



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Tomi Tolvanen

# Laivateollisuuden automaatiojärjestelmät

## Sähkötekninen määrittely

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Opinnäytetyö

11.4.2019

Tekijä Otsikko	Tomi Tolvanen Laivateollisuuden automaatiojärjestelmät – sähkötekniinen määrittely
Sivumäärä Aika	26 sivua 11.4.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	lehtori Timo Tuominen Key Account Manager Petri Saarinen
<p>Insinööriyön tarkoitus oli laatia sähkötekniinen määrittely meriteollisuuteen toimitettaville automaatiojärjestelmille. Määrittelyn tilaaja on maa-, meri- ja offshore-teollisuuteen jätteen- ja vedenkäsittelyjärjestelmiä toimittava yritys, joka teettää järjestelmien automaatiototeutukset alihankintana. Tavoitteena oli luoda meriteollisuuteen toimitettavien järjestelmien yleiset sähkötekniiset ominaisuudet määrittelevä dokumentti, joka sisältää tietoa laivan rakentajalle, järjestelmätoimittajalle ja automaatiotoimittajalle. Työssä käsitellään meriteollisuuden sähkösuunnittelua ja automaatiojärjestelmiä yleisellä tasolla sekä laaditun määrittelydokumentin sisältöä.</p> <p>Määrittely tehtiin pääjähämäläisen automaatioyrityksen konsultointityönä. Määrittelyn sisältö rakenne laadittiin automaatioyrityksen ammattitaitoa ja aihetta sivuavia, jo olemassa olevia tilaajan ja automaatioyrityksen ohjeistuksia hyödyntäen. Sisältö tarkkoine määräyksineen laadittiin vallitsevien standardien ja luokituslaitosten vaatimusten sekä nykyisten, hyväksi havaittujen toimintatapojen perusteella.</p> <p>Tuloksena syntyi määrittelydokumentti, joka sisältää yleispätevät vaatimukset ja ohjeistukset tilaajayrityksen laivateollisuuden projekteihin. Määrittelyn vaatimukset ja ohjeistukset koskevat järjestelmien yleistä sähkösuunnittelua, ohjauskeskusten valmistusta, järjestelmien asennusta sekä tilaajayrityksen projektinhoitoa sähkösuunnittelun näkökulmasta.</p> <p>Syntynyt määrittely on rajattu koskemaan ainoastaan laivateollisuutta ja järjestelmien sähköisiä ominaisuuksia. Tilaajayrityksen tuoteportfolion ja asiakaskunnan laajuuden huomioiden tämän insinööriyön aihe on melko suppea, mutta yleishyödyllisen rakenteensa ansiosta syntynyt määrittely soveltuu pohjaksi mahdollisesti tulevaisuudessa laadittaviin määrittelyihin koskien tilaajayrityksen muita projekteja.</p>	
Avainsanat	sähkötekniinen määrittely, meriteollisuus, laiva, sähkösuunnittelu

Author Title	Tomi Tolvanen Automation Systems in the Marine Industry – Electrical Specification
Number of Pages Date	26 pages 11 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Specialisation option	Automation Technology
Instructors	Timo Tuominen, Senior Lecturer Petri Saarinen, Key Account Manager
<p>The purpose of this thesis study was to create an electrical specification for automation systems in the marine industry. The subscriber of the specification is a company, which provides integrated water and waste management systems for building, offshore and marine industries. Automation solutions of subscriber's systems are supplied by various subcontractors. The main objective was to create a document, which specifies general electrical characteristics for systems to the marine industry. The document should include information for the ship builder, the system supplier and the automation supplier. In this thesis, electrical engineering in the marine industry, automation systems in general and contents of the created specification are considered.</p> <p>The creation of the specification was performed as consultation of an automation company located in Päijät-Häme. The structure of the specification was created utilizing workmanship of the automation company and existing instructions considering the subject in question. The content with exact requirements was created based on prevailing standards, requirements of classification societies and present, tried and tested procedures.</p> <p>As a result a specification document, which includes universal requirements and instructions for marine projects of the subscriber company, was created. Requirements and instructions of specifications concerns general electrical engineering, manufacturing of control cabinets, installation of complete systems and project management of the subscriber company from the electrical engineering point of view.</p> <p>The created specification is limited to concern only ship-building industry and electrical characteristics of systems. Considering the wideness of product portfolio and customer base of the subscriber company, the subject of this thesis study is quite compact. However, due to universal structure of the specification, it suits well for being the template for subscriber's possible future specifications.</p>	
Keywords	electrical specification, marine industry, ship, electrical engineering

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Laivateollisuuden sähkösuunnittelu	2
3	Laivojen automaatiojärjestelmät	4
3.1	Automaatiojärjestelmät yleisesti	4
3.2	Kenttäväylät	6
3.3	Itsenäiset osajärjestelmät	8
3.4	Integroidut automaatiojärjestelmät	10
3.5	Osajärjestelmien integrointi	12
4	Automaatiojärjestelmien ohjauskeskukset	13
4.1	Suunnittelu	14
4.2	Komponentit	15
4.3	Asennus	16
5	Sähkötekkinen määrittely automaatiojärjestelmille	17
5.1	Tilaaajayritys	17
5.2	Syyt määrittelyn laatimiselle	17
5.3	Määrittelyn laatiminen	18
5.4	Sisältö	20
6	Tulos ja pohdintaa	23
	Lähteet	25

## Lyhenteet ja käsitteet

BW	<i>Black Water</i> . Mustavesi. Laivan jätevesi, joka on peräisin WC:eistä.
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i> . Elektromagneettinen yhteensopivuus.
Ethernet	Standardisoitu pakettipohjainen lähiverkkotekniikka.
GER	<i>General Electrical Requirements</i> . Laivanrakentajan vaatimukset koskien laivan sähköistystä ja sähköisiä järjestelmiä.
GW	<i>Grey Water</i> . Harmaaavesi. Laivan jätevesi, joka on peräisin suihku-, pyykki-, ja keittiötiloista.
HMI	<i>Human-Machine Interface</i> . Käyttäjäräjäpinta.
IACS	<i>International Association of Classification Societies</i> . Luokituslaitosten kansainvälinen yhdistys.
IAS	<i>Integrated Automation System</i> . Laivan integroitu automaatiojärjestelmä.
IEC	<i>The International Electrotechnical Commission</i> . Sähköalan standardeja julkaiseva kansainvälinen organisaatio.
IMO	<i>International Maritime Organization</i> . Kansainvälinen merenkulkujärjestö, joka mm. ylläpitää SOLAS-sopimusta.
I/O	<i>Input/Output</i> . Jonkin järjestelmän/osajärjestelmän tulot ja lähdöt.
Kenttäväylä	Teollisuuden tietoverkko. Käytetään hajautettujen järjestelmien tiedonsiirrossa.
Master/Slave	Kommunikointimalli, jossa yksi laite toimii isäntänä ja kääsee yhtä tai useampaa renkilaitetta.
Modbus	Automaatioteollisuuden kenttäväylästandardi.

PLC *Programmable Logic Controller*. Ohjelmoitava logiikka.

Profibus Automaatioteollisuuden kenttäväylästandardi.

Profinet Automaatioteollisuuden ethernet-pohjainen kenttäväylästandardi.

Redundanttisuus

Järjestelmärakenne, jossa jokin osa tai toiminto on varmennettu kahdella siten, että toinen osa on toiminnassa ja toinen varalla. Toisen osan vikaantuessa varalla oleva osa korvaa sen automaattisesti.

SOLAS *International Convention of Safety of Lives at Sea*. Kansainvälinen sopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä.

## 1 Johdanto

Tämän työn aihe syntyi veden- ja jätteenkäsittelyjärjestelmiä meriteollisuuteen toimittavan yrityksen tarpeesta yhdenmukaistaa ja selkeyttää projektien automaatiototeutuksien ohjeistusta. Yritys toimittaa järjestelmiään maailmanlaajuisesti ja teettää sähkö- ja automaatiosuunnittelun eri alihankkijoilla. Työ tehtiin pääjähämäläisen automaatiotoimittajan konsultointityönä tilaajayritykselle.

Tarkoitus oli koota jo olemassa olevasta materiaalista ja vallitsevista standardeista yhtenäinen sähkötekniinen määrittely, joka määrittää yleiset sähkötekniset ominaisuudet kaikille tilaajan laivateollisuuden järjestelmille. Tarkoitus oli myös selvittää automaatioprojektin eri vaiheita niin tilaajan kuin toimittajankin näkökulmista.

Työ koostui pääasiassa eri määräysten ja määritelmien sekä toimintatapojen tutkimisesta ja vertailusta. Tutkimustyön perusteella syntyi dokumentti, joka sisältää vaatimukset sähkösuunnitteluun ja keskusvalmistukseen sekä ohjeistuksen automaatioprojektin hoitoon.

Tässä raportissa kuvaillaan laivojen sähkö- ja automaatiosuunnitteluun vaikuttavia tekijöitä ja tahoja sekä yleisellä tasolla laivojen automaatiojärjestelmiä. Työn tuloksena syntynyttä dokumenttia ei julkaista tämän raportin yhteydessä, mutta sen sisältämät aihealueet esitellään ja kuvaillaan kattavasti. Määrittelyn laatimisprosessia käsitellään myös tässä raportissa.

