



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

RAUNO LAHTINEN

# **Robotti- ja automaatiotestisolun suunnittelu ja toteutus**

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIikka

2020

Tekijä(t) Lahtinen, Rauno	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Helmikuu 2020
	Sivumäärä 83	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Robotti- ja automaatiotestisolun suunnittelu ja toteutus</b>		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma		
<p>Tässä työssä toteutettiin yksi tapa suunnitella ja rakentaa testilaitteisto robotti- ja automaatiotarkastusjärjestelmien tarkastelua varten. Toteutuksessa tuli käyttää yrityksen asiakastoteutusten mukaisia laitteita ja komponentteja ja valmiin kokonaisuuden olla mahdollisimman monipuolinen. Laitteiston tuli mahdollistaa mm. PLC-ohjelmien sekä esimerkiksi robottien erityyppisten tarttumaratkaisujen ym. toimivuus käytännössä. Työn tarkoitus oli Trimaster Oy:n testisolun suunnittelun ja toteutuksen lisäksi selvittää miten ja millä ehdoin jo muutaman vuoden vanhoihin, olemassa oleviin tuotantolaitteisiin ja järjestelmiin voidaan suorittaa vastaava päivitys teollisuustietokoneen osalta.</p> <p>Suunnittelu toteutettiin yhdessä testisolua käyttävien henkilöiden kanssa. Työ pyrittiin suunnittelemaan ennalta niin hyvin kuin mahdollista, erityisesti huomioiden myöhemmin lisättävät, tämän työn ulkopuolelle jätetyt komponentit ja toiminnot.</p> <p>Työ oli ajoittain haastava, eikä aivan kaikkia ongelmatilanteita osattu ennakoida hyvästä suunnittelusta huolimatta. Lopulta valmistui kaikki suunnitellut toiminnot ja komponentit sisältävä laitteisto. Kenttätyö saatiin toimimaan asianmukaisella tavalla. Työ tuotti myös tämän raportin muodossa erityisesti työn tilaajalle arvokasta tietoa, joka on hyödynnettävissä esimerkiksi vastaavien päivityksien toteutuksissa asiakaslaitteisiin.</p> <p>Työstä tuli erittäin laaja otos automaatiosuunnittelun ja niiden toteuttamisen tuomista jokapäiväisistä haasteista.</p>		
<u>Asiasanat</u> ABB, automaatio, Beckhoff, EtherCAT, PickMaster, PLC, robotiikka, TwinCAT		

Author(s) Lahtinen, Rauno	Type of Publication Bachelor's thesis	Date February 2020
	Number of pages 83	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Design and implementation of a robot and automation test cell</b>		
Degree programme Electrical and Automation Engineering		
<p>In this thesis, an approach to designing and constructing of test equipment for robotic and automation solutions was implemented. The implementation required the use of equipment and components according to the customer's implementation of the company and the finished unit to be as versatile as possible. The finished entity should enable the functionality of PLC programs and various types of robotic gripper solutions etc. in practice. In addition to designing and implementing a test cell for Trimaster Oy, the purpose of this thesis was to determine how and under what conditions a few years old existing production equipment and systems could be upgraded together with an industrial computer.</p> <p>The design was implemented in conjunction with users of the test cell. The aim was to plan the work as far in advance as possible, also considering the all components to be added to the test cell later.</p> <p>Sometimes, the thesis process was challenging and not all issues could not have been predicted, despite good planning. In the end, the hardware contained all the required components and functions. Fieldbus solutions functioned properly as well. This thesis also produced valuable information for Trimaster Oy, which could be used for their customers in equipment upgrades.</p> <p>The thesis is a very broad example of the challenges in automation design and implementation.</p>		
<p><u>Key words</u>          ABB, automation, Beckhoff, EtherCAT, PickMaster, PLC, robot, TwinCAT</p>		

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TRIMASTER OY.....	8
3	TYÖN KESKEISET LAITEVALMISTAJAT .....	9
3.1	ABB .....	9
3.2	Beckhoff.....	9
3.3	Basler AG.....	10
3.4	Phoenix Contact.....	10
4	TESTISOLU.....	11
4.1	Lähtökohdat ja tarpeet.....	11
4.2	Suunnittelu .....	12
5	LAITTEISTOT, KOMPONENTIT JA OHJELMISTOT .....	15
5.1	Laitteistovaatimukset .....	15
5.2	Laitteistojen valinta ja valintaperusteet .....	15
5.2.1	Robotit .....	16
5.2.2	Teollisuustietokone.....	16
5.2.3	Kosketusnäyttö .....	18
5.2.4	PLC komponentit.....	18
5.2.5	Ohjelmistot .....	19
5.2.6	Ohjauskeskus .....	21
5.2.7	Muut laitteet ja komponentit .....	21
6	TYÖN TOTEUTUS .....	23
6.1	Tarpeettomien osien purkaminen.....	23
6.2	Rakentaminen .....	23
6.2.1	Sähkönsyöttö .....	23
6.2.2	Keskusten kalustaminen ja muutokset.....	24
6.2.3	Kaapeloinnit ja johdotukset.....	25
6.2.4	3D-tulosteet .....	26
7	OSAKOKONAISUUKSIEN TOTEUTUS JA KONFIGUROINTI.....	28
7.1	Käytetyt verkkoprotokollat ja kenttäväylät.....	28
7.1.1	TCP/IP ja UDP/IP.....	29
7.1.2	EtherCAT .....	30
7.1.3	ProfiNet .....	32
7.1.4	DeviceNet .....	32

7.1.5 CiA 402 .....	34
7.2 Teollisuustietokone Beckhoff C6930-0060 .....	35
7.2.1 IPC alkutoimenpiteet .....	36
7.2.2 Ethernet-portit .....	37
7.2.3 Ohjelmistojen asennus.....	39
7.3 TwinCAT3-konfiguraatio .....	39
7.4 ABB IRB120 ja TwinCAT Profinet väyläadapteri .....	44
7.4.1 ABB IRB 120 .....	44
7.4.2 TwinCAT .....	46
7.5 ABB IRB360, ABB PickMaster 3 ja DeviceNet .....	51
7.5.1 ABB IRB 360 .....	52
7.5.2 RobotWaren päivitys .....	53
7.5.3 TwinCAT .....	53
7.6 PickMaster .....	55
7.6.1 Kuljettimen nopeustiedon kalibrointi .....	56
7.6.2 Kameran määrittely .....	58
7.6.3 Robotin peruskoordinaatiston määrittely .....	60
7.7 TwinCAT-ohjelmointi .....	62
7.8 Testisolun ohjelma .....	65
7.9 ABB ACS355 taajuusmuuttajat .....	68
7.9.1 Taajuusmuuttajan perusasetukset .....	68
7.9.2 ABB FECA-01-kenttäväyläsovitin.....	69
7.10 Visu .....	72
7.11 Basler scA 1390-17gm kamera.....	74
7.12 Solun turvajärjestelmät .....	76
7.13 Phoenix Contact turvareleet .....	77
8 YHTEENVETO .....	79
LÄHTEET.....	82

## 1 JOHDANTO

Automaatio ja robotiikka-ala on kasvanut viimevuosina voimakkaasti ja tulevaisuutta ei kukaan osaa edes kuvitella. Ainoa varmasti ennustettava asia on, että ala tulee kasvamaan entistä voimakkaammin tulevaisuudessa. Automaation tuomat vaatimukset myös lisääntyvät tekniikan kehityksen mukana ja tämä tuo haasteita tuotantolaitteiden valmistajille ja suunnittelijoille. Laitteiden suunnitteluajat pitäisi saada mahdollisimman tehokkaiksi ja myös testaus aloitettua ennen kuin laitetta on edes aloitettu valmistamaan.

Tilanne on erityisen haastavaa sellaisille yrityksille, jotka valmistavat täysin uniikkeja laitteita. Vaikka monet perusratkaisut ovat uudelleenkäytettävissä, tulee usein tilanne, jossa pitäisikin testata jotakin täysin uutta. Tuotanto- tai pakkauskoneen osa, rakenne tai ohjelmaosio pitäisi päästä testaamaan ennen lopullista suunnittelua. Erilaiset simulaatiot ovat moneen tilanteeseen varsin oivallisia kehitystyön välineitä, mutta eivät luonnollisestikaan korvaa aina fyysistä laitetta. Kehitysprosessin avuksi pitäisi olla kunnan testiympäristö, jossa fyysisesti nähdään, miten idea toimii. Tällaisen testiympäristön kehittäminen on kallis investointi, joten on luonnollista sisällyttää suunnitteluvaiheessa mahdollisimman paljon tarpeellisia ominaisuuksia. Myöhemmin niiden lisääminen saattaa olla kalliimpaa ja vaikeampaa.

Miten sitten toteutetaan automaatio-ohjelmien ja robottien ominaisuuksien vertailuun soveltuva testilaitteisto ja mitä kaikkea työn suunnittelussa tulisi ottaa huomioon. Tämän työn tarkoitus oli suunnitella ja rakentaa Trimaster Oy:n tarpeita vastaava laitekokonaisuus. Suunnittelun ja rakentamisen lähtökohtana oli olemassa oleva tuotanto-käytöstä poistettu robottisolu, joka soveltuisi tämänkaltaisen projektin toteuttamiseen. Muutostyön tuloksia voitaisiin hyödyntää myöhemmin vastaavien tuotantolaitteiden päivitysten toteutuksissa soveltuvin osin. Automaatiolaitteistojen käyttöikä voi olla hyvinkin pitkä ja jonkin uuden ominaisuuden lisääminen voi vaatia toisen osan päivittämistä ja aiheuttaa tapahtumien ketjureaktion. Kun ratkaistavia asioita on paljon, tulee kokonaisuuden hahmottumisen myötä jokainen pienikin seikka ottaa huomioon, jotta lopputulos olisi halutun kaltainen.

Työn alkaessa joitakin mahdollisia ongelmakohtia osattiin ennakoida. Matkan varrella tuli kuitenkin vastaan paljon sellaista, jota ei voitu ottaa ennalta huomioon. Moniin kysymyksiin ei ollut valmista vastausta saatavilla suoraan kirjallisuudesta tai internetistä, joten vaadittiin huomattava määrä yksittäisten tietojen yhdistämistä ja asioiden päättelyä sekä ns. perimätietoa. Tietoa oli saatavilla yrityksen työntekijöiltä pääsääntöisesti erittäin hyvin ja nykyaikana myös internet tarjoaa kattavan määrän tietoa. Näiden yhdistelmä vielä lisättynä maahantuojien ja laitevalmistajien tarjoamaan asiantuntijuuteen, tarjosi käytännössä vähintäänkin riittävät lähteet tiedon hankintaan. Insinööriötä parhaimmillaan!

Myös erittäin arvokasta myöhemmin hyödynnettävää tietoa syntyi työn edetessä. Vastaavia projekteja löytyisi teollisuudesta lähivuosina varmasti. Projekti osoittautui heti suunnitteluvaiheen alussa erittäin vaativaksi ja suuritöiseksi, siitä huolimatta, että osa alun perin mukana olleista ideoista rajattiin tämän työn ulkopuolelle. Työ toteutettiin niin, että pois jätetyt osiot ovat lisättävissä myöhemmin ilman varsinaisen perusjärjestelmän muutoksia.

Lähtökohtaisesti suunnittelut pohjana oli, että testisolulla voidaan testata mitä tahansa siihen asennettuja laitteita tai niiden ohjelmia yhdessä tai erikseen. Lisäksi kriteerinä oli myös käyttöliittymän helppous ja ergonomisuuskin pyrittiin ottamaan huomioon. Kaikki työn tuomat tulokset on kerätty tähän raporttiin hyödyntämään vastaavia projekteja. Jokainen projekti on uniikki, mutta tiedon soveltaminen omaan käyttöön usein mahdollista. Sovellettavaksi sopivan tiedon löytäminen onkin usein haastavampaa, etenkin jos tietoa on vähän tai erittäin paljon. Raporttiin on pyritty sisällyttämään kaikki oleellinen asiaan liittyvä merkityksellinen tieto, jolla on ollut sillä hetkellä tehtyyn valintaan tai päätökseen vaikutusta. Kaikki työt voidaan tehdä monella tavalla ja tässä raportissa on esitelty vain yksi tapa tehdä testisolu robotiikan ja automaatio-sovellusten tutkimiseen. Työn tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa robotti- ja automaatiotestisolu ja sellainen myös lopulta syntyi.

## 2 TRIMASTER OY

Trimaster Oy on perustettu vuonna 1998. Yrityksen toimialana on erityisesti kappaleen käsittelyyn liittyvien ratkaisujen suunnittelu ja toteutus mm. elintarvike- ja lääketeollisuuden tarpeisiin. Trimaster Oy:n erityisosaamisalueeseen kuuluu elintarviketeollisuuden pesunkestävien ja ultra-korkean hygieenisyydystason kappaleenkäsittelylaitteiden toimittaminen. Laitekokonaisuudet pyritään toimittamaan kokonaisina tuotantolinjoina, Multivac-konsernin omilla tuotteilla varustettuna.

Trimaster Oy on osa globaalia Multivac-konsernia, jolla on alalta yli 50 vuoden osaaminen. Yhtiön liikevaihto vuonna 2018 oli noin 2,5 miljoonaa euroa ja tulos noin 326 000 euroa (Suomen Asiakastieto Oy www-sivut 2020). Trimaster työllistää Ylöjärven tehtaalla suoraan ja välillisesti, tilauskannasta riippuen noin 15-30 henkilöä. Multivac-konsernin liikevaihto vuonna 2018 oli noin 1,1 miljardia euroa ja se työllistää maailman laajuisesti noin 6400 työntekijää (Multivac konsernin www-sivut 2020).

Pakkaus koneita ja lavaussoluja toimitetaan suomen markkinoiden lisäksi vientiin. Yrityksen toimittamat laitekokonaisuudet toimitetaan aina käyttöön otettuna kokonaisuuksina. Tuotevalikoima kattaa erittäin laajasti asiakkaiden toiveiden mukaisesti suunnitellut ja toteutetut laitteet kappaleenkäsittelystä ja laatikoinnista lavaukseen asti tai myös osakokonaisuuksia, jotka yhdistetään esimerkiksi olemassa olevaan asiakkaan järjestelmään. Kokoonpanoissa Trimaster käyttää mm. Beckhoff, ABB ja Siemens automaatiojärjestelmiä. Trimaster on ABB Value Provider-kumppani.



## 3 TYÖN KESKEISET LAITEVALMISTAJAT

### 3.1 ABB

ABB on globaaleilla markkinoilla toimiva teknologialaitteiden kehittäjä ja valmistaja, jolla on neljä keskeistä liiketoimintaa: Electrification, Industrial Automation, Motion ja Robotics & Discrete Automation. ABB:n historia ylettyy yli 130 vuoden taakse ja nykyinen yhtiö on kahden suuren teknologiayhtiön, ASEA (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget) ja BBC (Brown, Boveri & Cie), 1988 tapahtuneen fuusioitumisen tulos. Yhtiö toimii nykyään yli 100 maassa, työllistäen globaalisti noin 147 000 henkilöä ja Suomessa noin 5400 henkilöä. Yhtiön liikevaihto vuonna 2018 oli 27,66 miljardia euroa. Suomessa toimivat tehtaat tuottavat Azipod-ruoripotkurijärjestelmiä, moottoreita, generaattoreita, taajuusmuuttajia, sähköverkon ohjaus- ja suojauslaitteita, pienjännitetuotteita – ja järjestelmiä, sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmiä, voimantuotannon järjestelmiä, CPM-energianhallintajärjestelmiä ja paperikonekäyttöratkaisuja sekä sähköasennustuotteita. ABB on pääkaupunkiseudun suurin työnantaja ja yksi Suomen suurimmista. Tehdastoimintaa ABB:llä on Helsingissä, Haminassa, Vaasassa ja Porvoossa. (ABB Annual Report 2020; ABB www-sivut 2020.)

### 3.2 Beckhoff

Beckhoff on saksalainen avoimien automaatiojärjestelmien toimittaja. Beckhoff tuotteita ja järjestelmiä käytetään taloautomaatiosovelluksista aina teollisuuden erilaisiin tarpeisiin. Järjestelmät ovat PC-pohjaiseen ohjaustekniikkaan pohjautuvia ja tuotevalikoima kattaa mm. teollisuus-PC:t, ohjelmistot automaatiosovelluksiin, ohjauspaneelit, kenttäväyläkomponentit, liikkeenohjauksen tuotteet sekä kenttäväyläkomponentit. Suomeen Beckhoff saapui vuonna 1986 ja toimintaa löytyy Hyvinkään pääkonttorin ja varaston lisäksi Tampereelta, Seinäjoelta ja Oulusta. Vuoden 2018 konsernin liikevaihto oli 916 miljoonaa euroa ja kasvua on ollut viime vuosina noin 10-14% vuodessa. Beckhoff työllistää maailmanlaajuisesti noin 4300 henkilöä. (Beckhoff www-sivut 2020.)

### 3.3 Basler AG

Basler AG on saksalainen 1988 perustettu erilaisiin konenäköratkaisuja valmistava yritys. Sen tuotteisiin kuuluu kameroiden ja kameraoptiikoiden lisäksi erilaisten sovelusten, sulautettujen järjestelmien ja järjestelmätyökalujen lisäksi konenäköjärjestelmien valaistuskomponentit, kaapelit sekä kuvankaappauskortit. Basler AG työllistää noin 800 henkilöä Saksan Ahrensburgin pääkonttorin lisäksi muualla Euroopassa, Aasiassa sekä Pohjois-Amerikassa. Liikevaihto vuonna 2018 oli noin 150 miljoonaa euroa. (Basler AG www-sivut 2020.)

### 3.4 Phoenix Contact

Saksalainen Phoenix Contact valmistaa liitännä- ja automaatiotekniikan ratkaisuja. Yhtiöllä on yli 60 000 tuotteen valikoima käsittäen mm. modulaarisia riviliittimiä, kaapeleita, merkintäjärjestelmiä, teholähteitä, asennustarvikkeita, PLC- ja I/O-järjestelmiä unohtamatta. Yhtiö on perustettu vuonna 1923 nimellä Phönix Elektrizitätsgesellschaft. Liikevaihtoa yhtiöllä on 2,83 miljardia euroa. Yhtiö työllistää maailman laajuisesti noin 17400 henkilöä. Yhtiön tuotteita valmistetaan Kiinassa, Saksassa, Kreikassa, Intiassa, Puolassa, Venäjällä, Ruotsissa, Sveitsissä, Taiwanissa, Turkissa sekä Yhdysvalloissa. (Phoenix Contact www-sivut 2020.)

## 4 TESTISOLU

### 4.1 Lähtökohdat ja tarpeet

Trimaster Oy valmistaa myös täysin uniikkeja laitekokonaisuuksia kappaleenkäsittelyyn. Suunnittelun tueksi tarvittiin laitteisto, jolla voidaan mahdollisimman laajasti testata automaatio-ohjelmistojen, konenäköratkaisujen ja myös tiettyjen mekaanisten toteutusten toimivuutta ennen lopulliseen kokoonpanoon lisäämistä. Tällä tavoin kehitystyön kustannustehokkuutta voitaisiin parantaa merkittävästi. Testisolulla olisi tarkoitus suorittaa alkusuunnittelun osalta esimerkiksi erilaisia robotin tarttujaratkaisujen vertailua jo hyvin varhaisessa suunnittelun vaiheessa ja näin minimoidaan työn mahdolliset viivästymät tältä osin. Testilaitteiston suunnittelun ja toteutuksen tuomat muut hyödyt tulisi olemaan myös varsin merkittäviä. Yrityksellä oli tarkoitukseen sopiva tuotantokäytöstä poistettu robottisolun, jota jossain määrin oli aiemmin käytettykin testaukseen. Koska laitteisto muokattaisiin jo olemassa olevaan kokonaisuuteen, tuottaisi muutostyön toteuttaminen samalla myös hyvin tärkeää tietoa vastaavan päivityksen eteen tuomista haasteista. Saadun tiedon avulla voitaisiin asiakaslaitteiden päivitykset tehdä ammattitaitoisesti ja nopeasti. Tämän ansiosta myös asiakasyrityksen tuotannon väistämättömät katkokset tulisivat lyhenemään oleellisesti.

Testisolusta pyrittiin suunnittelemaan niin monipuolinen kuin mahdollista ja prosessissa pyrittiin ottamaan huomioon kaikki erilaiset skenaariot. Jokaista osakokonaisuutta tuli voida käyttää erikseen ja käytön olla niin helppoa ja mutkatonta kuin mahdollista. Testilaitteiston käyttö ei saisi jäädä toteutumatta hankalan käyttöliittymän vuoksi ja sitä kautta jopa mahdollisesti jonkin osan tai osion testaaminen kokonaan suorittamatta ennen lopullista kokoonpanoa. Testisolun työn kokonaislaajuus tulisi kuitenkin rajoittamaan joiltakin osin tähän työhön sisällytettäviä ominaisuuksia.

Toteutukseen tehtäisiin web-käyttöliittymällä toteutettu logiikkaohjelma, jolla voitaisiin todeta kaikkien tarvittavien kokonaisuuksien keskinäinen kommunikointi kunkin laitteen protokollan mukaisesti. Laitteiston katsottaisiin olevan valmis, kun dataliikenne laitteiden välillä todetaan toimiviksi ja robotteja voidaan onnistuneesti ohjata käytettyjen kenttäväylien kautta.

## 4.2 Suunnittelu

Suunnittelu aloitettiin kartoittamalla testiympäristön tarpeet, olemassa oleva muokattavaksi suunniteltu robottisolun kokoonpano sekä haastateltiin mekaniikka- ja automaatio-suunnittelijat, jotka kyseistä testisolua tulisivat ensisijaisesti käyttämään. Sähkösuunnittelijan kanssa käytiin läpi myös solun perussähköistyksen liittyvät vaatimukset ja sen tuomat muutokset. Aivan ensimmäiseksi todettiin, että solun sähköjärjestelmä ei vastaa sähköstandardin SFS6002 asettamia nykyvaatimuksia johdotusten ja suojauksen osalta, joten nämä tulisi luonnollisesti toteutuksen yhteydessä myös päivittää. Lopulta saatiin erittäin hyvä kuva varsinaisen suunnittelun pohjaksi. Työn edetessä järjestelmään todennäköisesti tulisi joitakin lisäyksiä ja muutoksia.

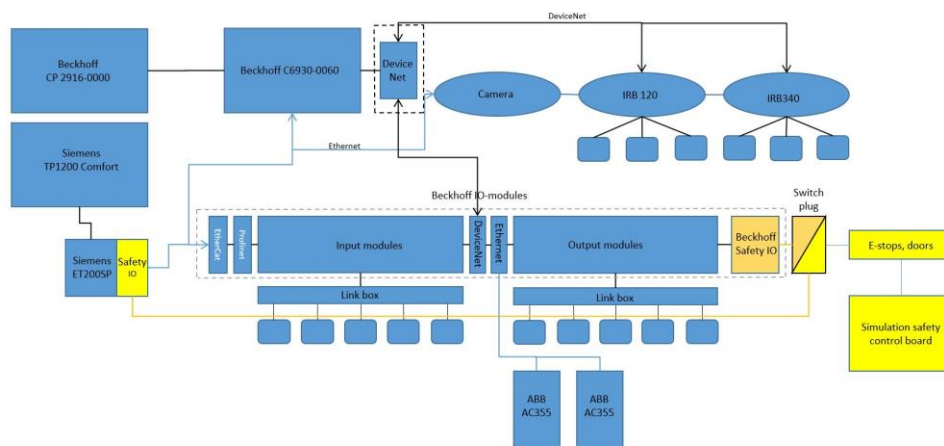
Työn ollessa varsin laaja, päädyttiin keskittymään vain yhteen ohjelmoitavaan logiikkaan ja siihen liitettäviin laitteistoihin. Laitteisto tulisi rakentaa kuitenkin niin, että myös toinen PLC-järjestelmä olisi liitettävissä järjestelmään myöhemmin ilman peruslaitteiston muutoksia.

Alkuperäinen kokoonpano käsitti pääkomponenteiltaan kaksi ABB:n IRB360 Flex-Picker Delta-tyyppistä robottia, Allen-Bradley ohjelmoitavan logiikan, IPC:n, eli teollisuustietokoneen Windows XP käyttöjärjestelmällä ja siihen asennetun ABB Pick-Master sovelluksen Basler scA1390-ABB (Basler scA1390-17gm) harmaasävykameeroineen, sekä kuljettimen.

Solun lopulliseen kokoonpanoon jäisi kahdesta neliakselisesta ABB IRB 360 Flex-Picker roboteista vain toinen ja poistetun tilalle asennettaisiin kuusiakselinen käsivarsirobotti ABB IRB120. Nykyisen kuljettimen lisäksi lopullinen kokoonpano sisältäisi myös toisen, ns. jättökuljettimen, joka tultaisiin jättämään tämän työn ulkopuolelle.

Yrityksen käyttämät ensisijaiset automaatiojärjestelmät ovat Beckhoff ja Siemens sekä ABB. Näistä järjestelmistä testisolun valittiin PC ympäristössä toimiva Beckhoff, johon myös Multivac tuotteiden ohjelmat ja komponentit pohjautuvat. Logiikka- ja ohjausjärjestelmäkokoonpano käsittäisi Beckhoff IPC:n (Industrial PC), tarvittavat I/O-, eli tulo- ja lähtökortit, turvalogiikan I/O-kortit, väylämoduulit, Beckhoff kosketusnäytön sekä ABB ACS355-mallin taajuusmuuttajat kuljettimille. Aluksi myös Siemens

PLC:n ollessa kokoonpanon suunnittelussa mukana pohdittiin, käytettäisiinkö Beckhoff I/O-kortteja myös Siemensin toteutuksessa. Tämä olisi käytännössä täysin mahdollista vaihtamalla I/O-korttien väyläkytkin toisen tyyppiseksi. Suunnitellusta kokoonpanosta tehtiin graafinen luonnos (Kuva 1), joka täsmentyisi lopullisen suunnitelun edetessä.



Kuva 1. Alkuperäinen suunnitelma graafisena esityksenä

Konenäköjärjestelmän kameran päivittämistä värikameraan harkittaisiin. Kameran vaihtaminen harmaasävykamerasta värilliseen pitäisi pohtia saavutettavien hyötyjen valossa, mutta myös siltä kannalta, että kyseessä on testisolu. Kameran vaihtaminen ei tämän työn osalta olisi kuitenkaan ollut merkittävä, koska järjestelmään voitaisiin lisätä tai vaihtaa myöhemmin. Testikäyttöä ajatellen kameran vaihtaminen värikameraksi voisi olla monessakin mielessä kuitenkin järkevää ja tästä tehtiin suunnitelma tulevaisuuden varalle, vaikka kameraa ei tässä vaiheessa vielä päivitetäkään.

Teollisuustietokoneeseen asennettaisiin vähintään ABB Robostudio- ja ABB Pick-Master-sovellukset. Beckhoff logiikan ohjelmointia varten Microsoft VisualStudio 2017 ja siihen tarvittava TwinCAT3-laajennus. Järjestelmä rakennettaisiin myös niin, että myöhemmin voidaan lisätä samaan järjestelmään rinnalle myös Siemens PLC turvalogiikoihin. Haasteena tulisi olemaan, miten saadaan sujuvasti yhteensovitettua laitteita ohjaamaan tarvittavat Beckhoffin sekä Siemensin logiikat, koska eri järjestelmien verkkoprotokollat eroavat merkittävästi toisistaan. Molemmat logiikat lopulliseen kokoonpanon kuitenkin tarvittaisiin, koska niitä käytetään aina tarpeen mukaan

erilaisissa asiakaskokoonpanoissa. Eri valmistajien logiikat eivät kuitenkaan tulisi olemaan samanaikaisesti käytössä. Tämä työ keskittyisi siis ensisijaisesti testisolun vaatiman kokonaistyön laajuuden vuoksi vain Beckhoff-järjestelmien ja robottien ohjaus- ja muihin tarvittaviin automaatiojärjestelmien suunnitteluun ja osakokonaisuuksien käyttämien kenttäväylien konfigurointiin sekä kokonaisuuden toimintakuntoon saattamiseen. Työn katsottaisiin olevan valmis, kun kaikki laitteet ovat fyysisesti asennettu ja laitteita voidaan ohjata niille tarkoitetulla tavalla.

