



Jouni Pohjola

# Ethernet-tekniologiaan siirtymisen esisuunnittelu moottoriohjauskeskuk- sen (MCC) hankkeissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Sähköinen talotekniikka

Opinnäytetyö

28.12.2023

## Tiivistelmä

Tekijä:	Jouni Pohjola
Otsikko:	Ethernet-teknoologiaan siirtymisen esisuunnittelu moottoriorihjauskeskuksen (MCC) hankkeissa
Sivumäärä:	90 sivua + 13 liitettä
Aika:	28.12.2023
Tutkinto:	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Sähköinen Talotekniikka
Ohjaajat:	TkT Juha Kekkonen Lehtori Jarmo Tapio

---

Työn tavoitteena on tuottaa kemian alan yrityksen teknisiin spesifikaatioihin täydentäviä vaatimusmäärittelyjä moottoriorihjauskeskuksen kojeiston liittämiseksi automaatioon teollisuus-Ethernet-tiedonsiirtoratkaisulla. Samanaikaisesti laitoksella käynnissä olevaan keskuskojeiston uudistusprojektiin laaditaan näihin määrittelyihin pohjautuvia suunnitteludokumentteja.

Tietoa hankitaan tuotantolaitoksen eri toiminnoista vastaavien asiantuntijoiden haastatteluin sekä käynnissä olevan projektin tavoitteissa valmistajilta saatavalla tiedolla. Tutkimustiedon perustan muodostavat Teollisuus-Ethernet-teknoologiaan liittyvä teknisen alan kirjallisuus sekä tutkimustyöntekijän saama koulutus ja työkokemus teollisuuden väylät- ja verkot -toiminnoissa. Tiedonhankintaa tehdään laitoksen olemassa olevien spesifikaatioiden ohjeistoon ja niiden sisältämiin standardeihin tutustuen sekä uudistusprojektin tavoitteita rinnastaen.

Työn tuloksena laitoksen olemassa oleviin spesifikaatioihin syntyy täydentäviä tyyppi-piirustusmalleja, keskeisimpinä järjestelmä- ja keskuskaaviot, uudistettavan moottoriorihjaimen johdotus-, piiri- ja lohko-kaaviot, sekä uudistusprojektissa täydentyvät tekniset vaatimusmäärittelyt ja testausohjeet.

Työ tuottaa laitoksen projektisuunnittelulle valmiuksia Teollisuus-Ethernet-tekno-logian hallintaan. Työ ohjaa suunnitteluun sisällytettäväksi kunnossapidon toimintaan tarpeellisia työvälineitä, sekä toiminnan tehostamista kehittäviä keinoja laitoksen omaisuuden elinkaaren hallintaan.

Avainsanat: Teollisuus-Ethernet, moottoriorihjauskeskus, suunnittelu, elinkaarenhallinta, kunnossapito

## Abstract

Author: Jouni Pohjola  
Title: Pre-engineering Transfer to Ethernet-technology motor control center (MCC) Projects  
Number of Pages: 90 pages + 13 appendices  
Date: 28 December 2023

Degree: Master of Engineering  
Degree Programme: Building Services Engineering  
Supervisors: Juha Kekkonen, D.Sc.  
Jarmo Tapio, Senior Lecturer

---

The purpose of the final year project was to produce complementary technical specifications for the electrical requirements of equipping motor control center with Industrial-Ethernet technology to be used by the commissioning company. Furthermore, design documents were to be created on the basis of the specifications to be used in the renovation project of the factory of the company.

Information was gathered by interviewing the specialists of the company renovation project parties and equipment manufactures. Moreover, literary sources about industrial-ethernet technology, fieldbus technology and network solutions were studied.

The final year project resulted in complementary engineering drawings, technical specifications, instructions, and procedures for testing the interoperability of electrical and automation equipment, and for the commissioning of the systems. The created documents and procedures will enable the commissioning company to cover all phases of industrial-ethernet from design through to maintenance. The thesis guides the design so that it takes maintenance into account from the beginning.

Keywords: industrial-ethernet, motor control center, engineering, life cycle management, maintenance

# Sisällys

## Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimusongelma	2
1.2	Tutkimusmenetelmä	3
1.3	Aiheen rajausta	4
1.4	Työn merkitys tilaajalle	4
1.5	Tutkimuksen tekijä	5
2	Automaation väylistä teollisuus-Ethernet-verkkoihin	5
2.1	Moottorihjauksen automaatioväylät	5
2.2	Teollisuus-Ethernet-teknologia	6
2.2.1	Teollisuuden väylä- ja verkkoteknologioiden levinneisyys	8
2.2.2	IE-tekniikan valinta tutkimuksen syventämiseksi	9
2.3	Profinet-Teollisuus-Ethernet	10
2.3.1	Verkkotopologiat	10
2.3.2	Profinet-kommunikointi	10
2.3.3	Profinet-verkkoliittymät	13
2.3.4	Profinet-verkonhallinta ja diagnostiikka	15
2.3.5	Profinet-redundanssi	17
2.3.6	Siirtotien syvyys ja verkkokuorma	20
2.3.7	Verkon suorituskyky	22
2.3.8	Ethernet 100BASE-TX -signaali	23
2.3.9	Toiminnalliset Profinet-profiilit	24
2.3.10	IWLAN -langaton teollisuusverkko	25
2.3.11	Erilaisten tiedonsiirto-protokollien liittymät automaatioon	25
2.3.12	OPC UA-kommunikointi	26
2.3.13	IIoT-liittymät	28
2.3.14	Profinet-ratkaisun komponentit	29
2.3.15	Kyberturvallisuus	33
2.3.16	Teollisuus-Ethernet-laitekentänhallinta ja kunnonvalvonta	36
2.3.17	Käyttöönotto ja testaus	37
2.3.18	Operointi, kunnossapito ja elinkaarenhallinta	38
2.4	Uudistushankkeen kojeistotila	39
2.5	Pienjännite-moottorihjauksen keskus	41

2.5.1	Taajuusmuuttajat	42
2.5.2	Pehmokäynnistimet	43
2.5.3	Älykkäät moottoriohjaimet	44
2.5.4	Kennoterminaalit	48
2.5.5	Etä-I/O	49
2.5.6	Sähkömoottorikäytöt	49
2.5.7	Automaatioliitännät	50
2.5.8	Tiedonsiirron toimintavarmuuden ja kapasiteetin vertailu	53
3	Käsittelyaineisto ja tutkimusmenetelmät	55
3.1	Tutkimuksessa tuotettu uusi aineisto	56
3.2	Tutkimuksen työnkulun selvitykset	59
3.2.1	Kokonaisjärjestelmän verkkotopologia ja kahdennukset	60
3.2.2	Profinet-laitteet (IOD)	65
3.2.3	Protokollamuuntimien käyttö Profinet-suunnitteluratkaisussa	66
3.2.4	Profinet-komponentit	67
3.2.5	Profinet-järjestelmänhallinnan työvälineet	68
3.2.6	Profinet-piirisovellukset	69
3.2.7	Tuotetut laitoksen spesifikaatioiden täydennykset	69
3.2.8	Tutkimuksen ohjeisto toimintatutkimukselle	70
3.3	Väylistä verkotetun omaisuuden elinkaarenhallintaan	70
3.4	Käyttöön jäävä Profibus DP-osuus	71
4	Tulokset ja tulosten tarkastelu	72
4.1	Sähköspesifikaation uuden IE-toteutustavan vaatimukset	72
4.2	MCC-kojeistouudistushankkeen laajuus uudella IE-toteutustavalla	73
4.3	MCC-yksikköjen elinkaarta sekä kunnossapitoa huomioiva hanke	75
4.4	Uuden IE-toteutustavan toimintatestaus- ja toteutussuunnittelu	76
5	Johtopäätökset	77
	Lähteet	81
	Liitteet	
	Liite 1: Profinet-järjestelmäverkkojaon perusmäärittely	
	Liite 2: Profinet-järjestelmäverkko 1 perusmäärittely	
	Liite 3: Suunnitelman Profinet-järjestelmäverkkojaon määrittely	
	Liite 4: Suunnitelman Profinet-järjestelmäverkko 1 määrittely	

- Liite 5: Valokuitu- ja sarjaliikenneyhteyksien perusmäärittely
- Liite 6: MCC-keskuksen sisäisen Profinet-kaapeloinnin perusmäärittely
- Liite 7: Profinet-ohjatun suoran- ja ohituslähdön MD-lohkokaavio
- Liite 8: Profinet-ohjatun suoran- ja ohituslähdön MD-johdotuskaavio
- Liite 9: Profinet-ohjatun suoran- ja ohituslähdön MD-piirikaavio
- Liite 10: Simocode PRO V PN (DOL) -kommunikointilohkot
- Liite 11: Profinet-liitännäisen MCC-järjestelmän tekninen vaatimusmäärittely (TBD)
- Liite 12: MCC-keskuksen liittyminen Profinet-verkkoon
- Liite 13: Tiedonsiirtoteiden topologioiden saatavuuslaskelma vertailu

## Lyhenteet ja käsitteet

ANSI	(engl. American National Standards Institute) Organisaatio, joka valvoo erilaisten standardien kehittymistä Yhdysvalloissa ja koordinoi niiden yhdistämistä maailman standardien kanssa.
API	(engl. Application Interface) Sovellustason liityntärajapinta.
AR	(engl. Application Relation) Sovellus relaatio, koostuu useista kommunikointi relaatioista. Tyypillisesti ohjaimen, tai valvojaan liittyvän laitteen sovellus relaatio.
ASCII	(engl. American Standard Code for Information Interchange) 7-bittinen, 128 merkkipaikan laajuinen tietokoneiden merkkistö, joka sisältää ensisijaisesti amerikanenglannissa tarvittavat kirjaimet, numerot, väli- ja erikoismerkkejä, sekä eräitä ohjauskoodeja.
ASIC	(engl. Application Specific Integrated Circuit) Sovelluskohtainen integroitu piiri, joka on suunniteltu johonkin tiettyyn toiminnalliseen tarkoitukseen.
Asyklinen	Usein käyttäjän muodostama laiteparametroinnin (luku/kirjoitus) yhteydenmuodostus.
CC	(engl. Conformance Class, Performance levels A to D) Profinet verkon kommunikoinnin yhdenmukaisuuden luokittelu.
CiR	(engl. Configuration in Run). Toiminto, esimerkiksi ohjelman lataus, jonka aikana prosessinohjausta ei tarvitse keskeyttää (kts. DR).
Consumer	Profinet sykliksen kommunikoinnin tiedonvaihtoa, jossa laite on ohjaimen julkaiseman output datan kuluttajana ja ohjaimen puolestaan on laitteen julkaiseman input datan kuluttajana.
CR	(engl. Communication Relation) Ohjelmallinen kommunikaatio relaatio.
DCP	(engl. Discovery and basic Configuration Protocol) Profinet IO-laitteiden konfigurointi protokolla.
DCS	(engl. Distributed Control System) Automaation hajautettu ohjausjärjestelmä.
DHCP	(engl. Dynamic Host Configuration Protocol) DHCP-protokollan yleisin tehtävä on jakaa IP-osoitteita uusille lähiverkkoon kytkeytyville laitteille.

DR	(engl. Dynamic Reconfiguration) Dynaaminen uudelleenkonfigurointi ilman ohjausjärjestelmän pysäyttämistä (kts. CiR).
EMI	(Engl. Electromagnetic Interference) Galvaanisesti johtumalla, tai sähkö- tai magneettikentän kautta säteilemällä kytkeytyvä häiriö.
GSD	(engl. General Station Data) Laitteen kommunikoinnin ja toiminnallisuuden kuvaustiedosto, joka tarvitaan ohjausjärjestelmän konfiguraatioon. Profibus ASCII- tai Profinet XML-tiedosto (GSDML).
HSEQ	(engl. Healthy-Safety-Environment-Quality) Johtamisjärjestelmä, joka linjaa organisaation parhaimmat käytännöt varmistamaan terveellisen, turvallisen, ympäristöystävällisen ja tuotteissaan laadukkaan työskentely ympäristön.
HTTP	(engl. Hyper terminal transfer protocol) Protokolla, jota selaimet ja www-palvelimet käyttävät tiedonsiirtoon.
ICS	(engl. Industrial Control Systems) Tuotanto- ja jakeluprosessien toimintaan, sekä niiden valvontaan liittyvät ohjausjärjestelmät. Yleisnimitys kaikille teollisten prosessien ohjaamiseen tarvittaville kyberfyyysisille ohjelmistoille ja laitteille.
ICT	(engl. Information and Communication Technology), tieto- ja viestintäteknikka.
IDS	(engl. Intruder Detection System) Tietoliikenteen valvontaan käytettävä järjestelmä, joka analysoi läpikulkevan datan paketteja palomuuereja kehittyneemmin.
IE	(engl. Industrial-Ethernet) teollisuus-Ethernet, teollisuuden erityisvaatimukseen soveltuva Ethernet.
IEC	(engl. International Electrotechnical Commission) Sähköalan maailmanlaajuinen standardointijärjestö, joka laatii ja julkaisee kansainvälisiä sähkötekniisiä standardeja, jotka toimivat eurooppalaisen ja kansallisen standardointityön pohjana.
IED	(engl. Intelligent Electronic Device) Yleinen termi IEC61850-protokollaan liitetyistä kennotermiinaali kojeistoista.
IEEE	(engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers) Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
IIoT	(engl. Industrial Internet of Things) Teollisuuden M2M-kommunikaatioon ja big data tiedonsiirtoon, sekä koneoppiminen ympäristöihin suunnattu esineiden ja asioiden internet.



IMCC	(engl. Intelligent Motor Control Center) Yleistynyt termi digitaaliseen tiedonsiirtoon liitetyistä moottorihjauskeskuksista.
IOC	(engl. IO-Controller) Laite, joka käynnistää IO-data kommunikoinnin Profinet-verkossa, yleensä laiteohjain (ICS, DCS, PLC).
IOD	(engl. IO-Device) Laite, joka jakaa IO-dataa Profinet-verkossa.
IOS	(engl. IO Supervisor) Profinet-verkon käyttöönoton ja konfiguroinnin insinööriökalu.
IPS	(engl. Intruder Prevention System) Tietoverkkojen häiritsemisen, kuten matojen, virusten ja troijalaisten automaattinen tunkeutumisenestojärjestelmä.
IRT	(engl. Isochronous Real Time) Profinet-Isokrooninen aikakriittinen tiedonsiirto, joka asettaa sitä hyödyntäville laitteille erityisvaatimuksia.
ISA	(engl. International Society of Automation) Tekninen yhdistys, joka julkaisee esimerkiksi yhdessä IEC:n kanssa kansainvälisiä standardeja.
ISO	(engl. International Organization for Standardization) Kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
IT	(engl. Information Technology) Tietotekniikka.
LLDP	(engl. Link Layer Discovery Protocol) Verkkolaitteiden identiteetin, toiminnallisuuden ja verkkonaapuritietojen julkaisemiseen käytetty IEEE 802-paikallisverkon protokolla.
LV-MCC	(engl. Low Voltage Motor Control Center) Pienjännite (< 1000 VAC ja < 1500 VDC) moottorihjauskeskus.
M2M	(engl. Machine to Machine communication) Laitteiden välinen kommunikointi.
MAC	(engl. Media Access Control) Verkkosovittimen ethernet-verkossa yksilöivä osoite.
Master	Väyläisäntä. Käynnistää kommunikoinnin väyläorjien kanssa.
MRP	(engl. Media Redundancy Protocol) Profinet RT-kommunikoinnin käyttämä redundanttinen protokolla rinkitopologiassa.
MRPD	(engl. Media Redundancy for Real-Time with Planned Delay) IRT-kommunikoinnin MRP -variantti.

Multicast	Tietoliikenteessä viestin lähetys yhdeltä monelle (ryhmälähetys).
NAP	(engl. Network Access Point) Profinet-laitteiden ja -ohjaimien yksi- tai useampi fyysinen verkkoliityntä.
NRT	(engl. Non Real Time) Ei-aikakriittinen kommunikointi TCP/IP- ja UDP/IP- pakettien siirtoon.
OEE	(engl. Overall Equipment Effectiveness) Teollisuuden standardi, joka mittaa tuotannon tehokkuutta käytettävyyden, suorituskyvyn ja laadun tulona.
OLM	(engl. Optical Link Module) Profibus teknologiassa laite joka muuntaa sähköisen tiedonsiirtotien signaalin kuituoptiselle siirtotielle eteneväksi valoalloksi ja päinvastoin, sekä hallinnoi siirtotien mediakahdennusta.
OM	Monimuotoisen optisen kuitukaapelin luokittelu (OM1-7).
OPC UA	(engl. Open Platform Communication Unified Architecture) Teollisuusautomaatio- ja tiedonsiirto-standardi, joka mahdollistaa eri valmistajien laitteiden ja järjestelmien välisen kommunikoinnin.
OSI	(engl. Open Systems Interconnecting Reference Model) Tiedonsiirto-protokollien yhdistelmän seitsemän kerroksen kuvaus.
OT	(engl. Operational Technology) Teknologiset järjestelmät, jotka hallinnoivat fyysisiä prosesseja ja laitteita, kuten tehtaan koneita, antureita sekä ohjaimia.
PI	(Profibus & Profinet International) Teknologinen organisaatio. Käytetty myös lyhennettä PNO (Profibus Nutzerorganisation e.V.).
Profibus DP	(Process Field Bus Decentralized Periphery) Tehdasväyläprotokolla.
PLC	(engl. Programmable Logic Controller) Ohjelmoitava logiikka.
PN	(Process Field Net) Profinet-Teollisuus-Ethernet-protokolla.
Producer	Profinet-kommunikoinnin syklistä tiedonvaihtoa, jossa ohjain on output-datan julkaisija laitteille, ja laitteet ovat input-datan julkaisijoita ohjaimelle.
PtoP	(engl. Point-to-Point) Vuorosuntainen, yhdeltä yhteen liittymän kommunikointi (kts. Unicast).
PTP	(engl. Precision Time Protocol) Verkon kellosynkronointiprotokolla.

RAM	(engl. Reliability, Availability, Maintainability) Käyttövarmuusanalyysimenetelmä järjestelmän optimaalisen rakenteen määrittämiseksi.
RT	(engl. Real-Time), reaaliaikainen aikakriittinen Profinet-tiedonsiirto.
S2	Profinet-teknologiassa määritelty ohjaimen kahdennus.
SCADA	(engl. Supervisory Control And Data Acquisition) Tietokoneohjausjärjestelmä, valvomo-ohjelmisto tai PC-valvomo ympäristö.
SF/FTP	(engl. Braid Shielded-Foiled/Foiled Twisted pair) Kuparipunoksella ja muovilaminoidulla alumiinifoliolla parikierretyn kaapelin häiriösuoja.
Slave	Väyläorja. Vastaa väyläisännän output-data ohjaukseen Input-data tiedollansa (Response, RES.).
Slot/Subslot	PROFINET-laite koostuu yhdestä tai useasta fyysisestä tai virtuaalisesta toiminnallisesta slotista, jolla voi olla ali-slotteja.
SNMP	(engl. Simple Network Message Protocol) Joukko verkonhallinta-standardeja TCP/IP-verkkojen hallinnassa.
SNTP	(engl. Simple Network Time Protocol) Protokollaa käytetään IP-verkkojen aikapalvelinta tukevien laitteiden kellonajan synkronointiin.
TAP	(engl. Terminal Access Point), aktiivinen tai passiivinen verkkoliityntäpiste.
TCP/IP	(engl. Transmission Control Protocol/Internet Protocol) IP-protokolla hallinnoi päätelaitteiden osoitteita ja verkkopakettien reitittämistä. TCP-protokolla vastaa kahden päätelaitteen välisestä tiedonsiirtoyhteydestä.
UDP	(engl. User Datagram Protocol) Yhteydetön protokolla, joka ei vaadi yhteyttä laitteiden välille, mutta mahdollistaa tiedostojen siirron.
Unicast	Tietoliikenteessä yhdeltä yhdelle (engl. one-to-one) kommunikointia.
VLAN	(engl. Virtual Local Area Network) Fyysisen tietoliikenneverkon jakaminen loogisiin osiin sitä tukevilla verkkolaitteilla.
VFD	(engl. Variable Frequency Drive) Vaihtelevan taajuuden moottorikäytöt.
XML	(engl. Extensible Markup Language) Tiedostot sisältävät XML-kielen mukaisesti esitettyä dataa, jolla rakenteellisen datan esitystapa luodaan verkossa siirrettäväksi informaatioksi.

## 1 Johdanto

Tämä tutkimus kuvaa prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatio suunnittelun muutosta. Lisäksi tutkimus täydentää tilaajayrityksen käyttämään ohjaavaan tekniseen spesifikaatioon uuden Teollisuus-Ethernet (IE) -tiedonsiirtoratkaisun sisältämät tekniset vaatimusmäärittelyt, jotka koskevat moottorihjauskeskuksen (MCC) ja automaatiojärjestelmän välistä toimintaa. Tutkimustyössä tuotetaan samalla laitoksella käynnissä olevaan MCC-kojeiston uudistukseen näitä spesifikaation täydennyksiä noudattavia teknisiä esisuunnittelutietoja. Tutkimustuloksia voidaan soveltaa myös muiden IE-pohjaisten investointihankkeiden toteutussuunnittelussa.

Vuosituhanne vaihteesta lähtien teollisuuden kenttäväyliin liitetyt älykkäät moottorihjauskeskukset ovat tuottaneet käytettävyyttä ja investointihyötyjä verrattuna perinteisesti johdotetun I/O:n moottorihjaukseen. Edelleen teollisuus-Ethernet-teknologia on tullut 2010-luvulla kasvavasti tehdasautomaatioväylien korvaajaksi, ja IE-verkotetut toteutukset ovat MCC-elinkaariuudistuksissa väistämättä esillä. Nykyisen Profibus DP - tehdasautomaatioväylän luonnollisena seuraajana nähdylle Profinet-verkkoteknologian valinnalle voidaan esittää perusteluja sulkematta kuitenkaan pois muiden IE-tekniikoiden tarpeenmukaista käyttöä eri investointihankekokonaisuuksien suunnittelussa.

Kemian alan tuotantoprosesseissa käytettävältä tekniikalta vaaditaan toimintaympäristön käyttöön soveltuvia referenssejä vuosien ajalta, ja uusien teknologioiden osaintegroimisen malleja ei välttämättä ole suunniteltu riittävästi. Muutosjoustavuudessa olisi huomioitava, että tuotteiden elinkaari ei enää takaa teollisuudessa totuttua 10–20 vuoden tuotetuen ja varaosien saatavuutta. Pidemmän aikaa toimineen tuotantolaitoksen prosessin toiminnallisiin kokonaisuuksiin liittyy usein elinkaaren eri vaiheissa olevaa tekniikkaa, jolloin elinkaarenhallinta voi olla haastavaa, eikä useimpia prosessilaitteistoja voida

ajaa loppuun ympäri vuorokauden käyvässä tuotantolaitoksessa. Korvaavuussuunnitteluun on ryhdyttävä hyvissä ajoin ennen käytössä olevien tuotteiden elinkaaren päättymistä. [1; 2; 3; 4; 5.]

Teknologisen kehityksen jatkuva muutos muodostaa myös kustannuksia, joiden takaisinmaksuajan laskelmat voivat kuitenkin osoittaa investoinnin kannattavaksi yrityksen strategisissa tavoitteissa. Tuotannon energiankulutuksen ja päästöjen vähentämisen, sekä kiertotaloustuotteiden hyödyntämisen hiilineutraalin yhteiskunnan mahdollistajana, on viestitty laajasti olevan teollisuuden tavoitteena. Erityisesti digitalisaatiota on painotettu keinona saavuttaa nämä tavoitteet. Teollisen tuotannon on pitkäjänteisesti sitouduttava näiden muutosten läpivientiin kasvavien viranomaisvaatimusten täyttämisen, jatkuvan tuottavuuden- ja kustannustehokkuuden parantamisen sekä käyttökustannusten vähentämisen ohella. Toiminnan muuttaminen ja tehostaminen uusien teknologioiden edellyttää ihmisten sitoutumista tavoitteisiin ja tuotantovarmuuden ylläpitämiseen. Koulutusta ja uusia työvälineitä tarvitaan edelleen siitakin näkökulmasta, että digitalisaation ravitsema tekoäly tulee osaltaan korvaamaan sekä muuttamaan ihmisen roolia tuotantoprosessien toimintaympäristöissä.

MCC-kojeistousinnan, tai uuden MCC-keskuksen toteutushankkeen suunnittelu laitoksella käynnistyy sähkö- ja automaatio suunnittelun yhteistyönä. Toiminnallisen kokonaisuuden yhdistävänä tekijänä on automaatiojärjestelmän ja siihen liitettävän MCC-kojeiston yhdistävän tiedonsiirtotien määrittely. [1; 2; 3.]

## 1.1 Tutkimusongelma

Ensisijainen IE-teknologinen muutostarve koskee laajasti käytettyä monitoiminnallista Profibus DP -väyläliityntäistä moottoriohjainta. Väyläliitäntäisen ohjaimen valmistus päättyy noin 5–10 vuoden sisällä. MCC-keskuskojeisto ja siihen liittyvä tiedonsiirtoverkko sekä sitä ohjaava automaatiojärjestelmä on suunniteltava laitoksen teknisten spesifikaatioiden pohjalta tukemaan laajenevaa IE-

teknologiaa kokonaisuutena tai väylä- ja IE-verkotetun kojeisto-osuuden eriyttävänä ratkaisuna. [1; 2; 3.]

Tämän tutkimuksen peruskysymyksenä selvitetään tilaajan sähköpuolen yleisspesifikaatiota täydentävät tekniset vaatimukset moottorihjauskeskuksen kojeiston ja siihen liittyvän automaation siirtämiseen väyläjärjestelmästä IE-verkotettuun järjestelmään. Tavoite jakaantuu uuden IE-toteutustavan perussuunnitteluun sekä MCC-kojeistouudistushankkeen esisuunnitteluun. Täydentävinä kysymyksinä tutkimuksessa haetaan vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Millä järjestelmäkokoospanolla IE-ratkaisu voidaan toteuttaa siihen liittyviä eri kojeistojen ja automaation ohjaimien elinkaari sekä kunnossapitohuomioiden?
- Mitä uutta lähtötietoa on tuotettava laitoksen moottorihjauskeskuksen IE-ratkaisun spesifikaatioiden täydennysten lisäksi toimintatestaukseen, sekä toteutussuunnittelun ohjeistoon?

## 1.2 Tutkimusmenetelmä

Työn tutkimusmenetelmänä toimii määrällistä ja laadullista tutkimusta yhdistävä tapaustutkimus, joka pohjautuu toimintatutkimuksen ja kehittämistutkimuksen malleihin. Tutkimuksessa hyödynnetään tekijän saaman koulutuksen ja koulutusmateriaalin syventävää tietoa IE-teknologiasta sekä pitkää kokemusta teollisten digitaalisten tiedonsiirtoteiden hallinnan parissa. Tietoa päivitetään hyödyntäen teknologiaan liittyvää kirjallisuutta ja julkaisuja, joista löytyy paljon päivittyvää tietoa internetistä. Tutkimustietoa kerätään esisuunnittelun ajalla laite- ja järjestelmätoimittajilta, sekä laitoksen asiantuntijoilta sähköpostitse, haastatteluin, projektikokouksin sekä työn tilaajan järjestelmistä saatavalla tiedolla. Tietoja päivittämällä ja yhdistämällä haetaan ratkaisua tutkimusongelmaan.

### 1.3 Aiheen rajaus

Aihetta rajattiin valitsemalla jo tutkimuksen alkuvaiheessa tarkasteltava ja käyttöön saatettava IE-ratkaisu markkinoilla olevista hankkeeseen mahdollisesti soveltuvista yleisistä IE-tekniikoista. Valinnan kautta saadaan tutkimusongelmiin selvitetty ratkaisut ja laadittua spesifikaatioita täydentävät määrittelyt.

Laitoksen moottorihjauskeskuskojeistoa esitellään laajemmin kappaleessa 2.4. Kojeistokohtaisten esisuunnitteludokumenttien laatimisen osuutta rajattiin tässä työssä elinkaariuudistamisen kohteena oleviin 26:een Simocode PRO V -moottorihjaimeen.

Tutkimustyön ja suunnitteluprojektin aikataulujen takia tutkimukseen ei sisälly tulevan IE-toimintatestauksen yksityiskohtaisia ohjeita ja testaustulosten tarkastelua, eikä toteutussuunnitteluun tarkentuvia suunnitelmia. Toteutusesitykseen laadittavat investointilaskelmat eivät ole tässä tutkimuksessa mukana.

Tilaaajan esityksestä tutkimuksessa ei esitetä laitoksen komponentteihin, laitteisiin, järjestelmiin tai dokumentteihin liittyviä yksilöityjä tietoja tai tunnuksia. Tutkimus on pyritty tekemään niin, että moottorihjauskeskusten liittäminen eri automaatiojärjestelmiin mahdollistuu. Eri automaatiojärjestelmäsovelluksia ja niiden ohjaamia kokonaisjärjestelmän toimintatestausten tuloksia ei käsitellä tässä työssä. Projektin IE-toimintatestaukset on aikataulutettu alkamaan 2024 alkupuolella.

### 1.4 Työn merkitys tilaajalle

Työ on tunnistettu tarpeellisena osana laitoksen omaisuuden elinkaarenhallinnan ylläpitämistä ja kehittämistä, joka osaltaan rakentaa pohjaa tuotannon digitalisaation kehitykselle. Hyötyinä nähdään toimintaa ja osaamista kehittävät muutokset teknisestä suunnittelusta kunnossapitoon, sekä reaaliaikaisemman tarpeellisen tiedon välittämisen mahdollistaminen prosessikentästä yrityksen toimintaa ohjaaville alustoille hyödynnettäväksi. Tutkimus kehittää osaltaan IT-OT-

konvergenssia ja yhdenmukaistaa toimintaa laitoksen Ethernet-verkottuneessa kokonaisuudessa.

Työn tuloksia voidaan soveltaa jatkossa muihin Profinet-pohjaisiin MCC-hankkeisiin sekä valittavissa olevien muiden IE-protokollien hyödyntämisen selvityksiin.

## 1.5 Tutkimuksen tekijä

Tutkimuksen tekijä on noin 30 vuoden ajalla toiminut sähkö- ja automaatio tehtävissä eri teollisuuden aloilla kotimaassa, sekä projektitoimissa ulkomailla. Tekijällä on PI-organisaation akkreditoiman tahon sertifioitua koulutusta Profibus- ja Profinet-teknologioista sekä pitkä työkokemus teollisuuden digitaalisten väylien ja tiedonsiirtoverkkojen parissa. Osaamisen ylläpitäminen ja uuden tiedon hankkiminen ovat kuuluneet tekijän työnkuvaan. Työnsä ohessa tekijä on kouluttanut automaation YAMK-kenttäväylät kurseja, kouluttanut osaamisalaansa eri yrityksissä sekä luennoinut ammattialan tapahtumissa. Tekijän koulutus on automaatioteknikko ja elektroniikkainsinööri (AMK). Tekijä on suorittanut sähkövoimatekniikan erikoistumisopinnot ja hänellä on sähköpätevyys 2-todistus. Tutkimuksen tekijä toimii tällä hetkellä kehitysinsinöörin tehtävässä kemian alan tuotantoympäristössä sähkö ja automaatio -asiantuntijaryhmässä. Tekijä toimii tehtävissään suunnittelun tukena, osaltaan uuden teknologisen tiedon ja dokumentaation tuottajana sekä järjestelmäintegraattorina.

## 2 Automaation väylistä teollisuus-Ethernet-verkkoihin

### 2.1 Moottoriohjauksen automaatioväylät

Väyläteknologian avulla on vähennetty merkittävästi edeltäneiden moottoriohjauksien (nk. relekeskukset) kaapeloinnin tarvetta. Älykkäät moottoriohjauskeskukset (IMCC) ovat 2000-luvulla liittyneet kenttäväylillä automaatioon.



Hälytysilmaisut, laitediagnostiikan saatavuus, sekä laitteiden keskitetty parametroidi ja kunnonvalvonta ovat kehittyneet osaltaan digitaalisten väylien myötä.

[1; 2; 5.]

Tuotantolaitoksen moottoriohjauksissa RS-485-sarjamuotoisen tiedonsiirron väylistä ovat käytössä Profibus DP ja Modbus RTU (engl. Modicon Bus Remote Terminal Unit). Tällä vuosituhanella Profibus DP -tehdasautomaatioväylä on yleisimmin liittänyt MCC-keskuksien kojeistoja automaatiojärjestelmiin.

[1; 2; 5; 6, s.1074–1076; 7; 8, s.12; 9, s.7.]

Jo viime vuosisadan puolella tilaajan laitoksella käytössä ollut Modbus RTU -tietoliikenneväylää käytetään yksittäisten laitteiden ja ohjausjärjestelmien väliseen tiedonsiirtoon sekä automaation eri osajärjestelmien väliseen Client-Server tiedonsiirtoon [1 ;2; 5; 6, s.1074; 8].

Lisäksi MCC-kojeistojen kennoterminaaleissa (kappale 2.5.4) käytetään ASCII-merkistön RS-232 ja RS-485 'SPA' -protokollan väylätiedonsiirtoa sekä Ethernet-pohjaista IEC61850 'Goose' -protokollan tiedonsiirtoa IED-laitteiden välisessä kommunikoinnissa. Kennoterminaalit yhdistyvät verkotettuna yleisesti niitä hallinnoivaan SCADA-järjestelmään. [10, s.66; 11, s.19–42.]

Laitteiden asennuskannan kehitystä tarkasteltaessa väyläteknologian osuus vähenee ja IE-teknologia kasvattaa osuuttaan. Alan merkittävien laitetoimittajien mukaan väyläliitäntäisten laitteiden valmistus ja tuki vähenee markkinaosuuksien laskiessa ja niiden saatavuuden ilmoitetaan hiipuvan 5–10 vuoden sisällä. Muutokseen on valmistauduttava uusin suunnitelmin.

## 2.2 Teollisuus-Ethernet-teknologia

Ethernet on maailmanlaajuisesti yleisin tietoverkkojen IEEE802-pohjaisten standardien ja TCP/IP-protokolla-pinon pohjalle rakentuva ja kehittyvä verkottamisteknologia. Ethernetin levinneisyys, hyvä tuotetarjonta, valmistajien tuki, vertikaalinen ja horisontaalinen skaalautuvuus pienistä paikallisista verkoista (LAN)

laajoihin yritysverkkoihin on mahdollistanut eri verkkojen etähallittavat yhteydet sekä liitettävyyden maailmanlaajuisessa (WAN) Internet tietoverkkojärjestelmässä kasvavaan pilvipalveluiden tarjontaan. [12; 13; 14; 15; 16.]

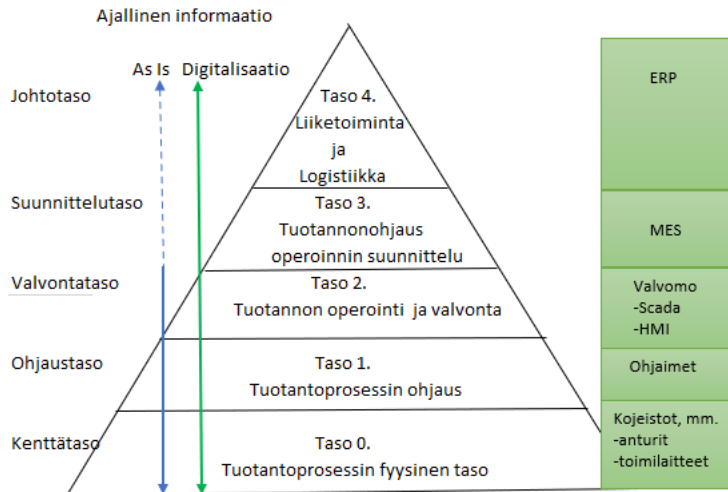
Tietoa tuottavien verkottuneiden laitteiden tiedon prosessointi sekä siitä saatavan tiedon hyödyntäminen on kasvavaan tahtiin rakentanut Kevin Ashtonin 1999 esittämään IoT-kontekstiin pilvipalvelut kehitysalustan. Pilvipalvelujen vallinnan ja vastuun niiden käyttämisessä tulee olla osa yrityksen riskienhallintaa. [17; 18, s.5 ja s.14.]

Teollisuusympäristön erityisvaateisiin kehitetty deterministinen ja reaaliaikainen teollisuus-Ethernet voi liittää prosessilaiteteknologiaa saumattomammin laitoksen tuotantoautomaatiojärjestelmien hajautettuun tehdasverkkoon. IE-protokollien kehittäjistä voidaan esimerkkeinä mainita Profinetin (PN) kehittäneen Siemensin, Ethernet/IP:n taustalla olevan Rockwell Automationin ja EtherCATin kehittäneen Beckhoffin. [19.]

Teollisuuden yleiset ja avoimet protokollat (common protocols) kuvataan standardin IEC 61784 kommunikointi-profiileissa ja ne sisältyvät IEC 61158-kenttäväylä-standardiin [20, kuva 1].

IE-teknologian hyödyntäminen edellyttää siinä käytettäviltä komponenteilta ja laitteilta sekä siihen liitettäviltä verkkorakenteilta monia toiminnallisia ja ei-toiminnallisia vaatimuksia. Ethernet voi liittää useiden tuotantoyksiköiden automaation tehdas- ja tuotannonohjauksen järjestelmäverkot laajaan, koko yritysverkon käsittävään, tuotteiden ja palveluiden kaikki toiminnot integroivaan toiminnanohjausjärjestelmään pilvipalveluihin asti. [19.]

Kuvassa 1 esitetään, kuinka laitoksen automaation eri verkkokerrokset (Tasot) rakentuvat tuotannon laitekentästä yritysverkon toiminnanohjaukseen ANSI/ISA-95-standardin pohjalta [21, s.2].



Kuva 1. ANSI/ISA-95-automaation hierarkiatasot [21, kuva 2].

Kenttätasolla puhutaan reaaliaikaisesta tiedonsiirrosta, jossa tiedon päivitysnopeus vaihtelee prosessin sovellusvaatimusten mukaan ( $\mu\text{s}$ - $\text{ms}$ ). Tuotannon ohjaustasolla nopeus hieman hidastuu ( $\text{ms}$ - $\text{s}$ ), ja siitä ylöspäin tiedon päivitys vie jo minuuteista tunteihin, jopa päiviin. Ethernet-pohjainen digitaalinen tiedonsiirto kenttätasolta alkaen mahdollistaa merkityksellisen vertikaalisen tiedonsiirron nopeuttamisen. [21, s.2.]

