

Olli Kanerva

IO-LINK ULTRAÄÄNIANTURIN SOVELTAMINEN
PORTAALIROBOTTISOVELLUKSESSA

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
2019

IO-LINK ULTRAÄÄNIANTURIN SOVELTAMINEN PORTAALIROBOTTI-SOVELLUKSESSA

Kanerva, Olli
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2019
Sivumäärä: 37
Liitteitä: 0

Asiasanat: Teollisuus, IT, Ultraääni, IoT.

Työn teoriaosan tarkoituksena oli selventää termejä IO-Link ja Teollisuus 4.0 sekä niiden yhteyttä toisiinsa. Työssä tehtiin myös käytännön tutkimusta IO-Link ultraääniantureilla, jotka mahdollisesti voisivat korvata tavalliset ultraäänianturit portaalirobottijärjestelmissä.

Tarve tutkimuksen tekoon tuli yrityksen teknologian kehityksen osastolta, koska haluttiin selventää IO-Link teknologian periaatteita sekä testata, että pääseekö IO-Link ominaisuuksilla varustetuilla ultraääniantureilla samankaltaisiin luotettaviin tuloksiin kuin analogista signaalia hyödyntävillä ultraääniantureilla.

Standardin IEC 61131-9 mukaan määritelty IO-Link pyrittiin mahdollisimman kattavasti ja monipuolisesti aukaisemaan tässä opinnäytetyössä. IO-Link järjestelmän sisältämät komponentit sekä liitännämenetelmät kuvattiin yhdessä IO-Linkin implementoinnin hyötyjen kanssa. Teoriaosan perusteella saadaan yrityksen käyttöön perehdyttävä dokumentti IO-Linkistä sekä sen yhteydestä Teollisuus 4.0:aan.

Käytännön testeistä saatujen tutkimustulosten perusteella pystytään antamaan suuntaa, miten IO-Link ominaisuuksilla varustetut ultraäänianturit toimivat niin suoran kappaleen mittaamisessa kuin myös rengasteollisuudessa renkaiden pinon korkeuden mittaamisessa.

APPLICATION OF IO-LINK ULTRASONIC SENSORS IN PORTAL ROBOT APPLICATIONS

Kanerva Olli

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering

November 2019

Number of pages: 37

Appendices: zero

Keywords: Industry, IT, Ultrasound, IoT.

Purpose of the theoretical part of the thesis was the clarification of the terms IO-Link and Industry 4.0. Practical tests were also carried out on IO-Link ultrasonic sensors, which might enable the replacement of standard ultrasonic sensors in portal robot systems.

The need for research came from the company's technology development department to clarify the principles of IO-Link technology and to test whether an ultrasonic sensor with IO-Link features could produce results that are as reliable as analogue ultrasonic sensors.

IO-Link, defined in accordance with IEC 61131-9, was intended to be described as comprehensive and versatile as possible in this thesis. The components included in the IO-Link system and the connection methods were described together with the benefits of implementing the IO-Link. The theory section provides a documentary introduction to IO-Link and its connection to Industry 4.0.

The results of practical tests can provide an indication of how IO-Link ultrasonic sensors work in both direct measurement and in tire industry when measuring tire stack height.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	CIMCORP OY	7
2.1	Konserni.....	7
2.2	Historia ja kehitys	7
3	TEOLLISUUS 4.0.....	8
3.1	Teollistumisen historia lyhyesti	8
3.2	Yhteys IO-Linkin ja Teollisuus 4.0:n välillä	10
3.2.1	Tietomäärä.....	11
3.2.2	Y-polku.....	12
3.2.3	Rajapinnan arkkitehtuuri	13
3.3	Kyber-fyysinen tuotantojärjestelmä (CPPS).....	13
4	IO-LINK.....	14
4.1	IO-Link järjestelmän osat	15
4.1.1	Liitäntä.....	15
4.1.2	Kommunikointi.....	17
4.2	Hyödyt.....	18
4.3	Input Output Device Description (IODD)	19
4.4	IO-Link safety.....	20
5	ULTRAÄÄNIANTUREIDEN OMINAISUUKSIEN VERTAILU	21
5.1	Baumerin UNAM -ultraäänianturi	22
5.2	Leuzen DMU430B-3000.X3/LTC-M12 –ultraäänianturi.....	22
5.3	IFM:n UIT500 ultraäänianturi	23
6	SOVELTAMINEN CIMCORPIN PORTAALIROBOTISSA	24
6.1	Portaalirobotti FT-tarttujalla	24
6.2	Alimman renkaan tunnistaminen IO-Link ultraäänianturilla.....	25
6.3	IO-Link ultraäänianturin edut tavalliseen anturiin verrattuna portaalirobotissa.....	26
7	TESTAUS JA TULOKSET	27
7.1	Käytännön testien tekeminen.....	27
7.2	Ultraäänianturien toiminnallisuus teoriassa ja käytännössä	30
7.2.1	UIT500 tulokset käytännön testeistä	32
7.2.2	Leuzen ultraäänianturin tulokset käytännön testeistä.....	34
8	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET	

SYMBOLI- JA TERMILUETTELO

PLC	Programmable logic controller, Ohjelmoitava logiikka.
MLD	Indra Motion MLD, Bosch Rexrothin servokäyttöön integroitu PLC ja liikeohjain.
IoT	Internet of Things, Esineiden internet.
DI	Digital Input, Digitaalinen sisääntulo.
DQ/DO	Digital Output, Digitaalinen lähtö.
IT	Information technology, Tietotekniikka.
ERP	Enterprise resource planning, Toiminnanohjausjärjestelmä.
CPPS	Cyber-physical production system, Kyber-fyysinen tuotantojärjestelmä
SDCI	Single-drop digital communication interface. Toisin sanoen IO-Link.
FSCP	Functional Safety Communication Profile. Standardin IEC 61784-3-x sarjan mukaisesti määritetyt turvallisuuskommunikointiprofiilit.
FS-Master	Turvaominaisuuksilla varustettu IO-Link Master-laite.
FS-Device	Turvaominaisuuksilla varustettu anturi tai toimilaite.
FS-PLC	Ohjelmoitava turvalogiikka.
IEC	International Electrotechnical Commission, Kansainvälinen standardiorganisaatio elektroniikan ja teknologian kehitystä varten.
FT	Finished Tyre. Valmis ajoneuvoon asennettava rengas.
GT	Green Tyre. Rengasaihio, ei vielä lopulliseen muotoon ja kuviointiin puristettu rengas.
Portaalirobotti	Jalkojen varassa lattialla liikkuva teollisuusrobotti, joka liikkuu X-, Y- ja Z-suunnassa.

1 JOHDANTO

IO-Link laitteita ja niiden valmistajia on ollut jo muutamia vuosia teollisuuden markkinoilla, ja IO-Link ominaisuuksilla varustettujen laitteiden käyttö on yhä yleistymässä monissa teollisuuden sovelluksissa. Käsite IO-Link ei ole kuitenkaan kaikille teollisuudessa työskenteleville henkilöille tai yrityksille tuttu. Tarkoituksena tässä opinnäytetyössä on avata, miten Teollisuus 4.0 ja IO-Link liittyvät toisiinsa sekä tarkentaa, miten IO-Link laitteet toimivat ja mitä näillä tuotteilla varustetut järjestelmät sisältävät.

Opinnäytetyön tavoitteena on myös tutkia ja testata eri valmistajien IO-Link ominaisuuksilla varustettuja ultraääniantureita. Testauksen yksinkertaistamiseksi ultraääniantureita ei yhdistetä robottiin vaan ne liitetään Ifm:n IO-Link master-laitteen kautta suoraan tietokoneelle, jossa ifm:n LineRecorder Device-sovelluksella pystytään monitoroimaan anturien antamia arvoja. Testauksessa pyritään kartoittamaan, mitä ominaisuuksia ultraäänianturilta vaaditaan toimiakseen optimaalisesti erilaisissa tarttujissa ja mitkä näistä ominaisuuksista täytyvät missäkin anturissa.

Työssä käytetty tärkein lähdekirjallisuus on saksalaisten tutkijoiden, Joachim R. Uffelmannin, Peter Wienzekin ja Myriam Jahnin, kirjoittama IO-Link: the DNA of industry 4.0. Alati kehittyvä Teollisuus 4.0 sekä IO-Link ovat melko uusia aiheita, jonka vuoksi suomenkielistä lähdekirjallisuutta ei ole saatavilla. Uffelmannin ym. vuonna 2019 julkaisema englanninkielinen kirja on tämän vuoksi erittäin suuressa osassa opinnäytetyön kirjoittamisprosessia.

2 CIMCORP OY

2.1 Konserni

Cimcorp Oy on automaatiojärjestelmien johtavia toimittajia rengasteollisuudessa ja yrityksellä on vakaa asema elintarviketeollisuudessa sekä vähittäistavarakauppojen keräilyjärjestelmissä. Cimcorp toimii Suomessa Postin jakelukeskuksien automaatiojärjestelmien toimittajana. (Cimcorpin www-sivut 2019)

Ulvilassa sijaitsevalla Cimcorp Oy:n pääkonttorilla on myös toimipisteitä Pohjois-Amerikassa sekä Intiassa. Cimcorp Automation Ltd. on päätoimipiste Pohjois-Amerikassa, joka sijaitsee Kanadan Grimsbyssä. USA:n toimisto, Cimcorp USA Inc. toimii päätoimipisteen alaisena Norcrossissa, Georgian osavaltiossa. Keväällä 2019 perustettiin tytäryhtiö Intiaan Chennain alueelle, jotta pystytään vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin paremmin ja palvelemaan helpommin lähialueen asiakkaita Aasiassa. (Cimcorpin www-sivut 2019)

2.2 Historia ja kehitys

Cimcorpin toiminta alkoi vuonna 1975 automaatio-osastona Rosenlewin työkalutehtaalla. Osaston erikoisalaa oli robotiikka ja yrityskaupan kautta vuonna 1986 Cimcorpista tuli Wärtsilän tytäryhtiö. (Cimcorpin www-sivut 2019.)

2002 Cimcorpin nimi muuttui Swisslog Oy:ksi, sillä 6 vuotta aiemmin yhtiö siirtyi Swisslogin omistukseen. Kuitenkin alkuvuodesta 2004 lähtien Cimcorp Oy on toiminut kyseenomaisella nimikkeellä. Kanadassa toimiva Cimcorp Automation Ltd. toimi ennen nimikkeellä RMT Robotics, mutta Cimcorp osti yrityksen vuonna 2010 ja nimivaihdos tapahtui 2015. Vuoden 2014 lopulla Cimcorpilla tapahtui muutoksia, kun Murata Machinery Ltd. osti koko Cimcorpin osakekannan. Muutos ei vaikuttanut yrityksen nimeen eikä brändiin ja liiketoiminta jatkui ennallaan. Cimcorp operoi yhä japanilaisyrityksen omistuksessa ja jatkaa laajentamistaan hyvää vauhtia. Mercadona-kaupat toukokuussa 2019 toivat lisää työpaikkoja ja suuren laajennuksen myötä myös toimistotilaa Ulvilan konttorille. (Cimcorpin www-sivut 2019.)

3 TEOLLISUUS 4.0

Teollisuuteen on ryhdytty tuomaan tekniikkaa ja tapoja, joita on käytetty jo Esineiden Internetissä ja palveluissa (IoT). Tämä velvoittaa teollisuudessa toimivia yrityksiä valmistautumaan konseptin muutokseen liiketoiminnassa. Muutos on alkanut siitä, kun tehtaista on tehty yhä älykkäämpiä ja tehokkaampia. Älykkäissä tehtaissa ihmiset, laitteet ja resurssit kommunikoivat keskenään yhtä luontevasti kuin ihmiset nykypäivänä sosiaalisessa mediassa. Esimerkiksi kokoonpanolinjaston anturilta saatu data aina toimistotyöntekijän lähettämään sähköpostiin välittyy samoja ethernet-standardiin pohjautuvia tiedonsiirtomenetelmiä pitkin. Näin saadaan informaatio suoraan ja nopeasti liiketoiminnasta vastaavan sektorin käyttöön. (Bartodziej 2017, 35.)

