



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SÄHKÖASEMAN DIGITALISAATION VAIKUTUS PRIMÄÄRILAITERAJA- PINTAAN

Opinnäytetyö

TEKIJÄ: Janne Kaukonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Janne Kaukonen	
Työn nimi Sähköaseman digitalisaation vaikutus primääriaiterajapintaan	
Päiväys 24.4.2017	Sivumäärä/Liitteet 67/12
Ohjaaja(t) Yliopettaja Juhani Rouvali ja lehtori Timo Savallampi	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Fingrid Oyj / Erikoisasantuntija Tuomas Laitinen ja erikoisasantuntija Jari Tiusanen	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia sähköaseman digitalisaation vaikutusta primääriaiterajapintaan. Työn toimeksiantaja oli Fingrid Oyj ja ehdotus työn aiheesta tuli Fingridin Helsingin toimipisteeltä. Tutkimustyö tehtiin pääasiassa Varkauden aluetoimistolla. Työssä oli tarkoitus perehtyä tarkemmin IEC 61850 -standardiin ja sen mukaiseen primääriaitetekantaan.</p> <p>GE Alstom on julkaisemassa uutta digitaalista erotinohjainta, joka tukee IEC 61850-8-1 -protokollaa. Fingrid Oyj on kiinnostunut kyseisestä digitaalisesta tekniikasta, koska se muun muassa mahdollistaisi nykyiseen verrattuna laajemman kuntotietojen keräämisen, mikä puolestaan helpottaisi laitteiden tulevien huoltojen suunnittelemista. Fingrid onkin aloittamassa lähiaikoina pilottihankkeen Naantalinsalmen sähköasemallaan, jossa se kokeilee digitaalisten erotinohjainten toimintaa käytännössä. Ennen tätä on kuitenkin selvitettävä tulevan järjestelmän rakennetta ja pureuduttava sen haasteisiin. Opinnäytetyössä oli tarkoitus kartoittaa riittävässä laajuudessa näitä asioita.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin selvitys IEC 61850 -standardista ja uudesta digitaalisesta erotinohjaimesta. Työssä on esitetty standardin ehdottamia topologiaratkaisuja ja kerrottu niihin liittyvistä ongelmista. Työssä on myös otettu kantaa digitaalisen teknologian luotettavuuteen, kustannuksiin, tekniseen toteutukseen sekä uuden tekniikan mukanaan tuomiin hyötyihin ja uhkiin. Fingridillä ei ole tarvetta yhdistää kaikkea kommunikointia yhteen väylään, vaan se haluaa pitää edelleen erillään tiedonkeräämisen, suojauksen ja ohjauksen omissa väylissään. Toiseksi uuteen tekniikkaan liittyy vielä niin paljon kysymyksiä, että nopeaa harppausta perinteisestä tekniikasta täysin digitaaliseen tekniikkaan on tuskin odotettavissa lähivuosien aikana.</p>	
Avainsanat IEC 61850 -standardi, digitaalinen erotinohjain, prosessiväylä	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering	
Author(s) Janne Kaukonen	
Title of Thesis Digitalization of the Substation and its Effects on the Primary Equipment	
Date 24 April 2017	Pages/Appendices 67/12
Supervisor(s) Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer and Mr. Timo Savallampi, Lecturer	
Client Organisation /Partners Fingrid Plc / Mr. Tuomas Laitinen, Specialist and Mr. Jari Tiusanen, Specialist	
<p>Abstract</p> <p>The subject of this thesis was to study the IEC 61850 standard and to research how digitalization of the substation affects the primary equipment. The proposal for a thesis topic came from Fingrid's head office and the thesis was made mainly at Fingrid's regional office in Varkaus.</p> <p>GE Alstom is about to publish a new digital controller for the disconnectors. The new digital controller supports the IEC 61850-8-1 protocol. Fingrid is interested in this new technology, which enables the collection of condition information more widely than the traditional control device does. More versatile condition information could help in planning the maintenance of the primary devices. Fingrid is planning to start a new pilot project in the future at the substation in Naantalinsalmi, where they are going to test these new digital disconnector controllers in practice. Before that, it is important to find out the structure of the new digital system and discover all the challenges. The purpose of this thesis was to sort out these subjects and issues.</p> <p>First, it was necessary to study the main points of the IEC 61850 standard, because the new technology is based on this standard. Second, the operating principle of the current controller device was investigated. Next, an appointment with the GE Alstom was agreed where they gave more details about the new digital controllers. Then, in cooperation with several experts, it was explored how to build a new system, and what are the benefits and disadvantages of the new technology and system. Finally, calculations of costs were made for the thesis.</p> <p>The result of this thesis was a statement about the IEC 61850 standard and digital disconnector controller. This thesis also presents two different solutions of the process bus topology for the communication, which are also presented in the IEC 61850 standard. The thesis presented the reliability, costs, advantages and disadvantages of the new technology. Fingrid does not feel the need to unite all the communication in the same process bus but it still wants to keep the control, protection and collection of the condition information separated from each other. So far, there are still so many questions about the new digital technology that there is no prospect of a rapid transition to the fully digital substation in next few years.</p>	
<p>Keywords IEC 61850 -standard, digital disconnector controller, process bus</p>	

ESIPUHE

Haluan kiittää opinnäytetyöstäni Fingrid Oyj:n erikoisasiantuntijoita Tuomas Laitista ja Jari Tiusasta, jotka ehdottivat aihetta ja olivat mukana aktiivisesti työn ohjaamisessa. Lisäksi kiitokset kuuluvat Savonia-ammattikorkeakoulun ohjaajalle, yliopettaja Juhani Rouvalille hyvästä ohjaamisesta. Haluan myös kiittää kaikkia niitä, jotka omalla panoksellaan auttoivat tiedon hankkimisessa ja työni valmistumisessa. Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja olen iloinen, että pääsin osaksi ryhmää tutkimaan uutta laitekantaa ja tekniikkaa. Toivon, että Fingrid ja muut asiasta kiinnostuneet tulevat hyötymään tehdystä työstä.

Kuopiossa 24.4.2017

Janne Kaukonen

SISÄLTÖ

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 FINGRID OYJ.....	9
3 SÄHKÖASEMA JA SEN LAITTEET.....	10
3.1 Sähköaseman rakenne ja tarkoitus yleisesti.....	10
3.2 Tehomuuntajat.....	10
3.3 Kytkinlaitteet.....	11
3.4 Mittamuuntajat.....	11
3.5 Kompensointilaitteet.....	12
4 IEC 61850 -STANDARDI JA SEN MERKITYS KANTAVERKKOYHTIÖLLE.....	13
4.1 Tausta ja historia.....	13
4.2 Standardin osat.....	14
4.3 Standardi lyhyesti.....	15
5 SELVITYSTYÖ IEC 61850 -STANDARDIN MUKAISESTA EROTINOHJAIMESTA.....	20
5.1 Nykyisten erotinohjainten toimintaperiaate.....	20
5.2 IEC 61850 -yhteensopivan erotinohjaimen rakenne ja toimintaperiaate.....	25
5.3 Prosessi-LAN-topologiaratkaisut ja ohjaimen liittyminen.....	27
5.4 Uuden tekniikan luotettavuuskysymykset.....	31
5.5 Edellytykset muutostöiden tekemiseksi.....	33
5.6 Muut IEC 61850 -yhteensopivat laitteet.....	36
6 EROTINOHJAINTEEN DIGITALISAATION MAHDOLLISUUDET JA HAASTEET.....	38
6.1 Hyödyt ja mahdollisuudet.....	38
6.2 Haasteet ja uhat.....	39
7 UUDEN JA VANHAN TEKNIIKAN KUSTANNUSVERTAILU.....	42
7.1 Laskennan vaiheet.....	42
7.2 Saadut tulokset ja niiden arviointi.....	45
8 YHTEENVETO.....	48
LÄHDELUETTELO.....	49
LIITE 1 KYMIN 110 KV PÄÄKAAVIO.....	51
LIITE 2 PERINTEISEN HAPAM EROTINOHJAIMEN PIIRIKAAVIOT.....	52

LIITE 3 PERINTEISEN EROTINOHJAIMEN OHJAUSKAAVIO.....	53
LIITE 4 PERINTEISEN EROTINOHJAIMEN LUKITUKSEN KAUKO-OHJAUS.....	54
LIITE 5 PERINTEISEN EROTINOHJAIMEN KAUKO-OHJAUS.....	55
LIITE 6 AE08-KENTÄN EROTINTEN LUKITUSTEN LOGIIKKAKAAVIOT.....	56
LIITE 7 DWATCH-MOOTTORIPPIRI.....	57
LIITE 8 DWATCH-OJAUSPIIRI.....	58
LIITE 9 DWATCH-LÄMMITYSPIIRI.....	59
LIITE 10 DWATCH-APUKOSKETINKAAVIO	60
LIITE 11 NAANTALINSALMEN ASEMAKUVA.....	61
LIITE 12 PERIAATEKUVAT JA KAAPELILUETTELOT, PERINTEINEN, DIGITAALINEN JA RETROFIT	62

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

BLOB	Binary Large Object
CIGRE	Council on Large Electric Systems
GIS	Gas-insulated switchgear
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electronic Device
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IT/OT	Information Technologies and Operational Technologies
EPRI	Electric Power Research Institute
FTP	File Transfer Protocol
HMI	Human Machine Interface
KVJ	Käytönvalvontajärjestelmä
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Controller
MMS	Manufacturing Message Specification (ISO 9506)
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MU	Merging Unit
PI	Process Interface
PIA	Process Interface Analog
PIB	Process Interface Binary
PM	Protection and Measurement combined IED
RTU	Remote Terminal Unit
SV/SMV	Sampled (measured) Values
UCA	Utility Communications Architecture
VLAN	Virtual Local Area Network

1 JOHDANTO

Maailman digitalisoituminen alkaa näkymään myös enemmän verkkoyhtiöissä ja sähköasemilla. 1990-luvun alussa on ryhdytty kehittämään standardia 61850, joka mahdollistaa tehokkaamman tiedonsiirron laitteistojen ja valvomoiden välillä. Tähän saakka uuden standardin mukainen "älykäs" primäärilaitetekanta on ollut vielä suhteellisen vähäinen tai ainakin sen tekniikka on ollut riittämätön sähköasemien laajempaa digitalisointia varten. Tämä on yksi syy siihen, miksi sähköasemien primäärijärjestelmien digitalisoituminen ei ole vielä yleistynyt laajemmin, toki kokeiluita on jo tehty ympäri maailmaa. Laittevalmistajat kuitenkin tekevät jatkuvasti tuotekehitystä, ja uusia laitteita alkaa varmasti tulla lisää markkinoille yhä enemmän. Opinnäytetyön aiheena onkin kartoittaa nykyhetken tarjontaa ja sitä, onko investointi digitalisaation edellyttämiin laitteisiin kannattava saatuihin hyötyihin nähden. Opinnäytetyö tehdään Suomen Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:lle. Ajatus opinnäytetyön aiheesta tuli Fingridin Helsingin toimipisteestä.

Sähköaseman digitalisoituminen on hyvin laaja aihe, kuten myös siihen liittyvä standardi IEC 61850. Sen vuoksi työn rajaaminen onkin ensiarvoisen tärkeää. Tämän vuoksi opinnäytetyön painopisteeksi valitaankin digitalisaation vaikutus primäärilaiterajapintaan ja sen mukanaan tuomat hyödyt ja haitat. Fingridin kannalta investoinnit tulevat olemaan niin suuria, että taustatyön huolellisesti tekeminen ja mahdollisten riskien kartoittaminen on tärkeää.

2 FINGRID OYJ

Fingrid Oyj on Suomen kantaverkkoyhtiö ja se vastaa sähkön siirrosta kantaverkossa. Suomen Kantaverkko Oy eli nykyinen Fingrid Oyj perustettiin 29. marraskuuta 1996, ja se aloitti operatiivisen toimintansa 1. syyskuuta 1997. Kotimaan sähkösiirron lisäksi Fingrid huolehtii myös ulkomaan yhteyksistä. Rajasiirtoyhteyksiä on Pohjoismaihin, Viroon ja Venäjälle. Kotimaassa kantaverkkoon liittyjiä ovat pääasiassa tehtaat, suuret voimalaitokset ja alueelliset sähköjakeluverkot. Fingridillä on yhteensä kuusi toimipaikkaa. Pääkonttori sijaitsee Helsingissä ja lisäksi yhtiöllä on toimipaikat Varkaudessa, Hämeenlinnassa, Rovaniemellä, Oulussa ja Petäjävedellä. Henkilöstöä oli vuoden 2015 lopussa 315. (Fingrid Oyj, 2017a)

Fingrid omistaa Suomen kantaverkon, jota käytetään päävoimansiirtoon. Kantaverkkoon kuuluu 14 200 km voimajohtoa ja 113 sähköasemaa. Fingridin verkossa siirrettiin vuonna 2015 sähköä 67,9 TWh, joka on 82,5 % Suomen kokonaissähkösiirrosta. Kantaverkko vaatii jatkuvaa kehittämistä ja kunnossapitoa, jotta sähkösiirto pysyy luotettavana myös tulevaisuudessa. Voimansiirtoverkko koostuu 110, 220 ja 400 kV:n kantaverkosta. Sen ja sähköasemien kunnossapito on hajautettu neljään maantieteelliseen alueeseen: Etelä-, Itä-, Länsi- ja Pohjois-Suomeen. Nämä alueet koordinoivat omalla alueellaan kunnossapitoa sekä valvovat ja ohjaavat voimajohtoilta ja sähköasemilla tapahtuvaa työskentelyä. Fingridillä ei ole omaa huoltohenkilökuntaa, vaan se tilaa tarkastukset ja kunnossapitotyöt markkinaehdoilla palveluita tarjoavilta yrityksiltä. (Fingrid Oyj, 2017b)

3 SÄHKÖASEMA JA SEN LAITTEET

3.1 Sähköaseman rakenne ja tarkoitus yleisesti

Sähköasemat ovat sähkönjakelun kannalta hyvin oleellisia jakelupisteitä. Asemat voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, kytkinlaitoksiin ja muuntoasemiin. Kytkinlaitoksilla voidaan yhdistää samassa jännitetasossa olevia johtoja, jolloin sähkönsiirtoa voidaan jakaa eri johdoille. Muunto-asemilla on yksi tai useampi muuntaja ja siellä voidaan edellisestä poiketen yhdistää kahden eri jännitetaso johtoja. (Heikkilä, 2004)

Sähköasemien laitteet, jotka osallistuvat sähkönjakeluun, voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, ensiö- ja toisilaitteisiin. Ensiölaitteisiin kuuluvat ne laitteet, joiden kautta sähköenergia kulkee. Näitä laitteita ovat esimerkiksi kiskostot, kytkinlaitteet, kompensointilaitteet ja muuntajat. Toisilaitteisiin kuuluvat kantaverkkoa suojaavat laitteet (releet), ensiölaitteille käyttöenergiaa syöttävät laitteet, kytkentätiloista verkonvalvojille tietoa välittävät järjestelmät sekä ensiö- ja toisilaitteiden ohjaamiseen tarvittavat järjestelmät. Ensiö- ja toisiojärjestelmien lisäksi sähköasemalla on kiinteitä rakenteita, kuten asemarakennukset varusteineen, maadoitusruudukot, kaapelikanavat, tiet ja aidat. (Heikkilä, 2004)

Tässä opinnäytetyössä pyritään keskittymään ensiölaitteisiin, ja niistä ennenkaikkea digitaalisiin erotimenohjaimiin. Laitteistoihin ja niiden kunnossapitoon liittyy paljon erilaista tietoa, mutta seuraavassa kerrotaan vain lyhyesti yleisteoriana sähköaseman oleellisimmista laitteistoista.

3.2 Tehomuuntajat

Kantaverkossa käytetään 400, 220, ja 110 kV:n jännitetasoja. Jotta jännitetasolta päästään toiselle, tarvitaan väliin tehomuuntajia. Yleisimpiä muuntajatyyppejä ovat kaksi- ja kolmekäämityksiset tehomuuntajat ja kantaverkossa erityisesti kolmekäämityksiset tehomuuntajat. Muuntaja koostuu rautasydäimestä sekä galvaanisesti toisistaan erotetuista ensiö- ja toisiokäämeistä. Käämit on sijoitettu rautasydämen ympärille samalle pylväälle tai suurissa yksiköissä erillisille pylväille. Tehoa siirretään jännitetasolta toiselle sähkömagneettisen induktion avulla. (Fingrid tietokanta, 2010a)

Muuntajan muuntosuhdetta voidaan muuttaa käämitysten kierroslukua muuttamalla, kantaverkossa muuntosuhdetta muutetaan ensiökäämityksen kierroslukua muuttamalla. Tätä varten muuntajat varustetaan erillisillä käämikytkimillä, joilla voidaan kompensoida kuormituksesta johtuvia jännitteenalennuksia. Tehomuuntajissa on yleensä lisäksi 20 kV:n tertiäärikäämi, johon kytketään reaktorit, joilla säädetään 400 kV:n jännitettä. (Fingrid tietokanta, 2010a)

3.3 Kytkinlaitteet

Kytkinlaitteiksi luetaan katkaisijat ja erottimet. Niiden tarkoituksena on kytkeä ja erottaa virtapiirejä toisistaan. Vaikka ne kytkinlaitteina yhdistetään vahvasti toisiinsa, ovat niiden erot toisiinsa nähden huomattavat. Katkaisijan on normaalien käyttöolosuhteiden lisäksi kyettävä katkaisemaan myös sen läpikulkevat vikavirrat, joita syntyy esimerkiksi oiko- ja maasulkujen aikana. Nämä vikavirrat voivat olla moninkertaisia normaaliin nimellisvirtaan verrattuna. Yleisimmät katkaisijatyypit ovat paineilma-katkaisijat, öljykatkaisijat, vähäöljykatkaisijat ja kaasukatkaisijat. Katkaisija siis erottaa virtapiirejä, kuormituksia ja laitoksia toisistaan, mutta sen aikaansaama erotusväliä ei voida pitää tarpeeksi luotettavana työskentelyn aikana, ellei kyseessä ole erottava katkaisija. Sen sijaan erottimella voidaan erottaa kaksi virtapiiriä luotettavasti toisistaan, koska sen koskettimien avausväli on näkyvä tai sen tilatieto pystytään ilmaisemaan selkeällä mekaanisella asennonosoituksella. Sen lisäksi erottimen avausvälin jännitelujuus on suurempi kuin eristyksellä maata vasten. Erilaisia erotintyyppisiä ovat kiertoerottimet, saksierottimet, vertikaaliset ja horisontaaliset polvierottimet ja vertikaalierottimet. (Fingridin tietokanta, 2010b)

Perinteisten erottimien ja katkaisijoiden rinnalle on tullut erottavia katkaisijoita ja kuormanerottimia. Näiden lisäksi on myös maadoituskytkimiä, jotka eivät kuulu päävirtapiiriin vaan niiden tehtävänä on maadoittaa jännitteetön osa luotettavasti työskentelyn ajaksi. (Fingridin tietokanta, 2010b)

Eräät valmistajat ovat lopettaneet kokonaan erotinten valmistamisen ja siirtyneet valmistamaan niiden sijaan erottavia katkaisijoita. Tulevaisuudessa erottavat katkaisijat voivat yleistyessään tehdä perinteiset erottimet tarpeettomiksi, mutta tällä hetkellä perinteiset erottimet ovat vielä tärkeä osa laitekantaa.

3.4 Mittamuuntajat

Fingridin sähköasemilla käsiteltävät jännitteet ja virrat ovat hyvin suuria, siitä huolimatta niitä on kuitenkin pystyttävä mittaamaan ja seuraamaan. Koska normaaleja mittalaitteita ei voida suoraan kytkeä näin suuriin jännitteisiin ja virtoihin, tarvitaan väliin mittamuuntajia. Mittamuuntajat ovat jännitteen ja virran mittaamiseen tarkoitettuja muuntajia, joiden tarkoituksena on muuntaa jännitteet ja virrat mittalaitteelle sopivalle tasolle, jolloin samalla eristetään mittalaitteet suurjännitteisestä päävirtapiiristä. Ne myös suojaavat mittalaitteita ylikuormitukselta sekä mahdollistavat tarvittaessa mittalaitteiden sijoittamisen kauas mitattavasta kohteesta. Mittamuuntajat jaetaan jännite- ja virtamuuntajiin. (Fingridin tietokanta, 2010c)

Jännitemuuntajissa on vain yksi sydän ja usein myös yhteinen toisiokäämi mittaus- ja suojaustoimintoja varten. Virtamuuntaja puolestaan tarvitsee eri sydämet mittaukselle ja suojaukselle, koska suojausta varten virtamuuntajan vaatimukset ovat erilaiset kuin mittauksessa. Tästä huolimatta virtamuuntaja on fyysisesti yksi kokonaisuus, joka sisältää tyypillisesti yhden mittaussydämen ja kolme suojaussydäntä. (Fingridin tietokanta, 2010c)

3.5 Kompensointilaitteet

Sähköverkon jännite saadaan pysymään sovituisissa rajoissa kompensointilaitteiden avulla. Nimensä mukaisesti ne kompensoivat sähköverkon loistehoa. Kompensointilaitteita voidaan kytkeä verkon kanssa sarjaan tai rinnan. Sarjakondensaattorilla pyritään kumoamaan pitkällä johdoilla verkon liiallista reaktanssia, jolla muuten olisi negatiivinen vaikutus kulma- ja jännitestabiilisuusongelmiin. Rinnakkaiskompensointilaitteita ovat rinnakkaisreaktorit ja -kondensaattorit sekä SVC eli Static Var Compensator, joka sopii nopeaan muutosten hallintaan. Jos rinnakkaiskondensaattorin kanssa asennetaan sarjaan kela, toimii yhdistelmä tällöin yliaaltojen suotimena, jolloin suurin osa yliaalloista saadaan suodatettua verkosta pois. (Fingridin tietokanta, 2010d)

Reaktoreita ohjataan kohdekohtaisilla jännitesäätäjillä ja kondensaattoriparistoja loistehonsäätäjillä, jotka sijaitsevat kenttien relekaapeissa. Lisäksi reaktorit ja kondensaattorit on varustettu yli- ja alijännitereleillä, jotka varmistavat ohjauksen toimivuuden myös säätäjien vikaantuessa. (Fingridin tietokanta, 2010d)

4 IEC 61850 -STANDARDI JA SEN MERKITYS KANTAVERKKOYHTIÖLLE

4.1 Tausta ja historia

Sähköasemalla automaatiota käytetään aseman ohjaamiseen, suojaukseen ja valvontaan. Vuosien aikana kehittynyt elektroniikka, viestintä- ja kommunikaatioteknologia ovat muuttaneet paljon sähköasemia ja niiden toimintaa. On käytännöllisempää käyttää asemilla ohjelmistopohjaisia automaatiojärjestelmiä, jotka voidaan yhdistää erilaisilla digitaalisilla tiedonsiirtoyhteyksillä, kuin käyttää laitteiden ohjaamiseen ja valvontaan lukuisia rinnakkain kulkevia ja kömpelöitä kuparijohtimia. Kuitenkin ennen yhteistä standardia automaatiojärjestelmien valmistajat kehittivät omia kommunikointiratkaisuja, mikä johti tilanteeseen, jossa eri laitevalmistajien ja joskus jopa saman laitevalmistajan laitteiden yhteensopivuus muodostui suureksi ongelmaksi. Tästä johtuen useiden vuosien tavoitteena on ollut määrittellä kommunikaatioinfrastruktuuri, joka sallii saumattoman yhteensopivuuden useiden eri IED-laitteiden välillä, vaikka laitteet olisivat eri valmistajien suunnitteleimia ja tekemiä. IED-laitteet ovat älykkäitä laitteita, joiden älykkyyden mahdollistaa niiden sisältämät mikroprosessorit. (ABB, 2016)

Ensimmäinen asematason laitteiden digitaalinen tiedonsiirtostandardi oli jo 1990-luvulla julkaistu IEC 60870-5-103, joka oli jatkoa aiemmin asemien kaukokäyttöä varten kehitetylle IEC 60870-5-101:lle. IEC 60870-5-103 -standardi määritteli sarjaliikennepohjaisen tiedonsiirron asematason IED- ja RTU-laitteiden välillä. TCP/IP-pohjaiseen Ethernet-verkkoteknologiaan perustuvan tiedonsiirtoteknologian yleistyttyä telekommunikaatiomarkkinoilla sekä siirrettävän tiedon määrän ja nopeusvaatimusten kasvaessa kehittyi tarve Ethernet-pohjaiselle tietoliikennetarkaisulle myös sähköasemalaitteilla. Nämä standardit ovat käytössä yhä edelleen varsinkin vanhemmilla sähköasemilla. (Tiusanen, 2017; ABB, 2014)

Ensimmäiset askeleet kohti IEC 61850 -standardia otettiin 1990-luvun alussa, kun Yhdysvaltalainen energia-alan tutkimusinstituutti EPRI ja kansainvälinen tekniikan alan järjestö IEEE rupesivat määrittämään yleistä viestintäarkkitehtuuria, UCA:a. Alkuperäinen ajatus tässä projektissa oli kehittää valvomon ja sähköaseman välistä tietoliikennettä. Tästä syntyikin lopulta kansainvälinen IEC 60870-6-TASE.2. -standardi. (Proudfoot, 2002)

Vuonna 1994 EPRI ja IEEE aloittivat toisen vaiheen UCA:ssa, nimeltään UCA 2.0. Tällä kertaa keskityttiin asemaväylän kehittämiseen. Kaksi vuotta myöhemmin vuonna 1996, IEC:n tekninen komitea 57 aloitti työskentelyn IEC 61850 -standardin parissa samaan aiheeseen liittyen kehittämällä asemaväylää. Vuonna 1997 nämä kaksi ryhmää päättivät yhdistää voimansa ja yhdistelivät molempien ryhmien tuotoksia. Molempien ryhmien tuotoksien yhteensovittelun jälkeen syntyi nykyinen IEC 61850 -standardi. Vielä vuonna 1999 IEEE julkaisi UCA 2.0:n teknisenä raporttina, mutta suuri osa siitä liisäysineen on otettu mukaan IEC 61850 -standardiin. (Proudfoot, 2002)

Ensimmäinen osa standardista julkaistiin kesäkuussa 2005 ja se on vielä tämän jälkeen muuttunut ja laajentunut. (ABB, 2016)

4.2 Standardin osat

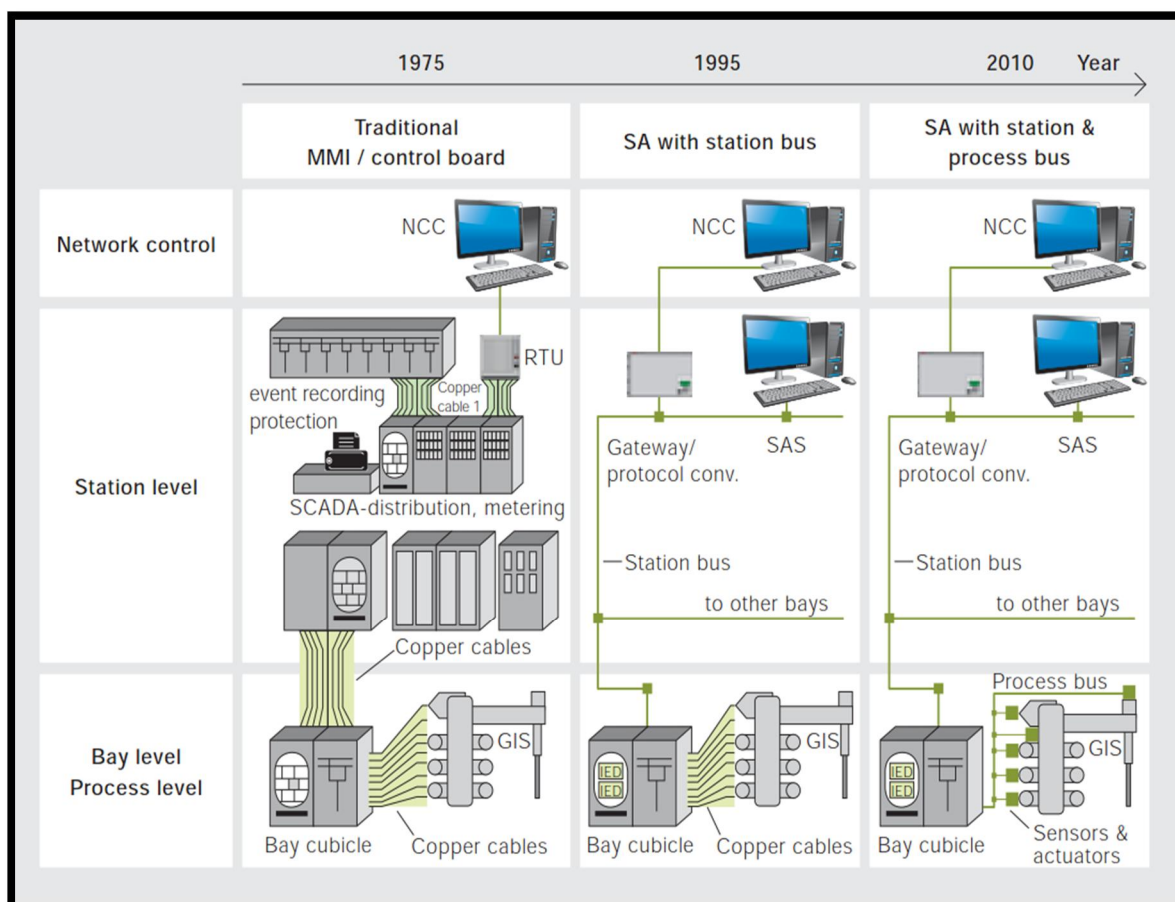
Standardiin 61850 kuuluu seuraavat osat:

