TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MAURI MUSTONEN

SÄHKÖASEMAN ÄLYKKÄÄN ELEKTRONIIKKALAITTEEN VIESTIEN TILAUS JA PROSESSOINTI

Diplomityö

Tarkastaja: Prof. Kari Systä

Jätetty tarkastettavaksi 17. toukokuuta 2018

TIIVISTELMÄ

MAURI MUSTONEN: sähköaseman älykkään elektroniikkalaitteen viestien tilaus ja prosessointi
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 56 sivua, 5 liitesivua
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. Suomenkieliselle kandidaatintyölle pitää olla myös englanninkielinen nimi arkistointia varten.

ABSTRACT

MAURI MUSTONEN: Substation's intelligent electronic device messages subscription and processing
Tampere University of Technology
Master of Science thesis, 56 pages, 5 Appendix 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

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Kun työ on valmis. Lisää tähän kaikki lyhenteet aakkosjärjestyksessä.

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

1. JOHDANTO

Sähköverkko koostuu tuotantolaitoksista, sähkölinjoista ja sähköasemista. Sähköasemien tehtävä verkossa on toteuttaa erilaisia toiminnallisuuksia, kuten jännitteen muuntaja, jakaminen ja verkon toiminnan tarkkailu. Lisäksi nykypäivänä asemien toiminnallisuutta voidaan seurata ja ohjata etäohjauksella. Sähköaseman yksi tärkeä tehtävä on suojata ja tarkkailla verkon toimivuutta ja vikatilanteessa esimerkiksi katkaista linjasta virrat pois. Tällainen vikatilanne on esimerkiksi kaapelin poikkimeno, joka aiheuttaa vaarallisen oikosulkutilanteen.

Sähköasemien funktionaalisuutta ja ohjausta nykypäivänä toteuttaa niin sanottu älykäs elektroniikkalaite (engl. Intelligent Electronic Device, lyhennetään IED). IED-laite voidaan kytkeä ja konfiguroida toteuttamaan monta aseman eri funktionaalisuutta ja ne on myös kytketty aseman verkkoon. IED:t voivat kommunikoida paikallisverkon yli aseman muun laitteiston ja IED-laitteiden kanssa, ja näin toteuttaa aseman toiminnallisuutta. Nykypäivänä verkon nopeus mahdollistaa reaaliaikaisen kommunikoinnin asemalla sen eri laitteiden välillä. IED-laitteet voivat myös kommunikoida aseman paikallisverkosta ulospäin, esimerkiksi keskitettyyn ohjauskeskukseen. Yksi IED-laite 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 suurempien tuhojen välttämiseksi. Linjan korjauksen jälkeen virta kytketään takaisin päälle.

Maailmanlaajuisesti on määritetty IEC 61850 -standardi, jonka tarkoituksena on määrittää yhteinen kommunikointiprotokolla aseman kaikkien eri laitteiden välille. Tarkoituksena on estää jokaisen valmistajan tuottamasta omia versioita ja protokollia omille laitteilleen. Standardia noudattamalla eri IED-laitteet pystyvät kommunikoimaan keskenään yhteisillä säännöillä.

Standardissa on määritetty säännöt, joita noudattamalla sähköaseman ulkopuolinen ohjelma voi tilata viestejä verkon yli IED-laitteelta. Tilatut viestit voivat esimerkiksi sisältää mitattuja kolmivaihejännitteitä tai muuta haluttua tietoa IED-laitteesta ja sen tilasta. Tässä työssä keskityttiin tämän asiakasohjelman suunnitteluun ja toteutukseen. Asiakasohjelman tarkoitus oli tilata viestit, prosessoida ne ja julkaista eteenpäin jonopalvelimelle muille ohjelmille saataviksi. Koska ohjelman toteutukseen tärkeäksi osaksi liittyy IEC 61850, ja käytetyn jonopalvelimen standardit, käsitellään nämä työn teoriaosuudessa ensin ennen suunnittelua ja toteutusta.

Tämän työn tekijä oli jo ennen tämän työn aloitusta Alsus Oy:ssä toteuttanut yksinkertaisen version ohjelmasta. Toteutus oli puutteellinen ja siinä oli toimintahäiriöitä, mutta kui-

tenkin todisti eri osien toimivuuden mahdollisuuden ja opetti tekijää asian suhteen. Tässä työssä tätä versiota käytettiin pohjana kokonaan uuden toteutuksen suunnittelulle. Työssä analysoidaan sen toimintahäiriöitä ja mitkä ne aiheutti. Näitä tietoja käytettiin pohjana uuden toteutuksen liittyvien päätöksien tekemiseen.

Tämän työn tutkimustyön osuus on miettiä ja tutkia uuden toteutuksen arkkitehtuuria ja toteutusta. Tarkoitus on täyttää kaikki uudelle toteutukselle asetetut tarpeet ja estää demoversioon liittyvät toimintahäiriöt. Työlle asetettiin tutkimuskysymyksiä, joita peilataan työn lopussa saavutettuihin tuloksiin ja pohditaan kuinka hyvin niihin päästiin. Työlle asetettiin seuraavat tutkimuskysymykset:

- Mitkä ohjelmiston arkkitehtuurin suunnittelumallit (engl. design patterns) olisivat sopivia tämän kaltaisen ongelman ratkaisemiseen? Mitä niistä pitäisi käyttää ja mitä ei?
- Kuinka järjestelmä hajautetaan niin että tiedon siirto eri osapuolten välillä on mahdollista ja joustavaa (push vs pull, message queue jne.)?
- Mitkä olivat syyt demoversion toimintahäiriöihin ja kuinka nämä estetään uudessa toteutuksessa?
- Järjestelmän hajautuksessa, mikä olisi sopiva tiedon jakamisen muoto eri osapuolten välillä?

2. TEORIA

Tässä osiossa lukijaa perehdytetään työn kannalta tärkeään teoriaan. Teoriaosuuden kokonaan lukemalla lukija ymmärtää, mitä IEC 61850 -standardi tarkoittaa sähköasemien kannalta ja mihin sitä käytetään. Lisäksi kuinka standardi määrittää viestien tilauksen mekanismit ulkopuoliselle ohjelmalle ja mitä siihen liittyy. Standardi on todella laaja ja tässä osuudessa siitä käsitellään vain tämän työn kannalta oleellinen asia. Tässä työssä toteutettu ohjelmisto julkaisi prosessoidut viestit eteenpäin jonopalvelimelle, mistä muut ohjelmat pystyivät tilaamaan viestejä. Käytetyn jonopalvelin toteutus pohjautui AMQP-standardiin (engl. Advanced Message Queuing Protocol). Teorian viimeisessä osassa perehdytään AMQP-standardiin ja kuinka jonopalvelin sen pohjalta toimii.

2.1 IEC 61850 -standardi yhteiseen kommunikointiin

Sähköasemilla nykypäivänä käytössä olevilla älykkäillä elektronisilla laitteilla (engl. Intelligent Electronic Device, lyhennetään IED) toteutetaan aseman toiminnalisuuden 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 automatiikka, joka toteutetaan IED-laitteilla. IED-laite voi olla kytketty fyysisesti ohjattavaan laitteeseen [9, s. 63–64]. Koko sähköaseman toiminnallisuus koostuu monesta eri 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 [4, s. 1]. On selvää, että monimutkaisen systeemin ja monen valmistajien kesken tarvitaan yhteiset säännöt kommunikointia varten.

Maailmanlaajuisesti määritetty IEC 61850 -standardi määrittää sähköaseman sisäisen kommunikoinnin säännöt IED-laitteiden välillä. Standardi määrittää myös säännöt asemalta lähtevään liikenteeseen, kuten toiselle sähköasemalle ja ohjausasemalle [9, s. 10]. Ilman yhteistä standardia, jokainen valmistaja olisi vapaa toteuttamaan omat säännöt ja protokollat kommunikointiin. Seurauksena olisi, että laitteet eivät olisi keskenään yhteensopivia eri valmistajien kesken. Standardin tarkoitus on poistaa yhteensopivuusongelmat ja määrittää yhteiset säännöt kommunikoinnin toteuttamiseen [15, s. 1].

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 määritellään kuinka mallit toteutetaan erikseen toimivaksi jollekin tekniikalle. Abstrahoituja malleja käytetään myös määrittämään sähköaseman IED-laitteiden ja aseman muiden osien konfigurointi. Tekniikasta riippumattomien mallien ansiosta standardi on pohjana tulevaisuuden laajennoksille ja tekniikoille. Uusien tekniikoiden ilmaantuessa, voidaan standardiin lisätä osa, joka toteuttaa abstraktimallit kyseiselle tekniikalle [4, s. 2]. Tässä työssä standardin malleja ja palveluita käytettiin MMS-protokollan (engl. Manufacturing Message Specification) toteutuksella. MMS-protokolla on maailmanlaajuinen ISO 9506 -standardi, joka on määritetty toimivaksi TCP/IP:n pinon päällä [20]. Jokainen verkkoon kytkety IED-laite tarvitsee IP-osoitteen kommunikointiin.

2.1.1 Standardin eri osat ja niiden merkitykset

IEC 61850 -standardi on laaja kokonaisuus. Tämän takia se on pilkottu erillisiin dokumentteihin, joista jokainen käsittelee omaa asiaansa. Historian saatossa standardiin on lisätty uusia dokumentteja laajentamaan standardia [14, 21] [7, s. 13]. Tämän työn kirjoitushetkellä standardiin kuului lisäksi paljon muitakin dokumentteja, esimerkiksi uusiin toteutuksiin 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 alkuperäiset englanninkieliset otsikot [19, s. 2] [14]. Kuvassa 1 on esitetty kaikki standardin eri osat ja niiden väliset relaatiot toisiinsa [9, s. 14] [7, 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.

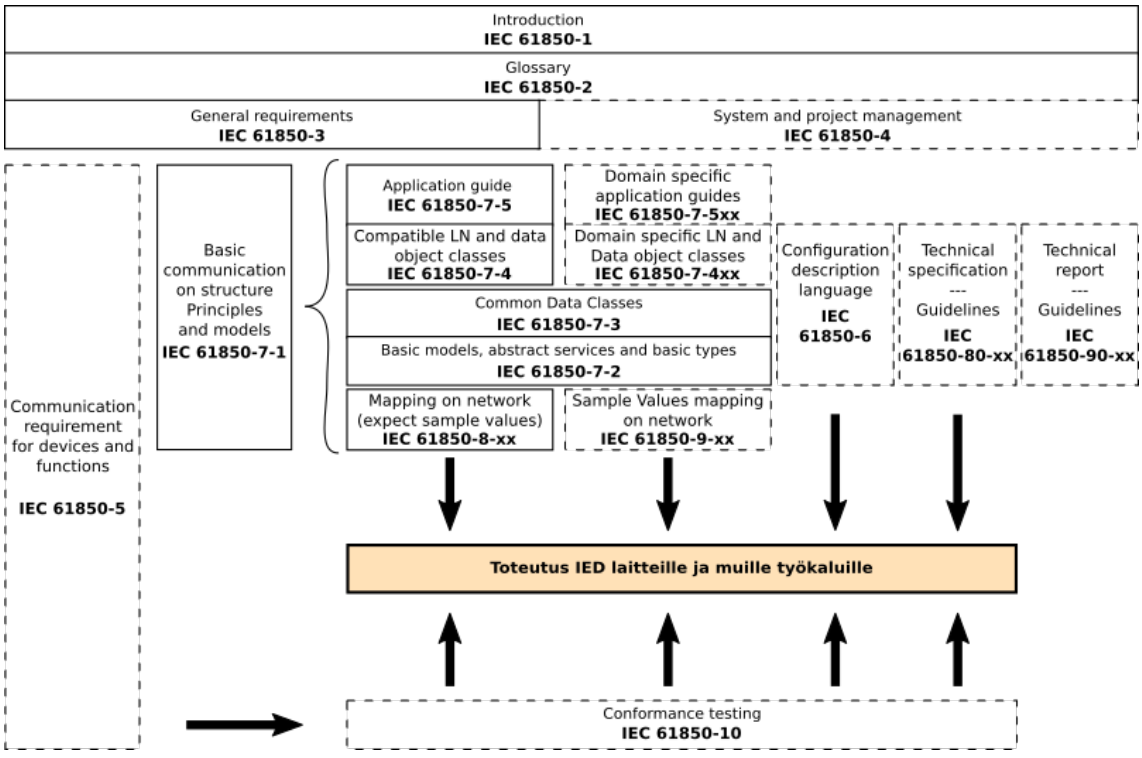
Standardin ensimmäiset osat 1–5 kattavat yleistä kuvaa standardista ja sen vaatimuksista. Osiossa 6 käsitellään IED-laitteiden konfigurointiin käytetty XML (engl. Extensible Markup Language) -pohjainen kieli [8, s. 7–8]. Tämä osuus ei ole tämän työn kannalta tärkeä ja sitä ei sen tarkemmin käsitellä. 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 [9, s. 72]. Osissa 8–9 ja niiden alakohdissa käsitellään abstraktimallien toteuttamista erillisille protokollille, jolloin malleista tulee kyseisestä tekniikasta riippuvaisia. Tässä työssä käytettiin osaa 8-1, joka toteuttaa absrahit mallit MMS-protokollalle. Osa 10 käsittelee testausmenetelmiä, joilla voidaan varmistaa standardin määritysten noudattaminen. Tämä osuus ei myöskään ole tämän työn kannalta tärkeä, ja sitä ei teoriassa sen tarkemmin käsitellä. [9, s. 15]

2.1.2 Abstraktimallin käsitteet ja niiden käyttö

IEC 61850 -standardin lähtökohtana on pilkkoa koko sähköaseman toiminnallisuuden funktiot pieniksi yksilöiksi. Pilkotut yksilöt abstrahoidaan ja pidetään sopivan kokoisi-

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.*

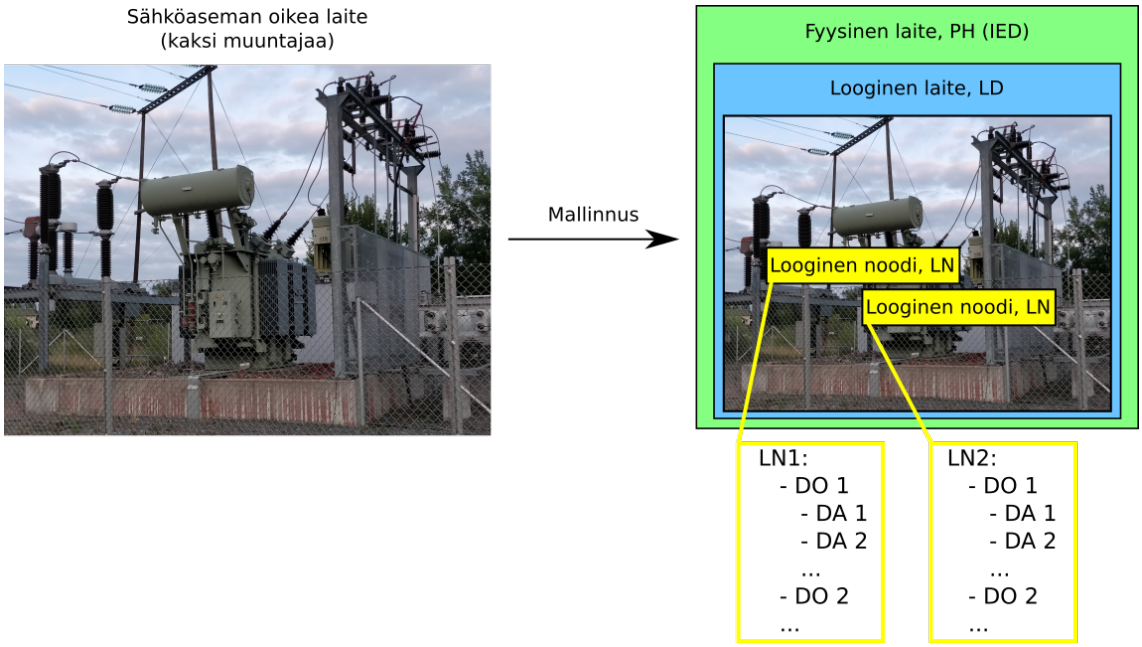
na, jotta ne voidaan konfiguroida esitettäväksi erillisellä IED-laiteella. Yksi aseman funktio voidaan hajauttaa monelle eri IED-laitteelle. Esimerkiksi linjan suojaukseen liittyvät komponentit, katkaisija (engl. circuit braker) ja ylivirtasuoja (engl. overcurrent protec-

tion). Toimiakseen yhdessä, laitteiden täytyy vaihtaa informaatiota keskenään verkon yli [9, s. 31]. Standardi määrittää seuraavat käsitteet sähköaseman funktioiden mallintamiseen:

- fyysinen laite (engl. physical device, lyhennetään PD),
- looginen laite (engl. logical device, lyhennetään LD),
- looginen noodi (engl. logical node, lyhennetään LN),
- dataobjekti (engl. data object, lyhennetään DO),
- data-attribuutti (engl. data atribute, lyhennetään DA).

Käsiteet muodostavat mallista hiearkisen puurakenteen ja ne on listattu hierarkisessa järjestyksessä. Puun juurena on fyysinen laite, sen alla voi olla yksi tai useampi looginen laite, loogisen laitteen alla yksi tai useampi looginen noodi jne. Käsitteillä standardissa virtualisoidaan aseman funktiot, esimerkiksi suojaus. Kuvassa 2 on esitetty, kuinka sähköaseman fyysiset laitteet voidaan mallintaa standardin määrittämillä käsitteillä. Samaa periaatetta käytetään kaikille aseman laitteille. Kuvassa ensin uloimpana on fyysinen laite, joka ohjaa aseman oikeita laitteita ja tarkkailee niiden toimintaa. Tämä laite voi olla IED-laite, joka on myös samalla kytketty aseman verkkoon ja sillä on IP-osoite. Yksi IED-laite voi olla samaan aikaan kytkettynä aseman moneen muuhun oikeaan laitteeseen. Tämän jälkeen mallinnetaan aseman joukko laitteita loogiseksi laitteeksi. Tällainen voi esimerkiksi olla tietyn jännitetason (engl. bay) komponentit, kuten katkaisijat, muuntajat jne. Kuvassa kaksi muuntajaa on mallinnettu yhdeksi loogiseksi laitteeksi, koska ne kuuluvat samaan jännitetasoon. Looginen laite koostuu loogisista noodeista se mallintaa jotakin aseman ohjattavaa yksittäistä laitetta. Kuvassa kaksi muuntajaa mallinnetaan loogisiksi noodeiksi. Jotta oikeaa fyysistä muuntajaa voidaan kuvata mallilla. Täytyy siitä pystyä esittämään mitattavia tai kuvaavia arvoja, esimerkiksi mitatut jännitteen arvot. Näihin tarkoituksiin käyteään käsitteitä dataobjekti ja data-attribuutti. Looginen noodi koostuu dataobjekteista ja dataobjekti koostuu data-attribuuteista. Data-attribuutti esittää yhtä mitattavaa tai kuvaavaa arvoa laitteesta, esimerkiksi sen hetkinen jännite tai laitteen tila. Dataobjekti on tapa koostaa yhteen kuuluvat data-attribuutit saman käsitteen alle, esimerkiksi mittaukseen tai ohjaukseen liittyvät data-attribuutit. [6, s. 2] [7, s. 24]

IEC 61850 -standardin käsitteiden avulla sähköaseman laitteet ja funktiot voidaan esittää malleilla. Malleja voidaan käyttää IED-laitteiden konfiguroinnin määrittämiseen ja tietona, jotka voidaan siirtää verkon yli laitteelta toiselle. Jotta käsitteitä voidaan käyttää konfigurointiin ja kommunikointiin, standardi määrittää lisää tarkuutta käsitteisiin ja kuinka niitä käytetään. MMS-protokollan kanssa fyysinen laite yksilöidään IP-osoiteella. Tätä käsitettä ei käytetä kommunikointiin tai konfigurointiin. Fyysisen laitteen käsite on olemassa standardissa, jotta se voidaan pitää abstraktina toteutettavasta tekniikasta. Looginen laite yksilöidään nimellä, joka on yksilöllinen IED-laitteessa. Standardi ei ota kantaa loogisen laitteen nimeämiseen. Looginen noodi yksilöidään IED-laiteella myös nimellä. Looginen noodi esitetään IED-laitteella jonkin standardissa määrittettyjen luokan

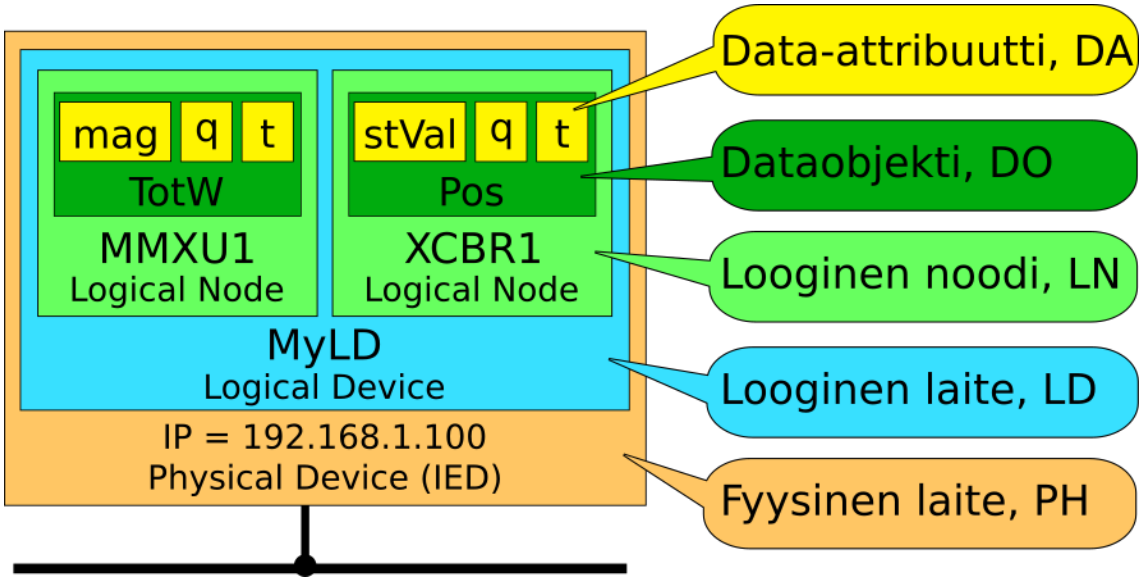


Kuva 2. *Sähköaseman fyysisten laiteiden abstrahointi IEC 61850 -standardin käsitteillä (pohjautuu kuvaan [9, s. 17]).*

instanssina. Standardin osassa 7-4 määritetään valmiita luokkia käytettäväksi eri laitteiden esittämiseen. Esimerkiksi katkaija on määritelty luokkaan tyyppiltään XCBR (engl. circuit braker) [12, s. 105–106]. Sähköaseman insinööri, joka konfiguroi IED-laitteen, määrittää konfiguraatiotiedostossa, että kytketty katkaisija esitetään XCBR-luokan instanssina ja nimeää sen standardin ohjeiden mukaan. Näin IED-laite tietää mitä laitetta se esittää ja ohjaa. IED-laitteessa kaikki eri luokkien instanssit yksilöidään nimillä ja niitä käytetään kun olioon viitataan esimerkiksi palvelukutsulla tai konfiguraatiolla. Looginen noodi koostui dataobjekteista. Standardissa dataobjektit on myös määritetty luokkina, joista tehdään instansseja. Erona on, että loogisen noodin luokkan tyyppi määrittää mitä dataobjektin luokkia insansioidaan, ja millä nimellä ne esitettään loogisen noodin instanssissa. Standari määrittää dataobjektien luokkien tyypit standardissa osassa 7-3. Dataobjekti koostuu data-attribuuteista. Kuten loogisen noodin luokan tyyppi, dataobjektin luokka määrittää käytettävät data-attribuutit ja niiden nimet. Tällä kertaa data-attribuutti ei ole välttämättä suoraan ole luokka. Data-attribuutit voivat olla primitiivisiä tyyppejä, kuten integer ja float. Tai ne voivat olla ns. rakennettuja data-attribuutteja (enlg. constructed attribute classes), jotka pitävät sisällään tarkempia data-attribuutteja. Hyvä esimerkki on data attribuutti nimeltään q, jonka tyyppi on Quality. Standardin mukaan tällä tyypillä on vielä aliattribuutteina mm. validity, detailQual jne [11, s. 11]. Standardi ei rajoita sitä, että dataobjektin alla pitää aina data-attribuutteja. Joissakin tapauksissa dataobjektin alla on toinen dataobjekti ja tämän alla vasta data-attribuutit. Kaikkien luokkien tyyppeihin määritetyt kentät ja niiden nimet voi löytyvät standardista. Kappaleessa 2.1.3 käydään tarkemmin läpi kuinka luokkien hierarkia standardissa rakentuu. [7, 9, 10, 11]

