

# **Teollisuus 4.0**

**Case: IFM IO-link ja Mindsphere**

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Konetekniikka

2021

Sami Viinikka

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Viinikka, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2021
	Sivumäärä 20	
Työn nimi <b>Teollisuus 4.0</b> Case: IFM IO-link ja MindSphere		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Timo Lahtinen, Lehtori, LAB-ammattikorkeakoulu		
Tiivistelmä <p>Työn aiheena on toiminnallinen koontiteos teollisuus 4.0 teknologiaan yleisesti mielle-tyistä IO-link ja teollisuuden esineiden internet -teknologioiden toiminnasta ja ohjeis-tus niiden käyttöönotosta. Työn laajuuden rajoittamiseksi ja käsiteltävien asioiden päällekkäisyyden vähentämiseksi käsitellään molemmista teknologioista vain yhden valmistajan järjestelmiä.</p> <p>Ohjeistuksissa olevat tiedot kerättiin LAB-ammattikorkeakoulussa toteutetun hank-keen aikana suunnittelemalla ja käytännössä toteuttamalla. Koontiteos sisältää oh-jeistukset IFM IO-link masterin ja Siemens MindSpheren käyttöönotosta Siemensin valmistaman SIMATIC S7-1200 sarjan ohjelmoitavan logiikan kanssa.</p> <p>Työn tuloksena luotiin ohjeistukset käyttöönotoista ja havaittiin älykkäiden antureiden ja IO-link -teknologian hyödyt verrattaessa niitä edeltäneisiin järjestelmiin ovat laaja-alaisia, mutta heikkouksia ovat kuitenkin pidempi tiedonsiirron viive sekä ostohinta pienissä järjestelmissä. MindConnect laitteiston kautta saavutettavat turvatekijät ilme-nivät helpon, mutta turvallisen yhteyden luomisen aikana. MindSpheren maksullisten lisäominaisuuksien käyttämättä jättäminen ei mahdollistanut alustasta täyden hyödyn saavuttamista. Todennäköisesti IO-link järjestelmät yleistyvät lyhyen ajan sisällä, mutta MindSphere omaksutaan hitaammin vuosittaisten kustannuksien haasteellisen laskemisen vuoksi.</p>		
Asiasanat IO-link, MindSphere, PLC, teollisuuden esineiden internet, teollisuus 4.0, älykkäät an-turit		

## Abstract

Author(s) Viinikka, Sami	Type of Publication Bachelor's thesis	Published 2021
	Number of Pages 20	
Title of Publication <b>Industry 4.0</b> Case: IFM IO-link and MindSphere		
Name of Degree Bachelor of Engineering		
Name, title and organization of the client Timo Lahtinen, Teacher, LAB University of Applied Sciences		
Abstract <p>Subject for explanatory thesis was IO-link and industrial internet of things technologies that are commonly associated on Industry 4.0 and instructions for their setup. To limit scope of thesis and overlap of content, only one manufacturer was selected from both technologies.</p> <p>The Information gathered for this project was tested through the design and and building of system. The work was carried out at LAB University of Applied Sciences. Qualitative data consisting, guidance on setup of IFM IO-link master and Siemens MindSphere on SIMATIC S7-1200 series programmable logic.</p> <p>As results from the research, benefits of smart sensors and IO-link -technology were noticed in comparison to previous technologies it is multi-functional system and is out-matched mainly in delay of signals and in acquisition expenses on small scale systems. Benefits of MindConnect hardware became apparent during simplified creation of secure connection. However, due to lack of paid add-ons for MindSphere, its full potential was not achieved. It's reasonable to expect IO-link systems to become more widely used in near future, but MindSphere's integration will be slower due to difficulties of calculating annual expenses.</p>		
Keywords Industrial IoT, Industry 4.0, IO-link, MindSphere, PLC, smart sensors		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Laitteiston kasaus.....	2
2.1	Tavoite.....	2
2.2	Laitteiden valinta.....	2
2.3	Toimintakaavio .....	3
3	Ohjelmoitava logiikka (PLC).....	4
4	Anturitietojen käsittely.....	6
4.1	Virtasilmukka ja jänniteviesti anturit .....	6
4.2	Älykkäät anturit .....	6
4.3	IO-link .....	7
5	SIMATIC S7-1200, AL1102 IO-link master ja IO-link-laite .....	9
5.1	Käyttöönoton vaiheet.....	9
5.1.1	Alkuparametointi LR Devices ohjelmistolla .....	9
5.1.2	IO-link masterin lisääminen.....	9
5.1.3	IO-link-laitteen lisääminen.....	12
5.2	Viestin tulkitseminen .....	12
6	Teollisuuden esineiden internet (IIoT).....	13
6.1	Teknologia.....	13
6.2	MindSpheren käyttöönotto .....	13
6.2.1	Ympäristön luominen.....	13
6.2.2	Laitteen lisääminen.....	14
6.3	Tiedonsiirto.....	15
6.3.1	PLC:n valmistelu.....	15
6.3.2	Tiedon siirto.....	17
6.3.3	Tiedon yhdistäminen.....	17
6.4	Tiedon hyödyntäminen .....	18
7	Pohdinta ja tulevaisuus.....	19
8	Yhteenveto .....	20
	Lähteet .....	21

## Käsitteet

Analoginen signaali	mitta-arvon sähköinen esittäminen määritellyllä mitta-alueella
Aspect-muuttuja	muuttuja jolla on nimi, yksikkö, muuttujatyyppi ja maksimipituus
Asset-malli	kuvaistaa MindSpheressä laitetta tai rakennetta
Baud	tiedonsiirron nopeusyksikkö
Data block	ohjelmoitavassa logiikassa käytettävä määritelty tietue
FBD	standardoitu laatikkopohjainen-ohjelmointikieli PLC:tä varten
GET	TCP-yhteyden aikana käytetty tiedon hakumetodi
GSDML	standardoitu tapa ilmoittaa profinet-laitteen tiedot
IIoT	teollisuuden esineiden internet
IL	standardoitu konekielipohjainen ohjelmointikieli PLC:tä varten
IO-link	standardoitu kommunikointitekniikka
IODD	anturin tai toimilaitteen laitekuvaus
Jänniteviesti	arvon ilmoittaminen jännitteellä
Kenttäväylä	tehdasautomaatiossa käytetty tiedonsiirtoväylä
Kyberhyökkäys	luvaton järjestelmään tunkeutuminen
LD	standardoitu tikapuu-ohjelmointikieli PLC:tä varten
MindSphere	Siemensin tuottama pilvipalvelu
NPN (sinking)	analoginen signaali syöttää anturille sähkövirtaa
Ohjelmoitava logiikka	automaation ohjauksessa käytettävä tietokone
PLC	ohjelmoitava logiikka
PNP (sourcing)	analoginen signaali vastaanottaa anturilta sähkövirtaa
PROFINET	teollisuudessa käytetty ethernet-pohjainen kenttäväylä
PUT	TCP yhteyden aikana käytetty tiedon lähetysmetodi
Reletekniikka	ohjausvirralla käytettävä sähkömekaaninen kytkin

SFC	standardoitu vuokaavio -ohjelmointikieli PLC:tä varten
Siemens Tia Portal	Siemensin ohjelmoitaville logiikoille tarkoitettu ohjelmisto
ST	standardoitu rakenne teksti -ohjelmointikieli PLC:tä varten
TCP	tietoliikenneprotokolla yhteyden luomiseksi
Teollisuus 4.0	teollisuuden kehitysaskel, joka tehostaa tuotannossa kerätyn tiedon käyttöä ja saatavuutta
Type-laitepohja	laitepohja, joka sisältää aspect-muuttujia
Virtasilmukka	arvon ilmoittaminen sähkövirralla
Yksityinen verkko	julkisesta verkosta rajattu tietoliikenneverkko
Älykäsanturi	anturi sisältää prosessorin ja kykenee digitaaliseen viestintään

# 1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkitaan teollisuus 4.0 -teknologiaa ja luodaan ohjeet sen edellytyksistä ja käyttöönnotosta. Teollisuus 4.0 määritellään teollisuudessa tapahtuvaksi neljänneksi teollisuuden vallankumoukseksi eli merkittäväksi kehitysaskelleeksi tuotannossa käytettävässä teknologiassa, mikä muuttaa teollisuuden toimintaa. 1970-luvulla oli alkanut kolmas teollinen vallankumous tietokoneilla suoritettavan tuotannonohjauksen ja automaation kehityttyä. Teollisuus 4.0 on enemmän keskittynyt prosessin aikana tapahtuvaan tiedon keräämiseen, tiedon saatavuuden parantamiseen ja tehokkaampaan hyödyntämiseen. (Bernard 2019.)

Teollisuus 4.0 pohjautuu aikaisemmin kehitettyjen teknologioiden tehokkaaseen yhdistämiseen, sillä tiedon kerääminen laitteista tai saatavuuden parantaminen internetin kautta ei ole itsessään uusi idea. Laitteista ja antureista tuotettava lisätieto ja turvallisen yhteyden luomisen helpottuminen mahdollisti reaaliaikaisen tiedon käyttämisen, analysoinnin sekä koneoppimisen ja tekoälyn integroimisen tuotantoon (Bernard 2019).

Opinnäytetyö suoritetaan LAB-ammattikorkeakoulussa toteutettavan ITKO - Yrityslähtöiset IoT-ratkaisut ja koneoppiminen -hankkeen aikana, jossa yhteistyökumppaneina ovat Esys Oy ja Orfer Oy. Hankkeen aikana kerätään yrityksistä dataa pilvipalveluun ja hyödynnetään sitä analysoinnissa, koneoppimisessa ja tekoälyn kanssa. Projektin aikana on tarve suunnitella ja toteuttaa koulun tiloihin teollisuuden esineiden internet (IIoT) -oppimisympäristö ja lähetettävän tiedon keräämisessä hyödynnetään IO-link -teknologiaa.

