



Alexi Oinas

# Anyfeeder -materiaalinsyöttö- järjestelmän toteutus ja käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Älykäs teollisuus

Opinnäytetyö

23.5.2022

## Tiivistelmä

Tekijä:	Alexi Oinas
Otsikko:	Anyfeeder -materiaalinsyöttöjärjestelmän toteutus ja käyttöönotto
Sivumäärä:	45 sivua
Aika:	23.5.2022
Tutkinto:	Ylempi AMK-tutkinto (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Älykäs teollisuus
Ammatillinen pääaine:	
Ohjaajat:	Manufacturing Engineering Leader - Teuvo Reinikainen Yliopettaja - Jarno Varteva Yliopettaja - Kari Salmi

---

GE Healthcaren Helsingin Vallilan tehtaalla valmistetaan D-Fend ja D-Fend + -vedenerottimia tuhansia kappaleita joka kuukausi. Johtuen kysynnän kasvusta sekä tuotannon keskittämisestä Helsingin tehtaalle, tuotantolinjan kapasiteettia on korotettu lyhyessä ajassa noin tuhannesta kappaleesta päivässä, jopa noin 5000 kappaleeseen päivässä. Koska kapasiteetin korotus on ollut niin suuri, olemassa olevaa tuotantolinjaa on modernisoitu huomattavan paljon. Tuotantolinjan kokoonpanorobottien työkiertojen ja mm. automaattisen testauksen nopeuttaminen eivät kuitenkaan olisi yksin riittäneet tarvittavaan kapasiteetin korotukseen, vaan myös materiaalin syöttö tuotantolinjalle piti uudistaa.

Tämä opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa ja ottaa käyttöön anyfeeder -materiaalinsyöttöjärjestelmä, jonka avulla pystyttäisiin syöttämään komponentteja tuotantolinjalle riittävän nopeasti ja varmasti, jotta kapasiteetti saataisiin nostettua riittävän suureksi.

Aikaisemmin veden erottimia on valmistettu käsityönä, mutta ajan kuluessa on siirrytty enenemässä määrin roboteilla tehtävään kokoonpanoon. Koska tuotantolinjalla käsiteltävät kappalemäärät ovat suuria, materiaalin syötön nopeus ja toimintavarmuus ovat tärkeitä. Tuotantolinjan tämänhetkinen automaatioaste on korkea. Varsinainen kokoonpano ja testaus ovat täysin automatisoituja ja materiaalin syöttäminen tuotantolinjalle on toteutettu kahdella anyfeeder -syöttöjärjestelmällä, jotka nekin toimivat normaalitilanteessa automaattisesti.

Opinnäytetyössä kehitetyn ja käyttöönotetun materiaalinsyöttöjärjestelmän avulla tuotantolinjan kapasiteetti on saatu nostettua 5000 kappaleeseen päivässä.

Avainsanat: ACE, Anyfeeder, eCobra, Materiaalinsyöttö

## Abstract

Author: Aleksi Oinas  
Title: Anyfeeder materialfeeding solution implementation and commissioning  
Number of Pages: 45 pages  
Date: 23 May 2022

Degree: Master of Engineering  
Degree Programme: Intelligent Industrial Solutions  
Professional Major:  
Supervisors: Teuvo Reinikainen,  
Manufacturing Engineering Leader  
Jarno Varteva, Principal Lecturer  
Kari Salmi, Principal Lecturer

---

Thousands of D-Fend and D-Fend + water traps are manufactured at GE Healthcare's Vallila factory in Helsinki every month. Due to the growth in demand and the centralization of production at the Helsinki factory, there has been a desire to significantly increase the capacity of the production line. The target capacity has been increased in a short time from about a thousand units per day, up to about 5,000 units per day. Because the increase in capacity has been so big, the existing production line has been modernized considerably. Speeding up the assembly line robot cycle times and e.g. automatic testing, would not have been enough to increase the capacity to the desired level. The material feed to the production line had to be renewed also.

The purpose of this thesis was to implement and commission an anyfeeder material feed system that would be able to feed components to the assembly line quickly and reliable enough for the increased capacity.

In the past, water traps have been handcrafted, but over time there has been a shift to robotic assembly. Due to the large number of components handled on the production line, the speed and reliability of the material feed is important. The current degree of automation of the production line is high. The actual assembly and testing are fully automated and the material feed to the production line is accomplished with two anyfeeder material feeding systems, which also operate automatically.

With the help of the material feeding system implemented and commissioned in this thesis, the capacity of the production line has been increased to 5 000 pieces per day.

Keywords: ACE, Anyfeeder, eCobra, Material feed

# Sisällys

## Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Tuotantolinjan esittely	3
2.1	Alkukokoonpano	5
2.2	Laserhitsaussolu	6
2.3	Säiliösolu	7
2.4	Klipsisolu	8
2.5	Lasermerkintäsolu	10
2.6	Pakkauskone	11
3	Nykytila-analyysi	12
4	Uuden syöttöjärjestelmän toteutus	15
4.1	Turvapiirit	18
4.2	Kommunikointi	20
4.2.1	EtherNet/IP	23
4.2.2	DeviceNet	23
4.3	Anyfeederit	24
4.4	eCobra Pro 600	30
4.5	Oheislaitteet	34
4.5.1	Ohjelmoitava logiikka	34
4.5.2	Kuljettimet	37
4.5.3	Item profiili runko	39
5	Käyttöönotto	41
6	Johtopäätökset	43
7	Pohdinta	44
	Lähteet	45

## Lyhenteet ja käsitteet

ACE	Automation Control Environment, Omronin kehittämä ohjelmointiympäristö.
Anyfeeder	Omronin kehittämä komponenttien syöttölaite ja poiminta-alusta.
CAN	Controller Area Network. Automaatioväylä, jota hyödynnetään erilaisissa ajoneuvoissa, koneissa ja teollisuuden sovelluksissa.
CATx	Verkkokaapeloinnin kategoria: esim. CAT5, CAT5e ja CAT6. Kategoria ilmaisee mm. kaapelille soveltuvan kaistanleveyden ja tiedonsiirtonopeuden.
DeviceNet	DeviceNet on teollisuudessa laitteiden väliseen tiedonsiirtoon käytetty protokolla. Sen määrittämisestä ja ylläpidosta vastaa ODVA (Open DeviceNet Vendor Association). DeviceNet on standardoitu IEC 62026-3 mukaisesti.
D-Fend	GE:n kehittämä vedenerotin, joka suojaa hengitysilmaista mitattavien parametrien mittalaitteita kosteudelta, eritteiltä ja bakteereilta.
DPU	Defects per unit. Virheellisten yksiköiden lukumäärä suhteessa kokonaisuuteen.
ePLC	Omronin robottiin integroitu ohjain.
EtherNet/IP	EtherNet/IP (Ethernet Industrial Protocol) on avoin teollisuuden tiedonsiirrossa käytetty protokolla. Sen määrittämisestä ja ylläpidosta vastaa nykyisin ODVA (Open DeviceNet Vendor Association). EtherNet/IP on standardoitu IEC 61158 mukaisesti.
GE	General Electric, Yhdysvaltalainen monialayritys.

GEHC	General Electric Healthcare General Electricin terveydenhuollon laitteisiin keskittynyt toimiala.
LOT	Eränumero, jokaiselle valmistetulle tuote-erälle on oma tunnistenumeronsa.
OEE	Overall Equipment Effectiveness. Mittaus- ja esitystapa tuotantolinjan tehokkuudelle. OEE-laskennassa kerrotaan keskenään käytettävyyttä, nopeus ja laatu, joista saadaan kokonaistehokkuutta kuvaava luku.
PLC	programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikka.
PoE	Power over Ethernet. Tekniikka, jolla ethernet verkkoon yhdistetyille laitteille voidaan järjestää virransyöttö saman kierretyn parikaapelin avulla.
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm, käsivarsirobotityyppi, missä kahden peräkkäisen nivelvarren sijoittelu muistuttaa ihmisen kättä.
STP	Shielded Twisted Pair. Suojattu parikaapelityyppi, missä johdinparit on suojattu ja kierretty toistensa ympäri
UDI	Unique Device Identification. Kansainvälistä sairaalavälinetunnistajärjestelmä.

## 1 Johdanto

GE Healthcare Finland Oy on maailman suurimpiin terveysteknologiayrityksiin kuuluvan GE Healthcaren tytäryhtiö. GE Healthcare on osa yhdysvaltalaisesta General Electric -konsernia. Suomen päätoimipiste sijaitsee Helsingissä, Vallilassa. Vallilan toimipiste on yksi GE Healthcaren johtavista potilasmonitoroinnin tuotekehityksen ja tuotehallinnan osaamiskeskuksista. Vallilassa suunnitellaan, kehitetään ja valmistetaan potilasmonitoreiden lisäksi anestesiaan liittyviä ratkaisuja ja tietojärjestelmiä. Vallilan tehtaalta lähtee vuosittain noin 100 000 lähetystä yli 140 maahan. [1.]

GE Healthcaren Helsingin Vallilan tehtaalla valmistetaan D-Fend ja D-Fend + -vedenerottimia tuhansia kappaleita joka kuukausi. Johtuen kysynnän kasvusta sekä tuotannon keskittämistä Helsingin tehtaalle, tuotantolinjan kapasiteettia on haluttu kasvattaa merkittävästi. Tavoitekapasiteettia onkin nostettu muutama vuoden takaisesta noin vajaasta tuhannesta kappaleesta jopa noin 5000 kappaleeseen päivässä. Koska kapasiteetin nosto on ollut niin merkittävä, olemassa olevaa tuotantolinjaa on modernisoitu huomattavan paljon.

Kokoonpanorobottien työkiertojen ja automaattisen testauksen nopeuttaminen eivät ole yksin riittänyt tarvittavaan kapasiteetin nostoon. Tuotantolinja pystyy parhaimmillaan toimimaan enintään sillä nopeudella, millä sinne syötetään materiaalia. Tästä johtuen myös materiaalin syöttö on korvattu kokonaisuudessaan uudella materiaalinsyöttöjärjestelmällä.

Tämä opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa ja ottaa käyttöön anyfeeder -materiaalinsyöttöjärjestelmä, minkä avulla pystyttäisiin syöttämään materiaalia kokoonpanosoluihin riittävän varmasti ja nopeasti, jotta kokoonpanolinjan kapasiteetti saataisiin pidettyä riittävän korkealla.

Tuotantolinjan tämänhetkinen automaatioaste on varsin korkea. Varsinainen kokoonpano on täysin automatisoitu käyttämällä teollisuusrobotteja sekä

automaattisia testauslaitteita. Materiaalin syöttäminen tuotantolinjalle on toteutettu kahdella anyfeeder -syöttöjärjestelmällä, jotka nekin toimivat normaalitilanteessa automaattisesti. Operaattoreita tarvitaan edelleen materiaalin lisäämiseen aika-ajoin anyfeedereiden syöttökaukaloihin ja valmiiden tuotteiden pakkaamiseen sekä linjan toiminnan valvomiseen. Varsinainen kokoonpanotyö ja tuotteiden testaus on täysin automatisoitu.

Aikaisemmin veden erottimia on valmistettu käsityönä, mutta ajan kuluessa on siirrytty lisääntyvässä määrin roboteilla tehtävään kokoonpanoon. Koska tuotantolinjalla käsiteltävät kappalemäärät ovat suuria, materiaalin syötön nopeus ja toimintavarmuus ovat tärkeitä. Ongelmat materiaalin syötössä heijastuvat heti linjan kapasiteettiin, koska kokoonpanorobotit joutuvat odottamaan tarvitsemiin komponentteja.

Vanhalla materiaalinsyöttöjärjestelmällä komponentit siirrettiin paikallisista säiliöistä porrasnostimilla ja täryttimillä, sattumanvaraisessa orientaatioissa ja iso osa komponenteista palasi takaisin säiliöön. Materiaalin takaisinvirtaus johtui mm. siitä, että kokoonpanorobotti ei löytänyt poimittavaksi kelpaavaa komponenttia. Täryttimien ja porrasnostimien ohjauksessa käytettiin ajastimia, joten materiaalia siirrettiin riippumatta siitä, poimiko kokoonpanorobotti komponentteja vai ei. Kokoonpanosolun tahtiaikaa hidasti myös se, että onnistuneen poiminnan jälkeen kokoonpanorobotti joutui asettamaan kappaleen hetkeksi ns. paikoitusjigiin. Jigin tarkoituksena oli saada kappale varmasti oikeaan kohtaan robotin tarttujassa.

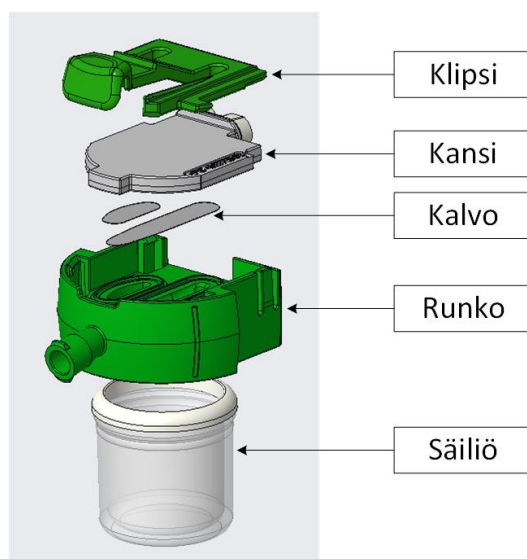
Vanhan materiaalinsyöttöjärjestelmän suurimmat ongelmat liittyivät siis komponenttien siirtämiseen varsinaiseen kokoonpanosoluun siten, että ne olisivat helposti poimittavissa kokoonpanoroboteilla. Materiaalinsyöttö tukkeutui usein, kun komponentit sumppuuntuivat täryttimen päällä. Komponentit saattoivat myös saapua kokoonpanosoluun päällekkäin, jolloin yksittäisen komponentin löytäminen konenäöllä oli vaikeaa.



Anyfeeder -järjestelmällä pyrittiin muuttamaan materiaalin syöttö kokoonpanosuolulle sellaiseksi, että kokoonpanorobottien olisi helppo poimia kulloinkin tarvittava komponentti. Poiminta tapahtuisi aina samasta paikasta, samassa orientaatioissa. Tarkemmalla paikotuksella pystyttiin parantamaan kokoonpanosuolun tahtiaikaa, koska poimittua komponenttia ei tarvinnut enää etsiä, eikä robotin tarvinnut korjata otettaan poiminnan jälkeen. Paremman paikoituksen ansiosta kokoonpanorobotti pystyi siirtymään työkierrrossaan poiminnasta suoraan seuraavaan vaiheeseen. Jo pelkkä paikotusjigin poistaminen kokoonpanorobottien työkierrosta paransi kokoonpanon tahtiaikaa huomattavasti. Kokoonpanon tahtiajan ollessa 15–20 sekuntia jo yhden sekunnin muutos tahtiajassa on merkittävä.

## 2 Tuotantolinjan esittely

Vedenerottimien kokoaminen erilliskomponenteista valmiiksi tuotteeksi ja tuotteen pakkaaminen toteutetaan automatisoidulla tuotantolinjalla useassa peräkkäisessä kokoonpanovaiheessa. Koottava vedenerotin koostuu viidestä komponentista, jotka pitää syöttää kokoonpanosuoluihin. Komponentit on esitetty kuvassa 1. Näistä viidestä komponentista kalvo syötetään kuumaliimauslaitteelle kelalta ja loput neljä irtopainoisina komponentteina.



Kuva 1. D-Fend vedenerottimen osat (kuva: Aleksi Oinas).

Tuote etenee tuotantolinjalla solusta toiseen kuljettimilla sekä painovoimaisten liukujen avulla. Tuotantolinja koostuu pääpiirteissään kuudesta vaiheesta:

- Alkukokoonpano
- Laserhitsaussolu
- Säiliösolu
- Klipsisolu
- Lasermerkintäsolu
- Pakkauskone

Alkukokoonpano koostuu useammasta työvaiheesta kuin tuotantolinjan muut vaiheet ja on selvästi tuotantolinjan monimutkaisin osakokonaisuus. Alkukokoonpanossa tehdään mm. kappaleiden kuumaliimausta sekä erilaisia testauksia.

