

---

# TESTIROBOTTISOLUN SÄHKÖISTYS JA KÄYTTÖÖNOTTO



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Valkeakoski, kevät 2016

Santeri Soutolahti



Valkeakoski  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

---

<b>Tekijä</b>	Santeri Soutolahti	<b>Vuosi</b> 2016
<b>Työn nimi</b>	Testirobottisolun sähköistys ja käyttöönotto	

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö on tehty Hämeen ammattikorkeakoulun automaatiotekniikan koulutusohjelman päättötöynä. Sen tilaajana toimi Tampereella sijaitseva JTA Connection Oy, jonka puolesta työnohjaajana oli teollisuusroboteista ja sovelluksista vastaava automaatio Manager Pekka Suojanen. Hämeen ammattikorkeakoulusta yhteyshenkilönä ja ohjaajana toimi yliopettaja Hannu Pohjasto.

Työn tavoitteena oli teollisuudessa käytettävän KUKA-merkkisen robotin yhteen liittämisen liukuhinnan ja kentällä olevien antureiden ja laitteiden kanssa. Ohjauksesta ja kommunikoinnista vastasi nykyaikainen Siemensin teollisuustietokone IPC427D Soft PLC (WinAC RTX), joka ohjasi testisolun toimintaa.

Yrityksen yhteyshenkilön kanssa laadittiin alustava suunnitelma työn etenemiselle. Aikataulu pyrittiin pitämään kohtalaisen nopeana. Työ sisältää seuraavia kohtia ja piirteitä.

Sähkökuvien suunnittelussa käytettiin CADS PLANNER-ohjelmistoa. Kuvat sisältävät mm. keskusten, antureiden, toimilaitteiden, logiikan ja häätä-seis-piirin suunnittelun.

Keskusvalmistus, joka käsittää keskusten johdotukset ja komponentit, asennettiin kuvia vastaaviksi kokonaisuuksiksi.

Prosessia ohjattiin PC:n kautta, jolloin se pyöritti Siemensin Soft PLC-ohjelmistoa. PLC-ohjelmointi ja suunnittelu suoritettiin käyttämällä Siemensin TIA PORTAL V13 -ohjelmaa.

Solun testaus ja käyttöönotto suoritettiin yrityksen tiloissa.

Kuvien osuus työssä on selkeyttää tekstin sisältöä.

**Avainsanat** Robotiikka, PLC, Testisolu, Suunnittelu, Toteutus

**Sivut** 43 s.

Valkeakoski  
Degree Programme in Automation Engineering

---

<b>Author</b>	Santeri Soutolahti	<b>Year</b> 2016
<b>Subject of Bachelor's thesis</b>	Electrification and commissioning of a robot cell	

---

## ABSTRACT

This final thesis was made for Häme University of Applied Sciences, the Degree Programme in Automation Engineering. The thesis was commissioned by JTA Connection Ltd in Tampere. Guidance from the company was given by Automation Manager Pekka Suojanen, who was responsible for the applications of industrial robotics. The project was supervised by Senior lecturer Hannu Pohjasto from Häme University of Applied Sciences.

The goal in this project was to utilize the industrial KUKA-model robot and to integrate it with a conveyor belt, field sensors and other automation devices. Control and communication was conducted by using Siemens industrial PC IPC427D Soft PLC (WinAC RTX), which was responsible for controlling the process.

A preliminary work plan was made with the company's contact person. The schedule was to be kept fairly strict. The thesis includes the following features: CADS -planning software was used in electrical circuits. This contains e.g. cabinets, sensors, actuators, the logic and the emergency stop circuit design. The electrical cabinets, which included cabinet wiring and components were installed by using cabinet-circuit drawings.

The process was controlled by a PC, running the Siemens Soft PLC software. PLC programming and planning was carried out using the Siemens TIA PORTAL V13 program.

Testing and commissioning of a robot cell were carried out at company premises.

Pictures clarify the content of the text.

**Keywords** Robotics, PLC, Test Cell, Planning, Implementation

**Pages** 43 p.

## TERMIT JA LYHENTEET

PLC	(Programmable Logic Controller) Ohjelmoitava logiikka.
DCS	(Distributed Control System) Prosessiautomaatiojärjestelmä on tyypillisesti hajautettu ohjausjärjestelmä.
AS-I	(Actuator/Sensor-Interface) Toimilaitte kenttäväylä eli anturiin tai toimilaitteeseen suoraan kytkettävä kenttäväylä.
SNMP	(Simple Network Management Protocol) on TCP/IP-verkkojen hallinnassa käytettävä tietoliikenneprotokolla.
Full Duplex	Kaksisuuntainen viestintä kahden laitteen tai komponentin välillä tarkoittaa sitä, että voidaan lähettää ja vastaanottaa tietoja keskenään samanaikaisesti.
MAC	(Media Access Control) on verkkosovittimen Ethernet-verkossa yksilöivä osoite.
IP-osoite	(Internet Protocol -osoite) on numero, joka yksilöi jokaisen Internet-verkkoon liitetyn tietokoneen.
VAC	Vaihtovirta, jonka suunta vaihtelee ajan funktiona.
VDC	Tasavirta, jonka suunta ei muutu. Tällöin virta kulkee virtapiirissä koko ajan samansuuntaisesti.
CPU	Suoritin tai prosessori, joka on tietokoneen osa ja suorittaa tietokoneohjelman sisältämiä konekielisiä käskyjä.
PK1	Pääkeskus 1
KK2	Kenttäkotelo 2
KK3	Kenttäkotelo 3
7G1	7 johdinta, joista yksi on keltavihreä (maa), johtimen halkaisija on 1 mm <sup>2</sup> .
HMI	Käyttöliittymä Ihmisen ja koneen välisessä kommunikaatiossa.
SCADA	Tietokoneohjelmistotyyppi, joka tunnetaan paremmin nimillä valvomo-ohjelmisto tai PC-valvomo.
GSDML	GSDML tarkoittaa GSD-tiedostoa, joka on kirjoitettu XML-muodossa. Se kuvaa Profinet -laitteen ominaisuudet. Profinet laitteen kuvaustiedosto.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	YRITYSESITTELY .....	1
3	AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN KUVAUS .....	2
3.1	Mikä on robotti.....	2
3.2	Erlaisia teollisuusrobottityyppejä.....	2
3.3	Robotin osatoiminnot .....	4
3.4	Robotin ohjaus.....	4
3.5	Huomioon otettavat tekijät teollisuusrobotia hankittaessa.....	5
3.6	Automaatio-ohjaus .....	5
3.6.1	PLC-ohjaus .....	6
3.6.2	PC-pohjainen ohjaus.....	6
3.7	Aistit.....	6
3.7.1	Lähestymiskytkimet .....	7
3.7.2	Optiset lähestymiskytkimet .....	7
3.7.3	Reed-kytkin .....	8
3.8	Kuljetin.....	8
3.9	Kenttäväylä.....	9
3.9.1	Profinet .....	9
3.9.2	EtherCAT .....	11
4	TOIMINNAN KUVAUS .....	11
5	ALKUTOIMENPITEET .....	12
5.1	Keskusten muokkaus.....	14
5.1.1	Pääkeskus 1 .....	14
5.1.2	Keskus 2 .....	15
5.1.3	Keskus 3 .....	15
5.2	Kuljetin.....	16
5.3	Sylinteri .....	16
5.4	Venttiilit .....	17
5.5	Muut lisäykset turvallisuuden parantamiseksi .....	17
5.6	Hätä-seis-johdotukset .....	18
5.7	Näkökohdat valittaessa ja suunniteltaessa robotin tarttujaa.....	18
5.8	Esivalmistelu .....	20
6	ROBOTIN TURVALLISUUS JA RISKIT.....	21
6.1	Mikä aiheuttaa onnettomuuksia .....	21
6.2	Miten ehkäistä onnettomuuksia.....	22
7	SOLUN KÄYTTÖÖNOTTO.....	24
7.1	TIA Portal, logiikoiden ohjelmointityökaluun tutustuminen .....	24
7.2	Siemens Microbox PC SIMATIC IPC427D .....	25
7.3	Käyttöönotto.....	26
7.3.1	ET200S .....	26

---

7.3.2	Phoenix-Moduuli.....	27
7.3.3	Hilscher Gateway PROFINET <-> SmartWire.....	27
7.4	Kuljettimen ohjelma.....	29
7.5	Robotin liittäminen prosessiin.....	33
7.5.1	KUKAN WorkVisual 4.0.....	34
7.5.2	Hardware Configuration robotille.....	36
7.5.3	Robotin ohjelman laatiminen.....	37
8	LOPPUPÄÄTELMÄ.....	41
	LÄHTEET.....	42

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä punaisena lankana toimii testirobottisolun suunnittelu ja järjestelmän ohjaus logiikalla. Työn alku edellytti perehtymistä automaatiojärjestelmään. Työn kannalta oli ymmärrettävä yksityiskohtaisemmin robotti ja sen mahdollisuudet sekä muut solun oleelliset asiat. Tärkeätä oli saada käsitys automaatioalan nykyaikaisesta kuvasta. Seuraava vaihe oli siirtyä suunnittelemaan ja toteuttamaan käytettävissä olevista laitteista ja komponenteista testirobottisoluun perustuva ratkaisu: mekaniikka- ja automaatioasennus, sähköistys ja käyttöönotto. Robotin turvallisuus ja riskitekijät oli otettava huomioon, jotta välttyttäisiin vaaratilanteilta.

Yritysesittely kertoo tarkemmin kyseisen yrityksen tämän hetkisestä toimialasta.

Kuvien tarkoitus työssä on havainnollistaa asioita. Ne sisällöltään liittyvät työhön ja niiden tehtävänä on selkeyttää tekstiä, jonka ymmärtäminen on paikoitellen vaikeasti hahmoteltavissa. Kuvat ovat konkreettisia esityksiä tekstin sisällöstä.

”Alkutoimenpiteet” kohdassa kuvataan työn aloitus ja solun laitteiden automaatioasennus- ja asennus ennen kohteen varsinaista sähköistystä ja käyttöönottoa.

Työturvallisuutta on käsitelty opinnäytetyön ”Robotit turvallisuus ja riskit” kohdassa tarkemmin. Osio tarkastelee tämän päivän robottionnettomuuksiin vaikuttavia tekijöitä ja sitä, kuinka henkilö- ja laitevaurioilta voidaan parhaiten välttyä hankittaessa uutta robottijärjestelmää.

Solun käyttöönotto koostuu eri valmistajien I/O-moduulien Hardware Configurationin teosta ja toiminnoista. Käyttöönottovaihe oli enimmäkseen ongelmien paikantamista ja niiden ratkaisemista. Työn eteneminen ja kohdatut ongelmat on mainittu ja ratkaistu kyseisissä tilanteissa. Viimeisenä muodostettiin yhteys yksityiskohtaisemmin KUKA-merkkisen robotin ja PLC:n välillä, jonka jälkeen tarkasteltiin solun ohjelmarakennetta. Se vaati tarkkaa perehtymistä KRL- ja PLC-ohjelmointikieleen ja niiden ominaisuuksiin. Lopussa tuodaan kokemukset, onnistumiset ja tulokset testisolun toiminnasta ja robotin merkityksestä työelämässä tulevina vuosina.

## 2 YRITYSESITTELY

JTA Connection Oy on kansainvälinen teknologiateollisuuden asiantuntija ja palveluyritys sähkö- ja automaatioalalla. Se on halunnut investoida nykyaikaiseen robottiosaamiseen kysynnän ja vaatimusten kasvaessa alalla. Palveluihin kuuluvat mm. koneiden ja laitteiden sähkö- ja automaatioasennus, asentaminen, sähköistys, kokoonpano, käyntiinajo, testaus, asennusvalvonta ja huolto.

Monet suunnittelijoista hallitsevat sähkösuunnittelun, logiikka- ja automaatio-suunnittelun, käyttöliittymäsuunnittelun sekä käyttöönotot. Työntekijät matkustavat suunnittelemiensa koneiden ja järjestelmien käyttöönottoihin eri puolille maailmaa, mikä säästää asiakkaiden aikaa ja rahaa. Yrityksen asiakkaita ovat mm. Wärtsilä, Cargotec, Metso, Alstom, Zenrobotics, Tammermatic.

Yritys työllistää yli 80 alan ammattilaista, ja uusille osaajille on jatkuvasti tarvetta. Yrityksen päätoimipaikka sijaitsee Tampereella Lahdesjärvellä.

JTA Connection Oy on ollut jo useamman vuoden aktiivinen rekrytoidesaan ensimmäisen ja toisen asteen sekä korkeakoulujen opiskelijoita tilanteen mukaan. Yritys tarjoaa sähkö- ja automaatioalan opiskelijoille hyvät mahdollisuudet tutustua työelämään ja ensiaskeleet oman työuran alulle. Yritykselle tärkeitä on nuoren työntekijän asenne ja kiinnostus työntekoa kohtaan, ja monet opiskelijoista ovat saaneet valmistumisen jälkeen vakituisen työpaikan.

### 3 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN KUVAUS

#### 3.1 Mikä on robotti

Teollisuusrobotti on automaattisesti ohjattu ja uudelleen ohjelmitavissa oleva monipuolinen laite, joka koostuu kolmesta tai useammasta ohjelmoidusta akselista. Se soveltuu moniin tehtäviin: paletointiin, leikkaukseen, hitsaukseen, juottamiseen, maalaamiseen, työkalujen ja osien liikuttamiseen ja erilaisten tehtävien suorittamiseen teollisuudessa.

Teollisuusrobotti on pitkälti standardisoitunut tuote, jonka käyttäjäystävällinen ohjausjärjestelmä kätkee suuren ratalaskentakapasiteetin ja servosäätöpiirit paikka-, nopeus- ja kiihtyvyytakaisinkytkennöillä. Robottiikka on osa koneautomaatiota. Robottitekniikkaa sovelletaan monissa tuotantolaitoksissa, kuten autoteollisuudessa, elintarviketeollisuudessa jopa sairaalan leikkaussalissa.

#### 3.2 Erilaisia teollisuusrobottityyppejä

Robotit määritellään omaan luokkaansa mekaanisen rakenteen mukaisesti.

Cartesian robottia ”Gantry” käytetään teollisuudessa eri tehtävissä esimerkiksi konenäköä hyödyntämällä jätteiden ja metallien erottelussa. Isoimmat portaalirobotit voivat käsitellä kymmenien tuhansien kilojen painoja. Se koostuu kolmesta lineaari-akselista. Liikkeet muodostuvat x-, y- ja z-akseleiden yhdistelmänä. Tarkkuuden ja nopeuden lisäksi niille ominaista on suuri työalue.

SCARA-robotti on kehitetty kokoonpanon avuksi erilaisiin tehtäviin. Se koostuu jäykästä z-akselista ja pyörivistä y- ja x-akseleista, jolloin liikkeet tapahtuvat kolmella kiertyvällä nivelellä ja yhdellä lineaari-liikkeellä.

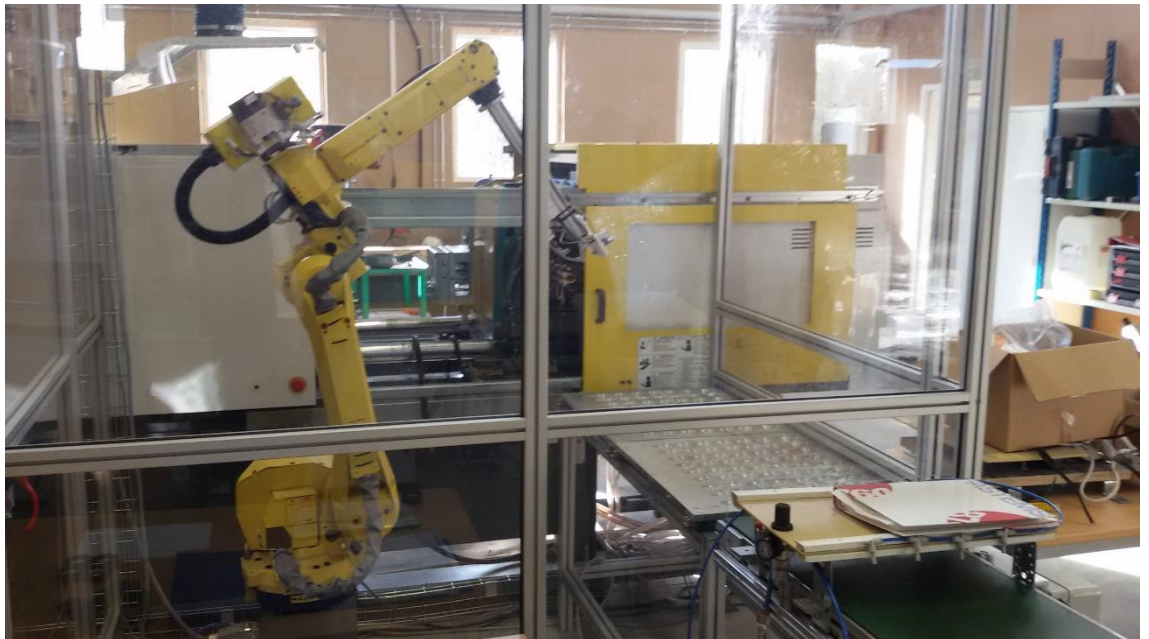
SCARA-robotit ovat yleensä kalliimpia verrattuna portaalirobotteihin, koska ne ovat nopeampia ja puhtaampia vaatien vähemmän tilaa. Teollisuuden nopeimpia SCARA-robotteja ei tahdo silmällä erottaa.