2.1.3 Loogisen noodin luokkien ja attribuuttien rakentuminen

IEC 61850 -standardissa kaikki luokat määritellään taulukoilla, joissa on standardoitu kentän nimi, tyyppi, selitys ja onko kenttä valinnainen. Tässä teoriaosuudessa mennään syvemmälle luokkien määritykseen. Lisäksi esitetään esimerkkinä kuinka standardin pohjalta instansioitu looginen noodi ja sen alitason dataobjektit ja data-attribuutit rakentuvat. Esimerkissä käytetään kuvan 3 rakennetta. Nimet ja luokkien instanssit konfiguroidaan IED-laitteelle XML-pohjaisella konfiguraatiotiedostolla. Tämä määritellään standardin osassa 6. Kuvassa 3 fyysinen laite on IED-laite ja siihen verkossa viitataan IP-osoitteella 192.192.1.100. IED-laitteelle on konfiguroitu looginen laite nimeltä MyLD. Eri loogiset laitteet IED-laitteella yksilöi vain sen nimi. Loogisella laitteella on kaksi instanssia loogisen noodin luokista nimillä MMXU1 ja XCBR1. MMXU1 instanssi on tyyppiä MMXU (engl. measurement) [12, s. 57–58] ja XCBR1 on tyyppiä XCBR (engl. circuit breaker). Kyseessä on siis vastaavasti mittaukseen liittyvä laite ja aikaisemmin mainittu linjan katkaisija. XCBR1 loogisella noodilla on dataobjekti nimeltään Pos (engl. position), joka on tyyppiä DPC (engl. controllable double point). Ja MMXU1 nimeltään TotW (engl. total active power), joka on tyyppiä MV (engl. measured value). Loogisilla noodeilla on määritetty enemmänkin dataobjekteja eri nimillä, mutta kuvassa 3 on esitetty vai yhdet yksinkertaisuuden takia. Pos dataobjektilla on data-attribuutit nimeltään stVal, q ja t. Ja TotW dataobjektilla on data-attribuutit mag, q ja t. Esimerkin data-attribuutti q on tyyppiä Quality, jolla on alidata-attribuutteja ja attribuutti StVal on tyyppiä boolean.



Kuva 3. *Standardin käsitteiden hierarkinen rakenne ja niiden nimeämisen esimerkki*

Standardissa osassa 7-4 on lista kaikista sen määrittämistä loogisen noodin luokista eri tarkoituksiin. Taulukossa 2 on esitetty XCBR-luokan määritys. Taulukosta voi nähdä luokan instanssille määritetyt kenttien nimet ja viimeinen sarake M/O/C, kertoo onko kenttä pakollinen (Mandatory, M), valinnainen (Optional, O), vai ehdollinen (Conditional, C) [12, s. 106]. Taulukosta voi nähdä kuvan 3 esimerkin XCBR1-instanssin data-objektin nimeltä Pos ja sen tyypin DPC. Standardissa dataobjektien luokkia kutsutaan yleisiksi luokiksi

(engl. Common Data Class, lyhennetään CDC). Näin sen takia, koska samaa dataobjektin luokkaa voidan käyttää monessa eri loogisen noodin luokassa. Standardin dataobjektin luokat on tarkoitettu kerätä yhteen samaan asiaan liittyvät data-attribuutit. CDC-luokkien määritykset löytyvät standardin osasta 7-3 [7, s. 26]. 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 attribuuttinsa. [10, s. 51,61] [11, s. 36]

***Taulukko 2**. IEC 61850 -standardin katkaisijaluokan XCBR -määritys.*

Data objektin nimi	Englanniksi	CDC-luokka	M/O/C
Selitys			
EEName	External equipment name plate	DPL	O
Tila informaatio			
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
Mitatut arvot			
SumSwARs	Sum of switched amperes, resettable	BRC	O
Kontrollit			
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
Asetukset			
CBTmms	Closing time of braker	ING	O

Taulukossa 3 on esitetty XCBR-luokan Pos-attribuutin, DPC-luokan määritys [11, s. 44]. Taulukosta voi nähdä kuvan 3 esimerkissä esitetyt data-attribuutit stVal, q ja t ja niiden tyypit. Attribuuttien tyyppejä on paljon enemmänkin ja lukija voi tarvittaessa tarkistaa kaikki tyypit standardista. Tällä periaatteella standardi rakentaa kaikki muutkin luokat hierarkisesti ja sen avulla voidaan selvittää mitä dataobjekteja looginen noodi sisältää, mitä data-attribuutteja kukin data objekti sisältää. Taulukossa 3 on myös määritetty data-attribuuttien funktionaaliset rajoitteet (engl. Functional Constraint, lyhennetään FC), sekä mahdolliset liipaiseimet (engl. trigger options, lyhennetään TrgOp). Nämä kaksi asiaa käsitellään teoriassa myöhemmin.

Kaikkien yllämainittujen luokkien kenttien määritysten lisäksi standardi määrittää palveluita jokaiselle luokkatyypille erikseen. Määritetyt palvelut ovat abstrakteja ja ne toteutetaan tekniikalle erillisellä standardin osalla. Palveluita voi ajatella esimerkiksi suo-

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

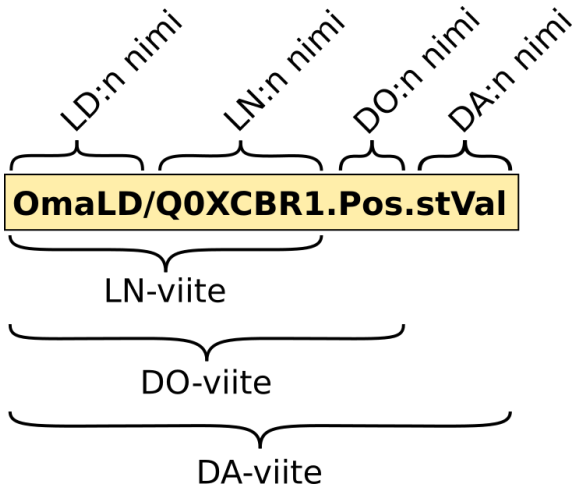
Data attribuutin nimi	Tyyppi	FC	Liipaisin (TrgOp)
Tila ja ohjaus			
origin	Originator	ST	
ctlNum	INT8U	ST	
stVal	CODEC ENUM	ST	dchg
q	Quality	ST	qchg
t	TimeStamp	ST	
stSeld	BOOLEAN	ST	dchg
opRcvd	BOOLEAN	OR	dchg
opOk	BOOLEAN	OR	dchg
tOpOk	TimeStamp	OR	
Vaihtoehtoinen ja estäminen			
subEna	BOOLEAN	SV	
subVal	CODED ENUM	SV	
subQ	Quality	SV	
subID	VISIBLE STRING64	SV	
blkEna	BOOLEAN	BL	
Asetukset, selitys ja laajennos			
pulseConfig	PulseConfig	CF	dchg
ctlModel	CtlModels	CF	dchg
sboTimeOut	INT32U	CF	dchg
sboClass	SboClassses	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	

ritettavina funktioina. Esimerkkinä palveluista kaikille dataobjekteille on mm. GetDataValues, joka palauttaa kaikki dataobjektin attribuuttien arvot. SetDataValues kirjoittaa annetut data-attribuuttien arvot. Ja GetDataDirectory palauttaa kaikki data-attribuuttien viitteet kyseisessä dataobjekstissa. Näitä ja muita abstrahoituja malleja viitataan standardissa lyhentellä ACSI (engl. abstract communication service interface) [10, s. 15,45–46] [9, s. 26].

2.1.4 Attribuuttien viittaus hierarkiassa

IEC 61850 -standardi määrittää erilaisia palvelukutsuja eri luokkatyypeille. Jotta kutsuja voitaisiin tehdä verkon yli IED-laitteelle ja sen arvoja lukea ja asettaa hierarkiassa, pitää tiettyyn data-attribuuttiin tai data-objektiin voida viitata yksilöivästi. Siksi standarissa on määritetty viittausformaatti, jota käytetään kun IED-laitteelle tehdään kutsuja. Kutsussa olevan viitteen perusteella IED-laite tietää, mihin instanssiin kutsu kohdistuu ja pystyy toimimaan sen mukaan. Tärkeää on myös mainita, että määritettyjä kutsuja lukemiseen ja asettamiseen voidaan käyttää useaan data-attribuuttiin yhtä aikaa. Kutsuja ei ole rajoitettu

käsittelemään yhtä data-attribuuttia kerrallaan. Viitten lisäksi aikaisemmin mainittu funktionaalinen rajoite, kertoo mihin data-attribuutteihin kutsu kohdistuu. Tämä tullaan käsittelemään tarkemmin kappaleessa 2.1.5. Kuvassa 4 on esitetty kuinka standardi määrittää viitteen muodostumisen loogisesta laitteesta data attribuuttiin asti. Viite alkaa loogisen laitteen nimestä ja ei sisällä fyysistä laitetta. Tähän on syynä se, että fyysisellä laitteella ei ole nimeä ja sillä on yksilöivä IP-osoite MMS-protokollan tapauksessa. Fyysinen laite on standardissa abstraktio laitteesta, kuten IED:stä. [9, s. 93].



Kuva 4. *IEC 61850 -standardin määrittämä viitteen rakenne.*

Viite muodostuu suoraan laitteessa olevien luokkien instanssien nimien ja hierarkian mukaan. Loogisen laitteen (LD) ja loogisen noodin (LN) erottimena käytetään kauttaviivaa, ja muiden osien erottimena käytetään pistettä. Loogisella laitteella on aseman insinöörin määrittämä oma nimi, mutta kuitenkin alle 65 merkkiä. Muuten loogisen laitteen nimeen standardi ei puutu. Loogisen noodin instanssin nimi koostuu alku-, keski- ja loppuosasta. Alkuosan käyttäjä voi itse päättää, kuvassa 4 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 loppuosan yhteenlaskettu merkkien pituus täytyy olla alle 13 merkkiä, eli koko loogisen noodin nimen pituus voi olla maksimissaa 17 merkkiä. Data objektien (DO) ja attribuuttien (DA) niminä käytetään standardin määrittämiä nimiä, jotka määritetään niitä vastaavissa luokissa osissa 7-3 ja 7-4 (katso taulukkot 2 ja 3). Riippuen viittauksesta, näistä muodostuu loogisen noodin viite, dataobjektin viite ja data attribuutin viite. Jos data-objektin alla on toinen dataobjekti, jonka alla on vasta itse data-attribuutit. Viittausta vain jatketaan instanssien nimiä liittämällä toisiinsa pisteellä aina data-attribuuttiin asti. Samoin toimitaan kun data-attribuutti on tyypiltään rakennettu tyyppi, kuten Quality, jolla on alidata-attribuutteja. [10, s. 181–182] [9, s. 93–95]

Standardissa määritetään kaksi näkyvyysaluetta (engl. scope) viittaukselle, jotka ovat palvelin- ja looginen laite -näkyvyysalueet. Palvelin tässä yhteydessä tarkoittaa verkkoon

kytkettyä laitetta, eli IED-laitetta. Palvelinnäkyvyysalueelle viitataan ottamalla viittauksesta pois loogisen laitteen nimi. Eli kuvassa 4 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 4 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. [10, s. 183]

Standardi määrittää maksimipituuksia viittauksille. Seuraavaksi kerrotut pituusmääritykset ovat voimassa kummallekin edelle mainitulle näkyvyysalueen viittaukselle. Ennen kauttaviivaa saa olla maksimissaan 64 merkkiä. Tämän jälkeen kauttaviiva, josta seuraa uudelleen maksimissaan 64 merkkiä. Eli koko viittauksen maksimipituus saa olla enintään 129 merkkiä, kauttaviiva mukaan lukien. [10, s. 24,183]

2.1.5 Attribuuttien funktionaalinen rajoite ja niistä muodostetut datajoukot

Standardin CDC-luokat, määrittävät käytettävät data-attribuutit (katso taulukko 3). Nämä luokat määrittävät myös jokaiselle data-attribuutille aikaisemmin mainitun funktionaalisen rajoitteen (engl. functional constraint, lyhennetään FC). Funktionaalinen rajoite kuvaa attribuutin käyttötarkoitusta ja sitä mitä palveluita attribuuttiin voidaan käyttää. 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 määrittää myös, onko attribuutti kirjoitettava tai luettava [10, s. 54].

Taulukko 4. *Osa IEC 61850 -standardin määrittämistä funktionaalisista rajoitteitteista (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

Funktionaalista rajoitetta käytetään IED-laitteelle tehtävässä kutsussa viitteen kanssa suodattamaan mitä data-attribuutteja tehty kutsu koskee. Funktionaalinen rajoite on pakollinen tieto kutsuissa, jotka lukevat tai kirjoittavat arvoja. Seuraavaksi esitetään esimerkki kuinka yhdellä kutsulla viitataan moneen data-attribuuttiin. Esimerkkinä otetaan kuvassa 4 olevasta viitteestä osa, joka viittaa data-objektiin. Eli OmaLD/Q0XCBR1.Pos, jolloin viite on DO-viite. Kutsun vaikutusalue on aina hierarkiassa alaspäin. Eli nyt viit-

teellä viitataan Pos-dataobjektin kaikkiin alla oleviin data-attribuutteihin. Katso taulukko 3, jossa on esitetty kaikki Pos-dataobjektin alla olevat data-attribuutit, johon nyt viitataan. Huomiona, jos viittauksen alla olisi alidata-objekteja, niidenkin data-attribuutit kuuluvat viittauksen piiriin. Viittauksen vaikutuksen voi siis ajatella jatkuvan viittauskohdasta alaspäin rekursiivisesti kaikkiin ali-instansseihin. Funktionaalista rajoitetta käytetään suodattamaan kaikista viitatuista data-attribuuteista ne, jotka halutaan kirjoittaa tai lukea. Esimerkkinä jos kutsuun viitteellä OmaLD/Q0XCBR1.Pos lisättäisiin funktionaalinen rajoite ST. Rajoitettaisiin kutsu koskemaan Pos-dataobjektin alidata-attribuuteista vain niitä attribuutteja, joilla on funktionaalinen rajoite ST. Eli taulukon 3 mukaan attribuutit olisivat origin, ctlNum, stVal, q, t ja stSeld. Muut data-attribuutit suodatetaan pois kutsun vaikutuksesta. Sama suodatus tapahtuu rekursiivisesti hierarkiassa alaspäin kaikille alidata-attribuuteille. Esimerkissä olevat arvot voisi vain lukea, ei kirjoittaa. Tämä sen takia, että taulukon 4 mukaan funktionaalinen rajoite ST sallii vain lukemisen. IEC 61850 -standardissa määritetään funktionaalinen rajoite XX, joka on sama kuin mikä tahansa muu funktionaalinen rajoite. Kuitenkin standardin osassa 8-1 joka tekee toteutuksen MMS-protokollalle, tämä ei ole tuettu toiminnalisuus. Eli toisin sanoen, jos MMS-protokollan kanssa halutaan lukea kaikki yhden data-objektin data-attribuutit. Joudutaan tekemään kutsu jokaista data-objektin funktionaalista rajoitetta kohti.

Viittauksen ja funktionaalisen rajoitteen avulla siis suodatetaan rekursiivisesti hierarkiassa alaspäin olevia data-attribuutteja. IEC 61850 -standardissa on määritelty nimitykset käytettäväksi kun jotakin viittausta suodatetaan funktionaalisella rajoitteella. Nämä ovat FCD (engl. functional constrained data) ja FCDA (engl. functional constrained data attribute). Nämä nimitykset ovat standardissa vain käsite, joka ei toteudu mitenkään tekniikalla. Taulukossa 5 on esitetty viittauksia eri tyyppisiin instansseihin funktionaalisella rajoitteella. Taulukosta selviää viitattu instanssi dataobjekti (DO) tai data-attribuutti (DA), instanssin tyyppi ja käytetty nimitys viittaukselle FCD tai FCDA. FCD nimitys on silloin kun vain hierarkian ensimmäistä dataobjekti rajoitetaan funktionaalisesti. FCDA nimitys on käytössä kaikille muille viittauksille hierarkiassa alaspäin, joita rajoitetaan funktionaalisesti. Huomaa taulukossa 5 viittaus OmaLD/MMXU1.PhV.phsA, joka viittaa PhV dataobjekin alidataobjektiin. Tämä on FCDA-viittaus, vaikka kyseessä onkin dataobjekti. Ainoa ero FCD:n ja FCDA:n nimitysten välillä on vain se, että FCD-viittaus on aina vain hierarkian ensimmäiseen dataobjektiin ja FCDA-viittaus siitä eteenpäin hierarkiassa. Riippumatta mitä tyyppejä viitatut instanssit hierarkiassa alaspäin ovat. [10, s. 55] [13, s. 63]

Funktionaalista rajoitetta käytetään viitteen kanssa suodattamaan viitatusta kohdasta alaspäin kaikki data-attribuutit. Tätä toiminnallisuutta käytetään hyväksi, kun tehdään kirjoittavia tai lukevia kutsuja ja rajoitetaan kutsulla vaikutettavia data-attribuutteja. Tätä samaa mekanismia käytetään hyväksi kun IED-laitteeseen määritellään datajoukkoja. IEC 61850 -standardissa datajoukko koostuu joukosta IED-laitteessa olemassa olevista data-attribuuteista. Datajoukko on tapa koostaa yhteen kiinnostavat data-attribuutit IED-laitteelta. Datajoukko nimetään ja sijoitetaan IED-laitteen hierarkiaan. Näin siihen

***Taulukko 5**. Viitteen nimeäminen lyhenteellä funktionaalisen rajoitteen kanssa.*

FC	Viite	Instanssi	Tyyppi	Nimitys
ST	OmaLD/XCBR1.Pos	DO	DPC	FCD
ST	OmaLD/XCBR1.Pos.t	DA	TimeStamp	FCDA
ST	OmaLD/XCBR1.Pos.ctlNum	DA	INT8U	FCDA
MX	OmaLD/MMXU1.PhV	DO	WYE	FCD
MX	OmaLD/MMXU1.PhV.phsA	DO	CMV	FCDA
MX	OmaLD/MMXU1.PhV.phsA.t	DA	TimeStamp	FCDA

voidaan viitata kutsuilla kuten mihin tahansa muuhun hierarkian instanssiin. Datajoukot IED-laitteelle rakennetaan käyttämällä FCD ja FCDA viitteitä. 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. Esimerkkinä datajoukon rakentamisesta taulukon 5 viittet. Näistä viitteistä voitaisiin rakentaa oikea standardin mukainen datajoukko, nimetä se nimellä Testi1, ja lisätä IED-laitteen hiearkiaan kohtaan OmaLD/LLN0.Testi1. Nyt datajoukkoon voisi viitata ja vaikka lukea kaikki sen arvot yhdellä kertaa. Jotta datajoukko saadaan näin tehtyä, tieto tästä pitäisi lisätä IED-laitteen asetustiedostoon. Datajoukkoja IED-laitteessa käytetään muodostamaan joukkoja tärkeistä data attribuuteista, joita voidaan esimerkiksi lukea ja kirjoittaa yhdellä kutsulla. Datajoukkoja käytetään myös tilattavien viestien sisältönä. Viestejä voi standardin mukaan tilata vain datajoukoista olevista data-attribuuteista. [10, s. 61–68]

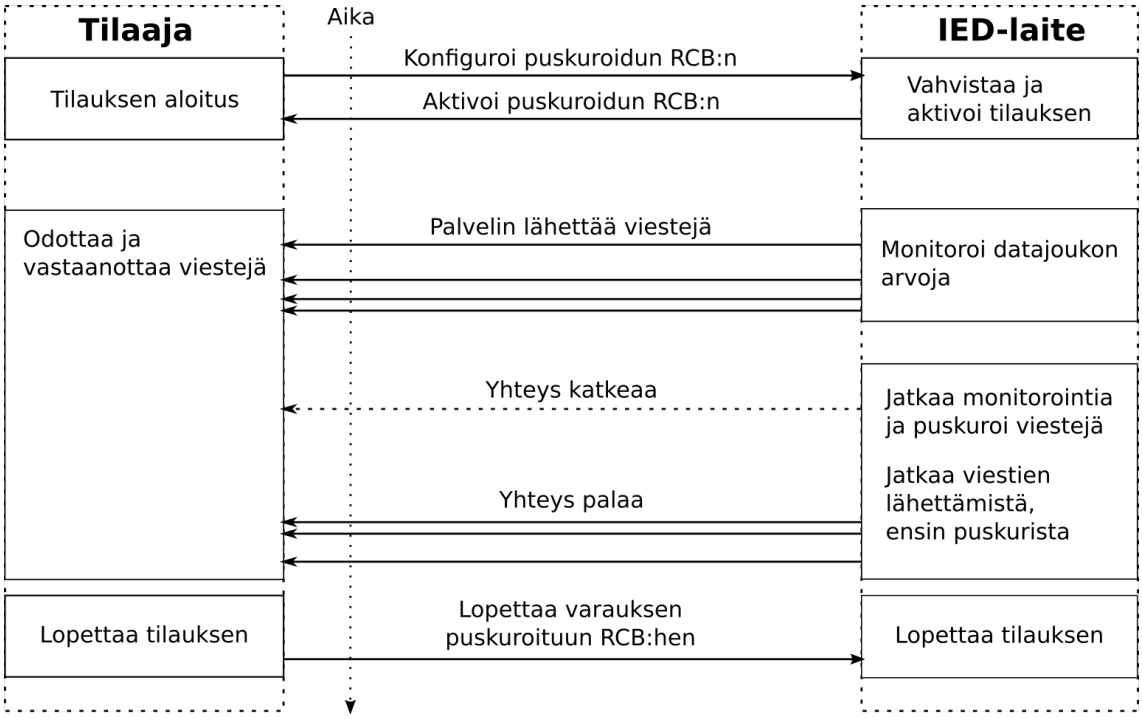
2.1.6 Viestien tilaus ja tilauksen konfigurointi

IEC 61850 -standardi määrittää, kuinka IED-laitteen ulkopuolinen ohjelma voi tilata kiinnostavien data-attribuuttien arvoja verkon yli. Viesti voidaan esimerkiksi lähettää tilaajelle, kun mitatun jännitteen arvo muuttuu. Kyseessä on tilaaja-julkaisija arkkitehtuurimalli, jossa ulkopuolinen ohjelma on tilaaja ja IED-laite julkaisuja. Standardi määrittää, että viestejä voidaan tilata vain datajoukoissa viitatuilla data-attribuuteilta. Milloin viestin lähetys tilaajalle tapahtuu, riippuu siitä kuinka tilaaja liipaisimet asettaa tilauksen yhteydessä. Standardissa määritellään käytettäväksi erilaisia liipaisimia joilla tilaaja voi muokata millä ehdoilla viesti pitäisi lähettää. Standardissa on myös määritetty mekanismit, jolla tilajaa voi pyytää kaikki arvot kerralla tai tilata jaksottaisia viestejä tietyn aikavälein.