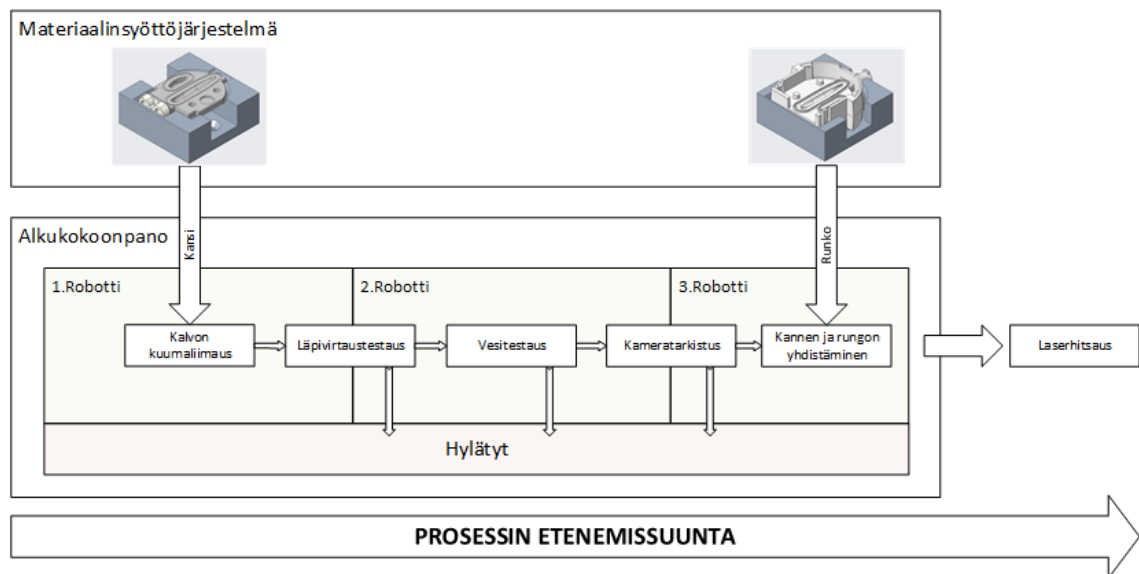


Kuva 2. Alkukokoonpano (kuva: Aleksi Oinas).

Kuvassa 2 näkyy alkukokoonpanossa käytettävät kolme robottia ja kokoonpanosolun muuta laitteistoa. Kuvassa taaimmaisena on 1. robotti ja lähimpänä 3. robotti, 2. robotti sijaitsee näiden välissä.

## 2.1 Alkukokoonpano

Kuvassa 3 on esitetty alkukokoonpanon eteneminen periaatetasolla. Alkukokoonpanon ensimmäisessä työvaiheessa 1. robotti poimii kannen kuljettimelta ja asettaa sen kuumaliimauslaitteeseen. Kuumaliimauslaite liimaa kanteen vedenerotuskalvon. Kalvon tehtävänä on pitää epäpuhtaudet, mm. vesipisarat kalvon toisella puolella ja päästää hengitysilma kulkemaan kalvon lävitse. Kuumaliimauksen jälkeen 1. robotti poimii kannen kuumaliimauslaitteesta ja siirtää sen jäähtyksen jälkeen läpivirtaustestaukseen.



Kuva 3. Alkukokoonpanon yksinkertaistettu eteneminen (kuva: Aleks Oinas).

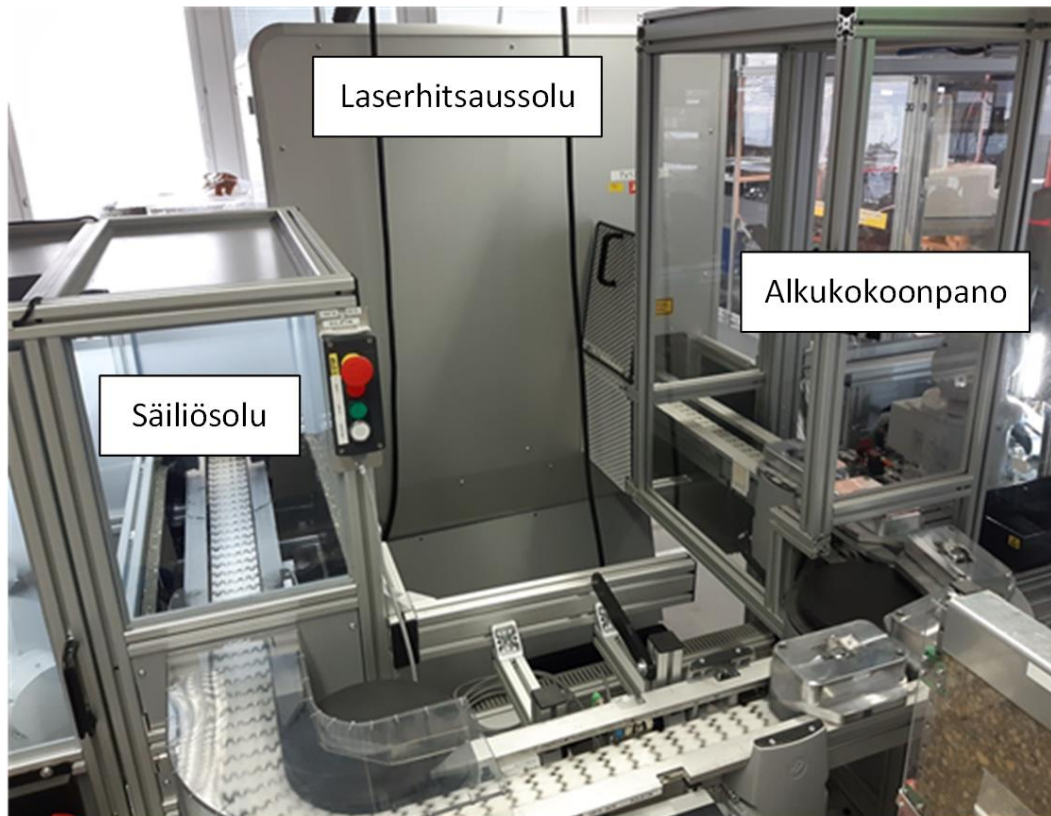
Läpivirtaustestauksen jälkeen 2. robotti poimii kannen läpivirtaustesteristä ja siirtää sen testituloksesta riippuen joko hylättyjen säiliöön tai eteenpäin vesitestaukseen. Vesitestauksessa testataan, onko kanteen kiinni kuumaliimattu kalvo vesitiivis vai ei. Mikäli kalvo päästää vettä lävitseen, testeri kastuu ja se joudutaan kuivaamaan. Kuivaaminen ja kannen poistaminen testeristä tapahtuu

toistaiseksi käsityönä. Tämän takia testereitä on sijoitettu useampia rinnakkain. Näin pyritään varistamaan se, että ainakin osa testereistä olisi käytettävissä, vaikka muutama testeri olisi parhaillaan kuivattavana. Kuivauksen yhteydessä vuotava kansi poistetaan testeristä ja siirretään hylättyihin. Vesitestauksesta 2. robotti siirtää testin läpäisseet kannet kuivaukseen ja edelleen vesikameratarkistukseen. Kameralla tarkistetaan, että kannen kanavistoon ei ole päässyt pieniä vesipisaroita.

Vesikameratarkistuksesta 3. robotti poimii kappaleen ja siirtää sen tuloksesta riippuen joko hylättyihin tai jatkaa kokoonpanoa seuraavalla vaiheella. Seuraavassa vaiheessa 3. robotti poimii toisella tarttujallaan rungon materiaalin syöttöjärjestelmän toiselta kuljettimelta ja asettaa sen laserhitsauksessa käytettävään palettiin. Paletti liikkuu omalla kuljettimellaan kokoonpanosolujen ja laserhitaussolun välillä. Kun runko on paikallaan paletissa, 3. robotti asettaa vesikameratarkistuksesta poimimansa kannen ja asettaa sen rungon päälle. Tämän jälkeen kuljetin siirtää kannen ja rungon paletissa laserhitaussoluun.

## 2.2 Laserhitaussolu

Laserhitaussolu sijaitsee alkukokoonpanon ja säiliösolun välissä. Kuvassa 4 näkyy laserhitaussolun sijainti alkukokoonpanon ja säiliösolun välissä. Tässä solussa alkukokoonpanosta saapuva kansi ja runko liitetään toisiinsa tiiviisti kiinni laserhitaamalla. Paletti ja sen mukana hitsattava osakokoonpano siirretään kuljettimella alkukokoonpanosta laserhitauslaitteeseen ja pysäytetään hitsauksen ajaksi. Laserhitauksen jälkeen osakokoonpano jatkaa palettikuljettimella säiliösoluun.



Kuva 4. Laserhitaussolu (kuva: Aleks Oinas).

Palettikuljetin, joka näkyy kuvassa 4 etualalla, on toteutettu siten, että paletit voidaan pysäyttää alkukokoonpanossa, laserhitsauksessa tai säiliösolussa ilman, että itse kuljetinta tarvitsee pysäyttää. Paletteihin on koneistettu kaulukset, joista ne voidaan nostaa irti kuljettimelta pysäytyskohdassa ja lukita paikoilleen. Palettien nostaminen ja lukitseminen on toteutettu paineilmasylintereillä.

### 2.3 Säiliösolu

Säiliösolussa laserhitsauksesta saapuvaan osakokoonpanoon kiinnitetään säiliö. Robotti poimii säiliön materiaalinsyöttöjärjestelmän kuljettimelta ja asettaa sen kokoonpanojigiin. Tämän jälkeen robotti painaa poimimansa kansi-runko-osakokoonpanoon kiinni säiliöön. Kuvassa 5 alla, robotti on juuri kiinnittämässä säiliötä kansi-runko-osakokoonpanoon. Kuvassa vasemmalla näkyy liuku, jota käytetään osakokoonpanon siirtämiseen seuraavaan työvaiheeseen.

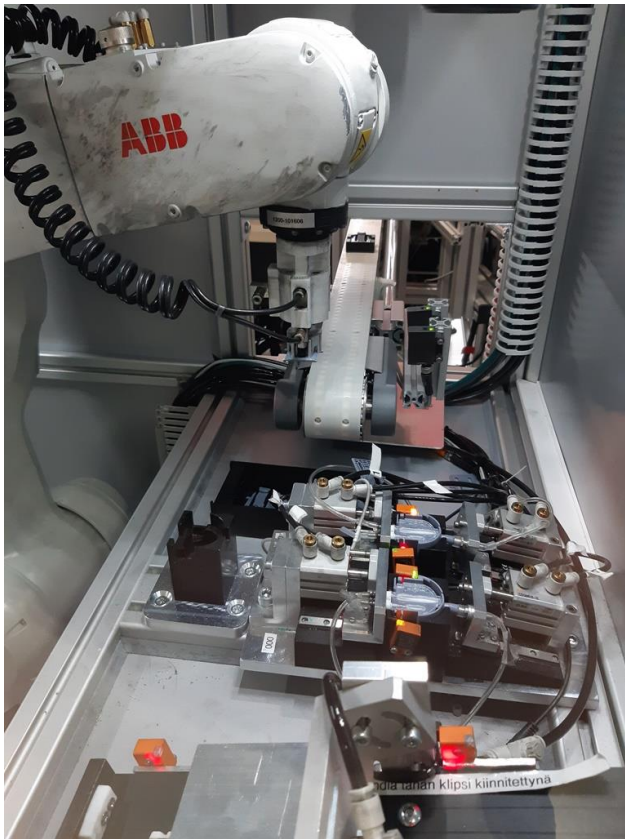


Kuva 5. Säiliörobotti (kuva: Aleks Oinas).

Kun robotti on saanut säiliön kiinnitettyä, se liu'uttaa osakokoonpanon seuraavaan työvaiheeseen. Liukua käytetään myös kokoonpanosolujen välisenä puskurina. Liu'ulla voidaan pitää muutamia osakokoonpanoja odottamassa siirtymistä seuraavaan vaiheeseen. Puskurin ansiosta tuotantolinjan eri osien ei tarvitse toimia täysin synkronoidusti ja esimerkiksi häiriötilanteissa ei välttämättä tarvitse pysäyttää koko tuotantolinjaa, vaan muu osa tuotannosta voi jatkaa toimintaansa niin kauan kuin puskurissa riittää materiaalia.

#### 2.4 Klipsisolu

Klipsisolussa robotti poimii säiliösolusta liukua pitkin saapuvan osakokoonpanon ja asettaa sen tiiveystestaukseen. Klipsisolun robotti poimii klipsin materiaalinsyöttöjärjestelmän kuljettimelta ja kiinnittää sen tiiveystestauksen läpäiseen osakokoonpanoon. Jos osakokoonpano ei läpäise tiiveystestausta, robotti siirtää sen suoraan hylättyjen säiliöön. Tämä parantaa hieman solun tahtiaikaa, koska robotti ei kiinnitä turhaan klipsiä hylättyyn kokoonpanoon.



Kuva 6. Klipsirobotti (kuva: Aleksi Oinas).

Kuvassa 6 keskellä on kaksi rinnakkain asennettua tiiveystesteriä, joiden takana näkyy materiaalinsyöttöjärjestelmältä tuleva kuljetin. Klipsin kiinnittämisen jälkeen robotti tarkistaa klipsin kiinnityksen konenäöllä ja siirtää hyväksytyt osakoonpanot liukua pitkin lasermerkintäsoluun. Konenäöllä hylätyt osakoonpanot robotti siirtää käsin tarkistettavien säiliöön. Säiliö sijaitsee klipsisolun ulkopuolella, mistä operaattori pystyy turvallisesti poimimaan osakoonpanon tuotantolinjan ollessa käynnissä.

Käsin tehtävässä tarkistuksessa operaattori voi joko hyväksyä tai hylätä osakoonpanon. Jos osakoonpano on hylätty huonosti kiinnittyneen klipsin takia, operaattori voi kiinnittää klipsin itse paremmin. Käsin tehtävän tarkistuksen jälkeen operaattori syöttää hyväksymänsä osakoonpanot liukua pitkin lasermerkintäsoluun.

Klipsisolun ja lasermerkintäsolun välistä liukua käytetään paitsi puskurina, myös vastaavalla tavalla kuin säiliö- ja klipsisolujen välistä liukua osakokoonpanojen siirtämiseen. Liu'ulle voidaan palauttaa myös käsin tehtävästä tarkistuksesta palautuvat osakokoonpanot ilman, että kokoonpanosoluja tarvitsee pysäyttää.

## 2.5 Lasermerkintäsolu

Lasermerkintärobotin tehtävä on merkitä vedenerottimeen LOT-numero ja valmistetun mallin nimi. Merkinnät tehdään vedenerottimen pintaan laserilla, minkä jälkeen merkinnät tarkistetaan vielä konenäöllä. Konenäkö tarkistuksen läpäisseet kappaleet siirtyvät tuotantoprosessissa eteenpäin seuraavaan vaiheeseen, pakkauskoneelle. Konenäön hylkäämät osakokoonpanot asetetaan erilliseen astiaan käsin tehtävää tarkistusta varten. Käsin tarkistettut ja hyväksytyt yksilöt palautetaan lasermerkintäsolun ja pakkauskoneen väliselle liu'ulle, mistä ne etenevät edelleen pakkauskoneelle.

Kappaleen siirtämiseen pakkauskoneelle käytetään painovoimaista liukua vastaavalla tavalla kuin muidenkin kokoonpanosolujen välillä. Liukua käytetään tässäkin tapauksessa osakokoonpanojen puskurina ja liu'ulle on mahdollista syöttää kappaleita myös käsin.



Kuva 7. Lasermerkintäsolu (kuva: Aleks Oinas).



