete_article/1.html
- Subnet solutions Inc. (2014). *Remote Terminal Unit*. [online] [viitattu 1.11.2014]. Saatavilla: <http://www.subnet.com/resources/dictionary/remote-terminal-unit.aspx>

Starck, J. Wimmer, W. Majer, K. (2013). "Switchgear optimization using IEC 61850-9-2". *CIREN 22nd International Conference on Electricity Distribution*. Stockholm, 10-13 June 2013 [online]. Saatavilla: http://www.cired.net/publications/cired2013/pdfs/CIREN2013_0225_final.pdf

Starck, J. Hakala-Ranta, A. Stefanka, M. (2012). "Switchgear Optimization Using IEC 61850-9-2 and Non-Conventional Measurements". *PAC World Conference*. Budapest. [online]. Saatavilla: [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/06bcbb62a1542149c1257a6a0016e819/\\$file/OP002%20Switchgear%20Optimization%20Using%20IEC%2061850-9-2%20and%20Non-Conventional%20Measurements.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/06bcbb62a1542149c1257a6a0016e819/$file/OP002%20Switchgear%20Optimization%20Using%20IEC%2061850-9-2%20and%20Non-Conventional%20Measurements.pdf)

Stefanka, M. (2007). *Introduction to IEC 61850 Industrial Ethernet in Distribution Automation*. IEEE Switchgear Committee Philadelphia 18.10.2007. [online] [viitattu 5.11.2014] Saatavilla: http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/switchgear/presentations/2007-2_Thu_Stefanka.pdf

Suittio, A. (2010). *Testing IEC 61850 in multi-vendor substation automation system*. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Sähkötekniikka. Diplomityö. [online] Saatavilla: http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dyot/Suittio_Aki_julk.pdf

Söderbacka, R.C. (2013). *The GOOSE protocol*. Vaasan yliopisto. Automaatiotekniikka. Diplomityö. [online] Saatavilla: <http://www.tritonia.fi/?d=244&g=abstract&abs=5225>

Taikina-aho, M. (2011): *Redundant IEC 61850 communication protocols in substation automation*. Vaasan yliopisto. Sähkötekniikka. Diplomityö [online] Saatavilla: <http://www.tritonia.fi/?d=244&g=abstract&abs=4594>

- Tuite, D. (2013). *Industry Experts Assess Power's Frontiers* [online] [viitattu 28.10.2014] Saatavilla: <http://electronicdesign.com/power/industry-experts-assess-power-s-frontiers>
- Vaasa Energy Institute (VEI). (2014). *DEMVE* [online]. [viitattu 24.9.2014]. Saatavilla: <http://www.vei.fi/content/fi/11501/756/756.html>
- Wimmer, W. (2005). *IEC 61850 SCL - More than interoperable data exchange between engineering tools*. 15th Power Systems Computation Conference, Liege, 22-26 August 2005. Saatavilla: [http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/80467f9e16b5f20cc12570d10051f83a/\\$file/pscc_2005%20paper%20676%20wimmer.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/80467f9e16b5f20cc12570d10051f83a/$file/pscc_2005%20paper%20676%20wimmer.pdf)
- Zhang, J. Gunther, C. (2011). *IEC 61850 - Communication Networks and Systems in Substations: An Overview of Computer Science*. [online] Saatavilla: <http://seclab.web.cs.illinois.edu/wp-content/uploads/2011/03/iec61850-intro.pdf>
- Zillgith, M. (2014a). LibIEC61850-ohjelmointikirjaston kotisivu. [online] [viitattu 3.10.2014]. Saatavana: <http://libiec61850.com/libiec61850/>
- Zillgith, M. (2014b). LibIEC61850-ohjelmointikirjaston pääohjelmoiija (M.Sc.). Internet-puhelu LibIEC61850-ohjelmointikirjastoa koskien. Freiburg, Saksa. Vaasa 17.12.2014
- YongHwan, J. Kim, T. Choi, M. Lee, S. (2011). "A design of Database Configurator for IEC 61850 client," *International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP)*, 686-690
- Yun, P. (2011). "Research on IED configurator based on IEC 61850." *2011 International Conference on Control, Automation and Systems Engineering (CASE)*.

Yunpeng, L. Hong, W. Liang, W. Tao, Z. (2012). Ethernet communication based on the IEC61850-line monitoring of electrical equipment IED. *2012 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*. Sept. 2012.

LIITTEET

LIITE 1. SCD-tiedosto kuvaesimerkin kanssa.

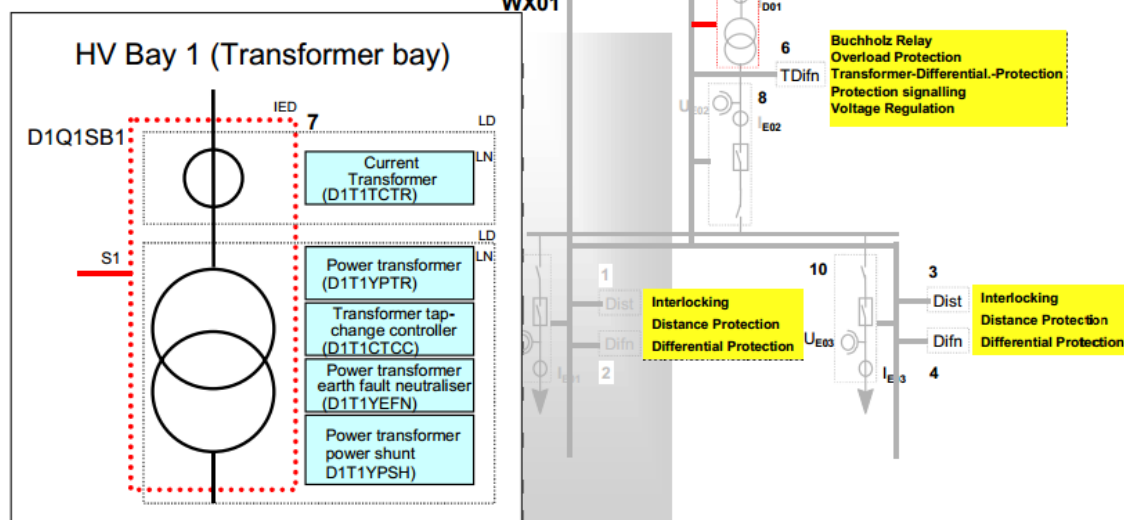
Esimerkki muuntaja-aseman kuvauksesta SCD-tiedostossa. Tiedosto on syntaktisesti oikein, muttei sisällä kaikkia tietoja, joita esimerkin visualisoivassa kuvassa 27 esitetään (IEC 61850-6 2009: 168). SCD-tiedostoa nopeasti vilkaisemalla voi päätellä, että sen laatiminen vaatii asiantuntemusta, sillä se on erittäin laaja jopa suhteellisen pieniä järjestelmiä luotaessa.

Example T 1-1

Single communications bus

IED for: Transformer bay.