IEC 61850-1:	Johdanto ja yleiskatsaus
IEC 61850-2:	Sanasto
IEC 61850-3:	Yleiset vaatimukset
IEC 61850-4:	Järjestelmän ja projektin hoito
IEC 61850-5:	Kommunikointivaatimukset toiminnoille ja laitemalleille
IEC 61850-6:	IED-laitteisiin liittyvä konfigurointikieli kommunikointiin sähkö- asemilla
IEC 61850-7-1:	Kommunikoinnin perusrakenne - Peruseriaate ja mallit
IEC 61850-7-2:	Kommunikoinnin perusrakenne - Abstrakti kommunikointipalveluiden rajapinnasta (ACSI)
IEC 61850-7-3:	Kommunikoinnin perusrakenne - Yleiset dataluokat
IEC 61850-7-4:	Kommunikoinnin perusrakenne - Yhteensopivat loogiset solmuluokat ja dataluokat
IEC 61850-7-410:	Vesivoimalaitokset - Kommunikointi valvontaan ja ohjaukseen
IEC 61850-7-420:	Kommunikoinnin perusrakenne - Hajautetun energiantuotannon loogiset solmut
IEC 61850-7-5:	IEC 61850 - Mallintamisen konseptit
IEC 61850-7-500:	Loogisten solmujen käyttäminen toimintojen mallintamiseen sähköaseman automaatiojärjestelmissä
IEC 61850-7-510:	Loogisten solmujen käyttäminen toimintojen mallintamiseen vesivoimalaitoksissa
IEC 61850-7-520:	Loogisten solmujen käyttäminen toimintojen mallintamiseen hajautetussa energiantuotannossa
IEC 61850-8-1:	Tarkka kommunikaatiopalveluiden kuvaus (SCSM) - MMS:n ja ISO/IEC 8802-3 kuvaukset
IEC 61850-80-1:	Ohjeistus informaation vaihtoon CDC-pohjaisesta datamallista, joka käyttää IEC 60870-5-101/104-standardia
IEC 61850-9-2:	Tarkka kommunikaatiopalveluiden kuvaus (SCSM) - Nämplätyt arvot ISO/IEC 8802-3:n yli
IEC 61850-90-1:	IEC 61850:n käyttäminen asemien väliseen kommunikointiin
IEC 61850-90-2:	IEC 61850:n käyttäminen aseman ja valvomon väliseen kommunikointiin
IEC 61850-90-3:	IEC 61850:n käyttäminen kunnonvalvontaan
IEC 61850-90-4:	Ohjeistus verkon suunnitteluun - Tekninen raportti
IEC 61850-90-5:	IEC 61850:n käyttäminen IEEE C37.118 standardin mukaisten reaaliaikaisten synkronoitujen mittaustulosten siirtämiseen
IEC 61850-10:	Vaatimustenmukaisuuden testaaminen

4.3 Standardi lyhyesti

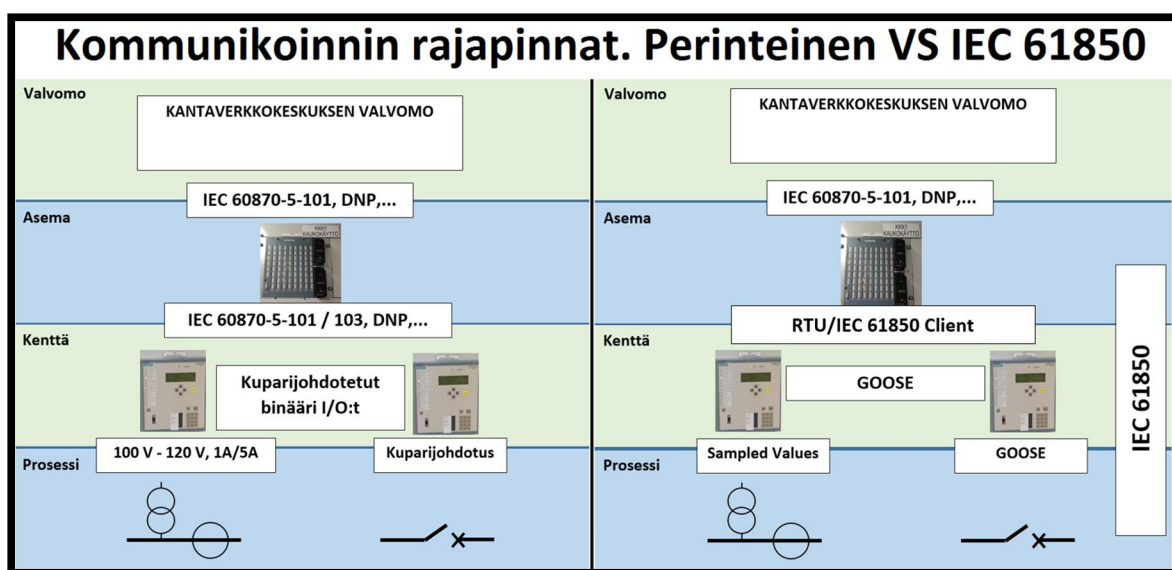
IEC 61850 -standardi on hyvin laaja ja raskas materiaali. Kaikki osat mukaan luettuna siinä on yli 4 300 sivua (IEC, 2017). Opinnäytetyön kannalta ei ollut oleellista käydä koko materiaalia läpi, vaan ymmärtää standardin pääkohdat. Lyhyesti siinä on kyse kommunikaatiostandardista, joka mahdollistaa älykkäiden laitteiden keskinäisen kommunikoinnin tietoliikenneväylää pitkin. Tällaisella väylärakenteella saataisiin vähennettyä sähköaseman fyysisiä johdotuksia, kun ohjauskäskyjä ja mittausviestejä varten ei jokaiselle laitteelle tarvitse viedä erillisiä kaapeleita ja johtimia, vaan käskyt ja viestit kulkisivat yhteistä väylää pitkin. Vaikka standardissa ja opinnäytetyössä puhutaan toistuvasti väylästä (bus), on se osin harhaanjohtava käsite, koska kyseessä on tarkalleen ottaen toteutustavasta riippuen LAN- tai WAN-tyyppinen tietoliikenneverkko (Tiusanen, 2017).

Standardin ominaisuuksiin kuuluu myös se, että siitä on tehty hyvin joustava. Standardi ei määrittele tarkkaa teknistä toteutustapaa, mutta se määrittelee esimerkiksi datan mallinnuksen, datayhteyden ja datan siirtämistavan, joihin järjestelmän on pystyttävä. Näin standardista on saatu niin sanotusti tulevaisuusvarma, eikä standardia jouduta muuttamaan ainakaan ratkaisevasti, vaikka teknistä kehitystä tapahtuisikin.



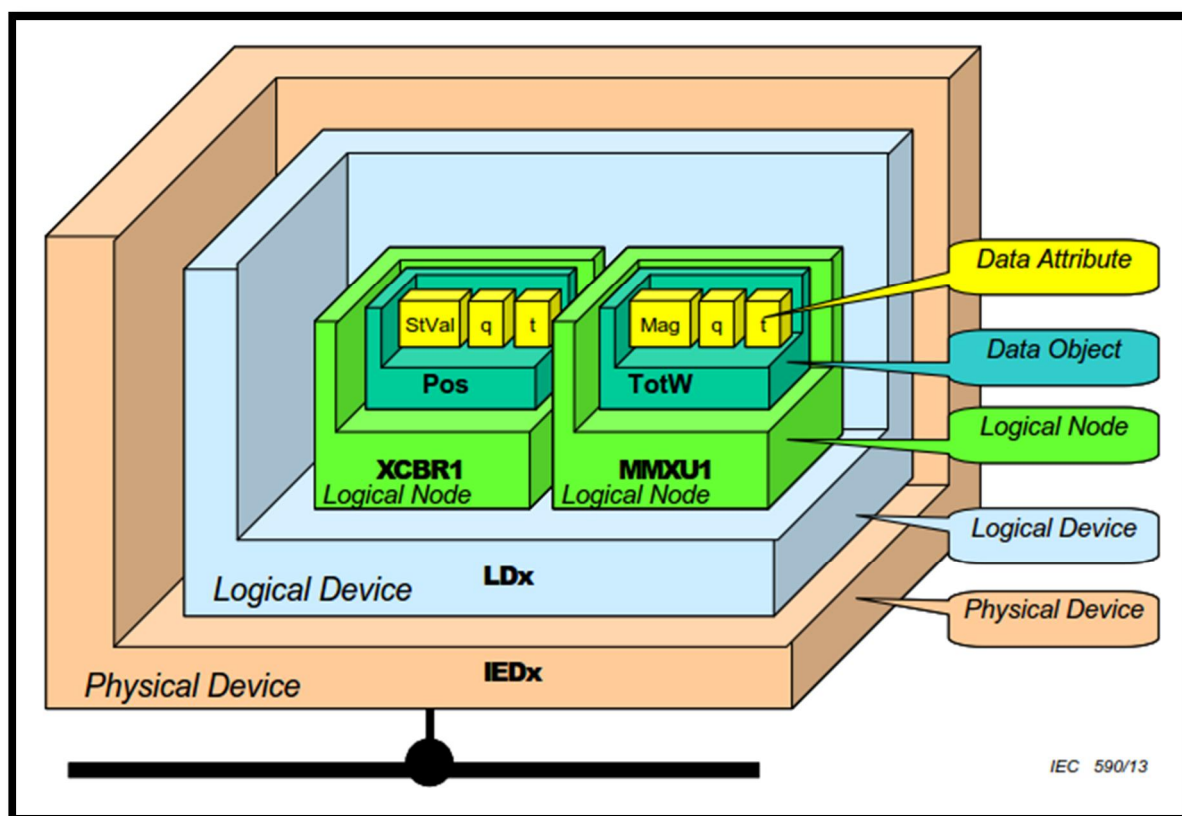
KUVA 1. Asema-automaation kehittyminen kuparikaapeloinnista IEC 61850 väyläteknikkaan (ABB, 2016)

Kuvassa 1 havainnollistetaan, kuinka asema-automaatio on muuttunut kymmenien vuosien aikana. Teknisestä toteutuksesta kerrotaan opinnäytetyössä myöhemmin, mutta kuvan on tarkoitus osoittaa, kuinka teoriassa sähköaseman kommunikointiin käytettävien johdotuksien rakenne tulee standardoinnin ja digitalisaation yhteisvaikutuksesta yksinkertaistumaan ja rakennuskustannukset oletettavasti putoamaan lukuisien kuparikaapelointien vähentyessä. Kuvassa 2 on esimerkki siitä, kuinka johdotuksien lisäksi standardi vaikuttaa kommunikointirajapintoihin ja laitteiden väliseen viestintään. Idea kuvaan on saatu OMICRON energy:n oppitunnilta, joka liittyy IEC 61850 -kommunikointiin ja on nähtävissä videopalvelu Youtubessa (OMICRONenergy, 2016). Kommunikointityypit riippuvat kuitenkin hyvin pitkälti siitä, mitä tehdään ja mitä palveluita halutaan ottaa käyttöön, joten kuvaa voidaan pitää vain yhtenä mahdollisena toteutustapana. Kommunikoinnista kerrotaan tarkemmin sivuilla 18 ja 19.



KUVA 2. IEC 61850 -standardin vaikutus kommunikointirajapintoihin (Kaukonen, 2017a)

Standardin mukainen kokonaisuus muodostuu IED-laitteista, kytkinkentällä sijaitsevasta prosessiväylästä, asemaväylästä sekä ohjaus- ja valvomojärjestelmästä. IED-laitteet ovat älykkäitä sähkölaitteita, kuten esimerkiksi erotin tai katkaisija varustettuna digitaalisella ohjaimella. IED-laitteet yhdistetään prosessiväylään, joka voidaan toteuttaa kuparijohtimilla tai valokuidulla. Sähköasemaympäristössä varsinkin prosessiväylä on järkevintä toteuttaa valokuidulla, koska silloin tiedonsiirto ei häiriinny ulkoisesta sähkömagneettisesta säteilystä. Prosessiväylä voi yhdistyä asemaväylään esimerkiksi eri kenttien distanssireleiden tai kenttäohjausyksiköiden kautta, mutta Fingridin tapauksessa tämä ei ole yksiselitteinen asia. Asemaväylä sijaitsee sähköasemalla relehuoneessa, jossa väylä on rakennettu asema IED-laitteiden (mm. suojareleet ja kenttäohjausyksiköt) ja asema- ja valvomon HMI-PC:n ja RTU:n (gatewayn) välille, josta data siirretään aina verkkokeskuksen valvomolle saakka.



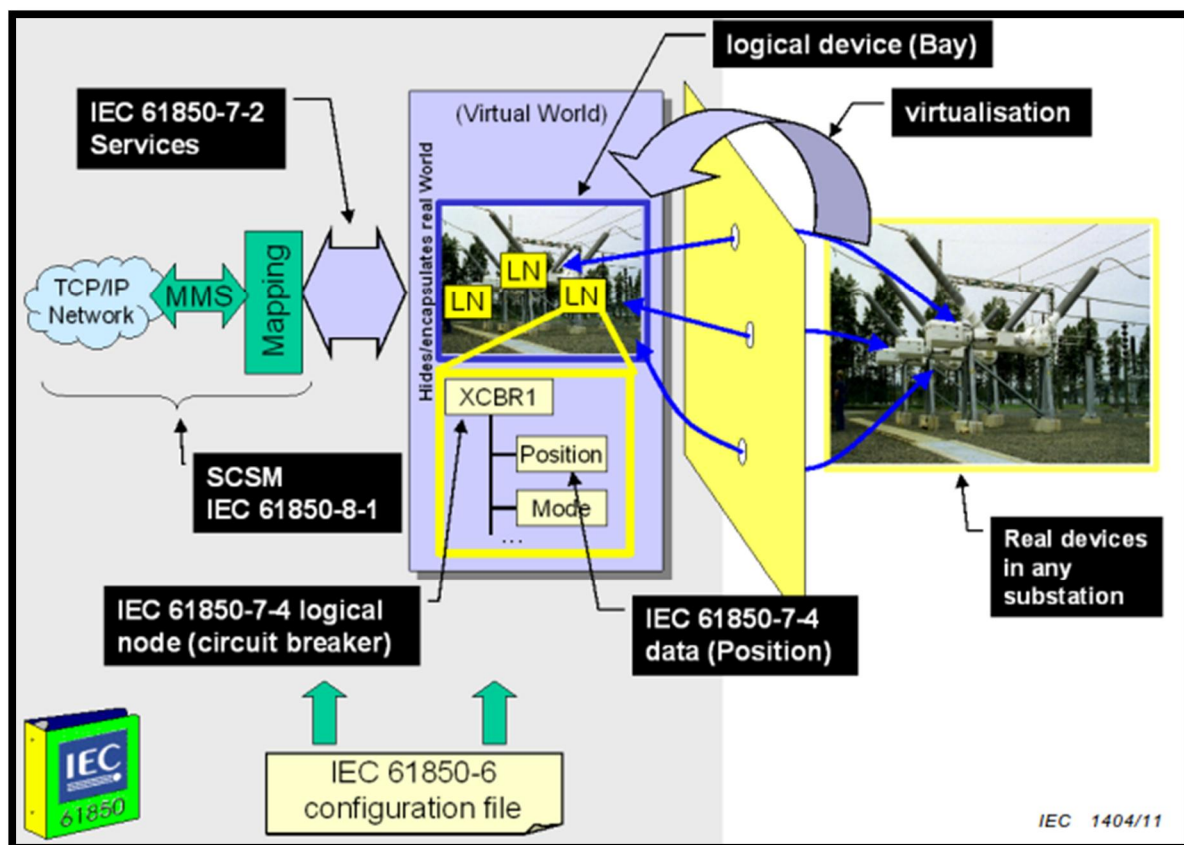
KUVA 3. IEC 61850 datan mallinnus (Introduction and overview, 2013, s. 24)

Yksi IEC 61850 -standardin merkittävimmistä osista on datan mallinnus, jota kuvissa 3 ja 4 havainnollistetaan. Malli koostuu fyysisestä laitteesta, loogisesta laitteesta, loogisista solmuista, dataobjekteista ja data-attribuuteista.

Fyysinen laite on jokin IED-laite, esimerkiksi jo aiemmin mainittu erotin ja siihen liittyvä digitaalinen erotinohjain. Mallin ensimmäinen taso on looginen laite. Standardi ei anna tarkkaa määritelmää, kuinka loogiset laitteet "järjestellään" fyysiseen laitteeseen, mutta yhtä loogista laitetta ei voi hajauttaa useisiin eri fyysisiin laitteisiin, vaan sen pitää toimia yhden IED-laitteen alaisuudessa. Looginen laite edustaa yleensä joukkoa tyypillisiä automaatiotoimintoja, suojauksia tai muita toimintoja. Looginen laite voi siis olla esimerkiksi virtuaalinen esitys kenttäyksiköstä.

Looginen laite koostuu useista pienistä osista, joita kutsutaan loogisiksi solmuiksi. Loogiset solmut ovat pienimpiä itsenäisiä kokonaisuuksia, jotka voivat vaihtaa tietoa. Kuvassa 3 on esimerkiksi virtuaalinen esitys katkaisijaluokasta, joka on nimetty standardoidulla luokan nimellä XCBR. Toinen looginen solmu kuvassa on mittausarvo MMXU. Loogisessa solmussa XCBR on sisällä dataobjekti, esimerkiksi asentotieto Pos. Dataobjekti sisältää data-attribuutteja, jotka ovat StVal (Status Value) eli tilatieto, q (quality) eli laatu ja t (Time Stamp) eli aikaleima. (Introduction and overview, 2013, s. 24)

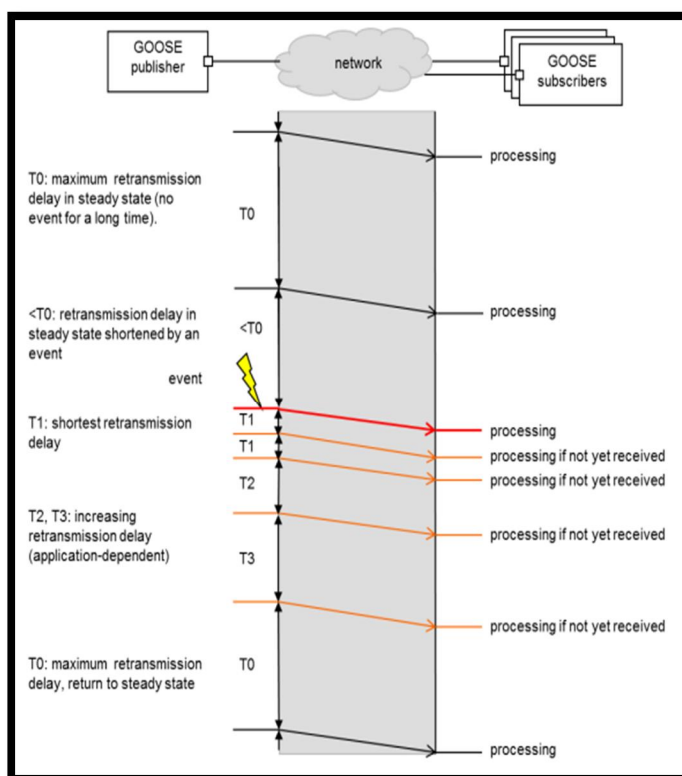
Loogisessa laitteessa olevilla loogisilla solmuilla voi olla erilaisia toimintatiloja kuin sillä loogisella laitteella, johon ne kuuluvat. Esimerkiksi yksittäinen looginen solmu voi olla lukitustilassa, ilman että koko looginen laite olisi lukittuna. (Introduction and overview, 2013, s. 25)



KUVA 4. Datamalli toisella tavalla esitettynä (Basic communication structure - Principles and models, 2011, s. 17)

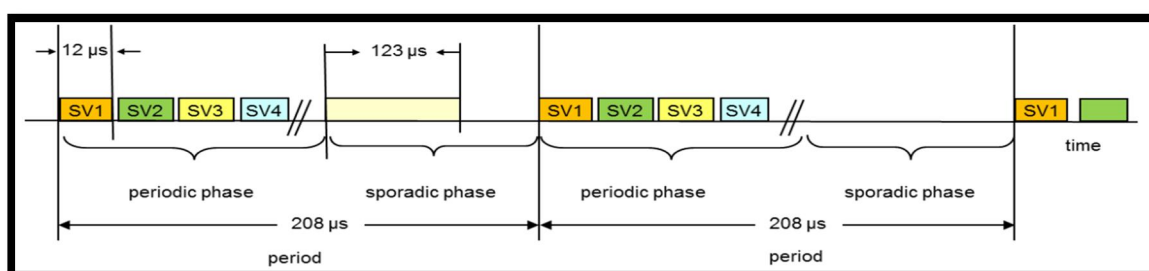
Standardi ottaa kantaan myös primääri- ja sekundäärilaitteiden väylätopologioihin, joista varsinkin primäärilaitteiden prosessiväylän topologiaa selvitetään tässä työssä. Topologialla tarkoitetaan tietoverkkorakennetta, jolla laitteet liitetään toisiinsa. Luvussa 5.3 topologioiden yhteydessä mainitaan SV- ja GOOSE-protokollat, jotka ovat IEC 61850 -standardin määrittelemiä kommunikointikieliä.

GOOSE-kommunikointi koostuu nopeasta tapahtumapohjaisesta, mutta hidassyklisestä tiedonsiirtämisestä. Kun jokin ennalta määritetty tapahtuma esiintyy, IED-laite lähettää välittömästi GOOSE-viestin, joka sisältää tapahtumaan liittyviä arvoja, joista selviää mitä on tapahtunut. GOOSE-viestit ovat monikanavaisia lähetyksiä ja viestien määränpää ei kuittaa niitä saaduksi. Ohimenevien virheiden korjaamiseksi GOOSE-viestit lähetetään uudelleen useita kertoja peräkkäin. Viestit eivät myöskään jätä niiden LAN-verkkoa eivätkä ne voi ylittää reitittimiä. Ne tunnistetaan niiden lähteen MAC-osoitteen ja viestissä olevan tunnisteiden perusteella. GOOSE-protokollalla voidaan esimerkiksi lähettää suojaukselta katkaisijalle laukaisukäsky. (Network engineering guidelines, 2013, s. 30)



KUVA 5. GOOSE-protokolla, ajan suhde etäisyyteen (Network engineering guidelines, 2013, s. 31)

SV- eli näytearvo-protokollaa käytetään pääasiassa analogisten arvojen siirtämiseen sensoreilta IED-laitteille, tällaisia analogisia arvoja ovat esimerkiksi jännite- ja virtatiedot. SV-viestit tunnustetaan GOOSE-viestien tapaan MAC-osoitteen ja viestissä olevan tunnusteen avulla. SV-protokollassa ei ole uudelleenlähetysominaisuutta, vaan kadonnut näyte ylikirjoitetaan seuraavalla onnistuneella näytteellä. SV-viestejä lähetetään syklisesti korkealla taajuudella. 50 Hz verkkotaajuudella yhden viestijakson kesto on $208 \mu\text{s}$. Tyypillisen 160 tavun kokoisen SV-viestin välittäminen kestää 100 Mbit/s verkkoyhteydellä noin $12 \mu\text{s}$. Jaksoon pitäisi myös mahtua enintään 123 μs pituinen FTP-viesti (File Transfer Protocol), mikä rajoittaa SV-viestejä lähettävien laitteiden määrän noin kuuteen laitteeseen. SV-viestien määrä pitäisi pitää pienenä ja häiriöiden välttämisen vuoksi kaikkien samalla väylällä olevien SV-lähteiden pitäisi toimia saman jakson aikana. (Network engineering guidelines, 2013, s. 32)



KUVA 6. Esimerkki SV-liikenteestä (Network engineering guidelines, 2013, s. 32)

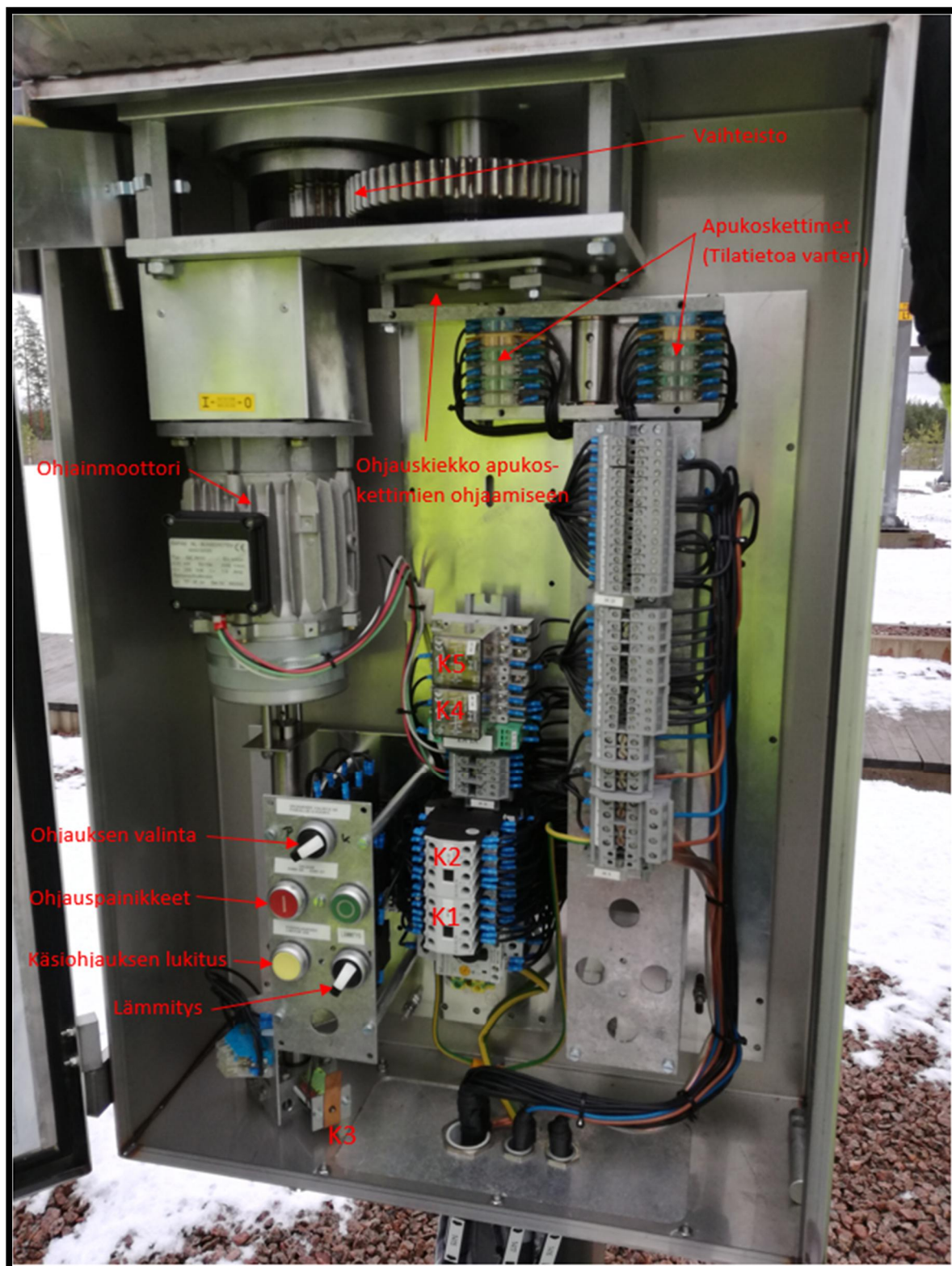
5 SELVITYSTYÖ IEC 61850 -STANDARDIN MUKAISESTA EROTINOHJAIMESTA

5.1 Nykyisten erotinohjainten toimintaperiaate

Fingridin kytkinlaitteet sijaitsevat pääasiassa sähköasemien kytkinkentillä. Kytkinlaitteita voidaan ohjata käsin, mutta normaalissa tilanteessa kytkinlaitteiden tilaa vaihdetaan moottorihjaimien avulla. Moottorihjaimet yhdessä asema-automaation kanssa mahdollistavat kaukokäytön aseman valvomosta tai Helsingissä sijaitsevasta verkkokeskuksen valvomosta. Asema-automaatiototeutuksia on kahdenlaisia. Keskitetyt järjestelmät, joissa ohjaukset välittyvät RTU:n kautta kontaktoreille ja niiltä edelleen moottorihjaimille, sekä hajautetut järjestelmät, joissa ohjaukset välittyvät RTU:lta asema-LAN:lla kenttäohjausyksiköille ja niiden koskettimilta edelleen moottorihjaimille.