Kuvassa 7 näkyy lasermerkkausolu ja sen sisällä työskentelevä robotti teke-  
mässä parhaillaan lasermerkintää. Oven ikkuna on laservalolta suojaavaa ma-  
teriaalia, joka estää laservalon pääsyn ulos solusta.

## 2.6 Pakkauskone

Pakkauskone pakkaa vedenerottimet yksittäispakkauksiin ja tulostaa kunkin  
pakkauksen päälle tunnistetarran. Tarrasta käy ilmi vedenerottimen malli, val-  
mistuserän LOT-numero sekä kullekin kappaleelle uniikki UDI-tunniste. UDI-tun-  
niste on sairaalavälineiden tunnistusjärjestelmä, minkä avulla pystytään tunnis-  
tamaan yksilöllisesti jokainen valmistettu vedenerotin.

Pakkaamisen ja merkitsemisen jälkeen valmistuneet vedenerottimet siirretään  
suurempaan kokooma-astiaan, mistä operaattorit pakkaavat ne useamman kap-  
paleen pahvilaatikoihin. Tämä työvaihe on toistaiseksi ainoa käsityönä tehtävä  
vaihe vedenerottimien valmistuksessa.



Kuva 8. Pakkauskone (kuva: Aleks Oinas).

Kuvassa 8 näkyy pakkauskone ja pakattujen vedenerottimien siirtämiseen käy-  
tettävä kuljetin. Etualalla keskellä näkyy myös pakkauskoneen ohjauspaneeli.

Pakkaus kone toimii itsenäisenä laitteena riippumatta muun tuotantolinjan toiminnasta. Kone yksittäispakkaa vedenerottimet sitä mukaan, kun niitä saapuu liukua pitkin tuotantolinjalta.

### 3 Nykytila-analyysi

Vanha materiaalin syöttö oli toteutettu erilaisilla porrastimilla ja täryttimillä, sekä hyödyntämällä painovoimaisia liukuja materiaalin siirtämiseen varastoastioista kokoonpanoroboteille. Kokoonpanorobotit huolehtivat itse komponenttien etsimisestä ja poimimisesta.

Taulukon 1 nelikenttään on koottu vanhan materiaalinsyöttöjärjestelmän vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia.

Taulukko 1. SWOT analyysi vanhalle materiaalinsyöttöjärjestelmälle.

<p><b>Vahvuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yksinkertainen</li> <li>• Edullinen</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tukkeutuu helposti</li> <li>• Hidas</li> <li>• Materiaalin takaisinkierto</li> </ul>
<p><b>Mahdollisuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laitteet lähes huoltovapaita</li> </ul>	<p><b>Uhat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kallis ylläpitää</li> <li>• Kokoonpano siirretään muualle</li> </ul>

Vanhan järjestelmän ehdottomia vahvuuksia oli edullisuus ja rakenteen yksinkertaisuus. Järjestelmä ei sisältänyt monimutkaisia ohjauksia tai esimerkiksi kokenäkökomponentteja, vaan hyödynsi yksinkertaisia mekaanisia liikkeitä materiaalin siirtämiseen. Järjestelmä oli yksinkertainen ja helppo huoltaa ja kuluvia osia oli helppo vaihtaa.

Vanhan järjestelmän suurimmat heikkoudet liittyivät materiaalisyötön tukkeutumiseen sekä sen hitauteen. Materiaalin syöttö tukkeutui erittäin helposti, jolloin kokoonpanorobotit joutuivat odottamaan materiaalia. Tukeutumisherkkydestä johtuen järjestelmä ei ollut riittävän luotettava suurelle kapasiteetille.

Varsinkaan korkeammalla kapasiteetilla kokoonpanorobotit eivät olisi voineet odottaa materiaalia pitkään ilman, että se hidastaisi koko tuotantolinjan tahtiaikaa. Materiaalin syötön tukkeutuminen kuormitti myös operaattoreita ja huollon henkilöstöä.

Varsinaisten materiaalin syötön ongelmien lisäksi kokoonpanorobotit joutuivat etsimään ja poimimaan tarvitsemansa komponentit käyttämällä konenäköä. Konenäköä käyttämällä poiminta ei ole kuitenkaan riittävän tarkkaa, jotta kokoonpanorobotit voisivat siirtyä poiminnasta suoraan työkierron seuraavaan vaiheeseen. Tästä johtuen kokoonpanorobotit joutuivat korjaamaan otettaan komponentista ennen siirtymistä työkierron seuraavaan vaiheeseen. Otteen korjaamisesta ja materiaalin syötön hitaudesta johtuen kokoonpanorobotit eivät yksinkertaisesti ehtisi tekemään kaikkia työkiertonsa vaiheita tahtiajan puitteissa, etenkin korkeammalla kapasiteetilla.

Vanhan järjestelmän mahdollisuutena voitaisiin pitää tilannetta, missä poiminnan nopeutta saataisiin jollakin keinolla parannettua ja tukkeutumisongelmat eliminoidua ilman, että syöttöjärjestelmää tarvitsisi muuttaa merkittävästi. Tällöin järjestelmän yksinkertaisuus, komponenttien kustannukset ja huollon tarve olisi varsin hyvällä tasolla. Valitettavasti tämän tyyppisen muutoksen käytännön toteutukseen ei keksitty keinoja tämän opinnäytetyön puitteissa.

Vanhassa syöttöjärjestelmässä pysymisen uhkana olisi voinut pitää sitä, että linja koetaan liian epävarmaksi ja kalliiksi ylläpitää johtuen jatkuvasta operaattoreiden ja asentajien tarpeesta. Ylläpidon kannalta kalliin tuotantolinjan operointi ei olisi kannattavaa, minkä takia tuotantoa saatettaisiin siirtää jonnekin muualle enenevässä määrin.

Taulukko 2. SWOT analyysi uudelle materiaalinsyöttöjärjestelmälle.

<b>Vahvuudet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nopea ja tarkka</li> <li>• Toimintavarma</li> </ul>	<b>Heikkoudet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monimutkainen</li> <li>• Kallis</li> </ul>
<b>Mahdollisuudet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapasiteetin nosto vielä korkeammaksi</li> </ul>	<b>Uhat</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Liian monimutkainen → Ei saada riittävän luotettavaksi.</li> <li>• Toteutus on liian kallis tai hidas.</li> </ul>

Tässä opinnäytetyössä kehitetty ja käyttöön otettu uusi materiaalinsyöttöjärjestelmä on toteutettu anyfeeder syöttölaitteilla ja poimintaroboteilla, sekä komponenttien siirtämiseen käytettävillä kuljettimilla. Taulukkoon 2 on koottu nelikenttä uuden materiaalinsyöttöjärjestelmän vahvuuksista, heikkouksista, mahdollisuuksista ja uhkista.

Uuden järjestelmän vahvuuksina on sen toimintavarmuus, nopeus ja paikotustarkkuus. Järjestelmässä ei ole helposti tukkeutuvia komponenttien siirtoreittejä ja järjestelmä osaa itse liikuttaa ja kääntää komponentteja sopivaan kohtaan poimintarobotille. Syöttöjärjestelmä pystyy syöttämään komponentteja riittävän nopeasti kokoonpanosoluihin, jotta päästäisiin vaadittuun suurempaan kapasiteettiin. Järjestelmän paikotustarkkuus on riittävän hyvä, jotta kokoonpanorobotit voivat poimia komponentin ja siirtyä heti seuraavaan vaiheeseen työkierronsaan. Jo yksistään paikoitusjigin poistaminen robottien työkierrosta parantaa tahtiakaa huomattavasti.

Uuden järjestelmän heikkoutena voidaan pitää sen monimutkaisuutta ja korkeaa hankintahintaa. Järjestelmä koostuu useammasta erillisestä laitteesta ja mm. konenäkökamerasta, joiden pitää toimia saumattomasti yhteen. Johtuen tästä myös mahdolliset vikatilanteet voivat olla vaikeasti selvitettäviä ja haitata merkittävästi järjestelmän toimintaa.

Uusi materiaalinsyöttöjärjestelmä mahdollistaa kapasiteetin nostamisen edelleen korkeammaksi kuin projektin alkuvaiheessa tavoiteltu 5000 kappaletta

päivässä. Nykyisillä konenäkökomponenteilla ja poimintarobotin liikenopeuksilla voidaan päästä noin 12–13 sekunnin tahtiaikaan, mikä vastaa karkeasti noin 6000 kappaletta päivässä. Arvio perustuu simulaattorilla suoritettuun sovellukseen, missä robotti on poiminut tallennettujen kuvien perusteella komponentteja ja asettanut ne kuljetuspöteihin ilman viiveitä tai muiden tuotantolinjan laitteiden odottelua. Normaalissa tuotantokäytössä poimintarobotti tyypillisesti odottaa ajoittain kuljetuspöteitä ennen poimintaa.

Uuden järjestelmän suurimpana uhkana voisi pitää tilannetta, että järjestelmää ei saataisi järkevässä ajassa ja järkevillä resursseilla toteutettua riittävän luotettavaksi. Tästä syystä koko projekti saatettaisiin perua ja tuotantoa siirtää jonnekin muualle.

#### **4 Uuden syöttöjärjestelmän toteutus**

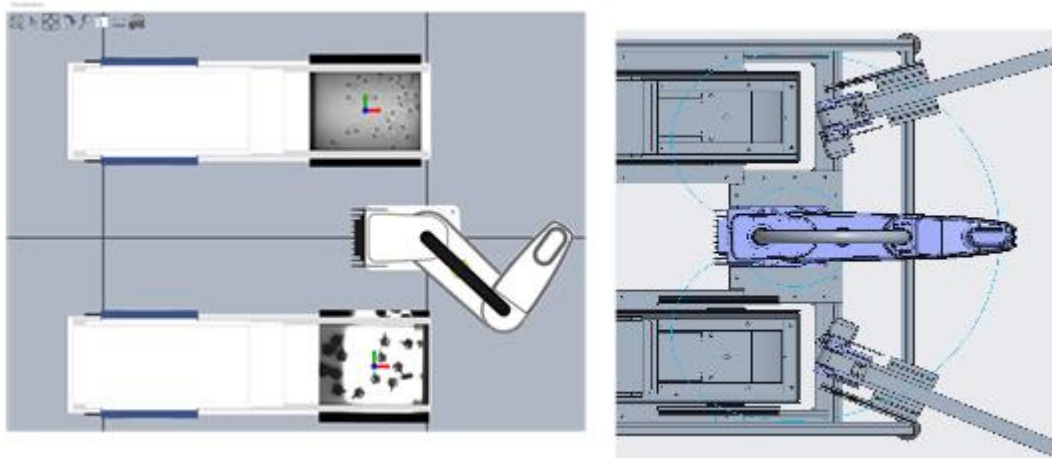
Syöttöjärjestelmän kehittäminen tehtiin yhteistyössä GE:n globaalien automaatiotiimien kanssa. Globaali automaatiotiimi osallistui mm. komponenttivalintoihin sekä toimitti projektissa käytettävät poimintarobotit, anyfeeder syöttölaitteet ja näihin liittyvät konenäkökomponentit sekä mm. ohjaukseen käytettävät tietokoneet. GE:n globaali automaatiotiimi oli osallisena myös ”Proof of Concept” -tutkimuksen teettämisessä ennen varsinaista projektin toteutusta. Tutkimuksella pyrittiin varmistamaan se, että valitulla kokoonpanolla pystyttäisiin saavuttamaan tavoiteltu tahtiaika. Tutkimus toteutettiin vastaavalla poimintarobotilla ja anyfeedereillä sekä oikeilla poimittavilla komponenteilla.

Järjestelmän detaljisuunnittelu, kokonpano ja käyttöönotto toteutettiin Helsingin tehtaalla. Helsingin tehtaan mekaniikkapaja valmisti suuren määrän projektissa tarvittavia komponentteja, mm. syöttöjärjestelmän suojahäkin, ja suuren määrän erilaisia kiinnikkeitä antureille ja kuljettimille sekä poimintaroboteissa käytettävät tarttijat.

Syöttöjärjestelmäkokonaisuus koostuu kahdesta lähes identtisestä poimintarobottisolusta, joihin on asennettu kumpaankin yksi poimintarobotti ja kaksi

anyfeeder syöttölaitetta. Anyfeederit on asennettu poimintarobotin kummallekin puolelle. Anyfeeder syöttölaitteita on siis yhteensä neljä, koska järjestelmän piti pystyä syöttämään tuotantolinjalle neljää erilliskomponenttia: kansia, runkoja, säiliöitä ja klipsejä. Poimintarobotin ja syöttölaitteiden lisäksi kumpaankin poimintasoluun on asennettu kaksi kuljetinta komponenttien siirtämistä varten sekä kaksi konenäkökameraa valaistuksineen. Kameroita käytetään komponenttien etsimiseen, paikoittamiseen sekä anyfeedereiden täyttöasteen määrittämiseen.

Kuvassa 9 on esitetty poimintarobotin ja anyfeedereiden sijoittelua. Kuvassa vasemmalla on sijoittelu Omronin ACE-kehitysympäristössä ja oikealla mekaniikkasuunnitteluun käytetystä CREO Parametric -ohjelmistosta.



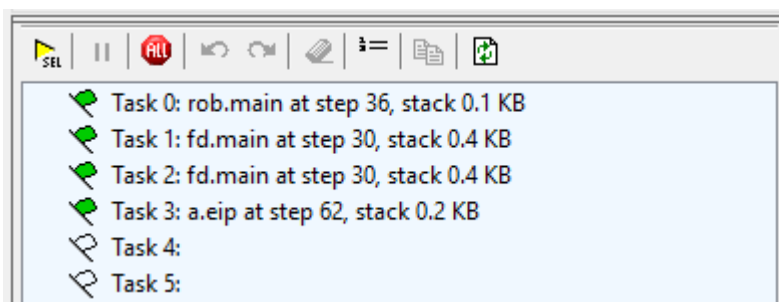
Kuva 9. Komponenttien sijoittelu (kuva: Aleks Oinas).

Poimintarobotti poimii syöttämänsä kokoonpanosolun tahdissa komponentteja anyfeedereiltä ja asettaa ne kuljettimien kuljetuspöteroihin. Ideaalitalanteessa poimintarobotti poimii komponentteja vuorotellen kummaltakin anyfeederiltä.

Poimintarobotin sekä anyfeedereiden ohjaukseen käytettävä sovellus kehitettiin siten, että anyfeeder syöttölaitteet sekä poimintarobotti toimivat kukin omilla tehtävissään. Tällä tavalla mahdollistettiin se, että järjestelmä pystyy suorittamaan samanaikaisesti useampia tehtäviä, esimerkiksi poimimaan

komponentteja toiselta anyfeederiltä ja samaan aikaan etsimään konenäöllä poimittavaksi kelpaavia kappaleita toiselta.

Kuvassa 10 on listattu sovelluksen rinnakkain suoritettavia tehtäviä. Tehtävä 0 (Task 0) sisältää varsinaisen poimintarobottisovelluksen ja robotin liikkeisiin liittyvät ohjaukset. Tehtävät 1 ja 2 (Task 1 ja Task 2) ovat anyfeedereiden ohjaukseen ja konenäköön käytettävät tehtävät. Kumpikin anyfeeder käyttää itsenäisesti omaa kameraansa komponenttien etsintään ja täyttöasteen määrittämiseen. Anyfeederit ilmoittavat poimintarobotille onko komponentti poimittavissa vai ei ja poimittavan komponentin sijainnin. Tehtävä 3 (Task 3) sisältää kommunikointiin liittyviä toimintoja mm. kuljettimien liikekäskyt ja antureiden tilatietoja.



Kuva 10. ACE-sovelluksen rinnakkaiset tehtävät (kuva: Aleksi Oinas).

Anyfeedereiden liikkeitä rajoitettiin siten, että kumpikaan anyfeeder ei saanut liikkua samaan aikaan, kun robotti oli joko poimimassa komponenttia tai asettamassa poimimaansa komponenttia kuljettimen poteroon. Tällä pyrittiin minimoimaan kappaleiden liikkuminen ja poimintarobotin heiluminen poiminnan ja komponenttien jättämisen aikana. Heilunnalla ja kappaleiden liikkumisella olisi suora vaikutus robotin tarkkuuteen ja poimintojen onnistumiseen.