Kiertyvänivelisessä robotissa kaikki vapausasteet ovat kiertyviä. Nämä ovat tavallisimpia teollisuusrobotteja. Akselien pituudella ei sinänsä ole rajoitteita, esimerkiksi seitsemännen akselin pituus voi olla 60 m pitkä. Silloin se vastaa x-suunnassa robotin avaruutta yli 60000 mm. Standardi käsivarsiroboteista isoimmat pystyvät käsittelemään 300 - 1200 kg massoja.

### Robotti tuotannossa

Robottiikan avulla on pystytty tuotannosta poistamaan ihmistyön tehtävät, jotka ovat tekijälle vaaraksi, esimerkiksi pölyiset, kuumat, vaaralliset tai yksitoikkoiset tehtävät. Samalla on voitu keskittää enemmän päättelyä vaativat työtehtävät ihmisten tehtäviksi. Robotin käyttöä tuotannossa ei puolla sen nopeus, vaan voidaan sanoa sen erehtymättömyys ja ahkeruus. Näillä ominaisuuksilla saavutetaan tuotannonlisäys, jota tukee investoinnin kertaluonteisuus sekä tuotantokustannusten minimointi. (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2001, 307.)

Robotti voi työskennellä miehittämättömänä tuotannon laadun pysyessä tasaisena. Robotti voidaan sammuttaa, jos töitä ei ole, jolloin se ei kuluta mitään. Töiden lisääntyessä voidaan robottia ajaa 24/7, eli se tuo joustavuutta nykyaikaiseen suhdanneherkkään tuotantoon.



Kuva 1. Robotti Coolics Oy:n Led-valaisimien miehittämättömässä tuotannossa. (Soutolahti 2015.)

### 3.3 Robotin osatoiminnot

#### Manipulaattori

Manipulaattori on teollisuusrobotissa oleva ”liikkuva laitteisto”. Sen tehtävä on saada robotin tarttuja määrättyyn paikkaan ja asentoon koordinaatioavaruudessa.

#### Moottorit

Servomoottorit tuottavat akselien voimien pyörimisliikkeet. Niiden tehtävänä on säätää ja ohjata robotin nivelten asentojen paikkoja. Ne tuottavat korkean ohjauksen vaatien vähemmän kunnossapitoa. Moottorit jaetaan AC- ja DC-servomoottoreihin sekä askelmoottoreihin. DC-servomoottorit sopivat laitteisiin, jotka vaativat suuria voimia ja tehoja. AC-servomoottorit toimivat parhaiten vähemmän tehoa vaativissa sovelluksissa ja niiden valmistuksesta syntyvät kulut ovat alhaisemmat verrattuna DC-servomoottoreihin. (Archive for the 'Sensors & Actuators' Category 2011.)

#### Anturit

Antureina robotiikassa käytetään digitaalisia ja analogisia. Anturien tehtävänä on mitata robotin liiketilaa: paikkaa, nopeutta ja kiihtyvyyttä. Asema-antureita ovat mm. optiset-enkooderit, potentiometrit ja resolverit. Nopeuden mittaamiseen ja takaisinkytkentään sopivat takometri ja takogeneraattori. (Archive for the 'Sensors & Actuators' Category 2011.)

#### Oheislaitteet

Robotti tarvitsee tuotannossa työskenneläkseen tuekseen muita oheislaitteita, mm. tarttijat, kuljettimet, makasiinit, syöttimet, välivarastot, työstökoneet, aistimet sekä työsuojelulliset laitteet. (Keinänen ym. 2001, 312).

### 3.4 Robotin ohjaus

Ohjelmoinnin perustehtävänä on saada robotin tarttuja tai tapauksesta riippuen työkalu liikkumaan halutun työtehtävän vaatimalla tavalla. Ohjelmoinnin toinen keskeinen tehtävä on saattaa robotin toiminta synkronoidusti ympäristölaitteiden avulla tuotannon muiden laitteiden ja laitteistojen kanssa. (Keinänen ym. 2001, 313.)

Ohjauskeskus vastaa robotin ohjauksesta ja toiminnoista. Sen tehtävänä on liikuttaa manipulaattorin kättä, rannetta, vartaloa saadakseen erilaiset liikkeet vastaaviksi kokonaisuuksiksi.

#### Ohjauksen välineistöä

Tavanomaisimmin robottia ohjataan erillisellä käsiohjaimella, ohjainyksiköllä tai PC-tietokoneeseen asennetun ohjelman avulla.

### Ohjausmenetelmät

Ohjausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti toimintatapansa periaatteen mukaan neljään perustyyppiin. (Keinänen ym. 2001, 316.)

- Mekaanis-rakenteellisessa tyyppissä liikkeet, rajat ja toimintajärjestys asetetaan käsin.
- Johdattamismenetelmässä robotti kuljetetaan käsiohjauksella työvaiheiden läpi, jolloin robotti on vapaasti liikuteltavissa.
- Opetetaan robottia, eli ohjelmoidaan liikuttamalla sitä käsiohjauksella halutun reitin pisteestä toiseen, mikä tallennetaan osana robotin kokonaisuohjelmaa.
- Tekstiparametreihin perustuvassa ohjelmoinnissa käytetään ohjelmointipäätettä sekä spesifiä ohjelmointikieltä.

### Ohjelmointikieli

Robottien ohjelmointi on lähempänä tietokoneiden ohjelmointikieltä. Jokaisen robotti valmistajan ohjelmointikieli poikkeaa muiden valmistamista tuotteista. (Keinänen ym. 2001, 316).

### 3.5 Huomioon otettavat tekijät teollisuusrobottia hankittaessa

Teollisuusrobottia hankittaessa tuotannon lisävarustamiseen on hyvä muistaa siitä muodostuvat kulut pääomakulujen lisäksi. Niitä ovat enimmäkseen käyttöönotosta ja kunnossapidosta muodostuvat kustannukset. Esimerkiksi ohjelmointi voi olla vaikeasti ymmärrettävissä ja se on aikaa vievää. Lisäksi työkalut ja muut laitteet tuotannon varustamisessa voivat olla kalliita esim. konenäköratkaisu. Robotin työskentelynopeus, kiihtyvyys ja tarkkuus ajan myötä muuttuvat, jolloin yrityksen tuottavuus saattaa kärsiä. Työkierron maksiminopeutta ei ehkä saavuteta, jos robotin ohjelma sisältää kovin nopeita, monimutkaisia ja tarkkuutta vaativia liikeratoja. Kuitenkin oikeanlainen robotti tarkoitettuun sovellukseen hyvin suunniteltuna ja toteutettuna voi maksaa sijoitetun pääoman takaisin jo 6 kk – 1 vuoden aikana. Kulut ja tarkka käsitys siitä mihin tarkoitukseen robotti hankitaan sekä mahdolliset tulevaisuuden tuomat muutokset on hyvä pitää mielessä. Teollisuuden robottivalmistajia ovat mm. ABB, FANUC, YASKAWA, KUKA, KAWASAKI.

### 3.6 Automaatio-ohjaus

Nykyaikaisessa automaatio-ohjauksessa käytetään mm. PLC ja PC-pohjaista ohjausta. PLC sopii mainiosti nykyaikaiseen automaationohjaukseen ja on kaikkein käytetyin vaihtoehto nykypäivänä. Sen sijaan PC-pohjaiseen perustuvat ohjaukset käyttävät ohjelmistoa automaation ohjauksessa, johon on asennettu teollinen tietokone. Näin käyttäjät voivat integroida korkean tason tietokoneohjelmat tai muut PC:n toiminnot auto-

maat.iojärjestelmäohjauksen kanssa. (New-generation Soft PLCs Drive Oil Exploration 2013.)

### 3.6.1 PLC-ohjaus

PLC on ohjelmoitava logiikka, jota käytetään koneiden ja prosessien ohjaamiseen. PLC tallentaa ohjelmoitavaan muistiinsa käskyjä ja toteuttaa niitä esimerkiksi on/off-ohjaukseen, ajastukseen, laskentaan, sekvenssointiin, aritmetiikkaan ja tiedon käsittelyyn. PLC:n tarkoitus oli alun perin korvata releiden käyttö. Lisääntyvien ominaisuuksien takia PLC tarjoaa luotettavan käytön vaativimpiin sovelluksiin. Se tarjoaa useita ominaisuuksia verrattuna perinteiseen releohjaukseen. Releet täytyy johdottaa tietyn toiminnon aikaansaamiseksi. Jälkeenpäin kohteeseen saattaa tulla muutoksia, jolloin releiden johdotusta täytyy kokonaan muuttaa. PLC:n ansiosta kohdetta ei tarvitse johdottaa uudelleen, koska myöhemmin voidaan helposti muokata logiikan ohjelmaa. Kustannussäästöjen lisäksi PLC tarjoaa monia muita hyötyjä mm. luotettavuutta, joustavuutta, hyvän kommunikaatiomahdollisuuden, nopean vasteajan ja mahdollistaa vika-diagnostiikan. (Petruzella 2005, 4-10.)

### 3.6.2 PC-pohjainen ohjaus

PLC:n lisäksi on tarjolla vaihtoehtoisesti myös PC:hen perustuva ohjaus. Se yhdistää PLC:n teolliseen tietokoneeseen ja samalla mahdollistaa integroinnin korkean tason tietokoneohjelmointikieleen sekä tavallisen PC:n toiminnot. PC-pohjainen automatisointi on ihanteellinen alusta toteuttaa monia sovelluksia.

PC-pohjainen automatisointi on tehokkainta tilanteissa, joissa prosessi täytyy liittää lähemmäksi automaation ja korkean tason PC-ohjelmien välillä. Teollisuus PC:t integroivat tehokkaasti PC:n toiminnot minimoimalla kustannukset. Niitä käytetään esimerkiksi yksinkertaiseen ohjaukseen, visualisointiin, kommunikointiin, tiedonkeruuseen ja käsittelyyn. (New-generation Soft PLCs Drive Oil Exploration 2013.)

Vaikka PC-pohjainen automaatiotekniikka on ollut olemassa jo jonkin aikaa, PLC:n käyttö on pysynyt ylivoimaisena lähestymistapana tehdasautomaatiota. Suurien datamäärien kasvaessa PC-pohjainen automaatiotratkaisu on saanut jalansijaa. Älykkäiden laitteiden lisääntyminen tehdastalolle kiihdyttää tätä kehityssuuntaa. (SIMATIC Industrial PCs 2009.)

### 3.7 Aistit

Aistit eli anturit keräävät tietoa prosessista tai koneen tilasta. Anturin tehtävänä on muuntaa mitattavan prosessisuureen arvo verrannolliseksi viestiksi. Se on yleensä sähköinen, mutta esimerkiksi impulssi-ohjauksissa se voi olla pneumaattinen. Prosessien tilaa kuvaavia suureita ovat mm. paikka, lämpötila, paine, voima, pituus, kiertokulma ja nestepinnan korkeus. Prosessiteollisuuden instrumentoinnissa käytetään pääasiassa mittaavia

analogia-antureita. Anturin antama suure muunnetaan standardiviestiksi lähettimessä. Useimmiten anturi ja lähetin on rakennettu kiinteästi yhteen. (Keinänen ym. 2001, 168.)

Antureilta odotetaan seuraavia teknisiä ominaisuuksia:

- Luotettavuus, lujuus ja suojaus.
- Tarkkuus, herkkyys ja tunnistusetäisyys.
- Reaktionopeus, kytkentätaajuus, ohjauskyky.

### 3.7.1 Lähestymiskytkimet

Lähestymiskytkin on elektroninen anturi. Periaatteeltaan se eroaa mekaanisesta rajakytkimestä siten, että se kytkee kosketuksetta jo lähestymisvaiheessa ja toimii elektronisesti ilman kosketinta. Niiden elinikä on käytännössä rajaton. Kytkintä voi vahingoittaa sen vääränlainen johdotus ja sähköläji. Lähestymiskytkimetkään eivät ole täysin ongelmattomia. Tyyppiä ja käyttöpaikkaa valittaessa onkin syytä muistaa seuraavat asiat:

- Tapaukset, joissa lähestymiskytkintä käytetään vaihto- tai tasasähkön kytkemiseen ja katkaisuun, on erotettava.
- Kytkentäetäisyys vaihtelee eri materiaalien ja pinnan laatuja mukaan.
- Ympäristön lämpötila vaikuttaa kytkentäetäisyyteen.
- Kahden lähestymiskytkimen pienin vaadittava etäisyys on otettava huomioon.
- Induktiiviset anturit reagoivat vain metalliin.
- Kapasitiivisten ja optisten antureiden käytön yhteydessä on muistettava, että pölyntyminen ja likaantuminen aiheuttavat kytkentähäiriöitä ja muutoksia kytkentäetäisyyteen.

(Keinänen ym. 2001, 177.)

### 3.7.2 Optiset lähestymiskytkimet

Kun tarvitaan pidempiä kytkentäetäisyyksiä, materiaalista heijastavia ratkaisuja tai valokennoja heijastimen kanssa, on kyse optisista lähestymiskytkimistä. Antureita käytetään tuotantolinjojen häiriöttömän toiminnan valvontaan, turvajärjestelmiin, ohikulkevien kappaleiden laskentaan, ovi-automatiikan ohjaukseen jne. Niiden toiminta perustuu moduloituun infrapunavaloon, joka säteilee edessä olevan linssin kautta suoraan rekisteröitävään kohteeseen tai heijastimeen. Heijastunut valo kulkeutuu toisen etulinssin kautta vastaanottimeen, jossa se mitataan elektronisesti. Tämä muuttaa lähestymiskytkimen kytkentätilaa (0 tai 1). Kohteen poistuessa kytkentäalueelta alkuperäinen kytkentätila palautuu. Lähetin- ja vastaanottelelektronikan synkronoinnin ansiosta häiriöt ovat pienet.

Optisilla lähestymiskytkimillä voidaan rekisteröidä vain sellaisia kohteita, joiden pinnat heijastavat riittävästi valoa. Kytkentäetäisyys riippuu oleellisesti kohteen pinnan laadusta eli heijastuskyvystä. Valolähetin, vastaanotin, mittauselektronikka ja vaihto- ja tasavirtavahvistin ovat samassa kotelossa. Erillisiä verkko- ja kytkentälaitteita tai kytkentävahvistimia ei tarvita. Optisia lähestymiskytkimiä voidaan käyttää mm.

- lähetin/vastaanottopareina eli valoportteina
- peilistä heijastavina eli valoverhoina
- materiaalista heijastavina
- merkintätunnistimina.

Optisten lähestymiskytkinten ominaisuuksia:

- Lähetin- ja vastaanottimen pitkä tunnistusetäisyys (jopa 50 m).
- Kirkas- ja tummakytkenän valinta.
- NPN/PNP-lähdön valinta.
- Hyvä korroosion sieto.
- Kytchentätila-LED ja hälytyslähtö.
- Käyttöjännite 10...240 VDC/24...240 VAC.  
(Keinänen ym. 2001, 181-184.)

### 3.7.3 Reed-kytkin

Reed-kytkin toimii, kun tuntokohteessa oleva kestopagneettipala vaikuttaa siihen. Toiminnallisessa osassa on kielikytkin, jonka kosketin sulkeutuu joutuessaan riittävän voimakkaaseen magneettikenttään. Kytchentäetäisyys on 5-10 mm ja katkaisuetäisyys 10-15 mm. Sitä käytetään tyypillisesti pneumaattikkasynterien päätyasentojen tunnistamiseen. Ne ovat halpoja, mutta niiden kestoikä on mekaanisen toiminnan takia rajallisempi kuin muiden lähestymiskytkinten. Myös kytkeytymisaika verrattuna esimerkiksi induktiivisiin lähestymiskytkimiin on pidempi, mikä estää niiden käytön suurilla liikenopeuksilla tapahtuvissa väliasentotunnistuksissa. (Keinänen ym. 2001, 185.)

### 3.8 Kuljetin

Kuljettimia käytetään tuotannon osana siirtämään kappaleita tai materiaalia työvaiheesta toiseen.

#### Hihnakuljettimet

Hihnakuljetin muodostuu vetorumpuja kiertävästä päättömästä hihnasta. Hihnamateriaalit ovat pääasiassa kumia ja muovia. Hihnaa kannattavat rakenteesta riippuen rullasto tai taso. Hihnakuljettimet ovat yleensä moottorikäyttöisiä. Kappaleiden siirrossa käytetty tyypillinen kuljetinratkaisu (kuva 2).



Kuva 2. Yrityksen hihnakuuljetin. (Soutolahti 2015.)

Moottorina voi toimia nopeudensäätöyksiköllä varustettu AC- tai DC-moottori. Yksikön liittäminen järjestelmän ohjaukseen voidaan toteuttaa yksinkertaisena releohjauksena. Tällöin on mahdollista tehdä kuljettimen käynnistys, pysäytys ja suunnanvaihtotoiminnot.

Mikäli nopeudensäätö halutaan kytkeä ulkoiseen ohjaukseen, tarvitaan lisäksi analogialähtö. Nopeuden takaisinkytkentä voidaan tehdä esimerkiksi takometrillä. Taajuusmuuttajaa käytetään yleisesti edellä mainittujen ohjauksien toteuttamiseen.

Raskaiden kappaleiden kuljettamiseen käytetään rullatuetta runkorakennetta. Tällöin myös hihna on valittava käytettävän kuorman mukaan esimerkiksi kuituvahvisteinen kumihihna. (Keinänen ym. 2001, 160.)

### 3.9 Kenttäväylä

Kenttäväylä perustuu standardin IEC 61158 nykyaikaisen digitaalisen verkkotekniikan käyttöön teollisuudessa, mm. PLC-, DCS -ohjauksissa. Väylä mahdollistaa kommunikoinnin mm. kentälaitteiden, I/O, taajuusmuuttajien ja toimilaitteiden kanssa.