### 2.2.1 Teollisuuden väylä- ja verkkoteknologioiden levinneisyys

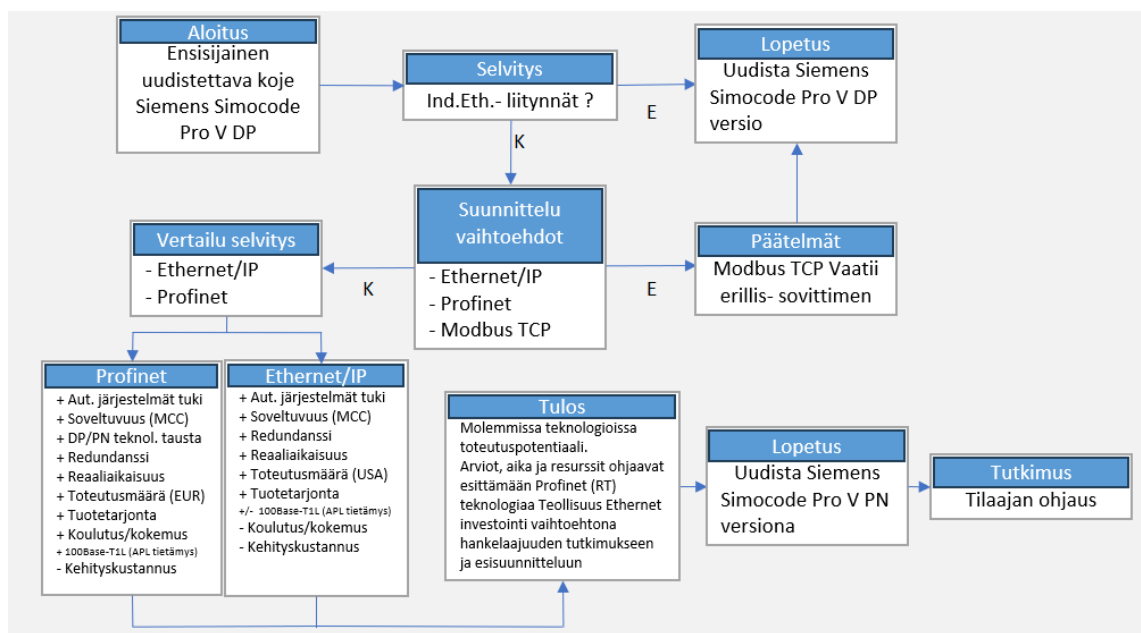
Teollisuuden tiedonsiirtoteknologian markkinoiden globaalia kehitystä seurataan ja tilastoidaan. Eräs tilastoa julkaiseva taho on teollisuuden tuotteita ja palveluja kauppaava ruotsalainen ICT-alan yritys HMS Networks.

HMS:n vuoden 2022 tilastossa IE-protokollat edustavat jo 66 %:n markkinaosuutta ja väyläteknikat enää 27 %:n osuutta. IE-protokollista kärkipaikan jakavat enemmän Euroopassa levinnyt Profinet ja USA:n markkinoilla enemmän vaikuttava Ethernet/IP, molemmat 18 %:n markkinaosuudella. Kolmas on EtherCat 11 %:n osuudella ja Modbus TCP jää neljänneksi 6 %:n markkinaosuudella.

Väyläteknikoissa kärkipaikkoja pitävät Profibus 7 %:n ja Modbus RTU 5 %:n osuuksilla. Langatomilla tiedonsiirtoratkaisuilla on yhteensä 7 %:n markkinaosuus. [22.]

## 2.2.2 IE-tekniikan valinta tutkimuksen syventämiseksi

IE-teknologisen selvityksen suuntaamisen Profinet-tekniikan vaihtoehtoon johtaneet perustelut tilaajalle, esitetään kaaviokuvassa 2.



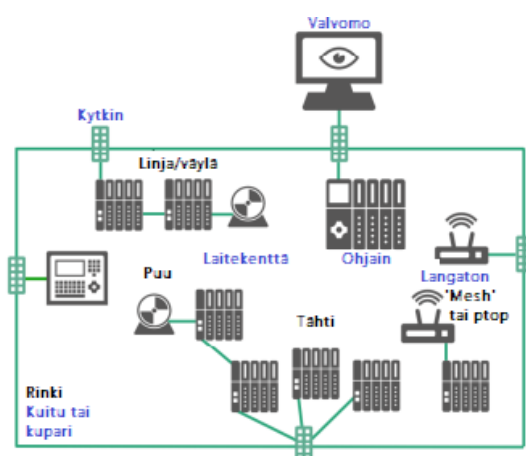
Kuva 2. Profinet-tekniikan tutkimusvalinnan perusteet [5; 21, s.45; 22; 23; 24].

Kuvan 2 prosessipohjainen tutkimus selvitys ohjaa Profinet-ratkaisuun. Ethernet/IP on myös kilpailukykyinen vaihtoehto ja Rockwell Automation tuotteita on laitoksella osana eri valmistajien prosessiohjaimia. Tutkimuksen on noudatettava tilaajan suunnittelulle asetettua aikataulua ja asetettuja tuloksia. Profinet on laitoksen MCC-kojeistoon perusteltavin IE-ratkaisu. [1; 2; 3; 22; 23; 24.]

## 2.3 Profinet-Teollisuus-Ethernet

### 2.3.1 Verkkotopologiat

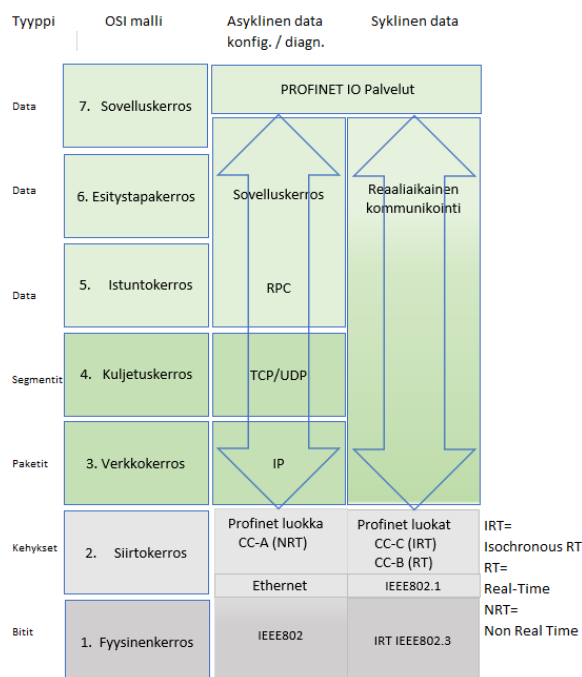
Profinet-verkon rakennetta suunnitellaan Ethernet-yleisverkon tapaan ja se voi rakentua tähti-, rinki-puu- ja väylätopologiasta (linjatopologia) sekä niiden yhdistelmistä. Tiedonsiirtoverkon topologian suunnittelu on eräs keskeisimmistä toimintavarmuutta ja turvallisuutta rakentavista asioista. Kuva 3 esittää esimerkin verkkotopologian kokonaisuudessa mahdollisista suunnittelurakenteista. [23; 25, s.53; 26.]



Kuva 3. Eri tiedonsiirtoteistä koostuva hybriditopologia [26, s.18].

### 2.3.2 Profinet-kommunikointi

Kuva 4 esittää Profinet-protokollapinon sisältämää OSI-mallia. Reaaliaikainen (RT) kommunikointi soveltuu tehdas- ja prosessiautomaation sovelluksiin. Isokrooninen reaaliaikainen (IRT) kommunikointi mahdollistaa nopeamman koneautomaation liikkeenohjauksen ja robotiikan tarpeet. [23; 27, s.27.]



Kuva 4. Profinet- ja TCP/IP-protokollapinojen OSI-mallinnus [27, kuva 6].

Profinet-IO jakaa kommunikointipalvelut (services) kahteen kerrosten väliseen tiedonsiirtokanavaan. Reaaliaikainen kanava (RT/IRT) toimii määritellysti (deterministisesti) nopeassa syklisessä tiedonsiirrossa. Ajoittain tapahtuva asyklinen tiedonsiirto (NRT) toimii omassa kerrosten välisessä kommunikointiketjussa, esimerkiksi laitteiden verkon yli tapahtuvan konfiguroinnissa sekä muissa hitaammin tapahtuvissa TCP/IP-protokollapinon tarjoamissa palveluissa. Kolme yhdenmukaisuusluokiteltua kommunikointipalvelua (luokat CC-A, -B ja -C) eroavat reaaliaikaisen tiedonsiirron päivitysajassa (IRT, alkaen 31,25  $\mu$ s) ja SNMP-protokollan sisällyttämisessä (luokat CC-B ja -C). Luokat ovat yhtenevät verkkotopologioiden tuessa sekä hälytysten ja diagnostiikan tarjonnassa reaaliaikaisen tiedonsiirron aseteltavassa päivitysajassa 1 ms:sta alkaen. PI-organisaation verkkosivustoilta on luettavissa uuden TSN-protokollan toiminnallisuuden sisältämän Profinet-CC-D-luokan uusia spesifikaatiota osana IEC/IEEE 60802-standardia. [23; 25. s.37–41.]

Real-Time kanavassa kommunikoivat Profinet-ohjaimet ja -laitteet julkaisevat IO-datansa itsenäisesti niille asetetun sykliajan mukaan (Producer/Consumer). Reaaliaikaisessa kanavassa on kaksi nopeuspriorisoitua luokkaa, IRT- (sykli aika 250  $\mu$ s-1 ms), sekä RT-luokka (sykli aika 1 ms-512 ms). [23.]

Profinet RT-IO-toimintojen kello sykli on 32  $\mu$ s. Kapseloidut reaaliaikaisiksi osoitetut sanomakehykset kuljetetaan siirtokerrokselta suoraan Profinet-sovelluskerrokseen. Reaaliaikaisten sanomien reitittäminen ei ole mahdollista sanomista puuttuvan verkkokerroksen IP-osoitteen takia, vaan kohdennus toimii fyysisen kerroksen MAC-osoitteella. IRT-sanomakehyksessä on nopean kommunikoinnin varmistamiseksi sille varattu, ja mahdollisesta samanaikaisesta NRT-kommunikoinnista erotettu, data-alue. Syklinen RT-sanoma on priorisoitu asyklisen NRT-sisällön toimittamiseen nähden. NRT-kommunikointi voidaan huomioida tapahtuvan, kun tiedonsiirrolle on sille verkossa aikaa. IRT asettaa kaikille samaan verkkoon liitettävien laitteiden kommunikointipiirikomponenteille (ASIC) erityisvaatimuksia, jotta Input/Output-toiminnot tapahtuvat aikasykronoidusti 1  $\mu$ s sisällä (Jitter). IRT-verkossa toimijoiden välttämätön kello synkronointi toteutetaan IEEE1588 -standardin mukaisella PTP-protokollalla, sync-masterin ja -slave -laitteiden välillä. Verkon suunnittelussa on huomioitava, että IRT-toiminnalliseen verkkoon, esimerkiksi nopean robotiikan liikkeenohjauksessa, ei tule liittää laitteita, jotka eivät täytä näitä isokrooniseen tiedonsiirtoon asetettuja samanaikaisuuden vaateita. [23; 24, s. 6–7.]

Profinet toimii 100 Mbit/s kaksisuuntaisella liikennöinti nopeudella tehdasautomaation RT-luokkaan suunnattuna, ja sen 10 ms:n tiedonpäivityssykli on prosessiteollisuudessa yleensä riittävä reaaliaikaisuuden vaade. Prosessi automaatiassa pidetään riittävän reaaliaikaisena esimerkiksi Profibus DP -sykli aikaa, joka on tyypillisesti kymmenestä muutamaan sataan ms, riippuen siirtonopeudesta sekä väylä asemien- ja niistä hyödynnetystä IO-datan määrästä. Prosessi automaatiassa Profibus DP toimii yleisesti 1,5 Mbit/s:n väylä nopeudella, jossa väylä asemien hyöty datan määrä on max. 244 Tavua Input- ja Output-dataa. Tiedon päivitys nopeuden tai reaaliaikaisuuden





Profinet-verkossa toimijoita ovat ohjaimet (IOC), valvoja (IOS) ja laitteet (IOD). Valvojan tehtävät ovat yleensä osa automaatiojärjestelmän insinööriyöaseman sovelluksia, joissa järjestelmäverkon konfigurointi, sovelluspiirien tekeminen ja laitekirjastot sijaitsevat, ja laiteparametointi on myös mahdollista. Tarvittava konfiguraatio ladataan valvojalta ohjaimeen ja laitteille. [23.]

Kuvassa 5 on esitetty liittyjien pääasialliset toiminnalliset palvelut. IOC ja IOD julkaisevat syklisen IO-datansa niille konfiguraatiossa asetetusti. IOD-laitteiden ja IOC-ohjaimen välillä syklisen kommunikoinnin sovellusrelaatiot (AR) muodostetaan IOC-konfiguraatiossa laitteiden toimilohkoihin (slots/subslots), joiden välistä tiedonsiirtoa toteuttavat kommunikointirelaatiot (CR). [23.]

Esimerkiksi yksinkertaisen lämpötilalähtetimen konfigurointi voi olla minimissään yhden Slotin käsittävä lämpötilan mittaustieto (prosessiarvo, PV). Subslot-käsitteistöä voisi kuvata esimerkiksi Etä-I/O:ssa olevan analogiatulokortti-Slotin yksi Subslot-kanava (AI/CH1). IOD-laitteiden kommunikointia, IO-Slot/Subslot-parametreja ja muita laitetietoja sisältävät laitekuvaustiedostot (GSD) tuodaan järjestelmän laitekirjastoon Profibus DP-laitteita vastaavasti. Profinet-laitekuvaukset ovat xml-formaatissa ja Profibus-laitteille ne ovat ASCII-pohjaisia. [23.]

IOC:n ja IOD:n välille voidaan järjestelmäkonfiguraatiossa muodostaa myös asyklisiä kommunikaatiorelaatioita, ei-aikakriittisten tietojen (esim. ProfiEnergy profiili) hakemiseksi. Laitekohtaisessa konfiguraatiossa tulee määrittää laitteen IP-osoite ja nimi. IP-osoite on tarpeellinen asyklisessä kommunikoinnissa, esimerkiksi laitteen verkkopalvelimeen pääsemiseksi HTTP-protokollalla. Kaikkiin Ethernet-liityntäisiin laitteisiin on määriteltävä kiinteä MAC-osoite, jota Profinet käyttää syklisen kommunikoinnin kohdentamiseen. Profibus MAC-osoite muodostuu kuuden tavun heksadesimaaliluvusta, jossa tuotevalmistaja tieto (IEEE-OUI) esitetään kolmessa ensimmäisessä tavussa (MSB 47) ja laitteen tietosisältö kolmessa viimeisessä tavussa (MSB 23). Esimerkiksi PI-organisaation OUI: 00-0E-CF-XX-XX-XX mahdollistaa 2<sup>24</sup> eri laitevaihtoehtoa. Kun verkon laite vaihdetaan, vaihtuu myös sen MAC-osoite. Tämän vuoksi järjestelmäkonfiguraatioon annetaan laitteelle myös nimi. Laitteiden nimeäminen on määriteltävä

IEC-61158-standardissa. Uusi laite voidaan kytkeä verkkoon (nk. tehdasasetuksiin) samaan kytkentäpisteeseen, jolloin järjestelmäverkon automaattiset palvelut voivat konfiguroida uuden laitteen liittynät automaattisesti ja liittää sen IP-osoitteen ja nimen konfiguraatiosta tähän uuteen MAC-osoitteeseen. Järjestelmä voi tarjota myös laiteparametri-serveri-toiminnon, jolloin myös järjestelmään talletetut laitteen toiminnalliset parametrit latautuvat laitteelle automaattisesti. Profinetin erityinen DCP-protokolla voi automatisoida edellä kuvatut laitteiden nimen ja IP-osoitteen asettamisen. Myös Profinet-optiona käytettävissä olevaa Ethernetin yleistä DHCP-protokollapalvelinta ei ohjelmistona tarvita. [23.]

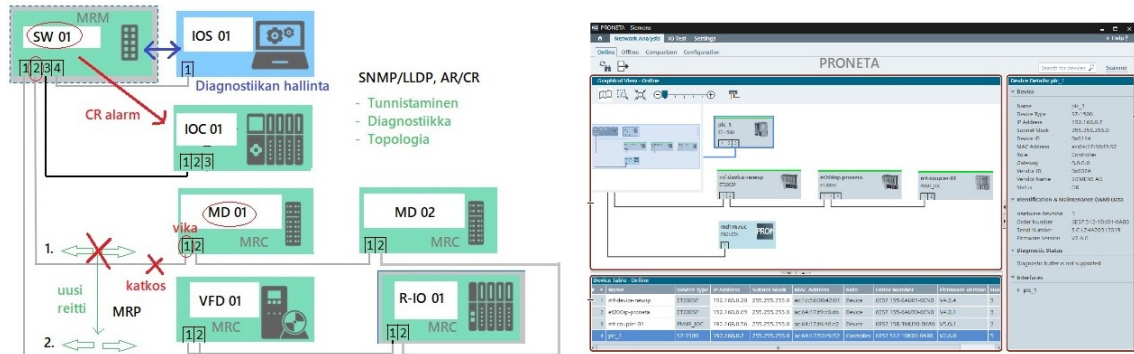
Automaatiojärjestelmä ja siihen liitetyn Profinet-laitteiston toiminnallisuus sekä asetukset määrittelevät laitteiden vaihdoissa tarvittavat toimenpiteet. Laitteet voivat myös sisältää pienen laitteiden välillä vaihdettavan muistikortin (esim. SD-kortti), johon saman tyyppin laitteen vaihtoon tarpeelliset tiedot on talletettu. [23.]

Sovellusrelaatio (AR) voi sisältää useita kuvassa 5 esitettyjä kommunikaatiorelaatioita (CR) prosessiarvoille ja hälytyksille. Kuvassa on esitetty myös toisistaan riippumattomia verkon liityntäpisteitä (NAP), jotka mahdollistavat laitteen kytkemisen rinkitopologiaan (MRP) sekä voivat mahdollistaa laitteen kytkennän muihinkin (VLAN) verkkoihin. Tällä laitteen fyysisellä verkkoliitynnällä (esim. RJ45) on oma MAC-osoite, määriteltävät IP-osoite, verkkonimi ja mahdollisia muita määrittelyparametrejä. [23; 29.]

#### 2.3.4 Profinet-verkonhallinta ja diagnostiikka

Profinet CC-B ja C -luokan laitteissa tärkeimpiä toimintoja ovat Ethernet-verkkojen tilinvalvontaan, siihen liitettyjen laitteiden porttien tunnistamiseen ja diagnostiikkaan pääsyä, sekä vierusliittyjien identifioimista toteuttavat SNMP- ja LLDP-protokollat. Vieruslaitteen tunnistus verkossa tapahtuu IEEE802.1AB -standardin mukaan LLDP-protokollan porttiosoitteiden tunnistuksella. SNMP-, LLDP- ja DCP-protokollat toteuttavat Profinet-verkon- ja laitteidenhallinnan sekä topologiarakenteen esittämisen. [23; 30.]

Kuvassa 6 esitetään Profinet-järjestelmäverkon vikailmaisua ja diagnostiikkaa sekä alustetaan rinkitopologian MRP-protokollan toiminnallisuutta [30; 31].

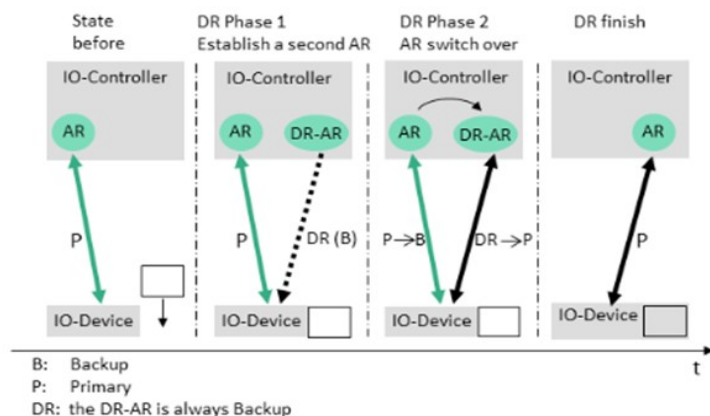


Kuva 6. Profinet-verkon ja vianilmaisun näkymä [30, kuva 14; 31, kuva 3–6].

Profinet-kommunikointi tuottaa valvojan (IOS) näytölle verkkotopologian, siihen liitettyjen laitteiden tiedot liityntäportteineen ja toimintastatuksen hälytyksineen. Esimerkkinä kuvan 6 oikealla puolella, topologia ja verkkoliittymät-näkymä Siemensin Profinet-verkon analysoinnin ja konfiguroinnin Proneta-ohjelmistosta. Valvojaohjelmiston avulla päästään tutkimaan vikatietoja tarkemmin ja tarvittaessa hallinnoimaan verkon laitteiden asetuksia. Hälytykset ja tapahtumien ilmaist (A&E) ovat siirrettävissä myös valvomon operointipiirinäyttöille. Valmistaja-kohtaista laitetta yksilöivää dataa sekä kunnossapitoa edesauttavaa tietoa (I&M) on tallennettu laitteisiin sähköisesti, esimerkiksi laitepositiona (I&M1), asennus-päivämäärä-tietona (I&M2) ja lisäinformaationa (I&M3). [23; 30; 31.]

Korkean käytettävyyden vaateena Profinet-tekniikkaan on kehitetty (kuten aiemmin on kehitetty Profibus-tekniikkaan) prosessin ajossa konfiguroinnin mahdollistavat mekanismit (CiR) ilman kokonaisjärjestelmän toiminnan katkoksia, mikäli kaikki liittymät (IOC, IOD) sekä järjestelmän sovellusyksiköt sitä tukevat. Uudempana Profinet-optiona kuvataan vastaava dynaaminen uudelleenkonfigurointi (DR). Järjestelmäsovelluksessa voidaan IOC-konfiguraatioon luoda laitteiden sovellusrelaatioiden rinnalle, CiR/DR-AR-sovellusrelaatioita. Laitteen konfiguraation muutosten yhteydessä CiR/DR-AR aktivoituu ja muutosten laitteille latausten yhteydessä, vaihtuu muutos CiR/DR-AR-relaation kautta, ilman

katkosta laitteen pysyväksi sovellusrelaatioksi, jonka mekanismia esitetään kuvassa 7. Tuotannon ajossa mahdolliset toiminnot tulee kuvata, esittää ja selvittää järjestelmäkokonaisuus spesifisesti osana tarvittavia redundanttisia toimintoja. [1; 2; 30, s.17; 32.]

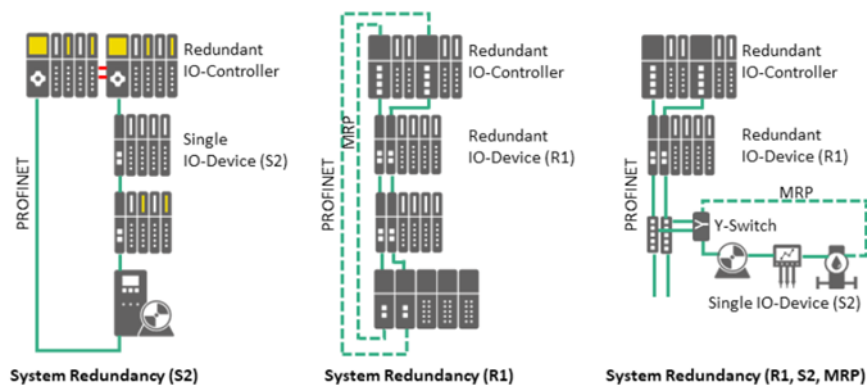


Kuva 7. (CiR)/DR-toiminnon sovellusrelaation (AR) mekanismi [30, kuva 25].

### 2.3.5 Profinet-redundanssi

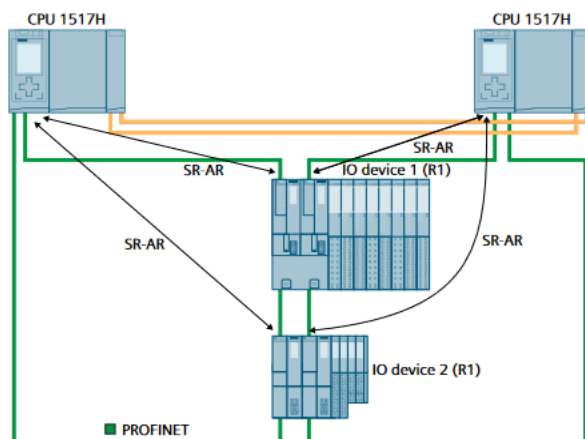
Toimintaympäristön käytettävyyden vaatimukseen Profinet tarjoaa monta kahdennuksen mekanismia, joita voidaan käsitellä ohjaimen-, laitteen-, verkon- ja mediaredundanssin toiminnoin. Tavoiteltavat toiminnallisuudet tulee järjestelmäkokonaisuudessa testata toimiviksi. [23;29;33.]

Redundanttisilla järjestelmäratkaisulla hallitaan ohjaimen ja laitteen välisen tiedonsiirtokanavien vikatilanteita. Järjestelmän (IOC) kahdennuksen vaatimukset eivät määrittele tiedonsiirtoverkon mahdollisia mediakahdennuksia (kuitu-, kupari-, langaton tiedonsiirto) tai tiedonsiirtotiellä kahdennuksen toimintoja toteuttavaa protokollaa. Profinet-järjestelmäkahdennusluokat (System redundancy); (S1), S2, R1 ja R2, määrittelevät yhden- tai kahden ohjaimen (IOC) sekä laitteiden- (IOD) -välisen toiminnan. IOC-kahdennuksessa ohjaimien ja laitteiden tulee tukea jotain kuvan 8 mukaista kahdennuksen toimintotilaa sekä verkkoliityntöjä. [23; 29; 30; 33; 34.]



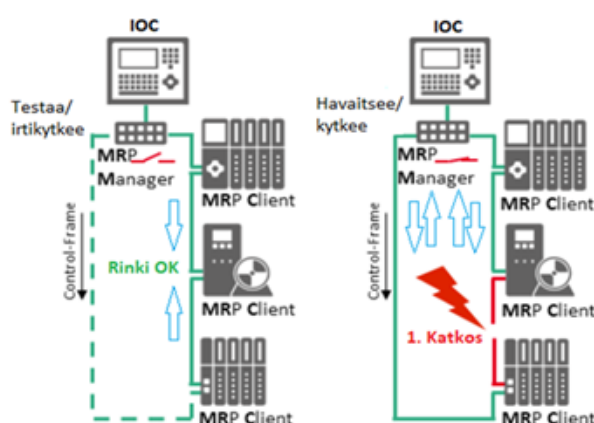
Kuva 8. Järjestelmäkahdennuksen toimintotilat [30, kuva 28].

S1 kuvaa laitteen yhtä PN-verkko- ja AR-sovellusliityntää yhdelle ohjaimelle. S1-toteutus ei tarjoa redundanttisuutta, mutta se mainitaan tässä yhteydessä osana toiminnallista kokonaisuutta. Mikäli aktiivisen ohjaimen rinnalla toimii verkossa toinen PN-ohjain (2 x CPU nk. Backbone-väylässä), laitteen yhdellä NAP-verkko- ja AR-sovellusliitynnällä aktiiviseen ohjaimen (Primary), voi relaatioyhteyden muodostamisen varaohjaimen (Backup) kuitenkin kuvitella olevan mahdollista, mutta tätä ei kuitenkaan määritellä PN-standardissa. Yksi ohjain NAP-liityntä laiteverkkoon ei myöskään paranna toimintavarmuutta merkittävästi, vaikka ohjain olisikin toiminnallisesti kahdennettu. S2-toteutus tarjoaa yleisenä järjestelmäredundanttisena ratkaisuna toimintavarmuutta, jota myös useat PN-laitteet tukevat ja ne muodostavat B-ohjaimen myös AR-relaation vain yhdenkin NAP-liitynnän kautta tähti-, tai linjatopologiassa. S2-redundanssi nähdään prosessiteollisuuden vaateena PN-ratkaisuissa kaikille IOC- ja IOD-liittyjille. Kuvassa 9 esitetään esimerkkinä korkean käytettävyyden R1-redundanttista ratkaisua. [1; 2; 23; 29; 33; 34; 35, s. 318.]



Kuva 9. R1-redundanttiset liittyjät kahdennettuina MRP-liittymöinä [35, kuva 7–8].

Edellä kuvattujen Profinet-verkkoliittyjien S2-, LLDP- ja SNMP-perusvaatimusten lisäksi nähdään IOC- ja IOD- rinki-topologia liittymät osana tiedonsiirtotien toimintavarmuuden vaatimusta. RT-MRP- ja IRT-MRPD-protokollat mahdollistavat rengastopologiaan kytkettyjen verkkoliittyjien saavutettavuuden, vaikka rengas yhdestä kohtaa katkeaisikin. Standardi IEC 62439-2 määrittelee siirtoyhteyskerroksen mediaredundanttisen protokollan (MRP) toiminnan. Tiedonsiirtotien rinki-topologiassa syntyvä katkos aiheuttaa noin 200 ms:n tiedonsiirron uudelleenorganisoinnin katkoksen. Tiedonsiirron uudelleenorganisointia esitetään kuvassa 10. [1; 2; 23;30, s.18; 35, s.181–196.]

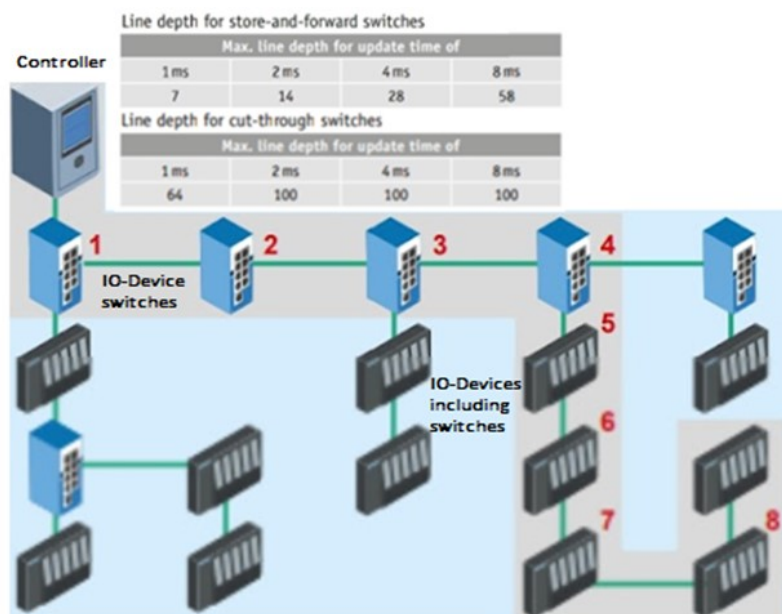


Kuva 10. MRP toimintakuvaus pääkohdin [30, kuva 27].

Samassa MRP-verkkoringissä toimivat ringinhallinnan tehtäviinsä konfiguroidut MRM (Manager) sekä muut ringin MRC-laitteet (Clients). Suljetussa ringissä MRM lähettää verkkoon syklisesti testikehyksiä molempiin suuntiin, jotka se ehjässä ringistä vastaanottaessaan kytkee tiedonsiirron ringin toisen porttinsa kautta tapahtuvaan linjatopologia liikennöintiin. Ringin katketessa ja MRM havaitessa osan MRC-sanomista puuttuvan, kytkee MRM molemmat porttinsa linjatopologiaan, mahdollistaen ringin kaikkien laitteiden tiedonsiirron saavutettavuuden yhdestä katkoksesta huolimatta. MRM-ohjaimena toimii yksi määritelty rinkiverkon erilliskytkin, laite tai ohjain. MRM rooli voidaan asettaa automaattisesti vaihtuvaksi, esimerkiksi MRM-yksikön vioittuessa. [23; 30, s.18.]

### 2.3.6 Siirtotien syvyys ja verkkokuorma

Profinet-verkon erilliskytkimet sekä laitteiden sisältämät kytkimet muodostavat kommunikointiketjussa tiedon läpimenon viivettä. Siirtotien syvyyden (Line depth) laitemäärän viive huomioidaan ohjainsovelluksen tiedonpäivitysajan laskennassa. IE-kytkinten ominaisuudet määrittävät tiedon välitysviiveen ketjuteissa laiteverkossa, kuva 11. [23; 25, s.113–125 ja 203–204; 36, s.9.]



Kuva 11. Tiedonsiirron viiveaika kytkimen yli [36, kuva 10].

IRT-luokan CC-C-kytkimiltä edellytetään datan suoraa välitystä (cut-through) kuvan 11 alemman arvotaulukon mukaan. RT-luokan CC-B tiedonsiirrossa käytetään yleensä tallenna- ja välitä- (storeforward) -kytkimiä, kuvan 11 ylimmän arvotaulukon välitysviiveen laskentaan annetussa laitemäärässä. IRT-erilliskytkimiä voidaan käyttää myös RT-verkossa, vaikka IOD-laitteiden sisältämät kytkimet eivät luokkaa tukisikaan. Verkkokuorman sietoisuuden mukainen laiteluokan määrittely esitetään taulukossa 1. [23;25, s.203–204; 36, s.9.]

Taulukko 1. Laiteluokat I-III verkkokuorman määrittely [37, s.24].

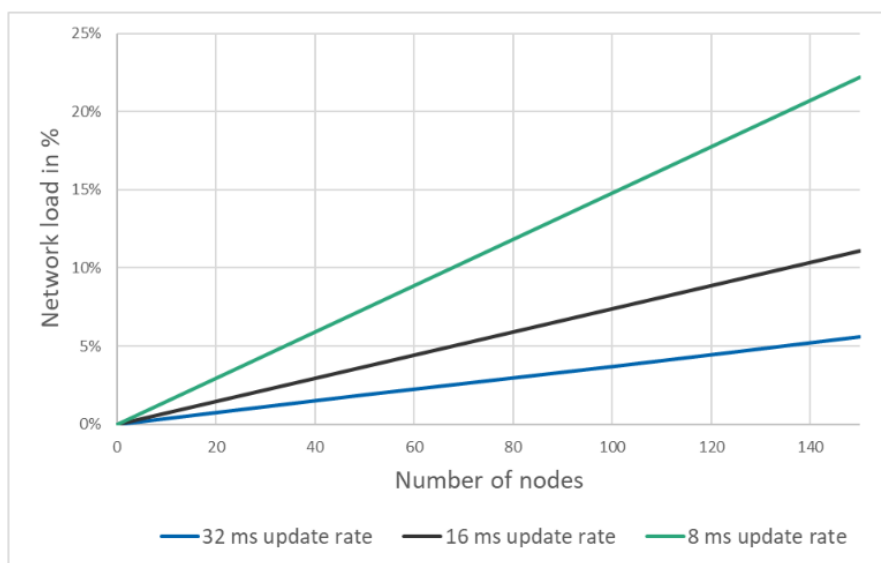
Class / Operation	<b>Normal Operation</b> Cyclic and acyclic communication	<b>Limited Operation</b> Only cyclic communication	<b>Faulty Operation</b> No communication function
Netload-Class I	< 1 %	< 5 %	> 5 %
Netload-Class II	—	—	—
Netload-Class III	< 5 %	< 30 %	> 30 %

Normaalissa verkon toiminnassa laitteiden syklisen ja asyklisen sanomien käsittelyssä ei ole rajoitteita. Sykliset toiminnot ovat priorisoitu asyklisiin nähden, ja ei-aikakriittisen (NRT) kommunikoinnin käsittelyrajoitteita sallitaan enemmän. Laitteen rajoittunut, tai vikatilaan johtava sanomien käsittelykyky esitetään tässä verkkokuorman sietoisuuden laiteluokituksessa verkon kuormitusasteen funktiona. Luokan III laite kykenee käsittelemään sanomakehyksiä ja hoitamaan sille asetettuja tehtäviään luokan I laitetta huomattavasti paremmin verkon ollessa kuormittuneempi. Laitteiden tulee palata normaali toimintatilaan automaattisesti ylikuormituksen jälkeen. Laitteiden verkkokuormat vaihtelevat jonkin verran luokkien I ja III välillä, esimerkiksi välityspalvelin (Proxy) tai yhdyskäytävä (Gateway) protokolla muuntimissa esiintyy yleisen III-luokan lisäksi I-luokan laitteita. [23; 25, s.117–120; 37, s.23–25.]



### 2.3.7 Verkon suorituskyky

Kappaleessa 2.3.2 viitattiin IOC-sovelluksessa määriteltäviin sykli-aikaan ja tiedonsiirtoverkon laitteiden IO-päivitysaikaan. Kuva 12 esittää Profinet-verkon kuormitusastetta (%) laiteliittyjien lukumäärän ja IO-päivityssyklin funktiona. [25, s.108.]



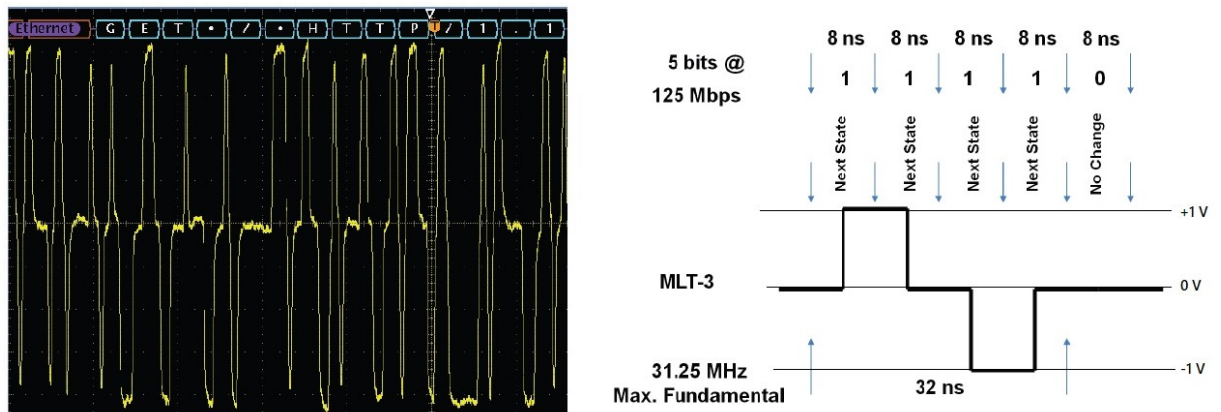
Kuva 12. Laiteliittyjät/IO-päivityssykli verkkokuorman funktiona [25, kuva 6–9].

Kuvan esimerkissä Profinet-liittyjien sanomapaketin kokona on käytetty keskimääräistä 108 tavua. Järjestelmätyökaluissa on verkon valvojan ominaisuuksina verkkotopologian ja laiteliittyjien määrän mukaan laskettavia aika-asetusten laskennan toimintoja. Esimerkiksi verkon sykliselle kommunikoinnille kaistanleveyden asetus maksimi-kuormitusasteelle (yleensä 50 %), jonka mukaan ajoituksia lasketaan. Verkon 30 laitteelle voidaan ajatella tarvittavan 120 ms päivitysaikaa sykliajalla 4 ms, jolloin laitteiden liikennöintikuorma jakautuu 4 ms:n välein tasaisesti 120 ms:n päivitysajalle. Kuitenkin on huomioitava, että verkossa toimivien MRP-rinkien uudelleenorganisoinnin ajan tulee olla pienempi kuin IOC-ohjaimen valvonta-ajan IOD-laitteen vastaukselle, jotta laitteiden vikatilat ilmoituksilta ja asetusten mukaisilta turvatoiminnoilta välttyään. Koko verkon kommunikoinnin IOC-valvonta-aika (Watchdog time) tulee myös asettaa

väyläratkaisuja vastaavasti siten, että verkon I/O-päivityssykli (update time) ta-  
pahtuu TwD-ajassa moninkertaisesti, esitettynä vaatimuksena kuitenkin RT-  
TwD < 1,92 s [23; 25, s.103–109.]