Standardissa määritetään luokka, jonka tehtävä on hoitaa tilausta ja sen asetuksia. Tässä kappaleessa käydään läpi luokan yleistä toiminnallisuutta, kappaleessa 2.1.7 käsitellään luokan attribuutteja ja toimintaa syvällisemmin. Niinkuin muutkin luokat standardissa, tästä tehdään instanssi, sille annetaan yksilöivä nimi ja se lisätään IED-laitteen hierarkiaan. Nämä määritellään IED-laitteen asetustiedostossa, kuten kaikki muutkin instanssit. Yksilöivän nimen avulla tilaaja voi viitata kutsulla instanssiin, muuttaa luokan asetuksia ja aloittaa tilauksen. Nämä luokat standardissa ovat puskuroitu viestintäluokka (engl. Buffered Report Control Block, lyhennetään BRCB) ja ei puskuroitu luokka (engl. Unbuffered Report Control Block, lyhennetään URCB). Tekstissä kumpaakin luokkaan viitatessa

käytetään lyhennettä RCB. Ainoa ero luokkien toiminnan 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 ja yhteyden katketessa, viestit menetetään. Standardissa määritetään, että yksi RCB-instanssi voi palvella vain yhtä tilaaja kerrallaan. IED-laitteeseen täytyy määrittää instansseja sen tilaajien määrän mukaan.

Kuvassa 5 on esitetty tilaajan ja IED-laitteen välinen viestien tilauksen prosessi. Kuvassa ensin asiakas tilaa puskuroidun BRCB-instanssin. Ensimmäisessä kutsussa tilaaja kirjoittaa RCB-luokan arvot, kuten käytettävät liipaisimet jne. Kutsussa tilaajan on merkittävä RCB-instanssin varatuksi, jotta tilaus käynnistyy. IED-laite aloittaa viestien julkaisun tilaajalle määritettyjen ehtojen mukaan. Jos tilaaja ja IED-laitteen välinen yhteys katkeaa, BRCB-intanssi puskuroi viestejä johonkin järkevään rajaan asti. Kun yhteys tilaajan palaa, IED lähettää viestit järjestyksessä tilaajalle alkaen ensin puskurista. Tilaaja voi lopettaa tilauksen ja instanssin varauksen merkitsemällä sen taas vapaaksi.



***Kuva 5**. Puskuroitu viestien tilausprosessi tilaajan ja IED-laitteen välillä.*

Standardissa määritetään, että viestejä voidaan tilata vain datajoukoista. IED-laitteen asetustiedostossa täytyy myös määrittää mitä datajoukkoa RCB-intanssi käyttää. Tämän jälkeen instanssi tarkkailee datajoukkon attribuuttien muutoksia ja lähettää viestin, jos tilaajan asettama liipaisin täsmää. Koska yksi RCB voi palvella vain yhtä tilaajaa kerrallaan, täytyy samaan datajoukkoon viitata monella eri RCB-instanssilla. Näin monta eri tilaajaa saavat viestin samasta tapahtumasta.

Standardissa on määritetty seuraavat liipaisimet data-attribuuteille, joita RCB tarkkailee ja reagoi:

- 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).

Jokaiselle data-attribuutille määritellään erikseen mitä liipaisimia se tukee. Nämä määritellään standardin luokkien määrityksissä. Esimerkkinä aikaisemmin mainittu DPC-luokan määritys taulukossa 3, jossa TrgOp-sarake kertoo attribuutin liipaisimen. Data muutos ja päivitys liipaisimen ero on, 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 liipaisin tarkoittaa, että data attribuuttiin liitetty laatuarvo muuttui. Laatuarvo kertoo tilaajalle ja arvojen lukijalle, voiko attribuutien arvoihin luottaa. Laatuarvo on tyyppiä Quality ja tästä voi tarvittaessa lukea enemmän standardista. [9, s. 90]

2.1.7 Raportointi-luokan määritys ja toiminta

BRCB-luokalla on erilaisia attribuutteja, joita tilaaja voi kirjoittaa ja lukea ennen tilauksen aloittamista. BRCB ja URCB -luokat eivät eroa paljon attribuuteilla toisistaan, joten tässä kappaleessa keskitytään vain BRCB-luokan toimintaan. Tarkka määritys luokkien eroista löytyy standardin osasta 7-2. Taulukossa 6 on esitetty standardin määrittämän BRCB-luokan attribuutit, attribuutin nimi englanniksi ja sen selite. Taulukossa ei ole esitetty attribuuttien tyyppejä, koska ne voi lukija tarvittaessa tarkemmin lukea standardin omasta määrityksestä. Lisäksi tässä kappaleessa käydään läpi luokan atrribuuttien toiminta pääpiirteittäin ja loput tiedot lukija voi tarkistaa standardista. [10, s. 93–118].

Tilaaja voi vapaasti RCB-instanssin arvoja kirjoittaa ja lukea ennen tilauksen aloittamista monella peräkkäisellä kutsulla. Tärkein attribuutti luokassa on RptEna, joka on boolean tyyppiä. Kun attribuutti kirjoitetaan arvoon tosi, aloittaa instanssi tilauksen ja varaa sen tilaajalle. Tilauksen ollessa päällä, tilaaja voi edelleen lukea ja kirjoittaa sen arvoja, mutta rajoitetusti. Joidenkin arvojen kirjoitus pitää tapahtua ennen tilausta tai samassa kutsussa kun RtpEna asetetaan arvoon tosi. Tilaaja lopettaa tilauksen jos yhteys on poikki tarpeeksi kauan tai RptEna kirjotetaan arvoon epätosi.

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

- 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 (enlg. general-interrogation, standardissa lyhenne GI), ja
- jatkuva viestintä väliajoin (engl. intergrity).

Taulukko 6. *BRCB-luokan määritetyt attribuutit ja niiden selitteet.*

Attribuutti	Englanniksi	Selite
BRCBName	BRCB name	Objektin nimi
BRCBRef	BRCB reference	Objektin viite
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 viite
ConfRev	Configuration revision	Juokseva konfiguraation numerointi, muutos kasvattaa numerointia
OptFlds	Optional fields	Mitä valinnaisia kenttiä viestiin lisätään
BufTm	Buffer time	Puskurointiaika, 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

Kolme ensimmäistä liipaisinta dchg, qchg ja dupd ovat aikaisemmin kappaleessa 2.1.6 määrittettyjen data attribuuttien liipaisimia. Asiakas voi tilata viestejä esimerkiksi vain

datan 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. Asiakas voi liipaista sen 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 liipaisin on jatkuvaa viestin lähettämistä tilaajalle 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.

RCB-luokan attribuuttin OptFlds avulla asiakas voi valita mitä vaihtoehtoisia kenttiä viestiin sisällytetään. Attribuutin OptFlds on binääritietue niin kuin ja TrgOps. Taulukossa 7 on esitetty sen asetettavat arvot [10, s. 98]. Taulukon yksittäinen kenttä vastaa OptFlds arvon yhtä bittiä. Bittien järjestys määräytyy tekniikalle toteutuksen perusteella. Esimerkiksi MMS-protokolla. Taulukon arvoilla tilaaja voi määrittää mitä lisätietoa viestiin sisällytetään. Esimerkiksi asettamalla reason-for-inclusion bitin päälle, liitetään viestin arvon yhteyteen miksi tämä arvo viestiin sisällytettiin. Viestin rakennetta ja kuinka OptFlds-attribuutin arvoilla sen sisältöön voi vaikuttaa käydään läpi tarkemmin kappaleessa 2.1.8.

Taulukko 7. *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 DatSet viestiin
data-reference	Jos tosi, sisällytä datajoukon liipaisseen kohdan rakentamiseen käytetty FCD- tai FCDA-viite 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

Lähetetyt viestit voivat sisältää vaihtelevan määrän sisällytettyjä arvoja. RCB-instanssi mittaa aikaa ensimmäisestä liipaisusta sen attribuutin BufTm verran ja tämän ajan jälkeen pakkaa kaikki liipaisseet attribuutit samaan viestiin. Tilaaja voi muuttaa arvoa jos haluaa käyttää pitempää tai lyhyempää puskurointiaikaa.

2.1.8 Viestin rakenne ja kuinka sen sisältö muodostuu

IED:n lähettämä viesti on rakenteeltaan hiukan monimutkainen ja lisäksi siihen vaikuttaa RCB-instanssin OptFlds-attribuutin asetetut bitit (taulukko 7). Tässä kappaleessa käsi-

tellään viestin mallia, joka on tekniikasta riippumaton. Minkälainen viestin rakenne on MMS-protokollan tasolla, siitä ei tarvitse välittää. Toteutetussa ohjelmassa käytettiin kirjastoa, joka hoitaa matalan tason asiat ja tarjoaa helppokäyttöisen rajapinnan viestin sisältöön. Kuitenkin viestin rakenteesta täytyy ymmärtää kuinka vaihtoehtoiset kentät siihen vaikuttavat ja kuinka attribuuttien arvot viestiin sisällytetään. Kuvassa 6 on esitetty standardin määrittämän viestin rakenne ja mitä kenttiä OptFlds-attribuutti kontrolloi. Viestin rakenteen voisi ajatella koostuvan kahdesta osasta. Ensin viestissä on yleinen tieto ja viimeisenä taulukko datajoukon alkioista 1–n:ään, jotka liipaisevat viestin lähetyksen.

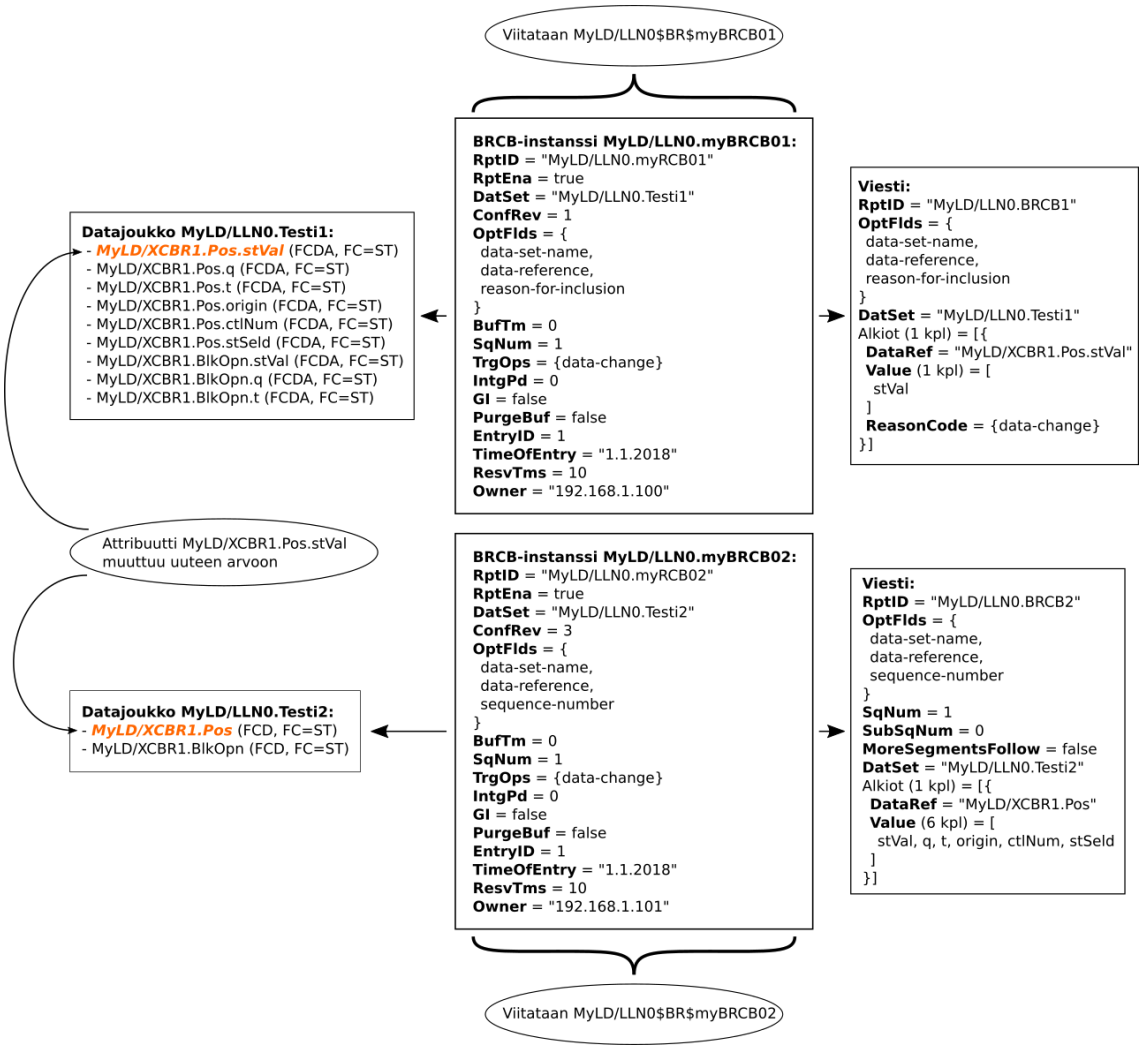
Kuvassa 7 on esitetty yleinen kuva kahden viestin lähetyksestä liipaisun tapahtuessa. Kuvassa keskellä on kaksi BRCB-instanssia myBRCB01 ja myBRCB02, jotka tarkkailevat datajoukkoja Testi1 ja Testi2 vastaavasti. Kummatkin instanssit lähettävät viestin, jotka ovat kuvassa oikealle. BRCB-instansseista voi nähdä, mitä niille asetetut attribuuttien arvot ovat ja datajoukoista näkee mistä FCD- ja FCDA -viitteistä ne koostuvat. Kuvassa attribuutin MyLD/XCBR1.Pos.stVal arvo muuttuu ja tämä liipaisee viestin lähetyksen kummassakin BRCB-instanssissa. Viesteistä voi nähdä sen sisällön ja myös miten BRCB-instanssien OptFlds-attribuutin arvot vaikuttavat sen sisältöön. Lähetettyjen viestien rakennetta ja sisältöä voi verrata kuvassa 6 määritetyn viestin rakenteeseen. Kuvassa on esitetty myös kuinka BRCB-instansseihin viitataan MMS-protokollan tapauksessa. Tätä käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.1.9.

Viestissä kenttä RptID sisältää viitteen RCB-instanssiin, mistä viestin on peräisin. OptFlds sisältää binääritietueen viestin vaihtoehtoisista kentistä. Tämä kenttä on suoraan verrattavissa viestin kenttiä SqNun, 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, mikäli kyseessä on 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. Kenttä DatSet sisältää viitteen datajoukkoon mistä viestin on peräisin. Puskuroidussa BRCB-instanssissa kenttä BufOvlf kertoo onko viestipuskuri vuotanut yli. ConfRev kertoo juoksevan konfiguraation numeron, tämä tulee suoraan RCB-instanssin samannimisestä attribuutista. TimeOfEntry kertoo milloin viesti generoitiin IED-laitteen päässä. EntryID on viestin yksilöivä numerointi. Tämä kenttä tulee suoraan RCB-instanssin samannimisestä kentästä. Tämän jälkeen viestissä tulee taulukko, joka sisältää liipaisseet datajoukon alkiot. Jokainen taulukon alkio sisältää Value-kentän ja vaihtoehtoiset DataRef ja ReasonCode kentät. DataRef sisältää datajoukon FCD- tai FCDA-viitteen, joka liipaisi tapahtuman. ReasonCode kenttä kertoo mikä RCB-instanssin TrgOps-attribuutilla asetetuista liipaisimista liipaisi tapahtuman ja aiheutti alkion sisällytyksen viestiin. Kentän mahdolliset arvot ovat samat kuin RCB-instanssin TrgOps-attribuutin arvot.

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

Kuva 6. *Standardin määrittämä lähetetyn viestin rakenne (pohjautuu kuvaan [10, s. 104]).*

Value-kentän arvosta on tärkeä ymmärtää, että se voi sisältää yhden tai monta data-attribuutin arvoa. Tämä riippuu viittaako datajoukon liippaissut alkion FCD- vai FCDA-viitteellä useaan data-attribuuttiin. Viittauksen ollessa FCDA-viite, joka viittaa vain yhteen data-attribuutiin, sisältää Value-kenttä vain kyseisen data attribuutin arvon. Jos viittaus on FCD- tai FCDA-viite joka viittaa moneen attribuuttiin hierarkiassa alaspäin. Viittaus sisältää Value-kenttä kaikki nämä viitatut arvot, vaikka niistä olisi liipaissut vain yksi attribuut-



Kuva 7. *BRCB-instanssi tarkkailee sille määritettyä datajoukoa ja generoi viestin tapahtuman liipaistessa.*

ti. FCD- ja FCDA-viittauksen toimintaa ja mitä attribuutteja se viittaa hierarkiassa alaspäin, käydään läpi kappaleessa 2.1.5. Esimerkki tästä on kuvassa 7, jossa liipaisu yhdessä attribuutissa aiheuttaa eri määrän arvoja kumpaankin viestiin. Tähän vaikuttaa kuinka liipaisevaan attribuuttiin on viitattu datajoukossa. Kuvassa datajoukossa Testi1 attribuuttiin MyLD/XCBR1.Pos.stVal on viitattu FCDA-viitteellä, jossa funktionaalinen rajoite on ST. Eli FCDA-viite viittaa vain stVal attribuuttiin, ei muihin. Tämän takia myBRCB01-instanssilta tuleva viestin Value-kenttä sisältää vain stVal-attribuutin arvon. Kun taas datajoukossa Testi2 attribuuttiin MyLD/XCBR1.Pos.stVal sisältyy datajoukon ensimmäiseen FCD-viitteeseen funktionaalisella rajoitteella ST. Koska FCD-viite viittaa kaikkiin Pos-instanssin alla oleviin attribuutteihin, joilla funktionaalinen rajoite on ST. Lisätään kaikki nämä attribuutit viestiin, joka lähetetään tilaajalle. BRCB-instansilta myBRCB02 tuleva viestin Value-kenttä sisältää kaikki viitatut attribuutit ja viestin DatRef-kenttä sisältää datajoukossa käytetyn viitteen. Dataobjektin Pos kaikki attribuutit voi tarkistaa taulukosta 3. [9, s. 40–44] [10, s. 108]

2.1.9 Abstraktimallin sovitus MMS-protokollaan

Tähän asti käsitellyt IEC 61850 -standardin mallit ja palvelut ovat olleet abstrahoituja ja tekniikasta riippumattomia. Tässä työssä käytetiin IEC 61850 -standardin MMS-protokollan toteutusta (engl. Manufacturing Message Specification). Tästä toteutuksesta on tarkemmin määritetty IEC 61850 -standardin osassa 8-1. MMS-protokolla on maailmanlaajuinen ISO 9506 -standardi viestintään, joka on määritetty toimivaksi TCP/IP:n pinon päällä [20]. Tämän työn kannalta lukijan ei ole tarvitse ymmärtää MMS-protokollaa ja sen toimintaa. Suunnitellussa ohjelmistossa käytettiin apuna kirjastoa, joka hoitaa matalan tason kommunikoinnin IED-laitteen kanssa. Tässä osiossa käsitellään työn kannalta tärkeitä tietoja, mitä toteutksesta MMS-protokollalle kuitenkin tarvitsee tietää. [30]

IEC 61850 -standardin mallinnuksessa aikaisemmin esitetty instanssien viittaus hierarkiassa muuttuu ja nyt viittaus sisältää myös funktionaalisen rajoitteen. Esimerkkinä kuvassa 4 oleva viite "OmaLD/Q0XCBR1.Pos.stVal"funktionaalisella rajoitteella ST, muuttuu muotoo "OmaLD/Q0XCBR1STPos$stVal". Tässä viittauksessa pisteet (.) korvataan dollari-merkillä ($). 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. [13, s. 34–35, 111]

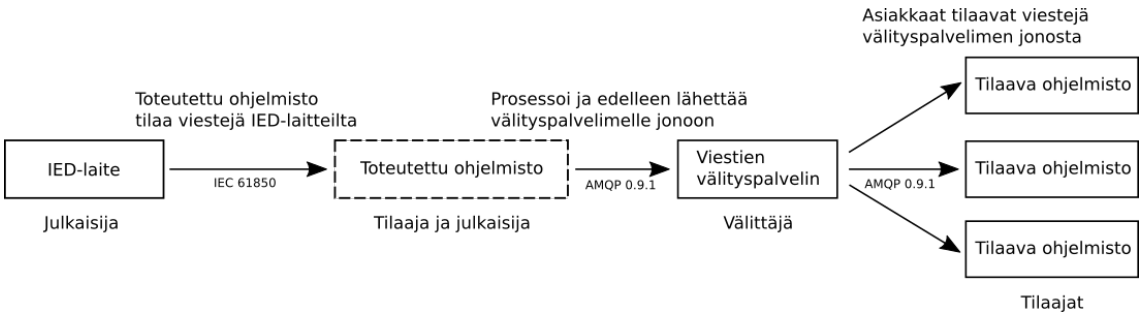
Tämän uuden viittauksen takia jokaiselle viitattavalle kohteelle täytyy olla funktionaalinen rajoite. Niinpä esimerkiksi RCB-luokkien instansseille täytyy olla myös funktionaalinen rajoite. Puskuroitua RCB-instanssia viitataan funktionaalisella rajoitteella BR. Ja puskuroimatonta funktionaalisella rajoitteella RP. Esimerkin tästä viittauksesta voi nähdä aikaisemmin mainitusta kuvasta 7. [13, s. 32–34, 75]

2.2 Advanced Message Queuing Protocol (AMQP)

Työssä toteutetussa ohjelmistossa IED-laitteelta verkon yli tilatut viestit ohjelma prosessoi ja lähetti viestin eteenpäin välittäjälle (engl. message broker). Välittäjä on verkossa oleva erillinen palvelin, mistä muut ohjelmat pystyivät tilaamaan viestejä tarpeidensa mukaan. Kuvassa 8 on esitetty lopullisen toteutuksen tietoliikenne eri osapuolten välillä. Tässä työssä toteutettu ohjelmisto on merkitty kuvaan katkoviivalla. Toteutuksessa oli kyse julkaisu ja tilaus -arkkitehtuurimallista (engl. publish-subscribe pattern), jossa työn toteutettu ohjelmisto oli tilaaja yhdeltä IED-laitteelta ja julkaisija välityspalvelimelle. Ja välityspalvelimen toisessa päässä olevat ohjelmistot olivat tilaajia. Tässä teoriaosuudessa perehdytään viestien välittäjän teoriaan, ja mitä siitä täytyy tietää ohjelmistokehityksen kannalta.