Väylätyypit voidaan jakaa karkeasti anturi- (bittejä), laite- (tavuja) ja kenttäväyliin (lohkoja). Kenttäväylä ratkaisee ongelman, joka muodostuu liitettäessä erilaisia kentälaitteita kokonaisuudeksi. Automaatio toimii tuotannon varustamisessa käyttämällä erilaisia ohjauksia apuna.

Kenttäväylän etuna voidaan pitää kykyä yhdistää useampi laite samalla kaapelin käytöllä. Tämän ansiosta kustannuksia voidaan pienentää 40 % suunnittelun, insinööriosaamisen, käyttöönoton ja kunnossapidon osalta. (Industrial Ethernet for advanced manufacturing n.d.)

#### 3.9.1 Profinet

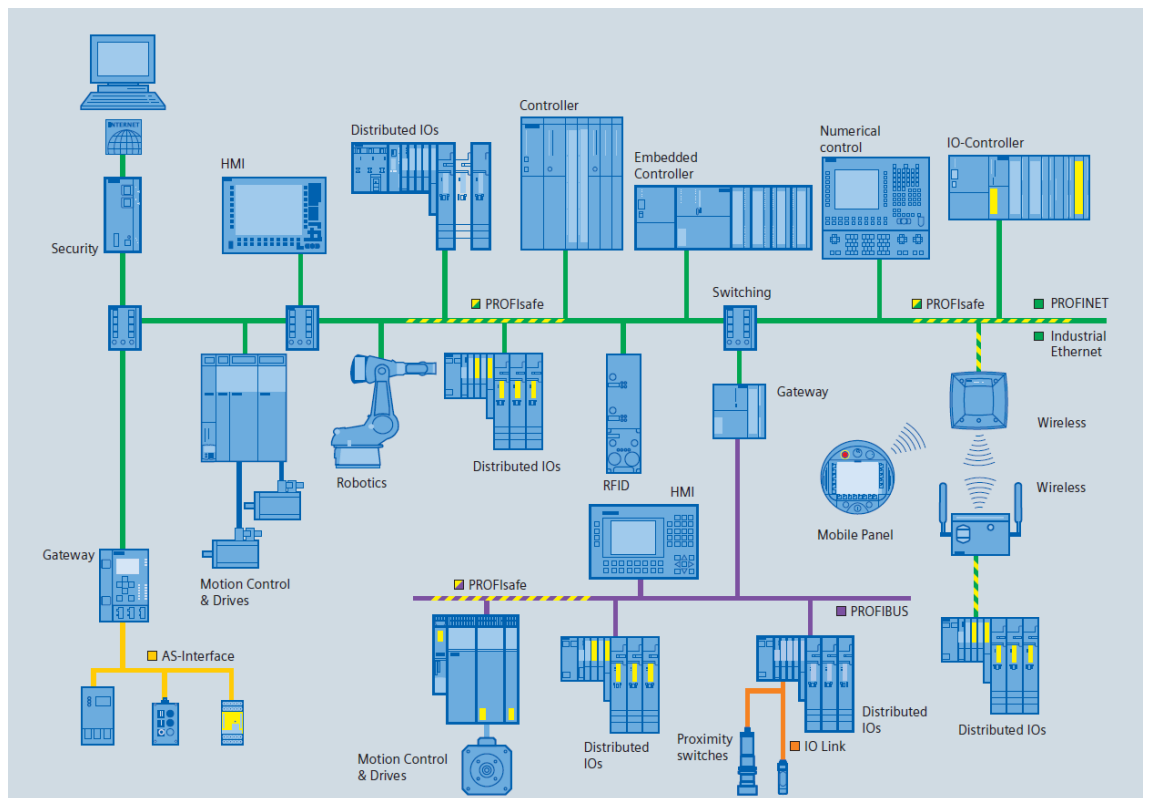
Profinet on Siemensin valmistama yksi monista teollisuusautomaation kenttäväylistä. Sillä on mahdollista liittää Profinet Masteriin Profinet-standardilla toimivia laitteita, mm. etä- I/O ja taajuusmuuttaja. Lisäksi se on Ethernet-pohjainen väylä, jolloin on mahdollista lähettää TCP/IP-

pohjaista tiedonsiirtoa esimerkiksi internet dataa. Se liittää yhteen laitteita, systeemejä, soluja sekä mahdollistaa nopean, turvallisen ja kustannustehokkaan tuotannon. Se yhdistää olemassa olevien järjestelmien laitteet tuomalla Ethernetin tehdastasolle. (Industrial Ethernet for advanced manufacturing n.d.)

Ethernetin käyttö automaatioprosessin ohjauksessa asettaa protokollalle uudenlaisia lisävaatimuksia, kun vertaa sitä toimistossa käytettävään Ethernetiin. Automaatiossa tiedon pitää kulkea deterministisesti eli ennustettavasti ja sen pitää olla mahdollisimman reaaliaikaista. Toimistomaailmassa riittää tietopakettien perille vieminen sekunneissa, kun taas automaatiossa ajat ovat millisekunteja.

Profinet on teollisuus-Ethernet-standardi, jossa aikakriittiset toiminnot on tehty mahdollisiksi reaaliaikaisilla protokollalisäyksillä. Ei-aikakriittisen TCP/IP-tiedon lisäksi Profinet mahdollistaa reaaliaikaisen ja syklistä tiedonsiirron samaan aikaan samassa väylässä ilman, että reaaliaikainen tiedonsiirto häiriintyy. Reaaliaikaisesti tietoa on mahdollista siirtää tahdistetusti, jolloin vasteajat ovat vaativiin liikkeenohjaussovelluksiinkin riittäviä, jopa alle yhden millisekunnin nopeuden. Langaton tiedonsiirto on myös mahdollista, koska Profinet pohjautuu Ethernet-protokollaan.

Profinet-väylä on alaspäin yhteensopiva jo käytössä oleviin kenttäväyliin, joten siirtyminen Profinet-standardiin voidaan tehdä portaittain. Tuotantolaitoksen tiedonsiirto koostuu useista keskenään yhteensopivista väylistä, esimerkiksi Profibus tai AS-I. Nämä voidaan liittää Profinet-väylään tekemättä muutoksia olemassa oleviin laitteisiin.



Kuva 3. Profinet-väylän käyttö teollisuudessa.

### Profinet-väylän ominaisuuksia

- Reaaliaikainen tiedonsiirto.
- Tahdistettu tiedonsiirto liikkeenohjaussovelluksiin.
- Asennus standardoiduilla liittimillä ja verkkokomponenteilla.
- Etäkunnossapito ja verkon diagnostiikka IT-standardien mukaisesti esimerkiksi SNMP.
- Tietoturvateollisuuden tietoturvakomponenteilla.
- Turvallinen tiedonsiirto langattomasti. (Reaaliaikainen teollisuus-Ethernet n.d.)

Profinetin tiedonsiirto toimii Full Duplex-tyyppisesti eli data voi kulkea molempiin suuntiin katkaisematta yhteyttä väylässä. Se korvaa tiedonsiirron käyttämällä 100 Mbp/s Ethernetiä. Se on yhteensopiva minkä tahansa Ethernet Controllerin kanssa. Laitteista, jotka tukevat sisäänrakennettuja kytkimiä, esimerkiksi ET200S, voidaan Profinet-väylän avulla muodostaa mm. lineaari- tai puuverkkotopologia. Ylimääräisiä ulkoisia kytkimiä ei tarvita. Verkkotopologian ansiosta laitteet tai Profinet-kytkin tietävät, mikä laite on vieressä tai missäkin portissa. Väylä pystyy lähettämään tarvittavat konfiguraation tiedot laitteille: IP-osoite, Profinet-nimi, parametointi. Jokaisella Profinet-verkossa toimivalla laitteella pitää olla oma MAC-osoite, IP-osoite ja laitenimi.

### 3.9.2 EtherCAT

EtherCAT on Beckhoff:n kehittämä ja valmistama monipuolinen ja nopea reaaliaikainen Ethernet-pohjainen väylä, jota mm. KUKAN nykyaikaiset KRC 4 ohjauskeskukset tukevat ja käyttävät myös sisäiseen kommunikointiin. Väylän toiminta perustuu verkossa toimivaan Master -laitteeseen ja muihin Slave -moduuleihin.

EtherCAT-väylässä Masteri lähettää viestin. Se kulkee jokaisen solmun läpi ja jokainen Slave-laite lukee sille tarkoitetun datan ns. lennossa ja lisää tietonsa kehykseen. Viimeisen Slave-laitteen tehtävänä on lähettää kehys takaisin Masterille luettavaksi. Tiedonsiirto tapahtuu Full Duplex -tyyppisesti ja nopeus on 2 x 100 Mbaudia. Profinetin rinnalla EtherCAT on maailmalla käytetyin kenttäväylä teollisuudessa. (EtherCAT - the Ethernet Fieldbus n.d.)

## 4 TOIMINNAN KUVAUS

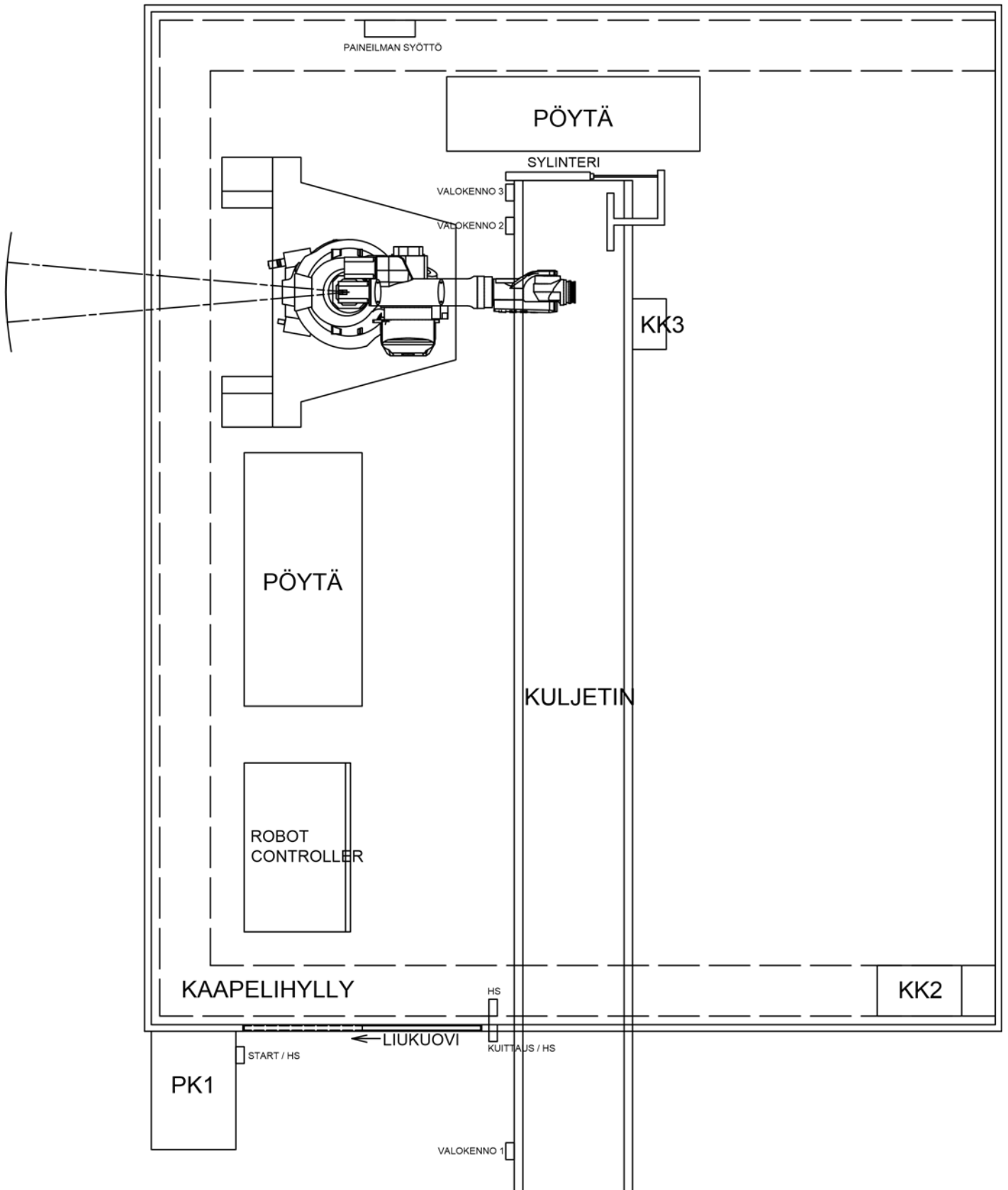
Työn tarkoituksena on oppia tuntemaan nykyaikaisen Siemensin Soft PLC (WinAC RTX)-ohjelman ja teollisuusrobotin käyttö automaatiassa. Sovelluksessa ei hyödynnetty PC-pohjaista ohjausta, vaan Soft PLC:että, joka on PLC ”ohjelma”. Se pystyy suorittamaan samaa ohjelmaa kuin PLC. Testisolussa hyödynnettiin järjestelmän ohjauksessa kenttälaitteita: mm. liukuhihna, anturit ja toimilaitteet. Oli osattava solun työturvallisuuden suunnittelu ja turvapiirien toteutus, Siemensin TIA Portal ohjelmointityökaluun tutustuminen sekä robotin I/O-kartoituksen laatiminen KUKAN WorkVisual ohjelmalla. Hardware Configurationin tekeminen ja sen tuo-

mat ongelmat käyttöönottovaiheessa opettivat ongelmien paikantamisessa ja ratkaisuissa.

Tärkeätä oli saada käsitys automaatioalan nykyaikaisesta työnkuvasta ja työskentelytavoista. Työtä tehtäessä oli vapaus kahden kuukauden aikana suunnitella ja toteuttaa käytettävissä olevista laitteista ja komponenteista työnkuvaan perustuva ratkaisu. Kahden kuukauden aikana piti tehdä myös paljon muistiinpanoja loppukirjoitusta varten.

## 5 ALKUTOIMENPITEET

Kuva 4 esittää layoutia robottisolusta, johon opinnäytetyö keskittyi. Kuva on piirretty AutoCad-ohjelmalla.



Kuva 4. Robottisolun layout-kuva. (Soutolahti 2015.)

### 5.1 Keskusten muokkaus

Työ oli aloitettava tutustumalla vanhoihin sähkökuviin ja suunnittelemalla kentällä olevien toimilaitteiden ja anturien johdotus I/O:lle. Ongelmia tuli varsinkin TIA Portaalia käyttäessä, koska koululta saatu lisenssi ei kattanut kaikkia vaadittavia TIA:n toimintoja. Tässä vaiheessa oli olennaista myös päivittää nykyiset CADS-kuvat KUKAN robottisolua vastaaviksi kuviksi.

#### 5.1.1 Pääkeskus 1

Pääkeskuksen pääriviliittimille tulee  $3 \times 400 \text{ V}$  syöttö. Teholähteenä on Siemensin SITOP PSU300M, joka muuntaa sähköverkosta saatavan 400 VAC ohjauksjärjestelmän 24 VDC käyttöjännitteeksi. Sulakesuojaus on toteutettu Siemensin SITOP PSE200U:lla. Siemensin teollisuustietokone IPC427D, WinAC RTX toimii työssä CPU:na. Phoenix Contact-merkkinen I/O-moduuli sisältää DI8 + DO4 sekä tehonsyötön. Hilscher-moduuli vastaa suojaoven nappikotelon toiminnoista. Phoenix Contact Ethernetin kytkimelle on yhdistetty I/O-moduulit ja robotinohjausyksikkö Profinet-väyläkaapelilla, keskusten 2 ja 3 jännitteiden syöttö sekä kuljettimen moottorin 400 V jännitteen syöttö KK2 moottorinohjausreleelle.



Kuva 5. Pääkeskus 1. (Soutolahti 2015.)

### 5.1.2 Keskus 2

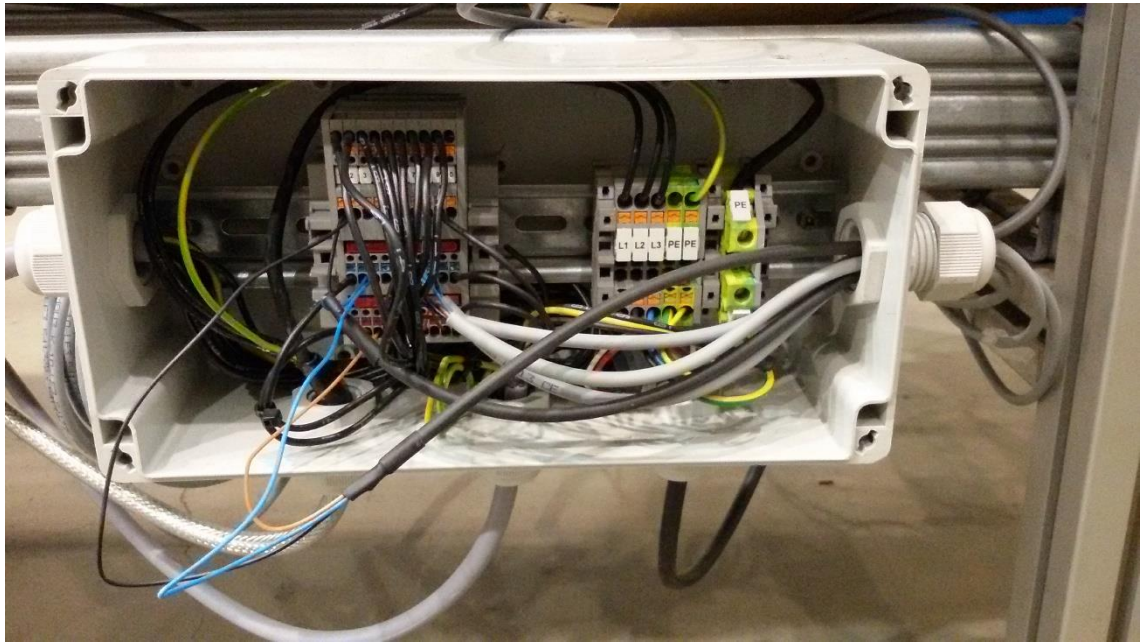
Kenttäkotelo 2 sisältää hajautetun ET200S I/O-moduulin, jossa on Profinet-liitäntä, teholähde, 8 kpl tuloja ja 8 kpl lähtöjä. Phoenix-merkkisen moottorinohjausreleen tehtävä on ohjata kuljettimen moottoria. Kyseinen laite sisältää moottorinsuojan ja suunnanvaihtoyksikön. Riviliittimissä tapahtuu kenttäkotelo kolmoselta tulevat tulojen ja lähtöjen ristikytkentä, ennen ET200S I/O- moduulille johdottamista.