## 5 LAITTEISTOT, KOMPONENTIT JA OHJELMISTOT

### 5.1 Laitteistovaatimukset

Suunnittelun lähtökohtana ja tavoitteena oli siis saada yrityksen käyttöön mahdollisimman monipuolinen ja helppokäyttöinen testisolu. Kaikki valittavat komponentit tulisi olla yrityksen yleisesti käytössä olevia malleja, mutta luonnollisesti myös keskenään yhteensopivia. Ohjelmoitavaksi logiikaksi valikoitui Beckhoff, muutamista syistä. Suurin valinnan peruste oli, että Beckhoff PLC toimii PC ympäristössä, joten valitsemalla riittävän suorituskykyinen IPC, voitiin kaikki tarvittavat ohjelmistot asentaa siihen. Iso osa yrityksen laitteistosta tukeutuu myös joko Beckhoff tai Beckhoff-alustaa käyttävään Multivac-järjestelmään. Tämän myötä toteutuksen hyöty olisi käytännössä maksimaalinen. Järjestelmä tulisi olla mm. käyttöjärjestelmältään nykyaikainen ja päivitettävissä mahdollisimman pitkälle tulevaisuudessa.

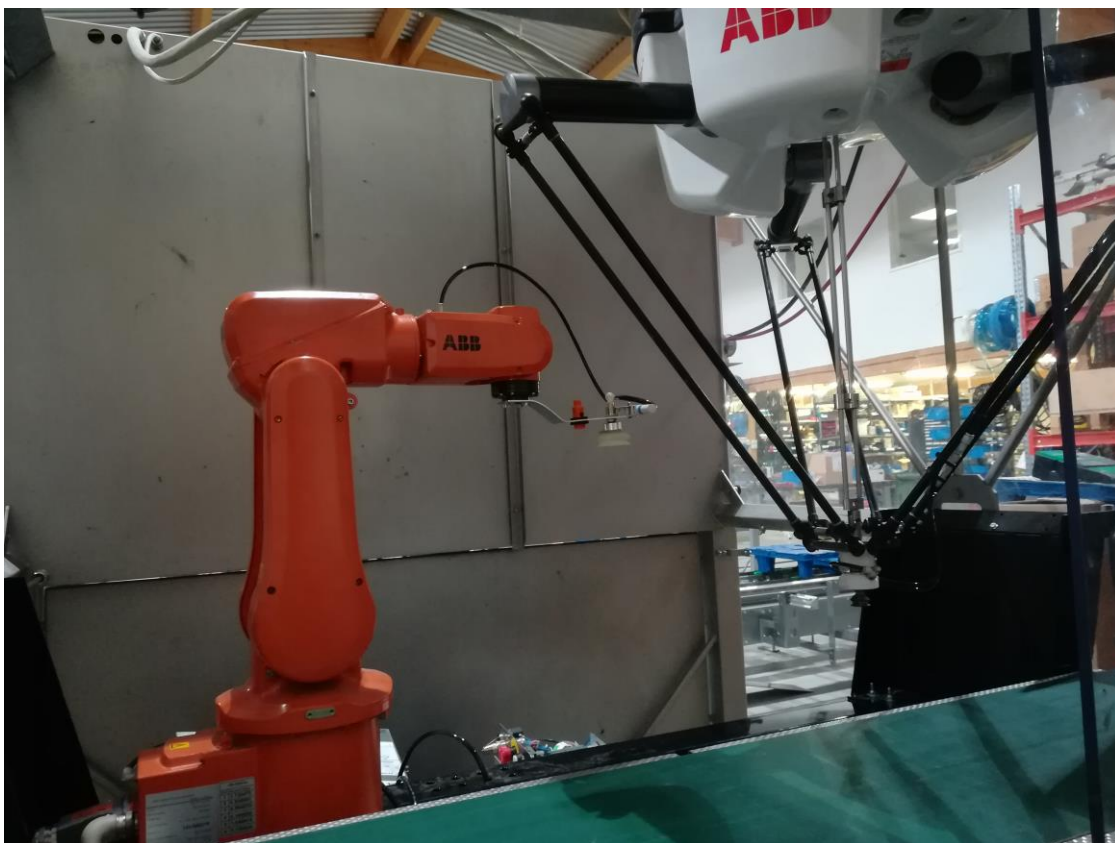
Yksi keskeisimmistä laitteiston sujuvaan toimintaan vaikuttavista asioista on käytettävät turvatekniikat. Toteutustapoja on monia, voidaan käyttää ns. perinteisiä turvareleitä, joilla alkuperäinen kokoonpano oli toteutettu tai nykyään yleisempää turvalogiikkaa. Mutta koska kyseessä on testisolu, tulisi myös eri turvaratkaisuja päästä testaamaan helposti. Lähtökohtana jokainen osakokonaisuus pitäisi voida jättää käytöstä pois ja silti muita osia voidaan käyttää normaalisti. Lopulliseen kokoonpanoon tulisi tässä vaiheessa kaksi erillistä toisistaan riippumatonta turvajärjestelmää, turvarelein toteutettu sekä Beckhoffin TwinSafe-järjestelmä. Lisäksi järjestelmän toteutuksessa tuli huomioida myöhemmin lisättävä Siemensin järjestelmä turvalogiikoineen.

### 5.2 Laitteistojen valinta ja valintaperusteet

Seuraavassa on esitelty eri laitteiden ja komponenttien valintaperusteet lyhyesti ja valintaan vaikuttaneet keskeisimmät tekijät. Osaa eri komponenttien ja laitteiden valintaperusteita tullaan käsittelemään yksityiskohtaisemmin myöhemmin ”laitteiston rakentaminen”-osiossa.

### 5.2.1 Robotit

Solussa olleista neliakselisista ABB IRB360 FlexPicker Delta-tyyppisistä roboteista jätettiin kokoonpanoon toinen. Todettiin, että yksi picker-tyyppinen robotti kykenee hoitamaan testikäytössä suoritettavat tehtävät hyvin, eikä toinen toisi juurikaan merkityksellistä lisäarvoa. Pois puretun robotin tilalle asennettiin yrityksen testikäytössä toisaalla ollut kuusiakselinen käsivarsirobotti ABB IRB120 (Kuva 2), joka myös fyysisen kokonsa puolesta sopii erinomaisesti testisoluun ja on myös ABB IRB360 FlexPickerin tavoin hyvin yleisesti käytetty robottityyppi yrityksen eri sovellutuksissa. Yritys käyttää laitteistokokoonpanoissa pääosin ABB robotteja.



Kuva 2. ABB robotit: 6-akselinen IRB 120 (vas.) ja Delta-tyyppinen IRB 360

### 5.2.2 Teollisuustietokone

Teollisuustietokone (IPC, Industrial PC) valittiin lähes yksinomaan suorituskyvyn mukaan, jonka piti olla riittävä. Sen tulisi suoriutua käytännössä jokaisen Beckhoff-oh-



jelman suorittamisesta ongelmitta. Lisäksi siihen pitäisi kyetä asentamaan kaikki tarvittavat ohjelmistot. Liitäntöjä tulisi olla riittävästi ja käyttöjärjestelmä Windows 10 64-bittinen versio, pääosin jo ohjelmistojen vaatimuksen vuoksi.

Beckhoff käyttää TwinCAT3-laitteiden suorituskyvyn ilmaisemiseen erityistä Performance-lukua P20, P30...P80. Valittu IPC sijoittuu määritelmän mukaan tämän sarjan korkeimpaan, Very High P80-suorituskykyluokkaan. Suorituskykyluokassa P80...P84 on moniydinsuorittimilla varustettuja teollisuustietokoneita. Prosessorien ytimien määrä näissä voi olla aina jopa 64. Tämä mahdollistaa eri tehtävien jakamisen tietyille prosessorin ytimille, joka tekee ohjelman suorittamisesta vakaamman syklijajasta nopeamman. (Beckhoff www-sivut 2020; Isotalo 2016, 27.)

Beckhoff IPC toimii periaatteessa samalla tavalla kuin tavallinenkin PC. Rakenteita ja mikroprosessoriarkkitehtuureja on monenlaiseen tarpeeseen, aina sulautetuista järjestelmissä ja esim. älymobiililaitteissa yleisesti käytössä olevasta ARM (Advanced RISC Machines) 32-bittisestä arkkitehtuurista teho-PC:ssä käytettyihin suoritinarkkitehtuureihin. ARM-arkkitehtuurista on julkaistu myös 64-bittinen versio, joka ei kuitenkaan kirjoitushetkellä ollut vielä kovin yleinen, vaikkakin se on julkaistu jo lokakuussa 2011 (Wikipedia 2020, hakusana ARM).

IPC:n valinnassa haluttiin ottaa huomioon myös laitteiston päivittäminen tulevaisuudessa. Nykyaikaiset teollisuudessa käytetyt ohjelmistot toimivat pääsääntöisesti 64-bittisessä ympäristössä ja sen suorituskyky on huomattavasti parempi verrattuna 32-bittiseen. Valintaan vaikutti kuitenkin oleellisesti ABB PickMaster järjestelmän asettamat edellytykset, joita käydään selvemmin läpi ABB IRB 360 konfiguroinnin yhteydessä. Keskusmuistia (RAM) saadaan Beckhoffin 64-bittiseen järjestelmään huomattavasti enemmän. Windowsin 32-bittisessä käyttöjärjestelmäympäristössä Beckhoff IPC:n RAM-muistikapasiteetti rajoittuu kolmeen gigatavuun, kun valitussa kokoonpanossa se olisi laajennettavissa jopa 16 gigatavuun (Beckhoff www-sivut 2020).

Malliksi valittiin Beckhoff C6930-0060, käyttöjärjestelmäksi Windows 10 64-bittinen versio, Keskusmuistia 8GB ja massamuistiksi nopea 480GB SSD (Solid-State Drive) puolijohdekiintolevy, prosessoriksi varsin suorituskykyinen neliytiminen Intel®

Core™ i7. IPC on varustettu jäähdytyspuhaltimin ja ns. Control Cabinet-mallia ja on tarkoitettu keskusasennukseen IP-luokituksen ollessa 20. Valittu malli on varustettu neljällä Ethernet-portilla, neljällä USB3.0 portilla sekä DVI-portilla. Tietokoneessa on myös SATA RAID-järjestelmä kahden kiintolevyn, SSD- tai CFast-kortin peilaamiseen, jonka eri käyttömahdollisuuksia olisi tarkoitus myös testata käytännössä ja saatua informaatiota hyödyntää asiakaskokoonpanoissa. (Beckhoff www-sivut 2020; Beckhoff Infosys www-sivut, 2020.)

### 5.2.3 Kosketusnäyttö

IPC varustettiin asianmukaisella Beckhoff CP2916-0000 16” kosketusnäytöllä. Valittu näyttö soveltuu hyvin kokonsa ja ominaisuuksiensa puolesta testisoluun ja on resoluutioltaan asiakaskokoonpanoja vastaava. Näyttö on varustettu yhdellä USB3.0 sisään-tulolla ja kahdella ulostulolla sekä yhdellä rj45-portilla. Mikäli halutaan käyttää näytön kosketusnäyttöominaisuutta, tulee se kytkeä tietokoneeseen myös USB-kaapelilla.

Jos näytön ja IPC:n välinen etäisyys on pitkä, kaapelointi voidaan tarvittaessa toteuttaa myös CP-Link-järjestelmällä Cat-6 Ethernet-kaapeloinnilla. CP-Link-järjestelmää käytettäessä vaaditaan joko erillinen Beckhoff CU8802 tai CU8803-muunnin tai tietokoneen koteloon suoraan emolevylle asennettava C990-E276-kortti, joka mahdollistaa jopa 100m kaapelipituuden. Normaalin USB3.0-kaapelin suositeltava maksimipituus rajoittuu 5m ilman aktiivista kaapelia. Aktiivisen, eli jännitteen syöttöllisen kaapelin käyttö pidentää maksimin aina 50m asti. (Beckhoff 2020, Installation and Operating instructions for CP29XX-00.)

### 5.2.4 PLC komponentit

Beckhoff teollisuustietokoneeseen liitettävät PLC- ja väyläkomponenttien valintaan vaikuttaa mm. tässä kokoonpanossa käytettävä EtherCAT-verkkoprotokolla. EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) on Beckhoffin kehittämä automaatioverkkoprotokolla, joka on standardoitu standardiin IEC61158 (EtherCAT www-sivut 2020).

Erilaisia väyläsovittimia ja muita komponentteja on tarjolla runsaasti ja käytännössä

mihin tarpeeseen hyvänsä. Sopivien komponenttien valinta on pienen tutkiskelun jälkeen melko helppoa ja yksinkertaista, vaikka aluksi se voi tuntua aivan mahdottomalta suuren tarjonnan vuoksi. Järjestelmään tarvittiin väyläliitin IPC:n ja varsinaisten väyläkomponenttien välille. Sopiva tuote tähän tarkoitukseen on Beckhoff EK1100. Tämän perään liitettiin EL1008 tulokortit ja EL2008 lähtökortit sekä TwinSafe järjestelmän logiikkakortti EL6910, johon liitettiin TwinSafe 2kpl EL1904 tulokortteja ja lähtökortti EL2904. Tulo- ja lähtökortteja on helppo lisätä tarpeen mukaan, vaikka kokonpanon väliin. Tuloja lähtökorttien tuotekoodauslogiikka on pääteltävissä tiettyyn pisteeseen saakka ja peruskomponentit ovat melko helppo tunnistaa pelkän numeron perusteella (Beckhoff 2020, Beckhoff TwinCAT catalog). Mikäli kortteja on kovin monta vierekkäin, tulee väliin asentaa myös jännitteen syöttökortteja, esim. EL9180. Muuten jännite laskee liikaa terminaalien lisääntyessä, etenkin jos toimilaitteita syötetään suoraan kortilta. Kaikkien tuotteiden datalehdet löytyvät helposti Beckhoff-verkkosivuilta, joten tieto on hyvin helposti saatavilla. Lisäksi tarvittiin vielä muutama kenttäväyläsovitin, joiden avulla muodostetaan käytettäviin robotteihin ja taajuusmuuttajiin tarvittava yhteys. Sovittimien tuli olla Master, eli isäntälaitteita. EtherCAT-protokolla tulisi muuttaa ABB IRB360 robotin logiikalla ohjaamista varten DeviceNet-protokollaan ja ABB IRB120 robotille ProfiNet-protokollan mukaiseksi. Näiden valinnan perusteet selviävät tarkemmin robottien konfiguroinnin yhteydessä. Lisäksi ABB ACS355 taajuusmuuttajat vaativat FECA-01-kenttäväyläsovittimen EtherCAT väyläohjausta varten. (Beckhoff Infosys-ohjesivusto www-sivut 2020.)

### 5.2.5 Ohjelmistot

IPC:n perusohjelmistoiksi valittiin ABB PickMaster v.3.55, Beckhoff TwinCAT3, Microsoft VisualStudio2017 ja ABB RobotStudio2019, joilla saavutettaisiin halutut käyttöominaisuudet ja toiminnot. Näistä ABB PickMaster ja ABB RobotStudio2019 osallistuvat robottien ohjelmointiin ja ohjaukseen. Lisenssin alainen PickMaster-ohjelmisto on kappaleen poimintaan kehitetty ohjelmisto, jolla konenäköavusteisen radanseurannan ansiosta voidaan paikantaa kappaleen sijainti ja orientaatio kuljettimella poimintaa tai työvaihetta varten (ABB PickMaster 2020).

RobotStudio2019 on ABB:n roboteille suunniteltu, erittäin monipuolinen ohjelmointi- ja konfigurointityökalu, jolla onnistuu tarvittaessa myös simulointi ja varmuuskopion luominen sekä järjestelmän palautus halutusta varmuuskopiosta. Myös RobotStudio tarvitsee toimiakseen lisenssin, mutta sen kaikki ominaisuudet saadaan käyttöön myös fyysisen robotin ohjelmoinnin yhteydessä varsinaisen robotin käyttölisenssillä (ABB RobotStudio 2020).

Beckhoff ohjelmointia varten Microsoft VisualStudio ohjelmankehitysympäristöön kehitetty erityinen TwinCAT3 XAE-laajennusosa ei varsinaisesti vaadi omaa lisenssiä. Kuitenkin on huomioitava, että mikäli päädytään käyttämään VisualStudio2017 versiota tulisi ohjelmistolisenssi hankkia, mikäli kyse on kaupallisesta käytöstä. Beckhoff TwinCAT3 XAE-laajennusosa on ladattavissa ilmaisen rekisteröitymisen jälkeen Beckhoff verkkosivuilta ja se sisältää automaattisesti VisualStudion vanhemman, 2013 version. Tällöin maksullista lisenssiä VisualStudion osalta ei vaadita, vaan ohjelmisto on käytettävissä sellaisenaan vapaasti. Tosin se ei sisällä kaikkia VisualStudio2013 version muita ohjelmointiominaisuuksia. Mikäli ominaisuuksia lisätään, on lisenssi todennäköisesti hankittava. Käyttökokemuksiin perustuen päädyttiin valitsemaan laitekoonpanoon VisualStudio2017 versio. VisualStudiosta on tarjolla uudempi versio 2019, mutta on hyvä huomioida että 2017 on viimeisin, johon TwinCAT3 XAE laajennus on mahdollista asentaa.

VisualStudio TwinCAT3-ohjelmointiympäristön asentaminen ei periaatteessa olisi välttämätöntä, koska Beckhoff tietokoneeseen on asennettu TwinCAT Core jo tehtaalla, mutta tässäkin haettiin testitilanteisiin käytön helppoutta. Automaatio-ohjelmat voidaan luoda mukavasti työpöydän ääressä ja siirtää esim. muistitikulle tai verkkolevyille, josta se voidaan avata uudestaan testisolun äärellä ja hienosäätää tarvittavilta osin, ilman että testaajan tarvitsee kytkeä tavanomaisella tavalla ohjelmoitaessa erillistä tietokonetta järjestelmään. TwinCAT Core voidaan asentaa halutessaan myös mille tahansa Windows 7 tai Windows 10 PC:lle (Beckhoff 2020).

Beckhoff TwinCAT3 on myös lisenssin alainen tuote, mutta sen yksi hienoimmista ominaisuuksista on se, ettei lisenssiä tarvita vielä kehitysympäristön (TwinCAT3 XAE) ns. kokeilukäytössä. Eri toteutuksia voidaan kokeilla ja hakea paras laitekonfiguraatio. Lopulliseen kokoonpanoon hankitaan pysyvät lisenssit valittujen laitteiden

ja ominaisuuksien käyttöä varten. Ohjelmointi- ja laitteistokonfiguraation kehitysvaiheessa aktivoidaan tarvittaville ominaisuuksille kokeilulisenssi, aina seitsemäksi päiväksi kerrallaan. Lisenssin puuttuessa tai umpeuduttua TwinCAT3 ilmoittaa ohjelmaa kääntäessä tai käynnistäessä puuttuvista lisensseistä ja samalla kysyy, aktivoidaanko kokeilulisenssi. Kokeilulisenssi on mahdollista aktivoida vain TwinCAT3 XAE, eli kehitysympäristössä. TwinCAT3 XAR (Runtime) vaatii aina ns. lisenssi-donglen, eli muistitikun, johon varsinainen lisenssitiedosto on asennettu. (Beckhoff Infosys-ohjesivusto [www-sivut](http://www-beckhoff.com) 2020.)

### 5.2.6 Ohjauskeskus

Solu oli jo valmiiksi varustettu erillisellä ohjauskeskuksella, jossa oli muutamien painikkeiden lisäksi kosketusnäyttö. Sijainnin ollessa käyttötarkoitukseen sopiva korvattiin vanha näyttö tarkoitukseen paremmin sopivalla uudella Beckhoff CP2916-0000 16” kosketusnäytöllä ja keskukseen lisättiin tarvittavat painikkeet, mm. robottien ja turvalaitteiden tilojen kuittauksia varten. Lisäksi IPC varustettiin tavallisella näppäimistöllä ja hiirellä ergonomisen käytön helpottamiseksi ja niille rakennettiin tarkoituksen mukaiset paikat ohjainkeskuksen yhteyteen. Kosketusnäytön koteloon asennettiin USB- ja Ethernet-portit kannettavan tietokoneen liittämiseksi järjestelmään, sekä HDMI-liitäntä ulkoisen näytön liittämiseksi järjestelmään. Näitä varten suunniteltiin ja 3D-tulostettiin liitinpaneeli, joka kiinnitettiin keskukseen. Näin kaikki tarvittavat liitännät ovat helposti käytettävissä suoraan ohjauskeskukselta.

### 5.2.7 Muut laitteet ja komponentit

Alkuperäisestä kokoonpanosta jätettiin käyttöön ½” ja 1392 x 1040 pikselin CCD-kennolla varustettu Basler Scout scA1390 monokromaattinen, eli harmaasävykamera, palvelemaan ABB PickMaster-järjestelmää (Altavision 2020, Basler Scout Area Scan Cameras). Kuljettimien moottoreiden ohjauksesta vastaisi ABB ACS355 taajuusmuuttajat. Vanhat turvareleet korvattiin PhoenixContact PSR-MC40 malleilla, jotka vastaavat yrityksessä yleisesti käytössä olevia. Lisäksi keskuksen automaatio- ja tietokoneiden virransyötöstä vastaa kaksi 24VDC 10A virtalähdettä. Pienoisjännitteen sulak-

keiksi valittiin elektronisesti säädettävät PhoenixContact TCB E1 24DC/1-8 NO su-lakkeet. Turvatekniikoiden toisistaan erottamiseksi päädyttiin käyttämään Harting-tyyppisiä liittimiä. Lisäksi PickMaster-järjestelmän kuljettimen liikenopectta mittaava inkrementaalianturi vaihdettiin yrityksen yleisesti käyttämään ifm RA6015 malliin.

## 6 TYÖN TOTEUTUS

### 6.1 Tarpeettomien osien purkaminen

Kun tiedossa oli laitteet ja laitteistot, jotka lopulliseen kokoonpanoon tarvitaan, voitiin aloittaa tarpeettomien laitteiden purkaminen. Loppujen lopuksi soluun jäi vanhasta kokoonpanosta käytännössä runko, toinen ABB IRB 360 ja IRC5 robottiohjain, kuljetin, kameran kotelo kameroineen, ABB IRB 360 robottien IO- ja radanseuranta-kortit, ohjainkeskus ja keskusten DIN-kiskot sekä johtokourut, joita hyödynnettiin mahdollisuuksien mukaan uusien sähkökytkentöjen asennuksessa. Jäljelle jääneistä osista mainittakoon ABB IRB 360-robottien tarttujien ohjaukseen tarkoitettut venttiilikotelot, jotka päätettiin myös hyödyntää lopullisessa kokoonpanossa. Solun turvaovien magneettikytkimiä ei nähty myöskään tarpeellisiksi vaihtaa, samoin hätäseis-painikkeet, joita katsottiin myös olevan riittävästi. Johdotuksia hyödynnettiin siltä osin kuin katsottiin järkeväksi. Solun alkuperäinen käyttömaa oli Viro, joten käytännössä kaikki vanhat 240/400V sähkönsyötöt ja johdonsuojakytkimet purettiin pois ja ne piti päivittää vastaamaan Suomessa voimassa olevia standardeja.

### 6.2 Rakentaminen

Seuraavassa käydään läpi rakentamisen eri osioita ja tarkennetaan joidenkin ratkaisujen osalta niihin johtaneita seikkoja. Useimmat osiot kokivat täydellisen uudistuksen, mutta myös vanhaa käytettiin siltä osin kuin se katsottiin järkeväksi. Muutostöiden määrä yllätti ja aiheutti ajoittain haasteita. Uusille komponenteille piti löytää optimaalisin sijoituspaikka. Hahmottamisessa auttoi tiettyjen laitteiden asentaminen paikoilleen. Kokemus tuo tässäkin varmasti vuosien myötä arvokasta ammattitaitoa.

#### 6.2.1 Sähkönsyöttö

Solu kytketään sähköverkkoon 16A voimavirtapistotulpalla. Pääkeskuksen kyljessä on pääkytkin ja kotelon sisälle vastapuolelle asennettiin asianmukaiset johdonsuojakytki-

met roboteille ja muille järjestelmille. Lisäksi ohjauskeskukseen asennetulle pistorasiaryhmälle asennettiin vikavirtasuojalla varustettu johdonsuojakytkin. ABB IRB 360 varsinaisesta jännitteensyötöstä vastaa kolmivaihemuuntaja, joka muuntaa kolmivaiheisen 400 voltin sähkönsyötön robotin käyttämään kolmivaiheiseen 262 volttiin. Muuntaja siirrettiin keskuksen sisällä myös parempaan paikkaan, jolloin saatiin vapautettua tärkeä tilaa uusille asennuksille. Koska nyt toteutettu uusi sähköjärjestelmä toteutettiin viisijohdinjärjestelmänä, ei keskuksessa alkuperäisenä ollut 400V/230V muuntajaa enää tarvittu. Pienoisjännitepiirit jaettiin virtalähteillä ja sulakkeilla alaryhmiin. IPC:n ja näytön virransyötöstä vastaa oma 24V/10A virtalähde ja toinen virtalähde kytkettiin palvelemaan automaatiojärjestelmän muita osia, kuten IO-kortteja ja pneumatiikkaventtiileitä jne. Molempien pienoisjännitteisten virtalähteiden 0V lähdöt kytkettiin maapotentiaaliin.

#### 6.2.2 Keskusten kalustaminen ja muutokset

Pääkeskuksen laitteet ja komponentit ryhmiteltiin loogisesti toimintojen mukaan ja ne kiinnitettiin käyttämällä DIN-kiskoa. IPC asennettiin keskuksen yläosaan, josta on lyhyin reitti ohjauskeskukselle. Ohjauskeskukselle, turvajärjestelmille ja robottien liittännöille asennettiin omat liitinryhmät, jolloin kytkentöjen tekeminen ja tulkinta olisi mahdollisimman helppoa. ABB IRB 360 kontrollerin ABB DSQC 652 I/O- ja kuljettimien ABB DSQC 337B seurantayksiköiden todettiin olevan keskuksen ovelta varsin hyvällä alkuperäisellä paikalla (Kuva 3). ABB IRB 120 ohjain asennettiin pois puretun robotin ohjaimen tilalle ja sen yhteyteen kontrollerin ABB DSQC I/O-kortti.

Ohjauskeskukseen asennettiin uusi näyttö. Näytön aukko jouduttiin hieman muokkaamaan, jotta uusi näyttö sopi paikoilleen. Samalla työstettiin koteloon tarvittavat läpiviennit, sekä muut aukot painonappeja ja liitinpaneelia varten. Koteloa myös laskettiin hieman ergonomisemmalle tasolle ja siihen lisättiin muutama painonappi, kytkin sekä liitinpaneeli ja vikavirtasuojattu pistorasiaryhmä ulkoisten laitteiden liitää varten.





Kuva 3. ABB IRB 360 I/O- (vas.) ja radanseurantakortit keskuksen ovenssa

### 6.2.3 Kaapeloinnit ja johdotukset

Koska iso osa johdotuksista kulkee aina pääosin kahden erillisen laitteen välillä ja kaikille laiteryhmillä asennettiin omat liitinryhmät, oli iso osa johdotuksista helppo toteuttaa kaapeloinnilla. Tämä vähensi myös oleellisesti johtimien merkintöjen tarvetta. Kaapeli- ja johdinreitit ovat pääosin samoja, joita vanhassa kokoonpanossakin käytettiin. Keskuksessa oli valmiiksi johdinkourut, joita muokattiin tarvittaessa. Kuljettimen moottorin kaapeli oli vaurioitunut ja se vaihdettiin myös uuteen. ABB IRB 120 robotin kontrollerin ja robotin välisille kaapeleille asennettiin johtohylly, johon asennettiin myös kuljettimen moottorin kaapeli. Samaa johtohyllyä voidaan käyttää myöhemmin todennäköisten kaapelilisäysten asennuksessa.

