



Projektitoimituksen kustannus- tehokkuus IO-Link-toteutuksella

Aaro Leppäniemi

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2022

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Automaatiotekniikka

LEPPÄNIEMI, AARO

Projektitoimituksen kustannustehokkuus IO-Link-toteutuksella

Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Joulukuu 2022

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mahdollisuutta korvata perinteiset analogiset kenttälaitteet IO-Link-teknologialla. Tarkoituksena oli selvittää uuden järjestelmän kustannukset suunnittelusta käyttöönottoon ja aina koko järjestelmän elinkaaren ajalle. Työn tilaajana toimi Insta Automation Oy, joka on johtava automaatiojärjestelmien kokonaistoimittaja Suomessa.

Taloudellisen kannattavuuden lisäksi työn tavoitteena oli varmistua laitteiston teknisestä kyvykkyydestä analogisten laitteiden korvaajana ja tutkia, onko Teollisuus 4.0:n vaikutuksesta syntyneellä IO-Link-järjestelmällä muita teknisiä etuja. Opinnäytetyössä oli vertailupohjana Insta Automation Oy:n toteuttama projektitoimitus, joka on tehty perinteisillä analogisilla kenttälaitteilla. Vertailuprojekti on elintarviketeollisuuden jäähdytysprosessi, mutta opinnäytetyötä voi soveltaa mihin tahansa teollisuuden prosessiin lähes sellaisenaan.

Opinnäytetyössä saatiin vertailuprojektin mukaisella laitteistolla säästöä laitteiden osalta noin 5 % ja kaapeloinnin osalta 14 %. Suunnittelu- ja asennuskustannuksista ei tehty tarkkaa laskentaa, sillä niiden katsottiin olevan perustellusti samalla tasolla molemmissa järjestelmissä. Kunnossapitokustannusten määrittäminen vaatisi tuloksia todellisen järjestelmän käytöstä pidemmältä ajanjaksolta. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää myös muilla teollisuuden prosesseilla.

Asiasanat: IO-Link, teollisuus 4.0, automaatioprojekti

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Automation Engineering

AARO LEPPÄNIEMI
Cost Efficiency of Project Delivery with IO-Link Implementation

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 1 page
December 2022

The objective of this thesis was to determine if the IO-Link system was cost-effective in an automation project. The aim was to determine whether IO-Link devices could replace analog devices that had been in use for a long time. In addition to financial viability, the thesis explored the technical characteristics of the IO-Link system. The results were obtained by comparing the IO-Link system with a project carried out on analog devices. The thesis was commissioned by Insta Automation Oy. The Reference project was the cooling process in the food industry.

Based on the thesis, the savings for devices was 5%. In the case of cable initiatives, the saving was 14%. No precise calculation of the design and installation costs was made as they could be expected to be at the same level for both systems. Estimating maintenance costs without longer-term data was challenging. The results of the thesis can also be used in other industrial process areas.

Key words: IO-Link, industry 4.0, automation project

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	AUTOMAATIOJÄRJESTELMIEN KEHITYS	7
2.1	Automaatiojärjestelmät.....	7
2.2	Teollisuus 4.0	8
2.3	Älykkäät anturit ja I/O-laitteet	9
2.4	IO-Link	11
2.4.1	IO-Link-järjestelmän toimintaperiaate	11
2.4.2	IO-Link-järjestelmän käyttö ja elinkaari.....	14
3	TARJOUSLASKENTA AUTOMAATIOPROJEKTISSA	16
3.1	Automaatiojärjestelmän elinkaari	16
3.2	Automaatiojärjestelmän kustannukset.....	18
4	VERTAILUKRITEERIT JA KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN ...	23
4.1	Vertailtava projektikohde.....	23
4.2	Laitteistokustannukset.....	24
4.3	Suunnittelu-, asennus-, ja käyttöönottokustannukset.....	24
4.4	Huolto- ja ylläpitokustannukset.....	25
5	IO-LINK-JÄRJESTELMÄN VERTAILU OLEMASSA OLEVAAN JÄRJESTELMÄÄN.....	27
5.1	Kustannukset ja niiden vertailu.....	27
5.1.1	Laitekustannukset.....	29
5.1.2	Kaapelointi.....	31
5.1.3	Suunnittelu ja ohjelmointi.....	32
5.1.4	Parametrointi ja käyttöönotto	33
5.1.5	Elinkaarikustannukset.....	34
5.2	Teknisten vaatimusten täytyminen	34
5.2.1	Perusominaisuuksien vertailu	34
5.2.2	IO-Link-järjestelmän lisäominaisuudet.....	36
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	38
	LÄHTEET	41
	LIITTEET	43
	Liite 1. Laiteluettelot.....	43

ERITYISSANASTO

Big data	Valtavien tietomassojen hallinta ja käsittely
DCS	Hajautettu automaatiojärjestelmä
DIN-kisko	Standardoitu kisko, johon voidaan kiinnittää keskuskomponentteja
ERP-järjestelmä	Toiminnanohjausjärjestelmä
I/O-laite	Rajapinta logiikan ja kenttälaitteiden välissä
IIoT	Teollinen esineiden internet
IO-Link	Standardoitu I/O-teknologia
Kenttälaitte	Automaatiojärjestelmän mittalaite tai toimilaite
Parametrointi	Laitteen alkuarvojen, kuten mittaussuureen asettelu
PI-kaavio	Putkitus- ja instrumentointikaavio
PLC	Ohjelmoitava logiikka
Profinet	Ethernet-standardiin pohjautuva tietoverkko
Teollisuus 4.0	4. teollinen vallankumous

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö käsittelee IO-Link-teknologian mahdollisuutta korvata analogiset I/O-laitteet. IO-Link on Teollisuus 4.0:n myötä tullut teknologia, joka tarjoaa digitaalisen tiedonsiirron ja älykkäille kenttälaitteille. Työn tilaajana toimii Insta Automation Oy, joka halusi lähteä selvittämään IO-Link-järjestelmän käyttöönoton mahdollista kannattavuutta.

Insta Automation Oy on automaatiotratkaisujen kokonaistoimittaja Suomessa. Se toimittaa automaatiojärjestelmät ratkaisuja koko laitteiston elinkaaren ajalle suunnittelusta ja keskusvalmistuksesta alkaen aina koko järjestelmän elinkaaren ajalle. Insta Automation Oy:lle kertyi vuonna 2021 liikevaihtoa yhteensä 72,3 miljoonaa euroa ja henkilöstöä oli vuoden 2021 lopussa 458 henkilöä (Finder n.d.).

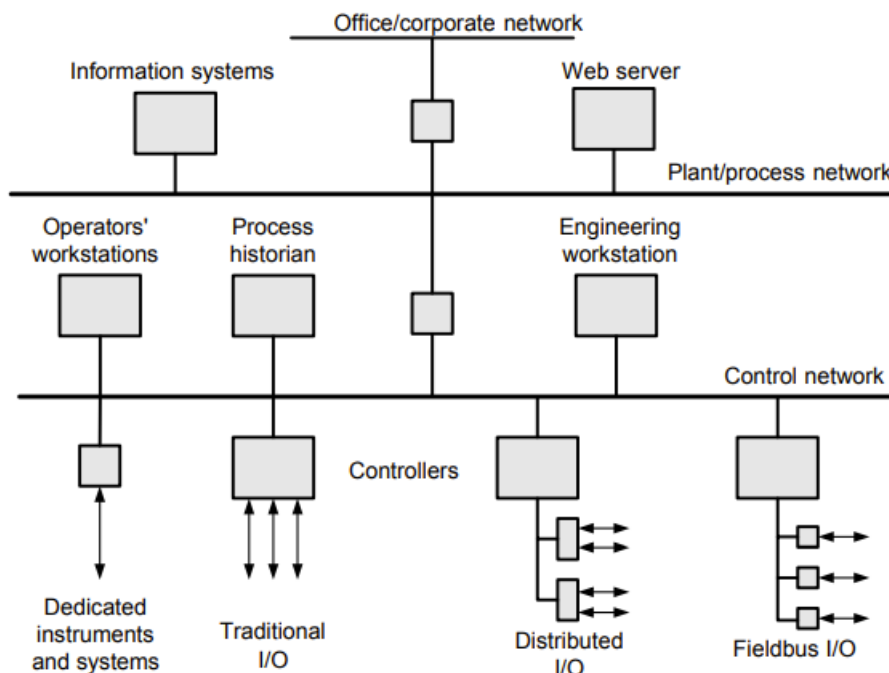
Työn tavoitteena on tutkia IO-Link-järjestelmän kustannustehokkuutta vertailemalla sitä projektiin, jossa on ollut käytössä Siemensin ET200 -sarjan I/O-kortit sekä perinteiset kenttälaitteet. Työn päätavoitteena on selvittää IO-Link-järjestelmän kustannusten muodostumista ja taloudellista kannattavuutta, mutta myös varmistua siitä, että uusi järjestelmä on sopiva myös teknisiltä ominaisuuksiltaan.

Vertailuprojektina toimii Insta Automation Oy:n toteuttama projektitoimitus, joka on elintarviketeollisuuden jäähdytysprosessi. Tällaiselle prosessille on tyypillistä, että prosessissa olevat mittaukset ovat paine-, lämpötila- tai virtausmittauksia, joiden avulla ohjataan ja säädetään toimilaitteita. Opinnäytetyön tuloksia voidaan soveltaa lähes sellaisenaan myös muun tyyppisiin teollisuuden prosesseihin.

2 AUTOMAATIOJÄRJESTELMIEN KEHITYS

2.1 Automaatiojärjestelmät

Teollinen automaatiojärjestelmä voi olla hyvinkin monimutkainen hajautettu automaatiojärjestelmä (DCS), tai vaihtoehtoisesti yksittäisellä ohjelmoitavalla logiikalla (PLC) ohjattava prosessinosa tai jotain näiden väliltä. Yhteistä näille kaikille on, että niihin kytkeytyy kenttälaitteita; mittalaitteita ja toimilaitteita, joiden välityksellä hallittavaa prosessia voidaan ohjata ja säätää. Tämän lisäksi nykyaikainen tehokas liiketoiminta vaatii, automaatiojärjestelmän liittämisen yrityksen ja/tai tehtaan tietojärjestelmäverkkoon, valmistuksen- ja toiminnanohjausjärjestelmään (MES ja ERP), joiden avulla tuotantoa voidaan hallita. (Automaatiosuunnittelun prosessimalli 2007, 10.) Laitteet sijoittuvat automaatiojärjestelmässä kuvion 1 järjestelmäkaavion mukaisesti.

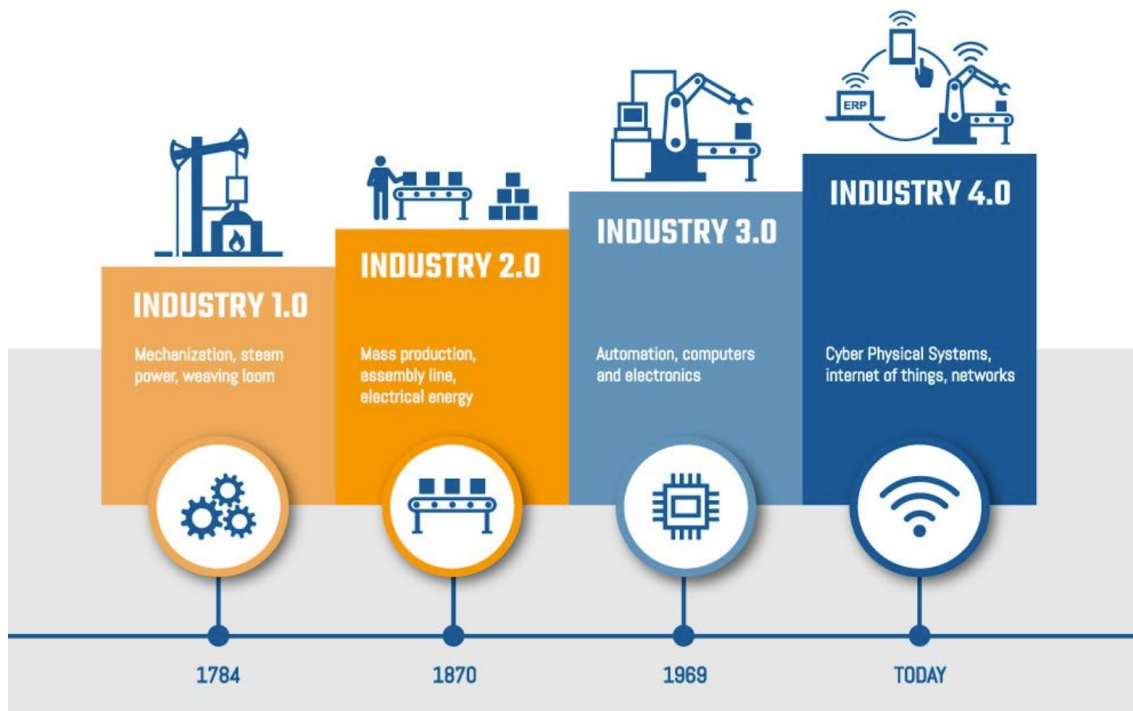


KUVIO 1. Automaatiojärjestelmän järjestelmäkaavio (Tommila, Hirvonen, Jaakkola, Peltoniemi, Peltola, Sierla & Koskinen 2005, 19).