Tässä raportissa tilaajasta puhuttaessa tarkoitetaan yritystä, jonka tilaama sähkötekniinen määrittely on. Samasta tahosta puhutaan toisissa yhteyksissä myös järjestelmätoimittajana. Järjestelmätoimittajan asiakkaita ovat laivanvalmistajat eli telakat. Automaatiotoimittaja on yritys, jolta järjestelmätoimittaja tilaa automaatiototeutukset järjestelmiinsä. Tilatusta määrittelystä puhutaan yleisesti työnä.

## 2 Laivateollisuuden sähkösuunnittelu

Laivateollisuuden rakentaminen on ymmärrettävästi erittäin turvallisuuskriittistä. Alusten täytyy kyetä toimimaan niille määrätyissä olosuhteissa itsenäisesti pitkiäkin aikoja turvalisesti. Tämä luonnollisesti aiheuttaa paljon erityisvaatimuksia myös sähkösuunnitteluun kuivan maan rakennusteollisuuteen verrattuna.

Koska laivan valmistus- tai rekisteröintimaan sähköasennussäädökset eivät koske laivanrakentamista, kansainväliset luokituslaitokset määrittelevät vaatimukset laivoille [1, s. 13]. Laivanrakentaja valitsee tietyn luokituslaitoksen, jonka luokitusta tietyn laivan kohdalla tavoitellaan. Laiva rakennetaan noudattaen luokituslaitoksen ohjeistuksia ja tämän velvoittamia standardeja.

Luokituslaitosten toimintaa valvoo kansainvälinen SOLAS-sopimus (International Convention for the Safety of Life at Sea). SOLAS-sopimusta ylläpitää kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO (International Maritime Organization). [1, s. 13.]

Laivan rakentava telakka kokoaa laivan rakennuksesta koskevat yleiset sähkötekniset vaatimukset yhteen dokumenttiin, GER:iin. (General Electrical Requirements). Tämä dokumentti asettaa raamit sähköisten järjestelmien suunnittelulle, toteutukselle ja asennukselle. GER määrittää käytetyn luokituslaitoksen ja asettaa vaatimukset, jotka sähkölaitteiden, -asennusten ja -komponenttien sekä sähköisten järjestelmien on täytettävä. GER voi määrittää myös projektin dokumentointikäytännöt.

### Luokituslaitokset

Luokituslaitokset (Classification Society) ovat meriteollisuuden aloilla toimivia organisaatioita, jotka julkaisevat standardeja ja sääntöjä meriteollisuuden suunnitteluun, rakentamiseen ja valvontaan. Uudelle, luokituslaitoksen sääntöjen mukaan valmistetulle alukselle tai offshore-rakenteelle voidaan myöntää luokituslaitoksen sertifikaatti ja luokitus. [2.]

*UK P&I CLUB*:n tekemän listauksen mukaan vuonna 2010 oli yli 100 laivojen luokituksia tekevää organisaatiota[3]. Kansainväliseen luokituslaitosten yhdistykseen eli IACS:ään kuuluu 12 luokituslaitosta, jotka ovat

- American Bureau of Shipping
- Bureau Veritas



- China Classification Society
- Croatian Register of Shipping
- DNV GL
- Indian Register of Shipping
- Korean Register of Shipping
- Lloyd's Register
- ClassNK
- Polski Rejestr Statkow
- RINA
- Russian Maritime Register of Shipping. [4.]

Luokitus kertoo, kuinka hyvin alus tai offshore-rakenne täyttää luokituslaitoksen asettamat vaatimukset. Se antaa lukuisille eri tahoille tietoa kohteen turvallisuudesta ja luotettavuudesta [5]. Luokituslaitosten vaikutus sähkösuunnitteluun näkyy jo hyvin konkreettisesti tasolla, sähkökomponenttien sertifiointista aina suunnittelun ja asennuksien standardointiin asti.

#### Standardit ja direktiivit

Kuten kaikilla muillakin teollisuuden ja rakentamisen aloilla, laivateollisuudessaakin sähköistäminen ja sähköasennusten suorittaminen on vahvasti kontrolloitua ja valvottua toimintaa. Tämä tapahtuu eri organisaatioiden julkaisemien standardien avulla, joihin luokituslaitokset perustavat säädöksiään.

Maailman johtava sähköalan standardeja julkaiseva organisaatio on IEC (The International Electrotechnical Commission), joka julkaisee kansainvälisiä standardeja sähköisille tuotteille, järjestelmille ja palveluille. IEC:n julkaisut toimivat myös pohjana eri maiden kansallisille standardeille ja referenssinä kansainvälisille sopimuksille. [6.]

#### Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO ja SOLAS-sopimus

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO on YK:n alaisuudessa toimiva järjestö, joka vastaa maailmanlaajuisesti merenkulun turvallisuudesta ja ympäristöystävällisyydestä. Sen päätarkoitus on luoda kehysäännöt laivateollisuuteen, jotka ovat puolueettomat, tehokkaat ja yleisesti hyväksytyt. [7.]

Yksi IMO:n pääsopimuksista on SOLAS-sopimus. Se on kansainvälinen sopimus koskien ihmishenkien turvallisuutta merellä, ja sitä pidetään yleisesti kaikkein tärkeimpänä kauppameriliikenteen turvallisuutta koskevana sopimuksena. Ensimmäinen versio sopimuksesta hyväksyttiin vuonna 1914, RMS Titanicin uppoamisen seurauksena. Nykyinen, viides versio sopimuksesta on hyväksytty vuonna 1974 ja tullut voimaan vuonna 1980. Sopimukseen on tehty muutoksia tämän jälkeenkin sen pitämiseksi ajan tasalla. [8.]

### 3 Laivojen automaatiojärjestelmät

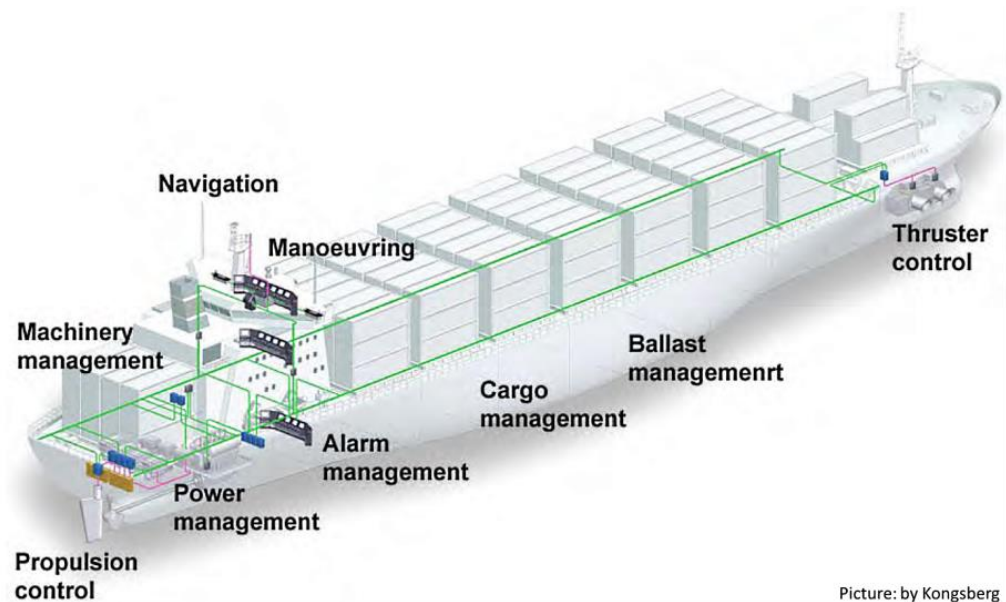
#### 3.1 Automaatiojärjestelmät yleisesti

Automaatiojärjestelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, joka ohjaa automaattisesti yhtä tai useampaa toimintoa tai prosessia. Automaatiojärjestelmä sisältää tyypillisesti (yhden tai useampia)

- mittalaitteita
- toimilaitteita
- ohjausyksiköitä
- tiedonsiirtoon tarvittavia laitteita
- yllä mainittujen kytkennät. [9.]

Järjestelmän laajuutta tai laitteiden lukumäärää ei ole määritelmässä rajoitettu. Laivoilla toimivia automaatiojärjestelmiä (kuva 1) ovat mm.