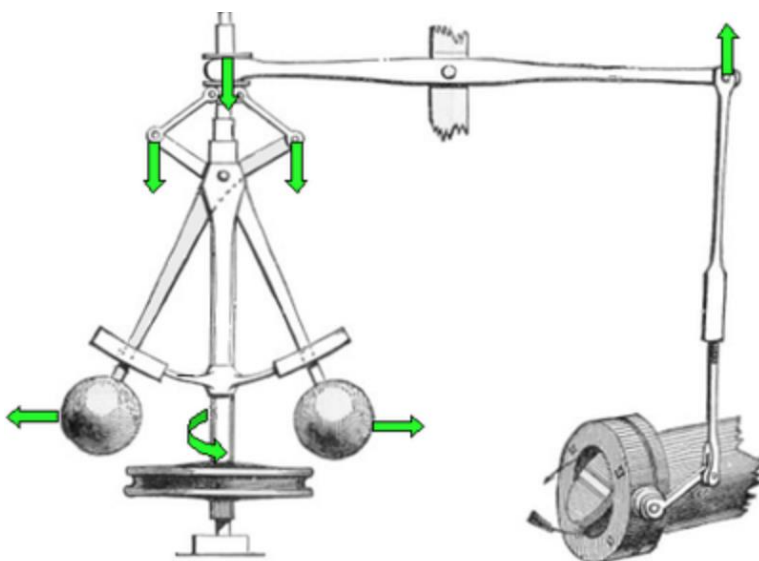
Älykäs, yhdistetty maailma, jonka perustana toimii esineiden internet, on muuttumassa älykkääksi infrastruktuuriksi. Tämä muutos johtaa älykkäiden verkkojen ja rakennusten syntymiseen energiantuotannon alalla sekä älykkään ja kestäväen liikkuvuuden logistiikkaratkaisujen alalla. (Bartodziej 2017, 35.)

Neljännestä teollisesta vallankumouksesta, joka on synonyymi Teollisuus 4.0:lle, löytyy paljon merkittäviä todisteita sen alkamisesta. Teollisuudessa kuitenkin kiistellään, onko termi vallankumous (engl. revolution) oikea sana tapahtuvalle muutokselle. Jotkut alan vaikuttajat pohtivat, että kehitys (engl. evolution) olisi paljon mielekkäämpi sanavalinta tapahtuvalle muutokselle, joka tapahtuu tulevien vuosikymmenten aikana. Teknologia siihen on jo olemassa, mutta sitä pitää vain kehittää pidemmälle. Yksi asia on kuitenkin varma – se on muutos kohti digitalisoitumista. (Bartodziej 2017, 32.)

3.1 Teollistumisen historia lyhyesti

Teollistuminen ja ensimmäinen vallankumous katsotaan alkaneen 1700-luvun lopulla, kun James Watt kehitti höyrykoneen. Jo silloin tuli tarve kehittää sensoreita, jotka mittaavat automaattisesti ja hyödyntävät mitatun tiedon jollain tavalla. James Wattin aikana höyrykoneeseen kehitettiin keskipakoisohjain (Kuva 1), joka mittasi nopeutta

ja käytti sitä suoraan paineputken kaasuventtiilin säätämiseen. (Uffelmann, Wienzek, Jahn, 2019, 3.)



Kuva 1: Keskipakoisohjain. (Uffelmann ym. 2019, 3.)

Toinen vallankumous toi sähkö- ja polttomoottorin hieman ennen 1900-lukua sekä myös sähkömagneettisen teknologian. Kielikoskettimet (engl. Reed contacts) keksittiin 1930-luvulla ja yhdessä magneettien avulla se johti parempaan tarkkuuteen kytkimissä. Tämä menetelmä soveltuu kytkemiseen sähkömagneettisiin releohjaimiin. Kolmas teollinen vallankumous alkoi 1970-luvulla yksinkertaisen liikeohjauksen suorittamisella pneumaattisen, hydraulisen tai sähkömekaanisen moduulin avulla. Tarkoitus oli kontrolloida automaattisesti yksinkertaista toistuvaa työkuormaa. 1970-luvun lopulla tulivat ohjelmoitavat logiikat (PLC) ja ne muuttivat työpaikkoja teollisuudessa rajusti. PLC:t ovat tärkein osa kolmatta teollista vallankumousta, sillä ohjaimista tuli tehtaiden aivot ja kaikki liikkeet tapahtuivat konekeskeisillä ohjelmilla. (Uffelmann ym. 2019, 3-5.)

Teollisuus 4.0:n historia alkoi Saksassa vuonna 2011, jolloin tarkoituksena oli yhdistää todellinen maailma ja virtuaalitodellisuus tuotannon läpinäkyvyyden lisäämiseksi. Neljäs teollinen vallankumous perustuu teknisiin mahdollisuuksiin, sensoreihin ja IT-teknologiaan, jotka ovat olleet olemassa jo vuosikymmeniä. Sisällyttämällä tavanomaisen liiketoimintastrategian sekä taloudellisen ajattelun automaatioon ja

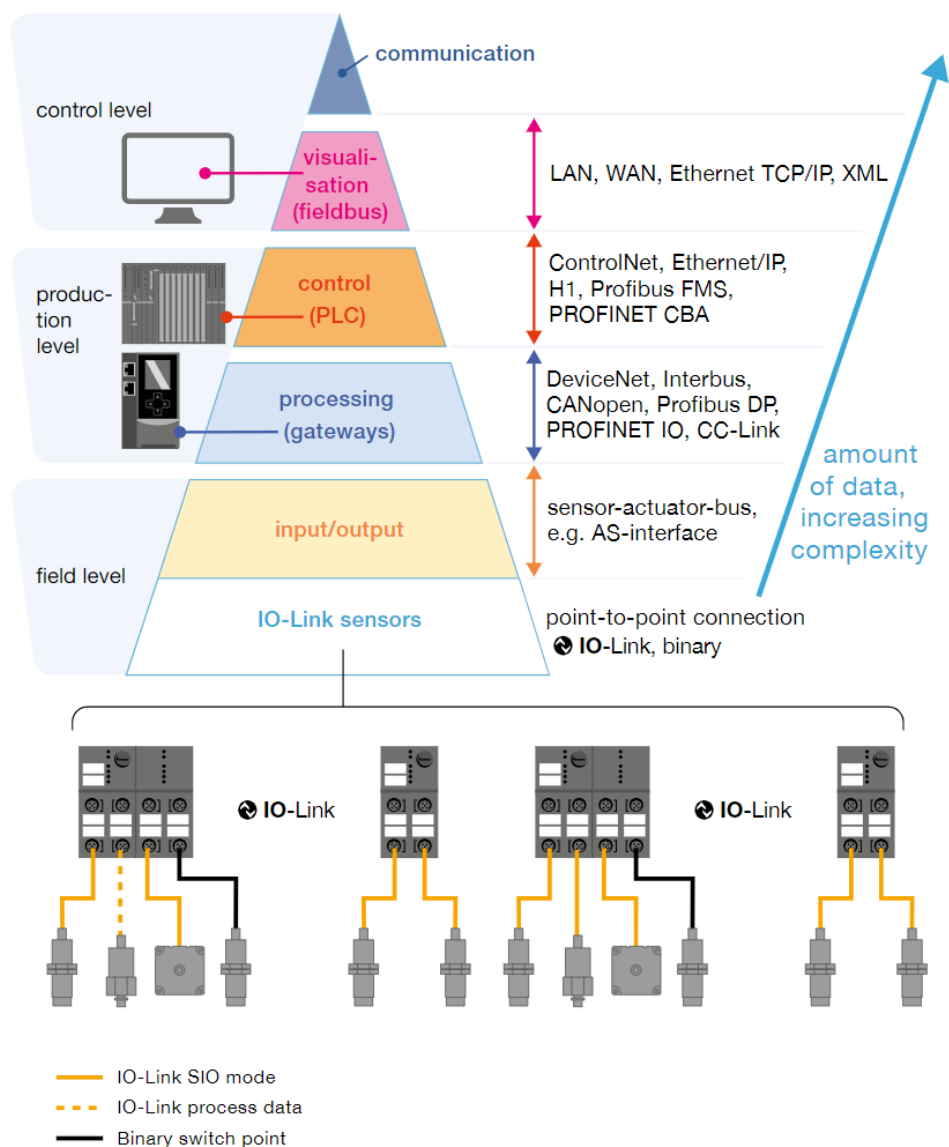
informaatioteknologiaan, pystytään saavuttamaan täysi potentiaali tästä koko ajan muotoutuvasta vallankumouksesta. (Uffelmann ym. 2019, 45.)

3.2 Yhteys IO-Linkin ja Teollisuus 4.0:n välillä

Vuonna 2009 41 IO-Linkin jäsenyritystä esittelivät IO-Link-anturit ja loivat perustan anturiteollisuudelle ennen kuin neljäs teollinen vallankumous edes oli saanut nimeään. Anturit esiteltiin ”salassa” ilman, että asiakkaat tajusivat edes luovansa perustaa Teollisuus 4.0:lle. Sensorien valmistajat jo ennen neljättä teollista vallankumousta olivat kaikki yhtä mieltä siitä, että informaation siirtäminen ohjausjärjestelmään ja siitä eteenpäin yläpuolisiin tietojärjestelmiin vaatii paljon vaivannäköä. Antureiden, kuten 3D-kameroiden, RFID-lukijoiden ja muiden IO-Link laitteiden elektroniikka itsessään ei ole kallista, vaan niistä saadun tiedon kuljettaminen ylempiin järjestelmiin on. (Uffelmann ym. 2019, 54.)

Anturien liittäminen teollisuudessa IT-maailmaan on kallista, koska tuotannossa IT-osaaminen on varsin heikkoa ja IT-osaamisen puolella taas tuotannon tietämys on puutteellista. Näin siis vaaditaan monta asiantuntijaa, jotta saataisiin esimerkiksi tehdas toimimaan moitteettomasti. Olisi kuvitteellista olettaa, että tuotannon linjastotyöntekijät ja huoltohenkilöt olisivat IT-alan ammattilaisia Teollisuus 4.0:ssa. Yksi mahdollinen vaihtoehto IT-osaamisen puutteelle teollisuudessa on tehtaiden puhdas digitalisoiminen tai jopa koko tuotannon integroituminen automaatioon ilman ihmisen työpanosta. Tämän saavuttaminen kuitenkin vaatii riittävän informaation kulun aina johtotasolle asti suoraan kenttätason antureilta. (Uffelmann ym. 2019, 54-55.)

Löytyy kolme syytä siihen, miksi IO-Link toimilaitteiden ja anturien liittäminen IT-maailmaan on haastavaa; valtava informaation määrä, ohjelmoitavien logiikoiden (PLC) rajapinta automaatiosteemeissä sekä itse automaatiopyramidi (Kuva 2). (Uffelmann ym. 2019, 56.)



Kuva 2: Esimerkki automaattiosysteemin arkkitehtuurista, johon on integroitu IO-Link-laitteita. (Uffelmann ym. 2019, 34.)

