



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

AARO ULVILA

Rexroth S67 IO järjestelmän korvaaminen S67E IO-Link järjestelmällä IndraMotion MLD ohjauksessa

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA 2022

Tekijä(t) Ulvila, Aaro	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2022
	Sivumäärä 47 + 3 Liitettä	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Rexroth S67 IO järjestelmän korvaaminen S67E IO-Link järjestelmällä IndraMotion MLD ohjauksessa		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
<p data-bbox="312 707 459 734">Tiivistelmä</p> <p data-bbox="312 741 1441 987">Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää IO-Link järjestelmän edellytyksiä Cimcorpin portaalirobotiratkaisuissa korvaavana vaihtoehtona tällä hetkellä käytössä olevalle IO järjestelmälle. Työ teetettiin Cimcorpin Customer Support osastolle, ja tarve opinnäytetyön tekemiselle tuli Cimcorpin tuotekehityksen osastolta, jolle Bosch Rexroth on lähettänyt S67E IO-Link Masterin testattavaksi. Käytössä oleva S67 IO järjestelmä on jo poistunut Bosch Rexrothin tuotevalikoimasta, joten Customer Support projekteissa voidaan tulevaisuudessa nähdä tarvetta S67 IO järjestelmän korvaamiselle.</p> <p data-bbox="312 1032 1441 1245">Työssä vertailtiin kattavasti S67 IO järjestelmän ja S67E IO-Link järjestelmän olennaisimpia eroja ja selvitettiin, minkälaisella topologialla IO-Link järjestelmä voitaisiin toteuttaa Cimcorpin portaaliroboteissa. Työn yksinkertaistamiseksi IO-Link Masteria ei asennettu portaalirobottiin, vaan integrointi MLD ohjaukseen toteutettiin IndraMotion MLD testilaitteistolla. Työn viimeisessä osiossa robotin ohjelmakoodiin luotiin ratkaisu, jolla IO-Link laitteiden diagnostiikkaa voidaan käsitellä.</p> <p data-bbox="312 1290 1441 1469">Opinnäytetyön teoriaosuuksissa perehdyttiin Cimcorpin portaalirobottien liikkeenohjaukseen ja selvitettiin, minkälainen merkitys IO järjestelmällä on robotin toiminnassa. Sen lisäksi tarkasteltiin IO-Link kommunikoinnin olennaisimpia ominaisuuksia. IO-Link kommunikointia tutkittiin erityisesti parametri- ja diagnostiikkatietojen näkökulmasta.</p> <p data-bbox="312 1514 1441 1648">Työssä muodostettiin selkeä näkemys siitä, miten robottien S67 IO järjestelmä voidaan korvata S67E IO-Link järjestelmällä ja millä tavalla IO-Linkin diagnostiikkatietoja voidaan hyödyntää robottien ohjauksessa. Opinnäytetyö toimii myös hyödyllisenä oppaana muita IO-Link toteutuksia suunniteltaessa.</p>		
Avainsanat Automaatiotekniikka, robotiikka, servotekniikka		

Author(s) Ulvila, Aaro	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December 2022
	Number of pages 47 + 3 Appendices	Language of publication: Finnish
Title of publication Replacement of Rexroth S67 IO system with S67E IO-Link system in IndraMotion MLD motion control		
Degree programme Electrical and automation engineering		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to clarify the attributes of IO-Link as a compensatory alternative to the IO system that is currently used in Cimcorp gantry robots. This thesis was commissioned for Customer Support department and the need for the study came from Cimcorp's Device development department for which Bosch Rexroth has sent a S67E IO-Link Master for testing purposes. The currently used S67 IO system has already been removed from Bosch Rexroth's product catalog which means that in the future there might be a need to replace S67 IO systems.</p> <p>The most essential differences between S67 IO system and S67E IO-Link system were compared comprehensively. The layout in which IO-Link system could be implemented was also figured out. To simplify the process, the IO-Link Master was installed to an IndraMotion MLD test rig instead of Cimcorp gantry robot. A solution which handles IO-Link diagnostics, was programmed to robot code in the last part of the thesis.</p> <p>The theoretical parts of the thesis clarify the features and components of motion control in Cimcorp gantry robots and explain the role of IO system in robots' functionality. In addition, the most important aspects of IO-Link communication are reviewed. IO-Link communication is described especially in the context of parameterization.</p> <p>A clear vision of how S67 IO system can be replaced with S67E IO-Link and how IO-Link diagnostics can be utilized was formed. This thesis also serves as a useful guide when planning other IO-Link applications.</p>		
Keywords Automation technology, robotics, servo technology		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 CIMCORP PORTAALIROBOTIT.....	7
2.1 Robottien yleiskuvaus	7
2.1.1 Robottisolun osat	7
2.1.2 Robotin tarttuja	7
2.2 Robottien liikkeenohjaus.....	8
2.2.1 Rexroth IndraMotion MLD	8
2.2.2 S67 IO-järjestelmä	10
3 IO-LINK.....	11
3.1 Kytännät	13
3.2 Tiedonsiirto	15
3.2.1 Prosessitiedot	17
3.2.2 Parametritiedot.....	18
3.2.3 Tapahtumatiedot	19
3.2.4 Diagnostiikka.....	20
3.3 IO-DD	21
3.4 IO-Linkin käyttöönotto ja konfigurointi	22
3.5 Data storage.....	23
4 S67-JÄRJESTELMÄN JA S67E IO-LINKIN VERTAILU.....	24
4.1 Periaatteelliset erot	24
4.2 S67E osana robotin ohjausjärjestelmää.....	27
4.3 IO-Link laitevalinnat	28
5 IO-LINK JÄRJESTELMÄN INTEGROINTI MLD OHJAUKSEEN	30
5.1 Testilaitteisto	30
5.2 Projektin aloittaminen ja MLD:n yhdistäminen.....	31
5.3 IO-Link masterin lisääminen projektiin	32
5.4 Prosessitietojen määrittely	34
6 S67E DIAGNOSTIIKAN TOTEUTUS.....	37
6.1 IO-Link toimintojen ohjelmointi.....	37
6.2 Esimerkkiohjelma IO-Link laitteen diagnostiikalle	39
7 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	
LIITTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

MLD	Motion Logic, drive-based, Bosch Rexrothin integroitu PLC ja servo- vahvistin
PLC	Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikka
CCD	Cross Communication Drive, liikeohjainten välinen kommunikointi
Sercos III	MLD-ohjauksessa käytetty Ethernet-pohjainen kenttäväylä
FT	Finished Tyre, renkaanvalmistusprosessin seurauksena saatu valmis ren- gas
IO	Input ja Output, tulo ja lähtö
DI	Digitaalinen tulo
DO	Digitaalinen lähtö
AI	Analoginen tulo
IP67	Suojausluokitus, pölytiivis ja kestää upotuksen veteen
kBaud/s	Kilobaudia sekunnissa, tiedonsiirtonopeus
IODD	Input Output Device Description, IO-Link laitteen ominaisuuksia ku- vaava tiedosto
SDDML	Tiedosto, joka sisältää kuvauksen laitteen ominaisuuksista
SIO	Standard Input Output
POU	Program Organization Unit
FB	Function Block, toimilohko
XML	Extensible Markup Language, merkintäkieli järjestelmien väliseen tie- donvälitykseen
ST	Structured Text, tekstimuotoinen ohjelmointikieli, jota käytetään portaa- lirobottien ohjelmoinnissa
IP-osoite	Osoite, jota käytetään verkossa olevien laitteiden yksilöintiin
IDN	Identification Number, Sercos parametrien nimeämiskäytäntö
V	Voltti, jännitteen yksikkö
mA	Mikroampeeri, virran yksikkö

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Cimcorp Oy. Cimcorp on automaatioalalla toimiva yritys, joka toimittaa ratkaisuja sisälogistiikan tarpeisiin. Cimcorpin yleisimpiin tuotteisiin kuuluvat portaalirobotit, joita käytetään esimerkiksi renkaiden poimintaan rengasteollisuudessa ja laatikoiden poimintaan elintarviketeollisuudessa. Cimcorpin pääkonttori sijaitsee Ulvilassa, jonka lisäksi sillä on toimintoja myös Yhdysvalloissa, Kanadassa, Intiassa, Espanjassa ja Saksassa. (Cimcorpin [www-sivut](#).)

Viime aikoina IO-Link on yleistynyt teollisuudessa siinä käytettävien älykkäiden anturien vuoksi. IO-Linkin avulla parametri- ja diagnostiikkatietoja saadaan yksittäisten anturien tasolta, joka ei aikaisemmin ole ollut mahdollista. IO-Linkin mahdollistamien diagnostiikkatietojen myötä onkin tullut ajankohtaiseksi pohtia, voitaisiinko Cimcorpin portaaliroboteissa hyödyntää IO-Link tekniikkaa. Tämän työn tarkoituksena on selvittää, mitä hyötyjä IO-Link toteutuksella saavutetaan ja minkälaisilla laitevalinnoilla ja layoutilla IO-Linkiä voidaan soveltaa Cimcorpin portaaliroboteissa. Sen lisäksi IndraWorksiin ohjelmoitavan diagnostiikkaratkaisun on tarkoituksena toimia lähtökohtana ja esimerkkinä, jonka avulla diagnostiikkatiedot voidaan ohjelmoida kaikille robotin antureille.

Tässä työssä käsiteltävistä parametritiedoista löytyy kattavimmin tietoa IO-Link yhteisön julkaisemasta IO-Link Interface and System Specification oppaasta. Oppaassa kuvaillaan yksityiskohtaisesti, miten IO-Link kommunikaatio toimii sekä luetellaan IO-Link laitteille standardoidut parametrit ja virhekoodit. Sen lisäksi tärkeänä lähdekirjallisuutena toimii teos IO-Link: The DNA of Industry 4.0, jossa IO-Linkin ominaisuuksia käsitellään käytännöllisemmästä näkökulmasta tarkasteltuna.

2 CIMCORP PORTAALIROBOTIT

2.1 Robottien yleiskuvaus

2.1.1 Robottisolun osat

Portaalirobotit ovat yksi Cimcorpin yleisimmistä tuotteista (Kuva 1). Yksittäinen robottisolukko koostuu joko yhdestä tai kahdesta portaalirobotista, jotka sijaitsevat pylväiden päällä olevilla kiskoilla. Robotit muodostuvat rungosta, tarttujasta, rungon päällä sijaitsevasta ohjauskaapista ja liikettä ohjaavista servomootoreista, jotka sijaitsevat rungon molemmissa päissä, sekä tarttujan yhteydessä. Robottisoluun kuuluu robottien lisäksi solukaappi, mahdollisia kuljetinjärjestelmiä, turva-aitoja, valoverhoja ja käyttöliittymä. Projekteihin toimitettavissa robottisoluissa on kuitenkin projektikohtaisia eroja, joten samoja ominaisuuksia ei välttämättä löydy kaikista soluista. (Cimcorpin [www-sivut](http://www.cimcorp.com).)



Kuva 1. Cimcorpin portaalirobotti MultiPick-tarttujalla (Cimcorpin [www-sivut](http://www.cimcorp.com))

2.1.2 Robotin tarttuja

Tarttuja on robotin tärkein osa ja tarttuja onkin suunniteltu moniin eri tarkoituksiin. Rengasteollisuudessa käytetään TyrePick-tarttujaa, josta on käytössä erilaisia versioita sekä valmiille, että puristamattomille renkailla. Sen lisäksi henkilöautojen ja raskaan liikenteen renkailla on erilaisia variaatioita. Elintarviketeollisuudessa käytetään MultiPick-tarttujaa, joka on suunniteltu korien ja laatikoiden siirtämiseen. Myös MultiPick-tarttujasta on erilaisia versioita eri käyttötarkoituksiin. Tarttujassa sijaitsee useita

antureita, joiden tilatietoja hyödynnetään robotin tarttujan liikkeissä. Anturit ovat asennettuina osaksi S67 IO järjestelmää. (Kiviranta, 2022.)

2.2 Robottien liikkeenohjaus

2.2.1 Rexroth IndraMotion MLD

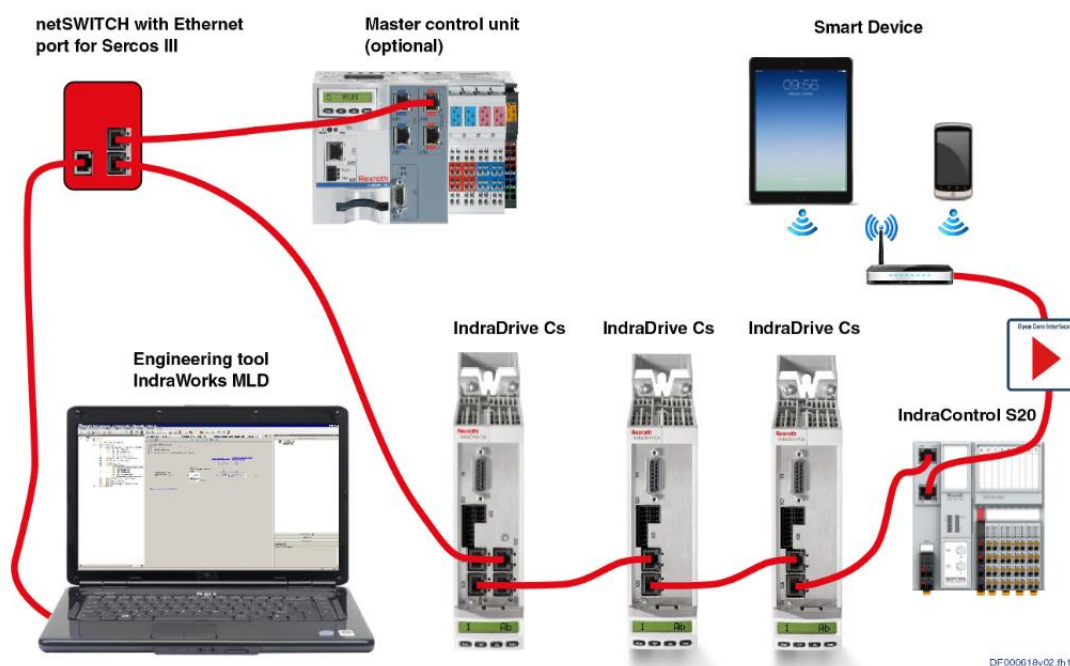
Cimcorpin portaalirobottien liikeohjaus tapahtuu modulaarisella servojärjestelmällä. Teollisuudessa käytettävät servojärjestelmät koostuvat tyypillisesti ohjelmoitavasta logiikasta (PLC) tai muusta ohjaimesta, servovahvistimesta, servomoottorista ja pulssianturista. Yhdessä nämä komponentit luovat säätöpiirin, jossa ohjauksessa hyödynnetään takaisinkytkentää. Pulssianturi on moottoriin sulautettu tai sen yhteyteen asennettu anturi, joka lähettää moottorin paikkatiedon, nopeustiedon tai muita parametreja servovahvistimelle takaisinkytkentänä. Servovahvistin puolestaan noudattaa ohjaimen lähettämiä komentoja ja ohjaa moottorin vääntömomenttia, nopeutta tai paikkatietoa. Vääntömomentin, nopeuden ja paikan ohjauksessa vahvistin hyödyntää sekä ohjaimelta saatavia ohjausarvoja sekä pulssianturilta saatavia tarkkoja parametreja. Säätöpiirillä mahdollistetaan näin ollen erityisen tarkka liikkeenohjaus. (Omronin www-sivut.)

Tässä työssä tarkastelun alla ovat IndraMotion MLD (2G) -liikkeenohjausjärjestelmää käyttävät portaalirobotit. IndraMotion MLD on Bosch Rexrothin kehittämä liikeohjain, jossa PLC ja servovahvistin ovat integroituna yhteen yksikköön. MLD-S versio on suunniteltu yhden akselin ohjaukseen. MLD-M versio puolestaan mahdollistaa useamman vahvistimen kytkemisen peräkkäin, jolloin voidaan myös ohjata useita liikeakseleita samanaikaisesti. MLD-M ohjauksessa yksi vahvistin toimii CCD master-laitteena. Muut ohjaimet ovat CCD slave-laitteina. CCD-kommunikointi tapahtuu ethernet-pohjaisen Sercos III-kenttäväylän välityksellä (Sercos www-sivut). Sercos-väylälle voidaan liikeakselien lisäksi liittää IO-moduuleita. (Bosch Rexroth, 2019, s. 41–45.)

PC:n kautta yhteys ohjausjärjestelmään saadaan Indraworks Engineering –ohjelmiston kautta. IndraWorks Engineering on Bosch Rexrothin kehittämä ohjelmointityökalu,

joka mahdollistaa sekä PLC-koodien kirjoittamisen, että servovahvistimien, pulssianturien ja muiden automaatiojärjestelmän osien konfiguroinnin ja parametroidin. IndraWorks Engineering hyödyntää ohjelmointiympäristönä Codesys-ohjelmistoa, joka perustuu avoimeen kansainväliseen PLC-ohjelmoinnin määrittelevään IEC 61131-3 standardiin. (Bosch Rexroth, 2022, s. 7.)