Automaatiojärjestelmässä tulee olla lisäksi hallintapäätteitä, joissa on järjestelmän hallintaa varten luotu visuaalinen käyttöliittymä, tietokoneelle tai käyttöliittymäpaneelille. Tehtaan sisäisen verkon lisäksi automaatiojärjestelmässä on käytössä oma kenttäväyläverkko, jolla voidaan kytkeä edellä mainittuja laitteita. (Tommila ym. 2005, 19.) Usein käytetty kenttäväylä on esimerkiksi Profinet-kenttäväylä.

2.2 Teollisuus 4.0

Teollisuus kehittyy jatkuvasti, mutta suurempia ja merkittävimpiä kehitysaskelaita tapahtuu harvemmin, kuten esimerkiksi sähköenergian valjastaminen teollisuuden käyttöön 1800-luvulla; tällaisia suuria askelaita teollisessa kehityksessä kutsutaan teollisiksi vallankumouksiksi. Kuviossa 2 on esitetty teollisten vallankumousten päätapahtumat. Tällä hetkellä on käynnissä 4. teollinen vallankumous, eli Teollisuus 4.0 (Industry 4.0), joka keskittyy älykkääseen teollisuuteen. Keskeisiä teknologioita Teollisuus 4.0:n ympärillä ovat esimerkiksi: big data, älykkäät anturit ja datanhallintateknologiat. Näiden avulla teollisuuden prosessit ja koneet ovat älykkäämpiä ja ne voivat toimia tehokkaammin ja luotettavammin. Sen avulla tehtaista tulee entistä automatisoituneimpia, jossa koneet voivat keskustella keskenään, tehden enemmän päätöksiä itsenäisesti ja tunnistaa ongelmia ilman ihmisen toiminnan tuomaa epävarmuutta. (Pabbathi 2018, 11.)



KUVIO 2. Teollisuuden kehitys (Inray, 2021).

2.3 Älykkäät anturit ja I/O-laitteet

Laitteita, joiden kanssa automaatiojärjestelmän ohjausyksikkö keskustelee, kutsutaan I/O-laitteiksi (input/output). Esimerkiksi erilaiset mittaustiedot ja kytkintiedot ovat tuloja (input) ja ohjattavien laitteiden kuten moottoreiden, venttiileiden ja releiden vastaanottamat signaalit ovat lähtöjä (output). I/O-yksikkö on PLC:n ja sen ulkopuolisen maailman välissä oleva rajapinta, liittäen ohjattavat toimilaitteet ja mittaukset automaatiojärjestelmään. (Bolton 2015, 17.) Kuvassa 1 on Siemensin valmistama, yleisesti käytössä oleva, automaatiokeskuksen sisälle DIN-kiskoon asennettava I/O-yksikkö, jossa on useampia I/O-kortteja.



KUVA 1. Siemensin ET 200SP -sarjan I/O-yksikkö (Siemens, n.d.).

Kommunikointisignaali laitteiden välillä voi olla diskreettiä, digitaalista tai analogista. Tavallisesti yksittäisille toimilaitteille tiedonsiirtomenetelmänä on ollut yhdensuuntainen analoginen milliampeeriviesti, usein 4–20 mA. (Bolton 2015, 5, 81.)

Älykkäät anturit ovat teollisuudessa yhtenä merkittävimpänä tekijänä, joita tulee Teollisuus 4.0:n myötä (Zaugg 2020). Suurin ero tavallisen anturin ja älykkään anturin välillä on se, että älykkäällä anturilla voidaan siirtää mittaustiedon lisäksi diagnostiikkadataa (Uffermann, Wienzek & Jahn 2019, 11). Perinteistä analogista ja älykästä anturia ei välttämättä erota ulkoisesti toisistaan, kuvassa 2 on älykäs virtausanturi.



KUVA 2. Älykäs virtausanturi (IFM Electronic, n.d.).

Älykkäillä toimilaitteilla on kahdensuuntainen kommunikointi, jolloin ne voidaan parametroida tietokoneohjelmistojen avulla. Tämän vuoksi rikkoutuneen anturin tilalle voidaan vaihtaa uusi anturi ja järjestelemään tallennetut parametrit kirjoitetaan automaattisesti uudelle anturille, säästäten kunnossapitoresursseja. (Uffelmann ym. 2019, 11.)

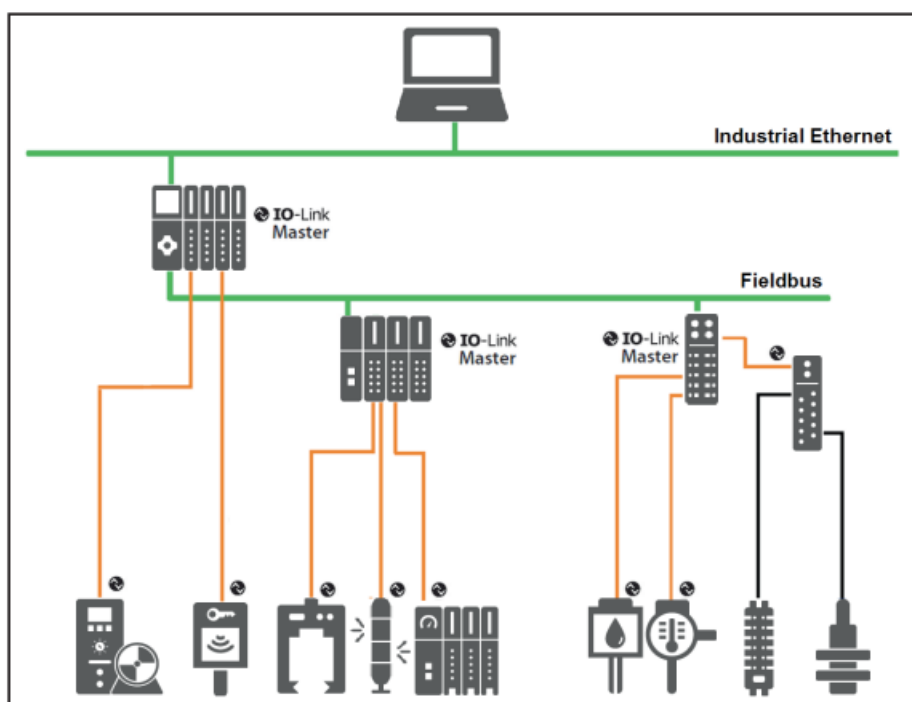
2.4 IO-Link

2.4.1 IO-Link-järjestelmän toimintaperiaate

IO-Link on ensimmäinen kansainvälisesti standardoitu (IEC 61131-9) I/O-tekniologia, jolla kommunikoidaan antureiden ja toimilaitteiden kanssa. Se tunnetaan myös nimellä SDCI (single-drop digital communication interface). (IO-link system description 2018, 2.) Kasvanut mikrokontrollereiden käyttö halvoissa antureissa ja toimilaitteissa, antaa mahdollisuuden käyttää ja lähettää diagnostiikka- ja kon-

figurointitietoja automaatiojärjestelmässä. Lisäksi merkittävänä syynä niiden kehittämiseen on ollut alentuneet kustannukset sekä robustimpi tiedonsiirto tavanomaiseen analogiseen signaalinsiirtoon verrattuna. Useat anturit ja toimilaitteet sisältävät jo valmiiksi mikroprosessorin, jolla voitaisiin pienillä päivityksillä toteuttaa IO-Link-kommunikointi, jolloin laitteista saataisiin paljon enemmän tietoa käyttöön analysointia varten. (Zurawski 2015, 166.)

IO-Link-järjestelmä koostuu master-yksiköistä sekä siihen kytkettävistä IO-Link-kenttälaitteista. Järjestelmän rakenne on kuvattuna kuviossa 3. Master-yksiköt kokoavat usean anturin ja toimilaitteen kommunikointiliikenteen yhteen ja näin toimivat rajapintana kenttälaitteiden ja ohjausjärjestelmän välillä. IO-Link-järjestelmää ei voida verrata kenttäväyliin, koska se toimii pisteestä pisteeseen -yhteydellä. (IO-Link system description 2018, 3.) Koska yhteen master-yksikön porttiin kytketään vain yksi laite, laite ei tarvitse yksilöivää osoitetta, kuten kenttäväylällä toteutetussa järjestelmässä. IO-Link-järjestelmää onkin usein verrattu USB-rajapintaan, jossa samaan tapaan tiedonsiirto ja laitteen käyttöjännite saadaan samasta kaapelista, säästäten kaapelointikustannuksia. (Uffelmann, Wienzek & Jahn 2019, 145 ja 157.)



KUVIO 3. IO-Link-järjestelmäkaavio (IO-Link system description 2018, 4).

IO-Link-laite voi vastaanottaa dataa ohjatakseen jatkuvaa tai diskreettiä automaatioprosessia tai lähettää lukemaansa mittaustietoa automaatiojärjestelmään. Kommunikointi toimii master-yksikön ja siihen liitetyn laitteen välillä pisteestä pisteeseen -kommunikoinnilla, jossa kommunikointi alkaa, kun master-yksikkö lähettää laitteelle kyselyn, johon laite vastaa. Näitä kahta vaihetta yhdessä kutsutaan M-sekvenssiksi. Master-yksiköllä on kaksi loogista kanavaa, jotka toimivat vuoro-suuntaisesti lähettäen dataa syklisesti ja asyklisesti eroteltuna toisistaan. Kuten tavallisestikin tiedonsiirrossa, syklisellä kanavalla siirretään prosessiarvoja, jotka osallistuvat suoraan prosessin ohjaamiseen tai sieltä tiedon lukemiseen. Asyklinen tiedonsiirto toimii aina pyydettyäessä Asyklisellä tiedonsiirrolla siirretään IO-Link-laitteelle esimerkiksi konfigurointeja tai huoltoparametrejä. Lisäksi laitteen tapahtumat lähetetään asyklisesti diagnostiikkakanavaa pitkin. Näitä tapahtumia ovat laitteen viat, varoitukset ja ilmoitukset. (IO-Link Interface and System Specification 2019, 35–36.)

2.4.2 IO-Link-järjestelmän käyttö ja elinkaari

Järjestelmän käyttöönotto tulee aloittaa konfiguroimalla master-yksikkö automaatiojärjestelmään. Esimerkiksi Siemensin Tia Portal -ohjelmistoon tulee master-yksikölle asettaa ohjelmiston vaatimat Profinet-konfiguroinnit, kuten I/O-osoitealueet, jotka ovat määritelty laitteistokohtaisesti. Tämä Profinet-konfigurointi tapahtuu samaan tapaan kuin minkä tahansa muun Profinet-laitteen konfigurointi. (IO-Link System description 2018, 8.)

Ohjelmointia helpottamaan eri laitetoimittajat ovat tehneet valmiita ohjelmaloikoja ja konfigurointitiedostoja yleisimmille PLC-ohjelmointiympäristöille. Näiden avulla laitteiden ohjelmointi ja käyttöönotto on helppoa ja nopeaa.

Järjestelmän parametroidit voidaan tehdä siihen tarkoitettulla eri laitevalmistajien tarjoamilla parametrintiohjelmistoilla tietokoneen avulla, PLC:n kautta tai paikallisesti laitteen ohjauspaneelilta. IO-Link-laitteen rikkoontuessa parametrit ladataan laitteelle master-yksiköllä olevasta parametrien varmuuskopiosta, jolloin laitteen vaihtaminen onnistuu ilman erityisosaamista. Master-yksikön parametrit voi-

daan varmuuskopioida automaatiojärjestelmän PLC-yksikölle, jolloin sieltä voidaan laitteen rikkoutuessa palauttaa master-yksikön omat parametrit, sekä IO-Link-kenttälaitteiden parametrit. Tämän toiminnon yksityiskohdat ovat laitteisto-toimittajista riippuvaisia, joten se pitää ottaa käyttöön aina tapauskohtaisesti. (IO-Link System Description 2018, 15.)