Poimintarobotti päättää poiminnan onnistumisen tai epäonnistumisen imukupitarttujaan liitetyn paineanturin avulla. Jos poiminnan jälkeen imukupin alipaine on asetusarvoa suurempi, robottisovellus olettaa, että tarttujassa on kiinni komponentti. Jos alipaine on liian pieni, robotti sammuttaa tarttujan imun ja yrittää poimintaa uudelleen. Robotti siirtyy varmuuden vuoksi poiminta-alueen yläpuolelle irrottamaan otteensa, jos tarttujassa olisi heikosta alipaineesta huolimatta

kiinni komponentti. Ennen poiminnan uudelleen yritystä robotti pyytää anyfeederiä liikuttamaan kappaleita ja paikoittamaan poimittavan komponentin uudelleen. Liikkeellä pyritään estämään tilanne, missä robotti lähtisi uudelleen ja uudelleen hakemaan samaa kappaletta, josta se ei aikaisemmin saanut otetta. Jos poiminta onnistuu, robotti siirtää kappaleen kuljettimella odottavaan kuljetuspoteron ja lähettää poteron kokoonpanosoluun.

Kuljettimien päätyihin asennettiin optiset anturit, joiden avulla järjestelmä havaitsee, onko potero paikoillaan ja onko poterossa komponentti vai ei. Jos poterossa on jo komponentti, robotti lähettää poteron eteenpäin kokoonpanosoluun. Kuljettimien kokoonpanosolun päässä on vastaavalla tavalla optiset anturit seuraamassa poteroiden saapumista kokoonpanosoluun. Järjestelmä pysäyttää antureiden avulla kuljetuspoteron oikeaan kohtaan kokoonpanosolussa ja seuraa, onko poterossa komponenttia vai ei. Anturitiedot siirtyvät kenttäväylän välityksellä järjestelmän syöttämään kokoonpanosoluun. Kun potero on saapunut kokoonpanosoluun ja poterossa on poimittava komponentti, kokoonpanorobotti poimii komponentin ja lähettää käskyn siirtää potero takaisin materiaalinsyöttösoluun.

#### 4.1 Turvapiirit

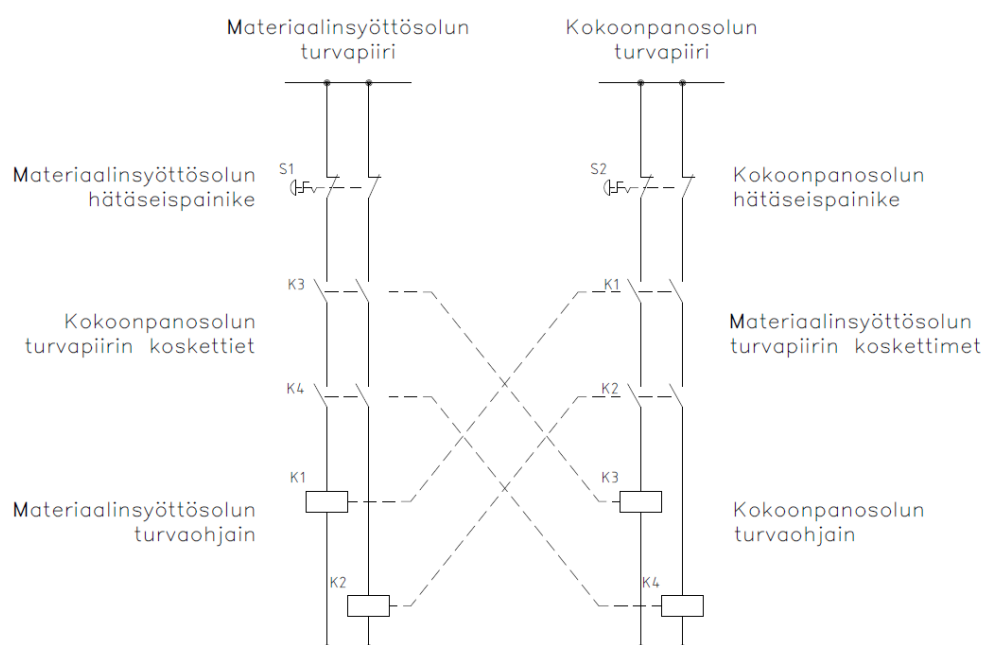
Sekä poimintarobottisoluihin että varsinaisissa kokoonpanosoluihin on omat turvapiirit sekä hätäseispainikkeet. Koska mm. kuljettimet ulottuivat sekä poimintarobottien että kokoonpanorobottien toiminta-alueille, turvapiirit yhdistettiin toisiinsa. Poimintasolun turvapiiri yhdistettiin sen syöttämän kokoonpanosolujen turvapiiriin tai -piirien kanssa. Tällä tavalla poimintasolu ja kaikki sen syöttämät kokoonpanosolut ovat samassa turvapiirissä.

Yhdistettyjen turvapiirien kuittaaminen tapahtuu yhteisellä kuittauspainikkeella, joka sijaitsee kokoonpanolinjan puolella. Tällä tavalla mitä tahansa hätäseispainiketta painamalla pysähtyy sekä kokoonpanosolu että sitä syöttävä materiaalinsyöttösolu.



Turvapiirien yhdistämisessä hyödynnettiin poimintarobottien sisäänrakennettuja turvaohjaimia, joihin oli mahdollista liittää ulkoisia turvapiirejä. Myös kokoonpanosolujen turvaohjaimiin oli mahdollista liittää ulkoisia turvapiirejä. Näiden ominaisuuksien ansiosta turvapiirien yhdistäminen onnistui pääosin kaapelointia ja johdotusta muuttamalla.

Kuvassa 11 on esitetty turvapiirien yhdistämistä periaatetasolla. Kuvassa vasemmalla on esitetty materiaalinsyöttösolun turvapiiri ja oikealla puolella kokoonpanosolun turvapiiri.



Kuva 11. Turvapiirien yhdistäminen (kuva: Aleks Oinas).

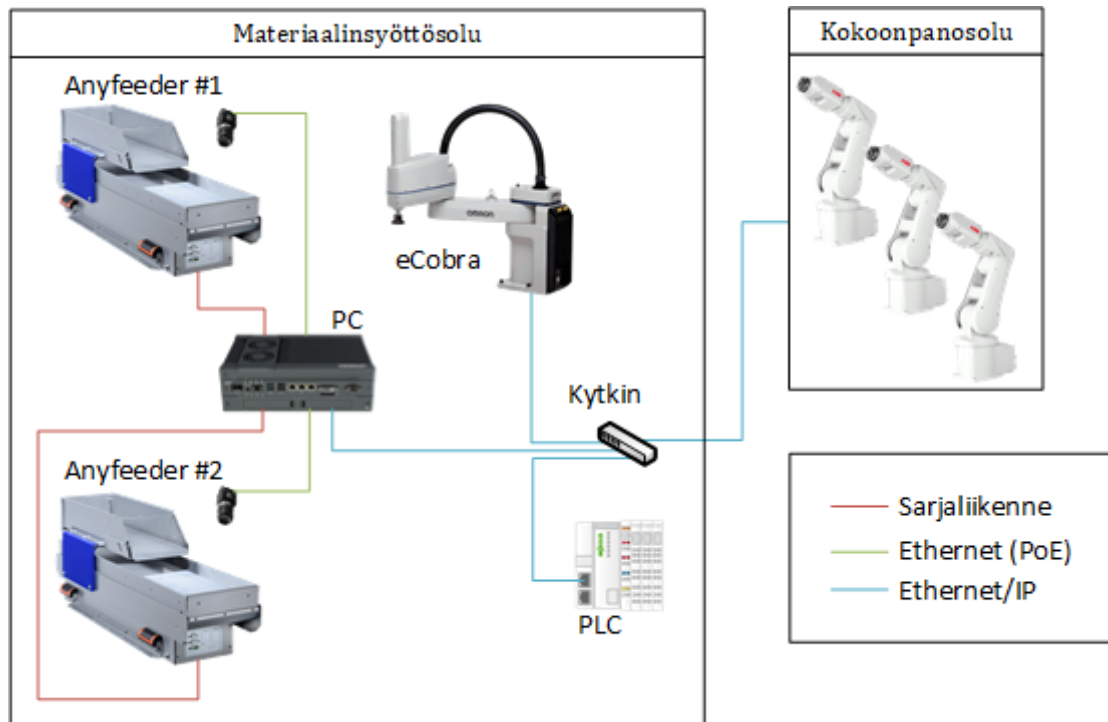
Kumpaankin turvapiiriin on lisätty toisen turvapiirin koskettimet sarjaan hätäseispainikkeiden kanssa, jolloin piirit käytännössä katkaisevat toinen toisensa. Tällä tavalla kummankin solun turvapiirit katkeavat, kun mitä tahansa hätäseispainiketta painetaan.

## 4.2 Kommunikointi

Koska järjestelmä koostui useammasta laitteesta, joiden tulisi toimia yhdessä, laitteet liitettiin keskenään samaan kenttäväylään. Kenttäväylä valikoitui sen perusteella, mikä väylä oli jo ennestään käytössä kokoonpanosoluissa. Kenttäväylän käyttäminen yksinkertaisti ja nopeutti laitteiden liittämistä toisiinsa ja mm. vähensi johdotuksen ja kaapeloinnin määrää laitteiden välillä. Kenttäväylää hyödyntämällä kokonaisuudesta saatiin myös helpommin muunneltava, mihin olisi mahdollista lisätä signaaleita ja tiedonsiirtoa laitteiden välillä mahdollisimman helposti. Kiinteällä johdotuksella toteutetun kommunikoinnin muutokset vaativat aina sekä johdotuksen että sovelluksen muuttamista. Kenttäväylää käyttämällä muutoksia tarvitsisi tehdä ainoastaan sovelluksiin.

Järjestelmä käyttää kommunikoinnissa pääasiassa sarjaliikennettä sekä Ethernet/IP kenttäväylää. Kameroiden kommunikointi ja sähkönsyöttö toteutettiin PoE (Power over Ethernet) kaapeloinnilla. Anyfeeder syöttölaitteet kommunikoiivat sarjaliikennettä käyttäen poimintarobotin kanssa. Poimintarobotti pystyi antamaan anyfeedereille erilaisia liikekäskyjä, joilla komponentteja pyrittiin liikuttamaan poiminta-alueelle helpommin poimittaviksi.

Poimintarobottiin integroitu ohjain (ePLC) kommunikoi muun laitteiston, mm. kokoonpanorobottien sekä kuljettimia ohjaavan PLC:n kanssa käyttämällä Ethernet/IP kenttäväylää. Kenttäväylässä ei siirretty mitään turvatoimintoja tai suoraan turvapiireihin liittyviä signaaleja vaan kommunikointia käytettiin ainoastaan ohjauksien ja laitteiden väliseen tiedonsiirtoon.

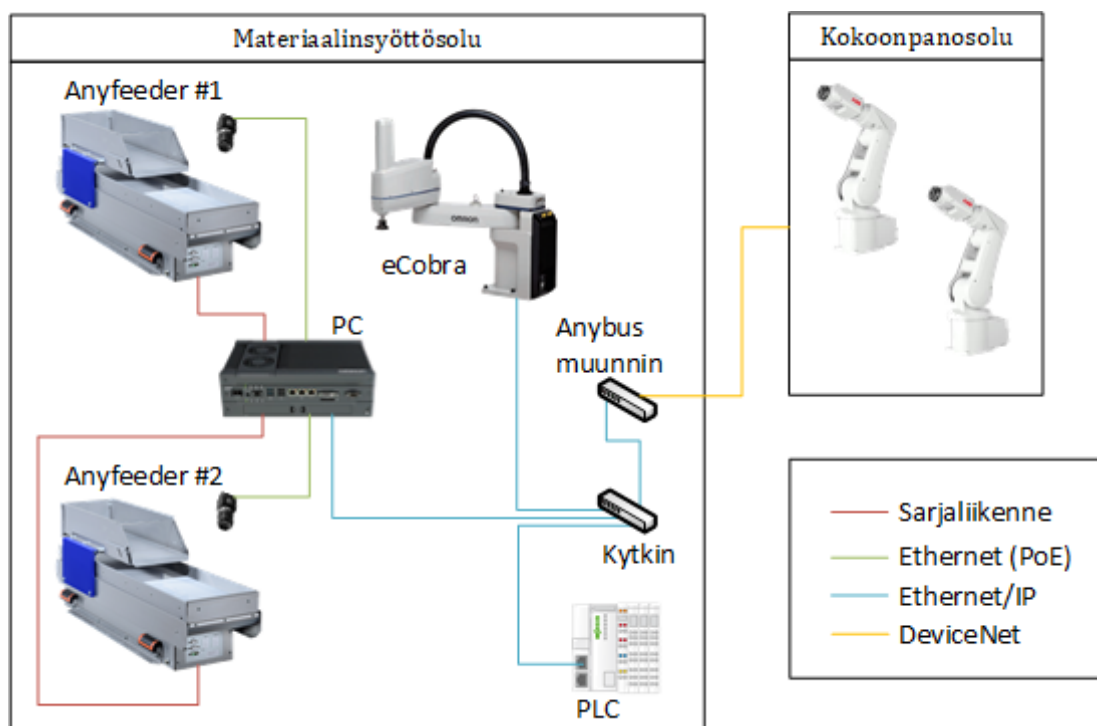


Kuva 12. Kommunikoinnin periaatekuva (kuva: Aleks Oinas).

Kuvassa 12 on esitetty kommunikoinnin periaatetta. Kuvassa vasemmalla on kuvattu materiaalinsyöttösolun eri osat sekä näiden väliset kommunikointiyhteydet ja oikealla puolella varsinainen kokoonpanosolu. Koska komponentit siirtyvät kuljettimilla materiaalinsyöttösolusta kokoonpanosoluun ja kuljettimien liikkeet riippuvat useammasta laitteesta, kuljettimien ohjauksen toteutus oli yksinkertaisinta toteuttaa kenttäväylän avulla. Sekä poimintarobotti että kokoonpanosolu ilmoittivat kuljettimia ohjaavalle ohjelmoitavalle logiikalle (PLC), milloin kuljettimia sai liikuttaa ja milloin ei. PLC vastaavasti ilmoitti poimintarobotille koska komponentin voi asettaa kuljettimelle ja kokoonpanosolulle koska komponentti on poimittavissa.

Ensimmäinen materiaalinsyöttösolu pystyttiin liittämään suoraan samaan kenttäväylään alkukokoonpanon robottien kanssa. Toisen syöttösolun kommunikoinnissa hyödynnettiin väylämuunninta, koska sen syöttämät kokoonpanorobotit käyttivät kommunikoinnissaan DeviceNet kenttäväylää. Väylämuuntimen avulla kahden syöttösolun kommunikointi voitiin pitää lähes identtisenä, eikä

kokoonpanosolujen olemassa olevaan kommunikointiin tarvinnut tehdä suuria muutoksia.



Kuva 13. Kommunikointi väylämuuntimella (kuva: Aleks Oinas).

Kuvassa 13 on esitetty kommunikoinnin periaatetta väylämuuntimen lisäyksen jälkeen. Kuvasta nähdään, että kaikki muut komponentit materiaalinsyöttösolun puolella ovat pysyneet ennallaan ja ainoastaan verkkokytkimen ja kokoonpanosolun välistä osaa kommunikoinnista on muutettu käyttämään DeviceNet väylää.

Kenttäväylämuuntimen tehtävänä oli linkittää EtherNet/IP väylän puolella olevat signaalit DeviceNet väylän puolella oleviin signaaleihin. EtherNet/IP väylän, eli materiaalinsyöttösolun, puoleiset signaalien nimet konfiguroitiin identtisiksi alkukokoonpanoa syöttävän solun kanssa. Tällä tavalla myös signaalien nimet olivat molemmissa materiaalinsyöttösoluissa identtisiä. Sovellusten pitäminen mahdollisimman identtisinä materiaalinsyöttösolujen välillä helpotti niiden kehittämistä, testausta ja ylläpitoa.