Kuva 2 demonstroi yksinkertaista MLD konfiguraatiota. Vasemmanpuolisin liikkeenohjain (IndraDrive Cs) on tässä tapauksessa CCD master ja sen oikealla puolella olevat ohjaimet ovat CCD slaveja. Liikkeenohjaimet ovat yhteydessä toisiinsa Sercos III-kenttäväylällä. Kommunikointi IndraWorks MLD ohjelmointityökalulta on tässä esimerkissä toteutettu netSWITCH Ethernet portin kautta. Samaan kytkimeen on asennettu myös erillinen PLC, jota voitaisiin käyttää esimerkiksi turvaohjelmien tai kuljetinjärjestelmien ohjelmoinnissa. IndraDrive-ohjainten lisäksi väylässä on IndraControl S20 IO-järjestelmä. Yhtä lailla sen tilalla voisi olla myös S67 IO-järjestelmä tai S67E IO-Link toteutus. (Bosch Rexroth, 2019, s. 12.)



Kuva 2. IndraMotion MLD -liikkeenohjausjärjestelmä (Bosch Rexroth, 2019, s. 12)

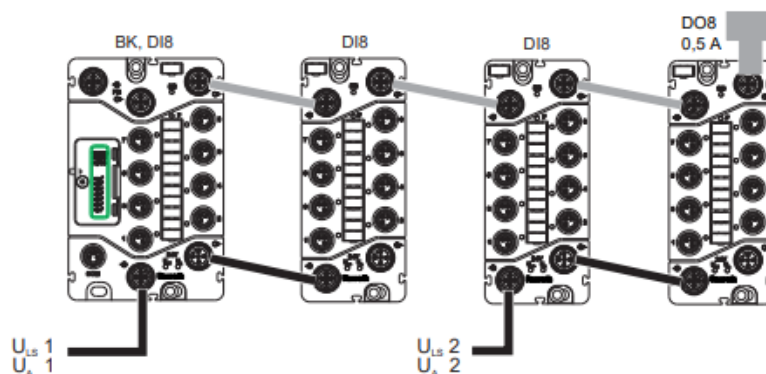
Cimcorpin portaaliroboteilla liikeakseleita on yhteensä neljä: Z, Y, X1 ja X2. Näin ollen myös IndraDrive-liikeohjaimia tarvitaan neljä kappaletta. Z-akselilla ohjataan robotin tarttujan ylösalaista liikettä. Y-akselilla robotin tarttujaa ohjataan robotin sillan mukaisesti sivuttaissuunnassa. X1- ja X2 –akselit ohjaavat robottia synkronisoidulla

liikkeellä sillan molemmissa päissä. Joissain käyttötarkoituksissa liikeohjaimia on käytössä enemmänkin ja IndraMotion MLD tukee maksimissaan kymmenen liikeakselin peräkkäin kytkemisen. (Kiviranta, 2022.)

2.2.2 S67 IO-järjestelmä

Bosch Rexrothin S67 IO-järjestelmä mahdollistaa anturien ja toimilaitteiden kommunikoinnin ja tiedonsiirron PLC:n kanssa. S67 on hajautettu IO-järjestelmä, joka tarkoittaa sitä, että antureita ei kytketä suoraan ohjelmoitavaan logiikkaan vaan IO-moduuleihin, jotka puolestaan voidaan asentaa kenttätasolle. IO-järjestelmä koostuu tyyppillisesti master-yksikkönä toimivasta väyläliittimestä ja sen yhteyteen asennetuista DI, DO ja AI moduuleista. S67-järjestelmää on valmistettu sekä Profinet, Profibus, Ethernet/IP että Sercos III kenttäväylää tukevinä versioina. Järjestelmä on IP67-suojattu, joten se kestää altistuksen pölylle ja kastumiselle. S67 soveltuu näin ollen kenttätason sovelluksiin vaativimmissakin ympäristöissä. (Bosch Rexroth, 2013, s. 19–20.)

Väyläliitin on ensisijaisesti tarkoitettu liittämään S67-sarjan moduuleita kenttäväylään. Väyläliitin sisältää 8 digitaalista tuloa M8-liitännöillä, joihin voidaan liittää antureita. Sen lisäksi se sisältää liitännät kenttäväylälle ja virransyötölle. (Bosch Rexroth, 2014, s. 15–17.) Digitaaliset tulomoduurit sisältävät 8 digitaalista tuloa ja niitä on valmistettu sekä M8, että M12 -liitännöillä. Digitaalisissa lähtömoduuleissa on samalla tavalla kahdeksan lähtöä, joko M8 tai M12 -liitännöillä. Analogisista tulomoduuleista on kaksi versiota. Ensimmäinen versio on suunniteltu mittaamaan jännitettä ja virtaa. Toisella voidaan puolestaan mitata lämpötiloja. Molemmissa analogisissa tulomoduuleissa on neljä M12-liitäntää. Niiden lisäksi on olemassa vastaavilla liitännöillä analoginen lähtömoduuli. Kuvassa 3 näytetään esimerkki S67-järjestelmästä. Vasemmanpuolimmaisena on väyläliitin, joka kytketään MLD-ohjaukseen Sercos III-väylällä. Väyläliittimen perään on asennettu kaksi digitaalista tulomoduuria ja yksi digitaalinen lähtömoduuli. (Bosch Rexroth, 2013, s. 12–15.)

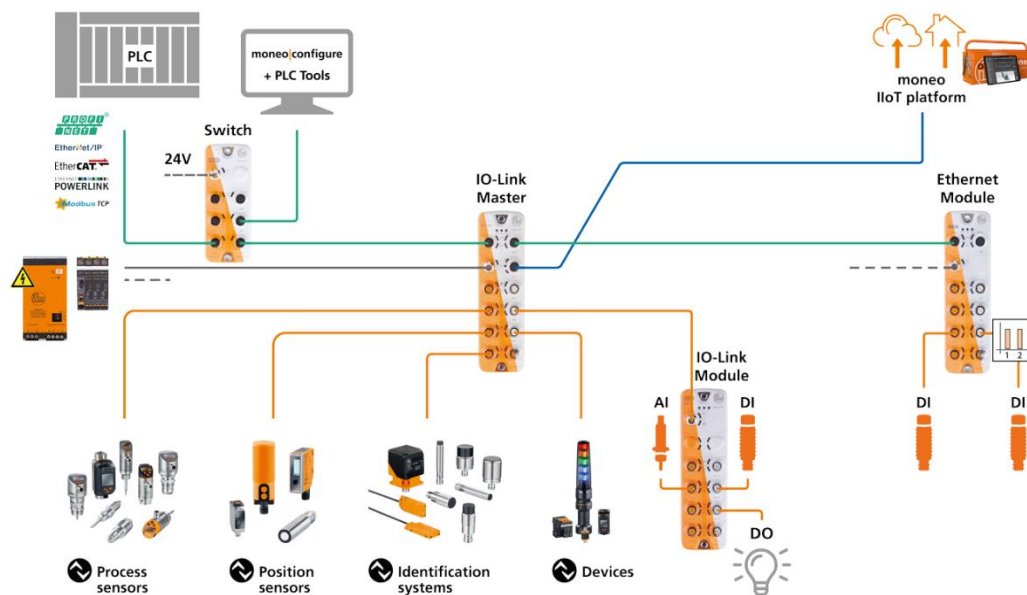


Kuva 3. S67 IO-Järjestelmä. Vasemmalla väyläliitin, keskellä kaksi DI-moduulia ja oikealla DO-moduuli (Bosch Rexroth, 2013, s. 28)

Cimcorpin 2G-portaaliroboteissa S67 IO-järjestelmän tarkoituksena on liittää robotin tarttujassa käytettävät anturit ja toimilaitteet MLD-ohjaukseen. Koska liikkeenohjaus toteutetaan Sercos III-väylällä, käytetään väyläliittimenä Sercos III-väylälle suunniteltua Rexroth S67 Sercos coupleria. Tämä väyläliitin sijaitsee robotin ohjauskaapissa ja lähtökohtaisesti sitä käytetään vain tulo- ja lähtömoduulien ketjuttamiseen. Tarttujissa käytetyt anturit ja toimilaitteet riippuvat tarttujan tyypistä, joten näin ollen myös IO-järjestelmällä on erilaisia ratkaisuja. Esimerkiksi valmiiden renkaiden poimintaan tarkoitettussa FT-TyrePick –tarttujassa käytetään analogista ultraäänianturia sekä useita digitaalisia antureita. Näin ollen väyläliittimen lisäksi järjestelmään on liitetty digitaalinen tulomoduuli ja analoginen tulomoduuli. Multipick-tarttujassa käytetään sen sijaan myös digitaalista lähtömoduulia, jolla ohjataan pneumaattisia toimilaitteita. (Kiviranta, 2022.)

3 IO-LINK

IO-Link on antureiden ja toimilaitteiden kommunikointiin suunniteltu tiedonsiirtomenetelmä, joka mahdollistaa laitteiden älykkään kommunikoinnin. IO-Link järjestelmä koostuu IO-Link Master-laitteesta ja IO-Link laitteista (Kuva 4). Prosessiarvojen ja tilatietojen lisäksi IO-Link laitteet kykenevät lähettämään ohjausjärjestelmälle samanaikaisesti parametri- ja diagnostiikkatietoja. IO-Link-järjestelmässä Master-laite toimii laitteiden ja PLC:n välisenä rajapintana. (IO-Link System Description, 2018, s. 3.)



Kuva 4. IO-Link Master-laitteeseen voidaan kytkeä monenlaisia IO-Link antureita ja IO-Link moduuleita (Ifm:n [www-sivut](http://www.ifm.com))

IO-Link Master-laitteella on useita portteja, yleensä kahdeksan kappaletta. Jokaiseen porttiin voidaan liittää yksi IO-Link laite, ja kommunikointi tapahtuu sekä Masterilta laitteille, että laitteilta Masterille. Näin ollen IO-Link tiedonsiirtomenetelmänä ei ole kenttäväylä, vaan point-to-point-kommunikointia. Vaikka IO-Link ei olekaan kenttäväylä, IO-Link Master kommunikoi kenttäväylän välityksellä automaatiojärjestelmälle. (IO-Link System Description, 2018, s. 4.)

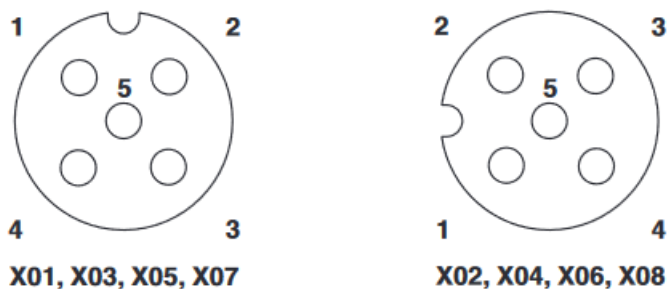
IO-Link järjestelmästä on käytössä kaksi eri versiota. IO-Link Specification V1.0 eli versio 1.0 on IO-Linkin ensimmäinen ja alkuperäinen versio. Myöhemmin julkaistiin päivitettyillä ominaisuuksilla varustettu versio 1.1 ja se on nykyään yleisimmin käytössä oleva versio. Versio 1.1 mahdollistaa muun muassa parametrien tallentamisen data storage ominaisuuden avulla ja 32 tavun prosessitietojen siirron porttia kohden. Versiolla 1.0 kehitetyt IO-Link Masterit mahdollistavat ainoastaan version 1.0 IO-Link laitteiden käyttämisen. Sen sijaan version 1.1 IO-Link Master mahdollistaa molempien versioiden IO-Link laitteiden käyttämisen. (IO-Link System Description, 2018, s. 8–9.)

3.1 Kytkenät

Laitteet kytketään IO-Link Masteriin 3-, 4-, tai 5-johtimisella kaapelilla. Useimmat liitännät tapahtuvat M12-liitoksilla, mutta myös M5- ja M8- liitoksia käytetään joissain sovelluksissa. IO-Link porteista on käytössä kahta eri versiota, luokkaa A ja B. Suurin osa tavallisista antureista, kuten induktiiviset anturit tai ultraäänianturit kuuluvat luokkaan A. Luokka B on tarkoitettu laitteille, jotka tarvitsevat toimintaansa suurempaa virransyöttöä. Tällaisia laitteita voivat olla esimerkiksi kontaktorit, solenoidit ja IO-moduulit. Luokan B portteja käytettäessä on otettava huomioon, että lisäjännitteensyöttö on toteutettava erillisellä, eristetyllä jännitelähteellä. IO-Link Masterin portit voidaan konfiguroida neljään eri toimintatilaan: IO-Link, Digital Input, Digital Output ja Deactivated. IO-Link toimintatila mahdollistaa IO-Link kommunikoinnin. Digital Input ja Digital Output mahdollistavat tavallisten anturien ja toimilaitteiden liittämisen IO-Link Masteriin. Käyttämättömät portit voidaan asettaa Deactivated toimintatilaan eli ottaa portit pois toiminnasta. IO-Link anturit voivat toimia myös tavallisina tuloina IO-Link Masterin Digital Input porteissa tai osana perinteisiä IO-ratkaisuja. Tätä kutsutaan SIO-tilaksi, jossa parametri- ja tapahtumatietoja ei voida hyödyntää. (IO-Link System Description, 2018, s. 4–6.)

Luokan A porteissa pinnit 1 ja 3 suorittavat virransyötön. Pinni 4 vastaa IO-Link kommunikaatiosta. Se voidaan kuitenkin konfiguroida tavalliseksi digitaalituloksi tai -lähdeksi. Pinnit 2 ja 5 eivät ole käytössä. Toisaalta pinnin 2 toiminta voi kuitenkin vaihdella laitteen valmistajan mukaan. Esimerkiksi Bosch Rexrothin IO-Link Masterissa pinni 2 toimii ylimääräisenä digitaalisena tulona (Taulukko 1). Luokan B porteissa Pinnit 1, 3 ja 4 toimivat samalla tavalla kuin luokan A porteissa (Kuva 5). Ne eroavat luokan B porttien antamassa lisäjännitteensyötössä, jota varten pinnit 2 ja 5 ovat varattu. Luokan A porttien kanssa käytetään yleisesti kolmijohtimisia kaapeleita. Tällöin käytössä ovat portin pinnit 1, 3 ja 4. Nelijohtimisesta kaapelia käytettäessä on varmistettava, että pinni 2 ei ole käytössä eikä konfiguroituna digitaaliseksi tuloksi. Koska B luokan porteilla on käytössä kaikki viisi pinniä, tarvitaan 5-johdinkaapelia. Mikäli luokan A portilla varustettua laitetta halutaan käyttää luokan B portin kanssa, on kolmijohtaisen kaapelin käyttö suositeltua. Neli- ja viisijohtimisen kaapelin kanssa on tarkistettava, että pinnit 2 ja 5 eivät kiinnity toisessa päässä tai varmistettava, että ylimääräinen jännite ei aiheuta laitteen hajoamista. Sen sijaan käytettäessä luokan B laitetta

luokan A Masterin kanssa on jännitteensyöttö laitteelle toteutettava ulkoisesti. (IO-Link Design Guideline, 2018, s. 11–14.)



Kuva 5. Bosch Rexroth IO-Link Masterin porttityypit (Bosch Rexroth, 2019, s. 10)

Taulukko 1. Pinnien merkitykset luokan A ja B IO-Link porteissa S67E IO-Link Masterissa (Bosch Rexroth, 2019, s. 10)

Pinni	IO-Link A portti (X01 ...X04)	IO-Link B portti (X01 ...X04)
1	+24 V	+24 V
2	IN2	24 V toimilaitteille
3	0 V	GND
4	IO-Link / IN1	IO-Link / IN1
5	Ei käytössä	0 V toimilaitteille

IO-Link ei siis vaadi erillisiä IO-Link kaapeleita, vaan järjestelmä toimii teollisuudessa yleisesti käytetyillä kytkennöillä. IO-Link järjestelmää suunniteltaessa on huomiotava, että kaapelin maksimipituus on 20 metriä. Toisaalta toimintaetäisyyttä voidaan kasvattaa 100 metriin välivahvistimien avulla (Ifm:n [www-sivut](#)). Anturien ja toimilaitteiden lisäksi IO-Link masteriin voidaan kytkeä myös IO-Link moduuleita. IO-Link kommunikointia ei IO-Link moduulien kautta voida hyödyntää, mutta konfiguroitavissa olevat portit mahdollistavat sekä digitaalilähtöjen, digitaalitulojen että analogitulojen käytön yhdellä moduulilla. Näin ollen tarvetta erillisten DI/DO/AI-moduulien hankkimiselle ei ole. IO-Link moduuleita käytettäessä on kiinnitettävä huomiota lisäjännitteensyöttöön. Toimilaitteita varten suunnitellut lähtömoduulit ovat kytkettävä IO-Link Masterin luokan B portteihin. Sen sijaan tulomoduuleita voidaan käyttää luokan A porttien kanssa. (Ifm:n [www-sivut](#).)