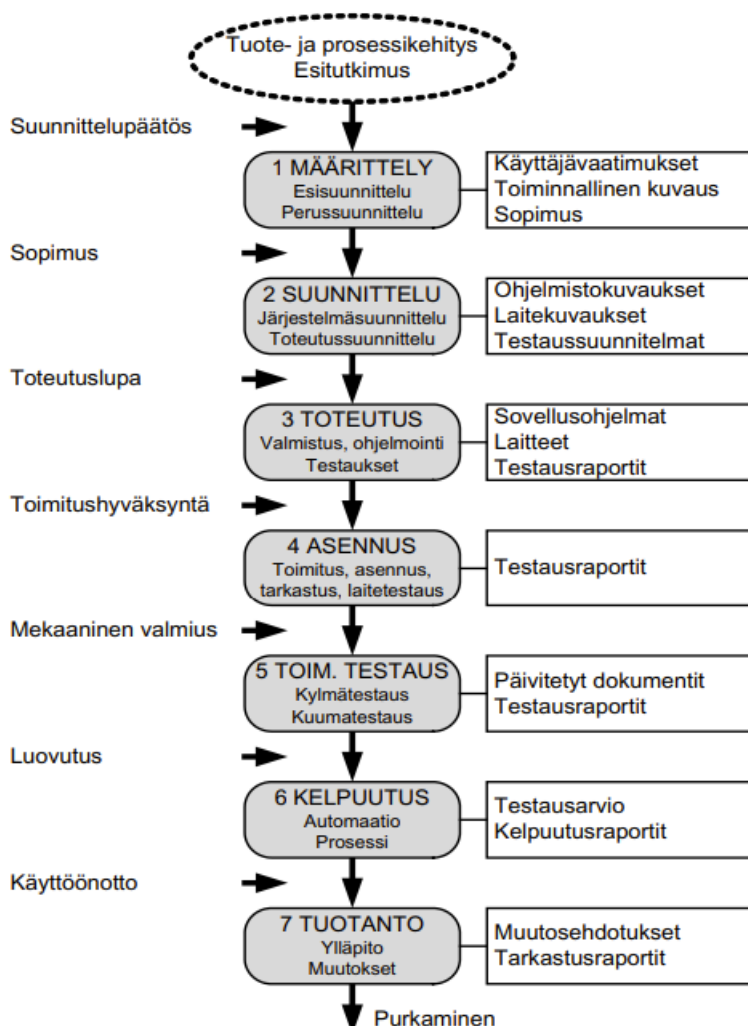
Käynnistettäessä järjestelmää master-yksikkö antaa siihen kytketyille IO-Link-laitteille erityisen herätevirtapulssin. Kommunikointi alkaa, kun master-yksikkö vastaanottaa laitteen lähettämän signaalin. Tämän jälkeen kirjoitetaan laitteille niiden kommunikointiasetukset. Jos laitteella olevat parametrit ja master-yksikölle tallennetut parametrit eroavat toisistaan, laitteen parametrit päällekirjoitetaan master-yksiköllä olevilla parametreilla. Näille laiteparametreille on master-yksikössä varattuna tallennustilaa laitteiden tietojen varmuuskopiointia varten. Kun laitteen parametrit on saatu kirjoitettua, voidaan aloittaa syklinen prosessidatan siirto. (System description 2018, 7.)

3 TARJOUSLASKENTA AUTOMAATIOPROJEKTISSA

3.1 Automaatiojärjestelmän elinkaari

Toimitusprojektia sitoo kaksi yksinkertaista ehtoa: asiakas tilaa projektin, jonka hyödyt kattavat sen kulut, samalla projektin toimittaja toteuttaa projektin taloudellisesti kannattavasti täyttäen asiakkaan toiveet ja vaatimukset (Seppälä 2015, 2).

Tässä opinnäytetyössä käsitellään automaatioprojektia, jonka elinkaari voidaan jakaa seitsemään eri vaiheeseen kuvion 6 mukaisesti.



KUVIO 6. Automaatioprojektin elinkaari (Automaatiosuunnittelun prosessimalli 2007, 16).

Automaatioprojektitoimitus alkaa määrittelyvaiheella, jossa tavoitteena on määrittellä toteutettava projekti tilaajan kanssa niin tarkasti, että toimittaja voi aloittaa sen pohjalta esi- ja perussuunnittelun. Esi- ja perussuunnittelun päätteeksi tilaaja luo investointipäätöksen, jonka jälkeen tavoitteena on luoda sopimus tilaajan toimittajan välille. (Ajo, Hakonen, Harju, Järvi, Kaskes, Lenardic, Niukkanen, Nurminen, Ritala, Tolppanen & Tommila 2001, 32.)

Esisuunnittelun aloitetaan selvittämällä prosessin ja käyttäjäryhmän sille asettamat tarpeet, joiden pohjalta tehdään automaatiojärjestelmän tarvemäärittely. Tarvemäärittelyssä määritellyistä tarpeista karsimalla pyritään toteuttamaan käyttäjävaatimukset mahdollisimman tarkasti. Järjestelmän tarpeet syntyvät toteutettavan laitoksen luonteesta, siitä millaisia tuotteita sillä tuotetaan. Lisäksi on tärkeää ottaa huomioon muita asioita, jotka vaikuttavat järjestelmän vaatimuksiin ja hyötyihin kuten käyttöympäristö, tarvittavat ohjaustoiminnot, käyttäjät, laatu- ja turvallisuustekijät sekä automaatiojärjestelmän kustannukset. Määrittelyvaiheen aikana laaditaan näiden lisäksi kelpoisuussuunnitelma asiakkaan toimesta, jonka avulla voidaan valvoa projektitoimituksen laatua. (Ajo ym. 2001, 34–40.)

Esisuunnittelun jälkeisessä vaiheessa perussuunnitteluvaiheessa luodaan tarkempi kuvaus automaatiojärjestelmän toiminnoista ja toteutusperiaatteista. Perussuunnittelu ja koko määrittelyvaihe päättyy, kun toimittaja antaa sellaisen tarjouksen, jonka tilaaja hyväksyy ja saadaan aikaan toimitussopimus. Tarjouksen liitteenä toimittaja jättää tavallisesti toimintakuvauksen sekä projekti- ja laatusuunnitelmat. (Asmala, Koskinen, Koskela, Mätäsniemi, Soini, Strömman, Tommila & Valkonen 2005, 38.)

Määrittelyvaiheen jälkeen, kun toimitussopimus on tehty asiakkaan ja toimittajan välille, voi järjestelmän toimittaja aloittaa suunnitteluvaiheen. Tämän vaiheen lopputuloksena syntyy kattava määrä dokumentteja, kuten yksityiskohtaiset ohjelmistojen ja laitteistojen suunnittelukuvaukset. Kun suunnitteludokumentaatio on hyväksytty ja niille on saatu toteutuslupa, voidaan näiden dokumentaatioiden pohjalta aloittaa järjestelmätoimituksen valmistus, eli toteutusvaihe. Sen aikana toimittajaosapuoli hankkii, testaa ja kokoaa suunnitteluvaiheen määrittelemän järjestelmäkokonaisuuden. Näiden lisäksi aloitetaan ohjelmistosuunnittelu. Kun laitteistot on saatu koottua ja ohjelmistot toteutettua, voidaan tehdä järjestelmälle

tehdastestaus (FAT, Factory Acceptance Testing) asiakkaan kanssa, valmistajan tai toimittajan tiloissa. FAT-testauksessa varmistetaan, että laitteisto toimii asiakkaan haluamalla tavalla, vaatimusten mukaisesti. Hyväksytyt tehdastesti on samalla lupa järjestelmän toimitukselle. (Ajo ym. 2001, 48–56).

Hyväksytyt tehdastestit jälkeen ja toimitusluvan saatuaan, toimittaja voi aloittaa automaatiojärjestelmän komponenttien ja ohjelmistojen kuljettamisen paikalleen asiakkaan tiloihin, niiden lopullisia asennuksia varten. Asennuksien jälkeen ennen varsinaiseen tuotantoon siirtymistä, pitää järjestelmälle tehdä toiminnalliset testaukset, niin kutsutut kylmä- ja kuumatestaukset. Näitä kutsutaan myös SAT-testeiksi (Site Acceptance Test). Kylmätestauksessa järjestelmän turvallisuutta testataan mahdollisimman todellisissa olosuhteissa varmistuen testauksen turvallisuuden, esimerkiksi käyttämällä putkistossa vettä oikeiden prosessinesteiden sijasta. Automaatiojärjestelmä testataan vielä kokonaisuutena todellisissa toimintaolosuhteissa, niin kutsutussa kuumatestauksessa. Näiden testauksien jälkeen on varmistuttu siitä, että järjestelmä toimii toimintakuvausten mukaisesti ja turvallisesti, ja on valmiina luovutettavaksi asiakkaalle tuotantokäyttöön. (Ajo ym. 2001, 59–64, 71–75.)

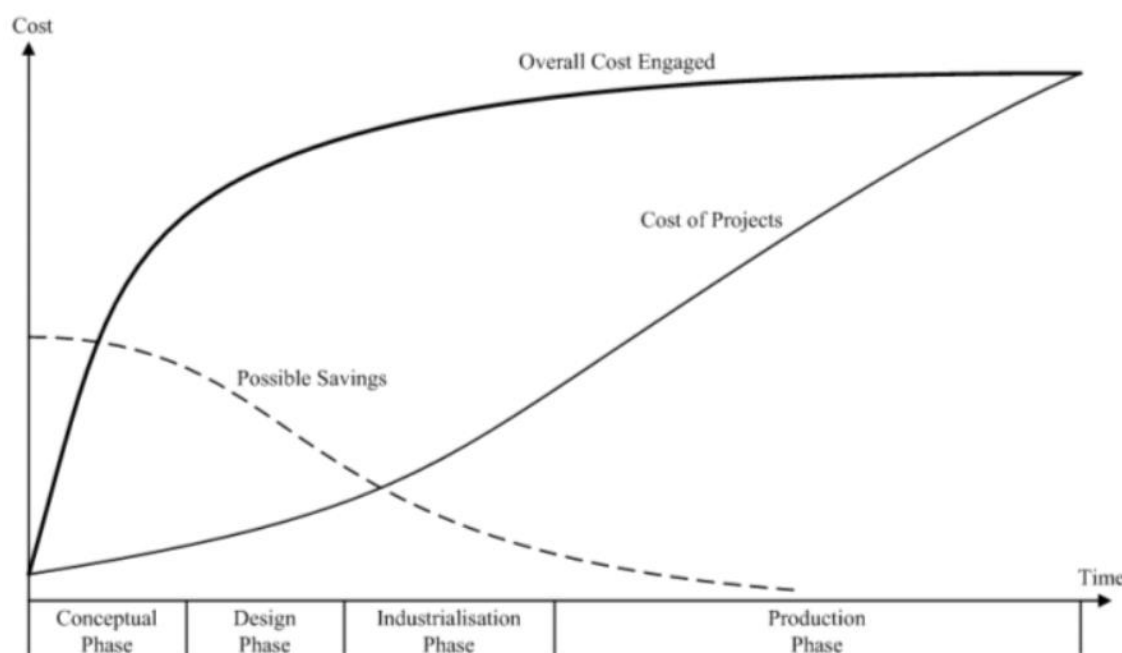
3.2 Automaatiojärjestelmän kustannukset

Alati kiristyvillä markkinoilla on tärkeää, että järjestelmätoimittajan tarjouslaskenta on toimivaa ja luotettavaa. Yritys ei voi joutua tilanteeseen, jossa se saa vain toteutettavakseen ne hankkeet, jotka on laskettu väärin alentaen hintaa jopa katastrofaalisesti. (Autio & Saastamoinen 2014, 3.) Ennen tarjouslaskennan aloittamista tulee varmistua siitä, että yrityksellä on projektin toimittamiseen vaadittavat resurssit.

Urakan kokonaiskustannukset koostuvat tarvikkeista ja työstä, jotka tilaaja ostaa. Tarjouksen kustannusten määrittäminen aloitetaan laskemalla ja arvioimalla tarvittavien laitteiden ja kaapeleiden määrät sekä tarvittavat työtunnit. (Autio & Saastamoinen 2014, 28.) Projektitoimituksen taloudellisesti edullista läpivientiä helpottaa projektille tehtävä kustannusohjaus, joka sisältää kustannusarvioinnin,

projektin budjetoinnin, aikataulun ja kustannusten optimoinnin, kassavirtalaskelman, kustannusraportoinnin, ohjauspäätökset sekä jälkilaskentaa. Kustannusohjausjärjestelmän avulla tulisi tuottaa dokumentaatiota, joka kuvaa työn edistymistä taloudellisesti ja ajallisesti, korostaa sen päätapahtumia ja auttaa ongelmakohtien tunnistamisessa sekä kustannuskehityksen ennakoimisessa. Jotta kustannusohjaus olisi toimiva, sen tulisi keskittyä projektin alkuvaiheisiin, sillä projektin suunnitteluvaiheen aikana tulisi tehdä suurin osa sen kustannuksiin vaikuttavista päätöksistä. On siis hyvin tärkeää kehittää myös suunnittelutyötä tekevien työntekijöiden taloudellista ajattelua projektien kustannustehokkaaseen läpiviintiin. (Pelin 2011, 162–163.)