3.2.1 Tietomäärä

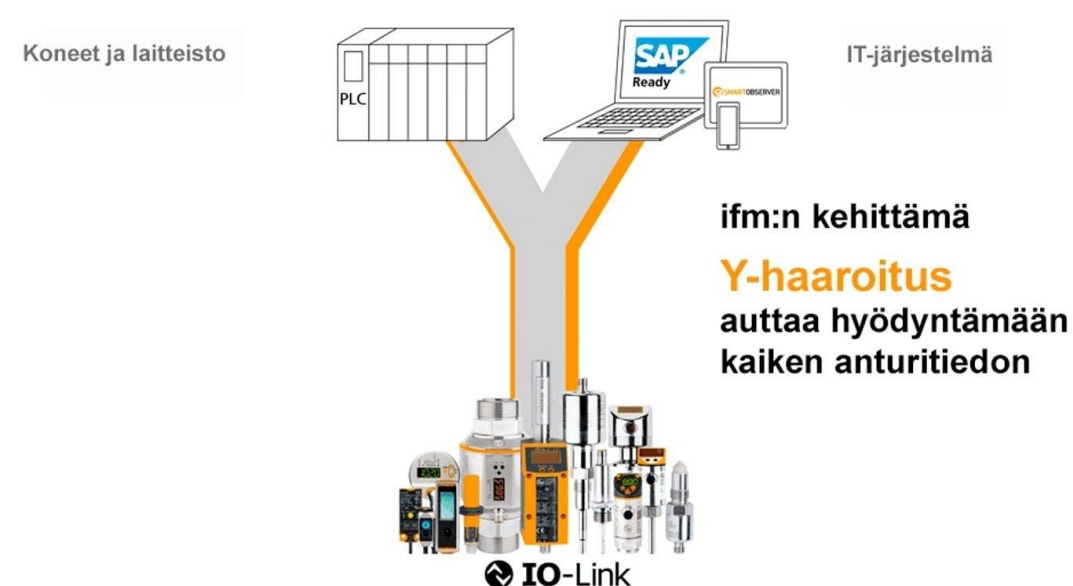
Yksi IO-Link anturi voi tuottaa vuodessa 180 gigatavua suodattamatonta dataa. Yksi tavallinen työstökone voi tuottaa noin 20 teratavua dataa vuodessa. Yhdessä tehtaassa voi helposti olla enemmän kuin 200 erilaista teollisuuskonetta, jotka keräävät ja lähettävät dataa servereille. Informaatiota antureilta tulee siis valtava määrä ja kuitenkin suurin osa tästä kerätystä datasta on niin sanottua mustaa dataa eli sitä ei tulla käyttämään enää mihinkään. (Uffelmann ym. 2019, 56.)

Tarvitaanko siis monta petatavua tietoa vuosittain, jotta yritys saadaan pyörimään? Kyllä ja ei. Tietysti osaa kerätystä informaatiosta käytetään toimilaitteiden hallintaan, mutta mikä tahansa muu tieto saattaa olla korvaamatonta yrityksen ylätason järjestelmissä. (Uffelmann ym. 2019, 56.)

3.2.2 Y-polku

PLC on yhdyskäytävä IO-Link signaalien ja yleisen IT:n välillä. Tämä kuitenkin häiritsee viestinnän ja datan kulkua, koska PLC:tä ei ole suunniteltu välittämään suuria määriä dataa sensoreilta PC:lle tai servereille. PLC:t ovat paljon nopeampia teollisuudessa kuin PC:t, koska niiden ohjelmointikielen syklisyys ja laitteiden lyhyet vasteajat ovat tarkoitettu juuri teollisuuden koneille. (Uffelmann ym. 2019, 58.)

Data, joka lähetetään IO-Link-antureilta, jaetaan kahteen erilliseen yhdyskäytävään (Kuva 3). IO-Link yhdyskäytävä jakaa datan ylätason tarvitsemiin osiin ja laitteiston ohjauksen kannalta merkitseviin osiin. Tieto, joka menee IT-järjestelmiin, lähetetään suoraan sensorilta esimerkiksi ERP:lle ilman kiertoteitä PLC:n kautta. (Uffelmann ym. 2019, 58.)



Kuva 3: ifm:n kehittämä Y-polku. (ifm:n www-sivut 2019.)

3.2.3 Rajapinnan arkkitehtuuri

ERP- ja MES -systeemeille tuottaa haastetta Teollisuus 4.0:n olemassa olevat ohjelmistot. Ohjelmistojen arkkitehtuurin perusta on tehty 1980-luvulla eli se on erittäin suuri, monimutkainen ja aivan päinvastainen kuin nykypäivän älypuhelinsovellukset, jotka toimivat mutkattomasti ja nopeasti pilvessä. Tätä älypuhelimista opittua helppoutta odotetaan Teollisuus 4.0:n tuovan teollisuuteen ja sen sovelluksiin. Jos ohjelmistoa halutaan muokata tai uudelleenohjelmoida, pitää tekijällä olla erittäin paljon tietotaitoa sekä kärsivällisyyttä. Vanhanaikaiset ohjelmistoarkkitehtuurit johtavat siihen, että rajapinnat ovat myös erittäin kankeita. Yksikään varteenotettava ohjelmistolaitteiden valmistajan rajapinta ei sovellu antureiden tai toimilaitteiden isojen tietomäärien käsittelyyn ennen sen siirtämistä eteenpäin. Ohjelmistorakennetta pitäisi siis muuttaa, jotta suodatettaisiin ensin turhat datat. (Uffelmann ym. 2019, 60.)

3.3 Kyber-fyysinen tuotantojärjestelmä (CPPS)

Teollisuus 4.0 edellyttää, että tuotannossa verkkojen optimointi on mahdollista vain, kun kyber-fyysisiä tuotantojärjestelmiä kehitetään pidemmälle. Kyber-fyysinen tuotantojärjestelmä -käsite tarkoittaa mekanisme, jota ohjataan tai monitoroidaan tietokonepohjaisilla algoritmeilla, jotka ovat integroitu internettiin sekä sen käyttäjiin. Virtuaalinen IT sekä oikean maailman tuotanto ovat siis kasvamassa erottamattomasti yhteen. (Uffelmann ym. 2019, 51.)

Tietotekniikan ja tekoälyn viimeaikaiset kehitykset mahdollistavat älykkäiden ja uudelleen konfiguroitavien tehtaiden perustamisen, joka taas johtaa ennennäkemättömään kehitykseen tuotannossa. Uffelmannin mukaan Teollisuus 4.0:n läpinäkyvyyden avain on tilausten jäljitettävyydessä ja tunnistettavuudessa. Tuotteen jäljitettävyys on ollut monien suuryritysten tavoite niin kauan kuin käsite ”jäljitys” on ollut käytössä. (Uffelmann ym. 2019, 52.)

4 IO-LINK

IO-Link teknologia on ensimmäinen avoin standardoitu (IEC 61131-9) viestintäteknikka maailmassa, joka on tarkoitettu kommunikointiin antureiden sekä toimilaitteiden kanssa. Tehokas kaksisuuntainen ”point-to-point”-liitäntä tapahtuu maksimissaan 20 metriä pitkän, 3-, 4- tai 5-johdimisen, kaapelin välityksellä suoraan toimilaitteelle tai anturille. IO-Link-järjestelmä (Kuva 2) on mahdollista suunnitella siten, että se on joko integroitu tai rinnakkain olemassa olevan automaatiojärjestelmän kanssa. (IO-Linkin www-sivut 2019.)

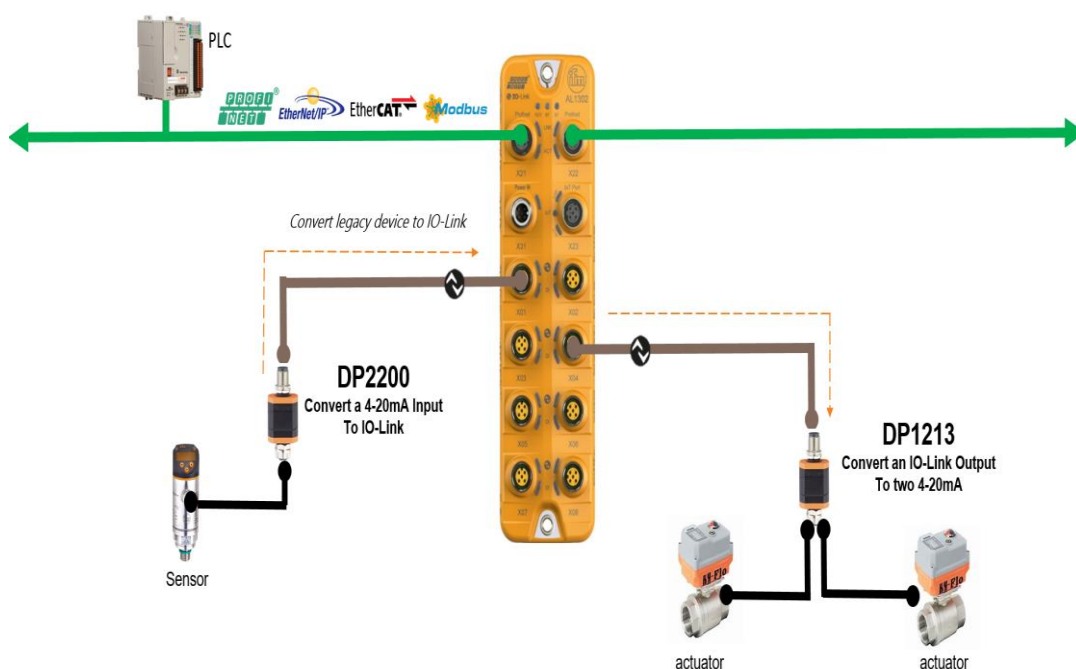
IO-Link Master-laitteen avulla voidaan yhdistää kenttätason laitteet sekä ylemmät toimilaitteet yleisillä kenttäväylillä. Viestintätavasta johtuen se ei kuitenkaan ole kenttäväylä, niin kuin yleisesti luullaan. Ohjaimen voidaan yhdistää kenttäväylällä lisää Master-laitteita, jolloin järjestelmän kokoa voidaan kasvattaa. Standardeilla M12-, M5- tai M8-kaapeleilla voidaan yhdistää Master-laitteeseen lisää moduuleja tai hubeja, joilla saadaan lisää digitaalisia I/O-portteja, ja näin taas saadaan lisättyä antureiden ja toimilaitteiden määrää järjestelmissä. (IO-Linkin www-sivut 2019.)

IO-Link nimi on tavaramerkki, joka määritellään standardissa IEC 61131-9 digitaalisiksi kommunikointiliitynnäksi (SDCI) antureille ja toimilaitteille. Standardi 61131-2 on tarkoitettu tavanomaisille digitaalisille tuloille sekä lähdöille ja 61131-9 standardi on laajennettu versio tästä aiemmasta standardista. Uusin versio kyseisestä standardista suuntaa kommunikoinnin ”point-to-point”-liitäntään päin. (IEC 61131-9:2013, 2013.) IO-Linkiä on jo implementoitu yli kymmeneen markkinoilla olevaan yleiseen kenttäväylään; PROFIBUS, PROFINET, AS-i, CANopen, CC-Link, DeviceNet, EtherCat, EtherNet/IP, Interbus S, Powerlink ja Sercos III. (IO-Linkin www-sivut 2019.)

Datan siirto tapahtuu perinteisellä master-slave (isäntä-orja) periaatteella. Ainoastaan yksi IO-Link laite yhdistetään yhteen IO-Link Master porttiin, minkä johdosta osoitteiden määrittäminen on siis turhaa. Tämä on suurin eroavaisuus jo teollisuudessa vakiintuneisiin kenttäväyliin. (Uffelmann ym. 2019, 157.)

4.1 IO-Link järjestelmän osat

IO-Link-järjestelmään kuuluu Master eli isäntälaitte (Kuva 4), erilaisia siihen kytkettyjä kenttälaitteita, kuten paikannus- ja prosessiantureita, liikkeenvalvontalaitteita sekä näyttöjä. Standardit 3-, 4- tai 5-johdin kaapelit sekä valmistajan suunnittelutyökalut järjestelmän konfigurointiin ja parametointiin ovat myös oleellinen osa IO-Link-järjestelmän toimintaa. (IO-Link System Description 2013, 5.)



