



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**MAURI MUSTONEN**  
**SÄHKÖASEMAN ÄLYKKÄÄN ELEKTRONIIKKALAITTEEN**  
**VIESTIEN TILAUS JA PROSESSOINTI**  
Diplomityö

Tarkastaja: Prof. Kari Systä

Jätetty tarkastettavaksi 17. touko-  
kuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**MAURI MUSTONEN:** sähköaseman älykkään elektroniikkalaitteen viestien tilaus ja prosessointi

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 36 sivua

Toukokuu 2018

Tietotekniikan koulutusohjelma

Pääaine: Ohjelmistotuotanto

Tarkastaja: Prof. Kari Systä

Avainsanat: IEC 61850, MMS, AMQP

*Tiivistelmä on suppea, 1 sivun mittainen itsenäinen esitys työstä: mikä oli ongelma, mitä tehtiin ja mitä saatiin tulokseksi. Kuvia, kaavioita ja taulukoita ei käytetä tiivistelmässä.*

*Laita työn pääkielellä kirjoitettu tiivistelmä ensin ja käännös sen jälkeen. Suomenkielisellemme kandidaatintyölle pitää olla myös englanninkielinen nimi arkistointia varten.*

## ABSTRACT

**MAURI MUSTONEN:** Substation's intelligent electronic devices messages subscription and processing

Tampere University of Technology

Master of Science thesis, 36 pages

May 2018

Master's Degree Programme in Information Technology

Major: Software Engineering

Examiner: Prof. Kari Systä

Keywords: IEC 61850, MMS, AMQP

The abstract is a self-contained, concise description of the thesis: what was the problem, what was done, what was the result. Do not include charts or tables in the abstract.

## ALKUSANAT

*Mistä tämän diplomityönaiheen sain ja kiittää eri ihmisiä ketä työssä oli sidoshenkilöinä.*

Tampereella, 19.4.2018

Mauri Mustonen

# SISÄLLYSLUETTELO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | JOHDANTO .....   | 1  |
| 1.1   | Tausta .....   | 2  |
| 1.2   | Laajuus .....  | 2  |
| 1.3   | Tavoitteet.....  | 2  |
| 1.4   | Työn rakenne.....  | 3  |
| 2.    | TEORIA.....  | 4  |
| 2.1   | IEC 61850 -standardi yhteiseen kommunikointiin .....                         | 4  |
| 2.1.1 | Standardin eri osat ja niiden merkitykset.....                               | 5  |
| 2.1.2 | Abstraktimalli ja sen osat.....  | 6  |
| 2.1.3 | Loogisen noodin luokkien ja attribuuttien rakentuminen .....                 | 8  |
| 2.1.4 | Attribuuttien viittaus hierarkiassa.....                                     | 10 |
| 2.1.5 | Attribuuttien funktionaalinen rajoite ja niistä muodostetut datajoukot ..... | 12 |
| 2.1.6 | Viestien tilaus ja tilauksen konfigurointi .....                             | 13 |
| 2.1.7 | Raportointi-luokan määrittäminen ja toiminta.....                            | 14 |
| 2.1.8 | Viestin rakenne ja kuinka sen sisältö muodostuu .....                        | 16 |
| 2.1.9 | Abstraktimallin sovitukset MMS-protokollaan .....                            | 19 |
| 2.2   | Advanced Message Queuing Protocol .....                                      | 21 |
| 2.2.1 | Advanced Message Queuing -malli ja sen osat .....                            | 22 |
| 2.2.2 | Vaihde (exchange) ja reititysavain (routing-key).....                        | 23 |
| 2.2.3 | Suoravaihde (direct exchange).....   | 24 |
| 2.2.4 | Hajautusvaihde (fanout exchange).....  | 25 |
| 2.2.5 | Aihepiirivaihde (topic exchange).....  | 25 |
| 2.2.6 | Otsikkovaihde (header exchange).....   | 25 |
| 2.2.7 | Jonon ja sidoksen toiminta.....  | 25 |
| 3.    | ALKUTILANNE .....  | 26 |
| 3.1   | Kokonaiskuva.....  | 27 |
| 3.2   | Ratkaistavat ongelmat .....  | 27 |
| 3.3   | Tutkimuskysymykset .....   | 28 |
| 4.    | SUUNNITTELU .....  | 29 |
| 4.1   | Suorituskyvyn parantaminen .....   | 29 |
| 4.2   | Järjestelmän hajautus .....  | 29 |
| 4.3   | Ohjelmiston parametrisointi.....   | 29 |
| 4.4   | Arkkitehtuurin suunnittelu .....   | 29 |
| 4.5   | Prosessoidun viestin muoto.....  | 29 |
| 5.    | TOTEUTUS .....   | 30 |
| 5.1   | Ohjelmiston toteutuksen valinta.....   | 30 |
| 5.2   | Kielen valinta .....   | 30 |
| 5.3   | RabbitMQ .....   | 30 |

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 5.4   | Käytettävät kirjastot ..... | 30 |
| 5.4.1 | libiec61850 .....           | 30 |
| 5.4.2 | rabbitmq-c.....             | 31 |
| 5.4.3 | JSON-formatointi .....      | 31 |
| 5.5   | Jatkokehitys.....           | 31 |
| 6.    | ARVIOINTI .....             | 32 |
| 7.    | TULOKSET .....              | 33 |
| 8.    | YHTEENVETO.....             | 34 |
|       | LÄHTEET.....                | 35 |

## KUVALUETTELO

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>Kuva 1.</b>  | <i>IEC 61850 -standardin osat ja niiden väliset relaatiot. ....</i>  | 6  |
| <b>Kuva 2.</b>  | <i>IEC 61850 -standardin abstraktimallin osat ja niiden hierarkia. ....</i>  | 7  |
| <b>Kuva 3.</b>  | <i>IEC 61850 -standardin määrittämä viitteen rakenne. ....</i>   | 11 |
| <b>Kuva 4.</b>  | <i>Puskuroitu viestien tilausprosessi asiakkaan ja palvelimen välillä. ....</i>  | 15 |
| <b>Kuva 5.</b>  | <i>Standardin määrittämä lähetetyn viestin rakenne. ....</i>   | 18 |
| <b>Kuva 6.</b>  | <i>BRCB-instanssi tarkkailee sille määritettyä datajoukkoa ja generoi viestin tapahtuman liipaistessa. ....</i>                    | 20 |
| <b>Kuva 7.</b>  | <i>Toteutetun ohjelmiston osuus ja rooli käytettävässä kokonaisuudessa tietoliikenteen kannalta. ....</i>                          | 21 |
| <b>Kuva 8.</b>  | <i>AMQ-mallin osat ja viestin kulku niiden läpi julkaisijalta tilaajalle. ....</i>   | 22 |
| <b>Kuva 9.</b>  | <i>Suoravaihte (engl. direct exchange), reitittää suoraan sidoksen reititysavaimen mukaan. ....</i>                                | 24 |
| <b>Kuva 10.</b> | <i>Hajautusvaihte (engl. fanout exchange), reitittää kaikkiin siihen si-dottuihin jonoihin riippumatta reititysavaimesta. ....</i> | 24 |

## TAULUKKOLUETTELO

|                           |   |                  |
|---------------------------|---|------------------|
| <b><i>Taulukko 1.</i></b> | <b><i>IEC 61850 -standardin pääkohtien ja niiden alakohtien dokumentit. ...</i></b>             | <b><i>5</i></b>  |
| <b><i>Taulukko 2.</i></b> | <b><i>IEC 61850 -standardin katkaisijaluokan XCBR -määrittäminen. ....</i></b>                  | <b><i>9</i></b>  |
| <b><i>Taulukko 3.</i></b> | <b><i>IEC 61850 -standardin DPC-luokan määrittäminen. ....</i></b>                              | <b><i>10</i></b> |
| <b><i>Taulukko 4.</i></b> | <b><i>Osa IEC 61850 -standardin määrittämistä funktionaalisista rajoitteista (FC). ....</i></b> | <b><i>12</i></b> |
| <b><i>Taulukko 5.</i></b> | <b><i>BRCB-luokan määritetyt attribuutit ja niiden selitteet. ....</i></b>                      | <b><i>16</i></b> |
| <b><i>Taulukko 6.</i></b> | <b><i>RCB-luokan OptFlds attribuutin arvot ja niiden selitteet, ....</i></b>                    | <b><i>17</i></b> |



## LYHENTEET JA MERKINNÄT

*Kun työ on valmis. Lisää tähän kaikki lyhenteet aakkosjärjestyksessä.*

|      |   |
|------|---|
| ACSI | engl. <i>Abstract Communication Service Interface</i> , IEC 61850 -standardin käyttämä lyhenne kuvaamaan palveluiden abstraktimalleja         |
| AMQP | engl. <i>Advanced Message Queuing Protocol</i>  |
| FFI  | engl. <i>Foreign Function Interface</i> , mekanismi, jolla ajettava ohjelma voi kutsua toisella kielellä implementoitua funktiota             |
| GIL  | engl. <i>Global Interpreter Lock</i> , tulkattavassa kielissä oleva globaali lukitus, joka rajoittaa yhden säikeen suoritukseen kerrallaan    |
| HAL  | engl. <i>Hardware Abstraction Layer</i> , laitteistoabstraktiotaso abstraktoimaan laitteen toiminnallisuus lähdekoodista                      |
| IED  | engl. <i>Intelligent Electronic Device</i> , sähköaseman älykäs elektroninen laite, joka tarjoaa toimintoja monitorointiin ja kontrollointiin |
| MMS  | engl. <i>Manufacturing Message Specification</i>  |
| RCB  | engl. <i>Report Control Block</i> , raporttien konfigurointiin ja tilaukseen tarkoitettu lohko asiakasohjelmalle                              |
| XML  | engl. <i>Extensible Markup Language</i> , laajennettava merkintäkieli, joka on ihmis- ja koneluettava   |

# 1. JOHDANTO

*Kirjoita tähän johdantoa työstä ja aiheesta. Kuinka työ valittiin ja miksi tekijä valitsi tämän työn. Kirjoita myös mitä tehtiin. Kokonaiskuva työstä pitäisi saada johdannosta. Alusta lukijaa todella hyvin yleismaallisella kuvalla ja taustalla. Asiaa pitäisi olla hyvin hallussa ennen teoriaosuuteen siirtymistä.*

*Tämän osion lukemalla lukijan pitää tietää:*

- Miksi lukija valitsi tämän aiheen?
- Mikä on sähköaseman IED ja mitä se asemassa tekee?
- Mitä standardi suurinpiirtein on ja mitä se tarkoittaa työn kannalta?
- Kenelle työ tehtiin?
- Mikä on työn haluttu lopputulos ja tavoitteet?
- Mihin työ keskittyy kaikesta eniten?
- Mikä on työn tausta ennen työn aloittamista?

*Tämä teksti tarvitsee vielä hiomista ja huomiota. On kuitenkin suuntaa antava miltä lopullinen tulee näyttämään.*

Tämä diplomityö on tehty Alsus Oy:lle, joka oli työn tekohetkellä tekijän työpaikka vuonna 2018. Tekijä valitsi työn aiheen mielenkiinnon ja ajankohdan sopiivuden takia. Työ liittyi sopivasti ajanhetkellä sen hetkisiin työtehtäviin.

Nykypäivänä sähköverkot ovat iso yhteiskuntaa ja sen sujuvaa toimivuutta. Ilman sähköä ei moni asia nykypäivänä toimisi niinkuin se on. Sähköä tarvitaan joka paikassa ja tietotekniikan lisääntyessä vieläkin enemmän. Nykypäivän sähköverkko koostuu useista erillisistä komponenteista, joita on mm. sähköntuotantolaitos, sähkölinjat ja sähköasemat. Sähköasemien tehtävä verkossa on toteuttaa erilaisia toiminnallisuuksia, kuten muuntaja, jakaminen ja verkon toiminnan tarkkailu. Nykyisin sähköasemat eivät tarvitse henkilökuntaa paikalle, kuin huoltotehtävissä. Asemien toiminnallisuutta voidaan seurata etänä. Vian tai huollon tarpeen sattuessa, huoltomies käy tarkistamassa asian paikanpäällä. Sähköaseman yksi tärkeä tehtävä on tarkkailla verkon toimivuutta ja vikatilanteen tapahtuessa esimerkiksi katkaista linjasta virrat pois vikatilanteen sattuessa. Vikatilanne voisi olla kaapelin poikkimeno ja virta pääsisi tätä kautta maihin.

Sähköasemien funktionaalisuutta nykypäivänä toteuttaa niin sanottu älykäs elektroniikka-laite (engl. Intelligent Electronic Device, lyhennetään IED). IED voidaan kytkeä ja konfiguroida toteuttamaan monta aseman eri funktionaalisuutta. IED:t voivat kommunikoida

verkon yli aseman muun logiikan ja muiden IED-laitteiden kanssa. Nykypäivänä verkon nopeus ja mahdollistaa reaaliaikaisen kommunikoinnin asemilla sen eri laitteiden välillä. IED voidaan esimerkiksi konfiguroida hoitamaan sähkölinjan kytkimenä oloa, joka myös tarkkailee linjan toimintaa mittaamalla konfiguroituja arvoja, kuten jännitettä ja virtaa. Vikatilanteen sattuessa IED katkaisee linjan virrasta enemmän vahingon välttämiseksi. Linjan korjauksen jälkeen virta kytketään takaisin päälle.

Monen eri toimijan toimiessa laitteita tuottavalla allalla ja sähköasema suuren elektronisen laitteiden määrän takia. On määritetty maailmanlaajuinen standardi IEC 61850 määrittämään koko aseman laitteiden välistä kommunikointiprotokollia varten. Standardi määrittää eri valmistajien IED-laitteille samat yhteiset kommunikointiprotokollat joita noudattamalla eri valmistajien laitteet sopivat yhteen.

Standardi määrittää mallit erilaisten viestien tilaukseen, jolla tilaaja voi tilata haluttuja konfiguroituja datapisteitä verkon yli. Tässä työssä keskitytään tämän asiakasohjelmiston suunnitteluun ja toteutukseen.

## **1.1 Tausta**

Aikaisemmin mainitusta asiakasohjelmisto oli jo olemassa protoversio ennen työn aloittamista. Ohjelmisto pystyi tilaamaan, prosessoimaan ja tallentamaan saatuja viestejä tietokantaan. Ohjelmassa oli kuitenkin suorituskykyongelmia ja eikä se tukenut kaikkia standardin määrittämiä ominaisuuksia. Niinpä uudellelle asiakasohjelman suunnittelulle ja toteutukselle oli tarve, joka myös korjaisi entisen toteutuksen ongelmat.