Nykyinen ohjainrakenne on yksinkertainen, erittäin varmatoiminen ja sen toimintaperiaate on helpposti ymmärrettävissä. Yksinkertainen rakenne helpottaa huoltotöiden tekemistä, mutta erotinohjaimelta saatavat tiedot ovat hyvin rajallisia, käytännössä ne rajoittuvat erottimen tilatietoihin ja hälytyksiin.

Perinteiset ohjaimet on toteutettu kontaktoreilla, joiden apukoskettimia käytetään hyväksi ohjauksien, tilatietojen ja lukitusten aikaansaamiseksi. Kuvasta 7 nähdään, että ohjaimelle tuodaan yhteensä 3 kuparikaapelia, kaksi ohutta ja yksi paksumpi kaapeli, jossa on useita johtimia. Kuvan 7 tapauksessa ohuet kaapelit ovat tyypiltään MCMK 2x2,5+2,5 ja paksumpi MCMO 12x2,5. Kahdella ohuemmalla kaapelilla tuodaan ohjainmoottorin ja lämmityksen tarvitsemat käyttöjännitteet. Kuvan 7 moottori toimii 220 VDC-jännitteellä ja lämmitystä varten tarvitaan 230 VAC-jännite. Käyttöjännitteet ovat ohjaimen kannalta välttämättömiä, eikä digitalisoitumisella voida näihin vaikuttaa. Koltamatta paksuinta kaapelia käytetään lukitukseen, ohjaimen kontaktoreiden ohjaamiseen, hälytysten välittämiseen sekä erottimen tilatietojen välittämiseen eteenpäin. Myös tässä kaapelissa käytetään 220 VDC-jännitettä.



KUVA 7. Hapam EAF-tyyppin erottimenohjain Kymin sähköasemalla (Kaukonen, 2017b)

Erotinohjainmalleja on erilaisia, mutta toimintaperiaatteet ovat samankaltaiset. Erotinta ohjataan kiinni ja auki moottorin pyörimissuuntaa vaihtamalla. Moottori pyörittää pääakselia vaihteiston välityksellä, akseli ohjaa erottimen lisäksi siihen liitettyä ohjaukiekkoa, joka puolestaan ohjaa apukoskettimia. Apukoskettimet ohjautuvat auki ja kiinni ohjausjakson loppupuolella, eikä niiden pitäisi voida jäädä niin sanottuun väliasentoon. Kuitenkin joskus ohjauksen loputtua valvomoon menee

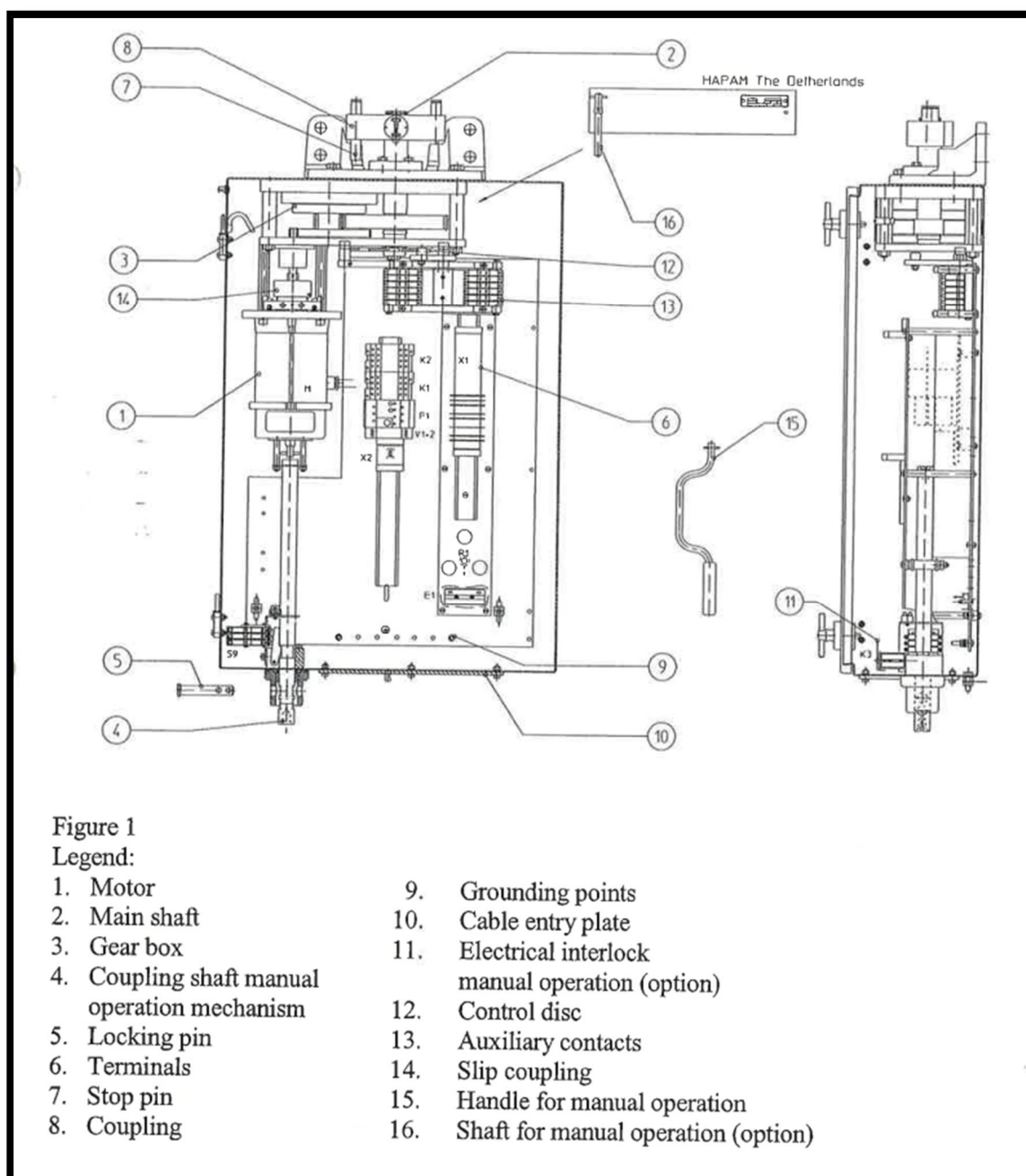
tieto väliasennosta, vaikka erotin on oikeasti ohjautunut kiinni tai auki. Tämä johtuu siitä, että ohjauksen loputtua ohjauskiekkko nytkähtää taaksepäin ja tämä voi vielä ohjata koskettimia. Moottoriin on myös ennen vaihteistoa lisätty kitkajarru. Jos moottorin akseli jostain syystä jumittuisi, jarru rajoittaisi moottorin momenttia. Moottoripiirissä on lisäksi suojarole, joka toimii sille asetetun ajan kuluessa akselin lukkiutumisen (Hapam EAF-typissä aika on 30 s).

Opinnäytetyön liitteenä (Liitteet 2-5) on piiri- ja ohjauskaavioita nykyisestä järjestelmästä. Kaavioista nähdään, että RTU-yksiköillä ohjataan perinteisiä välireleitä ja kontaktoreita, joiden apukoskettimilla ohjataan päälle ja pois erilaisia lukituksia sekä ohjataan ohjainmoottorin toimintaa. Moottoriohjaimen piirikaaviota (Liite 2) vasemmalta oikealle päin mentäessä on ensimmäisenä lämmityksen ohjaus. Ohjaimet on varustettu lämmityksellä, ettei niihin pääsisi muodostumaan kosteutta, joka on sähkölaitteille haitallista. Todella kylmien olosuhteiden varalta ohjaimet voivat olla varustettuna vielä lisälämmittimellä. Piirikaaviossa seuraavana on jo aiemminkin mainittu moottorinsuojarole F1, joka suojaa moottoria ylikuumentumiselta.

Kolmas ohjauspiiri kuvaa käsiohjauksen lukitustoimintoja. Toimintojen ymmärtämisen helpottamiseksi mukaan on liitetty kuva 8. Suluisissa olevat osa-viittaukset liittyvät tähän kuvaan.

Kontaktori K4 vahtii, täytyvätkö lukitusehdot. Sen pitää olla vetäneenä, että moottorin ohjauspiiri voi toimia. Opinnäytetyön liitteenä (Liite 6) on kuva lukitusten logiikkakaaviosta, josta voi yhdessä pääkaavion kanssa tarkastella, milloin eri erottimet ovat ohjattavissa. Jos painiketta S10 painetaan eli käsiohjauksen lukitus otetaan päälle, lukitusmagneetti K3 vetää ja käsiohjauksen lukitus vapautuu, jolloin ohjausvipun (Kuva 8, osa 4) lukitus poistuu ja vipua pystyy ohjaamaan. Jos lukitusmagneetti K3 olisi epäkunnossa, pystyy ohjausvipun vapauttamaan myös lukitusmagneetin luona olevalla vivulla käsin (Osa 11). Ohjauspiiriin kuuluu vielä lisäksi kytkin S9, joka aukeaa silloin, kun ohjausvipu painetaan ohjaimen sisään. Kytkimen S9 apukoskettimet katkaisevat ohjaus- ja moottoripiiriltä nollan. Tässä tilassa erotinta ohjataan täysin manuaalisesti ohjauskammella (Osa 15) tai -tapilla (Osa 16). Ohjaustappi sopii esimerkiksi akkuporakoneeseen.

Edellä kuvailtu rakenne mahdollistaa myös ohjaimen täydellisen lukitsemisen, esimerkiksi huoltotöiden ajaksi. Tällöin ohjausvipu työnnetään ohjaimen sisään ja se lukitaan lukitussokalla (Osa 5). Tässä tilassa moottori- ja ohjauspiiri on katkaistu. Lukitus voidaan varmistaa vielä erillisellä riippulukolla. Käsiohjauksen ja lukituksen lisäksi ohjain voidaan asettaa toimimaan pelkällä moottorilla. Tällöin ohjausvipu on ala-asennossa, eli se ei ole työnnettynä ohjaimen sisään. Tällöin manuaalinen käsinohjaus ei ole mahdollista, vaan ohjain on normaalissa toimintatilassaan.

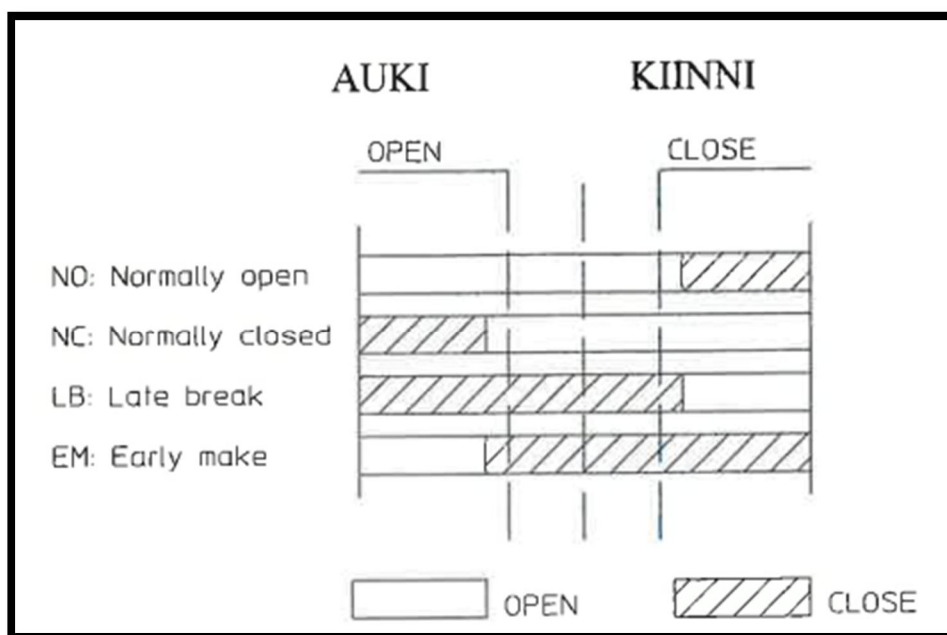


KUVA 8. Ohjaimen rakennekuva selityksineen (Hapam, 2004)

Neljännessä ohjauspiirissä esitetään kauko- ja paikallisohjauksen toiminnallisuudet. Kytkimellä S8 voidaan asettaa laitteisto toimimaan kaukokäytöllä, paikalliskäytöllä tai poistaa ohjaukset kokonaan käytöstä. Kaukokäyttötilassa ohjausta voidaan tehdä valvomosta. Valvomohenkilöstö voi ohjata tietokoneelta asema-automaatiota, joka kontaktoreiden avulla ohjaa piirin toimintaa. Paikalliskäytössä ohjainmoottoria käytetään painonappien S6 ja S7 avulla. Ohjauspiirissä käytetään boosteri-vastuksena vastusta R1. Boosteri-vastusta käytetään, koska kontaktoreiden K1 ja K2 pitojännite on huomattavasti alhaisempi kuin vetojännite. Vetojännite välitetään kontaktoreille niiden lisäkoskettimien avulla, kun kontaktori vetää, se avaa lepotilassa kiinni olevat koskettimensa, joiden kautta vetojännite saatiin, jolloin pitojännite saadaan ohjattua vastuksen R1 kautta. Lisäkoskettimia käytetään myös varmistamaan, ettei kumpikin kontaktori voi olla vetäneenä samaan aikaan.

S1:1 ja S1:2 koskettimet ovat rajakytkimiä, joita käytetään moottorin pysäyttämiseen. Rajakytkimet sijaitsevat apukosketinrakassa, joka näkyy kuvissa 7 ja 8 (Osa 13). Esimerkiksi, kun erotinta ajetaan kiinni, kontaktori K1 on vetäneenä niin kauan, kunnes moottori on pyörittänyt ohjaukseen noin 185 astetta. Tämän jälkeen avautuva kosketin S1:1 avautuu ja katkaisee moottorin ohjauksen. Samalla kosketin S1:2 menee kiinni, mutta moottori ei lähdä pyörimään auki-suuntaan ennen kuin paikalliskäytössä painetaan painiketta S7 tai kaukokäytössä ohjataan kontaktoria K2 kontaktorin K13 välityksellä.

Moottorin ohjauspiiri on piirikaavion viimeinen varsinainen ohjauspiiri. Moottorin pyörimissuunta määräytyy sen mukaan, onko K1 vai K2 vetäneenä. Nämä kontaktorit ohjaavat moottoripiiriin koskettimia. Diodit V1 ja V2 toimivat boosteridiodeina katkaistaessa moottorin virtapiiriä. Ohjausjakson lopussa diodi kytkeytyy apukoskettimien S1:3 tai S1:4 avulla. Rele K5 on vetäneenä aina, kun moottoripiirissä on jännite, eli F1 koskettimien ollessa kiinni ja kun kytkintä S9 ei ole painettu. Sen tarkoituksena on ilmaista, tuleeko moottoripiirille jännite vai ei. Releen K5 apukoskettimet katkaisevat ohjauksen miinuspiirin, jos moottoripiirille ei tule jostain syystä jännitettä.



KUVA 9. Apukoskettimien toimintaperiaate. Väliasento ei ole sallittu (Hapam, 2004)

5.2 IEC 61850 -yhteensopivan erotinohjaimen rakenne ja toimintaperiaate

GE Alstom on kehittämässä digitaalista erotinohjainta, joka kantaa tuotenimeä DWatch. Kehitystyö on jo hyvin pitkällä ja Ranskassa on tehty pilottihanke uusilla digitaalisilla laitteilla. Myös Fingrid on suunnittelemassa uusien digitaalisten erotinohjainten testaamista Naantalinsalmen sähköasemallaan. Erotinohjaimen perusideana on, että se pystyy muuttamaan mittaamia analogisia suureita digitaalisiksi, jotka se sitten välittää eteenpäin käyttäen IEC 61850 -standardiväylää. Ohjainta pystyy myös ohjaamaan digitaalisesti ja se osaa optimoida älykkäästi omaa toimintaansa. Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi laite pystyy ohjaamaan tai esittämään muun muassa seuraavia toiminnallisuuksia ja tietoja: Jännitteen syöttö, kulutettu virta, toiminta-aika, erotin liikkuu/ei liiku, toimintakertalaskuri, suurin saavutettu virta, pienin toimintajännite, moottorin vääntö ja jännitteisten osien lämpötila. (GE Grid Solutions, 2016)

Erottimen ulkonäkö vanhaan malliin verrattuna on pysynyt hyvin pitkälti ennallaan. Ohjaimen kotelo on tehty ruostumattomasta teräksestä ja sen kotelointiluokka on IP55. Ohjaimessa on edelleen ohjaustavan valintakytkin ja painikkeet erottimen sulkemista ja avaamista varten. Manuaalinen ohjaus tehdään kammien avulla ja kammien paikalleen laittamisen estämiseen tarkoitettua lukitusta ohjataan releellä. Uudessa ohjaimessa on luonnollisesti mukana elektroniikkaa, mitä vanhassa mallissa ei ollut. Elektroniikan vuoksi ohjaimen lämmitysjärjestelmä on jopa tärkeämmässä osassa kuin aiemmin, koska elektroniikka voi olla herkkää suurille lämpötilanvaihteluille ja ennen kaikkea kosteudelle. (GE Grid Solutions, 2016)

Suomessa vallitsevat haastavat olosuhteet, joten Fingridille on tärkeää, että sen käyttämät laitteet on testattu huolellisesti eri tilanteissa. GE on kertonut testanneensa uutta erotinohjainta myös jäätävissä olosuhteissa, joka on epäilemättä yksi haastavimmista tilanteista, joita se Suomen ilmastossakin tulee kohtaamaan. Fingrid vaatiikin erotinstandardia tulkiten, että erottimen on kyettävä murtaamaan 20 mm jääkerros auki- ja kiinniohjauksessa ilman, että laite vaurioituu. DWatchille on tehty testejä jopa -60 °C lämpötilassa ja se pystyy ohjaamaan erotinta jääkuormasta huolimatta. Tällaisia tilanteita varten järjestelmä osaa säätää ohjainmoottorin vääntöä ja nopeutta kuormitustilanteen mukaan. Jos erotin jostain syystä jumittuisi täysin, on ohjain varustettu erillisellä virta-anturilla, joka havaitsee myös moottorin kannalta liian suureksi kasvavan virran ja tarpeen vaatiessa katkaisee moottorin syötön ylikuormituksen välttämiseksi. Valmistajan suosittama käyttölämpötila on -40/+55 °C. Erotinohjaimen hyviin puoliin kuuluu sen ominaisuus ehdottaa huoltoja toimintakertojen ja olosuhteiden mukaan. Digitalisaation yleistyessä tämä voisi antaa Fingridille mahdollisuuden siirtä määräraikaishuolloista huoltoihin, jotka tehtäisiin vain tarpeen vaatiessa. Digitaalinen ohjain ei kuitenkaan pysty mittaamaan erottimen koskettimien läpimeno-resistanssia. Läpimeno-resistanssi on siis edelleen mitattava erillisen mittalaitteen avulla, mutta mittaamista voidaan osittain korvata lämpökuvauksella edellyttäen, että kuormitusvirta on riittävä. (Stella;Da Villa;Bergamo;Dario;& Peltola, 2017; GE Grid Solutions, 2016)

Yksi mielenkiintoinen ominaisuus on myös erottimen koskettimiin asennetut anturit. GE Alstom on kehittänyt järjestelmän tuntemattomaksi jääneen yhteistyökumppaninsa kanssa. Erottimen koskettimissa on anturi, joka on langallisesti liitetty pienen välimatkan päässä olevaan vastaanottimeen, johon puolestaan otetaan langattomasti yhteyttä ohjaimessa olevalla jagiantennilla. GE:n mukaan anturi ja sen vastaanotin eivät tarvitse ulkoista virtalähdettä, koska ne saavat toimintoihin tarvitsemansa energian langattomasti jagiantennilta. Yhteys vastaanottimen ja antennin välillä on toimiva noin 6 m:iin asti. Yhtä anturia varten tarvitaan yksi antenni, ja siksi ohjaimessa onkin kolme liitäntäpaikkaa antennejä varten, jos esimerkiksi kolmen eri vaiheen erottimille käytetään yhteistä ohjainta. Tällä hetkellä tekniikkaa ei ole vielä hyödynnetty täysin, vaan koskettimien pääasiallinen tarkoitus on lähettää ohjaimelle tieto siitä, onko erotin ylikuormitettu. GE on kertonut kehittävänsä tekniikkaa monipuolisemmaksi, ja että tulevaisuudessa voisi olla mahdollista, että valvomossa pystyttäisiin seuraamaan koskettimien lämpötilaa reaaliajassa. Tiedon avulla erotinta voitaisiin teoriassa kuormittaa ylivirralla ja samalla voitaisiin seurata, etteivät koskettimet ylikuumene. Lisäksi antureiden ja logiikan avulla voitaisiin päätellä kosketinlämpötilojen perusteella niiden kuntoa ja huoltotarvetta. On kuitenkin muistettava, että lämpötilat koskettimien eri kohdissa voivat olla hyvinkin erilaisia, joten mittaus-tiedon tarkkuuteen ja luotettavuuteen on syytä suhtautua varauksellisesti.

Tärkeä osa uutta ohjaintekniikkaa on myös eri lukitusten toteutukset ja se, kuinka eri kytkennät käytännössä tapahtuvat. Vanhassa mallissa ohjauspiirissä oli kontaktori vahtimassa lukitusehtojen täyttymistä (Vanhassa järjestelmässä K4, liite 2) ja lukitusmagneetti estämässä tai sallimassa kammien paikalleen laittamisen (Vanhassa järjestelmässä K3, liite 2). Myös nykyisessä ohjaimessa nämä molemmat ominaisuudet ovat. Lukitusmagneetti on ennallaan, eli se on kammien aukon vieressä ohjausmassa lukituskieltä. Alstomin ohjaimissa lukitukseen käytetään lukituskieltä, kun Hapamin vastaava toiminto toteutettiin vipusysteemillä, joka kuvattiin luvussa 5.1. Lukitusehtoja valvotaan digitaalisessa ohjaimessa piirikortissa olevan logiikan avulla, eli perinteistä kontaktoria tähän ei enää välttämättä tarvita, mutta kuitenkin asiakkaan niin halutessa, voidaan tämä toteuttaa myös perinteisellä tavalla. Sama koskee myös moottoripiirin jännitteen valvontaa (Vanhassa järjestelmässä K5, liite 2), se on toteutettu piirikortissa logiikan avulla, mutta myös se voidaan toteuttaa perinteistä relettä käyttämällä.

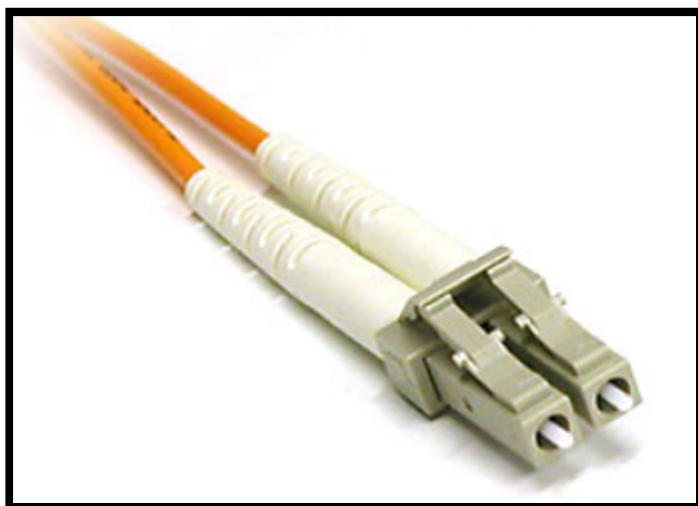
Moottorin rajakytkintoiminnot voidaan toteuttaa joko mekaanisilla apukoskettimilla tai sitten uuden digitaalisen ohjaimen mahdollistamalla pulssienkooderilla, joka tunnistaa moottorin pyörimissuunnan sekä nopeuden ja kulman, jonka moottori on pyörinyt. Enkooderin etu on, ettei se vaadi huoltoa tai säätöä. Perinteisen apukosketinpakan välitilaongelma voi korjautua, kun tilatietojen hankkimiseen käytetään enkooderia.

Digitaalinen ohjain on varustettu niin sanotulla mustalla laatikolla, joka tallentaa erottimen tapahtumia. Jos erotinohjain vikaantuisi ja yhteys siihen menetettäisiin, voitaisiin erotinohjaimessa oleva piirikortti irrottaa ohjaimesta ja lukea tietokoneella sen tallentamat tiedot ennen vikaa. Tämä ominaisuus auttaa vikaa edeltävien tapahtumien ymmärtämistä ja mahdollisesti vian syyn selvittämisessä.

5.3 Prosessi-LAN-topologiaratkaisut ja ohjaimen liittyminen

Asema -ja prosessiväyläratkaisuja suunniteltaessa tavoitteena on, ettei yksittäisen laitteen tai viestiyhteyden vikaantuminen lamautta koko järjestelmän toimintaa. Tästä syystä väylät suunnitellaan ja rakennetaan yleensä kahdennettuna, eli vaikka väylä jostain kohtaa katkeaisi tai kytkin rikkoutuisi, pääsee informaatio silti toista kautta läpi kohteeseensa. Lisäksi tiedonsiirtoreittien tulee olla itsevalvottuja siten, että yhteyden vikaantumisesta saadaan aina hälytys.

IEC 61850–90-4 -standardin osassa suositellaan käyttämään 50 µm (50/125) duplex-monimuotoväyläkaapelia, mutta myös muunlaisia hyväksi todettuja kuitutyyppejä voi käyttää. Samalla standardi suosittelee käyttämään kuiduissa LC-liittimiä niiden pienen kokonsa ja yksinkertaisen rakenteen vuoksi. Samalla liitinrakenne yhdessä kuidun värikoodin kanssa helpottaa kuitujen oikeinpäin kytkemistä. LC-liittimet ovat kuvan 10 mukaisia. Fingrid on toteuttanut Kiikanlahden sähköasemallaan ohjausväylän niin, että RTU:lta tuodaan väylä kahdennettuna kahdelle eri väyläkytkimelle käyttäen CAT6 RJ45-RJ45-tietoliikennekaapelia IEC 61850 -standardiväylänä. Väyläkytkimiltä jatketaan 62,5/125 duplex LC-LC monimuotokuidulla rengasmaisesti eri kenttien kenttäohjauksyksiköille. Suojausväylä on toteutettu vastaavasti, mutta väylä kulkee väyläkytkimiltä jokaisen kentän suojareleille. Suojaus- ja ohjausväylä ovat siis toisistaan erotettuja kokonaisuuksia. Kiikanlahden asemalla ei kuitenkaan ole käytössä prosessiväylää, vaan ohjaus- ja tilatietojen välittämiseen kenttäohjauksyksiköiltä moottorihajaimille käytetään perinteisiä kuparijohtimia.