Kuva 4: Ifm:n IO-Link Master-laite, johon on yhdistetty konverttereita, anturi, toimilaitteita ja kenttäväylällä PLC. (IFM:n henkilökohtainen tiedonanto 12.9.2019.)

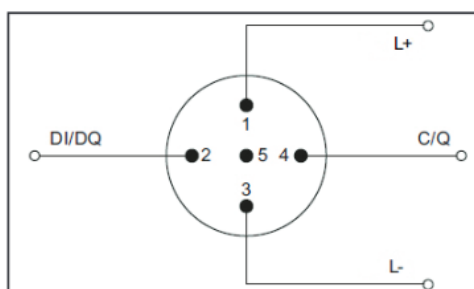
4.1.1 Liitäntä

IO-Link-järjestelmissä olevissa Master-laitteissa, joissa on IP65/67 tiiviysluokitus, on tyypillisesti kaksi erityyppistä porttia, A ja B. Luokkaa A (Kuva 6) käytetään enimmäkseen antureille ja valmistaja määrää pinnit 2 ja 5. B-luokassa (Kuva 7) nämä pinnit (2 ja 5) ovat tarkoitettu siirtämään apujännitettä kenttälaitteelle (Taulukko 1). Tällöin tarvitaan 5-johdin kaapeli (Kuva 5), jos lisätään IO-Link Masteriin laite, joka

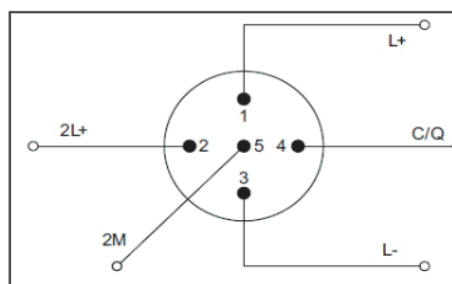
vaatii tavallista enemmän virtaa. Tälläisen ylimääräisen lisävirran lähteen pitää olla kalvaanisesti erotettu IO-Linkin omasta syötöstä. Toisin sanoen nollajohtimet (pinnit 3 ja 5) ovat erotettu toisistaan porttiluokassa B. Yleisesti ottaen kaikissa IO-Link master-laitteissa on 5-pinninen M12-kanta ja toimilaitteilla on 5-pinninen pistoke, koska ne saattavat vaatia lisävirtaa toimiakseen. Antureiden virrankulutus on kuitenkin niin pientä, että ne eivät tarvitse lisävirtaa ja tästä johtuen niillä on yleisesti 4-pinninen pistoke. (IO-Link System Description 2013, 6-7.)



Kuva 5: 5-pinninen, 5-johdin suojaamaton M12-kaapeli. (Beckhoff:n [www-sivut](http://www.beckhoff.com) 2019.)



Kuva 6: Portti luokka A. (IO-Link System Description 2013, 6.)



Kuva 7: Portti luokka B. (IO-Link System Description 2013, 7.)

IO-Link Master-laite toimii seuraavilla neljällä tilalla; DI, DQ, IO-Link sekä Deactivated. DI eli ”digital input” portti toimii siis kuten digitaalinen sisääntulo. DQ -portti taas on digitaalinen lähtö eli ”digital output”. IO-Link tila tarkoittaa IO-Link laitteiden välistä kommunikointia ja viimeinen ”Deactivated ” –tila on tarkoitettu käyttämättömille porteille. (IO-Link System Description 2013, 7.)

Taulukko 1: Pinnien eri merkitykset.

Pinni	Signaali	Nimitys	Kommentit
1	L+	Virtalähde (+)	24 V
2	I/Q P24	NC/DI/DO (portti luokka A) P24 (Portti luokka B)	Vaihtoehto 1: NC (Not connected, eli ei yhdistetty) Vaihtoehto 2: DI Vaihtoehto 3: DI, mutta konfiguroituneena DO Vaihtoehto 4: Lisä virtalähde tehokkaille laitteille (Portti B)
3	L-	Virtalähde (-)	0 V
4	C/Q	SIO/SDCI	Standardi I/O tila (DI/DO) tai SDCI (Single-drop digital communication interface eli toisin sanoen IO-Link tila)
5	NC N24	NC (Portti luokka A) N24 (Portti luokka B)	Vaihtoehto 1: Ei kiinnitetä Master-laitteeseen (Portti A) Vaihtoehto 2: Viittaus ylimääräiseen virransyöttöön (Portti B)

4.1.2 Kommunikointi

IO-Link -järjestelmä tukee neljää eri datatyyppeä; prosessidataa, laitedataa, tapahtumadataa sekä erillinen tarkastusbitti voidaan lähettää kolmella eri tiedonsiirtonopeudella. 4.8, 38.4 ja 230.4 kilobaudia ovat järjestelmän tukemat standardit nopeudet. Prosessidata ja tarkastusbitti lähetetään Master-laitteelle aina määrääjain ja samaan aikaan yhdessä eli ne ovat syklistä dataa. Laitteesta riippuen, 0-32 tavua dataa on mahdollista lähettää prosessidatan välityksellä. Prosessidatan arvon oikeellisuus tarkistetaan tarkastusbitin avulla. Laitedata sekä tapahtumadata ovat taas asyklistä tietoa eli ne lähetetään vain Master-laitteen pyynnöstä. Asyklinen data ei häiritse syklisen datan lähettämistä. Laitedata voi olla parametreja, tunnistamisdataa ja diagnostiikkatietoa, kun taas tapahtumatietoa ovat taas erilaiset error-viestit, varoitus- sekä huoltoviestit. (IO-Link System Description 2013, 7-8.)

Kenttätason laitteet kykenevät tukemaan ainoastaan yhtä tiettyä tiedonsiirtonopeutta kerrallaan. Master-laite lähettää heräteviestin aina kytkennän jälkeen ja yrittää aloittaa kommunikoinnin suurimmalla mahdollisella nopeudella. Toimilaite vastaa joko hyväksytysti ja kommunikointi alkaa kyseisellä nopeudella tai se ei vastaa ollenkaan, minkä seurauksena Master-laite yrittää seuraavaa hitaampaa lähetysnopeutta. (IO-Link System Description 2013, 7-8.)

4.2 Hyödyt

Avoin standardi IEC 61131-9 luo hyödyn siinä, että IO-Link laitteet voidaan integroida samalla tavalla kaikkiin yleisimpiin kenttäväyläjärjestelmiin tai erilaisiin automaatiojärjestelmiin valmistajasta riippumatta. IO-Link laitteiden nopea konfigurointi, käyttöönotto sekä työkaluilla tuettu parametrien määrittely ja tiedonhallinta ovat standardille IO-Link järjestelmille. (IO-Link System Description 2013, 4.)

Yksinkertainen ja standardoitu johdotus helpottaa ja nopeuttaa käyttöönottoa. Yhtenäinen käyttöliittymä antureille ja toimilaitteille riippumatta niiden monimutkaisuudesta helpottavat myös ongelmien etsintää ja huoltotöiden tekoa. Koska kaikki IO-Link-laitteet toimivat samoilla standardeilla kaapeleilla, varastojen kapasiteetti ja laajuus erilaisia varaosia varten pienenee myös huomattavasti. (IO-Link System Description 2013, 4.)

Anturien ja toimilaitteiden parametrien muutos tapahtuu helposti operointipaneelistä tai logiikasta ohjelmaa muuttamalla ja näin saadaan pienennettyä tehtaan tai linjan seisonta-aikaa, kun tehdään muutostöitä tai tuoteenvaihdosta linjalle. IO-Link laitteilla saadaan lisää joustavuutta tuotantoon, koska linjan tuottaman tuotteen vaihtaminen on helppo tehdä. Esimerkiksi, jos tietty IO-Linkillä toimiva induktiivinen anturi on mennyt rikki, niin tilalle voidaan vaihtaa samanlainen laite, jonka parametrit Master-laite konfiguroi automaattisesti (ks. 4.3). (IO-Link System Description 2013, 4.)

Lähes kaikki automaatiotuotteiden valmistajat hyödyntävät IO-Link teknologiaa, joten valikoima laitteita on erittäin kattava moneen tarkoitukseen. IO-Linkin etuna katsotaan myös yleensä sen kyky tehdä parametrisointi etänä tai suoraan anturista. (IO-Link System Description 2013, 4.)

4.3 Input Output Device Description (IODD)

IO-Link järjestelmän tavoitteena tuotteiden helppo ja mukava käyttöönotto. Yksi merkittävä etu standardoidussa kuvauksessa on järjestelmäkohtainen työkalujen saatavuus, jotka kaikki IO-Link laitevalmistajat voivat parametroida. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi kehitettiin XML-tiedosto (IODD) kuvaamaan IO-Link laitteita, jotka on liitetty järjestelemään. Tämä tiedosto kuvaa siis IO-Link laitteen tiedot ja kaikki tarvittavat ominaisuudet, jotka perustuvat elektronisen datan prosessointiin. Laitevalmistajat saattavat esittää yhdelle IO-Link laitteelle monta eri IODD tiedostoa, koska jotkin haastavat ja monimutkaiset funktiot saattavat vaatia sitä, mutta näin on yleensä vain poikkeustapauksissa. Työkalujen avulla kuitenkin löydetään oikea funktio oikealle laitteelle. (Uffelmann ym. 2019, 337.)

IODD:ssä määritellään IO-Link laitteen tunnistetiedot, parametrit osoitteineen, arvoalueet, alkuarvot ja datatyypit. Siellä säilötään myös tapahtumalista, alkuvalikon rakenne sekä prosessidatan rakenne, johon sisältyy sen pituus, rakenne ja arvoalueet. IODD tiedosto esitetään yleensä zip-tiedostona, joka sisältää XML-tiedostojen lisäksi kuvia laitteesta, yrityksen logon sekä kuvia pinnien eri merkityksistä. (Uffelmann ym. 2019, 339.)

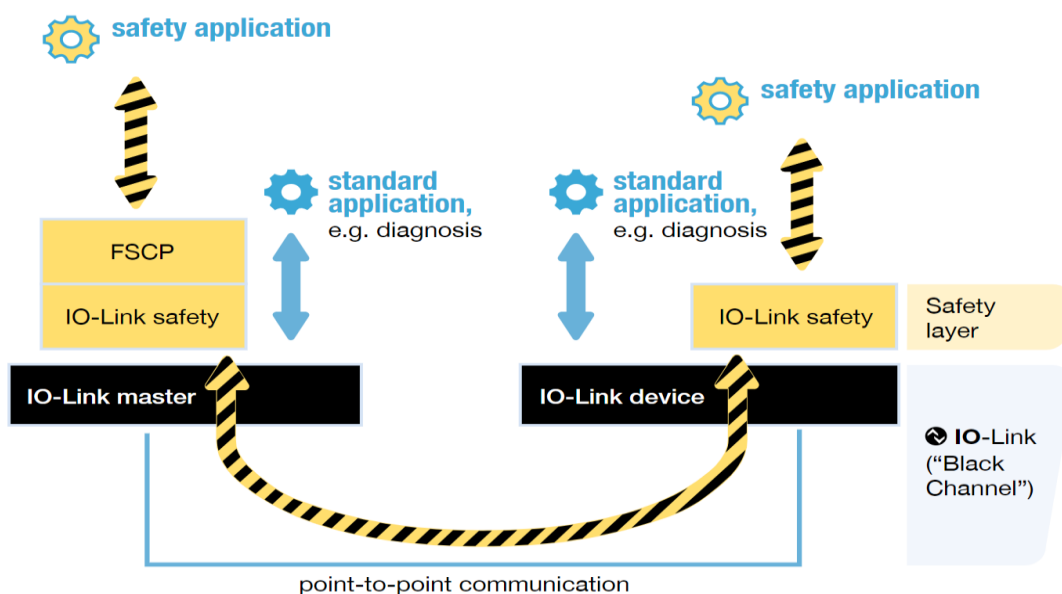
Pitää siis huomioida, että yhdellä IO-Link laitteella on ainoastaan yksi IODD-tiedosto. Jos valmistaja lisää tietyn ominaisuuden IO-Link laitteeseen, niin silloin valmistaja on velvoitettu luomaan uusi IO-Link DeviceID laitteelle ja näin ollen myös uusi IODD-tiedosto. IODD kuvaa myös laitteen mekaanisia ominaisuuksia, mutta mekaaniset muutokset eivät vaikuta laitteen tunnistetietoihin eikä siten myöskään johda uuden IODD-tiedoston luontiin. Mekaanisia muutoksia ovat esimerkiksi väri, kaapelin pituus, tyyppi tai materiaali. (Uffelmann ym. 2019. 340.)