#### 6.2.4 3D-tulosteet

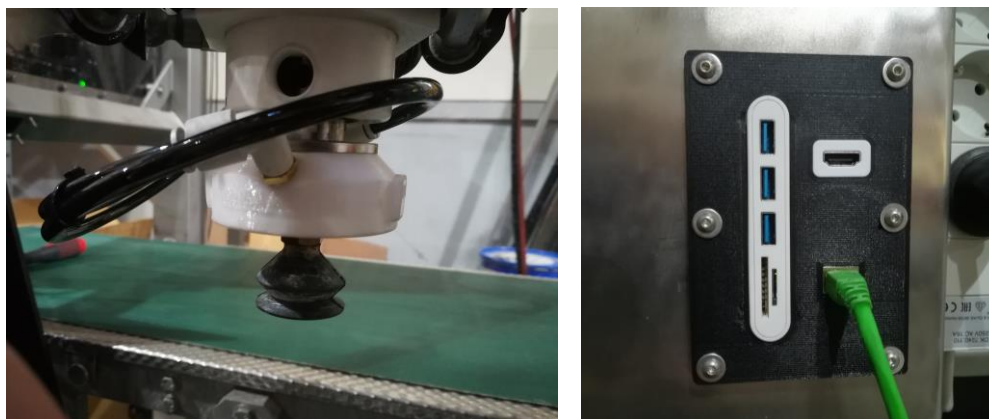
3D-tulostus ts. kolmiulotteinen tulostus on tekniikka, jossa materiaalia lisätään kerros kerrokselta. Tulostustekniikasta ja materiaalista riippuen aine lisätään esimerkiksi nauhana, jauheena tai nesteenä. Materiaaleina voi nykypäivänä olla lähes mitä vain muovin lisäksi mm. metallia, keraamia tai lasia. Materiaalin 3D-tulostaminen antaa kappaleen suunnittelulle lähes rajattomat mahdollisuuden muodon toteutukseen.

Trimaster Oy käyttää paljon muovitulosteita valmistamissaan laitteissa. Tarvittavat kappaleet tilataan 3D-tulosteisiin erikoistuneelta alihankkijayritykseltä. Tekniikka, jota yritys käyttää on laser-sintraustekniikka SLS (Selective Laser Sintering), jossa tulostusaine lisätään jauheena kerroksittain ja kerrosten muodot toteutetaan laserilla skannaten. Tällä tulostustekniikalla saadaan erittäin korkealaatuisia ja mittatarkkoja kappaleita. (Wikipedia, Kolmiulotteinen tulostus 2020.)

Testisoluun suunniteltiin ja tulostettiin ABB IRB 360 tarttujan runko sekä ohjauskeskukseen asennettu liitinpaneeli. Tarttujan runko on yksinkertainen kappale, johon kiinnitettiin imukuppitarttuja. Rungon sisällä kulkee tarvittavat ilmakeinavat. Olemassa olevia tekniikoita on monia. Testisolun kappaleiden tulostus toteutettiin FDM (Fused Deposition Modelling) tekniikalla, jossa materiaalina on yleensä muovi tai muu pursotukseen sopiva materiaali. Materiaali pursotetaan esim. 0,4mm suuttimen läpi tulostuspinnalle esim. 0,1-0,4mm kerroksina. Nämä kerroskorkeudet sopivat varsin hyvin muovitulosteille, mutta myös ohuempia tai jopa paksumpia kerroksia voidaan käyttää. Muovilla tulostaessa pursotussuutin lämmitetään käytetylle muovityypille optimaaliseen pursotuslämpötilaan. Lämpötilalla on suuri merkitys materiaalivirran hallinnassa ja kerrosten tarttuvuudessa toisiinsa sekä lopulliseen tulostuslaatuun. Tulostusnopeudella on myös erittäin suuri merkitys tulostuksen laatuun. 3D-tulostustekniikalla voidaankin siis toteuttaa lähes kaikki muodot ja esim. kanavat helposti kappaleen sisään, jotka perinteisin materiaalia poistavilla menetelmillä olisi jopa mahdotonta toteuttaa.

Molemmat soluun tulostetuista kappaleista (Kuva 4) tulostettiin PETG-muovista FDM-tekniikalla, käyttäen halkisijaltaan 1,75mm paksuista filamenttilankaa. PETG on PET-muovi (Polyetyleenitereftalaatti), johon on lisätty glykolia tulostusominais-

suuksien parantamiseksi. PET-muovi on tuttu muovimateriaali esimerkiksi muovipulloista ja soveltuu siis elintarvike pakkausten ja käsittelylaitteiden osien valmistukseen (Wikipedia, Polyetyleenitereftalaatti). Kerrokorkeudeksi valittiin 0,2mm, jolla saadaan jo varsin hyvälaatuisia tulosteita aikaan. Muovin kutistuminen otettiin huomioon jo kappaleiden suunnitteluvaiheessa, jonka ansiosta liitinpaneeliin asennettavat komponentit istuivat paikalleen tiiviisti. Tulosteet saatiin myös varsin nopeasti ja edullisesti itse valmistuen. Ensin tulostettiin mitoitustuloste, josta kriittiset mitat kyettiin tarkastamaan. Kappaleiden muodot sallivat varsinaisen kappaleen kesken jätetyn tulosteen käyttämisen mitoitustulosteena. Näin mm. muovin kutistuminen ja itse tulostimen aiheuttamat vaikutukset mittoihin oli helppo kompensoida lopullisiin tulosteisiin.

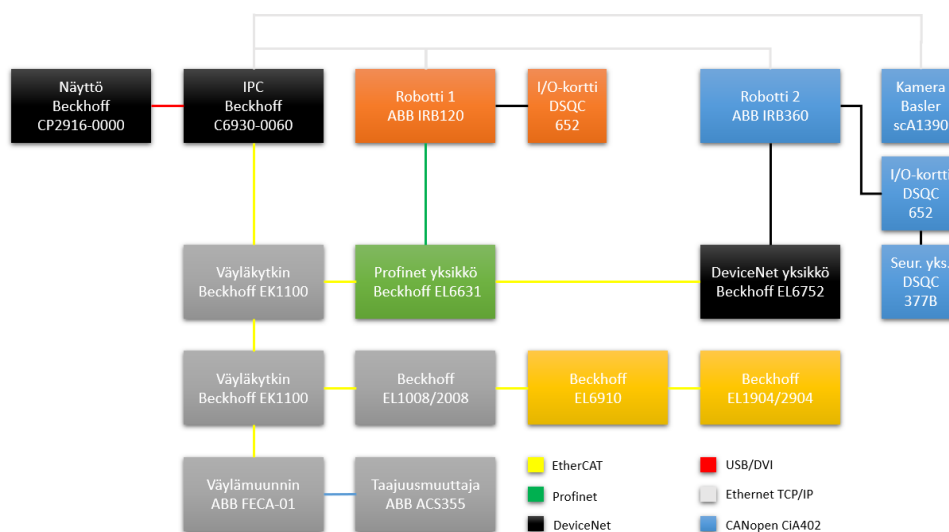


Kuva 4. Robotin tarttujan sekä liitinpaneelin 3D-tulosteet

## 7 OSAKOKONAISUUKSIEN TOTEUTUS JA KONFIGUROINTI

Seuraavassa käydään läpi laitteistojen ohjaukset sekä käytettävien ohjelmien toiminta ja laitteiden yhteyksien konfigurointi. Laitteistojen väliset yhteydet on lopullisessa kokoonpanossa toteutettu useaa eri väyläprotokollaa käyttäen ja erityisesti tämä oli monelta osin varsin haasteellinen, jotta kokonaisuus saatiin toimimaan halutulla tavalla. Robottien yhteydessä on kerrottu myös samalla niiden ohjaamiseen oleellisesti vaikuttavien ohjelmien ja automaatiokomponenttien toiminta ja konfigurointi.

Laitteiston kokoonpano ja eri laitteiden väliset kommunikointitavat olivat tässä vaiheessa selvitetty. Laitteiden välisiä yhteyksiä kuvaa hyvin päivitetty versio graafisesta laitekokoonpanokaaviosta (Kuva 5). Ero alkuperäiseen, melko karkeaan suunnitelmaan on huomattava.



Kuva 5. Päivitetty, lopullinen versio laitekokoonpanosta

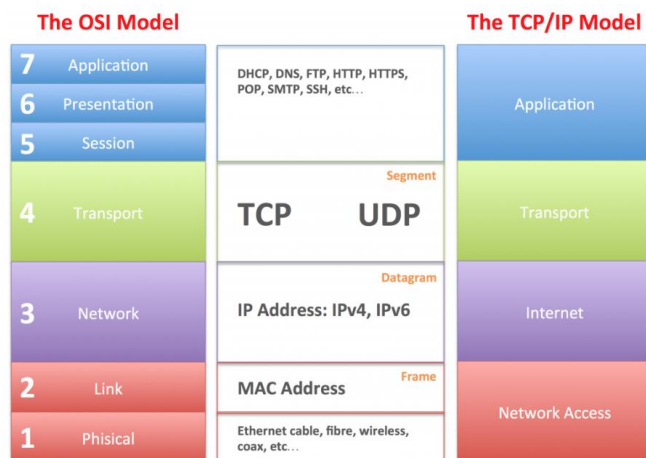
### 7.1 Käytetyt verkkoprotokollat ja kenttäväylät

Automaatiossa datan siirtäminen tapahtuu, yksittäisten I/O-tietojen lisäksi verkon välityksellä sopivaa tapaa käyttäen. Eri valmistajilla ja tahoilla on erityisesti tähän käyttöön kehitettyjä järjestelmiä, kenttäväyliä. Jotta tiedon siirtäminen eri laitteiden välillä

olisi mahdollista, on verkossa olevilla laitteilla yleensä oltava esim. oma IP-osoite tai muu yksilöintitapa, jonka perusteella niihin saadaan yhteys. Jotta tietyt laitteet voivat ottaa yhteyden toisiinsa, niiden tulee olla luonnollisesti samassa verkossa. Eri protokollat toimivat usein toistensa päällä, jossa ylemmän tason protokolla käyttävät alemman tason protokollan ominaisuuksia hyväkseen. Testisolussa käytetyt protokollat ja väylät ovat TCP/IP, EtherCAT, ProfiNet ja DeviceNet.

### 7.1.1 TCP/IP ja UDP/IP

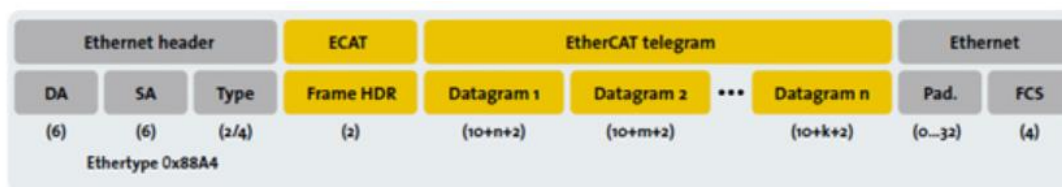
Yleisimmin käytetty protokolla Internetissä on Transmission Control Protocol, eli TCP. Internet Protokollan, eli IP:n päällä, siitä käytetään nimitystä TCP/IP. Se tarjoaa luotettavan yhteyden verkon yli laitteelta toiselle, eikä dataa häviä matkalla. Yhteys muodostetaan, dataa lähetetään ja vastaanotetaan ja sen jälkeen yhteys suljetaan. TCP muodostetaan aina tiettyyn IP-osoitteeseen. Toinen käytetty yhteystyyppi on User Data Protocol, eli UDP, joka IP:n yhteydessä on UDP/IP. Koska datan saapumista perille muuttumattomana ei tarkisteta, on se hyvin kevyt prosessoida. UDP voidaan lähettää myös broadcast pakettina, jossa ei määritellä vastaanottajaa lainkaan, vaan paketit ovat kaikkien verkossa olevien saatavilla. Tämä tyyppi soveltuu hyvin esimerkiksi videodatan lähettämiseen, koska ei ole kovin suurta merkitystä, vaikka joku datapaketti ei menisikään perille. TCP/IP-mallin vertailu OSI-malliin, jota esimerkiksi DeviceNet noudattaa (Kuva 6). (Oulun ammattikorkeakoulu, tietoliikenneohjelmointimoniste.)



Kuva 6. Datakerrosrakenteiden eroavaisuudet (Computing and Information Sciences (Ciss) www-sivut)

### 7.1.2 EtherCAT

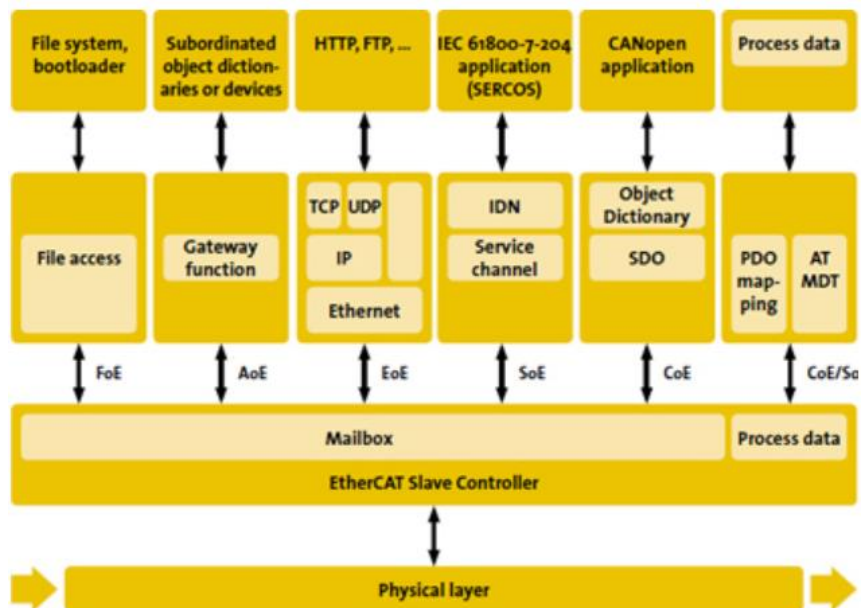
Ethernet-protokollaan pohjautuva EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) on kenttäväylä, jonka kehittäjä on Beckhoff. Kehityksen tavoitteena oli luoda Ethernet-pohjainen, lyhyisiin  $\leq 100\mu\text{s}$  sykliakoihin ja tarkkaan  $\leq 10\mu\text{s}$  synkronointiin kykenevä järjestelmä. Järjestelmän nopeuden puolesta puhuu se, että esimerkiksi 1000 hajautetulla I/O:lla sykli aika on vain noin  $30\mu\text{s}$ . Protokolla on prosessidatalle optimoitu ja tiedonsiirto tapahtuu suoraan standardin IEEE 802.3 perustuvan Ethernet-kehityksen sisällä (Kuva 7). Mikäli IP-reititystä vaaditaan, EtherCAT-protokolla voidaan lisätä UDP / IP-datagrammiin. (EtherCAT Technology Group www-sivut.)



Kuva 7. EtherCAT upotettuna Ethernet kehykseen (EtherCAT Technology Group www-sivut)

EtherCAT isäntälaitte (Master) on ainoa, jolla on oikeus lähettää kehykset. Kaikki muut laitteet vain lähettävät kehyksen eteenpäin samalla lukien ja kirjoittaen tarvittavan datan omaan osoitepaikkaansa. Tällä tavalla estetään odottamattomat viiveet ja tiedonsiirto on mahdollisimman reaaliaikaista. Topologialtaan se on hyvin joustava ja se tukee lähes kaikkia tyyppisiä EtherCAT P-väylä mahdollistaa myös laitteiden jännitteensyötön samaa kaapelia pitkin. Järjestelmä on siis hyvin monipuolinen ja joustava eri käyttötarkoituksiin. (EtherCAT Technology Group www-sivut.)

TwinCAT kommunikointiprofiilissa orjalaitteiden konfigurointiin ja diagnosointiin voidaan asyklisen tiedonsiirron avulla käyttää verkon tarjoamia muuttujia. Toiminto perustuu Mailbox-protokollaan, joka palauttaa automaattisesti virheelliset viestit. EtherCAT-kommunikaatioprofiilien tukemiseen on luotu suuri joukko eri laitteita ja sovelluskerroksia (Kuva 8). (EtherCAT Technology Group www-sivut.)



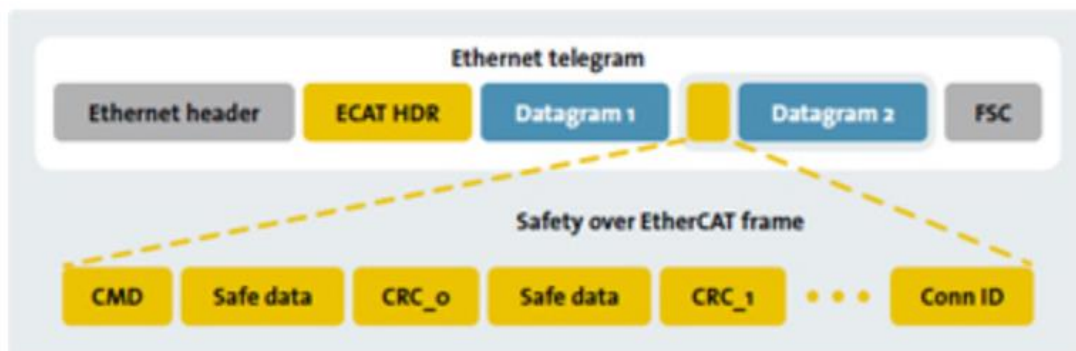
Kuva 8. Eri tyyppiset kommunikaatioprofiilit voivat esiintyä samanaikaisesti samassa järjestelmässä. (EtherCAT Technology Group www-sivut)

EtherCAT turvatekniikka on kehitetty turvallisuusperusstandardin IEC 61508 mukaisesti, ja se on standardoitu standardiin IEC 61784-3 Functional safety fieldbuses – General rules and profile definitions. Protokolla on käytettävissä turvallisuussovelluksiin, joiden turvallisuuden eheyden taso, standardiin EN 62061 mukaisella neliporraisella Safety Integrity Level (SIL) turvatason määrittelyllä, on enintään SIL3 (Kuva 9) (EtherCAT Technology Group www-sivut; Pilz GmbH & Co www-sivut).

Vakavuuden (S) luokittelu	
Vaikutus	Vakavuus (S)
peruuttamaton: kuolema, silmän tai käsien menetys	4
peruuttamaton: murtuneet raajat, yhden/useamman sormen menetys	3
peruuntuva: vaatii lääkärin hoitoa	2
peruuntuva: vaatii ensiapua	1

Kuva 9. Vakavuuden luokittelu SIL-asteikolla (Pilz GmbH & Co www-sivut)

TwinCAT turvatekniikan turvakehykset, ”Safety Containers”, kulkevat osana EtherCAT-kehystä (Kuva 10). Turvakehykset voivat kulkea kenttäväyläjärjestelmien, Ethernetin tai vastaavien tekniikoiden kautta, ja ne voivat käyttää kuparikaapeleita, kuituoptiikkaa ja jopa langattomia yhteyksiä (EtherCAT Technology Group www-sivut).



Kuva 10. Turvakehys osana EtherCAT-kehystä (EtherCAT Technology Group www-sivut)

### 7.1.3 ProfiNet

ProfiNet on Profibus-käyttjäorganisaation toimesta kehitetty teollisuus Ethernet-standardi automaatiosovelluksiin. Se perustuu TCP/IP-protokollaan ja on standardoitu standardien IEC 61158 ja IEC61784 mukaisesti. Se mahdollistaa reaaliaikaisen kommunikoinnin laitteiden välillä väylän jaksonajan ollessa vain muutamia millisekunteja. Väyläjakson alku voidaan toteuttaa yhden mikrosekunnin tarkkuudella. (Profibus 2020.)

Laitteiden määrittely tapahtuu Profinet-verkoissa erityisen General Station Description File, eli GSD-määrittelytiedoston avulla. Se sisältää käytännössä kaikki laitteen määrittämiseen tarvittavat tiedot. Profinet:n GSD-tiedostot ovat XML-pohjaisia ja ne mahdollistavat eri kielten ja tuotevariaatioiden sisällyttämisen yhteen tiedostoon. Tiedoston toimittaa automaatiolaitteen valmistaja. (Profibus 2020.)

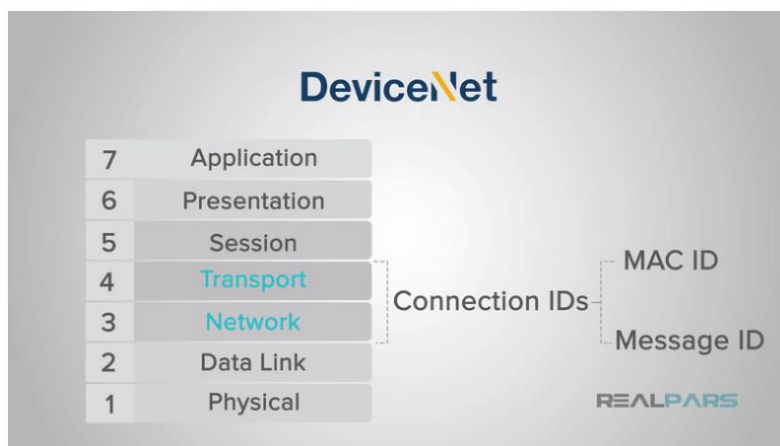
GSD-tiedoston tarkastamiseen on olemassa ohjelma. Se kykenee näyttämään tiedoston sisällön helposti ymmärrettävässä taulukkonäkymässä. Sisäänrakennettu editori mahdollistaa myös tiedoston korjaamisen. (Profibus www-sivut.)

### 7.1.4 DeviceNet

DeviceNet sovellustason protokolla, jota käytetään automaatioympäristössä. Se on amerikkalaisen AllenBardleyn kehittämä, Controller Area Network, eli



CAN-tekniikan päälle rakennettu sovelluskerrosprotokolla. DeviceNet noudattaa Open Systems Interconnection, eli OSI-mallia, joka käyttää seitsemää kerrosta, jotka ovat fyysinen, datalink-, verkko-, kuljetus-, istunto-, esitys- ja sovelluskerros. Verkko- ja siirtokerrokset muodostavat yhdessä laiteyhteyden käyttämällä solmujen yhteys - ID:tä joka muodostuu yhdistämällä laitteen MAC-tunnus ja Message-ID. (Kuva 11). (RealPars www-sivut 2020.)



Kuva 11. DeviceNet kerrosrakenteen ja osoitemuodostuksen (RealPars www-sivut 2020)

DeviceNet voi toimia kolmella eri dataliikennenopeudella, 125 kbit / s, 250 kbit / s ja 500 kbit / s. Käyttökelpoiseen datan maksiminopeuteen vaikuttaa oleellisesti väylän pituus ja käytettävä kaapelityyppi (Kuva 12). (RealPars www-sivut 2020.)

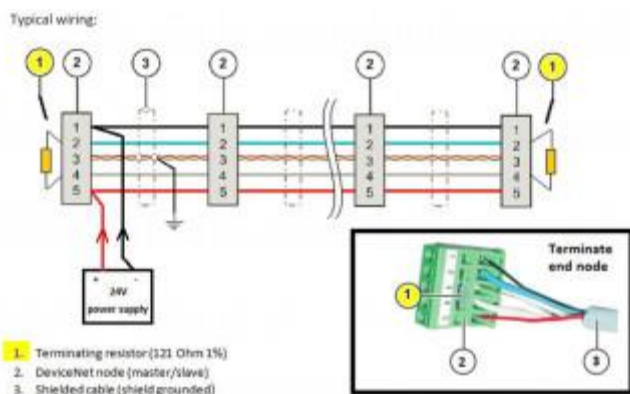
Trunkline Cable Length per DeviceNet Data Rates

Data Rate	Thick Round	Thin Round	KwikLink Flat	KwikLink Lite Flat
125 Kbps	1640 ft (500 m)	328 ft (100 m)	1378 ft (240 m)	1148 ft (350 m)
250 Kbps	820 ft (250 m)	328 ft (100 m)	625 ft (200 m)	492ft (150 m)
500 Kbps	328 ft (100 m)	328 ft (100 m)	264 ft (75 m)	180 ft (55 m)

REALPARS

Kuva 12. Väyläpituuden ja kaapelityypin vaikutus datan siirtonopeuteen (RealPars www-sivut 2020)

Väyläkaapelointi vaatii  $121\Omega$  tai suuremman päätevastuksen molempiin päihin linjaa (Kuva 13). Yhdessä DeviceNet-verkossa voi olla maksimissaan 64 nodea, eli solmua, joiden osoitteet ovat 0...63 (MAC ID DeviceNet).



Kuva 13. Päätevastusten sijainti DeviceNet kaapelissa (Robot-forum www-sivut)

Eri laitteiden yhteydet vaativat konfigurointia varten Electronic Data Sheets, eli EDS-tiedoston, joka toimitetaan laitevalmistajan toimesta. Tiedosto on yksinkertainen tekstitiedosto, joka sisältää kaiken tarvittavan tiedon laitteen tunnistamista ja käyttöönottoa varten. Noin 90-95% ongelmista DeviceNet-väylän toiminnassa liittyvätkin juuri tämän tiedoston puuttumiseen tai mahdollisesti väärän tiedoston käyttöön tai vaihtoehtoisesti kaapelivikaan. (RealPars www-sivut 2020.)

### 7.1.5 CiA 402

CiA 402 on oikeastaan CANopenin väyläprotokollan erityisesti automaatioon suunnitellun CiA 301-profiilin päälle rakennettu liikkeenohjaimille ja taajuusmuuttajille spesioitu CANopen-laiteprofiili. Tässä yhteydessä pitäisikin oikeastaan puhua enemmänkin CANopenin protokollasta. CANopenin protokollaa käytetään sulautettujen järjestelmien protokollana ja se perustuu ISO 11898-1-standardin mukaiseen datayhteyskerrokseen. CiA 301-profiilissa määritellään CANopenin bittien ajoitus ja datanopeuden säätäminen on mahdollista  $10 \text{ kbit/s} - 1000 \text{ kbit/s}$  välillä. Taulukosta nähdään CANopenin väylän bittinopeus ja siitä johtuva verkon enimmäispituus ja kaapelihaaran enimmäispituus (Kuva 14). (CAN in Automation (CiA) www-sivut.)

Bit-Rate	Bus length	Max. stub length	Accumulated stub length
1 Mbit/s	25 m	1,5 m	7,5 m
800 kbit/s	50 m	2,5 m	12,5 m
500 kbit/s	100 m	5,5 m	27,5 m
250 kbit/s	250 m	11 m	55 m
125 kbit/s	500 m	22 m	110 m
50 kbit/s	1000 m	55 m	275 m
20 kbit/s	2500 m	137,5 m	687,5 m
10 kbit/s	5000 m	275 m	1375 m

Kuva 14. CANOpen väylän ja sen haarojen maksimipituudet eri datanopeuksilla (CAN in Automation (CiA) [www-sivut](http://www.sivut))

CiA402-profiili määrittää profiilin servo-ohjainten, taajuusmuuttajien sekä askelmootoreiden ohjainten toiminnan. Se määrittää esimerkiksi taajuusmuuttajan käyttäytymisen komentosan mukaan. Voimassa oleva tila määrittää mitä sanoja voidaan ottaa vastaan. Tila muuttuu, kun ohjauksena vastaanotetaan isäntäohjaimelta ja tilaa voidaan muuttaa myös sisäisen ohjauksen seurauksena. Kommentosan lisäksi ohjaimelle syötetään erilaisia komentoarvoja, kuten nopeustieto. Kulloinkin voimassa oleva tila ilmaistaan tilasanalla. Koska tässä työssä kyseinen protokolla on hyvin pienessä osassa ja sen konfiguroiminen on periaatteessa tehty laitevalmistajan toimesta sisäisesti, ei ole syytä tarkastella tätä enempää.