## **1.2 Laajuus**

Työssä keskityttiin uuden asiakasohjelman suunnitteluun toteutukseen. Työssä tehtiin tutkimusta vertailemalla erilaisia arkkitehtuureita ja näistä valitsemalla tarpeisiin sopiva. Tutkimusta tehtiin myös protoversioon, selvittämään sen suorituskykyongelmia ja kuinka nämä voitiin ottaa huomioon uudessa ohjelmistossa. Samalla käytiin läpi entisen toteutuksen arkkitehtuuria, tarkoituksena miettiä laajennusmahdollisuuksia tulevaisuutta varten uudelle toteutukselle.

## **1.3 Tavoitteet**

Tavoitteena työssä on toteuttaa uusi asiakasohjelmisto, joka kokonaan korvaisi entisen protoversion, ja toteuttaa kaikki standardin määrittämät toiminnallisuudet. Ohjelmiston pitäisi myös olla suorituskykyinen ja siinä ei saa olla samoja ongelmia kuin protoversiossa. Uuden toteutuksen pitäisi myös olla laajennettavissa uusille ominaisuuksille ja vaatimuksille.

## 1.4 Työn rakenne

Ensin työssä pohjustetaan toteutuksen ymmärtämiseen tarvittua teoriaa. Teorian jälkeen suunnitellaan itse toteutus ja argumentoidaan miksi tiettyihin valintoihin työssä päädyttiin. Suunnitelma pohjustaa tulevaa toteutusta ja sen arkkitehtuuria. Suunnittelun jälkeen tulee itse toteutus ja sen läpikäynti. Mitä kirjastoja ja tekniikoita toteutukseen on käytetty ja mikä on minkäkin tarkoitus. Toteutuksen tarkoitus on tarjota lukijalle kuva toteutuksen tärkeistä rakenteista ja komponenteista. Lopussa tehdään tuloksien katselmointi ja tuloksia verrataan alussa asetettuihin tavoitteisiin. Tarkoituksena on antaa lukijalle kuva kuinka hyvin työn tavoitteisiin päästiin ja mitä olisi voinut tehdä toisin. Lopussa myös esitellään asioita jatkokehitystä ja tutkimusta varten.

## 2. TEORIA

Tässä osiossa lukijaa perehdytetään työn kannalta tärkeään teoriaan. Teoriaosuuden kokonaan lukemalla lukija ymmärtää, mitä IEC 61850 -standardi tarkoittaa sähköasemien kannalta ja mitä kaikkea se määrittää. Kuinka standardi määrittää viestien tilauksen, ja mitä malleja ja palveluita niihin liittyy. Työn lopullisessa toteutuksessa viestit prosessoitiin ja julkaistiin jonopalvelimelle muille ohjelmille saataviksi. Teorian lopussa lukija perehdytetään jonopalvelimen toteutukseen liittyvään teoriaan. Teoriaosuus lukemalla lukija varmistaa, että ymmärtää ohjelmiston suunnittelu- ja toteutusvaiheessa käsitellyt käsitteet ja aiheet.

### 2.1 IEC 61850 -standardi yhteiseen kommunikointiin

Sähköasemilla nykypäivänä käytössä olevilla älykkäillä elektronisilla laitteilla (engl. Intelligent Electronic Device, lyhennetään IED) toteutetaan aseman toiminnallisuuden funktioita. Aseman toiminnallisuuteen liittyy sen kontrollointi ja suojaus. Aseman komponenttien suojauksen lisäksi, siihen kuuluu myös asemalta lähtevät sähkölinjat. Hyvä esimerkki sähköaseman suojauksesta on korkeajännitelinjan katkaisija, joka katkaisee virran linjasta vikatilanteissa, kuten linjan poikkimeno kaatuneen puun tai pylvään takia. Fyysistä katkaisijaa ohjaa aseman automaatiikka, joka toteutetaan IED-laitteilla. Eli IED-laite voi olla kytketty fyysisesti ohjattavaan laitteeseen [6, s. 63–64]. Koko sähköaseman toiminnallisuus koostuu monesta funktiosta, jotka on jaettu monelle IED-laitteelle. Jotta systeemi pystyy toimimaan, täytyy IED-laitteiden kommunikoida keskenään ja vaihtaa informaatiota toistensa kanssa. IED-laitteiden täytyy myös kommunikoida asemalta ulospäin erilliselle ohjausasemalle monitorointia ja etäohjausta varten [2, s. 1]. On selvää, että monimutkaisen systeemin ja monen valmistajien kesken tarvitaan yhteiset säännöt yhteistä kommunikointia varten.

Maailmanlaajuisesti määritetty IEC 61850 -standardi määrittää sähköaseman sisäisen kommunikoinnin IED-laitteiden välillä. Standardi määrittää myös kommunikointisäännöt asemalta lähtevään liikenteeseen, kuten toiselle sähköasemalle ja ohjausasemalle [6, s. 10]. Ilman yhteisiä sääntöjä jokainen valmistaja olisi vapaa toteuttamaan omat säännöt ja protokollat kommunikointiin. Seurauksena tästä olisi, että laitteet eivät olisi keskenään yhteensopivia eri valmistajien välillä. Standardin on tarkoitus poistaa tämä ja määrittää yhteiset pelisäännöt kommunikoinnin toteuttamiseen [12, s. 1].

Todella tärkeä ja iso osa standardia on sähköaseman systeemin funktioiden abstrahointi mallien kautta. Standardi määrittää tarkasti kuinka abstraktit mallit määritellään aseman oikeista laiteista ja niiden ominaisuuksista. Tarkoituksena on tehdä mallit tekniikasta ja

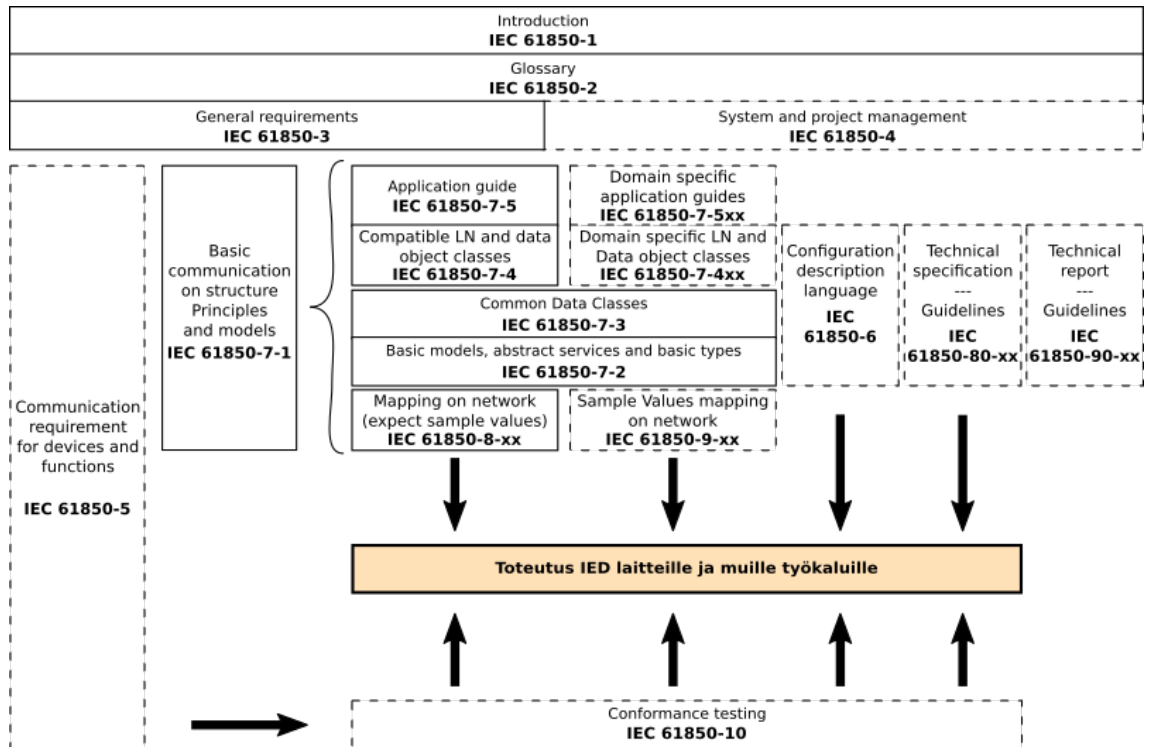
toteutuksesta riippumattomaksi. Tämän jälkeen abstrahoidut mallit mallinnetaan erikseen jollekin tekniikalle, joka sen mahdollistaa. Abstrahoituja malleja käytetään myös määrittämään sähköaseman IED-laitteiden ja aseman muiden osien konfigurointi. Abstrahoitujen mallien ansiosta standardi on pohjana tulevaisuuden laajennoksille ja tekniikoille. Uusien tekniikoiden ilmaantuessa, voidaan standardin lisätä osa, joka mallintaa abstraktimallit kyseiselle tekniikalle [2, s. 2]. Tulevassa teoriassa ensin käsitellään standardin määrittämää abstraktia tasoa, liittämättä sitä mihinkään tekniseen toteutukseen. Vasta tämän jälkeen se liitetään erikseen tekniikkaan mitä työssä käytettiin. Abstraktien mallien ja niiden toimivuuden ymmärtäminen on lukijalle tärkeää työn toteutuksen ymmärtämiseksi.

### 2.1.1 Standardin eri osat ja niiden merkitykset

IEC 61850 -standardi on todella laaja kokonaisuus. Tämän takia se on pilkottu erillisiin dokumentteihin, joista jokainen käsittelee omaa asiaansa. Historian saatossa standardiin on lisätty uusia dokumentteja laajentamaan standardia [11, 15] [4, s. 13]. Tämän työn kirjoitushetkellä standardiin kuului lisäksi paljon muitakin dokumentteja, esimerkiksi uusiin mallinnuksiin muille tekniikoille ja vesivoimalaitoksien mallintamiseen liittyviä dokumentteja. Laajuudesta huolimatta standardin voi esittää 10:llä eri pääkohdalla ja näiden alakohdilla. Taulukossa 1 on esitetty standardin pääkohdan dokumentit ja niiden alkupe-  
räiset englanninkieliset otsikot [13, s. 2] [11]. Kuvassa 1 on esitetty kaikki standardin eri osat ja niiden väliset relaatiot toisiinsa [6, s. 14] [4, s. 22]. Kuvaan on merkitty yhteinäisellä viivalla ne osat, jotka ovat tämän työn kannalta tärkeitä. Ja katkoviivalla ne, jotka eivät ole. Kuvassa käytetään standardin osien englanninkielisiä otsikoita.

***Taulukko 1.** IEC 61850 -standardin pääkohtien ja niiden alakohtien dokumentit.*

| Osa | Otsikko englanniksi   |
|-----|---|
| 1   | Introduction and overview   |
| 2   | Glossary  |
| 3   | General requirements  |
| 4   | System and project management   |
| 5   | Communication requirements for functions and device models  |
| 6   | Configuration description language for communication in power utility automation systems related to IEDs          |
| 7-1 | Basic communication structure - Principles and models   |
| 7-2 | Basic information and communication structure - Abstract communication service interface (ACSI)                   |
| 7-3 | Basic communication structure - Common data classes   |
| 7-4 | Basic communication structure - Compatible logical node classes and data object classes                           |
| 8-1 | Specific communication service mapping (SCSM) - Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3 |
| 9-2 | Specific communication service mapping (SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3                                |
| 9-3 | Precision time protocol profile for power utility automation  |
| 10  | Conformance testing   |

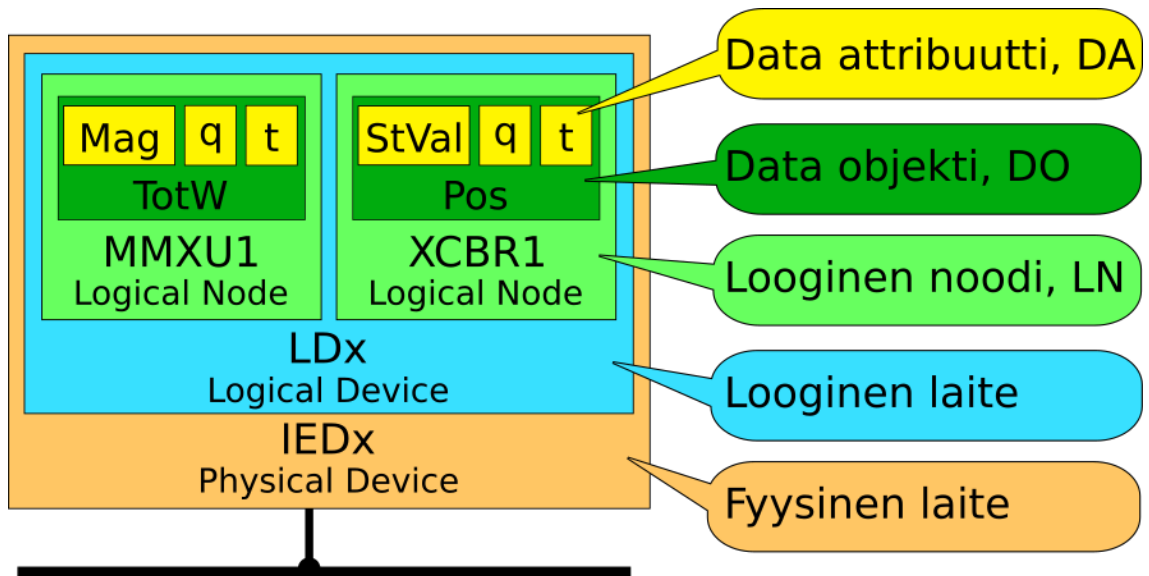


*Kuva 1. IEC 61850 -standardin osat ja niiden väliset relaatiot.*

Standardin ensimmäiset osat 1–5 kattavat yleistä kuvaa standardista ja sen vaatimuksista. Osiossa 6 käsitellään IED-laitteiden konfigurointiin käytetty XML (engl. Extensible Markup Language) -pohjainen kieli [5, s. 7–8]. Tämä osuus ei ole tämän työn kannalta tärkeä ja sitä ei sen tarkemmin käsitellä. Osat 7-1–7-4 käsittelevät standardin abstraktia mallia, niiden palveluita ja kuinka se rakentuu. Abstrahoidut palvelut ja mallit standardissa lyhennetään ACSI (engl. Abstract Communication Service Interface), ja samaa lyhennettä käytetään tässä työssä [6, s. 72]. Osissa 8–9 ja niiden alakohdissa käsitellään abstraktimallien mallintamista erillisille protokollille, jolloin malleista tulee kyseisestä tekniikasta riippuvaisia. Abstrakteja malleja ja niiden mallintamista tekniikalle käsitellään teoriassa erikseen. Osa 10 käsittelee testausmenetelmiä, joilla voidaan varmistaa standardin määrittysten noudattaminen. Tämä osuus ei myöskään ole tämän työn kannalta tärkeä, ja sitä ei teoriassa sen tarkemmin käsitellä. [6, s. 15]