Projektitoimituksen elinkaarikustannusten muodostumista voidaan yleisesti esittää kuvion 7 mukaisesti. Kuviosta selviää se, että projektitoimituksen suurimmat kustannukset muodostuvat projektin alkuvaiheiden aikana. Juuri tästä syystä myös suurimmat säästöt on mahdollista saada projektin alkuvaiheen aikana.



KUVIO 7. Projektin elinkaarikustannusten muodostuminen (Mauger, Schwartz, Dantan & Harbouche, 2010. 310).

Projektitoimituksen lopullinen sopimushinta koostuu useista tekijöistä, jotka ovat kuvattuna taulukkoon 1. Tämä sopimushinnan muodostumismalli soveltuu projekteille, joissa on käytössä kokonaisurakkasopimus. (Pelin 2011, 164–165.)

TAULUKKO 1. Sopimushinnan muodostuminen (Pelin 2011, 165).

PROJEKTIN VÄLITTÖMÄT KUSTANNUKSET = PROJEKTIBUDJETTI	TYÖKUSTANNUKSET
	PALKAT
	LAKISÄÄTEISET SIVUKUST.
	LAITEHANKINNAT
	MATERIAALIT
	ALIHANKINNAT
	MATKAT, EDUSTUS
	RAHOITUSKULUT
OSASTON	TUOTEKEHITYS
YLEISKUSTANNUKSET	KIINTEISTÖKUSTANNUKSET
	HALLINTO
	PÄÄOMA
YRITYKSEN	HALLINTO
YLEISKUSTANNUKSET	KIINTEISTÖT
	PÄÄOMA
VOITTOTAVOITE	NETTOTULOSTAVOITE
ALV	ARVONLISÄVERO
	=PROJEKTIN SOPIMUSHINTA

Projektitoimituksen kustannukseen vaikuttaa myös merkittävästi lopputuotteen tai palvelun laatu. Laatumäärä tulee olla sellaista, joka tyydyttää asiakkaan vaatimukset sekä on sopimuksen mukaisesti tehty. Lisäkustannuksia voi aiheuttaa sekä liian korkea että liian matala laatu. (Ajo ym. 2001, 5.)

Toinen usein käytetty sopimusmalli on laskutustyö, jossa toimittaja laskuttaa sopimuksen mukaisella tuntiveloitushinnalla. Tämä mallin etuna on sen nopea käynnistyminen, sillä ennen projektin aloittamista ei tarvitse sopia tarkasti projektin määrittelyistä. Tällainen malli soveltuu etenkin projekteihin, joiden tarkka työmäärälaskenta olisi suuren työmäärän takana tai, jos projekti on luonteeltaan sellainen, että sen määrittelyt ja sisältö jatkuvasti muuttuvat. Verrattuna kokonaisurakkaan, voi tuntiveloituksella tehtävä työ olla tilaajalle vaikeampi kilpailuttaa ja

lisäksi sen lopullinen kustannus voi olla suurempi. Toimittajan näkökulmasta laskutustyö on riskitöntä, mutta yleisesti myös pienempikatteista. (Pelin 2011, 165.)

Kustannusarviointi voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: alustava, perus- ja lopullinen kustannusarvio. Lopullinen kustannusarvio tyypillisesti tehdään vasta kun suurin osa suunnitelmista on jo saatu tehtyä, mutta pienemmissä projekteissa voidaan tehdä lopullinen kustannusarvio suoraan. Lopullisen kustannusarvion tarkkuus pyritään saamaan 3–8 % haarukkaan. Teollisuuslaitoksissa kustannusarviointin pohjana on tarjoukset laitteiden ja koneiden kustannuksista, joiden tarve voidaan selvittää tarjousdokumentaation, kuten putkitus- ja instrumentointikaavion eli PI-kaavion avulla. Yritykset usein myös tekevät useampia samankaltaisia projekteja, jolloin edellisten projektien toteutuneet kustannukset voivat toimia tärkeänä pohjana kustannuslaskelman tekemisessä. Kustannuslaskelma yleensä ei sellaisenaan riitä yrityksen kustannusten valvontaan ja kassavirran seuraamiseen, vaan sen lisäksi tarvitaan aikaan sidottu projektibudjetti. Siinä missä kustannusarvio on tyypillisesti taulukkomainen laskelma projektin kustannuksista, on budjetti sen sijaan aikaan sidottu taloudellinen toimintasuunnitelma. Tavallisesti budjetista selviää vain projektin kulut. (Pelin 2011, 166–167.)

Projektitoimituksiin liittyy aina myös riskejä, jotka tulee tunnistaa ja arvioida. Riskeillä on aina jokin todennäköisyys, jolla se toteutuu ja toteutuneen riskin vaikutus. Riskienhallinnan avulla riskeihin voidaan vaikuttaa jo ennen niiden syntymistä. Vaikka yleisesti projektitoimituksen riskit ovat toteutuessaan epäsuotuisia, niin riski voi olla myös suotuisa toteutuessaan. Projektien riskityyppejä voidaan jakaa esimerkiksi seuraavasti: puhtaat riskit, liiketoimintariskit, rahoitusriskit ja

alueelliset riskit. Puhtailla riskeillä tarkoitetaan epäsuotuisia tapahtumia kuten onnettomuuksia. (Artto, Martinsalo, Kujala 2006, 195–199.)

Riskien suuruuteen vaikuttaa riskien kaksi ulottuvuutta, jotka ovat riskin todennäköisyys ja vaikutus. Riskien suuruutta voidaan yksinkertaistetusti määrittää kertomalla nämä kaksi ulottuvuutta keskenään, taulukon 2 mukaisesti.

TAULUKKO 2. Puhtaiden riskien suuruus eri tapahtumilla (Artto ym. 2006, 199).

Rsikin suuruus	Tapahtuman epäsuotuisa vaikutus	Tapahtuman todennäköisyys
Pieni	Pieni	Pieni
Keskinkertainen	Pieni	Suuri
Keskinkertainen	Suuri	Pieni
Suuri	Suuri	Suuri

4 VERTAILUKRITEERIT JA KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN

4.1 Vertailtava projektikohde

Työn tavoitteena on selvittää, onko IO-Link-järjestelmä teknisesti toimiva ja taloudellisesti kannattava järjestelmä, jolla voisi korvata perinteiset I/O-kortit. Työssä otetaan huomioon järjestelmän käyttöönottoon liittyviä kustannuksia, mutta myös pyritään arvioimaan järjestelmän ylläpitoon ja huoltoon liittyviä etuja ja haasteita, koko elinkaaren ajalla. Näitä asioita vertaillaan projektiin, jossa on perinteiset I/O-kortit sekä myös tarkastellaan, kuinka hyvin järjestelmätoimittajan antamat kustannussäästöt ja asennusaikasäästöt toteutuvat malliprojektissa.

Opinnäytetyössä vertailuprojektina on teollisen mittakaavan jäähdytysprosessi, jossa jäähdytetään vettä elintarviketeollisuuden tarpeeseen. Prosessissa on kompressorikoneikot, jotka kierrättävät ammoniakkiliuosta jäähdyttäen lämmönvaihtiminen välityksellä jäävettä jäävesisiilossa. Tällaiselle prosessille on tyypillistä, että siellä on monia virtaus- paine- ja lämpötilamittauksia, joiden avulla järjestelmän toimintaa valvotaan ja säädetään. Lisäksi järjestelmässä on joitain ohjattavia laitteita, kuten venttiileitä sekä pumppuja. Pumpuista osa on taajuusmuuttajaohjattuja, jolloin niille tulee ohjaus kenttäväylän kautta. Pääprosessin lisäksi samaan automaatiojärjestelmään on kytkettynä konehuoneen ilmanvaihdon ohjaukset.

Kyseisen järjestelmän I/O-rajapinta on tehty Siemensin ET200 -sarjan I/O-laitteilla ja perinteisillä analogisilla kenttälaitteilla. Järjestelmään on tarjottu taulukon 3 mukaisia I/O-kortteja. (Insta Automation Oy 2022, Tarjous.)

TAULUKKO 3. Projektin I/O-pisteiden määrät (Insta Automation Oy 2022, Tarjous).

I/O-korttityyppi	Käytössä	Varalla	Yhteensä
Digitaalisia tuloja (DI)	44	20	64
Digitaalisia lähtöjä (DO)	36	12	48
Analogisia tuloja (AI)	32	8	40
Analogisia lähtöjä (AO)	1	3	4

Järjestelmään on otettu varalle I/O-liityntöjä, jos tulevaisuudessa tulee tarvetta lisätä kenttälaitteita. Tämä tulee ottaa myös huomioon, kun tehdään laskelmia IO-Link-laitteiden ja liityntöjen määrille. Kaikki I/O-kortit sijaitsevat yhdessä automaatiokeskuksessa, eli käytössä ei ole erillistä hajautuskeskusta. (Insta Automation Oy 2022, Tarjous.)

4.2 Laitteistokustannukset

Laitteistokustannuksia määrittäessä vertailujärjestelmässä oleville kenttälaitteille tulee löytää vastineet, jotka käyttävät IO-Link-kommunikointia. Laittevalinnoissa pyritään löytämään vastaavilla ominaisuuksilla olevat IO-Link-laitteet kustannusvertailun helpottamiseksi. Verraten suppean IO-Link-laittevalikoiman vuoksi kaikkia laitteita ei voida korvata IO-Link-laitteilla, jolloin tällaiset laitteet voidaan jättää ennalleen ja niiden lähettämä analoginen signaali muunnetaan IO-Link-järjestelmään sopivaksi. Lisäksi järjestelmään valitaan tarvittavat master-yksiköt sekä Profinet-kytkimet automaatiojärjestelmän kenttäväylään liittämistä varten. Laitteistokustannukset sisältävät lisäksi laitteiden vaatimat kytkentäkaapelit sekä automaatiokeskuksen ja sen valmistamisen.

4.3 Suunnittelu-, asennus-, ja käyttöönottokustannukset

Asennuskustannusten määrittämiseen käytetään apuna Insta Automation Oy:n tekemää tarjousta, joka on tehty IO-Link-järjestelmällä. Asennuskustannuksiin otetaan huomioon pääosin sähköiset kytkennät, sillä kenttälaitteiden mekaaninen asennus on yhdenvertaista analogisilla kenttälaitteilla sekä IO-Link-kenttälaitteilla. Asennuskustannukset lasketaan tekemällä kaapeliluettelo, jonka jokaiselle kaapelille annetaan kustannusarvio, kuinka paljon tarvitaan aikaa sen kaapelointiin ja kytkemiseen, sekä kuinka paljon tarvittavat kaapelit maksavat. Käyttöönottokustannuksiin sisältyy asennuksen lisäksi laitteiston ohjelmallinen käyttöönotto sekä laitteiden parametointi.