Kuva 6. Kenttäkotelo 2. (Soutolahti 2015.)

### 5.1.3 Keskus 3

Kenttäkotelo kolmosen riviliittimille on kytketty kentältä tulevien anturien, sylinterin rajojen ja robotin tarttujan magneettiventtiilin ohjaus. Kuljettimen moottorinohjausrele on johdotettu keskus 2:lta keskus 3:n riviliittimiin ja sieltä kuljettimen moottorille.



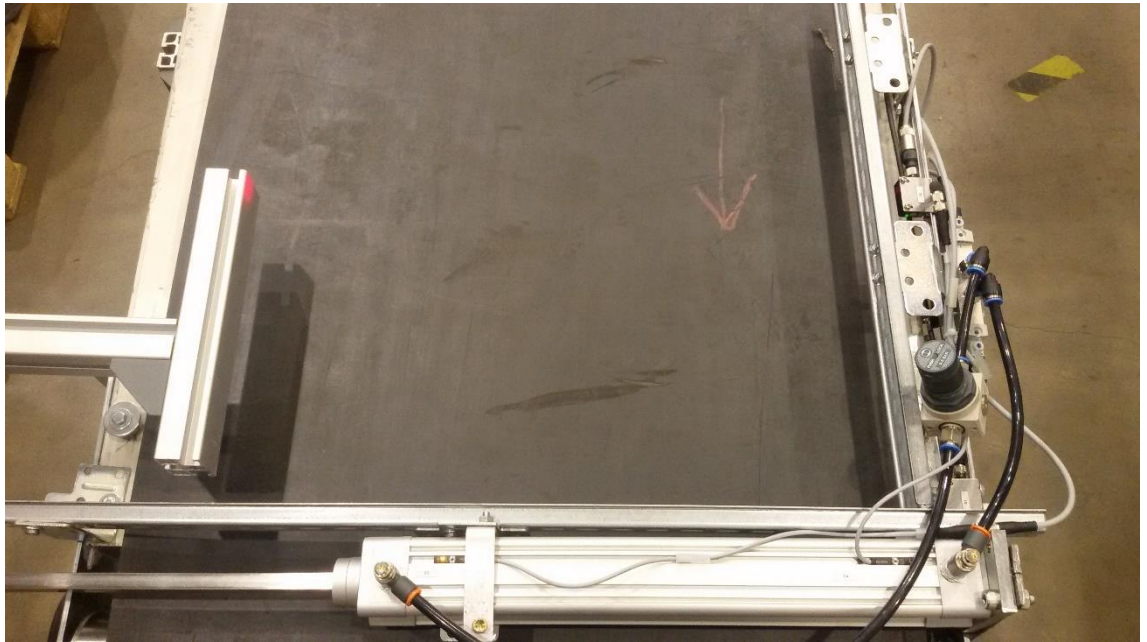
Kuva 7. Kenttäkotelo 3. (Soutolahti 2015.)

### 5.2 Kuljetin

Liukuhihnan alkuun asennettiin valokenno 1. Laatikon vaikuttaessa anturi antaa logiikalle käskyn käynnistää kuljetin, jos muut tarvittavat ehdot ohjelmassa ovat kunnossa. Kuljettimen loppuun on asennettu valokennot 2 ja 3. Valokenno 3 pysäyttää kuljettimen laatikon vaikuttaessa ja valokenno 2 toimii isojen ja pienten laatikoiden erottelussa.

### 5.3 Sylinteri

Sylinteri on Feston valmistama, kaksitoiminen ja ohjaus tapahtuu 5/3 paineilmaventtiilillä molempiin suuntiin. Sylinterin tehtävänä on keskittää kuljettimelta tulevat laatikot. Jotta robotti voi poimia laatikoita hihnalta, on suotavaa käyttää sylinteriä laatikoiden paikoittamisessa. Näin ollen ei tarvita monimutkaista ohjelmaa robotin tarttujan ja laatikon poiminnan välillä. Sylinterille piti myös asentaa plus- ja miinusrajat, jotta tiedetään sylinterin männän sen hetkinen tila. Rajakytkimet tunnistavat männän liikkeen päätyasennot.



Kuva 8. Sylinteri ja sen rajat. (Soutolahti 2015.)

### Paineenrajoitusventtiili

Yksikön tehtävänä on rajoittaa järjestelmän paine tiettyyn maksimiarvoon ja suojata komponentteja vaurioilta. Kompressori tuottaa 8 bar:n paineen ja se alennettiin toimintaan sopivaksi. Ilman paineenrajoitusta sylinteri saisi 8 bar:n paineen, jolloin voima  $F$  murskasi laatikon, koska paineella säädetään voimaa. Vastusvastaventtiileillä säädetään virtausnopeutta ja se on yhteydessä sylinterin liikenopeuteen. Paineenrajoitusyksikön avulla voidaan vähentää sylinterin voimaa ja nopeutta ja näin ollen saadaan männän liikkeestä tasainen.

## 5.4 Venttiilit

Paineilma ohjataan sylinterille käyttäen Feston 5/3 ohjausventtiiliä. Männänvarrenohjaus tapahtuu sähköisesti +24 VDC molempiin suuntiin. Robotin paineilmaventtiili 5/2 sijaitsee nelosakselilla ja sillä ohjataan imu robotin tarttujaan, joka avautuu sähkötoimisesti ja sulkeutuu jousivoimaisesti.

## 5.5 Muut lisäykset turvallisuuden parantamiseksi

Pääkeskukseen oli myöhemmin lisättävä turvaluokiteltu Sick-rele, jolloin solun turvallisuus toteutettiin kahdennetulla turvapiirillä sekä yksiturvalueisesti, koska TIA Portal Basic -ohjelma ei tukenut Phoenix-moduulille suunniteltuja ja asennettuja turva I/O:ta. Sick-releen toiminta katkaisee järjestelmän sähköpiirit eli asettaa solun energiattomaan tilaan. Jotta järjestelmä palautuisi sähköiseen toimintaansa, täytyy rele kuitata.

Kuljettimen moottorin syöttö katkaistaan kahdennetusta hätä-seis-piiristä. Kontaktorin apukosketinpakalta on otettu takaisinkytkentä, joka estää tur-

vapiirin kuitaamisen, jos siihen on tullut vika. Näin ollen tällä järjestelmällä päästään koneen ohjauksen osalta SIL3 kategoriaan, joka on robotin yhteydessä vähintäänkin minimi. Kuljetinta ja robottia voidaan käyttää, kun turvapiiri on kunnossa ja turvarele on kuitattu.

Nykyaikainen konedirektiivi velvoittaa riskien ja vaarojen pienentämiseksi suunnittelemaan ja rakentamaan ohjauksjärjestelmät turvallisiksi. Standardi määrittää riskit useampaan turvaluokkaan.

### 5.6 Hätä-seis-johdotukset

Turvallisuuden vuoksi hätä-seis-painikkeet ovat sitä varten, että järjestelmän laitteet ja koneet voidaan pysäyttää turvallisesti onnettomuuden tai vikatilanteen tapahtuessa. Työalueen ulkopuolelle on asennettu kaksi hätä-seis-painiketta. Ensimmäinen on PK1 ovesa ja toinen oikealla oven vieressä. Myös robotin ohjaimessa on hätä-seis sen pysäyttämiseksi ja lisäksi ohjaimen alapuolella on kuolleen miehenkytkin, joka sallii järjestelmän ajamisen. (Smartpad Teaching Pendant).

Turvapiirin hätä-seis-painikkeet solun ulkopuolella on asennettu sarjaan kytkemällä alkaen Sick-turvareleeltä ja palaten takaisin sen liittimiin. Näin varmistetaan prosessin nopea katkaisu molemmista paikoista luotettavasti.



Kuva 9. OP kotelon hätä-seis-painike. (Soutolahti 2015.)

### 5.7 Näkökohdat valittaessa ja suunniteltaessa robotin tarttujaa

Teollisuusrobotit käyttävät työskentelyssä tarttuvia työkaluina, joiden tehtävänä on liikutella, työstää kappaleita tuotannon eri vaiheissa. Robotti

pystyy suoriutumaan tehtävästään vain, jos työhön suunniteltu tarttuja on oikeanlainen. Pohdittaessa rakennetta on otettava huomioon monia erilaisia seikkoja, joita ovat mm. tuotannolliset ja kappaleen fysikaalisiin ominaisuuksiin liittyvät vaatimukset. Huomioon otettavia tarttujan ominaisuuksia: miten kappaleeseen tartutaan, millä nopeudella sitä tulisi siirtää, millaisiin laitteisiin kappaleita siirretään, esimerkiksi ruiskuvalukone. Tarttujan on kyettävä ylettymään työskentelykohteeseen. Työkohteen muutokset työn aikana on otettava huomioon, tarttujan paikoittamisessa. Työstön aikana kappaleen koko voi muuttua, jolloin tarttujan on kyettävä työskentelemään erikokoisten kappaleiden kanssa. Tarttuja ei saa vaurioittaa työskentelykohdetta millään tavalla. Toiminnaltaan tarttujat voivat olla pneumaattisia, hydraulisia ja sähköisiä.

Testisolun tarttuja on Coval:n valmistama ja CVG-sarjaan kuuluva alipainetarttuja. Se koostuu 30 imukupista ja jokaisella on oma injektorialipaineen muodostamiseksi (kuva 10).

Tarttujan voima voidaan laskea seuraavan kaavan perusteella:

$$F = m \times u \times (a + g) \times e \quad (1)$$

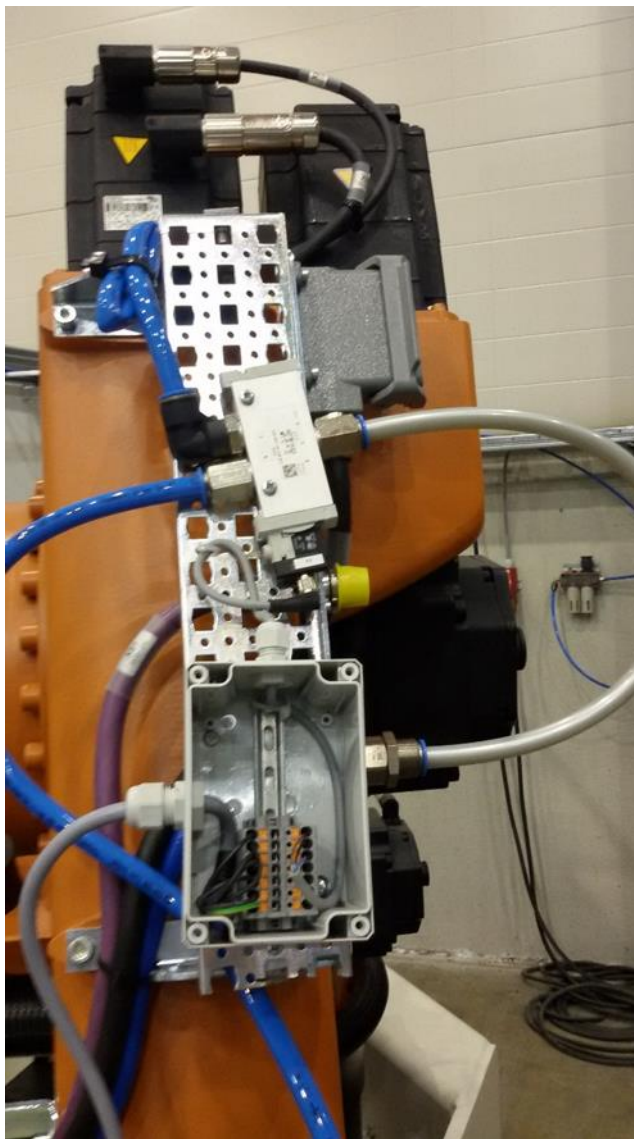
$F$  = voima,  $m$  = kappaleen massa,  $u$  = kitkakerroin (0,5),  $a$  = kappaleen suurin nopeus työkierron aikana esimerkiksi 3 m/s,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  ja  $e$  = varmuuskerroin. (Keinänen ym. 2001, 323.)



Kuva 10. Tarttuja toiminnassa. (Soutolahti 2015.)

## 5.8 Esivalmistelu

Ensimmäiseksi laadittiin ohjauskotelo ristikytettä varten robotin tarttujalle. Koteloon porattiin kaksi kaapeliläpivienttiä kenttäkotelo kolmoselta tulevalle kaapelille ja paineilmaa ohjaavan suuntaventtiilin kelalle. Sisälle asennettiin Din-kisko, johon kiinnitettiin Phoenixin MPT 2.5 riviliittimet 7 kpl. Tulopuolen liittimiin kytkettiin kenttäkotelo kolmoselta tuleva 7G1 kaapeli. Lähtöpuolen liittimiin kytkettiin tarttujan venttiilin kelan ohjauksikaapeli. Kotelo kiinnitettiin alumiinista tehtyyn kiskoon, joka sijaitsee robotin nelosakselilla. Tämän jälkeen kiskoon asennettiin paineilmaohjauksiventtiili. Sen tarkoituksena on ohjata kompressorilta tuleva paineilma robotin tarttujaan. Se on malliltaan Feston 5/2 suuntaventtiili. Sitä ohjataan sähköisesti ja se palautuu jousen avulla. Suuntaventtiilit nimensä mukaisesti ohjaavat ilmavirran suuntaa. Niiden tehtävänä on yhden tai useamman virtaustien avaaminen ja sulkeminen.



Kuva 11. Tarttujan ohjauskotelo ja venttiili. (Soutolahti 2015.)

### Tarttujan paineilman ohjaus

Venttiilin kela saa ohjausjännitteen +24 VDC, kela vetää ja paineilma kulkee liittimestä 3 liittimeen 4. Paineilma virtaa robotin tarttujalle, jossa ilmavirtaus synnyttää tarttujaan alipaineen, joka muodostuu Bernoulli'n yhtälön mukaan, eli virtausnopeus kasvaa injektorin kuristus kohdassa ja paine pienenee imukupissa.

## 6 ROBOTIN TURVALLISUUS JA RISKIT

Nykyajan teollisuudessa robotit yleistyvät jatkuvasti ja ne suunnitellaan ja rakennetaan erittäin turvallisiksi. Teollisuusrobotit parantavat työn ergonomisia olosuhteita tuotannossa, mutta kuitenkin robotti alussa herättää turvattomuutta työympäristössä ja vie aikansa, ennen kuin niiden kanssa ollaan sinut.

Riskit analysoidaan vaiheittain ja tarvittavat turvatoimenpiteet, mm. suojukset ja turvalaitteet, suunnitellaan niin, ettei kohteessa esiintyisi vaaratilanteita. Vaatimukset perustuvat turvallisuusmääräyksiin ja standardeihin luotaessa turvallista robottisolua. (7 Industrial Robotics Hazards and How to Avoid Them 2011.)

### 6.1 Mikä aiheuttaa onnettomuuksia

Onnettomuuksia voi aiheuttaa vain osapuolet keskenään, siis robotti ja ihminen. Robotin ohjausjärjestelmän odottamattomat viat voivat johtaa onnettomuuksiin. Eli tämä on hyvä tietää, kun esimerkiksi robotilla ajetaan ohjelmaa ensimmäistä kertaa. Silloin on hyvä ajaa ohjelma hitaasti, jotta varmistutaan sen oikeasta ja ennakoitavasta suunnittelusta toiminnasta ja välteään virheliikkeet. (Keinänen ym. 2001, 334.)

#### Potentiaalisia riskejä

Inhimillinen virhe voi tapahtua esimerkiksi ohjelmoitaessa ensimmäistä kertaa tai ehkäisevän kunnossapidon aikana sekä opetustilanteissa. Käyttäjät ovat robottisolun sisällä tietämättään olevansa vaara-alueella: tiedonpuute prosessin toiminnasta.

#### Ohjausvirheet

Virheet Soft- ja Hardwaressa voivat aiheuttaa vaaroja työsolun sisällä. Robotin ohjauskaapin joutuessa vikatilaan voi olla vaarallista työskennellä solun lähetyksillä juuri sillä hetkellä.

#### Luvatun pääsy

Ilman lupaa ei ole pääsyä työalueelle. Välttämättä työntekijä ei tunne kovin hyvin solun turvatoimenpiteitä. On mahdollista altistua vaaroille ja pahimmassa tapauksessa seuraa kuolema.

### Mekaaniset viat

Suunnitteluvaiheessa mekaaniset viat komponenteissa ja osissa saattavat jäädä huomaamatta. Odottamattoman vian ilmetessä on mahdollista, että riski kohdistuu käyttäjään.

### Ympäristö

Ulkopuoliset tekijät ja häiriöt viestinnässä voivat vaikuttaa robottisolun. Virtapiikit tai tehon menetykset altistavat koneen vikaantumiselle ja potentiaaliselle tapaturmalle.