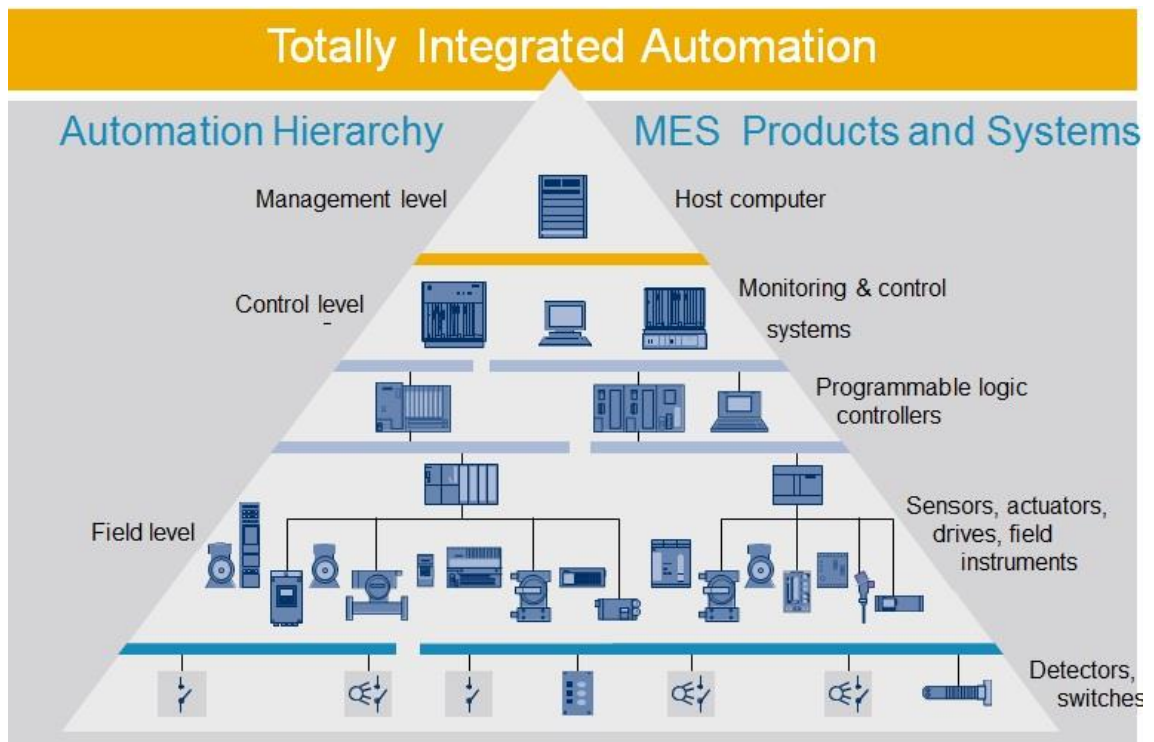
- puhdasvesijärjestelmät
- polttoainejärjestelmät
- jätteenkäsittelyjärjestelmät
- merivesijäähdytysjärjestelmät
- ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmät
- propulsiojärjestelmät
- sähköntuotanto- ja jakelujärjestelmät.



Kuva 1. Havainnollistava kuva laivan automaatiojärjestelmistä [10].

Nämä järjestelmät ovat itsenäisiä, oman tehtävänsä suorittamiseen keskittyneitä järjestelmiä, joilla on omat ohjausyksikkönsä ja laitteistonsa ja jotka sijaitsevat fyysisesti eri puolilla laivaa. Ilman järjestelmien integraatiota näiden laitteiden valvonta ja hallinta tapahtuu järjestelmän omasta ohjausrajapinnasta, joka voi sijaita fyysisen järjestelmän luona tai jossakin muualla laivalla.

Teollisuusautomaatiossa puhutaan vaaka- ja pystysuuntaisesta integraatiosta. Vaaka-suuntaisella integraatiolla tarkoitetaan jonkin kokonaisuuden laajuisesta kenttälaitteiden kytkentöjen ja ohjauksien yhdenmukaistamista ja liittämistä yhdenmukaisesti samaan kenttäväylään. Pystysuuntaisella integraatiolla tarkoitetaan sitä, että yksi järjestelmä kykenee hoitamaan sekä prosessin että tuotannon ohjausjärjestelmien ja tehdasjärjestelmien välistä tiedonsiirtoa. Automaation integraatiota on havainnollistettu kuvassa 2. [11.]



Kuva 2. Havainnekuva yleisestä automaation integraatiosta [12].

Laivojen automaatiojärjestelmien integrointi muistuttaa enemmän pystysuuntaista integraatiota. Osan integroitavien järjestelmien kohdalla voidaan puhua vaakasuuntaisestakin integraatiosta, mutta osa järjestelmistä on suljetumpia ja niiden rajapinta muihin järjestelmiin voi olla suppeampi. Laivojen järjestelmiä integroitaessa keskeistä on kaikkien järjestelmien hallinta ja valvonta keskitetysti yhdeltä päätteeltä, joka helpottaa monia laivan operointiin liittyviä rutiineja ja vähentää miehistön tarvetta [13].

Sotilasalukset ovat jo pitkään kuuluttaneet integroitujen järjestelmien perään, joissa laivan eri järjestelmät voidaan yhdistää siten, että kaikki järjestelmät ovat käytettävistä yhdestä ja samasta ohjausyksiköstä. Kaupallisessa laivateollisuudessa kehitys on kuitenkin ollut suhteellisen hidasta. [13.]

### 3.2 Kenttäväylät

Nykyaikaisesta automaatiosta ja erityisesti integraatiosta puhuttaessa törmää väistämättä sellaisiin termeihin kuin ”väylä”, ”kenttäväylä” tai ”fieldbus”. Kaikilla näillä tarkoitetaan samaa asiaa, eli teollisuuden tietoverkkoa joka on tarkoitettu erityisesti PLC:iden tai muiden ohjausyksiköiden ja antureiden sekä toimilaitteiden väliseen tiedonsiirtoon [14]. Kun ennen kenttäväylän yleistymistä jokainen yksittäinen binääri- tai analogiaviesti kahden eri laitteen välillä on vaatinut oman johdinparinsa, kenttäväylä mahdollistaa kaikkien

järjestelmän toimi-, ohjaus- ja mittalaitteiden liittämisen samaan sarjamuotoiseen verkkoon yhtä kaapelia käyttäen. Kenttäväylän tuomia etuja ja mahdollisuuksia ovat mm.

- kaapelointitarpeen väheneminen
- kytkentäpisteiden ja -tilan tarpeen väheneminen
- I/O:n hajauttaminen
- älykkäiden kenttälaitteiden diagnostiikka
- järjestelmän laajentamisen yksinkertaistuminen
- kaksisuuntainen tiedonsiirto
- sarjamuotoisen liikenteen häiriösietoisuus verrattuna analogiseen tiedonsiirtoon
- avoimien tiedonsiirtoprotokollien mahdollistama tuki eri laitevalmistajien laitteille samassa verkossa [14].

Teollisuudessa on käytössä laaja kirjo kenttäväylätyyppejä erilaisiin käyttötarkoituksiin ja olosuhteisiin, joista useimmat ovat standardisoituja ja lukuisien laitevalmistajien tukemia. Eri sovelluskohteilla on omia vaatimuksia liittyen verkon laajuuteen, luotettavuuteen, tiedonsiirtokapasiteettiin ja moniin muihin ominaisuuksiin. Näillä perusteilla valitaan kohteeseen soveltuva kenttäväylätyyppi. Laitostasolla, suurista tietoverkoista puhuttaessa voi tulla kyseeseen useiden erityyppisten väylien käyttö laitoksen eri hierarkiatasoilla. [14.]

## Modbus

Modbus-protokolla on Modiconin vuonna 1979 esittelemä avoin sarjamuotoinen tietoliikennestandardi, joka on eniten käytetty tietoliikenneprotokolla teollisessa tuotantoympäristössä. Protokollaa ylläpitää voittoja tavoittelematon The Modbus Organization, joka koostuu yksittäisistä automaatiolaitteiden käyttäjistä ja toimittajista. Modbus-protokollaa tukee satojen eri laitevalmistajien laitteet. Sitä käytetään monissa master/slave -tyyppisissä sovelluksissa, kuten

- ohjainlaitteiden monitorointi ja ohjelmointi
- älykkäiden ohjain- ja kenttälaitteiden välinen tiedonsiirto
- älykkäiden kenttälaitteiden monitorointi PC:ltä ja HMI:ltä.

Modbus-protokollasta on kehitetty myös ethernet-versio, Modbus TCP/IP. [15.]

## Profibus

Profibus on maailman yleisesti käytetyin kenttäväylä, laitteiden asennusmäärän ollessa yli 58 miljoonaa vuoden 2017 lopussa. Se on standardisoitu kansainvälisesti IEC:n standardissa 61158 (Digital data communications for measurement and control). Sarjaporttiin kytkettäviä Profibus-protokollia on kaksi, Profibus DB ja Profibus PA. [16.]

Profibus DB (Distributed Periphery) on luotu tehdasautomaation tarpeisiin. Se on valmistajasta riippumaton protokolla, joka mahdollistaa nopean kenttätason tiedonsiirron ohjainlaitteiden ja älykkäiden kenttälaitteiden ja/tai hajautetun I/O:n välillä. [16; 17.]

Profibus PA (Process Automation) on laajennettu versio Profibus DB:stä, joka on tarkoitettu nimensä mukaisesti prosessiautomaation tiedonsiirtoon. Tiedonsiirron lisäksi Profibus PA-väylässä on tehonsyöttö kenttälaitteille, joka mahdollistaa sen käytön myös räjähdysvaarallisissa tiloissa. [16; 17.]