Työssä välittäjänä käytettiin RabbitMQ-ohjelmistoa[1], joka on avoimen lähdekoodin välit-

[1] https://www.rabbitmq.com/



***Kuva 8**. Toteutetun ohjelmiston osuus ja rooli käytettävässä kokonaisuudessa tietoliikenteen kannalta.*

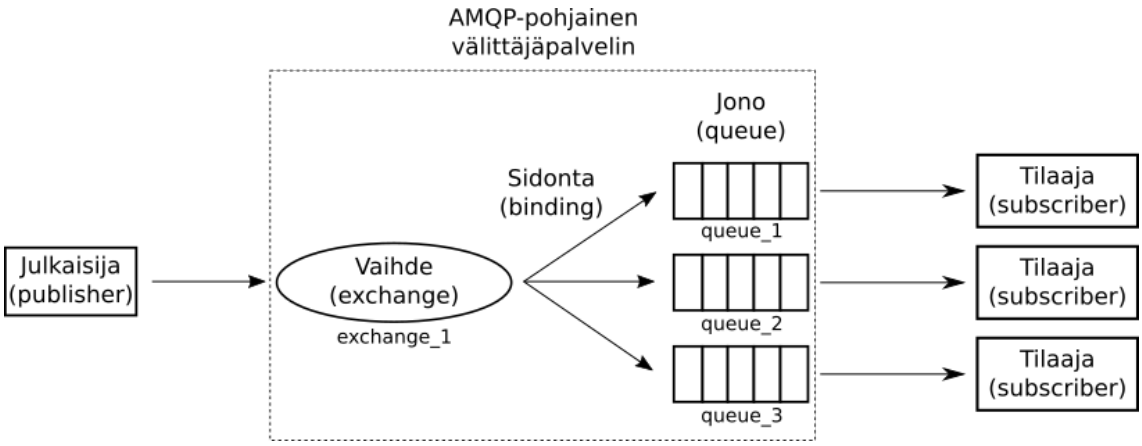
täjäpalvelin ja perustuu avoimeen AMQP-standardiin[2] (engl. Advanced Message Queuing Protocol). AMQP määrittää yhteisen protokollan viestintään eri ohjelmistojen välillä verkon yli välityspalvelimen avulla. Verkon ansiosta välityspalvelin voi sijaita eri koneella kuin sitä käyttävät ohjelmistot. Ajan saatossa 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 asennettuja 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 [27]. Kuvassa 8 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 määrittä komponentteja, joiden läpi viestin täytyy kulkea julkaisijalta tilaajalle. Standardissa nämä komponentit määrittää AMQ-malli (engl. AMQ-model). Kuvassa 9 on esitetty viestin kulku julkaisijalta tilaajalle mallin eri 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 reittitää viestejä tilaajille jonoihin jonon ja vaihteen välisten sidosten mukaan. Jos tilaaja ei ehdi prosessoida viestejä tarpeeksi nopeasti, palvelin pitää viestit jonossa tilaajelle. 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 reitityksiä palvelimelle verkon yli ajon aikana tarpeidensa mukaan. Välittäjäpalvelin ei määritä kuin oletusvaihteet valmiiksi käytettäväksi. Toisin sanoen julkaisuja voi luoda vaihteita ja tilaaja voi luoda jonoja ja sidoksia vaihdeiden ja jonojen välille. Voidaan sanoa että julkaisija ja tilaaja tekevät uusia instansseja AMQ-mallin komponen-

[2]https://www.amqp.org/



Kuva 9. *AMQ-mallin osat ja viestin kulku niiden läpi julkaisijalta tilaajalle (pohjautuu kuvaan [2, s. 11]).*

teista palvelimelle. Vaihteiden ja jonojen instansseilla täyttyy olla välityspalvelimella yksilöivät nimet, jokainen nimi asetetaan instanssin luonnin yhteydessä. Esimerkkinä kuvassa 9 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 Vaihde (exchange) ja reititysavain (routing-key)

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

- suoravaihde (engl. direct exchange),
- hajautusvaihde (engl. fanout exchange),
- aihepiirivaihde (engl. topic exchange) ja
- otsikkovaihde (engl. header exchange).

Näitä tyyppejä ja kuinka ne toimivat käydään tarkemmin läpi tulevissa kappaleissa. Tyypin lisäksi vaihteella on myös attribuutteina nimi (engl. name), kestävyys (engl. durability), automaattinen poisto (engl. auto-delete). Nimi yksilöi vaihteen palvelimella ja tilaaja käyttää tätä nimeä sidoksen tekemiseen jonon ja vaihteen välille. AMPQ-standardissa oletetaan, että nimi on jo tiedossa etukäteen julkaisijalla ja tilaajalla. AMPQ ei tarjoa toiminnallisuutta instanssien nimien noutamiseen. Kestävyys parametrilla julkaisija voi kertoa palvelimelle, että välitäjä säilyttää vaihteen uudelleenkäynnistysten jälkeen. Jos ei, julkaisijan täytyy määrittää vaihde uudelleen käynnistyksen jälkeen. Automaattinen poisto

kertoo poistaako välittäjä vaihteen automaattisesti, kun viimeinen siihen sidottu jono on poistettu ja julkaisija ei ole enää yhteydessä.

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.

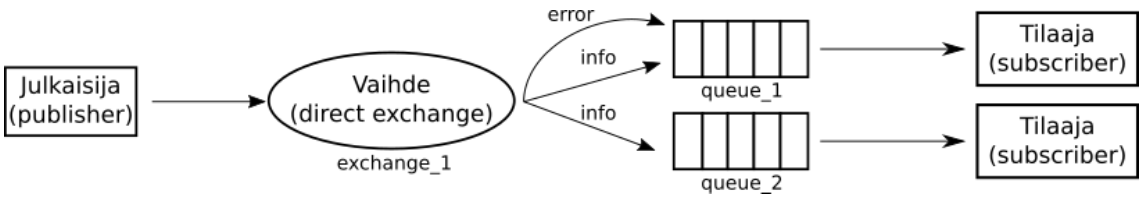
Vaihde reitittää viestejä jonoihin sen sidosten ja tyypin mukaan. Kuitenkin reititykseen liittyy yksi tärkeä asia kuin reititysavain (engl. routing-key). Reititysavain on kuin virtuaalinen osoite viestissä, jonka julkaisija liittää viestiin julkaisun yhteydessä. Tilaaja käyttää myös reititysavainta jonon määrityksen yhteydessä. Vaihde, tyypistä riippuen, voi käyttää tätä avainta reititykseen eri jonoihin. Viestin reititysavainta voi hyvin verrata lähetettävän sähköpostin saaja-kenttään. Saaja kertoo vastaanottajan sähköpostiosoitteen, johon viesti on tarkoitus lähettää. Reititysavain toimii juurikin näin suorassa viestin lähetyksessä, mutta eroaa muissa.

2.2.3 Suoravaihde (direct exchange)

Julkaisija voi määrittää vaihteen instanssin tyypiksi suoravaihteen (engl. direct exchange). Suoravaihde reitittää viestin jonoihoin 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 10 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 10 julkaisija julkaisee viestin reititysavaimella info. Viesti päätyy molempiin queue_1 ja queue_2 jonoon. Reititysavaimella error, viestit päätyvät vain jonoon queue_1. Välittäjäpalvelin tarjoaa suoravaihteesta oleutusvaihteen nimeltä amq.direct. [2, s. 27]



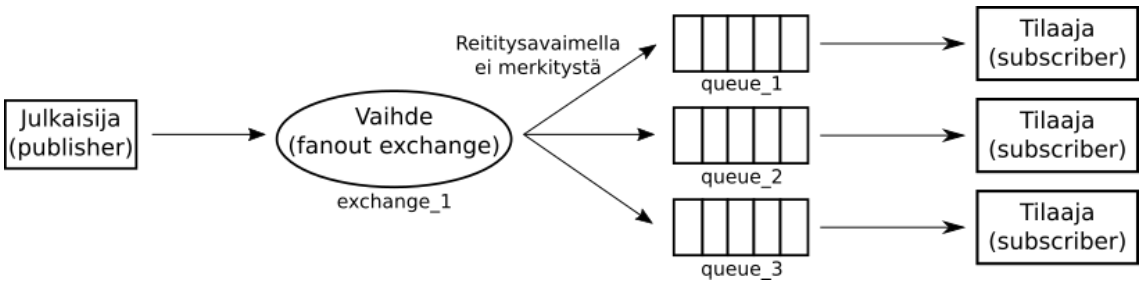
Kuva 10. *Suoravaihde (engl. direct exchange), reitittää suoraan sidoksen reititysavaimen mukaan (pohjautuu kuvaan [28]).*

2.2.4 Hajautusvaihde (fanout exchange)

Julkaisija voi määrittää vaihteen instanssiksi hajautusvaihteen (engl. fanout exchange). Hajatusvaihde reitittää viestit kaikkiin sen jonoihin reititysavaimesta välittämättä. Hajautusvaihde toimii seuraavasti:

- tilaaja määrittää sidoksen vaihteeseen reititysavaimella K,
- julkaisija julkaisee viestin reititysavaimella R,
- vaihde välittää viestin kaikkiin siihen sidottuihin jonoihin, reititysavaimesta riippumatta.

Kuvassa 11 on esitetty hajautusvaihteen toiminta. Vaihteeseen exchange_1 on tehty kolme eri sidosta jonoihin queue_1, queue_2 ja queue_3. Julkaisijan lähettämä viesti lähetetään kaikkiin kolmeen sidottuun jonoon, viestin ja jonojen reititysavaimista riippumatta. Välittäjäpalvelin tarjoaa hajautusvaihteesta oletusvaihteen nimeltä amq.fanout. [2, s. 27]



Kuva 11. *Hajautusvaihde (engl. fanout exchange) reitittää kaikkiin siihen sidottuihin jonoihin riippumatta reititysavaimesta (pohjautuu kuvaan [1]).*

2.2.5 Aihepiirivaihde (topic exchange)

Aihepiiri vaihdetyyppi (engl. topic exchange) reitittää viestejä sidottuihin jonoihin reititysavaimen mukaan, kuten suoravaihde, mutta tarjoaa lisäksi sääntöjä monen avaimen samanaikaiseen yhteensopivuuteen. Sidoksen reititysavaimen sijaan voidaan puhua reitityskaavasta (engl. routing pattern). Aihepiiri vaihde toimii seuraavasti:

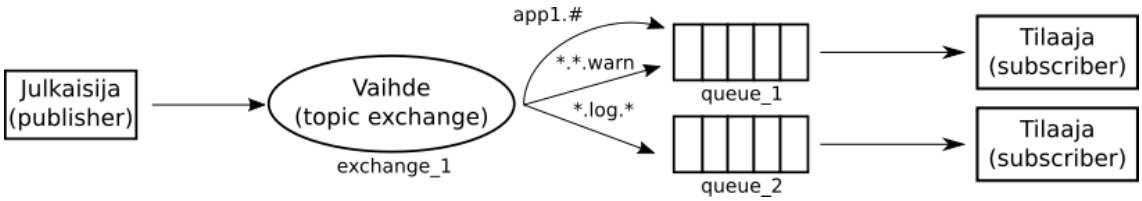
- tilaaja määrittää sidoksen vaihteeseen reitityskaavalla P,
- julkaisija julkaisee viestin reititysavaimella R,

- vaihde välittää viestin jonoon, jos sen reitityskaava P sopii reititysavaimeen R.

Aihepiirivaihteen yhteydessä AMQP-standardi määrittää että viestin reititysavain täytyy olla lista sanoja jotka ovat erotettu pisteillä ja ovat yhdessä maksimissaan 255 merkkiä pitkä [2, s. 35]. Sanat saavat sisältää kirjaimia A-Z ja a-z, ja numeroita 0-9. Yleensä avaimeen sijoitetaan sanoja mitkä liittyvät viestin sisältöön. Tilaajan määrittämä sidoksen reitityskaava voi olla samaa muotoa kuin reititysavain, mutta sanojen tilalla voidaan käyttää seuraavia erikoismerkkejä:

- ***** (tähti), voi vastata mitä tahansa yhtä sanaa,
- **#** (risuaita), voi vastata nolla tai monta sanaa. [2, s. 27]

Kuvassa 12 on esitetty aihepiirivaihteen toiminta. Vaihteeseen exchange_1 on sidottu jono queue_1 reitityskaavoilla **app1.#** ja ***.*.warn**. Ja jono queue_2 reitityskaavalla ***.log.***. Oletetaan että julkaisija lähettää viestejä avaimella muodossa *ohjelma.kanava.taso*, jossa sana ohjelma kuvaa julkaisijan nimeä. Kanava, kuvaa lokitusväylää ja taso kuvaa viestin tasoa (warning, error, info jne.). Voisi sanoa että queue_1 on kiinnostunut kaikista ohjelmalta app1 tulevista viesteistä ja myös kaikista varoitustason (warning) viesteistä kaikilta ohjelmilta. Jono queue_2 on taas kiinnostunut kaikista log-väylän viesteistä.



***Kuva 12**. Aihepiirivaihde (engl. topic exchange), reitittää kaikkiin siihen sidottuihin jonoihin, joiden reitityskaava sopii viestin reititysavaimeen (pohjautuu kuvaan [29]).*

Nyt jos julkaisija lähettää viestin avaimella **app1.debug.warn**. Vaihde välittää viestin jonoon queue_1, mutta ei jonoon queue_2. Avaimella **app2.log.info** viesti välitetään vain jonoon queue_2. Avaimella **app1.log.warn** viesti lähetään molempiin jonoihin. Kun taas avaimella **app2.debug.info** viestiä ei lähetetä yhteenkään jonoon.

Aihepiirivaihde on vaihdetyypeistä monimutkaisin, mutta kattaa ison määrän erilaisia käyttötapauksia. Vaihteen avulla tilaajat voivat tilata viestejä, joista ovat esimerkiksi kiinnostuneita. Aihepiirivaihdetta voi käyttää kuin aikaisempia vaihdetyyppejä. Jos jono sidotaan reitityskaavalla **#**, se vastaanottaa kaikki viestit kyseiseltä vaihteelta ja käyttäytyy kuin hajautusvaihde. Jos jono sidotaan ilman merkkejä ***** ja **#**, niin se käyttäytyy samalla tavalla kuin suoravaihde. [29]

2.2.6 Otsikkovaihde (headers exchange)

Otsikkovaihde (engl. headers exchange) on vaihdetyyppi joka ei käytä reititysavainta ollenkaan reititykseen, vaan reititys perustuu viestin ja sidoksen otsikkotietoihin. Otsikkotiedot koostuvat avain–arvo-pareista. Otsikkovaihde toimii seuraavasti:

- tilaaja määrittää sidoksen vaihteeseen otsikkotiedoilla H,
- julkaisija julkaisee viestin otsikkotiedoilla O,
- vaihe välittää viestin jonoon jos otsikkotiedot O vastaavat otsikkotietoja H, riippuen sidoksen otsikkotiedoissa olevasta **x-match** kentän arvosta.

Jonon sidoksen määrityksen yhteydessä tilaaja voi asettaa kentän **x-match** otsikkotietoihin ja sille arvon kahdesta eri mahdollisuudesta **all** tai **any**. Arvot toimivat seuraavasti:

- **all** kertoo vaihteelle, että jokainen viestin otsikkotieto täytyy vastata sidoksen otsikkotietoja (boolen algebrassa AND-operaatio), jotta viestin lähetetään jonoon,
- **any** kertoo vaihteelle, että mikä vain viestin otsikkotiedoista löytyy sidoksen otsikkotiedoista (boolen algebrassa OR-operaatio), lähetetään viesti jonoon. [2, s. 28]

Otsikkotiedoissa arvot ovat vaihtoehtoisia asettaa. Jos kentän arvoa ei ole asetettu, vastaavuus on kun kentän nimet ovat samat. Jos kentän arvo on asetettu, vastaavuus on jos molemmat nimi ja arvo vastaavat toisiaan. [2, s. 28]

2.2.7 Jonon määritys ja viestien kuittaaminen

AMQ-mallissa jono (engl. queue) on vaihteen ja tilaajan välissä oleva puskuri (kuva 9), joka tallentaa tilaajalle tulevia viestejä. Jono pitää viestejä jonossa tilaajalle, kunnes tämä ehtii prosessoida ne. Yksi jono voi puskuroida viestejä monelle eri tilaajalle. Tilaaja sitoo (engl. binding) jonon nimellä johonkin palvelimella jo olevaan vaihteeseen mistä viestejä haluaa. Tilaajan täytyy tietää vaihteen nimi. Jonolla tilaaja voi määrittää attribuutteja. Jotkin attribuutit ovat samoja kuin vaihteella. Tilaaja voi määrittää jonolle nimen (engl. name), kestävyyden (engl. durable), poissulkevuuden (engl. exclusive) ja automaattisen poiston (auto-delete). Nimi yksilöi jonon palvelimella. Tilaaja voi halutessaan pyytää palvelinta generoimaan yksilöivän nimen jonolle automaattisesti. Kestävyysattribuutti säilyttää jonon palvelimella uudelleenkäynnistyksen jälkeen. Poissulkeva rajoittaa jonon vain yhdelle tilaajalle ja palvelin poistaa jonon kun yhteys tilaajaan katkeaa. Automaattinen poisto poistaa jonon palvelimelta automaattisesti kun yhteys viimeiseen tilaajan on katkennut. [1]

Jono lähettää viestin vain yhdelle jonossa olevalle tilaajalle. Sama viesti lähetetään ainoastaan toiselle tilaajalle jos se edelleenlähetetään virheen tai peruutuksen seurauksena. Jos samassa jonossa on monta eri tilaajaja, jono lähettää viestejä monelle tilaajalle kiertovuorottelun (engl. round-robin) periaatteen mukaan. [2, s. 11–12]

Tilaajan täytyy määrittä jonolle sen käyttämä viestin kuittaamisen (engl. acknowledge) malli ennen kuin jono poistaa viestin puskurista. Malleja on kaksi:

- automaattinen, jolloin palvelin poistaa viestin jonosta heti kun se on lähetetty tilaajalle,

- eksplisiittinen, jolloin palvelin poistaa viestin vasta kun tilaaja on lähettänyt kuittauksen palvelimelle.

Tilaaja voi lähettää viestistä kuittauksen milloin vain prosessoinnin aikana. Heti kun viesti on vastaanotettu tai silloin kun viesti on prosessoitu. [2, s. 29]

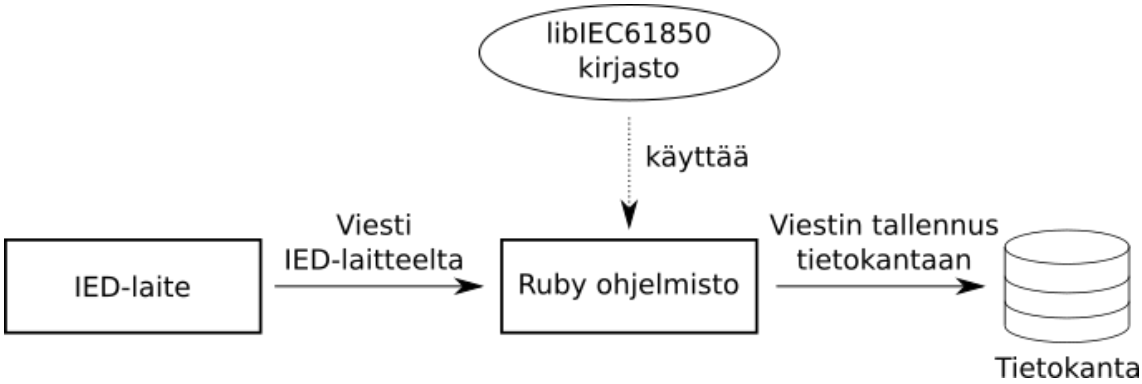
3. PROJEKTIN LÄHTÖKOHDAT

Ennen tämän työn aloittamista yrityksessä oli jo kehitetty ensimmäinen versio ohjelmasta. Ohjelma kykeni tilaamaan viestejä IED-laitteelta, prosessoimaan viestit ja tallentamaan ne relaatiotietokantaan myöhempää käyttöä varten. Tässä ohjelmistossa oli havaittuja ongelmia ja se ei myöskään tukenut kaikkia IEC 61850 -standardin viesteihin liittyviä ominaisuuksia. Tämän ohjelmiston toimintaperiaate ja siinä olleet ongelmat toimivat pohjana uuden version suunnittelulle ja toteutukselle. Tarkoituksena oli poistaa havaitut ongelmakohdat ja miettiä olisiko jokin muu arkkitehtuuri parempi kyseiseen toteutukseen. Ensimmäistä toteutusta ohjelmasta voisi nimittää ensimmäiseksi protoversioksi tai demovaiheeksi (engl. proof of consept), jonka pohjalta tultiin tekemään toimiva lopullinen versio. Tekstissä eteenpäin sanalla demoversio viitataan tähän ohjelmistoon.