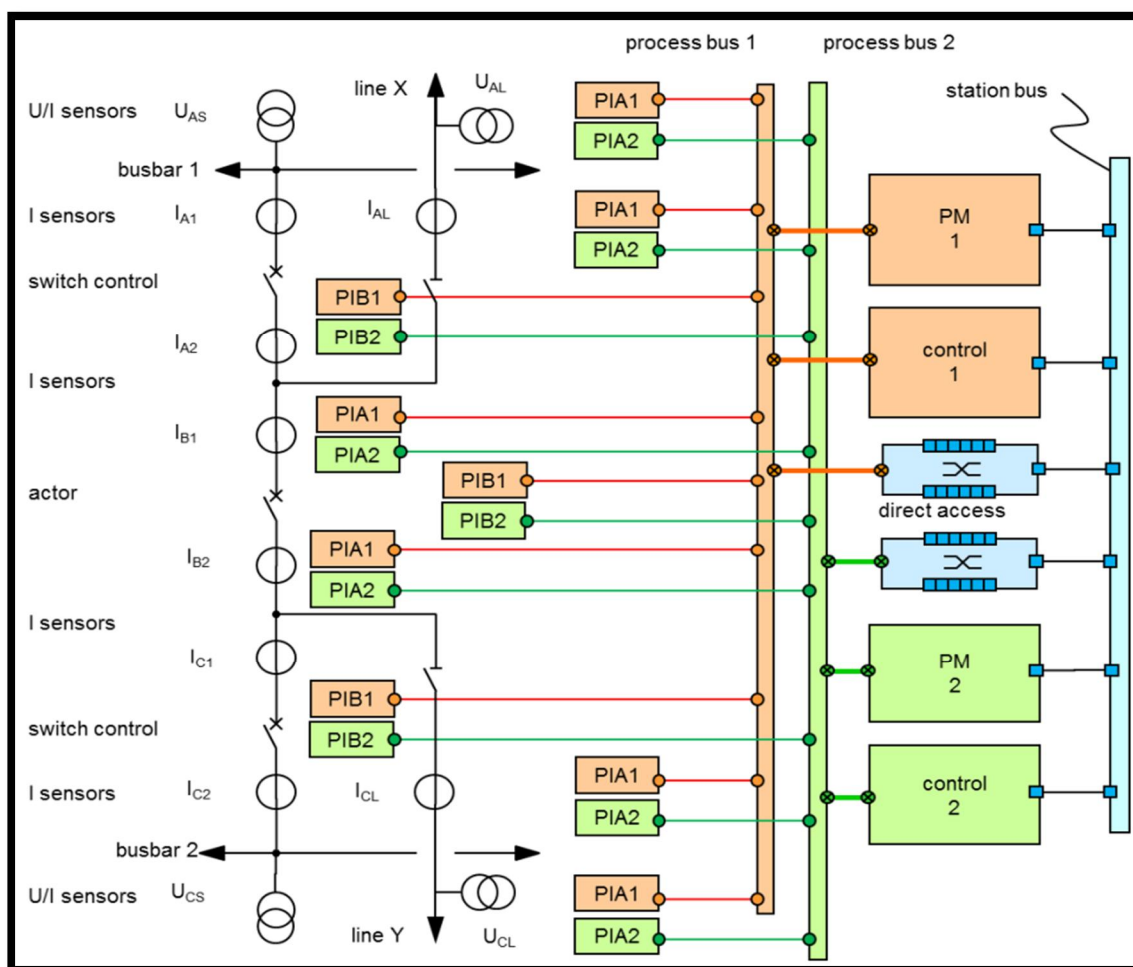
KUVA 10. LC-kuituliitin (Timbercon, 2017)

Ennakkotietojen mukaan GE:n tekemässä digitaalisessa erotinohjaimessa ei ole kuin kaksi väyläliityntäpaikkaa ilman tietoliikennekytkimiä, mikä vaikuttaa prosessi-LAN-topologian suunnitteluun ja toteutukseen. Tämänhetkinen tilanne mahdollistaa kahdennetun tähtitopologian, joka on tiedonsiirrollisesti varmatoiminen ja toiminnallisuudet saataisiin säilytettyä, vaikka toinen prosessiväylästä vikaantuisikin. Tämä topologiaratkaisu vaatii kuitenkin enemmän väyläkaapelia tai -kuitua rengastopologiaan verrattuna, mikä taas lisää rakennuskustannuksia.

Käytännössä prosessiväylän lopullinen toteutus tullaan siis tekemään joko kahdennettuna tähtenä tai mahdollisuuksien mukaan rengastopologiana. IEC 61850-90-4 -standardissa on esitetty useita prosessiväylämalleja kommentteineen, joista opinnäytetyöhön poimittiin kaksi hyvää vaihtoehtoa ja ne esitellään kuvissa 11 ja 12. Taulukoihin 1 ja 2 on listattu topologioiden ominaisuuksia. Tiedot ovat peräisin standardista ja opinnäytetyön aikana tehdyistä selvityksistä.

Helpoin tapa toteuttaa fyysinen prosessiväylä on yhdistää PI:t (Process Interface) suoraan toisiopuolen IED-laitteisiin. Tähän vaaditaan DWatchin kaltainen älykäs primääri-laite. PIA on prosessin analoginen rajapinta jännitteen ja virran mittaamista varten, ja PIB on prosessin binäärinen rajapinta katkaisijoiden ja erottimien ohjausta varten. Esimerkiksi konventionaaliset ja ei-konventionaaliset mitta- ja muuntajat ovat liitoksissa PIA:n kanssa. PIA:t on kytketty ulostuloistaan suoraan prosessiväylän ja tiedonsiirtosillan kautta toisiopuolen IED-laitteisiin. PIA:t sijaitsevat primääritekniologiassa ja ne muuntavat virta- ja jännitesensoreilta saatavat analogiset signaalit SV-protokollaan. Myös PIB:t sijaitsevat primäärilaitteissa ja ne puolestaan ymmärtävät ja muodostavat GOOSE-viestejä. PIA:t eivät "keskustele" keskenään, mutta PIB:den välillä voi olla tiedonsiirtoa. (Network engineering guidelines, 2013, s. 83)

Jotkin laitevalmistajat valmistavat niin sanottuja Mergin Unit-yksiköitä, jotka toimivat vastaavanlaisesti kuin PI:t, mutta ne eivät ole laitteisiin sisäänrakennettuja vaan täysin erillisiä laitteita, jotka muuntavat analogisia viestejä digitaaliseen muotoon. Näillä laitteilla voidaan muuttaa sähköasemaa enemmän IEC 61850 -standardin mukaiseksi digitaaliseksi sähköasemaksi ilman, että vanhaa laitekantaa joudutaan täysin uusimaan.



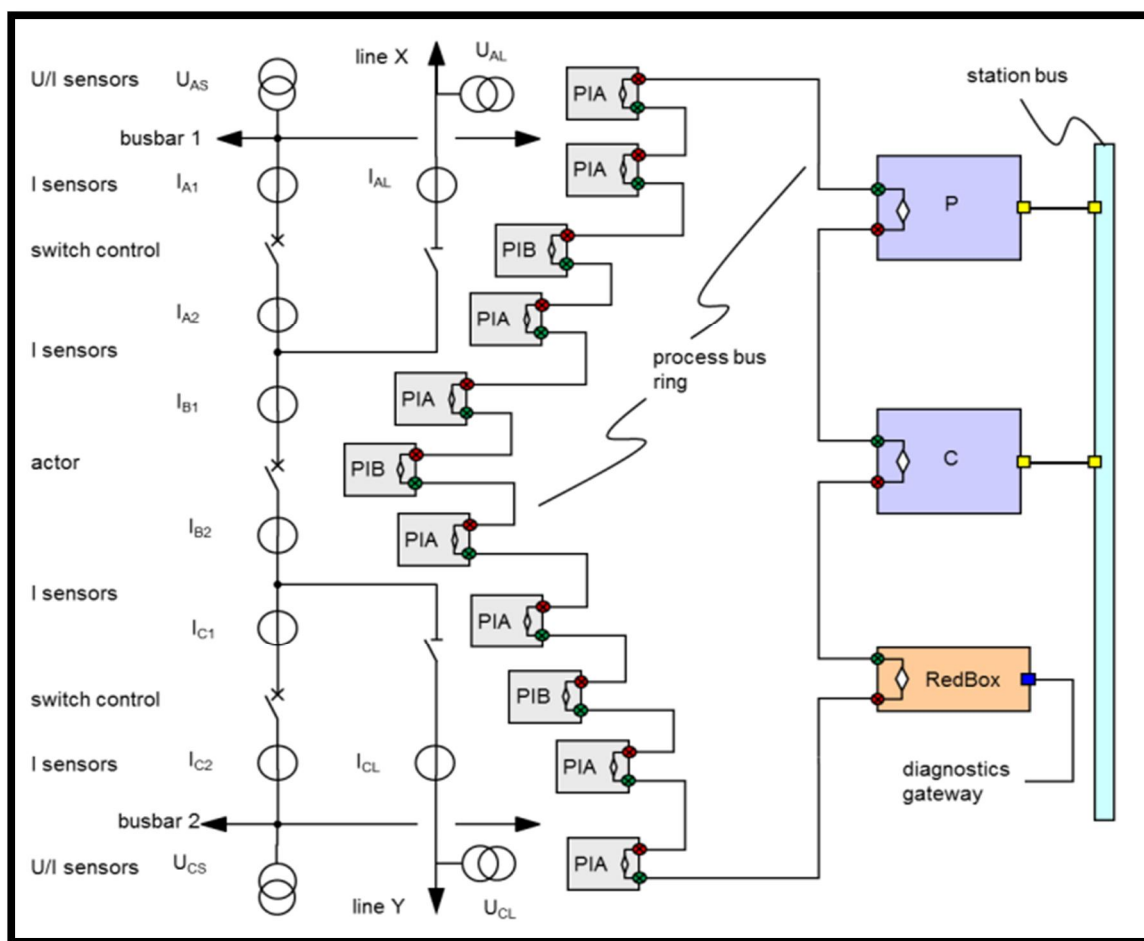
KUVA 11. IEC 61850 -standardin esitys kahdennettusta tähtitopologiasta kahdella tietoliikennesillalla (Network engineering guidelines, 2013, s. 90)

TAULUKKO 1. Kahdennettulle tähtitopologialle ominaiset piirteet taulukoituna (Network engineering guidelines, 2013, s. 90)

Kahdennettu tähtitopologia kahdella tietoliikennesillalla	
Ominaisuus	Topologialle ominaista
Yksinkertaisuus	Suhteellisen yksinkertainen, mutta vaatii paljon väyläkaapelia ja useita siltoja/kytkimiä.
Tiedonsiirron hallinta	Tarvittava kaistanleveys on helposti arvioitavissa. Jos kaikki liikenne kulkee PI:ltä IED:lle, PI:t voidaan liittää 100 Mbit/s yhteyksiin, jos monikanavainen lähetysoodatetaan oikein. PI:den ja näytteenottojen lukumäärä määräytyy sillan/kytkimen kapasiteetin mukaan ja vaikka tämä olisikin riittävä, niin myös IED:n tiedonsiirtokapasiteetti on otettava huomioon. Prosessiväylän ja asemaväylän yhteen liittäminen suoraan on mahdollista, jos monikanavalähtettäminen suodatetaan oikein.
Latenssi	Matala latenssi, data joutuu ylittämään vain yhden sillan.
Redundanssi	Yksittäinen vika suojauksessa tai ohjauksessa ei lamautta järjestelmää.
Spesifisyys	PIA:t ja PIB:t ovat erityistä primääriteknologiaa. Kaikki IED:t on mukautettava järjestelmään.
Rajoitteet	Jos PI-laitteita on suuri määrä, ne voivat tarvita jopa 1 Gbit/s yhteyden, jotta tietoliikenne on varmasti riittävän nopeaa. Lisäksi on varmistettava, että esimerkiksi prosessiväylä 1:n vikaantuessa, tiedonsiirto siirtyy saumattomasti käyttämään prosessiväylä 2:a.

Prosessiväylää rakennettaessa väyliä voidaan joutua jakamaan useampaan osaan tietoliikennesiltojen tai -kytkimien avulla. Sillat ovat niin sanotusti tyhmiä, eli ne eivät osaa jakaa saamaansa dataa jollekin tietylle portille, vaan ne heijastavat saamansa datan kaikille porteille. Kytkimet taas ovat älykkäitä ja ne osaavat tulkita, mille portille saatu data pitää syöttää. Siltojen käyttö on nykyisin vähentynyt, koska se kuormittaa verkkoa enemmän. Toisaalta sillat sopivat IEC 61850 -standardin mukaiseen prosessiväylään, koska IED-laitteille on määritelty, mitä viestejä niiden pitää ottaa vastaan ja totella. (Litmanen, 2017)

Syy, miksi kuvan 11 topologiassa tietoliikennesillat tai -kytkimet tarvitaan, eikä väyläkaapeleita tai -kuituja viedä ohjaus- ja suojauslaitteilta suoraan primäärilaitteille on se, ettei niissä ole riittävästi ulostuloja kaikkia primäärilaitteita varten. Tietoliikennesillat on järkevintä sijoittaa ulos lähelle kytkin-kenttää, koska silloin tarvittavan väyläkaapelin tai -kuidun määrässä voidaan säästää. Toisaalta silloin sillat altistuvat lämpötilavaihteluille, joten niiden on kestävä matalia lämpötiloja ja jakokaapit on varustettava lämmityksellä. Lisäksi sillat lisäävät järjestelmään uuden pisteen mahdolliselle viikaantumiselle. Tässä topologiassa primäärilaitteiden väyläliitännöissä ei tarvita omia tietoliikennekytkimiä, vaan erilliset tietoliikennesillat hoitavat niiden tehtävän.



KUVA 12. IEC 61850 -standardin esitys rengastopologiasta (Network engineering guidelines, 2013, s. 91)

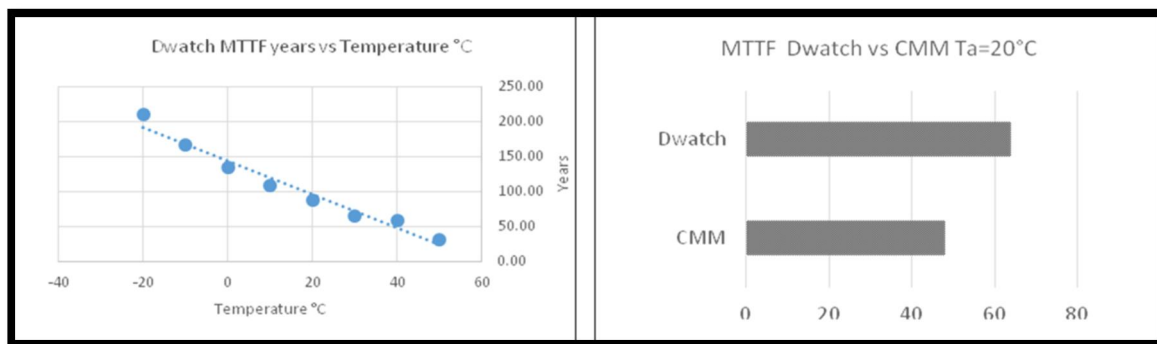
TAULUKKO 2. Rengastopologialle ominaiset piirteet taulukoituna (Network engineering guidelines, 2013, s. 91)

Rengastopologia	
Ominaisuus	Topologialle ominaista
Yksinkertaisuus	Yksinkertainen topologia, siltoja ei tarvita.
Tiedonsiirron hallinta	Tarvittavan kaistanleveyden arvioiminen hankalaa.
Latenssi	PI-laitteiden ja näytteenottotaajuuden määrä on rajoitettava sen mukaan, miten hyvin PI-laitteet tai MU:t pystyvät siirtämään tietoa renkaassa eteenpäin. Vaatii suuren tiedonsiirtonopeuden. 100 Mbit/s tiedonsiirtonopeus riittää, jos renkaan laitelukumäärä ei ole enemmän kuin 6, muussa tapauksessa vaaditaan 1 Gbit/s nopeus, ellei näytteenottotaajuutta pienennetä riittävästi.
Redundanssi	Sallii vian yhdessä kohtaa renkaassa.
Spesifisyys	IED-laitteiden on suoritettava sillan toiminnot ja monikanavalähetyksen suodatus. Jos PI:t eivät tue MMS:ää, IED-laitteiden pitää toimia niiden välityspalvelimenä, mikä lisää järjestelmän monimutkasuutta.
Rajoitteet	Renkaassa olevien laitteiden lukumäärä rajoittuu SV-liikenteen mukaan. Huolellisen suunnittelun avulla on varmistettava, etteivät virhetoiminnot tai vialliset laitteet tuki tiedonsiirtoa tuottamalla liikaa tietoliikennettä.

Rengastopologian etu on sen yksinkertainen rakenne yhdistettynä hyvään toimintavarmuuteen. Rengastopologiassa primäärilaitteet voidaan kytkeä toisiinsa peräjälkeen, eikä erillisiä tietoliikennesiltoja välttämättä tarvita. Lisäksi valokuitua tarvitaan vähemmän, kun väylää ei tarvitse viedä jakokaapilta jokaiselle primäärilaitteelle erikseen. Topologia kestää yhden pisteen vikaantumisen ilman, että tiedonsiirto prosessiväylällä keskeytyy. Tämä perustuu siihen, että jos viesti ei pääse yhdestä suunnasta etenemään esimerkiksi katkenneen valokuidun vuoksi, se pääsee silti kulkemaan toista reittiä määränpäähänsä. Tämän topologian toteuttaminen kuitenkin vaatii, että primäärilaitteissa on sisäänrakennettu tietoliikennekytkin, jota DWatch-laitteissa ei tällä hetkellä ole. Tulevaisuudessa tilanne voi kuitenkin muuttua ja rengastopologia voi olla hyvä vaihtoehto kahdennetulle tähtitopologialle.

5.4 Uuden tekniikan luotettavuuskysymykset

Digitaalisten laitteiden luotettavuutta voidaan tarkastella monista eri näkökulmista, mutta tärkeimmät tekijät ovat tiedonsiirron luotettavuus sekä fyysisen laitteen ja sen komponenttien luotettavuus. DWatch-laitteesta on tehty vuonna 2016 Cigre-raportti, jossa laite esitellään ja johon on koottu tutkimustietoa sen luotettavuudesta verrattuna perinteiseen erotinohjaimen. Raporttia varten tietoa on kerätty simulointituloksista sekä kentällä tapahtuneista pilottihankkeista. Suurjännitepuolen varsinainen erotin ja sen mekaniikka ovat todella luotettavia ja niiden MTTF-arvoksi on arvioitu 239 vuotta. Pienjännitepuolella ohjain jää tuosta arvosta huomattavasti, sen monimutkaisemman rakenteen vuoksi. Lyhenne MTTF tulee englanninkielien sanoista Mean Time To Failure, eli suomeksi keskimääräinen vikaantumisaika. Cigre-raportin mukaan digitaalisen ohjaimen luotettavuutta testattaessa sovellettiin MIL-HDBK-217F-standardia. Tämä standardi on tarkoitettu sotilaskäyttöön tulevien laitteiden elektroniikkaosien vikaantumisasteiden mallintamiseen. Cigre-raportista löytyy kuvaajat, joihin on piirretty kuvaaja DWatchin luotettavuudesta lämpötilan suhteen, sekä kuvaaja DWatchin ja perinteisen ohjaimen MTTF-arvojen erosta. (Stella;Pivato;& Rayon, 2016)



KUVIO 1. Cigre-raportin luotettavuuskvaajat (Stella;Pivato;& Rayon, 2016)

Kuviosta 1 nähdään, että DWatchin keskimääräinen vikaantumisaika 20 °C:n lämpötilassa on noin 64 vuotta. Perinteisellä ohjaimella vastaava arvo on alle 50 vuotta. Luotettavuus muuttuu lähes suoraan verrannollisesti lämpötilan suhteen siten, että luotettavuus heikkenee lämpötilan noustessa. Lämpötilan nouseminen nopeuttaa sähkölaitteissa olevien komponenttien ja niiden eristeiden vanhenemista, mikä taas lisää vikojen todennäköisyyttä. Käytännössä asia ei kuitenkaan ole välttämättä näin yksinkertainen. Ohjaimissa käytetään lämmitysvastuksia, koska sopivan lämpötilan ylläpitäminen ehkäisee sähkölaitteille haitallisen kosteuden muodostumista. Myös moottorissa olevien mekaanisten osien, kuten laakereiden kulumisen voi nopeutua, jos niitä käytetään jatkuvasti pakkasessa. Tiedetään kuitenkin, että jos lämpötila nousee 10 °C, esimerkiksi 20 °C:sta 30 °C:een, nostaa se sähkölaitteen vikaantumistaajuutta keskimäärin 40 % (Koski, 2017).

Koko järjestelmän luotettavuuteen vaikuttaa myös se, jos kokonaisuuteen joudutaan lisäämään laitteita. Vaikutus luotettavuuteen on yleensä negatiivinen, koska jokainen asennettu laite lisää järjestelmään yhden mahdollisen vikapaikan. Prosessiväyliä rakennettaessa voidaan joutua käyttämään Ethernet-kytkimiä väylän jakamista varten ja käytännöllisin paikka kytkimelle voi olla ulkona kytkinkentällä, jolloin sille joudutaan rakentamaan toiminnan kannalta suotuisat olosuhteet. Tämä tarkoittaisi käytännössä samanlaista ratkaisua, jota käytetään myös ensilaitteiden ohjaimissa. On olemassa Ethernet-kytkimiä, jotka kestävät kylmissä ja kuumissa olosuhteissa. Esimerkiksi Siemensin RuggedCom-sarjan Ethernet-kytkimet kestävät jopa -40 °C pakkasista aina +85 °C:een saakka. Ethernet-kytkin tarvitsee myös apusähköä toimiakseen ja sen varmentaminen voi olla hyvä idea. Toisaalta jos prosessiväylää käytetään ainoastaan kuntotietojen keräämiseen, ei väylätoimintojen keskeytyminen ole järjestelmän toiminnan kannalta kriittinen vika. Jos Ethernet-kytkimien virtalähde tarvitsee erillistä jäähdytystä, on niissä yleensä sisäänrakennettuna oma tuuletin.

IEC 61850 -standardi ei velvoita käyttämään järjestelmässä mitään tietynlaista Ethernet-kytkintyyppiä, mutta se on kuitenkin valittava sen mukaan, millaisia viestejä sen kautta halutaan välittää. Jos kytkimen kautta halutaan viedä GOOSE- tai SV-viestejä, on kytkimen tuettava IEEE 802.1Q -standardia, joka on tietoverkkostandardi, joka tukee virtuaalilähiverkkoprotokollaa eli VLAN:a. Karuihin olosuhteisiin sijoitetun Ethernet-kytkimen on myös noudatettava IEC 61850-3 -standardin ohjeita muun muassa EMC-suojauksen ja lämpötilakestoisuuden osalta. Ulkotiloihin sijoitettaviksi Ethernet-kytkimiksi kannattaa siis valita laadukkaat standardoidut laitteet. Ethernet-kytkimenä voidaan käyttää sopivaa mallia Siemensin RuggedCom-sarjasta tai muuta vastaavaa. (Schwarz, 2011)

5.5 Edellytykset muutostöiden tekemiseksi

IEC 61850 -standardi ehdottaa, että primäärilaitteiden ohjaus- ja mittaustietojen siirtämiseen käytetään yhteistä väylää. Toistaiseksi on kuitenkin vielä epävarmaa, että haluaako Fingrid yhdistää kaikkia väyliä samaan prosessiväylään. Yksi ratkaisu voisi olla, että erotinohjaimelle rakennettaisiin väylä ohjaustoimintoja varten ja erikseen väylä kuntotietojen keräämistä varten, joka toimisi varsinaisena prosessiväylänä. Katkaisijan tapauksessa ohjaimelle tuotaisiin vielä edellämainittujen väylien lisäksi erillinen väylä suojaeleeltä suojaustoimintoja varten. Eriytettyjen väylien hyvä puoli on se, että dataliikenne jakautuu monelle eri väylälle, mikä vähentää yksittäisen väylärakenteen kuormitusta. Käytännön toteutuksessa haasteeksi muodostuvat, kuinka eri väylät yhdistetään ohjaimeen ja miten prosessiväylältä saadut kuntotiedot kerätään niin, että ne saadaan lähetettyä edelleen kantaverkkokeskukseen luettavaksi.

GE:n digitaalisesta erotinohjaimesta voi valita kahden erilaisen version väliltä. Ensimmäinen ja jo lähes lopullinen valmis versio on täysin digitaalinen malli. Ohjain sopii asennettavaksi vanhan ohjaimen tilalle eikä sen paikalleen sovittamisen pitäisi olla haastavaa. Täysin digitaaliselle ohjaimelle on mahdollista luoda prosessiväylä, joka hoitaisi kaikki tarvittavat toiminnot, eli ohjauksen ja kuntotietojen keräämisen. Jos ohjausväylä ja kuntotietojen keräämiseen tarkoitettu prosessiväylä halutaan eriyttää toisistaan, voi väyläliitännäpaikkojen vähäinen määrä muodostua ongelmaksi. Kuitenkin väylät voitaisiin toteuttaa valokuiduilla. Apusähköjen kaapelointi ei oletettavasti vaadi muutoksia. Digitaalisessa ohjaimessa kaikki toiminnot, lukitukset mukaanlukien, voidaan suorittaa elektroniikan ja logiikan avulla. Tässä vaihtoehdossa on kuitenkin mietittävä, kuinka väylät liitetään ohjaimeen niin, että tiedonsiirrollinen toimintavarmuus säilyy. Täysin digitaalisen erotinohjaimen ohjaamiseen olisi mahdollista käyttää Fingridille jo ennestään tuttua Siemensin SIPROTEC 6MD85 -kenttäohjausyksikköä, koska sillä voidaan lähettää GOOSE-viestejä ja siihen on mahdollista liittää enintään 4 kommunikointikorttia väyläliitännöjä varten.

Toinen toteutettavissa oleva mahdollisuus on niin sanottu Retrofit-malli, joka ei mahdollista digitaalista ohjaamista, mutta kuitenkin kuntotietoja saataisiin kerättyä kattavammin. Tämä toteutustapa on vielä osittain kehitysasteella, mutta toteutuessaan se voidaan nimensä mukaisesti asentaa jo olemassa olevaan ohjaimeen. Retrofit-malli ei siis suoranaisesti ole erillinen erottimenohjain, vaan se on perinteiseen ohjaimeen asennettava lisäosa. Tällainen asennus vaatii muutoksia ainakin ohjaimen johdotuksiin ja samalla joitakin toiminnallisuuksia menetetään verrattuna täysin digitaaliseen ohjaimeen. GE:n mukaan ainakin erotinohjaimen älykäs toiminnan optimoiminen on yksi menetettävistä ominaisuuksista. Toiminnan optimoimisella tarkoitetaan esimerkiksi tilannetta, jossa ohjain itse osaa säätää moottorin tehoa ja nopeutta tarpeen mukaan. Retrofitin etuna on se, että vanhaa järjestelmää voidaan ainakin osittain hyödyntää ja säilyttää pienin muutoksin, jolloin säästetään myös kustannuksissa. Lisäksi karsitumpi Retrofit-malli on jokatapauksessa monipuolisempi ja nykyaikaisempi kuin tällä hetkellä käytössä olevat erotinohjaimet. Toisaalta kuparikaapelointia ei saataisi vähennettyä, mutta ohjaimelta saataisiin kattavammin kunnonhallintaan liittyvää tietoa.