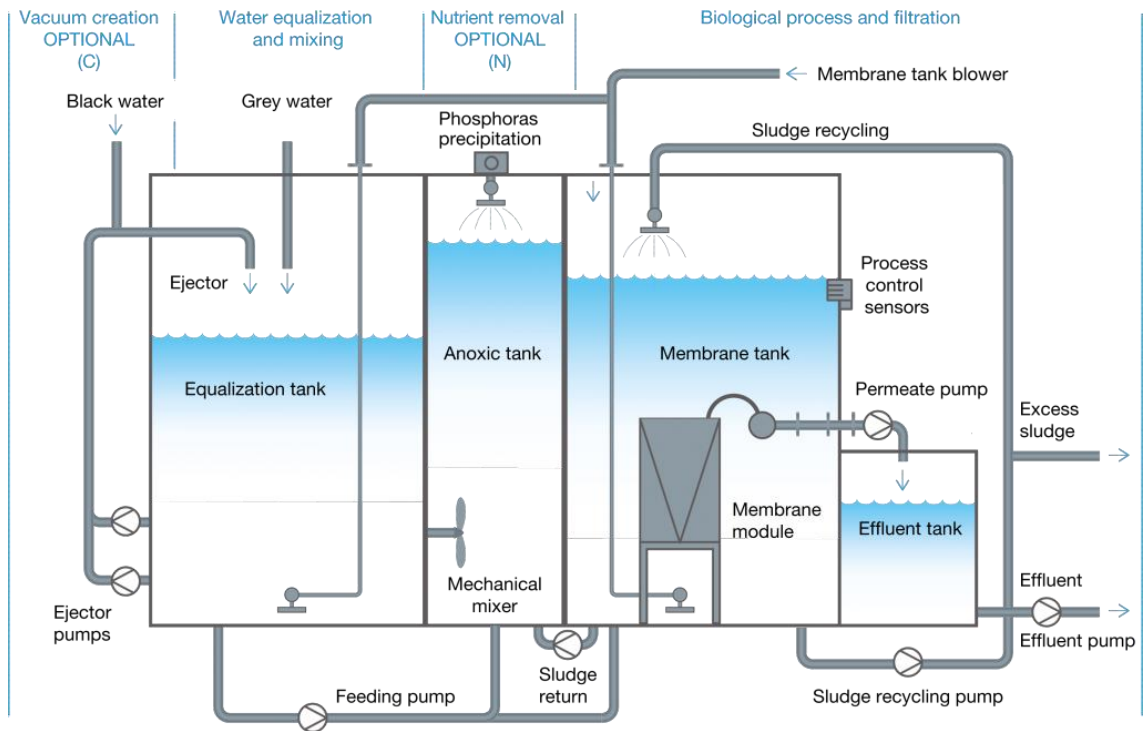
## Profinet

Profinet on kasvanut maailman johtavaksi teollisuuden ethernet-standardiksi. Profinet-laitteita oli asennettu lähes 21 miljoonaa vuoden 2017 loppuun mennessä, eikä kasvulle näy loppua. Teollinen ethernet pohjautuu ”normaaliin”, toimistokäytössä olevaan ethernetiin. Teollisuuskäyttö kuitenkin asettaa ethernet-protokollalle vaatimuksia, joihin tavallinen ethernet ei kykene vastaamaan. Nämä puutteet on korjattu Profinet-standardissa. Profinet mahdollistaa ”reaaliaikaisen” ja tahdistetun tiedonsiirron, sekä langattoman tiedonsiirron standardoiduilla verkkokomponenteilla ja liittimillä. [18; 19.]

### 3.3 Itsenäiset osajärjestelmät

Itsenäisillä osajärjestelmillä tarkoitetaan eri puolilla laivaa sijaitsevia, tietyn tehtävän tai prosessin ohjaamiseen tai valvontaan suunniteltuja automaatiojärjestelmiä. Niiden toiminta ei välttämättä ole riippuvaista muista laivan järjestelmistä.

Yksittäinen automaatiojärjestelmä voi sisältää yhden moottorin ohjauksesta aina tuhansiin I/O-pisteisiin asti mittauksia ja ohjauksia. Ohjauksesta vastaa tyypillisesti yksi tai useampi PLC. Esimerkkitapauksena käsitellään tilaajayrityksen jätevedenkäsittelyjärjestelmää (kuva 3).



Kuva 3. Jätevedenkäsittelyjärjestelmän rakenne [20].

Jäteveden käsittelyprosessi on seuraavanlainen: Aluksen mustavesi (BW, Black Water) ja harmaaavesi (GW, Gray Water) kerätään säiliöön, jossa ne sekoittuvat. Seos pumpataan toiseen säiliöön, jossa erityinen bioreaktori puhdistaa jäteveden biologisesti. Puhdistettu jätevesi pumpataan edelleen uuteen säiliöön, josta se voidaan tyhjentää mereen.

Esitely järjestelmä sisältää eri tehoisia moottoreita jäteveden ja lietteen pumppaamiseen ja sekoittamiseen, säiliöitä ilmaavia puhaltimia, moottoriventtiileitä sekä erilaisia mittalaitteita. Mitattavia suureita ovat mm. putkiston paine, pinnankorkeus, happamuus ja nesteen virtausnopeus. Kaikki edellä mainitut laitteet ovat kytketty järjestelmän ohjauskeskukseen, jossa PLC valvoo ja ohjaa prosessia sille annettujen parametrien mukaisesti. Normaalitylanteessa järjestelmä kykenee toimimaan täysin itsenäisesti.

Edellä käsitelty jätevedenkäsittelyjärjestelmä on pieni automaatiokokonaisuus, jota ohjaa tyypillisesti ainoastaan yksi PLC. Jätteidenkäsittelyjärjestelmä voi olla myös paljon laajempi kokonaisuus, joka sisältää useita bioreaktoreita, mekaanisia seuloja, sekoitus-tankkeja ja vakuumikeräysyksiköitä. Tällainen laajempi järjestelmä koostuu useammasta PLC:stä, jotka kommunikoivat keskenään joko binääri viestein tai kenttäväylällä.

### 3.4 Integroidut automaatiojärjestelmät

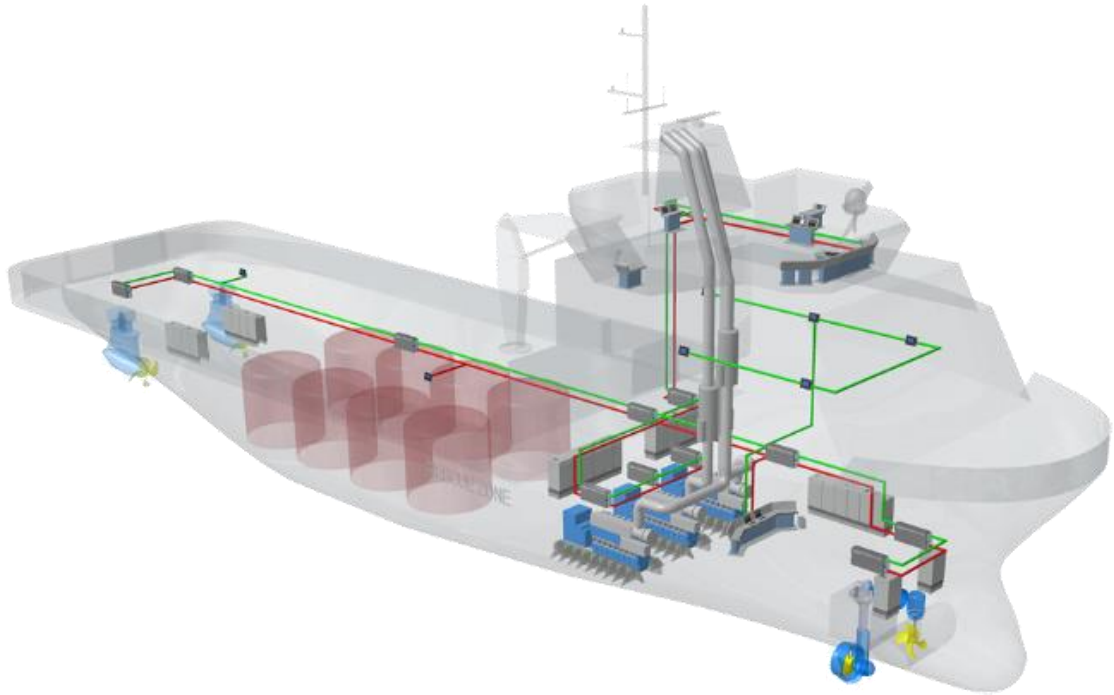
Laivojen automatisoinnilla voidaan vähentää merkittävästi tarvittavan miehistön lukumäärää. Esimerkiksi uppoumaltaan 2 200 tonnin sotalaiva täydellä aseistuksella vaatii 146 hengen miehistön, mutta laajamittaisella automatisoinnilla miehistön tarve vähenee 86 henkilöön. [13.]

Laivojen integroidut automaatiojärjestelmät (IAS, Integrated Automation System) mahdollistavat yksittäisten ja hajallaan olevien komponenttien ja järjestelmien integroimisen, mahdollistaen niiden etävalvonnan ja -operoinnin. Lukuun ottamatta integroitua komentosiltajärjestelmää laivan järjestelmien integraatiota on pitkään häirinnyt sen aiheuttamat korkeat kustannukset siitäkin huolimatta, että se vähentää tarvittavan miehistön määrää. Nykyään lisääntyvä kilpailu elektroniikkayritysten välillä ja jatkuvasti kasvava kysyntä järjestelmien saatavuuden ja luotettavuuden perään on tuonut hintoja alaspäin, ja laivojen omistajat voivat integroida järjestelmiänsä optimoidakseen laivojensa suorituskykyä, turvallisuutta ja tehokkuutta. [13.]

#### Wärtsilä Integrated Automation System

Yhtenä esimerkkinä käsitellään Wärtsilän integroitua automaatiojärjestelmää (WIAS). WIAS on skaalautuva, hajautettu ja redundanttinen automaatiojärjestelmä (kuva 4), joka on tarkoitettu yhdenmukaistamaan kaikkien Wärtsilän ja kolmansien osapuolien järjestelmien käyttäjärajapinnat ja ohjaustavat. [20.]