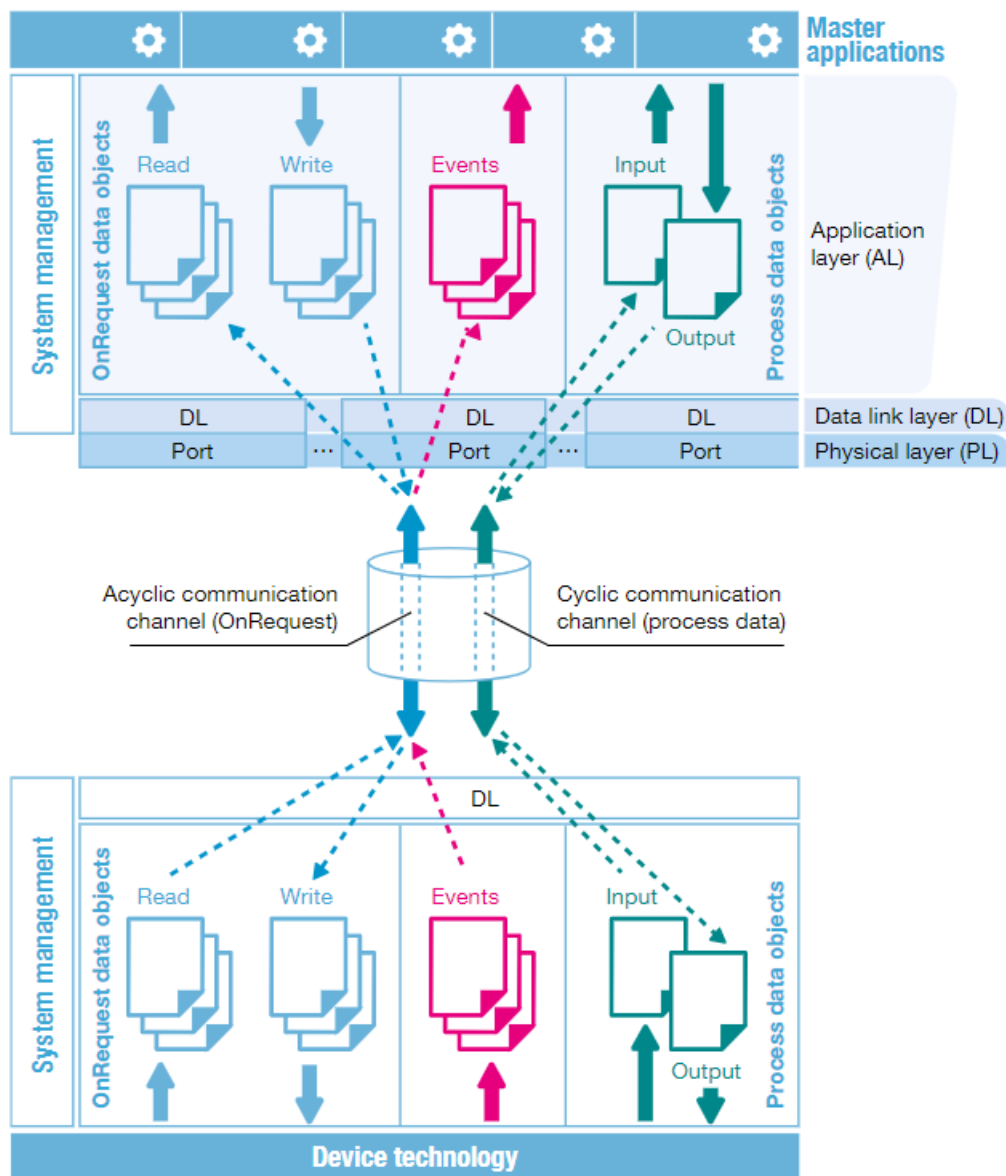
IO-Link järjestelmä toimii kolmella eri tiedonsiirtonopeudella: COM1 = 4,8kBaud/s, COM2 = 38,4kBaud/s ja COM3 = 230,4kBaud/s. Master-laitteen IO-Link tilaan asetetut portit tukevat kaikkia tiedonsiirtonopeuksia, mutta IO-Link laitteet tukevat vain yhtä tiedonsiirtonopeutta. Käynnistyksen yhteydessä IO-Link Master kokeilee vuorotellen eri tiedonsiirtonopeuksia, jolloin oikean tiedonsiirtonopeuden kohdalla IO-Link laite aloittaa kommunikoinnin. (IO-Link System Description, 2018, s. 6.)

3.2 Tiedonsiirto

IO-Link anturit ovat yksi olennaisimmista asioista IO-Link järjestelmässä. Merkittävimpänä erona niissä ovat tavanomaisiin antureihin verrattuna niiden laajat parametrit ja diagnostiikkatiedot. Tavalliset digitaaliset anturit, kuten induktiiviset anturit lähettävät automaatiojärjestelmän ohjaimelle ainoastaan binääristä tilatietoa 0 tai 1. Analogiset anturit kuten etäisyysanturit mittaavat prosessiarvoja tyypin mukaan 4-20mA tai 0-10V signaalina. Signaali muunnetaan anturilla analogisesta digitaalseksi, jolloin se on anturin luettavissa. Sen jälkeen signaali muunnetaan jälleen analogiseksi tiedonsiirtoa varten. Tiedonsiirrossa on käytettävä suojattua kaapelia, joka suojaa signaalin laadua elektromagneettiselta häiriöltä. Ohjausjärjestelmässä signaali muutetaan jälleen analogisesta digitaalseksi. Analogisessa tiedonsiirrossa tapahtuu siis useita signaalinmuunnoksia ja altistumista häiriöille. Niiden seurauksena mittaustarkkuus voi heiketä jopa yhdellä prosentilla, mikä voi pahimmillaan johtaa kriittisiin virheisiin. Sen lisäksi suojatut kaapelit ovat huomattavasti suojaamattomia kaapeleita kalliimpia. (Ifm:n [www-sivut](http://www-ifm.com).)

IO-Link sen sijaan siirtää datan digitaalisesti. Muunnos analogisesta digitaalseksi tapahtuu ainoastaan anturin yhteydessä, jonka jälkeen digitaalinen signaali siirtyy IO-Link Masterille ja edelleen ohjausjärjestelmälle. Mittaustarkkuus on näin ollen paljon tarkempi kuin analogisilla antureilla. Suojattuja kaapeleita ei myöskään tarvitse käyttää. Pelkän binäärisen tilatiedon tai analogisen signaalin sijaan IO-Link lähettää monenlaista dataa. IO-Linkin lähettämiä prosessiarvoja ja tilatietoja kutsutaan nimellä prosessitiedot (process data). Prosessitietojen lisäksi on myös kolme muuta datatyyppiä: value status, parametritiedot (parameter data) ja tapahtumatiedot (event data). (Ifm:n [www-sivut](http://www-ifm.com).)

Koska antureiden täytyy lähettää prosessitietoja reaaliajassa, parametri- ja tapahtumätiedot eivät voi keskeyttää prosessitietojen välitystä. Sen takia IO-Linkillä on kaksi vuoro-suuntaisesti (half duplex) toimivaa kommunikaatiokanavaa, jotka siirtävät syklistä ja asyklistä dataa toisistaan erillään (Kuva 6). IO-Link laitteen tulo- ja lähtöarvot eli prosessitiedot kulkevat syklisen kanavan kautta automaatiojärjestelmän ylemmälle tasolle. Asyklisellä kommunikaatiokanavalla sen sijaan liikkuvat Masterin pyynnöstä tapahtumat ja prosessitiedot. Kun IO-Link laitteella alkaa tapahtuma, tiedonsiirto priorisoi tapahtumat ennen parametritietoja, jolloin tieto laitteessa tapahtuneesta muutoksesta saadaan mahdollisimman nopeasti. (Uffelman, Wienzek, Jahn, 2019, s. 158–161.)



Kuva 6. IO-Linkillä on sekä asyklinen että syklinen kommunikaatiokanava (Uffel-
man, Wienzek, Jahn, 2019, s. 159)

3.2.1 Prosessitiedot

Prosessitiedot kertovat laitteen viimeisimmän tilatiedon, kuten esimerkiksi paineanturin mitta-arvon tai ultraäänianturin mittaaman etäisyyden. Prosessitiedot ovat laitekoh-
taista ja lähetetyn datan pituus voi vaihdella yhdestä bitistä kolmeenkymmeneenkahteen bittiin. Prosessitietojen rakenne on selvitetävää IO-Link laitteen datalehdessä. Value status puolestaan on yksittäinen bitti, joka lähetetään prosessitietojen yhteydessä. Sillä ilmoitetaan prosessitietojen paikkansapitävyys. (Ifm:n [www-sivut](#).)

Kuvassa 7 nähdään esimerkki Sickin DT35-B15851-etäisyysanturin prosessitiedoista. Anturin tuotetietolehdestä selviää, että prosessitiedot koostuvat kuudestatoista bitistä. Anturille on konfiguroitavissa parametrien avulla erilaisia datarakenteita. Tehdasasetuksilla kaikki 16-bittiä ovat varattuna anturin mittaaman etäisyyden lukemiseen. Asetuksilla 1 ja 2 bitti 1 voidaan asettaa rajaetäisyydeksi, jonka ylittyessä hälytysbitti 0 asettuu päälle. Asetus 4 mahdollistaa signaalin laadun monitoroinnin. (Sick, 2022, s. 40.)

1: Distance measured value, OWS signal level warning, alarm ³⁾

MSB ¹⁾																LSB ²⁾
Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
Distance measured value (14-bit) ^{4), 5)}														OWS ³⁾	Alarm	

2: Level, OWS signal level warning, alarm ³⁾

MSB ¹⁾																LSB ²⁾
Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
Signal level (14-bit) ³⁾														OWS ³⁾	Alarm	

3: Distance (factory setting)

MSB ¹⁾																LSB ²⁾
Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
Distance measured value (16 bit) ⁵⁾																

4: Distance value, signal quality

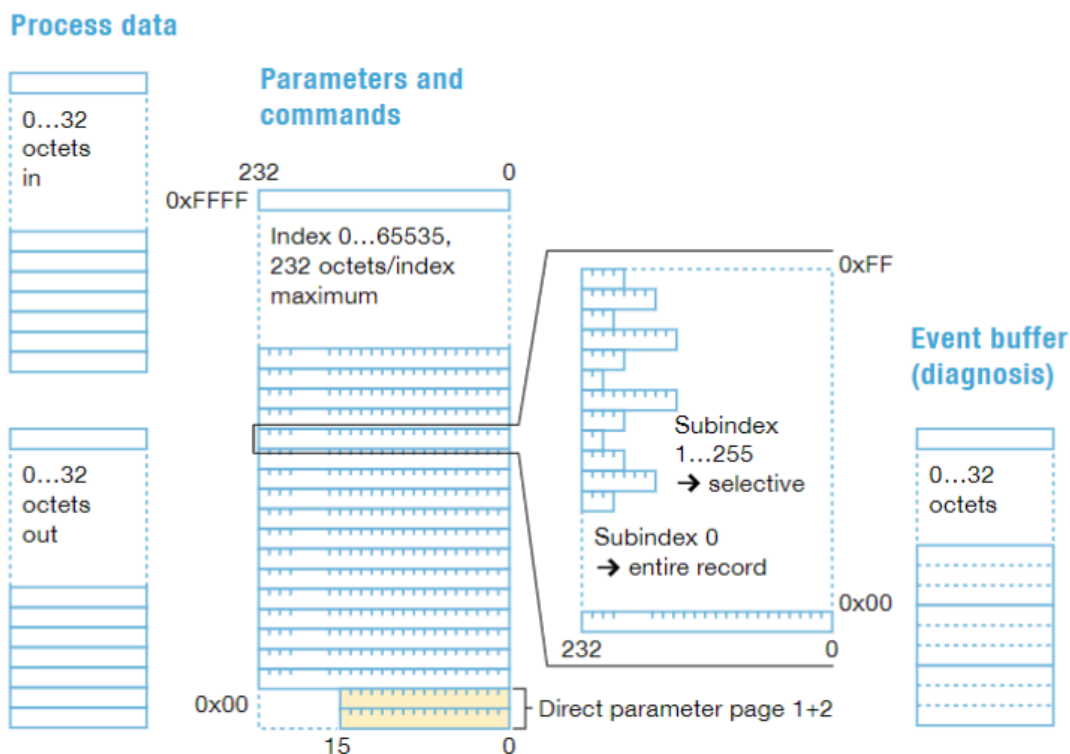
MSB ¹⁾																LSB ²⁾
Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
Distance measured value (14-bit) ^{4), 5)}														Signal quality (2-bit) ⁶⁾		

Kuva 7. SICK DT35-B15851 etäisyysanturin prosessiarvot voidaan konfiguroida eri asetuksille (Sick, 2022, s. 40)

3.2.2 Parametritiedot

Parametritiedot sisältävät yksityiskohtaista tietoa laitteen parametreista, konfiguroinnista ja diagnostiikasta. Tällaista tietoa voi olla esimerkiksi laitteen versionumero tai tieto laitteen tilasta. Parametritiedot lähetetään asykliisesti IO-Link Masterin pyynnöstä. Parametrit ovat lueteltu IO-Link Interface and System Specification oppaassa (Liite 1), jonka lisäksi laitteiden valmistajilla on mahdollisuus lisätä laitekohtaisia parametreja. Laitteen valmistajan määrittelemät parametrit löytyvät laitteen datalehdessä. Parametritiedot koostuvat yhteensä 65535 indeksistä, jonka lisäksi alaindeksejä voi olla maksimissaan 255 (Kuva 8). Indeksit 0 ja 1 ovat varattu pääasiassa parametreille,

jotka liittyvät kommunikointiin IO-Link Masterille. Indeksi 2 sisältää komennot, joilla suoritetaan parametrien lukeminen ja kirjoittaminen. Nämä kolme ensimmäistä ovat järjestelmän toimimisen kannalta kriittisessä asemassa, mutta toisaalta käyttäjän kannalta merkityksettömiä. Näitä indeksejä seuraa muut laitteen toimintaa kuvaavat parametrit. Parametreja voidaan hyödyntää PLC-ohjelmoinnissa esimerkiksi diagnostiikassa tai anturien ominaisuuksien hienosäätämässä. (Uffelman, Wienzek, Jahn, 2019, s. 191–218.)



Kuva 8. IO-Link laitteiden prosessitietojen, parametritietojen ja tapahtumien varastointi (Uffelman, Wienzek, Jahn, 2019, s. 172)

3.2.3 Tapahtumatiedot

IO-Link laitteet kykenevät lähettämään diagnostiikkaviestejä tapahtumatietoina. Tapahtumat voivat olla virheilmoituksia, varoituksia tai ilmoituksia. Tapahtuma käynnistää IO-Link Masterilla lukualgoritmin, jonka seurauksena IO-Link Master selvittää diagnostiikkaviestin ja tuo sen ohjausjärjestelmän luettavaksi. Tapahtuma sisältää kolme tavua, joista kaksi muodostavat virhekoodin ja kolmas tavu Event Qualifierin. Event Qualifier luokittelee tapahtuman virheilmoitukseksi, varoitukseksi tai ilmoitukseksi. Tapahtuman ollessa virheilmoitus, laite ei toimi oikein havaitun poikkeaman, kuten esimerkiksi laitteiston hajoamisen seurauksena. Varoitus on usein tila, joka voi

vaarantaa laitteen oikeanlaisen toimivuuden. Tällainen tapahtuma voi olla esimerkiksi laitteen ylikuumentuminen. Ilmoitus voi tulla laitteen tarvitessa kunnossapitoa. Parametritietojen tapaan tapahtumillakin on sekä kaikille IO-Link laitteille standardoituja tapahtumakoodeja, että laitekohtaisia valmistajien suunniteltavissa olevia tapahtumia. Yleisesti ottaen tapahtumat ovat diagnostiikkatietoja, jotka antavat tietoja laitteen toimintatilasta. Myös virhekoodit löytyvät IO-Link Interface and System Specification oppaasta (Liite 2). (Uffelman, Wienzek, Jahn, 2019, s. 226–230.)

3.2.4 Diagnostiikka

Taulukossa 2 on esimerkki yhdestä kaikille IO-Link laitteille määritellystä parametrista. Parametreille määritellään yleisesti ottaen indeksin lukema desimaaleina ja heksadesimaaleina, parametrin nimi, parametrin pituus, tietotyyppi ja lyhyt kuvaus parametrin ominaisuuksista. Sen lisäksi parametrin arvot ovat usein määriteltynä. Taulukossa 3 on esitelty taulukossa 2 kuvatun Device status -parametrin eri arvot. Parametrilla on viisi mahdollista arvoa, jotka monitoroivat laitteen kuntoa. Laite voi olla kunnossa, vaatia kunnossapitoa, määrittelemättömässä tilassa, vaatia toimintojen tarkastamista tai täysin toimimattomassa tilassa.