Tässä osiossa pohjustetaan työn alkua lukijalle ja mistä lähdettiin liikkeelle. Lisäksi kuvataan mitä ongelmia demovaiheen toteutuksessa ja oli ja analysoidaa niitä. Demovaiheen ohjelmasta käsitellään sen arkkitehtuuria, mitkä olivat sen komponentit ja niiden toiminnallisuus. Tässä käsitellyt ongelmat toimivat pohjana uuden version suunnittelulle ja auttavat tekemään siihen liittyviä ratkaisuja.

3.1 Demoversio ja sen toiminta

Demoversio oli ohjelmoitu Ruby-ohjelmointikielellä. Ohjelman arkkitehtuuri oli todella yksinkertainen. Kuvassa 13 on esitetty demoversion arkkitehtuuri korkealla tasolla.

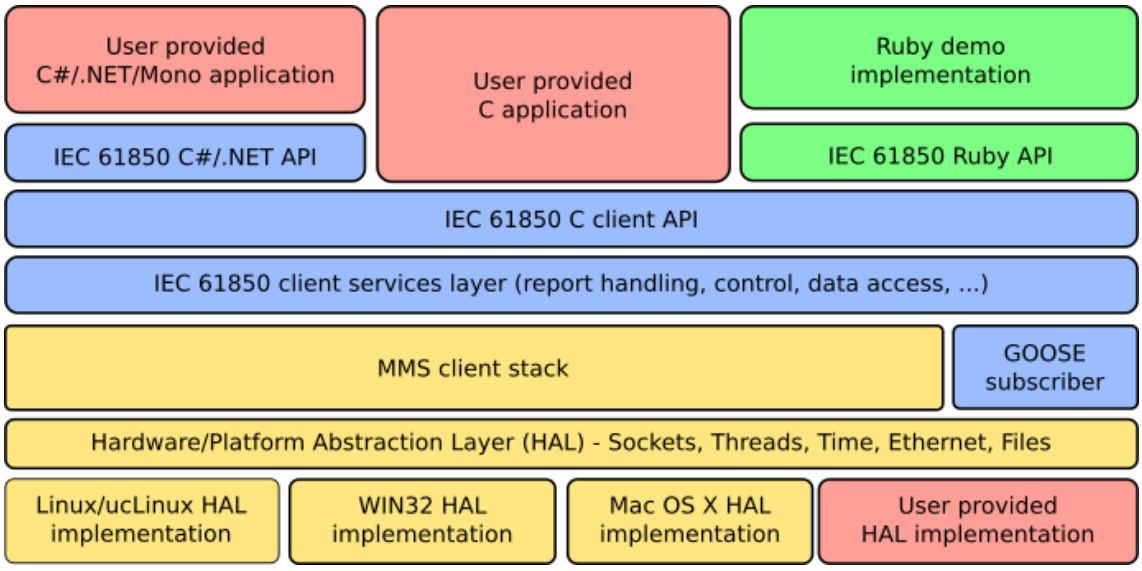


***Kuva 13**. Rubylla toteutetun demoversion arkkitehtuuri ja tiedonsiirto.*

Yksi ajettu demoversion prosessi pystyi tilaamaan yhden IED-laitteen kaikki RCB-luokkien instanssit. Instanssien tiedot luettiin relaatiotietokannasta. Ohjelmisto prosessoi viestit ja tallentamaan ne relaatiotietokantaan myöhempää käyttöä varten. Ruby-ohjelmistossa tär-

keässä osassa oli libIEC61850-kirjasto[1]. libIEC61850-kirjasto on avoimen lähdekoodin C-kielellä toteutettu kirjasto, joka abstrahoi IEC 61850 -standardin matalan tason määrittämiä palvelukutsuja ja datarakenteita helpokäyttöiseksi rajapinnaksi. Kirjasto tarjosi toiminnallisuuden IED-laitteella olevan serveriohjelmiston, sekä IED-laittetta käyttävän asiakaohjelmiston toteuttamiseen. IED-laitteen serverille kirjasto tarjosi funktioita ja rakenteita IEC 61850 määrittämien luokkien ja hierarkian rakentamiseen ja käsittelyyn. IED-laitteen asiakasohjelmalle kirjasto tarjosi funktioita ja rakenteita standardin määrittämiin palveluihin, kuten arvojen lukuun ja asettamiseen, datajoukkojen käyttöön ja viestien tilaamiseen. Tätä samaa kirjastoa käytettiin myös tämän työn toteutetussa ohjelmistossa. Koska demoversiossa ja tämän työn toteutuksessa keskitytään vain asiakasohjelmiston tekemiseen, käytetään kirjastosta vain sen asiakasohjelman toteutuksen ominaisuuksia.

Kirjasto oli rakennettu käyttämään MMS-protokollaa tiedonsiirrossa IED-laitteen ja sen asiakasohjelman välillä, kuten IEC 61850 -standardin osassa 8-1 määritetään. Kuvassa 14 on esitetty kirjaston kerrosarkkitehtuuri asiakasohjelmalle. Kirjastoon oli toteutettu laiteabstraktiokerros (engl. hardware abstraction layer, lyhennetään HAL). HAL:in avulla kirjasto voi toimia monella eri laitealustalla, ja käyttäjä voi tarvittaessa lisätä oman HAL-implementaation. Demoversiota ajettiin Linux-käyttöjärjestelmällä, joten kirjastosta käytettiin olemassa olevaa Linux HAL toteutusta. Kuvassa 14 on punaisella merkitty laatikot, jotka kirjaston käyttäjä voi tarjota, keltaisella kirjaston uudelleenkäytettävät MMS-protokollan osuudet ja sinisellä IEC 61850 -standardin toteuttavat osuudet. Kuvaan on merkitty vihreällä demoversioon toteutetut osuudet, eli Ruby-kielelle liitos C-kieleen ja tämän päälle Rubylla ohjelmoitu ohjelmisto.



Kuva 14. *libIEC61850-kirjaston kerrosarkkitehtuurin komponentit, vihreällä Ruby toteutukseen lisätyt osat (pohjautuu kuvaan [17]).*

Ruby-koodista C-kielen funktioiden kutsuminen ei ole suoraan mahdollista, vaan kiel-

[1] http://libiec61850.com

ten väliin täytyy toteuttaa liitos. Demoversiossa liitos oli tehty käyttäen Rubylle saatavaa ruby-ffi -kirjastoa[2] (engl. Foreign Function Interface, lyhennetään FFI). Liitoksen avulla Ruby voi kutsua C-kielen funktioita ja käyttää sen struktuureita ja muuttujia. Demossa kirjasto hoiti matalan tason IEC 61850 asiat, ja Ruby-koodi keskittyi liitoksen avulla korkean tason viestin jäsentämiseen ja tallennukseen tietokantaan.

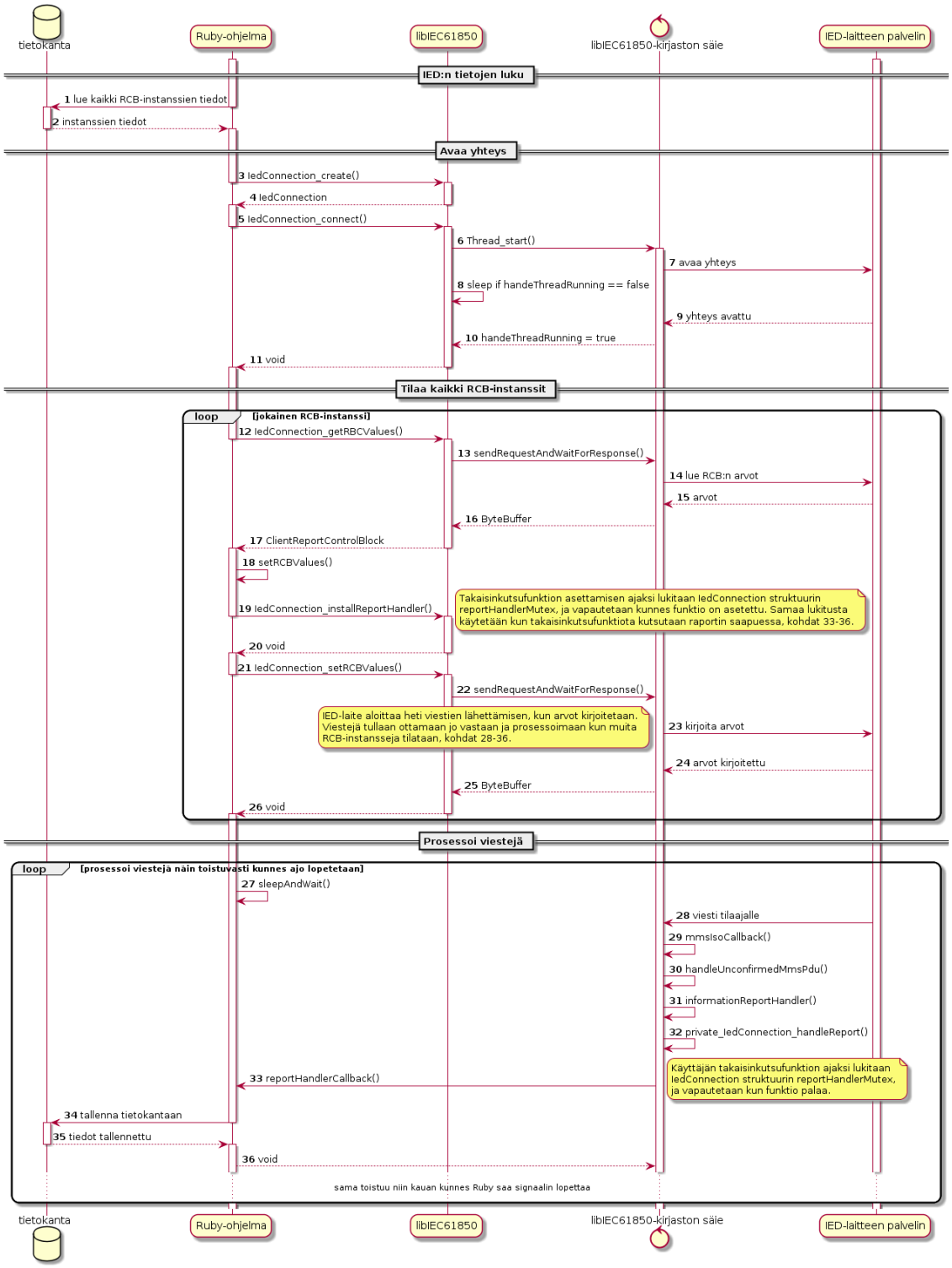
3.2 Ongelmakohdat ja analysointi

Demoversiossa ohjelma oli toteutettu Ruby on Rails kehyksen päällä ajettavaksi. Ruby on Rails kehys on tarkoitettu web-sovellusten toteuttamiseen Ruby kielellä. Se tarjoaa Active Record nimisen ORM-kerroksen (engl. Object-relational Mapping) tietokannan käsittelyn helpottamiseen. ORM-kerros abstrahoi relaatiotietokannan käyttämisen oliopohjaiseksi ja kyselyitä tietokantaan voi tehdä suoraan Ruby-kielellä. Demoversio käytti Railsin Active Record ORM-kerrosta tietokannan käyttämiseen. Eli ennen ohjelman ajamista ohjelmaan täytyi ladata Railsin ajoympäristö muistiin, joka aiheutti sen että yksinkertaisen ohjelman täyti varata iso määrä muistia ennen suoritusta.

Ohjelma luki tietokannasta IED-laitteen, sekä sen kaikki RCB-instanssien tiedot. Tietojen avulla ohjelma tiesi mikä IED-laitteen IP-osoite on ja mitkä olivat RCB-instanssien referenssit. Ohjelmaan pystyi syöttämään eri tietoja ainoastaan tietokannan kautta ennen ajoa. Tämän jälkeen ohjelman toiminta, jokaisen RCB-instanssin viestien tilaukseen ja prosessointiin on esitetty sekvenssikaaviossa kuvassa 15. Kuvassa ohjelman kaksi eri silmukkaa on esitetty kahdella eri loop-laatikolla. Sekvenssikaaviossa osallisena ovat tietokanta, Ruby-ohjelma, libIEC61850-kirjasto, libIEC61850-kirjaston natiivisäie ja IED-laiteen palvelinohjelma. Rubyn ja libIEC61850-kirjaston liitos oli tehty ruby-ffi -kirjastolla ja kirjaston natiivisäie on vastuussa yhteyden ylläpidosta ja datan siirtämisestä. Sekvenssikaavioon on merkitty paksulla suorituksessa olevat palkit, esimerkiksi IED-laitteen palvelinohjelmisto on koko ajan suorituksessa.

Tietokannasta luettujen tietojen jälkeen ohjelma muodostaa yhteyden IED-laitteelle tekemällä instanssin `IedConnection` struktuurista funktiolla `IedConnection_create()`. Tämän jälkeen struktuuri annetaan `IedConnection_connect()` funktiolle, joka avaa yhteyden IED-laitteelle ja palaa vasta kun vastaus saapuu. Tässä vaiheessa libIEC61850-kirjasto käynnistää erillisen natiivisäikeen yhteyden viestien vastaanottoon. Tämä tapahtuu kirjaston lähdekoodissa src/mms/iso_client/iso_client_connection.c funktiossa `IsoClientConn` riveillä 429–434 [23]. Tätä säiettä kirjasto käyttää tulevien viestien vastaanottoon ja lähettämiseen. Yhteyden avauksen jälkeen jokainen RCB-instanssi tilataan lukemalla ensin sen arvot IED-laitteelta funktiolla `IedConnection_getRCBValues()`. Funktiokutsu nukkuu ja palaa vasta kunnes erillinen säie ilmoittaa että vastaus on saapunut, tai yhteyden aika ylittyy. Kirjaston funktio, joka tämän hoitaa on `sendRequestAndWaitForResponse()` ja se on määritetty src/mms/iso_mms/client/mms_client_connection.c riveillä 345–418

[2] https://github.com/ffi/ffi



Kuva 15. *Sekvenssikaavio kaikkien RCB-instanssien tilaukseen ja niiden viestien tallentamiseen yhdeltä IED-laitteelta Ruby-ohjelmalla.*

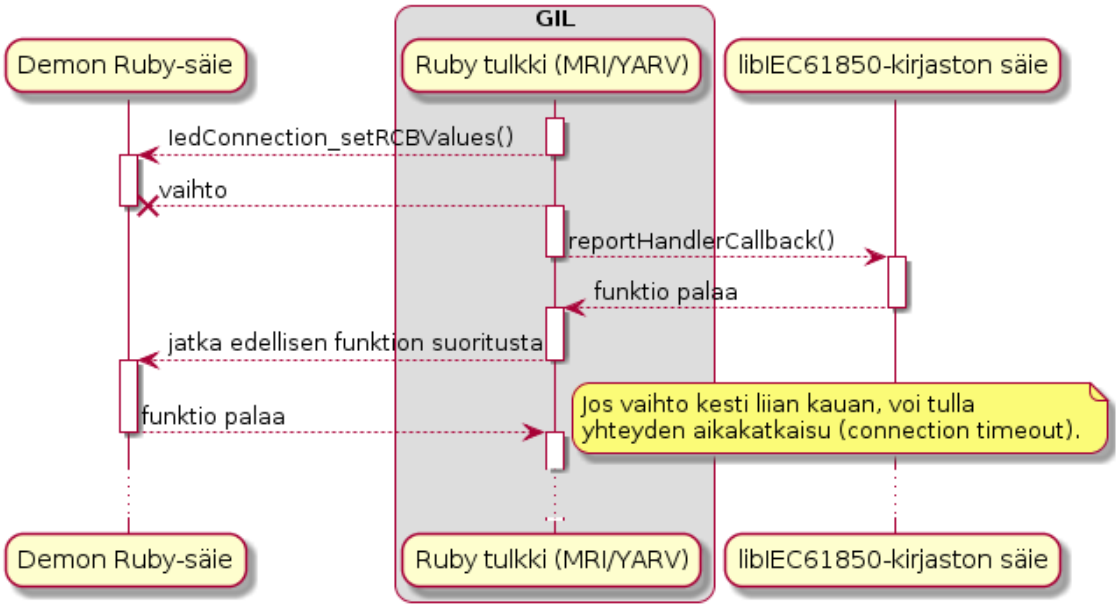
[23]. RCB-arvot luettuaan, kirjasto palauttaa struktuurin `ClientReportControlBlock`, joka sisältää luetut tiedot RCB-instanssista. Samaa struktuuria käytetään arvojen muuttamiseen ja niiden takaisin kirjoittamiseen IED-laitteelle. Ennen muunneltujen RCB-arvojen takaisin kirjoittamista ja viestien tilaamist, täytyy kirjastolle asettaa takaisinkutsufunktio

jota kirjastoo kutsuu aina kun tilattu viesti saapuu IED-laitteelta. Takaisinkutsufunktioksi asetetaan `IedConnection_installReportHandler()` joka ottaa parametrikseen funktiopointterin ja vaihtoehtoisen parametripointterin. Asetuksen ajaksi kirjasto lukitsee `reportHandlerMutex`:in. Jos lukituksen aikana saapuu viesti, joutuu erillinen säie nukkumaan ja odottamaan lukituksen vapautusta (kohdat 33–36). Tämän jälkeen arvot kirjoitetaan takaisin IED-laitteelle funktiolla `IedConnection_setRCBValues()`. Tämä funktio palaa vasta kun IED vastaa tai yhteyden aika ylittyy. Heti arvojen kirjoitusten jälkeen IED aloittaa lähettämään viestejä tilaajalle. Eli samalla kun muita RCB-instansseja tilataan, tilatut RCB-instanssit lähettävät jo viestejä ja aiheuttavat takaisinkutsufunktion suorittamisen. Kun kaikki RCB-instanssit on tilattu, ohjelma jää viimeiseen silmukkaan odottamaan ja prosessoimaan viestejä. Kun viesti saapuu, säie kutsuu ensin sisäisesti `mmsIsoCallback()` funktiota, joka kutsuu muita kirjaston sisäisiä funktioita ja lopuksi asetettua takaisinkutsufunktiota. Takaisinkutsufunktio on liitetty Ruby funktioon ja funktio tallentaa raportin tiedot tietokantaan. Ruby-funktion suorituksen ajaksi kirjasto lukitsee `reportHandlerMutex`:in, ja vapautetaan kunnes Ruby-funktion suoritus palaa. Tätä jatkuu niin kauan kun ohjelmalle lähetetään jokin signaali joka lopettaa sen suorituksen. [16, 31]

Demossa isoimpana ongelmana oli sen huono suorituskyky ja toiminnan epävarmuus RCB-instanssien määrän ollessa enemmän kuin muutama. RCB-instanssien määrän ollessa liian suuri ohjelma saattoi epäonnistui joidenkin tilaamisessa, koska yhteys aikakatkaistiin arvojen kirjoituksessa tai luvussa. Lisäksi ongelmaksi muodostui usean RCB instanssin tilaamisen kulunut aika. Yhteensä aikaa saattoi kulua 30 sekuntia kaikkien instanssien tilaamiseen.

Huonoon suorituskykyyn oli syynä muutama asiaa. Yksi niistä oli Ruby-kielen huonompi suorituskyky verrattuna natiivisti käännettyyn C-kieleen. Ruby on tulkattava kieli kuten esimerkiksi Python, joka tulkataan rivi kerrallaan ja suoritetaan. Lähdekoodia ei käännetä kokonaan ensin konekäskyiksi erillisellä kääntäjällä, kuten C-kielessä. Valmiiksi käännetty lähdekoodi tarvitsee vain ajaa, kun taas tulkattavassa kielessä rivi täytyy ensin tulkata ja sitten ajaa. Rubyssa käytettiin sen oletustulkkia MRI/YARV (engl. Matz's Ruby Interpreter, lyhennetään MRI tai Yet another Ruby VM, lyhennetään YARV). Ruby versiosta 1.9 eteenpäin käyttää YARV tulkkia. Toinen syy oli Ruby-kielen oletustulkissa oleva globaali tulkkilukitus (engl. global interpreter lock, lyhennetään GIL, tai global virtual machine lock, lyhennetään GVL). GIL pakottaa Ruby-ohjelman ajoon vain yhdellä CPU:lla ja vain yksi säie vuorossa kerrallaan ja on riippumaton käyttöjärjestelmän kernelin vuorottajasta [22, s. 131–133]. Kuvassa 16 on esitetty kuinka Ruby-tulkki vuorottaa kahta ajossa olevaa säiettä. Kuvassa Demon Ruby koodi kutsuu `IedConnection_setRCBValues()` funktiota, ajo jää kesken ja tapahtuu vaihto, koska viesti saapui. Takaisinkutsufunktio suoritetaan ja suoritus palaa takaisin aikaisempaan funktion suoritukseen. Tässä vaiheessa jos vaihto on huonolla hetkellä vaihto kesti liian kauan, tulee yhteyden aikakatkaisu ja RCB-instanssi jää tilaamatta. Huonoon suorituskykyyn mahdollisesti vaikutti myös lukitus `reportHandlerMutex` jota kirjastossa käytetään kun takaisinkutsufunktio asete-

taan ja takaisinkutsufunktio suoritetaan. Lukitus aiheuttaa säikeen nukkumisen niin kauan kun lukitus vapautuu. Tässä tapauksessa jos viestin prosessointi kestää kauan (kuvassa 15 kohdat 33–36) ja vielä muita RCB-instansseja tilataan silmukassa (kohdat 12–26). Säie joutuu odottamaan lukituksen vapautusta kun takaisinkutsufunktioita asetetaan (kohdat 19–20). Ratkaisuna tähän olisi pitää takaisinkutsufunktio mahdollisimman lyhyenä suoritusajan suhteen.



Kuva 16. *Ruby-tulkin globaalin lukituksen toiminta, joka vuorottaa ajossa olevia säikeitä.*

Tämän lisäksi demototeutuksessa oli muistivuoto. Muistivuoto on tilanne missä ohjelma varaa kokoajan lisää muistia ja ei vapauta sitä takaisin käyttöjärjestelmälle uudelleen käyttöön. Muistivuoto johtui todennäköisesti jostakin ohjelmointivirheestä ruby-ffi -kirjaston liitoksen kanssa. Kun liitos Rubysta tehdään C-kieleen, täytyy ohjelmoidan miettiä roskien keruuta tarkasti. Tätä ei normaalisti tarvitse miettiä Rubyssä, koska tulkki implementoi automaattisen roskien keruun. Muistivuoto havaittiin kun ohjelma jätettiin suoritukseen pitemmäksi aikaa ja ohjelma oli varannut melkein kaiken käyttöjärjestelmän muistista itselleen. Lisäki jos ohjelmaa ajaa ja tarkkailee Linuxin htop-ohjelmalla, voi MEM%-sarakkeesta huomata prosentuaalisen osuuden kasvavan koko käyttöjärjestelmän muistista. Tulevaisuutta ajatellen lopullinen tiedon tallennuspaikka ei ole muiden tietoa tarvitsevien ohjelmien kannalta järkevä. Näiden ohjelmien pitäisi koko ajan olla kyselemässä uusinta tietoa tietokannasta erikseen. Tämä kuormittaisi turhaan tietokantaa ja varsinkin jos tietoa tarvitsevia ohjelmia on useita.