4.4 IO-Link safety

IO-Link safety tuotteet ovat laajennettu versio IO-Linkin tavallisista tuotteista, sillä ne tarjoavat ylimääräisen turvallisuusviestinnän tason molemmille, IO-Link Mastereille sekä toimilaitteille. Niitä kutsutaan tällöin FS-Masteriksi ja FS-Deviceksi. (Uffelmann ym. 2019, 435-436.)

Useimmat Functional Safety Communication Profilet eli lyhennettynä FSCP:t noudattavat "mustan kanavan" periaatetta (Kuva 8). Olemassa olevia kenttäväyliä käytetään siirtokanavana erityyppiselle turvallisuustiedoista tehdyille ilmoitukselle ja ylimääräiselle turvakoodille. Turvakoodin tarkoitus on pienentää tiedonsiirron jäännösvirhemarginaalin määrää tasolle, joka vaaditaan asiaankuuluvissa turvallisuusstandardeissa, kuten IEC 61784-3 tai sitä uudemmissa. (Uffelmann ym. 2019, 440.)

”Mustana kanavana” IO-linkin tärkeimmät edut turvakommunikoinnille ovat alhainen hinta, mikropiirit, joita ei ole kohdennettu vain tiettyä käyttötarkoitusta varten, ja vain yksi rajapinta yhtä laitetta kohden. L digitaalinen kommunikointi sekä yhdyskäytävä kaikkiin kenttäväyliin ovat etuja, joita IO-Linkin ”mustalla kanavalla” on. (Uffelmann ym. 2019, 435.)



Kuva 8: "Mustan kanavan" periaate. (Uffelmann ym. 2019, 435.)

5 ULTRAÄÄNIANTUREIDEN OMINAISUUKSIEN VERTAILU

IO-Link tuotteiden valmistajia ja maahantuojia Suomeenkin löytyy jo monia, mutta tässä työssä keskitytään tutkimaan ifm:n sekä Leuze electronicsin IO-Link tuotteita. Ifm toimittaa Cimcorpille testikäyttöön tätä opinnäytetyötä varten IO-Link Master-laitteen sekä yhden tuotteen heidän ultraäänianturivalikoimasta. Leuze lähettää myös yhden anturin heidän valikoimastaan testattavaksi. Mallit ovat ennalta sovittuja, koska niiden pitää täyttää mittausetäisyyden pituuteen liittyvät vaatimukset Cimcorpin puolelta.

Cimcorp Oy on valinnut Baumerin ultraäänianturin, UNAM 50I6121/S14, käytettäväksi portaalirobottiratkaisuissaan. Ominaisuuksien vertailu tapahtuu tietolomakkeiden kautta löydetyistä tiedoista. Baumerin ultraäänianturi on todettu hyvin toimivaksi ja sitä pidetään vertailupohjana sopivimmalle anturille. Pyritään löytämään Baumerin kanssa mahdollisimman samanlainen tai jopa vieläkin parempi ultraäänianturi, jossa on IO-Link toiminnallisuus. Ifm:n UIT500- ja Leuzen DMU430B-3000.X3/LTC-M12-ultraääniantureilla tehdään niin käytännön testejä kuin myös tietolehdistä löytyvien tärkeiden ominaisuuksien vertailua (Taulukko 2).

Tärkeitä ominaisuuksia vertailussa ultraääniantureilla, jotka tulevat portaalirobottiin, ovat niiden mittausetäisyys, mittausalueen leveys sekä vasteaika. Äänikeila eli mittausalueen leveys ei saisi olla kovin laaja, vasteajan ja kuolleen alueen tulisi olla mahdollisimman pieni ja mittausalueen pituuden taas tarpeeksi suuri, jotta pystytään mittaamaan myös korkeitakin rengas- tai laatikkopinoja. Ultraäänianturi sijaitsee robotin tarttujan rungossa. Anturi mittaa etäisyyttä lattiaan sekä rengaspinon korkeutta, jota se vertaa solun PC:ltä saamaansa tietoon. Näin pystytään varmistamaan, että renkaita on oikea määrä pinossa ylösottohetkellä sekä varmistamaan robotin tarkka toiminta, jotta ei tapahtuisi lainkaan törmäyksiä.

Taulukko 2: IFM:n, Baumerin ja Leuzen ultraäänianturien ominaisuuksia

Ultraäänianturi	Mittausalueen kuollut alue [mm]	Mittausalueen max pituus [mm]	Keilan leveys 750mm [mm]	Keilan leveys max [mm]	Vasteaika [ms]
UIT500	250	3500	~1000	1300	250
50I6121/S14	400	2500	200	~300	<160
DMU430B-3000.X3	300	3000	~500	1000	125

Taulukossa 2 äänikeilan leveys on ilmoitettu kahdesta eri kohdasta, koska keilojen alueet ovat yleisesti ottaen asymmetrisiä ja näin ollen eri etäisyydellä alueet ovat eri levyisiä. Äänikeilan leveys on ilmoitettu taulukossa myös 750mm kohdalla, koska se on tavallinen mittausetäisyys Cimcorpin portaalirobotisovelluksissa.

5.1 Baumerin UNAM -ultraäänianturi

Baumerin ultraäänianturi, UNAM 50I6121/S14, lähettää mittaustuloksen perinteisellä 4-20mA analogiasignaalilla. Alle 160ms vasteaika sekä 2,5 metriin yltävä mittausetäisyys, ja siitä huolimatta kapea äänikeila olivat kriittiset ominaisuudet, minkä vuoksi kyseistä anturia käytetään Cimcorpin ratkaisuihin. Maksimissaan 300mm leveä äänikeila sopii moniin Cimcorpin robotisovelluksiin, joissa anturi on sijoitettu siten, että se on ahtaassa välissä ja äänikeilan tielle saattaa osua erilaisia tarttujan rungon osia. (Baumerin www-sivut 2019.)

5.2 Leuzen DMU430B-3000.X3/LTC-M12 –ultraäänianturi

Leuzen ultraäänianturi on varustettu IO-Link rajapinnalla, lisäksi siitä löytyy myös analogialähtö. LTC-mallissa analogialähtö on toteutettu virtasignaalilla (4-20mA), mutta Leuzelta löytyy myös LTV-malli, jossa analogialähtö on jännitteeseen perustuva (0-10V). Näillä molemmilla antureilla on lyhyet vasteajat, 125 millisekuntia sekä lyhyt kuollut alue että pitkä mittausetäisyys. (Leuze electronicsin www-sivut 2019). Mahdollisen ongelman voi tuottaa äänikeilan leveys, sillä tietyissä roboteissa on kiinnikkeitä tai muita heijastavia ruuvinkantoja, jotka haittaavat äänikeilan kulkua ja näin ollen saattavat antaa vääristyneen tuloksen.

5.3 IFM:n UIT500 ultraäänianturi

UIT500 on kohteesta heijastava ultraäänianturi, jolla on laaja tunnistusetaisyysalue (Kuva 9). IO-Link ominaisuuksien ansiosta äänikeilan leveyttä sekä muita konfiguroitavia arvoja pystytään säätämään suoraan LineRecorder Device – sovelluksen kautta. LR-Device on ifm:n kehittämä sovellus IO-Link laitteita varten. Kyseisestä sovelluksesta pystytään monitoroimaan ja konfiguroimaan toimilaitteita sekä antureita. Anturissa itsessään on LED-merkkivalo kytkentätilan ja kaiun indikointiin. Esimerkiksi UIT500 ultraäänianturin vasteaikaa pystytään säätämään nopeammaksi tai hitaammaksi, näkemään live-tilassa sen mittaamaa arvoa ja muuttamaan napin painalluksella äänikeilan leveyttä. (ifm:n www-sivut 2019.)

UIT500 ultraäänianturin kuollut alue on lyhyt sekä maksimimittausetaisyys on myös huomattavan pitkä verrattuna nykyisiin Baumerin antureihin. Tietolehdistä kerätyn datan perusteella pitkä vasteaika sekä huomattavan leveä äänikeila tekevät kuitenkin siitä mahdollisesti heikon vaihtoehdon robottisovelluksiin Cimcorpille, mutta vasta käytännön testien jälkeen pystytään varmasti sanomaan tämän ennusteen paikkansapitävyys.



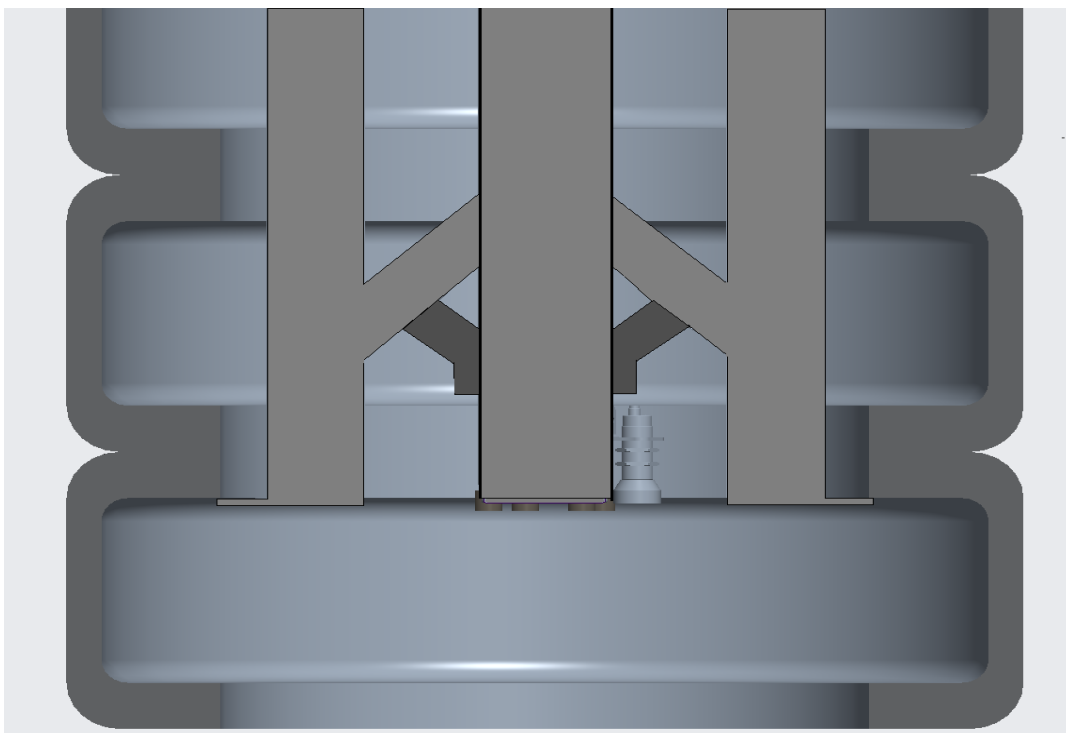
Kuva 9: Ifm:n UIT500 ultraäänianturi. (Ifm:n www-sivut 2019)

6 SOVELTAMINEN CIMCORPIN PORTAALIROBOTISSA

6.1 Portaalirobotti FT-tarttujalla

Yksi tärkein ja suurin Cimcorpin toimittama automaatiojärjestelmäsovellus on monipuolinen portaalirobotti. Se on servomootoreilla toimiva 3-akselinen keräily- ja varastointirobotti, joka liikkuu X-, Y- ja Z-liikeakseleilla. X-akselin servomootorit sijaitsevat Y-johteen molemmissa päissä ja ne ovat elektronisesti synkronoitu. Portaalirobotin moduuli liikkuu vaakatasossa X- ja Y-akseleilla sekä pystysuunnassa lattiaan nähden Z-akselilla. Robotti pystyy kattamaan suuretkin työalueet ja hyödyntämään lattiapinta-alan tehokkaasti.