## 7.2 Teollisuustietokone Beckhoff C6930-0060

Lähtökohtaisesti teollisuustietokoneet toimivat aivan samalla tavalla kuin ns. tavalliset tietokoneet. Ohjelmistoiltaan ne kuitenkin poikkeavat siinä määrin, että teollisuustietokoneiden käyttöjärjestelmästä usein puuttuu monia sellaisia ominaisuuksia ja ohjelmia, joita useimmat meistä ovat tottuneet käyttämään. Tämä on helppo perustella niiden tarpeettomuudella teollisuusympäristössä. Lisäksi ylimääräiset ohjelmat ja ominaisuudet saattavat aiheuttaa laitteistoristiriitoja automaatiolaitteistojen kanssa, unohtamatta tietoturvariskejä niiden järjestelmien kohdalla, jotka on tarkoitus kytkeä kiinteästi tai muuten toistuvasti verkkoon. Teollisuustietokoneissa on myös oletuksena automaattiset päivitykset kytketty pois. Lisäksi on olemassa monia eri järjestelmiä, jotka suojaavat automaattisesti käyttöjärjestelmän, massamuistit sekä muut järjestelmän

osat, joiden asetukset halutaan suojata tahattomilta tai tahallisilta epäsuotuisilta muutoksilta. Teollisuuskäyttöön tarkoitetut laitteet eroavat normaaleista tietokoneista myös ulkoisesti (Kuva 15). Laitteen runko on usein hyvin jämääkkää, esimerkiksi alumiinivalua, ja varustettu asianmukaisilla kiinnityslaiipoilla tai DIN-kiskokiinnitykseen tarkoitetulla uralla keskuskiinnitystä varten. Käyttöjännite on teollisuuslaitteissa yleisesti käytetty 24VDC. Laitteen maadoitusmahdollisuuteen on myös kiinnitetty erityistä huomiota.



Kuva 15. Solun vanha IPC (vas.) ja uusi Beckhoff IPC

### 7.2.1 IPC alkutoimenpiteet

Ennen kuin päästään varsinaisten ohjelmistojen asentamiseen, tulee konfiguroida itse Beckhoff IPC. Beckhoffin Windows 10 ympäristön tiedostonsuojaustyökalu on Beckhoff Unified Writer Filter Manager (UWF). Tällä työkalulla määritellään kirjoitussuojatut tiedostot. Mikäli tiedosto on kirjoitussuojattu, se palautuu alkuperäiseen muotoon seuraavan käynnistyksen yhteydessä (Beckhoff Infosys-ohjesivusto [www-sivut](http://www.beckhoff.com) 2020). Tähän työkaluun on syytä tutustua huolella ennen varsinaisten ohjelmien asennusta. Ohjelmien asennus voi onnistua normaalisti, mutta uudelleenkäynnistyksen jälkeen ohjelma ei enää välttämättä toimikaan oikein tai lakkaa toimimasta kokonaan.

Valittu teollisuustietokone on varustettu myös rikkoutumistilanteessa hyvin suojaavalla SATA RAID-järjestelmällä. Sen toiminta perustuu useamman kiintolevyn tai muun massamuistin yhtäaikaiseen käyttöön. Järjestelmää voidaan käyttää suojauksen lisäksi myös lukunopeuden parantamiseen. Testisolun IPC:n RAID-järjestelmä on RAID1 tasoinen peilaava toteutus. Seuraavassa on hieman avattu kyseisen järjestelmän toimintaa. Järjestelmän toiminnasta on hyvä olla perillä, ennen sen käyttöönottoa. Pahimmillaan voidaan aiheuttaa tilanne, jossa suojaustaso onkin oletettua heikompi tai sitä ei ole lainkaan. Tämä taas voi johtaa jossain tilanteessa jopa korvausvastuuseen.

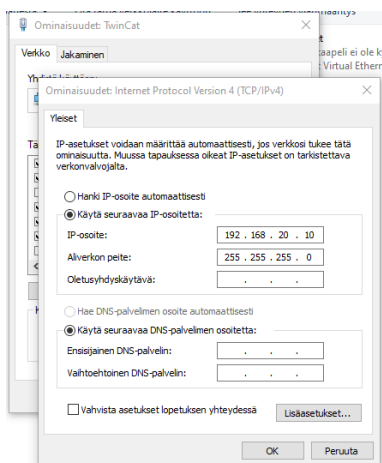
RAID:n tasoja on viisi, joista:

- RAID0 käyttää useampaa kiintolevyä, lomittaen ne yhdeksi tallennustilaksi. Näin luodun levyn lukunopeus on niin moninkertainen kuin fyysisiä levyjä on. On syytä huomioida, ettei tämä sovellustapa ei tuo suojavaikutusta rikkoutumista vastaan. Ikävämpi puoli onkin, että jos yksikin fyysinen levy hajoaa, menetetään kaikki data.
- RAID1 on datan suojauksen kannalta jo huomattavasti edullisempi. Tässä tavassa data kopioidaan yhdelle tai useammalle levyille. Kirjoitusnopeuteen tällä ei ole vaikutusta, mutta lukunopeuskerroin on teoriassa sama kuin levyjen lukumäärä.
- Yksi tapa on näiden kahden edellisen yhdistelmä RAID10 (RAID0+RAID1).
- RAID5:n kokonaiskapasiteetista menetetään yhden kiintolevyn verran pariteettidatan tallennukselle, joka hajautetaan kaikille levyille. Jos vain yksi levy menetetään, on kaikki data palautettavissa, kun menetetään useampi levy, menetetään myös kaikki data.
- RAID6 järjestelmässä tallennetaan pariteettidataa enemmän, jolloin vikasietoisuus on kaksi levyä. (Wikipedia 2020, RAID (tietotekniikka).)

### 7.2.2 Ethernet-portit

IPC on varustettu neljällä Ethernet-portilla. Näistä yksi on varattu kamerasiinaalille, yksi roboteille ja ulkoisen tietokoneen liittämiseen järjestelmään ja yksi TwinCAT-protokollaa varten. Neljäs portti varattiin internetyhteyttä varten. Kolmelle ensin mainitulle asetettiin staattinen IP-osoite (Kuva 16).

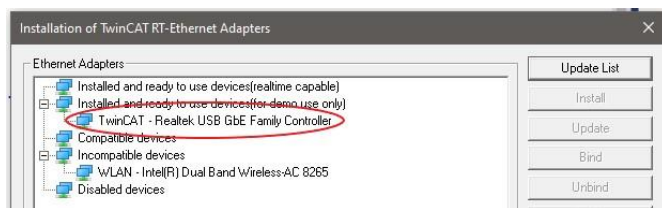
Jos IP-osoite on dynaaminen, IP-osoite alustetaan verkkokortin käynnistyksen yhteydessä uudelleen, eikä konfiguroidut laitteet suurella todennäköisyydellä enää löydä toisiaan. IP-osoitteet tulee valita järkevästi ja siinä kannattaa noudattaa jotakin helposti muistettavaa logiikkaa, etenkin jos IP-laitteita on paljon.



Kuva 16. Esimerkki kiinteän IP-osoitteen asettamisesta

Testisolun EtherCAT-verkon IP-osoitteeksi kortille valittiin 192.168.20.10 ja maskiksi 255.255.255.0. Maski määrittelee, kuinka suuri osa verkko-osoitteesta on verkon osuutta ja kuinka suuri jää laitteiden osoitteiksi kyseisessä verkossa. Verkon osuus osoitteesta on tässä tapauksessa 192.168.20. ja 10 on laitteen osoite. Samaan tapaan määriteltiin toinen verkko 192.169.100.10, johon tulitaisiin sijoittamaan mm. molempien robottien Ethernet-yhteydet (192.168.100.101 ja 192.168.100.102).

Kahteen porteista asennettiin Beckhoff konfigurointiohjelman avulla EtherCAT verkkoprotokolla. Ilman verkkoprotokollan asennusta kenttäväylä ei toimi eikä laitekonfiguraatiota voida suorittaa. Verkkoprotokollan asennus onnistuu myös TwinCAT3-ohjelmointiympäristön asentamisen jälkeen, käynnistämällä mikä tahansa TwinCAT XAE-projekti ja valitsemalla ylävalikosta ”TwinCAT” → ”Show Realtime Ethernet Compatible Devices”. Tämä avaa uuden ikkunan, joka näyttää verkkolaitteet. Tiedostopuussa kaikki saatavilla olevat verkkokortit näkyvät kohdassa ”Compatible devices”. Valitaan haluttu verkkokortti ja valitaan ”Install”. Tämän jälkeen kyseinen laite ilmestyy tiedostopuuhun ”Installed and ready to use devices” (Kuva 17).



Kuva 17. Näkymä verkkokortin TwinCAT-asetusten asentamisen jälkeen

Tämän jälkeen voi käydä tarkistamassa verkkokortin ominaisuuksista, että kohdat ”TwinCAT RT-Ethernet Filter Driver” ja ”TwinCAT Ethernet Protocol for All Network adapters” ovat valittuina.

### 7.2.3 Ohjelmistojen asennus

Teollisuustietokoneeseen asennettiin VisualStudio2017 ohjelmointiympäristö ja sen laajennusosa TwinCAT3 XAE (engineer). Lisäksi TwinCAT3 Ohjelmistokokonaisuuteen tarvittiin Beckhoff TF 2000 HMI Server sekä TE2000 HMI engineering työkalu visuaalisen web-käyttöliittymän toteutusta varten.

Tietokoneeseen asennettiin ABB RobotStudio2019. Sen asennuksessa ja käyttöönotto tapahtuu aivan tavalliseen tapaan asennusohjelmiston avulla. Ohjelman käyttö tietyiltä osin vaatii lisenssin. Mutta koska robotit, joille tällä tietokoneella on tarkoitus ohjelmointia tehdä ovat samassa verkossa, onnistuu ohjelmiston kaikkien ominaisuuksien käyttö robottien omilla lisensseillä. Riittää että kun muutoksia halutaan tehdä, ollaan yhteydessä robotin kontrolleriin.

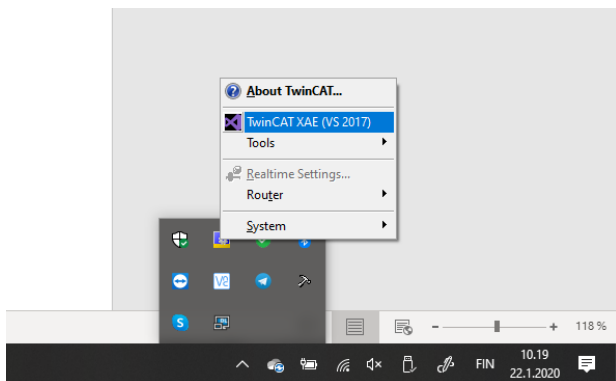
ABB PickMaster v.3.55 asennus onnistui myös ilman varsinaisia ongelmia, mutta toimitettu lisenssitiedosto osoittautui vanhemman version lisenssiksi. Ohjelman asennukseen se ei kuitenkaan varsinaisesti vaikuttanut.

## 7.3 TwinCAT3-konfiguraatio

Seuraavassa selostetaan, miten TwinCAT XAE (engineer)-projekti luodaan ja siihen saadaan halutut ominaisuudet käyttöön. Samoja toimintoja voi ohjelman sisällä käynnistää eri tavoin. Tässä esitetty on vain yksi tapa toteuttaa konfiguraatio, joka on opittu

käytännön kautta. Profinet, DeviceNet ja FECA-01 konfiguroinnit käsitellään robottien ja taajuusmuuttajan osioissa.

Projekti aloitetaan käynnistämällä TwinCAT3 ohjelma tehtäväpalkin TwinCAT-kuvakkeen (Kuva 18) tai Windows valikosta VisualStudio2017. Tämän jälkeen luodaan uusi TwinCAT XAE Projekti.



Kuva 18. TwinCAT3 ohjelmointiympäristön käynnistys

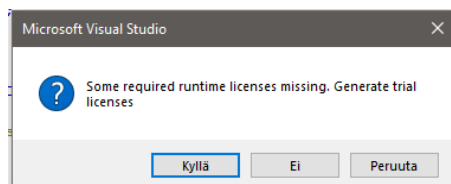
Projektille kannatta antaa sopiva ja kuvaava nimi. Jos konfiguraatio tehdään samalta tietokoneelta, mihin varsinaiset I/O-laitteet on kytketty, on järjestelmä valmiiksi ”Local”. Mikäli käytetään erillistä tietokonetta pitää ensin muodostaa yhteys TwinCAT3 tietokoneen ja PLC:n välille.

Yhteyden muodostaminen aloitetaan varmistamalla, että ollaan samassa verkossa kohde-PLC:n kanssa. PLC käyttöön on hyvä luoda täysin oma uniikki verkko. Testisolussa käytettiin yhteyden luomiseen tietokoneen ja PLC:n välille samaa verkkoa johon robotit tulitaisiin liittämään. IP-osoite on hyvä asettaa johonkin muuhun kuin 192.168.0.1 / 255.255.255.0 verkkoon, joka on yleisesti käytössä paikallisena verkkona. Tällä vältetään monia yhteys- ja yhteensopivuusongelmia konfigurointilanteissa. Etenkin jos tietokoneelle on asennettu Siemens ohjelmointityökaluja, on näistä ollut kokemusperäisesti haittaa joissakin tilanteissa, kun on yritetty käyttää samaa verkkoa. On hyvä huomioida, että Siemens käyttää joissakin tilanteissa rinnalla myös 192.168.1.1 verkkoa. Verkko kannattaakin valita tämän yläpuolelta, esimerkiksi 192.168.50.1.

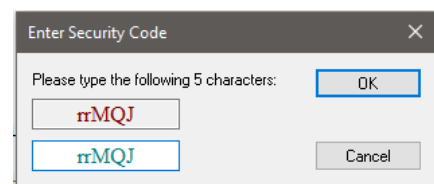


Valitaan Solution Explorer puusta ”SYSTEM” ja avautuvasta välilehdestä ”Choose Target” → ”Search (Ethernet)”, kirjoitetaan kohteen IP-osoite sille osoitettuun kenttään tai valitaan ”Broadcast Search”. Jos valitaan ”Broadcast Search” pitää mahdollisesti valita verkot, joista etsintä suoritetaan. Tämän jälkeen valitaan listasta kohde, johon halutaan yhteys, valitaan todennustavaksi ”IP Address” ja valitaan ”Add Route”. Tämän jälkeen järjestelmä tarjoaa käyttäjänimeksi ”Administration” kysyy salasanan, joka on oletuksena ”1”. Kun yhteys on muodostettu, riville ilmestyy ”X” kohtaan ”Connected”. Ikkunan voi sulkea tämän jälkeen.

Seuraavaksi lisätään PLC-projekti, klikkaamalla hiiren oikealla puusta kohtaa PLC ja valitsemalla ”Add New Item” → ”Standard PLC Project” → ”Add”. Myös PLC voidaan nimetä ja projekti voi sisältää useampia ohjelmoitavia logiikoita. Nimen voi vaihtaa periaatteessa missä vaiheessa hyvänsä, klikkaamalla hiiren oikealla sen laitteen kuvaketta, jonka nimi halutaan muuttaa ja valitaan avautuvasta valikosta ”Rename”. Tämän jälkeen voidaan konfiguraatio kääntää klikkaamalla yläpalkin ”Activate Configuration”. Järjestelmä ilmoittaa tässä kohtaa, että lisenssi puuttuu ja kysyy, aktivoi-daanko 7 päivän kokeilulisenssi (Kuva 19). Vastataan kyllä ja kirjoita ikkunaan ilmestyvä turvakoodi samanlaisena ja hyväksytään (Kuva 20). Lisenssi on nyt tälle kokoonpanolle aktivoitu.



Kuva 19. Lisenssin generointi

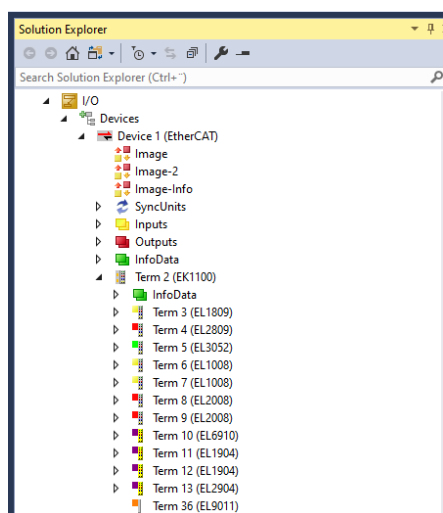


Kuva 20. Lisenssin turvakoodi

Tämän jälkeen skannataan PLC:n EtherCAT-verkkoon liitetyt päätelaitteet ja terminaalit, eli I/O-laitteet ja kortit. Järjestelmän tulee olla konfigurointitilassa, eli valittuna tulee olla sininen TwinCAT3 painike yläpalkista. Laajennetaan puusta kohta ”I/O” ja valitaan ”Devices”, lisätään manuaalisesti kokoonpanoon käytettävän kenttäväyläprotokollan mukainen laite esimerkiksi ”EtherCAT Master”. Tämän jälkeen valitaan lisätyn laitteen valikosta ”Scan”. Kaikki laitteet eivät välttämättä löydy skannauksella.

Avautuvasta ikkunasta valitaan Master-laitteet, joihin skannaus kohdistetaan. Järjestelmä kysyy vielä muutamia kysymyksiä ja lisää löydettyt laitteet automaattisesti konfiguraatioon.

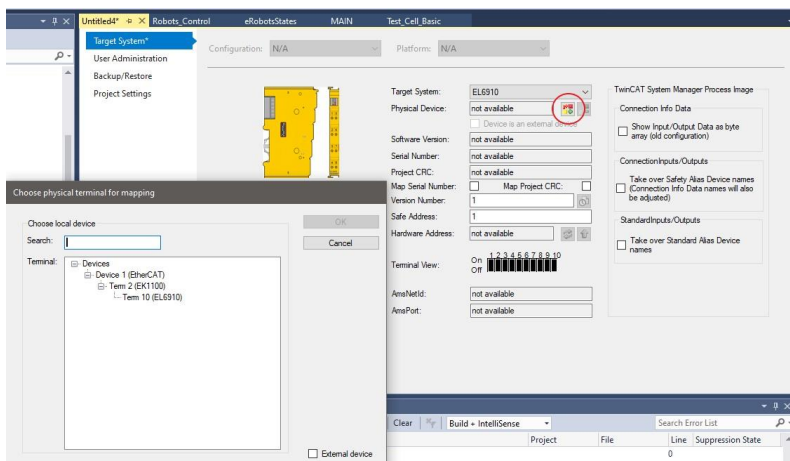
Laitteet näkyvät nimillä ”Term”, eli terminaali ja PLC:n Master-yksikkö, eli itse kenttäväylälaite nimellä ”Device”. Mikäli kaikki konfiguraation laitteet löytyvät esimerkin mukaisesti (Kuva 21), on tämä osuus valmis.



Kuva 21. I/O-laitteiden näkymä skannauksen jälkeen

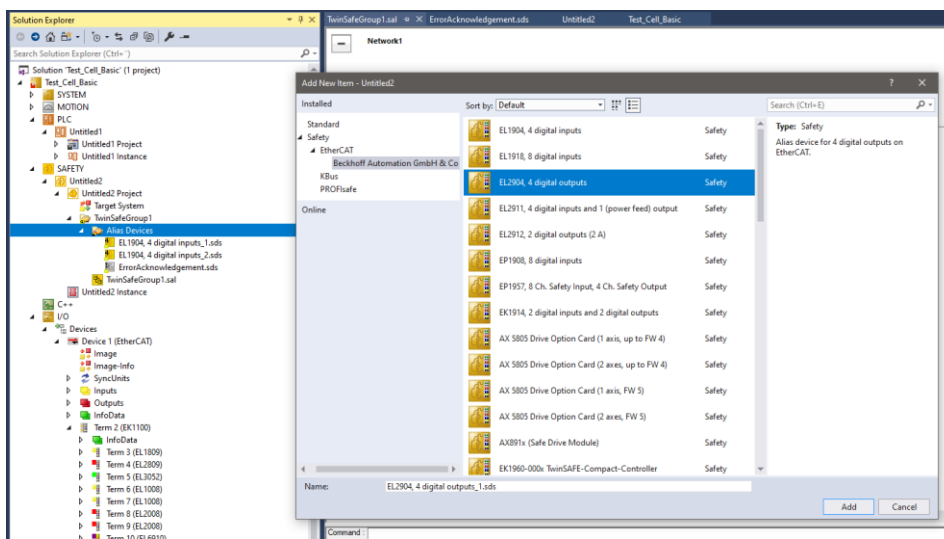
TwinSafe-projektin lisääminen tapahtuu samaan tapaan, mutta kohdasta SAFETY. Safe-projektiin täytyy myös lisätä fyysinen turvalogiikka ja sen alias-laitteet. Kaikille laitteille tulee asettaa yksilöllinen osoitetieto DIP-kytkinten avulla ennen varsinaista konfigurointia.

Projektin luomisen jälkeen avataan asetusnäkyminen valitsemalla ”Target System”-ikoni. Avautuvasta ikkunasta päästään asettamaan käytettävän turvalogiikan asetukset. Turvalogiikka ja sen osoitetiedot voidaan myös skannata kenttäväylän kautta, mutta myös ns. ”Offline”-konfigurointi on mahdollista. Turvalogiikan tyyppi määritetään ja osoitetaan fyysiselle laitteelle valitsemalla ”Target System”-alasetusvalikosta ensin käytettävä turvalogiikka ja sen jälkeen fyysisen laitteen valintaikkunan avaavaa kuvaketta (Kuva 22).



Kuva 22. Turvalogiikkayksikön valinta laitekonfiguraatiosta

Valinnan jälkeen kyseisen laitteen osoitetiedot ja muut ominaisuudet päivittyvät näky-mään. Mikäli konfigurointi tehdään Offline-tilassa, varsinaiset I/O-kortit tulee lisätä manuaalisesti valitsemalla ”Alias Devices” → ”Add” → ”New Item”. Avautuvasta ik-kunasta valitaan lisättävät terminaalit (Kuva 23).



Kuva 23. Terminaalin lisääminen ”Twin Safe”-turvalogiikalle

Offline-tilassa tehdyt valinnat kohdistetaan fyysisiin laitteisiin samaan tapaan kuin turvalogiikkakin ”Target System” ikkunan kautta, kun kohdejärjestelmään on verkkoyhy-teys.

## 7.4 ABB IRB120 ja TwinCAT Profinet väyläadapteri

Kuusiakselisen ABB IRB120 robotin ohjaaminen voi tapahtua suoraan ABB robottien ohjelmointiin kehitetyllä Rapid-ohjelmointikielellä. Ohjelman käynnistyskomennot voidaan antaa tällöin robotin FlexPendant-käsiohjaimesta tai I/O-kortin kautta. Ohjelmasta voidaan asettaa robotin I/O-kortin lähtöjä päälle ja pois. Tämä voi joissakin tilanteissa olla täysin riittävä ohjaustapa. Nykyaikaisissa automaatio- ja robottisovelluksissa kuitenkin käytetään usein kenttäväyläohjausta, joka mahdollistaa jo huomattavasti monipuolisemman ohjelman. Robotille luodaan Rapid-ohjelmalla ohjelman runko, jota noudatetaan, mutta kenttäväylän kautta voidaan tuoda esimerkiksi paikkatietoja sen eri koordinaatistoissa sovellettaviksi. Yhtä hyvin samoin keinoin voidaan muokata koordinaatistojen sijaintia ja orientaatiota yhdessä konenäkösovelluksen kanssa. Eri automaatiokokonaisuuksien osat voidaan liittää toisiinsa tai esimerkiksi tehtaan valvontasovellukseen.

Testisoluun asennetussa IRB 120-robotissa oli valmiiksi Profinet-väyläkortti. ABB-robottien eri ominaisuudet ovat lisenssien alaisia, eikä robotteihin lähtökohtaisesti ollut tarkoitus hankkia uusia lisenssejä. Lisäksi EtherCAT-kenttäväylään liitetty Profinet-väyläsovitinta voitaisiin tarvittaessa käyttää myös muiden Profinet-laitteiden testaamiseen, joten Profinet oli varsin hyvä kenttäväylä myös tässä tarkoituksessa.

### 7.4.1 ABB IRB 120

Robotin konfigurointi aloitettiin vaihtamalla IP-osoitteeksi 192.168.100.101. Osoitteen vaihtaminen onnistuu robotin FlexPendant-ohjaimen kautta. Valitaan valikko ”ABB” → ”Restart” → ”X-start”. Tämä avaa ”boot”-ohjelman, valitaan ”Settings”, jossa voidaan haluttu IP-osoite antaa. Hyväksytään asetukset ja kontrolleri käynnistetään uudestaan.

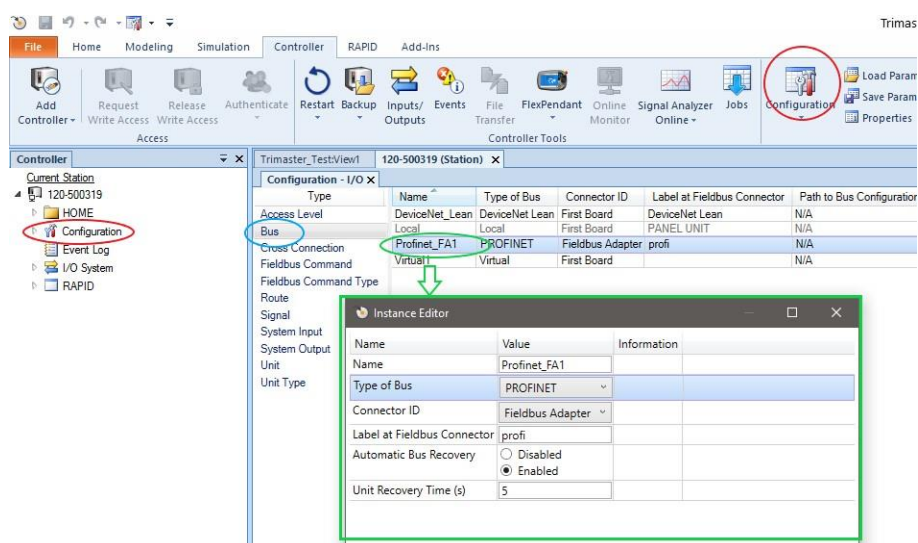
Profinet määritellään robotin kontrollerille joko FlexPendant-ohjaimen tai vaihtoehtoisesti RobotStudio-ohjelmasta käsin. RobotStudiossa Online-yhteyden kautta konfi-

guointi on huomattavasti selkeämpää. Online-yhteys muodostetaan liittämällä tietokone robotin kontrolleriin verkkokaapelilla ja käynnistämällä RobotStudio. Tarvittaessa vaihdetaan tietokoneen verkkokortin osoite samaan verkkoon kontrollerin kanssa.

Yhteyden muodostamisen jälkeen valittiin suoraan aloitusnäytöltä ”Controller” välilehti. ”Add Controller” alavetolaatikosta ”Add Controller”. Myöhemmin kontrolleria ei tarvitse enää lisätä, vaan se voidaan valita suoraan muodostuneesta yhteyslistasta. Kaikki samasta verkosta löytyvät ja yhdistettävissä olevat robottikontrollerit näkyisivät tässä näkymässä.

Seuraavaksi voitiin robotin ominaisuuksia tarkastella ja tarvittaessa muuttaa tai lisätä ”Controller”-välilehdeltä. Käytännössä kaikki konfigurointiin liittyvät toimenpiteet suoritetaan tällä välilehdellä. Valmiita parametritiedostoja voidaan ladata ulkoisesta tiedostosta ja näin helpottaa sellaisten asetusten asettamista, jotka ovat esim. yrityksen kokoonpanoissa tavanomaisia ja yleisesti käytössä. Myös kontrollerin varmuuskopion luominen ja palauttaminen voidaan tehdä tämän välilehden kautta. Tarvittavat asetukset voidaan asentaa myös käyttäen varmuuskopiotiedostoa.

Käytettävän Profinet-yhteyden asetukset löytyivät ”Configuration” → ”I/O” → ”Bus”-valikosta, jonka voi avata yläpalkista tai ”Controller”-valikkopuusta (Kuva 24). Valitsemalla ”Bus” → ”New Bus” voidaan tarvittaessa lisätä uusi yhteys sen puuttuessa.