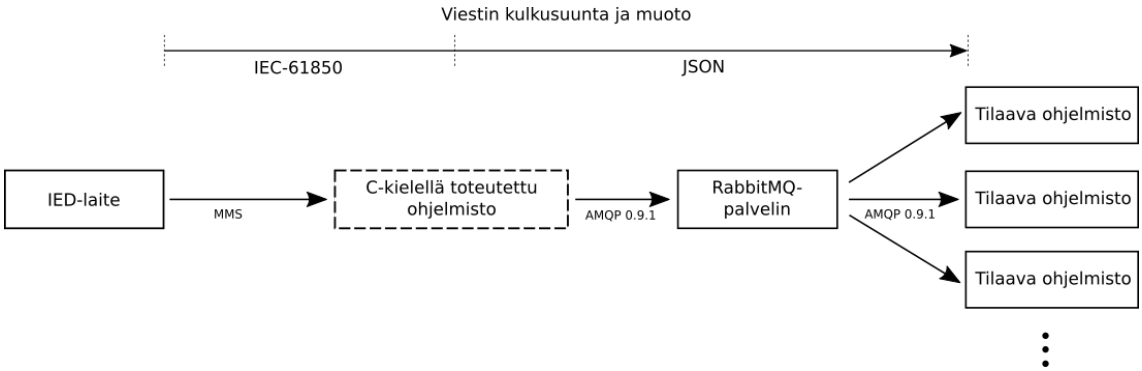
4. SUUNNITTELU

Pitäisikö tähän kirjoittaa ohjelman ajosta ja siihen liittää sekvenssikaavio perustoimminnasta? Kirjoita jos tuntuu että tarvetta.

Tässä osuudessa käydään toteutetun ohjelman suunnittelu läpi ja kerrotaan miten ja miksi ratkaisuihin päädyttiin. Kappaleissa vertaillaan eri vaihtoehtoja ja peilataan demoversion ongelmia ja niiden perusteella yritetään löytää toimiva ratkaisu ongelmaan. Ensin suunnitellusta ohjelmasta annetaan kattava kokonaiskuva lukijalle ja tämän jälkeen tulevissa kappaleissa mennään jokaisen kohdan yksityiskohtiin tarkemmin.

4.1 Kokonaiskuva

Aikaisemmin kappaleessa 3.1 kuvassa 13 esiteltiin demoversion arkkitehtuuri ja sen toiminta. Kuinka viestit IED-laitteelta kulkee ohjelman läpi ja tallennetaan tietokantaan. Tietokannasta muut ohjelmat lukevat tietoa kyselemällä sitä erikseen. Suunnittelun jälkeen demoversion järjestelmästä päädyttiin kuvassa 17 olevaan järjestelmän arkkitehtuuriin. Kuvassa katkoviivalla on merkitty tässä kappaleessa suunniteltu ohjelmisto. Ja kuvan yläreunassa oleva viiva kuvaa viestin kulkua järjestelmän eri osapuolten läpi ja missä muodossa viesti on missäkin kohtaa.



Kuva 17. *Suunnitellun järjestelmän toiminta ja viestin kulkeminen ja muoto eri osapuolten välillä.*

Suunnitellussa arkkitehtuurissa C-kielellä toteutettu ohjelma on komentorivipohjainen ja ei käyttänyt tietokantaa. Kaikki ohjelman ajoon annettavat parametrit annetaan komentoriviparametreille ennen ohjelman käynnistämistä. Demoversio luki tiedot tietokannasta. C-ohjelma voi tilata yhdellä IED-laitteella olevia RCB-instansseja. Tilattuaan RCB-instanssit, ohjelma odottaa viestejä IED-laitteelta IEC 61850 -standardin määrittämässä muodossa. Kun viesti saapuu, ohjelma prosessoi sen ja julkaisee AMPQ-standardin pohjaiselle jonopalvelimelle JSON-muodossa (engl. JavaScrip Object Notation). Lopullises-

sa toteutuksessa jonopalvelimena käytettiin RabbitMQ-nimistä ohjelmistoa, joka pohjautuu AMPQ-standrdin versioon 0.9.1. Jonopalvelimelta muut tilaavat ohjelmat voivat tilata viestejä, ja viestin saapuessa palvelin ilmoittaa siitä asiakkaalle. Toteutettu C-ohjelmisto käytti edelleen demoversiosta tuttua libiec61850-kirjastoa hoitamaan matalan tason IEC 61850 -standardin määrittämän funktionaalisuuden.

4.2 Järjestelmän hajautus ja arkkitehtuuri

Järjestelmän hajauttaminen oli vaatimus uudelle arkkitehtuurille, joka täytyisi ottaa huomioon. Hajautuksella tarkoitetaan että viesteistä kiinnostuneet ohjelmat, pystyisivät niitä tilaamaan ja ottamaan vastaan helposti. Ongelmia ei saisi tulla jos asiakasohjelmia olisi tulevaisuudessa enemmänkin. Demossa erilliset ohjelmat joutuivat lukemaan viestejä jatkuvasti tietokannasta, ilman tietoa siitä milloin uusi viesti olisi saapunut. Tällainen ratkaisu ei tulisi toimimaan pitemmän päälle ja tilanne olisi pahentunut jos tietoa tarvitsevia ohjelmia olisi enemmänkin tulevaisuudessa. Lisäksi tässä toteutuksessa tietokanta on jatkuvan turhan lukemisen ja kuormituksen kohteena. Tilanteeseen tarvittaisiin ratkaisu, jossa tilaava ohjelma voisi tilata viestin ja saada ilmoituksen kun tieto on saatavilla (tilaaja-julkaisija -arkkitehtuuri).

Ratkaisuna olisi voinut ajatella että tietoa tarvitsevat ohjelmat, olisi voineet suoraan tilata viestit IED-laitteelta. Näin kaikki ohjelmat saisivat saman viestin. Kuitenkin tässä esteenä on, että IEC 61850 -standardin määrityksen mukaan yksi RCB-instanssi voi olla vain tilattuna yhdellä asiakkaalle kerrallaan, niinkuin teorian kappaleessa 2.1.6 käsiteltiin. Ja IED-laitteiden RCB-instanssit ovat rajalliset ja päätetty laitteen konfiguroinnin yhteydessä. Lisäksi IED-laitteet pystyvät rajoittamaan päällä olevien yhteyksien määrää johonkin lukuun. Tavoitteena siis olisi minimoida avoimet yhteydet IED-laitteelle, ja samalla tarjota sama viesti mahdollisimman monelle siitä kiinnostuneelle ohjelmalle. Näistä vaatimuksista päästään ratkaisuun, missä yksi ohjelma tilaa kaikki halutut RCB-instanssit yhdeltä IED-laitteelta. Odottaa viestejä ja lähettää ne edelleen muille niitä tarvitseville ohjelmille. Viestejä tarvitsevien ohjelmien määrä voi vaihdella tarpeen mukaan. Tästä päästään vaatimukseen, että IED-laitteelta viestejä tilaavan ohjelmiston ei tarvitsisi tietää muista tilaavista ohjelmista mitään. Ohjelman pitäisi pystyisi julkaisemaan viestit eteenpäin, välittämättä siitä kuka viestejä vastaanottaa.

Ratkaisuna yllä mainittuihin vaatimuksiin oli sijoittaa IED-laitteen ja muiden tilaavien ohjelmien väliin väliohjelmisto, kuten kuvassa 17 on C-ohjelma sijoitettu. Näin pystyttiin minimoimaan yhteyksien määrä IED-laitteelle yhteen. Lisäksi sijoittamalla C-ohjelman ja muiden tilaavien ohjelmien väliin jonopalvelin, saadaan aikaan joustavuus mitä haluttiin. C-ohjelman ei tarvitse välittää siitä kuka viestejä vastaanottaa ja jonopalvelimen avulla yhden julkaisijan voi tilata monta erillistä tilaaja. Jonopalvelimen avulla jokainen tilaaja saa saman alkuperäisen viestin, mutta kopiona. Koska standardi ei määrittänyt muita viestien tilaamisen mahdollisuuksia, tämä suunnitelma arkkitehtuurista täytti kaikki sille asetetut vaatimukset.

Demoversiossa ohjelma luki IED-laitteen tiedot kuten IP-osoitteen ja RCB-instanssien referenssit tietokannasta ja tallensi saapuneet viestit tietokantaan. Nyt kun viestit julkaistiin erilliselle jonopalvelimelle, niin tietokantaa ei siihen enää tarvinnut. C-ohjelman tarkoitus oli vain olla väliohjelma viestien välittämiseen eteenpäin, joten siihen ei tarvittu käyttöliitymää. Ohjelmasta päätettiin tehdä komentorivipohjainen toteutus, jolle kaikki tiedot voitaisiin syöttää komentorivillä parametereillä käynnistyksen yhteydessä. Tällä suunnitelmalla toteutus ei tarvitsisi tietokantaa, joten se voitiin jättää pois suunnitelmasta.

4.3 Suorituskyky ja kielen valinta

Demoversio oli ohjelmoitu Ruby-kielellä ja siinä oli paikoin suoritukseen liittyviä ongelmia ja epävarmuutta, etenkin viestien ja RCB-instassien määrän ollessa suurempi. Syitä ja ongelmia käytiin läpi kappaleessa 3.2. Oli selvää että ohjelman suorituskykyä täytyi saada parannettua ja siinä olevat ongelmat korjattua (esimerkiksi muistivuoto). Ennen koko ohjelman uudelleenkirjoitusta, Ruby-ohjelmaa kokeiltiin saada toimimaan JRuby[1] nimisellä Ruby-tulkilla. Tavoitteena saada demoversion toteutus toimimaan ilman GIL:iä ja säikeet suoritukseen rinnakkain. JRuby on Ruby-koodin tulkki, joka suorittaa Ruby-lähdekoodia Java virtuaalikoneen (engl. Java Virtual Machine, lyhennetään JVM) päällä. JRuby mahdollistaa säikeiden suorituksen rinnakkain JVM:n omilla säikeillä ja näin ollen suorituksen pitäisi olla nopeampaa [32]. Jos tämä lähtökohta olisi toiminut, olisi edelleen järjestelmän arkkitehtuuria pitänyt muuttaa samaan suuntaan, kuin kappaleessa 4.2 kuvattiin. Tämän lisäksi demossa oleva muistivuoto olisi pitänyt korjata. JRuby ei kuitenkaan toiminut ja nopean yrityksen jälkeen päätettiin vain palata suunnitelmaan kirjoittaa koko ohjelma uudestaan. Syynä tähän oli että demoversio oltiin tehty osaksi isompaa Rails projektia, joka toimi Rubyn oletustulkin päällä. Ja JRuby ei tukenut kaikkia projektin kirjastoja mitä se käytti. Rubyssä kirjastoja kutsutaan jalokiviksi (engl. gem). Seurauksena olisi ollut saman projektin ylläpitäminen kahdelle eri tulkille tai asennettavien pakettien erottaminen. Kuitenkaan yrittämisen jälkeen tätäkään ei saatu toimimaan. Lisäksi täytyi ottaa huomioon implementaatioon käytetty aika ja useat mahdolliset viat jotka olisi täytynyt korjata.

Kysymksenä tämän aikana tuli ajan käyttö ja fakta että demosta olisi pitänyt korjata ja paikata monta asiaa. Päätyttiin toteuttamaan koko ohjelmisto uudestaan kielellä jossa ei olisi suorituskykyongelmia. Samalla uudessa toteutuksessa ohjelma voitiin toteuttaa tekemään asetetut tavoitteet ja demoversion ongelmia ei tarvitsisi korjata.

Uuden toteutuksen kieleksi valittiin C-kieli. Isona syynä kielen valintaan oli tekijän iso mieltymys matalan tason ohjelmointiin ja C-kieleen. Lisäksi C-kieli käännetään alustalle suoraan konekäskyiksi, joiden suoritus on nopeampaa kuin tulkattavan kielen, kuten Ruby ja Python. Kielen valinnan yhteydessä kuitenkin oli hyvä varmistaa kaikkien suunniteltujen liitosten mahdollisuus. C-kielelle löytyi kirjastoja RabbitMQ-jonopalvelimen käyt-

[1] http://jruby.org/

tämiseen ja lisäksi JSON rakenteen muodostamiseen. Hyötynä vielä C-kielen valinnasta oli, että demossa käytettyä libIEC61840 kirjastoa pystyi käyttämään suoraan ilman erillistä liitosta, koska kirjasto oli myös tehty C-kielellä. Tarkemmin käytettyihin kirjastoihin ja toteutukseen pureudutaan kappaleessa 5.

4.4 Prosessoidun viestin muoto ja rakenne

Saapuva viesti esitettiin libIEC61850-kirjastossa ClientReport struktuurin instanssina. Struktuuri sisältää viestin datan ja sen voi lukea käyttämällä kirjaston tarjoamia funktioita [18]. Saapunut viesti haluttiin jakaa jonopalvelimen läpi muille osapuolille, joten viestin täytyi olla helposti luettavassa muodossa muille ohjelmille. Viesti päädyttiin muuttamaan helposti ymmärrettäväksi JSON-rakenteeksi. JSON-rakenteen voi helposti ihminen lukea ja se on nykypäivänä paljon käytetty tiedonsiirtomuoto erilaisissa web-palveluissa ja rajapinnoissa. Myöskin JSON-rakenteiden lukemiseen on monelle eri kielellä olemassa valmiita kirjastoja sen monikäyttöisyyden takia [25].

Liitteessä A on esitetty prosessoidun JSON-rakenteen muoto johon tässä työssä päädyttiin ja toteutettu C-ohjelma lopulta julkaisi RabbitMQ-jonopalvelimelle. Standardin määrittämää viestin rakennetta ja sisältöä käytiin läpi kappaleessa 2.1.8. JSON:in rakenne noudattaa pääasissa standardin määrittämää viestin rakennetta, mutta joitakin asioita on tehty toisin. Lisäksi C-ohjelma myös lisäsi viestiin lisää tietoa attribuuteista selkeyden takia (kuten viitteen, tyypin ja koon). Kuinka tämä toteutettiin käsitellään tarkemmin kappaleessa 5.

Standardin viestin kenttien määrää pystyi säätämään RCB-instanssin OptFlds-attribuutilla. JSON:iin kuitenkin haluttiin lisätä kaikki mahdolliset kentät selkeyden vuoksi. Joten jos kenttä viestistä puuttui, asetettiin sen arvoksi JSON:issa null. Esimerkiksi liitteessä A kentän confRevision arvo on null. Eli tällöin RCB-instanssissa OptFlds-attribuutin confrevision on ollut epätosi. Sama käytäntö toistettiin kaikille muillekin vaihtoehtoisille kentille. Tällä periaatteella viestin OptFlds-kenttä voitiin jättää pois JSON:ista. JSON:iin päädyttin lisäämään FCD- ja FCDA-viitteiden alla viitatut oikeat attribuutien viitteet, tyyppit ja koot arvojen lisäksi. Tämä toteutettiin selkeyden takia ja näin voidaan päätellä mitkä arvot oikeasti kuuluvat viestiin ja mitkä ovat niiden viitteet. Standardissa viesti sisälsi vain datajoukon FCD- tai FCDA-viitteen ja taulukon arvoja mihin sen alla viitattiin. Liitteessä A oleva JSON-rakenne koostuu kahdesta sisäkkäisestä values-attribuutista (rivit 7 ja 13). Rivillä 7 oleva values-taulukko sisältää viestissä olevat datajoukon FCD- tai FCDA-viitteet ja niihin liittyvät kentät. Samalla periaattelle kuin standardin määrittämässä viestin rakenteessa kuvassa 6 olevat taulukon arvot 1–n:ään. Eli viestin Reason Code on laitettu reasonForInclusion attribuuttiin. Viestin DataRef-kenttä on pilkottu kolmeen eri kenttään mmsReference, reference ja functionalConstraint. Viestien viitteet tulevat MMS-protokollamäärityksen muodossa eli pisteet (.) on korvattu dollarilla ($) ja viite sisältää funktionaalisen rajoitteen. Nyt mmsReference sisältää viestin alkuperäisen MMS-viitteen, reference sisältää standardin abstraktin viitteen ja functionalConstraint sisältää

funktionaalisen rajoitteen. Nämä on erotettu selkeyden takia, koska mahdollisesti jotkin asiakasohjelmat saattavat tarvita standardin käyttämää abstraktia viitettä. Näin asiakasohjelma välttää teksimuunnokset. JSON:in sisempi values-attribuutti (liitteessä A ensimmäinen rivillä 13) sisältää taulukon itse viestin arvoista. C-ohjelma lisää niihin oikeat viitteet, tyypin ja koon. Poikkeuksena boolean ja utc-time tyypit, jolla ei ole kokoa ollenkaan. Koko kertoo monellako bitillä kyseinen attribuutti esitetään ja se voi vaihdella saman tyypin välillä (esimerkiksi bit-string). Myöskin bit-string tyypille päädyttiin lisäämään kaksi eri arvoa valueLittleEndian ja valueBigEndian. Tämä sen takia, koska tavujärjestys ei ole vältämättä tiedossa missä järjestyksessä bitit muuttujassa ovat päätettiin tarjota kummatkin vaihtoehdot asiakkaalle. Ajat päätettiin antaa suoraan siinä formaatissa, missä ne tulevat viestissä. Eli viestin päätason aikaleima on millisekunteja UNIX-ajanlaskun alusta 1. tammikuuta 1970 klo 00:00:00 UTC tähän hetkeen. Attribuuteissa tyypiltään utc-time, luku on sekunteja samasta UNIX-ajanlaskusta tähän hetkeen [10, s. 26–27].

5. TOTEUTUS

Tässä osiossa käydään läpi kappaleessa 4 suuniteltun ohjelman toteuttaminen. Toteutus alkaa yleiskuvalla sen komponenteista ja niiden toiminnasta. Yleiskuvan jälkeen pureudutaan ohjelman yksityiskohtiin kuten kirjastoihin ja niiden toimintaan. Lopuksi mietitään jatkokehitysideoita mitä olisi voinut lisätä, tehdä toisin ja mahdollisia puutteita.

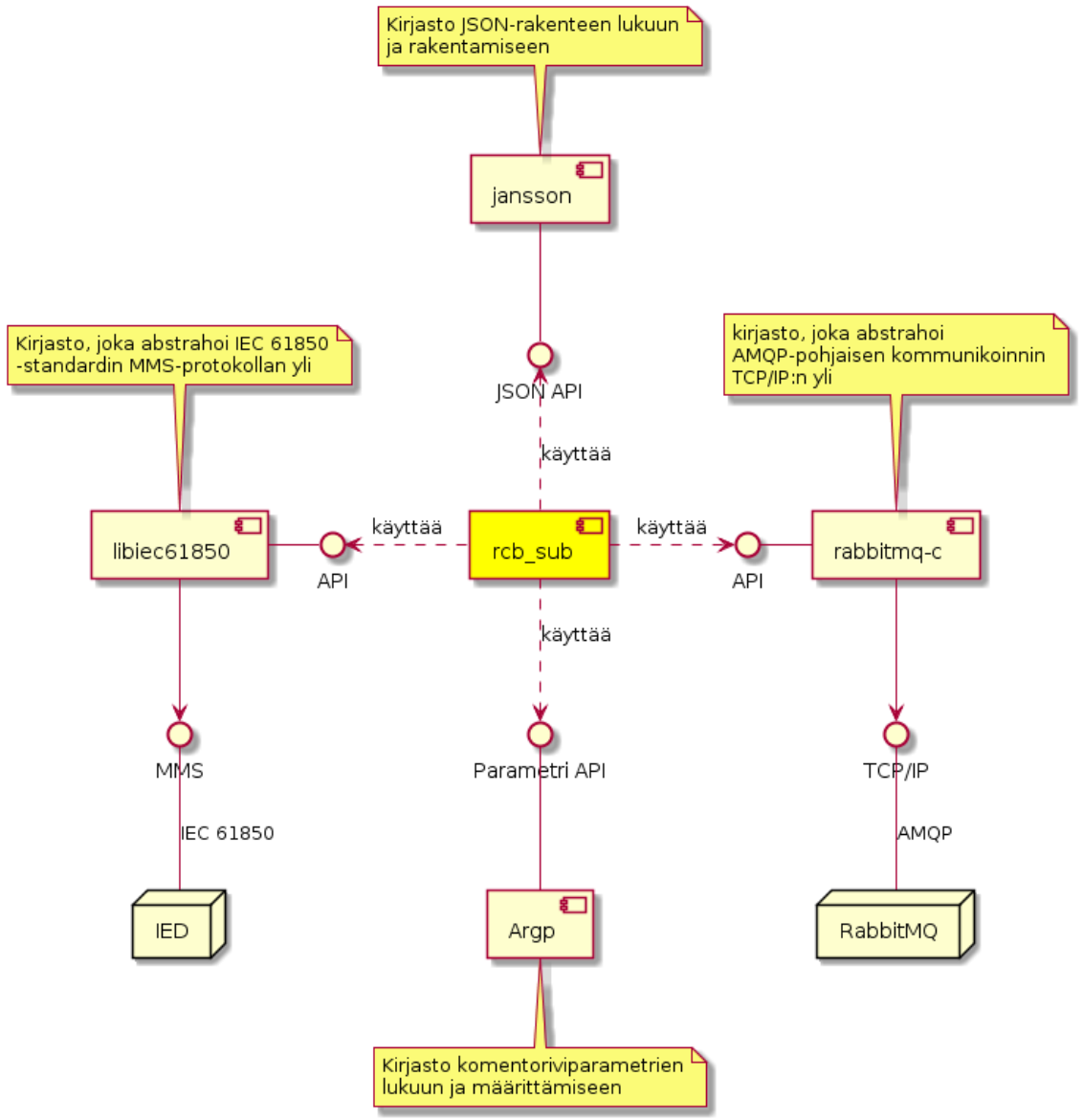
5.1 Yleiskuva

Työssä toteutetiin komentorivipohjainen ohjelma C-kielellä. Ohjelman tarkoitus oli tilata IED-laitteen viestit ja prosessoida ne JSON-muotoon RabbitMQ-palvelimelle. RabbitMQ:lta muut ohjelmat pystyivät tilaamaan JSON-viestejä. Kuvassa 18 on esitetty komponenttikaavio toteutetusta ohjelmasta ja siihen käytetyistä kirjastoista. Toteutettu komponentti on kuvassa keskellä keltaisella ja nimelään rcb_sub. Kuvasta voi nähdä miten eri komponentit ovat relaatiossa keskenään rcb_sub-ohjelman kanssa. Kuvassa on myös esitetty IED-laite ja RabbitMQ-palvelin.