## **2 Laitteiston kasaus**

### **2.1 Tavoite**

Tuotannonohjaus tapahtuu lähtökohtaisesti aina sähköä hyödyntäen ja myös teollisuudessa käytettävät ohjelmoitavat logiikat tarvitsevat sitä toimiakseen. Teollisuudessa käytettävät anturit usein toimivat 12V-tasavirralla (Direct Current) tai 24VDC (TOREX SEMICONDUCTOR LTD). Liitettävän laitteen tiedot on tarkistettava valmistajan tuotetiedoista. Tasavirta tarkoittaa jännitettä, joka ei vaihda positiivisen ja negatiivisen jännitteiden puolia ja kulkee virtapiirissä vain yhteen suuntaan. Vaihtovirta (Alternating Current) vaihtaa positiivisen ja negatiivisen jännitteen puolia. Vaihtovirran jännitteen yhteydessä voidaan ilmoittaa taajuus eli suunnan vaihtelunopeus hertsi-yksikössä (Hz). (Nopolan koulu.)

### **2.2 Laitteiden valinta**

Hankkeessa olevan sähkökeskuksen tuli sisältää vähintään SIMATIC S7-1214C -ohjelmoitava logiikka, MindConnect Nano ja mahdollistaa AL1102 IO-link masterin liittäminen. Edellä mainittujen komponenttien lisäksi asennettiin DN4012 ja Scalance XB005.

#### **AL1102**

IO-link master mahdollistaa älykkäiden antureiden yhdistämisen ohjelmoitavaan logiikkaan. AL1102 on IFM:n valmistama IO-link master, jossa on 2 liitintä ohjelmoitavan logiikan ja valinnaisesti toisen IO-link masterin liittämiseksi, 8 liitintä IO-link-laitteille sekä liitin 24VDC virtalähteelle. (Ifm electronic Oy a.)

#### **DN4012**

Hakkuriteholähde muuntaa järjestelmään syötetyn 230VAC/50Hz:n 24VDC jännitteeksi. Jännitteen muuntamisen lisäksi DN4012 vähentää verkkovirrasta tulevia häiriöitä antamalla tasaisesti virtaa lyhytkestoisen sähkökatkoksenkin aikana. (Ifm electronic Oy b.)

#### **MindConnect Nano**

Siemensin valmistama komponentti yhdistää ohjelmoitavan logiikan MindSphere pilvipalveluun. MindConnect Nano yksinkertaistaa MindSphere pilvipalveluun turvallisen yhteyden luomista ja vaikeuttaa ohjelmoitavalle logiikalle tarkoitettuun tietoliikenneverkkoon vaikuttamista. (Siemens 2018a, 4-5.)

## Scalance XB005

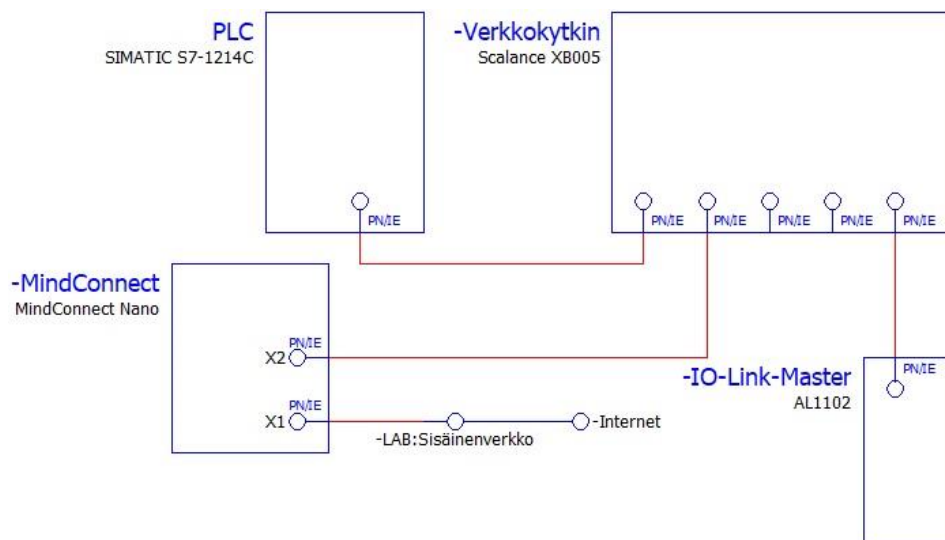
Scalance XB005 toimii verkkokytkimenä ja mahdollistaa usean laitteen yhdistämisen Ethernet-liittimellä. Scalance XB005 tukee maksimissaan 5:n laitteen yhdistämisen ja liitetyn laitteen kanssa saadaan maksimissaan 100Mb/s tiedonsiirtonopeus. (Siemens b.)

## SIMATIC S7-1214C

SIMATIC on Siemensin S7-1200 tuotesarjan ohjelmoitava logiikka, jonka ohjelmointi suoritetaan Siemens Tia Portal ohjelmistolla. Siemens Tia Portal on Siemensin valmistama ohjelmisto, mikä on tarkoitettu Siemensin valmistamille ohjelmoitaville logiikoille. Komponentin käyttöjännite on 24VDC ja sisältää yhden ethernet liittännän. (Siemens a.)

### 2.3 Toimintakaavio

Laitteet yhdistettiin kuvan 1 esittämällä tavalla ethernet-kaapeleilla. Ethernet-kaapelin käyttö mahdollisti kaikkien laitteiden yhdistämisen yhdentyypisillä liittimillä, sillä MindConnect Nano:n ja SIMATIC S7-1214C:n väliselle yhteydelle ei ollut muuta vaihtoehtoa. Tämän lisäksi käytössä olevassa ohjelmoitavassa ohjelmoitavassa logiikassa oli vain yksi ethernet-liitin.



Kuva 1. Ethernet-yhteydet

### 3 Ohjelmoitava logiikka (PLC)

Ohjelmoitava logiikka eli PLC (programmable logic controller) on yleisnimitys automaation ohjauksessa käytettävälle tietokoneelle. PLC kerää automaattisesti anturitiedot ja siihen ohjelmoidun ohjelmiston perusteella vaikuttaa järjestelmään toimilaitteilla. Teollisuuden automaatioissa kenttäväylä on yleisnimitys digitaaliselle tiedonsiirtoväylälle, joka mahdollistaa kaksisuuntaisen tiedonsiirron yhden tai useamman PLC:n välillä. Kenttäväylä on yksityiskohtaisesti määritelty IEC 61784- ja IEC 61158-standardi perheissä (European Commission 2021). PLC suorittaa toistuvasti siihen ohjelmoidun ohjelmiston, eikä kykene reagoimaan ohjelmistossa ennakoimattomiin tilanteisiin. Tämän vuoksi suunnittelu ja ohjelmiston yksilöinti käyttökohteeseen on luotettavan ja turvallisen toiminnan takaamiseksi tärkeää.

PLC:n ohjelmoinnissa standardi IEC 61131-3:2013 määrittelee viisi ohjelmointikieltä IL (Instruction list), ST (Structured text), LD (Ladder Diagram), FBD (Function block diagram) ja SFC (Sequential function chart) (International Electrotechnical Commission 2013a). Advanced Micro Controls, Inc (2021) kertoo, että LD on yleisimmin käytetty graafinen ohjelmointikieli, mikä muistuttaa sähköreleiden toimintakaaviota. ST:tä käytettäessä ohjelmointi tapahtuu Pascal-ohjelmointikieliä muistuttavalla tekstirakenteella. Reletekniikassa hyödynnetään sähkömagneettia sähkömekaanisten kytkimien ohjauksessa. IL katsotaan vanhentuneeksi ohjelmointikieleksi eikä sitä suositella käytettäväksi (PLCopen). IL hyödyntää päätoimisesti enintään muutaman merkin mittaisia käskyjä toimintojen kutsumiseksi. FBD:ssä kaikki toiminnot esitetään laatikkoina, joita voidaan yhdistää monipuolisten ohjelmien tuottamiseksi. SFC on graafinen ohjelmointikieli, missä ohjelmointi muistuttaa vuokaavion käyttöä. Kaikilla ohjelmointikielillä voi vähintäänkin teoriassa tehdä saman ohjelman, mutta on suositeltavaa arvioida mikä on käyttökohteeseen paras vaihtoehto. Osa PLC:stä mahdollistaa useiden ohjelmointikielien käytön samassa ohjelmassa.

Siemens Tia Portalissa ohjelmistossa olevat ohjelmointikielet noudattavat standardia, mutta käyttävät niiden kanssa eri nimikkeitä. Kuvassa 2 on toteutettu eri ohjelmointikielillä yksinkertainen kahden tulon tarkistus ja jos molemmat ovat true (tosi) tilassa, niin PLC:n muistissa sijaitseva totuusarvomuuuntuja menee true tilaan. Esimerkeissä ST:n toiminta poikkeaa muista siten, että "Test SCL" ei palaudu false (epätosi) tilaan, kun ehdot eivät täyty.



Kuva 2. Esimerkki ohjelmointikielistä ohjelmointikielistä (mukailtu Hegamurl 2019)

Sähkörajoitussijaliitto ry:n Ohjelmitava logiikka teoksessa kerrotaan ohjelmitavan logiikan tulleen käyttöön 1970-luvulla autoteollisuuden toimesta. Aikaisemmin käytettyyn reletekniikkaan verrattaessa ohjelmitavalla logiikalla oli nopeampi ja helpompi tehdä muutoksia mallimuutoksien aikana. (Kataja & Metsikkö 1991, 19.) Automaatiossa on useita kokonaisuuksia, jotka hyödyntävät ohjelmitavaa logiikkaa ja kutsutaan järjestelmän rakenteesta riippuen eri nimikkeillä. Teknologian kehittymisen aikana järjestelmän toimintavarmuus on parantunut hajauttamalla PLC eri tuotantolaitteisiin ja synkronoimalla tarvittavat tiedot näiden välillä, minkä vuoksi koko järjestelmä ei ole riippuvainen yksittäisestä laitteesta tai lakkaa toimimasta yksittäisen vikatilanteen aikana. PLC järjestelmät ovat nykyisin teollisuudessa eniten käytetty ohjausjärjestelmä.