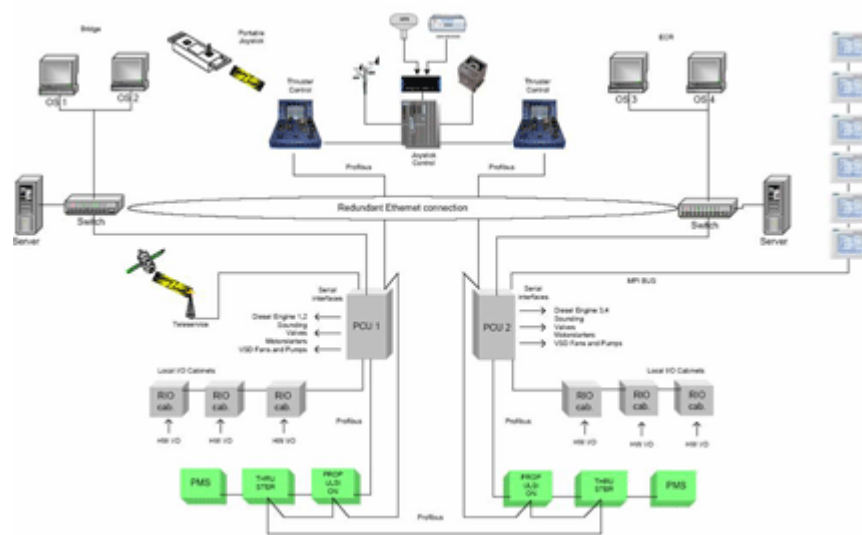


Kuva 4. Wärtsilä Integrated Automation System [21].

WIAS:in operointipaneelit ovat toteutettu PC-aseilla, joissa Microsoft Windows -käyttöjärjestelmän päälle on rakennettu käyttöliittymä. Eri puolille laivaa hajautetut PLC:t ohjaavat prosesseja. Hajauttaminen on toteutettu ethernet-väylällä. [20.]

#### Siemens IAS

Toisena esimerkkinä on Siemensin integroitu automaatiojärjestelmä. Se pohjautuu Siemensin Simatic S7 -sarjan ohjelmitaviin logiikoihin ja PC S7 -sarjan teollisuustietokoneisiin. Siemens IAS on hyvin skaalautuva erikokoisiin järjestelmiin ja rakenne muodostuu kolmen tason komponenteista (kuva 5). [21.]



Kuva 5. Siemens IAS yksinkertaistettu topologia [22].

Ensimmäinen eli alin taso on ns. sarjalinkkitaso, joka on riippumaton Siemens IAS:ista mutta on kytketty PCU:ihin (Process Control Unit) valvontatarkoituksessa. Sarjalinkkitasolla laivan eri osajärjestelmät voidaan kytkeä toisiinsa sarjaliikenne-rajapinnan kautta. Tällaisia osajärjestelmiä ovat mm. sähköinen propulsiojärjestelmä, laivan ohjauksen ohjausjärjestelmä ja tankin pinnankorkeuden valvontajärjestelmä. [21.]

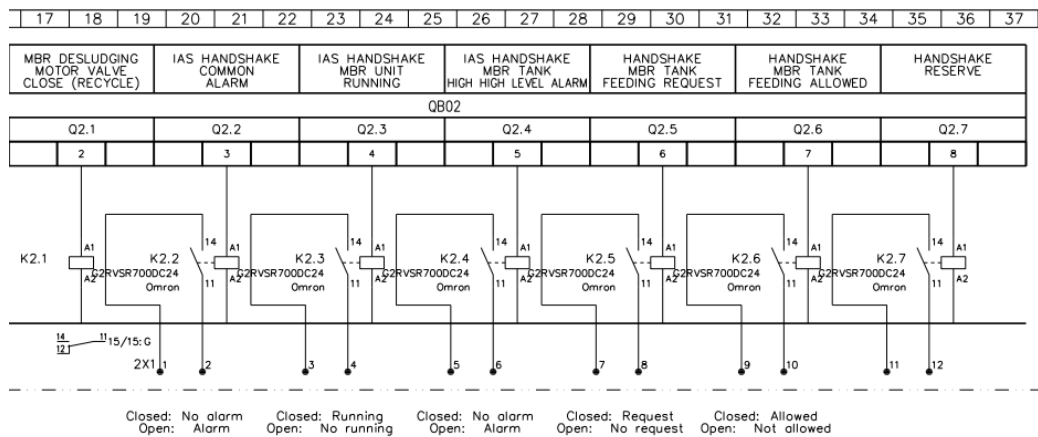
Toinen taso eli prosessitaso on mittaus- ja ohjaustoimintoja varten. Siinä etä-I/O -yksiköt on kytketty PCU:ihin redundantisella ethernet-yhteydellä. PCU:t suorittavat kaiken tiedonkeruun ja -käsittelyn. PCU-kaapit sisältävät kaksi redundanttista Simatic S7 laskentayksikköä sekä ethernet-, profibus- ja sarjaliikenne-rajapinnat. [21.]

Kolmannella tasolla eli ylätasolla ovat työasemat ja tulostimet valvontaa, tallennusta ja operointia varten sekä HMI:t (Human-Machine Interface). Ylätaso on kytketty prosessitasoon redundantisella ethernet-yhteydellä. [21.]

### 3.5 Osajärjestelmien integrointi

Integroitaessa laivan järjestelmiä IAS:iin alijärjestelmä liitetään joko jollakin väyläratkaisulla tai yksittäisillä digitaalisilla viesteillä osaksi IAS:ia. Vähimmillään rajapinta sisältää esimerkiksi yhden hälytystiedon, ja laajimmillaan prosessin täydellisen hallinnan IAS:in kautta; tämä ei kuitenkaan kaikissa tapauksissa ole tarpeellista.

Edellisessä kappaleessa käsitellyn esimerkkijärjestelmän liittäminen IAS:iin voisi tapahtua mm. seuraavalla tavalla: IAS saa digitaalisina tilatietoina järjestelmän yleishälytyksen, käyntitiedon, reaktoritankin ylärajahälytyksen ja sekoitustankin täyttöpöyynnön. IAS puolestaan antaa alijärjestelmälle digitaalisena tilatietona luvan eri tankkien automaattisille tyhjennyksille. Tällainen niin sanottu ”kovalangoitettu” kommunikointi asettaa suuren kaapelointitarpeen verrattuna kenttäväylän käyttöön, sillä jokainen tilatieto tarvitsee oman johdinparin (kuva 6).



Kuva 6. Kovalangoitettu kommunikointi [23].

Järjestelmissä, joissa rajapinta IAS:iin on laajempi, ei kommunikointia ole mielekästä toteuttaa kovalangoitettuna suuren kaapelointitarpeen vuoksi. Tällöin järkevä ratkaisu on kenttäväylä, jolloin yhdellä väyläkaapelilla voidaan toteuttaa kaikki tarvittava kommunikointi alijärjestelmän ja IAS:in välillä. Vaatimuksena väylän käytölle on se, että sekä osajärjestelmä että IAS tukevat käytettyä kenttäväylää ja ohjelmallinen konfigurointi on suoritettu oikein.

#### 4 Automaatiojärjestelmien ohjauskeskukset

Yrityksen, jolle tämä insinöörityö tehdään, automaatioitoimitus sisältää karkeasti kolme kokonaisuutta, jotka nivoutuvat toisiinsa. Ne ovat sähkösuunnittelu, automaatio suunnittelu ja keskusvalmistus. Ohjauskeskuksia voidaan pitää itsenäisten automaatiojärjestelmien keskeisimpinä osina, sillä ne hoitavat koko järjestelmän hallinnan. Tästä syystä työn tuloksena syntyneessä määrittelyssä keskusvalmistusta koskevat vaatimukset ovat esitelty kokonaan omissa kappaleissaan.

Kuten nimikin jo kertoo, ohjauskeskus on automaatiojärjestelmän keskus. Siihen kytketään järjestelmän mitta- ja toimilaitteet, ja se useimmiten sisältää myös jonkinlaisen käyttäjärajapinnan prosessiin. Käyttäjäraja- pinta voi tarkoittaa painikkeita, kytkimiä, merkkilamppuja ja mittareita, tai varsinaista HMI-käyttöliittymää. Automaatiojärjestelmä liitetään osaksi muita järjestelmiä ohjauskeskuksen kautta.

#### 4.1 Suunnittelu

Ohjauskeskusten suunnittelu ja piirikaavioiden teko on keskeinen osa sähkösuunnittelu- vaihetta. Suunnittelun tuloksena syntyvät kaaviot, jotka määrittävät tarkkaan käytetyt komponentit ja kaapelit, niiden sijoittelut, sisäiset johdotukset ja keskuksen sähkötekni- set ominaisuudet. Suunnittelu toteutetaan tilaajalta ja telakalta saatujen järjestelmän ja laivan vaatimusten perusteella. Kuvassa 7 on valmis ohjauskeskus ennen kenttälaittei- den asennusta.