No.	Name	ID
7	Trafo Bay1	D1Q1SB1



IEC 215/04

Kuva 27. SCD-tiedostossa kuvattu muuntaja-asema oheislaitteinen (IEC 61850-6 2009: 168)

Alla kuvaa 27 suurilta osin vastaava SCD-tiedosto SCL-kielillä kuvattuna (IEC 61850-6 2009: 168–179):

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<SCL xmlns="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL
SCL.xsd">
<Header id="SCL Example T1-1 " nameStructure="IEDName"/>
<Substation name="S12" desc="Baden">
<VoltageLevel name="D1 ">
<PowerTransformer name="T1 " type="PTR">
<LNode lnInst="1 " lnClass="PDIF" ldInst="F1 " ied-
Name="D1Q1BP2"/>
<LNode lnInst="1 " lnClass="TCTR" ldInst="C1 " ied-
Name="D1Q1SB1 "/>
<TransformerWinding name="W1 " type="PTW">
<Terminal connectivityNode="S12/D1/Q1/L1 " substa-
tionName="S12" voltageLevelName="D1 "
bayName="Q1 " cNodeName="L1 "/>
</TransformerWinding>
<TransformerWinding name="W2" type="PTW">
<Terminal connectivityNode="S12/E1/Q2/L3" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
bayName="Q2" cNodeName="L3"/>
</TransformerWinding>
</PowerTransformer>
<Voltage multiplier="k" unit="V">220</Voltage>
<Bay name="Q1 ">
<LNode lnInst="1 " lnClass="PDIS" ldInst="F1 " ied-
Name="D1Q1BP3"/>
<ConductingEquipment name="I1 " type="CTR">
<Terminal connectivityNode="S12/D1/Q1/L1 " substa-
tionName="S12" voltageLevelName="D1 "
bayName="Q1 " cNodeName="L1 "/>
<SubEquipment name="R" phase="A">
<LNode lnClass="TCTR " iedName="D1Q1BP2"
ldInst="F1 " lnInst="1 "/>
</SubEquipment>
<SubEquipment name="S" phase="B">
<LNode lnClass="TCTR " iedName="D1Q1BP2"
ldInst="F1 " lnInst="2"/>
</SubEquipment>
<SubEquipment name="T" phase="C">
<LNode lnClass="TCTR " iedName="D1Q1BP2"
ldInst="F1 " lnInst="3"/>
</SubEquipment>
<SubEquipment name="I0" phase="N">
<LNode lnClass="TCTR " iedName="D1Q1BP2"
ldInst="F1 " lnInst="4"/>
</SubEquipment>
</ConductingEquipment>
<ConnectivityNode name="L1 " pathName="S12/D1/Q1/L1
"/>
</Bay>
</VoltageLevel>
<VoltageLevel name="E1 ">
```

```

<Voltage multiplier="k" unit="V">132</Voltage>
<Bay name="Q1 ">
  <LNode lnInst="1 " lnClass="MMXU" ldInst="C1 " ied-
Name="E1Q1SB1 "/>
  <LNode lnInst="1 " lnClass="PDIS" ldInst="F1 " ied-
Name="E1Q1BP3"/>
  <LNode lnInst="1 " lnClass="PDIF" ldInst="F1 " ied-
Name="E1Q1BP2"/>
  <ConductingEquipment name="QA1 " type="CBR">
    <LNode lnInst="1 " lnClass="CSWI" ldInst="C1 "
iedName="E1Q1SB1 "/>
    <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q1/L1 " substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
    bayName="Q1 " cNodeName="L1 "/>
    <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q1/L2" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
    bayName="Q1 " cNodeName="L2"/>
  </ConductingEquipment>
  <ConductingEquipment name="QB1 " type="DIS">
    <Terminal connectivityNode="S12/E1/W1/BB1 " sub-
stationName="S12" voltageLevelName="E1 "
    bayName="W1 " cNodeName="BB1 "/>
    <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q1/L1 " substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
    bayName="Q1 " cNodeName="L1 "/>
  </ConductingEquipment>
  <ConductingEquipment name="U1 " type="VTR">
    <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q1/L2" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
    bayName="Q1 " cNodeName="L2"/>
    <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q1/L3" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
    bayName="Q1 " cNodeName="L3"/>
    <SubEquipment name="A" phase="A">
      <LNode lnClass="TVTR" iedName="E1Q1SB1 "
ldInst="C1 " lnInst="1 " desc="VT phase L1 "/>
    </SubEquipment>
  </ConductingEquipment>
  <ConductingEquipment name="I1 " type="CTR">
    <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q1/L3" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
    bayName="Q1 " cNodeName="L3"/>
    <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q1/L4" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
    bayName="Q1 " cNodeName="L4"/>
  </ConductingEquipment>
  <ConnectivityNode name="L1 " pathName="S12/E1/Q1/L1
"/>
  <ConnectivityNode name="L2" pathName="S12/E1/Q1/L2"/>
  <ConnectivityNode name="L3" pathName="S12/E1/Q1/L3"/>
  <ConnectivityNode name="L4" pathName="S12/E1/Q1/L4"/>
</Bay>
<Bay name="Q2" desc="Turgi">
  <ConductingEquipment name="QA1 " type="CBR">
    <LNode lnInst="1 " lnClass="CILO" ldInst="C1 "
iedName="D1Q1SB4"/>
    <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q2/L0" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
    bayName="Q2" cNodeName="L0"/>

```

```

        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q2/L1 " substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q2" cNodeName="L1 "/>
    </ConductingEquipment>
    <ConductingEquipment name="QB1 " type="DIS">
        <LNode lnInst="2" lnClass="CSWI" ldInst="C1 " ied-
Name="E1Q2SB1 "/>
        <LNode lnInst="2" lnClass="CILO" ldInst="C1 " ied-
Name="D1Q1SB4"/>
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q4/B1 " substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q4" cNodeName="B1 "/>
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q2/L0" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q2" cNodeName="L0"/>
    </ConductingEquipment>
    <ConductingEquipment name="I1 " type="CTR">
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q2/L1 " substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q2" cNodeName="L1 "/>
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q2/L2" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q2" cNodeName="L2"/>
    </ConductingEquipment>
    <ConductingEquipment name="U1 " type="VTR">
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q2/L2" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q2" cNodeName="L2"/>
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q2/L3" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q2" cNodeName="L3"/>
    </ConductingEquipment>
    <ConnectivityNode name="L0" pathName="S12/E1/Q2/L0"/>
    <ConnectivityNode name="L1 " pathName="S12/E1/Q2/L1
"/>
    <ConnectivityNode name="L2" pathName="S12/E1/Q2/L2"/>
    <ConnectivityNode name="L3" pathName="S12/E1/Q2/L3"/>
    <ConnectivityNode name="L4" pathName="S12/E1/Q2/L4"/>
</Bay>
<Bay name="Q3" desc="London">
    <LNode lnInst="1 " lnClass="MMXU" ldInst="" ied-
Name="E1Q3KA1 "/>
    <LNode lnInst="1 " lnClass="PDIS" ldInst="" ied-
Name="E1Q3KA3"/>
    <LNode lnInst="1 " lnClass="PDIF" ldInst="" ied-
Name="E1Q3KA2"/>
    <ConductingEquipment name="QA1 " type="CBR">
        <LNode lnInst="1 " lnClass="CSWI" ldInst="C1 "
iedName="E1Q3SB1 "/>
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q3/L1 " substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q3" cNodeName="L1 "/>
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q3/L2" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q3" cNodeName="L2"/>
    </ConductingEquipment>
    <ConductingEquipment name="QB1 " type="DIS">
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/W1/BB1 " sub-
stationName="S12" voltageLevelName="E1 "

```