## 4 Anturitietojen käsittely

### 4.1 Virtasilmukka ja jänniteviesti anturit

Anturilla usein mitataan suuretta, joka ei ole sähköinen. Anturilta saatava arvo on muutettava sähköiseen muotoon, jotta anturitiedon vastaanottava laite pystyisi tulkitsemaan mitattu suure. Analogiset anturit hyödyntävät joko sähkövirtaa (virtasilmukka) tai jännitettä (jänniteviesti) mitatun arvon välittämiseksi. Viestintä tapahtuu vaihtamalla virtasilmukassa sähkövirran määrää ja jänniteviestillä jännitettä. Kummassakin viestintätavassa on useita viestialueita käytössä, mikä tulee selvittää käyttöönotettaessa anturin valmistajan käyttöohjeista. (Lathi & Ding 2009, 2-3, 20-23.) Analoginen viestintä on altis häiriölle, mikä voi johtua ulkopuolisista tekijöistä tai käytetystä kaapelista ja sen luomasta vastuksesta. Tämän lisäksi analogista viestiä muutettaessa digitaaliseksi arvoksi tapahtuu arvon pyöristys, joka lisää epätarkkuutta (Lathi & Ding 2009, 6.)

Antureita valmistetaan PNP ja NPN tyyppisinä, mitkä viittaavat niissä käytettävään signaaliin. PNP (sourcing) anturia käytettäessä PLC:n input-liitännässä on nollajohdin ja arvo tulkitaan anturilta tulevasta sähkövirrasta. PNP on Euroopassa yleisimmin käytetty signaali-tyyppi. NPN (sinking) vaatii PLC:n input-liitännältä positiivisen jännitteen ja arvo ilmenee anturille menevästä virrasta. NPN on ollut Aasiassa suosittu, mutta nykyisin on harvoin käytössä. (Schneider Electric 2012.)

Antureissa voi olla myös binäärinen tieto, mikä on joko NO (Normally Open terminal) tai NC (Normally Closed terminal). NO kertoo laitteen lähettävän signaalia aina paitsi tunnistuksen aikana ja NC päinvastaisesti antaa signaalin tunnistuksen aikana. Signaalin tyyppi tulee huomioida PLC:n ohjelmoinnin aikana, mutta ei aiheuta merkittävää eroa.

### 4.2 Älykkäät anturit

Älykkäät anturit noudattavat IEEE 1451-standardi perhettä (Institute of Electrical and Electronics Engineers 2007). ”Teollisuus 4.0” tyyppisten anturien erottava tekijä edellä mainittuihin perinteisiin virtasilmukka- ja jänniteviestiantureihin verrattaessa on kommunikointitapa, sekä digitaalisella viestinnällä saatava tiedon määrä (Bernard 2019). Lähtökohtaisesti logiikka ei kykene suoraan hyödyntämään älykkään anturin toimintoja, mutta useimmat älykkäät anturit ovat myös käytettävissä virtasilmukka tai jänniteviesti kommunikoinnilla ilman älykkään anturin toimintoja.

### 4.3 IO-link

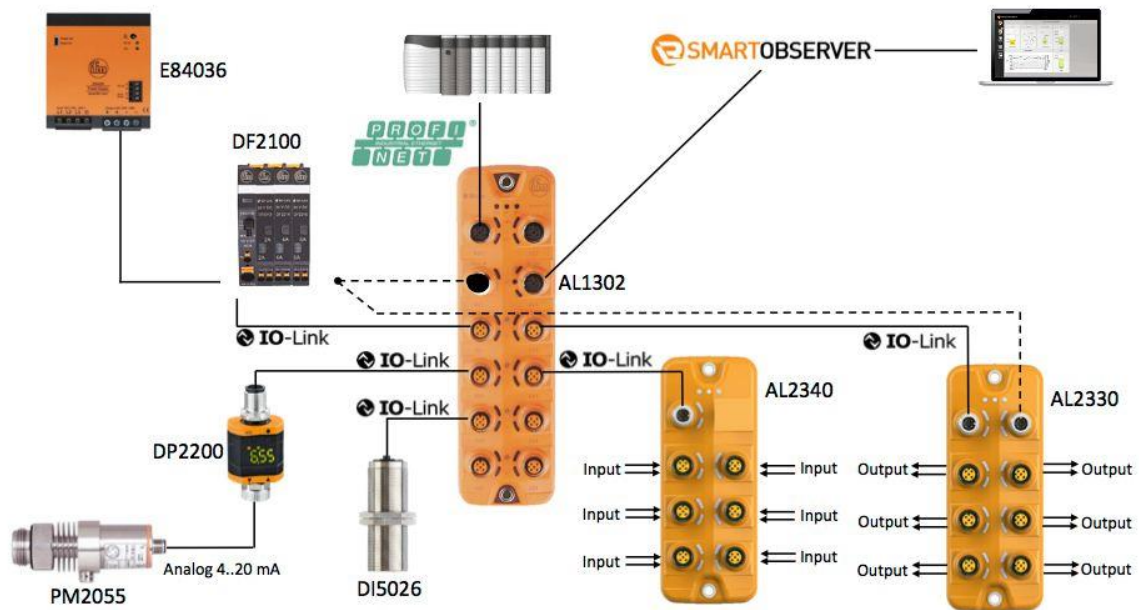
IO-link on standardia IEC 61131-9:2013 noudattava digitaalinen kaksisuuntainen kommunikointi standardi (International Electrotechnical Commission 2013b). Standardissa määritellään käytettävät liittimet, laitteelle syötettävä jännite ja tietojen luku- ja kirjoitusprotokolla (International Electrotechnical Commission 2013c). IO-link -teknologia antureiden ja toimilaitteiden kanssa mahdollistaa kaksisuuntaisen digitaalisen tiedonsiirron käyttämisen. Digitaalinen tiedonsiirto mahdollistaa arvojen, tilatietojen ja laitteiden tunnistamisen sekä laitteiden automaattisen parametroidin. IO-link -teknologia mahdollistaa älykkäiden antureiden ja toimilaitteiden lisäksi muiden kuin NPN tyyppisten antureiden liittämisen. (IO-link konsortio a.)

Yleisesti IO-linkin etuina mainitaan anturin/toimilaitteen vaihdon yksinkertaisuus ja varmuus, lisätiedon tuottama tuki ennakoivan huollon tekemiseksi ja johtojen hallinta. IO-link masterilta yhdistetään PLC:hen vain yksi kaapeli ja IO-link masteriin voi liittää toisia IO-link mastereita sarjaan. IO-linkin ansiosta logiikka kykenee tunnistamaan anturin, tarvittaessa etäkonfiguroimaan anturin parametrit ja vastaanottamaan anturilta virheilmoituksia ja tilatietoja. (SICK OY; Ifm electronic Oy d, 11-12; Siemens d.)

IO-link masterin valmistajat tuottavat omia ohjelmistoja, jotka yksinkertaistavat ensimmäisen kerran suoritettavan parametroidin, mutta niiden käyttäminen ei ole välttämätöntä. IODD on xml tyyppinen tiedosto, mikä sisältää kaikki IO-link masterin tai hubin tarvitsemat tiedot laitteen tunnistamiseksi ja käyttämiseksi (Ifm electronic Oy d, 16). IODD Finder on IO-link yhteisön luoma ja ylläpitämä, valmistajasta riippumaton IODD tietokanta (IO-link konsortio b).

IO-link-laitteet voidaan yhdistää IO-link masterin tai IO-link hubin laiteporttiin, joista master on aina pakollinen käytettäessä IO-link toimintoja ja IO-link hub on liitettävä master yksikön laiteporttiin. Näiden merkittävimpiä eroja on, että master tunnistautuu erillisenä laitteena verkossa ja toimii järjestelmässä tiedon välittäjänä logiikan ja siihen liitettyjen laitteiden välillä. IO-link hub toimii kentällä käytettävänä tiedonkerääjänä, josta annetaan master yksikölle digitaalista binääridataa ja virheviestejä. (Ifm electronic Oy d, 7-8, 11.) IO-link master ja IO-link hub ei välitä tunnistettujen IO-link-laitteiden tietoja muille laitteille. IO-link-laitteissa on A- ja B-luokan portteja. A-luokka soveltuu matalalla virralla toimiville IO-link-laitteille, mikä kattaa useimmiten käytetyt komponentit. B-luokan portti liittää toisen virtalähteen ja liitetty laite voi hyödyntää toiminnassaan enemmän virtaa. A-luokan porttiin on mahdollista liittää y-haaroittaja, joka mahdollistaa toisen virtalähteen ja B-luokan laitteiden liittämisen. IO-link kaapeloinneissa on suositeltavaa pitää välimatkat maksimissaan 20m tai alle. (Ifm

electronic Oy d, 9.) Kuvassa 3 on esitetty AL1302 IO-link master, johon on liitetty AL2340 IO-link hub ja muutama IO-link-laite.



Kuva 3. Esimerkki IO-link-laitteiden liittämisestä (Ifm electronic Oy c)

PLC:n ja anturin välisen kommunikoinnin aikana ei lähetetä yksittäistä tietoa, sillä anturin kaikki tiedot lähetetään yhdessä. Viestintä PLC:n ja IO-link masterin väillä jakautuu syklilliseen ja epäsyklilliseen. Syklillinen viestintä sisältää tulo- ja lähtöarvot. Epäsyklillinen viestintä sisältää tapahtumat ja pyynnöstä tapahtuvat parametrien luku- ja kirjoituspyynnöt. Tapahtuma tiedoksi määritellään virheviestit, varoitukset ja ilmoitukset. (IO-link konsortio 2010, 7-8.)