Toteutuksessa käytettiin seuraavia kirjastoja:

- libiec61850,
- rabbitmq-c,
- jansson, ja
- Argp.

Kaikki käytetyt kirjastot on toteutettu C-kielellä, kuten rcb_sub. Kirjastojen tarkoitus on abstrahoida jonkin asian käyttö ja tarjota käyttäjälle siitä helppokäyttöinen ja ymmärrettävä rajapinta. Rajapintaa käyttämällä kirjasto hoitaa matalan tason toiminnan ilman että kirjaston käyttäjän tarvitsee siitä välittää. Kirjasto libiec61850 abstrahoi IEC 61850 -standardin käyttöä ja hoitaa matalan tason MMS-protokollan kommunikoinnin [23]. Samaa kirjastoa käytettiin ensimmäisessä demoversiossa (kappale 3.1) ja kirjaston kerrosarkkitehtuuri oli esitetty kuvassa 14. Kuvassa 18 libiec61850 kommunikoi suoraan IED-laitteen kanssa MMS-protokollan yli. Kirjasto rabbitmq-c abstrahoi RabbitMQ-palvelimen käyttöä ja hoitaa matalan tason AMQP-pohjaisen kommunikoinnin [26]. Toteutuksessa rabbitmq-c kommunikoi suoraan RabbitMQ-palvelimen kanssa. Kirjasto jansson abstrahoi JSON-rakenteiden lukua ja käsittelyä C-kielelle [5]. Kirjastoa käytettiin rakentamaan IED-laitteelta tulleesta viestistä JSON-muotoinen viesti. JSON-rakenne on nähtävissä liitteessä A. Kirjasto Argp auttaa ohjelman komentoriviparametrien määrittämisessä ja käsittelyssä [24]. Kirjasto auttaa toteuttamaan ohjelmalle UNIX-tyyliset parametrit. Eli vaaditut parametrit ja vaihtoehtoiset lyhyet ja pitkä parametrit. Vaadituista parametreista esimerkiksi Linux:in komento `mv foo.txt bar.txt`, jossa foo.txt



Kuva 18. *Toteutuksen komponenttikaavio sen osista ja relaatioista toisiinsa.*

ja bar.txt ovat vaadittuja parametreja. Vaihtoehtoisista parametreista esimerkkinä pitkä muoto `--bytes` ja lyhyt muoto `-b`. Lisäksi kirjasto lisää ohjelmaan automaattisesti Linux:ista käyttäjille tutut `--help` ja `--version` vaihtoehtoiset parametrit. Kommennolla `--help` kirjasto tulostaa Linux:ilta tutun ohjelman aputeksin käyttäjälle, jossa on esitettu ohjelman kaikki parametrit ja niiden selitteet [3].

Kuvassa 19 on esitetty rcb_sub-ohjelman sekvenssikaavio pääpiirteisestä toiminnasta. Toteutus noudattaa suurinpiirtein samoja periaatteita kuin demototeutus (kuva 15). Tässä käydään läpi ohjelman pääpiirteinen toiminta ja sitä käydään tarkemmin läpi kappaleessa 5.2. Ensin ohjelman toiminta alkaa lukemalla ja annetut parametrit Argp-kirjastolla. Parametreissa tulee tiedot yhteyden muodostamiseen IED-laitteelle ja RabbitMQ-palvelimelle. Parametreissa on myös tiedot RCB-instansseista jotka halutaan IED:ltä tilata. Yhteyksien muodostamisen jälkeen jokainen parametrina annettu RCB käydään läpi silmukassa ja sen

arvot ja datajoukon viitteet luetaan IED:ltä. Tämän jälkeen sisäkkäisessä silmukassa luetaan datajoukon viitteiden muuttujien spesifikaatiot (kohdat 11–12). Spesifikaatio antaa tiedot muuttujien pituudesta ja tyypistä. Näitä tietoja käytetään JSON-rakenteessa (esimerkkinä liiteessä A rivit 21–22). Tämän jälkeen tehdään toinen silmukka jossa jokainen RCB-instanssi tilataan ja niille asetetaan takaisinkutsufunktio (kohdat 13–16). Arvojen kirjoitushetkellä (kohta 15) RCB varataan ja se aloittaa viestien lähettämisen rcb_sub-ohjelmalle. Jokaisen RCB:n kirjoituksen jälkeen ohjelma jää loputtomaan silmukkaan ja jää odottamaan viestejä vastaan. Viestin saapuessa asetettua takaisinkutsufunktiota kutsutaan ja jonka parametrina on saapunut viesti (kohta 17). Viesti muutetaan JSON-muotoon jansson-kirjastolla ja julkaistaan RabbitMQ-palvelimelle rabbitmq-c-kirjastolla (kohdat 17–22).

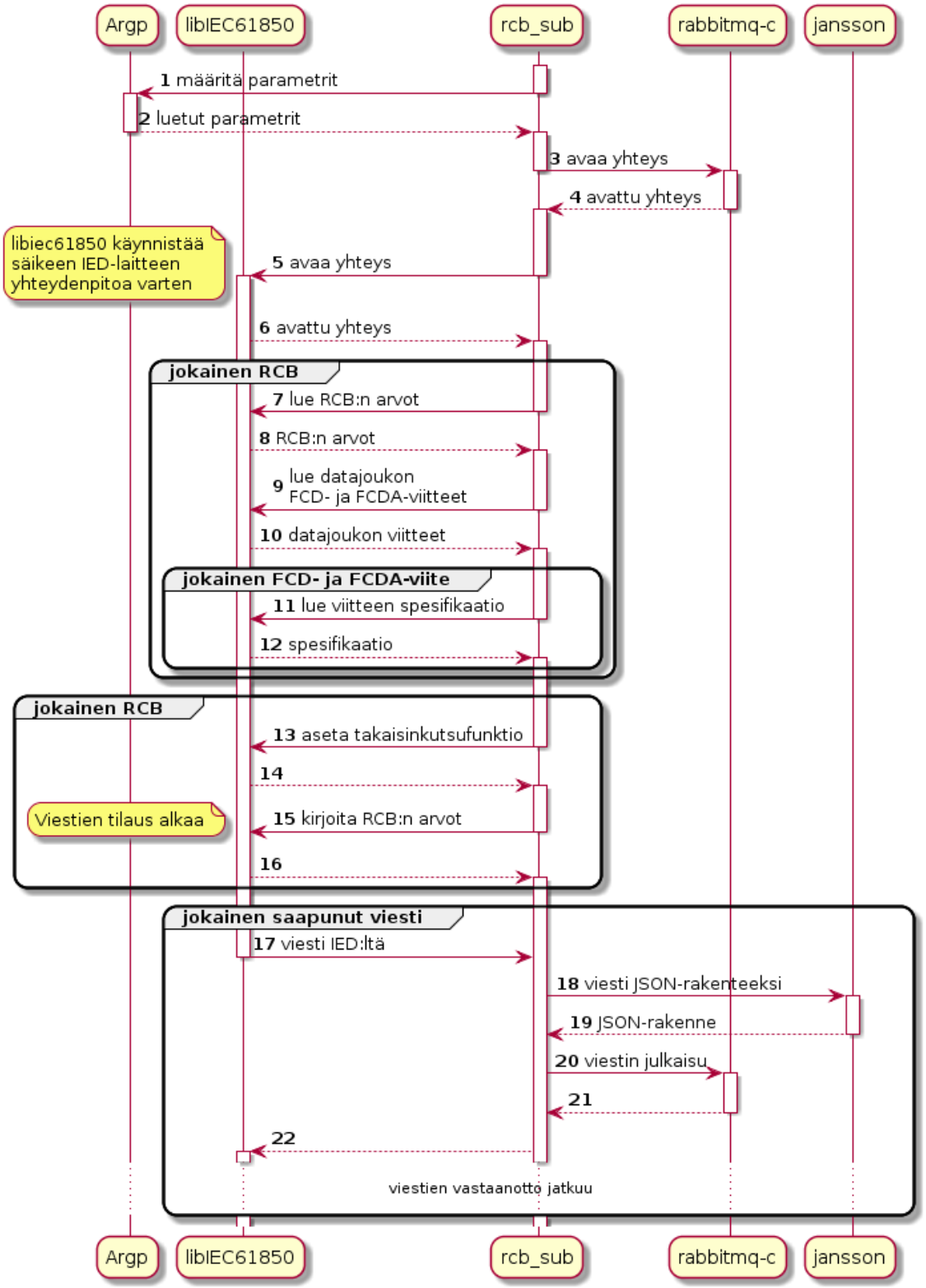
5.2 Ohjelman toiminta

Tulevissa kappaleissa käydään läpi yksityiskohtaisemmin rcb_sub-ohjelman toimintaa, joka esiteltiin pääpiirteittäin kappaleessa 5.1. Kappaleiden järjestys noudattaa kuvassa 19 olevan sekvenssikaavion järjestystä. Toisin sanoen ohjelmaa käydään läpi tarkemmin siinä järjestyksessä jossa sen suoritus tapahtuu.

5.2.1 Parametrisointi

Ohjelma parametrisoitiin Argp-kirjastolla. Kirjasto tarjoaa rajapinnan komentoriviparametrien käsittelyyn ja määrittämiseen. Parametrien muodot ovat tuttut muista Linux-käyttöjärjestelmän parametreista ja samaa periaatetta käytettiin tässäkin ohjelmassa. Kirjasto myös lisäsi ohjelmaan automaattisesti aputekstin käyttäjää varten. Aputeksti sisältää tietoa ohjelman parametreista ja niiden selitteistä. Aputekstin pystyi ohjelmsata tulostamaan parametrilla `--help`. Liitteessä B on esitetty miltä toteutetun ohjelman aputeksti näyttyy. Liitteestä voi myös nähdä kaikki ohjelman käytettävät parametrit ja lyhyen selityksen mihin ja kuinka sitä käytetään.

Ohjelmiston parametrit voidaan ajatella koostuvan kolmesta eri ryhmästä. Ensin päätason vaihtoehtoiset parametrit `OPTIONS`. Pakolliset parametrit `EXCHANGE` ja `ROUTING_KEY`. Viimeisenä n-kappaletta `RCB_REF` ja `RCB_OPTIONS` parametreja. Suurin osa `OPTION` parametreista on itsestäänselviä. Esimerkkinä `--amqp-host`, joka kertoo AMQP-palvelimen IP-osoitteen. Tai `--ied-host`, joka kertoo IED-laitteen IP-osoitteen johon yhdistetään. Parametrit `EXCHANGE` ja `ROUTING_KEY` määrittävät nimet RabbitMQ-palvelimen vaihteelle ja reititysavaimelle. `RCB_REF` määrittää viitteen tilattavaan RCB-instanssiin IED-laitteella. Tätä seuraava vaihtoehtoinen `RCB_OPTIONS` määrittää parametrit edeltävälle RCB-instanssille, millä instanssi konfiguroidaan ennen tilausta. RCB-instansin parametri `RCB_OPTIONS` määrittää käytetyt vaihtoehtoiset kentät (`--opt-fields`), käytetyt liipaisimet (`--trigger`) ja pyydetäänkö yleistä kyselyä ennen muita viestejä (`--gi`). Liipaisimet ja vaihtoehtoiset kentät asetetaan numeerisella arvolla, jotka löytyvät myös

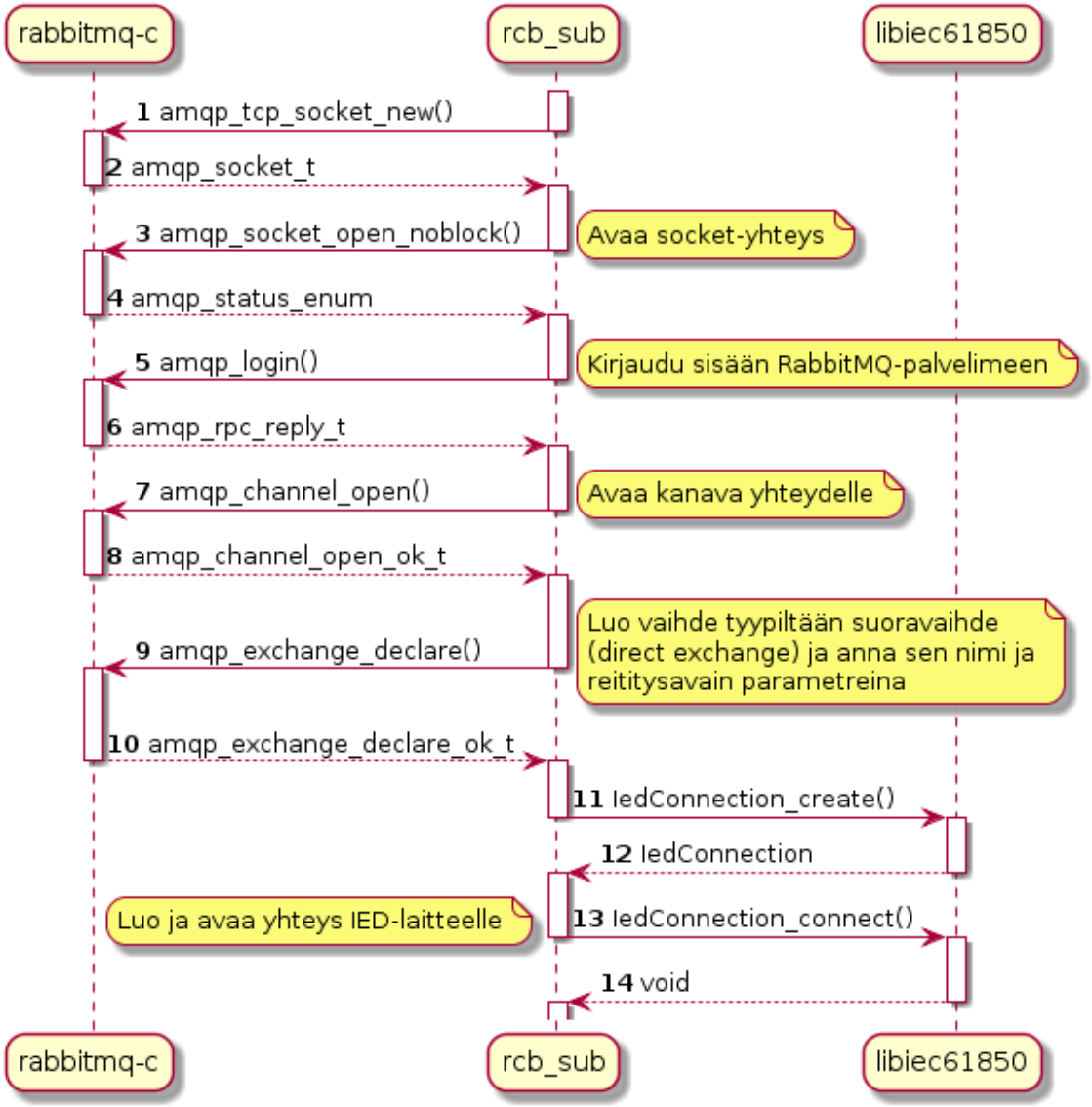


Kuva 19. *Sekvenssikaavio rcb_sub-ohjelman kokonaistoiminnasta.*

aputekstistä (liite B). Numeerisia arvoja voidaan summata yhteen asettamalla monta arvoa yhtä aikaa. Liipaisimien arvot vastaavat aikaisemmin kappaleessa 2.1.7 esitettyjä arvoja. Vaihtoehtoisten kenttien arvot vastaavat aikaisemmin taulukossa 7 esitettyjä arvoja.

5.2.2 Yhteyksien muodostus

Parametrien luvun jälkeen ohjelma muodosti yhteydet ensin RabbitMQ-palvelimelle ja sen jälkeen IED-laitteelle. Kuvassa 20 on esitetty sekvenssikaavio mitä kirjaston funktioita ohjelma kutsuu missäkin järjestyksessä. Funktiot ja niiden parametrit voi tarkemmin tarkistaa kirjaston omasta dokumentaatiosta. Tämä kattaa yleiskuvasta 19 kohdat 3–6. Vaikka kuvassa on esitetty että yhteydet avataan vain kerran. On ohjelma toteutettu niin, että niitä yritetään avata uudelleen jos yhteys katkeaa kesken suorituksen. Jos avaus ei onnistu, ohjelma kirjoittaa lokin tapahtuneesta ja odottaa hetken ennen uudelleen yritystä.



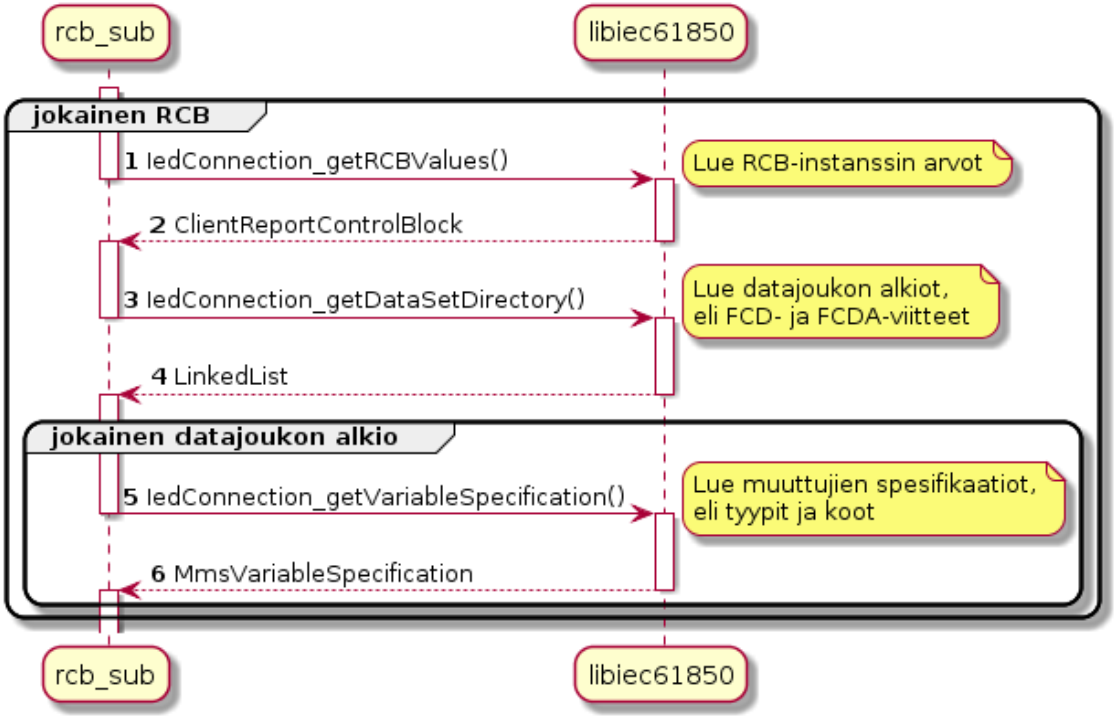
Kuva 20. *Sekvenssikaavio kuinka rcb_sub avaa yhteydet RabbitMQ-palvelimelle ja IED-laitteelle.*

Yhteyden avauksen ja sisäänkirjautumisen jälkeen ohjelma avaa kanavan kohdassa 7–8. Kanava on yhteyden päälle avattu oma erillinen kommunikointiväylä, joka ei sotkeudu muihin kanaviin. Yhteen avattuun yhteyteen voi olla avattuna monta eri kanavaa. Kanavat mahdollistavat monen eri säikeen jakaa sama yhteys, ilman että tieto voisi vuotaa toiseen

säikeeseen. Kohdassa 9 kutsutaan funktiota `amqp_exchange_declare()`. Funktio määrittää vaihteen tyyppiä suoravaihde RabbitMQ-palvelimelle. Suoravaihde käsiteltiin kappaleessa 2.2.3. Ohjelmaan ei toteutettu parametria vaihdetyypin määrittämiseen, koska katsottiin että suoravaihde on riittävä nykyisten vaatimusten täyttämisesksi. Tulevaisuudessa jos vaatimukset muuttuvat ja halutaan että käyttäjä voi valita käytettävän vaihdetyypin. Voidaan tämä toteuttaa lisäämällä ohjelmaan parametrit tätä varten.

5.2.3 IED:n attribuuttien määritysten luku

Yhteyksien muodostamisen jälkeen ohjelma käy läpi silmukassa jokaisen parametrina annetun RCB:n viitteen ja selvittää kaikkien parametrien specifikaatiot. Spesifikaatiotiedot sisältävät muuttujan tyypin ja sen koon. Kuvassa 21 on esitetty sekvenssikaavio kuinka rcb_sub tämän tekee libiec61850-kirjastolla. Kuva vastaa yleiskuvassa 19 kohtia 7–12.



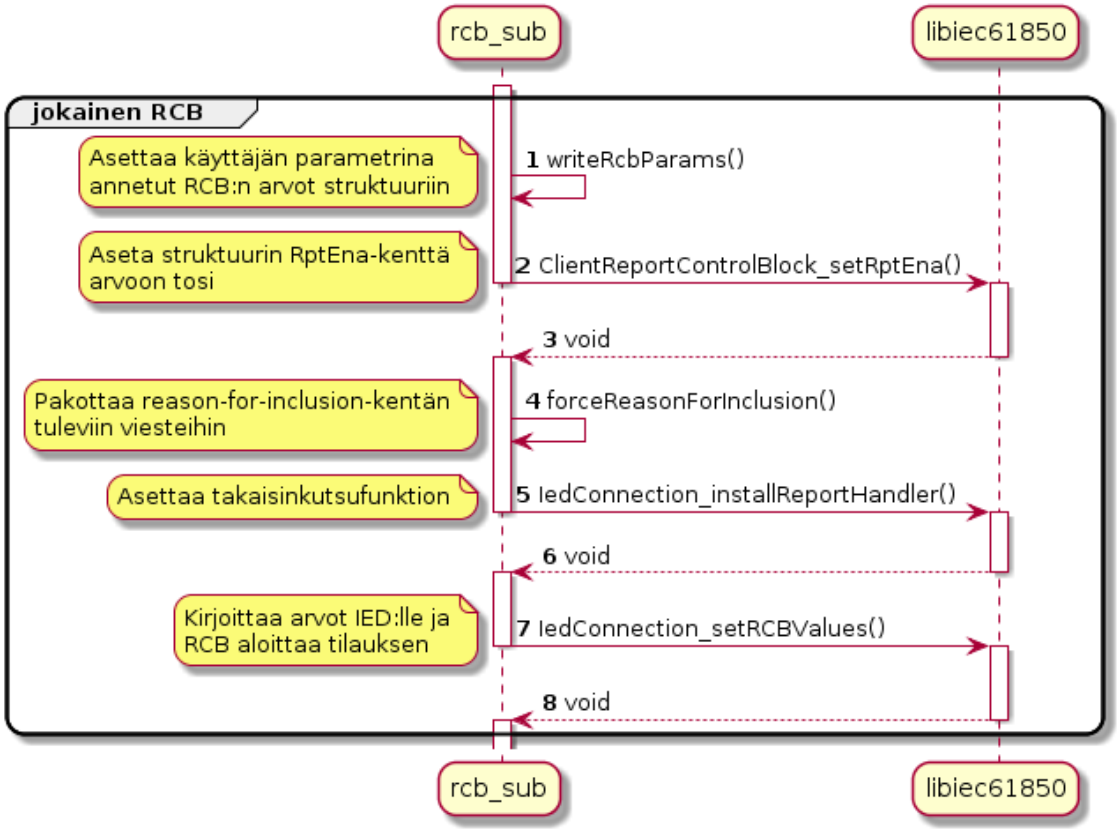
Kuva 21. *Sekvenssikaavio kuinka rcb_sub lukee RCB-instanssin arvot ja muuttujien spesifikaatiot.*

Ensin RCB:sta luetaan sen tiedot IED-laitteelta. RCB:ltä saadaa tieto mihin datajoukkoon se on liitetty. Tätä käsiteltiin kappaleessa 2.1.7 ja taulukossa 6 kenttä DatSet, joka kertoo käytetyn datajoukon viitteen. Tällä tiedolla ohjelma voi lukea datajoukon FCD- ja FCDA-viitteet. Tästä saadaan jokainen viite listassa, joka käydään läpi silmukassa kohdissa 5–6. Jokaiselle viitteelle luetaan sen spesifikaatio. Spesifikaatio rakenne sisältää sisäkkäisiä spesifikaatioita jos viite viittaa moneen muuttujaan IED-laitteen hierarkiassa. Tämä samalla periaatteella miten FCD- ja FCDA-viitteet viittaavaat moneen muuttujaan hierarkiassa alaspäin. Kuinka FCD- ja FCDA-viitteet toimivat käsiteltiin kappaleessa 2.1.5.