Taulukko 2. Indeksissä 36 sijaitseva laitteen tilaa monitoroivan Device Status -parametrin ominaisuudet

Indeksi (Hex)	Indeksi (Dec)	Nimi	Pituus	Tietotyyppi	Kommentti
0024	36	Device status	1 tavu	UIntegerT	IO-Link laitteen tila

Taulukko 3. Device status -parametrin mahdolliset arvot ja niiden kuvaukset

Device status	Määritelmä
0	Device OK
1	Maintenance-Required
2	Out-of-Specification
3	Functional-Check
4	Failure

Taulukossa 4 on esitelty muutamia mahdollisia IO-Link laitteiden virhekoodeja. Taulukon mukaisesti tapahtumatietoihin kuuluu virhekoodi, tapahtuman määritelmä, laitteen tila (device status) ja virhetyyppi.

Taulukko 4. Esimerkkejä IO-Link laitteiden virhekoodeista

Virhekoodi (hex)	Määritelmä	Device status	Virhetyyppi
0x0000	No malfunction	0	Notification
0x1000	General malfunction	4	Error
0x4000	Temperature overload	4	Error
0x5012	Batteries low	2	Warning
0x8C01	Simulation active	3	Warning
0x8C40	Maintenance required	1	Notification

Diagnostiikkatietoja käsitteleviä parametreja ovat Error Count, Device Status ja Detailed Device Status. Error Count ilmaisee laitteella tapahtuneiden virheiden määrän viimeisimmän käynnistyksen jälkeen. Device Status monitoroi virhekoodeihin linkitettyä laitteen tilaa. Detailed Device Status puolestaan kertoo laitteella tapahtuneen virhekoodin ja Event Qualifierin. Käytännössä tämä tarkoittaa virhetyyppejä. Detailed Device Status parametrin pituus on kolme tavua. Event Qualifier varaa ensimmäisen tavun ja virhekoodi vie kaksi muuta tavua. Käytännössä diagnostiikkaparametrit monitoroivat IO-Linkin tapahtumatiedoissa lähetettäviä tilatietoja. Ohjelmointiympäristöissä tapahtumatietoja ei voida suoraan käsitellä, mutta useimmilla PLC-valmistajilla on toimilohkoja, joiden avulla parametritietoja voidaan lukea. Tällä tavoin voidaan toteuttaa yksittäisten IO-Link laitteiden diagnostiikka. (IO-Link Interface and System Specification, 2019, s. 249–250.)

3.3 IO-Link

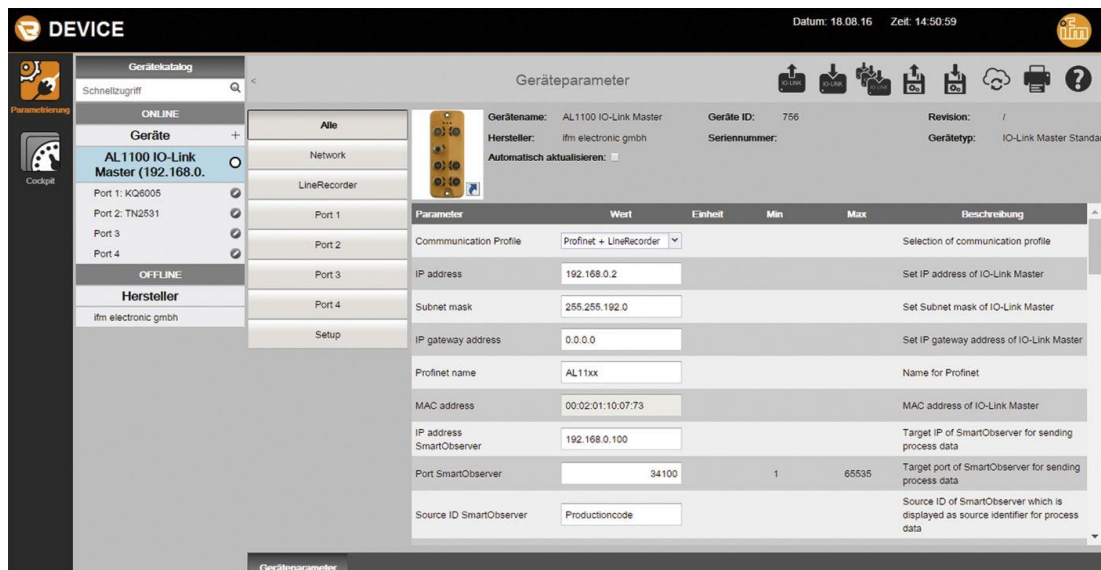
IO-Linkin yhtenä suurimpana tavoitteena on IO järjestelmän helppokäyttöisyys. Monimutkaiset IO-Link laitteiden tietorakenteet ovat kuitenkin ristiriidassa tämän asian

kanssa. Sen vuoksi IO-Linkin kehittäjät loivat IODD:n, jonka avulla anturien ja toimilaitteiden ominaisuuksia kyetään käsittelemään mahdollisimman helposti. IODD koostuu XML-tiedostosta, joka sisältää kuvauksen IO-Link laitteen ominaisuuksista, parametreista ja virhekoodeista. XML-tiedoston lisäksi IODD sisältää kuvat IO-Link laitteesta, valmistajan logosta ja mahdollisesti myös pinnien määrittelystä. (Uffelmann, Wienzek, Jahn, 2019, s. 337–340.)

Koska IO-Link laitteet ovat yksilökohtaisia, on näin ollen myös jokaiselle laitteelle oma IODD. IODD:t löytyvät usein laitteen verkkosivulta lataukset-osiosta. Sen lisäksi kaikkien valmistajien IO-Link laitteet IODD-tiedostoineen löytyvät IO-Link yhteisön IODDfinder palvelusta (IO-Link www-sivut). Jotkut konfigurointityökalut kykenevät myös lataamaan IODD:n automaattisesti ohjelmiston tunnistettaessa liitetyn laitteen. IODD:n avulla konfigurointityökalu pystyy esittämään laitteen ominaisuuden selkeällä käyttöliittymällä, joten käyttäjän on helppo lukea anturin prosessiarvoja, diagnostiikkatietoja ja tarvittaessa säätää parametreja. (Uffelmann, Wienzek, Jahn, 2019, s. 341–345.)

3.4 IO-Linkin käyttöönotto ja konfigurointi

IO-Link järjestelmä voidaan konfiguroida usealla eri tavalla. IO-Link järjestelmässä on konfiguroitava Master-laitteen porttien operointitilat (IO-Link, digital input, digital output, deactivated). Sen lisäksi antureille täytyy konfiguroida halutut ominaisuudet. Konfigurointi riippuu erityisesti käytettävästä IO-Link Masterista ja PLC:stä. Laitteiden valmistajilla on konfigurointiin omat menetelmänsä, eikä kaikille valmistajille yhteistä konfigurointityökalua ole olemassa. Esimerkiksi Ifm:n IO-Link master voidaan konfiguroida Ifm:n LR Device tai moneo configure -ohjelmistoilla (Kuva 9). Käytännössä siis IO-Link master kytketään Ethernet kaapelilla tietokoneeseen ja avataan konfigurointityökalu. Ohjelmiston kautta antureille ladataan IODD-tiedostot, joiden avulla antureille voidaan kirjoittaa halutut parametriarvot. Siemens on puolestaan kehittänyt S7-PCT-ohjelmiston, joka toimii integroituna TIA Portal-ohjelmointiympäristöön (Siemensin www-sivut). Näin ollen IO-Link konfigurointi onnistuu helposti samasta paikasta kuin PLC-ohjelmointi.



Kuva 9. LR Device -konfigurointityökalu. Kuvan sivulla voidaan vaihtaa esimerkiksi IP-osoite, aliverkon maski ja kommunikaatioprofiili (Ifm:n www-sivut)

Rexroth ei ole vielä kehittänyt konfigurointityökalua IO-Link sovelluksiin. Indra-Works Engineering ei myöskään tue IODD-tiedostojen käyttämistä (Bosch Rexroth, 2021, s. 274). Sen takia S67E IO-Link Masteria käytettäessä IO-Link järjestelmän konfigurointi on haastavampaa. Porttien operointitilojen vaihtaminen onnistuu laitenäkyvästä. Prosessiarvojen ja tulo- ja lähtökanavien pituus on kuitenkin määriteltävä manuaalisesti tavuina. Mikäli antureille halutaan kirjoittaa parametriarvoja, on niitä varten ohjelmitava toimilohko, jossa parametrit määritellään. Vaihtoehtoisesti antureita voidaan parametroida ennen käyttöönottoa USB IO-Link Master-laitteella. USB IO-Link Master-laitteissa on USB-liityntä tietokonetta varten sekä yksi tai useampi IO-Link portti M12-liitoksilla. Esimerkiksi Ifm:n AL1060 mahdollistaa minkä tahansa IO-Link anturin konfiguroinnin LR Device -ohjelmiston avulla laitteiston käyttöönoton yhteydessä. (Ifm:n www-sivut.)

3.5 Data storage

IO-Link Data storage mahdollistaa IO-Link laitteiden parametrien tallentamisen porttikohtaisesti. Data storagen avulla IO-Link laitteelle asetetut parametrit säilyvät, kun laite vaihdetaan toiseen identtiseen laitteeseen. On kuitenkin huomioitava, että data storage toimintoa voidaan käyttää ainoastaan version 1.1 IO-Link Masterilla ja laitteilla. (IO-Link Interface and System Specification, 2019, s. 150–151.)

Bosch Rexroth S67E IO-Link Masterilla data storage aktivoidaan laitteen konfigurointinäytöstä. Konfiguraatio valitaan porttikohtaisesti ja asetukseksi voidaan valita joko Deactivated, Download only, Upload only, Download and upload ja Deactivated and deleted. Deactivated tarkoittaa, että data storage ei ole käytössä. Download only mahdollistaa parametritietojen siirron IO-Link Masterilta laitteelle. Kun tiedonsiirrossa tulee ongelmia, IO-Link Masterilla olevat parametrit valitaan oletuksena. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että IO-Link laite voidaan vaihtaa. Upload only asetus toimii päinvastoin kuin Download only, eli parametritiedot siirretään laitteelta IO-Link Masterille ja laitteella olevat parametrit ovat oletusasetuksina. Tällä tavalla voidaan vaihtaa IO-Link Master ja säilyttää laitteen parametrit. Download and upload asetus mahdollistaa sekä laitteen, että IO-Link Masterin vaihtamisen. IO-Link Masterilla olevat parametrit toimivat kuitenkin oletuksena. Deactivated and deleted asetus mahdollistaa data storage deaktivoinnin ja portille tallennettujen parametrien poistamisen. (Bosch Rexroth, 2019, s. 32.)

4 S67-JÄRJESTELMÄN JA S67E IO-LINKIN VERTAILU

4.1 Periaatteelliset erot

S67- ja S67E IO-Link järjestelmää verrattaessa IO-Link kommunikoinnin hyödyt tulevat selkeästi esiin. Järjestelmissä on kuitenkin myös paljon samaa, sillä S67E on kehitetty S67:n jatkajaksi. Ensinnäkin molemmat järjestelmät ovat hajautettuja, IP67-luokiteltuja IO-ratkaisuja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että niiden käyttötarkoitukset ovat hyvin samanlaiset. Myös järjestelmien liittäminen MLD ohjaukseen tapahtuu hyvin samalla tavalla.

Toiminnoiltaan IO-Link on kuitenkin huomattavasti monipuolisempi. S67 hyväksyy ainoastaan saman sarjan moduulien lisäämisen. IO-Link standardi sen sijaan mahdollistaa eri valmistajien laitteiden käyttämisen samassa järjestelmällä. Jos IO-Link toteutuksessa haluttaisiin hyödyntää IO-moduuleita tavallisten anturien liittämiseen osaksi

ohjausjärjestelmää, voitaisiin IO-moduuli valita minkä tahansa valmistajan valikoimasta. Sen lisäksi portit voidaan konfiguroida DI-, DO-, ja AI-toimintatiloihin, jolloin tarvetta erillisille moduuleille ei tule. Digitaaliset tulot, digitaaliset lähdöt ja analogiset tulot voidaan kytkeä samaan yksikköön. Vähemmällä määrällä IO-moduuleita voidaan säästää kustannuksissa ja yksinkertaistaa asennustyötä merkittävästi. (Ifm:n www-sivut.)

Mittausanturien käyttö korostaa myös IO-Linkin etuja. S67-järjestelmässä mitattu analogisignaali muunnetaan ensinnäkin useasti analogisesta digitaalseksi ja takaisin. Sen lisäksi signaali kulkee analogiselta tulomoduilta yhden tai useamman digitaalisen tulomodulin kautta väyläliittimelle, ja väyläliittimeltä edelleen MLD:lle. Monimutkaisella tiedonsiirtopolulla signaali voi menettää tarkkuuttaan altistuessaan elektromagneettiselle säteilylle tai A/D ja D/A muunnosten yhteydessä. Analogisen signaalin käsittely vaatii myös suojatun kaapelin. IO-Linkillä kaikki kytkennät voidaan tehdä suojaamattomilla kolmijohteisilla kaapeleilla ja vähentää jälleen asennustöitä ja kustannuksia. Tavallisten anturien ja IO-Link anturien antamissa prosessiarvoissa ei binääristen paikka-anturien osalta ole juurikaan eroa. IO-Link anturien hyödyt tulevat esiin erityisesti parametritietojen osalta. Tavallisilta antureilta diagnostiikkatietoja ei saada lainkaan, eikä anturien parametreja voida säätää ohjelmallisesti.

S67-järjestelmässä diagnostiikka toteutetaan monitoroimalla väyläliittimen tilaa Sercos-parametrien avulla. Muun muassa Diagnostic Message parametria käytetään virhekoodien lukemiseen väyläliittimeltä. Virhekoodit liittyvät esimerkiksi ongelmiin virransyötössä, tulo- ja lähtökanavien ylikuumentumiseen ja vaurioihin kaapeleissa. Laitetasolta virheitä ei kuitenkaan voida yksilöidä.

Esimerkkinä voidaan ajatella robotin tarttujassa sijaitsevaa induktiivista anturia. Anturi näyttää tilatiedon 0 tai 1 sen perusteella, havaitseeko se objektia. Jos anturi vaurioituisi, liitos irtoaisi tai tapahtuisi joku muu vikatilanne, ohjausjärjestelmä saisi silti tiedon tilatiedosta 0. Todennäköisesti robottisolun voisi vielä jatkaa toimintaa siihen asti, kun anturin tilatietoa tarvitaan. Tässä vaiheessa robotti kuitenkin joko pysähtyisi paikoilleen odottamaan tilatietoa tai väyläliittimen diagnostiikka lähettäisi esimerkiksi virhekoodin vaurioituneesta kaapelista. Varsinaista diagnostiikkaa antureilta ei kuitenkaan saada. Vaikka väyläliittimellä saadaankin diagnostiikkaa, eivät ne kerro laitteiden

toiminnasta mitään. Varsinkin jos anturit sijaitsevat sellaisissa paikoissa, joissa niihin on vaikea päästä käsiksi, voi olla haastavaa selvittää mistä vikatilanne aiheutuu ja mikä anturi virheen aiheuttaa. Seurauksena tuotanto voi pysähtyä pitkäksi aikaa ja korjaavia toimenpiteitä täytyy selvittää, sen sijaan että tarkka diagnostiikkatieto kertoisi ongelman lähteen saman tien.

IO-Linkin parametritietojen avulla voidaan eritellä millä anturilla on tapahtunut virhe ja selvittää mikä virheen on aiheuttanut. Diagnostiikkatietoja käsittelevillä parametreilla Error Count, Device Status ja Detailed Device Status (Liite 1), tiedetään tapahtuneiden virheiden määrä, laitteen kunto ja virhekoodi. On myös mahdollista, että anturilla on standardoitujen parametrien lisäksi laitteen valmistajan määrittelemiä laajennettuja diagnostiikkatietoja, joita voidaan myös hyödyntää. Diagnostiikkatiedot ovat hyödyllisiä erityisesti ennakoivan kunnossapidon näkökulmasta. Esimerkkinä voidaan ajatella kuljetinjärjestelmällä sijaitsevaa valokennoa. Diagnostiikkatietojen avulla voidaan saada selville, että valokenno on likaantunut. Tällöin operaattori voi pysäyttää järjestelmän toiminnan, puhdistaa valokennon ja jatkaa järjestelmän toimintaa normaalisti. Ilman diagnostiikkatietoja kuljetinjärjestelmä menisi virhetilanteeseen ja virheen paikantaminen voisi olla haastavaa.

S67-järjestelmässä anturien vaihtaminen aiheuttaa väyläliittimellä ja Sercos-väylällä virheen. Anturien vaihtamisen yhteydessä MLD on siirrettävä offline-tilaan ja Sercos-väylä on asetettava CP0-tilaan (communication phase 0), jossa tiedonsiirto ei ole aktiivisena ja väylä voidaan konfiguroida. IO-Link järjestelmän data storage toiminto sen sijaan mahdollistaa anturien korvaamisen nopeasti ja helposti. Data storagen avulla laitteen parametrit tallentuvat porttikohtaisesti, joten uutta anturia ei tarvitse konfiguroida. Sen lisäksi MLD ohjausta ja Sercos-väylää ei tarvitse sulkea täysimääräisesti, vaan robotti voidaan pitää tuotantopysäytys-tilassa ja tällä tavoin lyhentää huoltoaikoja.