Kuva 24. Profinet-asetukset RobotStudio-ohjelmalla

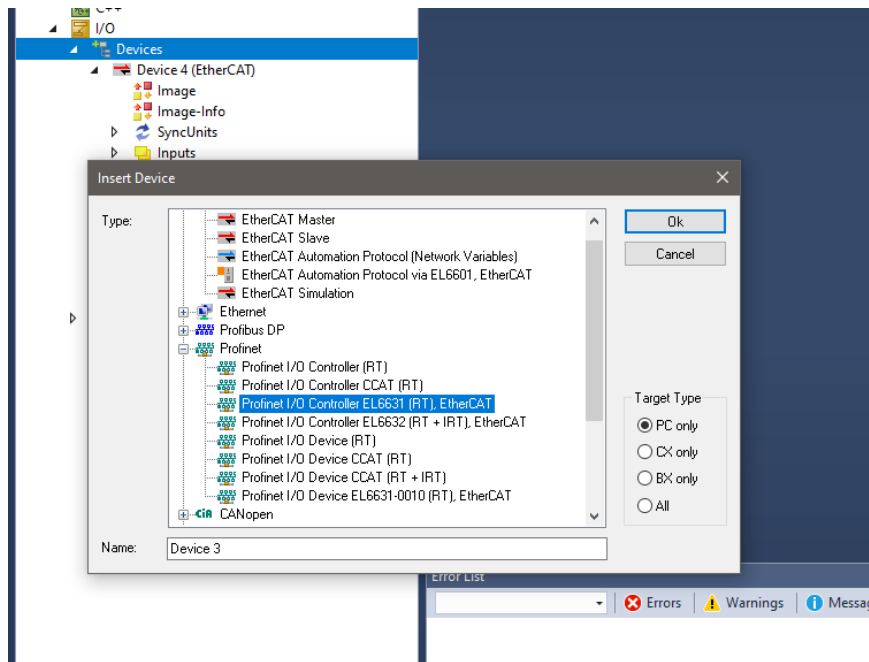
Profinet-väylän nimi ja tunniste (label) ovat vapaasti nimettävissä. On kuitenkin hyvä tietää, että PLC muodostaa yksilöi tässä tapauksessa yhteyden juuri tunnisteeseen mukaan. Profinet-kortti oli asennettu robotille jo valmiiksi, joten tässä tapauksessa riitti parametrien ja yhteyden tunnisteeseen tarkastaminen.

ABB IRB 120 on varustettu myös DeviceNet-kenttäväylällä. Tätä aihetta käsitellään enemmän ABB IRB 360 määrittely yhteydessä, sen ollen hyvin oleellinen osa robotin ohjauksessa. IRB 120 kohdalla se on lähinnä DSQC 652 I/O-kortin datasiirrossa.

#### 7.4.2 TwinCAT

Seuraavaksi suoritettiin Beckhoff laitekoonpanon EL6631 Profinet RT kontrollerin konfigurointi. Itse laite näkyi jo laiteluettelossa skannaustoiminnon havaitsemana. Jotta yhteys toimisi halutulla tavalla, sille piti vielä lisätä laiteprofiili ja määrittää verkko sekä robotin controllerilla sijaitseva Profinet-yksikkö. Profinet-yksikön asettamiseen löytyy kohtalaisen hyvä ohje. Ohjeen linkki löytyy erittäin kätevästi valitsemalla laiteluettelosta EL6631 terminaali ja sitten ”EtherCAT”-välilehti. Linkki on välilehden alaosassa. Linkki avaa tuotesivun ja sivun vasemmasta laidassa sijaitsevasta valikkopuusta pääsee helposti valitsemaan varsinaisen ohjetiedoston, ”Documentation EL6631, EL6632 (PDF)”. Ohjeet ovat tosin TwinCAT2 versiolle ja konfigurointi eroaa tietyiltä osin hieman TwinCAT3 ympäristöstä. Aivan kaikkea tuo ohje ei myskään sisältänyt. Ohje ikään kuin loppui kesken, kun vastaanottava laite oli aika määrittää toimivaksi. Tutkiskelun ja muutamien ”yritys-erehdys”-kokeilujen jälkeen konfiguraatio kuitenkin onnistui.

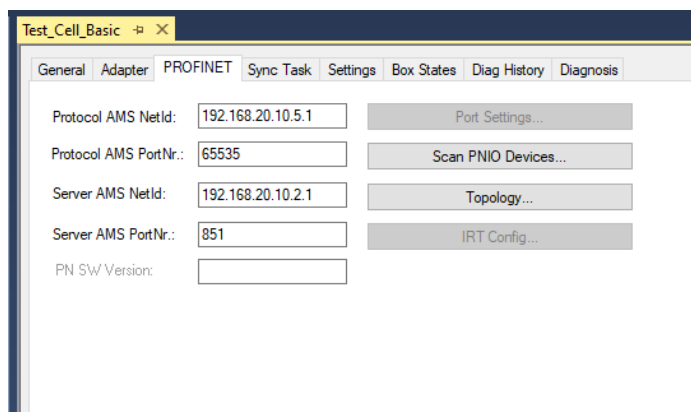
Määrittely aloitettiin lisäämällä järjestelmään laite valitsemalla ”Devices” → ”Add New Item” ja avautuvasta listasta oikea laite, eli ”Profinet I/O Controller EL6631 (Kuva 25).



Kuva 25. Profinet Master-laitteen lisääminen konfiguraatioon

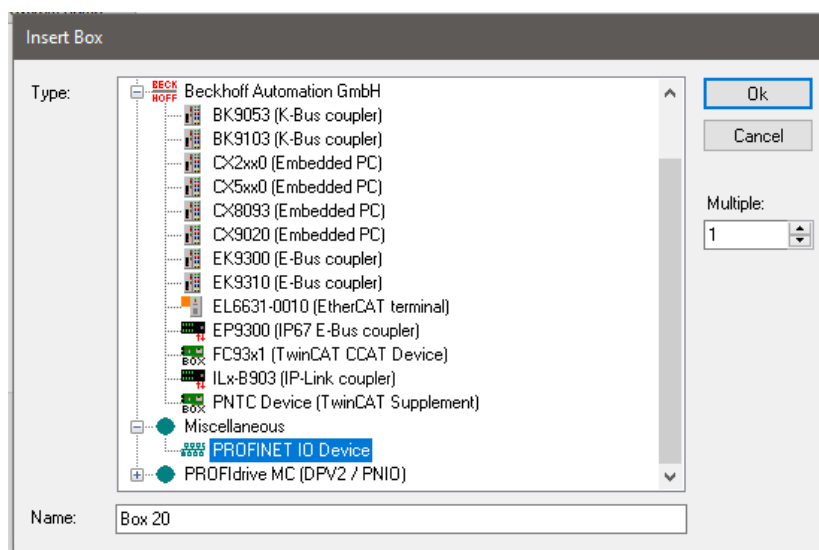
Tämän jälkeen etsittiin verkosta löytyvät laitteet ”Adapter”-välilehden ”Search” painikkeella. Järjestelmä löysi, jo laiteluettelostakin valmiiksi löytyvät, sopivat laitteet. Valittiin oikea laite, jonka jälkeen laitekuvaus, -nimi ja MAC- sekä IP-osoitteet asetettiin automaattisesti, valitun verkosta löytyneen laitteen mukaisesti.

Profinet-välilehdeltä tarkastettiin EtherCAT käyttämä Protocol AMS NetID-laitetunniste. Sen tulee olla samassa perusmuodossa kohdelaitteiston kanssa ja tunnisteen alkuosa muodostuu yksinkertaisesti EtherCAT-verkon IP-osoitteesta. Tässä tapauksessa 192.168.20.10. Tämän jälkeen tulee vielä kaksi pistein erotettua numeroa, jotka määrittelevät laitteen yksilöintinumeron. Osoite voi olla vain kerran yhdessä laitekonfiguraatiossa. Jostain syystä tälle laitteelle ei ollut tässä vaiheessa muodostunut lainkaan AMS NetID-numeroa, joten tuli sellainen asettaa. Ilman NetID-tunnusta yhteys laitteeseen ei ole mahdollista. Sen voidaan tehdä monella tavalla. Tällä kertaa valittiin kohde laiteluettelosta ja sen valikosta ”Change NetID”, syötettiin haluttu NetID, 192.168.20.10.5.1 ja valittiin ”OK”. Nyt laitteelle oli asetettu NetID, jolla se kohdistuu halutun EtherCAT-verkon laitteeksi. NetID:n voi syöttää myös suoraan ”PROFINET”-välilehdeltä (Kuva 26).



Kuva 26. Profinet-kontrollerin AMS NetID-määrittely

Seuraavaksi järjestelmään lisättiin ohjattava I/O-laite valitsemalla laitepuusta ”Profi-net-Device” → ”Add New Item” ja avautuvasta ikkunasta ”Miscellaneous” → ”Profi-net I/O Device” (Kuva 27). Tämän jälkeen aukesi tiedostonhakuikkuna ja lisättiin laitteen määrittely-, eli GSDML-tiedosto. GSDML-tiedosto sisältää laitteen määrittelyyn tarvittavat parametrit. Sen toimittaa laitteen valmistaja ja se kannattaa sijoittaa Twin-CAT\3.1\Config\IO\Profinet-kansioon.



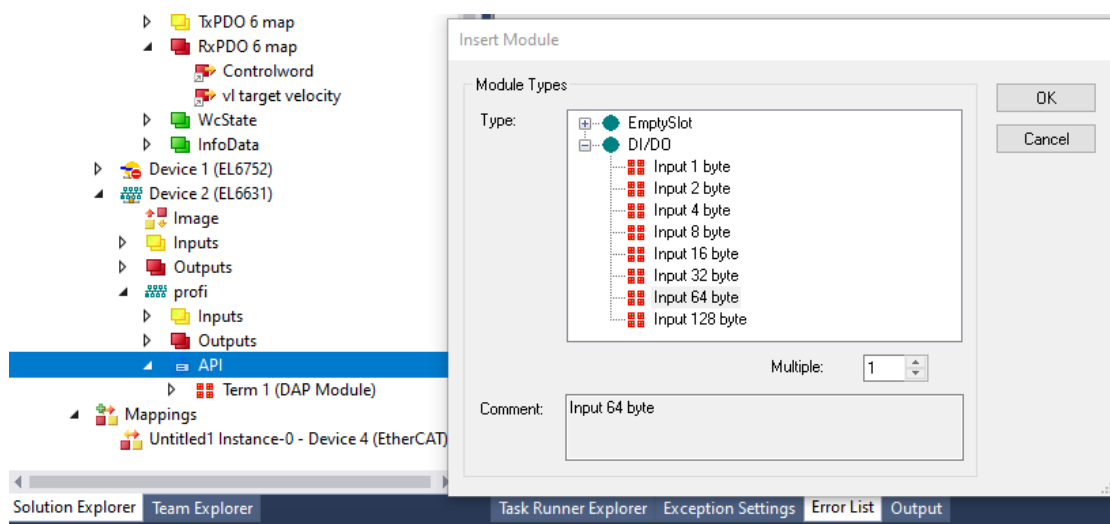
Kuva 27. Profinet I/O-laitteen lisääminen

Kun laite oli lisätty, tuli sen nimen vastata halutun kohteen nimeä. Profinet muodostaa tässä tapauksessa yhteyden laitteeseen laitteen nimen perusteella. Laitteen tunnistus-tapoja on muitakin. Konfigurointi asettaa laitteelle oletusnimen GSDML-tiedoston pe-rusteella ja se tulee yleensä vaihtaa. Jos nimi ei ole tiedossa, voidaan verkossa olevat laitteet skannata ja näin saada nimi selville. IP-verkko tulisi kuitenkin tällöin tietää.



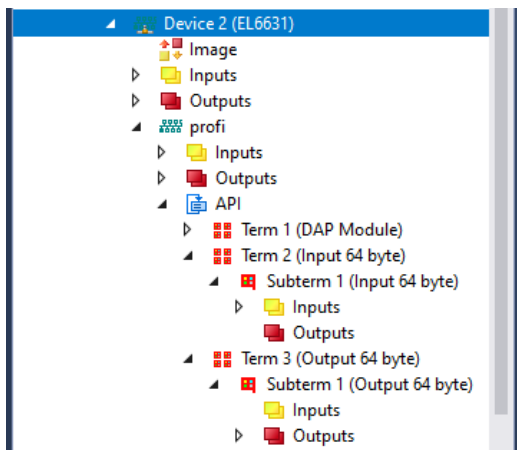
Skannauksen suorittamiseksi laitekoonpanon muutoksen jälkeen, piti konfigurointi aktivoida valitsemalla yläpalkista ”Activate Configuration” painiketta. Kun ohjelma kysyi, käynnistetäänkö järjestelmä Run-tilaan, vastattiin ei. Laitteiden skannaus on mahdollista vain, kun on valittu ”Config Mode”. Profinet verkon laitteet voitiin nyt skannata esimerkiksi valitsemalla Profinet-laite laitepuusta sen valikosta ”Scan”. Tämän jälkeen avautui ikkuna, josta saatavilla olevien laitteiden IP-osoitteita ja muita ominaisuuksia pääsi muokkaamaan tarvittaessa. Kohdelaitteen nimi tarkistetaan tästä listasta ja nimi syötetään lisätylle laiteelle ”General”-välilehdellä. Isot ja pienet kirjaimet ovat samanarvoisia ja ne vaihtuvatkin automaattisesti kaikki pieniksi. ”Device”-välilehdellä voidaan tarvittaessa muuttaa myös laitteen osoite tai vaihtaa GSDML-tiedosto.

Kun I/O-laite oli lisätty, sille tuli vielä lisätä varsinaiset I/O-tulot ja -lähdöt. Valittiin edellä määritelty Profinet-laite ja laajennettiin puurakenne. Valittiin ”API” (Application Process Identifier) ja valikosta ”Add New Item”. Avautuneesta ikkunasta ”DI/DO” ja sieltä halutun kokoinen ”Input”-moduuli, tässä tapauksessa 64 tavua (Kuva 28).



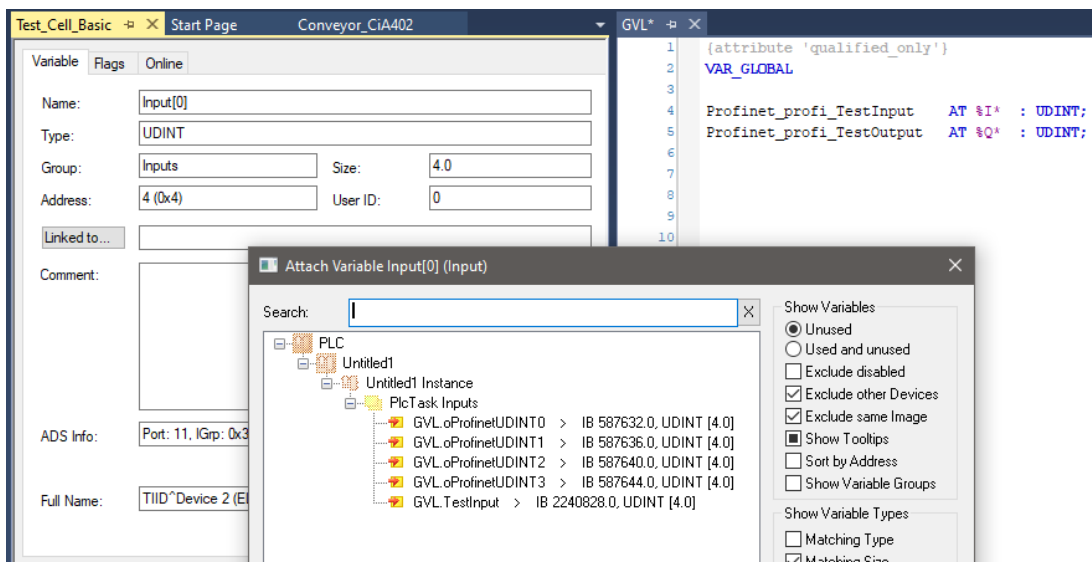
Kuva 28. Profinet I/O-laitteen Input moduulin lisääminen

Tämän jälkeen lisättiin samaan tapaan ”Output”-moduuli. Konfigurointi on hieman hämäävä tuolta osin, kun ensin valittavana oli vain ”Input”-moduulit ja vasta tämän jälkeen ”Output”-moduulit. I/O-moduulit tulevat API-puuhun (Kuva 29). Konfigurointi oli muuttujien linkitystä vaille valmis.



Kuva 29. Valmis Profinet I/O-laitteen näkymä TwinCAT3 ympäristössä

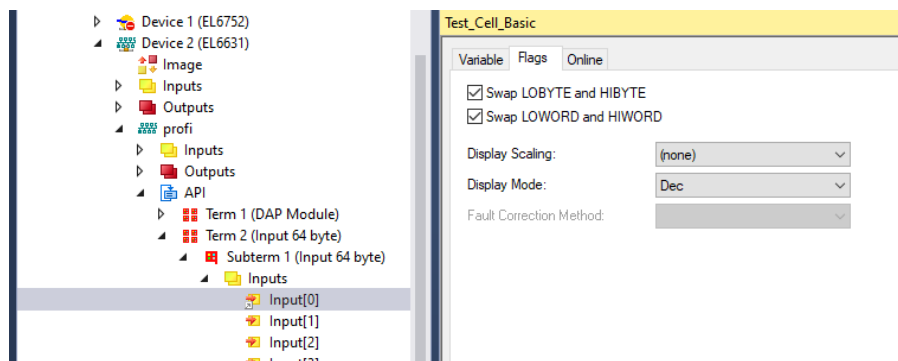
Konfiguraation uudelleen aktivoinnin jälkeen, voitiin yhteys testata. Aluksi lisättiin globaaliin muuttujalistaan vain yhdet 32-bittiset UDINT tulo- ja lähtömuuttujat testausta varten, jotka sitten linkitettiin Profinet-I/O-kortin tulo- ja lähtötietoihin (Kuva 30). Jokainen Input ja Output on neljän tavun, eli 32-bitin mittainen. Tämä on hyvä tiedostaa ohjelmaa tehdessä ja esimerkiksi käyttää jaottelua eri ohjelman käskyjen ja tilojen ryhmittelyyn.



Kuva 30. Muuttujan linkitys I/O-kortille

Testauksen jälkeen todettiin, että bittitiedot eivät tule oikeassa järjestyksessä robotille, vaan tavujen lähetysjärjestyksestä tulisi muokata. Ongelma oli molempiin suuntiin sama. Korjaus oli hyvin yksinkertainen. Valittiin haluttu I/O ja sen ”Flags”-välilehti. Havaittiin, että oletusasetuksena on ylä- ja alatavujen vaihto sekä ylä- ja alasanojen

vaihto (Kuva 31). Valinnat poistettiin ja uudelleen testauksessa bittien järjestys kenttäväylässä todettiin oikeaksi.



Kuva 31. Ylä- ja alatavujen, sekä ylä- ja alasanojen valinnat tuli tässä konfiguraatiossa poistaa

## 7.5 ABB IRB360, ABB PickMaster 3 ja DeviceNet

ABB IRB360 ja PickMaster 3 muodostavat yhdessä Basler scA 1390-17gm kameran kanssa kokonaisuuden, jonka kommunikointiin mm. käytetään DeviceNet-kenttäväylää. Robotti on varustettu kaksikanavaisella DeviceNet-kortilla, jonka toinen kanava on varattu PickMaster-ohjelman käyttöön ja toinen hoitaa kommunikoinnin PLC:n kanssa.

Alkuperäinen kokoonpano käsitti vanhan IPC:n Windows XP-käyttöjärjestelmällä ja sen ympäristössä toimivan PickMaster-version. Koska IPC vaihdettiin Windows 10, 64-bittisellä käyttöjärjestelmällä varustetuksi, tarkoitti se myös PickMaster-version päivittämisen tarvetta. Tämä taas johti siihen, että myös robotin käyttöjärjestelmä, eli RobotWare tulisi päivittää uuteen PickMaster-sovellukseen sopivaksi.

Tilannetta lähdettiin purkamaan käänteisesti jo suunnitteluvaiheessa, jolloin piti selvittää, onko kyseiseen ABB IRB 360 IRC5-kontrollerilla varustettuun yksilöön päivitettävissä vaadittava RobotWare-versio. Tämä tulisi lopulta määrittelemään myös mahdollisen käyttöjärjestelmän Windows-version lopullisesti. Robotin alkuperäinen RobotWare versio oli 5.11. Taulukosta (Taulukko 1) voitiin todeta vaadittavat kriteerit. Robotin kontrolleri vaatisi RobotWare 5.12 tai uudemman ja PickMaster-version

tulisi olla 3.54, jotta Windows 10, 64-bittinen versio olisi mahdollinen. ABB:ltä tehtyjen lisäselvittelyjen perusteella päädyttiin lopulta asentamaan robotille RobotWare versio 5.15.16.

Taulukko 1. PickMaster version vaatimukset (PickMaster CD:n lisämateriaali)

Versions	Release Date	RW 4.x S4C+	RW 5.x IRC5	RW 5.6x IRC5	RW 6x IRC5	Win 2000	Win XP	Win Vista	Win 7 32 bit	Win 7 64 bit	Win 10 32 bit	Win 10 64 bit	Win Sta 32 bit
PM 3.43	4.2.2014	NO	>=5.12****	>=5.60	NO	NO	YES	YES	YES	NO	NO	NO	YES
PM 3.44	10.6.2014	>=4.0.113*	>=5.12****	>=5.60	NO	NO	YES	YES	YES	NO	NO	NO	YES
PM 3.50	25.5.2015	>=4.0.113*	>=5.12****	>=5.60	>=6.00	NO	NO	NO	YES	YES*	NO	NO	YES
PM 3.51	22.10.2015	>=4.0.113*	>=5.12****	>=5.60	>=6.00	NO	NO	NO	YES	YES*	NO	NO	YES
PM 3.52	31.3.2016	>=4.0.113*	>=5.12****	>=5.60	>=6.00	NO	NO	NO	YES*****	YES*	NO	NO	YES
PM 3.53	19.10.2016	>=4.0.113*	>=5.12****	>=5.60	>=6.00	NO	NO	NO	YES*****	YES*	NO	NO	YES
PM 3.54	3.10.2017	>=4.0.113*	>=5.12****	>=5.60	>=6.00	NO	NO	NO	YES*****	YES*	NO*	YES*	YES

Kun tarvittavat yksityiskohdat olivat selvillä, voitiin IPC tilata ja samoin PickMaster version päivittämisen myötä vaadittavat lisenssin päivitys myös vireille. Tämä voisi mahdollisesti ottaa aikaa, joten tässä haluttiin olla hyvissä ajoin liikkeellä jo projektin alkumetreillä.

### 7.5.1 ABB IRB 360

Myös IRB 360 robotin konfigurointi aloitettiin vaihtamalla sen IP-osoite. IP-osoitteeksi tuli ns. ”kakkosrobotille” looginen 192.168.100.102. Osoitteen vaihtaminen onnistuu robotin FlexPendant-ohjaimen kautta. Valitaan ”ABB” → ”Restart” → ”X-start”. Tämä avaa ”Boot”-ohjelman, valitaan ”Settings”, jossa voidaan haluttu IP-osoite antaa. Hyväksytään asetukset ja kontrolleri käynnistetään uudestaan. Tämän jälkeen suoritettiin RobotWare-päivitys kohdan 7.5.2 mukaisesti.

RobotWare-päivityksen jälkeen jatkettiin robotin muiden asetusten tarkastelua. Robotihan oli ollut jo aiemmin konfiguroituna PickMaster järjestelmään, joten sille ei periaatteessa tarvitsisi tehdä enää kuin kalibrointi radanseurantaa varten sekä tarkistaa joukko muita asetuksia.

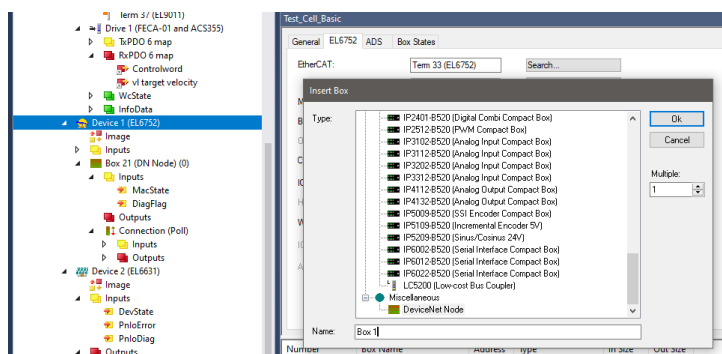
### 7.5.2 RobotWaren päivitys

Periaatteessa RobotWaren päivittäminen tehdään RobotStudio-ohjelman kautta ”System Builder”-työkalulla. Tässä kuitenkin kävi niin, ettei työkalu suostunut tehtävää suorittamaan. Syykin oli lopulta hyvin yksinkertainen, ei ollut tilaa asentaa uutta RobotWarea. Robotin muisti, jossa RobotWare sijaitsee, on käytännössä muistikortti. Robotti on jo muutamia vuosia vanha, joten myös muistikortti oli melko vanhaa ”CompactFlash”-tyyppiä ja kapasiteetti oli hyvin vaatimaton, vain 512MB. Käytännössä vanha RobotWare täytti tämän tilan niin, ettei uuden asennus onnistunut tavanomaisesti. Tässä kohtaa harkittiin uuden, isomman kapasiteetin omaavan muistikortin hankintaa. Tiedossa on kuitenkin, että vanhat järjestelmät eivät välttämättä tue muistikortin kokoa kuin tiettyyn kokoon asti, eikä juuri tämän järjestelmän tukemaa maksimikokoa saatu varmuudella selvitettyä. Muistikapasiteetiltaan pienin ”CompactFlash”-kortti, jonka löysimme web-haulla, oli 2MB. Tätä taas robotin järjestelmä ei välttämättä tukisi. Päätettiin olla ottamatta riskiä, päädyimme lopulta RobotWaren päivittämisen mahdollistamiseen muokkaamalla RobotWare-päivitykselle tarvittava tila suoraan muistikortille poistamalla viimeisin käyttöjärjestelmä manuaalisesti. Tämä tehtiin yhdessä Trimasterin ABB robotit hyvin tuntevan automaatioinsinöörin kanssa. Tämän jälkeen tilaa oli riittävästi ja RobotWare saatiin lopulta päivitettyä normaalisti. Viimeisen käyttöjärjestelmän poistoa yritettiin ensin ”Boot”-applikaatiolla, mutta se ei sitä suostunut tekemään. Jälkeenpäin asiaa vielä tutkittiin ja todettiin että mahdollisesti kontrollerin C-startilla poisto olisi mahdollisesti onnistunut.

### 7.5.3 TwinCAT

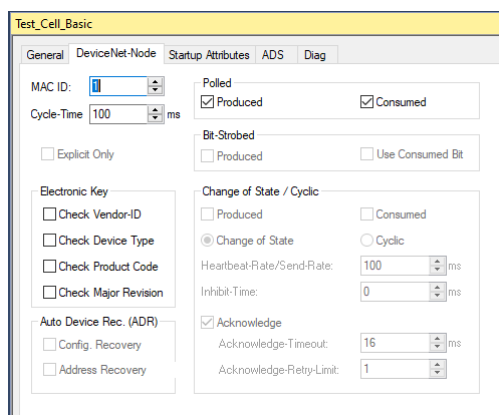
TwinCAT laitekonfiguraatioon tarvittiin siis myös kenttäväyläadapteri, jolla saataisiin EtherCAT-verkon kautta yhteys ABB IRB360 robottiin. Robotin käyttämä kenttäväylä on DeviceNet, joten tätä varten tarvittaisiin vastaava DeviceNet-adapteri kuin ABB IRB120 Profinet-väylää varten. ABB IRB 360 robotilla on kaksi DeviceNet-kanavaa, joista toinen on varattu kontrollerin ja PLC:n väliseen ja toinen kontrollerin ja radan seuranta- sekä I/O-korttien väliseen kommunikointiin. Konfigurointi aloitettiin samaan tapaan, valitsemalla oikea laite laitepuun I/O kohdan alapuolella ”Devices”. Valittiin ”Add New” ja avautuvasta ikkunasta ”DeviceNet”-kohdasta EL6752 Master.