4.4 Huolto- ja ylläpitokustannukset

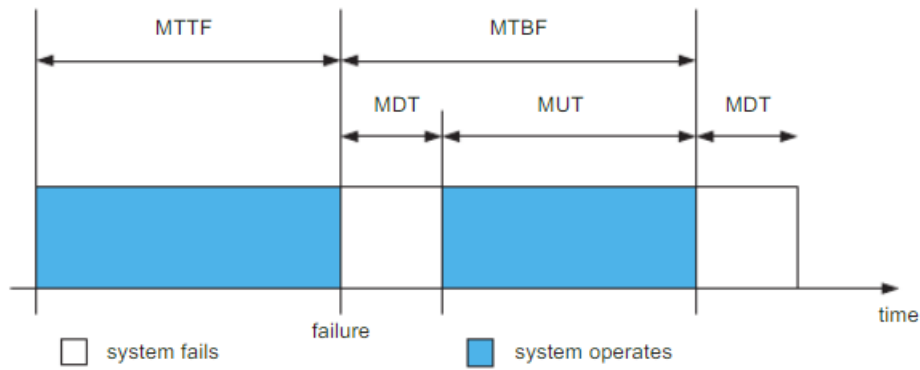
Huolto- ja ylläpitokustannuksien vertailussa pyritään selvittämään miten kustannukset muodostuvat järjestelmän tuotantovaiheen aikana. Varsinaiset kenttälaitteiden ylläpitokustannukset muodostuvat rikkoutuneiden laitteiden hinnasta ja niiden vaihtamiseen kuluva ajasta. Näiden lisäksi on hyvä ottaa myös huomioon mahdolliset laiterikosta johtuvat tehtaan tuotantoseisakit, joiden rinnalla laiterikojen suorat taloudelliset vaikutukset jäävät usein hyvin pieniksi. Tarkasteltavan prosessin suunnitellun ja toteutuneen käynnissä oloajan perusteella voidaan laskea yleisesti käytetty tunnusluku, käyttöaste. Käyttöaste kuvaa prosessin käytettävyyttä, kaavan 1 mukaisesti. (SFS-EN 1534:2019 + A1:2022 en, 12.)

$$\text{Käyttöaste} = \frac{\text{toteutunut tuotantoaika}}{\text{suunniteltu tuotantoaika}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Prosessin tuotantomäärä ja käyttöaste ovat keskenään suoraan korrelaatiossa, jolloin suurella käyttöasteella saadaan prosessilla tuotettua enemmän. Ajoissa tehdyllä ehkäisevällä kunnossapidolla on merkittävä positiivinen vaikutus käyttöasteeseen. Toinen kunnossapidon ja tuotannonohjauksen apuna käytetty yleinen tunnusluku on prosessin vikaantumista kuvaava tunnusluku, vikaantumisaste tai sen käänteisluku, vikaantumisväli (MTBF), joka kuvaa kuinka usein tarkasteltava kohde vikaantuu uudelleen. MTBF:n yksikkönä voi olla esimerkiksi tunnit tai vuodet. (Hilt, Járó, Bakos, 2015, 74.) Vikaantumisväli voidaan laskea kaavan 2 mukaisesti (SFS-EN 1534:2019 + A1:2022, 31).

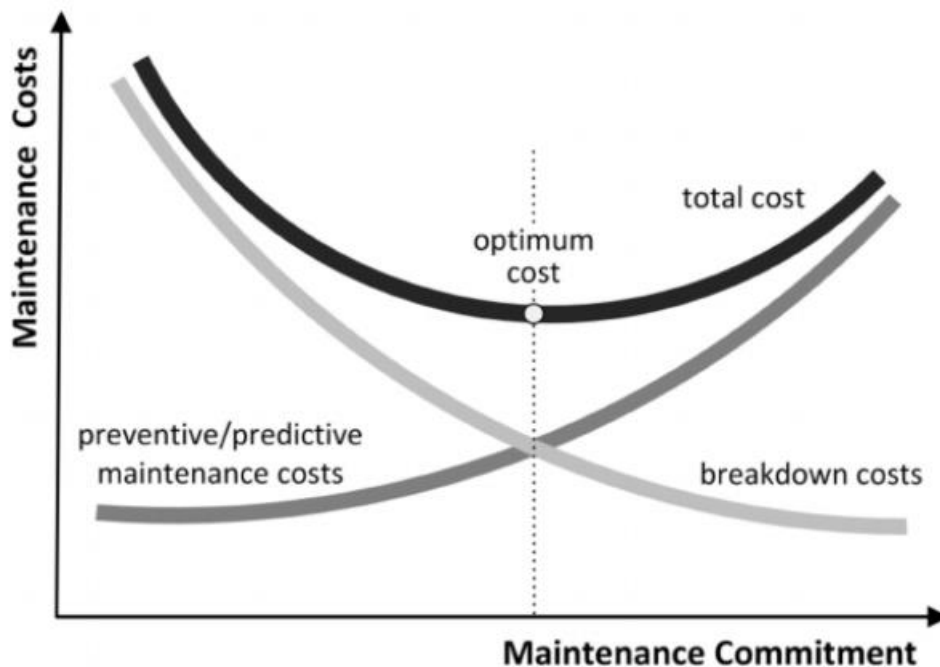
$$MTBF = \frac{\text{kokonaisaika}}{\text{häiriöiden lukumäärä}} \quad (2)$$

Näiden lisäksi voidaan käyttää muitakin tunnuslukuja kuten MTTF (Mean Time to Failure), jota myös IFM Electronic käyttää omille IO-Link-laitteilleen, jonka laitteita käytetään tämän opinnäytetyön kustannusten vertailussa. MTTF-tunnusluku kuvaa yleensä sellaisten laitteiden vikaantumisaikaa, jota ei voida korjata. (Hilt ym. 2015, 74.) Edellä mainittuja tunnuslukuja on kuvattu kuviossa 8.



KUVIO 8. Kunnossapidon tunnuslukuja kuvattuna aikajatkuvana kuvaajana (Hilt ym. 2015, 74).

Usein laitteiston todellisia vikaantumiskäyttäytymisiä voidaan tutkia, kun on saatu dataa niiden toiminnasta vastaavista olemassa olevista järjestelmistä. Järjestelmän kunnossapidolle tulisi antaa sellaiset resurssit, että ennakoivalla huollolla voidaan saavuttaa optimaalinen laitteiston tuotantoaika. Käytetyt huoltoresurssit eivät kuitenkaan saa ylittää sillä saatavia säästöjä. Kuvio 9 voidaan tulkita huoltokustannusten ja säästöjen käyttäytymistä.



KUVIO 9. Huoltokustannusten vaikutus laitoksen seisakkikustannuksiin. (Netto, Melani, Murad, Michalski, Martha de Souza, & Nabeta 2020, 1).

5 IO-LINK-JÄRJESTELMÄN VERTAILU OLEMASSA OLEVAAN JÄRJESTELMÄÄN

5.1 Kustannukset ja niiden vertailu

Järjestelmäkustannukset koostuvat projektin kokonaiskustannuksista, ottaen huomioon kaikki vaiheet suunnittelusta käyttöönottoon sekä laitteistoista muodostuvat kustannukset. Kaikkien laitteiden ja kaapeleiden hinnoitteluun on käytetty listahintoja, jolloin eri toimittajien tarjoamat alennusprosentit eivät vaikuta tuloksiin.

IO-Link-laitteiden järjestelmätoimittajaksi valittiin IFM Electronic -laitetoimittajan valmistamat IO-Link-laitteet niiden kattavan tuotevalikoiman takia. Kyseinen tuotevalmistaja on tehnyt pienen esimerkkiprojektin, jossa on kartoitettu vastaavasti kustannuseroja, IO-Link-laitteiden sekä Siemensin analogisten mittausten välillä. Nämä kustannuslaskelmat ovat avattuna kuviossa 10.

Before IO-Link:

1 Control Cabinet (needed anyway) =	€ -
1 ET200 (head station) =	€180
1 Card of 4 AI =	€120
1 Card of 8 DI =	€ 40
8 hours to do the wiring & automation test (50 Euros per hour)	€400
Total Costs HW + Installation	€740

Using IO-Link:

1 IO-Link Master AL1121 =	€200
2.5 hours to do the wiring & automation test (50 Euros per hour)	€125
Total Costs HW + Installation	€325

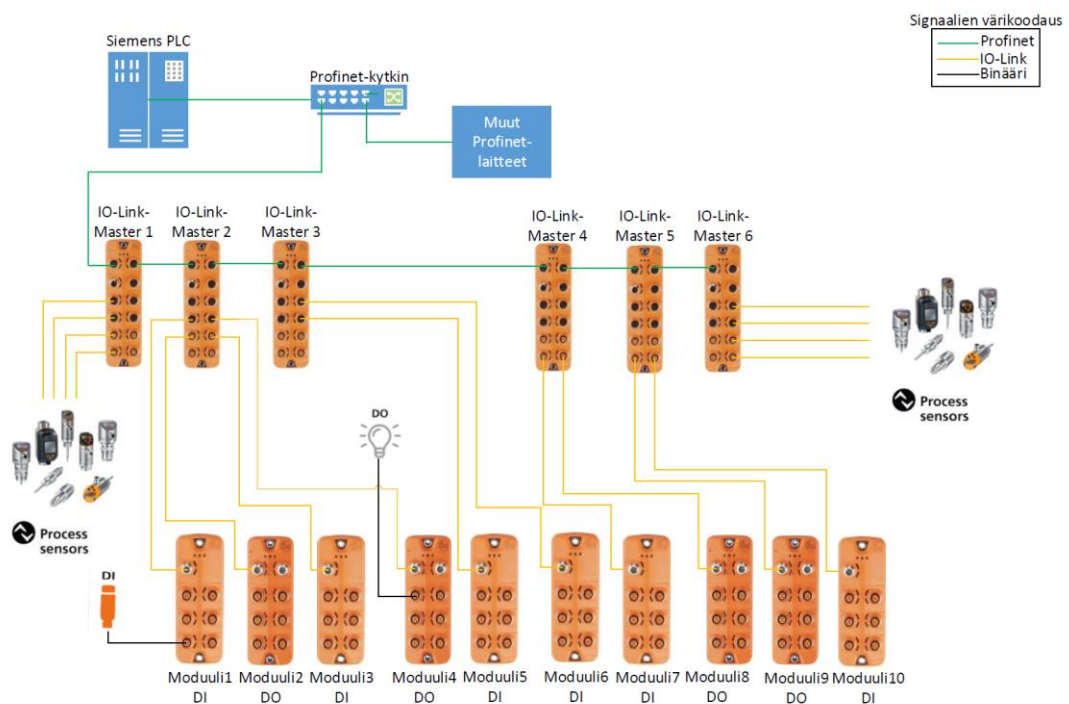
Savings with ifm's IO-Link:



KUVIO 10. Laitetoimittajan tekemät kustannusvertailut (IFM Electronic 2022, Digital communication from sensor to cloud.)

Tämä laitetoimittajan antama kustannuslaskelma toimii hyvänä vertailupohjana opinnäytetyön kustannusarvioille. Laitetoimittajan arvio on, että mallina olevan pienen projektin kokonaissästö olisi 56 %. Tätä laskelmaa tosin kannattaa tarkastella hieman kriittisesti laitetoimittajan omat intressit huomioiden.

IO-Link-laitteiston kokonaiskuvaa havainnollistamaan tehtiin kuvion 11 mukainen kaavio verkkotopologiasta. Verkkotopologiasta selviää automaatiojärjestelmän IO-Link-laitteet ja muut pääkomponentit sekä niiden välinen kytkentä.



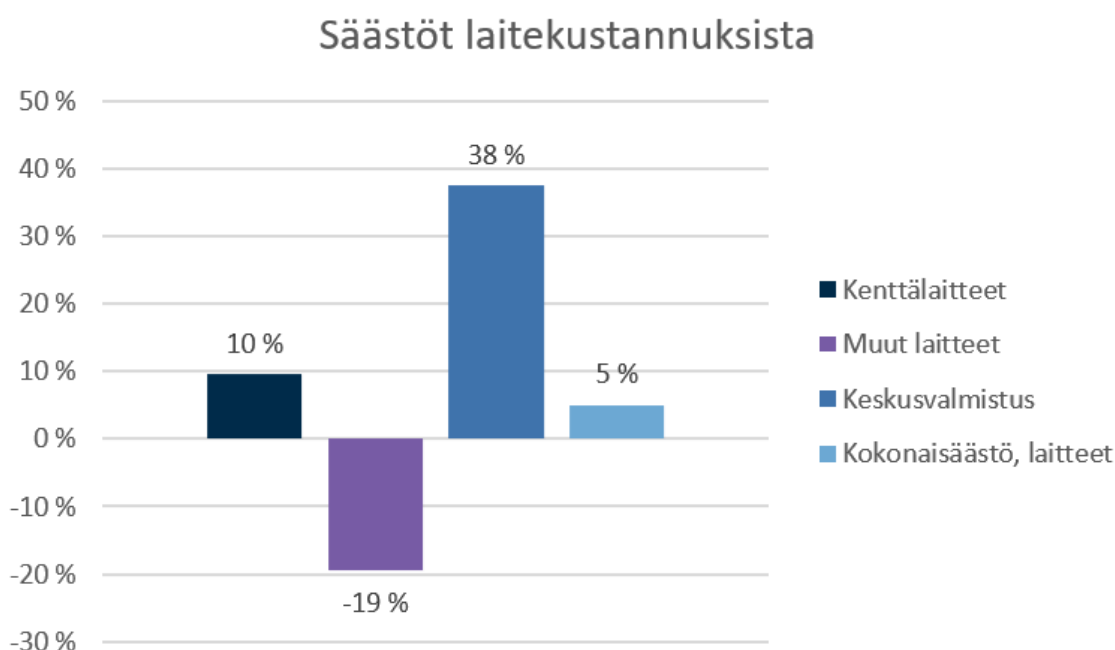
KUVIO 11. IO-Link-järjestelmän verkkotopologia.