### Teholähteet

Virtalähteet, jotka ovat yhteydessä robottisolun, voivat vikaantua ja mahdollisesti johtavat ei toivottuihin tilanteisiin.

### Väärä asennus

Uuden robotin asentamisen jälkeen on tärkeätä todeta järjestelmän olevan toimintakäkyinen ja oikein asennettu. Väärin asennetussa työsolussa voi esiintyä tulevaisuudessa ongelmia.

Jokainen edellä mainituista kohdista voi johtaa vaaratilanteisiin. Riskit ovat kuitenkin ehkäistävissä, kun työntekijä on koulutettu ja perehdytetty robottijärjestelmiin. Robottisolu vastaa työnvaatimuksiin suunnittelusta, oikeasta asennuksesta ohjelmointiin ja riskienarviointiin. Teollisuusrobotit ovat erittäin turvallisia, kunhan edellä mainitut vaarat otetaan alkuvaiheessa hyvin huomioon. (7 Industrial Robotics Hazards and How to Avoid Them 2011.)

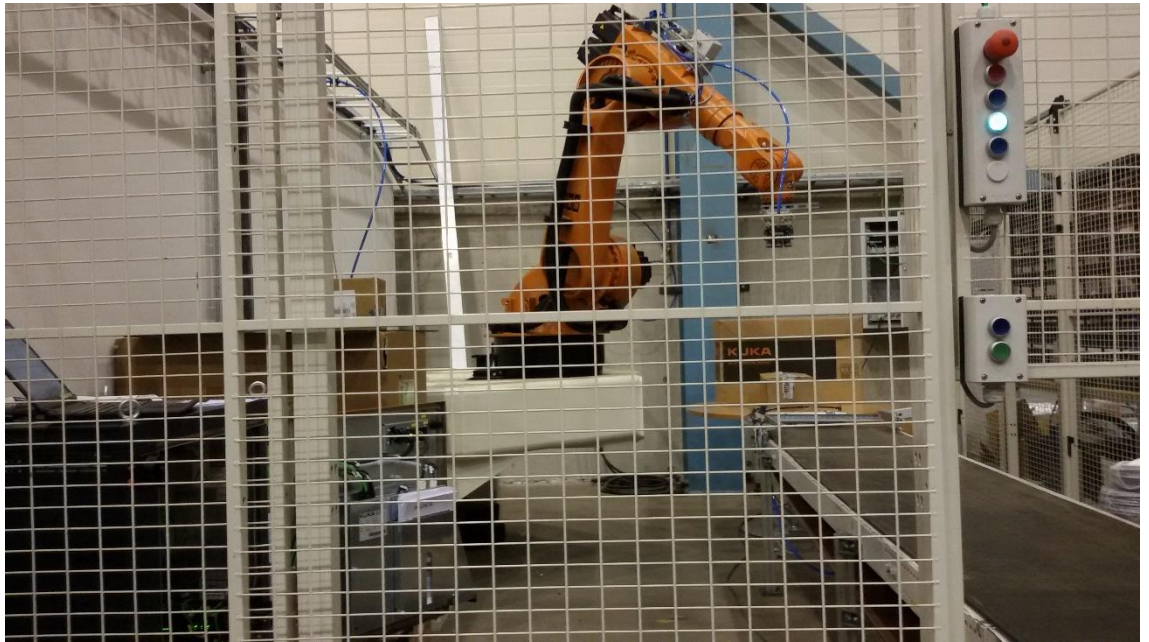
## 6.2 Miten ehkäistä onnettomuuksia

Edellä mainittuja virheitä on pyritty estämään järjestelmän suunnittelussa ja käytössä. Ensisijaisesti tärkeänä pidetään uusien käyttäjien perehdyttämistä testirobottisolun. Robotin Smartpad:n testiasennon T1 ollessa päällä robottia ohjataan hidastetulla nopeudella Max 250 mm/s, jolloin suoja-ovi voi olla auki. Manipulaattorin akselien liikkeet on osittain rajoitettu sisään rakennetuilla mekaanisilla pysäytysrajoittimilla. Solun turvapiiri on rakennettu SIL3 kategorian mukaisesti ja turva-aidoilla on estetty pääsy työalueelle (kuva 4). Merkkivalojen tehtävä on viestiä järjestelmän tilasta (kuva 12).

Vaaratilanteita voidaan ehkäistä asianmukaisella koulutuksella ja tiedon jaolla. Robotin ollessa uusi on suhtautumisen oltava alkuun varovaista. Työn käydessä tavanomaiseksi luottamus robottiin kasvaa, mutta virheilikkeet ja onnettomuusvaarat ovat edelleen olemassa. (Keinänen ym. 2001, 334.)

### Turvalaitteet

Riittävä tila robotin ympärillä on sinällään turvallisuustekijä, kun irronneelle kappaleelle on tilaa pudota vapaasti. Erilainen laitetekniikka on myös tarpeellista. Näistä yksinkertaisimpia ovat ne laitteet ja rakenteet, jotka estävät ihmistä pääsemästä robotin liikealueelle. Samalla on tarkoituksenmukaista rakentaa turvajärjestelmä, joka pysäyttää toiminnan, mikäli liikealueelle toiminnan aikana pääsee ihminen. Tällaisia yksinkertaisia turvalaitteita ovat mm. seuraavat laitteet: mekaaniset esteet, tunnistavat valokenno ja painoon reagoiva matto. Harvemmin käytössä olevat passiivisesti varoittavat teipit, maalaus sekä kilvet ja valot. (Keinänen ym. 2001, 334.)



Kuva 12. Solun turvaratkaisu. (Soutolahti 2015.)

### Turva-aidat

Aidat estävät käyttäjien ja työntekijöiden pääsyn robotin työskentelyalueelle. Tärkeätä on muistaa kriittiset paikat, joihin käyttäjän on hyvä päästä käsiksi ongelmien ilmaantuessa.

### Valoverhot

Valoverhot mahdollistavat tuotteiden eli palettien liikkumisen vapaasti robottisolun sisälle ja ulkopuolelle katkaisematta verhoja. Kuitenkin, jos ihminen yrittää päästä työalueelle, valoverhojen säteet katkeavat ja solu pysähtyy välittömästi. Niitä käytetään paljon muissakin sovelluksissa. On myös mahdollista käyttää skannereita ja turvallisuusmattoja alueen suojauksessa. Samalla tavalla ne ohjelmoidaan, jolloin ne toimivat robottisolun pysäytyksessä tai hidastamalla järjestelmän nopeutta, jos käyttäjä on työalueella.

## Robotin ohjelma

Teollisuusrobottien valmistajat ovat laatineet omien robottiensa ohjelmointiin ja käyttöön ohjelman, jonka avulla voidaan muokata robotin työaluetta, solua ja samalla turva-aidat voidaan tuoda lähemmäksi robottia. Käyttäjä voi helposti asentaa lisää laitteita solun turvallisuuden parantamiseksi. (Improve Your Automation System Safety with These 4 Components 2015.)

## 7 SOLUN KÄYTTÖÖNOTTO

### 7.1 TIA Portal, logiikoiden ohjelmointityökaluun tutustuminen

Yksi suurimmista teollisuuden haasteista on laitteiden rajapintojen (Interfaces) yhteen liittäminen projektien aikana. Erilaisten rajapintojen ohjelmointi, kuten PLC:n ja HMI-näyttöjen rakentaminen sekä verkon asetusten määrittäminen eri kehitysympäristöissä käyttämällä eri alustoja ja ohjelmointikieltä, luo monimutkaisen ratkaisun työympäristöön.

PLC:t ovat yleensä yksi kokonaisuus projektissa HMI ja SCADA-näyttöjen lisäksi. Jokaisen laitteen täytyy liittyä yhteen tietyn ohjelmistoliitännäraajapinnan tai ohjaimen kanssa ennen valmista tuotosta.

Yksi merkittävistä TIA:n ominaisuuksista on muuttaa Tag yhdestä kohtaa, jolloin se päivittyy automaattisesti kaikkialla käyttöön. Vaihtamalla Tag-tunnistetta PLC:ssä se päivittyy automaattisesti käyttöliittymässä. TIA:n ansiosta työn tekeminen kohdistuu vain yhteen paikkaan, jolloin työskentely on nopeampaa ja tehokkaampaa, testaus ja tulokset puhuvat puolestaan. Se tarjoaa täydellisen ratkaisun asiakkaan tarpeisiin. (Siemens Revolutionizes Automation Engineering with TIA Portal 2010.)

TIA Portalin ominaisuudet

Siemensin TIA-ohjelmointityökalu

- Nopeuttaa, helpottaa ja tehostaa suunnittelua.
- Kilpailukyky paranee, koska samaan työkaluun on yhdistetty logiikkojen, käyttöliittymien ja turvaratkaisujen sekä taajuusmuuttajien ohjelmointi.
- TIA Portal:n käyttöliittymä on helposti omaksuttava ja vuorovai-  
kutteinen. Tämä mahdollistaa automaation konfiguroinnin, diagnostiikan sekä ylläpidon helposti yhdellä ohjelmalla.

### TIA:n ohjelmistotyökalut

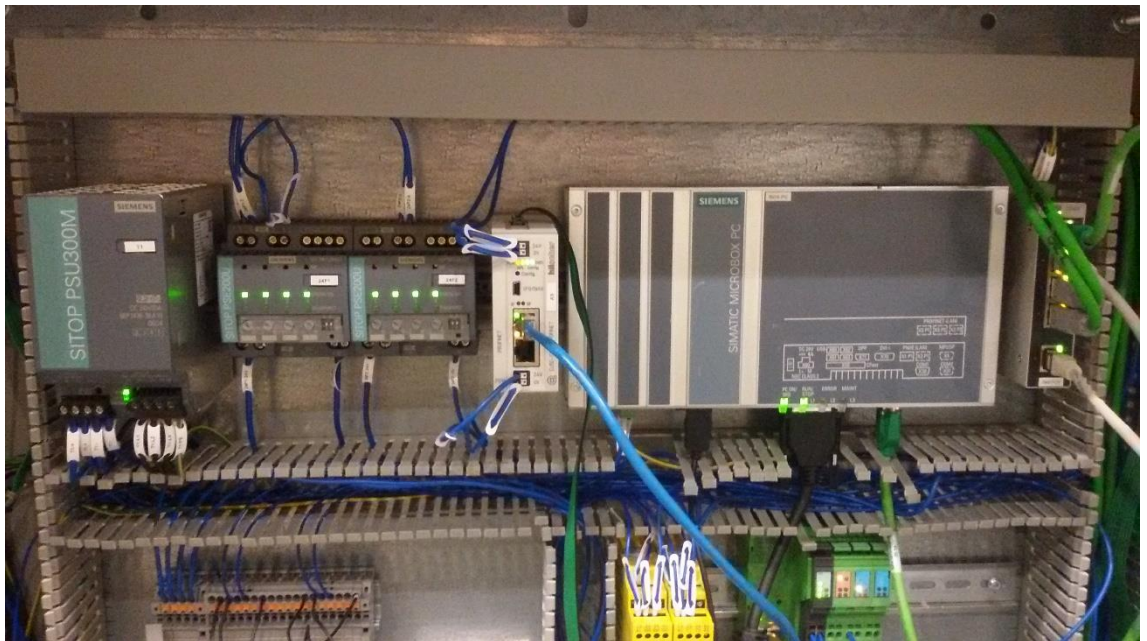
TIA Portal yhdistää logiikkaohjelmoinnin SIMATIC STEP 7 ja käyttöliittymäsuunnittelun SIMATIC WinCC sekä taajuusmuuttajat SINAMICS StartDrive. TIA Portal:lla on mahdollista tehdä suunnittelu- ja tuotantoprosessit koko tuotantoketjulle. Tämä varmistaa tehokkaamman työskenteilyn ja tuottavuuden sekä paremman kilpailukyvyn. (TIA Portal - teollisuusautomaation ohjelmistoalusta n.d.)

### 7.2 Siemens Microbox PC SIMATIC IPC427D

Se mahdollistaa reaaliaikaisen ohjauksen, joka on nopea ja deterministinen.

Se integroituu hyvin:

- monen ohjelmistoprotokollan kanssa
- tietokantoihin
- malli-pohjaisten sovellusten kanssa, jotka on kirjoitettu käyttämällä korkean tason ohjelmointikieltä
- käyttöliittymän kanssa.



Kuva 13. SIMATIC IPC427D. (Soutolahti 2015.)

Hyödyntämällä PC-pohjaista ohjausta käyttäjät turvautuvat kestävään teollisuus-PC:n avoimeen arkkitehtuuriin, siihen yhdistettynä Siemensin tehokas SIMATIC WinAC Soft PLC. SIMATIC S7 on integroitu teollisuus-PC:een niin sanottuna Soft PLC:nä. PC-pohjainen ohjaus on konfiguroitu ja ohjelmoitu käyttämällä STEP 7-ohjelmaa täsmälleen samalla tavalla kuin normaalia S7-ohjainta. Automaation komponentit integroidaan yhdeksi teollisuus-PC:ksi, ja tuloksena on täydellinen ja kustannustehokas ratkaisu. (PLC Software from Siemens n.d.)

### 7.3 Käyttöönotto

Koululta annettiin käyttöön TIA Portal:n opiskelijalisenssi. Se toimi työssä ensisijaisesti keskeisenä suunnitteluohjelmistona ja mahdollisti kyseisten laitteiden Hardware Configurationin ja ohjelmoinnin sekä muut oleelliset toiminnot.

Alkutoimenpiteitä seurasi yhteyden muodostaminen tietokoneen ja Siemensin Microbox PC SIMATIC IPC427D kanssa. TIA Portal:ssa määriteltiin aluksi työssä käytettävän WinAC RTX CPU. Sen jälkeen oli vuorossa IP-osoite ja aliverkonpeite.

#### IP-osoite ja aliverkonpeite

Kaikki laitteet IP-verkossa tarvitsevat toimiakseen yksilöllisen IP-osoitteen. Lisäksi laitteisiin pitää määritellä aliverkonpeite, joka määrää mihin aliverkkoon IP-osoite kuuluu. (Grönfors 2015.)

#### IP-osoitteen verkko- ja isäntäosa

Jokainen IP-osoite jakaantuu verkko- ja isäntäosaan, jotka määräytyvät verkkoluokan tai aliverkonpeitteen perusteella. Vain saman verkko-osan omaavat laitteet voivat suoraan kommunikoida keskenään. Eri verkko-osan omaavien laitteiden välinen kommunikointi vaatii reitittämistä. (Grönfors 2015.)

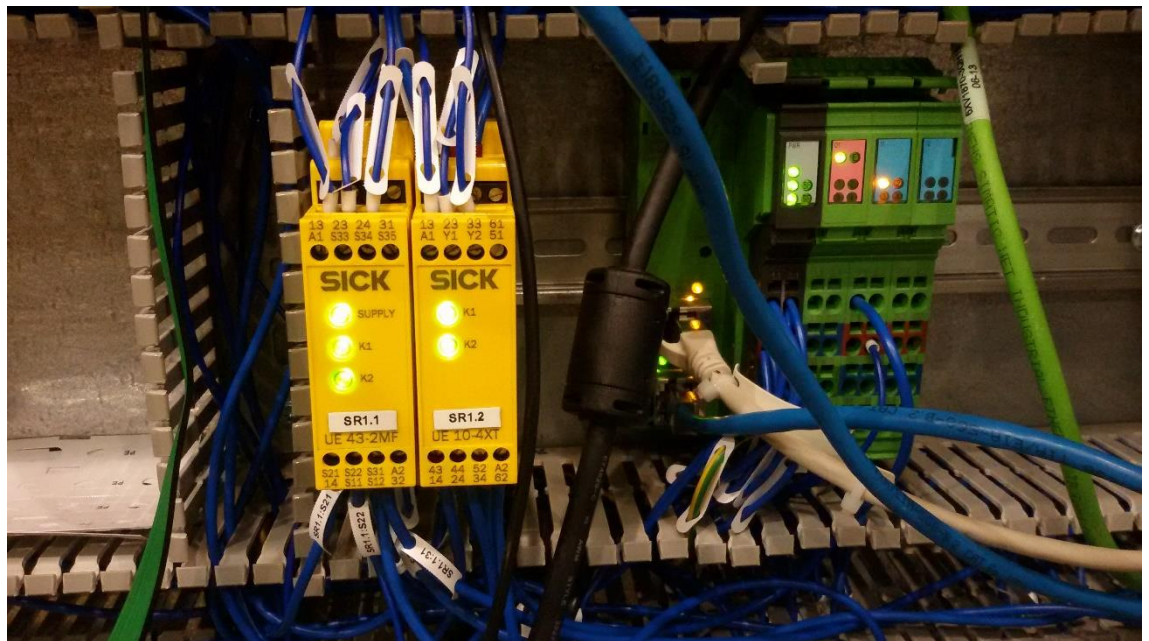
Tietokoneen IP-avaruus piti sovittaa yhteen WinAC RTX CPU:n kanssa, jotta se voi kommunikoida samassa aliverkonpeitteessä myös muiden I/O-moduulien kanssa. Tietokoneen IP-osoite vaihdettiin verkkoasetuksista, joka työssä oli 10.10.10.110 ja samalla Ethernet kaapeliyhteys IP4V4 aktivoitiin. IP-osoitteiden jälkeen komentokeskuksessa (cmd) testattiin yhteyden muodostaminen pingaamalla CPU:n IP-osoitetta. Ongelmaksi muodostui CPU:n IP-osoitteen vaihtaminen, koska kyseinen logiikka käytti kiinteätä IP-osoitetta, johon ei omalla koneella päässyt käsiksi, vaan se piti vaihtaa teollisuus-PC:n CPU:n asetuksista. Saatua IP-osoitteet kuntoon oli ladattava Hardware Configurationi laitteelle. Kyseinen TIA Portal lisenssi ei kuitenkaan tukenut CPU:n WinAC-RTX F turvapuolen ominaisuuksia, joka ratkaistiin poistamalla turvapuoli kokonaan CPU:n asetuksista. Kun oli ladattu Hardware Configurationi onnistuneesti, saatiin yhteys muodostettua logiikan CPU:n kanssa.