Valmiiden renkaiden nostamiseen, siirtämiseen ja pinoamiseen välivarastoissa käytetään portaalirobotissa FT-tarttujaa (FinishedTyre). Tarttujassa on kolme lapaa (Kuva 10), jotka työntyvät auki-asennossa ulospäin ja renkaan koosta riippuen robotti tarttuu renkaan sisäpuolelta tietyllä momentilla renkaaseen ja nostaa sen maasta tai kuljettimelta kyytiinsä ja vie sen sille osoitetulle paikalle. FT-tarttuja kasaa välivarastoon tavallisesti monen renkaan pinoja ja siirtää koko pinon kerrallaan samalla periaatteella lähtökuljettimelle.



Kuva 10: Poikkileikkauskuva rengaspinosta, jossa on FT-tarttuja sisällä.

6.2 Alimman renkaan tunnistaminen IO-Link ultraäänianturilla

Tässä osassa tutkitaan teoreettisesti vaihtoehtoja, miten saataisiin FT-tarttujalla varustetun portaalirobotin kyydissä olevan pinon alin rengas tunnistettua ultraäänianturilla, jossa on IO-Link ominaisuudet. Tällä hetkellä seuranta tapahtuu tarttujan kolmen lavan liikettä seuraamalla sekä momentilla, jolla varmistetaan, että lavat eivät aukea liikaa ja näin muuta renkaanmuotoa kolmiomaiseksi. Renkaiden muoto saattaa muuttua, jos pinossa on esimerkiksi vääränkokoinen rengas ja robotti avaa lapojaan liian suurella voimalla. Tällä mittaustavalla ei kuitenkaan voida varmistaa mitenkään, ovatko kaikki renkaat robotin kyydissä vai onko esimerkiksi alin rengas pinosta pudonnut kyydistä matkan varrella. Tämä mittaustapa on edullinen, koska se ei vaadi ylimääräisiä komponentteja ja pystytään myös hyödyntämään ohjaimessa tällä hetkellä olevia ominaisuuksia.

FT-tarttujan rungossa ei ole paljoakaan ylimääräistä tilaa ultraäänianturille ja haasteeksi muodostuu myös se, että anturin pitäisi osoittaa 90 astetta sivulle eikä suoraan alaspäin, jotta saataisiin mitattua tarttujassa oleva alin rengas. Näin ollen perinteinen sylinterin muotoinen ultraäänianturi olisi huono vaihtoehto alimman renkaan mittaamiseen. Kyseessä on ultraäänianturi, joten renkaan muodolla eikä materiaalilla ole juurikaan merkitystä mittaustulokseen. Mittausetäisyyden ollessa varsin lyhyt, anturin tarvitsee vain havaita, jos sen tunnistusalueelle määriteltyjen raja-arvojen sisälle ilmaantuu rengas. Jos anturi ei havaitse ollenkaan rengasta, voidaan olettaa, että robotti ei poiminut rengasta tai alin rengas on pudonnut kyydistä.

Ultraäänianturi tulisi kiinnittää FT-tarttujassa johonkin sen kolmesta lavasta ja sille tarvitsisi luoda soveltuva kiinnitysmekanismi. Rakenteen tarvitsee anturissa olla mahdollisimman pieni, jotta se ei veisi tilaa. Yksi mahdollinen ultraäänianturi olisi ifm:n UGT592 (Kuva 11), jossa on riittävä 300 mm asti ylettyvä tunnistusetäisyys.



Kuva 11: Ifm:n UGT592. (Ifm:n www-sivut 2019)

6.3 IO-Link ultraäänianturin edut tavalliseen anturiin verrattuna portaalirobotissa

Cimcorpin portaalirobotissa tapahtuva signaalin välitys ultraäänianturilta aina robotin ohjauskaapissa sijaitsevaan liikeohjaimen, MLD, tapahtuu muutaman eri vaiheen kautta. Baumerin analogiselta ultraäänianturilta lähtevä M12-kaapeli yhdistetään ensiksi analogiseen sisääntulomoduuliin (engl. Analog input module), jonka jälkeen se yhdistetään digitaaliseen sisääntulomoduuliin (engl. Digital input module). Digitaalinen sisääntulomoduuli on tässä tapauksessa kuitenkin vain välikappale, sillä analogisen signaalin looginen kulkureitti ultraäänianturilta kulkee analogiselta sisääntulomoduulilta suoraan robotin ohjauskaapissa sijaitsevaan Sercos III väyläliittimeen. Tarttujassa on kuitenkin muitakin antureita käytössä, jotka vaativat digitaalisen moduulin toimiakseen, joten siitä syystä kyseinen moduuli robotista löytyy. Ohjauskaappi sijaitsee yleisesti portaalirobotissa Y-sillan toisessa päässä ja liikkuu aina sillan mukana.

Bosch Rexrothin liikeohjaimen, MLD, logiikkaan liitytään tällä Sercos III väyläliitin moduulilla (Kuva 12). Logiikkaa voidaan hallita tietokoneella IndraWorks Engineering ohjelmistolla.



Kuva 12: Sercos III väyläliitin. (Bosch Rexrothin www-sivut 2019.)

Robotissa on siis kolme erillistä komponenttia, joiden kautta saadaan yhdistettyä yksinkertainen ultraäänianturi PLC:iin, josta sitä voidaan vasta konfiguroida ja monitoroida. Jos kyseessä olisi IO-Link ultraäänianturi sekä portaalirobottiin olisi integroitu IO-Link järjestelmä, voitaisiin tieto ultraäänianturilta, tai miltä tahansa muulta anturilta, saada suoraan IO-Link master-laitteeseen, jonka voi yhdistää suoraan liikeohjaimen, MLD, Sercos III -väylään. Eli saataisiin kaksi ”turhaa” välikättä pois ja näin pystyttäisiin säästämään huomattava summa kuluissa. Esimerkiksi kuvan 12 väyläliitin maksaa ilman yritysalkuun noin 1000€ ja IO-Link master-laite alle 300€.

7 TESTAUS JA TULOKSET

7.1 Käytännön testien tekeminen

Käytännön testien tarkoitus oli testata, miten tarkasti ja miten etäältä ultraäänianturit mittaavat sekä testata niiden yleistä toimintaa IO-Link master -laitteen kanssa. Testiä varten tehtiin ultraäänianturille oma metallinen pidike (Kuva 12), jonka sai kiinnitettyä helposti alumiiniprofiiliin. Alumiiniprofiili taas kiinnitettiin varastohyllykköön, josta sen korkeutta maahan nähden saatiin helposti muutettua (Kuva 13). Lattialle laitettiin vanerilevy, joka asetettiin pienten tukien avulla vaakasuoraan. Anturien pidike asetettiin 55 cm päähän hyllykön reunasta, jotta anturien äänikeila ei ottaisi häiriötä hyllykössä olevista esineistä.



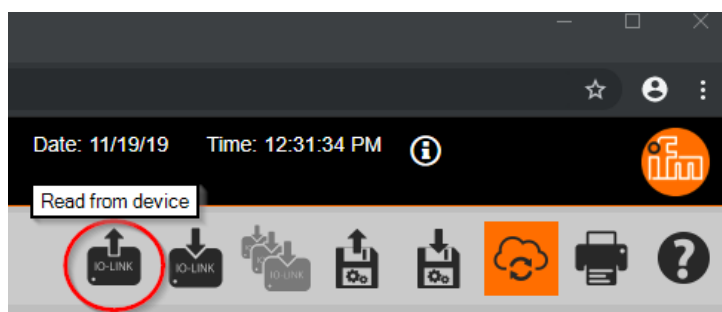
Kuva 13: M30 kokoiselle ultraäänianturille tehty pidike, alumiiniprofiili sekä Leuzen ultraäänianturi.



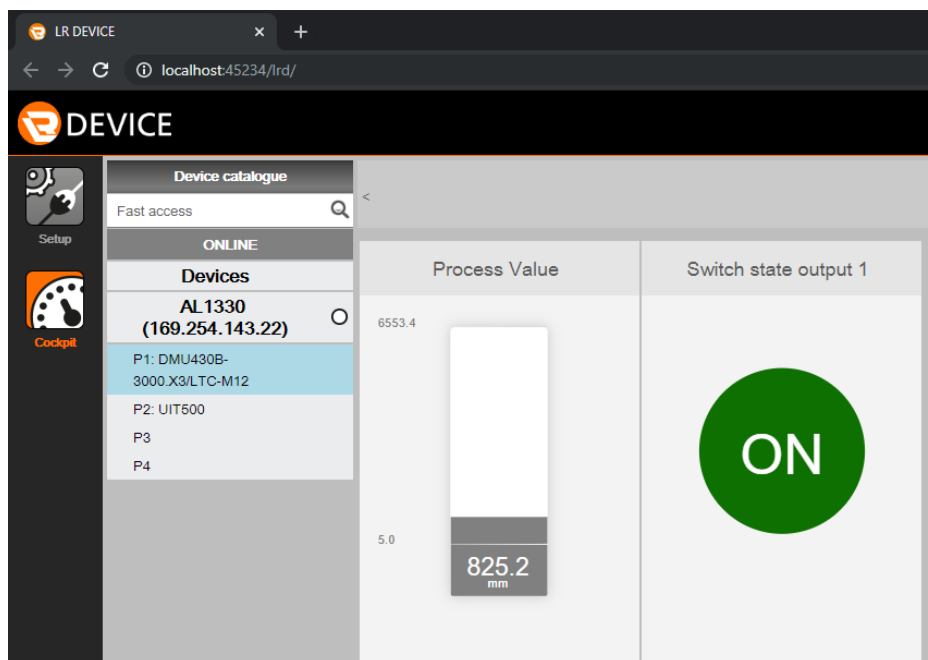
Kuva 14: Esimerkkikuva käytännön testien järjestelyistä.

Hyllykössä olevien kohdistusreikien väljyyden takia mittanauhalla mitatut etäisyydet eivät ole täydellisesti lineaarisia korkeammalle mentäessä, vaan niistä havaitaan muutaman millimetrin heittoa. Robotilla pystyttäisiin ajamaan tarttuja niin, että ultraäänianturin mittauspää saataisiin aina tasavälein ja millintarkasti tiettyyn korkeuteen. Valitettavasti työssä käytetyn IO-Linkin Master-laitteen asentaminen robotin ohjauskaappiin ja ultraäänianturin asentaminen robotin tarttujaan olisi ollut epäkäytännöllistä sekä olisi tarvinnut tehdä paljon muutoksia PLC puolelle, jotta kaikki olisi saatu toimimaan. Tämän vuoksi päätettiin testauksen korkeuden säätäminen tehdä käsin. Nyt ultraäänianturit yhdistettiin suoraan ifm:n AL1330 IO-Link master- laitteeseen ja siitä Ethernet kaapelilla tietokoneeseen, jossa arvoja monitoroitiin LR Device -sovelluksella.