Tämän jälkeen avautuneesta ikkunasta valittiin aiemmin suoritettujen skannausten yhteydessä löytynyt laite. Varmistettiin ”ADS” välilehdeltä, että laitteella oli sopiva NetID ja että se on oikeassa verkossa, ID asetettiin tässä 192.168.20.10.2.1. Kortille lisättiin uusi ”Node”, eli robotin kontrollerin DeviceNet yksikkö (Kuva 32).



Kuva 32. DeviceNet-orjayksikön, eli ”Noden” lisääminen.

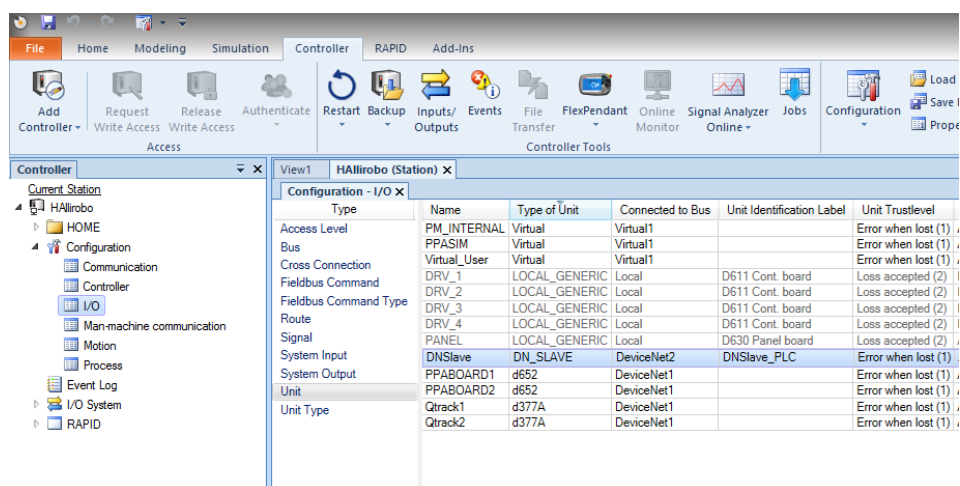
Lisäämisen jälkeen tarvitaan laitteelle yksikön EDS-konfigurointitiedosto. Tiedoston toimittaa laitteen valmistaja ja se kannattaa sijoittaa TwinCAT\3.1\Config\Io\DeviceNet-kansioon, josta se on helposti löydettävissä. Valittiin kansioista ”IRC5\_Slave\_DSQC658\_659.eds”-robotin DeviceNet-kortin mukaisesti. Tämän jälkeen määritettiin mihin ”nodeen” ollaan yhteydessä valitsemalla laitekaavioon ilmestynyt ”Box1” ja sen välilehti ”DeviceNet-Node”. DeviceNet-osoitteen määrittää ”MAC ID”, jonka arvo voi verkossa olla 0-63, eli yhdessä verkossa voi olla 64 laitetta. Robotin kontrolleriin oli määriteltynä DeviceNet osoitteeksi PLC kanavalle ”1” ja I/O-kanavalle ”2”. Näistä valittiin ”1” kohtaan ”MAC ID” (Kuva 33).



Kuva 33. Osoiteyhteyden määrittäminen DeviceNet-laitteelle

Konfiguroinnin lopuksi tarkistettiin, että yhteyden kysely, eli pollaus-bittien määrä vastaa robotin asetusta ja tulo- ja lähtöbittejä on yhtä monta. Pollaus-termi tulee englannin kielen sanasta *polling*, eli suomeksi kiertokysely. Isäntä-laite ”pollaa” orjalaitteet vuorotellen, kysellen onko niillä dataa lähetettäväksi. (proZ.com www-sivut.)

Lopuksi testattiin yhteyden toimivuus. Yhteys ei kuitenkaan muodostunutkaan ja TwinCAT antoi myös konfiguroinnin aktivoinnin jälkeen virheilmoituksen, ettei DeviceNet-laitteeseen saatu yhteyttä. Tämä aiheutti hieman pään vaivaa ja konfigurointi suoritettiin ensin jopa kokonaan uudestaan. Lopulta päätettiin tarkastaa vielä robotin konfiguraatio. Konfiguraatiota verrattiin ennen työn aloittamista otettuun robotin varmuuskopioon. Vertailussa huomattiin, että konfiguroinnista oli kadonnut RobotWare-päivityksen yhteydessä laiteluettelosta DeviceNet Slave-yksikkö kokonaan. Kun yksikkö lisättiin, toimi DeviceNet odotetusti kontrollerin uudelleen käynnistyksen jälkeen (Kuva 34).



Kuva 34. DeviceNet orjayksikkö ”DN\_Slave” lisättynä robotin konfiguraatioon.

## 7.6 PickMaster

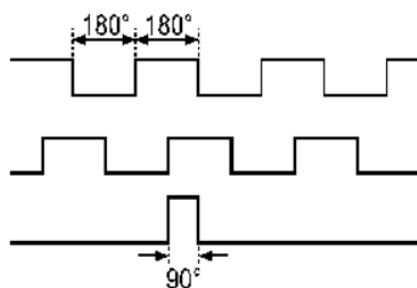
Pelkästään PickMaster-ohjelman käyttöönotosta ja konfiguroinnista olisi saanut hyvinkin kattavan työn. Seuraavassa esitetyt PickMaster-järjestelmän konfigurointi tehtiin koko projektin viimeisenä työnä, johtuen hyvin pitkälle lisenssitiedoston puutteesta. Lisenssiasian kuntoon saattaminen kiireellisenä, ei ajallisesti ollut kovin optimaalinen, osuen joulun alusviikolle. PickMaster on merkittävässä roolissa testisolun

ehkä suurimpana osakokonaisuutena, joten tämän kokonaisuuden jättäminen työn ulkopuolelle olisi ollut kovin harmillista. Asiaa pohdittiin usealta kannalta ja todettiin kuitenkin, että PickMaster-ohjelman konfigurointi pääsee etenemään myös ilman lisenssiä hyvin pitkälle.

Ohjelma oli ollut myös vanhassa kokoonpanossa käytössä, joten siitä saatiin käytännössä paljon sellaisenaan siirrettyä myös uuteen kokoonpanoon. Työtä riitti kuitenkin erilaisten konfigurointien ja tarkistusten puitteissa, mekaanista työtä unohtamatta. Poispurettu robotin käyttämättä jääneet lisenssit oli siirretty jäljelle jääneelle. Näin ollen I/O- ja radanseurantakortteja oli uudessa kokoonpanossa tällä robotilla molempia yhden sijasta kaksi. Näistä otettiin käyttöön vain yksi kumpaakin. Toinen radanseurantakortti voitaisiin tulevaisuudessa valjastaa esimerkiksi jättökuljettimen seuraamiseen. Solun kehitys varmasti jatkuisi tämänkin työn jälkeen.

#### 7.6.1 Kuljettimen nopeustiedon kalibrointi

Koska inkrementaalianturi vaihdettiin yrityksen yleisesti käyttämään ifm RA6015-malliin, oli myös kuljettimen kalibrointi suoritettava uudestaan. Inkrementaalianturi kiinnitettiin kuljetinhinnan kiristys- ja vetokoneiston rullan akselille. Anturin nimellinen resoluutio on 500 pulssia / kierros. Kaksikanavaisena siitä on mahdollista saada myös summaresoluutiona 1000 pulssia / kierros. Lisäksi 90 asteen välein saadaan yksi pulssi (Kuva 35). (ifm [www-sivut](#).)

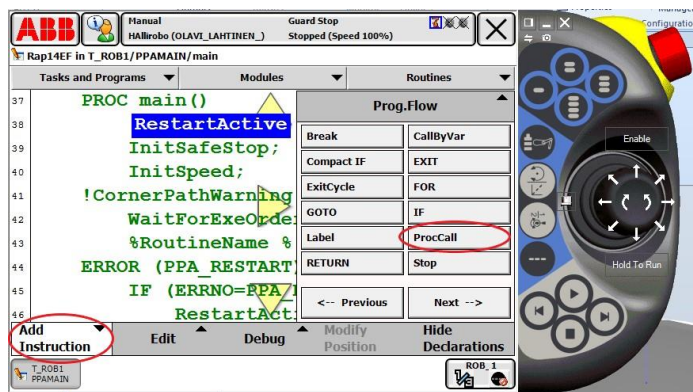


Output A  
Output B  
0 index

Kuva 35. Inkrementaalianturi ifm RA6015 pulssidiagrammi (ifm [www-sivut](#))



Kuljettimen kalibrointi aloitettiin merkitsemällä kuljettimen reunaan ja hihnaan teipillä merkki. Tämän jälkeen FlexPendantista, eli robotin käsiohjaimesta valittiin ”ABB” → ”Program Editor”. ”Add Instruction” valikosta avattiin ”ProcCall” (Kuva 36).



Kuva 36. ProcCall-valikon avaaminen FlexPendantista

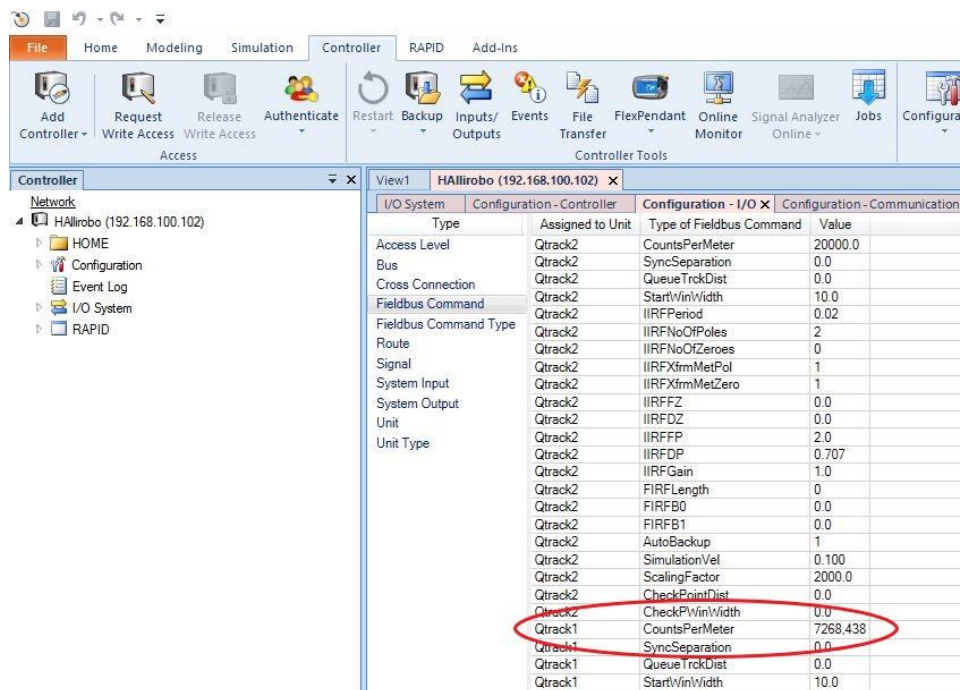
Avautuneesta valikosta valittiin ohjelma ”ppacal.prg”, joka käynnistettiin painamalla ohjaimen ”kuolleen miehen kytkin” puoleenväliin ja painettiin ohjaimen ”play”-painiketta. Ohjelma nollasi kuljettimen laskurin arvon. Laskurin arvo näkyi ”Jogging”-valikossa CNV1:n ”Position”-kohdassa. Kuljettimen kalibroinnista haluttiin tehdä mahdollisimman tarkka, joten merkkiä ajettiin nyt lähes koko kuljettimen pituus. Tämän jälkeen kuljettimen kulkema matka mitattiin, lisättiin arvo Excel-taulukkoon ja tarkistettiin FlexPendantin näyttämä ”CNV1” mitattu matka sekä vanha arvo RobotStudio ”Configuration” → ”Fiedbus Command” kohdasta ”Qtrack1 – CountsPerMeter”. Molemmat arvot siirrettiin myös Excel-taulukkoon. Tämän jälkeen luotiin taulukkoon kaava (Kaava 1), jolla korjaus voitiin suorittaa. (ABB PickMaster 3.55 Users Guide 2020, 70.)

$$A = B \cdot C / D \quad (1),$$

missä

- A on korjattu arvo pulssia / metri
- B on lukema ajon jälkeen
- C on vanha lukema
- D on mitattu matka

Näin saatiin uusi arvo, joka asetettiin konfiguraatioon korvaamaan vanha (Kuva 37). Tämän jälkeen kontrolleri käynnistettiin uudestaan, jotta muutokset astuvat voimaan. Mittaus ja säätö suoritettiin vielä kahdesti ja voitiin todeta, että tarkkuus on riittävä.

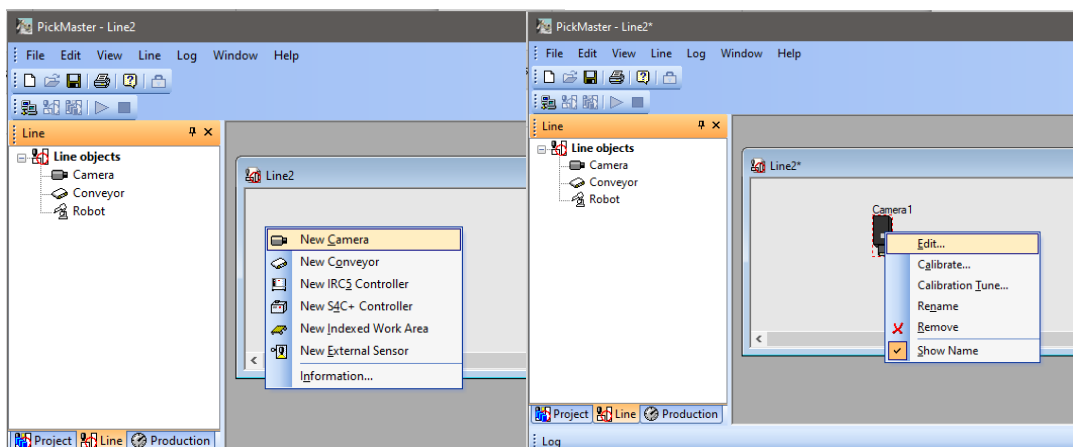


Kuva 37. Lopullisen korjausarvon sijoittaminen konfiguraatioon

## 7.6.2 Kameran määrittely

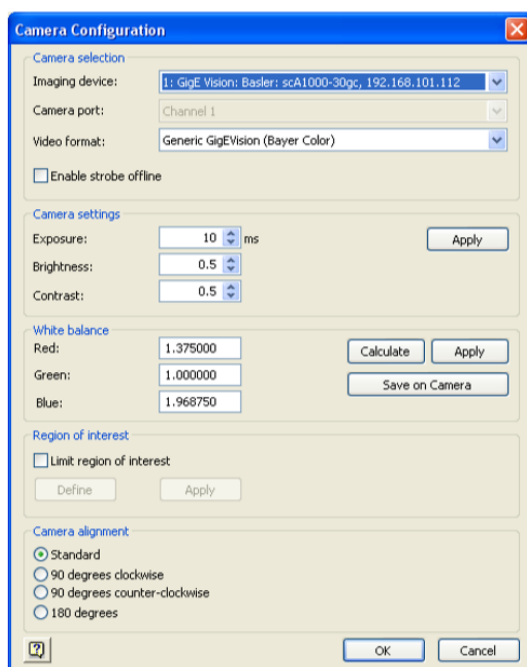
Kameran määrittely aloitettiin aivan ensimmäisenä puhdistamalla kameran suojana oleva akryylilevy ja kameran optiikka. Tämän jälkeen tarkastettiin, että kameran I/O-asetukset vastaavat I/O-kortin kytkentöjä. I/O-kortilta menee ns. ”triggauus”-tieto kameralle kuvan ottamista varten.

PickMaster-järjestelmän kamera määritetään ensin luomalla uusi linja ”File” → ”New Line”. Tämän jälkeen lisätään linjaan kamera ”line”-ikkunan valikosta (Kuva 38). Samaan tapaan linjalle lisätään muut tarvittavat kohteet, kuten kuljetin, robotin kontrolleri, työalueet ja mahdolliset ulkoiset sensorit.



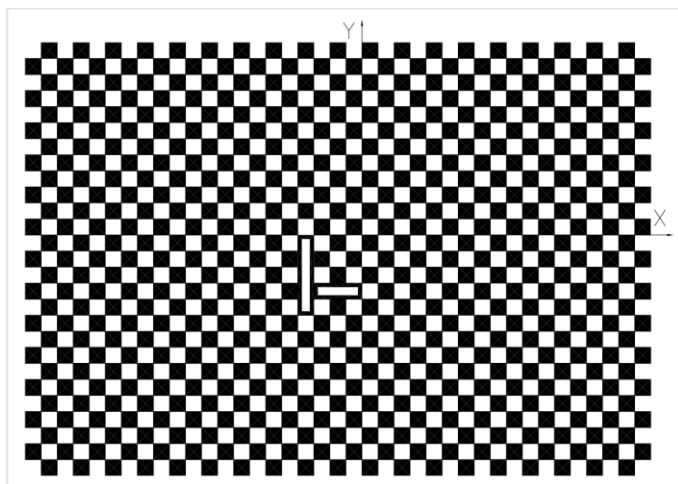
Kuva 38. Kameran lisääminen linjaan ja kameran editointi-ikkunan avaaminen

Editointi-ikkunasta (Kuva 39) asetettiin kuvankaappauslaite ja kameran kuva säädettiin sopivaksi. Kuva tulisi tarvittaessa myös kääntää niin, että kuljettimen suunta on ylhäältä alaspäin, joka on yleisesti käytössä oleva tapa.



Kuva 39. Kameran editointi-ikkuna (PickMaster 3.55 Users Guide)

Kameralle tuli vielä suorittaa kuvan kalibrointi erityistä siihen tarkoitettua ruudukkoa käyttäen (Kuva 40). Erilaisia kalibrointikuvia löytyy PickMaster asennus CD:llä olevasta materiaalipankista.



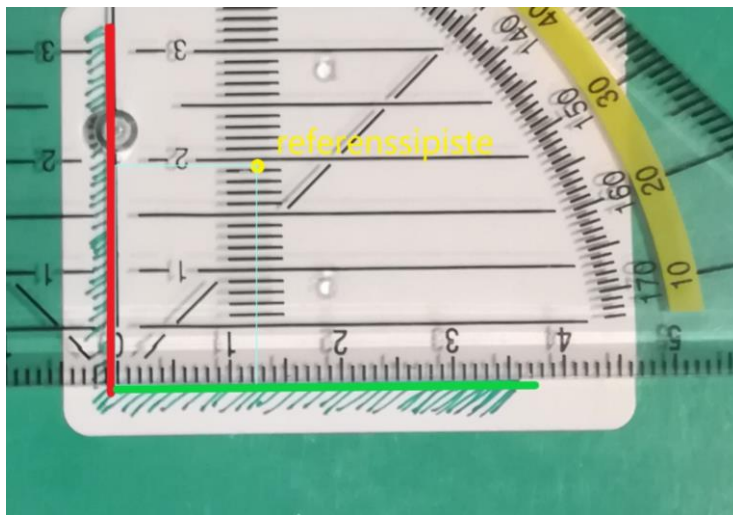
Kuva 40. Esimerkki käytetystä kalibroitiruudukosta (ABB PickMaster CD:n lisämateriaali)

Kalibrointi kuvaa tarvitaan jotta järjestelmä tietää kameran kuvan mittasuhteet, sekä kuvan optiikan aiheuttamien vääristymien oikaisuun. Erityisesti kuvan äärialueet pyöristyvät ulospäin aiheuttaen mittavirhettä poiminta-alueenäärilaidoilla, ellei niitä korjata. Kalibrointikuva tulostettiin A3-kokoiselle paperille ja asetettiin sopivalle korkeudelle pahvin avulla tarkasti kuljettimen kanssa linjaan. Korkeuden tulisi olla sama kuin poimintakorkeus. Paperin ja musteen tulisi olla mahdollisimman vähän heijastavaa. Ruudut mitattiin hyvin tarkasti ja syötettiin kameran kalibrointi-ikkunassa uudet arvot. Tarkka arvo ruuduille saatiin, jakamalla koko ruudukon pituus ruutujen määrällä. Arvot tuli syöttää sekä X-, että Y-suunnille. Testisolussa havaittavien kappaleiden korkeus voi vaihdella, joten kalibrointikuvia tehtiin useampia eri korkeuksilla kuljettimen tasosta. Näin kalibrointia ei välttämättä tarvitsisi tehdä kokonaan uudestaan kun tunnistettava kappale vaihtuu, vaan tiedostosta voidaan valita tilanteeseen sopivin kalibrointiasetus. (ABB PickMaster 3.55 Users Guide 2020, 73.)

### 7.6.3 Robotin peruskoodinaatiston määrittäminen

Vaikka kuljetin näennäisesti olisi suorassa robotin koordinaatistoon nähden, voi sen virhe tosiasiallisesti olla hyvinkin paljon. Tämän vuoksi robotin peruskoodinaatisto tuli kalibroida kuljettimen suuntaiseksi, jotta poiminta tapahtuisi oikeasta pisteestä.

Kalibrointi aloitettiin merkitsemällä kuljettimeen kameranäkymää apuna käyttäen kuvan referenssipiste. Normaalitilanteessa testisolun näyttöön olisi näköyhteys kalibrointitilannetta ajatellen. Nyt testisolu oli kuitenkin sellaisessa asennossa, ettei ohjauskeskuksen kääntäminen ollut mahdollista. Kalibrointiin käytettiin apuna leveään maalinteippiin piirrettyjä X- ja Y-suuntaisia viivoja, jotka pyrittiin aluksi saamaan suunnilleen oikeille kohdille. Tarkan piste saatiin käyttämällä normaalia kulmaviivainta, joka asetettiin viivojen kanssa tasan havainnekuvassa esitetyllä tavalla (Kuva 41). Tämän jälkeen näytöltä voitiin lukea viivaimen asteikolta pisteen siirtoon tarvittavat arvot. Uusi piste merkittiin mitattujen arvojen mukaisesti ja tarkistettiin kuvaruudulta, että piste on tarkasti referenssipisteen kanssa samassa kohdassa (ABB PickMaster 3.55 Users Guide 2020, 76).



Kuva 41. Referenssipisteen tarkkaan paikantamiseen käytetyn metodin periaate

Tämän jälkeen robotin työkalulaippaan kiinnitettiin kalibrointiipiikki, jolla työkalulaipan sijainti voitiin kohdistaa kalibrointipisteeseen tarkasti. Piikki oli 50mm pitkä, joten tämä tuli ottaa huomioon Z-arvon kasvuna kalibrointia suoritettaessa. Ohjaimelta käynnistettiin ”ppacal.prg”-ohjelma. Ohjelma on sama, jota käytettiin kuljettimen nopeustiedon kalibroinnin yhteydessä. Painettiin ohjaimen ”kuolleen miehen kytkin” puoleenväliin ja käynnistettiin ohjelma painamalla ”play”, jonka jälkeen kuljettimen arvo nollautui. Valittiin kalibroitavaksi CNV1 ja odotettiin viestiä ”READY FOR CALIB”. Tämän jälkeen merkki ajettiin robotin ulottuviin työalueelle, kuitenkin mahdollisimman reunaan, kameran suuntaan. Sitten avattiin FlexPendantin kalibrointi-ik-

kuna ja valittiin ”CNV1” → ”BaseFrame” sekä neljän pisteen kalibrointi. Tämän jälkeen kaikki kalibrointi pisteet valittiin vuoron perään järjestyksessä ja pisteiden välissä kuljetinta ajettiin aina hieman eteenpäin. Kun kaikki neljä pistettä oli talletettu, valittiin ”OK” ja ohjelma laski uuden peruskoordinaatiston robotille. (ABB PickMaster 3.55 Users Guide 2020, 77.)

Valitettavasti tätä vaihetta pidemmälle ei PickMaster-ohjelman konfigurointia voitu tämän työn puitteissa enää viedä, koska toimivaa lisenssitiedostoa vielä ollut. Tehtävää oli kuitenkin vielä muissa testisolun osissa jäljellä.

## 7.7 TwinCAT-ohjelmointi

Ohjelmointikielinä automaatioissa yleisesti käytössä ovat standardin IEC 61131-3 mukaiset kielet Function Block Diagram (FBD), Ladder Logic Diagram (LD), Structure Text (ST), Instruction List (IL) sekä Sequential Function Chart (SFC). Ohjelmointikielissä saattaa olla myös valmistajakohtaisia eroja ja nimeämisissä, edellä mainitut ovat TwinCAT3 ohjelmointiympäristössä käytössä olevia.

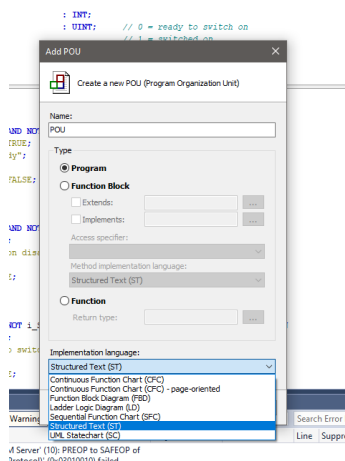
Ohjelmointikielen valintaan vaikuttaa moni asia. Ohjelmoijan tottuminen johonkin tiettyyn kieleen ja osaaminen voi vaikuttaa, mutta monissa yrityksissä ohjelmointikieli on yrityksen sisäisessä standardissa määritelty aina kirjoitusasua myöden. Hyöty sisäisestä standardoinnista korostuu, kun projekteihin osallistuvia henkilöitä on paljon. Tavoitteena on, että hyvinkin monimutkaisen ohjelman toiminnan ymmärtäminen on mahdollisimman helppoa kaikille, jotka osallistuvat laitteiston ohjelmointiin ja käyttöönnottoon.

TwinCAT3-ohjelmointityökalu on monipuolinen ja mahdollistaa hyvin paljon erilaisia ohjelmointitapoja sekä -arkkitehtuureja. Ohjelman kokonaisuutta aina laitekonfiguraatiosta ohjelman osiin on helppo tarkastella ”Solution Explorer”-työkalun kautta. Projektipuussa pääsee hallitsemaan käytännössä kaikkia projektin sisältämiä ohjelmaosia, konfiguraatioita, muuttujien linkittämistä lisenssejä jne. Koska pohjalla on Microsoftin kehittämä VisualStudio, jota käytetään yleisesti myös muuhun ohjelmointiin, sisältää se paljon monia aputyökaluja. Näistä mainittakoon mm. muuttujien komentojen

automaattinen tarjoaminen ohjelmaa kirjoittaessa, toki tämän saa kehittyneempi ohjelmoija pois niin halutessaan, mutta monelle aloittelevalla se on verraton työkalu. Toinen mainitsemisen arvoinen ominaisuus on ohjelman reaaliaikainen ohjelman oikeinkirjoituksen tarkastus. Suurin osa ohjelman mahdollisista virheellisistä muodoista tai muista virheilmoitukseen johtavista ongelmista havaitaan ennen kääntämistä ja logikalle lataamista.

TwinCAT3 PLC-ohjelma sijaitsee loogisesti ”PLC”-osion sisällä. Itse ohjelman lohkot muodostetaan ja sijoitetaan puun kansioon ”POUs”. Datatyyppien ym. esittelytiedostot ”Enumeration”, ”Structure”, ”Alias” ja ”Union” pääsääntöisesti kansioon ”DUTs”. Graafiset käyttöliittymät, HMI (Human Machine Interface), sijoitetaan kansioon ”VISUs”. ”GVLs”-kansio sisältää globaalit muuttujalistat. Puuhun voidaan tietyn rajoituksen lisäksi kansioita.

TwinCAT-ohjelman kirjoittaminen tehdään samaan tapaan kuin muillakin automaatio-ohjelmistoilla. Ohjelma osiot tehdään erillisinä ohjelmina, funktioina tai funktiolohkoina, joita kutsutaan pääohjelmassa. Haluttu ohjelmointikieli voidaan valita kaikille osiolle erikseen (Kuva 42).