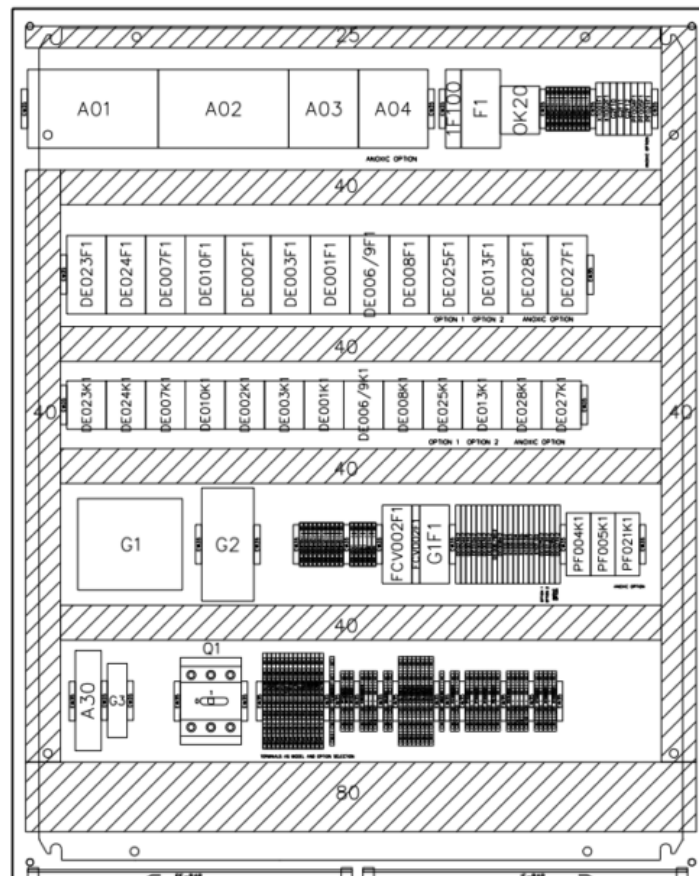
Kuva 7. Valmis ohjauskeskus ennen kenttälaitteiden kytkentää [23].

Ohjauskeskuksia on moneen eri lähtöön. Kuvan 7 ohjauskeskus on ns. PLC-keskus, joka sisältää prosessia ohjaavan PLC:n, useita moottorilähtöjä sekä tuloja mittauslait-

teille. Järjestelmässä, jossa on suuri määrä moottorinohjauksia, voi olla suuria ohjauskeskuksia pelkästään moottorinohjauksille. Näissä kaapeissa ei välttämättä ole varsinaista PLC:tä lainkaan, vaan ohjaukset ovat kytketty etä-I/O:hon, joka on yhdistetty kenttäväylällä toisessa keskuksessa sijaitsevaan, prosessia ohjaavaan PLC:hen. Pienissä ohjauskeskuksissa ei aina ole PLC:tä lainkaan, vaan tarvittavat yksinkertaiset ohjaukset toimivat suorilla ohjauksilla tai relelogiikalla.

#### 4.2 Komponentit

Ohjauskeskuksen komponentit valitaan käyttötarkoituksen ja projektin vaatimusten mukaisesti. Laivaympäristöön asennettavien keskuksien komponenteilla tulee olla valitun luokituslaitoksen sertifiikaatti, joka osoittaa niiden täyttävän laivateollisuuden asettamat vaatimukset. Komponentit asennetaan sähkösuunnittelussa syntyneen layout-kuvan mukaan (kuva 8).



Kuva 8. Ohjauskeskusten komponenttien sijoittelu [23].

Ohjauskeskuksen komponenttien tyyppi ja lukumäärä vaihtelee riippuen järjestelmästä ja sen sisältämien laitteiden tyypeistä ja määrästä. Yleisimpiä ohjauskeskusten komponentteja ovat

- pääkytkimet
- johdonsuojakatkaisijat
- moottorinsuojakytkimet
- kontaktorit
- ohjausjännitemuuntajat
- tasavirtalähteet
- releet
- turvareleet
- PLC:n keskuslaskentayksikkö
- PLC:n laajennusmoduulit
- mittauslähettimet, -muuntimet ja -eristimet
- taajuusmuuttajat.

Komponentit johdotetaan keskuksen sisäisesti kannellisia kaapelikouruja pitkin. Johtimien värit ja paksuudet valitaan sähkökuvien perusteella, kuten myös johtimien numerointi. Sähkökuvista ilmenee jokaisen johtimen ja komponentin tunnus sekä kytkentäpisteet.

#### 4.3 Asennus

Tehtaalta valmistuneen ohjauskeskuksen toiminta testataan ennen sen toimitusta lopulliseen asennuskohteeseen. Testauksessa varmennutaan keskuksen asennusten turvallisuudesta toteutuksesta sekä keskuksen toiminnallisuudesta. Tehtaalta toimitettava keskus on siinä kunnossa, että siihen voi kytkeä kenttälaitteet ja käyttöönottoprosessin voi aloittaa.

## 5 Sähkötekniinen määrittely automaatiojärjestelmille

### 5.1 Tilaajajritys

Sähkötekniisen määrittelyn tilaajajritys toimittaa integroituja veden- ja jätteenkäsittelyjärjestelmiä maailmanlaajuisesti meri- ja offshoreteollisuuteen. Yritys ostaa järjestelmien sähkö- ja automaatiototeutukset eri alihankkijoilta. Yrityksen meriteollisuuteen toimittamia tuoteryhmiä ovat

- alipainejärjestelmät
- jätevedenkäsittelyjärjestelmät
- painolastivedenhallintajärjestelmät
- puhtaan veden tuotantojärjestelmät
- merieliöstön kasvunehkäisyjärjestelmät
- kuiva- ja märkäjätteenkäsittelyjärjestelmät
- korroosionestojärjestelmät.

Yritys toimittaa myös kokonaisratkaisuja, jotka sisältävät useampia yllä luoteltuja järjestelmiä.

### 5.2 Syyt määrittelyn laatimiselle

Tilaajan järjestelmät ovat itsenäisiä kokonaisuuksia, joiden automaatiojärjestelmä liitetään usein laivan integroituun automaatiojärjestelmään. Tilaaja toteuttaa järjestelmien sähkö- ja automaatiosuunnittelun eri automaatiotoimittajien toimesta, jolloin toteutukset voivat poiketa toisistaan. Tämä voi aiheuttaa ongelmia erityisesti silloin, kun kahden tai useamman automaatiotoimittajan järjestelmiä esiintyy samassa laivassa. Vaikka järjestelmät noudattavatkin samoja määräyksiä niin suunnittelun kuin valmistuksenkin osalta, toteutus voi kuitenkin olla erilainen. Tämä voi aiheuttaa sekaannusta ja monimutkaisuutta järjestelmiä käytettäessä ja huoltaessa.

Projektin myyntivaiheessa on suuri määrä paperityötä. Laivanrakentajalla on oma tekninen määrittelynsä, joka määrittää mm. käytetyn luokituslaitoksen ja vaatimukset sähköisten järjestelmien ja komponenttien sähkötekniisille ominaisuuksille. Projektissa käytettyjen automaatiotoimittajien tulee toteuttaa automaatiojärjestelmät noudattaen näitä määräyksiä. Varsinaisen järjestelmätoimittajan myynti- ja ostohenkilöstön automaatiotietämys on vajavaista.

Tilaaajan laivateollisuuden kohderyhmä on laaja. Järjestelmiä toimitetaan kaikenkokoisiin ja -tyyppisiin aluksiin, yksityisjahdeista aina sota-aluksiin ja valtameriristeilijöihin asti. Laivan koko ja käyttötarkoitus vaikuttaa sen järjestelmiltä vaadittuihin ominaisuuksiin, samoin kuin laivanvalmistajan sekä -omistajan tekemät päätökset ja valittu luokituslaitos. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden, kaikkiin projekteihin sopivan ja tarkan määrittelyn laatiminen ei ole mahdollista. Tarkoituksena olikin kirjoittaa määrittely sillä tarkkuudella, että se soveltuu yleispäteväksi määrittelyksi lähtökohtaisesti kaikkiin laivateollisuuden järjestelmiin.

Tuotettavalla määrittelyllä oli kolme päätarkoitusta. Yksi tavoite on standardoida tilaaajan järjestelmien automaatiototeutukset niin kattavasti, että eri automaatiotoimittajien toteutukset eivät poikkea toisistaan merkittävästi. Tällä saavutettaisiin yhdenmukaiset kokonaisratkaisut, kun kaikkien järjestelmien toiminta ja käyttäjärajapinnat ovat yhdenmukaiset. Myös järjestelmien huolto ja vianhaku on helpompaa, jos tekninen toteutus on samanlainen eri tuotteissa ja käytetyt sähkökomponentit samoilta toimittajilta.

Toinen tavoite oli helpottaa tilaajayrityksen projektin hoitoa lisäämällä sen henkilökunnan tietämystä automaatiototeutuksesta ja sen vaatimuksista, antamalla selkeät ohjeistukset projektin eri vaiheisiin.

Kolmantena päätarkoituksena oli koota järjestelmien sähkötekniiset ominaisuudet siten, että ne voidaan esittää laivanrakentajalle jo myyntivaiheessa ja täten helpottaa sopimusentekoa. Tämä olisi hyödyllistä erityisesti kiireisissä tarjoustilanteissa, joissa ei ole mahdollista perehtyä laivan tilaaajan teknisiin vaatimuksiin. Tällaisessa tapauksessa myyjä voisi tehdä tarjouksen perustuen yrityksen omaan tekniseen määrittelyyn, jolloin vältettäisiin tilanne, jossa tarjous jää kokonaan tekemättä ajan puutteen vuoksi tai tarjous lasjetaan väärin teknisien lähtötietojen puutteen vuoksi.

### 5.3 Määrittelyn laatiminen

Ennen työn alkua pidettiin palaveri tilaaajan ja automaatiotoimittajan kesken, jossa arvioitiin työn sopivuutta opinnäytetyöksi sekä kartoitettiin tehtävän työn laajuutta ja sisältöä. Tilaaajalle laadittiin sisältöehdotus palaverin keskustelujen, tilaaajan ohjeistuksien ja automaatiotoimittajan kokemuksen pohjalta. Sisältöehdotusta tarkasteltiin seuraavassa palaverissa, ja se sai myönteisen vastaanoton. Sisällysluetteloon tehtiin muutamia vähäisiä muutoksia palaverin keskustelujen perusteella, ja aloitettiin materiaalin kerääminen määrittelyä varten. Materiaalin lähteinä käytettiin



- tilaajan olemassa olevia teknisiä määrittelyjä
- merkittävimpien telakoiden vaatimuksia koskien laivojen sähkö- ja automaatiojärjestelmiä
- automaatiotoimittajan kokemusta ja vallitsevia toimintatapoja
- vallitsevia meriteollisuuden standardeja ja ohjeistuksia.