Jokainen luettu viite tallennetaan ja niitä käytetään myöhemmin viestin kanssa JSON-rakenteessa. Esimerkkinä liitteessä A riveillä 21–22 tyyppi ja koko -tiedot.

5.2.4 Viestien tilaus

Ohjelman luettua kaikki muuttujien spesifikaatiot. Ohjelma tilaa silmukassa kaikki parametrina annetut RCB-instanssit. Kuvassa 22 on esitetty sekvenssikaavio kuinka rcb_sub tilaa RCB-instanssit libiec61850-kirjastolla. Kuvan vastaa yleiskuvassa 19 kohtia 13–16.

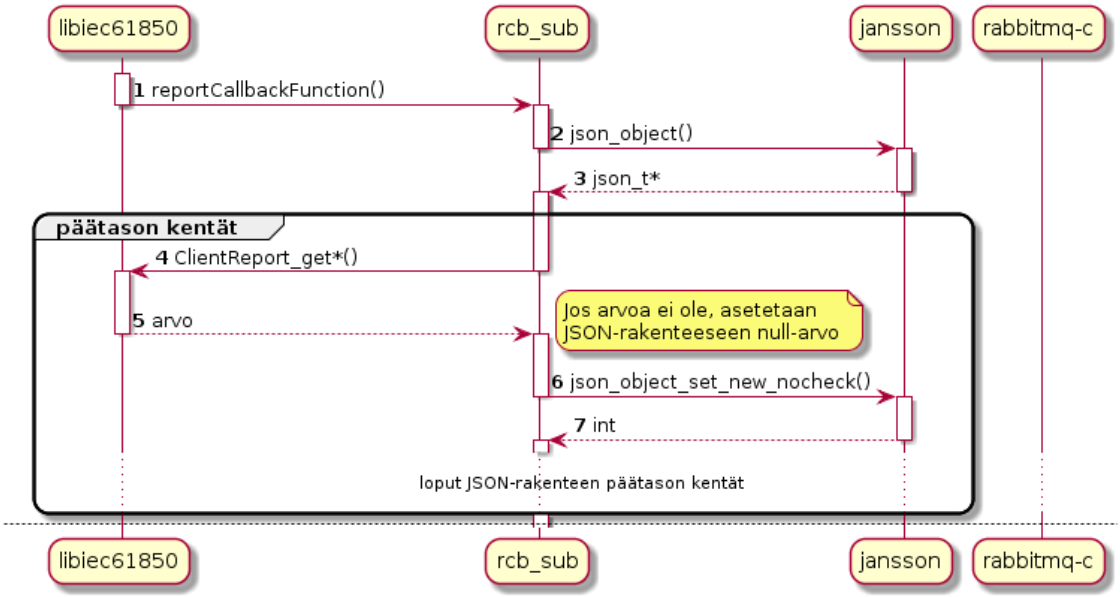


Kuva 22. *Sekvenssikaavio kuinka rcb_sub tilaa RCB-instanssit.*

Ohjelma käsittelee libiec61850-kirjaston tarjoamaa stuktuuria ja kaikki arvot asetetaan siihen ennen oikeaa kirjoitusta. Ensin ohjelma asettaa kaikki käyttäjän antamat arvot struktuuriin. Kohdassa 2 asettaa asettaa RCB:n RptEna-kentän arvoksi tosi. Tämä kenttä varaa RCB-instanssin ja aloittaa tilauksen. Ohjelma pakottaa viestiin vaihtoehtoisen kentän reason-for-inclusion. Tätä kenttää tarvitaan, jotta aikaisemmin luetut spesifikaatiotiedot saadaan yhdistettyä saapuneeseen viestiin. Tämän jälkeen asetetaan takaisinkutsufunktio, jota kirjasto kutsuu kun viesti saapuu (kohta 5). Viimeisenä struktuurin arvot kirjoitetaan IED:llä olevalle RCB:lle. Tämä varaa RCB-instanssin tälle asiakkaakkalle ja aloittaa tilauksen. RCB tulee lähettämään viestejä ohjelmalle samalla kun silmukan muilla kierroksilla käsitellään tilaamattomia RCB-instansseja.

5.2.5 JSON:nin muodostaminen ja julkaisu

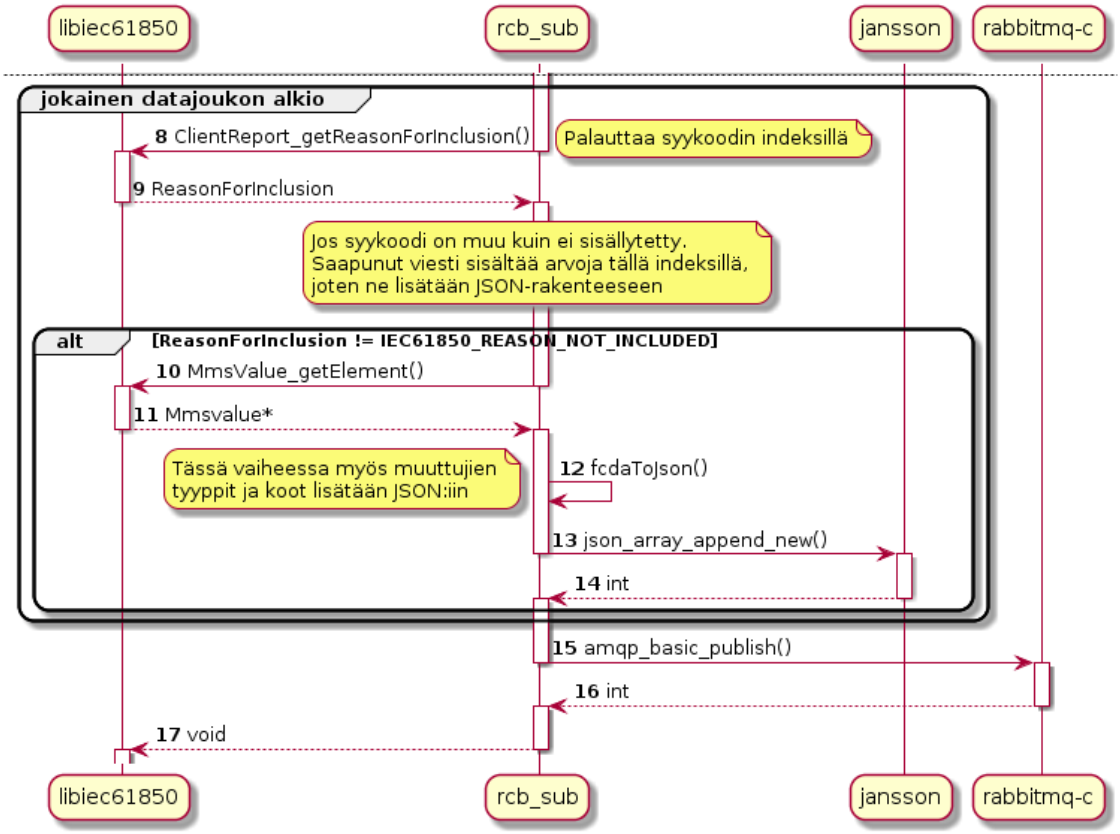
Viestin saapuessa libiec61580-kirjasto kutsui asetettua takaisinkutsufunktiota. Takaisinkutsufunktio muutti viestin JSON-muotoon ja lisäsi siihen aikaisemmin luetut muuttujien tyypit ja koot. Tämän jälkeen JSON-julkaistiin RabbitMQ-palvelimelle. Kuvissa 23 ja 24 on esitetty sekvenssikaaviolla kuinka ohjelma viestin muuttaa JSON:iksi ja julkaisee RabbitMQ:lle. Kuva 23 vastaa yleiskuvan 19 kohtia 17–19 ja kuva 24 kohtia 20–22.



Kuva 23. *Sekvenssikaavio kuinka rcb_sub muodostaa JSON:nin päätason kentät.*

Kuvassa 23 alkaa kun libiec61850-kirjasto kutsuu takaisinkutsufunktiota. Funktiolle annetaan parametrina saapunut viesti. Tämän jälkeen ohjelma käy läpi viestin jokaisen päätason kentän ja lisää ne JSON-rakenteeseen. Osa viestin kentistä on vaihtoehtoisia riippuen mitä käyttäjä asetti `--opt-fields` parametrilla. Jos arvoa viestissä ei ole, korvataan se null-arvolla JSON:iin. Esimerkkinä liiteessä A rivillä 4 oleva `confRevision` muuttuja, jonka arvo on null. Tämän jälkeen suoritus jatkuu kuvasta 23 kuvaan 24.

Päätason viestin kenttien jälkeen ohjelma käy läpi silmukassa viestin datajoukon indeksit (kuva 24. Viesti oikeasti sisältää vain ne datajoukon alkiot, mitkä sisältyivät viestiin. Ongelmana tässä on että viesti ei sisällä indeksiä tai tietoa siitä mikä datajoukon alkio on kyseessä mikä viestissä on. Jotta tästä saadaan tieto ohjelma pakottaa syykoodin päälle viestiin. Tämän avulla kun silmukassa käydään kaikki datajoukon indeksit läpi. Voidaan jokaiselle indeksille ensin kysyä syykoodi viestistä (kohdat 8–9). Jos datajoukon alkio ei ole viestissä, palauttaa kirjaston funktio `ClientReport_getReasonForInclusion()` arvon `IEC61850_REASON_NOT_INCLUDED`. Tätä tietoa voidaan käyttää löytämään oikea datajoukon indeksi. Jos datajoukon indeksi on viestissä, suoritetaan kohdat 10–14, muuten mennään seuraavaan indeksiin ja toistetaan kohdat 8–9. Datajoukon indeksi tarvitaan, jotta aiemmin luetut spesifikaatiot saadaan yhdistettyä muuttujiin arvojen kanssa. Datajoukon indeksillä, viestin arvoilla ja muuttujien tyypeillä ja koolla saadaan rakennet-



Kuva 24. *Sekvenssikaavio kuinka rcb_sub lisää JSON:iin muuttujat viestistä.*

tua loppuosa JSON-rakenteesta. Kuvassa 24 oleva silmukka rakentaa liitteessä A olevan values-taulun alkaen riviltä 7. JSON:in sisempi values taulu (rivi 13) on lista FCD- tai FCDA-viitteen muuttujia mitä se viittaa arvoineen. Tämä taulukko muodostetaan kuvan 24 kohdassa 12 funktiolla `fcdaToJson()` ja lisätään JSON:iin kohdassa 13. Lopuksi viesti lähetetään RabbitMQ-palvelimelle funktiolla `amqp_basic_publish()` ja takaisinkutsufunktio palaa (kohdat 15–17).

5.3 Jatkokehitys

Ohjelmaa jätettiin työssä pisteeseen missä se saavutti kaikki tarvittavat vaatimukset. Kuitenkin tulevaisuudessa ohjelmaa pystyy kehittämään lisää ja lisätä uusia ominaisuuksia tarpeen vaatiessa. Yksi tärkeä puute mikä jäi jatkokehitykseen työssä oli ohjelman testiympäristön pystytys ja sille yksikkötestit. C-ohjelmassa ei ole suoraan tukea yksikkötestien kirjoittamiseen. Ympäristön pystytys vaatii erillisen kirjaston projektin yhteyteen, millä yksikkötestit kirjoitetaan. Tämä jäi tulevaisuuden kehitystyöksi ja ei sisältynyt tähän työhön. Yksikkötestit ovat kuitenkin tärkeä osa ohjelman ylläpitoa ja toiminnan varmistamista muutosten jälkeen. Testit tullaan tarvitsemaan ennemmin tai myöhemmin.

Ohjelma toteutettiin nyt niin että se aina käyttää suoraa vaihdetyyppiä RabbitMQ-palvelimella. Tämä täytti työlle asetetut vaatimukset. Jos tulevaisuudessa tarvitaan joustavuutta, voidaan ohjelmaan tehdä muutoksia ja parametreja lisätä helposti lisämään toiminnallisuut-

ta. Esimerkkinä käyttäjä voisi valita käytettävän vaihteen tyypin parametrilla.

6. TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

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.

7. 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 0-9-1 Model Explained, RabbitMQ verkkosivu. Saatavissa (viitattu 31.7.2018): https://www.rabbitmq.com/tutorials/amqp-concepts.html

[2] 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

[3] B. Asselstine, Step-by-Step into Argp, Askapache verkkosivu, 2010, 75 s. Saatavissa (viitattu 1.9.2018): http://nongnu.askapache.com/argpbook/step-by-step-into-argp.pdf

[4] C. Brunner, IEC 61850 for power system communication, teoksessa: 2008 IEEE/-PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, April, 2008, s. 1–6.

[5] C library for encoding, decoding and manipulating JSON data, GitHub verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.9.2018): https://github.com/akheron/jansson

[6] 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.

[7] 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

[8] 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

[9] 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

[10] 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

[11] 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

[12] 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

[13] 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

[14] IEC 61850:2018 SER Series, International Electrotechnical Commission, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.6.2018): https://webstore.iec.ch/publication/6028

[15] 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.

[16] S. Kozlovski, Ruby's GIL in a nutshell, syy. 2017. Saatavissa (viitattu 13.8.2018): https://dev.to/enether/rubys-gil-in-a-nutshell

[17] libiec61850 API overview, libiec61850 verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.8.2018): http://libiec61850.com/libiec61850/documentation/

[18] libIEC61850 documentation, libiec61850 verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.8.2018): https://support.mz-automation.de/doc/libiec61850/c/latest/index.html

[19] R. E. Mackiewicz, Overview of IEC 61850 and Benefits, teoksessa: 2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, Oct, 2006, s. 623–630.

[20] MMS Protocol Stack and API, Xelas Energy verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.7.2018): http://www.xelasenergy.com/products/en_mms.php

[21] New documents by IEC TC 57. Saatavissa (viitattu 9.6.2018): http://digitalsubstation.com/en/2016/12/24/new-documents-by-iec-tc-57/

[22] 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

[23] 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

[24] Parsing Program Options with Argp, The GNU C Library. Saatavissa (viitattu 1.9.2018): https://www.gnu.org/software/libc/manual/html_node/Argp.html

[25] A. Patrizio, XML is toast, long live JSON, kes. 2016. Saatavissa (viitattu 18.8.2018): https://www.cio.com/article/3082084/web-development/xml-is-toast-long-live-json.html

[26] RabbitMQ C client, Github verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.9.2018): https://github.com/alanxz/rabbitmq-c

[27] RabbitMQ Compatibility and Conformance, RabbitMQ verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.7.2018): https://www.rabbitmq.com/specification.html

[28] RabbitMQ Tutorial Routing, RabbitMQ verkkosivu. Saatavissa (viitattu 31.7.2018): https://www.rabbitmq.com/tutorials/tutorial-four-python.html

[29] RabbitMQ Tutorial Topics, RabbitMQ verkkosivu. Saatavissa (viitattu 31.7.2018): https://www.rabbitmq.com/tutorials/tutorial-five-python.html

[30] 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

[31] J. Storimer, Nobody understands the GIL, kes. 2013. Saatavissa (viitattu 16.5.2018): https://www.jstorimer.com/blogs/workingwithcode/8085491-nobody-understands-the-gil

[32] P. Youssef, Multi-threading in JRuby, hel. 2013. Saatavissa (viitattu 18.8.2018): http://www.restlessprogrammer.com/2013/02/multi-threading-in-jruby.html

LIITE A: VIESTISTÄ PROSESSOITU JSON-RAKENNE


```
{
  "dataSetName": "LD0_CTRL/LLN0$StatUrg",
  "sequenceNumber": 0,
  "confRevision": null,
  "timestamp": 1534993167923,
  "bufferOverflow": false,
  "values": [
    {
      "reasonForInclusion": "GI",
      "mmsReference": "LD0_CTRL/CBCILO1$ST$EnaCls",
      "reference": "LD0_CTRL/CBCILO1.EnaCls",
      "functionalConstraint": "ST",
      "values": [
        {
          "reference": "LD0_CTRL/CBCILO1.EnaCls.stVal",
          "type": "boolean",
          "value": false
        },
        {
          "reference": "LD0_CTRL/CBCILO1.EnaCls.q",
          "type": "bit-string",
          "size": 13,
          "valueLittleEndian": 0,
          "valueBigEndian": 0
        },
        {
          "reference": "LD0_CTRL/CBCILO1.EnaCls.t",
          "type": "utc-time",
          "value": 1534845456
        }
      ]
    },
    {
      "reasonForInclusion": "GI",
      "mmsReference": "LD0_CTRL/CBCSWI1$ST$Loc",
      "reference": "LD0_CTRL/CBCSWI1.Loc",
      "functionalConstraint": "ST",
```

```
38        "values": [
39          {
40            "reference": "LD0_CTRL/CBCSWI1.Loc.stVal",
41            "type": "boolean",
42            "value": true
43          },
44          {
45            "reference": "LD0_CTRL/CBCSWI1.Loc.q",
46            "type": "bit-string",
47            "size": 13,
48            "valueLittleEndian": 0,
49            "valueBigEndian": 0
50          },
51          {
52            "reference": "LD0_CTRL/CBCSWI1.Loc.t",
53            "type": "utc-time",
54            "value": 1534845456
55          }
56        ]
57      },
58      {
59        "reasonForInclusion": "GI",
60        "mmsReference": "LD0_CTRL/CBCSWI1$ST$Pos",
61        "reference": "LD0_CTRL/CBCSWI1.Pos",
62        "functionalConstraint": "ST",
63        "values": [
64          {
65            "reference": "LD0_CTRL/CBCSWI1.Pos.stVal",
66            "type": "bit-string",
67            "size": 2,
68            "valueLittleEndian": 0,
69            "valueBigEndian": 0
70          },
71          {
72            "reference": "LD0_CTRL/CBCSWI1.Pos.q",
73            "type": "bit-string",
74            "size": 13,
75            "valueLittleEndian": 2,
76            "valueBigEndian": 2048
77          },
78          {
79            "reference": "LD0_CTRL/CBCSWI1.Pos.t",
```

```
80              "type": "utc-time",
81              "value": 1534845480
82            },
83            {
84              "reference": "LD0_CTRL/CBCSWI1.Pos.stSeld",
85              "type": "boolean",
86              "value": false
87            }
88          ]
89        }
90    ]
91  }
```

Ohjelma 1. *Viestin prosessoitu JSON-rakenne.*

LIITE B: C-OHJELMAN TULOSTAMA APUTEKSTI

```
Usage: rcb_sub [OPTION...]
        EXCHANGE ROUTING_KEY
        RCB_REF [RCB_OPTIONS...]
        [RCB_REF [RCB_OPTIONS...]...]
Configure and subscribe IED report control blocks.
Received reports are combined with variable specification
data and formatted to JSON. Formatted messages are
forwarded to AMQP broker using direct exchange.

 OPTION options:
  -a, --amqp-host=HOST       Host address of the AMQP
                             broker, defaults to localhost
  -e, --ied-port=PORT        Port for MMS communication,
                             defaults to 102
  -h, --ampq-vh=VH           Virtual host for the AMQP
                             broker, defaults to '/'
  -i, --ied-host=HOST        Host address of the IED,
                             defaults to localhost
  -m, --ampq-port=PORT       Port for AMQP communication,
                             defaults to 5672
  -p, --ampq-pwd=PWD         User password for the AMQP
                             broker, defaults to 'quest'
  -u, --ampq-user=USER       User for AMQP broker,
                             defaults to 'quest'
  -v, --verbose              Explain what is being done

 RCB_OPTIONS options:
  -g, --gi=VALUE             Set general interrogation
                             bit (1/0)
  -o, --opt-fields=MASK      Report optional fields int
                             bit mask (0 <= MASK <= 255)
  -t, --trigger=MASK         Report triggering int bit
                             mask (0 <= MASK <= 31)

   -?, --help                Give this help list
       --usage               Give a short usage message
  -V, --version              Print program version
```

```
38
39 Mandatory or optional arguments to long options are also
40 mandatory or optional for any corresponding short options.
41
42 EXCHANGE is name of the exchange used with the AMQP
43 broker. ROUTING_KEY is routing key used for the
44 published AMPQ broker messages. RCB_REF is reference
45 to report control block as specified in IEC 61850 standard.
46 For example MY_LD0/LLN0.BR.rcbMeas01
47
48 Reason for inclusion optional field is set automatically
49 in order for the program to combine read specification
50 data and only to include needed data set values which
51 actually triggered the report.
52
53 Trigger MASK values:
54   1  : data changed
55   2  : quality changed
56   4  : data update
57   8  : integrity
58   16 : general interrogation
59
60 Optional field MASK values:
61   1   : sequence number
62   2   : timestamp
63   4   : reason for inclusion (automatically set, see above)
64   8   : data set
65   16  : data reference
66   32  : buffer overflow
67   64  : entry id
68   128 : configure revision
69
70 Example usage:
71 $ rcb_sub -v -i192.168.2.220 testexchange testkey \
72 MY_LD0/LLN0.BR.rcbMeas01 -g1 -t27 -o16
73
74 Report bugs to mauri.mustonen@alsus.fi.
```

Ohjelma 2. *rcb_sub-ohjelman aputeksti.*