IO-link-laitteen kanssa kommunikoidaan tavun mittaisilla tietueilla. Tavu koostuu 8:sta bittistä, jotka ovat joko 2-järjestelmällä esitettyjä arvoja tai totuusarvomuuuttujia. Viestin rakenteen takia tietueista valikoidaan yksi tai useampi bitti, mikä asetetaan käyttöohjeissa kerrotun muuntujatyyppin alle lähetetyn arvon palauttamiseksi. IO-link-laitteilla on käytössä kolme nopeutta. Nopeus ilmoitetaan Baud tai kBaud yksiköillä. 1 Baud on 1 merkki sekunnissa ja kBaud 1000. Merkki voi olla 1 tai 0, eikä sisällä yhteyden käyttämää protokollaa. Käytössä on 4,8 kBaud, 38,4 kBaud ja 230,4 kBaud nopeudet. Tämä tarkoittaa 3:n tavun kokoisella tietueella 4,8kBaud yhteyttä käytettäessä 18ms viivettä ja nopeimmalla 230,4 kBaud yhteydellä 0,4ms viivettä. (Ifm electronic Oy d, 22, 27.)

## 5 SIMATIC S7-1200, AL1102 IO-link master ja IO-link-laite

### 5.1 Käyttöönoton vaiheet

On olemassa monta valmistajaa, jotka tuottavat IO-link mastereita, mutta tässä projektissa ja ohjeistuksessa käytetään IFM:n valmistamaa AL1102 IO-link masteria, sekä heidän LR devices parametointi -ohjelmistoa. Ohjelmisto on ilmaiseksi saatavilla, mutta parametrien kirjoittamista ei pysty tekemään ilman maksullista lisenssiä.

IO-link master tunnistautuu Siemens Tia Portalissa laitteena ja se lisätään laitekirjastosta ja väyläyhteys määrittämään PLC:hen. Siemens Tia Portalin laitekirjasto ei oletusarvoisesti sisällä käytetyn IO-link masterin tietoja tai protokolleja ja ne tulee lisätä GSDML tiedostolla, joka sisältää yleiset ja laitekohtaiset protokolla- ja yhteystiedot.

Anturi tai toimilaite lisätään IO-link masterin laiteporttiin määrittelemällä viestinnässä käytetty tapa, välitetyn tiedon määrä ja PLC:n käyttämä alue tietojen käsittelyyn. Lisättävän laitteen käyttämä tapa sekä välitetyn tiedon määrä ilmoitetaan valmistajan ohjeissa.

#### 5.1.1 Alkuparametointi LR Devices ohjelmistolla

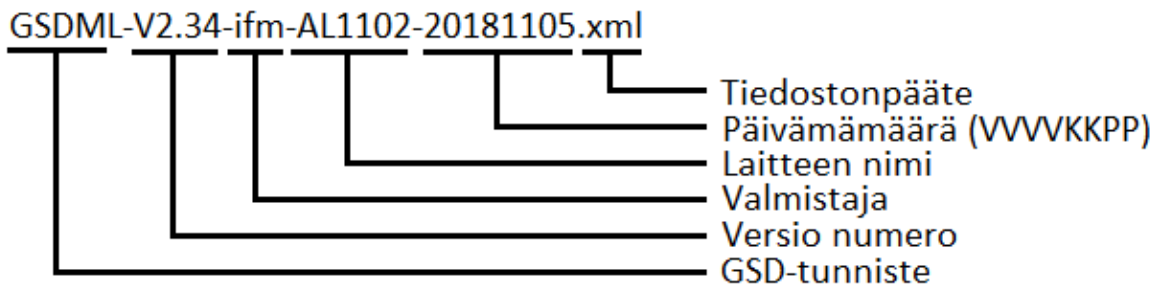
LR Devices -ohjelmistoon on saatavilla laaja kirjasto älykkäitä sensoreita, mikä mahdollistaa IO-link masteriin tai hubiin liitettyjen antureiden automaattisen tunnistamisen. IO-link masterin ja antureiden tunnistamisen jälkeen voi asettaa anturille halutut parametrit ja tallentaa ne IO-link masterille. IO-link masterille on määriteltävä laitteen nimi, IP-osoite, aliverkko ja oletusyhdyntävä. Laitteen nimi on vapaasti valittavissa, mutta muut määräytyvät käyttökohteen verkon suunnittelun perusteella.

Antureiden ja toimilaitteiden osalta IODD määrittelee säädettävät parametrit sen toiminoista ja ominaisuuksista. IODD tiedoston rakenne noudattaa ISO 15745 -standardi perhettä ja parametointi ohjelmistojen kehittäjiä suositellaan hyväksymään vain IODD-Checker työkalulla hyväksytysti tarkistettut ja merkityt IODD tiedostot (IO-link konsortio 2009, 4, 9).

#### 5.1.2 IO-link masterin lisääminen

IFM tarjoaa AL1102:lle GSDML (Generic Station Description Markup Language) tiedoston, jonka avulla käyttäjä voi lisätä Siemens Tia Portalin PROFINET väylällä toimivan laitteen. PROFINET on ethernet-liitännällä yhdistyvä kenttäväylä. GSDML tiedosto käyttää ISO 15745-4:2003 (2003) standardia tiedoston nimeämisessä, mikä on Ethernet-liitettä käytäville laitteille suunnattu (Siemens 2020a).

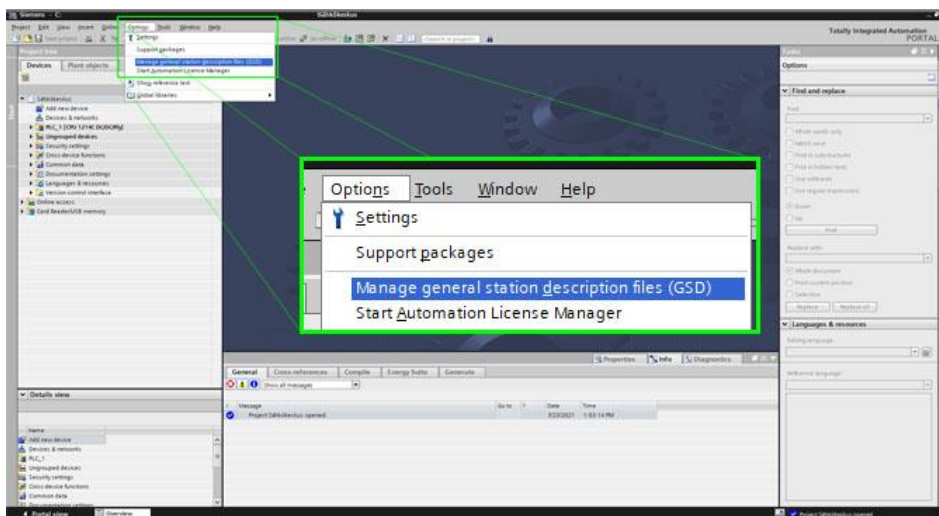
AL1102:n lisäämiseksi käytettiin ”GSDML-V2.34-ifm-AL1102-20181105.xml” tiedostoa, jonka voimme alla olevan kuvan 4 ohjeita seuraten tulkita olevan 5.11.2018 IFM:n valmistama GSDML tiedosto AL1102 laitteelle ja se on numeroitu versioksi 2.34. Tiedoston nimen perusteella voi vertailla useammasta lähteestä saatavia GSDML tiedostoja ja valita joko uusin versio tai kokeilla eri versioita mahdollisten ongelmien aikana.



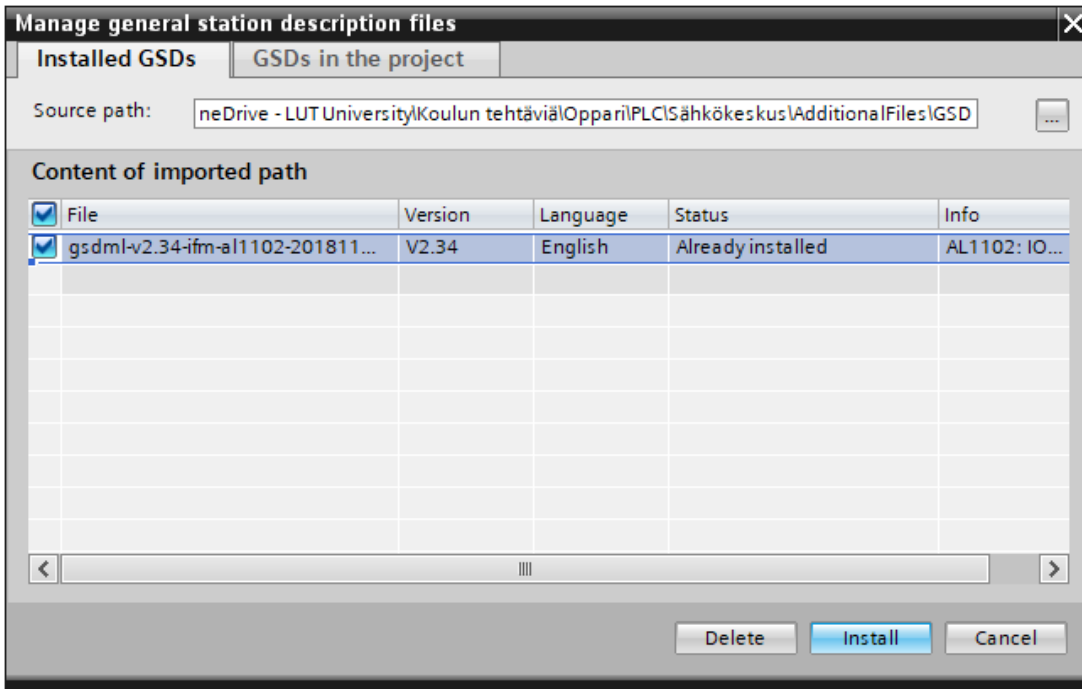
Kuva 4. ISO 15745-4:2003 standardi GSDML tiedostoille

Vaiheet GSDML:n asentamiseksi on seuraavat:

1. Kuvan 5:n näyttämästä kohdasta avataan ”Manage general station description files (GSD)” ikkuna, joka löytyy ”Options” kohdan alavalikosta.
2. Kuvan 6:n kaltaisessa ikkunassa valitaan ylälaidasta GSDML tiedoston kansio ja sen jälkeen vasemmalla olevasta sarakkeesta asennettavat laitteet ja Install-painikkeella asennetaan valitut laitteet.