#### 7.3.1 ET200S

Moduuli sijaitsi KK2:ssa ja yhteys purkille muodostettiin vetämällä Profinet-väyläkaapeli PK1:n kytkimeltä ET200S Ethernet-porttiin. Moduulin IP-osoite ja aliverkonpeite vaihdettiin vastaamaan CPU:n osoitetta. Logiikka sisältää seuraavat ominaisuudet: 8DI DC24V, 8DO DC24V/0.5mA. Moduuli saatiin ensimmäisenä toimimaan CPU:n kanssa ja se vastasi kentällä olevien anturien ja toimilaitteiden ohjauksesta.

## 7.3.2 Phoenix-Moduuli

Saatua KK2:n ET200S-moduuli yhdistettyä CPU:n kanssa oli seuraavaksi vuorossa yhteyden muodostaminen PK1:n Phoenix-merkkisen I/O-moduulin kanssa. Hardware Configurationia ladattaessa ongelmaksi muodostui Phoenixin turvapuolen I/O-kortit, siksi että TIA Portal ei tukenut turvapuolen ominaisuuksia. Kortit oli otettava pois moduulilta ja jätettävä paikalleen normaali I/O-kortit. Turvapuolen poistaminen tarkoitti hätäseis-toimintojen uudelleen suunnittelua, koska Profisafe turvaluokitellut Phoenixin kortit mahdollistivat suoraan johdottamisen kontaktorille. Ongelma ratkaistiin asentamalla kaksi Sick:n turvaluokiteltua releitä. Parhaan turvallisuuden takaamiseksi olisi hyvä kahdentaa kontaktori, jos kärjet satuisivat sulamaan kiinni. Turvapiirin ensisijaisena tehtävänä onkin suojata henkilövahinkoja ja järjestelmän laitteita ja suuremmilta komponenttivaurioilta. Turvapiirin uudelleen suunnittelun jälkeen onnistuttiin muodostamaan yhteys moduulin ja CPU:n välille. Moduulille johdotettiin PK1:n oven käynnistyspainike ja Sick-releen kuittauspainike suojaovelta.



Kuva 14. SICK -turvaluokitellut releet ja PHOENIX-moduuli. (Soutolahti 2015.)

## 7.3.3 Hilscher Gateway PROFINET <-> SmartWire

Laitteelle on ominaista toimia I/O-moduulina Profinet-väylässä ja logiikan CPU määrittelee I/O-avaruuden kyseiselle laitteelle Hardware Configurationissa. Yhdyskäytävä liittää yhteen laitteen SmartWire – DT väylän Profinet-väylän kanssa. Verkkojen välillä tapahtuu säännöllinen prosessitiedon vaihto. Se mahdollistaa 1000 tavun tulo- ja lähtötiedon vaihdon maksimissaan 99 DT-laitteen kanssa. (Gateway PROFINET IO Device to SmartWire-DT n.d.)

### SmartWiren hyödyt

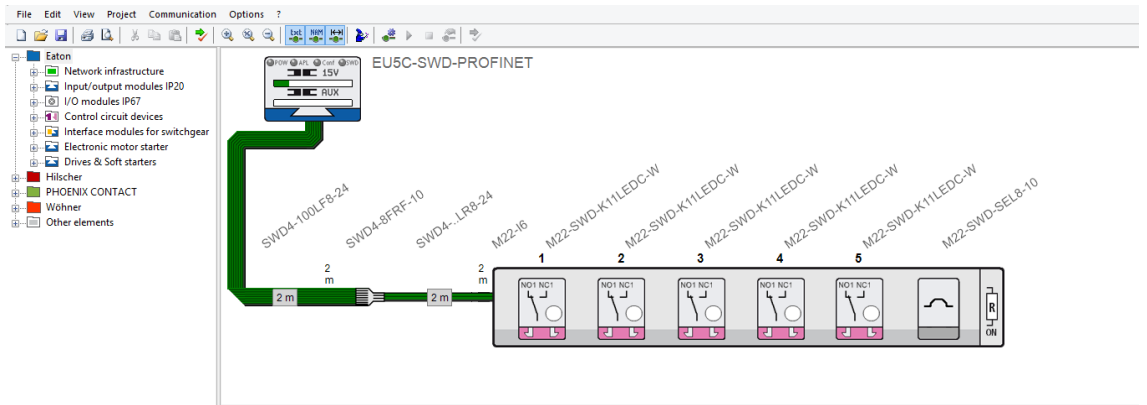
SmartWire – DT-kaapelin ansiosta ohjauskeskuksen kustannukset ja toiminnallisuus voidaan optimoida vähentämällä johdotusta keskuksen sisällä. Se mullistaa nykyaikaisen ohjauskeskuksen valmistuksen. Väyläratkaisun ansiosta suunnittelu yksinkertaistuu ja keskusten johdottaminen käy nopeasti. Seuraavat komponentit voidaan johdottaa suoraan käyttämällä SmartWire – DT-kaapelia: moottorinsuojat, kontaktorit, releet, painonapit, ledit, I/O-moduulit. SmartWire - DT mahdollistaa johdotusmäärän vähentämisen keskuksessa: se korvataan yhdellä kaapelilla.

### Moduulin käyttöönotto

Hilscherin EU5C-SWD-PROFINET-moduuli toimii työssä Profinet I/O-laitteena ja se vastaa suojaoven vieressä olevan kotelon painikkeista ja ledien ohjauksesta. Kyseinen moduuli toimii yhdyskäytävänä ja se muodostaa yhteyden CPU:n välille. Se tukee seuraavia kenttäväyläratkaisuja: Ethernet/IP, Modbus TCP, Profibus-DP ja Canopen. Suojaoven painikekotelolle johdotus tapahtuu käyttämällä SmartWire-DT:n vihreää lättäkaapelia viemällä sen PK1 Eatonin SWD4-8FRF-10 -adapterille, jonka tehtävänä on muuntaa lättäkaapeli pyöreäksi. Se kestää paremmin naarmuja ja kolhuja, muuten lättäkaapeli voisi vaurioitua terävistä kulmista ja väylä viikaantuisi tai kaatuisi. Adapterilta kaapeli on johdotettu painikekotelon liittimiin ja sen väylään on asennettu 4 kpl vaihtokosketin ledeillä varustettu painonappeja. Väylä syöttää kotelolle 15 VDC tehon.

Liitettäessä moduuli ja sen perässä olevat laitteet logiikkaan täytyi sille tehdä oma GSDML file. Työssä apuna käytettiin SWD-Assist-suunnitteluohjelmaa, jonka sai ladattua ilmaiseksi Hilscherin kotisivuilta. Sen avulla konfiguroidaan väylä ja sen perässä olevat laitteet. Valmis GSDML file tuodaan TIA Portal:iin ja muodostetaan Profinet-liitäntä logiikan CPU:n kanssa.

Aluksi valittiin kyseinen Hilscherin Master-moduuli EU5C-SWD-PROFINET. Moduulilta väyläkaapeli johdotettiin SWD4-8FRF-10 -adapterille. Se muuntaa kyseisen kaapelin pyöreäkaapeliksi. Painikekotelon määrittelyssä piti huomioida kotelon sisältö. Kotelo koostui viidestä 2-asentokytkimestä, joihin oli integroitu valkoinen led-merkkivalo. Valittiin M22-kotelo, jossa oli 6 vapaata paikkaa kytkimille. Vapaisiin paikkoihin lisättiin led-kytkimet. Valmis väyläsuunnitelma viimeisteltiin painamalla Auto Complete, joka lisää puuttuvat osat ja tiedot väylään. Communication View:n online tilassa testattiin suunniteltu väylä vertaamalla sitä kohteessa olevaan väylään. Valmis väylä ladattiin moduulille ja samalla luotiin GSDML file, joka siirrettiin TIA Portal-ohjelmaan.



Kuva 15. SWD-Assist-suunnitteluohjelma. (Soutolahti 2015.)

Yhteyden muodostaminen TIA:ssa CPU:n ja Hilscherin välillä koitui ongelmalliseksi. Vanhan suunnitelman mukaan väylään oli asennettu moottorinsuojille johdotus, jota ei käytetty työssä. Myös majakka, jota ei saatu toimimaan väylässä, oli hylättävä. Asia ratkaistiin jättämällä väylästä pois ylimääräinen, millä ei ollut merkitystä työssä. Tärkeintä väylän muodostamisessa ja sen toimimisen kannalta on, että se on todella tarkasti suunniteltu ja laadittu, koska ylimääräinen laite tai osa väylässä kaataa koko väylän. Väylä on todella herkkä vikaantumiselle, jos yksikin laite lakkaa toimimasta.

## 7.4 Kuljettimen ohjelma

Kun tarvittavat parametrit oli ladattu onnistuneesti moduuleille ja online yhteys muodostettua CPU:n kanssa, voitiin aloittaa liukuhihnalle asennettujen anturien, sylinterin sekä kuljettimen moottorin ajamisen testaus. Ennen varsinaisen ohjelman tekemistä ja suunnittelua oli tutustuttava online tilassa oleviin TIA:n ominaisuuksiin.

### Muuttajat Tagit

PLC Tags-ikkunassa, joka vastaa Step 7:ssä symbolitaulua, luodaan työssä käytettävien tulojen ja lähtöjen absoluuttinen ja symbolinen osoite, datatyyppi sekä mahdollisuus kommentoida kyseistä muuttajaa. Absoluuttiosoite määrittää fyysisesti, mihin tuloon tai lähtöön kenttälaitte on kytketty I/O-moduulissa. Symboliosoite on nimi kyseiselle muuttujalle, ja molempia osoitteita voidaan käyttää ohjelmoinnissa.

### Watch Table

TIA:n yksi ominaisuuksista on mahdollisuus testata ja pakottaa määritettyjen absoluuttiosoitteiden vaikutus fyysisesti projektipuun Watch- ja Force Tables ikkunoissa. Esimerkiksi Watch Table-valikosta kuljettinta pystyttiin ajamaan molempiin suuntiin vaikuttamalla lähtöjen tiloihin päälle/poistoiminnoilla. Muuttujien määrittämisen ja testaamisen jälkeen tutustuttiin vielä tekemällä liukuhihnalle yksinkertainen ohjelma, jotta nähtäisiin, kuinka hyvin työhön asennetut anturit ja painonapit toimisivat käytännös-

sä. Ohjelmassa kuljettimen moottori pyöri eteenpäin, kun hihnan alussa valokennoon vaikutti laatikko, ja sen osuessa valokennoon hihnan lopussa kuljetin vaihtoi pyörimissuuntaansa. Painonappien tehtävänä oli käynnistää ja pysäyttää kyseinen ohjelma; myös hätä-seis-painikkeita kokeiltiin, jotta varmistuttiin Sick-turvareleen toimivuudesta.

### Ohjelmarakenteen muodostaminen

Tutustumisen jälkeen oli laadittava sekvenssikaavio automaatiojärjestelmän ohjelmoinnin yksinkertaistamiseksi. Sekvenssikaavio on olemukseltaan diagrammi, jonka tehtävänä on kertoa halutun prosessiohjelman eteneminen loogisesti alkaen alkutilasta ja päättyen työkierron lopetukseen.

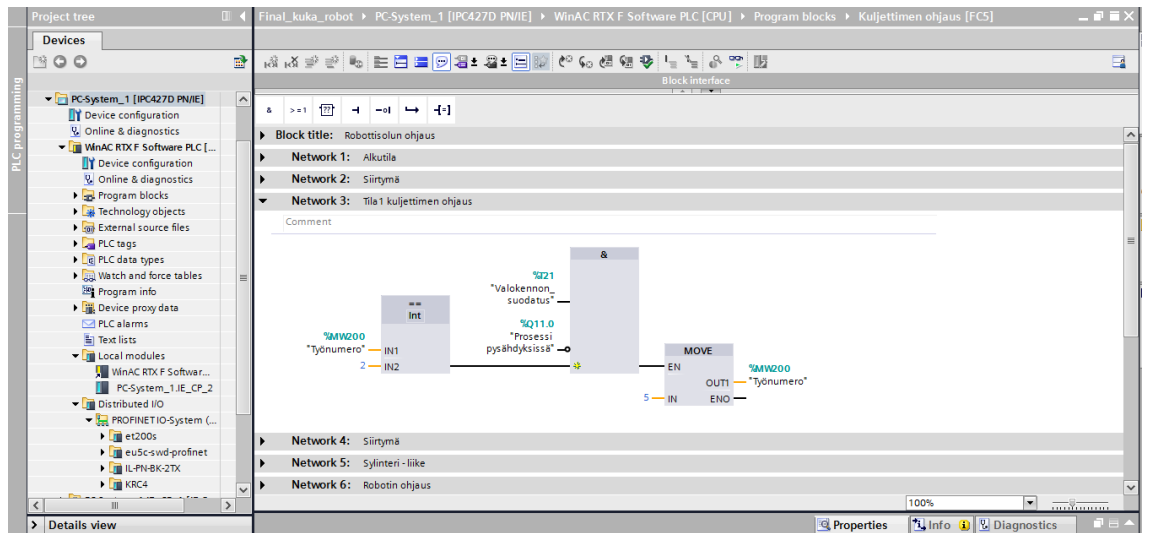
### Sekvenssiohjaus

Sekvenssiohjaus etenee vaiheittain. Niitä kutsutaan tiloiksi (States) tai koneautomaatiossa usein askeleiksi. Koneautomaatiossa puhutaan myös askelohjauksesta. Tilan ajallinen pituus voi olla kuinka pitkä tahansa. Tilojen välissä on aina siirtymä (Transition), joka merkitsee kahden tilan raja-kohtaa. Siirtymän ajallinen pituus on äärettömän lyhyt, mikä tapahtuu, kun siirtymäehto (Transition Condition) on tosi. (Pohjasto 2012.)

Testisolun ohjelmointi on toteutettu eri toimintayksiköiden avulla. Se koostuu organisaatioyksiköstä (OB1) ja kahdesta ohjausyksiköstä (FC). Organisaatioyksikön tehtävänä on luoda yhteys käyttöjärjestelmän ja ohjelman välillä. Yksikkö suorittaa syklistä ohjelmakiertoa ja sen prioriteetti on pienin, jolloin muut ohjelmat voivat keskeyttää sen. Ohjausyksikkö vastaa prosessiohjelman alitoiminnoista eli varsinaisesta ohjelmasta ja poikkeaa toimintayksiköstä (FB) siten, ettei sillä ole pysyvää muistia. FB soveltuu vaikeiden alitoimintojen ohjelmointiin. Testisolun ohjelmoinnissa OB1:n kutsuu ohjausyksiköitä, kun logiikka menee online tilaan.

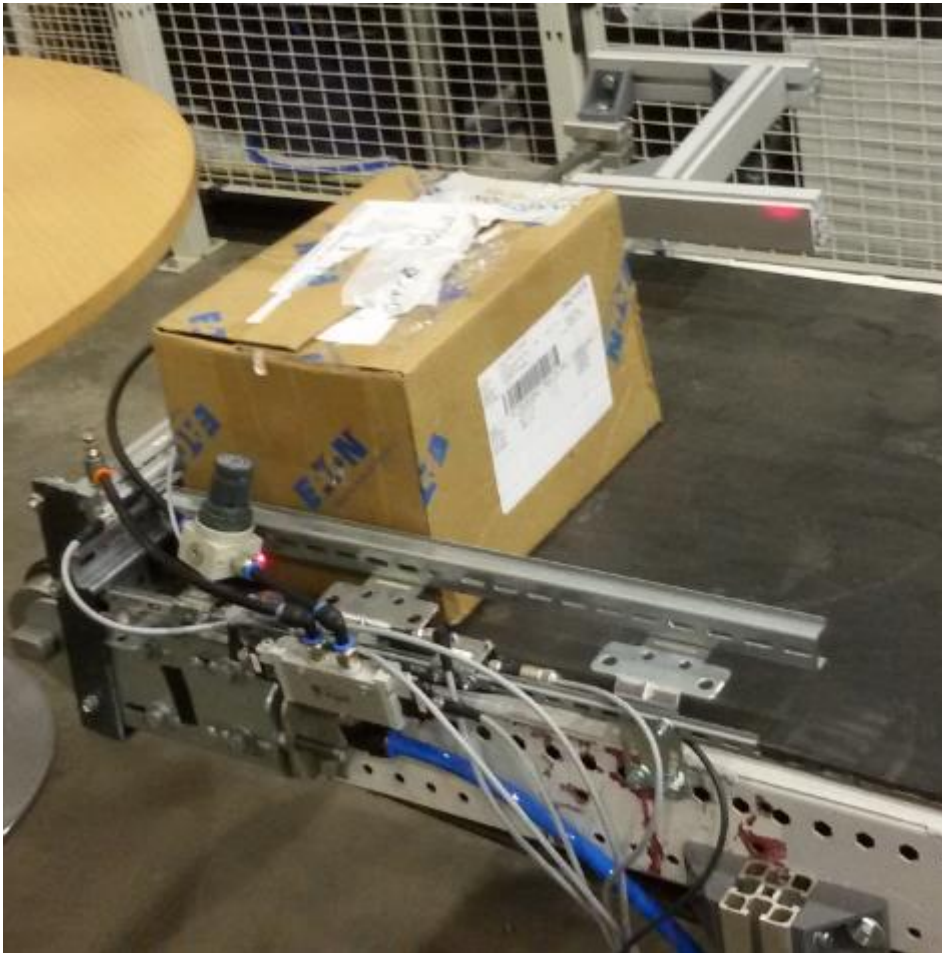
### Ohjelma

Testisolun liukuhihnanohjelma suunniteltiin ja rakennettiin ennen robotin liittämistä ohjelmaan, jotta varmistuttaisiin kuljettimen, anturien ja laitteiden toimivuudesta. Työskentely solun sisällä oli turvallista, koska robotin KRC 4 ohjausyksikkö voitiin pitää sammuksissa. Kuljettimen ohjelma on rakennettu sekvenssikaavioon perustuen eli step by step-periaatteella. Logiikan WinAC RTX Software käynnistyessä OB1 kutsuu FC-aliohjelmaa. Kuljettimen aliohjelma vastaa erikokoisten laatikoiden ja kuljettimen ohjauksesta. Laatikon saapuessa hihnan loppuun logiikka antaa sylinterille käskyn paikoittaa laatikko. Jotta robotti pystyisi nostamaan sen, täytyy logiikan ohjelmassa olla output-toiminto, joka toimii robotin ohjelmassa inputina. Kuljettimen aliohjelma koostuu 17 erilaisesta Networkista ja ohjelmointikielenä on käytetty Function Block. Ohjelmassa Networkien siirtymä (Transition) on toteutettu käyttämällä vertailijoita ja MOVE käskyä hyväksi. Ohjelmassa on työnnumero MW200, johon MOVE käsky tallentaa sen hetkisen numeron. Vertailijan tehtävänä on toimia tilojen alustajana vertailemalla työnnumeroa. Kun muut ehdot täyttyvät Networkista, ohjelma etenee sekvenssin mukaisesti.