Verkkoselaimessa toimiva LR Device -sovellus oli todella helppokäyttöinen. Master-laitteen tietokoneeseen kytkemisen jälkeen tarvitsee vain avata sovellus tiedostoista, jonka jälkeen sovellus aukeaa oletusverkkoselaimelle. Sen jälkeen tarvitsee painaa vain ”Read from device” (Kuva 15) ja saat näkyviin Cockpit -välilehdelle (Kuva 16) anturien antamat prosessidatat. Cockpitissä ”Process Value” näyttää ultraäänianturin mittamaan etäisyyden kohteeseen sekä vieressä oleva ”Switch state output 1” (Kuva 16) näyttää onko kohde raja-arvojen sisällä.



Kuva 15: LR Device -sovelluksessa Masteriin kytkettyjen laitteiden havaitseminen.

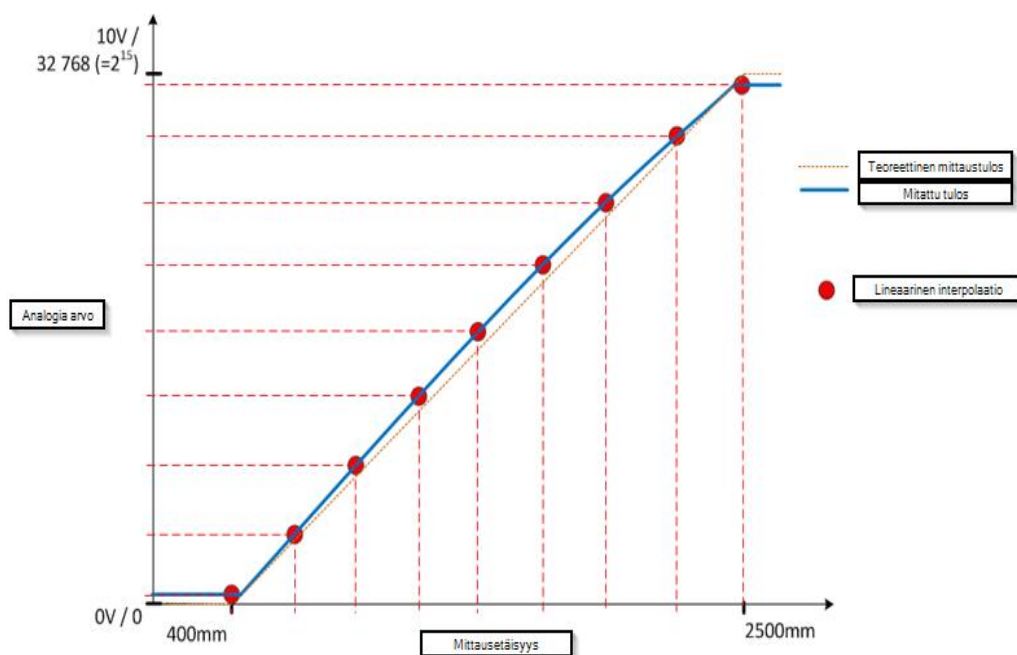


Kuva 16: LR Devicen Cockpit, josta monitoroidaan anturin antamaa arvoa.

7.2 Ultraäänianturien toiminnallisuus teoriassa ja käytännössä

Yksi käytännön testien tarkoitus oli kartoittaa ultraäänianturin mittaustarkkuutta lattiaan. Etäisyys mitattiin ultraäänianturilla sekä mittanauhalla, jotta saataisiin käsitys pitääkö ultraäänianturin antama arvo paikkaansa. Uuden portaalirobotin käyttöönotossa ultraäänianturille tehdään linearisointi, jolla varmistetaan anturin mittaustarkkuus. Anturille tehdään mittauksia eri korkeuksilla ja korkeuden arvoja verrataan anturin antamaan analogiseen arvoon. Tämä siis tarkoittaa, että analoginen arvo, joka saadaan 4-20mA tai 0-10V ulostulosignaalin anturilla, on välillä 0-32 768 ($=2^{15}$) korkeudella X (mm). Teoreettisesti korkeuden muuttuessa ultraäänianturin antaman signaalin arvo pitäisi nousta myös lineaarisesti sen mukana. Näin ei käytännössä kuitenkaan tapahdu, minkä vuoksi siis tarvitaan mittaustulosten skaalaus. (Taulukko 3)

Taulukko 3: Esimerkki analogisen ultraäänianturin mittausten skaalauksesta



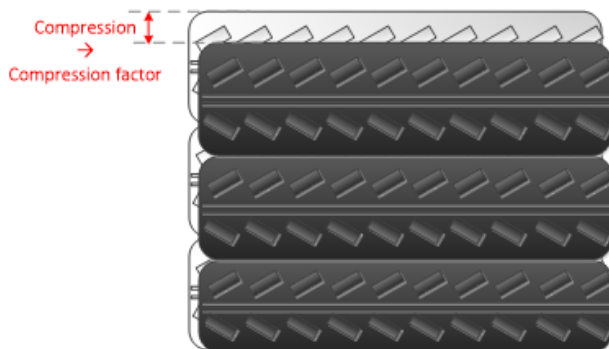
Virheellisiä mittaustuloksia mittanauhalla tehdyssä mittauksessa saattaa aiheuttaa mittaajan tekemät virheet, kuten hieman vinossa oleva mittanauha sekä pieni virhearvio tuloksesta. Kyseiset virheet aiheuttavat korkeintaan muutaman millimetrin heittoja tuloksissa.

FT-tarttujalla varustetussa portaalirobotissa kiinniolevalla ultraäänianturilla mitataan renkaasta sen korkeinta kohtaa. Ultraäänianturi kuitenkin laskee takaisinheijastuneiden ääniaaltojen korkeimpien pisteiden keskiarvon tehdessään mittausta, joten anturin antama tieto ei välttämättä ole absoluuttisesti korkein kohta. Kuva 12 havainnollistaa, miten renkaan profiili saattaa olla muotoiltuna ilman vannetta. Hyvin kaareva ja vain muutaman sentin levyinen korkein kohta saattaa olla haastava mitattava jopa ultraäänianturille. Mittaus pinon korkeudesta tehdään Baumerin ultraäänianturilla noin 750mm etäisyydellä pinon ylimmästä renkaasta tai yksittäisestä renkaasta, jolloin saadaan mahdollisimman tarkka tulos.



Kuva 14: Esimerkki renkaan profiilista lattialla kyljellään ollessa. (malli: 155/80R12)

Pinon mittauksessa pitää ottaa huomioon myös monen renkaan painon aiheuttama pinon supistuma. Pinon supistuman kerroin on otettu laskukaavoissa PLC:n puolella huomioon. Anturin mittauksella varmistetaan PC:n lähettämän tiedon oikeellisuus. (Cimcorp Oy 2019.)

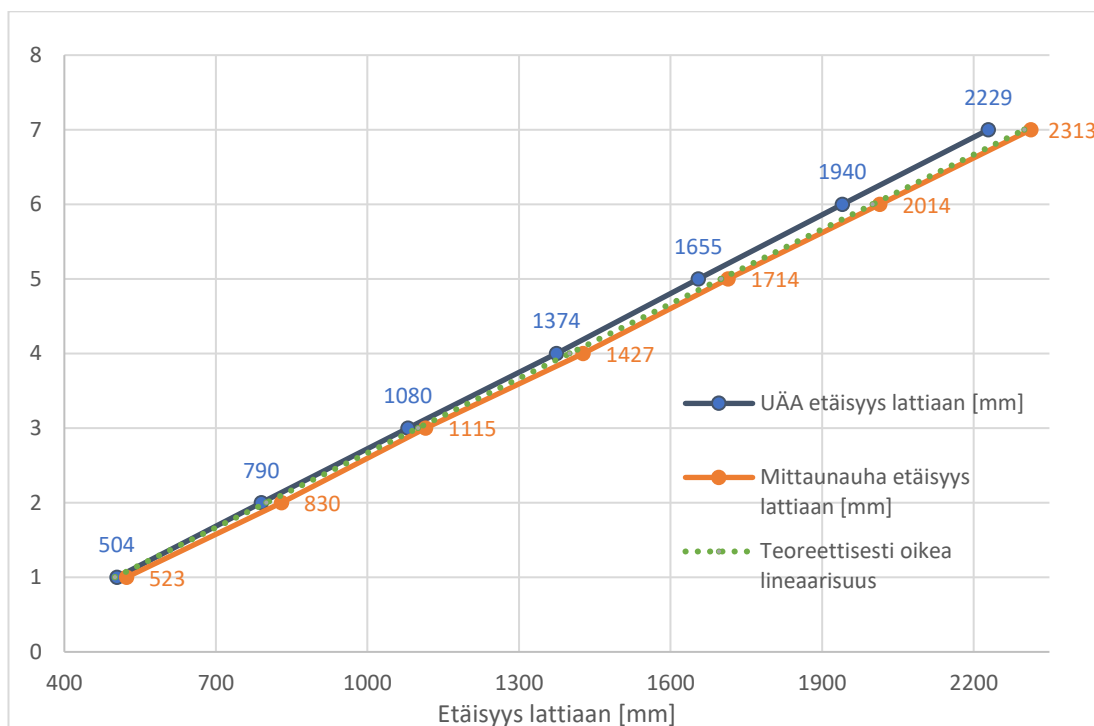


Kuva 15: Rengaspinon supistuma eli Compression sekä siitä laskettava compression factor. (Cimcorp Oy 2019.)

7.2.1 UIT500 tulokset käytännön testeistä

Taulukosta 4 nähdään, että UIT500 -ultraäänianturilla (UÄA) mitattu etäisyys oli aina lyhyempi kuin käsinmitattu arvo. Keskimäärin mittausetäisyydessä on eroa noin 52 millimetriä. Pienemmillä etäisyyksillä ero oikeaan etäisyyteen sekä ultraäänianturin antamaan etäisyyteen oli selvästi vähemmän. Eli mitä kauemmas kohteesta anturi asetettiin, sitä enemmän anturi antoi virhettä. Vihreä katkoviiva kuvaa, miten kuvaajien pitäisi teoriassa mennä, mutta kuten taulukosta nähdään, käytännössä lineaarisuutta on vaikea noudattaa. Kyseessä on IO-Link laite, joka lähettää mitatun arvon suoraan digitaalisena, joten Y-akselille annetut arvot 0-8 kertovat vain, kuinka mones mittaus oli kyseessä. Ei siis nähdä analogista arvoa kyseisellä anturilla mitenkään.

Taulukko 4: Ifm:n UIT500 mittausetäisyyden tulokset verrattuna mittanauhalla mitattuun etäisyyteen.



Käytännön testien yksi tarkasteltava osa oli mitata, miten ultraäänianturi havaitsee renkaan korkeinta kohtaa, kun se makaa kyljellään maassa. Taulukossa 5 on kuvattu, mikä on yhden tai kahden renkaan pinon korkeus sekä renkaiden malli on myös ilmoitettu. Renkaan korkeus mitattiin mittanauhalla laittamalla koko renkaan peittävä

suora levy renkaan päälle ja mitattiin levyn etäisyys lattiaan, jolloin saatiin korkein kohta renkaasta.

Taulukko 5: Renkaan tai rengaspinon korkeus.

Pinon korkeus [mm]	Rengas määrä ja malli
144	1 rengas (155/80R12)
283	2 rengasta (155/80R12)
143	1 rengas (155/R12C)
305	1 rengas (305/35/R24)
609	2 rengasta (305/35/R24)

Kaikki renkaat mitattiin samoilta korkeuksilta kuin taulukossa 4 on ilmoitettu. Kuvan 13 mukainen rengaspinon supistuma on havaittavissa selkeästi pehmeämmillä renkailla. Isokokoinen ja jäykkä 305/35/R24 rengas ei supistu kahden renkaan pinossa juuri lainkaan, mutta pehmeämpi 155/80R12 rengas supistuu jo kahden pinossa muutaman millimetrin enemmän. Ultraäänianturilla tehtiin mittaus lattiaan sekä rengaspinoon ja näistä etäisyyksistä laskettiin renkaiden korkeus. Taulukosta 6 nähdään keskiarvollinen laskettu pinon korkeus ultraäänianturilla kaikista mittauksista sekä sen eroavaisuus taulukossa 5 ilmoitettuun pinon korkeuteen.