Fingridin ehdotuksesta GE Alstom on kehittämässä Retrofit-malliin myös mahdollisuutta, jossa erotinohjain on langattomasti yhteydessä asematasolle. Tekniikan avulla ohjaimelta voitaisiin vaivattomasti kerätä kunnonhallintaan liittyvää tietoa langattomasti ja tallentaa tiedot esimerkiksi johonkin pilvipalveluun. Langattoman tekniikan avulla välttyttäisiin ainakin toistaiseksi väylätekniikan rajapintoihin liittyviltä ongelmilta. Mietittäväksi asiaksi jäisi, mihin kuntotiedot tarkalleen ottaen siirrettäisiin. Kuntotiedot eivät ole arkaluonteista tietoa, joten hyödyksi voitaisiin käyttää jotain yleisesti tuttua ja olemassa olevaa pilvipalvelua. Fingridin kannalta ihanteellisin tilanne olisi, jos Naantalinsalmen sähköasemalla päästäisiin kokeilemaan perinteisiä, digitaalisia ja Retrofit-ohjaimia rinnakkain. Näin nähtäisiin käytännössä, millaisia eroja ohjaimilla todellisuudessa on ja saadaanko niitä ylipäätään toimimaan halutulla tavalla.

Kuntotietojen noutamiseen ei ole yhtä oikeaa ratkaisua, vaan se on aina tapauskohtainen ongelma. Teoriassa voisi olla mahdollista, että esimerkiksi Retrofit-asennetuille erotinohjaimille rakennettaisiin oma prosessi-LAN-lähiverkko ja siihen liitettäisiin Raspberry Pi tai vastaava laite, joka voitaisiin ohjelmoida hakemaan ohjaimilta kuntotietoja määräajoin. Fyysinen prosessiväylä voidaan myös korvata langattomalla yhteydellä ohjaimen ja PI:n välillä. Haetut tiedostot voitaisiin tallentaa johonkin hakeristorakenteeseen tai tietokantaan BLOB:eina (Binary Large Object). (Ruohonen, 2017)

Langaton tiedonsiirto olisi fyysiseltä rakenteeltaan helpoin toteuttaa, edellyttäen että laitevalmistaja pystyy tällaisen toteutustavan mahdollistamaan. Tämän toteutustavan haasteet voivat olla langattoman verkon kantavuudessa. Yhtenä vaihtoehtona on ehdotettu 4G- tai GPRS-yhteyksiä, mutta myös muunlainen langaton kytkinkentälle ulottuva verkko voi tulla kyseeseen. 4G- ja GPRS-yhteydet toimivat useimmissa paikoissa moitteettomasti, mutta etenkin Pohjois-Suomen alueella yhteyksien kuuluvuudet voivat olla hyvinkin heikkoja. Lisäksi haittapuolena on 4G- ja GPRS-yhteyksien maksullisuus. Langattoman tekniikan suurin etu on kuitenkin sen edullisuus, koska kuntotietojen keräämistä varten ei tarvita erillistä fyysistä väylärakennetta ja mahdollisesti tarvittavat PI- ja PC-laitteet ovat suhteellisen halpoja.

Tällä hetkellä kuitenkin vaikuttaa, ettei GE Alstom ehdi nopealla aikataululla toteuttamaan langattomaan tiedonsiirtoon perustuvaa erotinohjainta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että erotinohjaimelle joudutaan rakentamaan prosessiväylä, jota käytetään kuntotietojen hankkimiseen, muttei ohjauksikäskyjen välittämiseen. Digitaalisen erotinohjaimen olisi tällöin oltava Retrofitin kaltainen, eli ohjauksia ja tilatietoja varten ohjain liitettäisiin asematasolle perinteisen ohjaimen tavoin kuparikaa-peloinnein, mutta lisäksi sille tuodaan myös prosessiväylä kuntotietojen keräämistä varten. Prosessiväylän toteuttamiseen ei myöskään ole vain yhtä oikeaa tapaa, mutta yksi vaihtoehto on, että väyläkaapeli tuodaan kytkinkentällä sijaitsevaan jakokaappiin, josta se tähtimäisesti haaroitetaan erotinohjaimille. Asematasolla väylä on mahdollista liittää kenttäohjausyksikön prosessiväyläliityntään, mutta silloin kenttäohjausyksikkö joutuu prosessoimaan tietoa, vaikka se ei itse toimintoihinsa sitä tarvitsekaan. Eräs vaihtoehto olisi liittää ohjain IEC 61850 -asemaväylään, josta data voitaisiin välittää aseman paikalliselle HMI:lle tai MPLS-kytkimen kautta kantaverkkokeskukseen. Tässä toteutustavassa RTU:hun jouduttaisiin hankkimaan vain yksi ylimääräinen protokollaelementti, eli IEC 61850 -

liityntäpiste tietojen prosessointia varten. Esimerkiksi Siemensin SICAM AK -RTU-laitteeseen on saatavilla SM-2558/ETA5-protokollaelementti. Tässä tapauksessa riskinä on kuitenkin se, että RTU voi ainakin teoriassa tukkeutua kaikesta sen käsittelemästä datasta.

Jos prosessiväylää ei haluta yhdistää suoraan RTU:hun, voidaan väylä yhdistää Ethernet-kytkimen kautta suoraan PI- tai PC-laitteeseen. GE Alstom luultavasti tarjoaa ohjelmistoa, jolla saatua dataa pystyy paikallisesti katsomaan ymmärrettävien lukujen ja käyrien muodossa. PC:ltä datan siirtäminen eteenpäin onnistuu MPLS-kytkimen kautta, jolloin myös kantaverkkokeskus pääsee tietoihin käsiiksi.

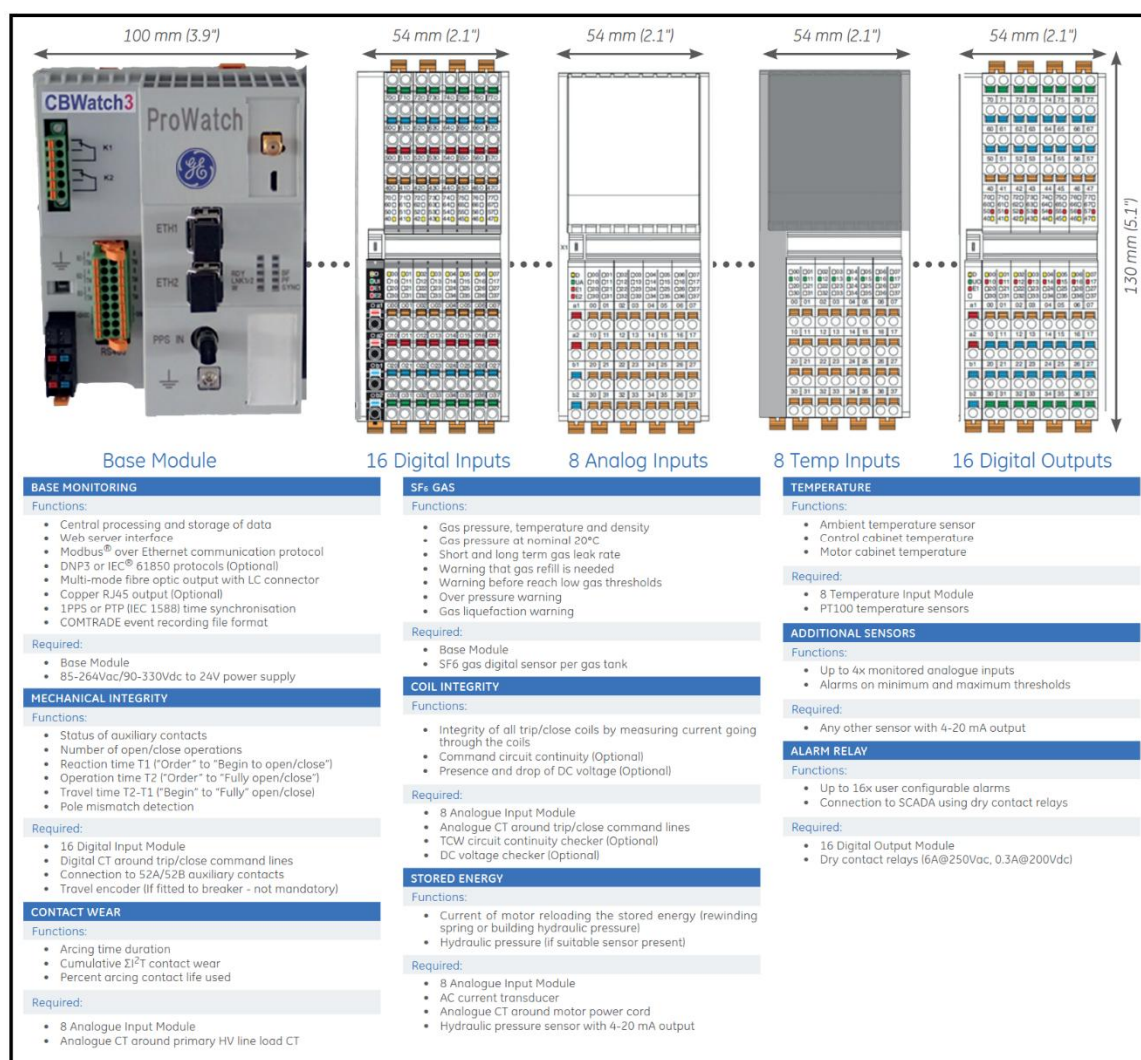
Täysin digitaalista ohjainta ohjauksineen ei todennäköisesti tulla testaamaan Naantalinsalmen pilotti-hankkeessa, mutta lähitulevaisuudessa se voi tulla kyseeseen. Varsinkin kun ennakkotietojen mukaan täysin digitaalisessa mallissa on rinnakkain mahdollisuudet digitaaliseen tai perinteiseen ohjaukseen. Täysin digitaalinen kommunikointi on käytännön toteutukseltaan haastavampi. Fingridillä paljon käytetty Siemens SIPROTEC 6MD85 -kenttäohjausyksikkö pystyy lähettämään ohjauksikäskyjä GOOSE-viesteillä ja ohjausyksikköön on saatavilla kommunikointikortteja väyläliitäntäpaikkoja varten. Kommunikointikortilla kenttälaitteille lähetettävät ohjaukset voidaan erottaa aseman normaalisti IEC 61850 -ohjausväylästä, jolloin väylät ovat fyysisesti erossa toisistaan. Lisäksi, jos prosessiväylää halutaan käyttää myös mittauksissa, on kenttäohjausyksikköön saatavilla SIPROTEC 6MU80 -lisämoduuli, joka on mergin unit -yksikkö.

Ainakin teoriassa on mahdollista, että erotinohjainten ohjausväylä liitettäisiin suoraan aseman ohjausväylään, jolloin RTU:lta tulevan ohjauksikäskyn ei aina tarvitsisi kiertää kenttäohjausyksikön kautta. Nykyisin varsinkin uusilla asemilla kytkinlaitteiden lukitusehdot on ohjelmoitu suoraan kenttäohjausyksiköihin. Näissä tapauksissa lukitusehdot jouduttaisiin siirtämään kenttäohjausyksiköiltä sekä RTU:lle, että HMI:lle erikseen. Jos lukitusehdot pidetään kenttäohjausyksikössä, on ohjauksikäskujen kuljettava erottimille sen kautta, eli erottimille menevä ohjausväylä olisi yhdistettävä kenttäohjausyksikköön.

Varsinkin katkaisijan tapauksessa jouduttaisiin vielä harkitsemaan ohjaus- ja suojausväylän yhdistämistä jossakin kytkinkentän jakokaapilla, vaikka Fingridillä on halu erottaa ne toisistaan. IEC 61850 -mahdollistaa eri väylien yhdistämisen samaan kuituun, mikä helpottaisi väylätopologian suunnittelamista. Yhdistetyssä LAN-verkossa voidaan VLAN:n avulla erottaa erilaista liikennettä toisistaan ja tunnistaa laitteet. Tällöin tärkeä data, kuten esimerkiksi GOOSE-lähetteet on priorisoitava yli muun tavallisen liikenteen, jolloin prosessin kannalta tärkeä tietoliikenne on etusijalla. Fingridillä on kuitenkin katsottu, että VLAN:n toteuttaminen vaatii erikoisosaamista ja se nähdään jopa tietoturvamielessä riskinä. Väylät voidaan edelleen pitää erilläänkin, mutta silloin kysymykseksi nousee, että riittääkö kytkinlaitteessa liityntäpaikat väyläkaapelia varten varsinkin, jos topologia on tehtävä tähtimäisesti.

5.6 Muut IEC 61850 -yhteensopivat laitteet

GE Alstomilla on digitaalisen erotinohjaimen eli DWatchin lisäksi myös muita IEC 61850 -yhteensopivia laitteita. Yrityksellä on valikoimissaan muun muassa ei-konventionaalisia virta- ja jännitemuuntajia, erilaisia lähettäjiä ja katkaisijan ohjaimen asentettava CB Watch 3 -laite, joka tuo katkaisijalle samantyyppisiä digitaalisia lisäominaisuuksia kuin DWatch. CB Watch 3 voidaan asentaa vanhan ohjaimen sisään DIN-kiskoon. Laitteeseen on tarjolla useita moduuleita, joilla ominaisuuksien määrää voidaan kasvattaa. CB Watchin perusominaisuuksia ovat kyky prosessoida ja tallentaa dataa, rajapinta verkkopalvelimelle, Modbus kommunikointiprotokolla ja valinnaisena myös DNP3- tai IEC 61850 -protokollat, lähtö monimuotokuidulle LC-liittimellä tai haluttaessa lähtö kuparijohtimelle RJ45 liittimellä, 1PPS tai PTP (IEC 1588) aika synkronointi sekä tapahtumien tallennus COMTRADE-tiedostomaattiin. (General Electric Company, 2016)

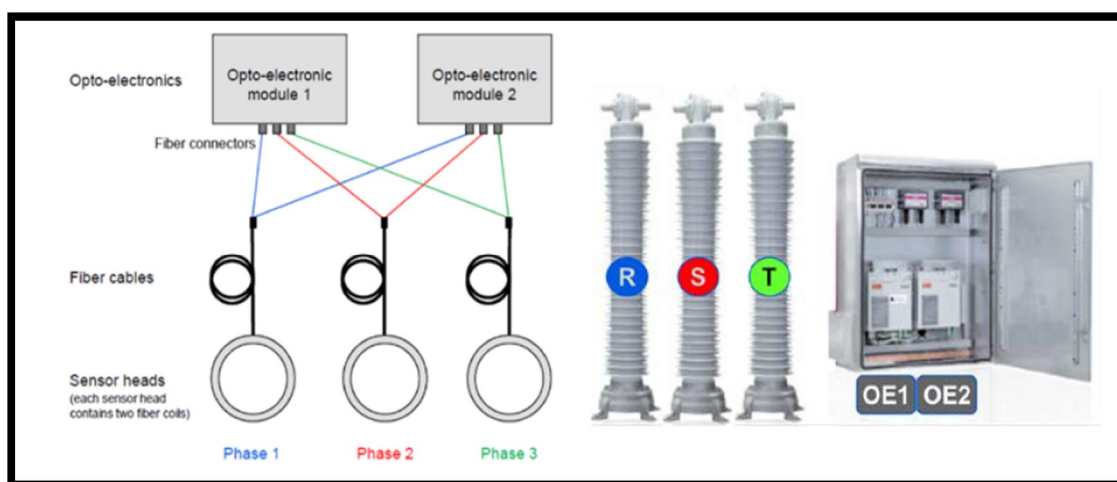


KUVA 13. CB Watch 3 -laite lisämoduuleineen ja ominaisuuksineen (General Electric Company, 2016)

Kuvassa 13 näkyy CB Watch 3 lisämoduuleineen ja kaikki toiminnallisuudet, jotka siihen on mahdollista saada. Fingridin kannalta yksi mielenkiintoisimmista ominaisuuksista on katkaisijan kunnonseuraaminen. Kuten erotinohjaimenkin kohdalla, tämä mahdollistaisi aikaperusteisesta huollosta siirtymisen riski- ja kuntoperusteiseen huoltamiseen.

ABB valmistaa FOCS (Fibre Optic Current Sensor) nimistä virtamuuntajaa. FOCS mittaa virtaa optisilla sensoreilla, joiden toiminta perustuu Faradayn ilmiöön. FOCSin optoelektroninen moduuli lähettää valokuituja pitkin kaksi samansuuntaista mutta polarisaatioltaan vastakkaista valoaltoa. Valoaallot kulkevat anturikuitujen läpi ja heijastuvat kuidun päästä takaisin. Kahden palaavan aallon välille muodostuu vaihe-ero, joka on suoraan verrannollinen magneettikenttään, jolle anturikuitu on altistunut. Valoaallot kulkevat takaisin optoelektronisille yksiköille, jotka prosessoivat saadusta viestistä sitä vastaavan digitaalisen virta-arvon. FOCS virta-anturit voi asentaa avokytkinkentälle perinteisen virtamuuntajan tapaan vapaasti seisovana mallina (FOCS-FS) tai sisäänrakennettuna erottavaan katkaisijaan (DCB with FOCS). ABB:n esitteen mukaan tyypillinen järjestelmä koostuu kahdesta optoelektronisesta yksiköstä ja kolmesta sensoripäästä, joista jokaisessa on kaksi sensorikuitua. Jokaista vaihetta kohti asennetaan siis yksi virtamuuntaja. Tämä kokonaisuus on esitetty kuvassa 14. FOCS tukee IEC 61850 -kommunikointiprotokollaa, joten se on yhteensopiva muiden valmistajien laitteiden kanssa. FOCSin etu perinteiseen virtamuuntajaan verrattuna on se, ettei se sisällä SF6 kaasua tai öljyä, mikä tekee FOCSin rakenteesta siromman, kevyemmän eikä se ole räjähdysherkkä. Varsinkin erottavaan katkaisijaan asennettuna se säästää perinteiseen virtamuuntajaan verrattuna huomattavasti tilaa. (ABB, 2017a; ABB, 2017b)

ABB:lta löytyy valikoimistaan myös MU-yksiköitä, kuten esimerkiksi SAM600. Sen avulla perinteisen mittamuuntajan analoginen mitta-arvo voidaan muuttaa digitaaliseen muotoon.



KUVA 14. FOCS vapaasti seisovissa pylväissä (ABB, 2017c)

Toistaiseksi IEC 61850 -yhteensopivia laitteita on tarjolla enemmän toisilaittepuolelle. Perinteisellä toisilaittepuolella, kuten suojareleet ja kenttäohjauksyksiköt, IEC 61850 -asemaväylää tukevia laitteita on saatavilla jo kaikilta merkittäviltä laitevalmistajilta. Eri valmistajien laitteiden asemaväylien tekninen yhteensopivuus ei kuitenkaan ole ollut ongelmattonta ja on myös odotettavissa, että eri valmistajien prosessiväylien yhteensovittamisessa tullaan kohtaamaan haasteita. Pienemmiltä valmistajilta löytyy IEC 61850 -kommunikointiin sopivia MU-yksiköitä ja Ethernet-kytkimiä.

6 EROTINOHJAINTEN DIGITALISAATION MAHDOLLISUUDET JA HAASTEET

6.1 Hyödyt ja mahdollisuudet

Kuparikaapeloinnin vähentyminen

IEC 61850 -standardin mahdollistaman väylätekniikan yksi kiistaton etu on kuparikaapeloinnin vähentyminen. Uuteen tekniikkaan siirryttäessä on luonnollista, että alussa tekninen toteutus ja suunnittelu ovat hitaampaa ja haastavampaa perinteiseen tekniikkaan verrattuna. Voidaan kuitenkin olettaa, että tulevaisuudessa suunnittelu ja rakentaminen helpottuvat tiedon ja kokemuksen lisääntyessä. Nykyisin sähköasemilla on valtava määrä kuparikaapelia, joka vie myös paljon tilaa. Kupari on kallista ja johtojen asennus on työlästä ja hidasta. Kuparikaapelointia tarvitaan myös tulevaisuudessa apusähkön välitykseen, mutta valokuiduilla voidaan silti korvata suuri määrä kuparikaapelia. Kuparikaapelointien vähentyessä myös kaapelireittien, -kanavien ja -hyllyjen rakenteet yksinkertaistuvat, joka myös pienentää kustannuksia. Näiden etujen saaminen edellyttää, että erottimien ja katkaisijoiden ohjaus-, suojaus- ja kunnonhallinnantietojen välittämiseen käytetään valokuituyhteyksiä. Retrofit-asennuksilla etu on vähäisempi tai sitä ei ole.

Tiedonsiirrollisesti valokuidun ei voida sanoa olevan kupariseen parikaapelointiin verrattuna luotettavampi. Valokuitu on tunteeeton sähkömagneettisille häiriöille, mutta myös parikaapelit ovat häiriösuojattuja. Fingridin sähköasemilla on kuitenkin tapana, että asemarakennukseen mennään sisään valokuidulla, koska silloin vältytään varmasti sähköisiltä häiriöiltä ja prosessikaapelin mukaanaan tuomilta potentiaalieroilta, jotka pahimmassa tapauksessa voisivat vaurioittaa herkkiä laitteistoja. Esimerkiksi kameravalvonta järjestelmät toteutetaan tällä periaatteella. Kameralta voidaan tulla kuparikaapelilla jako- tai laitekaapille, joka sijaitsee jossain kytkinkentällä, ja sieltä jatketaan sähköasemarakennukseen valokuidulla.

Verkon kunnonhallinnan helpottaminen

Digitaalisilta erotinohjaimilta saatavat kunto-, vika- ja häiriötiedot tulevat todennäköisesti tulevaisuudessa olemaan kantaverkkoyhtiöille entistä tärkeämpiä järjestelmien kompleksisuuden vuoksi. Kuntotietojen avulla voitaisiin seurata järjestelmän kuntoa ja mahdolliset tulevat viat voitaisiin havaita, ennen kuin niistä ehtii aiheutua laajempia ongelmia. Jos vika tai häiriö kaikesta huolimatta tapahtuisi, voitaisiin saatujen häiriötietojen avulla selvittää helpommin ja tarkemmin syy vian aiheuttajaan, mikä nopeuttaisi korjaustoimenpiteiden suorittamista ja mahdollistaisi varautumisen vastaavien tapahtumien varalle tulevaisuudessa. Tilannetta voitaisiin verrata digitaalitekniikkaan perustuviin distanssireleisiin. Distanssirele osaa laskea viallisten vaiheiden välisestä jännitteestä ja virroista etäisyyden vikapaikkaan johdolla, mikä helpottaa ja nopeuttaa vian korjaamista.

Jos digitaalisten ohjainten avulla pystytään suunnittelemaan laitteiden huoltotarvetta tarkemmin, tuo tämä luultavasti kustannussäästöjä pitkällä aikavälillä paremmin ajoitettujen huoltojen ja mahdollisesti vähentyvien käyttökeskeytysten kautta. Digitaalisen erotinohjaimen mittaamasta datasta voidaan myös päätellä osien tulevaa huoltotarvetta. Esimerkiksi kosketinlämpötilojen nousujohteisesta lämpenemästä voidaan päätellä, että kosketinpinnoissa voi olla likaa tai hapettumia, jolloin niiden

läpimenoresistanssi on kasvanut ja ne kaipaavat puhdistamista. Toisena esimerkkinä, ohjainmoottorin ottama virta on kasvanut ja toiminta-aika on pidentynyt. Tämä voi johtua piilevästä viasta ohjainmoottorissa tai erottimen nivelten jäykistymisestä. Perinteisen ohjaimen kohdalla tällaisia vikoja on vaikea huomata muuten kuin määräaikaishuoltojen yhteydessä tai pahimmassa tapauksessa vasta silloin, kun jotakin hajoaa.

Luotettavuus

Parhaimmillaan digitaalisesta järjestelmästä voitaisiin saada todella varmatoiminen. Saatavat kunto- ja häiriötiedot helpottavat huoltotöiden kohdistamista oikeaan paikkaan. Nykyisellä järjestelmällä huoltoa saatetaan tehdä aika- ja toimintakertaperusteisesti kohteille, jotka eivät sitä vielä oikeasti tarvitsisi. Aiempaa parempi luotettavuus kuitenkin edellyttää kokonaisuuden huolellista suunnittelamista ja oikeanlaista rakentamista. Lisäksi ennen järjestelmän laajempaa käyttöönottoa tarvitaan pilottihankkeita, joista järjestelmän heikkoudet selviävät.

Uuden järjestelmän käyttöönotto

Uusi digitaalitekniikka tarjoaa mahdollisuuden uusien järjestelmien nopeampaan ja helpompaan käyttöönottoon perinteisiin järjestelmiin verrattuna. Perinteisessä järjestelmässä kuparikaapelointien suuren määrän vuoksi johdinyhteyksien testaaminen on työlästä. Jos viestiyhteydet voidaan toteuttaa valokuituyhteyksinä, on yhteyksien toiminta helpompi todeta, koska laitteet jo itsessään pystyvät useissa tapauksissa kertomaan, ovatko eri yhteydet käytettävissä. Lisäksi digitaalilaitteita pystytään konfiguroimaan ja testaamaan helpommin niin sanotusti pöydällä ilman, että koko järjestelmän tarvitsee olla kentällä kasassa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että käyttöönottoon liittyvistä tarkastuksista päästäisiin kokonaan eroon, vaan järjestelmän toiminta on jokataapauksessa varmistettava. Käyttöönoton helpottuessa ja nopeutuessa, näkyy se suoraan aseman rakennuskustannuksissa.

6.2 Haasteet ja uhat

Tietoturvaan liittyvät uhat

Sähköasemien digitalisoitumiseen liittyy myös joitakin haasteita ja uhkia. Yksi näistä uhkista on mahdolliset tietomurrot sähköyhtiöihin. Vuonna 2016 muun muassa Savon Sanomat on uutisoinut, että ainakin Savon Voima ja Kuopion Energia ovat havainneet tietomurtoyritysten kohdistuvan sähkönjakelun kannalta kriittisiin järjestelmiin. Palomuurisuojausten ansiosta tietomurrot ovat kuitenkin jääneet yrityksiksi. Suomen lisäksi myös ulkomailla on havaittu tietomurtoja. (Tenhunen, 2016)

Kyberhyökkäykset ovat pienempien jakeluyhtiöiden lisäksi tuttuja myös kantaverkkoyhtiölle. Fingridin ICT-johtaja Kari Suominen kertoi Taloussanomille, että kantaverkkoon kohdistuu viikoittain kymmeniä tunkeutumisyrityksiä. Yhtiön kriittisimmät järjestelmät eivät ole yhteydessä julkiseen internettiin, eikä niihin ole mahdollista päästä netin kautta käsiksi. Hyökkäyksiin on kuitenkin suhtauduttava vakavasti ja paremman tietoturvan eteen tehdään jatkuvasti töitä. (Oksanen & Muhonen, 2017)

Tietoturva voi vaarantua muutenkin kuin netin kautta tulevalla hyökkäyksellä, haittaohjelmat ja virukset voivat levitä järjestelmiin myös muistitikujen ja muiden tallennusvälineiden kautta. Äärimmäisenä esimerkkinä voidaan käyttää nykytietojen mukaan Yhdysvaltojen ja Israelin yhdessä kehittämää Stuxnet-matoa, joka kehitettiin hidastamaan Iranin ydinohjelmia. Mato saatiin levitettyä Iranin ydinlaitoksiin, vaikka ne eivät olleet yhteydessä internettiin. Levittämiseen käytettiin muistitikuja. Madon kohteena olivat Siemensin ohjauslogiikat ja se uudelleenohjelmoi automaatiojärjestelmiä ja häiritsi niiden toimintaa. Prosessista saatettiin saada virheellinen tieto, että kaikki toimii normaalisti, vaikka todellisuudessa prosessi ei ollut enää hallinnassa. Mato paljastui vasta, kun se pääsi leviämään maailmanlaajuisesti. Matoa on havaittu Suomessakin. Automaatiojärjestelmät ovat herkkiä haittaohjelmille ja viruksille, koska niissä itsessään ei yleensä ole viruksentorjuntajärjestelmiä. Torjuntajärjestelmät voisivat toimiessaan hidastaa automaation toimintaa tai estää jonkin tiedoston toiminnan. Tämä voisi olla erittäin haitallista käynnissä olevan prosessin kannalta. (Gibney, 2016; Leino, 2010)

IP-pohjaiset laitteet ovat aina tietoturvariski, mutta on kuitenkin muistettava, että Fingridillä on jo nyt käytössään älykkäitä IED-laitteita toisiojärjestelmissään, joten monet uhat ovat nykyisinkin olemassa ja niihin on varauduttu.