### 2.3.8 Ethernet 100BASE-TX -signalointi

100BASE-TX Ethernet-tiedonsiirtotien binäärinen signalointi on tyypiltään MLT-3 (monikerros lähete 3. tasolla). Jännitetasot ovat (-1, 0 ja +1) V, jossa 1-bitit muuttavat jännitetasoa. Jokaiseen neljän bitin läheteeseen lisätään ensin viides 1-bitti, jolla varmennetaan vastaanottajan tulopiirin erottelukykyä signaloinnin aaltomuodon vaihtelua 4B/5B-bitti koodauksena. Mekanismilla parannetaan pitkien 0-bitti sarjojen muodostamaa bittien erottelukyvyn alenemista ja sanoman dekodauksen ajoitusongelmaa (jitter) vastaanottimessa. 4B/5B-moduloinnin lisäbittien ansiosta todellinen tiedonsiirtonopeus kasvaa käytännössä 125 Mbit/s:n nopeuteen ja sanoman 10 ns:n bittiaika pienenee 8 ns:iin. Kuva 13 esittää digitaalisen Profinet-signaloinnin mekanismia pääkohdin. [23; 38, s.1–15.]



Kuva 13. 100BASE-TX Ethernet MLT-3 signalointi näyte [23; 38, s.13].

Staattinen tai vaihteleva signaloitibittien ajoitussiirtymä Jitter (Just-in-time-error), muodostuu monista digitaalisen tiedonsiirtotien tekijöistä. Jitter-mittaus voidaan toteuttaa esimerkiksi oskilloskoopilla keräten mittausikkunaan useita ajoitettuja kehysnäytteitä. Fyysisen tiedonsiirtokerroksen signaalimittaukset kertovat myös mahdollisista liitosten ja impedanssi sovitusten ongelmista, liian

pitkistä kaapeleista tai tiedonsiirtotielle kytkeytyneistä häiriöistä (EMI). Signaali-kehysten mittaamisella voidaan arvioida tiedonsiirron toiminnan häiriöetäisyyttä ennakoivasti. Ainoastaan sanomakehyksiä tutkimalla ja menetettyjen sanomapakettien laskuritietoja lukemalla voidaan todeta vain jo olemassa olevat ongelmat. [23: 38, s.1–15.]

### 2.3.9 Toiminnalliset Profinet-profiilit

Moottorikäyttöjen sähköenergian kulutus edustaa 60 % teollisuuden sähköenergian kulutuksesta. Profibus- ja Profinet-teknologioissa on käytettävissä moottorinohjauksen laitteiden-valmistasta riippumattomia toiminnallisia profiileja, PROFdrive ja PROFenergy. Profiilit yhdenmukaistavat laitteiden suunnittelua, käyttöönottoa ja kunnossapitoa sekä mahdollistavat panosprosessi-tyyppisissä tuotantoympäristöissä käytettyinä moottorikäyttöjen sähköenergiankulutuksen merkittäviäkin säästöjä. Jatkuvatoimisessa tuotantoympäristössä profiileille voi löytyä käyttökohteita uusissa tuotantoyksiköissä tai usean eri laitetoimittajan tuotteita yhdenmukaistavan käyttöön saattamisen tavoitteissa. [23; 39; 40.]

PROFdrive-profiilin käyttäminen erityyppisissä moottoriohjaimissa yhdenmukaistaa laitteiden konfigurointia järjestelmään sekä IOC-välistä kommunikointia. PROFenergy-profiilin käyttö edellyttää huolellista suunnittelua ja toteutusta PROFenergy-profiililla ohjattujen käyttöjen seisonta-ajan hallinnassa sekä energiankulutuksen säästötoteumien analysoimisessa. [23; 39; 40.]

PROFIsafe-protokollan käytöllä turva-automaatiossa (F-IOC) saavutetaan kustannushyötyjä erikseen kaapeloitujen turva-automaation IO-liityntöihin nähden kun hyödynnetään samaa Profinet-IO-tiedonsiirtotietä. Toimintavarmuudessa PROFIsafe-protokolla on hyödynnettävissä turvallisuuden eheysluokan SIL3-tasolle asti, IEC 61508 / IEC 62061, tai PL "e" / kategoria 4 ISO:n mukaisesti. F-konsepti täyttää IEC 61508 -standardin vaatimukset. F-toiminnallisiksi luokitellut PROFIsafe-laitteet kommunikoivat normaalissa käyttöautomaation Profinet-verkossa nk. 'black channel' tunneloidussa tilavarauksessa siihen liitetyn F-IOC-ohjaimen kanssa. Järjestelmän konfigurointi tapahtuu omalla F-

konfigurointityökalulla. Myös IEC 61508-standardiin pohjautuvan testausprosessin tulee tukea käytettävyyden tavoitetta ja sisältää käytännössä hyvin kuvattu toimintatestausmenettely. [1; 2; 23; 41.]

### 2.3.10 IWLAN -langaton teollisuusverkko

Profinet on Ethernet, joka tarjoaa IEEE802.11- tai IEEE802.15-standardisarjojen langattoman tiedonsiirron ja sisältää 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n Wi-Fi-kaistat sekä Bluetooth 2,4 GHz:n luvista vapautetun ISM- (Industrial, Medical, Science) -kaistan ja (869 ja 915) MHz:n lisensoidun radiotaajuuskaistan. Reaaliaikainen langaton Profinet-tiedonsiirto (kuva 3 'PtoP') voidaan toteuttaa 16 ms:n sykli-ajalla, jolloin myös PROFIsafe-profiilin käyttö on mahdollista. Rajoitteena tälle on enintään 1–4 verkkoliittynyttä, eikä se sisällä nopeaa Roaming-toimintoa. Teollisuuteen suunnatuissa langattomissa kytkimissä on nopea Roaming-toiminto (50 ms, max. 50 liittynyttä), jolla voidaan tarvittaessa kytkeytyä saman verkon toiseen langattomaan solmuun (kuva 3 'Mesh'). Sisätiloissa liityntäpisteille luvaan toimivat langattomat yhteydet 30 m:n ja ulkotiloissa 100 m:n etäisyydelle. Langattomia tuotteita on saatavilla räjähdysvaaralliseen ympäristön tilaluokkiin 2 ja 3. [23; 42; 43.]

### 2.3.11 Erilaisten tiedonsiirtoprotokollien liitynnät automaatioon

Automaatiojärjestelmät saattavat tarjota useamman verkko- tai väyläprotokollan liittämisen, esimerkiksi ohjaimen erityyppisiin CPU-korttien ominaisuuksina. Tämän lisäksi erilliset protokollamuuntimet ovat osaltaan tulleet täydentämään valmistajasta riippumatonta liitännämahdollisuutta yleisiin automaation kommunikointiprotokolliin. Profinet-ohjain voi kommunikoida muihin tiedonsiirtoprotokolliin liitettyjen laitteiden kanssa välityspalvelin- (Proxy), tai yhdyskäytävä- (Gateway) -tyyppisten protokollamuuntimien välityksellä. Näitä muuntimia voidaan hyödyntää esimerkiksi laitteiden, tai IO-yksiköiden osausinnoissa. [1; 2; 23; 44.]

Profinet-yhdyskäytävään voidaan liittää yksi tai useampi Profibus-väyläorja. Omalla ohjelmistotyökalulla luodaan yhdyskäytävästä GSDM-laitekuvaustiedosto tämän IOD-laitteen lisäämiseksi Profinet-ohjaimen. Yhdyskäytävän IO-datamäärä on rajattu (Profibus osalla 244 tavua) verrattuna normaalia PN-IOD-laitetta suurempaan datan siirtomäärään. Myöskään väylälaitteiden diagnostiikka ei saada siirrettyä yhdyskäytävän lävitse PN-puolelle. [23; 44.]

Profinet-Profibus DP-välityspalvelin on yhdyskäytävää kehittyneempi muunnin, joka luo väyläliittymästä standardin PN-IO-dataliittymän laitteille ja sisältää myös laitehälytysten ja diagnostiikan siirron. Myös välityspalvelimen käyttämisestä IOD-liittymänä saattavat rajoittaa aiemmin esitetyt, vaatimustenmukaisuudesta mahdollisesti puuttuvat S2-, MRP-, LLDP- ja SNMP-toiminnot sekä vaadittu verkko-kuorma laiteluokka. [23; 24, s.8–9; 44.]

### 2.3.12 OPC UA-kommunikointi

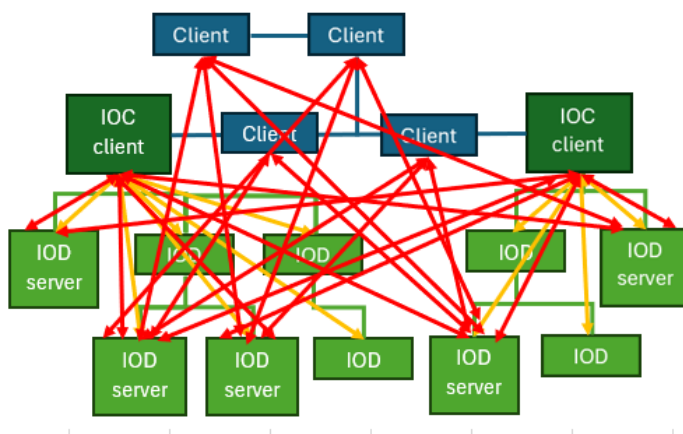
Avoimen alustan kommunikoinnin yhdistynyt arkkitehtuuri (OPC UA) on kehitetty useiden, pääasiassa teollisuusautomaation alalla toimivien, tahojen yhteistyössä vuonna 2007. Tavoitteena on ollut rakentaa yleinen, horisontaalisesti ja vertikaalisesti verkotettava, turvallinen, sekä luotettava M2M-Client-Server tiedonsiirtoprotokolla. Edeltävä OPC-standardi julkaistiin vuonna 1996 toimimaan PLC-pohjaisten yleisten väyläprotokollien rinnalle lokaalien OT-järjestelmien HMI-SCADA-mittausten ja -hälytysten (Data Access, Alarms-Events, History Data) tiedonsiirtoon. Kuva 14 esittää erästä OSI-mallinnettua OPC UA-protokollapilavinon kuvausta. [45; 46.]

7	Application Layer	UA Application	
6	Presentation Layer	UA Binary	UA XML
5	Session Layer	UA TCP, UA Secure Conversation	SOAP/HTTP, WS-SecureConversation
4	Transport Layer	TCP (RFC 793)	
3	Network Layer	IP (RFC 791)	
2	Link Layer	MAC (IEEE 802.3)	
1	Physical Layer	Ethernet (IEEE 802.3)	

Kuva 14. OPC UA ISO/OSI-mallinnus [46].

OPC UA Client/Server-kommunikointi sisältää tiedon salauksen ja käyttäjän autentikoinnin mekanismit, mahdollistaen dataobjektien siirron IIoT-pilvipalveluihin. OPC UA -kommunikointia ei kuitenkaan voida hyödyntää prosessinohjauksessa determinististä ja reaaliaikaista Profinet-kommunikointia vastaavasti, vaan sen tehtävänä edelleenkin on toimittaa dataa ja diagnostiikkaa halutuille verkkoasemille. Automaation ohjaimet sisältävät usein myös OPC UA Client/Server -toiminnallisuuden, josta verkotettu Client-sovellus voi kerätä valtuutetuista yhteyksistä ja salauksin tarvittavaa prosessikentän dataa. IOD-laite voi myös sisältää OPC UA -Serverin, josta oikein konfiguroituna valtuutettu Client voi hakea tiedonsiirtoilla salattua dataa. [23; 45.]

Esimerkiksi moottorihajaimen Simocode Pro V PN -laitteeseen on sisällytetty OPC UA-Serveri. Laitteen OPC UA-serverin parametroinnissa tulee määrittää OPC UA-URL, aktivoida Security Policy-sertifikaatti ja Message Security Modesaalaus. Moottorihajaimen OPC UA-Serverin konfigurointi ja käyttösuunnitelma tulee tehdä ennen prosessinajoa, sillä sen konfigurointi myöhemmin katkaisee syklisen PN-liikenteen. Useat Client-Server kytkennät prosessikenttään aiheuttavat kommunikointi-ruuhkaa ja keskitetympi IT/OT Client/Server -ratkaisu on syytä suunnitella. Vähemmän hallittavaa kommunikaatio-ruuhkan skenaariota on esitetty kuvassa 15. [45; 47; 48; 49.]

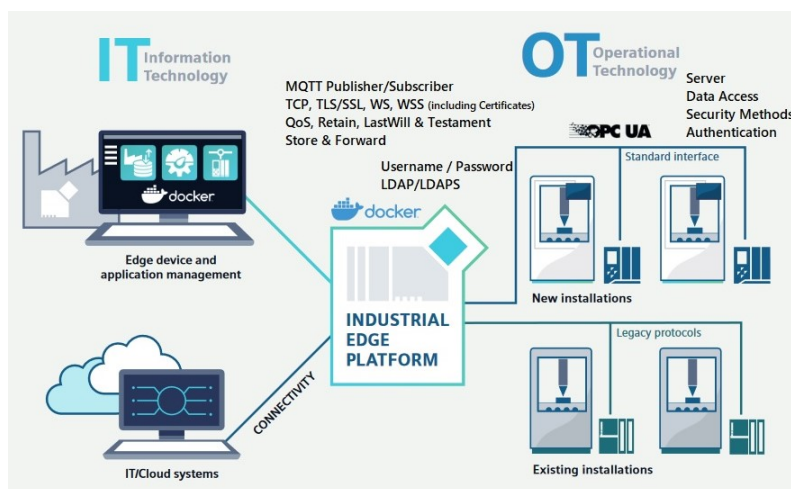


Kuva 15. Laaja OPC UA-Client/Server-kommunikointi [49].

### 2.3.13 IIoT-liitynnät

Teollisuuden prosessikentän tietoa voidaan kerätä OT-verkosta esimerkiksi OPC UA-kommunikaatiolla IT-verkkoon edelleen tallennettavaksi ja käsiteltäväksi. IT-verkon erottaa ulkomaailman IIoT-palveluista Edge computing API -rajapinta, josta tietoa on mahdollista jakaa hallinnoidusti edelleen pilvipalveluihin, mikäli tiedon tallennus ja sen edelleen käsittely nähdään pilvipalveluissa tarpeellisenä toteuttaa. [45; 50.]

Edge-IIoT:n palveluhyötyinä teollisuudelle on nostettu esiin ennakoiva kunnossapito, kunnonvalvonta, laitteiden ja järjestelmien kokonaistehokkuuden varmistaminen (OEE), tuotelaadun parantaminen, sekä pilvipalvelujen tekoälyn (AI) ja koneoppimisen (ML) tarjonta. IIoT-kontekstissa on ollut vähemmän esillä prosessikenttätason juuritiedon tuottavien anturien, laitteiden ja järjestelmien digitalisoinnin kehitystarpeet ja niistä saatavat hyödyt digitaalisen ja nopeasti päivittyvän tiedon tuottamiseen prosessikentästä alkaen. Tuotetun tiedon validiteetti ja tiedon tuottamisen reaaliaikaisuuden merkitys ei myöskään esityksissä korostu. Tiedon koko tuotantoketjussa on hyvä tarkastella digitalisaatiosta saatavia hyötyjä ja kartoittaa tiedontuottajan tarpeita jokaisen toimintakerroksen toiminnan parantamisen muutostavoitteissa. Kuva 16 esittää erään toimittajan julkaisemaa Edge-konseptin IT/OT-liitynnät-näkymää. [2; 5; 50; 51.]



Kuva 16. OT/IT-Edge [51, s.2].

Edge-liityntälaitteet ja -pilvipalvelut sovellusalan hallintaohjelmistot ovat usein OT-ohjausjärjestelmän toimittajan liitännäistuotteita [51].

### 2.3.14 Profinet-ratkaisun komponentit

Kaapelit ja liittimet muodostavat merkittävän osuuden toteutusten materiaalikustannuksista sekä niiden asennustöineen koko toteutuksen toiminnan luotettavuudesta. Digitaalisen tiedonsiirron fyysisen tason luotettava toiminta rakentuu hyvin tehdyn ja häiriölähteistä erotetun verkon päälle. Kaapeloinnin muutokset ja korjaukset jälkikäteen aiheuttavat kustannuksia ja voivat johtaa edelleen merkittävämpiä kustannuksia aiheuttavaan ja ennakoimattomaan tuotannon seisokkiin. [1;2;3.]

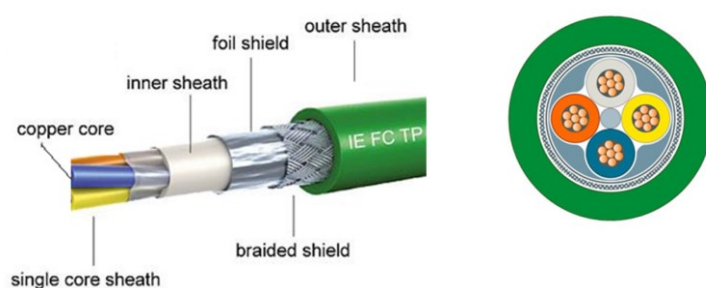
IEEE802.3u-standardin määrittelyn mukainen 100Base TX-tiedonsiirron Profinet-kuparikaapeli on 4-johtimista parikierrettyä kaapelia, jonka tulee toteuttaa teollisuuden käyttöympäristöön soveltuva häiriösuojaus (SF/FTP). Kaapeliluokka on valittava sähköisesti siihen käyttöön sopivana CAT 5(e)-luokan (tai parempi) kaapelointina. Ethernet-kaapelointia voidaan käyttää myös laitteiden energiansyöttöön Power over Ethernet-tekniikalla (PoE), käyttämällä 8-johtimista Ethernet-kaapelia, mikäli syöttävä ja syötettävä laite tukevat tätä mahdollisuutta. 100Base-TX ei sovellu käytettäväksi räjähdysvaarallisille alueille ja niissä sovelluksissa käytetään 100Base-FX kuitua. Taulukossa 2 esitetään Ethernet-kaapeliluokat. [23: 52.]

Taulukko 2. Ethernet-kaapeliluokat [52].

	Length (m) (ref.cable type)	Tr. speed 10 Mbit/s	Tr. speed 100 Mbit/s	Tr. speed 1 Gbit/s	Tr. speed 10 Gbit/s	Power Over Ethernet (PoE)
Cat-5	100	X	X			X
Cat-5e	100-(80)	x	x	x		x
Cat-6	100 - 55(10Gbit/s)	x	x	x	x	x
Cat-6a	100	x	x	x	x	x



Profinet-kuparikaapelityypit on määritelty käyttötarkoituserluokkiin A, B, C ja R. Tyyppin A-yksilankaiset kaapelit ovat tarkoitettu kiinteisiin asennuksiin, ja B-tyypissä johdin on monilankainen kaapeli käytettäväksi joustavuutta vaativiin asennuksiin, joissa kaapeliin kohdistuu ajoittain liikuttelua tai tärinää. C- ja R-luokkien kaapelit ovat erityissovelluksiin suunniteltuja, kuten robotiikkaan ja muihin liikkuviin sovelluksiin. Kaapelien tulee lisäksi täyttää asennusympäristön vaatimukset esimerkiksi maa-asennuksiin soveltuvuuden, auringonvalon, kemikaalien kestoisuuden ja paloluokituksen vaatimusten osalta. [1; 2; 3; 23; 53.]



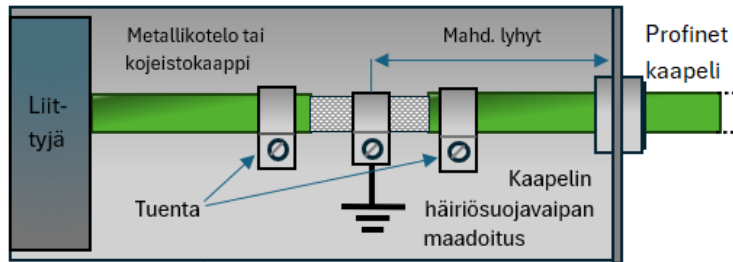
Kuva 17. Profinet B-luokan kaapelin rakenne, IE FC TP, 2x2x0,75. [23;53].

Yleinen kirjallisuudessa esitetty Profinet-segmentin 100 m:n kaapelipituus laitteiden välillä on usein lyhyempi valitun kaapelityypin mukaan. Esimerkiksi B-luokan kaapelin maksimi pituus on yleensä 85 m (kuva 17). Sähköinen 2 Vpp -signaalitaso pienenee merkittävästi annettua pidemmillä kaapelivetojen matkoilla, ja annettua pituutta ei tule ylittää. [23; 53.]

Kaapelivalmistajilla ovat omat kaapelityyppi-merkintänsä, ja valmistajien välillä on monia muitakin tuote-eroavaisuuksia. Profinet-kaapelien ja -liittimien, sekä niiden asentamiseen liittyviä, vaatimuksia on esitetty PI-organisaation julkaisemissa kaapelointi- ja asennusohjeissa. Laitteiden välisen kuparikaapeliosuuden kytkentähäviötä (IL) ja heijastusvaimennusta (RL) on käsitelty standardin ISO/IEC 11801-1 ja -3 vaatimusten mukaan. [53; 54; 55, s.114; 56; 57.]

IE-toteutuksen onnistumiseksi on tärkeää noudattaa maadoittamisen ja häiriösuojauksen vaatimuksia. Kuparikaapelin suojavaipan 360° maadoitus

toteutetaan Profinet-kuparikaapelivedon molemmista päistä tasattuun maapotentiaaliin kuvan 18 mukaisesti Profibus DP -ohjeita vastaavasti. Tapaa noudatetaan myös kojekaappien tai koteloiden ulkopuolisissa kaapelivedoissa maadoittamalla kaapelivaippa niiden ulkopuolisiin maadoituskiskoihin tai maadoitettuihin kaapelihyllyihin. [55; 56, s.40–43; 57, s.34.]



Kuva 18. Profinet-kaapelivaipan maadoittaminen [56, s. 42].

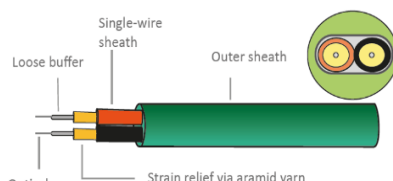
Profinet-kaapelivedot tulee erottaa muista kaapeliryhmistä tai muista häiriölähteistä riittävällä ilmvälillä tai maadoitetuin metallisuojin. Etenkin vaihtovirtasyötökaapelit ja kiskot tulee erottaa vähintään 10–20 cm:n ilmväleihin PN-kaapeloinnista. Profinet-kaapeloinnin asennuksista on julkaistu myös erillinen ohje. [23; 56, s.30–31; 58, s.18–21.]

Kaapeliliittiminä toimivat teollisuuskäyttöön sopivat ja kaapeliluokkiin sovitettavat RJ45- ja M12-liittimet. Liittimiä löytyy suojausluokissa IP20-67. RJ45-liittimeen kytketään; pin1-(TD+), pin2-(TD-), pin3-(RD+) ja pin6-(RD-). M12-liittimessä kytkentä; pin1-(TD+), pin3-(TD-), pin2-(RD+) ja pin4-(RD-). RJ45-portteihin on saatavilla myös suoraan niihin kytkettäviä kuitumuuntimia (SFP), mikäli asennustarve niitä vaatii. [1; 2; 23; 55, s.55–111; 56, s.23–24.]

Profinet-kuitukaapeleina voivat toimia kuvan 19 kuitukaapelityypit ja valmistusmateriaalit [1; 2; 23; 55, s.41–55; 56, s.32–34; 59].

Plastic optical fiber (POF), hard-coated silica fiber (HCF) or plastic-coated fiber (PCF)

100Base FX Full Duplex Transmission



Fiber Classes	Transmission path (typical values)	Max PROFINET end-to-end link attenuation	Wavelength	Core diameter
POF	Up to 50 m	12.5 dB	650 nm	980 μm
HCF/ PCF	Up to 100 m	11.3 dB or 6.3 dB	1300 nm	200 μm
<b>Multi-mode</b>	Up to 2000 m	10.3 dB	1310 nm	50 or 62.5 μm
<b>Single-mode</b>	Up to 1400 m	4.75 dB	650 nm	9 to 10 μm

OM1: 100 Mbit/s Core 62.5/125 μm  
OM2-7: (1-400)Gbit/s Core 50/125 μm

Type B and Type C : B Basic PHY- stress applications  
C Permanent PHY- stress applications

Kuva 19. Profinet-optiset kuidut [59].

Teollisuudessa runkokuitukaapelina asennettuna yleisempi monimuotokuitu (Multimode) soveltuu myös Profinet-ratkaisuun. Uusissa asennuksissa suositetaan jo yksimuotokuitua pidempien tiedonsiirtomatkojen ja suuremman tiedonsiirtonopeuden tulevaisuuden varauksina. Monimuodossa tulee huomioida myös runkokuidun tyyppi (OM) ja käyttää samaa tyyppiä kuitupaneeleista lähtevissä häntäkuiduissa, jotta mahdollisen käytetyn OM1-rakenteen häntäkuitujen ja runkokuituina muiden yleisempien OM-luokkien liitospaikkaan ei synny optisen tason 10 dB:n vaimennusta. [1; 2; 23.]

Kuitupaneeleihin yleisinä häntäkuitujen kaapeliliittiminä toimivat SC-liittimet ja laitteistokentän päässä, esimerkiksi erilliskytkimien kuituliittiminä, kestävämmät metalliset ST-liittimet (kuva 20) [1; 2; 60].



Kuva 20. ST-SC-liittimin valmistettu OM2-kuitukaapeli [60].

Kuvassa 20 esitetään häntäkuidun yleiset liittimet sekä huomioidaan monimuotokuidun luokan tarpeena OMx > OM1, sisähalkaisijalla 50 μm. Kuvassa olevan

häntäkuidun kaapelivaippa ei täytä Profinet-kuitukaapelin B- tai C-luokkaa. Kuidut ovat mekaanisille vaurioille alttiita ja kuituvedot on suojattava hyvin. [1; 2; 23; 55; 56, s.32–35; 60.]

### 2.3.15 Kyberturvallisuus

Turvallisuus on monitahoinen ja merkittävä asia. Se on myös yksi tärkeimmistä huomioitavista asioista tiedonsiirtoteknologioiden kehityksen ja tiedon turvaamisen toiminnassa. Tietoturvallisuuden käsitteessä on pyrkimyksenä suojata ja taata tiedon luottamuksellisuus, eheys ja saatavuus tietojärjestelmissä. Kansainvälinen ISO/IEC 27000 -standardisarja on keskittynyt tietoturvallisuuden hallinnan kokonaisuuteen. [1; 2; 5; 61, s.17; 62.]

Kyberturvallisuus käsittää digitalisoidun tiedon turvaa, tiedollista turvaa ja yhteiskunnan sekä eri toimintasektorien ohjauksen, tiedonsiirtoteiden ja -tapojen turvallisuutta. Digitalisaatiossa esiintyy enenevä vaade laitteiden, järjestelmien, niihin liittyvien infrastruktuurien ja palveluiden sisäänrakennetulle turvallisuudelle. Kyberturvallisuuteen kuuluvat myös fyysinen turvallisuus ja asenteet. Teollisuuden kyberturvallisuuden hallintaan keskitytään IEC 62443-standardissa. Tietoturvallisuus ja kyberturvallisuus esitetään erillisinä käsitteinä, kuitenkin niissä on useita yhteneväisyyksiä ja samoja vaateita, kuten tiedon luottamuksellisuuden ja eheyden suojaaminen. [61, s.17; 63.]

HSEQ-kokonaisuuden osana teknisten tuotantojärjestelmän tulee olla resilienssi, kyetä sovittamaan toimintansa ennustettavissa tai yllättävissä häiriötilanteissa sekä palautua vikatilanteista nopeasti. Turvallisuuden asioita käsitellään useissa eri standardeissa, joissa asetetaan toiminnallisia vaatimuksia automaation-, sähkön- ja koneturvallisuuden puolelle, sekä ympäristöasioiden hallintaan. [1; 2; 3; 5; 61, s.141; 64.]

Profinet-teknologiasta on julkaistu oma turvallisuusohjeisto. Profinet-turvallisuuden lähtökohtana IEC 62443 -standardin mukaan on tarjota ensi sijassa toiminnan käytettävyyttä ja reaaliaikaisen tiedon saatavuutta, sekä eheyttä. Profinet-

RT-verkossa ovat käyttäjien ja laitteiden autentikointi, liittyjien valtuuden välitys, sekä tiedonsalaus osin vielä jatkokehityksen alla. Profinet-turvallisuus kuvataan kolmella tasolla, jotka esitetään alla Profinet-spesifikaatiossa annetuin pääkohdin. [65; 66.]

### **Turvallisuustaso 1**

Järjestelmä suojataan ulkopuoliselta liikennöinniltä, pääsy verkkoon suojataan, tuotantoverkkoa segmentoidaan (VLAN) ja hyödynnetään syväsuojauksen ensisijaisia IT/OT-verkkojen erottamisen menetelmiä (Defence-in-Depth concept). Profinet-kommunikoinnin virheettömyyttä tuottavat tekniset toteutukset ja kahdennuksin varmennettu toiminnallisuus (Net load management, S2, MRP). Profinet-perustoiminnallisten käytäntöjen muuttamista esitetään turvallisuutta tehostavana, kuten normaalin SNMP-protokollan toimintasekvenssin muuttaminen, DCP-protokollan asettaminen vain lukevaksi toiminnoksi sekä laitekuvaus-tiedostojen (GSDML) varustaminen digitaalisin allekirjoituksin.

### **Turvallisuustaso 2**

Profinet IO-datansiirron eheys, koskemattomuus ja luotettavuus turvataan tiedonsalauksella, esimerkiksi ulkoalueille ulottuvissa verkoissa.

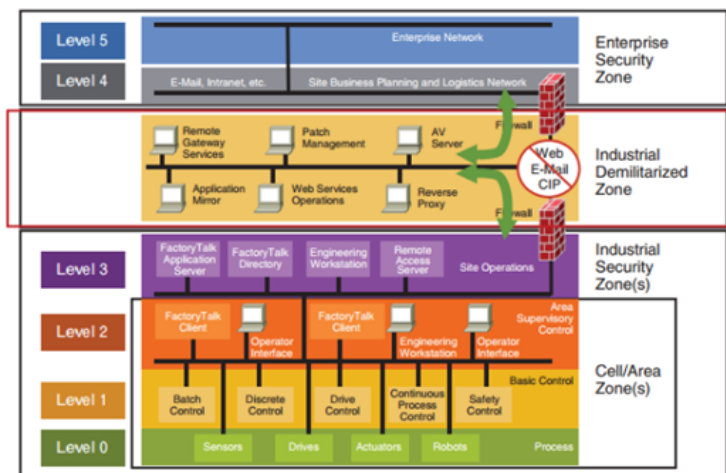
### **Turvallisuustaso 3**

Tietosuojaus toteutetaan kaiken merkittävän liiketoimintatiedon datan osalla. Laitteille on esimerkiksi asetettu poikkeavassa verkkokuormassa toimimisen vaatimuksia (Net load), mutta verkkojen reaaliaikaisen tiedonsiirron toiminta voi häiriintyä näistä hyvistä ominaisuuksista huolimatta vakavampien palvelunestohyökkäyksen (DoS) mahdollistuessa, jolloin laitteet siirtyvät vikatilaan verkon liikeneruuhkassa. Käytännössä turvallisuustasot 2 ja 3 ovat osin teknisen kehityksen ja liityntälaitteisiin integroitavien autentikointiavaimien valmistamisen alla (sisäänrakennettu turvallisuus). Profinet-verkot, kuten olemassa olevat väyläratkaisut, ovat normaalein OT/IT-käytännöin erotettava palomuurein. Profinet-

verkkolaitteiden laitekuvaustiedostojen, tai laiteohjelmisto-päivitysten prosessit on myös varmennettava määritellyin käytännöin. Erityisesti on estettävä välillinen tai väliaikainen internet liityntä OT/PN-verkkoon. [1; 2; 5; 65; 66; 67.]

OT-verkosta on operoitava PN-verkkoon vain siihen määritellyin liitynnöin, alustoin, protokollin ja sovelluksin. Näille alustoille on liitettävä myös normaalit käyttäjäautentikointi ja tapahtumien tallennusmenettelyt. IT/OT-PN-verkossa voidaan hyödyntää IDS- ja IPS-valvontaa ja torjuntaa. Tärkeimmät turvallisuutta yläläpäitävät toimet on ulotettava kasvavassa määrin toiminnan hierarkiatasojille 0–3.5 (Kuva 1), jotka laajenevat teollisuudessa, ja joissa tehtäviään hoitavat sähkö- ja automaation ammattialan vastuuihmiset toimivat. [1; 2; 5; 66; 67.]

Organisaation tuotannon kyberturvallisuuden kokonaishallintaan ja IT/OT-konvergenssin kontekstiin on kehitetty ANSI/ISA 99 -standardin mukainen Purdue-malli, jossa organisaation sovellukset jaetaan kuva 21 mukaan. [68.]



Kuva 21. ANSI/ISA-99 kyberturvallisuuden hallinnan tasot [68].

Mallissa DMZ-alue on korostettu erottaen palomurein tuotannon OT- sekä IT-yrittysverkot toisistaan. DMZ-alueen toiminnoissa eliminoidaan yleisiä haavoittuvuuksia mahdollistavien suoraan tuotantoprotokollin liittyvien sovellusten käyttäminen. Malliin liittyvissä keskusteluissa on huomioitu IT- ja OT-toimintojen eroavaisuuksien painotusta, sekä IT-ohjauksen merkitystä. Vaikka IT- ja OT-

toimintojen segmenttoiminen osaltaan on ymmärrettävää, tulee tieto- ja kyberturvallisuuden hallinnan ja toteuttamisen olla yhteinen asia, joka tasolla ja kaikissa toiminnoissa. [1; 2; 3; 5; 67; 68.]

### 2.3.16 Teollisuus-Ethernet-laitekentänhallinta ja kunnonvalvonta

Edeltäneissä kappaleissa on osin käsitelty verkottuneen Profinet-järjestelmän IOD-laitteiden liittämistä, vaihtamista, IOC-konfigurointia, IOS-parametrointia, diagnostiikkaa sekä toimintatilan valvontaa. Laitoksella on nähty tarpeellisena voida toteuttaa laitekentänhallintaa, kunnonvalvontaa ja ennakoivaa toiminnan optimointia kolmella tasolla: laitetyyppiin suoraan liitettävien soveltuvin Point-to-Point -työkaluin, toiminnallisiin segmentteihin verkottuneiden laitteiden hallinnan alustalla ja keskitetyn laitekentänhallinnan, -kunnonvalvonnan ja automaation säätöpiirejä optimoivien osajärjestelmien alustoilla, joihin voi olla muodostettu määritellyjä etäyhteys menettelyjä. [1; 2; 3.]

Esimerkiksi Simocode-moottoriohjaimeen on käytettävissä suora (PtoP) ES-, tai TIA-portal hallintasovelluksen huoltoliityntä PC:lle. Simocode-ohjaimeen liittyvissä Profinet-VLAN-osuuksissa on mahdollista hyödyntää muusta verkosta erotetun ja varmennetun PC:n Web-selainta Simocoden sisältämän Web-serverin kautta verkon yli asyklisesti muodostettavaan hallintaan. PN-VLAN-verkoissa voidaan käyttää laajempaan ja keskitettyyn laitekentänhallintaan esimerkiksi järjestelmä-liitännäisen IOS-valvojan sovellusta tai muuta erillistä kunnonvalvonnan järjestelmäalustan ohjelmistoa. Simocode OPC UA -serveri on myös osaltaan laitehallinnan liityntävaihtoehtona mainittu. Tämän 'Internet enabled' protokollan kautta tehtävien PN-laitteiden kirjoitustoimintojen aktivointia on syytä välttää ja mahdollisesti hyödyntää sitä tiedonsiirron suunnitelmallisin menettelyin vain yksisuuntaiseen tiedonvälitykseen prosessikentästä (kuva 15). [48; s.48.]

OT-verkkoliitäntäisten teollisuus-Ethernet-työvälineiden varmentamisen ja käyttäjäkouluttamisen tulee noudattaa ja kehittää laitoksen turvallisuusajattelua. Toiminnan tulee tukeutua kyberturvallisuutta ylläpitäviin ohjeisiin ja

menettelytapoihin, joita on myös kehitettävä laajenevien verkkojen ja muuttuvien toimintamallien ohella. [1; 2; 3; 67.]

### 2.3.17 Käyttöönotto ja testaus

Digitalisaation myötä prosessikentän laitteet sisältävät uusia toimintoja ja kommunikointiliityntöjä, joiden ohjausjärjestelmiin integroinnin ja yhteistoiminnallisuuden varmentamisen on tärkeä asia. Tuotannon investointiprojektien järjestelmäkokonaisuus on kehityksen kerrostuneessa elinkaaressa useimmiten ainutlaatuinen, ja yhteistoiminnallisten toimintatestausten merkitys projekteissa on kasvava. Tiedonsiirron toimintavarmuus on voitava varmentaa ja valvoa sitä edelleenkin myös toimivan prosessiympäristön häiriömaailmassa. Testaamisten tulee olla ohjeistettua, jolloin tulosten pohjalta yhteistoiminnallisuutta voidaan varmentaa. [1; 2; 3.]

Profinet-järjestelmän ja siihen liittyvien laitteiden käyttöönotto sekä testaus tehdään yleensä järjestelmään liittyvin IOC- ja IOS-sovellustyövälinein. Kaikkien liityntöjen tulee olla suunnittelun mukaisia ja laitekentässä merkittyjä sekä verkko-kaapeleiden ja -kuitujen mitatusti toimivia. Järjestelmän sovellusympäristön mukaan voidaan järjestelmä- ja laitekonfiguraatiot tehdä suunnittelun pohjalta etukäteen testausta varten. Ennen IOC- tai IOD-latauksia, voidaan IOS-välineen kautta varmentaa, että topologia, laitenimet, IP-osoitteet ja liitynnät ovat verkkonäkymässä suunnitellun mukaisia. Yleistynyt käytäntö ohjaa toteuttamaan tehdas-hyväksyntä-testausta (FAT) kustannustehokkaammin virtuaalisesti. Testausympäristön kokoonpanon, testaussuunnitelman ja näkymien etäkohteeseen tulee kaikilta osin tukea testauksen tulosten tavoitteita. [1; 2; 3; 23; 67.]