```

        bayName="W1 " cNodeName="BB1 "/>
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q3/L1 " substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q3" cNodeName="L1 "/>
        </ConductingEquipment>
        <ConductingEquipment name="U1 " type="VTR">
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q3/L2" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q3" cNodeName="L2"/>
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q3/L3" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q3" cNodeName="L3"/>
        </ConductingEquipment>
        <ConductingEquipment name="I1 " type="CTR">
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q3/L3" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q3" cNodeName="L3"/>
        <Terminal connectivityNode="S12/E1/Q3/L4" substa-
tionName="S12" voltageLevelName="E1 "
        bayName="Q3" cNodeName="L4"/>
        </ConductingEquipment>
        <ConnectivityNode name="L1 " pathName="S12/E1/Q3/L1
"/>
        <ConnectivityNode name="L2" pathName="S12/E1/Q3/L2"/>
        <ConnectivityNode name="L3" pathName="S12/E1/Q3/L3"/>
        <ConnectivityNode name="L4" pathName="S12/E1/Q3/L4"/>
    </Bay>
    <Bay name="Q4">
        <ConnectivityNode name="B1 " pathName="S12/E1/Q4/B1
"/>
    </Bay>
    <Bay name="W1 ">
        <ConnectivityNode name="BB1 " pathName="S12/E1/W1/BB1
"/>
    </Bay>
</VoltageLevel>
</Substation>
<Communication>
    <SubNetwork name="W01 " type="8-MMS">
        <Text>Station bus</Text>
        <BitRate unit="b/s">10</BitRate>
        <ConnectedAP iedName="D1Q1SB4" apName="S1 ">
            <Address>
                <P type="IP" xsi:type="tP_IP">10.0.0.11 </P>
                <P type="IP-SUBNET" xsi:type="tP_IP-
SUBNET">255.255.255.0</P>
                <P type="IP-GATEWAY" xsi:type="tP_IP-
GATEWAY">10.0.0.101 </P>
                <P type="OSI-TSEL" xsi:type="tP_OSI-TSEL">00000001
</P>
                <P type="OSI-PSEL" xsi:type="tP_OSI-PSEL">01 </P>
                <P type="OSI-SSEL" xsi:type="tP_OSI-SSEL">01 </P>
            </Address>
            <GSE ldInst="C1 " cbName="SyckResult">
                <Address>
                    <P type="MAC-Address">01-0C-CD-01-00-02</P>
                    <P type="APPID">3001 </P>
                    <P type="VLAN-PRIORITY">4</P>
                </Address>

```

```

</GSE>
<PhysConn type="Plug">
  <P type="Type">FOC</P>
  <P type="Plug">ST</P>
</PhysConn>
</ConnectedAP>
<ConnectedAP iedName="ElQ1SB1 " apName="S1 ">
  <Address>
    <P type="IP">10.0.0.1 </P>
    <P type="IP-SUBNET">255.255.255.0</P>
    <P type="IP-GATEWAY">10.0.0.101 </P>
    <P type="OSI-TSEL">00000001 </P>
    <P type="OSI-PSEL">01 </P>
    <P type="OSI-SSEL">01 </P>
  </Address>
  <GSE ldInst="C1 " cbName="ItlPositions">
    <Address>
      <P type="MAC-Address">01-0C-CD-01-00-01 </P>
      <P type="APPID">3000</P>
      <P type="VLAN-PRIORITY">4</P>
    </Address>
  </GSE>
  <SMV ldInst="C1 " cbName="Volt">
    <Address>
      <P type="MAC-Address">01-0C-CD-04-00-01 </P>
      <P type="APPID">4000</P>
      <P type="VLAN-ID">123</P>
      <P type="VLAN-PRIORITY">4</P>
    </Address>
  </SMV>
</ConnectedAP>
<ConnectedAP iedName="ElQ1BP2" apName="S1 ">
  <Address>
    <P type="IP">10.0.0.2</P>
    <P type="IP-SUBNET">255.255.255.0</P>
    <P type="IP-GATEWAY">10.0.0.101 </P>
    <P type="OSI-TSEL">00000001 </P>
    <P type="OSI-PSEL">01 </P>
    <P type="OSI-SSEL">01 </P>
  </Address>
</ConnectedAP>
<ConnectedAP iedName="ElQ1BP3" apName="S1 ">
  <Address>
    <P type="IP">10.0.0.3</P>
    <P type="IP-SUBNET">255.255.255.0</P>
    <P type="IP-GATEWAY">10.0.0.101 </P>
    <P type="OSI-TSEL">00000001 </P>
    <P type="OSI-PSEL">01 </P>
    <P type="OSI-SSEL">01 </P>
  </Address>
</ConnectedAP>
</SubNetwork>
</Communication>
<IED name="ElQ1SB1 ">
  <Services>
    <DynAssociation/>
    <GetDirectory/>
    <GetDataObjectDefinition/>
    <GetDataSetValue/>

```



```

    <DataSetDirectory/>
    <ReadWrite/>
    <FileHandling/>
    <ConfDataSet max="4" maxAttributes="50"/>
    <ConfReportControl max="12"/>
    <ReportSettings bufTime="Dyn" cbName="Conf" rptID="Dyn"
datSet="Conf" intgPd="Dyn"
    optFields="Conf"/>
    <ConfLogControl max="1" />
    <ConfLNs fixLnInst="true"/>
    <GetCBValues/>
    <GOOSE max="2"/>
    <GSESettings appID="Conf" cbName="Conf" datSet="Conf"/>
</Services>
<AccessPoint name="S1 ">
  <Server>
    <Authentication/>
    <LDevice inst="C1 ">
      <LN0 lnType="LN0" lnClass="LLN0" inst="">
        <DataSet name="Positions">
          <FCDA ldInst="C1 " prefix="" lnInst="1 "
lnClass="CSWI" doName="Pos" fc="ST"/>
          <FCDA ldInst="C1 " prefix="" lnInst="2"
lnClass="CSWI" doName="Pos" fc="ST"/>
        </DataSet>
        <DataSet name="Measurands">
          <FCDA ldInst="C1 " prefix="" lnInst="1 "
lnClass="MMXU" doName="Amps" fc="MX"/>
          <FCDA ldInst="C1 " prefix="" lnInst="1 "
lnClass="MMXU" doName="Volts" fc="MX"/>
        </DataSet>
        <DataSet name="smv">
          <FCDA ldInst="C1 " prefix=""
lnClass="TVTR" lnInst="1 " doName="Vol" daName="instMag"
          fc="MX"/>
        </DataSet>
        <ReportControl name="PosReport"
rptID="E1Q1Switches" datSet="Positions" confRev="0">
          <TrgOps dchg="true" qchg="true"/>
          <OptFields/>
          <RptEnabled max="5">
            <ClientLN iedName="A1KA1 " ldInst="LD1
" lnInst="1 " lnClass="IHMI"/>
          </RptEnabled>
        </ReportControl>
        <ReportControl name="MeaReport"
rptID="E1Q1Measurands" datSet="Measurands"
          intgPd="2000" confRev="0">
          <TrgOps qchg="true" period="true"/>
          <OptFields reasonCode="true"/>
          <RptEnabled max="5">
            <ClientLN iedName="A1KA1 " ldInst="LD1
" lnInst="1 " lnClass="IHMI"/>
          </RptEnabled>
        </ReportControl>
        <LogControl name="Log" datSet="Positions" log-
Name="C1 ">
          <TrgOps dchg="true" qchg="true"/>
        </LogControl>

```