Henkilöstön ammattitaito

Laitteiden digitalisointi lisää myös niiden monimutkaisuutta. Järjestelmän rakentaminen ja huoltaminen vaatii sähkötekniikan ymmärtämisen lisäksi yhä enemmän tietoteknistä osaamista. Toistaiseksi häiriötilanteissa avun löytäminen voi olla hankalampaa, kuin mihin nykyisellä laitekannalla on totuttu. Uusia asemia rakennettaessa toisipuolen laitteissa käytetään jonkin verran IEC 61850 -standardin mukaista laitteistoa, joten laitteiden konfigurointi on jo osittain tuttua. Digitalisaation laajentuessa primäärilaittepuolelle, konfiguroinnin tarve lisääntyy ja se tulee viemään enemmän aikaa. Tämä vaatii sekä Fingridin oman, että palvelutoimittajien henkilöstön lisääntyvää koulutustarvetta ja oikea-aikaisia rekrytointeja. Lisäksi tullaan tarvitsemaan yhä enemmän IT/OT-monialaosaamista. Todennäköisesti konfigurointiohjelmistojen käytettävyys tulee ajan myötä helpottumaan ja konfiguroinnin hallitseva henkilöstö lisääntymään merkittävästi.

Luotettavuus

Vaikka järjestelmän yleisen luotettavuuden voidaankin olettaa parantuvan, voi asia olla myös päinvastainen. Elektroniikkalaitteet ovat yleensä kertakäyttöisiä, eli kun niihin tulee vika, on niiden korjaaminen yleensä turhan hankalaa ja kallista. Tällaisissa tilanteissa joudutaan tilaamaan laitteeseen varaosa tai pahimmassa tilanteessa uusimaan koko laite. Digitaalisen erotinohjaimen sisältämän elektroniikan vuoksi ohjaimen lämmitys ja kosteuden poistaminen on entistä tärkeämpää. Lisäksi digitaalisessa ohjaimessa olevat anturit voivat vikaantuessaan harhauttaa käyttäjänsä luulemaan, että erotinohjaimessa on jotakin vikaa, vaikka se anturia lukuunottamatta on täysin toimintakuntoinen. Täysin digitaalisessa järjestelmässä myös riski virheellisiin ohjauksiin kasvaa, kuten myös ohjausten mahdollinen toimimattomuus.

Rajallinen laitekanta

Primäärilaittepuolella IEC 61850 -yhteensopiva laitekanta on vielä suhteellisen vähäistä siihen nähden, että standardi on ollut olemassa jo pitkään. Toisiolaittepuolella tilanne on parempi, sillä esimerkiksi ABB:lla ja Siemensillä on tuotevalikoimissaan IEC 61850 -kommunikointiprotokollaa tukevia kenttäohjausyksiköitä ja suojareleitä. Ensiöpuolella DWatch on yksi ensimmäisistä primäärilaitteiston ohjaimista, joka mahdollistaa kuntotietojen keräämisen lisäksi myös digitaaliset ohjaukset. Monilla eri laitevalmistajilla on tarjolla myös mergin uniteja, joiden avulla sähköasemaa saadaan digitalisoidua pienin lisäinvestoinnein.

Varsinaista syytä sille, miksi digitaalitekniikka ei ole yleistynyt vielä primäärilaittepuolella on vaikea yksiselitteisesti sanoa, mutta luultavasti se johtuu osittain siitä, että perinteinen kuparikaapeloinnilla toteutettu järjestelmä on todella varmatoiminen ja siitä on kertynyt käyttökokemusta jo pitkältä ajalta. Kun verkkoyhtiöt eivät näe tarvetta kehittää hyväksi todettua järjestelmää, eivät laitevalmistajatkaan halua käyttää suuria resursseja uusiin laitteisiin, joiden kysynnästä ei ole täyttä varmuutta. Luultavasti tekniikka tulee kuitenkin yleistymään tulevaisuudessa samalla, kun Euroopassa ja muualla maailmassa ryhdytään kehittämään yhä enemmän älykkäitä sähköverkkoja.

Mitä digitalisaatiolla halutaan saavuttaa

Tulevaisuuden suunnittelussa haasteena on päättää, mihin kohtaan vedetään raja digitalisaation ja perinteisen tekniikan välille. Teoriassa DWatch ja IEC 61850 -standardi mahdollistaisivat erottimen ohjaamisen ja kuntotietojen keräämisen yhdellä väylällä. Kuitenkin, jos eri toiminnot halutaan pitää omissa väylissään, vaikeuttaa se järjestelmän suunnittelua ja rakentamista. Lisäksi laitekanta on vielä rajallinen, eikä opinnäytetyön aikana löytynyt vastaavaa katkaisijan ohjainta, joka tukisi IEC 61850 -kommunikointiprotokollaa ohjaamisen suhteen. Digitalisaation tuoma hyöty menetettäisiin osittain, jos erottimien ohjaaminen päätettäisiin toteuttaa digitaalisesti, mutta katkaisijoiden ohjaukseen käytettäisiin perinteisiä tapoja. Kuntotietojen keräämiseen vaihtoehtoja on kattavammin, joten sen käyttöönottoaminen olisi mahdollista. Tällä hetkellä suurin haaste on se, kuinka ja mihin kuntotiedot kerätään. Tässä tapauksessa on ehdottomasti järkevää kokeilla langattoman tiedonsiirron ja pilvipalvelun yhdistelmää, koska silloin monet tiedonsiirrolliset ongelmat voidaan välttää eikä erillisiä väylärakenteita tarvitse rakentaa, jolloin välttytään yhdeltä kustannustekijältä. Tällä toteutustavalla myöskään tietoturvat eivät nykyiseen verrattuna ainakaan oleellisesti kasva, koska ohjaus pysyisi ennallaan eivätkä kuntotiedot ole kriittistä tietoa.

7 UUDEN JA VANHAN TEKNIIKAN KUSTANNUSVERTAILU

Opinnäytetyössä on useasti mainittu digitaalitekniikan vaikuttavan kustannuksiin, kun kuparikaapelointi vähenee ja huoltojen suunnittelu helpottuu. Huoltojen todellista vaikutusta kustannuksiin on vaikeaa arvioida, mutta kaapelointien osalta arviointia on mahdollista tehdä. Kaapeleiden metri-, asennus- ja kytkentähinnat ovat kuitenkin karkeita arvioita. Kaapelointikustannuksissa ei ole otettu huomioon kaapelikanavien kustannuksia, eikä rakennettavaa järjestelmää ole mallinnettu täydellisesti. Laskennasta puuttuvat esimerkiksi digitaali- ja retrofit-asennuksissa mahdollisesti tarvittavat Ethernet-kytkimet. Liian tarkkaa laskentaa ei ollut syytä tehdä, koska toimivan järjestelmän rakenne ei ole ilman pilottihanketta täysin selvillä. Lisäksi valokuidun hinnat asennuksineen on pyydetty alan erikoisliikkeestä vain suurpiirteisenä arviona. Laskennan on kuitenkin tarkoitus osoittaa, kuinka eri toteutustapojen väliset kaapelointi- ja asennuskustannukset voivat vaihdella. Kustannuksissa on otettu pääasiassa huomioon kaapeloinneista aiheutuvat kustannukset, mutta loppuun on myös laskettu arvio erotinohjaimien vaikutuksesta kokonaiskustannuksiin. Laskennan tuloksia arvioitaessa on myös muistettava, että työssä on käsitelty pelkästään erotinohjaimien vaikutuksia kustannuksiin. Digitalisaation laajentuessa se vaikuttaisi myös muihin ensilaitteisiin, kuten katkaisijoihin ja mittamuuntajiin, joiden merkitystä kustannuksiin vaikuttavina tekijöinä ei tule unohtaa.

7.1 Laskennan vaiheet

Kustannuksia arvioitaessa ensimmäinen vaihe oli määrittellä, mitä kaapeleita kentälle viedään ja kuinka pitkiä kaapelit ovat. Sähköasemaksi valittiin Naantalinsalmen sähköasema, koska pilottihanke tullaan sinne tekemään. Kaapelityypit mittoineen piirrettiin aluksi käsin paperille luonnostelmiksi, jotka lopulta piirrettiin puhtaaksi CADS Planner -ohjelmistolla. Nämä luonnostelmat toimivat kustannuslaskennan periaatekuvina ja ne löytyvät opinnäytetyön liitteestä 12. Kustannuslaskennassa käytetyt kaapelit taulukoitiin erikseen, jotta kuvien luettavuus pysyisi helppona. Käytetyt kaapelit ja niiden pituudet tarkistettiin Fingridin ProjectWisen tietokannasta ja kytkinkentän jakokaapeille tulevat syöttökaapelit mitattiin asemapiirroksista.

Eri kaapelityypeille määriteltiin yksikkö-, asennus- ja kytkentähinnat. Tämän jälkeen kustannusten laskenta voitiin tehdä eri tilanteille kaapelimetrien ja kappalemäärien mukaan. Kustannukset on laskettu kolmea eri erotinohjaintyyppiä käyttäen: Perinteinen, täysdigitaalinen ohjauksineen ja Retrofit-asennus, jossa väylällä kerätään vain kuntotiedot muiden johdotuksien pysyessä ennallaan. Kustannuslaskentaa ei tehty langattomalle tiedonsiirrolle, koska sen tiedonsiirto ei vaadi erillistä johdotusta, vaan ohjaimet on kaapeloitu perinteisellä tavalla. Kustannukset esitetään taulukossa 3 ja tarvittavat kaapelit metri- ja kappalemäärineen taulukossa 4. Metrimäärät kertovat, kuinka paljon tiettyä kaapelityyppiä tarvitaan yhteensä. Kappalemäärät ovat oleellisia kytkentöjen kustannuksia arvioitaessa.

Valokuituasennuksen hinta muodostuu keskimääräisestä valokuidun hinnasta, päättötyöstä ja valokuidun asennushinnasta. Valokuidun ja päättötyön keskimääräinen hinta kysyttiin alan erikoisliikkeestä. Käytetty valokuitu on kaksikuituista ja sen hinta on arvioitu sisä- ja ulkokäyttöön soveltuvien

kuitukaapeleiden hintahaarukan alapäähän. Asennushinta on myös arvioitu matalaksi, koska kevytrakenteinen kuitu on fyysisesti kevyttä asennettavaa. Kokonaispäättötyö koostuu neljästä eri päätteestä, koska yhdessä valokuitukaapelissa on kaksi kuitua, eli siinä on yhteensä neljä päätä, joihin päätteet on tehtävä. Yhden päätteen hinnaksi arvioitiin 9,5 €.

TAULUKKO 3. Kustannusten laskennassa käytetyt hinnat

Kaapelointien kustannukset eri kaapelityypeillä			
Kaapelityyppi	Metrihinta, €/m	Asennushinta, €/m	Kytkentä, €/molemmat päät
MCMK 2x2,5+2,5	1,6	3,3	80
MCMK 4x2,5+2,5	2,4	7,4	82
MCMK 4x6+6	6,5	4	140
MCMO 7x2,5	4,3	2,4	87
MCMO 12x2,5	6,4	2,9	150
MCMO 19x2,5	11	3,5	195
Ohjauskaapeli 50 µm (50/125) duplex-monimuotovalokuitua (LC-LC)	1,7	1,5	38

TAULUKKO 4. Käytettyjen kaapeleiden metri- ja kappalemäärät

Tarvittavat kaapelityypit ja -määrät eri ohjaintyypeillä, yksi kenttä						
Kaapelityyppi	Perinteinen		Digitaalinen		Retrofit	
	Metri-määrä, (m)	Kappale-määrä, (kpl)	Metri-määrä, (m)	Kappale-määrä, (kpl)	Metri-määrä, (m)	Kappale-määrä, (kpl)
MCMK 2x2,5+2,5	160	7	320	14	160	7
MCMK 4x2,5+2,5	90	4	15	1	105	5
MCMK 4x6+6 (AE11-AE12)	30	2	30	2	30	2
MCMO 7x2,5	160	7	-	-	160	7
MCMO 12x2,5	540	9	-	-	540	9
MCMO 19x2,5	570	3	-	-	570	3
Ohjauskaapeli 50 µm (50/125) duplex-monimuotovalokuitua (LC-LC)	-	-	1 460	20	350	8
MCMK 4x6+6 (Apusähkö asemalta kentälle)	280	2	280	2	280	2
MCMK 4x2,5+2,5 (Ethernet-kytkimien apusähkö asemalta kentälle)	-	-	140	1	140	1

Taulukon 4 kaapelointitiedot on kerätty Fingridin Naantalinsalmen kaapeliluettelosta. Muiden, kuin perinteisen ohjaimen kohdalla on mietitty, mitä ohjauskaapeleita voidaan jättää pois. Oletuksena on, että digitaalista järjestelmää käytettäessä kaikki ohjaus- ja kuntotiedot saadaan vietyä yhtä, kahdennettua väylärakennetta pitkin, jolloin ohjaimille tarvitaan kuitujen lisäksi vain apusähkö. Käytetty väylätopologia on kahdennettu tähti, koska tätä väylätopologiaa DWatch varmuudella tukee. Kenttäohjausyksiköiltä tuodaan kaksi erillistä kuitua, joista molemmat kytketään eri Ethernet-kytkimiin. Myös suojaukselta tuodaan kuidut Ethernet-kytkimille, että yhteys olisi jo valmiina, jos myöhemmin tulevaisuudessa katkaisijatkin halutaan liittää järjestelmään. Ethernet-kytkimille tuodaan myös kaksi kuitua, jotka voidaan liittää joko suoraan asemaväylään tai kahteen eri PI-laitteeseen. Retrofit asennuksessa on oletettu, ettei väylää tarvitse pelkkien kuntotietojen takia kahdentaa ja asennuksesta halutaan saada mahdollisimman edullinen.

Laskennassa käytetyt kaavat ovat yksinkertaisia. Kaapeleiden hinnat on laskettu kertomalla kaapelin metrimäärä sen yksikköhinnalla. Asennuskustannuksissa vastaavasti kaapelin metrimäärät on kerrottu kaapelille määritetyllä asennuksen metrihinnalla. Kytkentäkustannuksia varten kaapeleiden kappalemäärät on kerrottu kaapelityypin kytkentähinnalla. Kytkentähinta sisältää kaapelin molempien päiden kytkennän. Seuraavassa esitetään esimerkkilaskenta perinteisen asennuksen MCMK 2x2,5+2,5 -kaapelin aiheuttamista kustannuksista. Lasketut hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa (ALV 0 %).

$$\text{Kaapelin hinta} = \text{metrimäärä} \cdot \text{yksikköhinta} = 160 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ €/m} = 256 \text{ €} \quad (1)$$

$$\text{Asennuskustannus} = \text{metrimäärä} \cdot \text{asennushinta} = 160 \text{ m} \cdot 3,3 \text{ €/m} = 528 \text{ €} \quad (2)$$

$$\text{Kytkentäkustannus} = \text{kappalemäärä} \cdot \text{kytkentähinta} = 7 \text{ kpl} \cdot 80 \text{ €/kaapeli} = 560 \text{ €} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Kokonaiskustannus} &= \text{kaapeli} + \text{asennus} + \text{kytkentä} \\ &= 256 \text{ €} + 528 \text{ €} + 560 \text{ €} = 1\,344 \text{ €} \end{aligned} \quad (4)$$

Vastaavat laskutoimitukset tehtiin jokaiselle kaapelityypille, jonka jälkeen niistä laskettiin kaikkien kaapeleiden aiheuttamat kustannukset yhtä kenttää kohden. Naantalinsalmella on 110 kV:n kytkinkentällä käytössä 13 eri kenttää ja koko kytkinkentän kustannukset saatiin arvioitua siten, että laskettavaksi kentäksi valittiin kytkinkentän keskeltä AE12, jonka jälkeen kerrottiin tämän yhden kentän kustannukset kaikkien kenttien lukumäärällä. Apusähkön syöttökaapelit on laskettu mukaan erikseen, koska kaapelit liitetään ensimmäisen kentän jakokaappiin, josta syöttökaapelia jatketaan eteenpäin muiden kenttien jakokaapeille. Ensimmäiselle AE5-kentälle tuotujen kahden MCMK 4x6+6 -kaapelin yhteispituus on 280 m ja jakokaappien välisten syöttökaapeleiden pituudet yhteensä 30 m. Sähköasemarakennukselta kentälle AE12 on matkaa kaapelikanavaa pitkin 190 m. Digitaal- ja Retrofit-asennuksissa Ethernet-kytkimien syöttökaapeli tuodaan kentälle ja jakokaapeille samalla periaatteella, kuin muutkin syöttökaapelit.

Lopulliset kustannukset taulukoitiin Exceliin, jonka loppuun digitaalisen ja Retrofit-ohjaimen kustannuksia verrattiin vielä prosentuaalisesti perinteiseen asennustyyliin.

7.2 Saadut tulokset ja niiden arviointi

Saadut tulokset vahvistavat käsitystä siitä, että täysin digitaalinen järjestelmä auttaa kaapelointikustannuksien pudottamisessa huomattavasti, taulukon 5 laskelmien mukaan eroa syntyi digitaalisen järjestelmän eduksi yli 140 000 €. Tosin on muistettava, että digitaalinen järjestelmä vaatii Ethernet-kytkimiä ja mahdollisesti kuituverkon rakentamiseen voidaan joissain tilanteissa joutua käyttämään valokuitupaneeleita, kuitupäätteitä ja muita tarvikkeita, jotka tulisivat nostamaan kustannuksia. Myös muita päivityksiä nykyisiin laitteisiin ja synkronointeihin joudutaan tekemään. Toisaalta huomioon ei ole otettu kaapelikanavia. Kuparikaapelointien kaapelikanavat ovat melko massiivisia ja niiden hinta on suuruusluokaltaan 250 €/m. Valokuidulle tarvittava kanava on todennäköisesti rakenteeltaan kevyempi ja näin ollen hieman edullisempi.

Kiinnostavampi tapaus on Retrofit-asennus, koska se toteutetaan todennäköisemmin. Odotetusti Retrofit-asennus tulee jo pelkkien kaapelointien osalta kalliimmaksi, koska perinteinen kaapelointi pysyy ennallaan ja siihen lisätään vielä prosessi-LAN-verkko. Naantalinsalmen pilottihankkeen kustannukset eivät tule olemaan taulukon 5 mukaisia, koska aseman erottimien kuparikaapelointi on jo valmiina eli pelkästään väylä puuttuu. Taulukon 5 perusteella voidaan kuitenkin arvioida, että pelkän väyläkaapelin hinta asennuksineen, mutta ilman lisätarvikkeita, tulee olemaan pyöristetysti 2 000 € kenttää kohden, jossa on 7 erotinohjainta.

Uutta tekniikkaa hankittaessa kyse on lähes aina suurista rahasummista, joita uudet investoinnit vaativat. Tässä tapauksessa kustannustehokkain ratkaisu tulisi olemaan digitaalinen ohjain langattomalla tiedonsiirrolla, koska se ei vaadi muutoksia fyysiseen kaapelointiin kytkinkentällä. Langatonta tiedonsiirtoa varten jouduttaisiin hankkimaan korkeintaan jokin PI-laite ja lisäantenni. Toki tässäkin tapauksessa joudutaan hankkimaan perinteisiä erotinohjaimia kalliimmat ohjaimet, mutta kustannuslaskenta vahvistaa käsitystä siitä, että prosessi-LAN-verkon tarpeellisuutta kannattaa harkita.

TAULUKKO 5. Lopulliset kaapelointikustannukset eri ohjaintyypeille

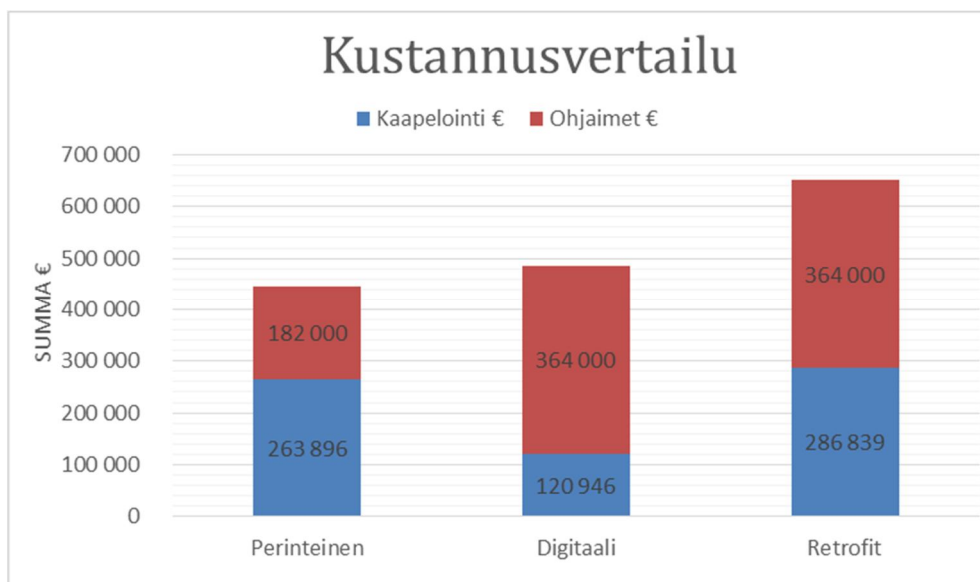
Tiivistelmä kustannuksista			
	Perinteinen	Digitaalinen	Retrofit
Kaapelikustannukset (1 kenttä, €)	11 081	3 225	11 712
Asennuskustannukset (1 kenttä, €)	8 971	5 719	9 993
Kokonaiskustannukset (1 kenttä, €)	20 052	8 944	21 705
Kaapelikustannukset (13 kenttää, €)	145 873	44 081	154 412
Asennuskustannukset (13 kenttää, €)	118 023	76 865	132 427
Kokonaiskustannukset (13 kenttää, €)	263 896	120 946	286 839
Kustannuksen osuus perinteiseen nähden (%)	100 %	46 %	109 %

Kustannuksista puuttuu myös tärkein, eli itse erotinohjainten hinnat, koska valmistaja ei opinnäytetyön kirjoitusvaiheessa pystynyt vielä tätä tietoa antamaan. Perinteinen erotinohjain maksaa noin 2 000 € ja digitaalinen ohjain tulee varmasti olemaan tätä kalliimpi. Lisäksi lisäkustannuksia tulee erotinohjaimen asennuksesta, oli se sitten kokonainen digitaalinen ohjain tai nykyiseen ohjaimen asennettava Retrofit-lisäosa.

Taulukkoon 6 laskettiin vielä erotinohjaimien vaikutus lopullisiin kustannuksiin, koska niiden hankintahinnat ovat suhteellisen korkeita ja näin ollen vaikutus lopullisiin kustannuksiin on suuri. Vaikka uusien ohjaimien hinta ei ole vielä virallisesti tiedossa, voidaan niiden hintoja kuitenkin arvailla. Perinteinen ohjain maksaa noin 2 000 €. Digitaalisen ohjaimen suunnitteluun on käytetty varmasti paljon aikaa ja niitä myydään vähemmän perinteisiin ohjaimiin verrattuna. Laskennassa siis oletettiin, että digitaaliohjain tulisi olemaan tuplasti perinteistä kalliimpi, eli 4 000 €. Retrofit-ohjaimen kohdalla oletettiin, että "pelkkä äly", eli perinteiseen ohjaimen asennettava lisäosa voisi maksaa noin 2 000 €, eli perinteisen ohjaimen kanssa sekin tulisi maksamaan noin 4 000 €. Taulukon 6 kustannukset ovat kaapelointien tapaan laskettu sillä periaatteella, että aseman erottimia ja kaapelointeja ei ole vielä hankittu eikä asennettu. Jokaisessa tilanteessa yhdelle kentälle tarvitaan 7 ohjainta ja kaikille 13 kentälle yhteensä 91 ohjainta. Erottimista aiheutuneet kustannukset lisättiin taulukkoon 5 laskettuihin kaapelointien kustannuksiin, jonka jälkeen saatuja arvoja verrattiin jälleen perinteiseen asennustapaan.

TAULUKKO 6. Erotinohjainten teoreettinen vaikutus lopullisiin kustannuksiin

Kustannukset teoreettisillä ohjaimien hinnoilla			
	Perinteinen	Digitaalinen	Retrofit
Kokonaiskustannukset kaapelointien osalta (13 kenttää)	263 896	120 946	286 839
Perinteisen ohjaimen hinta, 2 000 €/kpl	182 000	-	-
Digitaaliohjaimen hinta, 4 000 €/kpl	-	364 000	364 000
Kustannukset yhteensä	445 896	484 946	650 839
Kustannusten osuus perinteiseen nähden %	100 %	109 %	146 %



KUVIO 2. Kustannusvertailu pylväsdiagrammina

Saadut tulokset nostavat myös digitaalisen järjestelmän kustannukset perinteistä järjestelmää kalliimmaksi, vaikka kaapeloinneissa digitaalisuus osoittautui merkittävästi edullisemmaksi. Erotinohjainten hinnalla siis on odotetusti merkittävä vaikutus lopullisiin kustannuksiin. Retrofit-järjestelmä on laskennoissa ylivoimaisesti kallein ratkaisu, mutta on kuitenkin muistettava, että todellisuudessa Retrofit-järjestelmä rakennettaisiin jo olemassa ja käytössä oleville asemille. Edelleenkin laskennat eivät puhtaasti todista digitaalisen järjestelmän olevan lopullisesti kalliimpi kuin perinteinen järjestelmä, koska laskennat eivät ota kantaa projektin toteutukseen kokonaisuudessaan, johon liittyvät muun muassa järjestelmän suunnittelusta ja käyttöönotosta aiheutuvat kustannukset. Lisäksi järjestelmien käyttöönoton jälkeen digitaalisen järjestelmän pitäisi helpottaa huoltojen suunnittelemista ja mahdollisesti jopa orastavien vikojen havaitsemista, jolloin kustannussäästöjä syntyy välillisesti. Digitaalitekniikka alkaa maksamaan itseään takaisin, jos sen avulla pystytään nopeuttamaan huoltoja ja välttymään yllättäviltä käyttöhäiriöiltä.

Lopullinen kustannusten suuruus varmistuu, kun GE Alstom pystyy ilmoittamaan digitaalisten erotinohjainten hinnat ja kun pilottihanke on saatu valmiiksi. Silloin saatuja tuloksia on helpompi soveltaa muihin kohteisiin, kun lopullinen ja kannattavin tekninen toteutus selviää. Lisäksi laskennassa kaapeleina käytettiin heikosti häiriösuojattuja MCMO- ja MCMK-kaapeleita. Lopullista järjestelmää rakennettaessa on selvitettävä, voidaanko elektroniikkaa sisältävät erotinohjaimet ja Ethernet-kytkimet kaapeloida tällaisella kaapelilla vai vaativatko ne paremmalla häiriösuojauksella varustettua kaapelointia eli käytännössä MCCMO- ja MCCMK-kaapeleita. Pienillä poikkipinta-aloilla paremmin suojatut kaapelit eivät ole merkittävästi kalliimpia kuin kevyemmällä suojauksella tehdyt kaapelit, mutta suurilla poikkipinta-aloilla metrihinnoissa voi olla jo useiden eurojen eroja.

8 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää IEC 61850 -standardia ja sen vaikutuksia primäärilaitteisiin. Työssä kiinnitettiin eniten huomiota GE Alstomin uuteen digitaaliseen erotinohjaimeseen, mutta myös muita markkinoilla tai kehitteillä olevia laitteita otettiin työhön mukaan. Työn alkuvaiheessa oli tärkeää opiskella IEC 61850 -standardin perusteet, koska standardi vaikuttaa sähköaseman ja laitteiden suunnitteluun ja rakentamiseen. Lisäksi ennen digitaaliseen erotinohjaimeseen tutustumista oli ymmärrettävä nykyisin käytössä olevan perinteisen erotinohjaimen toimintaperiaate. Opinnäytetyön loppupuolella pohdittiin digitalisaation hyviä ja huonoja puolia.