IOD-laitteita on mahdollista konfiguroida ja parametroida valmiiksi järjestelmätestauksiin myös PC:n IOS-ohjelmistoilla, jolloin järjestelmäverkkoa tai IOC-yksikköä ei tässä yhteydessä tarvita. Tähän tarkoitukseen hyödynnettävänä ohjelmistona Profinet-ratkaisuun on myös vapaasti verkosta saatavana oleva tuote, jonka Pro-version lisenssi on maksullinen. [69, s.6–8.]



### 2.3.18 Operointi, kunnossapito ja elinkaarenhallinta

Teollisuus-Ethernet-ratkaisulla liitetyn kentän operointinäkyymiin ei välttämättä muodostu muutoksia väyläliityntäiseen ratkaisuun nähden. Esimerkiksi tutkimuksessa tarkasteltavan moottoriohjaimen I/O-lukumäärä sekä operointipiireihin tarpeina suunnitellut ohjaukset ja hälytykset ovat varsin yhdenmukaiset väylä- tai IE-verkkolaitteena. Operoinnin valvomonäyttöillä mahdolliset muutokset liittyvät uusiin monta järjestelmää liittäviin näyttötekniikoihin tai järjestelmäsovellusten selainnäkyymiin (dashboards), mikäli niitä käytetään. [2; 3; 48.]

Profinet-verkon ja siihen liitettyjen laitteiden toimintaa on voitava seurata ennakkoivasti ennen vikahälytyksiä. Profinet-verkkoon tulee voida myös tarvittaessa liittyä määritellyin työvälinein koulutetun kunnossapidon toimesta, kuten käytössä oleviin väyliinkin. [1 ;2; 3; 67.]

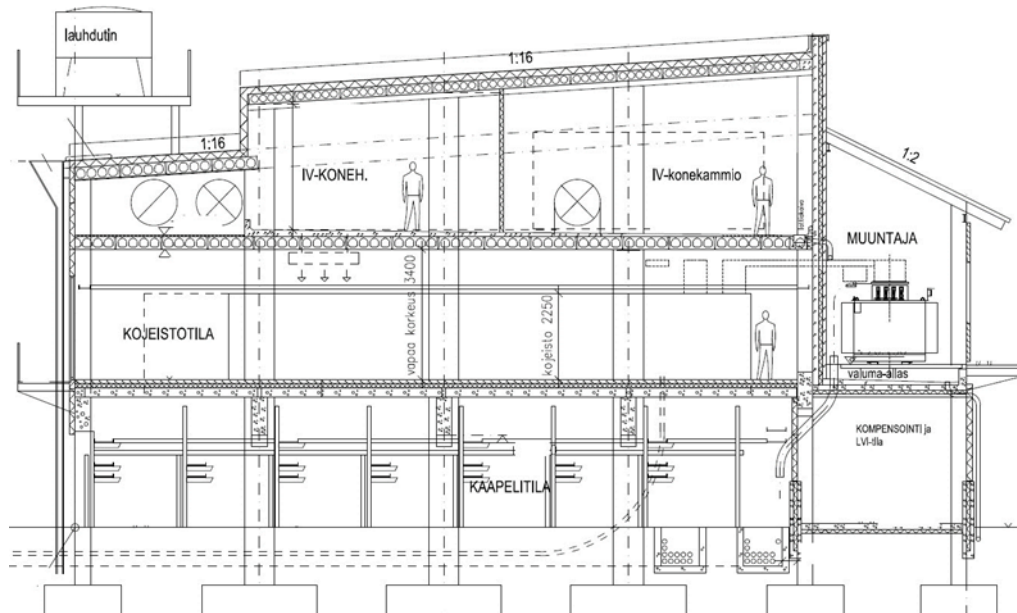
PI-organisaation koulutuskeskuksissa on tarjolla perehdytystä Profinet-tekniikan hallintaan ja verkon toimintaa valvovaan kiinteästi asennettuun järjestelmään sekä IOS-tuotteeseen. Lisäksi on mahdollista tutustua lähemmin myös vapaasti verkosta saatavilla olevaan Ethernet-verkkojen kommunikointia purkavaan ja analysoivaan ohjelmistotuotteeseen. Verkkoliikenteen valvonnassa seurattavia asioita ovat pääkohdin verkon- ja kytkentäpisteiden liikennekuorma sekä verkon toiminnan statistiikka, kuten tiedonpäivitysaika, liittyjän verkkosyvyys, jitter, porttien hukkaamien sanomien lukumäärä, vapaat portit, mahdolliset hälytykset ja mahdolliset tietoturvasilmoitukset. Koulutussisällössä huomioidaan myös asennustarkastuksissa käytettävät Ethernet-kaapelitesterit. Huomioitavaa on, että myös kuituyhteydet häntäkuituineen tulee varmentaa mittauksin. Tiedonsiirtotien fyysisen tason MLT-3-signaloinnin mittausvälineistö sekä mittausmenettelyt puuttuvat koulutustarjonnasta. Nämä mittaukset kuitenkin kuuluvat olennaisena osana digitaalisten väylien toiminnan varmentamiseen toimintaympäristön häiriömaailman vaikutusten kartoittamiseksi ja tiedonsiirtoiteiden häiriöistä erottamiseksi. Signaloinnin toimivuus on perustana hyötybittien ja sanomakehysten siirtämiseen, eikä signaalikehysmittausten tarve ole kadonnut Ethernet-ratkaisuistakaan. [70, s.9–11 ja 13.]

Profinet-verkon tiedonsiirtotien passiivisten, tai aktiivisten liityntäpisteiden (TAP) paikat tulee sisällyttää verkon suunnitteluun. Passiivinen liityntä toimii vain verkon läpi kommunikoivana liityntäpisteenä ja siihen kytkeydytään tarvittavilla verkon sekä laitteiden toimintatilaa mittavilla välineillä. Aktiiviset liityntäpisteet ovat verkon toimintaa kiinteästi valvovia ja verkon kautta valvonta-alustalle asyklisesti kommunikoivia laitteita. Markkinoilla olevia moninaisia valvontavälineitä on mukana edellä esitellyn PI-tahon koulutustarjonnassa. [70, s. 9–11 ja 13.]

## 2.4 Uudistushankkeen kojeistotila

Tapaustutkimuksessa kojeistousinnan kohteena oleva 690 V:n moottoriohjauskeskus sijaitsee laitoksen prosessialueella olevan muuntamon kojeistotilassa, joka on erotettu 10 kV-3,15 MVA/0,69 kV:n jakelumuuntajan tilasta.

Kojeistotilassa on jäähdytys-osana LVIS-tekniikkaa. Kuva 22 esittää muuntamon päätypoikkileikkausta. [1.]



Kuva 22. Muuntamo rakennuksen päätypoikkileikkaus [1].

Kojeistotilan ilmastoinnin ja ilmanvaihdon minimivaatimuksina (tarkemmin SFS 6001) ympäristön lämpötila ei ylitä arvoa 40 °C, eikä sen keskiarvo ylitä 24 tunnin jaksolla keskiarvoa 35 °C. Suhteellisen kosteuden keskiarvo 24 tunnin ajanjaksolla ei ylitä 70 %, eikä ilma ole merkittävästi pölyn, savun, syövyttävien kaasujen, vesihöyryn, sementin, hiekan, suolan jne. liikaamaa. Kojeistotilan suunnittelulämpötilaksi otetaan 15–25 °C jäähdytyslaitteistolla. Ilmastointilaitteiden mitoitus sekä kustannusarviointia varten voidaan käyttää arviota, joka saadaan olettamalla kojeistotilan keskimääräiseksi kuormaksi n. 300W/m<sup>2</sup> ja kaapelitilan kuormaksi noin 25 % kojeistotilan kuormasta. Kokonaistehoa laskettaessa on otettava huomioon todellinen maksimivirta ja varalaitteiden tasoituskerroin. [1.]

Sähkönjakeluverkon ja muuntamon katkaisijakojeistojen (kennoterminaalit) toimintaa valvotaan omassa SCADA-järjestelmässään, ja pienjänniteverkon, sekä -kojeiston toimintaa hoitaa laitoksen sähkökunnossapito. Kiinteistöautomaatio on osin kytketty tehdasautomaatioon, johon myös moottoriohjauskeskukset ovat liitetty. Esimerkiksi rakennuksen lämpötilavalvonnan ylä- ja alarajoista saadaan hälytys tehdasyksikön ympärivuorokautisesti operoivaan valvomoon. Laitoksen sähkö- ja automaatiokunnossapito ei hoida kiinteistöautomaatiota, mutta tiettyjä tarkastuksia ja käyttötoimia suoritetaan, mikäli tuotannon toimintavarmuus sitä edellyttää. [1; 2; 4; 5.]

400V- ja 690V-verkot käyttömaadoitetaan jäykästi muuntajan tähtipisteestä TN-S-järjestelmän mukaisesti. Laitekuormien oikosulku- ja maasulkusuojina toimivat katkaisijat, sulakkeet ja johdonsuoja-automaatit. N-PE-yhdistys on oltava selkeästi nähtävissä sekä avattavissa rakenteita purkamatta mittausta varten. 690V:n jännitettä käytetään, jos muuntamossa on paljon pienjännitteistä moottori- ym. kuormaa, joka voidaan teknisesti kytkeä ko. jännitteeseen. Kojeiston rakenteen ja kaikkien laitteiden tulee kestää nimellisarvojen mukaiset rasitukset. [1.]

## 2.5 Pienjännite-moottorihjauskeskus

Muuntamon kojeistotilassa sijaitsevat muuntojoustavat modulaariset kennorakenteiset prosessikeskukset. Alla oleva kuva 23 esittää esimerkkiä yleistä ABB:n MNS® -pienjännitekojeistokeskusta. Keskuksen syöttökenttään liitetään 690 VAC jakelumuuntajalta tai toiselta prosessikeskuksesta. Syöttökentän pääkojeena on yleensä keskuksen pääkytkimenä toimiva katkaisija ja muina kojeina voi olla maadoituskytkimiä, ohjausjännitemuuntajia tai väylälaitteita. [1; 71.]



Kuva 23. MNS® 3.0 Pienjännitekojeistokeskus [71, s.6].

Keskuksen toimilaitteiden sähkönsyötöt ja ohjaukset ovat keskuksessa osastoitu omiin tiloihinsa ja niissä olevat viat saadaan rajoitettua yhteen lähtöön. Esimerkiksi moottorihjaus- ja loistehon kompensointiyksiköt ovat keskuksessa omilla moduuleillaan. Kojeistokeskukseen voidaan asentaa erilaisia suojaus-, ohjaus-, seuranta- ja kommunikointi toimintoja, tai yksikkösäätimen ohjauslogiikkaa. Keskuksen osastointi ja kokoonpano määritellään tilaajan vaatimusten sekä projektin hankintamäärittelyjen mukaan. Koteloinnin tulee olla IP31 tai parempi. [1; 3.]

Markkinoilla on digitaalisiksi mainostettuja Industry 4.0 -keskuksia, jonka IIoT-Edge -siltaan tai välityspalvelimeen liitetyt älykkäät keskuskojeistot voivat kerätä prosessidataa sähkökäyttöjärjestelmien pilvipalvelut kunnonvalvontaan,

esimerkiksi ABB Ability™ CMES- kunnonvalvontajärjestelmään, ilman välttämättöntä tarvetta käyttöautomaation ohjaus- ja valvomojärjestelmille. [72; 73, s.3.]

Moottorin ohjaustapaan ja ohjaimen valintaan vaikuttavat prosessin moottorikäyttöille asetetut toiminnallisuuden ja turvallisuuden vaatimukset. Ohjaustavat muodostuvat niihin liitettyjen toimilaitteiden kuten pumppujen, kuljettimien, kuivaimien tai sekoittimien käyttötarpeista. Käyttötapoja ovat esimerkiksi ON/OFF-suorakäyttö, muuttuvan nopeuden tai momentin käytöt ja suunnanvaihdot. Teollisuuden toimintaympäristö asettaa lisäksi vaatimuksia ohjausten suojauksissa, lukituksissa ja pysäytyksissä, tarvittaessa myös turva-automaation ohjaamana. [1; 2.]

### 2.5.1 Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttaja ohjaa teollisuudessa yleisesti kolmevaiheisen oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta ja momenttia portaattomasti syöttöjännitteen muuttuvalla taajuudella. Ohjattava moottori vaikuttaa taajuusmuuttajan kokoon. Prosessin vaatimukset puolestaan asettavat vaatimukset moottorin valinnalle. [1; 74, s.6–9, 24; 75, s.6–10; 76.]

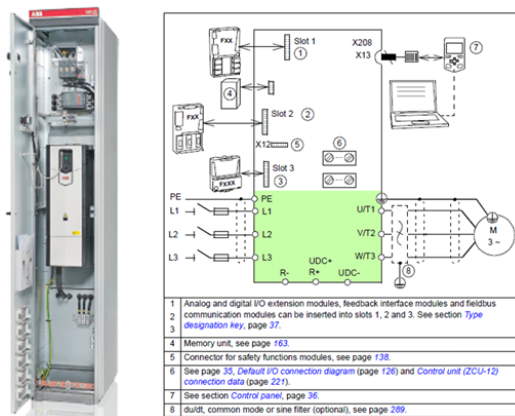
Taajuusmuuttajalla optimoidaan moottorin käynnistys- ja pysäytyssekvenssejä sekä pyörimisnopeuden ja momentin säätöjä. Taajuusmuuttajat sisältävät nykyisin monipuolisesti moottorihjauksen, -suojauksen ja -valvonnan toimintoja. Taajuusmuuttajia on lisääntyvästi käytetty pumppujen ohjauksessa väliainevirtauksen energiatehokkaampaan jatkuvatoimiseen säätöön prosessiteollisuudessa venttiili-kuristussäätöjen sijasta. [1; 2; 77, s.13–14.]

Taajuusmuuttajan toimintaluokat ovat suora- tai välipiirillinen laite. Välipiirillisistä laitteista jännitevälipiirillinen laite on toimintaperiaatteeltaan yleisin käytössä oleva taajuusmuuttaja. [1; 77, s.13–14; 78, s.38–54.]

Sovellusten näkökulmasta taajuusmuuttajat käyvät nopeussäätöä tai paikoitusta vaativiin kohteisiin. Esimerkiksi ABB:n ACS-880 DTC -säätö soveltuu nopean momenttivasteen ansiosta erilaisiin vakiomomenttisovelluksiin. [76.]

Taajuusmuuttajat asennetaan moottorihjauskeskus-tilaan lattialle, seinälle tai osaksi keskusta, ensisijaisesti niiden koon ohjaamana. [1; 79.]

Kuva 24 esittää esimerkkinä ABB ACS-880-01 kuvaa MNS-keskukseen integroituna, sekä 3-vaiheisen moottorilähdön kytkentäkaaviota. Kaaviosta nähdään taajuusmuuttajaan kytkettävien valinnaisten moduulien liityntäpaikat (slot 1–3). Taajuusmuuttajan I/O- liityntäkaaviossa on esitetty vain RS-485-pohjainen väyläliityntä. Profinet-liityntää on tarkasteltava lähemmin erillisestä Profinet-moduulin ohjeistosta. [1; 79; 80, s.113–122.]



Kuva 24. ACS-880-01 kytkentäkaavio ja asennus keskuksessa [79; 80, s.34].

## 2.5.2 Pehmökäynnistimet

Pehmökäynnistin nostaa moottorille syötettävää jännitettä vähitellen. Pehmökäynnistyksen etuina ovat momentin säätömahdollisuus, pyöriviin laitteisiin kohdistuva pienempi rasitus, alhaisempi käynnistysvirta ja syöttöverkon jännitteena- lenema. [81, s.18.]

Pehmokäynnistimille sopivat sovellukset, joissa ei vaadita nopeuden säätöä ja joihin tasainen käynnistys sekä pysäytys riittävät. Ohjauskohteita ovat esimerkiksi lyhyempien käyttösekvenssien pumpput ja puhaltimet, joissa säätö ei tapahdu portaattomasti esimerkiksi lämpötilan ohjaamana. Pehmokäynnistin valmistajien tuotteita löytyy eri moottorisovelluksille. [1; 2; 81, s.22–25 ja 89.]

### 2.5.3 Älykkäät moottoriohjaimet

Älykkään moottoriohjaimen etuina esitetään pienemmät suunnittelu- ja ylläpito-kustannukset, eri väylä- ja IE- liitynnät, diagnostiikka, sekä suojaustoiminnot. Simocode PRO V DP -väyläohjain on tilaajan laitoksella koettu parin vuosikymmenen käytön ajalla luotettavaksi ohjaimeksi, jonka monipuolisista toiminnallisuuksista on alla listattu. Yksikön sisältäessä erilaisia ohjauksia ja suojausvälineitä lisäkomponenttien ja kaapeloinnin tarve. [1; 5; 82, s.23–44.]

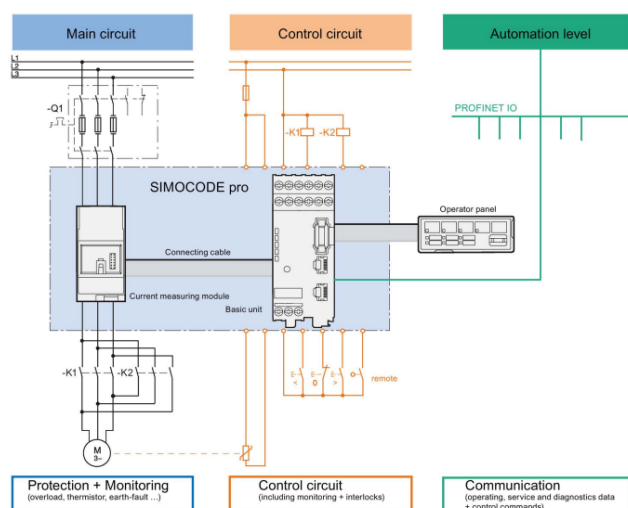
Simocode PRO V moottoriohjaimen toimintoja:

- Suojarele-toiminto
- Suora käynnistys (direct-on-line starter) ja suunnanvaihto
- Tähti-kolmio käynnistys, suunnanvaihtomahdollisuus
- 2- nopeuksinen ohjaus erilliskäämityille moottoreille (navanvaihto), suunnanvaihtomahdollisuus
- 2- nopeuksinen ohjaus Dahlander käämityille moottoreille, suunnanvaihtomahdollisuus
- Asennoitin-ohjaus
- Solenoidi venttiilin ohjaus
- Piirisuojan (MCCB) ohjaus
- Pehmokäynnistys-ohjaus, suunnanvaihtomahdollisuus

Yksikkö kommunikoi automaatio-ohjaimen kanssa ja välittää tietoa vioista ja ennakoivaa toimintadiagnostiikkaa. [48, s.44–59, s.65–94; 82, s.26, 48, 379–399.]

Yksikköä voidaan käyttää paikallisesti omasta LCD-paneelistä tai liitettävän verkon etäkäytön kautta. Yksikössä itsessään on virran mittaus 630 A asti. Tätä suuremmilla virroilla on käytettävä erillisiä virtamuuntajia, jotka muuntavat virran pienemmäksi. [82, s.49,178–181 ja 299–300.]

Moottorin suorakäynnistyksessä (Direct OnLine-starter, DOL), moottoriohjauksiin tarvitaan myös pääkontaktori, lämpörele ja oikosulkusuojana tavallisesti käytettävä sulake. Suoran moottorikäynnistyksen ohjaus tapahtuu automaatiojärjestelmään liitettävästä päämoduulista, jonka lisäksi tarvitaan vaihevirran/-jännitteen mittausmoduuli ja paikallisnäyttö-käyttöpaneeli. Ohjaimen voi tarvittaessa liittää kaksi digitaalista tulo- ja lähtömoduulia, yhden analogisen lähtö- ja tulomoduulin, SIL3-luokkaan asti toiminnallisen DM-F-turvalukitusmoduulin ja Profisafe-turvalukitusmoduulin. Ohjaimen voi liittää myös moottorin laakerin lämpötilamittauksen (kuva 25). [82, s.34, 42, 51, 113.]



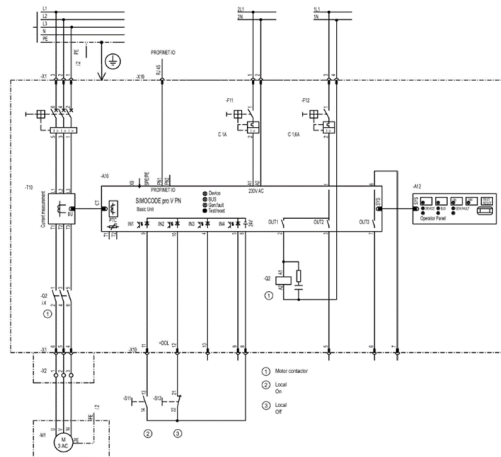
Kuva 25. Simocode PRO V -moottorinohjain [82, s.24].

Suorasta käynnistyksestä aiheutuu suuri käynnistysvirta ja -momentti. Oikosulkumoottorilla käynnistysvirta on noin 6–8 kertaa suurempi kuin moottorin



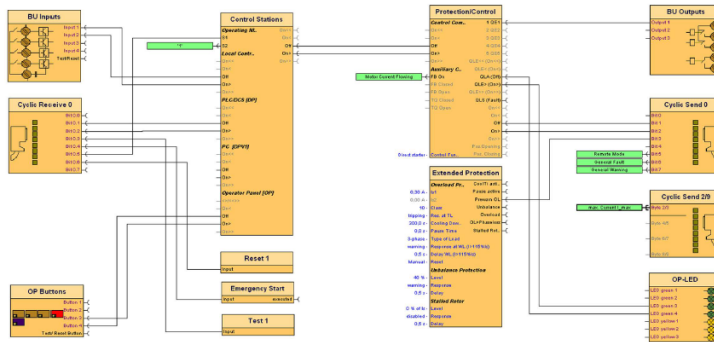
nimellisvirta. Momentti on käynnistyksessä suurempi kuin moottorin nimellimomentti. Suuren käynnistysvirran takia suora käyttö ei ole suositeltavaa suurille moottoreille. [81, s.13.]

Suoraa ohjausta käytetään yleisesti edelleen alempien teholuokkien oikosulkumoottoreille vanhemman virtaussuunnittelun pohjaisissa kuristussäädettyjen prosessiputkitusten ja sivuvirtauskiertojen toteutuksissa, pidempiaikaisesti vaikiokäytöllä ajettaville prosessipumpuille. Suoran käynnistyksen sijasta voidaan jossain tapauksissa käyttää tähtikolmiökäynnistystä, joka rajoittaa käynnistyksessä syntyvää käynnistysvirtaa. Tähtikäynnistys muodostaa suuremman impedanssin ja sitä kautta jännitteen aleneman moottorille. Jännite kaikissa moottorin käämityksissä on  $1/\sqrt{3}$  pääjännitteestä ja virta vain kolmannes. Alempi jännite pienentää myös momenttia, joka pienenee jännitteen neliöllä. Tähtikolmiökäynnistys ei myöskään sovi esimerkiksi raskaiden pumppujen käynnistykseen. Kuvassa 26 on esitetty aiemmin mainituilla lisäkomponenteilla suoran moottorilähdön Simocode PN -ohjainkokoospanon piirikaavio. [1; 81, s.14; 82.]



Kuva 26. Simocode PRO V PN yksinkertaistettu piirikaavio [82, s.661].

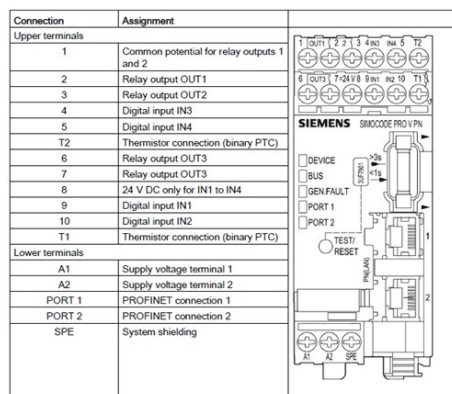
Simocode PN -suoran moottorilähdön (DOL) toimintalohkokaaviota esitetään kuvassa 27 [82].



Kuva 27. Simocode PRO V PN-toimintalohkokaavio [82, s.662].

Toimintalohkokaavio kuvaa moottorihjaimen toimintalohkon (Control Stations) - , tulo- (BU Inputs) ja lähtömoduulien (BU Outputs), paikallishjaimen (OP Buttons), test- ja reset-piirien, suojaustoimintalohkojen (Protection-ExtendedControl) sekä luku- (Cyclic Send) ja kirjoitus- (Cyclic Receive) - kommunikointilohkojen asettelut sekä riippuvuudet. Kuvasta puuttuvat ohjaussovelluksen logiikka-piirilohkot esimerkiksi lukitusten osalta sekä toimintaselostus. [1; 2; 82.]

Kuva 28 esittää Profinet-liitäntäisen Simocode päämoduulin kytkentöjä [82].



Kuva 28. Simocode PRO V PN päämoduulin kytkennät [82, s.451].

Profinet-liitäntäinen Simocode päämoduuli tukee S2-järjestelmän kahdennusta sekä MRP-, SNMP- ja LLDP-kommunikointiprotokollia [82, s.632].

Moottorihjauskeskuksen muita kojeistoja, mikäli ne ovat osana keskuksen väylään liitettyä automaatiotiedonsiirtoa ja mahdollisesti automaatiojärjestelmän ohjausta, huomioidaan tässä kappaleessa lyhyesti.

#### 2.5.4 Kennoterminaalit

Väylään ja IE-verkkoon voidaan liittää toiminnallisesti monipuolisia kennoterminaalit erottimia ja keskijännite-moottorien suojauslaitteita. Kuvassa 29 on esitetty ABB Relion® -sarjan tuotteita. Nämä IED (Intelligent Electronic Devices)-tuotteet eivät sisällä suoria Profibus DP-väylä- tai Profinet-verkkoliityntöjä. Muihin tiedonsiirtoprotokolliin yksiköt on mahdollista liittää edellä käsiteltävien protokollamuuntimien (yhdyskäytävä ja välityspalvelin) kautta tai liittää ne suoraan IEC61850-standardin pohjaisella Ethernet-tiedonsiirtoprotokollalla näitä liityntöjä tarjoaviin ohjausjärjestelmiin. [1; 83, s.772–773; 84, s.15–17.]



Kuva 29. Relion® 600-sarjan kennoterminaalit REM- ja REF-yksikköjä [83; 84].

Protokollamuuntimien käyttäminen ohjausjärjestelmän tiedonsiirtoprotokollaan liittämiseksi, tai useamman eri tiedonsiirtoprotokollan liittämisen samaan prosessiohjaimen, tuo lisähaasteita järjestelmäkokonaisuuden kahdennusten toiminnallisuuteen ja yhteneväisten laitediagnostiikkatietojen saamiseen. Toiminnallisesti luotettavin sekä selkein käyttö- ja kunnossapitoympäristö saavutetaan yhtä tiedonsiirtoprotokollalla hyödyntämällä ohjausjärjestelmästä laitekenttään etenkin kahdennetuissa järjestelmissä. [1; 2.]

### 2.5.5 Etä-I/O

Markkinoilla on tarjolla EX 1- ja 2-tilaluokiteltuja ja IE-verkkoihin liitettäviä Etä-I/O-laitteita (RIO). 100Base-TX-kommunikointi ei sovellu räjähdysvaarallisessa ympäristössä käytettäväksi. RIO-yksiköiden liittäminen on toteutettava 100Base-FX-kuidulla esimerkiksi soveltuvan kuitumuuntimen välityksellä. Laitteiden sijoittamista räjähdysvaarallisille alueille rajoittavat yleisesti myös laitteiden ATEX- ja IP-luokat, käyttöympäristön asettamat lämpötilavaateet sekä niiden sijoittaminen laitteisto kokonaisuutena vaateet täyttäviin Ex-hyväksytyihin koteloihin tai kaappeihin. Käytettävyys ja kunnossapito ovat suunnittelussa huomioitavia asioita etenkin räjähdysvaarallisissa toimintaympäristöissä. [1; 2; 23.]

Muuntamon moottorihjauskeskus ei sijaitse räjähdysvaaralliseksi luokitellulla alueella. Kuitenkin on huomioitava RIO-laitteiden I/O-moduulien Ex-piirien kautta muodostuvat kenttäyhteydet, liityntälaitteiden Ex-luokitukset ja Exi-piireille vaadittavat impedanssi-, kapasitanssi- ja induktanssilaskelmat. Laitoksen moottorihjauskeskuksen kojeistojen väylään liitetyt RIO:t palvelevat etupäässä eri laitteistojen kytkintietohälytysten liittämistä automaatioon. Esimerkiksi Profibus DP-OLM -kommunikointikanavien hälytykset on liitetty RIO:n DI-tuloihin ja niiden ilmaisut siirretään automaatiojärjestelmään yleishälytyksinä. [1; 2.]

Siemens ET200SP on eräs käyttötarkoitukseen soveltuva Profinet-Etä-I/O-laite, jonka IM 155-6 PN/3 HF-kommunikointimoduulin IE-liitynnät voidaan toteuttaa RJ-45 leikkaavin johdinliitännöin, M12-liitännällä tai optisen kuidun liityntämoduuleilla (SFP). ET200SP HF tukee myös S2- kahdennusta, MRP- rinkiä sekä LLDP- ja SNMP-protokollia. [85, s.17; 86, s.50–55.]

### 2.5.6 Sähkömoottorikäytöt

Tapaustutkimuksen hankeprojektiin ei sisälly moottorien tai taajuusmuuttajien uudistamisia. Tarpeena on kuitenkin huomioida, että sähkömoottorikäyttöjen elinkaaren kustannuksista yli 90 % muodostuu sähköenergiakustannuksista. Nykyiset ja uudet teknologiat mahdollistaisivat sähkömoottorijärjestelmissä

arvioiden mukaan 20–30 % energiansäästöpotentiaalin. EU-komission Eco-design-direktiivi määrittelee sähkömoottoreille ja taajuusmuuttajille hyötysuhde-luokat IE2-5 (International Energy efficiency classes) energiatehokkuusvaati-muksien ja CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen pohjalta. Asetuksen kautta saavute-taan niitä tuotantoprosesseissaan käyttäville yrityksille elinkaarikustannussääs-töjä. [87, s.9; 88, s.3; 89.]

Tässä 2019/1781-direktiivissä asetettiin 1.7.2023 alkaen uusia IE4-hyötysuhde-luokan vaatimuksia moottoreiden tehoalueille 75kW-200kW (Ecodesign require-ments). Vaihtovirtamoottoreiden kehitys on parantanut kestomagneetti- ja tahti-reluktanssimoottoreiden hyötysuhdetta ja tuotevalmistajilta on julkaistu jo IE5-luokan sähkömoottoreita. [88, s.8–9; 89.]

### 2.5.7 Automaatioliitynnät

Automaatiojärjestelmän ja moottoriohjauskeskuksen välinen tiedonsiirtoyhteys on toteutettu optisella mediaredundantisella kuiturenkaalla siirtoyhteyden kas-vattamiseksi ja EMI-häiriöiltä suojaamiseksi. Kuitukaapelina on yleensä moni-muotokuitu. Uudet kuitukaapelit vedetään suurempaa tiedonsiirtonopeutta ja pi-dempää etäisyyttä tarjoavalla yksimuotokuidulla. Ohjaimen Profibus DP-väylään liitettävien kupariväyläsegmenttien ja laitteiden lukumäärä (käytettävät väylä-osoitteet 0–125) tarkastellaan tapauskohtaisesti pääosin laitteiden siirrettävän IO-datamäärän ohjaamana. [1; 2.]

Profibus DP-segmentillä tarkoitetaan väylälaitteiden ketjutettua kupariväylä-osuutta alkavan kuitu-kuparimuuntimen (OLM) ja väyläsegmentin päättävän eril-lisen päätevastuksen välillä. Väyläsegmentin asemien teoreettinen maksimi lu-kumäärä on 32 (Master + slave -asemat). Väylänopeus ja sen määrittelemä väyläsegmentin pituus määräytyy prosessin vaateiden mukaan. Prosessiteolli-suudessa yleinen Profibus DP-väylänopeus on 1,5 Mbit/s, jolloin kupariväylä-kaapeloidun väyläsegmentin yhteenlaskettu pituus voi olla 200 m. Väyläseg-mentit päätetään molemmista päistä aktiivisella (+5 Vdc energiansyöttö)

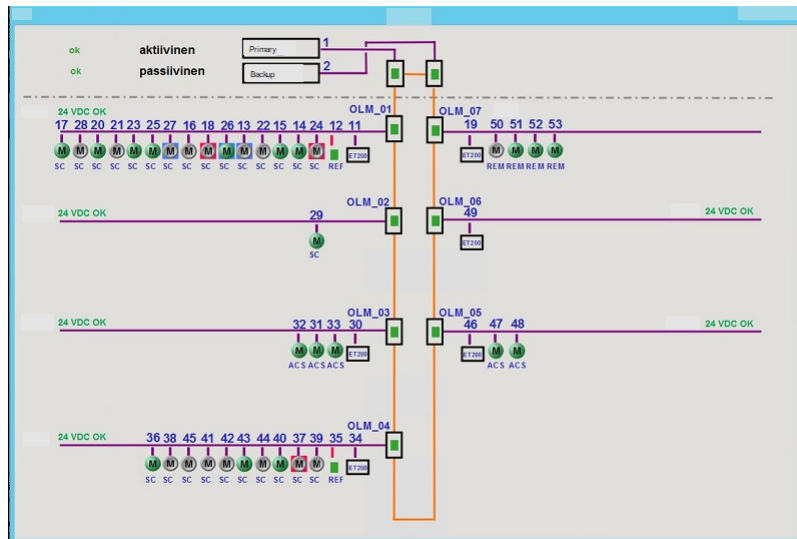
päätevastuksella. Kuvassa 30 esitetään MCC:ssä olevia OLM-muuntimia (Siemens). [1; 2.]



Kuva 30. Profibus DP -väyläsegmenttien OLM-muuntimet ja päätevastukset.

Muuntimiin liittyvät D9-pin-liittimistään päätetyt ja moottoriohjaimille lähtevät väyläsegmentit. Moottoriohjaimilta tulevat väylät päättyvät aktiivisiin päätevastuksiin (OLM-muuntimien oikealla puolella). [1; 2.]

Profibus DP- väyläliityntäisen MCC-keskuksen laitoskohtaisia vaatimusmäärittelyjä on päivitetty jo kahdenkymmenen käyttövuoden saatossa eri projektien tarpeiden mukaan. Kuvassa 31 on esitetty kojeiston uudistamishankkeen kohteena olevan MCC:n Profibus DP -järjestelmäväylä operointipiirinäyttönä. [1; 2.]



Kuva 31. Profibus DP-väylän ja MCC-kojeiston operointinäytön piiri [1; 2].

Operointinäytön kuvassa näkyvät kahden ohjaimet (aktiivinen ja passiivinen), kupariväyläsegmentit (violetti), OLM-muuntimiin kytkeytyvä mediaredundanttiin kuiturinki (oranssi) sekä kupariväyläsegmentteihin kytkeytyvät väyläasemat väyläosoitteineen. Moottorihjauskeskuksen väyläsegmentit päättävät aktiiviset päätevastukset puuttuvat operointinäytöstä.

Ohjainten ja tiedonsiirtomedian kahdennuksen toteutuksen vaatimuksena on, että ohjaimen vika tai ohjaimen ja laitteiden välisen kuitusiirtotiedonsiirtotien katkos eivät aiheuta järjestelmän kokonaistoiminnallisuudelle välitöntä haittaa, mikäli asiat muilta osin ovat järjestelmässä kunnossa. Ohjaimen tehtävää hoitavan aseman vika johtaa ohjaimen (osoite 1) vaihtoon varaohjaimelle (osoite 2). Ohjaimien keskinäiset väyläosoitteet vaihtuvat samalla. Kuiturinkisiirtotien yhden kanavan katkos ei myöskään aiheuta tiedonsiirron katkosta ohjaimen ja laitekentän välillä. OLM-muuntimet hoitavat kahden kuitukanavan CH2- ja CH3-tiedonsiirron mediaredundanttisen toiminnan. Yksittäisen OLM-muuntimen tai sen sähköisen RS-485 CH1-kanavan vioittuminen johtaa siihen liitetyn MCC-kojeiston putoamisen pois ohjaimen välisestä kommunikoinnista. Myös kojeistoväyläsegmentin katkos aiheuttaa katkoksen jälkeisen kojeisto-osuuden kommunikointikatkoksen ohjaimen. Linjatopologia on yhden liittyjälaitteen osin haa-voittuva ratkaisu. [1; 2; 33.]

Moottoriohjausten katkoksesa moottoriohjaimet asettavat lähtönsä niille asetettuun vikatilaan järjestelmän väyläparametroinnissa määritellyn ajan (TwD, Watchdog time) jälkeen, tyypillisesti (1–5) s [1; 2; 23].

## 2.5.8 Tiedonsiirron toimintavarmuuden ja kapasiteetin vertailu

Teollisen tuotannon toimintavarmuutta kuvaavissa termeissä on hieman vaihtelua, ja luotettavuus on nykyään esillä käytettävyyttä (tai palvelevuus) käsitteitä useammin. Kuvan 31 väylärakenteen ja vertailtavien eri verkkotopologioiden toimintavarmuutta voidaan tarkastella tiedonsiirron saatavuuslaskelmin. [1; 2; 90, s.98–101.]

Koko järjestelmän toiminnallisuutta ja teknistä käytettävyyttä on tarkasteltava kunnossapitojärjestelmästä saatavien yksilöityjen laitteiden ja komponenttien ajallisen vikatiheyden elinkaaritiedon pohjalta luotettavuuslaskennan menetelmin sekä tunnetuin ja selvitetuin tapahtumaskenaarioin (RAM- analyysi). [91.]

Kaavan 1 mukaan ja PSK 7903-standardin pohjalta järjestelmän osille tai osien summana koko järjestelmälle on laskettavissa tekninen käytettävyys [92].

$$\text{Tekninen käytettävyys} = K_T = \frac{\text{Käyntiaika}}{\text{Käyntiaika} + \text{Tekninen seisokkiaika}} \quad (1)$$

Tekninen seisokkiaika muodostuu korjausajasta odotusaikoineen. Odotusaikaan vaikuttavat oleellisesti tuotannon tila ja korjauksesta sille aiheutuva riski, jolloin korjaus voi siirtyä jopa tuotantoyksikön seisokkia odottamaan. [1; 2; 92.]

Käyttövarmuuden laskentaa voidaan toteuttaa IEC 60300-3-2 -standardin mukaan. Käyttövarmuus A saadaan kaavalla 2 hyödyntämällä valmistajien laitteille ja komponenteille antamia keskimääräisiä vikojen ajallisista esiintymistiheystietoja (MTBF) sekä tunnettuja keskimääräisiä korjausaikoja (MTTBR). [93, s.12.]