4.2 S67E osana robotin ohjausjärjestelmää

Robottien päivitysprojektien kannalta S67-järjestelmän korvaaminen S67E IO-Link-ratkaisulla avaa erilaisia näkökulmia. S67E IO-Link Master asennetaan S67-väyläliittimen tavoin Sercos-väylän slave-laitteeksi. Anturien kannalta topologia voidaan kuitenkin toteuttaa monella tavalla. Tässä yhteydessä ratkaisuja vertaillaan valmiiden renkaiden poimintaan tarkoitettun FT-TyrePick-tarttujan näkökulmasta.

FT-tarttujassa käytetään muun muassa Ifm:n ja Omronin induktiivisia antureita, sekä Baumerin ultraäänianturia. Induktiiviset anturit ovat asennettuina digitaaliseen tulomoduuliin, ja ultraäänianturia varten on analoginen tulomoduuli. S67-järjestelmää korvattaessa DI- ja AI-moduulit voitaisiin vaihtaa IO-Link moduuliin, joka mahdollistaa kaikkien anturien kytkemisen. IO-Link moduuleissa portteja voi olla neljästä portista kymmeneen porttiin. Jos antureita on kuitenkin enemmän kuin käytettäviä portteja, voidaan valita useampia IO-Link moduuleita. IO-Link moduuleita käytettäessä on muistettava, että portit eivät tue IO-Link operointitilaa ja että portit voidaan konfiguroida mallin mukaan DI-, DO- ja AI-operointitiloihin. Käytössä olevien antureiden liittäminen moduuleihin on tältä kannalta vaivatonta. Myös IO-Link antureita voitaisiin käyttää DI-operointitilassa, mutta diagnostiikkatietoja ei voida tällä tapaa hyödyntää. (Ifm:n [www-sivut](#).)

Jos diagnostiikkatietoja halutaan hyödyntää täysimääräisesti, on kaikki tarttujan anturit päivitettävä IO-Link antureiksi. Ne on myös kytkettävä suoraan IO-Link Masterin portteihin, jotka puolestaan täytyvät olla konfiguroituna IO-Link operointitilaan.

Tässä tapauksessa robotin IO-järjestelmän topologiaan on tehtävä merkittäviä muutoksia. S67-järjestelmässä väyläliitin sijaitsee robotin ohjauskaapissa robotin rungon yläpuolella ja IO-moduulit ohjauskaapin ulkopuolella robotin tarttujalla. Anturit ovat liitettynä IO-moduuleihin. FT-tarttuja toteutettaisiin liittämällä S67E IO-Link MLD-ohjaukseen ja IO-Link anturit IO-Link Masteriin. Anturien johdottaminen robotin ohjauskaappiin Master-yksikölle olisi kuitenkin haastavaa ja ongelmallista. Sen takia IO-Link Masterille olisi selvitettävä uusi sijainti robotin ohjauskaapin ulkopuolelta, robotin tarttujan yhteydestä. Toteutuksessa on myös otettava huomioon, että S67E IO-Link Masterin portit 5–8 ovat luokan B portteja. Liitettäessä luokan A laitteita, kuten FT-

tarttujassa käytettäviä antureita, on varmistuttava, että käytetään kolmijohteista kaapeleita. Luokan B porteilta saatava lisäjännitteensyöttö voi muuten vaurioittaa laitteita. Jos antureita on käytössä enemmän kuin kahdeksan, on tällöin otettava käyttöön toinenkin IO-Link Master.

4.3 IO-Link laitevalinnat

IO-Link laitteita valitessa on selvitettävä, millä IO-Link antureilla on vastaavat ominaisuudet käytössä olevien anturien kanssa. Nykyään IO-Link tuotevalikoima on jo varsin kattava, joten korvaava laite löytyy todennäköisesti useimpiin käyttötarkoituksiin. Myös IO-Link anturien ominaisuuksia voidaan vertailla keskenään. Vaikka kaikilla IO-Link antureilla on käytössä samat standardoidut parametrit, voi joillain laitteilla olla lisäksi laitteen valmistajan määrittelemiä parametreja. Näissä parametreissa voi olla esimerkiksi laajempia diagnostiikkatietoja, jotka voivat olla järjestelmän toiminnan kannalta hyödyllisiä.

FT-tarttujan IO-järjestelmä koostuu S67-väyläliittimen ja tulomoduulien lisäksi induktiivisista antureista ja ultraäänianturista. Induktiiviset anturit ovat Ifm:n IFS244 ja IFS245 sekä Omronin E2A-M18KN16-M1-B2. Ultraäänianturina on Baumer UNAM 5016121/S14. Induktiivisten anturien toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Kun metallinen kappale siirtyy anturin tuntoetäisyydelle, anturi asettuu tilaan ”true”. Merkittävin ero induktiivisilla antureilla on tuntoetäisyys. Sen lisäksi lähtötoiminto voi olla myös avautuva, eli anturi on ”true”-tilassa, kun kappaletta ei havaita. IFS244-anturin tuntoetäisyys on 4 mm ja IFS245-anturin tuntoetäisyys on 7 mm. Molempien anturien lähtötoiminto on sulkeutuva. IO-Link antureilla sen sijaan tuntoetäisyys ja lähtötoiminto ovat konfiguroitavissa. Esimerkiksi Ifm:n IF6138 tuntoetäisyys voidaan asettaa väliltä 1,3 mm – 6,5 mm. Pidemmän tuntoetäisyyden omaavilla IO-Link antureilla runko on paksumpaa M18-kokoa, joka ei välttämättä sovi tarttujaan halutulla tavalla. Jos 0,5 mm:n ero (7 mm – 6,5 mm) tuntoetäisyydessä ei vaikuta tarttujan toimintaan, voidaan sekä IFS244, että IFS245 korvata IF6138-anturilla. (Ifm:n [www-sivut](http://www-sivut.com).)

Omron E2A-M18KN16-M1-B2 anturille korvaajaksi voitaisiin valita Omron E2E-X16MB3D18-M1. Anturit ovat mitoiltaan ja tuntoetäisyydeltään identtiset. E2E-

X16MB3D18-M1 mahdollistaa luonnollisesti IO-Link kommunikoinnin. (Omronin [www-sivut](#).)

Ultraäänianturin valinta portaalirobottiin on huomattavasti induktiivisia antureita haastavampaa. Olli Kanervan opinnäytetyössä (2019) tutkittiin IO-Link ultraäänianturien ominaisuuksia TyrePick-tarttujan näkökulmasta. Käytännön testeissä vertailtiin Ifm:n UIT500 ja Leuzen DMU430B-3000.X3/LTC-M12 antureita. Testien perusteella havaittiin, että Leuzen ultraäänianturilla saavutetaan hyvä mittaustarkkuus, joka voidaan tässä vaiheessa olettaa sopivaksi ratkaisuksi FT-tarttujaan. Kanerva huomauttaa kuitenkin työssään, ettei sylinterin muotoinen ultraäänianturi ole välttämättä optimaalisin vaihtoehto tähän käyttötarkoitukseen.

IO-Link toteutuksen topologia voidaan siis toteuttaa monella eri tavalla. Jos laitekoh-
taisia diagnostiikkatietoja halutaan kaikilta järjestelmän laitteilta, voidaan ainakin teo-
reettisten ominaisuuksien puolesta käyttää taulukon 5 mukaisia laitevalintoja. Merkit-
tävin ero vaihtoehdoissa on IO-moduulien käyttö. IO-Link moduulit ovat tarkoitettu
lähinnä käytössä olevien anturien liittämiseen osaksi IO-Link järjestelmää. IO-Link
anturit on kytkettävä suoraan IO-Link Masterin portteihin, jotta diagnostiikkatietoja
voidaan käsitellä.

Taulukko 5. Korvaavat laitevalinnat TyrePick-tarttujassa

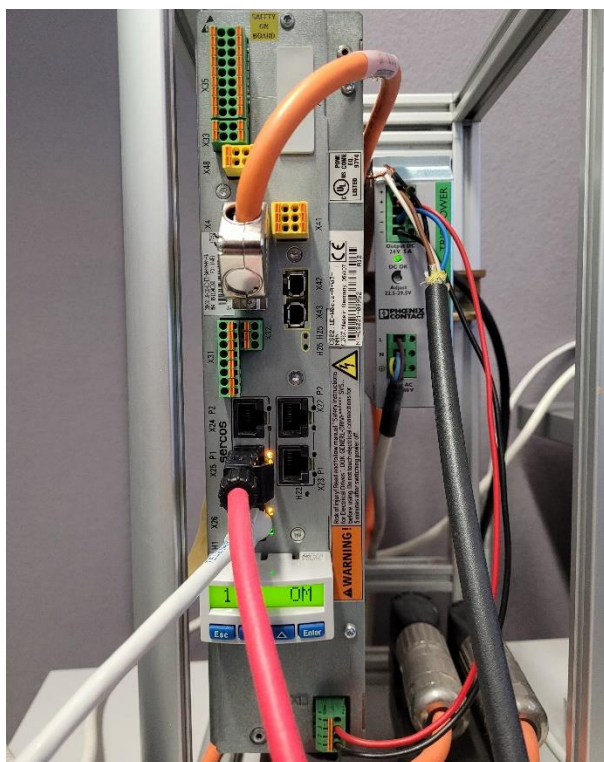
IO-järjestelmä	S67	IO-Link
Master-laite	Bosch Rexroth S67 Bus coupler (S67-S3-BK-DI8-M8)	Bosch Rexroth S67E IO-Link Master (S67E-S3-IOL8-DI4-M12-6P)
Digitaalinen tulomoduuli	Bosch Rexroth S67 Digital Input module (S67-DI8-M8)	-
Analoginen tulomoduuli	Bosch Rexroth S67 Analog Input module (S67-AI4-U/I-M12)	-
Induktiivinen anturi	IFM IFS244	IFM IF6138
Induktiivinen anturi	IFM IFS245	IFM IF6138
Induktiivinen anturi	Omron E2A-M18KN16-M1-B2	Omron E2E-X16MB3D18-M1
Ultraäänianturi	Baumer UNAM 5016121/S14	Leuze DMU430B- 3000.X3/LTC-M12

5 IO-LINK JÄRJESTELMÄN INTEGROINTI MLD OHJAUKSEEN

5.1 Testilaitteisto

IO-Link järjestelmän integroiminen IndraMotion MLD ohjaukseen toteutetaan IndraDrive-testilaitteistolla (Kuva 10). Testilaitteiston käyttäminen helpottaa testaamista, koska robottisoluun asennetun IO-Link Masterin konfigurointi ja testaaminen olisi haastavaa ja epäkäytännöllistä. Sen lisäksi tarttujan toimintaan vaadittavia IO-Link antureita ei ole käytettävissä, joten robottisolua ei voida testata käytännössä.

Testilaitteisto koostuu MLD:n Control Sectionista, Power Sectionista ja moottorista. Control Section tarkoittaa MLD:n varsinaista ohjausyksikköä ja servovahvistinta. Tässä laitteistossa ohjausyksikkönä toimii IndraDrive CSH02.1B-CC-EC-ET-S4-NN-NN-FW. Power Section on laitteen konvertteri ja tehonsyöttöyksikkö, joka on tässä tapauksessa HCS02.1E-W0012-A-03-NNNN. MLD:n vieressä on jännitelähde moottorille sekä IO-Link Masterille. Moottori sijaitsee testilaitteiston oikeassa alareunassa ja sen yhteydessä on pulssianturi. IO-Link Masteriksi laitteistoon asennetaan Bosch Rexrothin S67E-S3-IOL8-DI4-M12-6P. Sen lisäksi IO-Link laitteiden toimintaa demonstroidaan SICK DT35- B15851 -etäisyysanturilla.



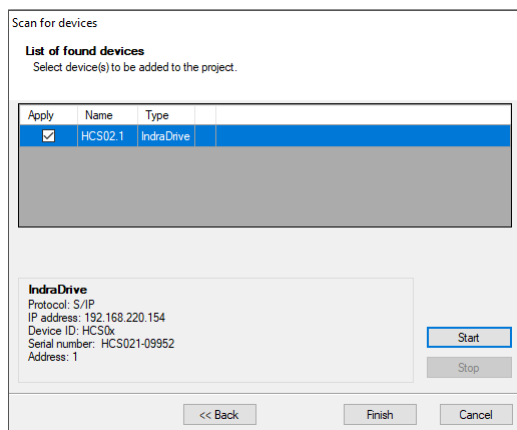
Kuva 10. IndraDrive-testilaitteisto

5.2 Projektin aloittaminen ja MLD:n yhdistäminen

Järjestelmän testaaminen alkaa yhdistämällä tietokone Ethernet-kaapelilla kytkimen kautta MLD:n X26 porttiin. Sen lisäksi IO-Link Master kytketään Sercos III –kaapelilla MLD:n X25 porttiin, jonka lisäksi IO-Link Master kytketään jännitelähteeseen. Seuraavaksi aloitetaan uusi projekti IndraWorks Engineering –ohjelmointityökalulla ja etsitään käytössä oleva MLD Scan For Devices –toiminnolla. Tätä ennen on kuitenkin vaihdettava tietokoneen IP-osoite samaan verkkoon MLD:n kanssa. MLD:n IP-osoite 192.168.220.154 oli ennakkoon tiedossa, sekä löydettävissä ja vaihdettavissa

MLD:n navigointinäytön kautta. Näin ollen tietokoneen IP-osoitteeksi voidaan asettaa esimerkiksi 192.168.220.222. Yhteyden toimivuuden voi sen lisäksi tarkistaa komento-kehoteen ping-toiminnolla.

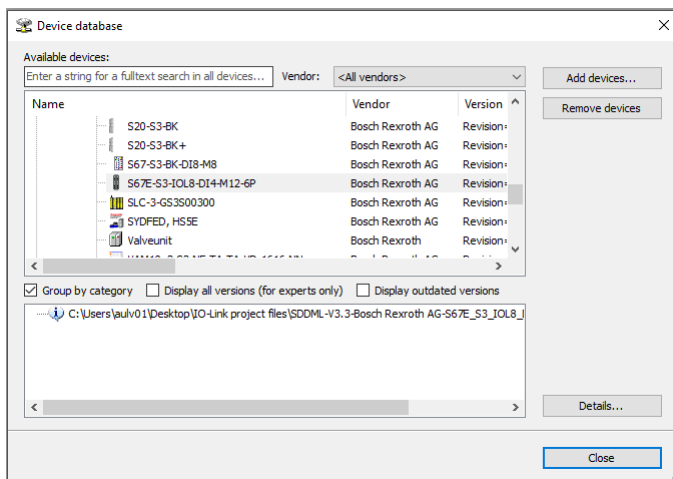
Yhteyden ollessa kunnossa MLD löytyy suorittamalla Scan for Devices –toiminto. Finish-painiketta painamalla MLD saadaan osaksi IndraWorks-projektia (Kuva 11).



Kuva 11. Scan for devices -toiminto

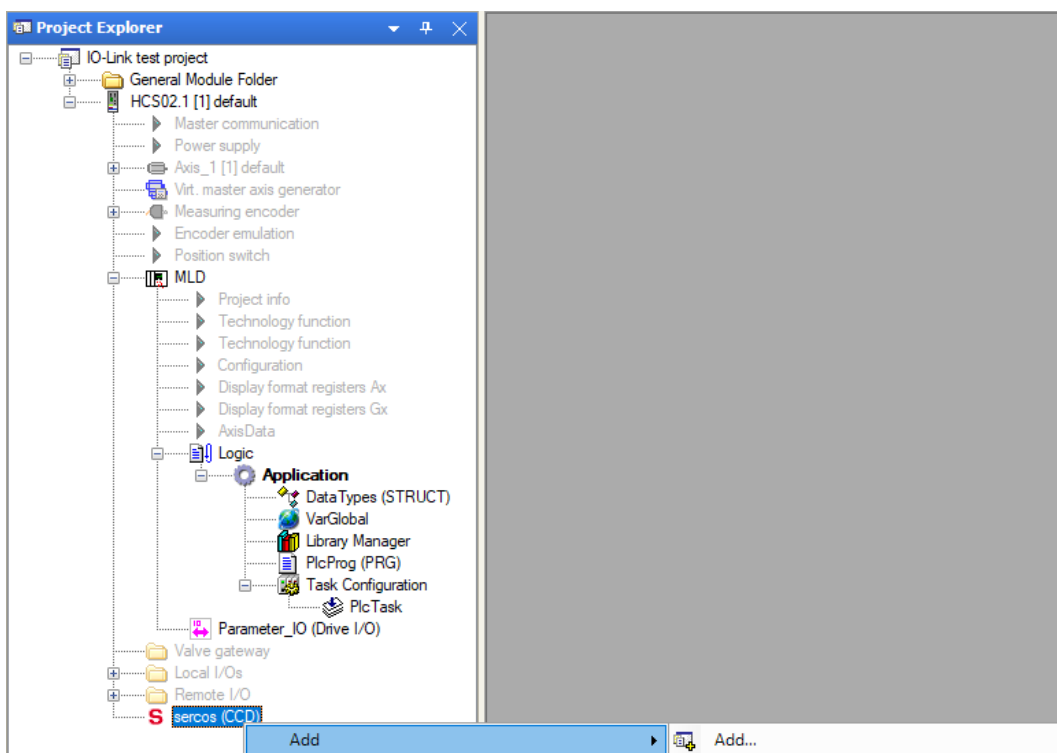
5.3 IO-Link masterin lisääminen projektiin

MLD:n lisäksi myös IO-Link Master on lisättävä projektiin. IO-Link Master lisätään projektiin kuitenkin eri tavalla kuin MLD, sillä Scan for devices –toiminto on tarkoitettu ainoastaan ohjausyksiköille. Bosch Rexroth S67E on lisättävä IndraWorksin laitetietokantaan, mikäli se ei siellä ole. Tässä työssä käytetty IO-Link Master on vanha testiversio, joten laitteen kanssa oli käytettävä vanhempaa V3.2 SDDML-tiedostoa, joka saatiin käyttöön Bosch Rexrothin tekniseltä tuelta. Uudempia IO-Link Mastereita käytettäessä SDDML-tiedosto ladataan Bosch Rexrothin verkkosivuilta. Laite lisätään IndraWorksin avaamalla Device database (Kuva 12). Device databasesta löytyy kohta Add devices..., joka avaa mahdollisuuden lisätä ladattu tiedosto File Explorerista.