## 2.1.2 Abstraktimalli ja sen osat

IEC 61850 -standardin lähtökohtana on pilkkoa koko sähköaseman toiminnallisuuden funktiot pieniksi yksilöiksi. Pilkotut yksilöt abstrahoidaan ja pidetään sopivan kokoisina, jotta ne voidaan konfiguroida esitettäväksi erillisellä IED-laiteella. Yksi aseman funktio voidaan hajauttaa monelle eri IED-laitteelle. Esimerkiksi linjan suojaukseen liittyvät komponentit, katkaisija (engl. circuit breaker) ja ylivirtasuojaja (engl. overcurrent protection) omilla IED-laitteillaan. Toimiakseen, laitteiden täytyy vaihtaa informaatiota keskenään [6, s. 31]. Näitä pilkottuja yksilöitä kutsutaan standardissa nimellä looginen noodi (engl. logical node ja lyhennetään LN). Loogiset noodit siis mallinetaan jostakin systeemin käsiteellisestä



**Kuva 2.** IEC 61850 -standardin abstraktimallin osat ja niiden hierarkia.

osasta. Loogisia noodeja käytetään rakentamaan looginen laite (engl. logic device, lyhennetään LD). Looginen laite on aseman ohjausyksikkö ja jokin fyysisen laitteen osa, joka toteuttaa loogisten noodien ohjauksen yhtäaikaan. Ylläolevasta esimerkistä looginen laite olisi aseman linjan suojaukseen liittyvät osat sisältä laite. Looginen laite siis vastaa aseman fyysistä laitetta, joka on kytketty aseman verkkoon ja sillä on IP-osoite. Yksi aseman fyysinen laite voi hoitaa monen loogisen laitteen funktionaalisuuden. Kuvassa 2 on esitetty standardin mallin eri osien hierarkia ja kuinka ne rakentuvat [3, s. 2] [4, s. 24].

Standardin määrittämissä osien hierarkiassa looginen laite on ylin yksilö, joka sisältää loogisia noodeja. Kuvassa 2 IEDx ja LDx vastaavasti. Looginen noodi sisältää data objekteja (engl. data object, lyhennetään DO). Kuvassa 2 loogiset noodit XCBR1 ja MMXU1. Ja data objektit Pos ja TotW. Data objekti sisältää data attribuutteja (engl. data attribute, lyhennetään DA). Kuvassa 2 Mag, stVal, q ja t. Data objekti on tapa koostaa yhteen samaan asiaan liittyvät data attribuutit. Data attribuutit ovat laitteen konfiguroitavia ja luettavia datapisteitä. Data attribuutit kuvaavat esimerkiksi fyysisen laitteen tilaa ja mitta-arvoja. Esimerkiksi mitattua jännitettä tai katkaisimen tilaa (kiinni tai auki). Standardin määrittämät data-objektit ja attribuutit voidaan lajitella 5 eri ryhmään:

- yleinen loogisen noodin informaatio,
- tila informaatio,
- asetukset,
- mitatut arvot ja
- ohjaus [4, s. 25].

Tässä vaiheessa on hyvä mainita, että standardi pyrkii esittämään aseman funktioiden toiminnallisuutta hierarkialla ja oliopohjaisesti. Oliopohjaisesti siten, että standardi määrittää valmiita luokkia erilaisille loogisille noodeille. Esimerkiksi katkaisijalle on määritetty



luokka nimeltä XCBR (circuit braker) [9, s. 105–106]. Ja mittaukselle MMXU (measurement) [9, s. 57–58]. Kun aseman toiminnallisuutta esitetään konfiguraatiossa ja IED-laitteella, näitä luokkia instanssioidaan tarpeen mukaan, jotta haluttu funktionaalisuus voidaan esittää. Esimerkiksi kuvassa 2 aikaisemmin mainitu XCBR-luokka on instanssioitu nimellä XCBR1 olioksi, ja MMXU-luokka nimellä MMXU1.

Standardi määrittää todella paljon erilaisia valmiita luokkia erilaisille loogisille noodeille valmiina käytettäväksi. Standardi myös määrittää laajennoksien mahdollisuudet luokkia käyttäen. Kaikki määritetyt luokat loogisille noodeille voi löytää standardin osasta 7-4.

### 2.1.3 Loogisen noodin luokkien ja attribuuttien rakentuminen

IEC 61850 -standardissa määritettyjen luokkien rakennetta on lähestytty oliopohjaisesti. Kaikki luokat määritellään standardissa taulukoilla, joissa on standardoitu kentän nimi, tyyppi, selitys ja onko kenttä optionaalinen. Tässä teoriaosuudessa esitetään esimerkkinä kuinka standardin pohjalta instansioitu looginen nodi ja sen alitason data objektit ja data attribuutit rakentuvat. Esimerkkinä käytetään aikaisemmin esitettyä kuvan 2 mallia katkaisijan instanssia XCBR1. Seuraavassa esimerkissä hierarkiassa mennään ylhäältä alaspäin.

Kuvassa 2 oleville fyysiselle- ja loogiselle laitteelle ei ole olemassa luokkia. Ainoastaan loogiselle laitteelle määritellään yksilöivä nimi, jotta sen alle määritettyjä olioita voidaan viitata. Fyysisen laitteen, eli IED:n yksilöi sille määritetty IP-osoite. Määrittämiä ja mitä luokkia instansioidaan IED-laitteeseen, määritellään sille annetussa XML-pohjaisessa konfiguraatiotiedostossa. Tämän standardi määrittää aikaisemmin mainitussa standardin osassa 6.

Standardissa osassa 7-4 on lista kaikista sen määrittämistä loogisen noodin luokista eri tarkoituksiin. Sähköaseman suunnitteleva insinööri voi ottaa näistä mitä tahansa luokkia ja instansioida niitä IED-laitteeseen, jotta saadaan aikaiseksi haluttu toiminnallisuus. Taulukossa 2 on esitetty XCBR-luokan määrittäminen. Taulukosta voi nähdä luokan instanssille määritetyt kenttien nimet ja viimeinen sarake M/O/C, kertoo onko kenttä pakollinen (Mandatory, M), optionaalinen (Optional, O), vai konditionaalinen (Conditional, C) [9, s. 106].

Loogisen noodin luokan kentät, kuten Pos, rakentuvat standardin yleisistä luokista (engl. Common Data Class, lyhennetään CDC). CDC-luokat ovat luokkia jotka sisältävät data attribuutteja, ja ovat yhteisiä monelle eri loogisen noodin luokalle. CDC-luokkien määrittäminen löytyy standardin osasta 7-3 [4, s. 26]. Taulukossa 3 on esitetty XCBR-luokan Pos-attribuutin, DPC-luokan määrittäminen (engl. controllable double point) [8, s. 44].

Taulukossa 3 voi nähdä data attribuutit stVal, q ja t. Jotka voi myös nähdä kuvassa 2 XCBR-luokan instanssin XCBR1 alla. Tällä periaatteella standardi rakentaa kaikki muutkin mallit hierarkisesti toisiinsa ja sen avulla voidaan selvittää mitä data objekteja looginen nodi sisältää, mitä data attribuutteja mikäkin data objekti sisältää. Taulukossa 3

*Taulukko 2. IEC 61850 -standardin katkaisijaluokan XCBB -määrittäminen.*

| Data objektin nimi      | Englanniksi                          | CDC-luokka | M/O/C |
|-------------------------|--------------------------------------|------------|-------|
| <b>Selitys</b>          |                                      |            |       |
| EEName                  | External equipment name plate        | DPL        | O     |
| <b>Tila informaatio</b> |                                      |            |       |
| EEHealt                 | External equipment health            | ENS        | O     |
| LocKey                  | Local or remote key                  | SPS        | O     |
| Loc                     | Local control behaviour              | SPS        | M     |
| OpCnt                   | Operation counter                    | INS        | M     |
| CBOpCap                 | Circuit breaker operating capability | ENS        | O     |
| POWCap                  | Point on wave switching capability   | ENS        | O     |
| MaxOpCap                | Circuit breaker operating capability | INS        | O     |
| Dsc                     | Discrepancy                          | SPS        | O     |
| <b>Mitatut arvot</b>    |                                      |            |       |
| SumSwARs                | Sum of switched amperes, resettable  | BRC        | O     |
| <b>Kontrollit</b>       |                                      |            |       |
| LocSta                  | Switching authority at station level | SPC        | O     |
| Pos                     | Switch position                      | DPC        | M     |
| BlkOpn                  | Block opening                        | SPC        | M     |
| BlkCls                  | Block closing                        | SPC        | M     |
| ChaMotEna               | Charger motor enabled                | SPC        | O     |
| <b>Asetukset</b>        |                                      |            |       |
| CBTmms                  | Closing time of braker               | ING        | O     |

on esitetty myös attribuuttien tyypit. Jotkin näistä ovat hyvin kuvaavia kuten INT8U tarkoittaa 8-bitin pituista etumerkitöntä kokonaislukua (engl. unsigned interger). Standardi määrittää myös erilaisia rakennettuja attribuuttiluokkia (engl. constructed attribute classes), joille on määritetty vielä ali data attribuutteja. Hyvä esimerkki taulukosta 3 on data attribuutti q, jonka tyyppi on Quality. Standardin mukaan tällä tyyppillä on vielä aliattribuutteina mm. validity, detailQual jne [8, s. 11]. Tyyppejä on paljon enemmänkin ja niitä ei käsitellä sen enempää. Lukija voi tarvittaessa tarkistaa eri tyypit helposti standardista.

Joillakin CDC-luokkien attribuutteina voi olla vielä muita CDC-luokkia. Tällöin standardissa puhutaan yleisistä aliluokista (engl. sub data object). Esimerkkinä tästä on CDC-luokka WYE, jolla on attribuuttina phsA niminen kenttä, joka on tyyppiä CMV. CMV on CDC-luokka, jolla on taas omat data attribuutinsa. [7, s. 51,61] [8, s. 36]

Taulukossa 3 on myös määritetty funktionaaliset rajoitteet (engl. Functional constraint, lyhennetään FC), sekä mahdolliset liipaiseimet (engl. trigger options, lyhennetään TrgOp) jokaiselle data attribuutille. Nämä kaksi asiaa käsitellään teoriassa tuonnempana.

Kaikkien yllämainittujen luokkien kenttien määrittäminen lisäksi standardi määrittää palveluita jokaiselle luokkatyypille erikseen. Määritetyt palvelut ovat abstrakteja ja ne mallinetaan tekniikalle erillisellä standardin osalla. Esimerkkinä palveluista kaikille data objekteille on mm. GetDataValues, joka palauttaa kaikki data objektin attribuuttien arvot. SetDataValues kirjoittaa annetut data attribuuttien arvot. Ja GetDataDirectory palauttaa

**Taulukko 3.** IEC 61850 -standardin DPC-luokan määrittäminen.

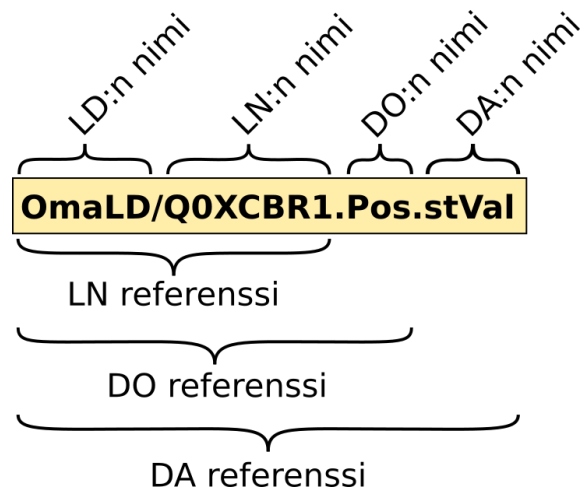
| Data attribuutin nimi                  | Tyyppi            | FC | Liipaisin (TrgOp) |
|--|-------------------|----|-------------------|
| <b>Tila ja ohjaus</b>                  |                   |    |                   |
| origin                                 | Originator        | ST |                   |
| ctlNum                                 | INT8U             | ST |                   |
| stVal                                  | CODEC ENUM        | ST | dchg              |
| q                                      | Quality           | ST | qchg              |
| t                                      | TimeStamp         | ST |                   |
| stSeld                                 | BOOLEAN           | ST | dchg              |
| opRcvd                                 | BOOLEAN           | OR | dchg              |
| opOk                                   | BOOLEAN           | OR | dchg              |
| tOpOk                                  | TimeStamp         | OR |                   |
| <b>Vaihtoehtoinen ja estäminen</b>     |                   |    |                   |
| subEna                                 | BOOLEAN           | SV |                   |
| subVal                                 | CODED ENUM        | SV |                   |
| subQ                                   | Quality           | SV |                   |
| subID                                  | VISIBLE STRING64  | SV |                   |
| blkEna                                 | BOOLEAN           | BL |                   |
| <b>Asetukset, selitys ja laajennos</b> |                   |    |                   |
| pulseConfig                            | PulseConfig       | CF | dchg              |
| ctlModel                               | CtlModels         | CF | dchg              |
| sboTimeOut                             | INT32U            | CF | dchg              |
| sboClass                               | SboClasses        | CF | dchg              |
| operTimeout                            | INT32U            | CF | dchg              |
| d                                      | VISIBLE STRING255 | DC |                   |
| dU                                     | UNICODE STRING255 | DC |                   |
| cdcNs                                  | VISIBLE STRING255 | EX |                   |
| cdcName                                | VISIBLE STRING255 | EX |                   |
| dataNs                                 | VISIBLE STRING255 | EX |                   |

kaikki data attribuuttien viitteet kyseisessä data objektissa. Näitä ja muita abstrahoituja malleja viitataan standardissa lyhentellää ACSI (engl. abstract communication service interface) [7, s. 15,45–46] [6, s. 26].