#### 4.2.1 EtherNet/IP

EtherNet/IP on alkujaan Rockwellin kehittämä tiedonsiirtomenetelmä. Nykyisin protokollan kehityksestä ja yhteensopivuuden varmistamisesta vastaa ODVA. ODVA on järjestö, johon kuuluu yli 300 automaatioalalla toimivaa yritystä. ODVA mainitsee alustasta riippumattoman Common Industrial Protocolin eli CIP:n ja tämän verkkosovitukset: EtherNet/IP, DeviceNet, CompoNet ja ControlNet ydinteknologiakseen ja jäsentensä ensisijaiseksi yhteiseksi intressiksi [2].

EtherNet/IP pohjautuu TCP/IP teknologiaan ja käyttää tiedonsiirtoon samaa fyysistä kehystä. EtherNet/IP verkon topologia voi olla muodoltaan väylä, tähti, puu tai rengas. Eri topologioita voidaan myös yhdistellä verkossa. Laitteiden liittämässä voidaan hyödyntää kytkimiä ja reitittämiä samaan tapaan kuin muissakin ethernet -pohjaisissa verkoissa. ODVA ei suosittele toistimien (Hub) käyttämistä verkossa.

Kaapeloinnissa voidaan käyttää perinteisiä verkkokaapeleita: mm. CAT5, CAT5e ja CAT6. ODVA suosittelee käyttämään kaapelointiin parisuojattuja kaapeleita (STP), jotka on maadoitettu toisesta päästään.

#### 4.2.2 DeviceNet

DeviceNet on avoin kenttäväylä, minkä kehitystä ja yhteensopivuutta valvoo EtherNet/IP:n tavoin ODVA. Toisin kuin EtherNet/IP edellä, DeviceNet hyödyntää tiedon siirrossa CAN-tekniikkaa. CAN-väylässä vastaanottavat moduulit päättelevät sanomatunnisteesta, kuuluuko viesti sille vai ei. Sama sanoma välitetään väylän kaikille moduuleille [3].

Väylän kaapelointiin käytetään kaksi parista parisuojattua (STP) kaapelia ja väylä tulee päättää kummastakin päästään 121 ohmin päätevastuksilla. Väylässä voi olla liitettyä enintään 64 moduulia, joista aina vähintään yksi on ns. master -moduuli. Moduulit erotetaan toisistaan ns. noodinumerolla, joka saa esiintyä väylässä ainoastaan kerran.

### 4.3 Anyfeederit

Anyfeeder järjestelmä on Omronin kehittämä materiaalin syöttölaite ja poiminta-alusta, jolta voidaan poimia eri kokoisia ja muotoisia kappaleita. Järjestelmä yhdistää konenäön ja robotiikan yhdeksi kokonaisuudeksi, mikä soveltuu massatuotanto-osien joustavaan syöttöön [4]. Kuvassa 14 on esitetty projektissa käytetty anyfeeder materiaalinsyöttölaite. Kuvassa ylimpänä, sinisten kiinnikkeiden varassa, on materiaalinsyöttöastia, mistä järjestelmä osaa itse lisätä komponentteja poiminta-alustalle. Itse poiminta-alusta on kuvassa laitteen oikeassa päädyssä oleva sileäpintainen metallireunuksilla rajattu alue. Laitteen etuosassa on sen tarvitsemat liitännät. Liitäntöjä ovat sarjaportti tiedon siirrolle ja sähkönsäähke sekä paineilman syöttö.



Kuva 14. Anyfeeder syöttölaite [4].

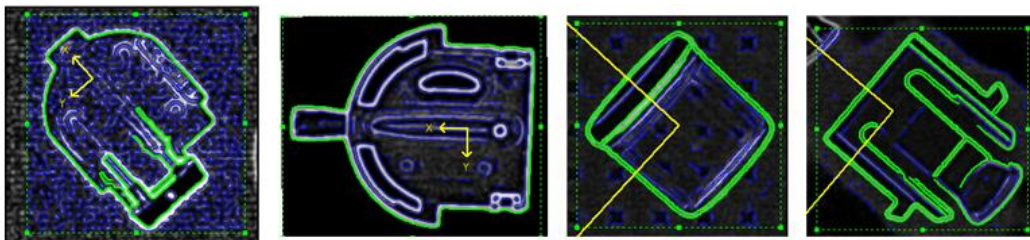
Tässä projektissa käytetyt anyfeeder syöttölaitteet ovat tyypiltään AnyFeeder SX-240. Malli soveltui enintään 1500 g komponenttikuormalle ja sen poiminta-alue on kooltaan 320 x 240 mm [4]. Mallin saa sekä taustavalolla varustettuna että ilman. Projektissa käytetyistä anyfeedereistä kolme on varustettu taustavaloilla ja yhteen on asennettu yläpuolelta tuleva valaistus. Yläpuolelta tulevaa valoa käytetään klipsien poiminnassa, koska klipsin orientaatiota ei voida päätellä pelkästään komponentin ääriviivojen perusteella.

Kolmeen anyfeederiin asennettiin sileä poimintapinta ja yhteen pintakuviointilla varustettu poimintapinta. Pintakuviointua poimintapintaa käytetään säiliön poiminnassa, koska sileällä pinnalla pyöreä säiliö voisi vieriä helposti.

Projektissa käytettiin 2048 x 2048 pikselin mustavalkokameraa 35 mm polttovälin optiikalla. Poiminta-alueen pinta-alasta ja kameran pikselimäärästä konenäön erottelukyvyyksi saatiin noin 55px / mm<sup>2</sup>. Tämä on riittävän hyvä erottelukyky, koska poimittavat kappaleet ovat kooltaan kymmeniä millimetrejä suuntaansa ja konenäöllä eroteltavat piirteet riittävän suuria. Pienimmätkin eroteltavat piirteet ovat millimetrin kokoluokkaa. Kamera pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman korkealle poimintapinnan yläpuolelle, jotta optinen vääristymä poiminta-alueen eri kohdissa olisi mahdollisimman pieni. Poimintapinnan koko sekä kamerassa käytettävä optiikka määräisivät käytännön asennuskorkeuden n. 1100 mm poimintapinnasta.

ACE-sovelluksessa kummankin anyfeederin ohjelmaa suoritettiin omassa tehtävässä (Task). Anyfeederit toimivat itsenäisesti, riippumatta toisistaan ja etsivät poimittavaksi soveltuvia komponentteja ja pitivät huolen siitä, että komponentteja on sopiva määrä poiminta-alueella. ACE-sovellukselle opetettiin poimittavien komponenttien mallit, joiden perusteella järjestelmä etsi konenäöllä poiminta-alueelta poimittaviksi kelpaavia komponentteja.

Kuvassa 15 on esitetty ACE-sovelluksessa käytetyt komponenttien etsintämallit. Jokaiselle komponentille tallennettiin malli, jonka perusteella sovellus etsi ja paikoi komponentteja poiminta-alueella.



Kuva 15. Poimittavien komponenttien etsintämallit (kuva: Aleks Oinas).

Komponenttien orientaation ei tarvitse olla välttämättä sama kuin mallissa vaan ACE-sovellukseen asetettiin raja-arvot, kuinka paljon poimittaviksi kelpaavien komponenttien orientaatio sai poiketa mallista. Myös etsittävien komponenttien koon vaihtelulle asetettiin raja-arvot ACE-sovelluksessa.

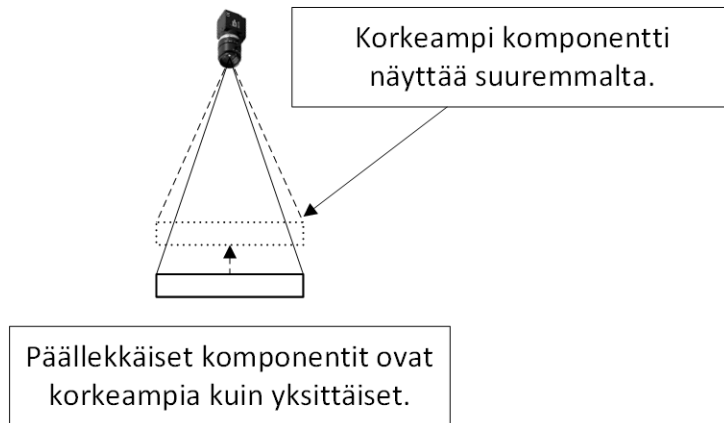
Järjestelmä päätteli poimittavaksi soveltuvat komponentit suorittamalla useampia tarkistuksia. Kuvassa 16 on esimerkkilistaus toiminnoista, jotka suoritetaan rungon paikoituksessa. Kuvan 16 esimerkissä järjestelmä tekee kuvalle ensin suodatuksia, joilla pyritään poistamaan mm. valaistuksen muutoksista johtuvia eroja. Suodatusten jälkeen järjestelmä etsii rungon mallia riittävän hyvin vastaavat komponentit poiminta-alueelta. Tämän jälkeen järjestelmä tarkistaa vielä, onko runko oikein päin ja onko komponentin ympärillä tyhjää tilaa. Varsinainen poimintapäätös tehdään vasta kun edellä olevat vaiheet on suoritettu.

Execution Order				
Index	Tool Name	Type	Show Results	Tool Execution Time (ms)
1	/ACE Sight Pick and Place/Feed2/Virtual Camera	Virtual Camera		59.700
2	/ACE Sight Pick and Place/Feed2/CoverLocator/01_HighPass	Image Processing		22.961
3	/ACE Sight Pick and Place/Feed2/CoverLocator/02_Gaussian	Image Processing		23.698
4	/ACE Sight Pick and Place/Feed2/CoverLocator/Locator_Coarse	Locator	<input checked="" type="checkbox"/>	69.478
5	/ACE Sight Pick and Place/Feed2/CoverLocator/Locator_Detail	Locator	<input type="checkbox"/>	40.014
6	/ACE Sight Pick and Place/Feed2/CoverLocator/Gripper Clearance	Gripper Clearance	<input type="checkbox"/>	7.826
7	/ACE Sight Pick and Place/Feed2/CoverLocator/Inspection	Inspection	<input checked="" type="checkbox"/>	1.493

Kuva 16. Rungon paikoitustyökalu ACE-sovelluksessa (kuva: Aleksi Oinas).

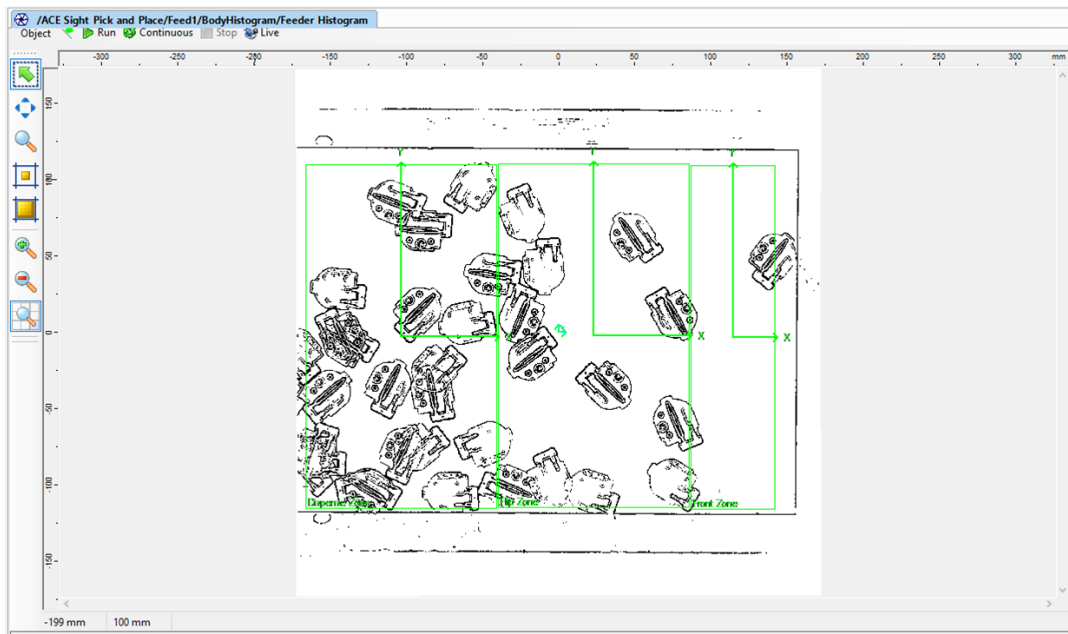
Komponenttien näennäistä koonvaihtelua hyödynnettiin päällekkäisten komponenttien tunnistamiseen. Poimintarobotti saattaisi painaa tarttujansa, poimittavan komponentin tai anyfeederin poimintapinnan rikki, jos se yrittäisi poimia päällekkäin olevia komponentteja. Kuvassa 17 on havainnollistettu komponentin näennäistä koon muuttumista komponentin eri korkeuksilla. Kuvasta voidaan nähdä, että mitä suurempi muutos korkeussuunnassa on, sitä suurempi on myös muutos komponentin näennäisessä koossa.





Kuva 17. Komponenttien näennäinen koon muuttuminen (kuva: Aleks Oinas).

Anyfeedereiden täyttöasteen määrittämiseen käytettiin ACE-kehitysympäristön histogrammityökalua. Tällä voitiin arvioida komponenttien määrä anyfeederin poiminta-alueen eri kohdissa. Yksittäisten komponenttien laskenta olisi ollut liian hidasta ja vaikeaa toteuttaa.



Kuva 18. Histogrammityökalu (kuva: Aleks Oinas).

Poiminta-alue on kuvassa 18 jaettu kolmeen osaan, joista jokaiselle lasketaan oma histogrammi. Näiden tulosten perusteella järjestelmä päättää, missä

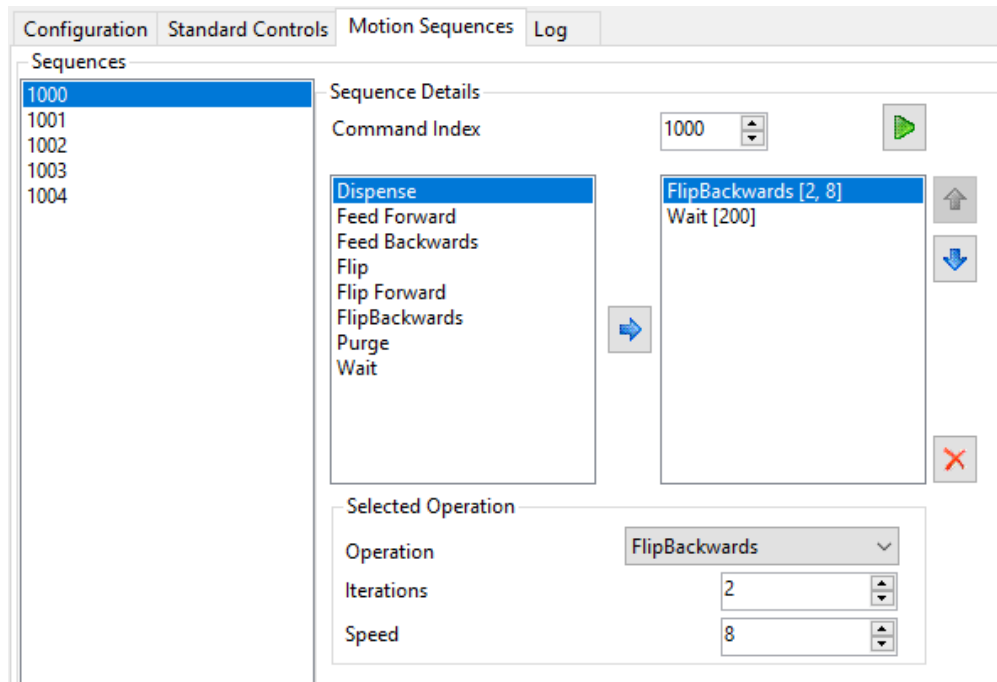
kohdissa ja kuinka paljon komponentteja poiminta-alueella on ja suorittaa tarvittaessa liikesarjoja, joilla se pyrkii liikuttamaan tai lisäämään komponentteja. Järjestelmä tarkistaa anyfeedereiden täyttöasteen joka kerta, kun poimintarobotti on poiminut komponentin.