```

        <GSEControl name="ItlPositions"
datSet="Positions" appID="Itl"/>
        <SampledValueControl name="Volt" datSet="smv"
smvID="11 " smpRate="4800" nofASDU="5"
        multicast="true">
        <SmvOpts sampleRate="true" re-
freshTime="true" sampleSynchronized="true"/>
        </SampledValueControl>
    </LN0>
    <LN lnType="LPHDa" lnClass="LPHD" inst="1 ">
        <DOI name="Proxy">
            <DAI name="stVal">
                <Val>false</Val>
            </DAI>
        </DOI>
    </LN>
    <LN inst="1 " lnClass="CSWI" lnType="CSWIa"/>
    <LN inst="2" lnClass="CSWI" lnType="CSWIa"/>
    <LN inst="1 " lnClass="MMXU" lnType="MMXUa">
        <DOI name="Volts">
            <SDI name="sVC">
                <DAI name="offset">
                    <Val>10</Val>
                </DAI>
                <DAI name="scaleFactor">
                    <Val>200</Val>
                </DAI>
            </SDI>
        </DOI>
    </LN>
    <LN lnType="TVTRa" lnClass="TVTR" inst="1 "/>
</LDevice>
</Server>
</AccessPoint>
</IED>
<IED name="E1Q1BP2">
    <AccessPoint name="S1 "/>
</IED>
<IED name="E1Q1BP3">
    <AccessPoint name="S1 "/>
</IED>
<IED name="E1Q2SB1 ">
    <AccessPoint name="S1 "/>
</IED>
<IED name="E1Q3SB1 ">
    <AccessPoint name="S1 "/>
</IED>
<IED name="E1Q3KA1 ">
    <AccessPoint name="S1 "/>
</IED>
<IED name="E1Q3KA2">
    <AccessPoint name="S1 "/>
</IED>
<IED name="E1Q3KA3">
    <AccessPoint name="S1 "/>
</IED>
<IED name="D1Q1SB1 ">
    <AccessPoint name="S1 "/>
</IED>

```

```

<IED name="DIQ1BP2">
  <AccessPoint name="S1 "/>
</IED>
<IED name="DIQ1BP3">
  <AccessPoint name="S1 "/>
</IED>
<IED name="DIQ1SB4">
  <Services>
    <DynAssociation/>
    <GetDirectory/>
    <GetDataObjectDefinition/>
    <GetDataSetValue/>
    <DataSetDirectory/>
    <ReadWrite/>
    <FileHandling/>
    <ConfDataSet max="4"/>
    <ConfReportControl max="12"/>
    <ReportSettings bufTime="Dyn" cbName="Conf" rptID="Dyn"
datSet="Conf" intgPd="Dyn"
      optFields="Conf"/>
    <ConfLogControl max="1 "/>
    <GetCBValues/>
    <GOOSE max="2"/>
    <GSESettings appID="Conf" cbName="Conf" datSet="Conf"/>
  </Services>
  <AccessPoint name="S1 ">
    <Server>
      <Authentication/>
      <LDevice inst="C1 ">
        <LN0 lnType="LN0" lnClass="LLN0" inst="">
          <DataSet name="SyckResult">
            <FCDA ldInst="C1 " prefix="" lnInst="1 "
lnClass="RSYN" doName="Rel" fc="ST"/>
          </DataSet>
          <GSEControl name="SyckResult"
datSet="SyckResult" appID="SynChk"/>
        </LN0>
        <LN lnType="LPHDa" lnClass="LPHD" inst="1 ">
          <DOI name="Proxy">
            <DAI name="stVal">
              <Val>false</Val>
            </DAI>
          </DOI>
        </LN>
        <LN inst="1 " lnClass="RSYN" lnType="RSYNa"/>
      </LDevice>
    </Server>
  </AccessPoint>
</IED>
<DataTypeTemplates>
  <LNNodeType id="LN0" lnClass="LLN0">
    <DO name="Mod" type="myMod"/>
    <DO name="Health" type="myHealth"/>
    <DO name="Beh" type="myBeh"/>
    <DO name="NamPlt" type="myLPL"/>
  </LNNodeType>
  <LNNodeType id="LPHDa" lnClass="LPHD">
    <DO name="Mod" type="myMod"/>
    <DO name="Health" type="myHealth"/>

```

```

    <DO name="Beh" type="myBeh"/>
    <DO name="NamPlt" type="myLPL"/>
    <DO name="PhyNam" type="myDPL"/>
    <DO name="PhyHealth" type="myINS"/>
    <DO name="Proxy" type="mySPS"/>
  </LNodeType>
  <LNodeType id="CSWIa" lnClass="CSWI">
    <DO name="Mod" type="myMod"/>
    <DO name="Health" type="myHealth"/>
    <DO name="Beh" type="myBeh"/>
    <DO name="Pos" type="myPos"/>
    <DO name="GrpAl" type="mySPS"/>
  </LNodeType>
  <LNodeType id="MMXUa" lnClass="MMXU">
    <DO name="Mod" type="myMod"/>
    <DO name="Beh" type="myHealth"/>
    <DO name="Health" type="myBeh"/>
    <DO name="Amps" type="myMV"/>
    <DO name="Volts" type="myMV"/>
  </LNodeType>
  <LNodeType id="CILOa" lnClass="CILO">
    <DO name="Mod" type="myHealth"/>
    <DO name="Beh" type="myBeh"/>
    <DO name="Health" type="myINS"/>
    <DO name="EnaOpen" type="mySPS"/>
    <DO name="EnaClose" type="mySPS"/>
  </LNodeType>
  <LNodeType id="TVTRa" lnClass="TVTR">
    <DO name="Mod" type="myMod"/>
    <DO name="Health" type="myHealth"/>
    <DO name="Beh" type="myBeh"/>
    <DO name="Vol" type="mySAV"/>
  </LNodeType>
  <LNodeType id="RSYNa" lnClass="RSYN">
    <DO name="Mod" type="myMod"/>
    <DO name="Health" type="myHealth"/>
    <DO name="Beh" type="myBeh"/>
    <DO name="NamPlt" type="myLPL"/>
    <DO name="Rel" type="mySPS"/>
  </LNodeType>
  <DOType id="myMod" cdc="INC">
    <DA name="ctlVal" fc="CO" bType="Enum" type="Mod"/>
    <DA name="stVal" fc="ST" dchg="true" bType="Enum"
type="Mod"/>
    <DA name="q" fc="ST" bType="Quality" dchg="true"/>
    <DA name="t" fc="ST" bType="Timestamp" dchg="true"/>
  </DOType>
  <DOType id="myHealth" cdc="INS">
    <DA name="stVal" fc="ST" bType="Enum" dchg="true"
type="Health"/>
  </DOType>
  <DOType id="myBeh" cdc="INS">
    <DA name="stVal" fc="ST" bType="Enum" dchg="true"
type="Beh"/>
  </DOType>
  <DOType id="myINS" cdc="INS">
    <DA name="stVal" fc="ST" bType="INT32" dchg="true"/>
  </DOType>
  <DOType id="myLPL" cdc="LPL">

```