## 2.1.4 Attribuuttien viittaus hierarkiassa

IEC 61850 -standardi määrittää tarkasti kuinka hierarkian eri kohtia viitataan IED-laitteessa. Viitteitä käytetään kun IED-laitteelle tehdään standardin osan 7-2 ACSI-määritysten mukaisia palvelukutsuja. Esimerkiksi jonkin attribuutin arvon asettaminen (SetDataValues) tai lukeminen (GetDataValues). Viitteen avulla IED-laite tietää, mihin loogisen noodin instanssiin ja sen data attribuuttiin palvelupyynnö kohdennetaan. Kuvassa 3 on esitetty kuinka standardi määrittää viitteen muodostumisen loogisesta laitteesta data attribuuttiin asti [6, s. 93].

Viite muodostuu suoraan laitteessa olevien luokkien instanssien nimien ja hierarkian mukaan. Loogisen laitteen (LD) ja loogisen noodin (LN) erottimena käytetään kauttaviivaa,



**Kuva 3.** IEC 61850 -standardin määrittämä viitteen rakenne.

ja muiden osien erottimena käytetään pistettä. Loogisella laitteella voi olla käyttäjän oma määrittämä nimi, mutta kuitenkin alle 65 merkkiä. Loogisen laitteen nimeen standardi ei puutu. Loogisen noodin instanssin nimi koostuu alku-, keski- ja loppuosasta. Alkuosan käyttäjä voi itse päättää, kuvassa 3 "Q0". Voi sisältää numeroita ja kirjaimia, mutta täytyy alkaa kirjaimella. Keskiosan täytyy olla loogisen luokan nimi, josta instanssi on tehty. Tässä tapauksessa jo aikaisemmin mainittu katkaisijan luokka, XCBR. Tämä osuus on aina 4 kirjainta pitkä ja on aina isoilla kirjaimilla. Loppuosa on instanssin numeerinen arvo, joka ei sisällä kirjaimia. Loppuosan käyttäjä voi itse päättää, jonka ei tarvitse välttämättä olla juokseva numero. Alku- ja loppuosaan muotoon standardi ei anna määrittämiä. Alku- ja loppuosan yhteenlaskettu merkkien pituus täytyy olla alle 13 merkkiä. Data objektien (DO) ja attribuuttien (DA) niminä käytetään standardin määrittämiä nimiä, jotka määritetään niitä vastaavissa luokissa osissa 7-3 ja 7-4 (katso taulukot 2 ja 3). Riippuen viittauksesta, näistä muodostuu loogisen noodin referenssi, data objektin referenssi ja data attribuutin referenssi. [7, s. 181–182] [6, s. 93–95]

Standardissa määritetään kaksi näkyvyysaluetta (engl. scope) viittaukselle, jotka ovat palvelin- ja looginen laite -näkyvyysalueet. Serverinäkyvyysalueelle viitataan ottamalla viittauksesta pois loogisen laitteen nimi. Eli kuvassa 3 viittaus tulisi muotoon *"/Q0XCBR1.Pos.stVal"*. Edellemainittua viittausta käytetään silloin, kun loogisen noodin instanssi sijaitsee loogisen laitteen ulkopuolella, mutta kuitenkin palvelimella. Looginen laite -näkyvyysalueessa viittaus sisältää loogisen laitteen nimen ennen kauttaviivaa, toisin kuin palvelin-näkyvyysalueessa. Esimerkiksi kuvassa 3 oleva viittaus *"OmaLD/Q0XCBR1.Pos.stVal"*. Loogisen laitteen -näkyvyysaluetta käytetään silloin kun loogisen noodin instanssi sijaitsee loogisen laitteen sisällä sen hierarkiassa. Tässä työssä jatkossa käytetään pelkästään loogisen laitteen -näkyvyysaluetta. [7, s. 183]

Standardi määrittää maksimipituuksia viittauksille. Seuraavaksi kerrotut pituusmäärittäykset ovat voimassa kummallekin edelle mainitulle näkyvyysalueen viittaukselle. Ennen kauttaviivaa saa olla maksimissaan 64 merkkiä. Tämän jälkeen kauttaviiva, josta seuraa uu-

delleen maksimissaan 64 merkkiä. Eli koko viittauksen maksimipituus saa olla enintään 129 merkkiä, kauttaviiva mukaan lukien. [7, s. 24,183]

### 2.1.5 Attribuuttien funktionaalinen rajoite ja niistä muodostetut datajoukot

Standardin yleiset luokat (CDC) määrittävät käytettävät data attribuutit. Luokat määrittää myös jokaiselle data attribuutille aikaisemmin taulukossa 3 mainitun funktionaalisen rajoitteen (engl. *functional constraint*, lyhennetään FC). Funktionaalinen rajoite kuvaa attribuutin käyttötarkoitusta ja sitä mitä palveluita attribuuttiin voidaan käyttää. Funktionaalinen rajoite voidaan ymmärtää niin sanottuna suodattimena data objektin data attribuuteille. Esimerkiksi kaikki attribuutit, jotka liittyvät laitteen tilaan (engl. status), niillä on funktionaalinen rajoite ST (standardissa engl. status information). Standardi määrittää paljon erilaisia funktionaalisia rajoitteita, jotka ovat kaikki kahden ison kirjaimen yhdistelmiä. Taulukossa 4 on esitetty joitain tärkeimpiä funktionaalisia rajoitteita. Funktionaalinen rajoite myös määrittää onko attribuutti kirjoitettava tai luettava [7, s. 54].

**Taulukko 4.** Osa IEC 61850 -standardin määrittämistä funktionaalisista rajoitteista (FC).

| Lyhenne | Selite                              | Luettava | Kirjoitettava |
|---------|-------------------------------------|----------|---------------|
| ST      | Laitteen tilatieto (status)         | Kyllä    | Ei            |
| MX      | Mittaustieto (measurands)           | Kyllä    | Ei            |
| CF      | Laitteen asetusarvo (configuration) | Kyllä    | Kyllä         |
| DC      | Selitystieto (description)          | Kyllä    | Kyllä         |

Funktionaalisia rajoitteita käytetään, kun IED-laitteeseen tehdään ACSI-palveluiden mukaisia kutsuja. Esimerkiksi jos halutaan lukea kuvassa 3 OmaLD/Q0XCBR1.Pos polussa olevan data objektin kaikki tilan arvot yhdellä kutsulla, käytettäisiin funktionaalista rajoitetta ST taulukosta 4. Kutsu jättää lukematta kaikki muut data objektin attribuutit, paitsi ne joilla funktionaalinen rajoite on ST. Esimerkkinä taulukon 3 mukaan tulisi vain kentät origin, ctlNum, stVal, q, t, ja stSeld, ja näiden kenttien mahdolliset ala attribuutit.

Funktionaalista rajoitetta voidaan käyttää suodattamaan data attribuutteja data objektista ja niiden ali data objekteista. Toisin sanoen hierarkiassa referenssipisteestä alaspäin oleviin kentiin. Standardi määrittää lyhtenteen FCD (engl. functional constrained data), jota käytetään silloin kun hierarkian ensimmäistä data objektia suodatetaan funktionaalisella rajoitteella, ei ali data objekteja. Aikaisemmin mainittu OmaLD/Q0XCBR1.Pos funktionaalisella rajoitteella ST, on FCD-suodatus. Tässä Pos on ensimmäinen data objekti Q0XCBR1 loogisen noodin jälkeen. Tämän lisäksi määritetään lyhenne FCDA (engl. functional constrained data attribute), jota käytetään silloin kun viitteessä funktionaalisella rajoitteella suodatetaan ensimmäistä data objektia alempia kohtia. Alempia kohtia voi olla mm. ali data objektit ja rakennetut attribuutit, joilla on vielä omia data attribuutteja. FCDA-viite on myös silloin kun viitataan vain yhteen data attribuuttiin sen funktionaali-

sella rajoitteella. Ainoa ero FCD ja FCDA -viitteiden luokittelun välillä on että FCD kohdistuu ensimmäiseen data objektiin hierarkiassa ja FCDA sitä alempiin kohtiin. [7, s. 55] [10, s. 63]

FCD- ja FCDA -viitteitä käytetään rakentamaan datajoukkoja IED-laitteelle. Datajoukko koostuu siis joukosta FCD- ja FCDA -viitteitä. Jokaisella viitteellä on jokin funktionaalinen rajoite, joka suodattaa viitteen alla olevat attribuutit ja sisällyttää ne kyseiseen datajoukkoon. Datajoukkoja IED-laitteessa käytetään muodostamaan joukkoja tärkeistä data attribuuteista, joita voidaan esimerkiksi lukea ja kirjoittaa yhdellä kutsulla, muutoksia tilata viesteinä ja lokittaa myöhempää käyttöä varten. Näitä määrityksiä käytetään myöhemmin viestien liipaisemiseen ja mitä kenttiä viesteihin sisältyy. Standardi määrittää että datajoukot nimetään ja sijoitetaan jonkin loogisen noodin alle, jotta siihen voidaan viitata. Esimerkkinä viittaus "MyLD/LLN0.Testi1", joka viittaa datajoukkoon nimeltä Testi1, ja joka sijaitsee loogisessa noodissa LLN0. [7, s. 61–68]

### 2.1.6 Viestien tilaus ja tilauksen konfigurointi

IEC 61850 -standardi määrittää erilaisia liipaisimia data attribuuteille, joita voidaan käyttää liipaisemaan jokin tapahtuma IED-laitteessa. Esimerkiksi DPC-luokan määritys taulukossa 3. Standardi määrittää seuraavia liipaisimia data attribuuteille:

- datan muutos (engl. data change, standardissa lyhenne *dchg*),
- laadun muutos (engl. quality change, standardissa lyhenne *qchg*), ja
- datan päivitys (engl. data update, standardissa lyhenne *dupd*).

Edellä mainituissa ero datan muutoksen ja päivityksen välillä on se, että datan päivitys liipaisee tapahtuman, vaikka attribuutin uusi arvo olisi sama. Datan muutos ei liipaise tapahtumaa, jos uusi arvo on sama kuin edellinen arvo. Laadun muutos tarkoittaa, että data attribuuttiin liitetty laatuarvo muuttuu. Laatuarvo kertoo, voiko attribuutien arvoihin luottaa. [6, s. 90]

Standardi määrittää kaksi mahdollisesti liipaistavaa tapahtumaa IED-laitteessa, jotka ovat raportointi ja lokitus. Lokitus on IED-laitteessa tapahtuvien tapahtumien lokitusta myöhempää käyttöä ja tarkastelua varten. Esimerkiksi attribuutin arvon muutos. Raportointi on tapahtuma, jossa generoidaan viesti tapahtuman liipaisseista attribuuteista. Tämä viesti lähetetään niitä tilaaville asiakkaille. Jos tilaavaa asiakasta ei ole, viestiä ei generoida. Standardi käyttää sanaa "raportti"(engl. ja standardissa report) näiden viestien kuvaamiseen. Kuitenkin tässä työssä on käytetty sanaa "viesti"tästä eteenpäin "raportin"sijaan. Tämä sen takia, koska suomenkielessä raportti-sana voi tarkoittaa lukijalle muuta merkitystä, kuin verkon yli asiakkaan ja palvelimen välistä viestiä. Tässä työssä keskitytään edelle mainittuihin viesteihin, ei lokitukseen. Ja lopullinen ohjelmisto nimenomaan käsiteli näitä viestejä.

Standardi määrittelee kaksi luokkaa viestien tilaamisen ja konfigurointiin. Luokat ovat puskuroitu viestintälohko (engl. *Buffered Report Control Block*, lyhennetään **BRCB**) ja ei puskuroitu lohko (engl. *Unbuffered Report Control Block*, lyhennetään **URCB**). Tekstissä kumpaakin luokkaan viitattaessa käytetään lyhennettä **RCB**. Ainoa ero luokkien välillä on, että BRCB puskuroi viestejä jonkin aikaa yhteyden katkettua. Yhteyden palautuessa, se lähettää puskuroidut viestit järjestyksessä asiakkaalle. BRCB takaa viestien järjestyksen ja saatavuuden. URCB lähettää viestejä asiakkaalle ilman puskurointia. Yhteyden katketessa, viestit menetetään. IED-laitetta konfiguroitaessa, luokista tehdään instansseja asiakkaiden tarpeen mukaan. Standardi määrittää, että tilaavan asiakkaan on varattava yksi RCB-instanssi itselleen ja tänä aikana muut asiakkaat eivät voi kyseistä RCB:tä käyttää. Niinpä IED-laitteelle on määritettävä RCB-instansseja sen käyttötarkoitusten mukaan.

Jokainen RCB-instanssi kytketään johonkin muodostettuun datajoukkoon, jota se tarkkailee ja josta viestit generoidaan. Yhteen datajoukkoon voi olla kytkettynä monta RCB-instanssia. Jolloin yhden data attribuutin liipaistessa, jokainen siihen kytketty RCB generoi viestin asiakkaalle.

RCB-luokat sisältävät attribuutteja, joita asiakas konfiguroi ennen tilausta omien tarpeidensa mukaan. Tämän jälkeen asiakas varaa RCB:n kirjoittamalla konfiguroidut arvot ja asettamalla kentän RptEna arvoksi tosi (katso taulukko 5). Tämän jälkeen RCB on varattu kyseiselle asiakkaalle ja IED-laite aloittaa datajoukon attribuuttien tarkkailun. Asiakas jää odottamaan viestien tuloa palvelimelta ilman erillistä kyselyä. Jos konfiguroitu liipaisin liipaisee tapahtuman, RCB lähettää viestin asiakkaalle. Kuvassa 4 on esitetty yllämainittu prosessi asiakkaan ja palvelimen välillä käyttäen puskuroitua BRCB-luokkaa. Kuvassa yhteyden katketessa, palvelin puskuroi viestejä. Yhteyden palautuessa samalta asiakkaalta, palvelin lähettää viestit oikeassa järjestyksessä asiakkaalle. Tilaus lopetetaan asiakkaan pyynnöstä tai yhteyden ollessa poikki tarpeeksi kauan.