Kuva 16. Liukuhinnan ohjelmaa. (Soutolahti 2015.)

Kun ohjelman alkutilan ehdot ovat täyttyneet ja PK1:n ovesa Start painettu, sekvenssi siirtyy ohjelmassa eteenpäin. Laatikon osuessa valokenno ykköseen ja, jos sylinteri on plusasennossa eli alkutilassa, saa kuljetin käskyn toimia. Kuljetin pysähtyy, kun laatikko on kuljettimen lopussa ja se on osunut valokenno kolmoseen. Sylinteri paikoittaa laatikon poimimista varten. Toiminnan jälkeen se palautuu takaisin plusasentoon ja sekvenssi jää odottamaan robotin kuittausta edetäkseen ohjelmassa.



Kuva 17. Sylinteri paikoittanut laatikon. (Soutolahti 2015.)

Työssä on käytetty hyödyksi myös turvaoven viereen asennetun nappikotelon led-valoja. Käytettiin CPU:n clock memory byte:a prosessin merkkivalon vilkkumiseen yhden Hz:n taajuudella, kun jaksonaika on sekunti. Jos jaksonaikaa lyhennettäisiin esimerkiksi 50 millisekuntiin, jolloin taajuus kasvaisi 20 Hz:iin, ei merkkivalo vilkkuisi vaan käytännössä se olisi päällä. Myös hätä-seis- ja stop-painikkeille on asennettu ledit, jotka kertovat prosessin tilasta.

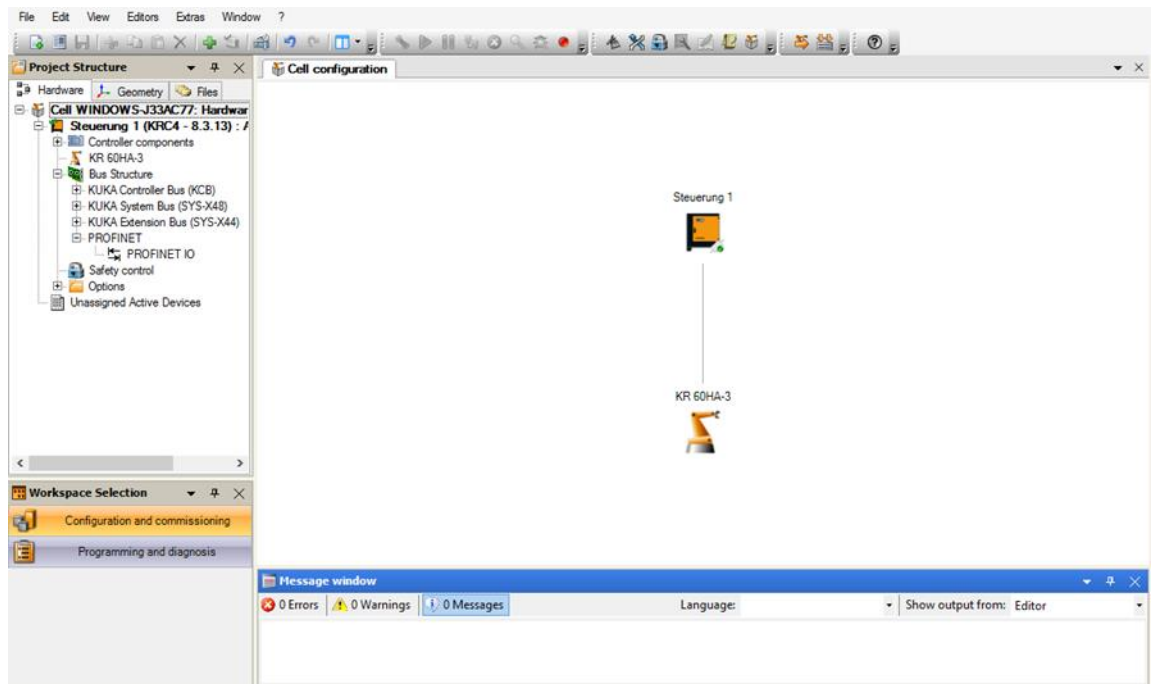
Valmis toimiva ohjelma testattiin moneen kertaan, kunnes se oli tarpeeksi yksinkertainen ja helposti ymmärrettävissä. Viimeisenä oli robotin KRC 4 ohjausyksikön liittäminen logiikan kanssa.



Kuva 18. Robotin ohjausyksikkö. (Soutolahti 2015.)

### 7.5 Robotin liittäminen prosessiin

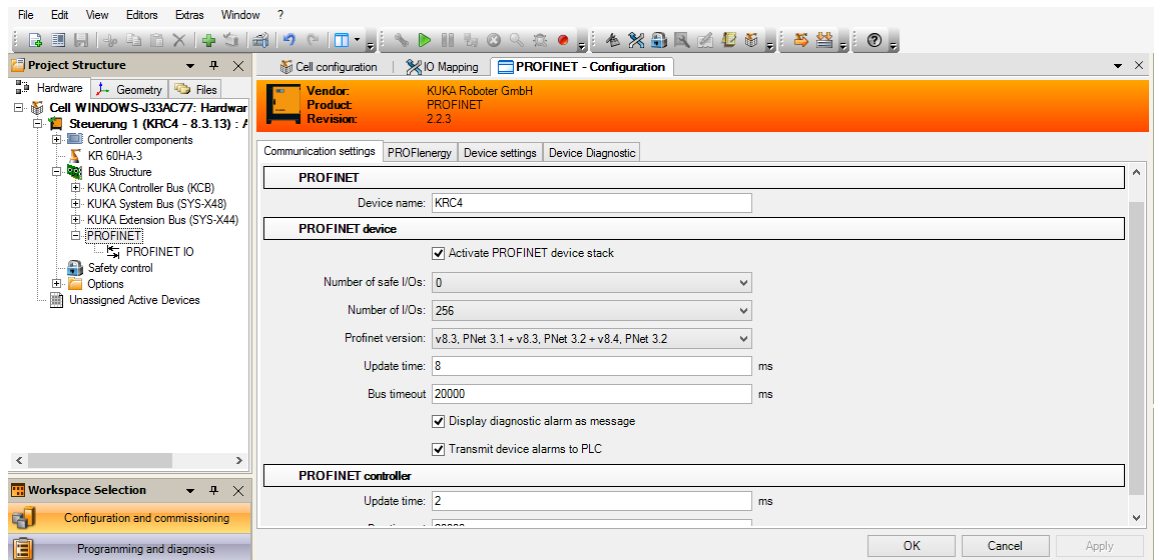
KUKA-merkkiselle robotille on GSDML file, joka tulee robotin mukana valmistajalta. GSDML file-tiedosto sisältää laitteen perustiedot, mm. robotin I/O-tiedot, Slot- ja Subslot-liitännät sekä logiikassa alkavat tulojen ja lähtöjen osoitteet. Robotin GSDML file ladattiin tietokoneelle ja siirrettiin Siemensin TIA Portal:n laitteet tietokantaan. Sen jälkeen KRC 4 Device V8.3 moduuli tuotiin työhön katalogista. Moduulille on mahdollista valita turva I/O 64 kpl ja normaalin I/O-rajapinnan 8 - 2032 kpl väliltä. Jotta robotti voitaisiin liittää logiikan kanssa yhteen, täytyi sille tehdä KUKAN WorkVisual 4.0-ohjelmalla laitekohtainen Configuration, joka sisältää mm. robotin, ohjauskeskuksen, väylän ja I/O:n määrittelyn.



Kuva 19. WorkVisual ohjelman aloitus. (Soutolahti 2015.)

## 7.5.1 KUKAN WorkVisual 4.0

KUKAN ohjausyksikkö eli Controller valittiin ja aktivoitiin. Tämän jälkeen projektissa määritettiin kenttäväylä. Valittavissa oli Ethercat ja Profinet-väylät. Työssä käytettiin Profinet-kenttäväylää logiikan ja Controllerin välillä. Profinet-väylä aktivoitiin ja sille tehtiin seuraavan lainen Configurationi. Communication settings ikkunan Network Adapter kohdasta valittiin liitäntä robotin KRC 4 ohjausyksikölle. Tärkeää oli myös antaa Device Name-kohdasta laitteelle nimi, jonka Profinet tunnistaa. Aktivoitiin Profinet Device. Robotille oli mahdollista valita sopiva määrä tuloja ja lähtöjä. Turva I/O määrä valittiin 0-64 ja normaalin I/O-rajapinta 0-2032 väliltä. Työssä turva I/O asetettiin nolaksi ja normaali I/O valittiin 256. Profinet-versio määritettiin GSDML filen mukaisesti. Bus Timeout tarkoittaa sitä, että jos robotin Controller ei kykene muodostamaan yhteyttä PLC:n kanssa valittuun aikaan mennessä, luodaan virheviesti. Laite kuitaa virheen, jos yhteys muodostuu tämän jälkeen. Update Time tarkoittaa I/O-laitteiden data-tiedon päivittämistä robotin Controllerin ja PLC:n välillä.



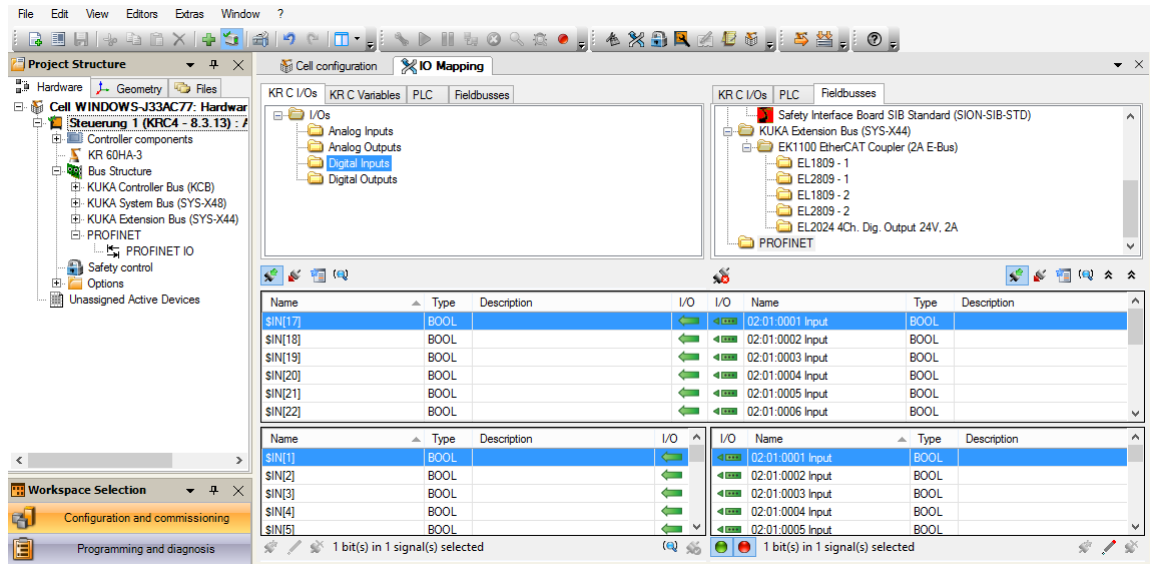
Kuva 20. Profinet-väylän Configuration. (Soutolahti 2015.)

Väylän Configurationin jälkeen muodostettiin yhteys Profinet-väylään.

## Robotin I/O:n määrittäminen

I/O-mapping tarkoitus on määrittää robotin normaali I/O-rajapinta PLC:n välillä. PLC toimii työssä Masterina ja robotti kuulijana, eli logiikka vastaa solun ohjauksesta ja robotti noudattaa logiikalta tulevia käskyjä. Tärkeää oli myös muistaa, että logiikan ohjelmassa lähtö vastaa robotin ohjelmassa tuloa ja robotin lähtö vastaa logiikan ohjelmassa tuloa.

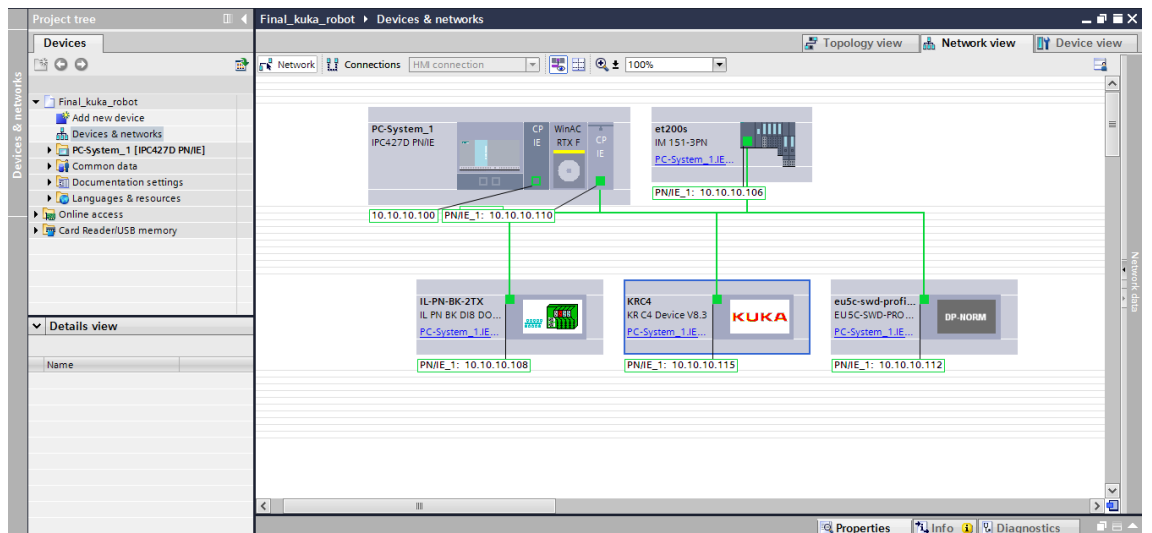
Normaali I/O-liitännät määritettiin seuraavasti logiikan ja robotin välillä. Vasemmanpuoleisesta ikkunasta avattiin KRC I/O-kohdasta Digital Inputs ja oikeanpuoleisesta kenttäväylät kohdasta Profinet. Käytävissä oli robotin 256 I/O. Vihreällä olevat olivat jo käytössä, joten niitä ei tarvinnut määrittää uudelleen. Valittiin 16 seuraavaa vapaana olevaa \$IN[17] - \$IN[32]. Molemmista ikkunoista valittiin 16 kpl ja ne yhdistettiin. Yläpuolelle olevaan ikkunaan aukesi haluttujen inputtien liitännät. Sama tehtiin myös outputeille. Tämän jälkeen tieto vietiin KRC 4 ohjauskaapille, kun halutut I/O:t oli määritelty. Seuraavaksi se liitettiin logiikkaan. Se määrittää robotin normaalin I/O-rajapinta alueen, jota voidaan käyttää ohjelman tekemisessä.



Kuva 21. Robotin I/O-mapping. (Soutolahti 2015.)

## 7.5.2 Hardware Configuration robotille

KUKAN moduuli valittiin Hardware Catalogista ja tuotiin työhön. Työssä ei käytetty turva I/O:ta, jotenka automaattisesti poistettiin Slot 1 Safety I/O ja se jätettiin tyhjäksi, koska se on varattu vain turvapuolen I/O:lle. Siihen ei saa liittää tavallisia I/O-tietoja, muuten robotti huomauttaa virheellä tästä. Slot 2:een asennettiin 256 I/O:ta. TIA:n laitekohdasta nähtiin myös määritettyjen tulojen ja lähtöjen alue logiikassa, joka oli 27-58:aan. Sen jälkeen muodostettiin yhteys logiikan WinAC RTX F PC-System\_1.IE\_CP\_2 kanssa määrittämällä robotille IP-osoite. Robotin Hardware ja Software ladattiin logiikkaan, ja robotti muodosti yhteyden Profinet-väylässä logiikan kanssa.



Kuva 22. Valmis Hardware Configuration. (Soutolahti 2015.)

Määritettyjen tulojen ja lähtöjen toimintaa voitiin testata logiikan ja robotin välillä Force Tag Table:ssa. Esimerkiksi Q27.4 vastaa robotin ohjelmassa I22.0. Kyseisiä logiikan lähtöjä voidaan käyttää robotin ohjelmassa tuloina ja robotin lähtöjä logiikassa tuloina.