Fingridin työntekijät pitävät nykyisin käytettävää tekniikkaa erittäin luotettavana. Järjestelmän rakenne on yksinkertainen, vaikka kaapelointia kytkinkentille ja laitteille tarvitaankin massiivisesti. Fingridillä on velvollisuus taata käyttäjilleen luotettava sähkönjakelu ja tämän toteuttamiseen vaaditaan kaikilta sähkönjakelujärjestelmän laitteilta varmatoimisuutta. Nämä ovat syitä siihen miksi halutaan harkita tarkkaan, onko uusiin laitteisiin tehtävät investoinnit vielä kannattavia. Toisaalta kantaverkkoyhtiöllä on myös velvollisuus kehittää sähkönjakelujärjestelmäänsä ja voidaan pitää varmana, että digitaalitekniikka tulee olemaan tulevaisuudessa isossa osassa älykkäitä sähköverkkoja rakennettaessa.

On mahdollista, että tulevaisuudessa prosessiväylää hyödynnetään kuntotietojen hankkimisen lisäksi myös ohjaukskäskyjen välittämiseen. DWatch-erotinohjain pystyisi tähän jo nyt, mutta on todennäköisempää että käyttöön valitaan niin sanottu Retrofit-malli, jossa ohjaukset tehdään kuparikaapeleilla ja prosessiväylää käytetään vain kuntotietojen hankkimiseen. Jos GE Alstom saa ohjaimiinsa rakennettua langatonta tekniikkaa kuntotietojen siirtämistä varten, on myös se harkitsemisen arvoisen ratkaisu. Digitaalisten erotinohjainten hankkiminen ei ole turha investointi, vaikka sen kaikkia ominaisuuksia ei otettaisikaan heti käyttöön. Jos esimerkiksi myöhemmin ohjaukskäskytkin haluttaisiin tehdä digitaalisesti, niin voitaisiin siinä mahdollisesti hyödyntää jo olemassa olevaa prosessiväylää.

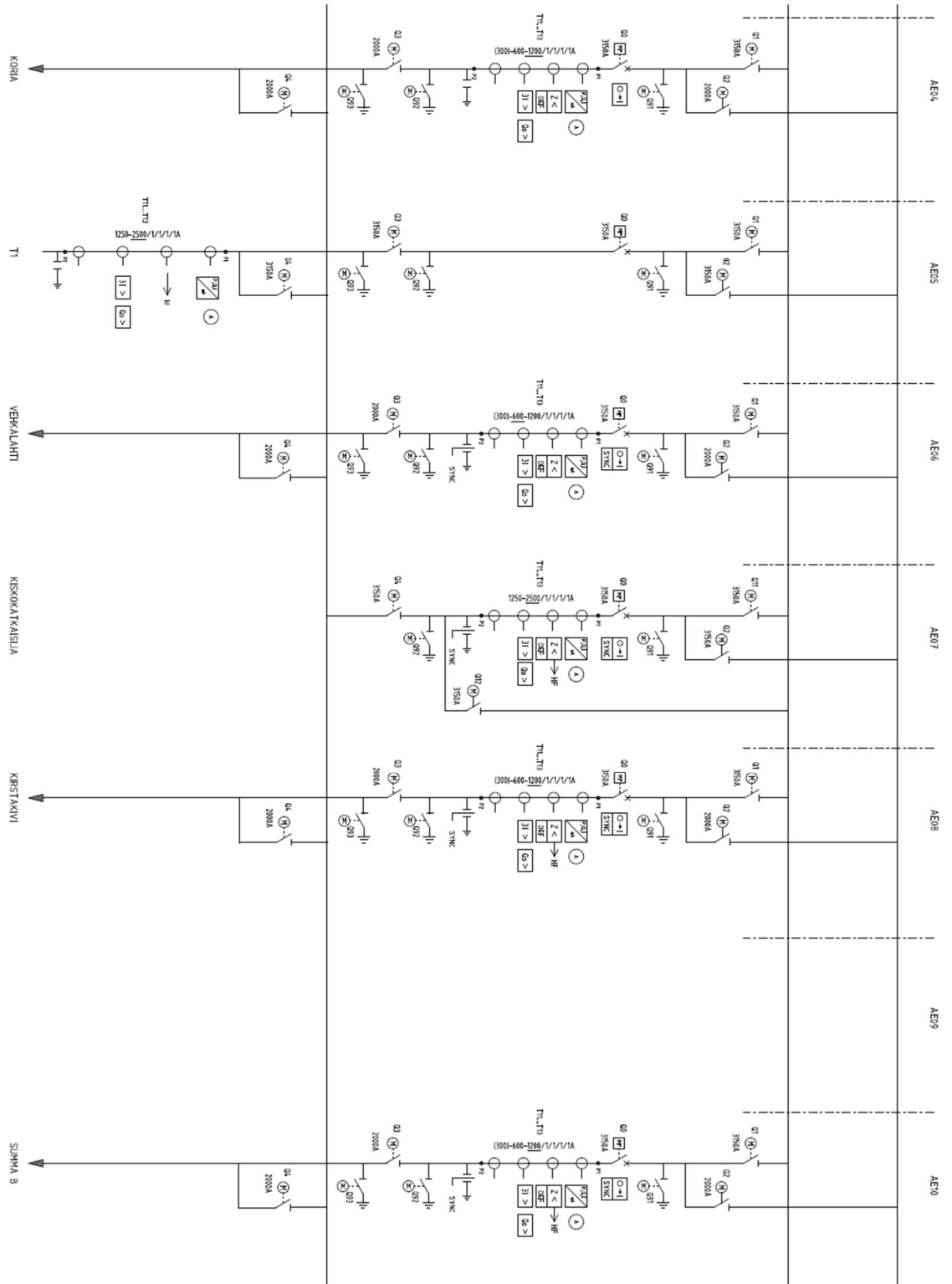
Opinnäytetyössä digitalisaatioon liittyviä asioita on käsitelty hyvin teoriapainotteisesti, mutta myös käytännön asioita on pyritty ottamaan huomioon. Tulevassa pilottihankkeessa testataan todennäköisesti digitaalista erotinohjainta ja prosessiväylää pelkkien kuntotietojen hankkimiseen. Ajatusta langattoman mallin testaamisesta ei kannata sulkea kokonaan pois, vaikka se ei ehtisikään vielä Naantalinsalmen pilottihankkeeseen, koska laajemmin käytettynä se tulee olemaan edullisin vaihtoehto kuntotietojen hankkimiseen. Yksi tulevaisuuden hankkeista voi olla siirtyminen kytkinlaitteiden digitaaliseen ohjaamiseen varsinkin, jos digitaalitekniikka leviää myös katkaisijoihin. Lähitulevaisuudessa aiheen tutkimiseen kannattaa suunnata edelleen resursseja.

LÄHDELUETTELO

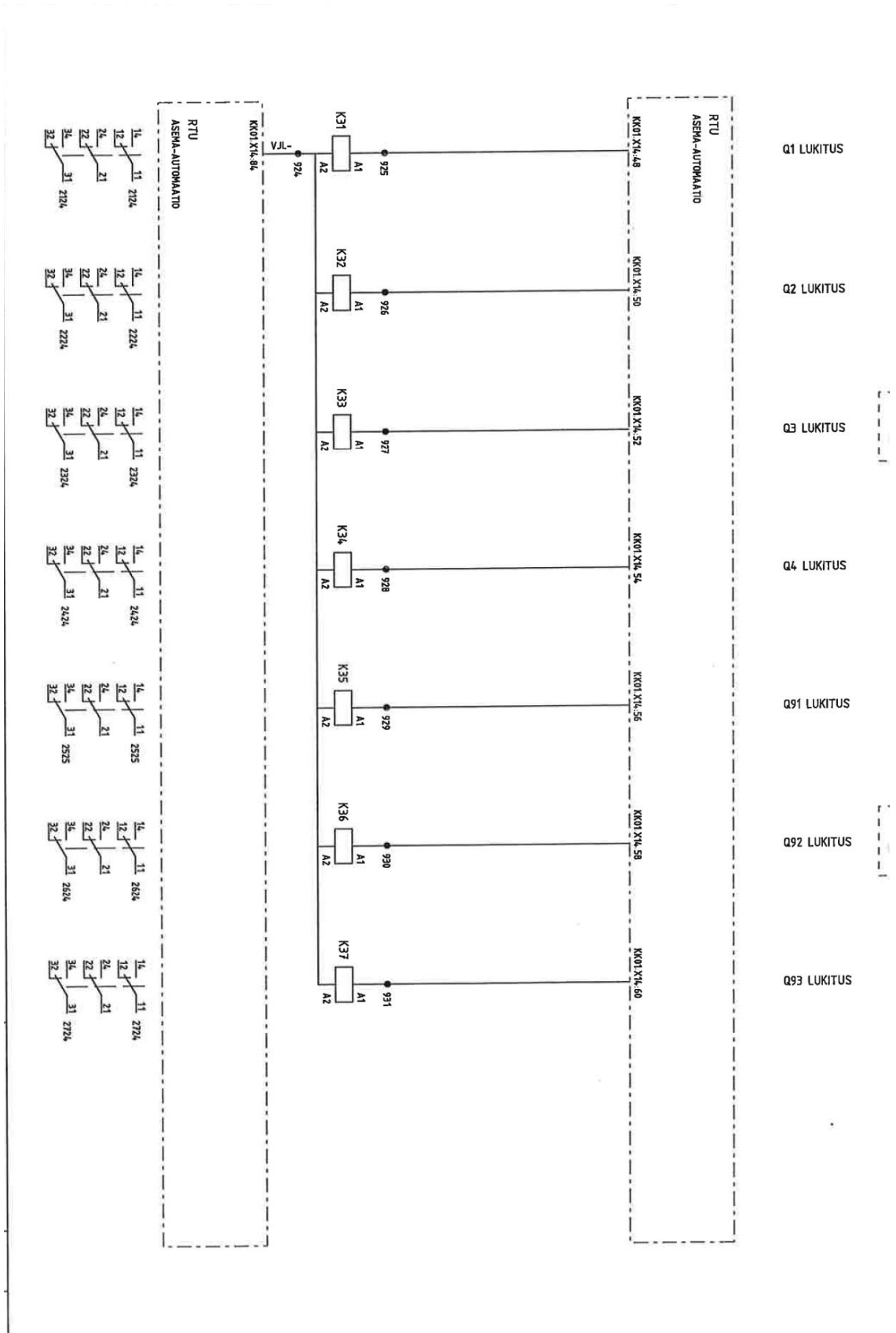
- ABB. (2014). *IEC 60870-5-103 Communication Protocol Manual*. ABB.
- ABB. (24. elokuu 2016). *ABB Review: Special Report IEC 61850*. Haettu 3. tammikuu 2017 osoitteesta ABB sivusto: http://www.abb.fi/AbbLibrary/DownloadCenter/?CategoryID=rootabb_review&ShowResultsTab=True&DocumentKind=Report&SortBy=DocKind#&&/wEXAQUa2V5BZoBM8KwOUFBQzgxNTEyNMKxc3BIY2lhbCByZXBvcnTCscKxUmVwb3J0wrHCsVTCscKxMMKxZmnCsmVuwrEzNMKxRknCscKxMsKxVMKxMMKxwrEwwrE
- ABB. (2017). *ABB launches new generation Fiber Optic Current Sensor for high voltage applications*. ABB.
- ABB. (6. maaliskuu 2017a). FOCS - Fiber Optical Current Sensors. Haettu 6. maaliskuu 2017 osoitteesta https://library.e.abb.com/public/bb0c5687c1274069a638347dbd361b0c/ABB%20383%20VID_FOCS%20HD.mp4
- ABB. (2017b). *FOCSin mittausperiaate*. ABB. Noudettu osoitteesta <http://new.abb.com/power-electronics/fi/focs/mittausperiaate>
- ABB. (6. maaliskuu 2017c). Fiber Optics Current Sensor - Free Standing. Haettu 6. maaliskuu 2017 osoitteesta [https://library.e.abb.com/public/5720cab59ebf14d8c1257dcb0031121e/Fiber%20Optics%20Current%20Sensor%20\(FOCS-FS\)%20Presentation.pdf](https://library.e.abb.com/public/5720cab59ebf14d8c1257dcb0031121e/Fiber%20Optics%20Current%20Sensor%20(FOCS-FS)%20Presentation.pdf)
- Basic communication structure - Principles and models. (2011). *IEC 61850-7-1. 2. versio*. Geneva: IEC.
- Fingrid Oyj. (3. tammikuu 2017a). *Avaintiedot: Fingrid Oyj*. Haettu 2. 1 2017 osoitteesta Fingrid Oyj:n nettisivusto: <http://www.fingrid.fi/fi/yhtio/esittely/avaintiedot/Sivut/default.aspx>
- Fingrid Oyj. (3. tammikuu 2017b). *Verkon kunnossapito ja rakenne*. Haettu 2. 1 2017 osoitteesta Fingrid Oyj:n sivusto: <http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kunnossapito/Sivut/default.aspx>
- Fingrid tietokanta. (25. lokakuu 2010a). *Tehomuuntajat: Kantaverkkowiki*. Haettu 4. tammikuu 2017 osoitteesta Fingridin tietokanta: Ei julkisesti saatavilla
- Fingridin tietokanta. (27. lokakuu 2010b). *Kytkinlaitteet: Kantaverkkowiki*. Haettu 4. tammikuu 2017 osoitteesta Fingridin tietokanta: Ei julkisesti saatavilla
- Fingridin tietokanta. (12. lokakuu 2010c). *Mittamuuntajat: Kantaverkkowiki*. Haettu 4. tammikuu 2017 osoitteesta Fingridin tietokanta: Ei julkisesti saatavilla
- Fingridin tietokanta. (12. lokakuu 2010d). *Kompensointilaitteet: Kantaverkkowiki*. Haettu 4. tammikuu 2017 osoitteesta Fingridin tietokanta: Ei julkisesti saatavilla
- GE Grid Solutions. (2016). *DWatch, The smart operating mechanism. Disconnecter product solutions*. GE.
- General Electric Company. (2016). *CBWatch3: General Electric Company*. Haettu 6. helmikuu 2017 osoitteesta GE Grid Solutions: <http://www.gegridsolutions.com/md/catalog/CBWatch3.htm>
- Gibney, A. (Ohjaaja). (2016). *Dokumenttiprojekti: Sota tietoverkossa* [Elokuva].
- Hapam. (2004). *EAF-moottorihjaimen ohjekirja*.
- Heikkilä, J. (2004). Sähköasemat ja niiden tärkeimmät laitteet. *Fingrid-lehti, 1*.
- IEC. (27. helmikuu 2017). *IEC 61850:2016 SER: IEC Webstore*. Noudettu osoitteesta IEC Webstore: <https://webstore.iec.ch/publication/6028>
- Introduction and overview. (2013). *IEC 61850-1*. Geneva: IEC.
- Kaukonen, J. (10. maaliskuu 2017a). Kommunikoinnin rajapinnat. Perinteinen VS IEC 61850. Varkaus.
- Kaukonen, J. (10. tammikuu 2017b). Valokuva Hapam EAF-tyypin erotinohjaimesta. Varkaus.
- Koski, E. (20. helmikuu 2017). *Luotettavuuslaskelmat*. Noudettu osoitteesta ABB Oy:n sivusto: [http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb254.nsf/0/c131fd0b136d5ac7c1257162004c188f/\\$file/PRES_Eero_Koski_Luotettavuuslaskenta.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb254.nsf/0/c131fd0b136d5ac7c1257162004c188f/$file/PRES_Eero_Koski_Luotettavuuslaskenta.pdf)

- Leino, R. (1. joulukuu 2010). Stuxnet näytti, mikä on mahdollista. *Tekniikka & talous*. Haettu 27. helmikuu 2017
- Litmanen, J. (7. helmikuu 2017). Keskustelu tiedonsiirtoon liittyvistä asioista.
Network engineering guidelines. (2013). *IEC 61850-90-4*. Geneva: IEC.
- Oksanen, J.;& Muhonen, T. (2017). Suomen sähköverkkoon hyökätään jatkuvasti - myös suurvallat aktiivisia.
Taloussanomat. Haettu 27. helmikuu 2017 osoitteesta <http://www.iltasanomat.fi/taloussanomat/art-2000005101603.html>
- OMICRONenergy. (13. heinäkuu 2016). Route to IEC 61850: Client/Server, GOOSE and Sampled Values. Haettu 10. maaliskuu 2017 osoitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=DubayMLGrDY>
- Proudfoot, D. (21. maaliskuu 2002). *UCA and 61850 for dummies*. Haettu 2. tammikuu 2017 osoitteesta <http://www.nettedautomation.com/download/UCA%20and%2061850%20for%20dummies%20V12.pdf>
- Ruohonen, M. (7. maaliskuu 2017). Kysymys IEC 61850 -standardin tiedonsiirrosta.
- Schwarz, K. (18. helmikuu 2011). *Does IEC 61850 require special Ethernet Switches*. Noudettu osoitteesta News on IEC 61850 and related Standards: <http://blog.iec61850.com/2011/02/does-iec-61850-require-special-ethernet.html>
- Stella, E.;Da Villa, M.;Bergamo;Dario, H. I.;& Peltola, R. (26. tammikuu 2017). Digitaalinen erotinohjain DWatch. Helsinki.
- Stella, E.;Pivato, M.;& Rayon, J. L. (2016). DWatch - Intelligent disconnecter mechanism for digital substation. Pariisi: Cigre.
- Tenhunen, A. (2016). Sähköyhtiöihin yritetty tietomurtoja - samaan aikaan varauduttava perinteisiin uhkiin. *Savon Sanomat*.
- Timbercon. (2017). *LC Connector*. Haettu 30. tammikuu 2017 osoitteesta <http://www.timbercon.com/LC-Connector.html>
- Tiusanen, J. (5. huhtikuu 2017). Opinnäytetyön kommentointi. (J. Kaukonen, Haastattelija)

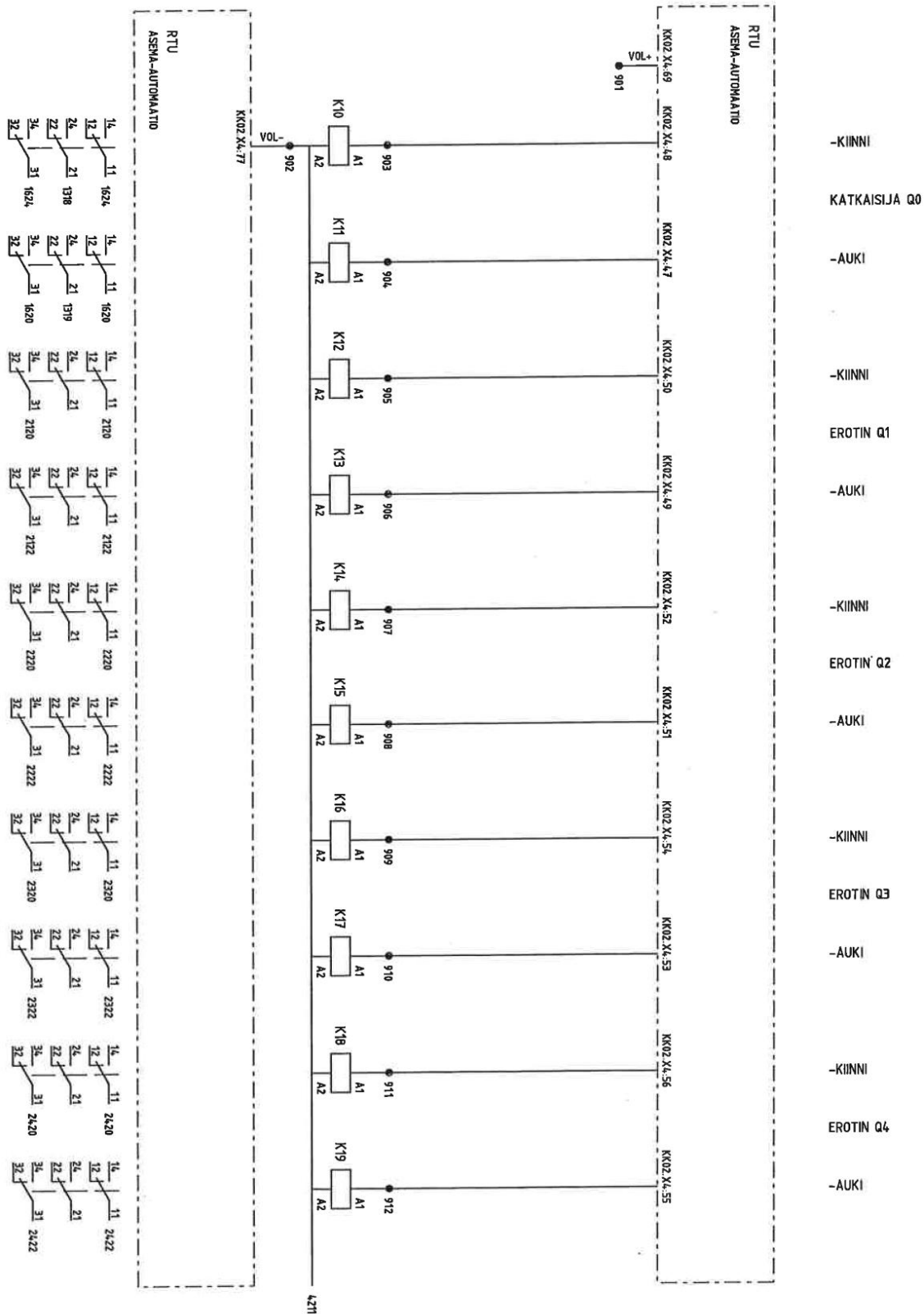
LIITE 1 KYMIN 110 KV PÄÄKAAVIO



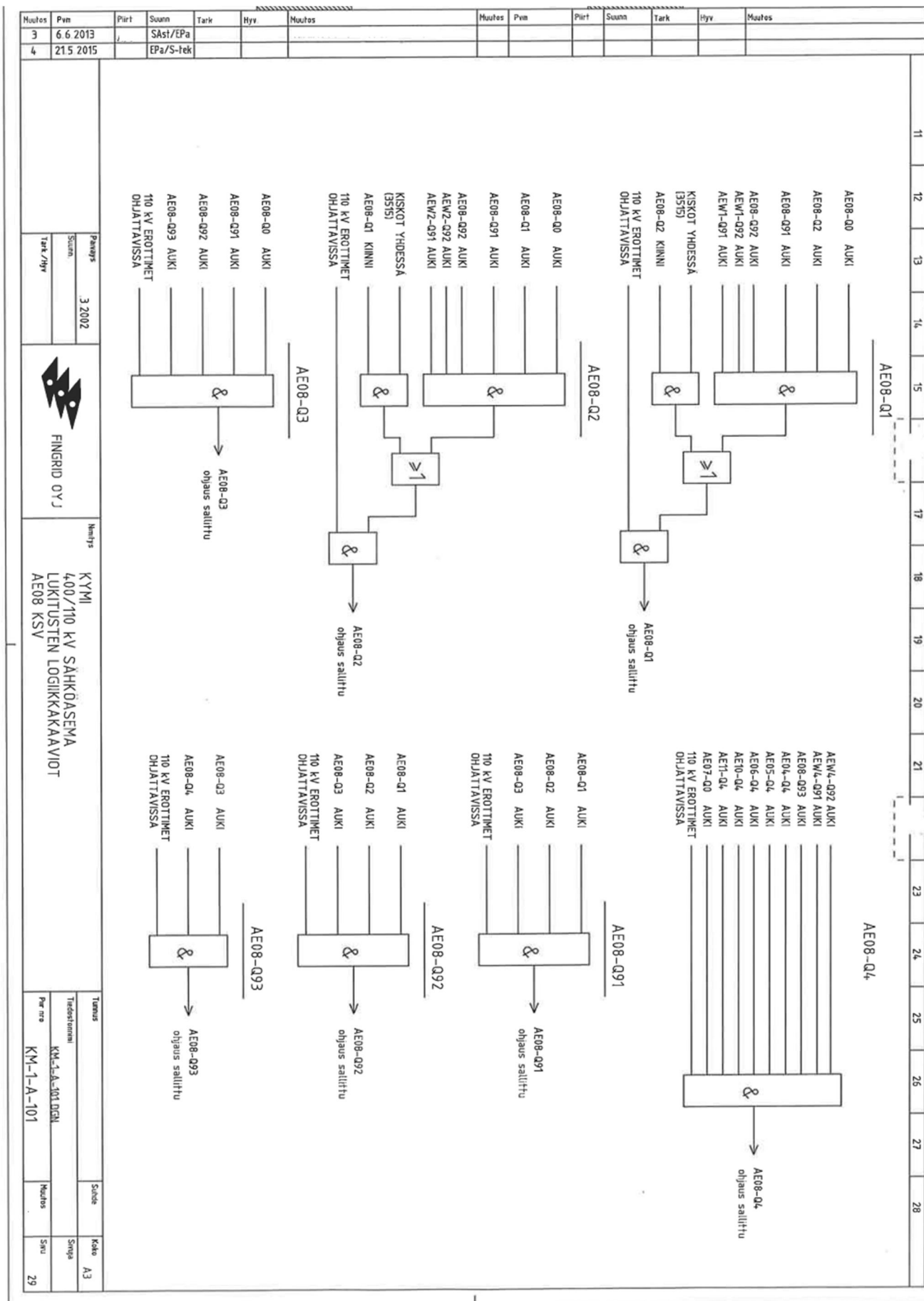
LIITE 4 PERINTEISEN EROTINOHJAIMEN LUKITUKSEN KAUKO-OHJAUS



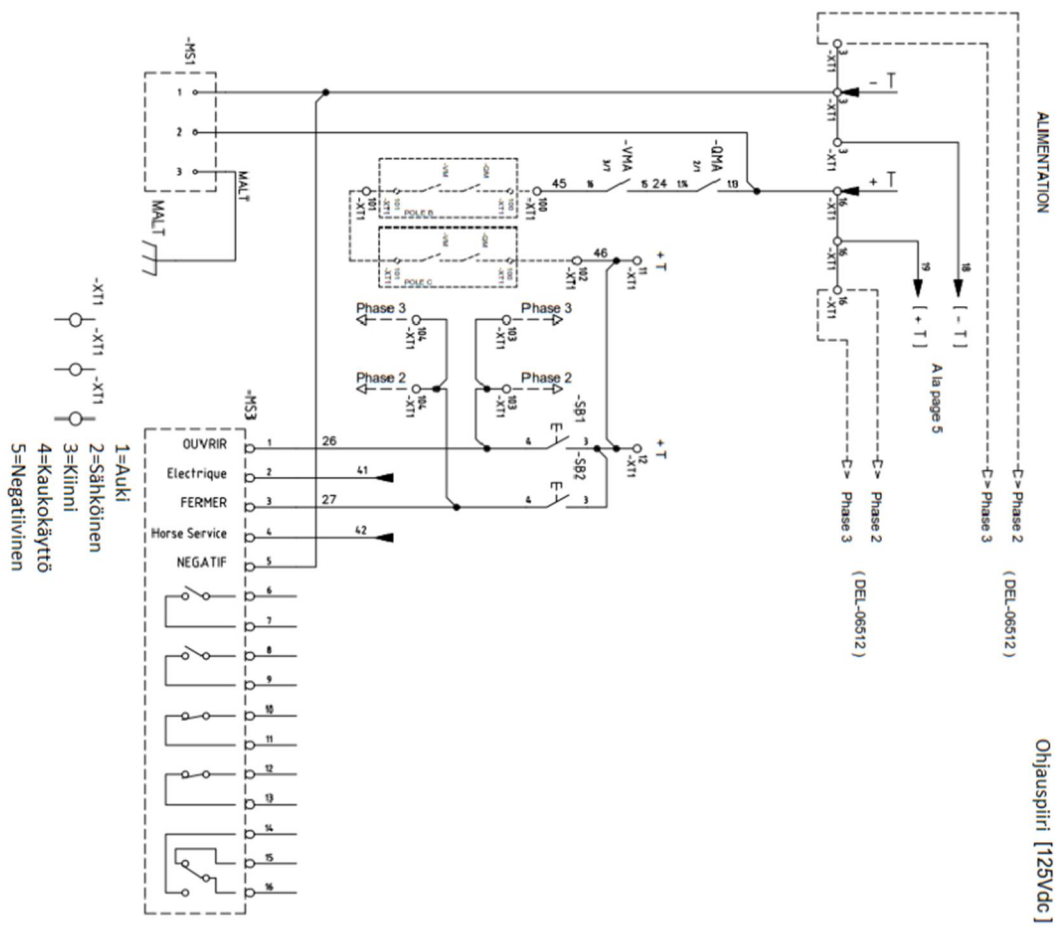
LIITE 5 PERINTEISEN EROTINOHJAIMEN KAUKO-OHJAUS



LIITE 6 AE08-KENTÄN EROTINTEN LUKITUSTEN LOGIikkAKAAVIOT



LIITE 8 DWATCH-OJAUSPIIRI



- 1=Auki
- 2=Sähköinen
- 3=Kiinni
- 4=Kaukokäyttö
- 5=Negatiivinen

Ohjauspiiri [125Vdc]