### 2.1.7 Raportointi-luokan määrittäminen ja toiminta

BRCB-luokalla on erilaisia attribuutteja, joita asiakas voi kirjoittaa ja lukea ennen tilauksen aloittamista. Taulukossa 5 on esitetty standardin määrittämän BRCB-luokan attributit, attribuutin nimi englanniksi ja sen selite. Taulukossa ei ole esitetty attribuuttien tyypejä, koska ne voi lukija tarvittaessa tarkemmin lukea standardin omasta määrittämisestä. Ja standardissa muutenkin kuvataan luokan eri attribuuttien toiminta paljon perusteellisemmin. Tässä työssä riittää että lukija ymmärtää luokan päätoiminnan hyvin. URCB-luokka on melkein samanlainen kuin taulukossa 5 määritetty BRCB-luokka [7, s. 94–103]. Tarkka määrittäminen ja BRCB ja URCB luokkien erot löytyvät standardin osasta 7-2 [7, s. 93–118].

RCB-luokan TrgOps-attribuutti on binääritietue, jossa yksittäinen bitti ilmaisee mikä liipaisin voi aiheuttaa viestin lähettämisen. Asiakas voi päättää mitä liipaisimia haluaa käyttää. TrgOps sisältää seuraavat liipaisimet:



**Kuva 4.** Puskuroitu viestien tilausprosessi asiakkaan ja palvelimen välillä.

- datan muutos (engl. data change, standardissa lyhenne *dchg*),
- laadun muutos (engl. quality change, standardissa lyhenne *qchg*), ja
- datan päivitys (engl. data update, standardissa lyhenne *dupd*),
- yleinen kysely (engl. *general-interrogation*, standardissa lyhenne GI), ja
- jatkuva viestintä väliajoin (engl. *intergrity*).

Kolme ensimmäistä *dchg*, *qchg* ja *dupd* ovat aikaisemmin määritettyjen data attribuuttien liipaisimia. Asiakas voi tilata viestejä esimerkiksi vain data muutoksista ja ei muista. RCB-luokka määrittää data attribuuttien liipaisimien lisäksi vielä kaksi liipaisinta lisää, yleinen kysely ja jatkuva viestintä väliajoin. Yleinen kysely on viesti, johon RCB sisällyttää kaikki datajoukon attribuutit. Ja jonka asiakas voi liipaista asettamalla luokan attribuutin GI arvoksi tosi ja TrgOps attribuutissa liipaisin on päällä. Tällöin RCB käynnistää viestin generoinnin ja lähettää sen asiakkaalle. Jos liipaisin ei ole päällä TrgOps attribuutissa, ja GI arvoksi asetetaan tosi. RCB ei generoi viestiä. Viestin lähetyksen jälkeen RCB itse asettaa GI:n arvoksi epätosi. Jatkuva viestintä on viestin lähettäminen asiakkaalle tietyn väliajoin, johon sisältyy kaikki datajoukon attribuutit, kuten yleisessä kyselyssä. Toiminnon saa päälle kun asiakas asettaa RCB-luokassa attribuutit IntgPd arvoksi muu kuin 0, ja TrgOps attribuutin arvossa kyseinen liipaisin on päällä. Attribuutti IntgPd kertoo minkä väliajoin viesti generoidaan ja lähetetään asiakkaalle. Jos IntgPd arvo on muu kuin 0 ja TrgOps attribuutissa liipaisin ei ole päällä, ei viestiä generoida ja lähetetä asiakkaalle väliajoin.

Viestien tilaus aloitetaan kun asiakas kirjoittaa RptEna-attribuutin arvoksi tosi. Tilauksen



**Taulukko 5.** BRCB-luokan määritetyt attribuutit ja niiden selitteet.

| Attribuutti | Englanniksi            | Selite   |
|-------------|------------------------|--|
| BRCBName    | BRCB name              | Objektin nimi  |
| BRCBRef     | BRCB reference         | Objektin referenssi  |
| RptID       | Report identifier      | RCB-instanssin yksilöivä id lähetettyihin viesteihin, asiakas voi asettaa  |
| RptEna      | Report enable          | Varaa RCB:n ja aloittaa viestien lähetyksen  |
| DatSet      | Data set reference     | Tarkailtavan datajoukon referenssi   |
| ConfRev     | Configuration revision | Juokseva konfiguraation numerointi, muutos kasvattaa numerointia   |
| OptFlds     | Optional fields        | Mitä optionaalisia kenttiä viestiin lisätään   |
| BufTm       | Buffer time            | Puskurointi-aika, ennen viestin lähetystä. Tänä aikana tapahtuvat liipaisut yhdistetään samaan viestiin                        |
| SqNum       | Sequence number        | Juokseva lähetetyn viestin numerointi  |
| TrgOps      | Trigger options        | Millä liipaisimilla viesti lähetetään  |
| IntgPd      | Integrity period       | Periodisen viestien väli millisekunteina, arvolla 0 ei käytössä  |
| GI          | General-interrogation  | Käynnistää yleiskyselyn, joka sisältää kaikki datajoukon attribuutit seuraavaan viestiin                                       |
| PurgeBuf    | Purge buffer           | Puhdistaa lähettämättömät viestit puskurista   |
| EntryID     | Entry identifier       | Puskurissa olevan viimeisimmän viestin id. Arvo 0 tarkoittaa tyhjää puskuria   |
| TimeOfEntry | Time of entry          | Puskurissa olevan viimeisimmän viestin aikaleima   |
| ResvTms     | Reservation time       | Instanssin varausaika sekunteina kun yhteys katkeaa, arvo -1 tarkoittaa konfiguraation aikaista varausta ja 0 että ei varausta |
| Owner       | Owner                  | Yksilöi varaavan asiakkaan, yleensä IP-osoite tai IED-laitteen nimi. Arvo 0 että RCB on vapaa tai ei omistajaa                 |

aikana kirjoitus joihinkin RCB-instanssin attribuutteihin muuttuu, verrattuna ennen tilausta. Esimerkiksi yleisen kyselyn tekeminen on mahdollista tilauksen aikana kirjoittamalla GI:n arvoksi tosi. Tilauksen aikana kirjoittamalla TrgOps-attribuutin aiheuttaa puskurin tyhjentämisen. Ja Attribuutin OptFlds kirjoitus aiheuttaa epäonnistuneen vastauksen palvelimelta.

RCB-luokan attribuuttin OptFlds avulla asiakas voi asettaa mitä vaihtoehtoisia kenttiä viestiin sisällytetään. Attribuutin OptFlds on binääritietue, niin kuin ja TrgOps ja taulukossa 6 on esitetty sen asetettavat arvot [7, s. 98].

Kuinka attribuutit vaikuttavat viestin rakenteeseen ja mitä syitä arvon tai arvojen sisällyttämiseen viestissä voi olla, käsitellään seuraavassa kohdassa.

### 2.1.8 Viestin rakenne ja kuinka sen sisältö muodostuu

Kuvassa 5 on esitetty standardin määrittämän viestin rakenne ja kuinka optionaaliset kentät vaikuttavat viestin sisältöön [7, s. 104]. Kuvasta voi helposti nähdä mitä kohtia optio-

**Taulukko 6.** RCB-luokan OptFlds attribuutin arvot ja niiden selitteet,

| Arvo                 | Selite   |
|----------------------|--|
| sequence-number      | Jos tosi, sisällytä RCB-luokan attribuutti SqNum viestiin  |
| report-time-stamp    | Jos tosi, sisällytä RCB-luokan attribuutti TimeOfEntry viestiin  |
| reason-for-inclusion | Jos tosi, sisällytä syy miksi arvo(t) sisällytettiin viestiin  |
| data-set-name        | Jos tosi, sisällytä RCB-luokan attribuutti DataSet viestiin  |
| data-reference       | Jos tosi, sisällytä datajoukon liipaisseen kohdan rakentamiseen käytetty FCD- tai FCDA-referenssi viestiin |
| buffer-overflow      | Jos tosi, sisällytä viestiin tieto onko puskuri vuotanut yli kentällä BufOvfl (engl. buffer overflow)      |
| entryID              | Jos tosi, sisällytä RCB-luokan attribuutti EntryID viestiin  |
| conf-revision        | Jos tosi, sisällytä RCB-luokan attribuutti ConfRev viestiin  |

naaliset kentät viestiin lisäävät.

Viestin kenttiä SqNum, SubSqNum ja MoreSegmentsFollow käytetään kertomaan asiakkaalle, jos päätason viesti on liian pitkä ja se on pilkottu alaosiin. Kenttä SqNum on RCB-instanssin samanniminen kenttä ja on juokseva numerointi päätason viesteille. Kenttä SubSqNum on juokseva numerointi alkaen 0, jos päätason viesti, eli saman SqNum arvon sisältävä viesti on pilkottu osiin. Kentän MoreSegmentsFollow ollessa tosi asiakas tietää että päätason viesti on pilkottu osiin ja seuraava osa on odotettavissa palvelimelta. Kun viestin kaikki osat on lähetetty, palvelin asettaa viimeisessä viestissä kentän MoreSegmentsFollow arvoksi epätosi ja seuraavassa päätason viestissä SubSqNum kentän arvoksi 0. [7, s. 105–106]

Puskuroidun BRCB-instanssin puskurin täyttyessä viesteistä, esimerkiksi laiterajoitteesta johtuen. Asettaa RCB-instanssi seuraavaan viestiin kentän BufOvlf arvoksi tosi. Tästä kentästä asiakas voi päätellä onko tapahtunut tiedon menetyksiä. Kenttä sisällytetään viestiin vain jos RCB-instanssin OptFlds-attribuutissa on buffer-overflow bitti asetettu arvoon tosi. [7, s. 106–107]

Tärkein rakenne viestistä on ymmärtää kuinka liipaisut datajoukon alkio viestiin on lisätty. Yksi viesti voi sisältää 1:stä n:ään kappaletta alkioita. Tämä arvo riippuu onko RCB-instanssilla käytössä puskurointiaika BufTm. Tämän ajan sisällä liipaiseet datajoukon alkiot sisällytetään samaan viestiin. Jokainen sisällytetty alkio voi sisältää kentät DataRef tai ReasonCode. Jokaiselle alkiolle pakollinen tieto on Value. Tärkeä tieto Value kentästä on ymmärtää, että se voi sisältää yhden tai monta data attribuutin arvoa. Tämä riippuu viittaako datajoukon liipaisut alkion FCD- vai FCDA-referenssi kuinka moneen data attribuuttiin. Viittauksen ollessa FCDA-referenssi, joka sisältää vain yhden data-attribuutin. Sisältää Value-kenttä vain kyseisen data attribuutin arvon. Jos viittaus on FCD tai FCDA-referenssi, joka sisältää monta data attribuuttia. Sisältää Value-kenttä kaikki kyseiset arvot referenssin alapuolelta hierarkiassa, vaikka niistä olisi liipaisut vain yksi attribuutti. Tätä tapahtumaa on selitetty tarkemmin alla ja kuvassa 6 on esitetty malli kuinka yksi attribuutin liipaisu aiheuttaa eri viestin generoinnin kahdelta eri RCB-instanssilta. Viesteissä Value-kenttä sisältää eri arvot samasta tapahtumasta. [6, s. 107–108]

| Viestin rakenteellinen sisältö     |                      |   |
|------------------------------------|----------------------|---|
| Parametrin nimi                    | Englanniksi          | Selitys   |
| <b>RptID</b>                       | Report identifier    | RCB-instanssin yksilöivä id.  |
| <b>OptFlds</b>                     | Optional fields      | Mitä optionaalisia kenttiä viestiin on sisällytetty                   |
| Jos sequence-number = tosi         |                      |   |
| <b>SqNum</b>                       | Sequence number      | Juokseva lähetetyn viestin numerointi                                 |
| <b>SubSqNum</b>                    | Sub sequence number  | Pilkotun viestin juokseva alinumerointi                               |
| <b>MoreSegmentsFollow</b>          | More segments follow | Tosi jos samalla juoksevalla päänumerolla saapuu vielä lisää viestejä |
| Jos data-set-name = tosi           |                      |   |
| <b>DatSet</b>                      | Data set             | Tarkailtavan datajoukon referenssi                                    |
| Jos buffer-overflow = tosi         |                      |   |
| <b>BufOvfl</b>                     | Buffer overflow      | Jos arvo on tosi, on bufferoidut viestit vuotaneet yli                |
| Jos conf-revision = tosi           |                      |   |
| <b>ConfRev</b>                     | Configure revision   | Juokseva konfiguraation numerointi                                    |
| Viestin data                       |                      |   |
| Jos report-time-stamp = tosi       |                      |   |
| <b>TimeOfEntry</b>                 | Time of entry        | Aikaleima milloin viesti generoitiin                                  |
| Jos entryID = tosi                 |                      |   |
| <b>EntryID</b>                     | Entry id             | Viestin yksilöivä numero  |
| Liipaissut datajoukon alkio [1..n] |                      |   |
| Jos data-reference = tosi          |                      |   |
| <b>DataRef</b>                     | Data reference       | Liipaiseen datajoukon alkion FCD tai FCDA referenssi                  |
| <b>Value</b>                       | Value                | Sisältää arvon tai arvot liipaisseesta datajoukon alkioista           |
| Jos reason-for-inclusion = tosi    |                      |   |
| <b>ReasonCode</b>                  | Reason code          | Syykoodi miksi tämä datajoukon kohta on sisällytetty viestiin         |