Anyfeedereiden liikkeitä ja näiden komennot määritettiin samaisella ACE-kehitysympäristöllä, jolla toteutettiin myös konenäön tehtävät sekä poimintarobotin sovellus. Jokaiselle anyfeederille määritettiin viisi vakioliikesarjaa, joilla komponentteja pyrittiin siirtämään paremmin poimittaviksi. Liikesarjat olivat:

- Siirto taaksepäin
- komponenttien kääntäminen
- komponenttien lisääminen
- siirto eteenpäin
- komponenttien heilautus.

Jokaiselle liikkeelle määritettiin liikkeen tyyppi, toistokerrat sekä liikenopeus. Liikesarjoja voitiin myös kutsua peräkkäin, jolloin kappaleita saatiin esimerkiksi lisättyä poiminta-alustalle ja seuraavalla komennolla siirrettyä kohti poiminta-alueita. Kuvassa 19 on anyfeederin liikkeiden määrittämiseen käytetty näkymä ACE-kehitysympäristössä.

Kaikille anyfeedereille määritettiin samat liikesarjat, mutta liikkeiden parametrit vaihtelivat komponentin mukaan. Jotkin komponenteista tarvitsivat esimerkiksi kääntämiseen liikkeiden toistamisen useampaan kertaan, kun taas toiset komponenteista kääntyivät paremmin yhdellä nopealla liikkeellä



Kuva 19. Anyfeederin liikkeet (kuva: Aleksi Oinas).

Järjestelmä suoritti liikesarjoja konenäön histogrammityökalun tulosten perusteella. Esimerkiksi jos komponentteja oli riittävästi poiminta-alueella, mutta järjestelmä ei löytänyt yhtään poimittavaksi soveltuvaa, järjestelmä päätteli, että komponenttien pitää olla joko päällekkäin, väärinpäin tai väärässä orientaatiossa. Tämän jälkeen järjestelmä lähetti anyfeederille komponenttien kääntö -komenton. Tällä tavalla järjestelmä yritti kääntää ja samalla siirrellä komponentteja paremmin poimittaviksi. Tätä, histogrammin ja liikkeiden sarjaa toistettiin, kunnes konenäkö löysi poimittavan komponentin.

Histogrammin ja liikkeiden määrittäminen tehtiin koeajon aikana pienillä muutoksilla. Liian suuret tai nopeat liikkeet saattoivat heittää komponentteja pois anyfeederin poiminta-alustalta lattialle ja toisaalta liian verkkaiset liikkeet eivät saaneet komponentteja siirtymään ja mm. kääntymään. Vastaavalla tavalla histogrammityökalun muutokset vaikuttivat viiveellä siihen, millä alueilla komponentteja on ja kuinka paljon. Histogrammi pyrittiin määrittämään siten, että komponentteja olisi kaikissa tilanteissa mieluummin vähän kuin liian paljon. Jos

komponentteja on liikaa poiminta-alueella, niiden erottaminen toisistaan on vaikeaa ja irrallisten komponenttien löytyminen epätodennäköistä.

#### 4.4 eCobra Pro 600

Syöttöjärjestelmässä käytetyt eCobra 600 Pro robotit ovat Omronin kaupallisia 4-akselisia ns. SCARA robotteja. Kuva 20 esittää projektissa käytävää eCobra 600 Pro -poimintarobottia.



Kuva 20. eCobra 600 Pro -robotti [5].

eCobra mallissa ePLC ohjain on integroitu suoraan poimintarobotin takaosaan, eikä sitä tarvitse erikseen hankkia ja asentaa. Kuvassa 20 ePLC on asennettu robotin takaosassa näkyvien mustien jäähdytysripojen alle. Projektissa käytetyn poimintarobotin ulottuma on 600 mm, jonka ansiosta yksi poimintarobotti pystyy poimimaan kahta eri komponenttia, kahdelta anyfeederiltä. Kuvassa 21 on esitetty projektissa käytetyn poimintarobotin työskentelyalueen mittoja.

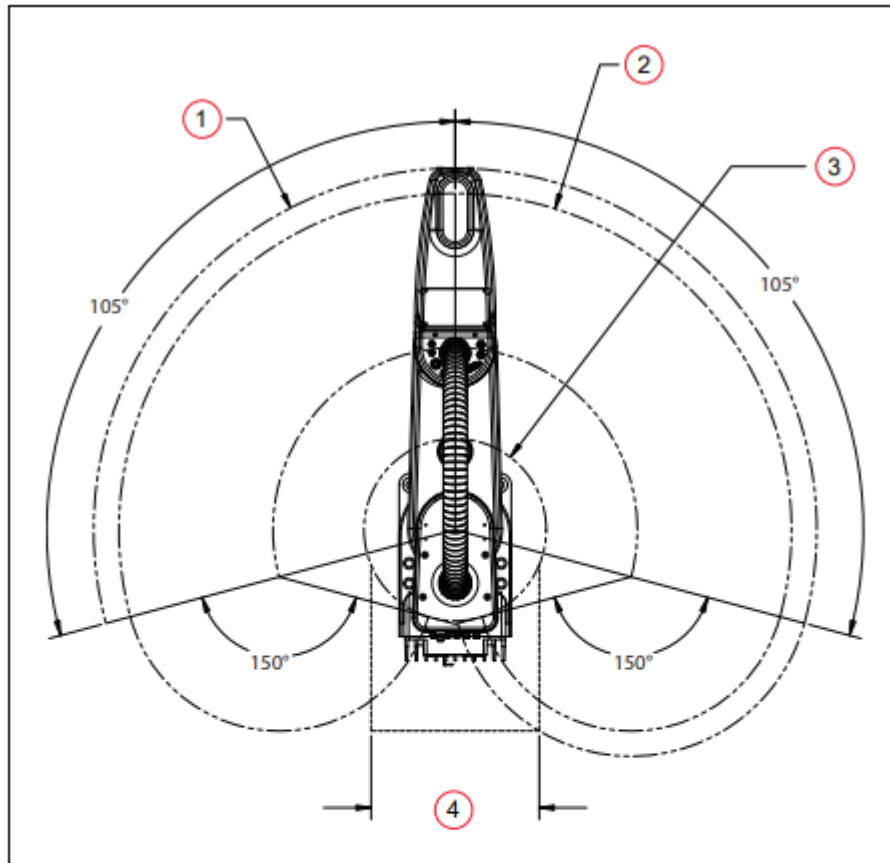


Figure 8-12. eCobra 600 Robot Working Envelope

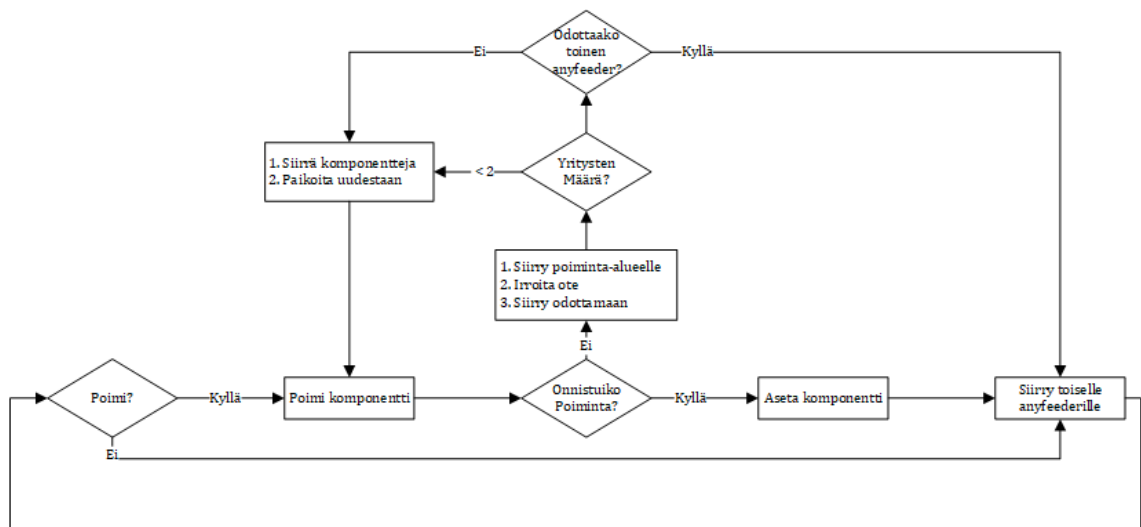
Table 8-6. eCobra 600 Robot Working Envelope Description

Item	Description
1	Maximum Intrusion Contact Radius (R 647 mm)
2	Maximum Radial Reach Functional Area (R 600 mm)
3	Minimal Radial Reach (R 162.6 mm)
4	Cartesian Limits (300 mm)

Kuva 21. eCobra 600 työskentelyalue [5].

Poimintarobottin ohjaussovellus kehitettiin Omronin ACE-kehitysympäristössä yhdessä anyfeedereiden ohjauksen kanssa. Robottisovelluksen työkierto toteutettiin siten, että robotti odotti kuljettimia ohjaavalta PLC:ltä tietoa, kumpi komponentti sen pitäisi poimia. Poiminnan päätteeksi robotti päätteli alipaineanturin avulla, oliko poiminta onnistunut vai ei. Tuloksesta riippuen robotti jatkoi joko seuraavaan työvaiheeseen tai yritti poimintaa uudelleen.

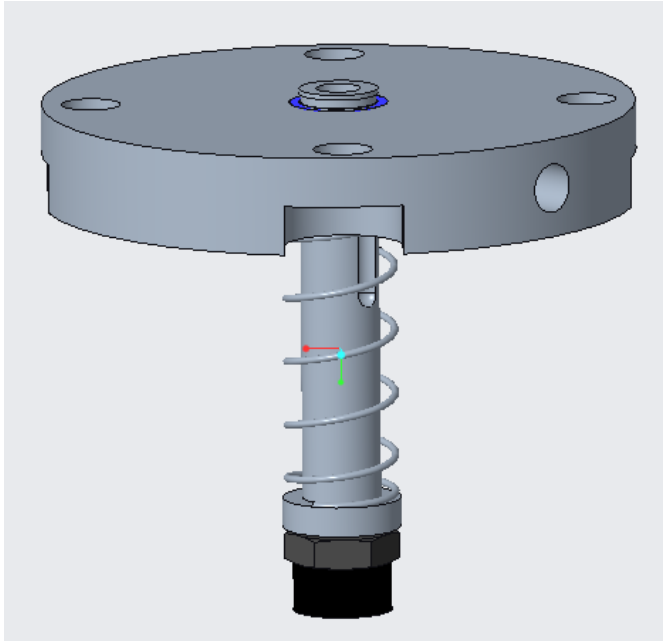
Robottisovellukseen tehtiin poiminnan uudelleen yritys siten, että robotti yritti poimintaa enintään kaksi kertaa, joiden väleissä robotti pyysi anyfeederiä liikuttamaan komponentteja ja etsimään poimittavan komponentin uudelleen. Kahden yrityksen jälkeen robotti tarkisti, tarvitsisiko sen poimia välillä komponentti toiselta anyfeederiltä. Toiminto tehtiin sovellukseen sen takia, ettei toisen komponentin syöttäminen viivästyisi turhan paljoa, jos toisen komponentin poiminnassa olisi ongelmia.



Kuva 22. Poimintarobottin työkierto (kuva: Aleks Oinas).

Onnistuneen poiminnan jälkeen robotti asetti komponentin kuljettimella olevaan kuljetuspöteroon ja pyysi kuljettimia ohjaavaa PLC:tä siirtämään poteron kokoonpanosoluun.

Koska materiaalinsyöttöjärjestelmän piti pystyä syöttämään yhteensä neljää erilaista komponenttia kokoonpanolinjalle, myös poimintarobottien tarttujat piti suunnitella kaikille neljälle komponentille soveltuvaksi. Kuvassa 23 on järjestelmään toteutettu imukupitarttuja.



Kuva 23. Robotin tarttuja (kuva: Aleks Oinas).

Komponenttien poiminnassa päädyttiin imukuppitarttujaan, koska poimittavat komponentit ovat kevyitä ja niiden pinta on riittävän sileä imukupille. Tarttujasta haluttiin tehdä sellainen, että sama tarttuja toimisi kummassakin materiaalin-syöttösolussa. Saman tarttujan käyttäminen yksinkertaistaa huoltoa ja vara-osien koneistamista, jos tarttuja rikkoutuisi esim. törmäyksen seurauksena.

Tarttujaan tehtiin joustava kärki, jotta poimintarobotti ei painaisi tarttujaa, komponentteja tai anyfeederin pintaa rikki, jos poimittavia komponentteja olisi päällekkäin. Vaikka konenäkö tarkistukseen lisättiin päällekkäisyyden tarkistusta, päällekkäisten komponenttien poimintayritykset ovat edelleen mahdollisia. Jos komponentit asettuvat riittävän tarkasti päällekkäin ja ovat riittävän matalia, niiden ääri viiva näyttää yhdeltä komponentilta, eikä komponentin näennäinen koko ole muuttunut niin paljoa, että järjestelmä tulkitseisi sen olevan liian suuri. Komponentin näennäinen koko muuttuu sitä suuremmaksi mitä lähempänä se on kameraa. Erityisesti kansien päällekkäisyys on vaikea tarkistaa luotettavasti konenäköllä, koska kansi on läpinäkyvä ja kohtuullisen matala.

## 4.5 Oheislaitteet

Poimintarobotin ja anyfeedereiden lisäksi projektin toteutuksessa tarvittiin joukko muita komponentteja, mm. syöttöjärjestelmän rungot sekä kuljettimet. Syöttöjärjestelmien rungot sekä poimintarobottien ja anyfeedereiden suojahäkit suunniteltiin CREO Parametric suunnitteluohjelmistolla ja tilattiin alihankintana. Ainoastaan näiden kokoaminen toteutettiin tehtaalla. Tällä tavalla saatiin vähennettyä tehtaan mekaniikkapajan työkuormaa, eikä materiaalia tarvinnut hankkia tehtaalle enempää kuin mitä runkoihin ja suojahäkkeihin kului.

Kuljettimien ohjaukseen ja käyttöliittymän toteutukseen valittiin Wago PFC100 -sarjan ohjelmoitava logiikka. PFC100-sarjan logiikka valikoitui entuudestaan tuttuun ohjelmointiympäristön, hyvän liitettävyyden ja monipuolisten ominaisuuksien takia. Logiikka sisältää mm. sisäänrakennetun verkkopalvelimen, jota hyödynnettiin käyttöliittymien tekemisessä. Tämän lisäksi PFC100 -sarjan logiikkaan saa asennettua Codesys käyttöjärjestelmän, mikä mahdollisti mm. Ethernet/IP kenttäväylän käyttämisen [6].

### 4.5.1 Ohjelmoitava logiikka

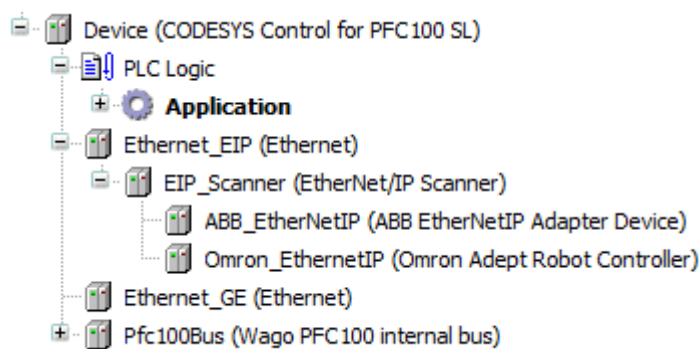
Kommunikointiin, käyttöliittymään ja kuljettimien ohjaukseen käytettiin Wago PFC100 -sarjan ohjelmoitavaa logiikkaa. Varsinainen PLC-sovellus kehitettiin Codesys ohjelmointiympäristöllä. Projektissa päädyttiin käyttämään Codesysiä, koska kommunikointi eri laitteiden välillä toteutettiin EtherNet/IP kenttäväylällä. Codesys sisälsi tuen sekä EtherNet/IP scanner (master) että adapter (slave) ominaisuuksille. Codesys sisältää kaikki viisi IEC 61131-3 mukaista ohjelmointitapaa:

- IL – Instruction list – Käskylista.
- ST – Structured text – Rakenteinen teksti.
- LD – Ladder logic – Tikapuukaavio.
- FBD – Function block diagram – Toimintolohko.
- SFC – Sequential function chart – Vuokaavio-ohjelmointi.