Kuva 12. Device database

Device database on kuitenkin vain tietokanta, joka pitää sisällään käytettävissä olevat laitteet. S67E ei siis vielä ole osana aloitettua projektia. S67E voidaan lisätä osaksi projektia siirtymällä projektipuussa kohtaan sercos (CCD) (Kuva 13). Add-kohdasta löytyy lista lisättävistä laitteista. Valitaan listalta S67E-S3-IOL8-DI4-M12-6P. Lisäämisen jälkeen S67E löytyy Sercos (CCD) –valikon alta.



Kuva 13. IndraWorks-projektin projektipu

5.4 Prosessitietojen määrittely

Seuraavaksi määritellään IO-Link Masterin porttien asetukset, I/O:t ja prosessitiedot. S67E:n asetusten User Parameter -välilehdellä määritellään porttien toimitilat (Kuva 14). Portti 1 asetetaan IO-Link-tilaan. Muut portit voidaan jättää inactive-tilaan, koska toimintaa kokeillaan vain yhdellä anturilla. Out Length Port1 eli prosessitietojen lähtöjen pituus portilla 1 määritellään yhden tavun pituiseksi. Vaikka anturin prosessitiedoissa ei olisi lähtöjä, on tähän kohtaan asetettava vähintään yksi tavu, koska järjestelmä ilmoittaa muuten virheestä. DT35- B15851:n datalehden mukaan prosessitietojen pituus on 16 bittiä. In Length Port1 eli lähtötietoihin asetetaan pituudeksi siis kaksi tavua. Tässä työssä käytetyllä IO-Link Master testiversiolla User Parameter -asetukset ovat huomattavasti suppeammat kuin varsinaisella versiolla. Uusimman SDDML-tiedoston avulla User Parameter -välilehdellä voidaan määritellä muun muassa data storage toiminto porttikohtaisesti. Koska testiversiolla ei voida käyttää data storage toimintoa, on IO-Link laitteiden parametointi hyvin ongelmallista.

Name	Value	Type	Default
Set Port Operating Mode			
Port1	IO-Link	Byte	IO-Link
Port2	inactive	Byte	inactive
Port3	inactive	Byte	inactive
Port4	inactive	Byte	inactive
Port5	inactive	Byte	inactive
Port6	inactive	Byte	inactive
Port7	inactive	Byte	inactive
Port8	inactive	Byte	inactive
Port OUTPUT Data Lengths			
Out.Length Port1	01 Byte	BitArea	01 Byte
Out.Length Port2	No Data	BitArea	No Data
Out.Length Port3	No Data	BitArea	No Data
Out.Length Port4	No Data	BitArea	No Data
Out.Length Port5	No Data	BitArea	No Data
Out.Length Port6	No Data	BitArea	No Data
Out.Length Port7	No Data	BitArea	No Data
Out.Length Port8	No Data	BitArea	No Data
Port INPUT Data Lengths			
In.Length Port1	02 Byte	BitArea	No Data
In.Length Port2	No Data	BitArea	No Data
In.Length Port3	No Data	BitArea	No Data
In.Length Port4	No Data	BitArea	No Data
In.Length Port5	No Data	BitArea	No Data
In.Length Port6	No Data	BitArea	No Data
In.Length Port7	No Data	BitArea	No Data
In.Length Port8	No Data	BitArea	No Data

Kuva 14. User Parameter-välilehti

Function groups -välilehdeltä vaihdetaan PDin kohtaan arvoksi 2/8 (Kuva 15). Koska kanavan (channel) koko on 8 bittiä, on tulokanavia oltava kaksi. DiagIn tarkoittaa 3.2.1 kappaleessa mainittua value statusta, eli se monitoroi prosessitietojen paikkansapitävyyttä.

sercos Module				
Function Groups	User Parameter	I/O Mapping	Information	
Function groups				
Name	Number of channels	With of channel (Bits)	Type	IDN.SI.SE
<input checked="" type="checkbox"/> Digital Output				5-0-1502.0.0
PDOut	8		2 BIT	
<input checked="" type="checkbox"/> Digital Input				5-0-1503.0.0
PDIn	8		2 BIT	
<input checked="" type="checkbox"/> Sub bus Master				5-0-1508.0.0
DiagIn	8		1 BIT	
PDIn	2 / 8		8 BYTE	
PDOut	1 / 8		8 BYTE	

Kuva 15. Function Groups -välilehti

I/O mapping-välilehdellä nähdään IO-Link Masterin tulo- ja lähtökanavat osoitteineen (Kuva 16). Vaihdetaan ensimmäinen tulokanava IO-Link Data IN alkamaan parillisesta osoitteesta %IB136. Toinen tulokanava päivittyy automaattisesti osoitteeseen %IB137.

Sub bus Master				
Sub bus Master	%QB42	BYTE		0
Bit0	%QX42.0	BOOL		FALSE
Bit1	%QX42.1	BOOL		FALSE
Bit2	%QX42.2	BOOL		FALSE
Bit3	%QX42.3	BOOL		FALSE
Bit4	%QX42.4	BOOL		FALSE
Bit5	%QX42.5	BOOL		FALSE
Bit6	%QX42.6	BOOL		FALSE
Bit7	%QX42.7	BOOL		FALSE
DiagIn	%IB134	BYTE		0
Bit0	%IX134.0	BOOL		FALSE
Bit1	%IX134.1	BOOL		FALSE
Bit2	%IX134.2	BOOL		FALSE
Bit3	%IX134.3	BOOL		FALSE
Bit4	%IX134.4	BOOL		FALSE
Bit5	%IX134.5	BOOL		FALSE
Bit6	%IX134.6	BOOL		FALSE
Bit7	%IX134.7	BOOL		FALSE
Sub bus Master	%IB136			
IO-Link Data IN 00 0	%IB136	BYTE		0
Bit0	%IX136.0	BOOL		FALSE
Bit1	%IX136.1	BOOL		FALSE
Bit2	%IX136.2	BOOL		FALSE
Bit3	%IX136.3	BOOL		FALSE
Bit4	%IX136.4	BOOL		FALSE
Bit5	%IX136.5	BOOL		FALSE
Bit6	%IX136.6	BOOL		FALSE
Bit7	%IX136.7	BOOL		FALSE
IO-Link Data IN 00 1	%IB137	BYTE		0
Bit0	%IX137.0	BOOL		FALSE
Bit1	%IX137.1	BOOL		FALSE
Bit2	%IX137.2	BOOL		FALSE
Bit3	%IX137.3	BOOL		FALSE
Bit4	%IX137.4	BOOL		FALSE
Bit5	%IX137.5	BOOL		FALSE
Bit6	%IX137.6	BOOL		FALSE
Bit7	%IX137.7	BOOL		FALSE

Kuva 16. I/O Mapping -välilehti

Seuraavaksi valitaan projektipuusta Logic, josta IndraWorksiin lisätään uusi logiikkaohjelma. Ohjelman määrittelyosiossa voidaan luoda uusi muuttuja ”processData”, määrittellä sen osoitteeksi %IW136 ja laittaa tietotyypiksi ”word”. Tällä tavalla etäisyysanturin prosessitietoja voidaan monitoroida ja hyödyntää ohjelman rakentamisessa. Lisätään ”processData” muuttuja alla olevaan ohjelmointiosioon (Kuva 17).

```

1  PROGRAM PlcProg
2  VAR
3      processData AT %IW136 : WORD;
4  END_VAR

```

```


1  processData;

```

Kuva 17. Muuttujan määrittely

Jotta IO-Link Master voi kommunikoida MLD:lle on Sercos-väylä vielä konfiguroitava. Avataan projektipuusta sercos (CCD) -> CCD: Basic Settings. Tässä vaiheessa on varmistettava, että MLD on parametrintilassa (Parameterization Mode). Asetetaan Cross Communication Drive Active -valintaruutu aktiiviseksi, jonka jälkeen Sercos-väylä voidaan asettaa CP4-tilaan (Communication Phase 4), jolloin IO-Link Master alkaa kommunikoidaan Sercos-väylällä reaaliaikaisesti.

Seuraavaksi logiikkaohjelma voidaan siirtää MLD:lle painamalla Login-painiketta. Logiikkaohjelma käynnistetään painamalla Start-painiketta, jonka jälkeen prosessiarvoja voidaan seurata reaaliajassa (Kuva 18). Kuvan 19 mukaisesti järjestelmä toimii oikeaoppisesti, kuten IO-Link Masterin merkkivalot indikoivat. DT35-15851 anturi ilmaisee etäisyysarvon millimetreinä.

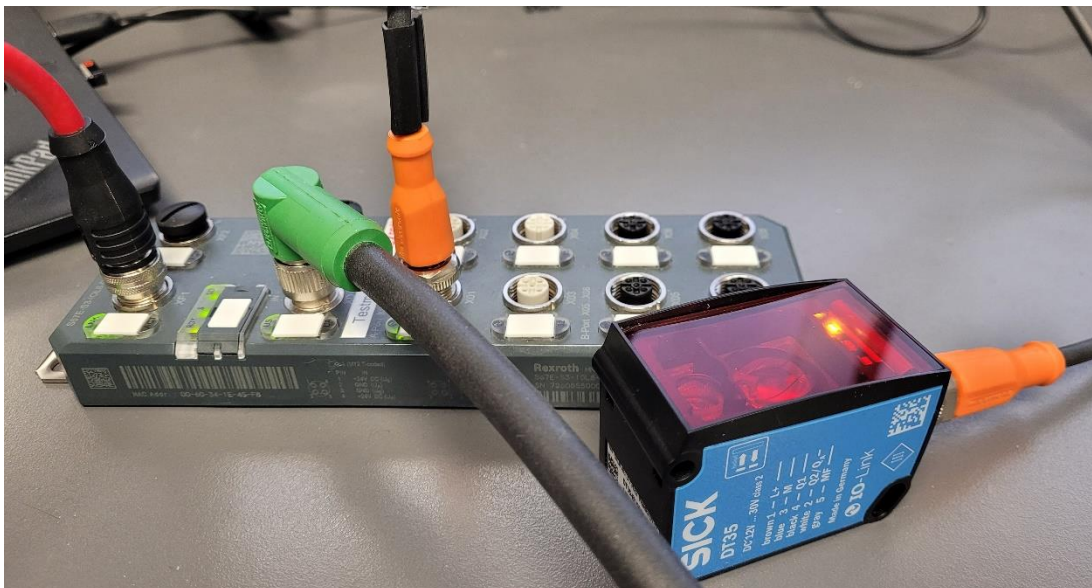
Expression	Type	Value	Address
 processData	WORD	251	%IW136

```

1  ● processData 251 ; RETURN

```

Kuva 18. Muuttujan arvon monitorointi



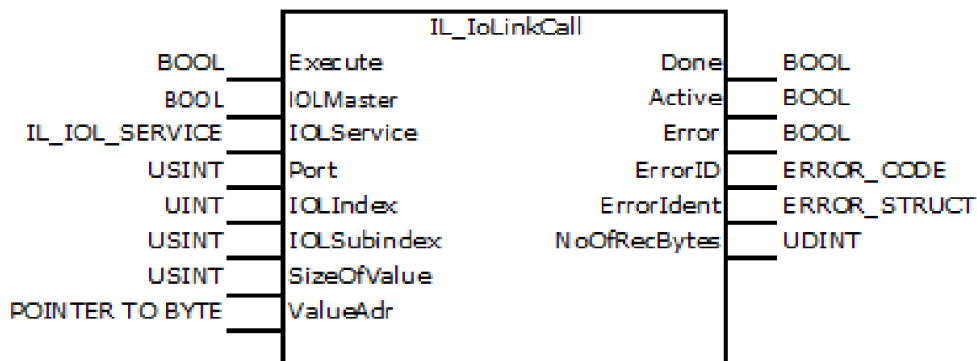
Kuva 19. Bosch Rexroth S67E IO-Link Master ja SICK DT35-15851 -etäisyysanturi toiminnassa

6 S67E DIAGNOSTIIKAN TOTEUTUS

6.1 IO-Link toimintojen ohjelmointi

IO-Link toimintojen ohjelmoinnin mahdollistamiseksi IO-Link laitteiden valmistajat ovat kehittäneet valmiita toimilohkoja, joilla IO-Link laitteiden prosessiarvoja voidaan käsitellä mahdollisimman helppokäyttöisesti PLC-ohjelmoinnissa. SICK on esimerkiksi kehittänyt Function Block Factoryn, jonka avulla mille tahansa IO-Link anturille saadaan PLC-ohjelmoinnissa hyödynnettävä toimilohko (Sickin [www-sivut](http://www.sick.com)). Sen lisäksi useimmat PLC-valmistajat ovat luoneet toimilohkoja, joilla IO-Link laitteiden parametreja voidaan käsitellä. Myös Rexroth on valmistanut toimilohkoja IO-Link toteutuksia varten. IndraWorks Engineering ohjelmistoon ladattava RIL_IoLink-kirjasto sisältää kolme kenttäväylistä riippumatonta ja yhden Sercos-kommunikointiin liittyvän toimilohkon. Toimilohkoista ensimmäinen on IL_SIII_IoLinkProxy. Se toteuttaa kommunikoinnin IO-Link masterin ja Sercos-väylän välillä. Toimilohkoon syötetään IO-Link Masterin Sercos-osoite ja asetetaan Enable-bitti päälle, jolloin toimilohko aktivoituu. IL_IoLinkCall puolestaan mahdollistaa IO-Link laitteiden parametrien lukemisen ja kirjoittamisen (Kuva 20). IL_IoLinkErrorText kykenee muuttamaan

IL_IoLinkCall toimilohkolta saatavat vikakoodit tekstimuotoon. Viimeisen toimilohkon IL_IoLinkIdent avulla voidaan lukea yleisimmät laitteen tunnistamiseen liittyvät parametrit, kuten RevisionID, VendorID, DeviceID ja FunctionID. (Bosch Rexroth, 2020, s. 871–881.)



Kuva 20. IO-Link laitteen parametrejä voidaan lukea IL_IoLinkCall toimilohkolla (Bosch Rexroth, 2020, s. 875–879)

Ohjelmakoodissa prosessiarvoja voidaan hyödyntää samalla tavalla kuin S67-järjestelmässäkin. Esimerkiksi jos TyrePick-tarttujaan vaihdettaisiin IO-Link ultraäänianturi, ohjelmakoodin toiminnallisuus ei juurikaan muuttuisi, sillä molemmilta antureilta saadaan vastaavat etäisyysarvot. Ainoastaan viittaukset anturiin ja IO-Link Masteriin jouduttaisiin päivittämään. Sen lisäksi IO-Link anturin signaalia ei tarvitse skaalata samalla tavalla kuin analogisen anturin. Laitekohtaisen diagnostiikan kerääminen erottaa S67:n ja IO-Linkin ohjelmoinnin näkökulmasta. S67-järjestelmässä väyläliittimen diagnostiikkaa voidaan kerätä, mutta diagnostiikka jää hyvin vajavaiseksi, sillä laitekohtaisia tietoja on mahdotonta saada. IO-Link toteutuksella diagnostiikan ohjelmointiin on olemassa erilaisia vaihtoehtoja. Automaatiosuunnittelun kannalta on pohdittava muun muassa mitä parametreja halutaan lukea ja missä vaiheessa ohjelmakiertoa.

Suosittelavinta olisi toteuttaa IO-Link Masterin diagnostiikka samalla tavalla kuin väyläliittimen diagnostiikka. Sercos parametrien avulla voidaan vastaavasti monitoroida Master-laitteen jännitteensyöttöön liittyviä häiriöitä. Sen lisäksi diagnostiikkaa voidaan saada myös IO-Link kommunikoinnissa ilmenneistä vioista. (Bosch Rexroth, 2019, s. 36–37.)