Kuva 42. Ohjelmalohkon luominen

TwinCAT3-ympäristössä on käytettävissä eri käyttöön soveltuvia muuttujatyyppejä, joista tässä yhteydessä käydään läpi muutamia periaatteen selvittämiseksi. Ohjelmalohkossa esitellään käytettävät tulo-muuttujat muuttujatyypin määrittävien avainsanojen ”VAR\_INPUT” ja ”END\_VAR”, tulo-muuttujat ”VAR\_OUTPUT” ja

”END\_VAR” välissä, sekä sellaiset muuttujat, joita ei ole tarkoitus tuoda linkitettäväksi ohjelmakutsussa, eli ns. sisäiset muuttujat avainsanoilla ”VAR” ja ”END\_VAR”. Esittelyosassa voidaan esitellä lisäksi muitakin tyyppejä, kuten ”VAR\_TEMP”, jonka tila alustetaan aina kun funktiota kutsutaan. ”TEMP”-muuttujan käyttö on mahdollinen vain ”Function Block” ja ”Program”-ohjelmalohkoissa. Standardin IEC 61131-3 mukaiset datatyypit ovat ”BOOL”, eli ”tosi-epätosi”, Erilaiset numeromuuttujat (Kuva 43), reaalityypit ”REAL” ja ”LREAL”, merkkisarja ”STRING ” ja ”WSTRING” sekä aikadatatyypit (Kuva 44). Tarjolla on myös erilaisia valmiita funktioita kuten ajastimia ja triggereitä. TwinCAT3-ympäristössä käytettävistä muuttujajä datatyypeistä on erittäin kattavat ohjeet Beckhoff Infosys-ohjesivustoilla.

Data type	Lower bound	Upper bound	Memory space
BYTE	0	255	8 bit
WORD	0	65535	16 bit
DWORD	0	4294967295	32 bit
LWORD	0	$2^{64}-1$	64 bit
SINT	-128	127	8 bit
USINT	0	255	8 bit
INT	-32768	32767	16 bit
UINT	0	65535	16 bit
DINT	-2147483648	2147483647	32 bit
UDINT	0	4294967295	32 bit
LINT	$-2^{63}$	$2^{63}-1$	64 bit
ULINT	0	$2^{64}-1$	64 bit

Kuva 43. Integer-, eli numerotyyppiset muuttuja (infosys.beckhoff.com)

Data type	Lower bound	Upper bound	Memory space
TIME	0	4294967295	32 bit
TIME_OF_DAY (TOD)	0 (00:00:00.000)	4294967295 (23:59:59.999)	32 bit
DATE	0 (01.01.1970)	4294967295 (7 February 2106)	32 bit
DATE_AND_TIME (DT)	0 (01.01.1970, 00:00)	4294967295 (7 February 2106, 6:28:15)	32 bit
LTIME	0	213503d23h34m33s709ms551us615ns	64 bit

Kuva 44. Aika-tyyppiset muuttujat (infosys.beckhoff.com)

Muuttujan esittelyssä annetaan muuttujanimerille sen tyyppi, alkuasetusarvo tai muita parametreja, riippuen sen tyypistä (Kuva 45).



```

FUNCTION_BLOCK Conveyor_CiA402
VAR_INPUT
    i_b_SystemOn           : BOOL;
    i_b_ConveyorOn        : BOOL;
    i_b_Reverse            : BOOL;
    i_b_FaultReset        : BOOL;
    i_int_Speed            : INT;
    i_SW                   : UINT;
END_VAR

```

Kuva 45. Muuttujan esittely ilman alkuarvoa

Arvot tulee joissain tilanteissa alustaa sopivaan arvoon ohjelman halutun toiminnallisuuden takaamiseksi. Muuttujista voidaan muodostaa myös taulukko, eli ARRAY.

TwinSafe turvalogiikkaohjelma on täysin oma ja itsenäinen kokonaisuus luodaan ”SAFETY”-osion sisään. Ohjelmointikieli on aina Function Block Diagrammin kaltainen oma erityisesti turvalogiikkaa varten kehitetty kieli. Turvalogiikan ohjelmaa ajetaan turvalogiikassa.

## 7.8 Testisolun ohjelma

Testisolulle yleispätevän ohjelman kirjoittaminen olisi ollut melkoinen haaste ja olisi vaatinut hurjan määrän lisätunteja. Jo suunnitteluvaiheessa päädyttiin ratkaisuun, jossa työn edetessä tehtäisiin sopiva ohjelma signaalien testaamista varten. Taajuusmuuttajille ja robottien ohjauksille tehtiin kuitenkin jonkinlaiset ohjelmarungot, jotka sisältävät ohjauksignaaleita ja takaisinkytkentätietoa. Erityisesti robottien signaalien kanssa oli pientä ongelmaa, näitä tutkitaan hieman tarkemmin robottien osiossa. Taajuusmuuttajien osalta oli myös pientä epäselvyyttä tarvittavien bittien päälle kytkemisessä. Lopulta tähänkin löytyi ratkaisu ns. perimätiedon kautta.

Perusohjelma sisältää siis kolme varsinaista ohjelmaosaa: Main (PRG), Conveyor\_CiA402 (FB), Robots\_Control (FB). Robotin Function Block toteutettiin State Machine-periaatteella, joten tilakoneelle piti olla myös ENUM-tiedosto, eRobotsStates, jossa esiteltiin CASE-rakenteessa käytettävät tilat. Funktiolohkot toteutettiin niin, että samaa Robots\_Control-lohkoa voidaan kutsua molemmille roboteille ja Conveyor\_CiA402 voidaan käyttää myös molemmille kuljettimille, joista siis tähän työ-

hön sisältyi vain toinen. Kuljettimen funktiolohkon käyttäminen myös toiselle kuljettimelle edellyttää kuitenkin, että myös kakkoskuljettimella otetaan käyttöön FECA-01-väyläsovittimelta CiA402 väyläprotokolla. Main-kutsussa funktiolohkolle linkitetään tarvittavat I/O-tiedot.

Kuljettimen moottoria ohjaavan taajuusmuuttajan ohjaus toteutettiin yksinkertaisesti ohjaamalla taajuusmuuttajan Controlword-bittejä päälle ja pois. Kun järjestelmä laiteaan päälle, asettaa ohjelma Controlword-bitit 1...6 päälle. Kun painetaan kuljettimen Start-painiketta, kuljetin käynnistyy, mikäli nopeusarvo (1-100%) on annettu käyttöliittymästä. Päälle-pois-ohjaus tulee toteuttaa nousevan- tai laskevan reuna tarkkailulla, näin estetään ohjaustiedon läpi pääseminen useamman kuin yhden ohjelmakierroksen aikana. Seuraava ohjauskäske voidaan antaa vasta kun ohjaava bitti on käynyt nolana. Tässä toteutuksessa käytettiin nousevaa reunaa sulkeutuvan kärjen tarkkailussa, jolloin ohjauskäske lähtee heti kun painike painetaan. Laskeva reuna muuttaa tilaa vasta kun nappi vapautetaan. Ohjelma konvertoi nopeustiedon taajuusmuuttajan asetusten mukaiseen skaalaan. Negatiivinen arvo vaihtaa kuljettimen kulkusuunnan. Ohjelman toiminta selviää parhaiten kuvasta (Kuva 46).

```

67
68 Trigger(CLK := i_b_ConveyorOn);
69 Pulse := Trigger.Q;
70
71 IF i_b_SystemOn THEN
72   o_CW.1 := TRUE;
73   o_CW.2 := TRUE;
74   o_CW.3 := TRUE;
75   o_CW.4 := TRUE;
76   o_CW.5 := TRUE;
77   o_CW.6 := TRUE;
78 ELSE
79   o_CW := 0;
80 END_IF
81
82 IF i_b_SystemOn AND Pulse AND o_CW.0 THEN
83   o_CW.0 := FALSE;
84 END_IF
85
86 IF i_b_SystemOn AND Pulse AND i_int_Speed > 0 AND stReadyToSwitchOn THEN
87   o_CW.0 := TRUE;
88   ihmejuttu := TRUE;
89 END_IF
90
91 IF stOperationEnable AND i_int_Speed = 0 AND Pulse THEN
92   GVL.WarningColorConv := TRUE;
93 END_IF
94
95 IF i_SW.10 THEN
96   GVL.WarningColorConv := FALSE;
97 END_IF
98
99 o_b_ConveyorOn := i_SW.10;
100
101 //Speed and direction selection -2850rpm to 2850rpm)
102 IF GVL.i_b_ConveyorDirection THEN
103   o_int_Speed := (i_int_Speed* -30);
104 ELSE
105   o_int_Speed := (i_int_Speed* 30);
106 END_IF
107

```

Kuva 46. Kuljettimen ohjauksen ohjelma Structure Text (ST)-ohjelmointikielellä toteutettuna

Robottien ohjauksessa käytetyn tilakoneen idea on hyvin yksinkertainen. Se toteutetaan samalla peruseriaatteella TwinCAT3-ympäristössä kuin esim. C-kielessä, eli CASE-rakenteella. Funktiolohkossa esitellään muuttuja johon ”eRobotsStates” arvo tallennetaan. CASE-rakenteessa vain yksi tila voi olla kerrallaan päällä, eli vain sitä ohjelmaosiota suoritetaan ajan hetkellä. Esittely periaatteesta pelkistetyn ohjelmaversiolla kuvaa rakenteen parhaiten (Kuva 47). Tila alustetaan esittelyssä tilaan ”AllOff”. Kun StatusWord nolabitti on tilassa ”FALSE” ja ”Trigger” liipaistaan, asetetaan ”ControlWord” nolabitti tilaan ”TRUE” ja tila muuttuu tilaan ”MotorsOn”. Huomion arvoista on, että CASE-rakenteen jälkeen tulevat päällekkäiset ohjaukset ajavat ohjelman suorituksessa yli ja ohjelman viimeinen komento on aina määräävä, joten jos missä tahansa tilassa ”i\_bFault” on ”TRUE”, se asettaa ”ControlWord” tilaan nolla ja ”eRobots” tilaksi ”AllOff”.

```

38  VAR
39      eRobots          : eRobotsStates := eRobotsStates.AllOff;
40      trigger          : R_TRIG      ;
41      triggerUp        : BOOL        ;
42  END_VAR

53  CASE eRobots OF
54
55      AllOff:
56      IF StatusWord.0 := 0 AND triggerUp THEN
57          ControlWord := 100;
58          eRobots := eRobotsStates.MotorsOn;
59      END_IF
60
61      MotorsOn:
62      IF StatusWord.0 := 1 AND triggerUp THEN
63          ControlWord := 200;
64          eRobots := eRobotsStates.Start;
65      END_IF
66
67      Start:
68      IF StatusWord.1 := 1 AND triggerUp THEN
69          ControlWord := 300;
70          eRobots := eRobotsStates.Run;
71      END_IF
72
73      Run:
74      IF StatusWord.2 := 1 AND triggerUp THEN
75          ControlWord := 400;
76          eRobots := eRobotsStates.Stop;
77      END_IF
78
79      Stop:
80      IF StatusWord.0 := 0 AND triggerUp THEN
81          ControlWord := 0;
82          eRobots := eRobotsStates.AllOff;
83      END_IF
84  END_CASE

86  IF i_bFault THEN
87      ControlWord := 0;
88      eRobots := eRobotsStates.AllOff;
89  END_IF

```

```

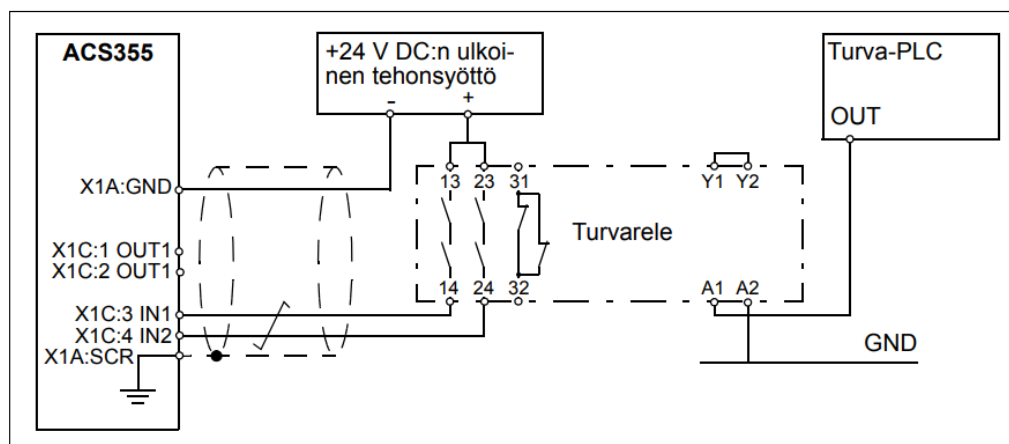
eRobotsStates  ▢ × MAIN Conveyor_CiA402
1  TYPE eRobotsStates :
2  (
3  AllOff,
4  MotorsOn,
5  Start,
6  Run,
7  Stop
8  );
9  );
10 END_TYPE
11

```

Kuva 47. CASE-rakenteen malli ja ENUM-tiedoston tilaesittelyt

## 7.9 ABB ACS355 taajuusmuuttajat

Kuljettimien moottoreiden ohjaamiseen käytettiin ABB valmistamia ACS355 taajuusmuuttajia. Näistä konfiguroitiin tässä vaiheessa vain toinen, koska jättökuljetinta ei kokoonpanossa vielä ollut. Taajuusmuuttajien turvapiiri toteutettiin niin, että kun hätäseis on aktiivinen, asettaa se taajuusmuuttajat ”Safe-Torque off”-tilaan, eli sananmukaisesti poistaa moottorilta väännön, jolloin moottori pysähtyy. Kyseinen toiminto voidaan toteuttaa myös väyläohjauksena, mutta koska laitteiden käytön kriteeri oli, että niitä pitää voida käyttää myös ilman logiikkaa, käytettiin taajuusmuuttajan STO-tuloa ulkoisella jännitteellä ohjattuna. Tulo on kaksi kanavainen ja turvatoiminto on suojattu niin että päälle kytkettäessä molemmat kanavat tulee kytkeytyä 200ms sisällä toisistaan (Kuva 48) (ABB, Käyttäjän opas, ACS355-taajuusmuuttajat, 429).



Kuva 48. Safe Torque off -kytkentä ulkoista jännitettä käyttäen (ABB, Käyttäjän opas, ACS355-taajuusmuuttajat, 428)

Taajuusmuuttajien kenttäväyläohjaus vaatii erillisen EtherCAT väylään sopivan ABB FECA-01-väyläsovittimen. Väyläsovitin asennetaan kiinteästi sille varattuun paikkaan taajuusmuuttajan etuosaan.

### 7.9.1 Taajuusmuuttajan perusasetukset

Taajuusmuuttaja vaatii toimiakseen joukon asetuksia, joiden perusteella se osaa ohjata moottoria oikein ja halutulla ohjaustavalla. ABB ACS355 taajuusmuuttajalle voidaan asettaa erilaisia nopeusohjeita, jotka voivat olla muuttuvia tai kiinteitä arvoja. Näitä

voidaan vielä muokata ulkoisen ohjauksen avulla. Kiihdytys- ja hidastusrampit asetetaan ohjearvojen mukaisiksi.

Lisäksi voidaan käyttää PID-säätöä (Proportional-Integral-Derivative), jonka avulla esimerkiksi kuorman muuttuessa voidaan moottorin vääntöä säätää tarpeen mukaiseksi. Takaisin kytkentä valvoo kierrosnopeutta ja jos se laskee tai nousee tavoite-nopeudesta, PID-säätö vastaa siihen lisäämällä tai vähentämällä vääntöä. Tämä mahdollistaa energian säästön ja käytännössä todellisen nopeuden vakion. Ohjaimen P-termi on tavoitenopeuden ja takaisinkytkennän erosuure. I-termillä integroidaan erosuuretta ajan suhteen. D-termi on derivointivahvistus, joka huomioi myös muutosnopeuden. Derivoivaa osaa ei välttämättä käytetä, ellei ole pakko. (Wikipedia 2020, PID-säädin.)

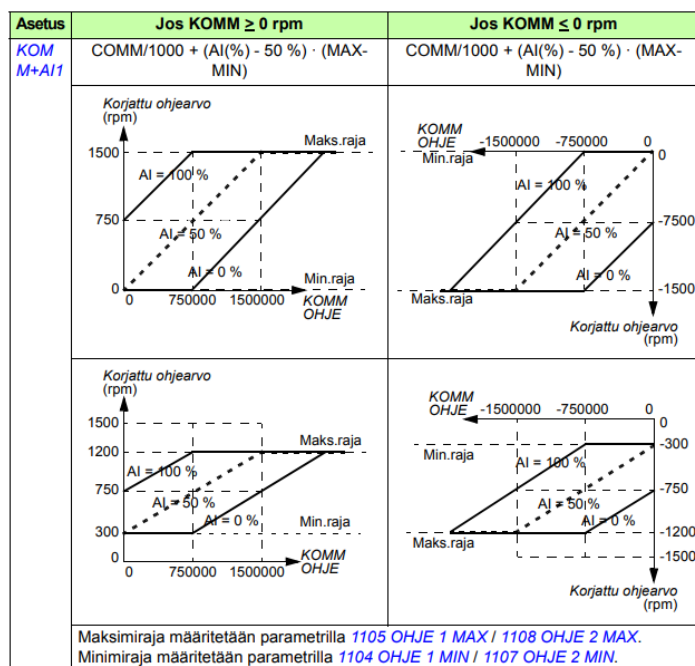
Testisolun kuljettimen moottorinohjauksessa ei mitään erikoisempia ohjauksia tarvittu, koska kuljettimella kulkevat kuormat olisivat todennäköisesti hyvin kevyitä. Nopeustieto riittäisi käynnistys- ja suuntatiedon lisäksi. Asetusten asettaminen on hyvin yksinkertaista taajuusmuuttajan assistenttien avulla. Moottorin kilpiarvot oli hyvä ottaa valmiiksi saataville. Kieliasetuksen jälkeen asetettiin assistentin avulla moottorityypiksi ”AM” (epätahtimoottori), sovellusmakrokksi ”VAKIO-OHJAUS”, moottorinohjaustavaksi ”NOPEUS”, Moottorin nimelliskierrosnopeus oli 2850 rpm, nimellistaajuus 50Hz, nimellisjännite 240V, nimellisteho 0,3kW. ID-ajoa, joka säätää taajuusmuuttajan asetukset optimaalisiksi automaattisesti, ei tällä kertaa käytetty. Loput parametrit määritellään FECA-01 yhteydessä

### 7.9.2 ABB FECA-01-kenttäväyläsovitin

Väyläsovittimen tehtävä on muuttaa EtherCAT kenttäväylän protokolla taajuusmuuttajan käyttämään muotoon. Taajuusmuuttajassa on sisäinen kenttäväylä, joka tukee asynkronista Modbus RTU-sarjaliikenneprotokollaa. Taajuusmuuttaja voidaan liittää eri väyläsovittimien avulla käytettävään kenttäväylään. Sovittimia löytyy ainakin Profibus-DB (FPBA-01), DeviceNet (FDNA-01), CANopen (FCAN-01), Ethernet (FENA-01), Modbus RTU (FMBA-01) sekä nyt käytetty EtherCAT-väyläsovitin

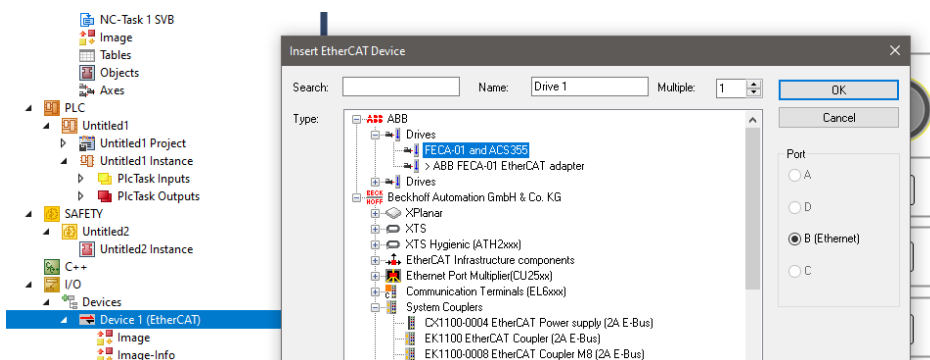
FECA-01. Taajuusmuuttaja tunnistaa kytketyn kenttäväyläsovittimen automaattisesti, pois lukien Modbus. (ABB, Käyttäjän opas, ACS355-taajuusmuuttajat, 348.)

Tiedonsiirtoyhteyden asetukset tulee asettaa käytettävän sovittimen mukaan ja se onnistui parhaiten käyttämällä sovittimen omaa käyttöohjekirjaa. Kommunikointiprotokollan valintaparametri ”9802” tulee olla ”ULK FBA”, joka alustaa tiedonsiirtoyhteyden kenttäväyläsovittimen ja taajuusmuuttajan välille. Lisäksi pitää valita käyttöön EtherCAT, sekä kommunikaatioprofiili, jolla operoidaan. Tähän kokoonpanoon valittiin CiA402. Profiili vaikuttaa ohjaussanan bittien käyttölogiikkaan. Ohjekirjan mukaisesti etenemällä, parametri parametrilta, toimenpide oli lopulta melko yksinkertainen. Jotta väyläsovittimen parametri jäisivät muistiin, pitää ne muistaa myös tallentaa. Tallentaminen tapahtuu parametrin ”5127” avulla, valitsemalla parametrin arvoksi ”1” ja painamalla ”VIRKISTÄ”. Tämän jälkeen tulee vielä valita eri toiminnoille, kuten ulkoinen ohjaus, vikakuittaus, käynnistys, jne. ohjaustavat, eli tuleeko tieto kenttäväylästä, digitaalisesta tai analogisesta tulosta. Ohje voi olla myös näiden yhdistelmä. Esimerkiksi nopeusarvo voi tulla väylästä, mutta sitä ohjataan lisäksi analogisella tulolla, joka vaikuttaa lopulliseen ohjearvoon (Kuva 49). (ABB, User’s manual, FECA-01 EtherCAT adapter module, 35-41.)

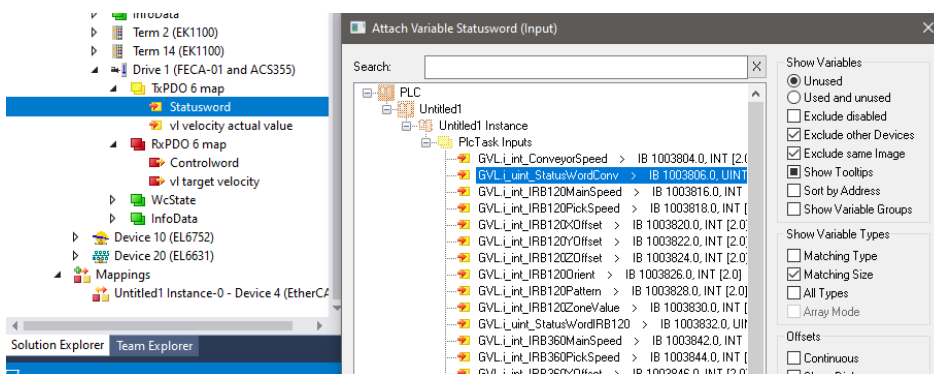


Kuva 49. Ulkoisen ohjearvon korjaus analogisella tulolla (ABB, Käyttäjän opas, ACS355-taajuusmuuttajat, 354)

Jotta kommunikointi PLC:n ja väyläsovittimen välillä onnistuisi, tuli se konfiguroida TwinCAT3-ohjelmointiympäristössä. Jotta ohjaukset menevät oikein tarvitaan erillinen laitetyyppikohtainen konfigurointitiedosto. Ensinnäkin ladattiin tarvittava XML-laitemääritystiedosto laitevalmistajan, eli tässä tapauksessa ABB:n verkkosivuilta. Ladattu tiedosto tulee sijoittaa tiedostoon TwinCAT\3.1\Config\Io\EtherCAT, jonka jälkeen se löytyy TwinCAT3-ohjelmointiympäristössä. On hyvä huomioida, että aiemmin tehty skannaustoiminto löytää FECA-01-väyläsovittimen, mutta sen muokkaaminen osoittautui ainakin tässä tapauksessa haastavaksi. Laitteen poistaminen luettelosta ja uuden lisääminen manuaalisesti antoi kuitenkin toivotun lopputuloksen. Laitteen lisääminen oli kohtalaisen yksinkertainen toimenpide (Kuva 50). Tämän jälkeen linkitettiin taajuusmuuttajan ”Controlword”, ”Statusword” sekä ”target velocity” niille varattuihin ohjelmamuuttujiin (Kuva 51). Ohjelma käännettiin ja dataliikenne voitiin toteuttaa toimivaksi.



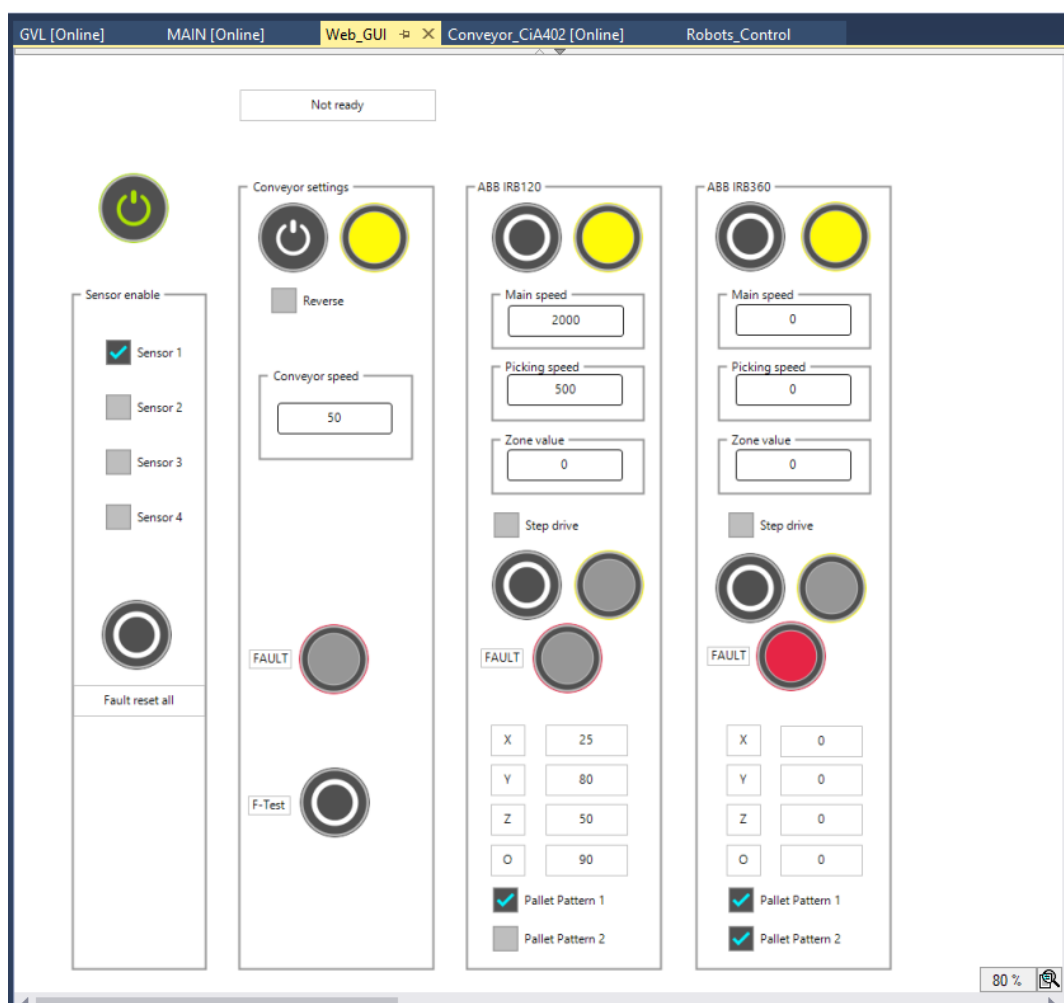
Kuva 50. FECA-01-väyläsovittimen lisääminen laitekonfiguraatioon



Kuva 51. Muuttujien linkittäminen tulo- ja lähtötietoihin

## 7.10 Visu

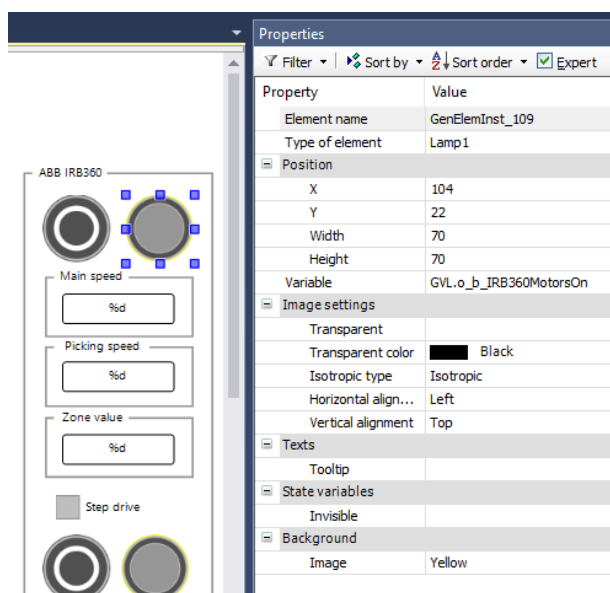
TwinCAT-ohjelmalle tehtiin graafinen käyttöliittymä. Käyttöliittymä luodaan aina kansioon ”VISUs” valitsemalla ”Add” → ”Visualization”. Tämän jälkeen lisättiin ohjelmaikkunan oikeassa reunassa olevan ”Toolbox” työkalujen avulla halutunlainen koonpano. Erilaisia teemojakin on mahdollista valita. Käyttöliittymän luonti tapahtuu todella helposti raahaamalla halutut komponentit ikkunaa. Testisolulle luotiin varsin kattava käyttöliittymä, mutta kuitenkin vain yksi sivuinen (Kuva 52).