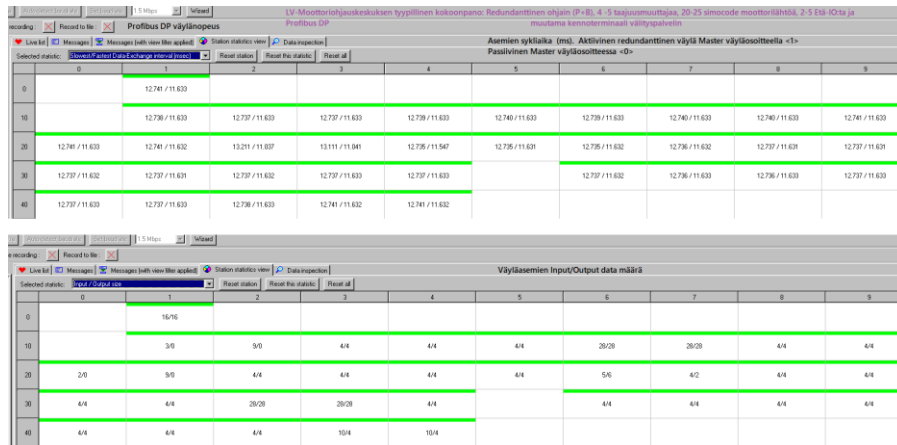
$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTBR} \quad (2)$$



Toimintavarmuuden laskelmat ovat hyödynnettävissä suunnittelussa riskianalyysessä täydentäen esimerkiksi RAM-luotettavuusanalyysin pohjalta [1; 90; 91; 92; 93].

Järjestelmän topologia rakenteiden ja kahdennuksen tuottaman tiedonsaataavuudesta saadaan vertailukelpoisia toteutusvaihtoehtoja todennäköisyyslaskelmin [1; 2; 4; 5; 90, s.98–100].

Kuva 33 esittää laitoksella uudistushankkeelle lähes verrannollisen moottoriohjauskeskuksen Profibus DP-väylän syklisen kommunikoinnin asemakohtaista väyläkiertoaika (vrt. Profinet-IO update time).



Kuva 32. LV-MCC Profibus DP-väyläkiertoaika ja I/O-datan statistiikka.

Kuvan nopeaan (< 20 ms) väyläkiertoaikaan (I/O- datatiedon päivitys, kuvassa ylempänä) vaikuttavat väylään liitettyjen asemien lukumäärä, väylätiedonsiirron nopeus ja väyläasemien hyvin riittävään I/O- datamäärään (kuvassa alempana). LV-MCC Profibus DP- väylä- ja Profinet-verkkoratkaisun tekniikkaa vertaillaan osiltaan kuvassa 33. [23.]

Vertailua osin	Väyläteknologia	Teollisuus Ethernet
	Profibus DP, ekspansio 2000- luvun alusta	Profinet, ekspansio 2010- luvun alusta
Käyttökohde	Tehdasautomaatio	Tehdasautomaatio IT/OT - IIoT
Laitetuki	Laaja	Laaja
Automaatioliityntä	Laaja	Laaja
1) Markkina osuus	7%	18%
Topologia	Väylä(linja)	Tähti/linja/puu/rinki
Redundanssi	System/slave/media	System S1-R2/slave/media MRP-MRPT
Laitemäärä	125/32 segmentti	'Rajaton'/VLAN 250
Kaapelipituus	max.100m, (3-12) Mbit/s	max.100m, 100 Mbit/s
Data/energiensyöttö	2w-STP data	4w-8w STP data, (8w:PoE)
Fyysinen taso	RS-485/NRZ	100Base-TX/MLT-3 4B5B
Kommunikointi	Master-slave	Provider-Consumer
M2M	Ei	Kyllä
Max. hyöty data ja sanomakehyksen pituus	244/256 Bytes	1440/1530 Bytes
Tiedonsiirtonopeus	Max.12 Mbit/s	100Mbit/s - 1 Gbit/s
Sykli aika	RealTime > 10ms	(IRT 31.25 µs) RealTime 1ms-10ms
Sovellusprofiilit	Energy/Drive/Safe	2) Energy/Drive/Safe/PA/OPC UA/(OPC UA pub-sub TSN M2M/APL)
Laitekuvaustiedotot/ (ajurit)-konfig.	GSD(ASCII)/FDI/EDDL/DTM/DPM2	GSD(XML)/FDI/DTM/IOS/Web server

1) Lähde HMS v.2022

2) TSN/APL(10Base-1TL) spesifikaatioissa

Kuva 33. Profibus DP- ja Profinet-tiedonsiirtoratkaisujen tekninen vertailu [23].

Laitoksen kunnossapitotietojen ja tiedonsiirtokapasiteetin perusteella moottorihjauksen Profibus DP-väyläratkaisu on edelleen laitoksen vaatimusmäärittelyjen mukainen ja käytettävyyttä tarjoava ratkaisu [1; 2; 3; 4; 5].

### 3 Käsittelyaineisto ja tutkimusmenetelmät

Kvalitatiivisessa tutkimusotteessa päivitetään tekijän olemassa olevaa tietoa. Asiantuntijatahoilta sekä laitoksen sähkö- ja automaation spesifikaatioiden pohjalta laaditaan uusia kunnossapidon huomioivia IE-vaatimusmäärittelyjä suunnittelulle. Tätä selvitystyötä tukee tutkimuksen tekijän pyrkimys tulosten objektiiviseen tarkasteluun sähkö- ja automaation väylät-verkot-toimintojen parissa saadun kokemuksen sekä toimintaympäristön uusien ratkaisujen käytettävyyden vaateiden tuntemuksen taustalla. Tietoa on hyödynnetty tutkimustyön laskelmissa sekä uusien tyyppikuvien ja laadittujen ohjeiden toteutusperusteina.

Esisuunnitteluprojektin selvitysten ajalla on tutkimusta tehty myös kirjallisuustutkimuksella ja kenttätutkimuksella etupäässä muuntamo- ja automaatiotilassa sekä laitoksen tietojärjestelmiä hyödyntäen. Projektisuunnitteluun ja

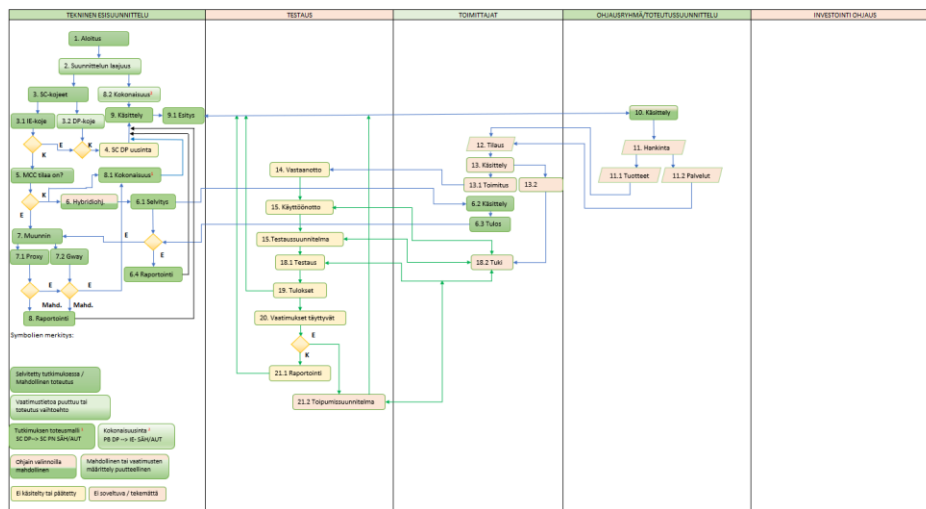
tutkimustyöhön liittyvää kyselytutkimusta on toteutettu kohdennetuin kyselyin laitoksen sidosryhmien asiantuntijoiden sekä sähkö- ja automaatiotuotteiden toimittajien tahoilta.

Automaatiojärjestelmiä ja komponentteja toimittavalle tahoille on alkukesästä toimitettu Profinet-teknologiaan ja -tuotteisiin, sekä MCC-kojeiston uudistamiseen liittyviä kysymyksiä sähköpostitse. Kysymyksiä on osin käsitelty kahden toimittajatahon kanssa käydyissä esisuunnittelun projektipalaverissa. Syventävistä teknisistä kysymyksistä on noin puoleen saatu vastauksia. Tarkentavia vastauksia jäi pääkohdin uupumaan kahdennetun ohjaimen toimintakuvauksista, CiR/DR-toiminnallisuudesta IOC/IOS-järjestelmässä, IOS-työvälineistä, sekä TAP- ja langattomista verkkoliitännöistä. Tarpeelliset puuttuvat detaljikysymysten vastaukset tuotetaan toimintatestauksen laitteiston ja tukipalvelujen hankkeissa sekä toteutussuunnittelun tarjouspyyntöihin liitettävissä vaatimusmäärittelyissä. Kaikki PI-organisaation Profinet-spesifikaatiot eivät ole vapaasti verkosta saatavilla. Näissä dokumenteissa on PI-organisaation aineistonhaku-sivuilla nähtävissä lukkosymboli. Usein ne liittyvät uusiin kehitysteknologioihin (esim. TSN) ja vaativat PI-organisaation jäsenyrityksen lisenssin kirjautumistiedot. Tutkimuksen Profinet-tietolähteiden selvityksissä oli myös havaintona, että Amerikkalaisista Profinet-tietolähteistä saa kohdennetummin ajankohtaista tietoa Euroopan Profinet-teknologisen kotimantereen lähteisiin nähden.

### 3.1 Tutkimuksessa tuotettu uusi aineisto

Laitoksen sähkö- ja automaatiotespesifikaatiot laaditaan järjestelmä- ja laitteistovalmistaja riippumattomina. Järjestelmätoimittajille suunnattavien uudistusprojektin tarjouspyyntöjen vaatimusliitteinä voidaan hyödyntää tutkimuksessa tuotettuja MCC-keskuksen liittyminen Profinet-verkkoon spesifikaation täydennystä (liite 12) sekä hankesuunnitelman Profinet-järjestelmäverkkokaavioita (liite 4). Automaatiojärjestelmän hankintamäärittelyissä voidaan esittää tutkimuksen toimintatestausohjeisiin perustuvia vaatimuksia. Testaussuunnitelmat, ohjeet ja vaatimusmäärittelyt täydentyvät jo järjestelmä- ja laitevalintojen jälkeen. [1;2;3.]

Tutkimustyössä hyödynnetään laitoksen nykyisten sähkö- ja automaation spesifikaatioiden tyyppiirustuksia, joista tutkimustyössä laaditaan laitokselle uudet teollisuus-Ethernet-pohjaiset tyyppiirustukset sekä sähkökojeiston uudistamisen laajuuteen kohdentuvat tyyppiirustukset. Uudet tyyppiirustukset ovat tämän työn liitteinä 1–9. Tutkimuksen työkulkua ja esisuunnittelun tehtäviä palvelemaan on laadittu kuvan 34 mukainen vuokaavio.



Kuva 34. Tutkimustyön työkulkukaavio esisuunnittelun ajalla.

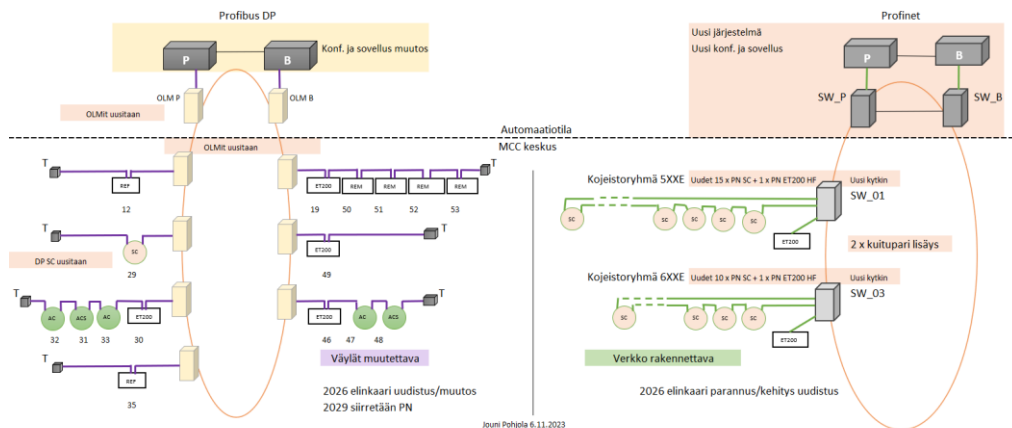
Työkulkukaavio selvittää uuden teknologian mukaan ottavan investoinnin laajuutta. Tutkimuksessa tuotettiin uutta tietoa esisuunnitteluun kuvan vihreää väriä sisältävissä prosessilohkoissa. Prosessilohkojen värien merkitys on esitetty kaavion esisuunnittelusarakkeen alareunassa.

Toteutussuunnittelu käynnistää toimintatestausohjeet esisuunnittelun tuloksista kuvan 34 prosessilohkossa 10. Toimintatestausprosessin jälkeen laaditaan lopullinen investointiesitys toteutuksesta päättävälle taholle. Tutkimuksessa laadittua toimintatestausta, laitoksen spesifikaatioita ja vaatimusmäärittelyä tukevaa ohjeistoa on liitteinä 10–12.

Tutkimustyössä on laadittu kojeistouudistusta palvelevat uudet tyyppiirustukset (liitteet 3–9) prosessilohkon 8.1 uudistuskokonaisuuden esitykseen. Esitys

liittää uudistettavat Simocode-kojeet sekä näihin kojeistoryhmiin liittyvät Etä-I/O:t Profinet-verkkoon ja kahdennettuihin uusiin IOC-ohjaimiin.

Muu MCC-kojeisto osuus jää supistuvaan Profibus DP -järjestelmään, jossa yksi taajuusmuuttajan ohituskäytössä oleva väyläliityntäinen Simocode-moottoriohjain ja OLM-muuntimet jäävät elinkaariuusintana vaihdettaviin uuden version Profibus DP-kojeisiin. Tutkimustyössä laaditussa kuvassa 35 eriytetyt IE-verkko- ja väyläjärjestelmäkokonaisuudet kuvataan osana kuvan 34 prosessilohkon 9.1 toteutusesitystä.



Kuva 35. Eriytetyt LV-MCC kojeistojen Profinet ja Profibus DP-osajärjestelmät.

Kuvaan 35 on kirjattu väyläliityntäiseksi jäävän kojeiston liittäminen IE-ratkaisuun vuoden 2029 uudistamisessa. Prosessilohkojen 8.1 ja 8.2 kokonaisuuksien uusintavaihtoehdot on käsitelty projektin ohjausryhmässä esisuunnittelun kaaviokohdan 9.1 esityksenä. Tutkimustyöntekijä on esittänyt uudistamisen vaihtoehdot ja vaikutukset ottamatta kantaa teknologian valintaan. Ohjausryhmä huomioi kunnossapidon näkökulman ja IE-ratkaisu viedään myös tutkimustyöntekijää osallistavaan toimintatestaukseen.

Tutkimuksessa tuotettiin työnkulkukaavion prosessilohkon 8.2 esitykseen vaihtoehdoisen IE-kokonaisjärjestelmän toteutuksen uudet järjestelmäkaavioiden tyyppiirustukset (liitteet 1, 2 ja 6) ensi sijassa laitoksen spesifikaatioita ja tulevia muita IE-pohjaisia hankkeita palvellen. Liitekuvassa 6 esitetään MCC-

keskuksen sisäisen kojeiston Profinet-kaapeloinnin perusmäärittely, jossa kojeistoryhmien ja kojeiden välikaapeleille on suunniteltu M12-liittimet sekä suoja-vaipan 360° maadoittaminen. Suunnitelma on laitoksen ja Profinet-spesifikaation mukainen. MCC-keskuksessa väylä- ja verkkotopologiat poikkeavat toisistaan, erillisverkkokytkimet ovat OLM-yksiköt korvaavina kytkentäkeskuksina ja tiedonsiirron kaapelityypit muuttuvat Profinet-kaapeleiksi. Keskuksen M12-väli liittimillä pyritään hallitsemaan keskustoimitusten kytkentäkoonpanojen ja kunnossapidon muuttuviin tarpeisiin, joiden tarve säilyy tiedonsiirtoratkaisusta huolimatta. Ylimääräiset kaapeliliitokset muodostavat tiedonsiirtotien mahdollisia epäjatkuvuuskohtia. Väliiitin-hankkeet ja asennustyöt kasvattavat myös kustannuksia. [1; 5.]

Tilaaajan ohjauksesta ja osin suunnitteluvaiheessa olevien vaihtoehtojen takia tyyppikuvista puuttuvat järjestelmä-, laite- ja oheis-komponenttityypit sekä tunnukset. Lisäksi puuttuvia tietoja ovat kaikki toimintatestauksessa käytettävät automaatiojärjestelmäsovellukset sekä sovelluspiirit. Liitekuvien 2 ja 4, IO-Device niminä käytettävien laitetyyppien lyhennyksistä voi saada käsityksen kohteen moottorihjauskeskuksissa käytettävistä yleisistä kojeistoista. Kojeistoryhminä toimivat niin ikään yleiset LV-MCC-keskusryhmäjaot, kuten 10 kV keskijännitekojeistot ja 690V:n, 400V:n sekä 230V:n kojeistoryhmät.

IOC-ohjaimina on käytetty ICS-tunnusta käyttöautomaatiossa yleisesti käytettyjen PLC-, DCS- tai PCS-tunnusten sijasta. ICS-tunnus korostaa teollisuus-Ethernet-liityntäisen ohjaimen kyberturvallisuuden merkitystä. Tunnuksena olisi perusteltua käyttää myös IOC-tunnusta. Spesifikaatioiden tyyppikuvien pyrkimyksenä on kuvata vähemmän IE-tekniikkaa rajoittavia ratkaisuja, jota Profinet-IOC-tunnus edustaa.

### 3.2 Tutkimuksen työnkulun selvitykset

Tässä kappaleessa esitetään niitä hankesuunnittelun teknisten selvitysten pohjaisia hanke-esityksen perusteita, joihin tutkimustyö osaltaan keskittyi.

### 3.2.1 Kokonaisjärjestelmän verkkotopologia ja kahdennukset

Tiedonsiirtoteiden verkkotopologiaa ja redundanttisuuden kokonaisuutta on vaikea erottaa toisistaan. Moottorihjauskeskuksen väylä- ja verkkotopologiaa sekä siihen liittyviä fyysisen- ja siirtoyhteyskerroksen kahdennuksia tarkastellaan yhdessä.

Verkkotopologian suunnittelua on toteutettu vertailevalla tutkimuksella väylätoteutukseen nähden. Tiedonsiirtoteiden toimintavarmuuden selvittämisessä on hyödynnetty informaatioteknologiassa käytettyä ja todennäköisyyslaskelmiin pohjautuvaa saatavuusanalyysiä. Redundanttisten rakenteiden samanaikaiset vikaantumistodennäköisyydet ovat epätodennäköisiä ja niiden matemaattinen mallintaminen tuottaa järjestelmäkokonaisuudessa vain pieniä eroja. [90, s. 98–100; 91; 93.]

Kuvan 31 MCC-keskuksen väyläratkaisun, sekä liitteen 4 MCC-järjestelmän IE-ratkaisun tiedonsiirron saatavuuden vertailulaskelmat on esitetty liitteessä 13. Tarkastelussa on käytetty redundanttisen ohjausjärjestelmän ja tiedonsiirtoverkon kahden tiedonsiirtoreitin toimintaskenaariota, jossa tiedonsiirron reitti muuttuu järjestelmäviasta johtuvan ohjaimen puolenvaihdon jälkeen. Tiedonsiirron reititystä kuvataan taulukossa 3. Kaavoilla 3–5 toteutetut saatavuuslaskelmat eivät huomioi liitteeseen 4 myöhemmin piirrettyjen korjausten (punakynä) vaan kahden kojeistoryhmän toteumaa. Kojestoryhmien rinkitopologia voi rakentua toteutussuunnittelussa mahdollisesti myös yhtenä, kaksi erilliskytkintä mukaan ottavana kahden kojeistoryhmän rinkinä. Lähtökohtana tutkimuksessa on ollut MCC-verkon kytkentäkeskusliitynnän vastaavuus yhden OLM-väyläsegmentin liityntänä, kojeistoryhmän verkkoringin- ja väylätopologian eroavaisuuksin.

Taulukko 3. Kahdennetut tiedonsiirtoreitit.

Reitti 1	Reitti 2
Primary-ohjain	Backup-ohjain
P-muunnin	B-muunnin
MCC 1. muunnin	MCC x. muunnin
Laitesolmut järjestyksessä 1. lähtien	Laitesolmujen kytkentäjärjestys päinvastainen
MCC 2. muunnin	MCC y. muunnin
Jne.	Jne.

Kaavalla 3 esitetään yksinkertainen laskelma, jossa ensisijaisella tiedonsiirtoreitillä on laitesolmujen välillä kolme linkkiä,  $N=3$ . Laitteiden toiminnallisuuden vertailuarvona käytetään 98 %. Jos linkkien vikaantumiset tapahtuvat toisistaan riippumatta, on todennäköisyys sille, että kaikki linkit ovat toiminnassa, laskettavissa sarjamuotoisesti seuraavasti (saatavuus). [90, s. 98.]

$$A_3 = A^3 = 0,98^3 = 0,9412. \quad (3)$$

Toissijaisella reitillä olevan neljän linkin kautta yhteyden saatavuus on kaavan 3 mukaan  $A_4=0,9224$ .

Todennäköisyys  $p$  sille, että nämä kahdennetut tiedonsiirtoreitit ovat epäkunnossa samaan aikaan on laskettavissa kaavan 4 mukaan.

$$p = (1 - A^3) \times (1 - A^4) = 0,0588 \times 0,0776 = 0,00456. \quad (4)$$

Yhteyden saatavuus ja tiedonsiirron toimintavarmuus laitesolmujen välillä rinnankytkennän ratkaisussa on laskettavissa kaavalla 5.

$$A_{\text{rinnan}} = 1 - p = 0,99798 = 99,54 \% \quad (5)$$

Kaavan 3 ja 5 tuloksia vertaamalla voidaan kahdennuksen ja reittien määrän todeta parantavan tiedonsiirron saatavuutta ja käytettävyyttä.

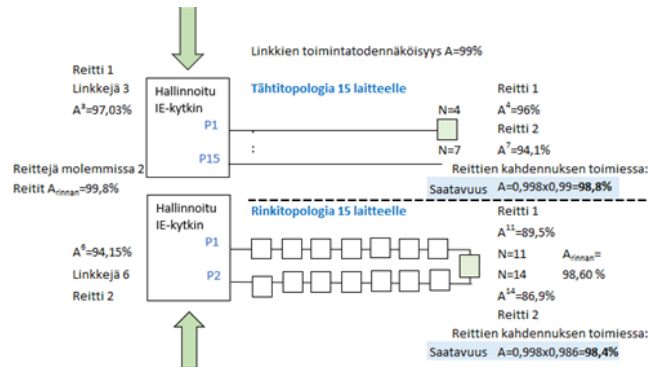


Esimerkin laskelmin voidaan todeta rinnankytketyissä järjestelmissä kahden samanaikaisen vian todennäköisyyden olevan vain 0,46 % (kaava 4). Redundanttisten rakenteiden samanaikaiset vikaantumistodennäköisyydet ovat epätodennäköisiä ja järjestelmäkokonaisuudessa niiden matemaattinen mallintaminen tuottaa pieniä eroja. [91.]

Kuitusiirtoteiden yhteyden saatavuus voi käytännössä riippua myös siitä, miten häntä- ja runkokuitureititys on toteutettu. Jos maankaivuu pienellä alalla katkaisee ringin ohjaimen ja laitekentän väliltä täysin, toteutus ei ole toimintavarmuuden tavoitteessa tarkoituksenmukainen. Rinkitopologian tulisi tarjota eri yhteysreittien kautta tavoiteltua toimintavarmuutta. Järjestelmä-, laite- tai komponentti-valmistajien tuotteilleen antama vikojen esiintymistiheys, esimerkiksi vuosina ilmoitettuna, nähdään usein optimaalisesti annettuna aikavälinä eri käyttöympäristöissä. Topologia vertailuun riittävänä keskimääräisen toimintavarmuutena on tässä vertailututkimuksessa käytetty melko alhaistakin odotusarvoa 99 %

Liitteen 13 laskelmien mukaan, ohjaimen-, sekä rinkitopologian redundanttiset toteutukset tuottavat hyvän toimintavarmuuden odotuksen. MCC-kojeistojen laitesolmujen populaatiossa ei liitântätopologialla saada laskelmissa isoja eroja väylä-, rinki- tai tähtikytkentäisinä. MCC-kojeistojen tähtikytkentä tarjoaa parhaimman ja yhdenmukaisen toimintavarmuuden kojeistoryhmän yksittäisten laitteiden liitântänä. Tähtikytkentä tarjoaa myös vapaaksi jäävän portin IE- laitteelle esimerkiksi kunnossapidon tarpeisiin, mutta haittana on tarve suuremmasta määrästä RJ45-laiteliityntäportteja ja MCC-kojeiston erilliskytkimien määrä kasvaa. Liityntäkeskusten lukumäärä laskee myös järjestelmän kokonaiskäytettävyyttä ja nostaa investointi- sekä kunnossapitokustannuksia, verrattuna nykyisen OLM-muunninten lukumäärään. Liitteen 13 tarkastelun perusteella tähtikytkennän etu on +0,58 % rinkitopologian toimintavarmuuteen verraten. Kahden solmun liityntäpisteen tarkastelussa rinkitopologia tarjoaa +1,41 % toimintavarmuuden edun väylätopologian toteutukseen nähden.

Kuva 36 esittää kuidun mediaredundanttisella tiedonsiirtotiellä toimintavarmuuden laskennallista eroa kojeiden tähti- ja rinkikytkenän välillä kohdennettuna yhdelle laitesolmulle.



Kuva 36. Tähti- ja rinnankytketyn topologian vertailulaskelma tiedonsiirron saatavuudelle (kaavat 3–5).

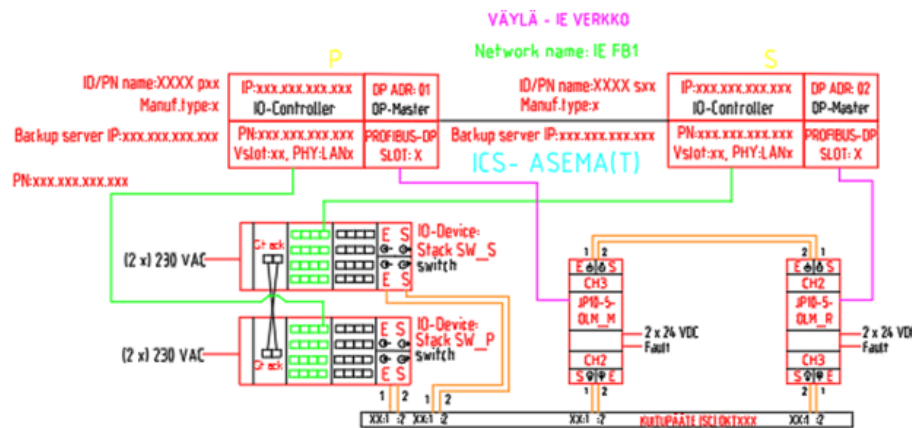
Tähtikytkenässä ei ole laskennallista eroa kojeistosolmujen tiedonsaatavuudessa. Rinkitopologiassa solmujen lukumäärä lasketaan kytkentäkeskuksen laitesolmun liityntäpisteille asti erikseen. Kuvan 36 laskelman esimerkissä havaitaan tiedonsiirron toimintavarmuuden laskevan 6,3 % tarkasteltavalle laitteelle kojeistoringin katketessa (Solmut=>N=8, jolloin  $A=0,923 \times 0,998=0,921-0,984=-0,063$ ). Ringin korjauksen odotus- ja korjausaika voi olla pidempi tähtikytkenään verrattuna. Profinet-rinkitopologian hyödyntäminen tarjoaa paremman tiedonsiirron saatavuuden nykyiseen väylätopologiaan verrattuna.

Kytettyjen laitteiden siirtotien syvyyden (Line-depth) tarkastelussa, kytkinten (erilliskytkimet + laitekytkimet) huomioidaan olevan tallenna-lähetä (RT) tyyppiä. Liitteen 4 suunnitelmassa saadaan 28 liittäjälle välitysviiveeksi 4 ms. [25, s.114.]

Tutkimuksen kohdissa 2.5.3 ja 2.5.5 esitetysti, Simocode- ja ET200SP-kojeet tukevat Profinet RT-tiedonsiirron mediaredundanttista (MRP) kahdennusta sekä tällä hetkellä laajemmin saatavilla olevaa S2-järjestelmäredundanttista ratkaisua. Molemmat toiminnalliset kahdennukset laitteissa ja järjestelmissä ovat

laitoksen Profinet-tekniikan käyttöön saattamisen vaatimus. ET200SP-Etä-I/O:n liittäminen erilliskyttimeen on suunniteltu tähtikytkentään. Etä-I/O sijaitsee MCC-kojeistossa erilliskyttimeiden yhteydessä (liite 6). [1; 2.]

Järjestelmätoimittajan taholta selvitettiin mahdollisuutta yhdistää Profibus- ja Profinet-verkot samaan kahdennettuun ohjaimiin. Tämä on kuvattu työnkulukaavion prosessissa 6 (kuva 34). Toisen toimittajan väylä- ja verkkoliitynnät rakentuvat ohjaimen eri CPU- kortteille, joita on mahdollista hyödyntää järjestelmäsovelluksessa. Kuva 37 esittää tutkimuksessa selvitettyä hybridimallia.



Kuva 37. Kahdennetun ohjaimen kojeistokentän hybridiliitännäinen malli.

Kuvassa 37 osaa liitteiden tyyppiirustusten tunnuksia vastaavasti ohjaintunnuksina on P (Primary ohjain) ja S (Secondary ohjain). Osassa liitekuvia on käytetty Profinet-tekniikan standardin mukaista B (Backup-ohjain) -tunnusta, S-tunnuksen sijaan. Pää- ja varaohjaintunnuksia vaihtelevat myös järjestelmätoimittajien dokumentaatioiden välillä. Uusien IE-verkotettujen järjestelmäratkaisujen nimitykset ja laitetunnukset tulee määrittää laitoksen täydennettyihin spesifikaatioihin. [1; 2.]

Kahdennusten toimintatarkastukset ovat monitahoisia eri vikatilanteiden simuloinnissa, etenkin useammilla kenttäliitynnöillä varustettujen ohjainten puolenvaihtojen testaamisessa. Puolenvaihdossa syntyy tiedonsiirtoon muutoksia, jotka yleensä aiheuttavat eri pituisia tiedonsiirron katkoksia. Katkoksilla on vaihtelevia

seuraamuksia prosessin ja operoinnin toimintaan. Kahdennusten perusmäärittelyä laitoksella on, että kokonaisjärjestelmän tulee säilyttää normaalin toiminnallisuuden yhdestä viasta ohjaimessa tai ohjaavan aseman ja siihen liitetyn kentän laitteiston välisen kommunikoinnin eri syistä johtuvista katkoista huolimatta. Kahden eri sarjamuotoisen väylätiedonsiirron kahdennettua ohjainväyläratkaisua on kuitenkin laitoksella käytössä. DCS-toimittajien omat Ethernet-liityntäprotokollapohjaiset (Proprietary protocol) järjestelmä-I/O:t voivat yleisesti olla kytettyinä samoille ohjaimille yleisten protokollien (Common protocol) rinnalla. Tässä tutkimuksessa ei selvitetty tarkemmin tämän MCC-kojeistousinnan toteutukseen yhteydessä eri logiikkapohjaisten ohjaimien tiedonsiirtoprotokolliin liitettävien CPU-kahdennusten vaihtoehtoja. [1; 2; 23; 30, s.18.]

Suorien moottorilähtöjen osalta ohjaimen puolenvaihtojen ajallisen toiminnan tarkastelun kriittisyyttä lieventää hieman järjestelmäväylään liitettyjen moottorilähtöjen turvatoimintotilan asetus, joka säilyttää moottorilähdön viimeisen ohjaustilan [1; 2].

### 3.2.2 Profinet-laitteet (IOD)

Tapaustutkimuksen Simocode (SC) -PN-moottorilähtöjen kojeistouudistukset on mahdollista toteuttaa nykyiseen kennokeskukseen. Asia on selvitetty kuvan 34 työkulkukaavion prosessikohdassa 5. Yksi taajuusmuuttajan ohituskäytön ohjaus pois lukien moottorilähtöjen käynnistystapana on suora käynnistys (DOL), ja kuormat ovat pääasiassa puhallinten- ja pumppujen käytöissä. SC-PN-pääyksikön toiminnallisuus, IO-liitynnät, lisämoduulit ja parametrit eivät juurikaan eroa SC-DP- ja -PN-yksikköjen välillä. SC-yksikön fyysinen väyläliitäntä (D9-RS485) muuttuu IE-verkkoliittimiksi (RJ45). SC-PN-laitteelle on tutkimuksessa laadittu syklisen kommunikoinnin lähetyksen- ja vastaanottoimilohkojen kuvaukset (liite 7 ja 10). SC-PN-malleissa tiedonsiirtoon ovat tarjolla myös verkkopalvelin (TCP/IP) ja OPC UA-palvelin. Liitteet 7–10 kuvaavat SC-PN-laitteelle tutkimuksessa projektin tueksi laadittuja uusia tyyppipiirustuksia ja määrittelyjä.

Etä- I/O Profinet-laitteeksi käy tutkimuksen mukaan esimerkiksi aiemmin esitelty Siemens ET200 SP HF-malli. Valittavassa hallinnoitavassa Profinet-RT- verkon erilliskytkimessä tulee olla vapaat liitäntäportit tähtikytkentäiselle Etä- I/O:ille, joka sisältää pääosin DI-tuloja järjestelmään vietävien MCC-keskuksen yleishälytysten tarpeisiin.

Profinet-verkon hallinnoitavien erilliskytkimien tulee tarjota kojeistoryhmässä tarvittavat laiteliitännät suunnitelman mukaisesti tähti- ja rinkitopologioihin. Erilliskytkimien tulee myös olla IOD-ominaisuuksiltaan RT-luokan CC-B, sekä S2- ja MRP (Master/Client) -toiminnallisuuden vaatimukset täyttävä. Liitteissä 1–4 on kuvattu MCC-kojeiston verkkoon tutkimuksessa suunnitellut erilliskytkimet, joissa on kaksi kuituverkkokanavaa ST-liitynnöillä ja vähintään viisi RJ45-liityntää Profinet-laitteille. Tutkimuksessa on keskuksen puolelle sijoitettavina tutkittu Siemens Scalance X200 -sarjan malleja. Toteutussuunnittelussa erilliskytkinten lukumäärä ja kojeiston verkottamistopologia saattavat hieman muuttua valittavista erilliskytkimistä ja spesifikaation täsmennyksistä johtuen. Ohjaimien P- ja B-kytkimet kuuluvat useimmiten ohjausjärjestelmän toimitukseen ja niillä tulee olla vähintään samat toiminnallisuuden vaatimukset, kuin Profinet MCC-laiteverkon erilliskytkimillä. Tutkimuksessa perehdyttiin hieman tarkemmin Cisco Catalyst 9200-sarjan 'stack'-kahdennettuihin kytkimiin. Järjestelmäkytkin piirustukset pohjautuvat niihin (liitteet 1–4).

### 3.2.3 Protokollamuuntimien käyttö Profinet-suunnitteluratkaisussa

Työnkulkukaavion (kuva 34) prosessikohdan 7 vaihtoehtona on selvitetty MCC-keskuksen DP-väylän kojeistojen, etupäässä kennoterminaalien, liittämistä protokollamuuntimin IE-kojeosuudelle hankittavalle kahdennetulle ohjaimelle. Tutkimustyössä tarkasteltavina muuntimina esitellään Siemens IE/PB Link, Softing pnGate DP ja Anybus ABC3013 Communicator. [94; 95; 96.]

Tuloksina selvisi, että Siemens IE/PB Link-tuote tukee suunnitelman vaatimuksessa olevaa MRP-protokollaa, mutta S2-järjestelmäredundanssia vain Siemens ohjainyksiköiden kanssa [94].

Softing pnGATE DP:n PN-yhdyskäytävän mahdollisen käyttämisen esteenä ovat kennoterminaaleissa tällä hetkellä käytössä olevien SPA-bus- (RS232) ja GOOSE-protokolliin jo tehdyt Profibus DP -väylän muunninratkaisut. Järjestelmän ja kojeistokentän yhteistoiminnallisuuden vaatimuksena on, että erilaisia muuntimia ei tule ketjuttaa. Laitoksella on todettu, että yhdyskäytävä voi olla tiedonsiirtotien toiminnan heikoin lenkki. [1; 2; 4; 5; 95.]

Tutkimustyössä löytyi toimintatestaukseen mahdollisesti mukaan otettava HMS Anybus ABC3013 Communicator, jolla saadaan erilaisia fyysisen tason RS-232/485-liityntäisiä ja erilaisia sarjaliikenne protokollia linkitettyä visuaalisen IO-data map-työkalun kautta IOD-laitteeksi. Tuote on spesifioitu verkkokuorman III-laitteena, 1024 tavun datansiirtokapasiteetilla, sekä Profinet-RT-luokan 1 ms:n päivitysajan ratkaisuihin soveltuvana laitteena. [1; 2; 96.]

### 3.2.4 Profinet-komponentit

Profinet-kuparikaapelityyppinä on perusteltua käyttää liitekuviin 2 ja 4 kirjattua Profinet-kaapelityyppiä B, laitoksella vaadituin materiaaliluokituksin. Metallisina PN-RJ45- ja M12-kaapeliliittiminä voidaan käyttää Industrial-Ethernet (IE) Fast-Connect (FC) tuotteita vaadituin IP-suojausluokin. [1; 2; 5.]

Liitteen 6 piirustuksen mukaan PN-kaapelivaipat maadoitetaan laiteliityntöjen tulo- ja lähtöpuolilla. PN-kaapelivedot tulee erottaa muista häiriölähteinä toimivista kaapelikategorioista kaapelihyllyillä sekä keskuksen sisällä vahvavirtakaapeleista ja -kojeista PI-suosituksen mukaisin ilmaväleihin. [23; 58, s.18–21.]

Liitteessä 5 esitetään uusi suunnittelukuva toteutussuunnittelussa huomioitava lisävarauksena valokuituyhteyksille muuntamon moottorihjauskeskuksen kojeistotilan ja automaation kytkentätilan välille.

PN-kaapelien pituudet laitteiden välillä eivät saa ylittää 100 m (Type A) ja 85 m (Type B). Liitekuviin 2 ja 4 tutkimussuosituksena on kaapelin maksimipituus laitteiden välillä 70 m. Suosituksen perusteina ovat 100Base-TX-tiedonsiirron

4B5B (4bit + 1bit=5 bit) -koodaus bittivirran erottelukyvyn parantamiseksi. Fyysisen tiedonsiirtotason MLT-3-linjakoodattu signaali viivästyy (jitter) ja vaimenee nopeasti siirtotien maksimi pituutta lähestyessä. Kaikki Profinet-kaapelit tulevat käyttöönotossa olla toimiviksi mitattuja. [1; 2; 23.]