Käytännössä koodimuutoksilla voitaisiin vaihtaa väyläliittimen diagnostiikan tarkastava toimilohko IO-Link Masterin käyttöön. IO-Link antureille voitaisiin sen sijaan

luoda oma toimilohko, jossa monitoroidaan laitteiden tilaa ja virheilmoituksia. Koska robotissa on useampia antureita, ja anturit toimivat suurimman osan ajasta normaalisti, ohjelmakierron kuormittamisen välttämiseksi hyödyllisintä olisi aloittaa anturien tilan monitorointi vasta kun IO-Link Master ilmoittaa virheestä. Tässä tapauksessa IO-Link anturien diagnostiikka voitaisiin myös ohjelmoida samaan toimilohkoon kuin IO-Link Masterin. Esimerkiksi IO-Link Masterin Sercos parametrilla IDN S-0-0390 saadaan selville, jos jollain IO-Link laitteella havaitaan virhe. Parametri IDN S-0-1500.0.32 puolestaan kertoo muun muassa viallisen laitteen porttinumeron, tulokanavan numeron ja IO-Link virhekoodin. Periaatteessa IO-Link diagnostiikka voitaisiin toteuttaa myös pelkästään näillä parametreilla. Toisaalta IO-Link toimilohkoilla diagnostiikkaa voidaan tarkastella yksityiskohtaisemmin. IDN S-0-1500.0.32 parametrilta saatavaa porttinumeroa voidaan myös hyödyntää IO-Link toimilohkojen ohjelmoinnissa. IL_IoLinkCall toimilohkon Port-kenttään voidaan siis syöttää IO-Link Masterin diagnostiikasta saatava porttinumero. Tällöin diagnostiikkaa ei tarvitse ohjelmoida jokaiselle anturille/portille erikseen ja ohjelmakoodia saadaan näin yksinkertaistettua. (Bosch Rexroth, 2019, s. 36–37.)

6.2 Esimerkkiohjelma IO-Link laitteen diagnostiikalle

Seuraavaksi luodaan esimerkki diagnostiikan ohjelmoinnista testilaitteistossa käytetylle SICK DT35-B15851-anturille. Valmis diagnostiikkaratkaisu on liitteessä 3. Ohjelmointi aloitetaan lisäämällä projektiin uusi POU, jonka tyyppiä valitaan function block. Määrittelyosioon lisätään käytettävät muuttujat (Kuva 21). ”step” on case-opeeraattorissa käytettävä ohjelman askel, jonka mukaan ohjelmakierto suoritetaan. ”deviceStatus” lukee Device Status parametrilta laitteen tilan. ”detailedDeviceStatus” lukee Detailed Device Status parametrin virhekoodin ja Event Qualifierin. ”strError” muuttujalla voidaan lukea tekstimuodossa toimilohkoissa tapahtuneita virheitä. Tässä yhteydessä on tärkeää huomata toimilohkojen virheilmoitusten ja IO-Linkin virhekoodien ero. Toimilohkojen virheilmoitukset kertovat vain toimilohkojen suorittamiseen liittyviä virheitä, kuten määrittelemättömän indeksin käyttämisen. IO-Linkin virhekoodit voidaan lukea vain Detailed Device Status parametrin avulla.

Seuraavaksi määritellään function blockissa käytettävät toimilohkot. ”fbS67E”, jonka tyyppiä valitaan IL_SIII_IoLinkProxy, suorittaa S67E-laitteen kommunikoinnin Sercos-väylälle. ”fbDeviceStatus” ja ”fbDetailedStatus” suorittavat parametrien lukemisen etäisyysanturilta. ”fbS67E”:tä varten määritellään ”addr”, eli laitteen Sercos-osoite, ”tTimeout”, eli yhteen kutsuun käytettävä aika ja ”slot”, eli IO-Link Masterin slot. ”bIOLMaster” muuttujalla määritellään, luetaanko Masterin vai IO-Link laitteen parametreja. Arvolla ”false” valitaan luettavaksi IO-Link laitteen parametrit. IL_IOL_SERVICE-tyyppisellä ”read” muuttujalla voidaan valita, luetaanko vai kirjoitetaanko parametreja. Arvolla IL_IOL_SERVICE.READ muuttuja lukee parametreja ja arvolla IL_IOL_SERVICE.WRITE muuttuja kirjoittaa parametreihin.

```

1  FUNCTION_BLOCK CC_IoLinkDiag
2  VAR
3      step: INT; // Diagnostic step
4      deviceStatus: USINT; // Device status parameter, 0 = Device OK, 1 = Maintenance required,
5                          // 2 = Out of specification = 3 Functional check, 4 = Failure
6      detailedDeviceStatus: LWORD; // Detailed device status parameter,
7                                  // Octet 1 = EventQualifier, Octets 2 & 3 = EventCode (0x00, 0x0000)
8      strError: STRING(255); // Error string
9  //Function block instances
10     fbS67E: IL_SIII_IoLinkProxy; // Declaration of Proxy function block
11     fbDeviceStatus: IL_IoLinkCall(fbS67E); // Declaration of Client function block
12     fbDetailedStatus: IL_IoLinkCall(fbS67E); // Declaration of Client function block
13 //Proxy values
14     addr: UINT := 2; // Sercos address of IO-Link gateway
15     tTimeout: TIME := T#5S; // Timeout for a single request
16     Slot: USINT := 0; // Slot number of IO-Link gateway
17 //Client values
18     bIOLMaster: BOOL := FALSE; // True: Read Master parameters, False: Read device parameters
19     read: IL_IOL_SERVICE := IL_IOL_SERVICE.READ; // Read or write parameter
20 END_VAR

```

Kuva 21. Ohjelmassa käytettävien muuttujien määrittely

Ohjelmointi-osio aloitetaan luomalla case-rakenne (Kuva 22). Ensimmäisessä vaiheessa ”fbS67E” toimilohko resetoidaan, jonka jälkeen se aktivoidaan. Enable-bitti asetetaan aktiiviseksi ja syötetään määrittelyosiossa määritellyt muuttujat. Sen jälkeen resetoidaan etäisyysanturin toimilohkot.


```

1  CASE step OF
2  0: // reset and start proxy function block
3      fbS67E(Enable := FALSE);
4      IF NOT fbS67E.Shutdown THEN
5          fbS67E(
6              Enable := TRUE,
7              BusMaster := IL_BUSMASTER.IL_BUSMASTER_0,
8              SercosAdr := addr,
9              Slot := Slot,
10             Timeout := tTimeout);
11             step := 1;
12         END_IF
13  1: // initialize client function blocks
14     fbDeviceStatus(Execute := FALSE);
15     fbDetailedStatus(Execute := FALSE);
16     step := 10;

```

Kuva 22. Case-rakenteen luominen ja funktion alustaminen

Seuraavaksi kutsutaan ”fbS67E” toimilohkoa ja määritellään luettavat parametrit ”fbDeviceStatus” ja ”fbDetailedStatus” toimilohkoilta (Kuva 23). Execute-bitti asetetaan aktiiviseksi, joka aloittaa toimilohkon käsittelyn. ”bIOLMaster” ja ”read” asettavat toimilohkon lukemaan parametreja laitteelta. Koska etäisyysanturi on kytkettynä IO-Link Masterin porttiin 1, valitaan portin arvoksi 1. Seuraavaksi määritellään mitä parametria luetaan. Device Status parametri löytyy indeksistä 36. Alaindeksi on 0. SizeOfValue määrittelee luettavan tiedon koon. Kooksi voidaan määrittellä muuttuja, johon parametrin arvo luetaan. ValueAdr kertoo mihin parametrin arvo luetaan. Valitaan ”deviceStatus” muuttuja. Indeksissä 37 sijaitseva Detailed Device Status luetaan vastaavalla tavalla.

```

17 10: // read diagnostic parameters from device
18 fbS67E();
19   IF fbS67E.InOperation THEN
20     fbDeviceStatus(
21       Execute := TRUE,
22       IOLMaster := bIOLMaster,
23       IOLService := read,
24       Port := 1,
25       IOLIndex := 36,
26       IOLSubindex := 0,
27       SizeOfValue := SIZEOF(deviceStatus),
28       ValueAdr := ADR(deviceStatus));
29     fbDetailedStatus(
30       Execute := TRUE,
31       IOLMaster := bIOLMaster,
32       IOLService := read,
33       Port := 1,
34       IOLIndex := 37,
35       IOLSubindex := 0,
36       SizeOfValue := SIZEOF(detailedDeviceStatus),
37       ValueAdr := ADR(detailedDeviceStatus));
38     step := 20;
39   END_IF

```

Kuva 23. Parametrien lukeminen laitteelta

Parametrien lukemisen jälkeen tarkastetaan, onko toimilohkojen suorittamisessa ilmennyt virheitä (Kuva 24). Jos toimilohkossa on tapahtunut virhe, IL_IoLinkError-Text muuttaa toimilohkon ”ErrorIdent” muuttujan tekstimuotoon ”strError” muuttujaan. Lopuksi resetoidaan toimilohkot.

```

39     END_IF
40 20: // checking if function blocks generated errors
41     IF fbDeviceStatus.Error THEN
42         strError := IL_IoLinkErrorText(fbDeviceStatus.ErrorIdent);
43         step := 30;
44     END_IF
45     IF fbDetailedStatus.Error THEN
46         strError := IL_IoLinkErrorText(fbDetailedStatus.ErrorIdent);
47         step := 30;
48     END_IF
49     IF fbS67E.Error THEN
50         strError := IL_IoLinkErrorText(fbS67E.ErrorIdent);
51         step := 30;
52     END_IF
53     IF fbDeviceStatus.Done AND fbDetailedStatus.Done THEN
54         step := 30;
55     END_IF
56 30: // Reset function blocks after cycle
57     fbS67E(Enable:= FALSE);
58     fbDeviceStatus(Execute:=FALSE);
59     fbDetailedStatus(Execute:=FALSE);
60 END_CASE

```

Kuva 24. Funktiossa ilmenneiden virheiden tarkastus

Tällä esimerkillä voidaan siis lukea diagnostiikkatiedot porttiin 1 asennetulta anturilta. Todellisessa portaalirobotisovelluksessa ohjelmointi voitaisiin toteuttaa kuitenkin hieman eri tavoin. Ensinnäkin IO-Link portti voitaisiin määrittellä toisin. Todennäköisesti paras vaihtoehto olisi hyödyntää IO-Link Masterin diagnostiikasta saatavaa porttinumeroa. Sen lisäksi tämä ohjelmakoodi voitaisiin integroida samaan toimilohkoon kuin Master-laitteen diagnostiikka ja antureiden diagnostiikan lukeminen suoritettaisiin ainoastaan silloin, kun IO-Link Master ilmoittaa virheestä. On myös mietittävä, halutaanko esimerkiksi lukea pelkästään Device Status tai Detailed Device Status parametreja vai molempia samanaikaisesti.

7 YHTEENVETO

IO-Linkin parametritiedot uudistavat tavan, jolla ohjausjärjestelmiä voidaan suunnitella. Perinteisten tilatietojen sijaan kenttätasolta saatavat diagnostiikkatiedot tekevät vianetsinnästä huomattavasti helpompaa, varsinkin jos järjestelmässä on paljon antureita, joiden tarkastaminen käsin on vaikeaa. Vaikka työssä parametritietoja tarkasteltiin diagnostiikkatietojen näkökulmasta, on muistettava, että parametritiedot mahdollistavat myös erilaisten asetusten käyttämisen samalle anturille. Sen lisäksi parametrit voidaan tallentaa IO-Link Masterille, jolloin anturien vaihtaminen on nopeaa ja yksinkertaista. Koska IndraWorks Engineering ei tue IODD-tiedostojen käyttöä, on kuitenkin pohdittava, asetetaanko parametrit antureille ohjelmallisesti vai käytetäänkö esimerkiksi erillistä USB-laitetta, joka mahdollistaa konfigurointityökalujen käytön.

S67E-järjestelmän topologialle ei ole yhtä oikeaa ratkaisua, ja sitä valitessa onkin selvitetävä mitä tietoja yksittäisten anturien tasolta halutaan. Lähtökohtaisesti jos diagnostiikkatiedot halutaan kaikilta tarttujan antureilta, on topologia suunniteltava eri tavalla verrattuna S67-järjestelmään. Koska IO-Link on ”point-to-point” kommunikatiomenetelmä, joudutaan IO-Link anturit asentamaan suoraan IO-Link Masterin portteihin. Sen seurauksena on mietittävä, mikä olisiärkevin positio IO-Link Masterin sijoittamiseen robotissa. Tässä työssä onnistuttiin kuitenkin käsittelemään IO-Link toteutuksessa huomioitavia asioita varsin kattavasti ja suunniteltiin esimerkkitoteutus, jota voidaan käyttää hyödyksi, jos IO-Link toteutusta aiotaan soveltaa robottiohjauksessa.

S67E IO-Link Masterin liittäminen osaksi MLD ohjausta aiheutti työn aikana eniten haasteita, vaikka työtä aloittaessa oletinkin tämän vaiheen olevan vaivattomin. IO-Link Masterin haasteisiin saatiin teknistä tukea myös Bosch Rexrothilta. Aluksi IO-Link Masteria testattiin viimeisimmällä SDDML-tiedostolla. Tässä vaiheessa laitteella ei kuitenkaan pystytty siirtymään online-tilaan, vaan ohjelmistoon saatiin virheilmoitus väärästä laitetunnuksesta. Koska työssä käytettiin vanhaa testiversiota, kokeiltiin IndraWorksiin ladata vanhempi SDDML-tiedosto. Tällä muutoksella virheilmoituksesta päästiin eroon. Sen jälkeen online-tilaan siirryttäessä saatiin kommunikointiin liittyviä virheilmoituksia. Näistä virheistä päästiin eroon määrittelemällä vähintään

yksi tavu sekä tulo-, että lähtötietoja IO-Link Masterille. IO-Link Masterin lisääminen MLD-ohjaamisen ei sinänsä kuitenkaan ole haastavaa. Kun työssä kohdatut viat ovat tiedossa, pitäisi IO-Linkin käyttäminen tulevaisuudessa olla helppoa.

Omasta mielestäni mielenkiintoisin vaihe työssä oli diagnostiikan toteutus MLD ohjaukseen. Työn aiemmissa vaiheissa perehdyttiin tarkemmin, minkälaisilla parametreilla diagnostiikkaa voidaan toteuttaa. Työn lopussa diagnostiikkatoteutusta päästiin ratkaisemaan käytännössä. Esimerkkikoodissa ohjelmoitiin kahden eri diagnostiikkaa käsittelevän parametrin lukeminen yhdeltä IO-Link laitteelta. Portaalirobotille IO-Link toteutusta ohjelmoitaessa on otettava huomioon myös IO-Link Masterin diagnostiikkaan liittyviä asioita, joita tässä työssä käsiteltiin vain teoreettisesti. Sen lisäksi on pohdittava, mitä parametreja halutaan lukea. Esimerkkikoodista on kuitenkin yritykselle hyötyä, jos IO-Link toteutusta halutaan testata Cimcorpin portaaliroboteissa.

Opinnäytetyötä tehdessä oppi paljon uutta Cimcorpin portaaliroboteista, IO-Link kommunikoinnista ja PLC-ohjelmoinnista. Cimcorpin portaalirobotit olivat itselleni jo valmiiksi jonkin verran tuttuja, sillä työskentelin aiempaan kesänä Cimcorpilla. Työn aikana täytyi kuitenkin perehtyä huomattavasti syvällisemmin robottien liikkeenohjauksen toteutukseen ja IO-järjestelmän topologiaan. IO-Link ei ollut itselleni juurikaan tuttu ennen työn aloittamista, joten IO-Linkin ominaisuuksia oli myös selvitettävä laajasti. Sen lisäksi on huomionarvoista, että IO-Linkiä käsittelevissä teoksissa IO-Linkiä tarkastellaan yleisestä näkökulmasta, eikä järjestelmäkohtaisesti. Bosch Rexrothin IO-Link toteutuksista ei sen sijaan löydy juuri ollenkaan tietoa, eikä IODD-tiedostojen käyttöä tueta IndraWorks Engineering-ohjelmistossa. Sen seurauksena IO-Link järjestelmän toteuttaminen oli merkittävästi normaalia IO-Link toteutusta työläämpää. Cimcorpin portaalirobottien ohjelmakoodit olivat itselleni entuudestaan tuttuja, josta oli hyötyä diagnostiikan ohjelmoinnissa. Uuden ohjelmaratkaisun luominen portaalirobotille oli myös opettavainen ja mielenkiintoinen haaste.