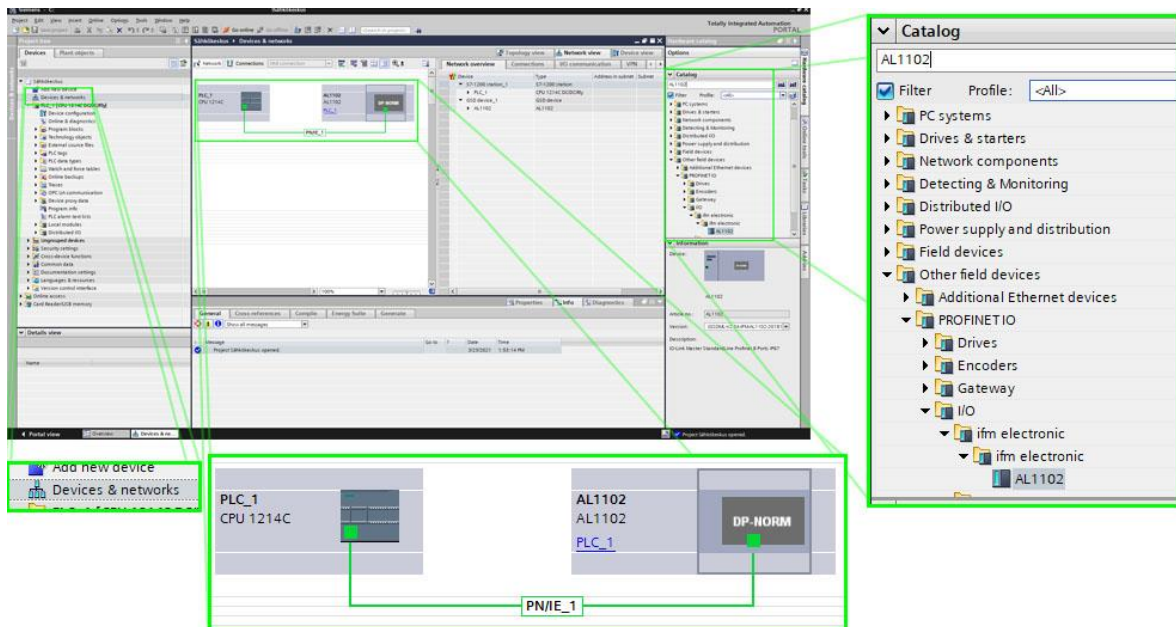


Kuva 5. GSD valikon sijainti



Kuva 6. GSD tiedostojen hallinta

Asentamisen jälkeen asennettu laite löytyy laiteluettelosta (catalog). Kuvassa 7 on avattu ”Devices & networks” näkymä ja laiteluettelosta lisätty AL1102. Tästä näkymästä voi tarkistaa laitteet ja niiden kenttäväyläyhteydet. PLC:n ja AL1102:n välisen PN/IE yhteyden muodostamiseksi on vedetty laitteissa olevista liittimistä liitos.



Kuva 7. AL1102:n lisääminen projektiin

### 5.1.3 IO-link-laitteen lisääminen

Komponenttia lisätessä on tarpeellista tietää kuinka monta tulo- ja lähtötavua tietueet sisältävät. Tämä selviää komponentin valmistajan tekemistä IO-link-laitteen ohjeista. Mahdollisia vaihtoehtoja ovat digitaalinen tulo ja lähtö totuusarvo, käytöstä poistaminen, sekä tietueet erinäisillä tavumäärillä. Kuvasta 8 näkyy kuinka AL1102:ssa on liitettyä 8 kappaletta IO-link-laitteita vaihtelevilla määrillä tulo ja lähtö tavuja. IO-link-laitteelta saatava tieto on luettavissa I address -nimikkeellä esitetystä alueesta ja lähetettävät tiedot Q address -nimikkeen alueesta.

Module	Rack	Slot	I address	Q address	Type
AL1102	0	0			AL1102
X1	0	0 X1			AL1102
8 Ports_1	0	1			8 Ports
IO-Link Master	0	1 1			IO-Link Master
IO-Link In/Out 2/ 2 Byte + PQI	0	1 Port 1	104...106	68...69	IO-Link In/Out ...
IO-Link In/Out 4/ 4 Byte + PQI	0	1 Port 2	99...103	64...67	IO-Link In/Out ...
IO-Link In 4 Byte + PQI	0	1 Port 3	68...72		IO-Link In 4 By...
IO-Link In 4 Byte + PQI_2	0	1 Port 4	84...88		IO-Link In 4 By...
IO-Link In 4 Byte + PQI_1	0	1 Port 5	73...77		IO-Link In 4 By...
IO-Link In 4 Byte + PQI_5	0	1 Port 6	78...82		IO-Link In 4 By...
IO-Link In 4 Byte + PQI_3	0	1 Port 7	89...93		IO-Link In 4 By...
IO-Link In 4 Byte + PQI_4	0	1 Port 8	94...98		IO-Link In 4 By...

Kuva 8. AL1102:n laiteporttien määrittely

### 5.2 Viestin tulkitseminen

Komponentista riippuen voi olla tarpeen valikoida bitti tai bittejä haetusta tietueesta, jotta saadaan yksilöity toivottu tieto. Kyseinen tieto voi olla esimerkiksi anturin tila tai mitattu arvo. Viestien sisältämä tieto ja siten niiden rakenne tulee selvittää komponentin valmistajan ohjeista.

## 6 Teollisuuden esineiden internet (IIoT)

### 6.1 Teknologia

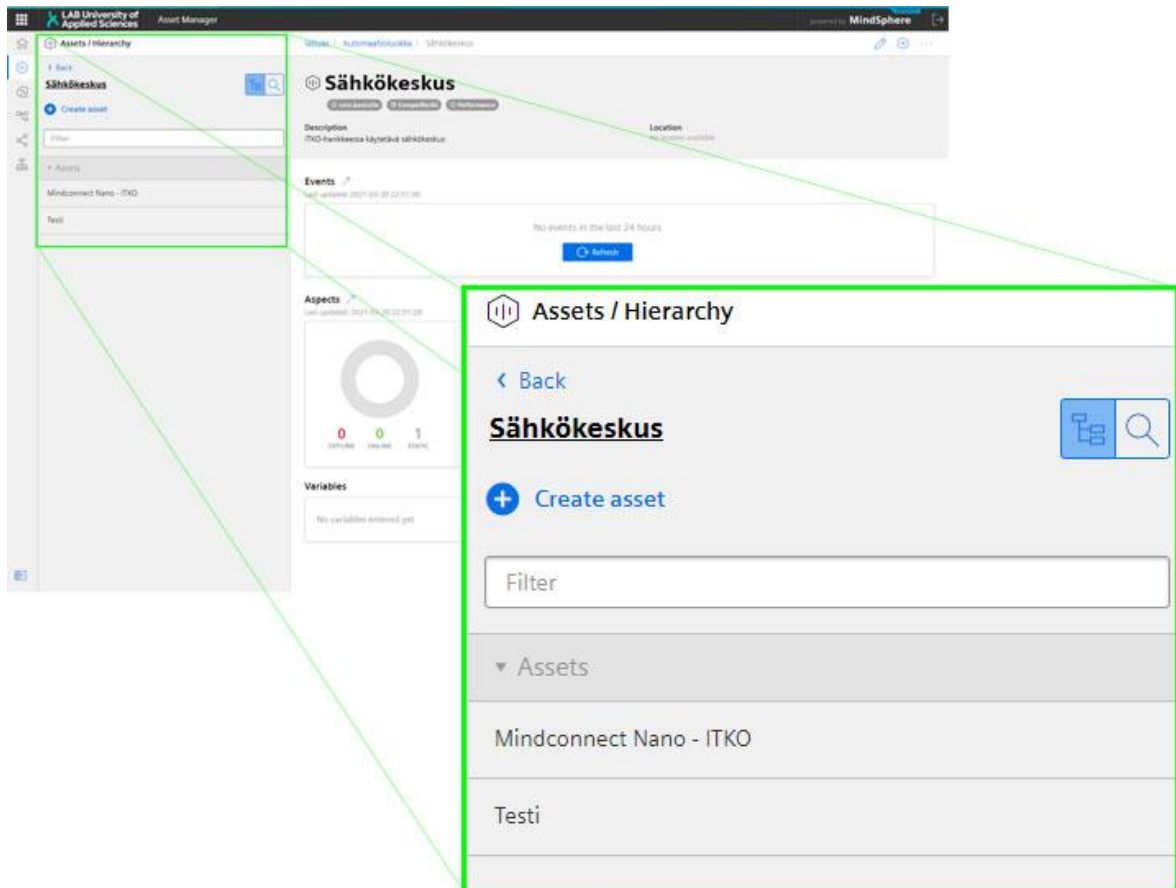
Teollisuuden esineiden internet on teollisuuskäytössä tapahtuvaa automaattista tiedonkeräämistä palvelimelle, etäseurantaa ja mahdollisesti etäohjausta. Tuotannossa kerätyn tiedon analysointi vaatii merkittävän määrän resursseja ja siten tiedon saatavuuden paraneminen itsessään mahdollistaa tiedon tehokkaamman hyödyntämisen sekä tietojen käsittelyyn käytettävissä olevien resurssien kasvamisen. (Bernard 2019.) Pilvipalvelut ja niiden hyödyntäminen on yleistä monissa käyttökohteissa, mutta sen käyttö teollisuudessa ei ole vielä yleistynyt. Tehdasympäristössä käytössä olevan logiikan luotettava toiminta on kriittistä niin taloudellisten kuin turvallisuustekijöiden takia (Siemens 2018a, 2). Tämän vuoksi logiikka on suositeltavaa vähintäänkin olla omassa sisäisessä verkossa, johon vaikuttaminen on estetty julkisesta verkosta ja rajoitetusti sisäisestä verkosta (Siemens 2020b, 23-25).