Keskuksen PN-kytkimien ST-liittimiltä lähtevinä ja OKT-kuitupäätteeseen tulevina häntäkuituina käytetään runkokuitua vastaavaa kuitukaapelikategoriaa vaimennuskohtien välttämiseksi. 100Base-FX-monimuotokuituina OM2- tai OM3, sekä yksimuotokuiduissa kategoria-OS2. Profibus DP-ratkaisussa käytetyt kuitukaapelit soveltuvat Profinet-ratkaisun kuduiksi ST- ja SC-liittimiseen, mikäli ne ovat uudelleenkäyttöönnotossa toimiviksi mitattuja.

Liitekuviin 2 ja 4 on karkealla tasolla suunniteltu sekä liitteessä 12 esitetty TAP (Test Access Point) -Profinet-liitäntä. Liitäntämoduuli tulee määrittää toteutussuunnittelussa tarkemmin sekä laatia kunnossapidolle toimivaan verkkoon liittymisen ja niistä suoritettavien mittauksien tutkimusliitettä 11 täydentäen.

### 3.2.5 Profinet-järjestelmänhallinnan työvälineet

OT-verkossa hyödynnetään ensi sijassa automaatiojärjestelmän käyttösovelluksia ja DMZ-vyöhykkeille sijoitetaan laitoksen standardeissa, sekä projekteissa erikseen määriteltävät siirtomedian- ja verkon-, sekä niihin liitettyjen prosessilaitteiden hallinnan työvälineet. Etäyhteydet alustoihin ovat autentikoituja, salattuja ja valvottuja ja ne rajoittuvat DMZ-alustoille kappaleessa 2.3.15 läpikäydysti. Automaatiojärjestelmään liitetyn IOS-, tai muiden järjestelmäliityntäisten sovellusten riittävyttä tarkastellaan Profinet-verkon kyberturvallisuuden, toimintavarmuuden ylläpitämisen sekä kunnossapidon tarpeiden kannalta toteutussuunnittelussa tarkemmin. DMZ-rajapinnan OT-sovellusten tarpeita on esitetty yleisesti liitekuviissa 2 ja 4. [1; 2; 3; 67.]

Profinet-verkkoon liitettävien laitteiden laitekuvaustiedostojen (GSD, DTM, EDD, FDI) ja laitteiden mahdollisten laiteohjelmisto-päivitystarpeiden eheys tulee varmentaa keskitetysti ja niiden toimitusketjujen tulee myös olla varmennettu ja

autentikoituja. Profinet-verkon monitorointiin tulee olla tarvittavat liittynät ja välineet järjestelmäverkon fyysisellä ja OT-verkon 0–3-tasoilla.

Liitteiden 2 ja 4 tyyppiinrakennuksiin on sisällytetty IE-ratkaisujen vaatimuksissa huomioitavia uusia liittynöjä (passiivinen tai aktiivinen TAP) sekä kunnossapidon laitehallinnan ja kyberturvallisuuden ylläpitoon tarkoitettuja sovelluksia (DMZ). Vaatimusmäärittelyihin tulee kirjata, että käyttöönotossa ja verkon testauksessa on varmennettava testausta ja toiminnan tarkastusta toteuttavien tahojen ammattitaito sekä käytettyjen välineiden IE-verkkoon liitettävyyden. IE-verkon ja siihen liitettyjen kojeiden hallinta sekä niiden käyttöön kouluttaminen ovat elinkaaren hallinnan vaatimuksia uuden IE-teknologian käyttöön saattamisessa.

### 3.2.6 Profinet-piirisovellukset

Moottorihjauksiin tarvittavat järjestelmäsovelluksen mallipiirit muokataan olemassa olevien Profibus DP-piirien pohjalta Profinet-järjestelmässä käytössä olevien FBD-sovelluspiirien pohjalta. Malli- ja operointipiirit ovat laitoksella määriteltäviä järjestelmäsovelluksia. Lukitukset, turvatoiminnot, järjestelmä- ja laitehälytykset määritellään myös laitoksen vaatimusmäärittelyjen pohjalta. Toimintatarkastukseen hankitun Profinet-järjestelmäsovelluksen kommunikoinnin ja laitteiden parametrit määritellään tarkemmin toimintatarkastuksen ja toteutussuunnittelun vaiheissa. Liitteissä 1, 2, 7 ja 10 esitetään osia järjestelmän käyttöönottoon ja laiteparametointiin vaadittavista tietosisällöistä. [1; 2; 3; 5.]

### 3.2.7 Tuotetut laitoksen spesifikaatioiden täydennykset

Liitteeseen 12 on kirjattu laitoksen sähköpuolen spesifikaatioon vaadittavat keskeiset tekniset asiat Profinet-liitännäisen LV-MCC-toteutussovelluksen vaatimusmäärittelyistä, joihin kuuluvat osana tutkimuksessa laaditut uudet tyyppiinrakennukset (1, 2 ja 6) sekä alustava toimintatarkastusohje (liite 11). Tutkimuksessa on tuotettu vaatimusmäärittelyjen lähtötieto laitoksen automaation teknisiin spesifikaatioihin. [2.]



MCC-moottoriohjauskeskuksen suunnittelua sekä asennuksia ohjaavissa viranomaisten antamina vaatimuksina on huomioitava kappaleen 2.5.6 mukaisesti tutkimuksessa uutena selvitetty EU:n ekosuunnitteludirektiiviä EU 548/ 2014 Tier 2 (2021) täydentävä ekosuunnitteludirektiivi EU 1781/2019. Moottoriohjauskeskuksen järjestelmärakenteiden ja niihin liittyvien laitteiden spesifikaatiota tulee täydentää, vaikka tähän esisuunnittelua osaltaan käsittelevään tutkimukseen ei sisälly moottorien uusintoja. Muina MCC-moottoriohjauskeskuksen suunnittelua, sekä asennuksia ohjaavina spesifikaatiotäydennyksinä voi olla hyvä huomioida myös PI-organisaation julkaisemat Profinet-spesifikaatiot. [1; 87; 88; 89.]

### 3.2.8 Tutkimuksen ohjeisto toimintatutkimukselle

Toimintatutkimus seuraa kuvan 35 työkulkukaavion testaussarakkeen pääkoh-  
tia tehtävissä ja toimittajan tukipalveluissa. Liitteeseen 11 on koottu keskeisim-  
piä testausmenettelyjä, joita redundanttisen Profinet-ratkaisun toiminnallisuuden  
varmentaminen edellyttää. Testaamisen ohjeistus täydentyy toimintatesteissä ja  
toteutussuunnittelussa. [1; 2; 5.]

## 3.3 Väylistä verkotetun omaisuuden elinkaarenhallintaan

Laitoksella on käytössä väyläanalysointilaitteita Profibus DP-ohjausväylien testaa-  
miseen, vianhakuun sekä toiminnan tason selvittämiseen, joiden parissa tutki-  
muksen tekijä on aikanaan toteuttanut palvelutoimintaa useilla teollisuuden alan  
laitoksilla. Myös kuitutestaukseen laitoksella on käytettävissä tehomittapari. Op-  
tisen reflektometrin (OTDR) hankkimista on perusteltua harkita kuitusiirtoteiden  
määrän edelleen lisääntyessä. Keskuskojeita on mahdollista testata ja niiden  
hallintaa harjoitella automaatio- ja sähköjärjestelmät testausympäristössä, jossa  
on moottoriohjauskeskuksen kojeistoa, sekä verkotettuja automaatiojärjestelmiä  
kunnossapidon ja operoinnin sovelluksineen. Moottorilähtöjen kojeistoille ei ole  
käytössä verkotettuja kunnossapidon työvälineitä. Kojien käyttö- ja

kunnossapitotoimia toteutetaan eri kojeistoille liitettävillä työvälineillä moottori-keskuksilla paikallisesti.

Tämän tutkimustyön avustamana esisuunnittelussa laaditaan hanke-esitys tarvittavasta toimintatestausympäristön työvälineistä. Testauksien ja toteutussuunnittelun ajalla tarkennetaan tarvittavia kunnossapidon välineitä koulutuksineen, ja tietoa viedään alan koulutuskokonaisuuksien ohjelmaan. Tutkimuksen toimintatestauksen ohjeisto palvelee osaltaan kunnossapidon ja laitoksen ammattialan koulutusta. Laitteistoista Profinet-hallittavien kytkimien, sekä SC-PN-kojeiden koulutukset sisältyvät projektisuunnitteluun. Tutkimuksen tekijä vastaa laitoksella osaltaan myös automaation kunnossapidon koulutuskokonaisuuksien ohjelmista ja IE-teknologia tullaan liittämään osana koulutuksiin. Tutkimustuloksina DMZ-alueelle verkotettavien sekä Profinet-verkkoon kytkettävien työvälineiden osalta käydään tarkempia keskusteluja ja hankesuunnitelmia toimintatestauksen sekä toteutussuunnittelun aikana IT-tahoa osallistaen.

### 3.4 Käyttöön jäävä Profibus DP-osuus

Uudistamisen ulkopuolelle jäävät tässä vaiheessa uudistushankkeen LV-MCC-keskuskaapiston ulkopuolella sijaitsevat ja tähän Profibus DP-väylän kojeistoon kuuluvat taajuusmuuttajat (kuva 35). ACS-880-taajuusmuuttajaan voidaan vaihtaa FENA/FPNO-21-liityntämoduuli, jossa ovat kaikki vaadittavat ja edellä luetellut Profinet-kahdennusten sekä kommunikointiprotokollien toiminnot. [97.]

Kuvassa 35 näkyvä yksittäinen SC-väyläkoje on keskuksen väyläliitäntäisen taajuusmuuttajan ohituskäyttöön suunniteltu. SC-kojetta ei tässä vaiheessa siirretä taajuusmuuttajan Profibus DP-ohjausjärjestelmästä Profinet-ratkaisun toiseen ohjaimeen. SC-yksikön Profibus DP -versio uusitaan. Toimittajalta saatujen tietojen mukaan uusitun SC-väyläyksikön tuettu elinkaari on ainakin 5 vuotta.

Muissa kuin IE-ratkaisuun uusittavissa SC-ryhmissä sijaitsevat Etä-I/O:t jäävät Profibus DP-väylään ja ne siirretään elinkaari uudistuksessa myöhemmin

Profinet-verkkoon. Moottorikeskuksen sisäisen Profibus DP-väylän rakenne ja järjestelmäkonfiguraatio muutetaan siihen jäljelle jäävien laitteiden mukaiseksi. Käyttöönotto ja toiminnan testaus tulee suorittaa muuttuneelle järjestelmälle normaalisti. [1; 2; 3.]

## **4 Tulokset ja tulosten tarkastelu**

### **4.1 Sähköspesifikaation uuden IE-toteutustavan vaatimukset**

Laitevalmistajien väyläliityntätuotteiden elinkaari muodostaa uuden IE-toteutustavan suunnittelutarpeen. Sähkö- ja automaation ammattialan toimintojen asiantuntijat tahoilla läpikäytyjen keskustelujen sekä MCC-kojeistojen elinkaariuudistamisen tarveselvitysten perusteella sähköpuolen yleisspesifikaatiota täydentävän IE-tekniikan valinta suuntasi Profinet-tekniikkaan.

Simocode DP -väyläliitännäiset moottoriohjaimet edustavat laitoksella merkittävää asennuskantaa ja monitoiminnallisten moottoriohjaimien kesken on vähän tuotetarjontaa. SC-DP-tuotetta on pidetty laitoksella kustannustehokkaana sekä toimivana ohjaimena. Esisuunnittelussa laitetoimittajalta saatu tieto esitti SC-DP-tuotteen valmistuksen jatkuvan 5–10 vuotta. Tuotteen elinkaaritieto ohjasi siihen, että suunnitteluun sisällytetään elinkaareissa kestävämpi IE-liitännäisen tuotteen vaihtoehto.

Tutkimuksessa ei nähty tarvetta muuttaa MCC-väyläratkaisun toteutustapaa tiedonsiirtonopeuden, -kapasiteetin ja toimintavarmuuden vuoksi IE-verkotettuun ratkaisuun.

Tutkimuksen tekijän Profinet-tietopohjaa päivitettiin kirjallisuustutkimuksella, sekä kojeisto- ja automaatiojärjestelmätoimittajille suunnatuin kyselyin. Tutkimuksen kirjallisuus- ja tapaustutkimusosiot palvelevat yrityksen ammattialojen yleistä Profinet-tekniikan tietosisällön ja uusien toimintojen kehittämistä.

Yrityksen sisäisiin ohjeistoihin sekä kunnossapitojärjestelmistä saataviin kojeisto- ja automaatiojärjestelmätietoihin tutustuen laadittiin uuden Profinet-tekniikan toteutustavan sisältämä sähköpuolen yleisspesifikaation vaatimuksia täydentävä tutkimusosuus, MCC-keskuksen liittyminen PN-verkkoon. Vaatimusmäärittely pitää sisällään LV-MCC keskuskojeistoon mahdollisesti myöhemmin Profinet-päivittävät IOD-kojeet (liite 12).

Tutkimuksessa on laadittu MCC-kojeiston ja automaation liityntätekniiikan osuuteen spesifikaatiossa vaadittavat PN-järjestelmäverkon- ja MCC-keskuksen sisäisen PN-verkkokaapeloinnin tyyppiinrakennusmallit (liitteet 1, 2, 5 ja 6).

Spesifikaatioiden tyyppiinrakennukset toimivat hankesuunnitteluprojektien suunnittelua ohjaavina malleina. Toteutusprojektien detaljisuunnittelussa päivitettyinä piirustuksina ne palvelevat kunnossapitotoimintoja. Tyyppiinrakennusten laatimisen lähtökohtina toimivat sähköpuolen yleisspesifikaation Profibus DP-väyläratkaisun kojeistoliityntöjen laitoksella toiminnallisuutta tarjonneet rakenteet. Tyyppiinrakennusten laatimista ohjasivat myös LV-MCC kojeistoissa mahdollisten IOD-laitteiden selvitetty ja vaadittu toiminnallisuus (S2, SNMP, LLDP ja MRP, Net Load III) sekä tutkimuksen väylä- ja eri verkkotopologiaa vertailevat tiedonsiirron saatavuuden todennäköisyyslaskelmat (liite 13).

#### 4.2 MCC-kojeistouudistushankkeen laajuus uudella IE-toteutustavalla

Tutkimuksessa huomioidaan esisuunnittelun laajuus SC-moottorilähtöjen ja OLM-muuntimien elinkaariuudistamisessa. SC-väyläohjaimen valmistuksen elinkaaren takia tapaustutkimuksessa kartoitettiin SC-lähtöjen uudistaminen IE-liityntäisinä. Tätä tutkimuksen selvitysprosessia osaltaan yhdessä automaatiojärjestelmä toimittaja tahojen kanssa on kuvattu työnkulkukaaviossa (kuva 34). Tutkimuksessa tehtyjen uuden IE-toteutustavan täydentävän sähköpuolen yleisspesifikaation määrittelyjen pohjalta tuotettiin MCC-kojeiston uudistamishankkeen esisuunnittelua palvelevat dokumentit (liitteet 3 ja 4). Punakynämerkinnät dokumentissa Profinet-järjestelmäverkko 1 (liite 4) ohjaavat esisuunnittelun aikana päätetyn uuden toteutustavan suunnittelua. Punakynät esittävät

MCC-kojeistojen liittämisen kahteen PN-erilliskyttimeen liittyvien SC-ohjaimien ja Etä-I/O:n liitävään kojeistoryhmään. Tutkimuksessa laadittiin SC-moottoriohjaimen toimintatapaan soveltuvat ja PN-liitäntäisestä SC-kojeesta tarvittavat tyyppiipiirustusmallit (liitteet 7–9).

SC-PN-kojeiston sisältämän uudistushankkeen laajuudeksi muodostui esisuunnitteluun tuotetun kuvan 35 mukainen, eriytetyt Profinet- ja Profibus DP-osajärjestelmäkokonaisuudet käsittävä, esitysmalli. Rakennettava uusi IE-järjestelmä ja karsittava vanha DP-väyläjärjestelmä ovat uudistushankkeen laajuuden vaihtoehtona. Vaihtoehdossa myös DP-väyläjärjestelmään jäävät OLM-muuntimet ja taajuusmuuttaja ohituskäytössä oleva SC-koje sisältyvät DP-väyläversioina elinkaariuusittaviin laitteisiin. Lisäksi karsittu MCC-keskuksen väylärakenne on rakennettava uudelleen myös automaatiojärjestelmän väyläkonfiguraation sekä sovelluksen osalta.

Toteutushankkeen toisina vaihtoehtoina ovat uusia kaikki 26 kpl. SC-ohjaimia ja 9 kpl. OLM-muuntimia DP-väyläliitäntäisinä versioina, tai toteuttaa uudistushanke MCC:n ja automaation kokonaisuuden käsittävänä IE-toteutuksena.

Verkkotopologian suunnittelussa huomioitiin eriyttämisen hankkeeseen kohdentummin tiedonsiirron saatavuuden todennäköisyyslaskelmia DP-väylän ja IE-verkon eri kojeiston liityntätopologioiden välillä (liite 13). Vertailussa IE-verkon tähtitopologia tuottaa parhaimman ja yhdenmukaisen kojeiston tiedonsiirtovarmuuden ja helpottaa käyttöä sekä kunnossapitoa, mutta vaatii enemmän PN-verkon kytkentäkeskuksia.

SC-kojeet käsittävien kojeistoryhmien yhdistäminen kahden erilliskyttimeen väliseen MRP-rinkiin tarjoaa parempaa tiedonsiirron toimintavarmuutta kuin OLM-väyläsegmenttiin liitetyissä kojeistoryhmissä. Linjatopologiaan kytketyissä suurissa laitemäärissä muodostuu suurempaa verkon syvyyttä, mikä vaikuttaa sanomien läpimenoaikaan sekä mahdollisesti voi hankaloittaa laitevaihtoja tai verkon kunnossapitoa.

Kosketintuloina MCC-keskuksien hälytystietojen siirtoon käytetyt Profinet-Etä-I/O:t on tutkimuksen selvityksessä suunniteltu liitettävän erilliskytkimien tähtikytkentään, jossa sille on myös mahdollista liittää S2-relaatiot.

Tutkimuksessa laadittiin myös Simocode PRO V PN (DOL)- kommunikointilohko määrittelyt (liite 9), jossa lähtökohtana IOD- ja IOC-välisessä uudessa määrittelyssä toimi määritellyt Profibus-R/W-kommunikointilohko tarpeet. SC-kojeen laitespesifinen diagnostiikkasisältö ei juurikaan poikkea DP-väylä ja PN-verkkoliitännässä.

### 4.3 MCC-yksikköjen elinkaarta sekä kunnossapitoa huomioiva hanke

Muiden MCC-kojeistojen ja automaation uudistaminen ei kuulunut projektin lähtökohtaiseen laajuuteen. Uudistaminen on kuitenkin ajankohtainen jo viiden vuoden kuluttua, ja tutkimushankkeessa on huomioitu vaihtoehto liittää koko MCC-kojeisto uuden IE-toteutustavan järjestelmäratkaisuun. Vaihtoehdossa läpikäytiin MCC-kojeistojen Profinet-liityntävaihtoehdot, sekä niiden toiminnallisuutta selvitettiin. MCC-järjestelmäkokonaisuus on mahdollista toteuttaa IE-toteutustavalla.

Profinet-verkotettu toteutustapa edellyttää enemmän suunnittelusta alkavaa huomiota IT-OT-toimintojen ohjeistamiin kyberturvallisuuden hallinnan toimiin. Vaatimukset tulee toteuttaa, mutta ne eivät voi myöskään poissulkea kunnossapidon mahdollisuutta toteuttaa tehtäviään ja kehittää myös toimintoja.

Yleisspesifikaation uusiin tyyppiinrakennuksiin (liite 2 ja 4) laadittiin uusina vaatimuksina automaatioverkon tasolle liitettävät DMZ-palvelimet. Palvelimet sijaitsevat tietoverkkotasolla 3.5 ja ne ovat palomuureilla erotettu IT-OT-verkoista. Palvelimiin on liitettävissä toteutussuunnittelun pohjalta määritellyt tietoturvaohjelmistot ja verkonvalvonnan sekä -hallinnan sovellukset. Palvelimiin on sisällytettävissä prosessilaitteiden kunnossapitoa tehostavia hallintasovelluksia, joilla liitytään OT-PN-verkkoon kyberturvallisuutta toteuttavien yhteyskäytännöin.

Tyypipiirustuksiin liitettiin IOC-aseman ja PN-verkon väliin sekä MCC-PN-verkoon passiiviset TAP-liitynnät, joihin on hallitusti mahdollista liittää PN-verkon ja siihen liitettyjen kojeistojen hallintaan tarvittavia välineitä. Tiedonsiirtotien ja siihen liitetyn kojeiston hallintaa tulee voida toteuttaa väylätoteutuksia vastaavasti. IE-verkkosegmenttien fyysisen tason signaloinnin mittaaminen ei onnistu yhtä selkeästi kuin DP-väyläsegmenttien. Käytännössä IE-segmentti on kahden liittymän välinen Ethernet-kuparikaapeli, johon liittyminen joka osuudella ei toteudu helposti. TAP-liityntä ei myöskään tarjoa yleisesti suoraan galvaanisesti IE-segmenttiin kytkeytyvää liityntää, eikä liityntöjä voida sijoittaa jokaisen IE-kuparikaapelin yhteyteen. Myös TAP-liityntäväline tarjoaa enemmänkin IE-sanomakehysten seurantamahdollisuuden tarvittavilla erilaisilla välineillä sekä mahdollisen PN-verkon ja siihen liitettyjen kojeistojen käyttöönoton ja hallinnan liitynnän.

PN-verkon erilliskytkimiin on mahdollista konfiguroida myös verkonvalvontaan (port-mirroring) käytettävä Ethernet-liityntäportti. Menettely edellyttää kytkinten lisämäärittelyä ja hallintaa, eikä tarjoa luotettavaa verkkoliikenteenseurannan toimintoa esimerkiksi verkkoruuhkan, kytkimen vian tai energiansyötön katkeamisen tilanteissa. TAP-liityntä on näitten takia port-mirroring-toimintoa toiminnallisempi ratkaisu. Automaatiojärjestelmän IOC- ja IOS-sovelluksista riippumattomat verkon- ja laitehallinnan välineet ovat osaltaan olleet perusteltuja myös väyläratkaisuisissa.

Laitoksen toimintoja suunnittelusta kunnossapitoon palvelen on tutkimuksessa tuotettu perustietoa IE- teknologiasta, jota on ajankohtaista liittää myös laitoksen ammattialakohtaisiin koulutuksiin, joista tutkimuksen tekijä osaltaan vastaa.

#### 4.4 Uuden IE-toteutustavan toimintatestaus- ja toteutussuunnittelu

Tämän tutkimustyön avustamana, laaditaan MCC-uudistushankkeen suunnittelussa hanke-esitys tarvittavasta toimintatestausympäristön Profinet-laitteistosta.

Toimintatestauksen uutta sisältöä ja vaatimuksia on tutkimuksessa avattu liitteessä 11, Profinet-järjestelmän toiminnallisuus tulee varmistaa liitteessä

esitetyn vaatimusmäärittelyn mukaisesti. Moottorilähtöjen ja automaation testausympäristössä hyödynnetään osaltaan kahdennetun Profibus DP -ratkaisun testausmenettelyjä. Ohjeet täydentyvät testaus suunnittelun ja testien ajalla.

Uudistamishankkeen mahdollisessa IE-toteutus suunnittelussa suunnitelmia ja ohjeistoa täydennetään. Uutta huomiota tulee kiinnittää tarvittavaan laitoksen ohjeistukseen käyttöönottojen IE-verkon rakentamisessa, käyttöönoton ja testaamisen kompetenssissa, sekä käyttöönotossa IE-verkkoon liitettävissä työvälineissä.

## 5 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa selvitettiin mitkä ovat tilaajan sähköpuolen yleisspesifikaation täydentävät tekniset vaatimukset moottoriohjauskeskuksen kojeiston ja siihen liittyvän automaation siirtämiseen väyläjärjestelmästä teollisuus-Ethernet-verkotettuun järjestelmään. Tavoitteena oli suunnitella uusi IE-toteutustapa ja löytää ratkaisuja käynnissä olevan MCC-kojeistouudistushankkeen esisuunnittelun ongelmiin.

Spesifikaatiota täydentäväksi IE-tekniikaksi valittiin Profinet (ks. kappale 2.2.2). DP-väyläliitäntäisen Simocode-moottoriohjaimen valmistamisen päättyminen ja laitoksen sähköpuolen asiantuntijoiden näkemykset korvaavasta ohjaimesta sekä esisuunnittelujan tutkimus selvitykset ohjasivat IE-tekniikan valintaa (ks. kappaleet 1.1 ja 2.5.3).

Profinet-tekniikasta on saatavilla paljon ajantasaista ja kehittyvää kirjallisuustietoa vapaasti internet lähteistä. Osaan PI-organisaation materiaaleista pääsee vain jäsenyrityksen tunnuksella. Tutkimuksen sisällön ja tavoitteiden laatimissa hyödynnettiin tutkimuksen tekijän syventäviä PI-organisaation koulutustahon Profinet-insinöörinkoulutusmateriaaleja sekä vapaasti verkkolähteistä saatavia tietoja (ks. kappale 3 johdanto).



Tutkimuksessa selvitettiin ja laadittiin laitoksen sähköpuolen yleisspesifikaatiota täydentävät perussuunnittelun Profinet-osuudet (ks. liitteet 1, 2, 5, 6 ja 12). Tavoitteessa tuottaa spesifikaation määrittelyjä ja tyyppiinirustusmalleja valmistajariippumattomasti onnistuttiin, vaikka tutkimuksen selvitykset painottuivat PLC-ohjaimia enemmän DCS-toteutuksiin (ks. kappale 3.1 ja s. 64). Perussuunnittelun vaatimusmäärittely pitää sisällään nykyisessä LV-MCC-kojeiston asennuskannassa olevat ja mahdollisesti myöhemmin Profinet-liitäntäisiksi päivittyvät kojeet. (ks. kappale 2.5). Määrittelyosuuden ja tyyppiinirustukset sisältävän spesifikaation Profinet-tekniikan täydennys on tilaajalle tarpeellinen ja ajankohtainen (ks. kappaleet 1.1 ja 1.4).

Väylä- ja eri verkkotopologiaa vertailevat tiedonsiirron saatavuuden todennäköisyyslaskelmat (ks. kappale 3.2.1 ja liite 13) palvelevat PN-verkkotopologioiden suunnittelussa. Esisuunnitteluun laaditut verkkotopologiat noudattavat perussuunnittelun vaatimuksia. Kahdennetuissa toteutuksissa todennäköisyyslaskelmat tuottavat vähemmän hyötyä laitoksen kahdennuksen malleissa. Lisäarvona on luotettavuuden parantamisen mahdollisuus, jossa yhden OLM-väyläsegmentin liityntäpisteen Profibus DP-toteutusta muutetaan uudessa IE-toteutuksessa liittämällä kojeistot yhdistävät MRP-rinkitopologiat kahteen erilliskytkimeen (ks. kappale 3.2.1). Toteutus puuttuu vielä tyyppiinirustuksista. Profibus DP-väylätekniikka palvelee kuitenkin edelleen hyvin ja luotettavasti laitoksen MCC-kojeiston ja automaation yhdistävässä tiedonsiirrossa (ks. s. 53).

MCC-kojeistouudistushankkeen esisuunnittelu käynnistyi laitoksella tutkimuksen alkuvaiheilla ja se liitettiin työhön tapaustutkimuksena (ks. kappaleet 2.4 ja 2.5). Tutkimus tuki esisuunnittelun Profinet-toteutukseen laajentunutta sisältöä ja selvitti uuden tekniikan mukaan ottavan järjestelmäkokonaisuuden mahdollisia toteutusmalleja (ks. kuva 34. työnkulkukaavio).

Tutkimuksessa laadittiin esisuunnittelua palvelevat Profinet-osuudet (liitteet 3, 4 ja 7–9). Punakynämerkinnät liitteessä 4 ovat käynnissä olevan suunnittelun muutoksia, joita ajantasaistetaan mahdollisessa IE-toteutussuunnittelussa.

Simocode-ohjaimen Profinet-kommunikointilohkon lisäksi tutkimuksessa olisi voitu esitellä tarkemmin SC-ohjaimen diagnostiikkaa ja I&M-tietoja (ks. kappale 2.3.4). IE-toteutustavan esisuunnittelussa on mukana SC-ohjaimen lisäksi myös Etä-I/O Profinet-laite. Etä-I/O:n valinta on suunnittelussa vielä tarkentamatta. Mahdollisena Etä-I/O-laitteena on tutkimuksessa käsitelty ET200 SP HF -tuotetta (ks. kappale 2.5.5).

Lisäkysymyksenä haettiin ratkaisua, millä järjestelmäkokoontamalla IE-ratkaisu voidaan toteuttaa siihen liittyviä eri kojeistojen ja automaation ohjaimien elinkaari sekä kunnossapito huomioiden.

Esisuunnitteluprojektin kaikkien kojeistojen sekä automaation elinkaariuudistaminen on ajankohtainen viiden vuoden sisällä (ks. kuva 35. 2029 maininta). Tutkimuksessa laadittiin kojeistoille IE-verkotetun ja DP-väylän erottava vaihtoehto sekä osoitettiin mahdollisuus MCC-kokonaisjärjestelmän uudistamiseen. Tyypipiirustuksia ei tuotettu tapaustutkimuksen mahdollisen MCC-kokonaisjärjestelmän IE-uudistuksen laajuudessa, mutta käytännössä perussuunnittelun piirustukset sisältävät kyseisen laajuuden. Tapaustutkimuksessa huomioitiin Profibus DP-väylän SC-kojeiden ja OLM-muuntimien päivittäminen ajallisesti rajatun elinkaarenhallinnan vaihtoehtona.

Kunnossapidon välineitä huomioitiin nostamalla esiin IE-toimintatestausympäristöön tarvittavia laitteistoja ja sisällyttämällä DMZ-alueen verkotetut hallintajärjestelmät spesifikaatioihin (ks. kappaleet 2.3.18 ja 3.3 sekä liite 2). Kunnossapidon työvälineitä ja Profinet-tekniikan kouluttamista käsiteltiin tutkimustuloksissa (ks. kappale 4.3).

Lisäkysymyksenä tutkimuksessa selvitettiin myös, mitä uutta tietoa on tuotettava toimintatestauksen sekä toteutussuunnittelun ohjeistoon.

Tutkimuksen kokonaisuudessa selvitettiin Profinet-liitäntäisen MCC-järjestelmän tekninen vaatimusmäärittely (liite 11), jota kehitetään edelleen testaussuunnitelmassa sekä valittavan järjestelmätoimittajan kanssa testausten ajalla.

Toimittajille sähköpostilla lähetetystä Profinet-teknisistä kysymyksistä saatiin sanallisia vastauksia noin puoleen kysymyksistä (ks. kappale 3 johdanto). Tutkimuskysymysten sisältö suuntasi toimittajakeskeisiin tuotteisiin ja ratkaisuihin, ja tilaajan vaatimuksia noudattaen niitä ei esitetty tutkimuksessa. Kappaleessa 3 on esitetty niitä teknisiä aihepiirejä, joista puuttuvat tiedot on saatava järjestelmätoimittajalta toimintatarkastukseen ja toteutussuunnitteluun.

Tutkimuksen tilaajaan liittyvien tietolähteiden ja aineiston käyttämisessä on noudatettu tutkimuksen tilaajan esittämiä ehtoja, jotka ovat ohjanneet osaltaan tutkimuseettikkää lähteiden ja tutkimustulosten sisällön tuottamisessa sekä julkaisemisessa. Tietolähteinä on hyödynnetty laitoksen ammattialojen ja toimittajien asiantuntijoilta saatua tietoa sekä yrityksen sisäisiä aineistoja. Työn tilaajalla on mahdollisuus tarkastella tiedon validiteettia sähköpuolen perussuunnitteluun ja MCC-uudistushankeprojektiin tuotettujen aineistojen ja tulosten kautta. Kirjallisuuden lähteinä on käytetty pääosin yleisesti tarkasteltavissa olevia verkkoaineistoja.

Tutkimuksessa saavutettiin sille asetetut tavoitteet, ja tutkimuskysymyksiin vastattiin. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää tilaajayrityksessä Teollisuus-Ethernet-pohjaisten investointihankkeiden suunnittelussa. Profinet-toteutustavan sisältämä spesifikaation täydennys mahdollistaa tulevien IE-ratkaisujen toteutukset. Lisäksi MCC-kojeistouudistusprojektin IE-pohjainen toimintatestausympäristö tukee toteutuksia.

Testausympäristöön hankittava IE-tekniikka mahdollistaa jatkotutkimuksen. Tutkimukseen on sisällytetty ja osin suositeltu kehitettävän automaation OT- ja IT-verkkojen DMZ-rajapintapalvelimien sovelluksia ja prosessiverkon OPC UA-Edge-IIoT -kommunikoinnin määrittelyjä. TAP-liityntöjen ja niihin liitettävien työvälineiden tutkimusta ja hallintaa on samalla parannettava. Testausympäristön kehityshankkeet mahdollistavat myös laitoksen ammattialojen koulutussisällön ajantasaistamisen sekä turva-automaation liittämisen ja Profinet-profiilien hyödyntämisen (ks. kappaleet 1.4; 2.3.12; 2.3.13; 2.3.18; 3.2.5; 4.3 ja liitteet 2, 4 ja 11).

## Lähteet

- 1 Sähköistyksen yleisspesifikaatio. 2022. Yrityksen sisäinen aineisto.
- 2 Distributed Control System Engineering specification. 2017. Yrityksen sisäinen aineisto.
- 3 Plant Investment Projects (Standard). 2023. Yrityksen sisäinen aineisto.
- 4 Tilaajayrityksen kunnossapitojärjestelmästä ja siihen liittyvästä elinkaarenhallinnan järjestelmästä hankitut tiedot ja ohjeistot.
- 5 Sähkö- ja automaatiotoimintojen asiantuntijahaastattelut yrityksessä ja toimittajien tahoilla. 2023–24.
- 6 Thomesse, J-P. 2005. Fieldbus Technology in Industrial Automation. Verkkoaineisto. Proceedings of the IEEE 93(6):1073 – 1101. <[https://www.researchgate.net/publication/2986501\\_Fieldbus\\_Technology\\_in\\_Industrial\\_Automation](https://www.researchgate.net/publication/2986501_Fieldbus_Technology_in_Industrial_Automation)>. Luettu 10.11.2023.
- 7 Procentec®. PI-akkreditoima taho. What is PROFIBUS DP? Verkkoaineisto. <<https://procentec.com/content/what-is-profibus-dp/>>. Luettu 14.11.2023.
- 8 Modbus.org. 20.12.2006. MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.02. Verkkoaineisto. <[https://modbus.org/docs/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02.pdf](https://modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf)>. Luettu 14.11.2023.
- 9 ARC Advisory Group. 2005. The Value Proposition of PROFIBUS in the Process Industries. Verkkoaineisto. <[https://www.efesotomasyon.com/html/siemens/arc\\_whitepaper\\_Profibus-process.pdf](https://www.efesotomasyon.com/html/siemens/arc_whitepaper_Profibus-process.pdf)>. Luettu 8.12.2023.
- 10 ABB. 25.10. 2010. Machine Terminal REM 54\_ Technical Reference Manual, General. Verkkoaineisto. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS750915-MUM&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Ladattu 9.12.2023.
- 11 ABB. 09.05.2012. Relion® Protection and Control, 615 series IEC 61850 Engineering Guide. Verkkoaineisto. <[https://library.e.abb.com/public/63c98d28e525f279c1257b2f0054c237/RE\\_615\\_IEC61850eng\\_756475\\_ENg.pdf](https://library.e.abb.com/public/63c98d28e525f279c1257b2f0054c237/RE_615_IEC61850eng_756475_ENg.pdf)>. Ladattu 9.12.2023.

- 12 Spurgeon, Charles, E. Ethernet: The Definitive Guide. Verkkoaineisto. O'Reilly®. <<https://www.oreilly.com/library/view/ethernet-the-definitive/1565926609/ch01.html>>. Luettu 09.12.2023.
- 13 IBM. 05.04.2023. TCP/IP concepts. Verkkoaineisto. <<https://www.ibm.com/docs/en/zos/3.1.0?topic=concepts-tcpip>>. Luettu 09.12.2023.
- 14 Chai, W; Irei, A. & Burke, J. 2023. What is Ethernet? Verkkoaineisto. Tech-Target Networking. Network Infrastructure-blogi. <<https://www.tech-target.com/searchnetworking/definition/Ethernet>>. Viitattu 09.12.2023.
- 15 Vähälummukka, Antti. Mikä pilvipalvelu on? Verkkoaineisto. Koulutuksen tutkimuslaitos. PilPal: Pilvipalveluiden monipuolinen hyödyntäminen. <<https://peda.net/p/antti.vahalummukka/Pilvipalvelut/materiaali/pilvipalvelu>>. Luettu 09.12.2023.
- 16 Kinga. 01.08.2023. Vertical or Horizontal SaaS: What's Best for Your Business? Verkkoaineisto. TDSOFT.com. SaaS-blogi. <<https://www.tdsoft.com/blog/vertical-vs-horizontal-saas/>>. Luettu 13.11.2023.
- 17 Ashton, Kevin. 22.06.2009. That 'Internet of Things' Thing. Verkkoaineisto. RFID Journal. In the real world, things matter more than ideas-kirjoitus. <<https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>>. Luettu 11.10.2023.
- 18 Rawat, D.B; Doku, R. & Garuba M. 2021. Cybersecurity in Big Data Era: From Securing Big Data to Data-Driven Security. Verkkoaineisto. Published in: IEEE Transactions on Services Computing. Volume: 14, Issue: 6. <<https://par.nsf.gov/servlets/purl/10094358>>. Ladattu 13.11.2023.
- 19 Armenta, Atonio. 27.02.2022. Comparing Industrial Ethernet Protocols. Verkkoaineisto. Control Automation-tekninen artikkeli. <<https://control.com/technical-articles/comparing-industrial-ethernet-protocols/>>. Luettu 11.10.2023.
- 20 Felser, Max. 01.01.2002. The Fieldbus Standards: History and Structures. Verkkoaineisto. Hochschule für Technik und Architektur, Bern. <[https://www.researchgate.net/publication/228733981\\_The\\_fieldbus\\_standards\\_History\\_and\\_structures](https://www.researchgate.net/publication/228733981_The_fieldbus_standards_History_and_structures)>. Luettu 13.11.2023.
- 21 Åkerman, Magnus. 2018. Implementing shop floor IT for Industry 4.0. Doctoral thesis. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden. <<https://core.ac.uk/download/198036770.pdf>>. Luettu 14.11.2023.