*Kuva 5. Standardin määrittämä lähetetyn viestin rakenne.*

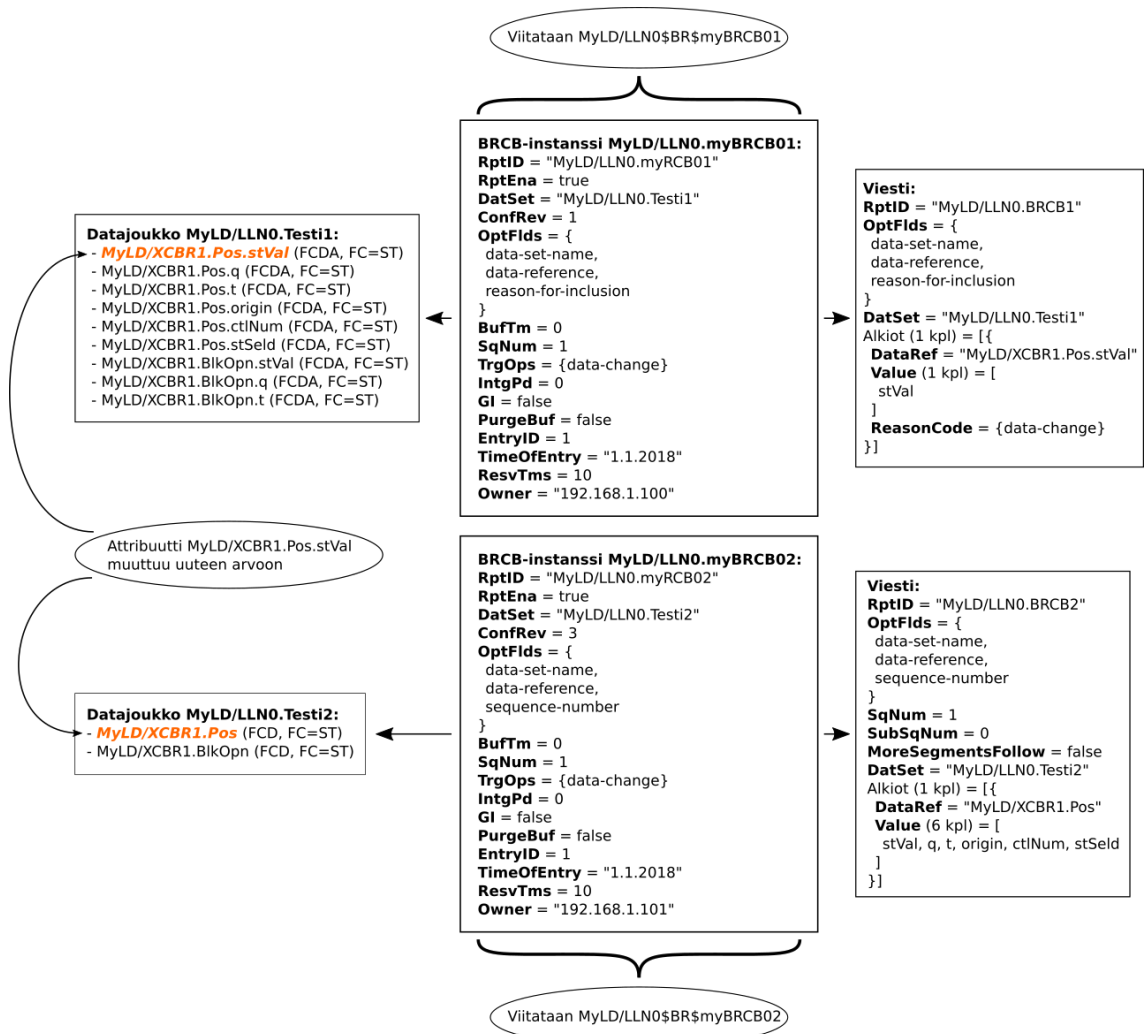
Kuvassa 6 on määritetty kaksi datajoukkoa MyLD/LLN0.Testi1 ja MyLD/LLN0.Testi2. Joista Testi1 sisältää 9 eri FCDA-referenssiä funktionaalisella rajoitteella ST. Ja Testi2 sisältää kaksi FCD-referenssiä funktionaalisella rajoitteella ST. Nyt IED-laitteessa attribuutissa MyLD/XCBR1.Pos.stVa tapahtuu arvon muutos uuteen. Tämä liipaisee tapahtuman IED-laitteessa ja se huomaa että attribuutti on viitattuna kahdessa eri datajoukossa. Näitä kahta datajoukkoa viittaa kaksi BRCB-instanssia MyLD/LLN0.myBRCB01 ja MyLD/LLN0.myBRCB02. Joista kummatkin on tilattu (RptEna on tosi) ja TrgOps kenttä sisältää data-change liipaiseminen. Eli tapahtuma liipaisee viestin generoinnin ja lähettämisen asiakkaalle. Kuvassa on esitetty RCB-instanssien sen hetkiset asetetut arvot. RCB-instanssit generoivat tapahtumasta kaksi viestiä, joiden arvot voi myös nähdä kuvassa. Tärkeänä aikaisemmin mainittu viestin Value-kenttä, joka voi sisältää useamman kuin yhden arvon. Instanssilta myBRCB01 tuleva viesti sisältää stVal attribuutin arvon, koska vain se liipaisi kyseisessä datajoukossa tapahtuman ja sillä ei ole muita aliattribuutteja. Instanssilta myBRCB02 tuleva viesti sisältää kaikki Pos-instanssin (Common Data Class -luokka) alla olevat funktionaalisella rajoitteella ST olevat attribuutit, vaikka muutos tapahtui vain stVal attribuuttiin. Eli Value-kenttä sisältää arvot attribuuteille stVal, q, t, origin, ctlNum, stSeld. [7, s. 108] [6, s. 40–44]

Jokaisessa viestin datajoukon alkiossa oleva vaihtoehtoinen kenttä ReasonCode kertoo, miksi alkio on sisällytetty viestiin. Kenttä kertoo mikä RCB-instanssin TrgOps-attribuutilla asetetuista liipaisimista liipaisi tapahtuman ja aiheutti alkion sisällytyksen viestiin. Kentän arvot ovat suoraan verrattavissa TrgOps-attribuutin arvoihin. Esimerkin tästä voi nähdä kuvassa 6 myBRCB01-instansilta tulevalta viestiltä, joka sisältää ReasonCode-kentän ja sillä on arvo data-change. Toinen viesti kuvassa ei sisällä ReasonCode-kenttää, koska sitä ei ole laitettu päälle RCB-instanssin OptFlds-attribuutista. [7, s. 28–29]

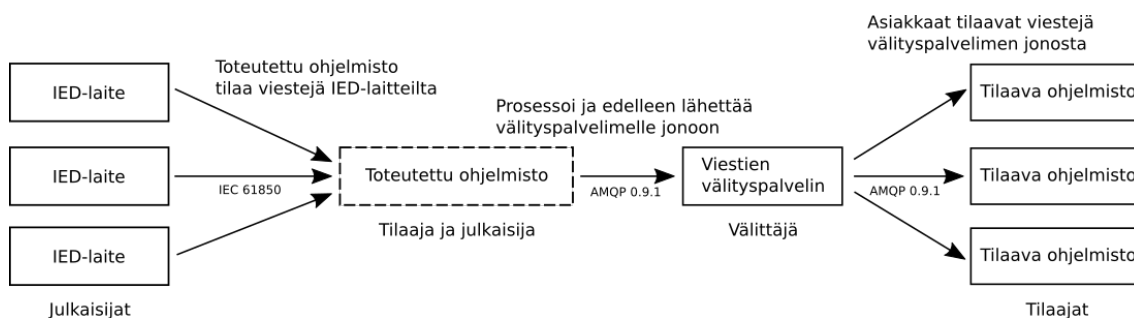
Kuvassa 6 on esitetty erilainen viittaus RCB-luokkan instansseihin, kuin tähän asti on esitetty. Syynä on mallinnus erilliselle protokollalle, jota käsitellään seuraavassa osiossa tarkemmin.

### 2.1.9 Abstraktimallin sovitus MMS-protokollaan

Tähän asti käsitellyt IEC 61850 -standardin mallit ja palvelut ovat olleet abstrahoituja. Nyt abstrahoidut mallit ja palvelut voidaan mallintaa tekniikalle erillisillä standardin osalla. Tämän työn kannalta käytetty mallinnus ja tekniikka oli MMS-protokolla (engl. Manufacturing Message Specification). Tästä mallinuksesta on tarkemmin määritetty IEC 61850 -standardin osassa 8-1 [10]. MMS-protokolla on maailmanlaajuinen ISO 9506 -standardi. MMS on viestintä standardi, joka on määritetty toimivaksi TCP/IP:n pinon päällä [14]. Tämän työn kannalta lukijan ei ole tarvitse ymmärtää MMS-protokollaa. Ja ei ihan tarkasti kuinka eri mallit ja palvelut siihen mallinnetaan. Tässä teoriaosuudessa käsitellään työn kannalta tärkeitä tietoja, mitä mallinnuksesta MMS-protokollalle tarvitsee tietää. Kaikkein tärkeintä kuitenkin työn ymmärtämisen kannalta on ymmärtää kaikki edelle esitetty teoria abstrahoiduista malleista ja palveluista, ja niiden toiminnasta. [19]



**Kuva 6.** BRCB-instanssi tarkkailee sille määritettyä datajoukkoa ja generoi viestin tapahtuman liipaistessa.



**Kuva 7.** Toteutetun ohjelmiston osuus ja rooli käytettävässä kokonaisuudessa tietoliikenteen kannalta.

IEC 61850 -standardin ACSI mallinnuksessa aikaisemmin esitetty instanssien viittaus hierarkiassa muuttuu ja nyt viittaus sisältää myös funktionaalisen rajoitteen. Kuvassa 3 oleva viite "OmaLD/Q0XCBR1.Pos.stVal" funktionaalisella rajoitteella ST, muuttuu muotoon "OmaLD/Q0XCBR1\$ST\$Pos\$stVal". Tässä viittauksessa pisteet (.) korvataan dollari-merkillä (\$). Ja kaksikirjaiminen funktionaalinen rajoite sijoitetaan loogisen noodin ja ensimmäisen data objektin nimien väliin. Muuten viittaus säilyy identtisenä alkuperäiseen ja samat rajoitteet ja nimeämiskäytännöt ovat voimassa edelleen. [10, s. 34–35, 111]

Tämän uuden viittauksen takia jokaiselle viitattavalle kohteelle täytyy olla funktionaalinen rajoite. Niinpä esimerkiksi RCB-luokkien instansseille täytyy olla myös funktionaalinen rajoite. Puskuroitua RCB-instanssia viitataan funktionaalisella rajoitteella BR. Ja puskuroimatonta funktionaalisella rajoitteella RP. Esimerkin tästä viittauksesta voi nähdä aikaisemmin mainitusta kuvasta 6. [10, s. 32–34, 75]

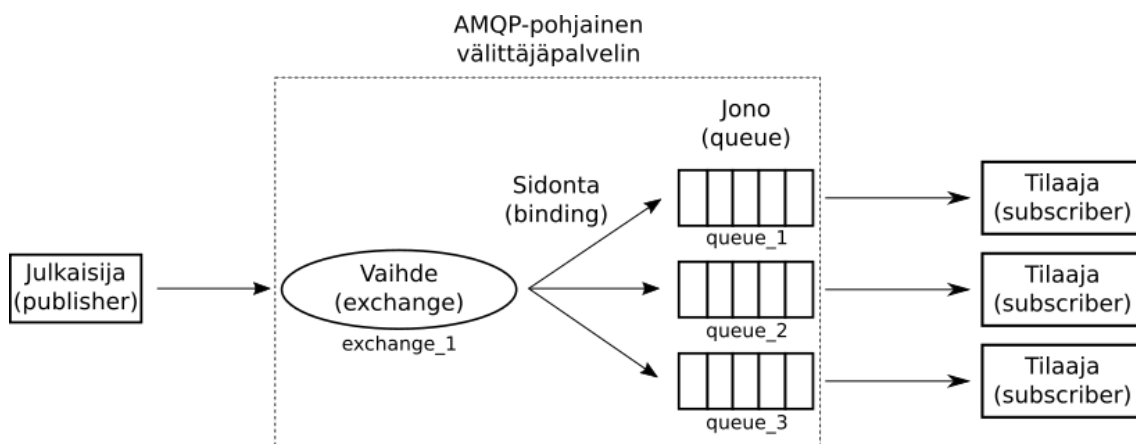
## 2.2 Advanced Message Queuing Protocol

*Kirjoita tähän AMQP määrittävästä standardista, mikä sen tarkoitus on ja mihin sitä voidaan käyttää. Piirrä kuva kokonaisuudesta. Hyvä esimerkki tästä on esitetty [1, s. 11]. Tätä kutsutaan nimellä AMQ-malli.*

Lopullisessa ohjelmistossa IED-laitteilta verkon yli tilatut viestit ohjelma prosessoi ja lähetti viestin eteenpäin välitys -palvelimelle (engl. message broker) jonoon, mistä muut ohjelmat pystyivät tilaamaan viestejä tarpeidensa mukaan. Kuvassa 7 on esitetty tietoliikenne eri osapuolten välillä. Kuvaan tässä työssä toteutettu ohjelmisto on merkitty katkoviivalla. Toteutuksessa oli kyse julkaisu ja tilaus -arkkitehtuurimallista (engl. publish-subscribe pattern), jossa työn toteutettu ohjelmisto oli tilaaja IED-laitteilta ja julkaisija välityspalvelimelle. Ja välityspalvelimen toisessa päässä olevat ohjelmisto olivat tilaajia. Tässä teoriaosuudessa perehdytään viestien välittäjään, ja mitä siitä tarvitsee tietää ohjelmistokehityksen kannalta.

Työssä käytettiin RabbitMQ-ohjelmistoa<sup>1</sup>, joka on avoimen lähdekoodin välittäjäpalvelin

<sup>1</sup><https://www.rabbitmq.com/>



**Kuva 8.** AMQ-mallin osat ja viestin kulku niiden läpi julkaisijalta tilaajalle.

ja perustuu avoimeen AMQP-standardiin<sup>2</sup> (engl. Advanced Message Queuing Protocol). AMQP määrittää yhteisen protokollan viestintään eri ohjelmistojen välillä verkon yli välityspalvelimen avulla. Verkon ansiosta välityspalvelin voi sijaita eri koneella kuin sitä käyttävät ohjelmistot. Standarista on julkaistu monta eri versiota, ja työn tekohetkellä viimeisin versio oli 1.0. Kuitenkin RabbitMQ-ohjelmisto oli suunniteltu käytettäväksi suoraan standardin version 0.9.1 kanssa, ilman lisäosia. Versioiden välinen ero oli suuri ja siirto suoraan uuteen ei olisi mahdollista, koska standardin versiot eivät olleet keskenään yhteensopivat. RabbitMQ tuki versiota 0.9.1 ja sen kehittäjät mieltävät standardin version 1.0 kokonaan eri protokollaksi [18]. Kuvassa 7 on tietoliikenteen kohtiin merkitty mikä standardi vaikuttaa minkäkin osapuolen kommunikointiin. Tässä työssä välityspalvelin ja siihen yhteydessä olevat ohjelmistot käyttävät AMQP-standardista versiota 0.9.1.