LÄHTEET

Bosch Rexroth. (2019). IndraControl S67E IO-Link master for Sercos, 24 V DC https://www.boschrexroth.com/documents/12605/25200368/R911379704_01.pdf/25872ac1-6492-b33d-e9e0-de09f5a8750f?download=true

Bosch Rexroth. (2022). IndraWorks 14VRS Engineering <https://www.boschrexroth.com/fi/fi/media-details/aefce4e3-707b-4139-9c0a-c5916e35a2bc>

Bosch Rexroth. (2020). IndraWorks 15VRS Field Bus Libraries <https://www.boschrexroth.com/fi/fi/media-details/cc14beb3-c872-46d4-9043-4bae2564bc28>

Bosch Rexroth. (2019). Network-specific properties of the IO-Link master for Sercos S67E-S3-IOL8-DI4-M12-6P <https://www.boschrexroth.com/fi/fi/media-details/8feab6e4-bc13-4eba-9dec-8690a447b94d>

Bosch Rexroth. (2013). Rexroth IndraControl S67 <https://www.boschrexroth.com/fi/fi/media-details/f7f27de3-0670-4f33-b1ff-e8fa05ed9a4c>

Bosch Rexroth. (2014). Rexroth IndraControl S67 Sercos Coupler 8 Digital Inputs (M8) <https://www.boschrexroth.com/fi/fi/media-details/6695005a-9dde-4cad-a231-4dbaa0d34378>

Bosch Rexroth. (2019). Rexroth IndraDrive Rexroth IndraMotion MLD (2G) as of MPx-18 <https://www.boschrexroth.com/fi/fi/media-details/42eafa43-25d2-4d4e-92e1-e36377c6bac0>

Cimcorp Oy. Haettu 21.9.2022 osoitteesta <https://cimcorp.com/>

Cimcorp Oy. (8.11.2022). Cimcorpille miljoonatilaus Saksasta. <https://cimcorp.com/fi/media/news/cimcorpille-miljoonatilaus-saksasta/>

Ifm. (30.11.2022). Connect IO-Link to a PC via USB <https://www.ifm.com/il/en/shared/product-news/2020/sps/connect-io-link-to-a-pc-via-usb>

Ifm. (6.12.2022). Ensure long ranges of up to 100 m with IO-Link repeaters <https://www.ifm.com/de/en/shared/product-news/2019/hmi/increased-io-link-range-with-new-repeaters>

Ifm. (11.12.2022). IF6138 <https://www.ifm.com/fi/fi/product/IF6138>

Ifm. (6.12.2022). IO-Link hubs <https://www.ifm.com/us/en/us/learn-more/io-link/io-link-hubs>

Ifm. (13.9.2022). IO-Link järjestelmäyhteenveto <https://www.ifm.com/fi/fi/shared/technologien/io-link/system-overview/io-link-jarjestelmayhteenveto>

Ifm. (20.11.2022). IO-Link: maailmanlaajuinen avoin tiedonsiirtostandardi <https://www.ifm.com/fi/fi/shared/technologien/io-link/io-link-maailmanlaajuinen-avoin-tiedonsiirtostandardi>

IO-Link. (27.11.2022). IODDFinder <https://ioddfinder.io-link.com/#/>

IO-Link. (2018). IO-Link Design Guideline https://io-link.com/share/Downloads/Planung/IO-Link_Design_Guideline_eng_2018.pdf

IO-Link. (2019). IO-Link Interface and System Specification https://io-link.com/share/Downloads/Package-2020/IOL-Interface-Spec_10002_V113_Jun19.pdf

IO-link. (2018). IO-Link System Description https://io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link_System_Description_eng_2018.pdf

Kanerva, O. (2019). IO-Link ultraäänianturin soveltaminen portaalirobotisovelluksessa [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://www.theseus.fi/handle/10024/264946>

Kiviranta, M. (21.9.2022). Henkilökohtainen tiedonanto Cimcorpin Mikko Kivirannan toimesta.

Omron. (11.12.2022). E2E-X16MB3D18-M1 <https://industrial.omron.fi/fi/products/E2E-X16MB3D18-M1>

Omron. (n.d.). Inductive Proximity Sensors https://assets.omron.eu/downloads/brochure/en/v4/proximity_sensors_brochure_en.pdf

Omron. (31.10.2022). What Is a Servomotor and What Is a Servo Drive? <https://www.ia.omron.com/support/guide/14/introduction.html>

Sercos. (3.10.2022). What is Sercos? <https://www.sercos.org/technology/what-is-sercos/>

Sick. (2022). Dx35 Distance sensors https://cdn.sick.com/media/docs/3/43/743/operating_instructions_dx35_distance_sensors_en_im0052743.pdf

Sick. (27.11.2021). Function Block Factory nopeuttaa automaatiokehittäjän työtä <https://www.sick.com/fi/fi/function-block-factory-nopeuttaa-automaaiokehittaajaen-tyoetae/w/blog-fi-function-block-factory-2021/>

Siemens. (26.11.2022). IO-Link Communication Standard <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/io-link.html>

Uffelman, J. Wienzek, P. Jahn, M. (2019). IO-Link: The DNA of Industry 4.0. Vulkan Verlag.

Index assignment of data objects (Device parameter) (IO-Link Interface and System Specification, 2019, s. 242-244).

Index (dec)	Object name	Access	Length	Data type	M/O/C	Remark
0x0000 (0)	Direct Parameter Page 1	R		RecordT	M	Redirected to the page communication channel, see 10.8.5
0x0001 (1)	Direct Parameter Page 2	R/W		RecordT	M	Redirected to the page communication channel, see 10.8.5
0x0002 (2)	System-Command	W	1 octet	UIntegerT	M/O	Command Code Definition (See B.2.2)
0x0003 (3)	Data-Storage-Index	R/W	variable	RecordT	M	Set of data objects for storage (See B.2.3)
0x0004-0x000B (4-11)	Reserved					Reserved for exceptional operations
0x000C (12)	Device-Access-Locks-	R/W	2 octets	RecordT	O	Standardized Device locking functions (See B.2.4)
0x000D (13)	Profile-Characteristic	R	variable	ArrayT of UIntegerT16	C	Reserved for Common Profile [7] (see B.2.5)
0x000E (14)	PDInput-Descriptor	R	variable	ArrayT of OctetStringT3	C	Reserved for Common Profile [7] (see B.2.6)
0x000F (15)	PDOutput-Descriptor	R	variable	ArrayT of OctetStringT3	C	Reserved for Common Profile [7] (see B.2.7)
0x0010 (16)	Vendor-Name	R	max. 64 octets	StringT NOTE	M	Vendor information (See B.2.8)
0x0011 (17)	Vendor-Text	R	max. 64 octets	StringT NOTE	O	Additional vendor information (See B.2.9)
0x0012 (18)	Product-Name	R	max. 64 octets	StringT NOTE	M	Detailed product or type name (See B.2.10)
0x0013 (19)	ProductID	R	max. 64 octets	StringT NOTE	O	Product or type identification (See B.2.11)

Index (dec)	Object name	Access	Length	Data type	M/O/C	Remark
0x0014 (20)	Product-Text	R	max. 64 octets	StringT NOTE	O	Description of Device function or characteristic (See B.2.12)
0x0015 (21)	Serial-Number	R	max. 16 octets	StringT NOTE	O	Vendor specific serial number (See B.2.13)
0x0016 (22)	Hardware-Revision	R	max. 64 octets	StringT NOTE	O	Vendor specific format (See B.2.14)
0x0017 (23)	Firmware-Revision	R	max. 64 octets	StringT NOTE	O	Vendor specific format (See B.2.15)
0x0018 (24)	Application-Specific-Tag	R/W	min. 16, max. 32 octets	StringT NOTE	C	Tag defined by user (See B.2.16)
0x0019 (25)	Function-Tag	R/W	max. 32 octets	StringT NOTE	C	Reserved for Common Profile [7] (See B.2.17)
0x001A (26)	Location-Tag	R/W	max. 32 octets	StringT NOTE	C	Reserved for Common Profile [7] (See B.2.18)
0x001B-0x001F (25-31)	Reserved					
0x0020 (32)	ErrorCount	R	2 octets	UIntegerT	O	Errors since power-on or reset (See B.2.19)
0x0021-0x0023 (33-35)	Reserved					
0x0024 (36)	Device-Status	R	1 octet	UIntegerT	O	Contains current status of the Device (See B.2.20)
0x0025 (37)	Detailed-Device-Status	R	variable	ArrayT of OctetStringT3	O	See B.2.21
0x0026-0x0027 (38-39)	Reserved					
0x0028 (40)	Process-DataInput	R	PD length	Device specific	O	Read last valid Process Data from PDin channel (See B.2.22)
0x0029 (41)	Process-DataOutput	R	PD length	Device specific	O	Read last valid Process Data from PDout channel (See B.2.23)
0x002A-0x002F (42-47)	Reserved					
0x0030 (48)	Offset-Time	R/W	1 octet	RecordT	O	Synchronization of Device application timing to M-sequence timing (See B.2.24)
0x0031-0x003F (49-63)	Reserved for profiles					
0x0040-0x00FE (64-254)	Preferred Index					Device specific (8 bit)
0x00FF (255)	Reserved					
0x0100-0x3FFF (256-16383)	Extended Index					Device specific (16 bit)
0x4000-0x41FF (16384-16895)	Profile specific Index					Reserved for Device profile

Index (dec)	Object name	Access	Length	Data type	M/O/C	Remark
0x4200-0x42FF (16896-17151)	Safety specific Index					Reserved for Safety system extensions [10]
0x4300-0x4FFF (17152-20479)	Profile specific Index					Reserved for Device profile
0x5000-0x50FF (20480-20735)	Wireless specific Index					Reserved for Wireless system extensions [11]
0x5100-0xFFFF (20736-65535)	Reserved					
Key M = mandatory; O = optional; C = conditional (only when using Common Profile [7]) NOTE UTF8 coding required for StringT						

EventCodes for Devices (IO-Link Interface and system Specification, 2019, s. 257-259).

EventCode ID	Definition and recommended maintenance action	DeviceStatus Value (NOTE 1)	Type (NOTE 2)
0x0000	No malfunction	0	Notification
0x1000	General malfunction – unknown error	4	Error
0x1001 to 0x17FF	Reserved		
0x1800 to 0x18FF	Vendor specific		
0x1900 to 0x3FF	Reserved		
0x4000	Temperature fault – Overload	4	Error
0x4001 to 0x420F	Reserved		
0x4210	Device temperature overrun – Clear source of heat	2	Warning
0x4211 to 0x421F	Reserved		
0x4220	Device temperature underrun – Insulate Device	2	Warning
0x4221 to 0x4FFF	Reserved		
0x5000	Device hardware fault – Device exchange	4	Error
0x5001 to 0x500F	Reserved		
0x5010	Component malfunction – Repair or exchange	4	Error
0x5011	Non volatile memory loss – Check batteries	4	Error
0x5012	Batteries low – Exchange batteries	2	Warning
0x5013 to 0x50FF	Reserved		
0x5100	General power supply fault – Check availability	4	Error
0x5101	Fuse blown/open – Exchange fuse	4	Error
0x5102 to 0x510F	Reserved		

EventCode ID	Definition and recommended maintenance action	DeviceStatus Value (NOTE 1)	Type (NOTE 2)
0x5110	Primary supply voltage overrun – Check tolerance	2	Warning
0x5111	Primary supply voltage underrun – Check tolerance	2	Warning
0x5112	Secondary supply voltage fault (Port Class B) – Check tolerance	2	Warning
0x5113 to 0x5FFF	Reserved		
0x6000	Device software fault – Check firmware revision	4	Error
0x6001 to 0x631F	Reserved		
0x6320	Parameter error – Check data sheet and values	4	Error
0x6321	Parameter missing – Check data sheet	4	Error
0x6322 to 0x634F	Reserved		
0x6350	Reserved		
0x6351 to 0x76FF	Reserved		
0x7700	Wire break of a subordinate device – Check installation	4	Error
0x7701 to 0x770F	Wire break of subordinate device 1 ...device 15 – Check installation	4	Error
0x7710	Short circuit – Check installation	4	Error
0x7711	Ground fault – Check installation	4	Error
0x7712 to 0x8BFF	Reserved		
0x8C00	Technology specific application fault – Reset Device	4	Error
0x8C01	Simulation active – Check operational mode	3	Warning
0x8C02 to 0x8C0F	Reserved		
0x8C10	Process variable range overrun – Process Data uncertain	2	Warning
0x8C11 to 0x8C1F	Reserved		
0x8C20	Measurement range exceeded – Check application	4	Error
0x8C21 to 0x8C2F	Reserved		
0x8C30	Process variable range underrun – Process Data uncertain	2	Warning
0x8C31 to 0x8C3F	Reserved		
0x8C40	Maintenance required – Cleaning	1	Warning
0x8C41	Maintenance required – Refill	1	Warning
0x8C42	Maintenance required – Exchange wear and tear parts	1	Warning
0x8C43 to 0x8C9F	Reserved		
0x8CA0 to 0x8DFF	Vendor specific		
0x8E00 to 0xAFFF	Reserved		
0xB000 to 0xB0FF	Reserved for Safety extensions	See [10]	See [10]

EventCode ID	Definition and recommended maintenance action	Device Status Value (NOTE 1)	Type (NOTE 2)
0xB100 to 0xBFFF	Reserved for profiles		
0xC000 to 0xFFFF	Reserved		
0xFF91	Data Storage upload request ("DS_UPLOAD_REQ") – internal, not visible to user	0	Notification (single shot)
0xFF92 to 0xFFAF	Reserved		
0xFFB0 to 0xFFB7	Reserved for Wireless extensions	See [11]	See [11]
0xFFB8 to 0xFFFF	Reserved		
NOTE 1 See B.2.20 for a description of this parameter NOTE 2 See Table A.19 for a description of Event types			

1 POU: CC_IoLinkDiag

```

1  FUNCTION_BLOCK CC_IoLinkDiag
2  VAR
3      step : INT ; // Diagnostic step
4      deviceStatus : USINT ; // Device status parameter, 0 = Device
      OK, 1 = Maintenance required, 2 = Out of specification = 3 Functional check, 4 = Failure
5      detailedDeviceStatus : LWORD ; // Detailed device status parameter,
      Octet 1 = EventQualifier, Octets 2 & 3 = EventCode (0x00, 0x0000)
6      strError : STRING (255) ; // Error string
7      //Function block instances
8      fbS67E : IL_SIII_IoLinkProxy ; // Declaration of Proxy function block
9      fbDeviceStatus : IL_IoLinkCall (fbS67E) ; // Declaration of Client function
10     block
        fbDetailedStatus : IL_IoLinkCall (fbS67E) ; // Declaration of Client function
11     block
        //Proxy values
12         addr : UINT := 2 ; // Sercos address of IO-Link gateway
13         tTimeout : TIME := T#5S ; // Timeout for a single request
14         Slot : USINT := 0 ; // Slot number of IO-Link gateway
15         //Client values
16         bIOLMaster : BOOL := FALSE ; // True: Read Master parameters,
        False: Read device parameters
17         read : IL_IOL_SERVICE := IL_IOL_SERVICE . READ ; // Read or write parameter
18     END_VAR
19

```

```

1  CASE step OF
2  0 : // reset and start proxy function block
3      fbS67E (Enable := FALSE) ;
4      IF NOT fbS67E . Shutdown THEN
5          fbS67E (
6              Enable := TRUE ,
7              BusMaster := IL_BUSMASTER . IL_BUSMASTER_0 ,
8              SercosAdr := addr ,
9              Slot := Slot ,
10             Timeout := tTimeout ) ;
11             step := 1 ;
12         END_IF
13     1 : // initialize client function blocks
14         fbDeviceStatus (Execute := FALSE) ;
15         fbDetailedStatus (Execute := FALSE) ;
16         step := 10 ;
17     10 : // read diagnostic parameters from device
18         fbS67E ( ;
19             IF fbS67E . InOperation THEN
20                 fbDeviceStatus (
21                     Execute := TRUE ,
22                     IOIMaster := bIOLMaster ,
23                     IOLService := read ,
24                     Port := 1 ,
25                     IOLIndex := 36 ,
26                     IOLSubindex := 0 ,
27                     SizeOfValue := SIZEOF (deviceStatus) ,
28                     ValueAdr := ADR (deviceStatus) ) ;

```

```
29         fbDetailedStatus (
30             Execute := TRUE ,
31             IOIMaster := bIOLMaster ,
32             IOLService := read ,
33             Port := 1 ,
34             IOLIndex := 37 ,
35             IOLSubindex := 0 ,
36             SizeOfValue := SIZEOF ( detailedDeviceStatus ) ,
37             ValueAdr := ADR ( detailedDeviceStatus ) ) ;
38         step := 20 ;
39     END_IF
40 20 : // checking if function blocks generated errors
41     IF fbDeviceStatus . Error THEN
42         strError := IL_IoLinkErrorText ( fbDeviceStatus . ErrorIdent ) ;
43         step := 30 ;
44     END_IF
45     IF fbDetailedStatus . Error THEN
46         strError := IL_IoLinkErrorText ( fbDetailedStatus . ErrorIdent ) ;
47         step := 30 ;
48     END_IF
49     IF fbS67E . Error THEN
50         strError := IL_IoLinkErrorText ( fbS67E . ErrorIdent ) ;
51         step := 30 ;
52     END_IF
53     IF fbDeviceStatus . Done AND fbDetailedStatus . Done THEN
54         step := 30 ;
55     END_IF
56 30 : // Reset function blocks after cycle
57     fbS67E ( Enable := FALSE ) ;
58     fbDeviceStatus ( Execute := FALSE ) ;
59     fbDetailedStatus ( Execute := FALSE ) ;
60 END_CASE
61
62
63
```