MindSphere on Siemensin valmistama järjestelmä, jonka tarkoituksena on toimia alustana pilvipalvelu IIoT järjestelmälle ja MindConnect komponentit on tarkoitettu yksinkertaistamaan MindSphereen avattavan yhteyden ja turvallisen ympäristön luomista. MindConnect komponentit tunnistautuvat MindSphere palveluun salausta ja varmenteita käyttäen, sekä vaikeuttaa tuotannonohjauksessa käytettävään verkkoon vaikuttamista muun muassa käyttäjähallinnalla ja erottelemalla siihen liitetyt verkkoyhteydet. (Siemens 2018a, 4-6.) Ohjeistuksissa on käytetty malliesimerkkinä MindConnect Nanao.

### 6.2 MindSpheren käyttöönotto

#### 6.2.1 Ympäristön luominen

Järjestelmän rakenteen selkeyttämiseksi on suositeltavaa jaotella MindSpheressä olevat tiedot useaan kategoriaan. Jaottelu tapahtuu Asset Manager valikosta ja sieltä assets-näkymässä pystyy luomaan uusia asset-malleja (kuva 9) "Create asset" -painikkeella. Asset-malli kuvaistaa fyysisesti olemassa olevaa laitetta tai tilaa. Jos käyttöoikeudet eivät riitä luomaan uutta asset-mallia, niin painiketta ei ole näkyvillä.



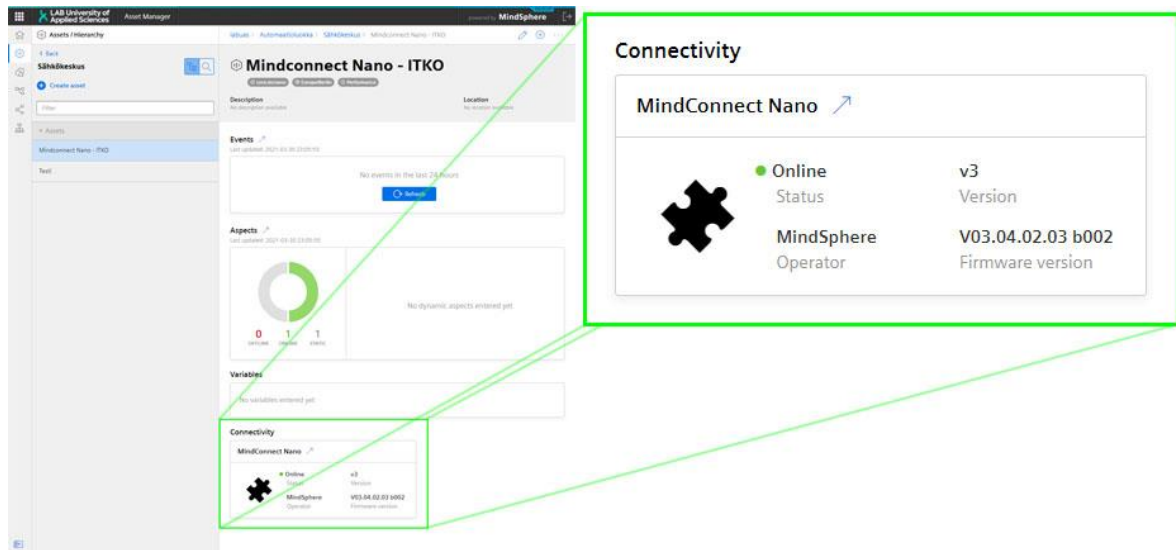
Kuva 9. MindSpheressä luotujen asset-mallien selausnäky

Projektin aikana jaottelun tekemiseksi käytettiin BasicArea-tyyppiä, joka on tarkoitettu jaottelemaan järjestelmän tehtävät asset-mallit. Ensimmäisellä BasicArea asset-mallilla kohdistettiin huoneeseen ja toisella tilassa sijaitsevaan laitteeseen. Tämän kaltainen jaottelu tekee laajoista kokonaisuuksista selkeän ja helposti navigoitavan.

### 6.2.2 Laitteen lisääminen

MindSpheressä on valmiiksi esiasetettuja asset-malleja, mutta käyttäjä kykenee luomaan oman yksilöidyn type-laitepohjan, jonka voi lisätä asset-mallina. Type-laitepohja on ennalta määritelty laitepohja, joka koostuu yhdestä tai useammasta aspect-muuttujasta. Aspect-muuttujissa määritellään muuttujan nimike, muuttujan tyyppi, arvon yksikkö ja arvon maksimipituus. Aspect-muuttujan arvo voi olla joko dynaaminen tai staattinen, dynaamista arvoa voidaan käyttää esimerkiksi mitta-arvojen keräämiseen ja staattisen laitteen sarjanumeron tallentamiseen. Type-laitepohja ja asset-malli on mahdollista käyttää useamman komponentin tai laitteen kanssa, mutta asset-malli tulee luoda aina uudestaan. MindSpheressä käsiteltävä tieto sijaitsee asset-mallissa olevissa aspect-muuttujissa.

Uuden MindConnect laitteen lisääminen ja konfigurointi vaatii esiasetettuja rooleja käytettäessä TenantAdmin käyttöoikeudet. Uusi laite luodaan Asset-osiossa ja laitetta tarkasteltaessa (kuva 10) voi laitetyypin vierellä olevasta nuolesta siirtyä syöttämään MindConnect laitteesta löytyvä tunnistevain ja verkkoasetukset.



Kuva 10. MindConnect Nano:n määrittelyn painike

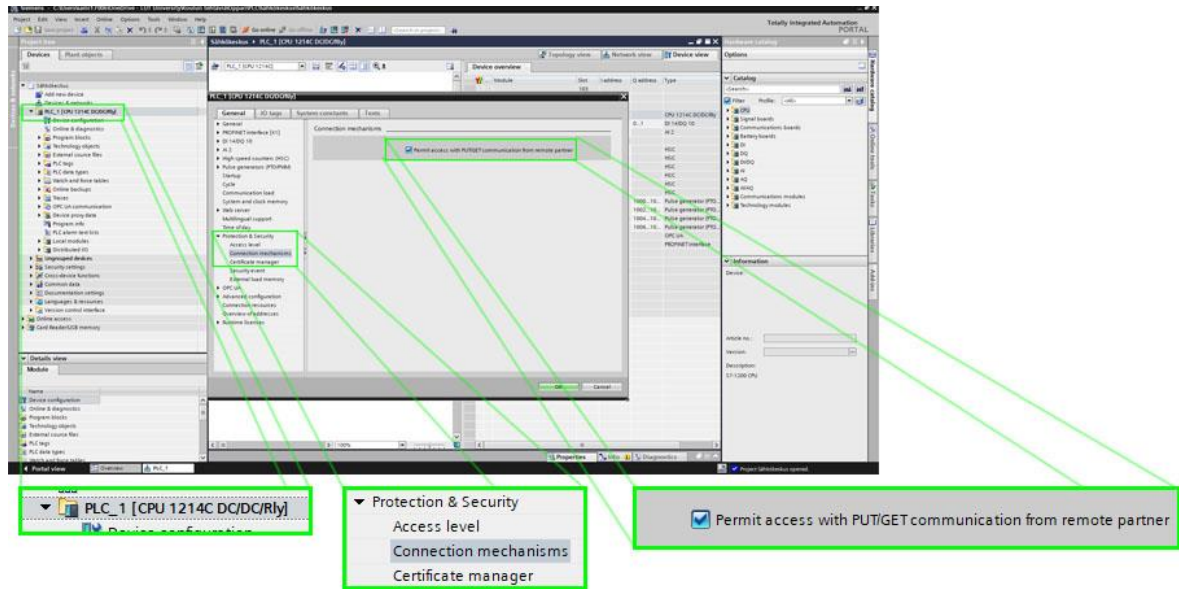
Asetusten määrittämisen jälkeen on mahdollista ladata Onboarding Key -tiedosto USB-muistitikulle, joka antaa MindConnect laitteelle tarvittavat asetukset ja tunnistetiedot yhdistämistä varten. MindConnect Nano:ssa on osoitettu erillinen usb-portti, johon pitää laittaa FAT32-tiedostojärjestelmällä alustettu muistikortti ja Onboarding key-tiedosto muistikortin juurikansioon. Kopioitua tai siirrettyä Onboarding key -tiedostoa ei voi käyttää yhteyden luomisessa. Muistitikun käyttämisen jälkeen MindConnect ottaa yhteyden MindSphere palveluun ja jatkossa hallinnointi on mahdollista suorittaa MindSpheren kautta.

## 6.3 Tiedonsiirto

### 6.3.1 PLC:n valmistelu

PLC ja MindConnect Nano eivät jaa yhteistä tallennustilaa ja siten tiedonvälittämisessä käytetään TCP (Transmission Control Protocol) eli tietoliikenneprotokolla yhteyttä. MindConnect Nano hyödyntää PLC:ssä vakioasetuksena estettyjä PUT/GET -metodeja. PUT-metodi (lähetys) ja GET-metodi (haku) ovat HTTP-protokollassa (Hypertext Transfer Protocol) käytettyjä salaamattoman tiedon lähetys- ja hakumetodeja. HTTP on yleisesti käytetty

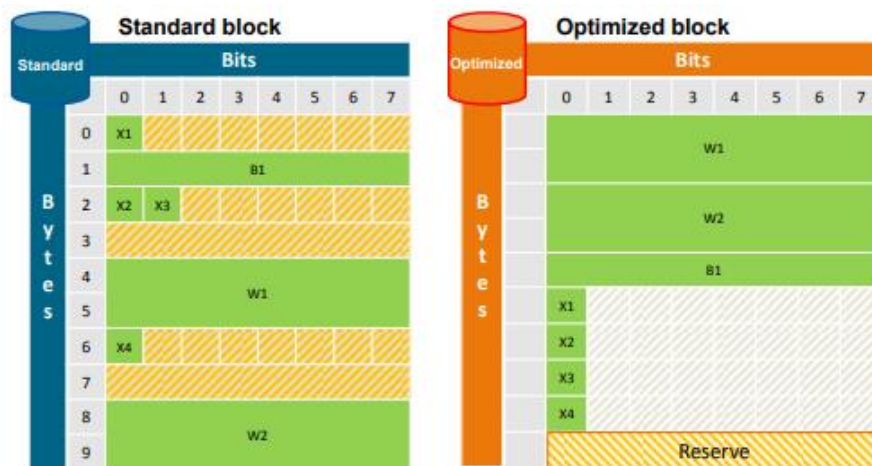
tiedonsiirto protokolla ja hyödyntää TCP-yhteyttä toiseen tietokoneeseen yhdistyessä. PUT/GET salliminen (kuva 11) tapahtuu PLC:n ominaisuuksista (properties).