```

    <DA name="ldNs" fc="EX" bType="VisString255">
      <Val>IEC61850-7-4:2003</Val>
    </DA>
    <DA name="configRev" fc="DC" bType="VisString255">
      <Val>Rev 3.45</Val>
    </DA>
  </DOType>
  <DOType id="myDPL" cdc="DPL">
    <DA name="vendor" fc="DC" bType="VisString255">
      <Val>myVendorName</Val>
    </DA>
    <DA name="hwRev" fc="DC" bType="VisString255">
      <Val>Rev 1.23</Val>
    </DA>
  </DOType>
  <DOType id="myPos" cdc="DPC">
    <DA name="stVal" fc="ST" bType="Dbpos" dchg="true"
type="Dbpos"/>
    <DA name="q" fc="ST" bType="Quality" qchg="true"/>
    <DA name="t" fc="ST" bType="Timestamp"/>
    <DA name="ctlVal" fc="CO" bType="BOOL"/>
  </DOType>
  <DOType id="mySPS" cdc="SPS">
    <DA name="stVal" fc="ST" bType="INT32" dchg="true"/>
    <DA name="q" fc="ST" bType="Quality" qchg="true"/>
    <DA name="t" fc="ST" bType="Timestamp"/>
  </DOType>
  <DOType id="myMV" cdc="MV">
    <DA name="mag" fc="MX" bType="Struct" type="myAnalogValue"
dchg="true"/>
    <DA name="q" fc="MX" bType="Quality" qchg="true"/>
    <DA name="t" fc="MX" bType="Timestamp"/>
    <DA name="sVC" fc="CF" bType="Struct"
type="ScaledValueConfig" dchg="true"/>
  </DOType>
  <DOType id="myCMV" cdc="CMV">
    <DA name="cVal" fc="MX" bType="Struct" type="myVector"
dchg="true"/>
    <DA name="q" fc="MX" bType="Quality" qchg="true"/>
    <DA name="t" fc="MX" bType="Timestamp"/>
  </DOType>
  <DOType id="mySEQ" cdc="SEQ">
    <SDO name="c1" type="myCMV"/>
    <SDO name="c2" type="myCMV"/>
    <SDO name="c3" type="myCMV"/>
    <DA name="seqT" fc="MX" bType="Enum" type="seqT"/>
  </DOType>
  <DOType id="mySAV" cdc="SAV">
    <DA name="instMag" fc="MX" bType="Struct"
type="myAnalogValue"/>
    <DA name="q" fc="MX" bType="Quality" qchg="true"/>
  </DOType>
  <DAType id="myAnalogValue">
    <BDA name="f" bType="FLOAT32"/>
  </DAType>
  <DAType id="ScaledValueConfig">
    <BDA name="scaleFactor" bType="FLOAT32"/>
    <BDA name="offset" bType="FLOAT32"/>
  </DAType>

```