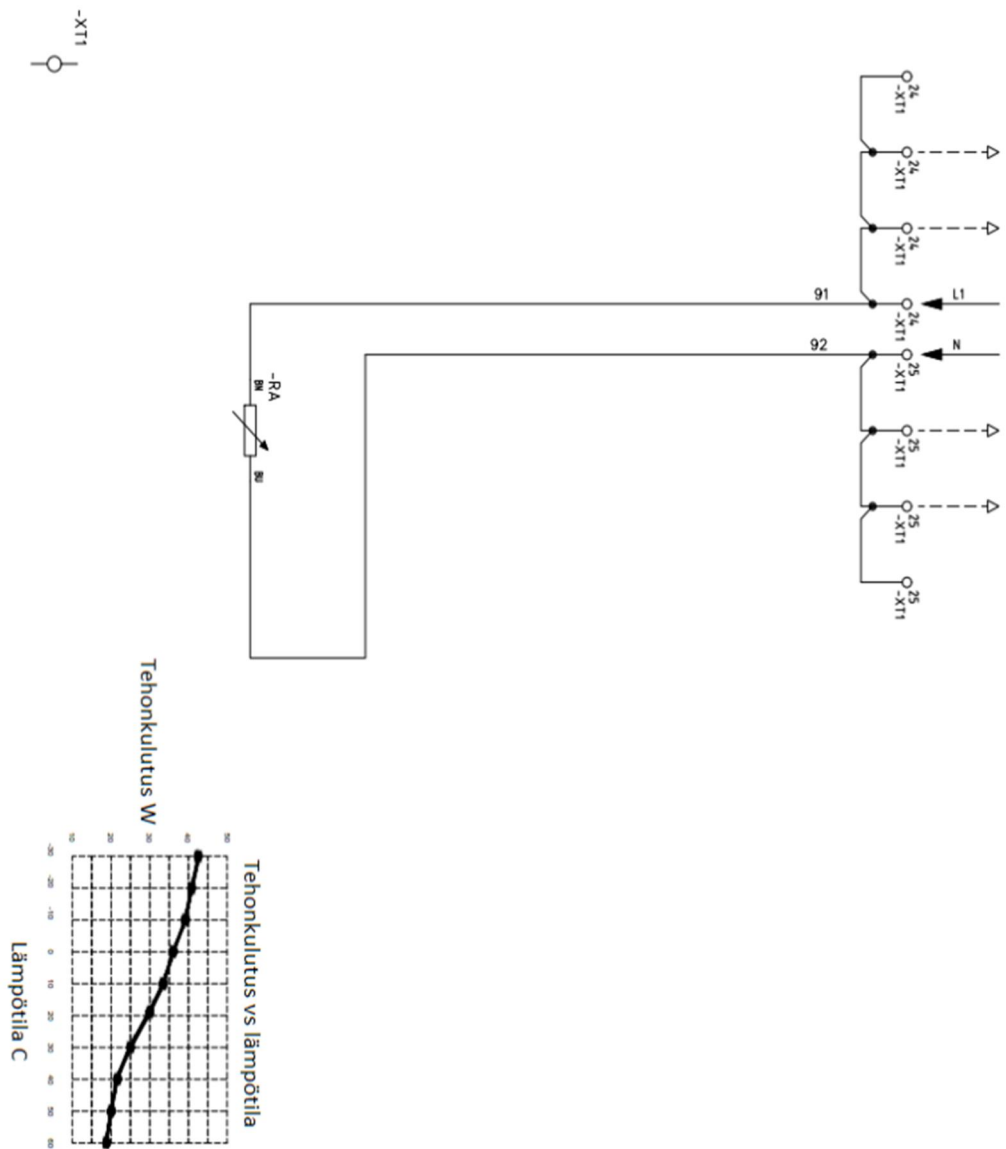
VMA

WAFER	CONTACT	POSITION
1	0	2

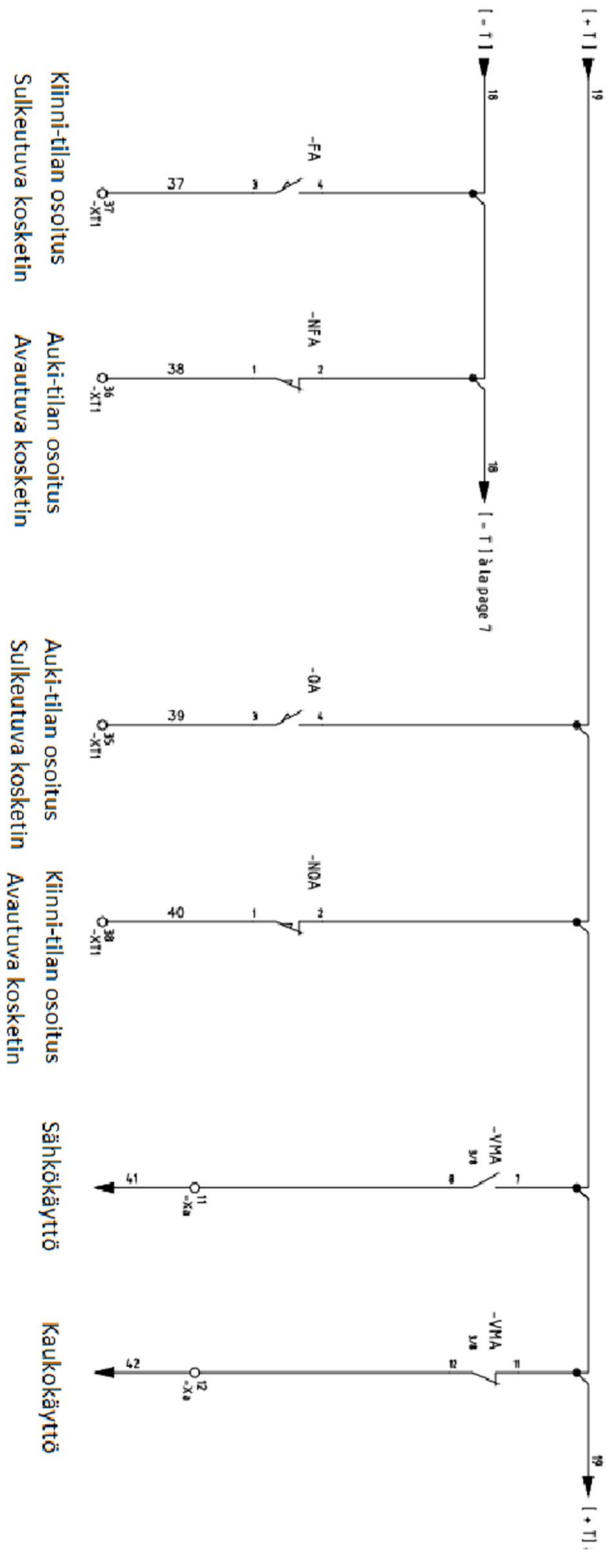
1=Kaukokäyttö
2=Sähkökäyttö
3=Käsiikäyttö

LIITE 9 DWATCH-LÄMMITYSPIIRI

[230V 50HZ] Lämmityspiiri



Apukosketinkaavio tilan osoittamiseen



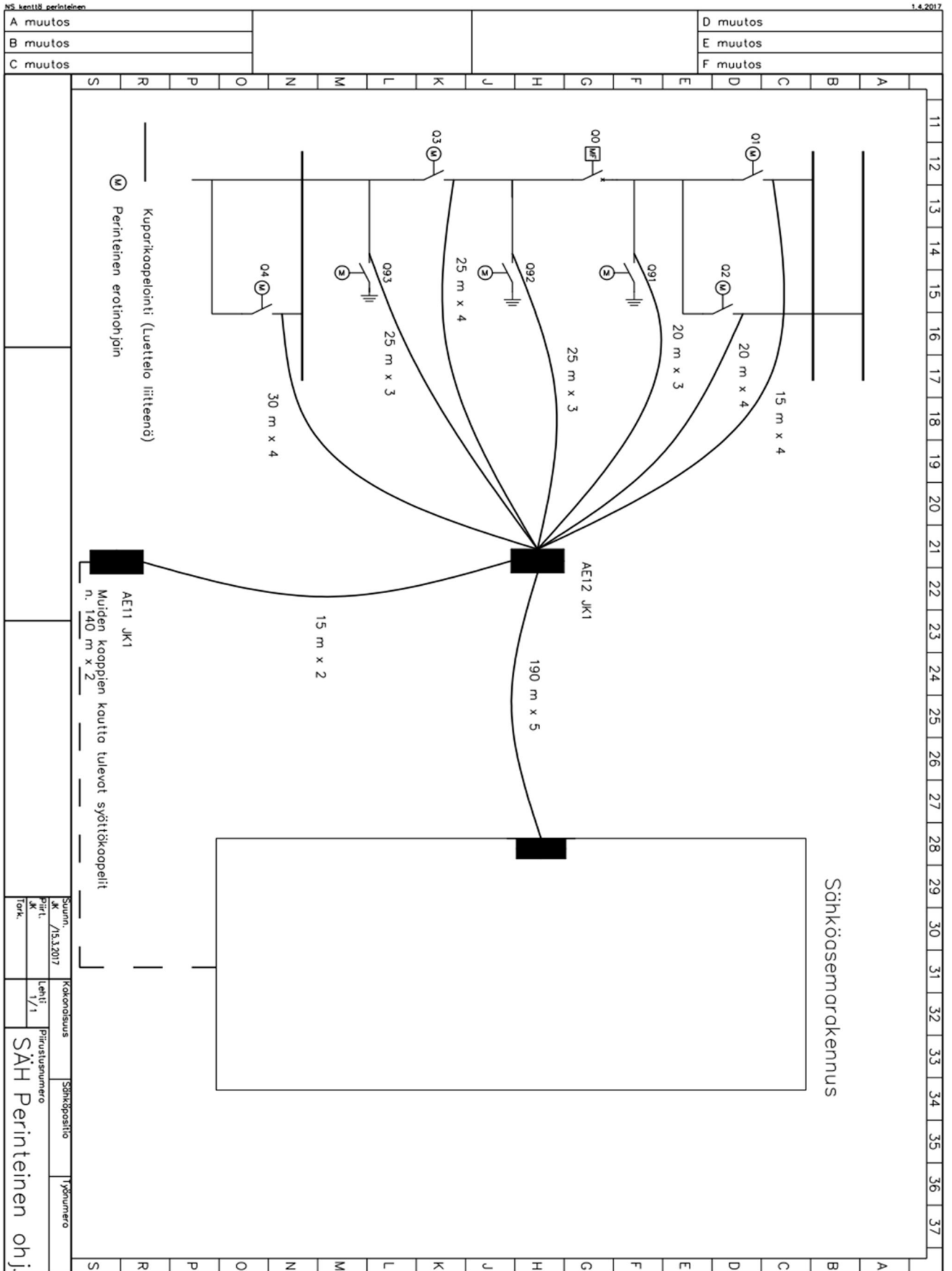
Apukosketindiagrammi



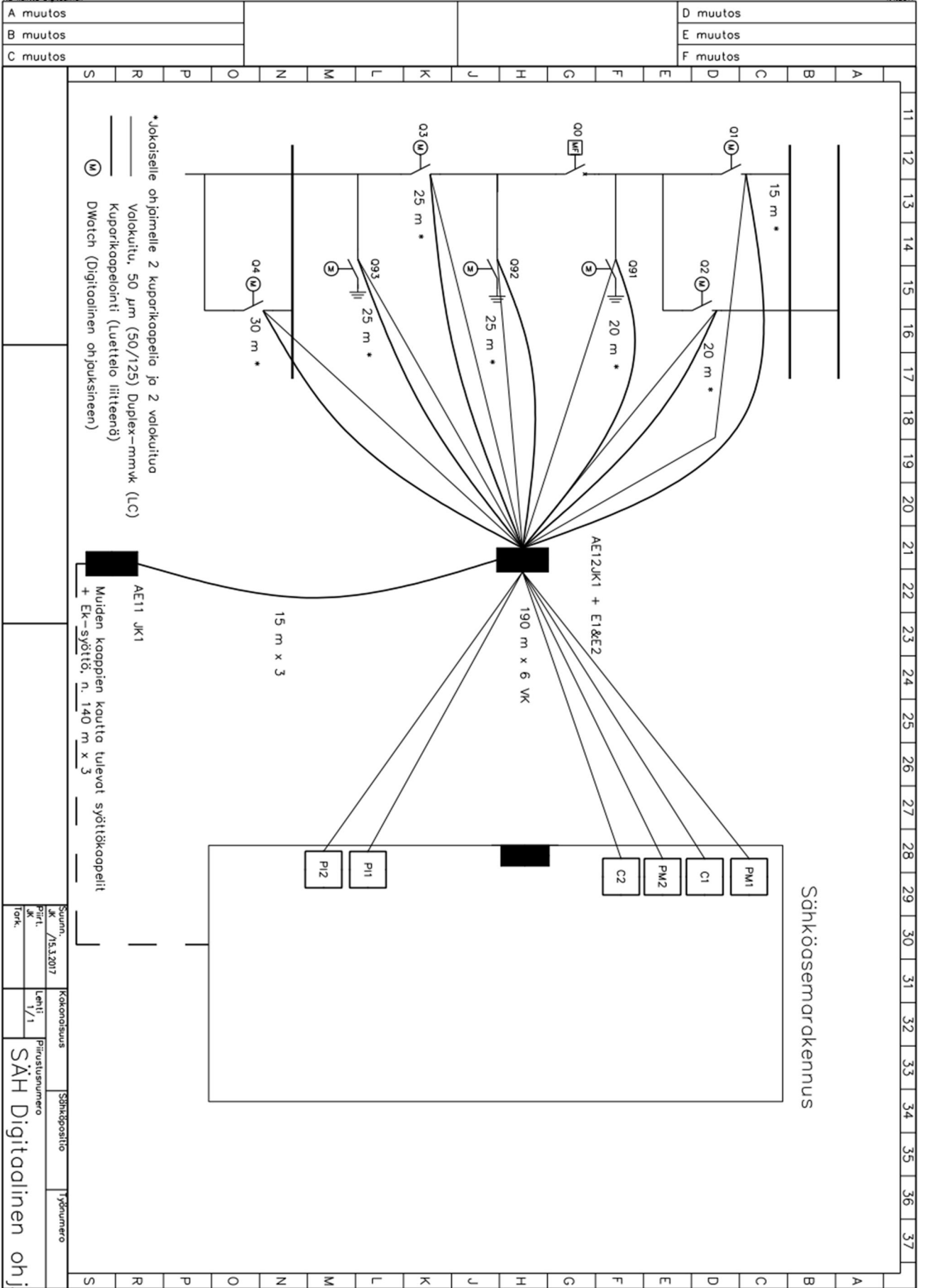
Auki		Kiinni	
OA	NOA		
NFA	FA		
NFA			

0° Sectionneur principal 135°

LIITE 12 PERIAATEKUVAT JA KAAPELILUETTELOT, PERINTEINEN, DIGITAALINEN JA RETROFIT



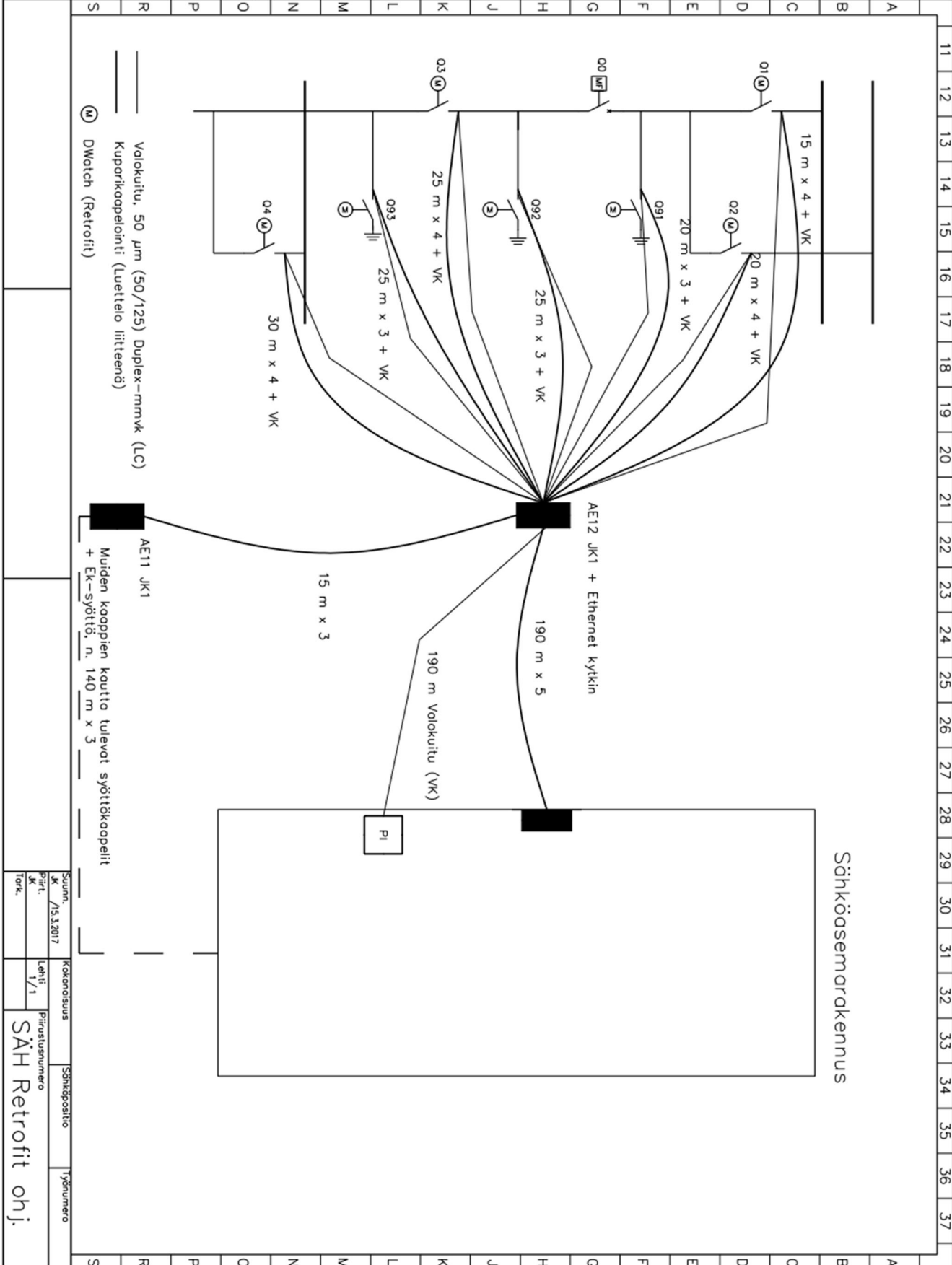
Perinteinen					
Mistä	Mihin	Kaapeli	Kpl määrä	Pituus/kaapeli (m)	Tarkoitus
Asema	AE05JK1	MCMK 4x6+6	2	140	Syöttö moottoreille ja lämmitykselle
Asema	AE12JK1	MCMO 19x2,5	3	190	Ohjauskaapelit
Asema	AE12JK1	MCMO 12x2,5	2	190	Ohjauskaapelit
AE11 JK1	AE12JK1	MCMK 4x6+6	2	15	Moot. ja läm. jännitteiden ketjutus
AE12JK1	Q1	MCMO 12x2,5	1	15	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q1	MCMO 7x2,5	1	15	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q1	MCMK 2x2,5+2,5	1	15	230 VAC
AE12JK1	Q1	MCMK 4x2,5+2,5	1	15	Katkaisijavikasuoja ohj.
AE12JK1	Q2	MCMO 12x2,5	1	20	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q2	MCMO 7x2,5	1	20	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q2	MCMK 2x2,5+2,5	1	20	230 VAC
AE12JK1	Q2	MCMK 4x2,5+2,5	1	20	Katkaisijavikasuoja ohj.
AE12JK1	Q3	MCMO 12x2,5	1	25	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q3	MCMO 7x2,5	1	25	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q3	MCMK 2x2,5+2,5	1	25	230 VAC
AE12JK1	Q3	MCMK 4x2,5+2,5	1	25	Katkaisijavikasuoja ohj.
AE12JK1	Q4	MCMO 12x2,5	1	30	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q4	MCMO 7x2,5	1	30	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q4	MCMK 2x2,5+2,5	1	30	230 VAC
AE12JK1	Q4	MCMK 4x2,5+2,5	1	30	Katkaisijavikasuoja ohj.
AE12JK1	Q91	MCMO 12x2,5	1	20	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q91	MCMO 7x2,5	1	20	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q91	MCMK 2x2,5+2,5	1	20	230 VAC
AE12JK1	Q92	MCMO 12x2,5	1	25	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q92	MCMO 7x2,5	1	25	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q92	MCMK 2x2,5+2,5	1	25	230 VAC
AE12JK1	Q93	MCMO 12x2,5	1	25	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q93	MCMO 7x2,5	1	25	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q93	MCMK 2x2,5+2,5	1	25	230 VAC



Suunn. K. /15.3.2017	Kokonaisuus
Piirt. K.	Lehti 1/1
Tork.	Piirustusnumero
SÄH Digitaalinen ohj	
Sähköpostio	Tyyppinumero

Digitaalinen					
Mistä	Mihin	Kaapeli	Kpl määrä	Pituus/kaapeli (m)	
Asema	AE05JK1	MCMK 4x6+6	2	140	Syöttö moottoreille ja lämmitykselle
Asema	AE05JK1	MCMK 4x2,5+2,5	1	140	Ethernet-kytkimien apusähkö
Asema (PM1)	AE12JK1E1	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	190	Prosessiväylä 1. ohjaukselta
Asema (PM2)	AE12JK1E2	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	190	Prosessiväylä 2. ohjaukselta
Asema (C1)	AE12JK1E1	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	190	Prosessiväylä 1. suojaukselta
Asema (C2)	AE12JK1E2	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	190	Prosessiväylä 2. suojaukselta
Asema (PI1)	AE12JK1E1	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	190	Prosessiväylä 1. PI-laitteelta
Asema (PI2)	AE12JK1E2	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	190	Prosessiväylä 2. PI-laitteelta
AE11 JK1	AE12JK1	MCMK 4x6+6	2	15	Moot. ja läm. jännitteiden ketjutus
AE11 JK1	AE12JK1	MCMK 4x2,5+2,5	1	15	Ethernet-kytkimien apusähkö
AE12JK1E1	Q1	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	15	1. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1E2	Q1	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	15	2. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1	Q1	MCMK 2x2,5+2,5	2	15	Moot. ja läm. jännitteet
AE12JK1E1	Q2	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	20	1. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1E2	Q2	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	20	2. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1	Q2	MCMK 2x2,5+2,5	2	20	Moot. ja läm. jännitteet
AE12JK1E1	Q3	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	25	1. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1E2	Q3	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	25	2. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1	Q3	MCMK 2x2,5+2,5	2	25	Moot. ja läm. jännitteet
AE12JK1E1	Q4	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	30	1. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1E2	Q4	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	30	2. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1	Q4	MCMK 2x2,5+2,5	2	30	Moot. ja läm. jännitteet
AE12JK1E1	Q91	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	20	1. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1E2	Q91	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	20	2. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1	Q91	MCMK 2x2,5+2,5	2	20	Moot. ja läm. jännitteet
AE12JK1E1	Q92	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	25	1. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1E2	Q92	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	25	2. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1	Q92	MCMK 2x2,5+2,5	2	25	Moot. ja läm. jännitteet
AE12JK1E1	Q93	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	25	1. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1E2	Q93	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	25	2. prosessiväylä, kaikki kommunikointi
AE12JK1	Q93	MCMK 2x2,5+2,5	2	25	Moot. ja läm. jännitteet

A muutos	D muutos
B muutos	E muutos
C muutos	F muutos



Sähkösemarckennus

Siunaus	15.3.2017	Kokoussuus	1/1	Pöytäkirjan numero	SAH Retrofit ohj.
JK		Lehti		Sähköposti	
JK				Yhteydenotto	
Tark.					

Retrofit					
Mistä	Mihin	Kaapeli	Kpl määrä	Pituus/kaapeli (m)	
Asema	AE05JK1	MCMK 4x6+6	2	140	Syötöt moottoreille ja lämmitykselle
Asema	AE05JK1	MCMK 4x2,5+2,5	1	140	Ethernet-kytkimien apusähkö
Asema	AE12JK1	MCMO 19x2,5	3	190	Ohjauskaapelit
Asema	AE12JK1	MCMO 12x2,5	2	190	Ohjauskaapelit
Asema (PI)	AE12JK1	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	190	Prosessiväylä kuntotiedoille
AE11 JK1	AE12JK1	MCMK 4x6+6	2	15	Moot. ja läm. jännitteiden ketjutus
AE11 JK1	AE12JK1	MCMK 4x2,5+2,5	1	15	Ethernet-kytkimien apusähkö
AE12JK1	Q1	MCMO 12x2,5	1	15	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q1	MCMO 7x2,5	1	15	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q1	MCMK 2x2,5+2,5	1	15	230 VAC
AE12JK1	Q1	MCMK 4x2,5+2,5	1	15	Katkaisijavikasuoja ohj.
AE12JK1	Q1	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	15	Prosessiväylä kuntotiedoille
AE12JK1	Q2	MCMO 12x2,5	1	20	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q2	MCMO 7x2,5	1	20	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q2	MCMK 2x2,5+2,5	1	20	230 VAC
AE12JK1	Q2	MCMK 4x2,5+2,5	1	20	Katkaisijavikasuoja ohj.
AE12JK1	Q2	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	20	Prosessiväylä kuntotiedoille
AE12JK1	Q3	MCMO 12x2,5	1	25	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q3	MCMO 7x2,5	1	25	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q3	MCMK 2x2,5+2,5	1	25	230 VAC
AE12JK1	Q3	MCMK 4x2,5+2,5	1	25	Katkaisijavikasuoja ohj.
AE12JK1	Q3	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	25	Prosessiväylä kuntotiedoille
AE12JK1	Q4	MCMO 12x2,5	1	30	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q4	MCMO 7x2,5	1	30	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q4	MCMK 2x2,5+2,5	1	30	230 VAC
AE12JK1	Q4	MCMK 4x2,5+2,5	1	30	Katkaisijavikasuoja ohj.
AE12JK1	Q4	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	30	Prosessiväylä kuntotiedoille
AE12JK1	Q91	MCMO 12x2,5	1	20	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q91	MCMO 7x2,5	1	20	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q91	MCMK 2x2,5+2,5	1	20	230 VAC
AE12JK1	Q91	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	20	Prosessiväylä kuntotiedoille
AE12JK1	Q92	MCMO 12x2,5	1	25	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q92	MCMO 7x2,5	1	25	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q92	MCMK 2x2,5+2,5	1	25	230 VAC
AE12JK1	Q92	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	25	Prosessiväylä kuntotiedoille
AE12JK1	Q93	MCMO 12x2,5	1	25	Ohjaus + kaukokäyttö
AE12JK1	Q93	MCMO 7x2,5	1	25	Käyttöjännite + Lukitus
AE12JK1	Q93	MCMK 2x2,5+2,5	1	25	230 VAC
AE12JK1	Q93	50 µm (50/125) Duplex-mmvk (LC)	1	25	Prosessiväylä kuntotiedoille