Lisäksi CODESYS sisältää graafisen editorin CFC – Continuous function chart – Sekvenssikaavio-ohjelmointi, mikä ei ole IEC 61131-3 mukainen [7].

Kuvassa 24 on esitetty PLC sovelluksen kommunikoinnin komponentteja. PLC:hen määritettiin yksi EtherNet/IP scanner (master), joka kommunikoi sekä poimintarobotin että kokoonpanosolun kanssa. Koska toisen syöttöjärjestelmän tarvitsema DeviceNet kommunikointi toteutettiin väylämuuntimen avulla, voitiin kommunikointi pitää muilta osin lähes identtisenä ensimmäisen järjestelmän kanssa.



Kuva 24. PLC kommunikointi (kuva: Aleks Oinas).

PLC:n toinen verkkoportti konfiguroitiin liitettäväksi tehtaan tietojärjestelmään. Väyläliitäntäisten laitteiden lisäksi PLC:hen liitettiin joukko digitaalituloja ja -lähtöjä. Tuloja ja lähtöjä käytettiin antureiden liittämiseen ja kuljettimien ohjaukseen.

PLC kommunikointiin kokoonpanosolun kanssa määritettiin 8 tavua kumpaankin suuntaan. Näistä kahdeksasta tavusta käytettiin aluksi ainoastaan neljää bittiä kumpaankin suuntaan. Näillä saatiin välitettyä tarvittavat signaalit järjestelmien välillä. Loput signaaleista jätettiin kommunikointiin mahdollisia laajennuksia varten.

Variable	Mapping	Channel	Address	Type	Unit	Description
Exclusive Owner		Input Data_Param0	%IB496	BYTE		1st ABB Bytes: 0..7
Application.ABB.Conveyor1Release		Bit0	%IX496.0	BOOL		
Application.ABB.Conveyor2Release		Bit1	%IX496.1	BOOL		
Application.ABB.Conveyor1Interlock		Bit2	%IX496.2	BOOL		
Application.ABB.Conveyor2Interlock		Bit3	%IX496.3	BOOL		
		Bit4	%IX496.4	BOOL		
		Bit5	%IX496.5	BOOL		
		Bit6	%IX496.6	BOOL		
		Bit7	%IX496.7	BOOL		
		Input Data_Param1	%IB497	BYTE		
		Input Data_Param2	%IB498	BYTE		
		Input Data_Param3	%IB499	BYTE		
		Input Data_Param4	%IB500	BYTE		
		Input Data_Param5	%IB501	BYTE		
		Input Data_Param6	%IB502	BYTE		
		Input Data_Param7	%IB503	BYTE		
		Output Data_Param0	%QB0	BYTE		1st ABB Bytes: 0..7
Application.VSDstatus[0].ABBReady		Bit0	%QX0.0	BOOL		
Application.VSD[0].ABBPositioning.PartInPosition		Bit1	%QX0.1	BOOL		
Application.VSDstatus[1].ABBReady		Bit2	%QX0.2	BOOL		
Application.VSD[1].ABBPositioning.PartInPosition		Bit3	%QX0.3	BOOL		
		Bit4	%QX0.4	BOOL		
		Bit5	%QX0.5	BOOL		

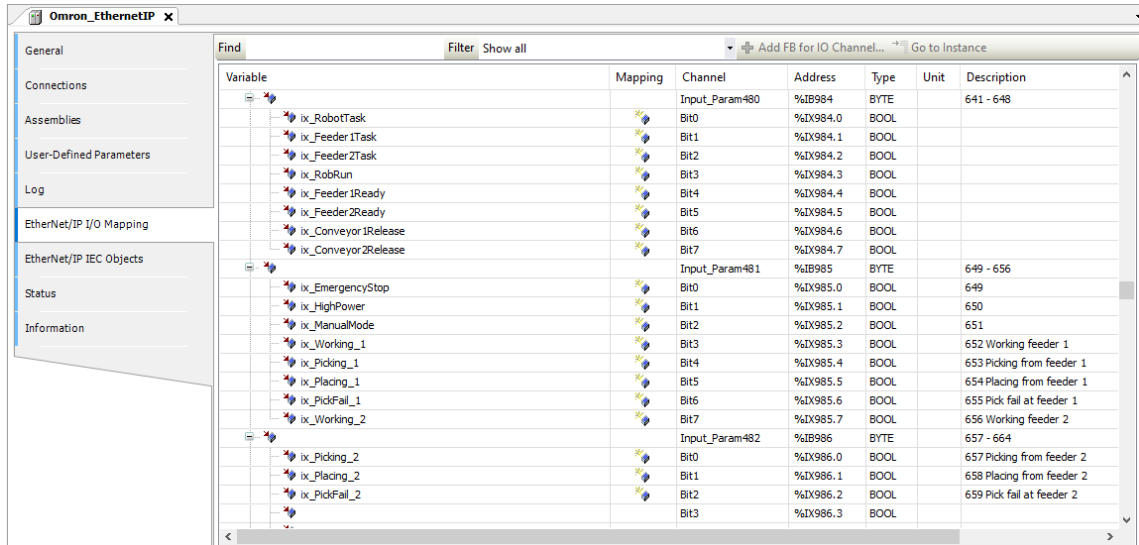
Kuva 25. Kokoonpanosolun kommunikointi (kuva: Aleks Oinas).

Kuvassa 25 on listattu kokoonpanosolun ja syöttösolun PLC:n välisen kommunikoinnin signaaleita. Kuvasta voi nähdä, että ainoastaan ensimmäiset neljä bittiä kumpaankin suuntaan (Bit0 - Bit3) ovat määriteltä käyttettäviksi.

Kommunikointi PLC: ja poimintarobotin välillä sisälsi useampia signaaleita.

PLC:llä haluttiin antaa poimintarobotille ja anyfeedereille toimintakäskyjä sekä lukea laitteiden tilatietoja, jotta niitä voitaisiin esittää käyttöliittymässä. Kuvassa 26 on listattu signaaleita poimintarobotin ja PLC:n välisestä kommunikoinnista.

Signaalien lukumäärää lisäsi myös se, että PLC:hen haluttiin lisätä optio tulevaisuudessa tehtävää OEE-laskentaa varten. Tämän takia poimintarobotin ja anyfeedereiden tilatietoja haluttiin seurata ja tallentaa tarkemmin. Robotista tallennettiin mm. seuraavia tietoja: poimiiko, odottaako tai asettaako se komponenttia parhaillaan. Tilatietojen lisäksi haluttiin tallentaa tiedot onnistuneista ja epäonnistuneista poiminnoista sekä mahdollisista virheilmoituksista.



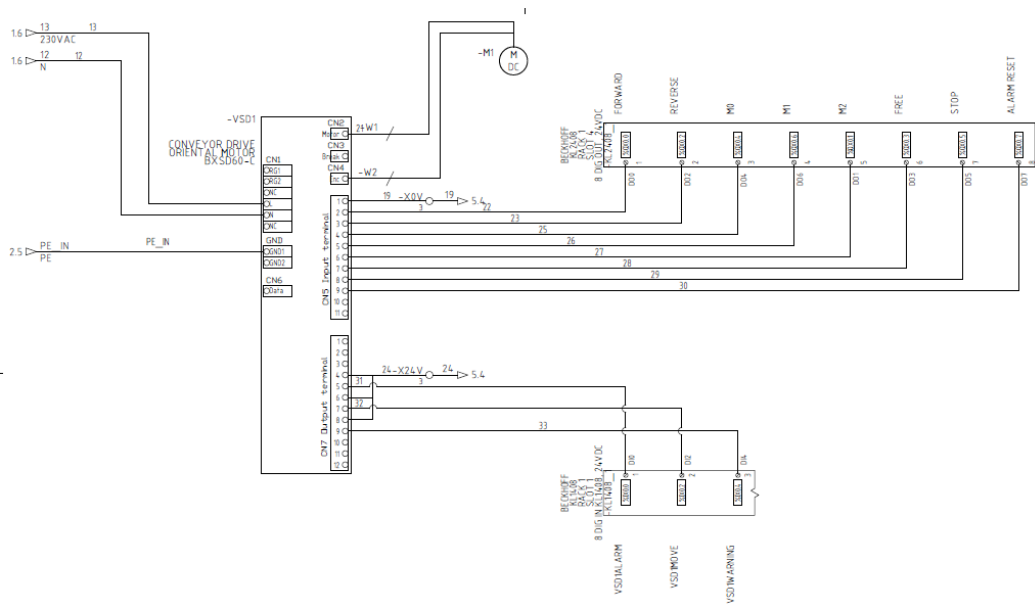
Variable	Mapping	Channel	Address	Type	Unit	Description
		Input_Param:480	%IB984	BYTE		641 - 648
ix_RobotTask		Bit0	%IX984.0	BOOL		
ix_Feeder1Task		Bit1	%IX984.1	BOOL		
ix_Feeder2Task		Bit2	%IX984.2	BOOL		
ix_RobRun		Bit3	%IX984.3	BOOL		
ix_Feeder1Ready		Bit4	%IX984.4	BOOL		
ix_Feeder2Ready		Bit5	%IX984.5	BOOL		
ix_Conveyor1Release		Bit6	%IX984.6	BOOL		
ix_Conveyor2Release		Bit7	%IX984.7	BOOL		
		Input_Param:481	%IB985	BYTE		649 - 656
ix_EmergencyStop		Bit0	%IX985.0	BOOL		649
ix_HighPower		Bit1	%IX985.1	BOOL		650
ix_ManualMode		Bit2	%IX985.2	BOOL		651
ix_Working_1		Bit3	%IX985.3	BOOL		652 Working feeder 1
ix_Picking_1		Bit4	%IX985.4	BOOL		653 Picking from feeder 1
ix_Placing_1		Bit5	%IX985.5	BOOL		654 Placing from feeder 1
ix_PickFail_1		Bit6	%IX985.6	BOOL		655 Pick fail at feeder 1
ix_Working_2		Bit7	%IX985.7	BOOL		656 Working feeder 2
		Input_Param:482	%IB986	BYTE		657 - 664
ix_Picking_2		Bit0	%IX986.0	BOOL		657 Picking from feeder 2
ix_Placing_2		Bit1	%IX986.1	BOOL		658 Placing from feeder 2
ix_PickFail_2		Bit2	%IX986.2	BOOL		659 Pick fail at feeder 2
		Bit3	%IX986.3	BOOL		

Kuva 26. Poimintarobotin kommunikointi (kuva: Aleksi Oinas).

#### 4.5.2 Kuljettimet

Komponenttien siirtäminen materiaalinsyöttösolusta kokoonpanosoluun toteutettiin kuljettimien avulla. Kuljettimet hankittiin kokonaisuudessaan alihankintana mittojen mukaan tehtyinä. Kuljettimet toimitettiin valmiiksi koottuina, sisältäen itse kuljettimet sekä mm. moottorin, liitäntäkaapelit, voimansiirtokomponentit sekä moottoreiden ohjaimet. Tässä projektissa tehtäväksi jäi kuljettimien ja ohjaimien mekaaninen asentaminen, ohjainten signaalien liittäminen ohjauslogiikkaan sekä varsinaisen ohjauslogiikan toteuttaminen.

Moottoreiden ohjaimet sijoitettiin samaan keskukseseen PLC:n kanssa ja ohjaussignaalit johdotettiin suoraan PLC:n tulo- ja lähtöliittimiin. Kuvassa 27 on esitetty kuljettimien johdotusta ja kaapelointia. Kuljettimien mukana tulleet valmiskaapelit liitettiin ohjainten ja moottoreiden välille. Ohjaimien parametreilla määritettiin kullekin kuljettimelle siirtonopeus sekä kiihdytyksen ja jarrutuksen nopeudet.

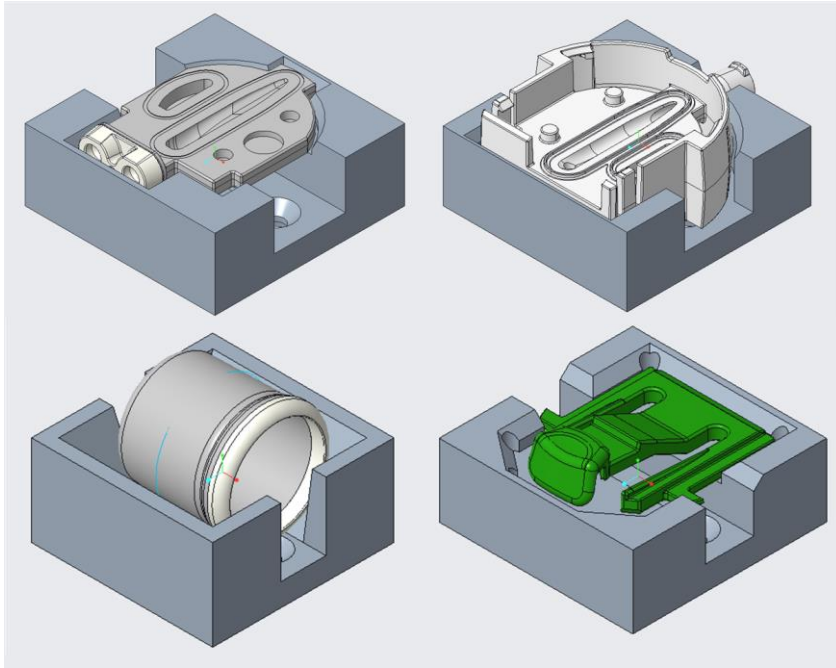


Kuva 27. Kuljettimien liitännät (kuva: Aleks Oinas).

Koska kuljettimilla siirrettiin komponentit syöttösolusta kokoonpanosoluun ja paikoituksen tuli olla mahdollisimman hyvä, kuljettimiin kiinnitettiin erityiset kuljetuspoterot eri komponentille. Poterot suunniteltiin ja koneistettiin Helsingin tehtaan mekaniikkapajassa. Kuljetuspoteroita kiinnitettiin jokaiseen kuljettimeen alkuvaiheessa neljä. Kuljettimissa oleva valmis reikäjako olisi mahdollistanut useamman poteron kiinnittämisen, mutta anturoinnin ja ohjaussovelluksen yksinkertaistamiseksi päädyttiin ainoastaan neljään kuljetuspoteroon.

Useamman kuljetuspoteran käyttäminen olisi aiheuttanut sen, että poterot olisivat ilmestyneet kuljettimen päätyihin lähes samaan aikaan, jolloin niiden tarkka pysäyttäminen olisi ollut haastavaa. Ts. ensimmäisen poteron jarrutuksen aikana toinen potero olisi saapunut kuljettimen toisen pään antureille. Tämän takia aina jälkimmäisenä anturille saapuvan poteron paikoitus olisi ollut epämääräinen, koska kuljettimen pysäyttäminen olisi jo aloitettu toisen pään antureilla.

Kuvassa 28 on kooste projektin erilaisista kuljetuspoteroista. Kuvassa vasemmalla ylhäällä on kannen kuljettamiseen käytetty potero ja sen oikealla puolella rungon. Nämä kaksi komponenttia syötettiin järjestelmän ensimmäisellä materiaalisyöttösolulla kokoonpanolinjan alkukokoonpanoon.