- 22 Carlsson, Thomas. 02.05.2022. Industrial networks keep growing despite challenging times. Verkkoaineisto. News from HMS. <<https://www.hms-networks.com/news-and-insights/news-from-hms/2022/05/02/industrial-networks-keep-growing-despite-challenging-times>>. Luettu 14.11.2023.
- 23 Author named Certified Profibus Engineer. 2008. Author named Certified Profinet Engineer. 2014. Opintomateriaalit. Procentec® Hollanti. PI-akkreditoima taho.
- 24 Profibus & Profinet International. 2018. Recommendations for Design and Implementation. Version April 2018. Order No.: 8. 202. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/profinet-field-devices>>. Ladattu 16.11.2023.
- 25 Profibus & Profinet International. 2022. PROFINET Design Guideline. Version 1.53. Order No.: 8.062. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/profinet-installation-guidelines>>. Ladattu 20.11.2023.
- 26 Profibus & Profinet International. 31.05.2021. PROFINET for Process Automation. Technologies and benefits. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/profinet-pa-basic-slide-set>>. Ladattu 31.05.2022.
- 27 Takala, Tuure. 26.07.2023. Ethernet-based inter-drive communication for data sharing and to support multi-drive operation. Master Thesis. Aalto University, Espoo <<https://aaltodoc.aalto.fi/items/76a0a9bd-4896-47b7-88df-7337facd9d3e>>. Viitattu 10.11.2023.
- 28 Walz, A; Niemann, K-H; Göppert, J; Fischer, K; Merklin, S; Ziegler, D. & Sikora, A. 2023. PROFINET Security: A Look on Selected Concepts for Secure Communication in the Automation Domain. Verkkoaineisto. University of Applied Sciences and Arts, Hannover. <<https://serwiss.bib.hs-hannover.de/frontdoor/index/index/docId/2934>>. Luettu 12.12.2023.
- 29 Profinet University. PROFINET Network Redundancy. Verkkoaineisto. <<https://profinetuniversity.com/system-redundancy/profinet-network-redundancy/>>. Luettu 18.11.2023.
- 30 Profibus & Profinet International. 23.11.2018. PROFINET System Description, Technology and Application. Version November 2018. Order Number 4.132. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/profinet-technology-and-application-system-description>>. Ladattu 16.11.2023.

- 31 Siemens. 2023. PRONETA Basic V3.5 User Manual. Verkkoaineisto. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/624/67460624/att\\_1131811/v1/PRONETA\\_Documentation\\_V3\\_5\\_en.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/624/67460624/att_1131811/v1/PRONETA_Documentation_V3_5_en.pdf)>. Ladattu 12.12.2023.
- 32 Profinet University. Configuration in Run (CiR) for PROFINET. Verkkoaineisto. <<https://profinetuniversity.com/process-automation/configuration-in-run-cir-profinet/>>. Luettu 18.11.2023.
- 33 Bowne, M. 13.05.2020. PROFINET Redundancy: Device, Controller, Network, and Media. Verkkoaineisto. PI North America. <<https://us.profinet.com/profinet-redundancy-device-controller-network-and-media/>>. Luettu 18.11.2023.
- 34 Siemens. 2018. PROFINET Redundancy functions. Verkkoaineisto. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/450/109756450/att\\_965415/v2/109756450\\_PN\\_Systemredundanz\\_V1\\_0\\_en.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/450/109756450/att_965415/v2/109756450_PN_Systemredundanz_V1_0_en.pdf)>. Ladattu 30.08.2023.
- 35 Siemens. 2023. FUNCTION MANUAL PROFINET with STEP SIMATIC S7-1500, ET 200MP, ET 200SP, ET 200AL, ET 200pro, ET 200eco PROFINET with STEP 7. Verkkojulkaisu. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/856/49948856/att\\_1160818/v1/profinet\\_step7\\_v19\\_function\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/856/49948856/att_1160818/v1/profinet_step7_v19_function_manual_en-US_en-US.pdf)>. Luettu 30.10.2023. Ladattu 12.12.2023.
- 36 Indu-Sol GmbH. 2020. PROFINET Safety for the future. Verkkoaineisto. <[https://www.indu-sol.com/fileadmin/user\\_upload/produkte/Indu-Sol-PROFINET-brochure-2020.pdf](https://www.indu-sol.com/fileadmin/user_upload/produkte/Indu-Sol-PROFINET-brochure-2020.pdf)>. Ladattu 20.11.2023.
- 37 Freihöfer, Marco & Thomas, Peter. 16.07.2015. PROFINET The future of communication. Verkkoaineisto. W07 Profinet diagnostics workshop. PROFIBUS & PROFINET User Conference 2015. <<https://www.slideshare.net/ProfibusUK/w07-profinet-diagnostics-workshop-peter-thomas-control-specialists-50599565>>. Ladattu 20.11.2023.
- 38 Tektronix. 25.05.2010. TCP/IPV4 and Ethernet 10BASE-T/100BASE-TX Debugging with the MSO/DPO4000B Series Oscilloscopes. Application Note. Verkkoaineisto. <[https://download.tek.com/document/55W\\_26293\\_0\\_0.pdf](https://download.tek.com/document/55W_26293_0_0.pdf)>. Luettu 21.11.2023.
- 39 Profibus & Profinet International. 28.10.2021. PROFIdrive System Description Technology and Application. Version November 2021. Order number 4.322. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/profidrive-technology-and-application-system-description>>. Ladattu 21.9.2023.

- 40 Profibus & Profinet International. 10.03.2010. THE PROFInergy PROFILE. Version 1.0 March 2010. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/pi-white-paper-the-profienergy-profile>>. Ladattu 21.11.2023.
- 41 Profibus & Profinet International. 06.04.2016. PROFIsafe System Description Technology and Application. Version April 2016. Order Number 4.342. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/profisafe-technology-and-application-system-description>>. Luettu 21.11.2023.
- 42 Siemens. IWLAN—the Wireless LAN for demanding industrial applications. Verkkoaineisto. <<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/industrial-wireless-lan.html>>. Luettu 21.11.2023.
- 43 Phoenix Contact. WLAN. Verkkoaineisto. <<https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/teknologia/tiedonsiirtotekniikat/teollisuus-wlan>>. Luettu 21.11.2023.
- 44 Profibus & Profinet International. Product Finder. Technology and Profiles: PROFINET. Product Types: Link/Coupler/Gateway/Proxy. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/products/product-finder>>. Luettu 21.11.2023.
- 45 OPC Foundation. What is OPC? Verkkoaineisto. <<https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>>. Luettu 21.11.2023.
- 46 IPCOMM GmbH. OPC UA. Verkkoaineisto. <<https://www.ipcomm.de/protocol/OPCUA/en/sheet.html>>. Luettu 21.11.2023.
- 47 Profinet University. OPC UA and PROFINET. Verkkoaineisto. <<https://profinetuniversity.com/industrial-automation-ethernet/opc-ua-profinet/>>. Luettu 21.11.2023.
- 48 Siemens. 2023. Industrial Controls, Motor management and control Devices SIMOCODE pro—Communication, Function Manual. Verkkoaineisto. <[https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109743960/Kommunikation\\_SIMOCODE\\_pro\\_en-US.pdf?download=true](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109743960/Kommunikation_SIMOCODE_pro_en-US.pdf?download=true)>. Luettu 21.11.2023.
- 49 Karaila, Mika. 09.12.2022. OPC UA as Large-Scale Aggregation Server. Verkkoaineisto. <[https://www.automatioseura.fi/site/assets/files/3391/12\\_opc\\_day\\_finland\\_2022\\_-\\_valmet\\_opc\\_ua\\_aggregation\\_server.pdf](https://www.automatioseura.fi/site/assets/files/3391/12_opc_day_finland_2022_-_valmet_opc_ua_aggregation_server.pdf)>. Luettu 21.11.2023.



- 50 Bigelow, Stephen. J. 2021. What is edge computing? Everything you need to know. Verkkoaineisto. TechTarget Definition-article. <<https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/edge-computing>>. Luettu 22.11.2023.
- 51 Siemens. 2022. Industrial Edge Connectivity and company-wide integration. Verkkoaineisto. <<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:87e84029-115b-4ca5-b4f2-8b4531517661/siem-usecase-datenintegration-e-20220116.pdf>>. Luettu 22.11.2023.
- 52 Profinet University. PROFINET Infrastructure – Cat-5 Cable. Verkkoaineisto. <<https://profinetuniversity.com/profinet-basics/profinet-infrastructure-cat-5-cable/>>. Luettu 22.11.2023.
- 53 Siemens. Cabling technology. Product information. Verkkoaineisto. <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10046192?tree=CatalogTree#>>. Luettu 22.11.2023.
- 54 Bowne, M. 26.08.2020. PROFINET Cables: Requirements, Specifications, and Types. PI North America. Verkkoaineisto. <<https://us.profinet.com/profinet-cables-requirements-specifications-and-types/>>. Luettu 18.12.2023.
- 55 Profibus & Profinet International. 21.07.2023. PROFINET Cabling and Interconnection Technology. Guideline for PROFINET. V 5.3 – Date May 2023. Order No.: 2.252. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/profinet-cabling-and-interconnection-technology>>. Luettu 22.11.2023.
- 56 Verwer Training & Consultancy Ltd. 2016. PROFINET Installation Guidelines. Revision 2.0. Verkkoaineisto. <<https://manualzz.com/doc/27009835/profinet-installation-guidelines>>. Luettu 22.11.2023.
- 57 Profibus & Profinet International. 02.12.2022. Functional Bonding and Shielding of PROFIBUS and PROFINET. Version: 3.1 – Date: Sep. 2022. Order No.: 8.102. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/functional-earthing-and-shielding>>. Luettu 23.11.2023.
- 58 Profibus & Profinet International. 02.12.2022. PROFINET Assembling Guideline. Version 2.12 – Date Sept 2022. Order No.: 8.072. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/profinet-installation-guidelines>>. Luettu 23.11.2023.
- 59 Bowne, M. 28.02.2018. Profinet Cables:Fiber Optics. PI North America. Verkkoaineisto. <<https://us.profinet.com/profinet-cables-fiber-optics/>>. Luettu 23.11.2023.

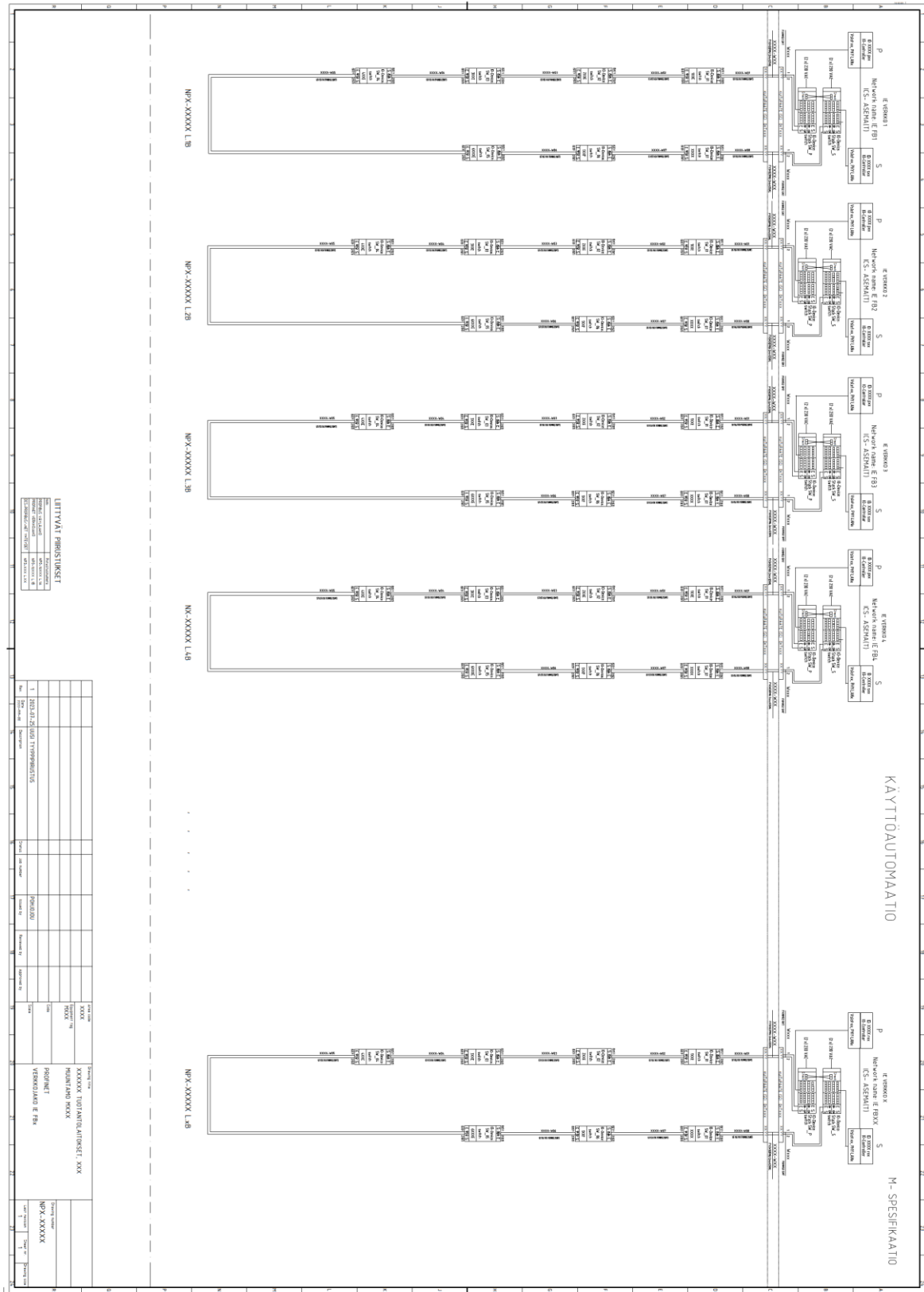
- 60 Multitronic. Tuotehaku: ST/UPC-SC/UPC. Verkkoaineisto. <<https://www.multitronic.fi/fi/products/1709319/st-upc-sc-upc-25m-62-5-125-om1>>. Luettu 24.11.2023.
- 61 Piikkilä, Veijo. 2012. Kyberturvallisuus asuinkiinteistössä. Osa 1: Perusteet. RIL 274-2021. Helsinki. RIL ry. Ohjeen yhden kirjoittajan ja väylätekniikan kurssin kouluttajan luentoaineisto 02.09.2023. Metropolia ammattikorkeakoulu. Luettu 22.09.2023.
- 62 ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity, and privacy protection-Information security management systems-Requirements. Edition 3. Technical Committee: ISO/IEC JTC 1/SC 27. Luettu 24.09.2023.
- 63 Sesko ry. Teollisuuden kyberturvallisuus: IEC62443 – sarja. Verkkoaineisto. <<https://sesko.fi/standardit/standardoinnin-aihealueita/kyberturvallisuus/teollisuuden-kyberturvallisuus-iec-62443-sarja/>>. Luettu 24.09.2023.
- 64 Sesko ry. Standardoinnin aihealueita. Verkkoaineisto. <<https://sesko.fi/standardit/standardoinnin-aihealueita/>>. Luettu 24.09.2023.
- 65 Profibus & Profinet International. 10.01.2023. PROFINET Security Classes 1, 2, 3. Profinews. PI North America. Verkkoaineisto. <<https://profine-news.com/2023/01/profinet-security-classes-1-2-3/>>. Luettu 07.06.2023.
- 66 Profibus & Profinet International. 09.12.2013. PROFINET Security Guideline. Version 2.0 – Date November 2013. Order No.: 7.002. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/download/profinet-security-guideline>>. Luettu 04.06.2023.
- 67 Cyber Security Management (Standard). 2023. Yrityksen sisäinen aineisto.
- 68 Packtpub.com. Industrial Cybersecurity. Verkkoaineisto. <<https://subscription.packtpub.com/book/security/9781788395151/1/ch01iv1sec10/the-purdue-model-for-industrial-control-systems>>. Luettu 19.12.2023.
- 69 Siemens. 2023. User manual PRONETA Basic V3.6. PROFINETA Network Analyzer-Configuration and Diagnostic Tool. Verkkoaineisto. <[https://support.industry.siemens.com/dl/files/624/67460624/att\\_1163366/v1/PRONETA\\_Documentation\\_V3\\_6\\_en.pdf](https://support.industry.siemens.com/dl/files/624/67460624/att_1163366/v1/PRONETA_Documentation_V3_6_en.pdf)>. Luettu 19.12.2023.

- 70 Training Industrial Automation. Verkkoaineisto. ASM Process Automation. The Regional PROFIBUS & PROFINET Association (RPA) since 2007. <<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=86532&token=f35c658c6e4e06674231f373b604993f71ddaabd>>. Luettu 19.12.2023.
- 71 ABB.10.10.2012. MNS Low Voltage Switchgear System Guide. Rev04. Verkkoaineisto. <<https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/pienjannitekojeistot-ja-mcc/mns>>. Luettu 8.9.2023.
- 72 Toivonen, J. 15.01.2020. ABB MNS Digital® -Älykäs Kojeisto, joka näkee kaiken. Youtube-tallenne. <[https://youtu.be/elQIst\\_JOAg](https://youtu.be/elQIst_JOAg)>. Katsottu 8.9.2023.
- 73 ABB. 03.04.2023. ABB Ability™ Edge Industrial Gateway cloud connectivity guideline. Verkkoaineisto. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108467A4276&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 08.09.2023.
- 74 ABB. 2001. Tekninen opas, sähkökäytön mitoitus. Verkkoaineisto. <[https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf)>. Luettu 14.09.2023.
- 75 ABB. 19.02.2001. Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. Verkkoaineisto. <[https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen\\_opas\\_nro4.pdf](https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf)>. Luettu 14.09.2023.
- 76 Tamu vai pehmo? käyttötarkoitus ratkaisee. Verkkoaineisto. Sonepar. <<https://ideat.sonepar.fi/tamu-vai-pehmo-kayttotarkoitus-ratkaisee/>>. Luettu 19.09.2023.
- 77 Kirjallisuusselvitys sähkökäytöistä. 2020. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/files/18149/Kirjallisuusselvitys\\_sahkokaytoista.pdf](https://www.motiva.fi/files/18149/Kirjallisuusselvitys_sahkokaytoista.pdf)>. Luettu 14.09.2023.
- 78 Farin, J; Peltonen, L; Pykälä, M-L & Uski-Joutsenvuo, S. 10.07.2009. Taajuusmuuttajien rakenne, mitoitus ja säätö generaattorikäytössä. VTT. Espoo. Verkkoaineisto. <<https://sarjaweb.vtt.fi/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>>. Luettu 24.11.2023.
- 79 ABB. 2012. MNS – ACS-880. MNS-kojeistoon asennetut taajuusmuuttajat. Verkkoaineisto. <[https://library.e.abb.com/public/d0cc81f2e60ee4dfc1257abd00314bd3/MNS\\_ACS880%20FI%20Esite%2007092012\\_1TFC902012L1801.pdf](https://library.e.abb.com/public/d0cc81f2e60ee4dfc1257abd00314bd3/MNS_ACS880%20FI%20Esite%2007092012_1TFC902012L1801.pdf)>. Luettu 01.06.2023.

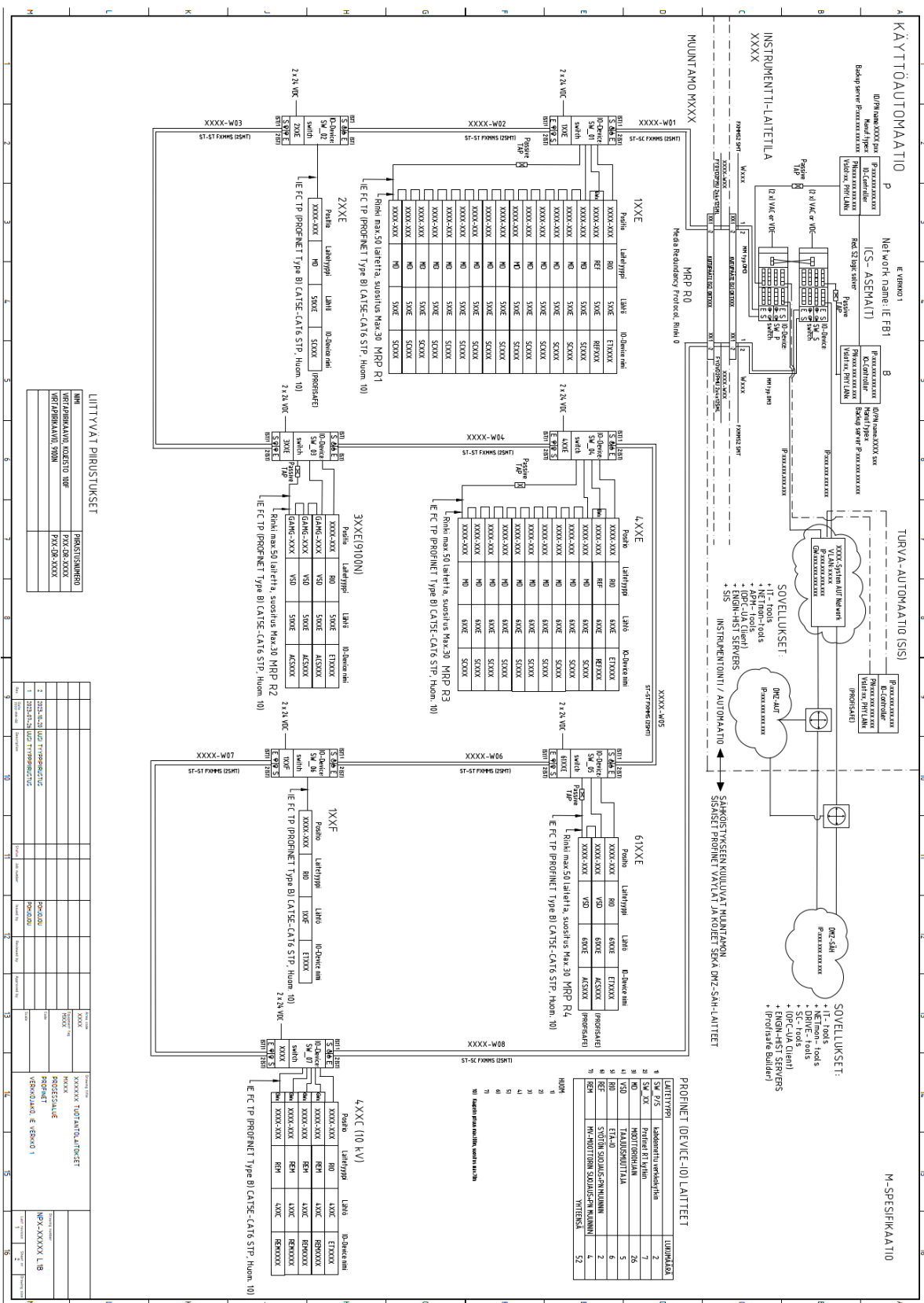
- 80 ABB. 01.06.2022. ABB INDUSTRIAL DRIVES ACS-880-01-taajuusmuuttajat. Laiteopas. Verkkoaineisto. <[https://library.e.abb.com/public/8ccc0af274704981ac69f17b23dfe03d/FI\\_ACS880-01\\_HW\\_S.pdf](https://library.e.abb.com/public/8ccc0af274704981ac69f17b23dfe03d/FI_ACS880-01_HW_S.pdf)>. Luettu 24.11.2023.
- 81 ABB. 2001. Pehmökäynnistinopas. Verkkoaineisto. <[https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12\\_01.pdf](https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf)>. Luettu 19.9.2023.
- 82 Siemens. 2015. SIMOCODE pro Motor Management and Control Devices, SIMOCODE pro for PROFINET System Manual. Verkkoaineisto. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/631/61896631/att\\_862727/v1/Manual\\_SIMOCODE\\_pro\\_PROFINET\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/631/61896631/att_862727/v1/Manual_SIMOCODE_pro_PROFINET_en-US.pdf)>. Luettu 19.09.2023.
- 83 ABB. 11.05.2012. 615 series Technical Manual. Revision: F. Product version: 4.0. Verkkoaineisto. <[https://library.e.abb.com/public/6907d3f9700e7573c1257b2f0054c240/RE\\_615\\_tech\\_756887\\_ENf.pdf](https://library.e.abb.com/public/6907d3f9700e7573c1257b2f0054c240/RE_615_tech_756887_ENf.pdf)>. Luettu 09.12.2023.
- 84 ABB. 05.09.2009. 630 series IEC 61850 Communication Protocol Manual. Revision: A. Verkkoaineisto. <[https://library.e.abb.com/public/0df43a07e7f7ec4bc1257b0c005600fc/RE\\_630\\_IEC61850prot\\_756793\\_ENa.pdf](https://library.e.abb.com/public/0df43a07e7f7ec4bc1257b0c005600fc/RE_630_IEC61850prot_756793_ENa.pdf)>. Luettu 09.12.2023.
- 85 Siemens. 2022. Simatic ET 200SP BusAdapter. Verkkoaineisto. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/716/109751716/att\\_942092/v1/et200sp\\_busadapter\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/716/109751716/att_942092/v1/et200sp_busadapter_manual_en-US_en-US.pdf)>. Luettu 22.09.2023.
- 86 Siemens. 2018. Simatic ET 200SP IM155-6 PN/2 HF Interface module (6ES7155-6AU01-0CN0). Verkkoaineisto. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/046/73184046/att\\_863463/v1/et200sp\\_im\\_155\\_6\\_pn\\_2\\_hf\\_manual\\_en\\_US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/046/73184046/att_863463/v1/et200sp_im_155_6_pn_2_hf_manual_en_US_en-US.pdf)>. Luettu 22.9.2023.
- 87 Sähkömoottorien hankintaopas. 2020. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/files/18152/Sahkomoottorien\\_hankintaopas.pdf](https://www.motiva.fi/files/18152/Sahkomoottorien_hankintaopas.pdf)>. Luettu 23.11.2023.
- 88 Kirjallisuusselvitys sähkökäytöistä. 2020. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/files/18149/Kirjallisuusselvitys\\_sahkokaytoista.pdf](https://www.motiva.fi/files/18149/Kirjallisuusselvitys_sahkokaytoista.pdf)>. Luettu 23.11.2023.

- 89 Euroopan komission asetus ekologisen suunnittelun vaatimusten asettamisesta sähkömoottoreille ja taajuusmuuttajille. 2019. Asetus (EU) 2019/1781. Verkkoaineisto. <[https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/electric-motors-and-variable-speed-drives\\_fi](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/electric-motors-and-variable-speed-drives_fi)>. Luettu 19.9.2023.
- 90 Kilkki, K. 2019. Informaatioteknologian perusteet (2019). Luku 4. Kiinteät verkot. Aalto Yliopisto. Verkkoaineisto. <[https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/889534/mod\\_resource/content/8/Informaatioteknologian%20perusteet.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/889534/mod_resource/content/8/Informaatioteknologian%20perusteet.pdf)>. Luettu 29.06.2023.
- 91 Lyytikäinen, Aki. 2010. Käyttövarmuus, RAM-analyysi, käytännön näkökulmia. Promaint ry, nro. 5. Verkkoaineisto. Alsafety.com. <[https://www.alsafety.com/pdf/RAM\\_analyysi\\_Promaint201005.pdf](https://www.alsafety.com/pdf/RAM_analyysi_Promaint201005.pdf)>. Luettu 14.10.2023.
- 92 PSK 7903. 24.02.2011. Käytettävyyden todentaminen prosessiteollisuudessa. Osa 6: Käytettävyyden laskeminen: 6.2 Teknisen käytettävyyden laskeminen. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki. Verkkoaineisto. Tilaajayrityksen käyttöoikeus. Luettu 27.11.2023.
- 93 Franssila, Heljä; Kunttu, Susanna; Saarinen, Harri & Valokari, Pasi. 2012. Käyttövarmuustiedon hallinta ja hyödyntäminen suunnittelussa. VTT Technology 48. Espoo. Verkkoaineisto. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2012/T48.pdf>>. Luettu 12.10.2023.
- 94 Siemens IE/PB LINK. Verkkoaineisto. <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10021890?ActiveTab=2#>>. Luettu 25.10.2023.
- 95 Profibus & Profinet International. Product Finder. Technology and Profiles: PROFINET. Product Types: pnGate DP. Verkkoaineisto. <<https://www.profibus.com/products/product-finder/pngate-dp>>. Luettu 25.10.2023.
- 96 HMS Networks. Anybus Communicator – PROFINET. Order Code: ABC3013. Serial Master – PROFINET IO-Device. Verkkoaineisto. <<https://www.anybus.com/products/gateway-index/anybus-communicator/detail/anybus-communicator---profinet-v2>>. Luettu 25.10.2023.
- 97 PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. Certificate. 07.10. 2021. FPNO-21. Revision: SW/FW: V1.1.0; HW: 1. ABB Oy. Helsinki. Verkkoaineisto. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107492A7157&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 28.7.2023.

# Profinet-järjestelmäverkkojaon perusmäärittely



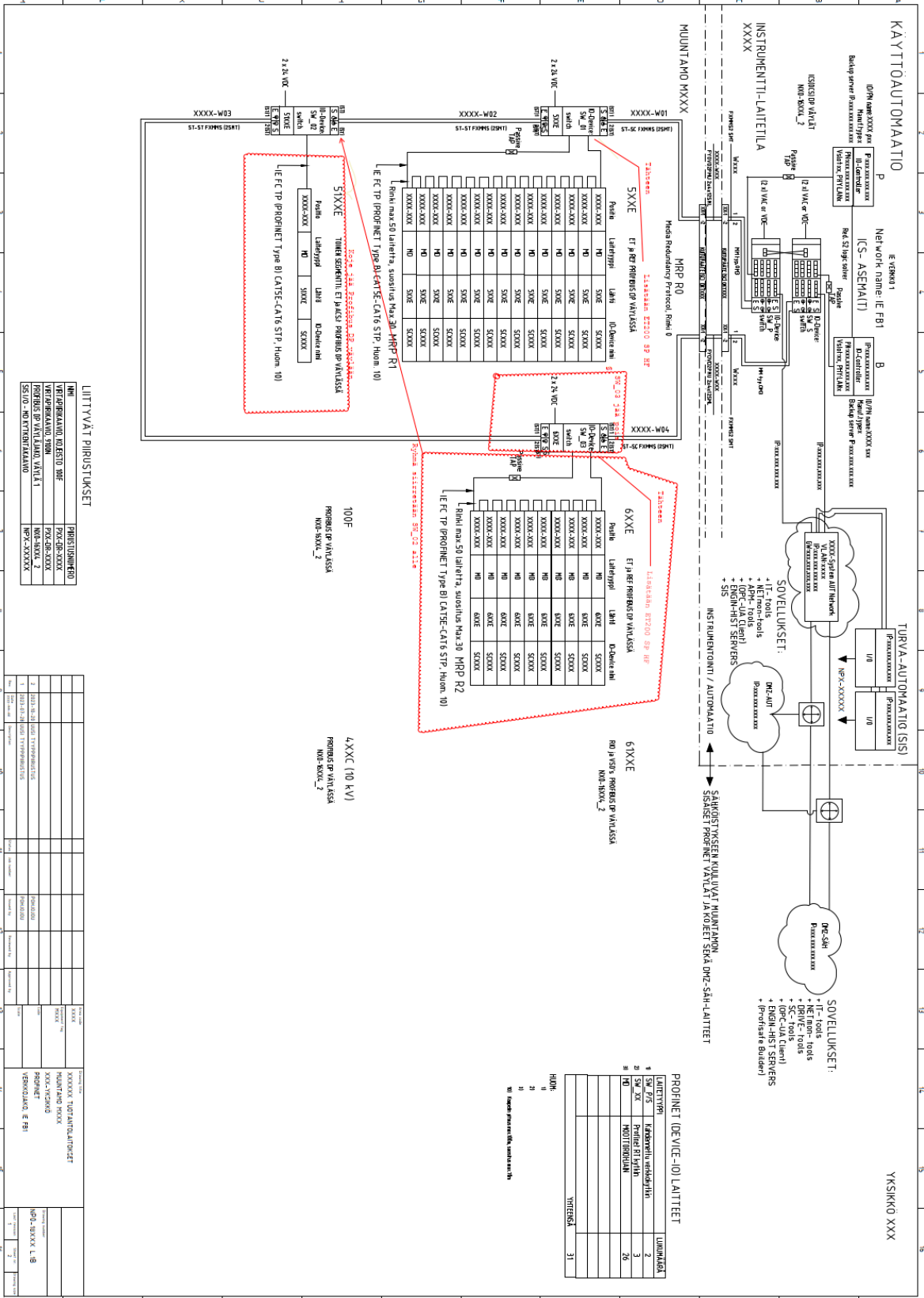
# Profinet-järjestelmäverkko 1 perusmäärittely







# Suunnitelman Profinet-järjestelmäverko 1 määrittely



### LITTYVÄT PIIRUSTUKSET

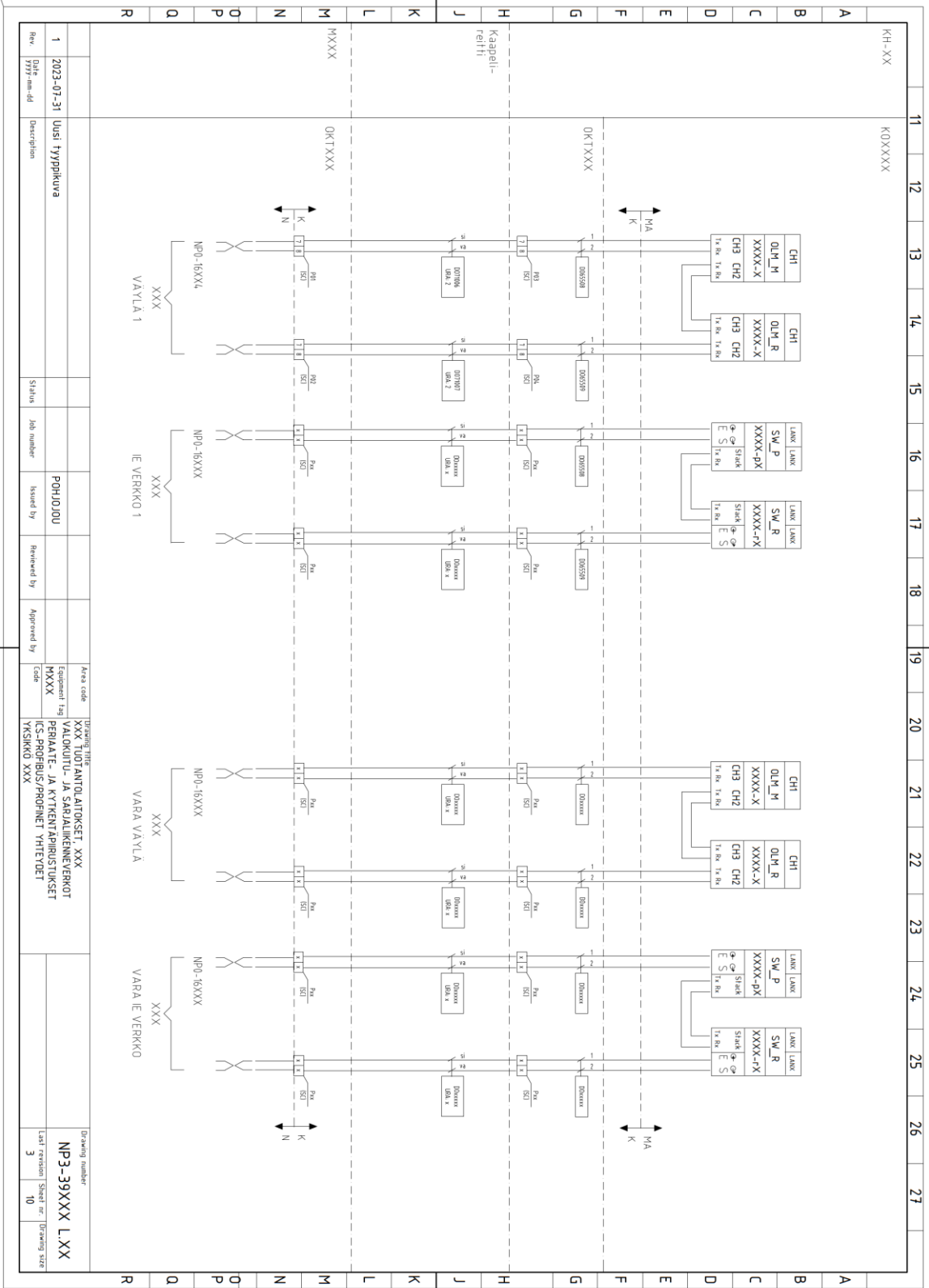
VIITE	PROFINETIN KIRJOITUS
1	PROFINETIN KIRJOITUS
2	PROFINETIN KIRJOITUS
3	PROFINETIN KIRJOITUS
4	PROFINETIN KIRJOITUS
5	PROFINETIN KIRJOITUS
6	PROFINETIN KIRJOITUS
7	PROFINETIN KIRJOITUS
8	PROFINETIN KIRJOITUS
9	PROFINETIN KIRJOITUS
10	PROFINETIN KIRJOITUS
11	PROFINETIN KIRJOITUS
12	PROFINETIN KIRJOITUS
13	PROFINETIN KIRJOITUS
14	PROFINETIN KIRJOITUS
15	PROFINETIN KIRJOITUS
16	PROFINETIN KIRJOITUS
17	PROFINETIN KIRJOITUS
18	PROFINETIN KIRJOITUS
19	PROFINETIN KIRJOITUS
20	PROFINETIN KIRJOITUS
21	PROFINETIN KIRJOITUS
22	PROFINETIN KIRJOITUS
23	PROFINETIN KIRJOITUS
24	PROFINETIN KIRJOITUS
25	PROFINETIN KIRJOITUS
26	PROFINETIN KIRJOITUS
27	PROFINETIN KIRJOITUS
28	PROFINETIN KIRJOITUS
29	PROFINETIN KIRJOITUS
30	PROFINETIN KIRJOITUS
31	PROFINETIN KIRJOITUS

LAITTEIDEN TUNNUS	LAITTEIDEN NIMI	LAITTEIDEN TUNNUS	LAITTEIDEN NIMI
1	SAKOSTUKSEN KÄYTTÖN LAITTEET	2	HMI (IE-FB1)
3	HMI (IE-FB1)	4	HMI (IE-FB1)
5	HMI (IE-FB1)	6	HMI (IE-FB1)
7	HMI (IE-FB1)	8	HMI (IE-FB1)
9	HMI (IE-FB1)	10	HMI (IE-FB1)
11	HMI (IE-FB1)	12	HMI (IE-FB1)
13	HMI (IE-FB1)	14	HMI (IE-FB1)
15	HMI (IE-FB1)	16	HMI (IE-FB1)
17	HMI (IE-FB1)	18	HMI (IE-FB1)
19	HMI (IE-FB1)	20	HMI (IE-FB1)
21	HMI (IE-FB1)	22	HMI (IE-FB1)
23	HMI (IE-FB1)	24	HMI (IE-FB1)
25	HMI (IE-FB1)	26	HMI (IE-FB1)
27	HMI (IE-FB1)	28	HMI (IE-FB1)
29	HMI (IE-FB1)	30	HMI (IE-FB1)
31	HMI (IE-FB1)		