```

<DAType id="myVector">
  <BDA name="mag" bType="Struct" type="myAnalogValue"/>
  <BDA name="ang" bType="Struct" type="myAnalogValue"/>
</DAType>
<EnumType id="ACDdir">
  <EnumVal ord="0">unknown</EnumVal>
  <EnumVal ord="1 ">forward</EnumVal>
  <EnumVal ord="2">backward</EnumVal>
  <EnumVal ord="3">both</EnumVal>
</EnumType>
<EnumType id="seqT">
  <EnumVal ord="0">pos-neg-zero</EnumVal>
  <EnumVal ord="1 ">dir-quad-zero</EnumVal>
</EnumType>
<EnumType id="Dbpos">
  <EnumVal ord="0">intermediate</EnumVal>
  <EnumVal ord="1 ">off</EnumVal>
  <EnumVal ord="2">on</EnumVal>
  <EnumVal ord="3">bad</EnumVal>
</EnumType>
<EnumType id="Tcmd">
  <EnumVal ord="0">stop</EnumVal>
  <EnumVal ord="1 ">lower</EnumVal>
  <EnumVal ord="2">higher</EnumVal>
  <EnumVal ord="3">reserved</EnumVal>
</EnumType>
<EnumType id="Beh">
  <EnumVal ord="1 ">on</EnumVal>
  <EnumVal ord="2">blocked</EnumVal>
  <EnumVal ord="3">test</EnumVal>
  <EnumVal ord="4">test/blocked</EnumVal>
  <EnumVal ord="5">off</EnumVal>
</EnumType>
<EnumType id="Mod">
  <EnumVal ord="1 ">on</EnumVal>
  <EnumVal ord="2">blocked</EnumVal>
  <EnumVal ord="3">test</EnumVal>
  <EnumVal ord="4">test/blocked</EnumVal>
  <EnumVal ord="5">off</EnumVal>
</EnumType>
<EnumType id="Health">
  <EnumVal ord="1 ">Ok</EnumVal>
  <EnumVal ord="2">Warning</EnumVal>
  <EnumVal ord="3">Alarm</EnumVal>
</EnumType>
</DataTypeTemplates>
</SCL>

```

LIITE 2: Työn IEC 61850 -palvelinohjelman ICD-konfiguraatitiedosto

Looginen solmu (LN) TTMP1 on lisätty, joka kuvaa IEC 61850-7-4 mukaisesti yleistä lämpötila-anturia. Muut elementit eivät varsinaisesti ole työn ohjelmissa käytössä vaan havainnollistavat ICD-tiedoston yleistä mallia.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<SCL xmlns="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL">
  <Header id="" nameStructure="IEDName">
  </Header>
  <Communication>
    <SubNetwork name="subnetwork1" type="8-MMS">
      <Text>Station bus</Text>
      <BitRate unit="b/s">10</BitRate>
      <ConnectedAP iedName="simpleIO" apName="accessPoint1">
        <Address>
          <P type="IP">10.0.0.32</P>
          <P type="IP-SUBNET">255.255.255.0</P>
          <P type="IP-GATEWAY">10.0.0.1</P>
          <P type="OSI-TSEL">0001</P>
          <P type="OSI-PSEL">00000001</P>
          <P type="OSI-SSEL">0001</P>
        </Address>
      </ConnectedAP>
    </SubNetwork>
  </Communication>
  <IED name="simpleIO">
    <Services>
      <DynAssociation />
      <GetDirectory />
      <GetDataObjectDefinition />
      <GetDataSetValue />
      <DataSetDirectory />
      <ReadWrite />
      <GetCBValues />
      <ConfLNs fixPrefix="true" fixLnInst="true" />
      <GOOSE max="5" />
      <GSSE max="5" />
      <FileHandling />
      <GSEDir />
      <TimerActivatedControl />
    </Services>
    <AccessPoint name="accessPoint1">
      <Server>
        <Authentication />
        <LDevice inst="GenericIO">
          <LN0 lnClass="LLN0" lnType="LLN01" inst="">
            <DataSet name="Events" desc="Events">
              <FCDA ldInst="GenericIO" lnClass="GGIO" fc="ST"
lnInst="1" doName="SPCS01" daName="stVal" />
              <FCDA ldInst="GenericIO" lnClass="GGIO" fc="ST"
lnInst="1" doName="SPCS02" daName="stVal" />
              <FCDA ldInst="GenericIO" lnClass="GGIO" fc="ST"
lnInst="1" doName="SPCS03" daName="stVal" />
            </DataSet>
          </LN0>
        </LDevice>
      </Server>
    </AccessPoint>
  </IED>
</SCL>
```

```

        <FCDA ldInst="GenericIO" lnClass="GGIO" fc="ST"
lnInst="1" doName="SPCSO4" daName="stVal" />
    </DataSet>
    <ReportControl name="EventsRCB" confRev="1"
datSet="Events" rptID="Events1" buffered="false" intgPd="1000"
bufTime="50">
        <TrgOps period="true" />
        <OptFields seqNum="true" timeStamp="true" dataSet="true"
reasonCode="true" entryID="true" configRef="true" />
        <RptEnabled max="1" />
    </ReportControl>
    <LogControl name="EventLog" datSet="Events" log-
Name="EventLog">
        <TrgOps dchg="true" qchg="true"/>
    </LogControl>
    <DOI name="Mod">
        <DAI name="ctlModel">
            <Val>status-only</Val>
        </DAI>
    </DOI>
</LN0>
<LN lnClass="LPHD" lnType="LPHD1" inst="1" prefix="" />
<LN lnClass="GGIO" lnType="GGIO1" inst="1" prefix="">
    <DOI name="Mod">
        <DAI name="ctlModel">
            <Val>status-only</Val>
        </DAI>
    </DOI>
    <DOI name="SPCSO1">
        <DAI name="ctlModel">
            <Val>direct-with-normal-security</Val>
        </DAI>
    </DOI>
    <DOI name="SPCSO2">
        <DAI name="ctlModel">
            <Val>direct-with-normal-security</Val>
        </DAI>
    </DOI>
    <DOI name="SPCSO3">
        <DAI name="ctlModel">
            <Val>direct-with-normal-security</Val>
        </DAI>
    </DOI>
    <DOI name="SPCSO4">
        <DAI name="ctlModel">
            <Val>direct-with-normal-security</Val>
        </DAI>
    </DOI>
</LN>
    <LN lnClass="TTMP" lnType="TTMP1" inst="1" prefix="">
<!-- Määritetty kuten IEC 61850-7-3 ja -7-4 ohjeistavat -->
        <DOI name="TmpSv">
            <DAI name="insMag">
                <!--lämpötila-arvon data-attribuutti -->
                </DAI>
                <DAI name="q">
<!-- mittauksen laadun osoittava data-attribuutti -->
                </DAI>
                <DAI name="t"> <!-- aikaleiman data-attribuutti -->

```



```

        </DAI>
    </DOI>
</LN>
</LDevice>
</Server>
</AccessPoint>
</IED>
<DataTypeTemplates>
  <LNNodeType id="LLN01" lnClass="LLN0">
    <DO name="Mod" type="INC_1_Mod" />
    <DO name="Beh" type="INS_1_Beh" />
    <DO name="Health" type="INS_1_Beh" />
    <DO name="NamPlt" type="LPL_1_NamPlt" />
  </LNNodeType>
  <LNNodeType id="LPHD1" lnClass="LPHD">
    <DO name="PhyNam" type="DPL_1_PhyNam" />
    <DO name="PhyHealth" type="INS_1_Beh" />
    <DO name="Proxy" type="SPS_1_Proxy" />
  </LNNodeType>
  <LNNodeType id="GGIO1" lnClass="GGIO">
    <DO name="Mod" type="INC_2_Mod" />
    <DO name="Beh" type="INS_1_Beh" />
    <DO name="Health" type="INS_1_Beh" />
    <DO name="NamPlt" type="LPL_2_NamPlt" />
    <DO name="AnIn1" type="MV_1_AnIn1" />
    <DO name="AnIn2" type="MV_1_AnIn1" />
    <DO name="AnIn3" type="MV_1_AnIn1" />
    <DO name="AnIn4" type="MV_1_AnIn1" />
    <DO name="SPCSO1" type="SPC_2_SPCSO1" />
    <DO name="SPCSO2" type="SPC_1_SPCSO2" />
    <DO name="SPCSO3" type="SPC_1_SPCSO3" />
    <DO name="SPCSO4" type="SPC_1_SPCSO1" />
    <DO name="Ind1" type="SPS_1_Proxy" />
    <DO name="Ind2" type="SPS_1_Proxy" />
    <DO name="Ind3" type="SPS_1_Proxy" />
    <DO name="Ind4" type="SPS_1_Proxy" />
  </LNNodeType>
  <!-- Muokatut datatyypin mallipohjat alla -->
  <LNNodeType id="TTMP1" lnClass="TTMP">
    <DO name="Beh" type="INS_1_Beh" />
    <DO name="TmpSv" type="MV_2_TEMP1"/>
  </LNNodeType>
  <DOType id="MV_2_TEMP1" cdc="MV">
    <DA name="insMag" bType="FLOAT32" fc="MX"/>
    <DA name="t" bType="Timestamp" fc="ST"/>
    <DA name="q" bType="Quality" fc="ST" qchg="true" />
  </DOType>
  <!-- Muokatut datatyypin mallipohjat yllä -->
  <DOType id="INC_1_Mod" cdc="INC">
    <DA name="stVal" bType="INT32" fc="ST" dchg="true" />
    <DA name="q" bType="Quality" fc="ST" qchg="true" />
    <DA name="t" bType="Timestamp" fc="ST" />
    <DA name="ctlModel" type="CtlModels" bType="Enum" fc="CF" />
  </DOType>
  <DOType id="INS_1_Beh" cdc="INS">
    <DA name="stVal" bType="INT32" fc="ST" dchg="true" />
    <DA name="q" bType="Quality" fc="ST" qchg="true" />
    <DA name="t" bType="Timestamp" fc="ST" />
  </DOType>