Kuvassa master-yksiköiden, moduuleiden, logiikan ja kytkimen määrät vastaavat todellisuutta, mutta antureita ja toimilaitteita ei ole niiden suuren määrän vuoksi piirretty kuvaan. IO-Link-järjestelmä koostui kuudesta master-yksiköstä sekä yhteensä kymmenestä DI- tai DQ-moduulista.

5.1.1 Laitekustannukset

Laitteista koostuvat kustannukset ovat jaoteltuna seuraaviin alakategorioihin: kenttälaitteet, muut laitteet ja keskusvalmistus. Kategoria ”muut laitteet” sisältää esimerkiksi I/O-laitteet, kuten master-yksiköt ja IO-Link-moduulit sekä Profinet-kytkimen. Tarkemmat laiteluettelot löytyvät liitteestä 1.

Laitekustannusten säästöt on ilmaistu prosentuaalisesti kuviossa 12, edellä mainittujen alakategorioiden mukaisesti.



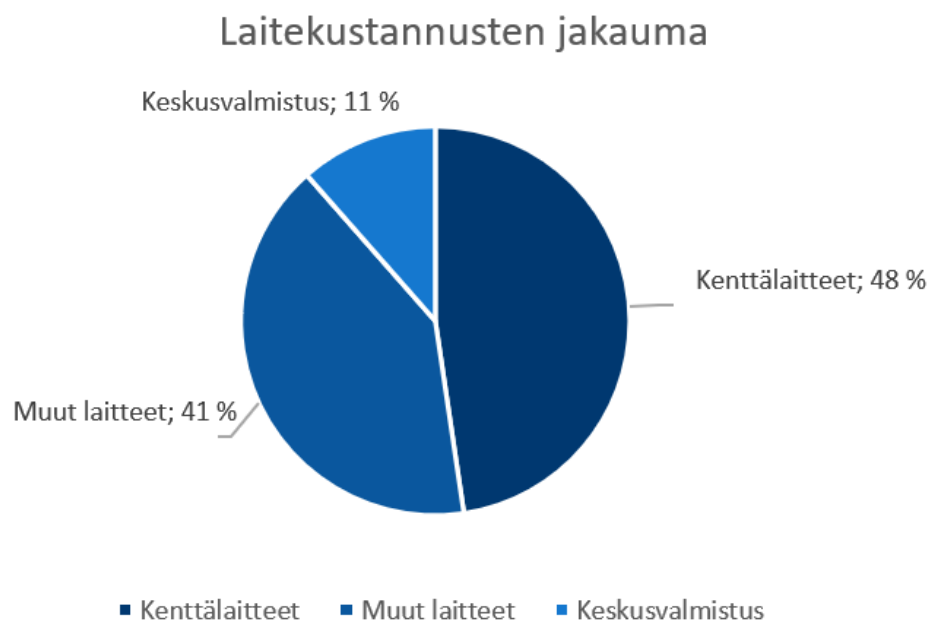
KUVIO 12. Laitekustannusten säästöt kategorioittain.

Laitekustannusten osalta säästöä saatiin keskusvalmistuksesta ja kenttälaitteista. Kategorian ”muut laitteet” kustannukset kasvoivat 19 %, mutta kokonaiskustannukset laitteiden osalta laskivat 5 %. Kenttälaitteiden kustannusten aleneminen selittyy pitkälti sillä, että niiden määrää väheni seitsemällä laitteella (18 %), koska joitain vierekkäisiä mittauksia voitiin tehdä yhdellä anturilla. Useamman suureen mittaavat IO-Link-laitteet ovat hieman kalliimpia, jolloin kustannussäästö jäi 10 %:iin. Kenttälaitteiden osalta säästö olisi vieläkin suurempi, jos otettaisiin huomioon laitteiden mekaaniseen asentamiseen kuluva aika, sen voisi olettaa olevan suoraan verrannollinen vähenevän laitemäärän kanssa.

Keskusvalmistuksesta saatiin prosentuaalisesti suurimmat säästöt, sillä vertailuprojektissa olevat I/O-kortit sijaitsivat keskuksessa, toisin kuin master-yksiköt, jotka sijoitettiin keskuksen ulkopuolelle, kentälle lähelle toimilaitteita. Tämä mahdollistaa sen, että keskuksen sisälle ei enää tarvitse varata tilaa I/O-korteille, eikä myöskään niiden käyttämille riviliittimille. Tämän vuoksi voidaan valita mitoiltaan pienempi keskus sekä sen kokoamisen työaika jää huomattavasti pienemmäksi. Nämä tekijät yhdessä vaikuttavat myönteisesti IO-Link-järjestelmän keskusvalmistuksen kustannuksiin. Vähentyneet kustannukset keskusvalmistuksessa kasvattaa kaapeloinnin tarvetta kentällä.

Muiden laitteiden osalta kustannuseroa kasvattaa verraten korkea master-yksiköiden ja moduuleiden hinta. Lisäksi samaan kategoriaan kuuluu IO-Link-signaaliuuntimet, joiden avulla voitiin kytkeä analogisia toimilaitteita master-yksiköihin.

Laitekustannusten suorat prosentuaalisten säästöjen lisäksi tulee tarkastella kulujen muodostumisen jakaumaa (kuvio 13). Jakaumasta selviää, miten suuri vaikutus milläkin kategorialla on kokonaissäästöihin.



KUVIO 13. Laitekustannusten muodostuminen.

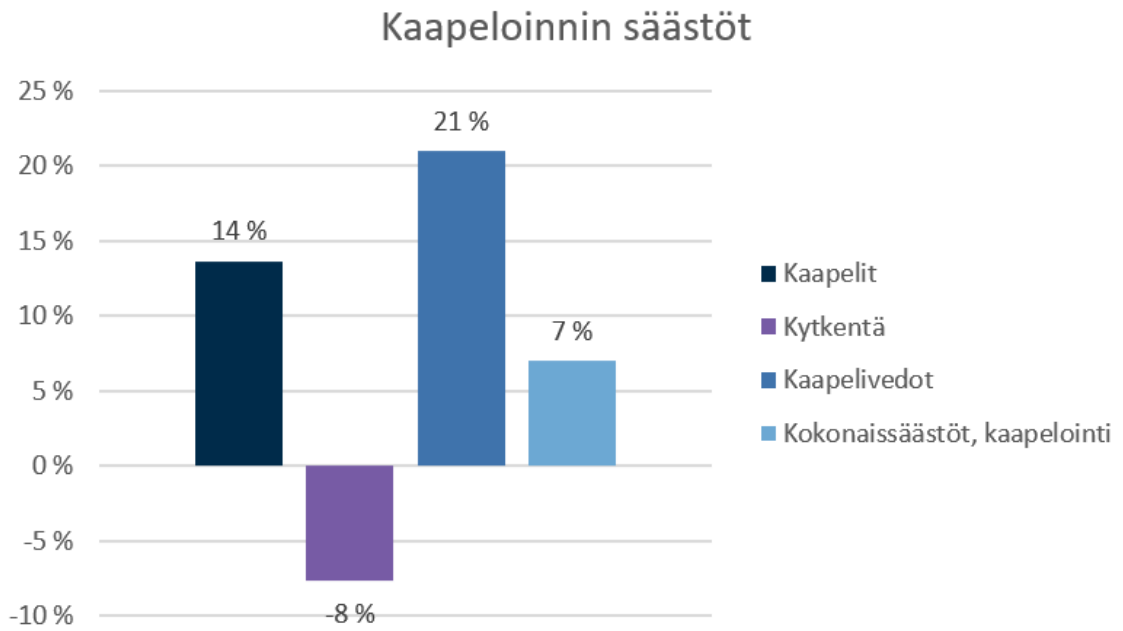
Laitekustannuksissa kenttälaitteiden osuus on suurin, jolloin siitä saatu 10 % säästö on merkittävä osa kokonaissäästöä. Skaalattaessa vastaavaa järjestelmätoimitusta suuremmalle projektille, kenttälaitteiden tuoma säästö on entistä

merkittävämpi euromääräisesti tarkasteltuna. Myös keskusvalmistuksen suuret säästöt vaikuttaisivat positiivisesti kokonaissäästöön suuremmissa projekteissa, joissa olisi useita automaatiohajautuskeskuksia, kun keskusten tarve vähenisi IO-Link-järjestelmän myötä.

5.1.2 Kaapelointi

Järjestelmän kaapelointikustannuslaskelmat tehtiin pohjautuen toteutuneen vertailuprojektin kaapelointikustannusten laskentaan, josta voitiin ottaa arviot kaapeleiden pituuksille. Kaapeloinnin kustannusvertailuihin ei otettu huomioon sellaisia laitteita, jotka pysyvät täysin samanlaisina järjestelmästä riippumatta. Tällaisia on esimerkiksi Profinet-liitynnällä olevat taajuusmuuttajaohjatut pumput.

Kaapelipituuksien arvioinnissa käytettiin parasta mahdollista arviota, mutta ne ovat suuntaa antavia. Vertailuprojektin tarjouslaskennassa ei ollut laskettu kaapelivetojen kustannuksia, sillä ne eivät kuuluneet tarjouksen laajuuteen. Tämän opinnäytetyön kustannusvertailuissa laskettiin kaapelimetrit ja sähköalan työehtosopimuksesta saatiin taulukkohinta kaapeloinnille, joka oli 0,51 €/m (Sähköliitto TES 2022-2024, 131). Kaapelointikustannukset jaettiin kolmeen kategoriaan: kaapelit, kaapeleiden kytkentä ja kaapelivedot. Kaapeloinnin kustannussäästöt ovat kuvattuna kuviossa 14.



KUVIO 14. Kaapelointikustannusten säästöt kategorioittain.

Kaapelointien osalta kokonaissäästöä saatiin 7 %. Kytkenän osalta ei saatu säästöä näiden laskelmien mukaan, vaikka IO-Link-laitteiden kytkeminen on huomattavasti nopeampaa valmiskaapelin ansiosta. Tätä selittää se, että kentällä olevien laitteiden välisten kaapelointien määrä kasvaa. Nämä kaapeloinnit olisi muuten tehty keskusvalmistuksessa keskuksen sisällä, jolloin kytkentäkustannukset eivät suoranaisesti ole kasvanut vaan niiden muodostumispaikka on siirtynyt. Näitä kytkentöjä on etenkin master-yksiköiden ja moduuleiden väliset kytkennät.

Kaapeleiden osalta saatiin säästöä, sillä kenttälaitteita ei tarvitse kaapeloida jokaista erikseen automaatiokeskuksesta asti. IO-Link-järjestelmässä kentälle sijoitetut master-yksiköt voidaan ketjuttaa Profinet-kaapelilla toisiinsa, jolloin keskuksesta asti tarvitsee kaapeloida Profinet-kaapeli vain ensimmäiselle master-yksikölle.

5.1.3 Suunnittelu ja ohjelmointi

Automaatiojärjestelmätoimituksessa yhtenä suurena kulueränä on ohjelmisto- ja sähkösuunnittelu. Sähkösuunnittelussa laitteiden kytkennöistä luodaan doku-

mentteja, kuten sähkökaaviot, kaapeliluettelot ja keskuksen valmistukseen vaadittavat kuvat. Näitä dokumentaatioiden luomisen helpottamiseksi on luotu generointipohjia, jotka automatisoivat tätä prosessia. IO-Link-järjestelmän sähkösuunnittelun kustannuksia laskiessa tulisi ottaa huomioon ensimmäisen projektin kohdalla näiden generointipohjien muokkaaminen IO-Link-laitteille sopiviksi. Tämän jälkeen huomattavia kustannuseroja ei pitäisi olla.

Ohjelmointikustannuksien osalta työmäärä ei juurikaan muutu vertailuprojektin ja IO-Link-järjestelmän välillä. IO-Link-laitetoimittajat tarjoavat PLC-ohjelmointiympäristöihin valmiita ohjelmalohkoja, joilla voidaan ottaa IO-Link-laitteet käyttöön vaivattomasti, jolloin aikaa ei kulu enempää analogisen laitteen ohjelmointiin verrattuna. Lisäksi ohjelmointia nopeuttaa se, että IO-Link-laitteen lähettämää signaalia ei tarvitse erikseen skaalata, kuten esimerkiksi analogisen lämpötilamittauksen virtaviesti skaalataan halutulle lämpötila-asteikolle.

5.1.4 Parametrointi ja käyttöönotto

IO-Link-laitteiden parametrointi voidaan tehdä tietokoneohjelmistolla, kuten esimerkiksi IFM Electronicin tarjoamalla moneo-ohjelmistolla. Suurena etuna IO-Link-laitteiden parametroinnissa on se, että kaikki samaan verkkoon kytketyt laitteet voidaan parametroida yhdellä tietokoneella. Analogisten antureiden kohdalla tämä vaatisi parametroijan siirtymistä fyysisesti toimilaitteelta toiselle, joka vie aikaa. Toisaalta parametroitavien laitteiden määrä kasvaa, sillä master-yksiköt ja moduulit vaativat myös parametrointia. (IFM Electronic, 2022.)