### 2.2.1 Advanced Message Queuing -malli ja sen osat

AMQP-standardi määrittää komponentteja, joiden läpi viestin täytyy kulkea julkaisijalta tilaajalle. Standardissa nämä komponentit määrittää AMQ-malli (engl. AMQ-model). Kuvassa 8 on esitetty viestin kulku julkaisijalta tilaajalle komponenttien läpi. Mallin komponentit ovat *vaihde* (engl. *exchange*), *jono* (engl. *queue*) ja näiden välinen *sidonta* (engl. *binding*). Välityspalvelimen tehtävän voi tiivistää niin, että se ottaa vastaan viestejä julkaisijoilta vaihteeseen. Vaihde reitittää viestejä tilaajille jonoihin jonon ja vaihteen välisen sidosten mukaan. Jos tilaaja ei kerkeä prosessoida viestejä tarpeeksi nopeasti, palvelin pitää viestit jonossa tilaajalle. Vaihde voi välittää viestin moneen eri jonoon ja yhtä jonoa voi tilata monta eri asiakasta.

AMQP on ohjelmoitava protokolla siinä mielessä, että julkaisija ja tilaaja voivat määrittää komponentteja ja reititystä ajon aikana tarpeidensa mukaan. Välittäjäpalvelin ei määritä kuin oletus vaihteet valmiiksi käytettäväksi. Eli julkaisija voi luoda vaihteita ja tilaaja voi luoda jonoja ja sidoksia vaihdeiden ja jonojen välille. Jokaisella yksilöllä välityspalvelin-

<sup>2</sup><https://www.amqp.org/>

mella on yksilöivä nimi. Kuvassa 8 on AMQ-mallin komponenttien alla niille määritetyt nimet. Vaihteella on esimerkiksi nimi `exchange_1` ja ylimmällä jonolla `queue_1`. Tällä ohjelmoitavalla ominaisuudella välityspalvelin voidaan konfiguroida toteuttamaan erilaisia skenaarioita vapaasti ja se antaa kehittäjille vapautta toteutukseen.

## 2.2.2 Vaihte (exchange) ja reititysavain (routing-key)

Jotta viesti voidaan välittäjäpalvelimen läpi kuljettaa, täytyy julkaisijan aloittaa määrittämällä sen käyttämä vaihte (engl. exchange) tai käyttää palvelimen oletusvaihdetta. Vaihte on komponentti, joka ottaa vastaan viestejä ja reitittää niitä jonoihin vaihdetyypin (engl. exchange type) ja sidosten mukaan. Vaihteet eivät ikinä tallenna viestejä. Vaihte voi tiputtaa viestin, jos se ei täsmää minkään määritetyn reitityksen kanssa. AMQ-malli määrittää seuraavat käytettävät vaihdetyypit:

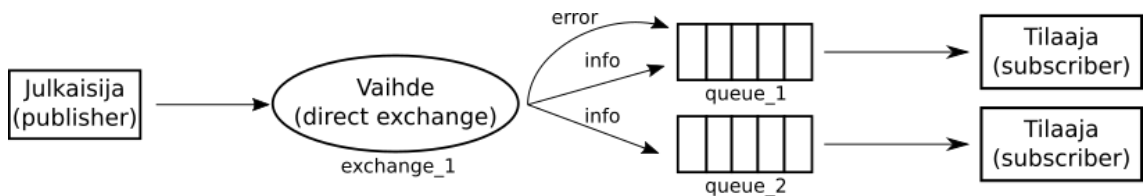
- suoravaihte (engl. direct exchange),
- hajautusvaihte (engl. fanout exchange),
- aihepiirivaihte (engl. topic exchange) ja
- otsikkovaihte (engl. header exchange).

Näitä tyyppejä ja kuinka ne toimivat käydään läpi tarkemmin myöhemmin. Näiden lisäksi vaihteella on myös attribuutteina nimi (name), kestävyys (durability), automaattinen poisto (auto-delete). Nimi yksilöi vaihteen palvelimella ja tilaaja käyttää tätä nimeä sidoksen tekemiseen jonon ja vaihteen välille. Kestävyys parameterilla julkaisija voi kertoa palvelimelle että välittäjä säilyttää vaihteen uudelleenkäynnistysten jälkeen. Jos ei niin vaihte täytyy määrittää uudelleen käynnistykseen jälkeen. Automaattinen poisto kertoo poistaako välittäjä vaihteen automaattisesti, kun viimeinen siihen sidottu jono on poistettu.

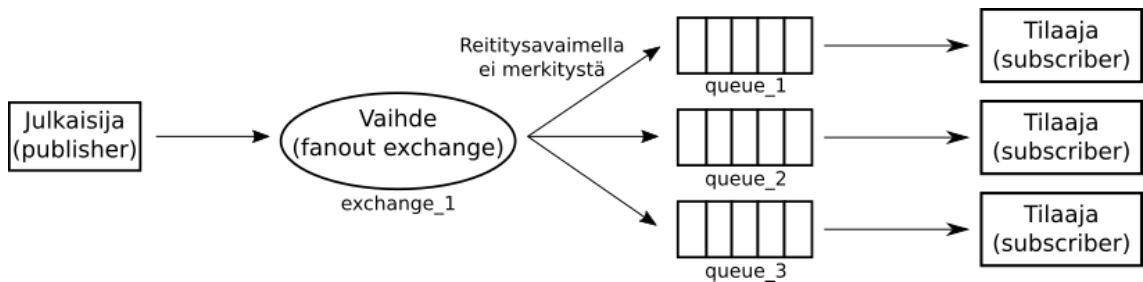
Kaikki julkaisijan ja tilaajan kutsut välittäjäpalvelimelle, jotka tekevät uuden instanssin komponentista, ovat esitteleviä (engl. declare). Tarkoittaa että palvelin tekee tarvittaessa uuden instanssin komponentista, jos sitä ei ole jo olemassa, ja vastaa samalla tavoin onnistuneesti molemmissa tapauksissa. Tilanne tulee esimerkiksi silloin kun kaksi julkaisijaa käyttävät samaa vaihdetta keskenään. Toinen ei tiedä onko toinen jo määrittänyt instanssin vaihteesta palvelimelle, esimerkiksi silloin kun ohjelmat käynnistyvät eri aikaan. Jos kummatkin julkaisijat eksplisiittisesti määrittävät saman käytettävän vaihteen. Palvelin vastaa kummallekin onnistuneesti ja tuloksena palvelimella on vain yksi instanssi halutusta vaihteesta. Sama toiminta pätee kaikkiin välittäjäpalvelimen kutsuihin, jotka tekevät uusia instansseja komponenteista.

Vaihte reitittää viestejä jonoihin sen sidosten ja tyyppin mukaan. Kuitenkin reititykseen liittyy yksi tärkeä asia, sellainen kuin reititysavain (engl. routing-key). Reititysavain on kuin virtuaalinen osoite viestissä, jonka julkaisija liittää viestiin julkaisun yhteydessä. Tilaaaja käyttää myös reititysavainta jonon määrittämisen yhteydessä. Vaihte, tyyppistä riippuen, voi käyttää tätä avainta reititykseen eri jonoihin. Viestin reititysavainta voi hyvin





**Kuva 9.** Suoravaihde (engl. direct exchange), reitittää suoraan sidoksen reititysavaimen mukaan.



**Kuva 10.** Hajautusvaihde (engl. fanout exchange), reitittää kaikkiin siihen sidottuihin jonoihin riippumatta reititysavaimesta.

verrata lähetettävän sähköpostin saaja-kenttään. Saaja kertoo vastaanottajan sähköpostiosoitteen, johon viesti on tarkoitus lähettää. Reititysavain toimii juurikin näin suorassa viestin lähetyksessä.

### 2.2.3 Suoravaihde (direct exchange)

Julkaisija voi määrittää vaihteen tyypiksi suoravaihteen (engl. direct exchange). Suoravaihde reitittää viestin jonoihin suoraan vastaavan reititysavaimen perusteella. Suoravaihde reitittää seuraavasti:

- tilaaja määrittää sidoksen reititysavaimella K,
- julkaisija julkaisee viestin reititysavaimella R,
- vaihde välittää viestin jonoon jos  $K = R$ ,
- muuten vaihde tiputtaa tai palauttaa viestin lähettäjälle.

Kuvassa 9 on esitetty suoravaihteen toiminta. Vaihteeseen on tehty sidoksia reititysavaimilla error ja info. Yksi tilaaja voi luoda sidoksia samaan vaihteeseen monella eri reititysavaimella. Näin tilaaja voi tilata viestejä mistä on kiinnostunut. Kuvassa 9 julkaisija julkaisee viestin reititysavaimella info. Viesti päättyy molempiin queue\_1 ja queue\_2 jonoon. Reititysavaimella error, viestit päättyvät vain jonoon queue\_1.

**2.2.4 Hajautusvaihde (fanout exchange)**

**2.2.5 Aihepiirivaihde (topic exchange)**

**2.2.6 Otsikkovaihde (header exchange)**

**2.2.7 Jonon ja sidoksen toiminta**

### 3. ALKUTILANNE

*Pohjista miksi suunniteltava ohjelmisto tarvitaan toteuttaa yritykseen johon työn teen. Alustava suunniteltu ohjelmiston toteutus olisi tilata IEC 61850 -standardin määrittämiä raportteja ja muokata ne uuteen muotoon ja julkaista ne eteenpäin tilaavalle ohjelmalle käyttäen AMQP-standardin määrittämää viestintää. Jonon tilaava asiakasohjelmisto voi olla mikä tahansa muu ohjelmisto. Viestien lopullinen muoto voisi olla JSON.*

Nykyisin sähköasemilla älykkäillä elektronisilla laitteilla (engl. *Intelligent Electronic Devices*, **IED**) asemilla voidaan toteuttaa tuhansia eri datapisteitä, jotka kuvaavat aseman toiminnallisuutta ja konfiguroitavuutta. Tämän konfiguroitavuuden ansiosta IED:tä voidaan asemalla käyttää erilaisina sähkölaitteina, kuten sulakkeina tai muuntajina. IEC 61850 -standardin abstraktit datamallit määrittävät IED:n datapisteiden rakenteet, muodot ja tyytit. Standardin mukaan erillisistä datapisteistä voidaan muodostaa haluttuja datajoukkoja (engl. *data set*). Datajoukkot ovat helppo tapa kuvata halutut tai tärkeät datapisteet yhdeksi yhteinäiseksi joukoksi. [13].

Asiakas-palvelin-arkkitehtuurissa asiakkaan on mahdollista tilata datajoukkojen sen hetkisiä arvoja IEC 61850 -standardin määrittäminä raportteina konfiguroitavilla parametreilla, jotka konfiguroidaan ennen tilausta. Arkkitehtuurissa asiakas tekee tilauksen palvelimelle (tässä tapauksessa IED), jonka jälkeen palvelin lähettää raportteja asiakkaalle automaattisesti, jonkin asiakkaan konfiguroiman ehdon täytyessä. Standardi määrittää kuinka raportteja voidaan esim. välittää TCP/IP-protokollan avulla. Yksi raportti sisältää mm. tietojoukon sen hetkisiä arvoja ja syyn raportin lähetykseen (esim. arvon muuttuminen). Palvelin ylläpitää tilausta kunnes asiakas lopettaa tilauksen tai yhteys osapuolten välillä katkeaa. Asiakas tilaa raportit konfiguroimalla palvelimella olevan erillisen raportointilohkon (engl. *Report Control Block*, **RCB**). Lohkolla voi konfiguroida mm. raporttien sisältämiä vaihtoehtoisia kenttiä ja erilaisia liipaisimia raporttien generointiin. Standardi määrittää että yhdellä RCB:llä voi olla vai yksi tietojoukko ja yksi tietojoukko voi olla viitattuna monessa eri RCB:ssä. Yhdessä IED:ssä voi olla määritettynä monta RCB:tä. Yhtä tilaavaa asiakasta kohden on yksi RCB instanssi. [7, s. 91–130].

Tulevissa kappaleissa pohjustetaan työn alussa olemassa olevan ohjelmiston arkkitehtuuria, mitkä olivat sen komponentit ja niiden toiminnallisuus. Tämän jälkeen pohditaan toteutuksen ongelmia, ja mitä työssä pyritään ratkaisemaan uudella toteutuksella. Asetettujen tutkimuskysymysten ja ongelmien kautta pyritään löytämään uudelle ohjelmiston arkkitehtuurille pohjaa ja ratkaisua siihen liittyviin päätöksiin.

### 3.1 Kokonaiskuva

*Kirjoita tähän osioon kokonaiskuva alkutilanteesta missä oltiin ennen työn aloittamista. Selvennä kuvilla alkutilanteen arkkitehtuuria.*

Työn aloitusvaiheessa oli jo toteutettuna ohjelmisto raporttien tilaukseen ja käsittelyyn. Tämä toteutus oli puutteellinen, ei helposti skaalautuva, ja huono suorituskvyylytään. Alkuperäinen ohjelmisto oli lähellä enemmän ensimmäistä prototyyppiä ennen todellista toteutusta. Työn tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa uusi toteutus, joka ratkaisisi entisen ongelmakohdat.

Alkuperäisessä toteutuksessa asiakasohjelmisto oli toteutettu Ruby-ohjelmointikielellä. IEC 61850 -standardin määrittämien palveluiden ja tietorakenteiden toteutukseen käytettiin avoimen lähdekoodin libIEC61850-kirjastoa<sup>1</sup>. Kirjasto on ohjelmoitu C-kielellä ja sen avulla voidaan toteuttaa kumpikin palvelin- ja asiakasohjelmisto. Tässä toteutuksessa tarvittiin vain asiakasohjelman osuutta Ruby-osuuden toteutukseen. Kirjasto abstraktoi standardin määrittämiä palveluita ja tietorakenteita ohjelmoijalle helpoiksi funktioiksi ja C-kielen rakenteiksi. Normaalisti C-koodin funktioiden kutsuminen Rubysta suoraan ei ole mahdollista ilman erillistä liitosta. Seurauksena Rubyyn oli tehty laajennos libIEC61850-kirjastoon käyttäen Rubylle saatavaa ruby-ffi -kirjastoa<sup>2</sup> (engl. *Foreign Function Interface*, **FFI**). Liitoksen avulla libIEC61850-kirjasto voi hoitaa standardin vaatiman matalan tason toiminnan ja Ruby-ohjelmisto voi keskittyä vaadittuun toiminnallisuuteen.