```

```

<DOType id="LPL_1_NamPlt" cdc="LPL">
  <DA name="vendor" bType="VisString255" fc="DC" />
  <DA name="swRev" bType="VisString255" fc="DC" />
  <DA name="d" bType="VisString255" fc="DC" />
  <DA name="configRev" bType="VisString255" fc="DC" />
  <DA name="ldNs" bType="VisString255" fc="EX" />
</DOType>
<DOType id="DPL_1_PhyNam" cdc="DPL">
  <DA name="vendor" bType="VisString255" fc="DC" />
</DOType>
<DOType id="SPS_1_Proxy" cdc="SPS">
  <DA name="stVal" bType="BOOLEAN" fc="ST" dchg="true" />
  <DA name="q" bType="Quality" fc="ST" qchg="true" />
  <DA name="t" bType="Timestamp" fc="ST" />
</DOType>
<DOType id="LPL_2_NamPlt" cdc="LPL">
  <DA name="vendor" bType="VisString255" fc="DC" />
  <DA name="swRev" bType="VisString255" fc="DC" />
  <DA name="d" bType="VisString255" fc="DC" />
</DOType>
<DOType id="MV_1_AnIn1" cdc="MV">
  <DA name="mag" type="AnalogueValue_1" bType="Struct" fc="MX"
dchg="true" />
  <DA name="q" bType="Quality" fc="MX" qchg="true" />
  <DA name="t" bType="Timestamp" fc="MX" />
</DOType>
<DOType id="SPC_1_SPCS01" cdc="SPC">
  <DA name="stVal" bType="BOOLEAN" fc="ST" dchg="true" />
  <DA name="q" bType="Quality" fc="ST" qchg="true" />
  <DA name="Oper" type="SPCOperate_1" bType="Struct" fc="CO" />
  <DA name="ctlModel" type="CtlModels" bType="Enum" fc="CF" />
  <DA name="t" bType="Timestamp" fc="ST" />
</DOType>
<DOType id="INC_2_Mod" cdc="INC">
  <DA name="q" bType="Quality" fc="ST" qchg="true" />
  <DA name="t" bType="Timestamp" fc="ST" />
  <DA name="ctlModel" type="CtlModels" bType="Enum" fc="CF" />
</DOType>
<DOType id="SPC_2_SPCS01" cdc="SPC">
  <DA name="stVal" bType="BOOLEAN" fc="ST" dchg="true" />
  <DA name="q" bType="Quality" fc="ST" qchg="true" />
  <DA name="Oper" type="SPCOperate_1" bType="Struct" fc="CO" />
  <DA name="ctlModel" type="CtlModels" bType="Enum" fc="CF" />
  <DA name="t" bType="Timestamp" fc="ST" />
</DOType>
<DOType id="SPC_1_SPCS02" cdc="SPC">
  <DA name="stVal" bType="BOOLEAN" fc="ST" dchg="true" />
  <DA name="q" bType="Quality" fc="ST" qchg="true" />
  <DA name="Oper" type="SPCOperate_1" bType="Struct" fc="CO" />
  <DA name="ctlModel" type="CtlModels" bType="Enum" fc="CF" />
  <DA name="t" bType="Timestamp" fc="ST" />
</DOType>
<DOType id="SPC_1_SPCS03" cdc="SPC">
  <DA name="stVal" bType="BOOLEAN" fc="ST" dchg="true" />
  <DA name="q" bType="Quality" fc="ST" qchg="true" />
  <DA name="Oper" type="SPCOperate_1" bType="Struct" fc="CO" />
  <DA name="ctlModel" type="CtlModels" bType="Enum" fc="CF" />
  <DA name="t" bType="Timestamp" fc="ST" />
</DOType>

```

```

<DAType id="AnalogueValue_1">
  <BDA name="f" bType="FLOAT32" />
</DAType>
<DAType id="Originator_1">
  <BDA name="orCat" type="OrCat" bType="Enum" />
  <BDA name="orIdent" bType="Octet64" />
</DAType>
<DAType id="SPCOperate_1">
  <BDA name="ctlVal" bType="BOOLEAN" />
  <BDA name="origin" type="Originator_1" bType="Struct" />
  <BDA name="ctlNum" bType="INT8U" />
  <BDA name="T" bType="Timestamp" />
  <BDA name="Test" bType="BOOLEAN" />
  <BDA name="Check" bType="Check" />
</DAType>
<EnumType id="CtlModels">
  <EnumVal ord="0">status-only</EnumVal>
  <EnumVal ord="1">direct-with-normal-security</EnumVal>
  <EnumVal ord="2">sbo-with-normal-security</EnumVal>
  <EnumVal ord="3">direct-with-enhanced-security</EnumVal>
  <EnumVal ord="4">sbo-with-enhanced-security</EnumVal>
</EnumType>
<EnumType id="OrCat">
  <EnumVal ord="0">not-supported</EnumVal>
  <EnumVal ord="1">bay-control</EnumVal>
  <EnumVal ord="2">station-control</EnumVal>
  <EnumVal ord="3">remote-control</EnumVal>
  <EnumVal ord="4">automatic-bay</EnumVal>
  <EnumVal ord="5">automatic-station</EnumVal>
  <EnumVal ord="6">automatic-remote</EnumVal>
  <EnumVal ord="7">maintenance</EnumVal>
  <EnumVal ord="8">process</EnumVal>
</EnumType>
</DataTypeTemplates>
</SCL>

```

LIITE 3: Työn IEC 61850 -ohjelmistojen C-lähdekoodit.

Mainitut koodiesimerkit ovat hyvin yksinkertaisia ja kokeellisia. Niiden on tarkoitus kompaktisti näyttää miten LibIEC61850-kirjastolla ohjelmoiminen suoritetaan. Palvelinohjelma ylläpitää IEC 61850 -tietomallissa lämpötilatietoa ja asiakasohjelma ajettaessa kysyy palvelimen tarjoamaa lämpötilatietoa.