Kuva 11. PUT/GET asetuksen sijainti Siemens Tia Portal -ohjelmistossa

Siemens Tia Portalissa on oltava optimoimaton data block eli muuttujille määritelty tietue ilman optimointia. SIMATIC S7-1200 ja S7-1500 sarjan PLC:ssä optimointi on vakioasetuksena käytössä ja se muuttaa tietueen rakenteen dynaamiseksi (Kuva 12) antaen paremman suorituskyvyn nopeuttamalla tiedon hakua ja kentiin osoittamista. Optimointi estää muisti-alueeseen tehtävät suorat viittaukset, joka ei useimmissa tapauksissa ole symboliseen viittaukseen verrattaessa parempi vaihtoehto. (Siemens 2018b, 13-16.)

PLC:ssä käsiteltävä tieto tallennetaan optimoimattomaan tietokantaan, johon MindConnect Nano pystyy kirjoittamaan tai hakemaan PUT-/GET-metodeilla arvoja osoittamalla pyynnön tiettyyn tietueeseen. PLC:ssä ja MindSpheressä on käytettävä samoja muuttujatyyppejä.



Kuva 12. Optimoinnin vaikutus tietueisiin (mukailtu Siemens 2018b, 14)

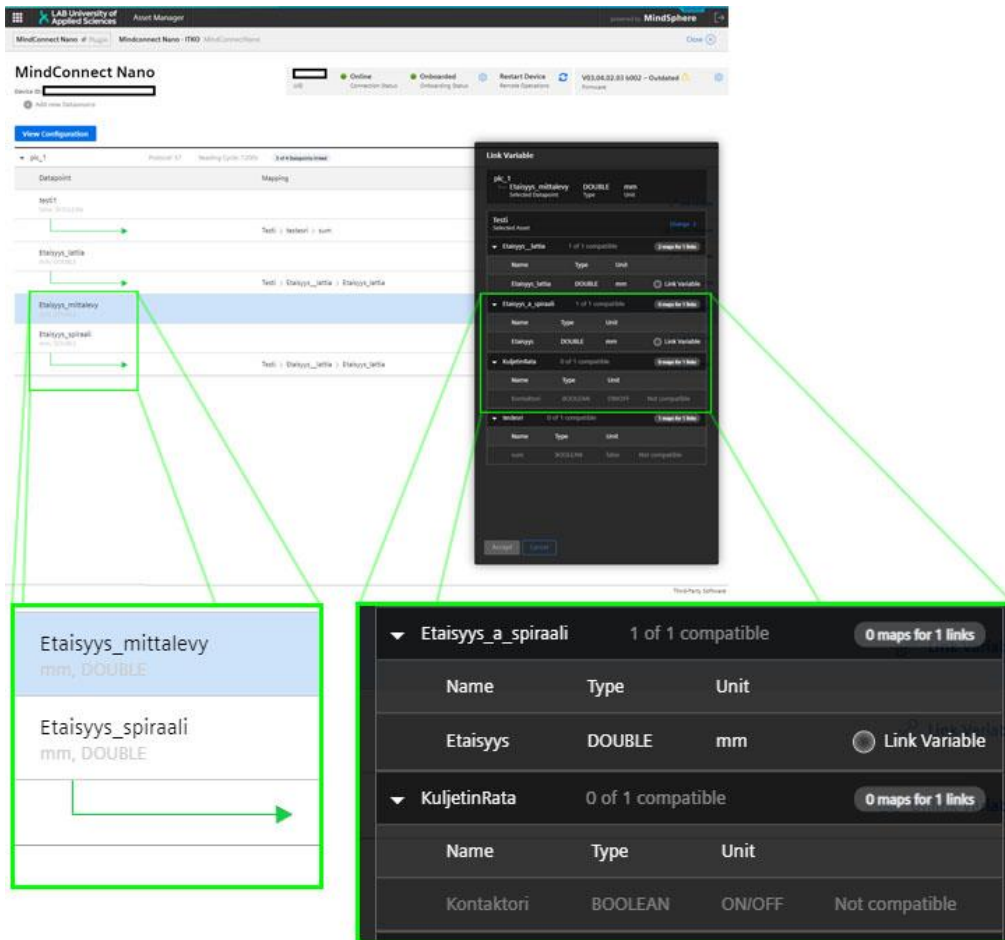
### 6.3.2 Tiedon siirto

MindSpheren Logiikalta pyydettävät tiedot määritellään MindConnect Nanao käytettäessä asset manager -näkyvästä kuva 10:n osoittamasta paikasta. PLC määritellään datasource-tyyppisenä yhteyslaitteena. Datasource on laite, josta MindSphereen tuodaan tietoja ja se kohdentaa laitteen IP-osoitteen, nimen, kohdennetun laitteen protokollan ja tiedon päivitystiheyden.

Yhteyslaitteeseen määritellään datapoint-tietueita. Datapoint määrittelee yhteyslaitteelta pyydettävän arvon nimikkeen, tiedon sijainnin optimoimattomassa tietokannassa ja muuttujan tyyppin. Tämän lisäksi tarkennetaan, onko tarkoitus hakea MindSphereen arvo, lähettää yhteyslaitteelle arvo vai onko molemmat vaihtoehdot sallittu.

### 6.3.3 Tiedon yhdistäminen

Logiikalta haettavat tiedot on yhdistettävä MindSpheressä luotuun asset-malliin datamapping-näkyvästä. Datamapping-näkyvässä yhdistetään yhteyslaitteen kanssa käsiteltävä tieto MindSpheressä tehtyyn asset-mallissa olevaan aspect-muuttujaan. Tietojen yhdistäminen on mahdollista vain samantyyppisten muuttujien kanssa ja vääräntyyppisen muuttujan valitseminen on estetty. Kuvassa 13 on havainnollistettu valikkoa ja kuinka Etaisyys\_mittalevy-muuttujaan on mahdollista yhdistää vain Etaisyys-muuttuja.



Kuva 13. Tiedon yhdistäminen datamapping näkymässä

## 6.4 Tiedon hyödyntäminen

MindSphereen kerättyä tietoa on mahdollista hakea käyttäjän tarpeiden mukaan. Tämä mahdollistaa esimerkiksi tietojen pitkäaikaisen säilömistä, datan analysoimista ja raportoinnista. MindSpheressä itsessään on satoja lisäosia, joiden hinnoittelu perustuu päätoimisesti käyttömäärään tai kuukausimaksuun. Suuren valikoiman vuoksi lisäosia löytyy monien käyttötarkoitukseen. Monipuolisuuden kuvastamiseksi alle on listattu erilaisia toimintoja hahmottamisen tukemiseksi mitä automaattisia johtopäätöksiä ja tulkintoja kerätyllä tiedolla voidaan tehdä

- graafinen esitys tiedoista
- huollon tarpeen arviointia
- tuotantotehokkuuden laskentaa
- simuloitu virtuaalinen ympäristö olemassa olevan laitteen sensoreiden perusteella.

## 7 Pohdinta ja tulevaisuus

Älykkäiden toimilaitteiden ja antureiden hyödyntäminen järjestelmän rakenteesta riippuen voi tuottaa säästöjä jo hankinnan aikana, mutta järjestelmän helppokäyttöisyys, yhtenäisyys ja yksiselitteisyys yhdistettynä saadun lisätiedon potentiaaliin tuottaa todennäköisesti säästöjä järjestelmän käyttöänsä aikana. Yleisimpiä esille nousevia esimerkkejä ovat lyhyemmät käyttökätkot automaattisen laitteen tunnistamisen ja parametroinnin kautta, ennakoiva huolto ja standardinmukaisten kaapeleiden hyödyntäminen itsetehtyjen kaapeleiden sijaan, mitkä vähentävät inhimillisen virheen mahdollisuutta varsinkin odottamattoman käyttökätkoksen aikana.

MindConnect Nano ja MindSphere on melko matalalla kynnyksellä toteutettava tapa ottaa käyttöön IIoT järjestelmä, joka mahdollistaa skaalauksen tarpeen mukaan. Teollisuudessa PLC:n suojaaminen on tärkeää, sillä kyberhyökkäys eli luvaton järjestelmään tunkeutuminen mahdollistaisi järjestelmän toimintaan vaikuttamisen ja siten aiheuttaa vahinkoa. Siemens (2020, 34) tarjoaa suojaukseen kattavan listan asioita ja periaatteita, jotka lyhyesti listattuna perustuvat

- valvontaan
- käyttäjien käyttöoikeuksien rajoittamiseen
- järjestelmän ohjelmien ajan tasalla pitämiseen
- järjestelmän fyysisen vaikuttamisen vaikeuttamiseen
- tarpeettomien ominaisuuksien käytöstä poistamiseen.