On vaikeaa antaa tarkkaa arviota siitä, kuinka paljon säästöä tämä parametrointiohjelmiston käyttö tuo ilman käytännön toteutuksesta saatavaa tietoa. Saatava etu on huomattava ja sen tuoma kustannussäästö skaalautuu merkittävästi, mitä suurempi järjestelmä on kyseessä.

Automaatiojärjestelmän käyttöönottoon aina kuuluu niin kutsuttu I/O-testi, jossa varmistutaan siitä, että kaikki toimilaitteiden ja automaatiokeskuksen väliset joh-

dotukset ovat oikein vedetty ja kytketty ja että kaikki tulo- ja lähtösignaalit menevät perille ja ovat oikein skaalattuja. IO-Link-järjestelmän myötä kytkentävirheet vähenevät, joka vähentää I/O-testiin kuluvaa aikaa.

5.1.5 Elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannusten arvioiminen ilman pidemmän aikavälin käyttödataa on vaikeaa. Vertailemalla laitevalmistajien antamia vikaantumisaikoja laitteille voidaan saada suuntaa-antavia arvioita siitä, miten laitteet toimivat niiden elinkaaren aikana. Projektissa käytetyille laitteille on ilmoitettu niiden teknisissä esitteissä, kappaleen 4.2 mukaiset MTTF-arvot, jotka ovat useita vuosikymmeniä. Todellinen laitteen käyttöikä on riippuvainen lopullisesta käyttökohteesta ja vallitsevista käyttöolosuhteista, kuten tärinästä ja suurista lämpötilavaihteluista. Nämä tekijät voivat vaikuttaa merkittävästi laitteen todelliseen käyttöikään.

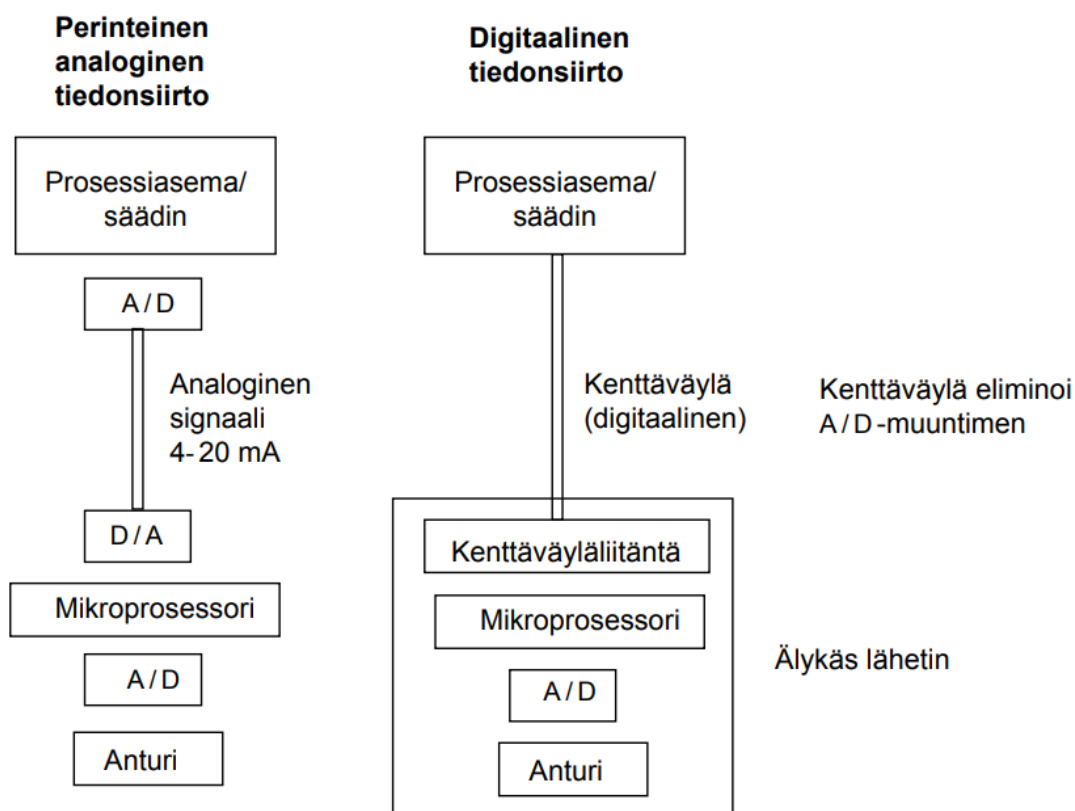
5.2 Teknisten vaatimusten täytyminen

Työssä tutkittavan IO-Link-järjestelmän kustannustehokkuuden lisäksi oli varmistettava siitä, että uusi järjestelmä on teknisesti toimiva järjestelmäkokonaisuus ja on mahdollisesti kyvykäs korvaamaan pitkään käytössä olleen järjestelmän. Tärkeimpänä ominaisuutena automaatiojärjestelmässä käynnin aikana on sen toimintavarmuus ja tarkkuus. Näitä asioita vertailemalla ja tutkimalla voidaan varmistua riittävästä teknisestä toimivuudesta. Tässä projektissa IO-Link-laitteet korvasivat pääsääntöisesti mittalaitteet ja I/O-järjestelmät, joille tehtiin teknistä vertailua.

5.2.1 Perusominaisuuksien vertailu

Automaatioprosessin mittalaitteiden tarkkuus vaikuttaa sen suorituskykyyn ja luotettavuuteen merkittävästi, jolloin mittalaitteiden tarkkuus on perusedellytys. IO-Link-mittalaitteiden mittatarkkuus voi olla jopa parempi, kuin perinteisillä analogisilla mittalaitteilla. IO-Link-antureiden anturiosa käyttää samaa teknologiaa, kuin

analogista viestiä lähettävät anturit, kuten esimerkiksi yleisesti käytössä oleva PT100-lämpötila-anturi. IO-Link-tiedonsiirron digitaalisuuden ansiosta mittaus-signaali voidaan kuljettaa digitaalisena automaatiojärjestelmään sellaisenaan, eikä sille tarvitse tehdä A/D-muunnosta (analog-to-digital), kuten analogisilla kor-teilla. Mittauksen A/D-muunnosten tarvetta on kuvattuna kuviossa 15.



KUVIO 15. Analogisen ja digitaalisen mittaussignaalin tiedonsiirto (ABB TTT-käsikirja 2000–07 2000, Automaation tietoliikennetekniikka n.d.).

Mittaussignaalin muuntaminen lisää aina virhettä alkuperäiseen mitattuun signaaliin. Käytettäessä virtaviestiä Siemens antaa tulokortille $\pm 0,5$ % suhteellisen virheen, kun tarkastellaan koko toimintalämpötila-aluetta. Virhe koostuu suurimalta osin A/D-muuntimen aiheuttamasta virheestä (Siemens ET 200SP Analog input module manuaali 2020, 29.)

Koska IO-Link-laitteilla voidaan mitata yhdellä anturilla useita fysikaalisia suureita, voitiin tämän ominaisuuden myötä anturimäärää vähentää myös tässä opinäytetyön vertailuprojektissa. Tämä näkyy suoraan vähenevänä anturimääränä ja sitä kautta kustannuksissa, mutta myös mekaanisessa antureiden asennuksessa. Etenkin tämän projektin kaltaisissa kylmätekniikan prosesseissa, joissa

käytetään kylmäaineita, on tärkeää, että kylmäainevuotoja ei pääse tapahtumaan, vähentynyt anturimäärä vähentää liitoksia, jotka ovat aina potentiaalisia vuotokohtia prosessiputkistossa.

IO-Link-laitteiden valmiskaapelin ansiosta niiden kytkentä on huomattavasti nopeampaa, eikä myöskään kytkentävirheitä pääse syntymään, kun kaapelin liitintä ei saa kytkettyä kuin yhdellä tavalla, toisin kuin riviliittimille kytkettävät johtimet. IO-Link-laitteen kaapeloinnin enimmäispituus on rajoitettu 20 metrin kaapelipituudelle, joka voi rajoittaa laitteiden sijoittelua joissain tilanteissa. Tähän on olemassa IO-Link-signaalinvahvistimia, joiden avulla kaapelointipituutta voidaan kasvattaa. Tällaiset lisälaitteet aina tuovat myös lisää kustannuksia ja mahdollisia vikaantumiskohtia. Analogisilla virtaviesteillä etuna on niiden tarjoama kaapelointipituus, sillä Siemensin ET 200SP -sarjan analogisella tulokortilla voidaan tehdä mittauksille jopa 1 000 metrin kaapelointeja (Siemens ET 200SP Analog input module manuaali 2020, 29).

Master-yksiköiden Profinet-kaapelit ketjutettiin laitteelta toiselle, jolloin säästettiin kaapelointikustannuksissa. Ketjuttaessa kenttäväylää laitteelta toiselle on riskinä jonkin väylässä olevan laitteen rikkoutuminen, jolloin kenttäväylässä sen jälkeiset laitteet eivät myöskään toimisi. Kenttäväylän kaapeloinnin topologiaa suunniteltaessa aina kannattaa tarkastella säästöjen ja mahdollisten riskien välistä kannattavuutta.

IO-Link-järjestelmää käyttäessä voi ilmaantua ongelma, että joitain mittalaitteita ei voida suoraan korvata IO-Link-laitteella, niiden vielä suhteellisen suppean tuotevalikoiman takia. Analogisilla kenttälaitteilla etuna onkin niiden todella laaja tuotevalikoima verraten IO-Link-valikoimaan, mutta tässäkin asiassa IO-Link kehittyi jatkuvasti.

5.2.2 IO-Link-järjestelmän lisäominaisuudet

IO-Link mahdollistaa perusominaisuuksien lisäksi kattavasti erilaisia lisäominaisuuksia. Kunnossapidon helpottamiseksi ja ohjattavan prosessin käyttöasteen

kasvattamiseksi IO-Link-laitteilla voidaan esimerkiksi lähettää niiden diagnostiikkadataa tai kertoa johdinkatkoista laitteiden välillä. IFM Electronic tarjoaa lisäksi master-yksiköille mahdollisuuden kommunikoida suoraan pilvipalveluun ERP-raportointia varten IloT-portin kautta. Tällöin raportointia ei tarvitse erikseen rakentaa logiikan kautta, koska kommunikointi toimii itsenäisesti master-yksikön ja ERP-järjestelmän välillä. IO-Link mahdollistaa myös sellaisten moduuleiden käytön, jossa digitaalisella lähdöllä voidaan ohjata jopa kahden ampeerin kuormaa, jolloin keskukseen ei välttämättä tarvita välireleitä I/O-kortin kuorman pienentämiseksi. (IFM Electronic 2022, Digital communication from sensor to cloud.)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää IO-Link-järjestelmän kustannustehokkuutta verrattuna Siemensin analogisilla I/O-korteilla toteutettuun järjestelmään. Työssä selvitettiin kustannusten lisäksi IO-Link-laitteiden teknisiä ominaisuuksia ja etuja verrattuna esimerkkiprojektin analogista virtaviestiä lähettäviin kenttälaitteisiin. Opinnäytetyössä päästiin hyviin tuloksiin kustannusten määrittämisessä laitteiden ja kaapelointien osalta. Suunnittelu-, käyttöönotto, ja huoltokustannusten määrittäminen tarkasti osoittautui haasteelliseksi. Opinnäytetyö eteni hyvin suunnitelmien mukaisesti, tosin järjestelmästä ei tehty alkuperäisen suunnitelman mukaista kokonaista tarjouslaskelmaa. Työssä annettiin tarkka kustannusarvio niistä osa-alueista, joista voitiin perustellusti kustannusarvio laskea.

Kappaleissa 5.1.1 ja 5.1.2 esitetyissä laitteisto- ja kaapelointikustannuksissa esitettiin säästöt prosentuaalisesti, jotka olivat laitteistokustannusten osalta 5 % ja kaapelointikustannuksista 7 %. Näiden kustannusten yhteenlaskettu kokonais säästö on tämän järjestelmän kohdalla 5 %, joka on varsin merkittävä. Lisäsäästöjä voidaan olettaa saavan käyttöönoton aikana etenkin parametroiden osalta, perustuen parametroidiohjelmistojen nopeuttamaan parametroidiin. Olettaen suunnittelukustannusten pysyvän samalla tasolla järjestelmäkokonaisuudesta riippumatta, IO-Link-järjestelmän käyttöönotolla saataisiin aikaiseksi kustannussäästöä, joka voi lisätä kiinnostusta järjestelmän valitsemiselle.