Taulukko 6: Keskiarvo lasketusta korkeudesta sekä ero mittanauhalla mitattuun. Mitat ovat millimetreinä.

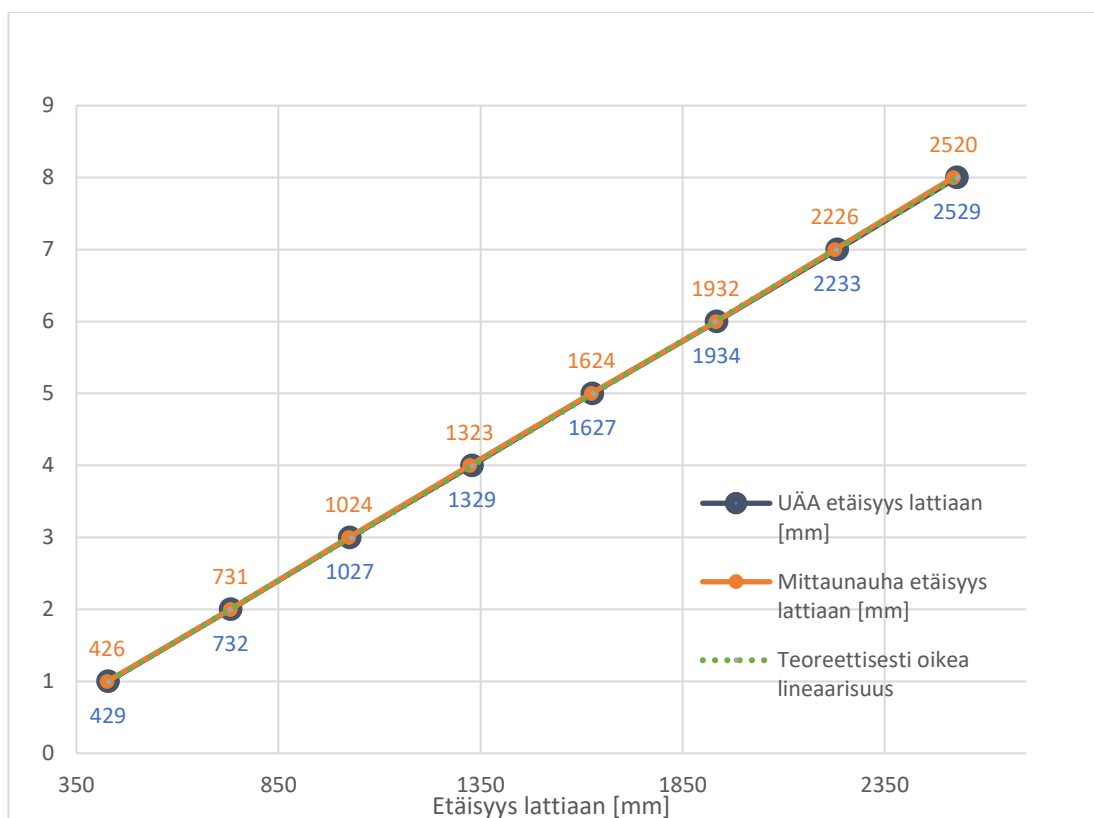
Renkaiden määrä ja malli	Ka ultraäänianturin lasketusta pinon korkeudesta	Ero mittanauhalla laskettuun korkeuteen
1 rengas (155/80R12)	134,6	9,4
2 rengasta (155/80R12)	270,1	12,9
1 rengas (155/R12C)	134,2	8,8
1 rengas (305/35/R24)	290,0	15
2 rengasta (305/35/R24)	581,0	28

Taulukon 6 perusteella voidaan todeta, että renkaan profiilin muoto ja koko vaikuttavat huomattavasti mittauksen tarkkuuteen ainakin UIT500 anturilla. 305/35/R24 rengas on 24 tuumainen eli huomattavasti isompi ja profiilin paksuudeltaan ohuempi kuin esimerkiksi 155/80R12 (Kuva 14) rengas. Voidaan siten olettaa, että mitä suurempi ja paksumpi renkaan profiili on, sitä tarkemmin pystytään ultraäänianturilla mittaamaan renkaan tai pinon korkein kohta.

7.2.2 Leuzen ultraäänianturin tulokset käytännön testeistä

Testien perusteella tehdyn taulukon (Taulukko 7) mukaan huomataan Leuzen DMU430B-3000.X3/LTC-M12 -anturista yhtäläisyydet verrattuna mittanauhalla tehtyihin mittauksiin ja nähdään, että tulokset eivät eroa missään vaiheessa montaakaan millimetriä. Huomataan myös, että tulokset muuttuvat lineaarisesti etäämmälle mentäessä ja noudattavat melkein täydellistä lineaarisuutta. Leuzen anturilla on mahdollisesti myös saatavilla analoginen arvo (0-32768), mutta sitä ei pystynyt ifm:n LR Device-sovelluksella monitoroimaan.

Taulukko 7: Leuzen ultraäänianturin mittausetäisyyden tulokset verrattuna mittanauhalla mitattuun etäisyyteen.



Anturi säilytti hyvin mittaustarkkuutensa etäämmälle mentäessä eivätkä mittausten tulokset alkaneet hajaantua niin kuin edellisessä kappaleessa käsitellyssä UIT500 -ultraäänianturissa.

Leuzen ultraäänianturilla tehtiin samoilla renkailla ja melkein samoilta korkeuksilta mittaukset kuin ifm:n UIT500 ultraäänianturilla. Taulukko 8 kuvaa keskiarvot mittauksista, kun tehtiin renkaiden ja pinojen kanssa mittauksia sekä niiden eroa renkaiden oikeaan korkeuteen. Suurin ero on noin 4 millimetriä, joten voidaan todeta, että Leuzen anturi on hieman tarkempi myös hankalien muotojen mittaamisessa kuin ifm:n UIT500 -ultraäänianturi.

Taulukko 8: Leuzen anturilla tehtyjen rengasmittausten keskiarvollisia tuloksia ja eroja mittanauhalla mitattuun. Mitat millimetreinä.

Renkaiden malli ja määrä	Ka ultraäänianturin lasketusta pinon korkeudesta	Ero mittanauhalla laskettuun korkeuteen
1 rengas (155/80R12)	140,1	3,9
2 rengasta (155/80R12)	282,7	0,3
1 rengas (155/R12C)	139,4	3,6
1 rengas (305/35/R24)	300,9	4,1
2 rengasta (305/35/R24)	605,3	3,7

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli luoda selkeä dokumentti IO-Linkistä, siihen liittyvistä komponenteista sekä näiden komponenttien liittämistä toisiinsa. Mahdollisimman moni rajapinta pyrittiin huomioimaan sekä esittelemään IO-Linkin hyödyllisyys teollisuudessa. Työssä selitettiin myös IO-Linkin merkityksestä alati muuttuvalle Teollisuus 4.0:lle.

Työtä varten ifm ja Leuze lähettivät molemmat omat ultraäänianturinsa testattavaksi. Näitä testattiin ifm:n IO-Link-master Starterkit -aloituspaketista saaduilla komponenteilla ja monitoroitiin PC:llä käytettävässä LineRecorder Device-sovelluksella. Molemmille ultraääniantureille tehtiin samankaltaiset testit, joissa mitattiin erilaisia renkaita ja näistä muodostettuja erikokoisia pinoja monelta korkeudelta. Mittauksista kirjattiin myös etäisyydet maahan, jolla saatiin muodostettua lineaarisuutta tarkkaileva taulukko ja näin tarkasteltua, kuinka tarkka anturi on verrattuna oikeaan etäisyyteen.

Lineaarisuutta tutkivien mittausten tuloksista kävi ilmi, että ifm:n UIT500 -ultraäänianturissa oli enemmän hajontaa kuin Leuzen anturissa mitä etämmälle anturi asetettiin kohteesta. Leuzen anturilla saaduista tuloksista nähdään, että etäisyys lattiaan oli jokaisella etäisyydellä muutaman millimetrin sisällä käsin mitatusta eli niin sanotusta oikeasta etäisyydestä. Mittaajan tekemien mahdollisten inhimillisten virheiden johdosta voidaan olettaa Leuzen anturin toimivan erittäin tarkkaan, ainakin oletusasetuksilla ja kyseisessä testiympäristössä.

Leuzen anturi tulkitse eri renkaiden profiileja myös hieman tarkemmin, sillä ero pinon korkeudessa oli ifm:n anturilla mitattuna huomattava verrattuna Leuzen muutaman millimetrin heittoon (Taulukko 6 ja taulukko 8). Työssä esiteltiin myös hieman, minkälainen on Cimcorp Oy:n portaalirobotti ja mitä tarkoittaa FT-tarttuja. Työssä pohdittiin myös IO-Linkin tuomia etuja, jos portaalirobottisovelluksiin otettaisiin käyttöön IO-Link -järjestelmä. Teoriapohjalta myös käsiteltiin ultraäänianturilla alimman renkaan tunnistamiseen vaadittavia kriteerejä.

LÄHTEET

- Bartodziej, C. J. 2017. The Concept Industry 4.0. Germany: BestMasters. Viitattu 4.9.2019.
https://img.bdu.edu.vn/fee/ntnhu@bdu.edu.vn/files/The%20Concept%20Industry%2004_0_%20An%20Empirical%20Analysis%20of%20Technologies%20and%20Applications%20in%20Production%20Logistics.pdf
- Baumerin www-sivut. 2019. Viitattu 8.10.2019. <https://www.baumer.com/gb/en/>
- Beckhoff:n www-sivut. 2019. Viitattu 28.8.2019.
https://beckhoff.de/english.asp?fieldbus_components_accessories/m12_sensor_5w.htm?id=51657421126830456
- Bosch Rexrothin www-sivut 2019. Viitattu 14.11.2019.
<https://www.boschrexroth.com/fi/fi/home/index>
- Cimcorp Oy:n windchill-sivut. 2019. Yrityksen sisäinen dokumenttien hallintatyökalu. Viitattu 19.11.2019.
- Cimcorp Oy:n www-sivut. 2019. Viitattu 22.8.2019. <https://www.cimcorp.com/>
- IEC 61131-9:2013. Programmable controllers - Part 9: Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators (SDCI). 2013. Viitattu 3.10.2019. <https://www.iec.ch/>
- Ifm:n henkilökohtainen tiedonanto. 2019. Cimcorp Oy, Ulvila. Henkilökohtainen tiedonanto 12.9.2019.
- Ifm:n www-sivut. 2019. Viitattu 9.9.2019. <https://www.ifm.com/fi>
- IO-Link Design Guideline. 2018. IO-Link Company. Viitattu 28.8.2019. https://io-link.com/share/Downloads/Planung/IO-Link_Design_Guideline_eng_2018.pdf
- IO-Link System Description – Technology and Application. 2013. IO-Link Company Community. Viitattu 27.8.2019. https://io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link_System_Description_engl_2013.pdf
- IO-Linkin www-sivut. 2019. Viitattu 22.8.2019. <https://io-link.com/en/>
- Leuze electronicsin www-sivut. 2019. Viitattu 8.10.2019.
<https://leuze.com/en/deutschland/index.php>
- Uffelmann, J. Wienzek, P. Jahn, M. 2019. IO-Link: the DNA of industry 4.0. Essen: Vulkan Verlag.