Kuva 52. Testiohjelman käyttöliittymä

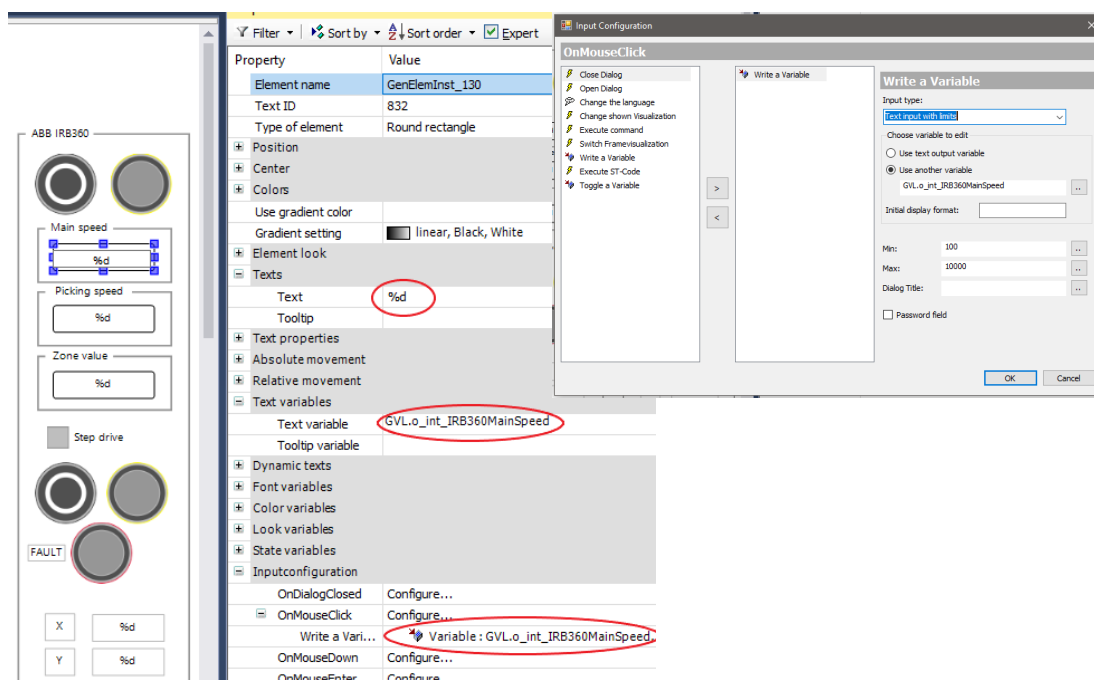
Painonapeille ja merkkilampuille linkitetään muuttujat ”Properties”-välilehdeltä (Kuva 53) ja tekstikentän osalta tarvitaan hieman monimutkaisempaa ratkaisua.





Kuva 53. Muuttujan linkittäminen merkkivalolle

Tekstikenttä ottaa vastaan kokonaisluvun raja-arvoin 100-10000 ja siirtää sen muuttu-  
jaan. Kirjoitettava muuttuja asetetaan valitsemalla ”Inputconfiguration” → ”On-  
MouseClicked” → ”Write Variable” (Kuva 54). Kohtaan ”Text” on määritelty ”%d ”  
jotta kenttä näyttää ohjelmaa ajettaessa ”Text Variable” muuttujan arvon”.



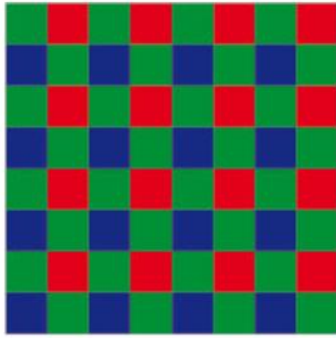
Kuva 54. Tekstimuuttujan konfigurointi

VISU-työkalu on hyvin monipuolinen ja siihen löytyi hyvin ohjeita Beckhoff ohjesivuilta. Lisäksi saatavilla on web-toteutusta varten tarvittavat TF2000-HMI-Server serveriohjelma ja TE2000-HMI-Engineer työkalulaajennus TwinCAT3-ohjelmointiympäristöön. Nämä ohjelman lisäosat ovat kirjautumisen jälkeen ladattavissa Beckhoff verkkosivuilta.

#### 7.11 Basler scA 1390-17gm kamera

Kamera on osa PickMaster 3 järjestelmää, ja sen konfigurointi tehdään PickMaster-ohjelman sisällä. Kamera oli ollut jo aiemmin käytössä, sille oli annettu sopiva IP-osoite, jota käytettiin myös uudessa ympäristössä. Jos kameran IP-osoite ei ole tiedossa, voidaan se selvittää esimerkiksi Basler IP Camera Finder- tai Basler Pylon IP Configurator-ohjelmistolla, jotka ovat ladattavissa Basler AG verkkosivuilta. Kumpikin ohjelma löytää kaikki Basler-kamerat, jotka ovat kyseisessä verkossa. Finder-ohjelmalla ei kuitenkaan voi muuttaa IP-osoitetta, eli se tulee tehdä Pylon IP Configurator-ohjelmalla. (Basler AG [www-sivut](http://www-basler.com).)

Käytetty kamera oli siis peräisin alkuperäisestä kokoonpanosta. Se on ½” ja 1392 x 1040 pikselin CCD-kennolla varustettu monokromaattinen, eli harmaasävykamera. Suunnittelun yhteydessä pohdittiin, pitäisikö kamera vaihtaa ja mitkä asiat puoltaisivat vaihtoa ja mitkä vastaan. Mikäli tilalle asennettaisiin värikamera, sen hyödyt voisivat olla useimmissa tapauksissa kohtuullisen pienet. Erityisesti jos tarkastellaan kuvanlaadun vaatimuksia, tulisi värikamerassa olla karkeasti ajateltuna kolminkertainen resoluutio saman kuvanlaadun saamiseksi verrattuna monokromaattiseen kameraan. Tämä johtuu siitä, että värikameran kuvan muodostuu kolmesta väristä (punainen, vihreä ja sininen). Tyypillisesti värikameran kennossa on käytetty ns. GRGB-tekniikka, jolloin vihreitä soluja on kaksinkertainen määrä punaisiin ja sinisiin verrattuna (Kuva 55).



Kuva 55. Digikameran kennon solujen GRGB-tekniikka (Kuvakenno Graphics www-sivut)

Kennon solujen, eli pikseleiden suurempi määrä myös aiheuttaa kuvan käsittelyn hidastumista. Tämä nyt ei periaatteessa myöskään ole varsinainen ongelma ja suuremman kynnyksen aiheuttaa kuvasta etsittävän muodon vaativuus. Periaatteessa, jos kuvasta etsitään aina samaa ja samanväristä kuviota, ei värikameralle ole olemassa mitään perustetta, koska käytännössä kaikki värit saadaan näkymään erittäin hyvin sopivalla valaistus- ja kuvan optisella suodatustekniikalla. Tilanne muuttuu, kun pitääkin lajitella eri värisiä saman muotoisia kappaleita, tällöin värikamera on usein ehdoton.

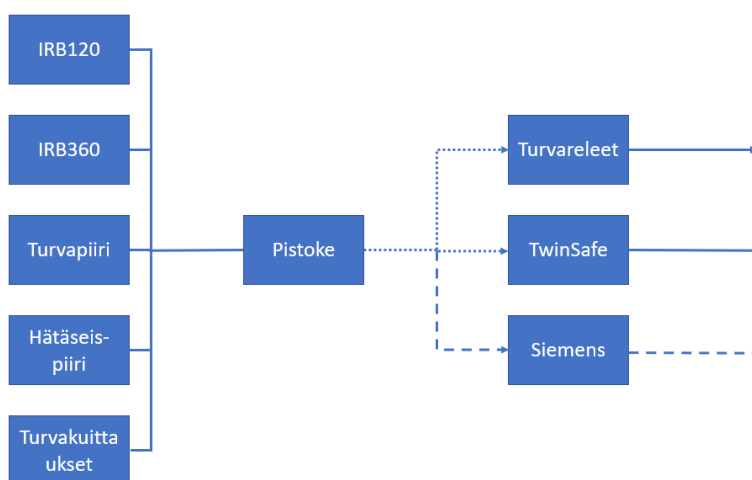
Testisolun kohdalla kameran vaihtaminen olisi perusteltua, mutta tästä työstä se jätettiin ulkopuolelle. Kamera on hyvin yksinkertainen vaihtaa tulevaisuudessa, etenkin jos tilalle valitaan Basler Scout-sarjan kamera. Tosin kirjoitushetkellä suurin resoluutio Scout-sarjan värikameroissa on 1626 x 1236 pikseliä. Optiikka kelpaisi suurella todennäköisyydellä vanhasta kamerasta tähän hyvinkin. Molempien kameratyyppien optiikan kiinnitys on C-mount-tyyppiä (Basler AG www-sivut). Alkuperäisellä harmaasävykameralla kuljettimen leveydeltä, eli noin 400mm matkalle saadaan yhden pikseli matkaksi resoluutiolla 1392 x 1040 hieman alle 0,3mm. Värikameralla samalla resoluutiolla ollaan väkisinkin millimetrin luokassa, ellei ylikin. Yleisesti ottaen, kun digikuvasta haetaan kappaleesta ns. reunaa voidaan pääsääntöisesti ajatella sen muodostuvan kolmen pikselin alueelta, myös tämä tulisi ottaa huomioon kameraratkaisua tehtäessä.

Yksi ratkaisu olisi rakentaa testisolun kameraa varten pikakiinnitys, jolla voitaisiin luotettavasti vaihtaa kameraa, testitilanteen tarpeesta riippuen. Kamerakotelossa olisi hyvin tilaa, myös eräänlaiselle kiinteälle kelkkarakenteelle, joka tekisi kameran vaihdosta vieläkin yksinkertaisempaa. Tämä ei kuitenkaan poistaisi konfiguraation tarvetta

kameran vaihdon jälkeen, koska vaihtomekanismista tuskin saataisi täysin välyksetöntä. Tutkimuksen arvoista olisi, voidaanko kaksi kameraa asentaa kiinteästi paikoi-  
leen samaan järjestelmään, jolloin konfigurointia ei tarvitsisi toistaa kameravalinnan  
vaihdon yhteydessä. Kameraratkaisuja päästäisiin joka tapauksessa vertaamaan edes  
hieman helpommin ja asiakaskokoonpanoon voitaisiin valita toimivin ratkaisu.

## 7.12 Solun turvajärjestelmät

Testisolu tultaisiin varustamaan tulevaisuudessa myös Siemens PLC:llä, joka varus-  
tettaisiin myös turvalogiikalla. Jotta logiikat toimisivat tällaisessa ympäristössä moit-  
teetta, tulisi kytä erottamaan toisistaan niin, että käytössä on fyysisesti vain yksi jär-  
jestelmä kerrallaan. Asiaa pohdittiin melko pitkään, jotta varmasti hyvä ratkaisu löy-  
tyisi. Lopulta päädyttiin yksinkertaiseen ratkaisuun, joka on erittäin helposti monistet-  
tavissa tulevaisuuden järjestelmiä ajatellen. Järjestelmien erottaminen (Kuva 56) rat-  
kaistiin mekaanisesti, käyttämällä Phoenix Contact-moninapaliittimiä (Kuva 57).



Kuva 56. Graafinen havainne-esitys eri turvajärjestelmien erottamisesta



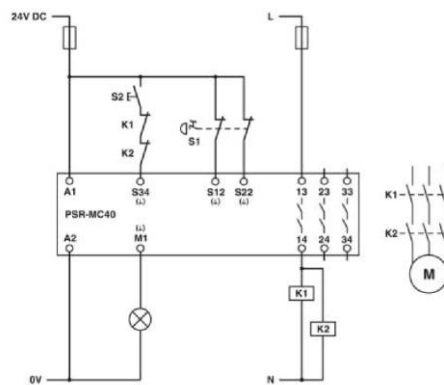
Kuva 57. Eri tyyppisiä Phoenix Contact-moninapaliittimiä (Phoenix Contact [www-sivut](http://www.phoenixcontact.com))

Toteutuksessa käytettiin yhtä urospistoketta ja kolmea naaraslohkoilla varustettua kosketinrunkoa. Pistokkeeseen kytkettiin kaikki ohjaavat turvalaitteet, kuten hätäseis-painikkeet ja ovikytkimet, turvalaitteiden kuittauspainikkeet sekä järjestelmän ohjaukset, eli turva- ja hätäpysäytys roboteille ja kuljettimille. Runko-osia kiinnitettiin keskuksen kiinteästi. Yksi mekaanisille turvareleille, yksi TwinSafe-järjestelmälle ja yksitulevaisuutta ajatellen Siemens turvalogiikalle. Näistä kahteen, eli releiden ja TwinSafe-järjestelmien osalta kytkettiin varsinaisten turvalaitteiden tulot ja lähdöt.

### 7.13 Phoenix Contact turvareleet

Solun turvalogiikaton turvajärjestelmä toteutettiin Phoenix Contact PSR-MC40 turvareleihin. Näitä asennettiin kaksi kappaletta, joista toinen hoitaa hätäseis- ja toinen turvapysäytys-toiminnon. Turvareleet ovat turvaluokiteltuja releitä, eli niiden toiminta on taattu määritellyyn käyttökertaan asti. Releitä on yksi- ja kaksikanavaisella ohjauksella. Pääsääntöisesti käytetään kuitenkin kaksikanavaisia järjestelmiä, eli ohjaavat elimet ovat kahdennettu. Turvareleet voivat valvoa myös ohjauskanavien samanaikaisuutta. Tämä tarkoittaa, että ohjaussignaalien on tultava tietyn aikaikkunan sisällä tai muuten releen kärjet ohjataan turvatilaan, eli rele ei vedä. Usein ohjaus on toteutettu myös niin, että toisen piirin ohjaussignaali kiertää toista piiriä vastaan. Ohjauksen tulee aina viikaantua turvalliseen suuntaan, ts. esimerkiksi ohjauselimien kaapelin katketessa rele ei saa vetää. Kahdennettu ohjaus tekee virheellisen toiminnan käytännössä lähes mahdottomaksi.

Turvareleen toiminta on hyvin yksinkertainen, kuten kytkentäkaaviosta voidaan todeta (Kuva 58). Releelle tuodaan jännitteensyöttö napoihin A1 ja A2. Turvapiirit kytketään kanaviin S12 ja S22 ja kun nämä ovat jännitteiset S1 hätäseis kytkimen vaikutuksesta, kuitataan rele S2 kuittauspainikkeella. Kuittaus ei toimi, jos ohjattavat kontaktorit K1 ja K2 ovat vetäneenä tai esimerkiksi toinen kontaktori on vikaantunut kiinni asentoon. Kun turvarele vetää, syytty myös M1 kanavaan liitetty merkkivalo. Turvareleellä ei yleensä ohjata suoraan kuormia, vaan kuorman ohjaukseen käytetään omia releitä tai kontaktoreita, yleensä myös kahdennettuna järjestelmänä, jolloin toinen todennäköisesti toimii, vaikka toinen vikaantuisi.



Kuva 58. Phoenix Contact PSR-MC40-3NO turvareleen kytkentäkaavio (Phoenix Contact, datasheet)

## 8 YHTEENVETO

Työn laajuus oli aloittaessa tiedossa, mutta silti se pääsi paikoin yllättämään. Joitakin asioita en aivan koko laajuudessa ollut osannut ottaa huomioon. Toisaalta työmäärä fyysisten asennusten osalta siirtyi allekirjoittaneelle poiketen alkuperäisestä työnjaon suunnitelmasta. Tämän näen kuitenkin erittäin positiivisena asiana, erityisesti ammatillisen oppimisen kannalta. Tutkittavaa ja kehitettävää oli erittäin paljon ja työstä olisi helposti saanut ainakin toisen opinnäytetyön aikaiseksi, vaikka jo alussa toteutuksen ulkopuolelle jätettiin Siemens PLC-kokonaisuus.

Merkittävimmän viivästyksen työn etenemiseen aiheutti PickMaster-lisenssin osoittautuminen sopimattomaksi. Odotusaika osui joulun ja uudenvuoden aikaan ja uskon, että tämä oli suurin syy lisenssin toimituksen viipyilyyn. Tässä kohtaa harkittiin jopa projektin muuttamista niin, että PickMaster jäisi kokonaan työn ulkopuolelle. Päädettiin kuitenkin tekemään lähtökohtaisesti se, mitä ilman lisenssiä voitiin. Se kannatti, loppumetreillä lisenssikin saapui ja PickMaster saatiin poimimaan lisenssin aktivoinnin jälkeen tuotteita onnistuneesti. Olisin halunnut tutustua kyseiseen sovellukseen käytännön kautta vielä enemmän, mutta se ei valitettavasti ollut käytettävän ajan puitteissa mahdollista. Harmillisesti perehtyminen PickMaster-ohjelmiston kaikkiin toimintoihin ja ominaisuuksiin jäi pintaraapaisuksi. Muista viivästyksen aiheuttajista mainittakoon niiden olleen tavanomaisia, joita lähes jokainen laajempi projekti väkisininkin kohtaa. Tämä kuitenkin antoi ajattelemisen aihetta, miten vastaavat pienetkin viivästyksen aiheuttajat voitaisiin minimoida tai kenties jopa välttää kokonaan. Ennakointi on usein kaiken a ja o, ja vaikka se otettiin mielestäni hyvin huomioon, sitä olisi voitu kuitenkin parantaa entisestään.

Muutamia valintoja suunnitteluun liittyen tekisin työn tuoman kokemuksen jälkeen toisin. Teollisuustietokoneen liitäntöihin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota ja tarkkaan harkita myös kaapeloinnin kannalta. Esimerkiksi videosignaalin siirtotapa vaikuttaa oleellisesti kaapelointiin, etenkin läpivienteihin. Nyt käytettävissä oli IPC:n vakio, eli DVI-videolähtö. Koska näyttö sijaitsee toisessa keskuksessa, jouduttiin kaapelille järjestämään hieman erikoisempi läpivienti, johtuen DVI-liittimen kohtalaisen

suuresta koosta. HDMI- tai CP-Link-toteutuksena kaapelointi olisi ollut helpompi järjestää ja jälkimmäistä käyttäen ei USB-kaapelointia näytölle olisi tarvinnut erikseen järjestää. Toki USB tarvittiin ohjauskeskuksen muita toimintoja varten ja CP-Link järjestelmän kautta se toteutuu myös, mutta vain USB2.0-versiona. Asiakasprojekteissa vastaavin ongelmiin törmääminen vasta kokoonpanovaiheessa, vaikuttavat suoraan laitteen valmistukseen käytettyyn aikaan ja sitä kautta kustannuksiin. Toisen näytön mahdollistava videolähtö suoraan tietokoneelta olisi ollut myös pitänyt ottaa jo heti IPC:n ominaisuuksien valinnassa huomioon. Tämä saatiin kuitenkin hoidettua lopulta USB-HDMI -konvertterin avulla. Vaikka jotkin ratkaisut voivat tuoda lisäkustannuksia laitehankintoina, voi kokonaisuus silti olla edullisempi kokonaiskustannuksiltaan.

Sain toteuttaa työn itsenäisesti ja minun päätöksiini kokonaisuuden suunnittelijana luotettiin. Sain myös valtavasti apua ongelmien ratkaisuun ja toteutusideoiden tueksi Trimaster Oy:n automaatio suunnittelijoilta ja sähkömiehiltä. Työn tuloksista ja myös omasta kehityksestäni sain hyvää palautetta, erityisesti Beckhoff-automaatiolaitteiden parissa. Työ opetti paljon sellaista, jota ei saa muuten kuin tekemällä. Pääsin toteuttamaan erittäin laaja-alaisesti tekniikan osa-alueita myös käytännössä. Automaatio suunnittelun lisäksi työ sisälsi monia mekaanisten ratkaisujen toteutuksia, jotka tekivät työstä entistä mielenkiintoisemman. Erilaisten 3D-tulosteiden suunnittelu ja niiden tulostaminen, varsinaisten sähköasennusten ja monien muiden ratkaisujen toteuttaminen itse, oli hyvin antoisaa. Koen myös, että automaatio suunnittelijan on hyvä ymmärtää myös mekaanisten toteutusten mahdollisuudet ja rajoitukset.

Kaikki työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Testisolun käyttö olisi ainakin liitännöiden puolesta vaivatonta. Kaikki yhteydet saatiin lopulta toimimaan halutulla tavalla, vaikka ongelmiakin kohdattiin, eikä niiden ratkaisu ollut aina kovin yksinkertaista. Kokoonpanon laitteet toimivat suunnitellulla tavalla, eli yhdessä tai erikseen, täysin tavoitteen mukaisesti.

Työn jälkeen solua on tarkoitus kehittää edelleen. Tarkoituksena on lisätä järjestelmään ns. paluukuljetin, sekä Siemens PLC-järjestelmä turvalogiikoineen. Kun perusrunko on kunnossa, on siihen huomattavasti helpompi lisätä ominaisuuksia, joita tulevaisuudessa tarvitaan.



Raporttiin olisin ehkä monin paikoin halunnut avata asioita huomattavasti syvemmin, mutta tämä olisi väistämättä aiheuttanut raportin pitenemisen entisestään. Yksi ratkaisu olisi ollut tiedon karsiminen raportista, mutta tämä olisi aiheuttanut kokonaisuuden hahmottamisen vaikeutumisen. Kirjallisen sisällön tuottaminen ei tuottanut vaikeuksia, mutta lopulliseen raporttiin päätyvän materiaalin valinta oli erittäin haastavaa. Tähän raporttiin olen kuitenkin pyrkinyt saamaan kaikki oleelliset tiedot, joilla työn on lopulta menestyksekkäästi saatu päätökseen. Painoarvo on erityisesti sellaisilla seikoilla, joista itse koin, ettei tietoa ollut välttämättä aivan helposti tarjolla. Moniin asioihin oli välillä haettava ratkaisu kokeilemalla.

## LÄHTEET

ABB 2020. FECA-01 User Manual. Käyttöohje. Tulostettu 10.1.2020.

<http://bit.ly/37ruXF1>

ABB 2020. Käyttäjän opas, ACS355-taajuusmuuttajat. Tulostettu 21.1.2020.

<http://bit.ly/2RuAl4J>

ABB Annual Report 2018. Tulostettu 25.1.2020. <http://bit.ly/37nKKo6>

ABB PickMaster 2020. PickMaster Product specification. Esite. Tulostettu

22.1.2020. <http://bit.ly/2GnvCLF>

ABB PickMaster 3.55 Users Guide. Käyttöohje. Viitattu 29.1.2020

ABB PickMaster CD:n lisämateriaali. PickMaster asennus CD. Viitattu 29.1.2020.

ABB RobotStudio 2020. RobotStudio Operating manual. Käyttöohje. Tulostettu

21.1.2020. <http://bit.ly/2GoihCJ>

ABB www-sivut. Viitattu 25.1.2020. <https://new.abb.com/fi>

Altavision. Basler Scout Area Scan Cameras. Esite. Tulostettu 22.1.2020.

<http://bit.ly/312HDzv>

Asiakastieto Oy:n www-sivut. Viitattu 21.1.2020. <https://www.asiakastieto.fi>

Bassler AG www-sivut. Viitattu 25.1.2020. <https://www.baslerweb.com>

Bechhoff www-sivut. Viitattu 21.1.2019. [www.bechhoff.com](http://www.bechhoff.com)

Beckhoff Automation GmbH & Co. Beckhoff TwinCAT catalog. Esite. Tulostettu

21.1.2020 <http://bit.ly/2O6Jeit>

Beckhoff Automation GmbH & Co. Installation and Operating instructions for

CP29XX-00. Käyttöohje. Tulostettu 21.1.2020 <http://bit.ly/2t5Tm3X>

Beckhoff Infosys-ohjesivusto. Viitattu 21.1.2020. [www.infosys.bechhoff.com](http://www.infosys.bechhoff.com)

CAN in Automation (CiA) www-sivut. Viitattu 25.1.2020. <https://www.can-cia.org>

Computing and Information Sciences (Ciss). Viitattu 25.1.2020. <http://bit.ly/2U47l58>

EtherCAT Technology Group www-sivu. Viitattu 21.1.2020 [https://www.ether-](https://www.ether-cat.org/default.htm)

[cat.org/default.htm](https://www.ether-cat.org/default.htm)

ifm www-sivut. Viitattu 29.1.2020 <https://www.ifm.com/>

Isotalo. J 2016. Kompessoriyksikön suunnittelu ja ohjelmointi. Opinnäytetyö. Sata-

kunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 21.1.2020. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201604144340>

Kuvakenno Graphics www-sivut. Viitattu 27.1.2020. <http://www.kuvakenno.fi/digi-kuvaus/kuvakenno.html>

Multivac konsernin www-sivut. Viitattu 21.1.2020. <https://multivac-group.com>

Oulun ammattikorkeakoulu 2020. Tietoliikenneohjelmointi. Luentomoniste. Tulostettu 19.1.2020. <http://bit.ly/37zZdxx>

Phoenix Contact 2020. phoenix contact PSR-MC40-3NO datasheet. Viitattu 29.1.2020. <http://bit.ly/36xgsxT>

Phoenix Contact www-sivut. Viitattu 25.1.2020. <https://www.phoenixcontact.com>

Pilz GmbH & Co www-sivut. Viitattu 23.1.2020. <http://bit.ly/2GyL4ER>

PROFIBUS & PROFINET International (PI). Profinet Technology The easy Way. Esite. Tulostettu 22.1.2020 <http://bit.ly/37sMbBT>

PROFIBUS & PROFINET International (PI) www-sivut 2020. Viitattu 25.1.2020. <https://www.profibus.com>

proZ.com www-sivut. Viitattu 28.1.2020. <http://bit.ly/2Gy0QOo>

RealPars www-sivut 2020. Viitattu 25.1.2020 <https://realpars.com>

Robot-forum www-sivut. Viitattu 27.1.2020. <http://bit.ly/36A49Bd>

Wikipedia 2020. ARM Prosessoriarkkitehtuuri. Viitattu 21.1.2020. <http://bit.ly/2GsvuKX>

Wikipedia 2020. Kolmiulotteinen tulostus. Viitattu 22.1.2020. <http://bit.ly/2Gy9qym>

Wikipedia 2020. PID-säädin. Viitattu 24.1.2020 <http://bit.ly/2U3JPW7>

Wikipedia 2020. RAID (tietotekniikka). Viitattu 24.1.2020. [https://fi.wikipedia.org/wiki/RAID\\_\(tietotekniikka\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/RAID_(tietotekniikka))