Tilaaajaryityksellä oli entuudestaan olemassa teknisiä määrittelyjä koskien mm. keskusvalmistusta, sähkösuunnittelua ja asennuksia. Niiden sisältö tarkastettiin ja työn kannalta olennainen sisältö sisällytettiin laadittavaan määrittelyyn eri otsikoiden alle. Näistä määrittelyistä kerätty tieto muodosti rungon työlle.

Vanhoista määrittelyistä koottua runkoa alettiin tarkentaa ja laajentaa. Automaatiotoimittajan projektitietokannasta haettiin aiemmin toteutettuja projekteja, jotka olisivat soveltuvia käytettäväksi työssä. Soveltuvuudella tarkoitetaan tässä sitä, että projekti on luonteeltaan ja vaatimuksiltaan tavanomainen eikä ns. erikoistapaus, jossa esim. laivan käyttötarkoitus aiheuttaa erityisvaatimuksia sähköistyksien toteutuksille. Näitä referenssiprojekteja valikoitui neljä, jotka olivat neljän, tilaajalle asiakkaana merkityksellisen telakan tilaamia.

Laivaprojektin alkuvaiheessa telakka toimittaa alihankkijoilleen laivan yleiset sähkötekniset vaatimukset eli GER:n (General Electrical Requirements). Neljän valitun referenssiprojektin GER:it luettiin huolellisesti kohta kohdalta läpi verraten niitä samanaikaisesti toisiinsa ja työn runkoon. Keskeiset kohdat lisättiin työhön tai niillä tarkennettiin jotakin kohtaa työssä, kuitenkin käyttäen automaatiotoimittajan ammattitaitoa hyväksi siinä, onko kunkin kohdan vaatimus mahdollista ja/tai järkevää toteuttaa tilaajan projekteissa. Painoarvo oli erityisesti suurempien telakoiden vaatimuksilla sekä vaatimusten kohdilla, jotka ilmenivät useissa GER:eissa.

Työn edistymistä tarkasteltiin tilaajan kanssa palaverissa, joita pidettiin muutaman viikon välein. Palaverissa käytiin läpi työn sisältöä kohta kohdalta, ja tilaaja kommentoi sisältöä, mikäli sitä oli tarkennettava tai siinä oli seikkoja, jotka olivat epäolennaisia tai toteuttamiskelvottomia. Moni kohta herätti myös vilkasta keskustelua, joka toi ilmi eri näkökulmia jonkin asian toteutustarpeista ja -mahdollisuuksista. Kaikkiin tällaisiin kohtiin ei löytynyt selkeää yhtä vastausta sisällytettäväksi työhön, mutta joissain tapauksissa voitiin tehdä linjauksia toimintatapoihin. Useissa kohdissa oli tarpeellista tarkastaa meriteollisuuden standardien vaatimuksia.

## 5.4 Sisältö

Koska työn julkaiseminen tämän raportin yhteydessä ei ole mahdollista työn luonteen vuoksi, sen sisältö kuvaillaan tässä kappaleessa jättäen tarkat yksityiskohdat mainitsematta. Sisällön rakenne ja keskeiset seikat, joita määrittely koskee, on pyritty tuomaan esille.

### Materiaalivaatimukset automaatioprojektille

Ensimmäiseen lukuun on koottu kaikki materiaali, jota automaatiotoimittaja tarvitsee projektin aikana tilaajalta voidakseen toteuttaa projektin. Tarkoituksena on helpottaa tilaajan projektinhallintaa kokoamalla kaikki automaatiotoimittajan tarvitsema materiaali yhden kappaleen alle. Samat vaatimukset löytyvät myös viimeisestä kappaleesta, jaettuna eri projektivaiheisiin.

### Standardit ja ohjeistukset

Standardit, joita määrittely velvoittaa noudattamaan, on koottu oman kappaleensa alle sen lisäksi, että niihin viitataan myös muualla dokumentissa. Standardit ovat kansainvälisiä ja koskevat mm.

- laivojen sähköasennuksia
- laivojen sähkölaitteita
- sähkömagneettista yhteensopivuutta
- taajuusohjattuja moottorilähtöjä
- kaapelointeja ja kaapelien ominaisuuksia.

Suurin osa standardeista on IEC-standardeja.

### Sähkösuunnittelu

Kolmannessa luvussa käsitellään automaatiojärjestelmän sähkösuunnittelua yleisesti. Ohjeistus on jaettu alaotsikkoihin seuraavasti: yleinen suunnittelu, sähkökeskukset, kaapelit, laitteet ja maadoitukset. Luku on tarkoitettu ensisijaisesti automaatiotoimittajan ohjeistukseksi.

Yleisessä suunnittelussa on määritelty järjestelmissä yleisimmin käytettävät jännitetasot. Järjestelmien syöttöjännite ja -taajuus riippuu suoraan aluksella saatavana olevasta jännitteestä, mikäli järjestelmää syötetään suoraan aluksen sähköjärjestelmästä. Jokin pienempi keskus voi olla myös isomman, samaan järjestelmään kuuluvan keskuksen syöttämä, jolloin se poikkeaa laivan syöttöjännitteestä. Kaapeissa käytettävät ohjausjännitteet ja -taajuudet on määritelty, samoin kuin pienoisyjännite. Pienisyjännitettä käytetään hälytyksiin, monitorointiin, turvajärjestelmiin ja PLC:n signaaleihin. Keskuksen eri jännitteiden generointitavat on myös määritelty.

Yleinen suunnittelu -kappale sisältää myös vaatimukset koskien kaikkien osien ja komponenttien sopivuutta asennusympäristön olosuhteisiin, jotka ovat lämpötila ja suhteellinen ilmankosteus. Vaatimukset löytyvät myös keskusten jäähdytykselle tai lämmitykselle asennusympäristön mukaan, sekä eri tiloihin asennettavien keskuksien kotelointiluokat.

Sähkökeskusten osalta on määritelty kaikki suunnitteluvaiheessa huomioon otettavat seikat, valmistusta koskevien ohjeiden ollessa omassa kappaleessaan. Vaatimukset koskevat mm.

- keskuksien laajennusvaroja
- komponenttien sijoittelua
- komponentteja
- sisäisiä johdotuksia
- ohjauksia ja hälytyksiä.

Keskuksen oven komponenttien sijoittelussa on huomioitava sen asennustapa ja -korkeus sekä vieretysten asennettavien keskusten yhdenmukaisuus. Keskuksissa käytetyt komponentit tulee olla määrättyjen komponenttivalmistajien toimittamia. Keskuksien sisäisten johtimien tyypit, halkaisijat ja värit ovat määritelty johtimen käyttötarkoituksen mukaan. Ohjausten osalta vaatimukset koskevat eri hälytys- ja ohjaustietojen signaalityyppejä, hätä-seis -piirien toteutuksia sekä merkkivalojen värejä.

Kaapeleilta vaaditaan meriteollisuudessa tiettyjä erityisominaisuuksia. Vaatimukset koskevat kaapelien valmistusmateriaaleja, lämmön- ja liekinsietokykyä sekä savuntuottoa. Järjestelmien mittalaitteiden on toimittava määrättyissä olosuhteissa ja niiden viestityypit on määritelty. Moottorien on täytettävä standardien vaatimukset ja toimittaja määrättyissä olosuhteissa. Niiden rakenne, kotelointiluokka ja suurin sallittu kierrosnopeus on määritelty.

## Keskusvalmistus

Neljäs luku sisältää ohjeistuksen sähkökeskusten valmistamiselle. Yleiset vaatimukset koskevat mm. suojausta sähköiskuilta, keskuksen väriä sekä keskuksen varustamista ei-sähköisillä komponenteilla, jollaisia ovat mm. dokumenttitasku ja oven aukilukitusmekanismi. Keskuksen ja sen komponenttien merkitsemistä ohjaavat vaatimukset koskevat niin kaapin sisä- kuin ulkopuolellekin asennettuja komponentteja sekä kaikkia sisäisiä johdotuksia. Merkintätavat ja -paikat ovat tarkkaan määritelty. Komponenttien ja sisäisten johtimien asennus- ja kiinnitystavat ovat määritelty, samoin kuin johtimien suojaus keskuksen eri osissa. Kaapeliläpivientejä varten on myös omat vaatimuksensa.

Keskuksien maadoitusmenetelmät ja niiden merkintätavat ovat määritelty. Kaikkien sähkökomponenttien ja asennusten tulee täyttää sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat vallitsevat määräykset, ja niiden tulee kestää laivanvalmistajan määrittämä tärinätaso. Asennuksissa tulee huomioida kotelointiluokkien säilyvyys.

Keskuksia testataan automaatiotoimittajan tiloissa ennen toimitusta tilaajalle. Testauksessa tulee varmentua keskuksen sähkötekniisiä ominaisuuksia koskevien vaatimusten täyttymisestä sekä keskuksen toiminnallisuudesta. Työssä on listattu minimivaatimukset koskien testauksessa tehtäviä toimenpiteitä.