Opinnäytetyön pohjalta voidaan todeta, että IO-Link-järjestelmän tuomat kustannussäästöt kasvavat projektin laajuuden myötä, etenkin tämän tyyppisillä prosesseilla. Kenttälaitteiden määrää voidaan vähentää mittaamalla useampaa suuretta yhdellä anturilla. Vähentynyt kenttälaitteiden määrä vaikuttaa suoraan moneen kustannustekijään, kuten kaapelointi- ja kytkentäkustannuksiin. Lisäksi suuremmissa projekteissa keskusvalmistuksen osalta voidaan saada suurempia säästöjä sillä IO-Link-laitteet sijoittuvat tavallisten I/O-korttien sijaan kentälle automaatiokeskusten ulkopuolelle. Näin voidaan pienentää keskusten tarvetta ja lisäksi keskuksen sisäisten tarvikkeiden, kuten riviliittimien tarve vähenee, jolloin voidaan valita mitoiltaan pienempi ja edullisempi keskus.

Teknisiltä ominaisuuksiltaan IO-Link-laitteet ovat toimivia ja toiminnassa olevan IO-Link-laitteilla varustetun järjestelmän käyttö ei eroa analogisilla laitteilla tehdystä järjestelmästä. Kenttälaitteilta vaadittujen perusominaisuuksien lisäksi IO-Link tarjoaa kattavasti lisäominaisuuksia, kuten master-yksikön IIoT-portin kautta raportoinnin ERP-järjestelmään. Lisäksi joillain toimilaitteilla on itsediagnosointiin mahdollisuus, jolloin se voi havaita esimerkiksi, jos kalibrointi ei enää ole asetelluissa raja-arvoissaan. Erilaiset lisäominaisuudet ovat laitetoimittajakohtaisia, jolloin niihin tulee aina perehtyä tapauskohtaisesti. Tällaisilla teknisillä eduilla voi olla vaikutusta lopulliseen päätökseen järjestelmän valitsemisen kannalta.

Tämän opinnäytetyön pohjalta ja sen innoittamana voitaisiin lähteä tekemään vastaavanlaista projektia, jossa käytettäisiin IO-Link-laitteita. Projektin avulla voitaisiin saada tuloksia siitä, miten tällainen projekti todellisuudessa toteutuu etenkin kustannusten osalta. Todellisen projektin myötä saataisiin tarkennusta ja varmistusta opinnäytetyön laskelmista. Ennen päätöstä uuden järjestelmän käytöstä tulee arvioida kattavatko IO-Link-järjestelmän hyödyt ne riskit, jotka tulevat ensimmäisien projektien mukana. Uutta projektia aloittaessa aina ei voida tietää etukäteen, miten projekti toteutuu todellisuudessa ja pysyykö projekti suunnitellussa budjetissaan. Täysin uuden järjestelmän käyttöönottoon liittyy aina suuremmat riskit, kuin jo ennestään tutun projektikokonaisuuden uudelleen toteuttamiseen. On siis aina punnittava onko kannattavaa ottaa uutta järjestelmää käyttöön, vaikka se puhtaasti laitteiden kustannusten osalta olisikin kannattava.

Jatkossa tämänkaltaista järjestelmän käyttöönottoa suunniteltaessa, tulee pohtia onko kannattavaa toteuttaa koko järjestelmää pelkillä IO-Link-laitteilla vai olisiko jokin hybridiratkaisu järkevin. Mittausten toteuttaminen master-yksikön avulla on tehokasta ja niillä saadaan huomattavia teknisiä ja taloudellisia etuja, mutta kannattaako esimerkiksi rajatiedot ja yksittäiset digitaaliset tulot/lähdöt toteuttaa IO-Link-järjestelmällä. Niiden kohdalla ei ole saatavilla teknisiä etuja ja kustannuksetkin ovat melko korkeat, kun lasketaan esimerkiksi pelkkä laitekustannus. Tästä voidaan tehdä hyvin pelkistetty laskelma, jossa järjestelmään lisätään 16 digitaalista lähtöä: Siemensin DI-kortti ja sen käyttöönottoon tarvittavien lisätarvikkeiden kuten riviliittimien yhteiskustannus olisi noin sadan euron tasolla. Vastaavat kustannukset IO-Link-järjestelmässä, jossa tulee IO-Link-moduulin käyttöön varata yksi master-liitäntä. Tämä voidaan laskea karkeasti master-yksikön

hinta (385,3 €) jaettuna sen porttien määrällä (8 kpl), kustannus yhdelle master-yksikön portille on 48 euroa/portti. Tämän lisäksi moduulin hinta on 151,8 €, jolloin näiden yhteenlaskettu kustannus on kahdensadan euron luokkaa. Tällaista hybridimallin järjestelmätoimitusta, jossa on IO-Link-laitteita ja perinteisiä I/O-laitteita kannattaisi ainakin puhtaasti numeroiden valossa lähteä toteuttamaan ja kehittämään mahdollisimman kustannustehokkaiksi erilaisten järjestelmien vaatimukset huomioiden.

LÄHTEET

Ajo, R., Hakonen, S., Harju, H., Järvi, J., Kaskes, K., Lenardic, E., Niukkanen, E., Nurminen, T., Ritala, P., Tolppanen, M. & Tommila, T. 2001. Laatu Automaatiossa – Parhaat käytännöt. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.

Artto, K., Martinsuo, M. & Kujala, J. 2006. Projektiliiketoiminta. 1. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Asmala, H., Koskinen, K., Koskela, M., Mätäsniemi, T., Soini, A., Strömman, M., Tommila, T. & Valkonen, J. 2005. Automaatiosovellusten ohjelmistokehitys. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.

Automaatiosuunnittelun prosessimalli. Yhteiset käsitteet verkottuneen suunnittelun perustana. 2007. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.

Finder. n.d. Insta Automation Oy. Verkkosivu. Viitattu 28.11.2022.
<https://www.finder.fi/Automaatio/Insta+Automation+Oy/Tampere/yhteystiedot/447094>

Hilt, A., Jaro, G., Bakos, I. 2016. Availability Prediction of Telecommunication Application Servers Deployed on Cloud. Tutkimusartikkeli.

IFM Electronic Oy. 2022. moneo configure: parametrintiohjelmisto. Verkkosivu. Viitattu 3.12.2022.
<https://www.ifm.com/fi/fi/shared/iiot-alusta/tuotteet/configure>

IFM Electronic Oy. n.d. Virtausanturi SA5000. Verkkosivu. Viitattu 28.11.2022.
<https://www.ifm.com/fi/fi/product/SA5000>

Digital communication from sensor to cloud. IFM Electronic Oy:n sisäinen dokumentti. Viitattu 10.10.2022. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Inray. 2021. The path from Industry 1.0 to Industry 4.0. Verkkosivu. Viitattu 5.11.2022
<https://www.inray.de/en/news/the-path-from-industry-1-0-to-industry-4-0>

Tarjous. Insta Automation Oy:n sisäinen dokumentti. Viitattu 21.10.2022. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

IO-Link. 2018. IO-Link System Description. Verkojulkaisu. Viitattu 8.10.2022.
https://io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link_System_Description_eng_2018.pdf

IO-Link. 2019. IO-Link Interface and System Specification. Verkojulkaisu. Viitattu 10.10.2022.
https://io-link.com/share/Downloads/Package-2020/IOL-Interface-Spec_10002_V113_Jun19.pdf

Mauger, C., Schwartz, T., Dantan, J-Y, & Harbouche, L. 2010. Improving users satisfaction by using requirements engineering approaches in the conceptual

phase of construction projects: The elicitation process. Public Research Center Henri Tudor, Luxembourg, Luxembourg. Pro gradu -tutkielma.

Oamk. n.d. Automaation tietoliikennetekniikka. Verkkosivu. Viitattu 6.12.2022.
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/05_0_Automaation%20tietoliikenne.pdf

Pabbathi, K., K, 2018. Quick Start Guide To Industry 4.0. Leipzig: Amazon Distribution GmbH.

Pelin, R. 2011. Projektihallinnan käsikirja. 7. painos. Helsinki: Projektijohtaminen Oy Risto Pelin.

Saastamoinen, A. & Autio, I. 2014. Sähköurakoitsijan tarjouslaskenta. 3., uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

Seppälä, M. 2015. Toimitusprojektin kustannusohjaus. Verkkosivu. Viitattu 10.10.2022
<https://docplayer.fi/5890883-Toimitusprojektin-kustannusohjaus.html>

SFS-EN 1534:2019 + A1:2022 en, Maintenance Key Performance Indicators. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

Siemens. 2020. Manual Simatic ET 200SP. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.11.2022.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/161/59768161/att_109158/v1/et200sp_ai_4xi_2_4_wire_st_manual_en-US_en-US.pdf

Siemens. n.d. Simatic ET 200SP. Verkkosivu. Viitattu 28.11.2022.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10360562>

Sähköliitto. 2022-2024. Sähköistys- ja sähköasennusalan työehtosopimus 2022-2024. Verkkojulkaisu. Viitattu 25.11.2022.
<https://www.sahkoliitto.fi/sites/default/files/attachments/Sähköistys-%20ja%20sähköasennusalan%20työehtosopimus%202022-2024.pdf>

Tommila, T., Hirvonen, J., Jaakkola, J., Peltoniemi, J., Peltola, J., Sierla, S. & Koskinen, K. 2005. Next generation of industrial automation. Espoo: Otamedia Oy.

Uffelman, R., J., Wienzek, P. & Jahn, M. 2019. IO-Link: The DNA of Industry 4.0. 1. painos. Essen: Vulkan-Verlag GmbH.

Zaugg, D. 2020. How smart sensors are driving Industry 4.0 forward. Verkkosivu. Viitattu 1.10.2022.
https://www.ey.com/en_ch/industrial-products/how-smart-sensors-are-driving-industry-4-0-forward

Zurawski, R. 2015. Industrial Communication Technology Handbook. 2. painos. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.

LIITTEET

Liite 1. Laiteluettelot

Mittaukset IO-Link

Laite	Malli	Määrä
Lämpötila-anturi	IFM TA2145	3
Virtauskytkin/lämpötilamittaus	IFM SA5000	3
Paine/lämpötilamittaus	IFM PM1504	4
Lämpötila-anturi	IFM TA2135	10
Lämpötila-anturi, huonelämpötila	IFM LDH292	2
Paineanturi	IFM PN3094	4
Virtausmittari 4-20 mA	7ME652.-.....-.....	1
Kaasuanturi 0-10V	QPM1104 S55720-S455	2
Vilkkuvalo/sireeni	IFM DV2130	2

31

Vanhat mittaukset

Laite	Malli	Määrä
Lämpötila-anturi	Siemens 7MC7511, PT100	20
Lämpötila-anturi, huonelämpötila	Siemens QAC3171	2
Paineanturi		7
Paineanturi		1
Virtauskytkin	DN 150	3
Virtausmittari 4-20 mA	7ME652.-.....-.....	1
Kaasuanturi 0-10V	QPM1104 S55720-S455	2
Vilkkuvalo+sireeni (QA1 ja QA2)	Sireeni Clifford-snell	2

38

Uusi järjestelmä, muut laitteet kuin mittaukset

Laite	Malli	Määrä
Masteri	IFM AL1302	6
DI-moduuli	IFM AL2340	6
DO-moduuli	IFM AL2330	4
Signaalimuunnin	DP1222 (0-10V -->IO-Link)	2
Signaalimuunnin	DP2200 (4-20 mA --> IO-Link)	1
Profinet-kytkin	Siemens Scalance XB216	1
Kommunikointimoduuli	Siemens CM 1542-1	1
CPU	Siemens 15013-1 PN	1
Muistikortti	Simatic s7	1
Virtalähde	SITOP PSU8200	1
HMI-paneeli	Simatic HMI TP1200	1

25

Vanha järjestelmä, muut laitteet kuin mittaukset

Laite	Malli	Määrä
DI-kortti	Siemens ET200SP DI 16x24 V	5
DO-kortti	Siemens ET200SP DQ 16x24 V	4
AO-kortti	Siemens ET200SP AQ 4xU/I	1
AI-kortti	Siemens ET200SP AI 8xI 2-/4	5
Base unit	Base unit without aux. terminals	9
Base unit	Base unit with 10 aux. terminals	6
Kommunikointimoduuli	Siemens CM 1542-1	1
I/O-hajautus	IM155-PN SP	1
Profinet-kytkin	Siemens Scalance XB216	1
CPU	Siemens 15013-1 PN	1
Muistikortti	Simatic s7	1
Virtalähde	SITOP PSU8200	1
HMI-paneeli	Simatic HMI TP1200	1

37