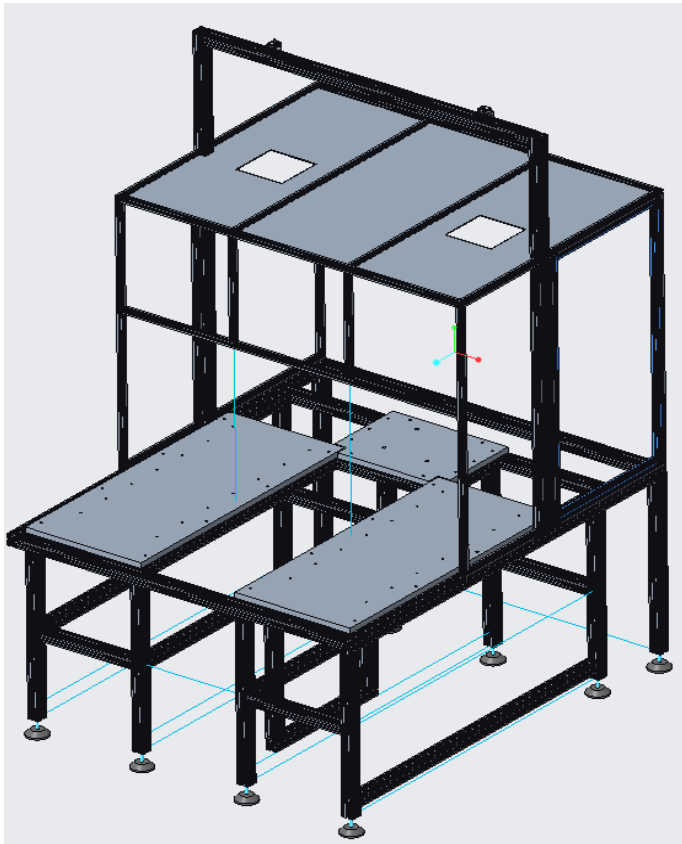
Kuva 28. Kuljetuspoterot (kuva: Aleks Oinas).

Kuvassa 28 alhaalla vasemmalla on säiliön kuljettamiseen käytetty potero ja tämän oikealla puolella klipsin kuljetuspotero. Nämä kaksi komponenttia syötettiin järjestelmän jälkimmäisellä materiaalinsyöttösolulla kokoonpanolinjan säiliösoluun ja klipsisoluun.

#### 4.5.3 Item profiili runko

Projektin komponentit, poimintarobotit, anyfeederit sekä oheiskomponentit, kiinnitettiin item profiilista valmistettuun runkoon. Rungon ympärille rakennettiin lisäksi item profiilista ja plexistä umpinainen suojahäkki. Runko ja suojahäkki suunniteltiin CREO Parametric suunnitteluohjelmistolla ja teetettiin alihankintana suunnitelman pohjalta, jolloin ainoastaan kokoaminen jäi tehtaalla tehtäväksi. Tämä nopeutti ja yksinkertaisti rakentamista, eikä materiaalia tarvinnut hankkia tehtaan varastoon. Suunnitteluohjelmistolla tehdyt 3D-mallit komponenttien sijoittelusta ja kiinnityksestä olivat niin tarkkoja, että esim. poimintarobotin sovellus pystyttiin valmistelemaan hyvin pitkälle ennen varsinaista fyysistä laitteistoa.

Alla olevassa kuvassa on esimerkki projektissa suunnitellusta rungon ja suo-  
jahäkin 3D-mallista.



Kuva 29. Järjestelmän item profiili runko (kuva: Aleksi Oinas).

Kummassakin materiaalinsyöttösolussa poimintarobotti ja anyfeederit kiinnitettiin alumiinista koneistettuihin kiinnityslevyihin, jolloin ne pysyivät tukevasti paikoillaan. Koko runkokokonaisuus kiinnitettiin asennuksen jälkeen lattiaan. Tällä haluttiin varmistaa, ettei järjestelmä pääsisi liikkumaan, vaikka poimintarobotti liikkuisi maksiminopeudella puolelta toiselle.

## 5 Käyttöönotto

Järjestelmän käyttöönotto jaettiin kahteen suurempaan osakokonaisuuteen. Käyttöönoton ensimmäisessä osassa otettiin käyttöön alkupään komponenttien syötöstä vastaava materiaalinsyöttösolu. Jälkimmäinen materiaalinsyöttösolu otettiin käyttöön vasta, kun ensimmäinen oli saatu valmiiksi ja tuotanto jälleen käyntiin.

Käyttöönottojen välissä oli useamman viikon väli, jonka aikana seuraavaksi käyttöönotettava materiaalinsyöttösolu kasattiin valmiiksi tuotantolinjan viereen. Tällä tavalla syöttösolua voitiin testata ennen varsinaista käyttöönottoa mahdollisimman paljon. Ennen käyttöönottojen aloitusta pyrittiin myös valmistelemaan mm. kaapelit ja liittimet, jotta niiden asentaminen olisi mahdollisimman nopeaa ja pystyttäisiin minimoimaan mahdolliset kytkentävirheet asennusvaiheessa. Helsingin tehtaalla on ammattitaitoisia asentajia sekä mekaniikkapaja, joiden avulla pystyttiin ratkaisemaan käyttöönoton aikana ilmenneet ongelmat.

Ensimmäinen syöttöjärjestelmä koottiin tuotantolinjan viereen ennen käyttöönoton aloitusta, missä sitä pyrittiin testaamaan mahdollisimman paljon. Käyttöönoton aluksi tuotantolinja sammutettiin ja materiaalinsyöttöjärjestelmän purkaminen aloitettiin. Samaan aikaan, kun vanhaa syöttöjärjestelmää purettiin, tehtiin alkukokoonpanon robottien työkiertojen muutoksia ja valmisteltiin syöttösolun liittämistä niiden työkiertoon. Kokoonpanosoluun tehtiin aukot kuljettimia varten ja valmisteltiin syöttösolun kiinnittämistä paikoilleen. Myös turvapiirien yhdistäminen ja kommunikointimuutokset toteutettiin ja testattiin käyttöönoton alkuvaiheessa, jotta mahdollisten ongelmien ratkaisemiseen jäi enemmän aikaa.

Kun vanha materiaalinsyöttöjärjestelmä oli saatu purettua, uusi materiaalinsyöttösolu siirrettiin paikoilleen. Uusi materiaalinsyöttösolu pyrittiin siirtämään paikalleen mahdollisimman suurena kokonaisuutena testialueelta. Tällöin esimerkiksi poimintarobotin ja anyfeedereiden keskinäinen sijoittelu ei muuttunut testeissä käytetystä kokoonpanosta ja ainoastaan kuljettimien sijainnit, ns. komponenttien jättöpaikat, tarvitsi opettaa poimintarobotille käyttöönotossa uudelleen.

Käyttöönoton päätteeksi tuotantolinjalla ajettiin kvalifiointisarja, millä todennettiin linjan toimivuus muutosten jälkeen. Kvalifiointisarjassa materiaalinsyöttösolulle asetettiin poimintojen onnistumista kuvaavaksi laatuvaatimukseksi 0,07 DPU. DPU (defects per unit) kuvaa, kuinka monta virheellistä yksikköä on suhteessa yksiköiden kokonaismäärään. Luku 0,07 DPU tarkoitti siis käytännössä sitä, että poimintarobotti saa epäonnistua enintään seitsemän kertaa sadassa poimintayrityksessä. Lukema on varsin suuri robotilla toteutettavalle tehtävälle, mutta raja-arvoa ei haluttu asettaa turhan tiukaksi, koska poimintojen onnistuminen ei vaikuttaisi tuotteen laatuun. Ainoastaan tuotantolinjan nopeus vaihtelisi epäonnistuneiden poimintojen seurauksena.

Kun ensimmäinen materiaalinsyöttösolu oli saatu käyttöönotettua ja kvalifiointisarja ajettua, tuotanto käynnistettiin uudelleen. Tuotannon ollessa taas käynnissä, toinen materiaalinsyöttösolu koottiin vastaavalla tavalla kuin ensimmäisenkin, tuotantolinjan viereen. Tuotantolinjan vieressä syöttösolua testattiin mahdollisimman paljon tulevaa käyttöönottoa varten.

Sovittuna jälkimmäisen syöttösolun käyttöönottoajankohtana tuotantolinja jälleen sammutettiin ja aloitettiin jälkimmäisen materiaalinsyöttöjärjestelmän purkamisen. Purkamisen aikana jälkimmäisen syöttösolun syöttämiin kokoonpanosoluihin toteutettiin työkierron muutoksia ja syöttöjärjestelmän vaihtumisesta johtuvia muutoksia. Kun vanhat syöttölaitteet oli saatu purettua, uusi materiaalinsyöttösolu siirrettiin paikoilleen. Vastaavalla tavalla kuin ensimmäisen syöttösolun kanssa, myös jälkimmäinen siirrettiin lopulliselle paikalleen mahdollisimman suurena kokonaisuutena, jotta eri komponenttien keskinäinen sijainti pysyisi ennallaan. Käyttöönoton päätteeksi syöttösolulle ja koko tuotantolinjalle ajettiin jälleen vastaava kvalifiointisarja kuin ensimmäisenkin syöttösolun käyttöönoton yhteydessä. Myös jälkimmäiselle syöttösolulle asetettiin laatuvaatimukseksi 0,07 DPU. Kvalifioinnin jälkeen tuotanto käynnistettiin linjalla uudelleen.



## 6 Johtopäätökset

Syöttöjärjestelmän uudistaminen oli D-Fend tuotantolinjalle tärkeä parannus. Ilman uudistusta kapasiteetin nostaminen tavoiteltuun 5000 kappaleeseen päivässä ei olisi ollut realistista. Syöttöjärjestelmien käyttöönoton jälkeen tuotantomäärät ovat kasvaneet huomattavasti, parhaimmillaan reiluun 5000 kappaleeseen päivässä.

Kapasiteetin kasvaminen ei johdu yksinomaan materiaalinsyöttöjärjestelmän muutoksesta, vaan itse tuotantolinjaan ja sen robottisoluihin on tehty varsin paljon työkiertoa nopeuttavia muutoksia ja parannuksia. Näistä laite- ja työkiertomuutoksista riippumatta kokoonpanolinja kykenee toimimaan enintään sillä nopeudella millä sille syötetään materiaalia. Tässä suhteessa materiaalinsyöttöjärjestelmän päivitysprojekti onnistui hyvin ja on mahdollistanut tuotantolinjan kapasiteetin noston nykyiseen, parhaimmillaan reiluun 5000 kappaleeseen päivässä.

Huollon ja ylläpidon tarve materiaalinsyötön ongelmien selvittämisessä on vähentynyt. Aikaisemman materiaalinsyöttöjärjestelmän tukkeutumisongelmat työllistivät tehtaan asentajia huomattavan paljon. Tässä projektissa kehitetty syöttöjärjestelmä on poistanut tehokkaasti materiaalinsyötön tukkeutumiseen liittyviä ongelmia. Uuden teknologian käyttöönoton myötä toki uusiakin huollon ja ylläpidon ongelmakohtia on ilmennyt, mm. valaistuksen muutoksista johtuvat konenäön ongelmat sekä erilaiset imukuppien kulumisesta ja rikkoutumisesta johtuvat ongelmat.

Imukuppeihin tulee helposti painaumuksia ja repeämiä, jos poimittava komponentti on vinossa imukuppiin nähden. Komponentit ovat tyypillisesti vinossa imukuppiin nähden, jos poimintarobotti yrittää poimia päällekkäisiä komponentteja. Imukuppi vaurioituu helposti myös silloin, jos robotti osuu komponenttien reunoihin lähestyessään poimintapistettä. Mm. runkoa poimittaessa poimintapiste sijaitsee hieman komponentin ulkoreunojen sisä- ja alapuolella, reunojen keskellä, jolloin robotti voi osua lähestyessään korkeammalla olevaan ulkoreunaan.

## 7 Pohdinta

Tämän tyyppiselle materiaalinsyötön automatisoinnille oli ehdottomasti tarvetta, varsinkin kun tuotantokapasiteettia haluttiin nostaa merkittävästi.

Materiaalinsyöttöjärjestelmän muutosprojekti oli kokonaisuutena varsin laaja ja monimutkainen, eikä sen toteuttaminen olisi ollut mahdollista ilman tehtaan asentajien ja mekaniikkapajan yhteistyötä. Myös GE:n globaali automaatiotiimi edesauttoi projektin läpivientiä osallistumalla komponenttien valintaan ja hankintoihin. Myös ”Proof of Concept” tutkimuksen teettäminen laitevalmistajalla edisti projektin läpivientiä ja antoi luottamusta siihen, että haluttuun lopputulokseen on mahdollista päästä valituilla komponenteilla.

Järjestelmä saatiin toteutettua modulaariseksi, jolloin yksittäisten järjestelmäosien muutokset ja parannukset olisivat mahdollisia muuttamatta koko järjestelmää. Esimerkiksi konenäön muutokset eivät vaikuttaneet suoraan poimintarobotin työkiertoon tai kuljettimiin, vaan ainoastaan konenäön suorituskykyyn.

Jatkokehityksenä olisi mielenkiintoista liittää materiaalinsyöttöjärjestelmä ainakin osittain tehtaan huollon järjestelmään, jolloin järjestelmä voisi luoda itse osan vikailmoituksista tai huoltopyynnöistä. Näitä voisi olla esimerkiksi epäonnistuneiden poimintojen suhteellisen määrän kasvu, jolloin järjestelmä voisi automaattisesti kutsua asentajan tarkistamaan mm. tarttujan imukupin.

Toinen mielenkiintoinen kehityssuunta voisi olla konenäön parannukset, joilla voitaisiin edelleen parantaa kappaleiden ja mm. päällekkäisyyksien tunnistusta. Erilaisten valaistusten tai aallonpituuksien testaaminen etenkin läpinäkyville kappaleille voisi helpottaa ja tarkentaa komponenttien paikoitusta ja helpottaa päällekkäisten komponenttien tunnistusta.

## Lähteet

- 1 Tietoa meistä. Verkkoaineisto. GE Healthcare Finland Oy. <<https://www.gehealthcare.fi/about/about-ge-healthcare-systems>>. Luettu 18.10.2021.
- 2 EtherNet/IP™. ODVA. Verkkoaineisto. <<https://www.odva.org/technology-standards/key-technologies/ethernet-ip/>>. Luettu 18.10.2021.
- 3 DeviceNet®. ODVA. Verkkoaineisto. <<https://www.odva.org/technology-standards/key-technologies/devicenet/>>. Luettu 18.10.2021.
- 4 AnyFeeder Part Feeding Solution. Omron Automation. Verkkoaineisto. <<https://automation.omron.com/en/us/products/family/anyfeeder>>. Luettu 1.4.2022.
- 5 eCobra 600, 800 and 800 Inverted Robots User's Guide. Omron Automation. Verkkoaineisto. <[https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v7/i593\\_ecobra\\_600\\_800\\_and\\_800\\_inverted\\_robots\\_users\\_manual\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v7/i593_ecobra_600_800_and_800_inverted_robots_users_manual_en.pdf)>. Luettu 18.10.2021.
- 6 CODESYS Control for PFC100 SL. CODESYS GmbH. Verkkoaineisto. <<https://store.codesys.com/en/codesys-control-for-pfc100-sl.html>>. Luettu 1.4.2022.
- 7 CODESYS Development System V3. CODESYS GmbH. Verkkoaineisto. <<https://store.codesys.com/en/codesys.html>>. Luettu 1.4.2022.
- 8 Automation Control Environment User's Guide. Omron Automation. Verkkoaineisto. <[https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v5/i603\\_ace\\_3.%5B%5D\\_users\\_manual\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v5/i603_ace_3.%5B%5D_users_manual_en.pdf)>. Luettu 1.4.2022.
- 9 ACE Sight Reference Guide. Omron Automation. Verkkoaineisto. <[https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v3/i609\\_ace\\_sight\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v3/i609_ace_sight_reference_manual_en.pdf)>. Luettu 1.4.2022.