## Asennus

Asennusluvussa on käsitelty vaatimukset ja käytännöt koskien automaatiojärjestelmän asennusta laivaympäristössä. Painoarvo on noudatettavien standardien sekä luokituslaitoksen määräyksillä. Käytettävistä kaapelityypeistä ja -läpimitoista on esitetty tarkat vaatimukset. Asennuksessa tulee huomioida samassa asennuskourussa kulkevien kaapeleiden eri jännitetasot sekä sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevien määräysten täytyminen. Kaapelien kiinnityksistä on esitetty omat vaatimuksensa.

## Projektin vaiheet

Viimeinen luku esittää automaatioprojektin eri vaiheet sekä automaatiotoimittajan että tilaajan näkökulmasta. Informaatioliikenne toimijoiden välillä sekä vaiheittaiset toteumat ovat esitelty kullekin eri vaiheelle. Automaatiotoimittajan projektin eri vaiheita ovat

- esisuunnittelu
- tarjousvaihe ja sopimuksenteko

- järjestelmäsuunnittelu
- sähkösuunnittelu
- automaatiosuunnittelu
- keskusvalmistus
- testaus.

Jokaisessa vaiheessa on esitetty dokumentit, jota automaatiotoimittajan tulee toimittaa tilaajalle sekä vaatimukset materiaalista, jota automaatiotoimittaja tarvitsee voidakseen toimittaa vaaditut dokumentit.

Automaatiotoimittaja liittyy tilaajan projektin läpivientiin tilaajan myyntivaiheesta projektin suoritusvaiheeseen. Dokumenttivaatimukset molempien osapuolien välillä on esitetty myös tilaajan projektinhoidon näkökulmasta.

## 6 Tulos ja pohdintaa

Työn tuloksena syntynyt määrittelydokumentti vastasi hyvin siihen kohdistuneisiin odotuksiin. Kokonaisuutena insinööriyön käsittelemä aihe on erittäin laaja, ottaen huomioon tilaajayrityksen tuoteportfolion sekä asiakaskunnan laajuuden. Tästä syystä tämän insinööriyön kohde oli rajattu ainoastaan yleispäteväksi, useimpiin laivateollisuuden projekteihin sopivaksi määrittelyksi. Koska vastaavaa dokumenttia ei ollut olemassa aiemmin, tarkkoja vaatimuksia määrittelyn sisällöstä ei ollut mielekästä ennalta asettaa. Sisällön rakenne jalostui automaatiotoimittajan ja tilaajan ammattitaidon ja toteutettujen projektien tuoman kokemuksen perusteella. Syntynyt määrittely toimii myös hyvänä pohjana mahdollisesti tulevaisuudessa laadittaville määrittelyille, joista keskusteluissa esiin nousseita on käsitelty seuraavissa kappaleissa.

Toteutunut sähkötekkinen määrittely on kohdennettu ainoastaan laivateollisuuteen. Tilaajayritys toimittaa kuitenkin järjestelmiään myös offshoreteollisuuteen eli erilaisiin avomerellä toimiviin majoitusaluksiin ja -lauttoihin, tukialuksiin ja porauslauttoihin. Tulevaisuudessa määrittelystä voisi laatia myös oman versionsa offshoreteollisuuden toimituksia varten.

Määrittelyssä on käsitelty ainoastaan automaatiojärjestelmän sähköistä suunnittelua ja toteutusta. Kuitenkin merkittävä osa automaatiojärjestelmän suunnittelua on myös varsinainen automaatiosuunnittelu. Tämän avainkohtia ovat järjestelmän ohjelmointi ja käyttöliittymien toteutus, joihin yhä enenevässä määrin kiinnitetään huomiota myös telakoiden

taholta. Työtä olisi tarpeellista laajentaa automaatio suunnittelun standardisoinnilla tai sen rinnalle voisi vaatia oman määrittelyn koskien automaatio suunnittelua.

Tuotettu määrittely on yksi kokonainen dokumentti, joka sisältää ohjeita ja tietoa kolmelle eri taholle: laivanvalmistajalle, järjestelmätoimittajalle sekä automaatio toimittajalle. Tuotoksesta voisi tulevaisuudessa laatia kullekin taholle räätälöidyt dokumentit, jossa olisi koottuna vain kyseiseen tarkoitukseen olennaiset tiedot: Laivanvalmistajalle järjestelmän sähkötekniiset ominaisuudet sopimuksen teon tueksi, järjestelmätoimittajan osto- ja myyntihenkilökunnalle sekä projektin hoitajille ohjeistus eri vaiheiden materiaalit arpeista sekä automaatio toimittajalle vaatimukset järjestelmän toteuttamisesta. Työn sisällön kohdentaminen tällä tavalla helpottaisi sen käyttöä, mutta samalla muutostenhallinta vaikeutuu, kun samat asiat esiintyvät eri dokumenteissa.

Insinöörityön tekijän näkökulmasta aihe oli hyvin soveltuva opinnäytetyöksi. Tutustuminen ja syventyminen meriteollisuuden erityisvaatimuksiin, luokituslaitosten toimintaan ja vallitseviin sähköalan standardeihin lisäsi allekirjoittaneen valmiuksia toimia meriteollisuuden sähkö- ja automaatio suunnittelutehtävissä.

## Lähteet

- 1 Alanen, Pekka. 2015. Katsaus laivojen sähköjärjestelmiin keittiötoimittajan näkökulmasta. Insinööriyö. Vaasan Ammattikorkeakoulu.
- 2 What are classification societies. 2004. Verkkoaineisto. International Association of Classification Societies. <<https://web.archive.org/web/20070119074545/http://www.eagle.org/company/Classmonograph.pdf>>. Luettu 5.2.2019.
- 3 Classification Societies – A full listing. 2010. Verkkoaineisto. UK P&I Club. <<https://www.ukpandi.com/knowledge-publications/article/classification-societies-a-full-listing-185/>>. Luettu 22.3.2019.
- 4 Members. 2019. Verkkoaineisto. International Association of Classification Societies. <<http://www.iacs.org.uk/about/members/>>. Luettu 29.3.2019.
- 5 Laivojen ja meriteknisten rakenteiden luokitus. 2019. Verkkoaineisto. Bureau Veritas Finland. <[https://www.bureauveritas.fi/wps/wcm/connect/bv\\_fi/local/services+sheet/laivojen\\_ja\\_meriteknisten\\_rakenteiden\\_luokitus](https://www.bureauveritas.fi/wps/wcm/connect/bv_fi/local/services+sheet/laivojen_ja_meriteknisten_rakenteiden_luokitus)>. Luettu 29.3.2019.
- 6 What we do. 2019. Verkkoaineisto. International Electrotechnical Commission. <<https://www.iec.ch/about/activities/?ref=menu>>. Luettu 15.2.2019.
- 7 Introduction to IMO. 2019. Verkkoaineisto. International Maritime Organization. <<http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>>. Luettu 18.3.2019.
- 8 International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. 2019. Verkkoaineisto. International Maritime Organization. <[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)>. Luettu 20.3.2019.
- 9 Inkinen, Markku. 2016. Automaatiotekniikan yleisesittely. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu 30.8.2016.
- 10 Ship Automation & Control System. 2013. Verkkoaineisto. Shippipedia. <<http://www.shippipedia.com/ship-automation-control-system/>>. Luettu 5.4.2019.
- 11 Inkinen, Markku. 2016. Automaatiojärjestelmät. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu 31.10.2016.
- 12 Totally Integrated Automation concept 2019. Verkkoaineisto. Energy Satrap. <<http://www.energysatrap.com/index.php/products/control-system>>. Luettu 5.4.2019.
- 13 Automation at Sea. 2010. Verkkoaineisto. Ship Technology. <<https://www.ship-technology.com/features/feature77533/>> Luettu 15.2.2019.
- 14 Tutorial – Introduction to Fieldbus. 2019. Verkkoaineisto. Verwer Training and Consultancy Ltd. <<http://verwertraining.com/tutorials/tutorial-introduction-to-fieldbus-and-profibus/>>. Luettu 1.4.2019.

- 15 Modbus FAQ - About the Protocol. 2019. Verkkoaineisto. Modbus Organization. <<http://www.modbus.org/faq.php>>. Luettu 1.4.2019.
- 16 Profibus. 2019. Verkkoaineisto. Siemens. <[http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedon-siirto\\_esim\\_profinet/profibus.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen_tiedon-siirto_esim_profinet/profibus.htm)>. Luettu 1.4.2019.
- 17 Junno, Kristian. 2017. Profibus. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu 22.11.2017.
- 18 Profinet. 2019. Verkkoaineisto. Siemens. <[http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedon-siirto\\_esim\\_profinet/profinet.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen_tiedon-siirto_esim_profinet/profinet.htm)>. Luettu 1.4.2019.
- 19 Profinet – Overview. 2019. Verkkoaineisto. Profibus and Profinet international. <<https://www.profibus.com/technology/profinet/overview/>>. Luettu 1.4.2019.
- 20 Tilajayrityksen sisäinen materiaali.
- 21 Wärtsilä Integrated Automation System. 2019. Verkkoaineisto. Wärtsilä. <<https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/power-systems/hybrid-automation/wartsila-integrated-automation-system>>. Luettu 29.3.2019.
- 22 Integrated Automation Systems. 2019. Verkkoaineisto. Siemens. <[https://w3.siemens.no/home/no/no/sector/industry/marine/pages/integrated\\_automation\\_systems.aspx](https://w3.siemens.no/home/no/no/sector/industry/marine/pages/integrated_automation_systems.aspx)>. Luettu 29.3.2019.
- 23 Automaatioyrityksen sisäinen materiaali.