Kirjasto toteuttaa raporttien vastaanoton palvelimelta erillisellä säikeellä. Säie käynnistetään kun asiakasohjelma asettaa funktion takaisinkutsuntaa varten raportin saapuessa ja aloittaa tilauksen. Asetettua funktiota kutsutaan asynkronisesti erillisestä säikeestä raportin saapuessa asiakkaalle. Takaisinkutsun suorituksen jälkeen, suoritus palaa takaisin säikeeseen.

### 3.2 Ratkaistavat ongelmat

*Kirjoita tähän mitä ongelmia edellisen toteutuksen kanssa on ja mitä yritään ratkoa. Mainitse suorituskvyyngelmista Rubylla ja libiec61850-kirjastoa käyttäen.*

Työn alussa olevan ohjelmiston ongelmia oli mm. ei helposti skaalautuvuus, huono suorituskvyy raporttien määrän ollessa suuri, eikä ohjelmisto tukenut kaikkia standardin määrittämiä toiminnallisuuksia. Ohjelmistoa voisi enemmän pitää ensimmäisen toteutuksen prototyyppinä. Ohjelman suoritusalueena käytettiin Linuxia.

Ohjelmisto pystyi tilaamaan ja vastaanottamaan raportteja yhdeltä IED:ltä ja siinä monelta määritellyltä RCB:ltä. Ohjelmisto prosessoi ja tallensi raportteja tietokantaan muuta

<sup>1</sup><http://libiec61850.com>

<sup>2</sup><https://github.com/ffi/ffi>

käyttöä varten. Tilanteessa, jossa raportteja tilaavassa järjestelmässä on monta osaa, jotka kaikki tarvitsevat raporttien tietoja reaaliajassa. Joutuvat eri osat tässä tilanteessa kyselemään tietoja tietokannasta, ilman erillistä tietoa niiden saapumisesta. Tämä aiheuttaa turhaa kuormaa tietokannalle ja tietojen saaminen reaaliajassa ei ole mahdollista. Myöskin jos komponentti tarvitsee tietyn tyyppin raportteja, ei kaikkea tietoa, ongelma on sama.

Ohjelmiston suorituskyky paikoin raporttien määrän ollessa suuri aiheutti ongelmia. Syynä Rubyn toteutuksessa oli oletustulkissa (*CRuby*) oleva globaali lukitus (engl. *Global Interpreter Lock*, **GIL**). Vaikka Rubyn säie on oma käyttöjärjestelmän tarjoama säie, GIL estää säikeiden yhtäaikaisen suorituksen ja vain yksi säie on suorituksessa kerrallaan [16, s. 131–133]. Linux-pohjaisella käyttöjärjestelmällä libIEC61850-kirjaston laitteistoabstraktiokerros (engl. *Hardware Abstraction Layer*, **HAL**) käyttää POSIX-säikeitä [17]. Linux-käyttöjärjestelmän säikeet ovat suorituksessa yhtä aikaa ja moniytimisellä prosessoreilla asioita tapahtuu samalla ajan hetkellä. Nyt raportin saapuessa, C-prosessin säikeen suoritus kutsuu takaisinkutsuntaan asetettua funktiota, joka on implementoitu Rubyn puolella. On funktion suoritus GILin alaista suoritusta. Ruby-prosessin myös suorittaessa muuta toimintaa takaisinkutsujen välissä, on Rubyn suorituskyky ohjelmiston pulonkaulana raporttien määrän ollessa tiheää.

*Kirjoita tähän vielä ongelmasta kun tilataan monta RCB:tä. Raporttien tullessa Rubyn puolelle, ei Rubyn muu koodi saa tilattua loppuja RCB:tä kirjaston lukitusten takia. Ja yhteys aikakatkeaa tämän takia. Selitä lukituksista tarkemmin ja myös liitä pätkiä libIEC61850-kirjaston koodista. Syyn selityksen voi siirtää muualle. Kirjoittaa vain että on ongelma, ja selvitys miksi, muualla.*

### 3.3 Tutkimuskysymykset

*Esitä tässä työlle asetettuja tutkimuskysymyksiä. Näitä voisi olla esim. seuraavat:*

- *Mikä on syynä huonoon suorituskykyyn alkutilanteen toteutuksella?*
- *Kuinka suorituskyky paremmaksi verrattuna nykyiseen toteutukseen?*
- *Mitkä ohjelmiston arkkitehtuurin suunnittelumallit (design patterns) olisivat sopivia tämän kaltaisen ongelman ratkaisemiseen? Mitä niistä pitäisi käyttää ja mitä ei?*
- *Mikä olisi sopiva lopullisen prosessoidun tiedon muoto?*
- *Kuinka järjestelmä hajautetaan niin että tiedon siirto eri osapuolten välillä on mahdollista ja joustavaa (push vs pull, message queue jne.)?*

## 4. SUUNNITTELU

*Kirjoittaa tähän kuinka toteutettava arkkitehtuuri suunniteltiin ja kuinka päätöksiin päädyttiin. Kirjoitusta myös miten tilattuja raportteja käsitellään ja kuinka niitä julkaistaan eteenpäin. Tarkoituksena olisi saada raportit nykyaikaiseen JSON muotoon.*

### 4.1 Suorituskyvyn parantaminen

*Miksi entisen toteutuksen suorituskyky on huono ja mitä voitaisiin tehdä sen parantamiseksi. Kirjoita vaikutuksista tähän ja mihin tuloksiin päädyttiin.*

### 4.2 Järjestelmän hajautus

*Lähde erilaisista hajautuksista (pull vs push, message queue) ja päätä mikä sopii tähän toteutukseen parhaiten ja miksi.*

### 4.3 Ohjelmiston parametrisointi

*Kirjoita mitä asiakasohjelman pitää tehdä jotta raportit saadaan tilattua ja mitä parametrejä ohjelmisto tarvitsee toimiakseen. Kuinka käyttäjä kontrolloi ohjelman eri asetuksia?*

### 4.4 Arkkitehtuurin suunnittelu

*Määritä ohjelman tarkempaa arkkitehtuuria mitä voidaan käyttää asetettujen ja yllämainittujen asioiden saavuttamiseen ja tarkentamiseen. Mitä jos käyttäjä tilaa monta viestiblokkia, niin missä järjestyksessä asiat tehdään jne.*

### 4.5 Prosessoidun viestin muoto

*Kirjoita tähän mihin muotoon viestit lopussa tallennetaan esim. JSON. Miksi tähän valintaan päädyttiin. Kerro myös kuinka raportin alkuperäistä rakennetta muokattiin uuteen muotoon sopivaksi.*

## 5. TOTEUTUS

*Kirjoita tähän osioon siitä kuinka suunniteltu arkkitehtuuri toteutettiin ja millä tekniikoilla. Tämä osio käyttää lyhyitä koodiesimerkkejä hyväkseen selittämään lukijalle kuinka toteutus tehtiin, jotta lukija voisi itse toteuttaa samanlaisen ohjelmiston.*

### 5.1 Ohjelmiston toteutuksen valinta

*Kirjoita tähän miksi päädyttiin tietynlaiseen ohjelmiston toteuttamiseen. Työssä on mietitty komentorivipohjaista toteutusta. Lisäksi mille alustalle ohjelmisto suunnitellaan Windows vai Linux.*

### 5.2 Kielen valinta

*Kirjoita tähän mikä kieli valittiin toteutuksen tekemiseen ja miksi tämä. Alustava suunnitelma on toteuttaa C-kielillä.*

### 5.3 RabbitMQ

*Kirjoita tähän RabbitMQ toteutuksesta. Kirjasto toteuttaa AMQP-standardin määrittämiä eri viestintämalleja. Kerro kuinka sitä hyödynnetään tässä työssä ja vähän sen että mitä vaatii.*

### 5.4 Käytettävät kirjastot

*Kirjoita tähän erilaisista kirjastoista mitä toteutukseen valittiin ja miksi. Alaotsikoita voi lisätä jos toteutukseen tarvitaan muita kirjastoja.*

#### 5.4.1 libiec61850

*IEC 61850 -standardin toteuttava C-kirjasto joka tekee raskaan työn standardin määrittämien palveluiden toteuttamiseen ja muodostamiseen. Kirjasto tarjoaa rajapinnat serveri- ja asiakasohjelmiston toteuttamiseen, mutta vain asiakasohjelmiston rajapintoja käytetään. Kirjasto tarjoaa myös rajapinnat haluttujen raporttien tilaamista varten. Kirjaston nettisivu täältä: <http://libiec61850.com/libiec61850/>.*

### 5.4.2 rabbitmq-c

*RabbitMQ:n rajapinnan toteuttava kirjasto C-kielen ohjelmille. Kirjastolla voidaan toteuttaa julkaisevia ja tilaavia ohjelmistoja. Kirjastosta käytetään julkaisevan puolen toteutusta. Kirjasto löytyy täältä: <https://github.com/alanxz/rabbitmq-c>.*

### 5.4.3 JSON-formatointi

*Joku kirjasto JSON formatointiin C-kielelle. Näkyy olevan parikin vaihtoehtoa. Perustele tähän valinta ja miksi.*

## 5.5 Jatkokehitys

*Kirjoita tähän ideoita mitä jää jatkokehitykseen ja mitä ohjelmistossa on puutteita tai mitä jäi tekemättä.*



## 6. ARVIOINTI

*Kirjoitta tähän arviota työn tuloksista.*

## 7. TULOKSET

*Kirjoita tähän lopputuloksen analysoinnista ja peilaa saatuja tuloksia työlle alussa asetettuihin kysymyksiin. Mitä jäi saavuttamatta, mitä saavutettiin ja miten hyvin? Mitä olisi voinut parantaa? Voi jakaa aliotsikoihin jos tarvetta.*

## 8. YHTEENVETO

*Kirjoita tähän ensin arviointi ja yhteenveto työstä ja sen lopputuloksista. Mitä hyötyjä työnantaja työstä saa ja jatkokehitysideoita. Mitä työssä meni hyvin ja mitä olisi voinut tehdä toisin?*

## LÄHTEET

- [1] AMQP Advanced Message Queuing Protocol v0-9-1, Protocol Specification, mar. 2008, 39 s. Saatavissa (viitattu 10.7.2018): <http://www.amqp.org/specification/0-9-1/amqp-org-download>
- [2] C. Brunner, IEC 61850 for power system communication, teoksessa: 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, April, 2008, s. 1–6.
- [3] B. E. M. Camachi, O. Chenaru, L. Ichim, D. Popescu, A practical approach to IEC 61850 standard for automation, protection and control of substations, teoksessa: 2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), June, 2017, s. 1–6.
- [4] IEC 61850-1 Communication networks and systems for power utility automation – Part 1: Introduction and overview, International Electrotechnical Commission, International Standard, maa. 2013, 73 s. Saatavissa (viitattu 15.6.2018): <https://webstore.iec.ch/publication/6007>
- [5] IEC 61850-6 Communication networks and systems for power utility automation – Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs, International Electrotechnical Commission, International Standard, jou. 2009, 215 s. Saatavissa: <https://webstore.iec.ch/publication/6013>
- [6] IEC 61850-7-1 Communication networks and systems in substations - Part 7-1: Basic communication structure for substation and feeder equipment - Principles and models, International Electrotechnical Commission, International Standard, hei. 2003, 110 s. Saatavissa (viitattu 16.5.2018): <https://webstore.iec.ch/publication/20077>
- [7] IEC 61850-7-2 Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-2: Basic information and communication structure - Abstract communication service interface (ACSI), International Electrotechnical Commission, International Standard, elo. 2010, 213 s. Saatavissa (viitattu 16.5.2018): <https://webstore.iec.ch/publication/6015>
- [8] IEC 61850-7-3 Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-3: Basic communication structure - Common data classes, International Standard, jou. 2010, 182 s. Saatavissa (viitattu 16.5.2018): <https://webstore.iec.ch/publication/6016>

- [9] IEC 61850-7-4 Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-4: Basic communication structure - Compatible logical node classes and data object classes, International Standard, maa. 2010, 179 s. Saatavissa (viitattu 16.5.2018): <https://webstore.iec.ch/publication/6017>
- [10] IEC 61850-8-1 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, International Standard, kes. 2011, 386 s. Saatavissa (viitattu 16.5.2018): <https://webstore.iec.ch/publication/6021>
- [11] IEC 61850:2018 SER Series, International Electrotechnical Commission, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.6.2018): <https://webstore.iec.ch/publication/6028>
- [12] K. Kaneda, S. Tamura, N. Fujiyama, Y. Arata, H. Ito, IEC61850 based Substation Automation System, teoksessa: 2008 Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference, Oct, 2008, s. 1–8.
- [13] R. E. Mackiewicz, Overview of IEC 61850 and Benefits, teoksessa: 2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, Oct, 2006, s. 623–630.
- [14] MMS Protocol Stack and API, Xelas Energy verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.7.2018): [http://www.xelasenergy.com/products/en\\_mms.php](http://www.xelasenergy.com/products/en_mms.php)
- [15] New documents by IEC TC 57. Saatavissa (viitattu 9.6.2018): <http://digitalsubstation.com/en/2016/12/24/new-documents-by-iec-tc-57/>
- [16] R. Odaira, J. G. Castanos, H. Tomari, Eliminating Global Interpreter Locks in Ruby Through Hardware Transactional Memory, SIGPLAN Not., vsk. 49, nro 8, hel. 2014, s. 131–142. Saatavissa (viitattu 16.5.2018): <http://doi.acm.org/10.1145/2692916.2555247>
- [17] Official repository for libIEC61850, the open-source library for the IEC 61850 protocols <http://libiec61850.com/libiec61850>, GitHub verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.5.2018): <https://github.com/mz-automation/libiec61850>
- [18] RabbitMQ Compatibility and Conformance, RabbitMQ verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.7.2018): <https://www.rabbitmq.com/specification.html>
- [19] K. Schwarz, Introduction to the Manufacturing Message Specification (MMS, ISO/IEC 9506), NettedAutomation verkkosivu, 2000. Saatavissa (viitattu 9.7.2018): [https://www.nettedautomation.com/standardization/ISO/TC184/SC5/WG2/mms\\_intro/index.html](https://www.nettedautomation.com/standardization/ISO/TC184/SC5/WG2/mms_intro/index.html)