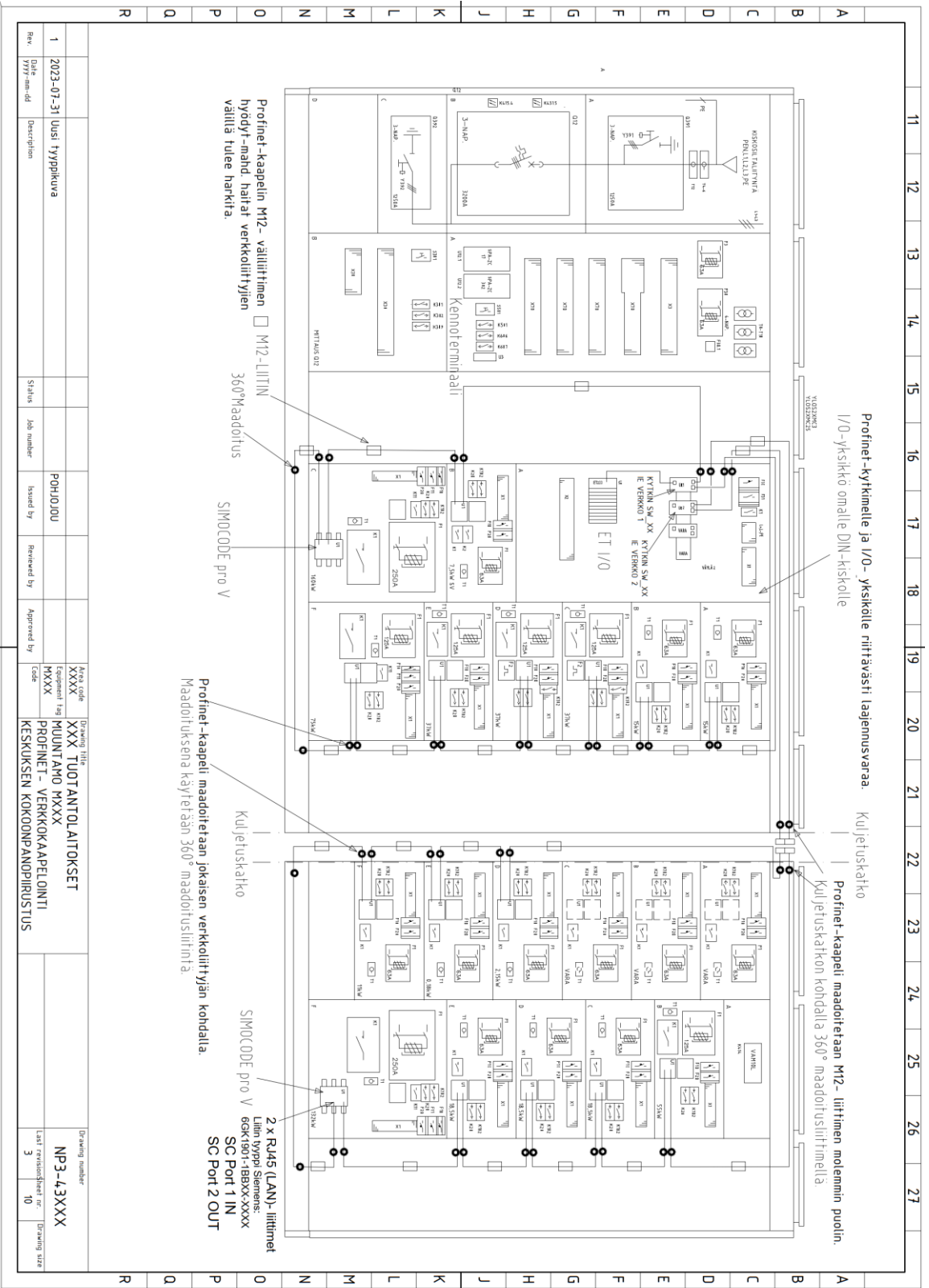
### SOVELLUKSET

LAITTEIDEN TUNNUS	LAITTEIDEN NIMI	LAITTEIDEN TUNNUS	LAITTEIDEN NIMI
1	SAKOSTUKSEN KÄYTTÖN LAITTEET	2	HMI (IE-FB1)
3	HMI (IE-FB1)	4	HMI (IE-FB1)
5	HMI (IE-FB1)	6	HMI (IE-FB1)
7	HMI (IE-FB1)	8	HMI (IE-FB1)
9	HMI (IE-FB1)	10	HMI (IE-FB1)
11	HMI (IE-FB1)	12	HMI (IE-FB1)
13	HMI (IE-FB1)	14	HMI (IE-FB1)
15	HMI (IE-FB1)	16	HMI (IE-FB1)
17	HMI (IE-FB1)	18	HMI (IE-FB1)
19	HMI (IE-FB1)	20	HMI (IE-FB1)
21	HMI (IE-FB1)	22	HMI (IE-FB1)
23	HMI (IE-FB1)	24	HMI (IE-FB1)
25	HMI (IE-FB1)	26	HMI (IE-FB1)
27	HMI (IE-FB1)	28	HMI (IE-FB1)
29	HMI (IE-FB1)	30	HMI (IE-FB1)
31	HMI (IE-FB1)		

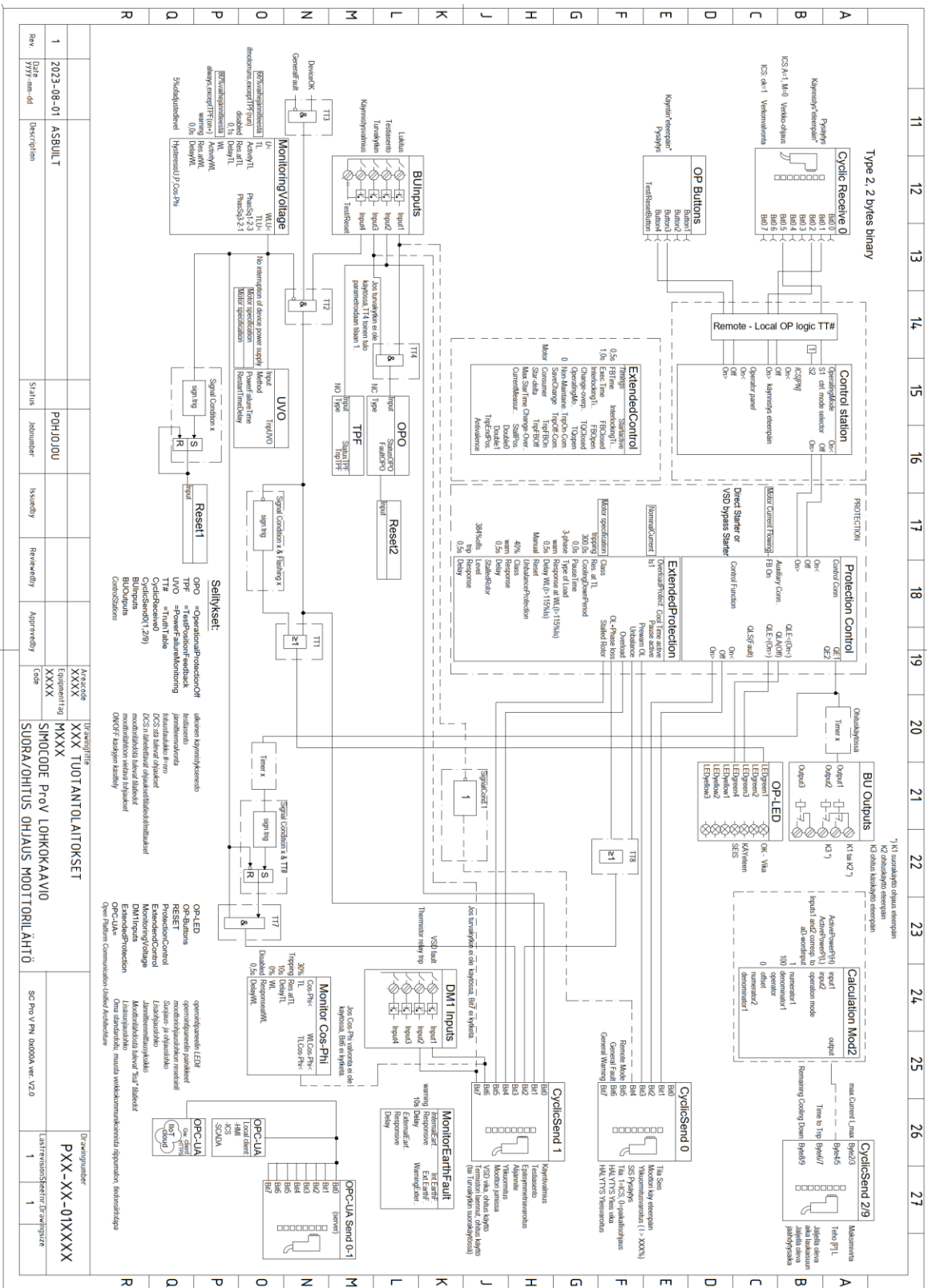
# Valokuitu- ja sarjaliikenneyhteyksien perusmäärittely



# MCC-keskuksen sisäisen Profinet-kaapeloinnin perusmäärittely



# Profinet-ohjatun suoran- ja ohituslähdön MD-lohkokaavio

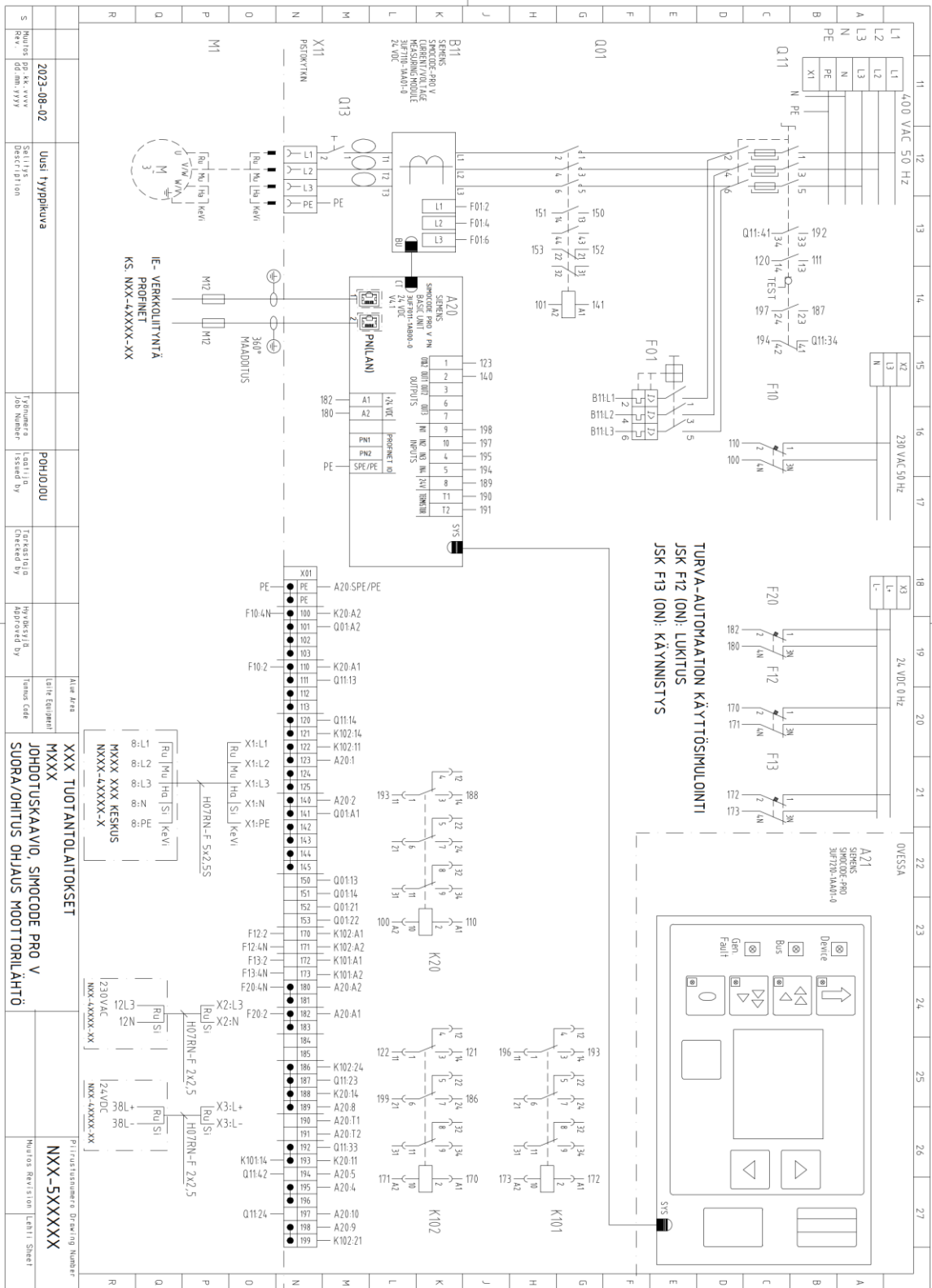


Rev	Date	Description
1	2023-08-01	ASBUL T

Date	Status	Author	Issued	Reviewed	Approved	Equipment	Code	Profinet Settings	Device	Serial
2023-08-01	POHJOU	Juha Nieminen				ASBUL T	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX

Rev	Date	Description
1	2023-08-01	ASBUL T

# Profinet-ohjatun suoran- ja ohituslähdön MD-johdotuskaavio



S	2023-08-02	Uusi tyyppikuvaa	Työnumero 123456789	Pohjoisuus 123456789	Eränumero 123456789	Hyönteys 123456789	Ainut versio	XXXX	PISTUSNUMERO - Drilling Number
R								NXX-5XXXXX	MAOTOS RAIVASTON LEHTI SIBREI





## Simocode PRO V PN (DOL)- kommunikointilohkot

Comm. Blocks	Kytkenä	Connection	Ref. Pllr. numero	Selitys	Info
	To be revised acc. to		xxxx-x	Jouni Pohjola	
	target MCC - ICS definitions		11.9.2023	ref. Simocode Pro V PN lohkokäyttö (Loppuyö liite 7.)	SIMOCODE Pro V PN HF Profinet liikkondintu, SUORAKÄYTTÖ (Normaali) Profinet communication, LV DOL (Direct online starter)
Cyclic Receive 0	Type 2, 2 bytes binary				
ICS -> SIMOCODE					
BYTE.BIT	DOL	DOL	ICS target		
0.0	Ei kytketty	Not Connected		Ei käytössä	Not used
0.1	Status - OFF, Stop	Status - OFF, Stop		Ohjaus, moottorin pysäytys	Control, motor Stop
0.2	Status - ON > Start	Status - ON > Start		Ohjaus, moottorin käynnisty	Control, motor Start
0.3	Ei kytketty	Not Connected		Ei käytössä	Not used
0.4	Ei kytketty	Not Connected		Ei käytössä	Not used
0.5	Ohjauspaikka (S1)	Control place (S1)		Ohjauspaikan valinta; 1 = vetyä (krii), jatkuvasti 1)	Control place selection, 1=bus (1 is written continuously)
0.6	Ei kytketty	Not Connected		Ei käytössä	Not used
0.7	Verkon valvonta	Bus fault monitoring		Verkon valvonta (Watchdog) (krii, jatkuvasti 1)	Bus fault monitoring (Watchdog) (1 is written continuously)
Cyclic Send 0					
SIMOCODE -> ICS					
BYTE.BIT	DOL	DOL	ICS target		
0.0	Ei kytketty	Not Connected			
0.1	Käyntitieto SEIS	Status Off		Tilatiieto moottorin seis	Status motor stop
0.2	Käyntitieto KÄV >	Status On >		Tilatiieto moottorin käy eteenpäin	Status motor run
0.3	Ylikuormitus varoitus	Overload warning		HÄLYTYS Ylikuormitusvaroitus	ALARM overload pre-warning
0.4	SIS-Pysäytys	SIS-STOP		SIS-Pysäytys	SIS-STOP
0.5	Ohjaustieto	Mode		1 = Remote; 0 = Local	1 = Remote; 0 = Local
0.6	Vika	Fault		HÄLYTYS Velsivika	ALARM General fault
0.7	Varoitus	Warning		HÄLYTYS Velsivaroitus	ALARM General warning
Cyclic Send 1					
SIMOCODE -> ICS					
1.0	Käyntivalmis	Ready to start		Yhdistetty tieto keskusvalmis "BU Input 4" (OESA+ohjaus-jännite MCB) ja tieto "Status - Device o.k." (Simocode OK)	Combined information for ready to start "BU Input 4" (OESA + MCB of controlvoltage) and "Status - device OK" (SIMOCODE)
1.1	Lahto-testiasennossa	Test position in MCC		OESA käännetty testiasentoon "BU Input 2"	OESA turned to test position "BU Input 2"
1.2	Varoitus EPASYMMETRIA	(Warning) Unbalance		Epäsymmetria varoitus "Event - Unbalance" => HÄLYTYS	Unbalance warning "Event - unbalance" => ALARM
1.3	Alijännite (TTX)	Under voltage (TTX)		Alijännite 1 = HÄLYTYS, 0 = OK	Under voltage 1 = Alarm, 0 = OK
1.4	Vika YLIKUORMITUS	(Fault) OVERLOAD		Moottori lauenut ylikuormasta "Event - Overload" => HÄLYTYS	Motor has tripped from overload "Event - Overload" => ALARM
1.5	Vika MOOTTORI JUUMI	(Fault) STALLED ROTOR		Moottori lauenut juumista "Event - Stalled rotor" => HÄLYTYS	Motor has tripped from stalled rotor "Event - Stalled rotor" => ALARM
1.6	Vika Cos-Phi	(Fault) Cos-Phi		Moottori lauenut Cos-Phi, "Event - Cos-Phi" => HÄLYTYS	Motor has tripped from Cos-Phi "Event - Cos-Phi" => ALARM
1.7	Turvakytkin	Safety switch		1=Turvakytkin, simuloidaan turvakytkin Q10 = kiinni, Turvakytkin käytössä aiostaan suoraan moottorilähdössä.	Safety switch Q10 closed.
Cyclic Send 2/9					
SIMOCODE -> ICS					
Byte 2/3	Moottorin virta	Current of motor		Moottorin virta 1%/le prosenttitarvonnasta asetellusta nimellisestä	Motor current 1%/le
Byte 4/5	Moottorin teho	Power		Moottorin teho (P/W)	Active power (P/W)
Byte 6/7	Arvioitui aika laukausun	Estimated time to trip		Arvioitui aika laukausun (t/s)	Estimated time to trip (t/s)
Byte 8/9	Jaahytysaika	Cooling time		Jaahytysaika	Cooling time

**Pofinet-liitännäisen MCC-järjestelmän tekninen vaatimusmäärittely (TBD)**

Jouni Pohjola 9.11.2023

1. IE-Profinet-järjestelmän ja/tai kojeiston vaatimusmäärittelyissä on esitettävä, sekä toimintatestauksiin ja toteutussuunnitteluun on sisällytettävä seuraavia asioita.
  - 1.1 Ohjausjärjestelmän ja kentän kokonaisuuden konfiguraatioon tehtävien keskeisten käytettävyyttä varmentavien Profinet-määrittelyjen ohjeisto, sisältäen osaltaan:
    - Järjestelmän Control- ja Supervisory-IO toimintojen kuvaukset
    - Hallinnoitavien erilliskytkinten mallisuositus, sijoitus ja konfiguraatio, sekä minimi vaatimukset (S2, MRP, LLDP ja SNMP)
    - Järjestelmässä yhteistoiminnallisesti testattujen laitteiden (Device-IO minimi vaatimukset S2, MRP, LLDP ja SNMP) verkkotopologiaan kytkennän suositus
    - Verkkotasolla 0-3.5 käytettävien järjestelmä- ja kunnossapidon kentänhallinnan sovellusten sijoittaminen sekä verkottaminen, TAP- ja/tai järjestelmäliityntäiset laitteiden ja verkon tiedon siirron toiminnan työvälineet, sekä DMZ- etäyh-teysmenettelyn suositukset
    - Palomuurit, autentikointi, salaus ja verkon toiminnan, sekä siirtomedian varmentaminen
    - PI-security ja tilaajan kyberturvallisuus vaateet
    - Käytettävät laitekuvaukset (GSDML, FDI), tai muut tarvittavat laitehallinnan kuvaukset, huomioiden edellä mainitun median elinkaarenhallinnan käytännöt
    - IWLAN hyödyntäminen



- 1.2 Tarvittavien Profinet kommunikointiparametrien asettelut, kuten:
- IOD syklisen datan päivityksen aika
  - MRP/MRM/MRC asetukset
  - vastaus-/reaktioajan asetus
  - valvonta-ajan asetus (Twd)
- 1.3 TCP/IP-asyklisten palvelujen hyödyntäminen ja mahdolliset käytön rajoitukset järjestelmässä, esimerkiksi:
- Profinet-profiilit
  - Profinet aktiivinen TAP-tietoliikenne
  - Profinet-Web palvelut ja Sntp-time sync palvelu
- 1.4 Ohjausjärjestelmän S2 kahdennuksen toimintakuvaus, jossa kuvataan vähintään:
- Ohjaimen puolenvaihtoon johtavat seikat sekä siihen liittyvät hälytykset (A&E)
  - toiminnon mahdolliset esteet sekä siihen liittyvät hälytykset (A&E)
  - Puolenvaihdon aika ja vaikutukset IE- kommunikoinnissa
  - Toimintatestausmenettelyt
- 1.5 MRP ringin toiminnan testausohje
- Järjestelmässä tehtävät ringin toiminnan seuranta aktivoinnin asetukset ringi liittyjiltä ja testauksen valvonta
  - Ringin avaaminen ja ringi liittyjien järjestelmäkommunikoinnin toiminnan toteaminen
  - Ringin sulkeminen ja ringi liittyjien järjestelmäkommunikoinnin toiminnan toteaminen
  - Toimintoon liittyvät järjestelmähälytykset (A&E)

- 1.6 Järjestelmän verkonhallinta ja diagnostiikan seuranta ohje
- järjestelmän SNMP/LLDP verkonvalvonnan ja diagnostiikan hyödyntäminen ja seurantamenetelmät
  - net-port load/discards
  - dropped packets
  - jitter
  - 4B5B-MLT3-signaaloinnin monitorointi
- 1.7 Ohjaimen tai laitteen vaihtaminen ja järjestelmä- tai laitekonfiguraation muuttaminen ohjeistus vaatimuksina Profinet-CiR/(DR) toiminnallisuudessa. Järjestelmän ja siihen liitetyn MCC laitekentän, sekä tiedonsiirron toimintaan vaikuttamatta, tulee järjestelmässä voida:
- Muuttaa ja ladata piirisovelluksia
  - Muuttaa järjestelmäasetuksia
  - Muuttaa ja lisätä laitteita
  - Muuttaa laiteparametrejä
  - Suorittaa laite- ja järjestelmäkonfiguraation la-  
tauksia
  - Vaihtaa ohjain tai IE- verkon laitteita, sekä komponentteja

Toimintojen menettelyohjeet ja mahdolliset vaatimus poikkeukset tulee esittää

## MCC-keskuksen liittyminen Profinet-verkkoon

N1XX-X01 Luku 7 spesifikaation täydennysliite

Jouni Pohjola, 6.11.2023

### Yleistä

*Alku sama. Suositeltavat laitteet vaatimusmäärittely on täydennettävä<sup>1)</sup>.*

Profinet-verkon kahdennetut järjestelmä ohjaimet (ICS) liittyvät kytkimiensä kautta kuiturinkiin ja siihen liitettyihin MCC-kentän Teollisuus-Ethernet PN-kytkimiin. Ohjaimeen kuituverkon MCC-PN-erilliskytkimien<sup>1)</sup> ja niihin määritellyillä kuparikaapeleilla liitettävien laitteiden lukumäärä tarkastellaan tapauskohtaisesti, pääosin laitteiden IO-datamäärän ja liitännän topologiarakenteen ohjaamana.

Kuparirinkitopologian *MRP-protokollaan liitettävien laitteiden*<sup>1)</sup> lukumääräksi suositellaan maksimissaan 30 laitetta + siihen liittyvät erilliskytkimet. Rinkitopologia toteuttaa vaihtoehtoisella tiedonsiirtotiellä paremmin yhteyden saatavuutta ja toimintavarmuutta laitteille. Laitteiden liitännätapa PN-erilliskytkimeen voi olla myös laitteen verkkoon liittämistä yksinkertaistava tähtitopologia, jolloin Profinet-laitteen toinen RJ45-portti jää vapaaksi. Tähtitopologia varaa enemmän erilliskytkimen portteja ja sitä kautta enemmän, tai vaatii isompia kytkimiä.

Profinet-kaapelin tulee olla Full Duplex, Type B, (IE FC TP) CAT5e-6 STP mikä mahdollistaa 100 Mbit/s siirtonopeuden, kun kaapelin maksimipituus kaapelityypille on suositeltu 70 m (teoreettinen maksimi pituus 85 m). Laitteiden välikaapelien pituuden tulee olla keskukseen sopiva, sekä tarkoituksenmukainen, liikuttelu varaukset ja mahdolliset niihin kytkettävät M12-väliliittimet huomioiden.

Laitteiden ja niiden verkkokaapelien vaihtaminen toimivassa verkossa on mahdollista *erillisohjeen xxx1 kohdan mukaan*. Verkkokaapelien paikkaa RJ45-porteissa ei saa muuttaa esimerkiksi laite- tai kaapelinvaihdon yhteydessä. Muutos voi aiheuttaa koko verkon toimimattomuuden. Erilliskytkimistä alkavan- ja päättyvän kojeistoringin suositellaan alkavan yhdestä erilliskytkimestä ja päättyvän toiseen erilliskytkimeen. Erilliskytkimen vaihtaminen, johon on liitetty kojeistorinki, aiheuttaa siihen liitettyjen laitteiden ja verkkoa ohjaavan

automaatiojärjestelmän välisen kommunikoinnin katkeamisen vaihdon ajaksi. Verkon muutokset ja erilliskytkimien vaihdot on suunniteltava erikseen, hyödyntäen vain käytössä olevia ja toiminnallisesti testattuja dynaamisen uudelleenkonfiguroinnin Profinet-ominaisuuksia. Toteutukset toimivassa tuotantoympäristössä tehdään tuotannon luvalla. *Katso tarkemmat tiedot Profinet-ohjeesta xxx1 (re. Profibus-laitteet ohje WXXX).*

Sähkösuunnittelu vastaa tiedonsiirtoteiden fyysisestä suunnittelusta sähköti-loissa, väyliin- ja verkkoihin liittyvien laitteiden tehonjakelusta sekä laiteparametrien määrittelystä. Sähkösuunnittelu vastaa myös OT-verkon DMZ-SÄH tarvittavien etähallittavien sovellusten määrittelyistä ja toteutusten suunnittelusta automaatio-suunnittelun ja IT:n tukemana. Profinet-verkkototeutuksen periaate on esitetty liitteen Profinet-järjestelmäverkon tyyppipiirustuksessa, *NXX-18XXX L.1B ja -X.* (Lopputyön liitteet 1. ja 2.)

SIS-lukitusten ohjauksia ei toistaiseksi viedä Profinet-verkkoon PROFIsafe profiililla hyödyntämällä, vaan ne tehdään langoittamalla Profibus DP toteutusta vastaavasti.

### **Profinet-verkko keskuksen sisällä**

Kojeistoryhmä jako ja Profinet-verkotus tehdään prosessin toiminnallisten kokonaisuuksien mukaisesti. *Toisiaan varmentavia moottorilähtöjä ei sijoiteta saman, vain yhden Profinet-erilliskytkimen alaiseen kupariverkkoon. Ulkoisten häiriöiden välttämiseksi, Profinet kojeistoryhmän kuparikaapelia ei viedä keskuksen ulkopuolelle. Keskusten ulkopuoliset verkko osuudet kaapeloidaan omille PN-erilliskytkimille tehtyyn valokuitukaapelirinkiin (esim. VFD-kalustetulle seinälle).*

Jokainen väylälaitteelle keskuksessa tuleva ja lähtevä Profinet-kuparikaapelin häiriösuojavaippa tulee maadoittaa laitteen (välittömässä) läheisyydessä *Profibus DP-kuparikaapelia vastaavasti.* Maadoittaminen tehdään ennen RJ45-liittintä (laitteen puolella). Lisäksi verkkoryhmän kaapelit maadoitetaan M12-liittimen molemmin puolin, kun kyseessä on pitkä kaapeli, esim. kuljetuskatkosten

kohdalla, tai kentästä toiseen menevän segmenttikaapelin kohdalla. Maadoitukseksi käytetään tehdasvalmisteista jousipuristeista 360° maadoitusliitintä. Kaikkien Profinet-verkossa olevien laitteiden tulee olla samassa (tasattu) maapotentiaalissa.

Profinet-verkko keskuksen sisällä pyritään suunnittelemaan siten, että samassa verkkoryhmässä olevat moottorilähdöt ovat lähellä toisiaan. Kuitenkin niin, että keskuksessa laitteiden välissä vähintään 1 m verkkokaapelia. Kaapeleina käytetään tehdasvalmisteisia kaapeleita, johon on valmiiksi kiinnitetty M12-liitin. RJ45-liittimeltä lähtevän kaapelin tyyppi on *XXX-2P- M12XXX /x,x-xxx* (naaras) ja RJ45-liittimelle tulevan kaapelin tyyppi on *XXX-2P- M12XXX /x,x-xxx* (esim. valmistaja Siemens / Phoenix Contact). Kaapelit kiinnitetään RJ45-liittimeen pikaliitintämenetelmä 2 x 2 Full Duplex PN-IE-kaapelille.

Moottorilähtöjen välissä olevat IE-verkkokaapelit yhdistetään kaapelikuilussa B-koodattu M12-liittimillä (kullatut liittimet). *Kahden eri väylän väliin jätetään varalähtöjä, jotka voidaan tarvittaessa liittää kumpaan 'väylään' tahansa (Tausta ja tarkoitus avattava vielä tarkalleen).*

Jokainen verkkokaapeli merkitään molemmista päistään ja M12-liittimen molemmilta puolilta segmenttitunnuksella, sen erilliskytkimen tunnuksella ja keskuksen kentätunnuksilla, johon ko. kaapeli on kytketty. Esim. *JP10-5-SW\_01\_212FD\_210FA Kats. spesifikaatio X-10X.*

Verkkokaapelit ja verkkokomponenttien jännitesyöttökaapelit (24 VDC) sijoitetaan keskuksen yläpuolelle erillään tehonsyöttökaapeleista. Verkkokaapelit tulee olla myös kaapelikuilussa erillään tehonsyöttökaapeleista vastaavasti. Verkkokaapelit kiinnitetään kaapelikuilun etureunaan. Jos tehonsyöttökaapelien jännite on 400 VAC, niin minimi etäisyys on 10 cm ja 690 VAC, niin minimi etäisyys on 20 cm. Toimintavarmuuden parantamisessa etäisyyttä voidaan kasvattaa.

Diesel-varmennetun verkon laitteet sijaitsevat omissa ryhmissään. EC-moottorit jaetaan kahteen eri Profinet-verkkoon. Taajuusmuuttaja ja vastaava

ohituskäytön ohjainyksikkö sijaitsevat saman Profinet-verkon kojeistossa, mutta toisissa erilliskytkimien laiteverkossa.

Profinet-verkkototeutuksen periaate keskuksen sisällä on esitetty *NP3-43XXX* keskuksen kokoonpanopiirustuksessa (Lopputyön liite 6.)

Kojeistotoimittaja tekee valmiille keskukselle asennuspaikalla Profinet-verkon kaapelien mittaukset. *Kuitumittaukset toteutetaan muuntamourakoitsijan toimesta*. Muuntamourakoitsija suorittaa myös verkon toiminnallisen mittauksen sähkö- ja automaation kokonaisjärjestelmän käyttöönoton jälkeen. *IE-verkon mittauksista on niihin liitettävälle laitteille ja mittausten suorittajille erityisvaatimuksia, jotka määritellään osana ohjeessa xxx1*. Kaikista mittauksista tulee saada mittauspöytäkirjat.

### **Verkkolaitteiden käyttöjännitteet**

PN-erilliskytkinten käyttöjännite 24 VDC kaapeloidaan kahdennettuna erillisestä 24 VDC jännitteen jakokeskuksesta, (kiskosta 1 ja 2). Kahdennetun 24 VDC miinukset (-) yhdistetään riviliittimellä, mikäli kytkimellä on yksi liitin miinukselle (M). *24 VDC jännitteenjakelu on esitetty NXX-43XXX L.XX yleiskaaviossa*. Muut verkkoon liittyvät kojeet, esimerkiksi SC PN, ACS, ET200 SP HF saavat käyttöjännitteensä keskuksen sisältä. Näille otetaan käyttöjännite keskuksen 24VDC:sta. Johdonsuoja-automaattina käytetään C- tai B-käyrän 1,6–2 A 1P+N

### **Moottorilähdöt Profinet-verkossa**

Moottorilähdöt tulee olla minimissään 300 mm korkeita ja vaihto seuraavaan moottorin kokoluokkaan on oltava mahdollinen *NPX-43XXX L.X0...X3*. Moottorilähdön kanteen tulee paikallisohjauspaneeli.

## **Verkkoliittyjät**

Profinet-verkkoon liitettävien kojeistojen tulee täyttää kahdennetun ohjausjärjestelmän (S2) ja mediaredundanttisen protokollan (MRP) vaateet, sekä ainakin LLDP- ja SNMP-liikennöinti-protokollat toiminnallisuuden. Poikkeamia voidaan tapauskohtaisesti määritellä, mikäli MCC-verkkoon liitetään laitteita, joilla ei ole suoraa Profinet-protokolla liityntää yhdyskäytävien tai välityspalvelimien kautta.

## **Ohjelmoitava moottoriohjain (Simocode PRO V PN)**

Käytettävät moottoriohjaimet käyvät ilmi sähkönkäyttöluettelosta, tyyppi- ja kojelistausta ja kojevalintataulukosta. Ohjelmoitava moottoriohjain korvaa moottorilähdössä lämpöreleen.

Moottoriohjain valitaan siten, että moottorin nimellisvirta asettuu moottoriohjaimen virta alueelle. Virta asettelualue Simocode ohjaimella on 1,25–820 A. Virta-asettelua saadaan pienemmäksi päävirtojen silmukoinnilla. Silmukointien määrä käy ilmi kojevalintataulukosta.

Moottorilähdöissä jätetään tilavaraus I/O-laajennusyksikölle, esim. Simocode laajennusyksikölle ja kontaktori varustetaan RC-piirillä.

Moottorilähdöissä ohjausvirtapiirin johdonsuoja-automaatin pitää olla C-tyypin 1,6 A. Jos kontaktorin kelan vedossa vaaditaan isompaa nimellisvirtaa, käytetään B-tyypin automaattia kontaktorin ohjausvirtapiirissä ja Simocode ohjaimen eteen asennetaan C-tyypin 1,6 A automaatti.

Käytettävät laitteet:

Asennuksissa käytetään Simocode PRO V DP- tai PN-peruslaitetta:

- erillinen virta/jännitemuuntaja
- tarvittaessa käytetään laajennusyksikköä
- erillinen ohjausyksikkö kennon oveen

Muuntamalla xxx on vanhat asennukset tehty käyttäen Simocode DP-peruslaitetta:

- monostabiili (A-tyyppi)
- Liittimet T1 ja T2 termistoreille (A-tyyppi)
- tarvittaessa käytetään laajennusyksikköä
- erillinen ohjausyksikkö kennon oveen

### **Etä I/O-yksikkö (PN ET200SP HF)**

Etä I/O-yksiköt ja PN-erilliskytkin sijoitetaan keskuksessa samaan tilaan vierekkäin. Tila pitää olla riittävän suuri mahdollista laajennusta varten, esim. koko kenttä. Etä I/O-yksikköä käytetään verkko ohjatuissa keskuksissa kenttälaitteiden ohjauksiin ja hajautettujen Etä I/O-tietojen välittämiseen automaatiojärjestelmään Profinet-verkkoa pitkin. Etä I/O-yksiköitä asennetaan vähintään kaksi kappaletta / kojeistoryhmä.

Etä I/O-yksikkö muodostuu PN-IE- liityntämoduulista (tyyppi: 6ES7155-6AU01-0CN0), sekä valittavissa olevista digitaali- ja analogiamoduuleista. Viimeisimmät tyypit tulee tarkastaa *CRXXX suositellut laitteet listasta*.

Moduulien rajoittavat tekijät:

- Maksimissaan 64 moduulia
- Moduulien kokonaisuus fyysisesti 1 metri ja ohjelmallisesti 1440 tavua/ 288 tavua per moduuli.

Laajennettavuuden vuoksi, Etä I/O-yksikkö (PN ET200 SP HF) sijoitetaan omalle DIN-kiskolle, joka maadoitetaan PE-liittimen kautta keskuksen PE-kiskoon. I/O-yksikköön liittyvät riviliittimet tulevat omalle DIN-kiskolle.

Määriteltävät DI- tulot (vika kosketintietoja) johdotetaan ensisijaisesti eri PN-verkkoon. Mikäli tämä ei ole mahdollista, niin vikatulot johdotetaan samaan verkkoon, mutta eri verkoryhmän liitettävään Etä I/O-yksikköön, tai ICS:ään.



PN-erilliskytkimen tyyppin valinnassa on huomioitava, että ne täyttävät Profinet-ICS-verkon S2-, MRP-, LLDP- ja SNMP-vaatimukset ja valitut tyypit ovat kaikki samaa ICS-ohjaisjärjestelmässä toimivaksi testattua versiota.

### **Taajuusmuuttaja (VFD)**

Käytettävät taajuusmuuttajat käyvät ilmi sähkönkäyttöluettelosta, tyyppi- ja kojelistausta ja kojevalintataulukosta. Kun taajuusmuuttaja kytketään Profinet-verkkoon, pitää siihen kytkeä erillinen IE-sovitin (tyyppi: FENA/FPNO-21). Taajuusmuuttajissa käytetään varmennettua, ulkoista 24 VDC käyttöjännitettä. Lisättäessä uusia taajuusmuuttajia olemassa olevaan verkkoon, on selvitettävä, että automaatiojärjestelmässä käytössä oleva GSD-tiedosto (GSDML) ja taajuusmuuttajasta valittu liikennöintitapa soveltuvat yhteen taajuusmuuttajan Profinet -moduulin kanssa (Profinet-mpduulin manuaali).

### **Kennotermiinaali (REF / REM)**

Kennotermiinaalin liittäminen (Gateway/Proxy) Profinet-verkkoon tulee sopia tapauskohtaisesti.

### **Prosessilaittehälytykset**

Suoraan automaatioon vietävät *määriteltävät* hälytykset (Alarms & Events):

- Kaikki yksittäiseen prosessilaitteeseen liittyvät hälytykset, kuten taajuusmuuttajan häiriö
- prosessilämmittimet, (tyristorihjatut)
- ohjausjännitevalvonnat
- käynnistysvalmiudet
- vikahälytykset
- ylikuormitushälytykset
- Automaation Profinet IE-verkkoon kytketyt laitteet

### **Muut huomioitavat vaatimukset**

Noudatetaan *Testausohjeet yleinen osa ohje xxx1 (re. 2.10 WI8xx)*

Operointi, kunnossapito ja elinkaarenhallinta säännöstöä.