testi_iec61850_palvelin.c:

```
#include "iec61850_server.h"
#include "hal_thread.h"
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h> //Tarvitaan Linux-komentoja varten.
#include "static_model.h" //Tiedosto, joka sisältää LibIEC61850 model
generator-työkalulla ICD-tiedostosta C-koodiksi generoidun
staattisen IEC 61850 -tietomallin.

// Tuo IEC 61850 tietomalli, joka on generoitu ICD-tiedostosta.
extern IedModel iedModel;
static int running = 0;
static IedServer iedServer = NULL;

//Kokeilee, että 1-wire protokollan lämpöanturi löytyy ja on
toiminnassa.
void scan_wl_devices()
{
    // Scan devices in /sys/bus/w1/devices
    if(system("ls -l /sys/bus/w1/devices") != 0)
    {
        printf("Unable to read /sys/bus/w1/devices\n");
    }
    else
    {
        printf ("1 Wire device found.\n");
    }
}

//Lukee 1-wire-lämpöanturista lämpötilan ja palauttaa sen liukulukuna.
float read_wl_temperature()
{
    /*
    * Tiedostoa avattaessa sisältönä on viimeisin lämpötilamittaus.
    * Täten riittää, että vain avaa tiedoston ja tallentaa lämpötilan
    merkkijonon koko tiedostosta.
    */
    const char inputString[40]; //Tiedosto, johon lämpötila on
tallennettu merkkijonona.
    char *tempString[10]; //Vektori, johon luetaan tiedostosta
lämpötila merkkijonona.
    FILE *fp;
    //Kullakin 1-wire anturilla on uniikki ID-numero, joka on
kovakoodattu tässä tilanteessa ohjelmaan. Avataan sitä edustava
tiedosto wl_slave.
```

```

fp = fopen("/sys/bus/w1/devices/28-000005563161/w1_slave", "r");
if(fp == NULL)
{
    perror("Error opening file");
    return(-1);
}
else
{
    while (fgets(inputString, 40, fp) != NULL)
    {
        //Luetaan vektoriin tiedoston sisältö.
    }
    fclose(fp);
}
//Otetaan vektorin pituus ja tallennetaan.
int len = strlen(inputString);
//Apumuuttuja lämpötilan raaka-arvolle.
float raw_temp;
sscanf(&inputString[len-6], "%f", &raw_temp);
//Muunnetaan raaka-arvo normaaliksi celsius-asteikon lukemaksi.
float temp_f = (raw_temp/1000);
//Palauta tuloksena celsius-arvo liukulukuna.
return temp_f;
}
//Pääfunktio, jossa argumentteina komentoriviparametrien lukumäärä ja
viittaus niiden sisältämiin merkkijonoihin.
int main(int argc, char** argv)
{
    //Skannataan asennetut 1-wire anturit.
    scan_w1_devices();
    //Luodaan IED-palvelimen instanssi.
    iedServer = IedServer_create(&iedModel);

    // MMS-palvelin alkaa kuuntelemaan asiakasyhteyksiä TCP portista
102.
    IedServer_start(iedServer, 102);

    //Varmistetaan, että iedServer-instanssi on olemassa. Muuten
suljetaan ohjelma.
    if (!IedServer_isRunning(iedServer))
    {
        printf("Starting server failed! Exit.\n");
        IedServer_destroy(iedServer);
        exit(-1);
    }

    //iedServer-instanssi on olemassa. Asetetaan ajo-lippu päälle.
    running = 1;
    //Lämpötila Celsius-asteina, vähintään kahden desimaalin
tarkkuudella.
    float tempCelsius = 0.2f;
    //Ikuinen silmukka, jota ajetaan niin kauan kun ohjelma on
käynnissä.
    while (running)
    {
        uint64_t timestamp = Hal_getTimeInMs();

        //Luetaan lämpötila-anturin arvo muuttujaan.

```

```

tempCelsius = read_wl_temperature();

//Testituloste, jolla voidaan tarkastaa, että asiakasohjelmassa
vastaanotettu lämpötila on jokseenkin sama kuin, mitä palvelinohjelma
mittaa.
printf("Temperature: %.2f°C\n",tempCelsius);

//Lukitaan palvelinohjelman tietomalli, jottei missään
tilanteessa muut väylän IED-laitteet voi muuttaa sitä ohjelmamme
suorittamien muutoksiemme aikana.
IedServer_lockDataModel(iedServer);

//Päivitetään lämpötilamittauksen tulos lämpötila-anturin IEC
61850 mallin data-attribuuttiin.
IedServer_updateFloatAttributeValue(iedServer,
IEDMODEL_GenericIO_TTMP1_TmpSv_insMag, tempCelsius);
//Aikaleima, joka tallennetaan tietomallin aika-attribuuttiin
"t".
IedServer_updateUTCTimeAttributeValue(iedServer,
IEDMODEL_GenericIO_TTMP1_TmpSv_t, timestamp);

//Vapautetaan palvelinohjelman tietomalli muokkaustemme
jälkeen.
IedServer_unlockDataModel(iedServer);

//Ohjelman säie lepotilaan 100 ms ajaksi. Helpottaa mm.
ohjelmiston tulosteiden seuraamista.
Thread_sleep(100);
}
// Pysäytetään MMS-palvelin ja suljetaan TCP-palvelinkäytävä, sekä
kaikki asiakkaiden käytävät.
IedServer_stop(iedServer);

/* Vapautetaan kaikki ohjelmalle varatut resurssit*/
IedServer_destroy(iedServer);
}

```

testi_iec61850_asiakasohjelma.c:

```

#include "iec61850_client.h"
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include "hal_thread.h"

//Pääfunktio, jossa argumentteina komentoriviparametrien lukuarvot ja
viittaus niiden sisältöön.
int main(int argc, char** argv)
{
    char* hostname;
    int tcpPort = 102;

    //Halutessa voi syöttää komentoriviparametreina IPv4-osoitteen ja
TCP-portin.
    if (argc > 1)
        hostname = argv[1];
    else //Oletusarvo IPv4-osoitteelle, jos parametri on tyhjä

```

```

hostname = "10.0.0.32";

if (argc > 2) //Jos TCP-portin komentoriviparametri ei ole tyhjä
niin käytetään sitä.
    tcpPort = atoi(argv[2]);

IedClientError error;

IedConnection con = IedConnection_create();
//Yhdistetään palvelimen IPv4-osoitteeseen ja TCP porttiin 102.
IedConnection_connect(con, &error, hostname, tcpPort);

if (error == IED_ERROR_OK)
{
    //Palvelimeen on yhdistetty onnistuneesti.

    // Luetaan mittaustieto palvelimen IEC 61850 -tietomallista.
    Viitataan toiminnallisen rajoitteen MX (mittaukset) ja palvelimen
    lämpötilan data-attribuutin viitteen avulla.
    MmsValue* temperatureValue = IedConnection_readObject(con,
&error, "simpleIOGenericIO/TTMPL.TmpSv.insMag", MX);

    if (temperatureValue != NULL)
    {
        //Luetaan apumuuttujaan, josta voidaan tulostaa luettu
lämpötilan lukuarvo.
        float tempfval = MmsValue_toFloat(temperatureValue);
        printf("Read temperature: %f °C\n", tempfval);
        //Tuhotetaan arvo lukemisen jälkeen.
        MmsValue_delete(temperatureValue);
    }
    //Suljetaan yhteys palvelimeen.
    IedConnection_close(con);
}
//Jos yhdistäminen ei onnistu niin tulostetaan virheilmoitus.
else
{
    printf("Failed to connect to %s:%i\n", hostname, tcpPort);
}
//Vapautetaan ohjelman yhteyteen varaamat resurssit.
IedConnection_destroy(con);
}

```