### 7.5.3 Robotin ohjelman laatiminen

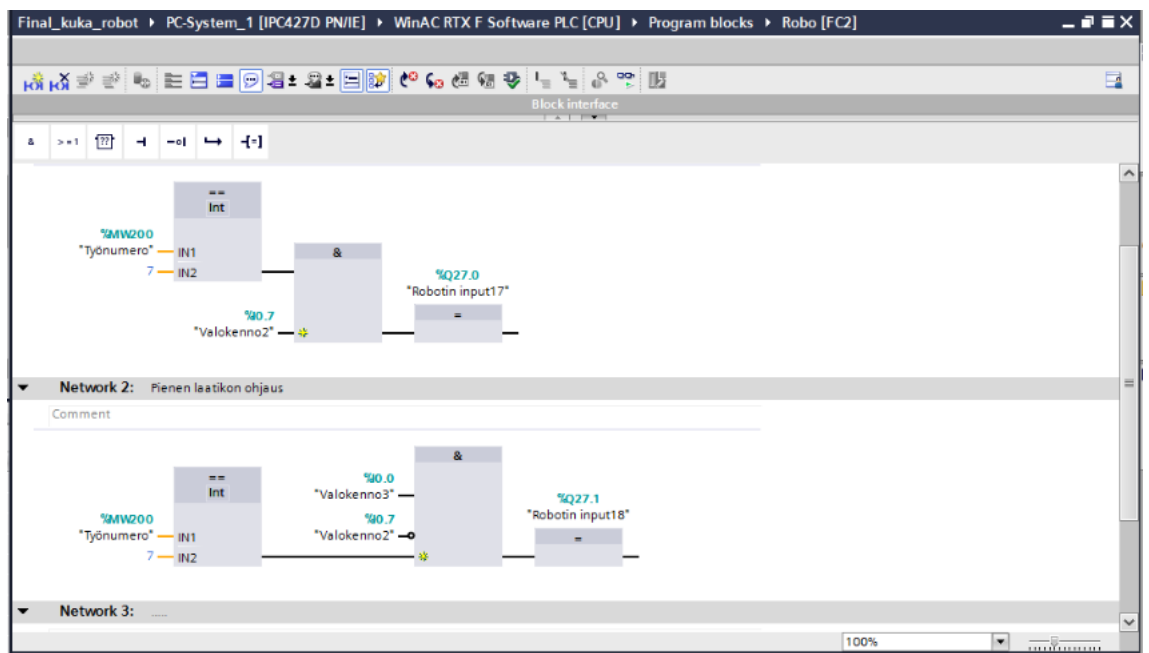
PLC ohjaa prosessia, jolloin robotille piti laatia laitekohtainen ohjelma. Se kertoo, mitä robotin pitää tehdä ja milloin. KUKAN KRL-ohjelmointikieli perustuu C-kieleen.

#### Ohjelman suunnittelu

Liukuhihnalta tulee kooltaan pieniä ja isoja laatikoita, siksi täytyy myös robotin ohjelmassa olla niille aliohjelmat. Laadittiin pääohjelma, joka hyppää aliohjelmiin sen mukaan, onko liukuhinnan lopussa pieni vai iso laatikko.

Milloin kutsutaan logiikan ohjelmassa robottia ja tarttujaa.

Robotin tarttujan ohjaukseen on FC2 -aliohjelma ja se muodostuu kahdesta Networkista. Ensimmäinen ohjaa isoja laatikoita, toisen tehtävänä on ohjata pieniä laatikoita liukuhihnalta. Ison laatikon vaikuttaessa logiikka antaa lähdön Q27.0 robotin input 17:lle. Pienen laatikon vaikuttaessa lähtö on Q27.1 ja se vastaa robotin ohjelmassa input 18. FC2 -aliohjelma toimii, kun sylinteri on tehnyt miinusliikkeen ja kohdistanut laatikon ja palautunut plusasentoon. Työnumero MW200 on vaihtunut arvoksi 7 ja robotti saa käskyn poimia laatikon.



Kuva 23. Laatikoiden ohjaus. (Soutolahti 2015.)

Kun robotti on saanut logiikalta käskyn isosta tai pienestä laatikosta, se hyppää kyseiseen aliohjelmaan ja suorittaa ohjelmakierron. Molemmissa aliohjelmassa on tarttujan ohjaus, eli robotti antaa lähtökäskyn output 17 ja logiikassa se vastaa input tietoa. Logiikka ohjaa paineilman tarttujaan; kun laatikko on asetettu pöydälle oikeaan kohtaan, robotti pistää output 17 False ja tarttujan paineilma katkeaa eli lähtö logiikassa menee pois päältä. Logiikka jää odottamaan työkierron loppua eli Handshake-tyyppistä toimintaa robotilta. Kun robotti on suorittanut työnsä, se antaa logiikalle käskyn jatkaa kyseistä ohjelmakiertoa.

### Robotin ohjelman muuttujien esittely ja alustus

Ennen kuin muuttujia voidaan käyttää robotin ohjelmassa, täytyy ne erikseen esitellä. Variables eli muuttujat esitellään ohjelman data file:ssa kohdassa External Declarations. Esimerkiksi pääohjelmassa alustetaan muuttuja seuraavasti: DECL INT turnvarn=0. Kyseinen muuttuja on Integer-tyyppinen, kahden tavun kokoinen eli 16-bittinen kokonaisluku ja siihen mahtuu luku väliltä -32768 – 32767. Samalla tavalla alustetaan muut ohjelmassa käytettävät muuttujat. On myös mahdollista tehdä globaali -muuttuja, jota voidaan käyttää kaikissa ohjelmissa.

### Pääohjelman esittely

```

19 PTP HOME VEL= 100 % DEFAULT
27 loop
28
29 if $IN[17]==true then
30 turnvarn=1
31 else
32 $out[18] = false
33 endif
34
35 if $IN [18]==true then
36 turnvarn=2
37 endif
38
39 switch (turnvarn)
40 case 1
41 poiminta1 ()
42 turnvarn=0
43
44 OUT 18 '' STATE=TRUE
47 WAIT FOR ( NOT IN 17 '' )
50 WAIT TIME=1 SEC
53
54 case 2
55 poiminta2 ()
56 turnvarn=0
57
58 OUT 18 '' STATE=TRUE
61 WAIT FOR ( NOT IN 18 '' )
64 WAIT TIME=1 SEC
67 default
68 endswitch
69
    
```

Kuva 24. Robotin pääohjelma. (Soutolahti 2015.)

Ohjelman alussa on laskuri ja sen arvo on 0. Robotti ajaa edellisen ohjelmakierron jäljiltä kotipisteeseen. Tämän jälkeen ohjelmaan on rakennettu loop, jossa ohjelma pyörii ja suorittaa aliohjelmaa logiikan antaessa käskyjä, kunnes ohjelmassa laskuri on saanut arvon 6. Loopin sisälle on tehty

switch case -tyyppinen aliohjelmakutsu. Case 1 on aliohjelma 1 ja se paletoi isoja laatikoita. Case 2 on aliohjelma 2 ja se paletoi pieniä laatikoita.

Logiikka ohjaa laatikon koon perusteella robotin oikeaan aliohjelmaan seuraavasti. Logiikka laittaa lähdön Q27.0 ja robotin ohjelmassa se näkyy ”if \$IN[17] == true then, turnvarn=1 else OUT\$[18] = false, endif”. Eli kun input 17 on tosi, turnvarn muuttuja saa arvon 1. Sen mukaan, onko turnvarn 1 tai 2, switch ohjaa case ykköseen tai case kakkoseen. Pääohjelman input 17 ollessa tosi siirtyy ohjelma suorittamaan poiminta 1 - aliohjelmaa. Kun se on suoritettu, ohjelma nolaa turnvarn muuttujan. Robotti antaa kuittauksen logiikalle laittamalla \$OUT[18] = true ja logiikka voi jatkaa ohjelmakiertoa. Robotin ohjelma jatkaa loop:ssa kiertämistä, kunnes \$IN[17] tai \$IN[18] on tosi. Laskurin saadessa arvon 6 ohjelma lopettaa loop:ssa pyörimisen ja menee kohtaan end, ja robotin pääohjelmakierto päättyy.

### Aliohjelma 1 esittely

Ohjelma alkaa parilla liikekäskyllä PTP ja LIN. Näiden pisteiden kautta robotti vie tarttujan noin 15 cm:n päähän laatikosta ja laittaa output 17 päälle. Logiikka saa input tiedon ja laittaa tarttujan imun päälle. Paineilma tuottaa alipaineen tarttujan imukupille. Robotti kohdistaa tarttujan laatikkoon ja vie sen parilla PTP liikekäskyllä pöydälle. Ohjelma jatkuu if - lauseilla, ja niiden tehtävänä on asettaa z ja x koordinaattien arvot.

```

36 | LIN P1 CONT VEL=2 M/S CPDAT1 TOOL[1] BASE[0]
43 | OUT 17 '' STATE=TRUE
46 | LIN P3 VEL=2 M/S CPDAT2 TOOL[1] BASE[0]
53 | LIN P4 CONT VEL=2 M/S CPDAT3 TOOL[1] BASE[0]
60 | PTP P5 CONT VEL=100 % PDAT2 TOOL[1] BASE[0]
67 | if(montako1==1) then
68 |   zsuunta1=1
69 |   xsuunta1=1
70 | endif
71 |
72 | if xsuunta1>2 then
73 |   zsuunta1=zsuaunta1+1
74 | endif
75 | if xsuunta1>2 then
76 |   xsuunta1=1
77 | endif
78 |
79 | xapu2=xp6
80 | xapu2.x=xp6.x+(xsuunta1-1)*300
81 | xapu2.z=xp6.z+(zsuaunta1-1)*250
82 | xapu1=xapu2
83 | xapu1.z=xapu2.z+200
84 | lin xapu1
85 | lin xapu2
86 |
87 | OUT 17 '' STATE=FALSE
90 | lin xapu1
91 | xsuunta1=xsuaunta1+1
92 | calculate=calculate+1
93 | ptp xp5
94 | PTP HOME VEL= 100 % DEFAULT

```

Kuva 25. Robotin aliohjelma 1. (Soutolahti 2015.)

### Laatikon paikoituspisteiden määrittäminen

Jotta laatikoida voidaan paletoida, pitää robotille kertoa edellisen laatikon sijainti ja laskea seuraavalle laatikolle jättöpiste annettujen parametrien mukaisesti.

Luodaan laatikon jätölle apupisteet xapu1 ja xapu2, jotka on määritelty koordinaatti pisteen xp6 mukaan. Xp6 on robotin piste avaruudessa, joka on määritelty poiminta 1 muuttujissa. Apupiste xapu2.x ohjaa laatikon paikoittamista x-suunnassa ja xapu2.z määrittää laatikon jätön z-suunnassa. Pisteet saadaan vähentämällä base0:sta xp6 koordinaattipisteestä saadut x ja z arvot. Xapu1.z kertoo robotille edellisen laatikon korkeuden, jotta se ei törmäisi ajettaessa LIN xapu2 käskyä.



Kuva 26. Aliohjelma 2 paletointia. (Soutolahti 2015.)

Kun laatikko on oikeassa kohtaa pöydällä, robotti laittaa output 17 False ja laatikko jää pöydälle. LIN xapu1 liikekäskyllä robotti liikkuu z-suunnassa ylöspäin ja takaisin PTP home kotipisteeseen. Xsuunta1:een lisätään arvo 1 edelliseltä kerralta ja laskuri lisää muistiin arvon 1. Aliohjelma 1 on suo-

ritettu ja ohjelma palaa takaisin pääohjelmaan. Aliohjelma 2 toimii samalla periaatteella, mutta x kordinaatti on korvattu y kordinaatilla (kuva 26).

## 8 LOPPUPÄÄTELMÄ

Työ saatiin valmiiksi aikataulun mukaisesti. Testisolu toimi niin kuin oli suunniteltukin. Robotti ja ohjelmoitava logiikka keskustelivat ja kommunikoiivat keskenään molempiin suuntiin.

Tulevaisuudessa on mahdollista käyttää samanlaista menetelmää uusien paletointi -robottien yhteydessä. Robotille täytyy tehdä I/O-kartoitus ja Hardware Configuration logiikan ohjelmassa. Omissa toimitiloissa henkilöstön nopea ja tehokas kouluttautuminen alan ammattilaisten kanssa luo jatkossa vaurautta ja arvoa yritykselle.

Työtä tehtäessä tuli paljon tietoa käytännön automaatiosta. Se vaati tarkkaa perehtymistä ohjelmointikieleen ja sen yksityiskohtiin paneutumista. Käyttöönottovaihe oli enimmäkseen ongelmien paikantamista ja niiden ratkaisemista, mutta ne opettivat näkemään, miten haasteellista ja mielenkiintoista automaatio on. Monesta asiasta on varmasti puhuttu ja mainittu aiemmilla luennoilla, mutta vasta nyt asiat oikeasti alkoivat hahmottua, kun on nähnyt ne käytännössä ja joutunut selvittämään ja ratkaisemaan niitä itse. Tiivistettynä koulussa oppii teorian, mutta vasta työssä näkee, miten prosessi toimii oikeasti ja miten sitä säädetään ja ohjataan. Tämä työ vahvisti tekijän näkemystä alasta ja mielenkiintoa siihen.

Automaatio ja robotit ovat suomalaisen ja länsimaisen teollisuuden suuri mahdollisuus niin kilpailukyvyn, tuotannon luotettavuuden ja laadun kuin työhyvinvoinnin ja -turvallisuudenkin näkökulmasta. Uusissa tekeillä olevissa robotiikkastandardeissa keskitytäänkin mm. ihmisten apuna toimivien robottien toiminnallisuuteen, johon olennaisesti liittyvät esimerkiksi tarkkuus, nopeus, ketteryys ja kappaleenkäsittelykyky. On arvioitu, että robottien osuus globaalista teollisuustuotannosta on 25 prosenttia vuonna 2025. Tänä päivänä vastaava luku on 10 prosenttia. Robotiikka mahdollistaa monilla aloilla tuottavuuden lisäämisen jopa 30 prosentilla, joten isosta asiasta on kyse. Asiantuntijat uskovat, että Kiinasta tulee maailman robotisoitunein maa vuoteen 2020 mennessä. Kansainvälisen robottijärjestön IFR:n näkemys on, että robotiikka tuo uusia työpaikkoja, ei pelkästään teollisuuteen, vaan muillekin yhteiskunnan osa-alueille. Miinuspuolena voitaisiin todeta, että robotisaatio uhkaa viedä jatkossa monien ihmisten työpaikan. Robotti korvaa ihmistyön. (Tekniikkauutiset 2015.)

## LÄHTEET

Archive for the 'Sensors & Actuators' Category, 2011. Viitattu 15.1.2016.  
<http://www.roboticsbible.com/category/industrial-robotics/ind-robot-sensors-actuators>

EtherCAT - the Ethernet Fieldbus. EtherCAT Technology Group. n.d. Viitattu 9.1.2016.  
<https://www.ethercat.org/en/technology.html>

Gateway PROFINET IO Device to SmartWire-DT, Hilscher. n.d. Viitattu 25.11.2015.  
<http://www.hilscher.com/en/products/product-groups/partner-products/smartwire/eu5c-swd-profinet/>

Grönfors, M., 2015. Tietoliikenteen perusteet. Kurssin luentomateriaali. HAMK.

Improve Your Automation System Safety with These 4 Components, 2015. Bastian Solutions. Viitattu 21.11.2015.  
<http://www.bastiansolutions.com/blog/index.php/2015/07/16/improve-automation-system-safety>

Industrial Ethernet for advanced manufacturing. Profinet. n.d. Viitattu 26.11.2015. <http://us.profinet.com/technology/profinet/>

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2001. Logiikat ja ohjausjärjestelmät. Vantaa: WSOY.

New-generation Soft PLCs Drive Oil Exploration, 2013. Viitattu 11.12.2015. <http://www.totallyintegratedautomation.com/2013/03/new-generation-soft-plcs-drive-oil-exploration/>

Petruzella, F.2005. Programmable Logic Controllers. -3rd ed. New York: McGraw-Hill.

PLC Software from Siemens, Siemens. n.d. Viitattu 20.12.2015.  
<http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/software-controller/software-plc-simatic-winac/>

Pohjasto, H., 2012. Automaatiotekniikan perusteet. Kurssin luentomateriaali. HAMK.

Profinet, Reaaliaikainen teollisuus-Ethernet. Siemens. n.d. Viitattu 23.11.2015.  
[http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedonsiirto\\_esim\\_profinet/profinet.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto_esim_profinet/profinet.htm)

Siemens Revolutionizes Automation Engineering with TIA Portal, 2010. Viitattu 13.12.2015.

<http://www.totallyintegratedautomation.com/2010/12/siemens-revolutionizes-automation-engineering-with-tia-portal/>

SIMATIC Industrial PCs, 2009. Viitattu 21.12.2015.

<http://www.totallyintegratedautomation.com/2009/08/simatic-industrial-pcs/>

Tekniikkauutiset, Teknologiaforum, 2015. Viitattu 29.12.2015.

<http://www.tekniikkauutiset.teknologiaforum.com/?cat=54>

TIA Portal - teollisuusautomaation ohjelmistoalusta, Siemens. n.d. Viitattu 25.11.2015.

[http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/tia\\_portal.php](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/tia_portal.php)

7 Industrial Robotics Hazards and How to Avoid Them, 2011. Bastian Solutions. Viitattu 19.11.2015.

<http://www.bastiansolutions.com/blog/index.php/2011/01/05/7-industrial-robotics-hazards-and-how-to-avoid-them>