Valmistaja mainostaa MindConnect Nanoa hintatehokkaana ja helppona tapana luoda turvallinen yhteys, mutta muistuttaa järjestelmän kokonaisvaltaisen suojauksen tärkeydestä (Siemens 2018a, 5). Toistaiseksi MindConnect Nanosta on tunnistettu ja korjattu yksi järjestelmänheikkous, mikä vaikutti useisiin Siemens tuotteisiin. Heikkoutta hyödyntämällä oli mahdollista saada MindSphereltä lähetettävät tiedot salaamattomana ja kokonaisuudessaan oli matalan riskitason heikkous. (Cybersecurity and Infrastructure Security Agency 2019.)

Projektin aikana ilmenneitä järjestelmän käytön vaikeuttavia tekijöitä on modulaarinen skaalaus ja lisäosien myynti. Yksittäinen lisätoiminto voi maksaa jopa tuhansia euroja kuukaudessa (Siemens c). Siten järjestelmän kuukausikustannuksia on haasteellista laskea ja ennakoida tarkkaan ilman käyttökohteen tarkkaa suunnittelua, sekä MindSpheren erikoisosaamista. Tämä voi vaikeuttaa tuotteen markkinointia yrityksille ja mahdollisesti hidastaa käytön yleistymistä.

## 8 Yhteenveto

Projektille asetetut tavoitteet IO-link-laitteiden ja MindSpheren toiminnallisuuden ja ympäristön osalta täyttyivät toivotulla tavalla, mutta siihen arvioitu aika ei vastannut alussa asetettuja alkuperäisiä tavoitteita. Kokonaisuudessaan työn valmistuminen tapahtui odotettua myöhemmin ja hidastavia tekijöitä oli pitkittyneistä toimitusajoista aina viimehetken muutoksiin asti, mutta usein sen vaikutus oli vähennettävissä projektin eri osa-alueeseen keskittymällä.

Kokonaisuudessaan projektin aikana kertyi paljon kokemusta sähkökeskuksen suunnittelusta ja käytännön kokemusta IO-link sekä IIoT -järjestelmien rakentamisesta. Tämän aikana kertynyt materiaali ja tieto riittää järjestelmien suunnitteluun ja käyttöönottoon, mutta kerätyn tiedon ja MindSpheren ominaisuuksien hyödyntäminen ei tule työn aikana esille merkittävässä määrin. Tiedon hyödyntämisen käsittely ei olisi tuottanut merkittävää arvoa, sillä hyödyntämiskohteen vaatiman spesifioinnin jälkeen ohjeistuksella ei olisi yleistasolla hyötyä. MindSpheren lisäominaisuuksien tarkastelu olisi mahdollisesti tuottanut lisäarvoa, mutta niiden maksullisuus rajoitti niiden kokeilumahdollisuutta.

Hankkeen aikana kertyneen tiedon perusteella on realistista olettaa IO-link -teknologian käytön yleistyvän lyhyellä aikavälillä laitesuunnittelussa, sillä se kykenee päätoimisesti korvaamaan vanhat anturit ja tukemaan järjestelmän ylläpidossa. MindSphere yksinkertaistaa IIoT ympäristön luomisen prosessia ja kykenee toimimaan osana turvallista yhteyttä, mutta palvelun kustannusten ennakointi ja järjestelmän vaatima erikoisosaaminen todennäköisesti hidastaa sen omaksumista teollisuuteen.

## Lähteet

Advanced Micro Controls, Inc. 2021. What is a PLC? Viitattu 28.4.2021. Saatavissa <https://www.amci.com/industrial-automation-resources/plc-automation-tutorials/what-plc/>

Bernard, M. 2019. What Is Industry 4.0? Youtube-video. Viitattu 5.5.2021. Saatavissa <https://www.youtube.com/watch?v=yKPrJJSv94M>

Cybersecurity and Infrastructure Security Agency. 2019. ICS Advisory (ICSA-18-226-02). Viitattu 12.5.2021. Saatavissa <https://us-cert.cisa.gov/ics/advisories/ICSA-18-226-02>

European Commission. 2021. IEC 61784. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa [https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/ict-and-communication/interoperability/iec-61784\\_en.html](https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/ict-and-communication/interoperability/iec-61784_en.html)

Hegamurl. 2019. Logic AND: Boolean Circuits in LAD, FBD, STL and SCL. Youtube-video. Viitattu 15.5.2021. Saatavissa <https://www.youtube.com/watch?v=CU76II9auWU>

Ifm electronic Oy. a. AL1102 - IO-Link -master Profinet-liitännällä. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://www.ifm.com/fi/fi/product/AL1102>

Ifm electronic Oy. b. DN4012 - Hakkuriteholähde 24 V DC - ifm electronic. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://www.ifm.com/fi/fi/product/DN4012>

Ifm electronic Oy. c. ifm-technology-master-modules-schaubild. Viitattu 20.5.2021. Saatavissa <https://www.ifm.com/vn/en/shared/technologies/io-link-modules/expand-io-link-master-with-additional-inputs-and-outputs>

Ifm electronic Oy. d. IO-Link Handout\_en V1.7. Tiedote. Viitattu 8.5.2021. Saatavissa [https://www.ifm.com/download/files/IO-Link%20Handout\\_en%20V1/\\$file/IO-Link%20Handout\\_en%20V1.7.pdf](https://www.ifm.com/download/files/IO-Link%20Handout_en%20V1/$file/IO-Link%20Handout_en%20V1.7.pdf)

Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2007. IEEE 1451—a universal transducer protocol standard. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://ieeexplore.ieee.org/document/4374241>

International Electrotechnical Commission. 2013a. IEC 61131-3:2013. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://webstore.iec.ch/publication/4552>

International Electrotechnical Commission. 2013b. IEC 61131-9:2013. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://webstore.iec.ch/publication/4558>

International Electrotechnical Commission. 2013c. info\_iec61131-9{ed1.0}b. Sisällysluettelo. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa [https://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec61131-9%7Bed1.0%7Db.pdf](https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61131-9%7Bed1.0%7Db.pdf)

IO-Link konsortio. 2009. IODD IO-Link Device Description. Ohjekirja. Viitattu 4.5.2021. Saatavissa [https://io-link.com/share/Downloads/Spec-IODD/IOL-Device-Description\\_10012\\_V10\\_090118.pdf](https://io-link.com/share/Downloads/Spec-IODD/IOL-Device-Description_10012_V10_090118.pdf)

IO-Link konsortio. 2010. IO-Link At a Glance. Tiedote. Viitattu 23.5.2021. Saatavissa [https://io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-link-spec\\_at-a-glance\\_V11\\_en.pdf](https://io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-link-spec_at-a-glance_V11_en.pdf)

IO-Link konsortio. a. FAQs. Viitattu 8.5.2021. Saatavissa <https://io-link.com/en/FAQ/FAQs.php>

IO-Link konsortio. b. IODDfinder. Viitattu 4.5.2021. Saatavissa <https://io-link.com/en/IODDfinder/IODDfinder.php>

Kataja, K. & Metsikkö, A. 1991. Ohjelmoitava logiikka. 2. uudistettu painos. Automaation perustieto. Espoo: Suomen sähköurakoitsijaliitto

Lathi, B. & Ding, Z. 2009. Modern Digital and Analog Communication Systems. The Oxford Series in Electrical and Computer Engineering. New York: Oxford University Press.

Nopolan koulu. Tasavirta ja vaihtovirta. Peda.net. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://peda.net/kyyjarvi/nopolankoulu/ainesivut/fysiikka-7-9/l%C3%A4mp%C3%B6oppi/fs/os/jjs/tjv>

PLCopen. Status IEC 61131-3 standard. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://plcopen.org/status-iec-61131-3-standard>

Schneider Electric. 2012. What is the difference between PNP and NPN when describing 3 wire connection of a sensor? Viitattu 20.4.2021. Saatavissa <https://www.se.com/uk/en/faqs/FA142566/>

SICK OY. IO-Link – vakiotoimintojen edut. Viitattu 8.5.2021. Saatavissa <https://www.sick.com/fi/fi/io-link-vakiotoimintojen-edut/w/io-link-advantages/>

Siemens. 2018a. MindSphere security model. Tiedote. Viitattu 10.5.2021. Saatavissa <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:6b876b5e-5594-4da4-90e0-e9e0c6f1f1e1/siemens-plm-mindsphere-security-model-wp-75966-a7.pdf>

Siemens. 2018b. Programming Guideline for S7-1200/1500. Ohjekirja. Viitattu 10.5.2021. Saatavissa <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:c7de7888-d24c-4e74-ad41-759e47e4e444/Programovani-S7-1200-1500-2018.pdf>

Siemens. 2020a. How do you install a GSDML file and which GSDML file version is released for which version of STEP 7 V5.x? Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109778885/how-do-you-install-a-gsdml-file-and-which-gsdml-file-version-is-released-for-which-version-of-step-7-v5-x-?dti=0&lc=en-WW>

Siemens. 2020b. Operational Guidelines for Industrial Security. Tiedote. Siemens. Viitattu 8.5.2021. Saatavissa <https://cert-portal.siemens.com/operational-guidelines-industrial-security.pdf>

Siemens. a. 6ES7214-1HG40-0XB0. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7214-1HG40-0XB0>

Siemens. b. 6GK5005-0BA00-1AB2. Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/343384?pdtdi=td&dl=en&lc=en-KR>

Siemens. c. Connectivity. Viitattu 8.5.2021. Saatavissa [https://www.dex.siemens.com/mindsphere/connectivity?viewState=ListView&cartID=&portalUser=&store=&cclcl=en\\_US&selected=mindsphere](https://www.dex.siemens.com/mindsphere/connectivity?viewState=ListView&cartID=&portalUser=&store=&cclcl=en_US&selected=mindsphere)

Siemens. d. IO-Link Communication Standard. Siemens. Viitattu 8.5.2021. Saatavissa <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/io-link.html>

TOREX SEMICONDUCTOR LTD. Industrial Sensors (12V / 24V power supply). Viitattu 7.6.2021. Saatavissa <https://www.torexsemi.com/by-application/industrial/sensor/>