



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Eetu Koste

# Mobiilin automaattivaraston suunnittelu ja toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

3.9.2019

Tekijä Otsikko	Eetu Koste Mobiilin automaattivaraston suunnittelu ja toteutus
Sivumäärä Aika	20 sivua 3.9.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	lehtori Markku Inkinen automation engineer Ville Romakkaniemi
<p>Tämän insinööriyön aiheena oli suunnitella, ohjelmoida ja käyttöönottaa mobiili automaattivarasto. Mobiili automaattivarasto tässä tarkoittaa sitä, että koko varasto toiminteinen on integroitu 20-jalkaisen merikontin sisälle. Se tarkoittaa käytännössä sitä, että varasto voidaan nostaa kuorma-auton kyytiin ja viedä mihin tahansa maailmassa, ja ottaa siellä käyttöön lyhyessä ajassa. Varasto tarvitsee ulkopuolelta toimiakseen vain jännite- ja paineilmasyötön. Paineilman tarve on vähintään 5,5 bar ja 117 l/min.</p> <p>Varaston täytyy pystyä viemään laatikoita sisään varastoon ja varastosta ulos. Tämän lisäksi sen täytyy käsivarsirobotin avulla pystyä keräämään varastolaatikoista tuotteita siirtolaatikkoon. Sen täytyy pystyä tilauksen perusteella keräillä eri varastopaikoista haluttu määrä tuotteita yhteen laatikkoon, joka toimitetaan ulos varastosta.</p> <p>Varaston ohjaukset ja varastonhallinta toteutettiin Beckhoffin logiikalla. Ohjelmoinnissa käytettiin TwinCAT-kehitysympäristöä ja kaikki toiminnallisuudet ohjelmoitiin käyttäen IEC-61131-3-standardin mukaista Structured text -ohjelmointikieltä.</p> <p>Lopputuloksena syntyi vaatimusten mukainen automaattivarasto. Todisteeksi idean toimivuudesta se rakennettiin ja käyttöönotettiin Raahessa ja kuljetettiin maateitse Saksan Müncheniin, jossa se esiteltiin Transport Logistic 2019 -messuilla.</p>	
Avainsanat	automaattivarasto, Beckhoff, PLC

Author Title	Eetu Koste Mobile automatic warehouse
Number of Pages Date	20 pages 3 September 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Technology
Instructors	Markku Inkinen, Senior Lecturer Ville Romakkaniemi, Automation Engineer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to design, program and commission a mobile automatic warehouse. Mobile automatic warehouse in this context means that this warehouse has to be fully automated and integrated inside a 20-foot shipping container. This means that the warehouse can be loaded on a truck and transported anywhere in the world. It can be brought to operation in a very short time after the transportation. The warehouse only needs power- and compressed air supply.</p> <p>The warehouse has to be able to transport boxes in to the warehouse and out of it. In addition, it also has to be able to pick products from the warehouse using a picking robot. Based on an order, it has to be able to make a kit from products from different storing places.</p> <p>All of the requirements that were set for this project were accomplished. To prove this, the warehouse was commissioned in Raahe and transported to Munich, Germany, where it was brought to operation and exhibited at the Transport Logistic 2019 fair.</p>	
Keywords	automatic warehouse, Beckhoff, PLC

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Varastoautomaatiosta	2
2.1	Laatikkovarastot	3
2.2	Lavavarastot	4
2.3	Suuren tavaran varastot	5
2.4	Varastonhallintajärjestelmät	6
3	Järjestelmä	6
3.1	Järjestelmän komponentit	6
3.2	Rullakuljetin	7
3.3	ABB-robotti	8
3.4	Varastolaite	9
3.5	Hyllyt	11
3.6	Varastonhallintajärjestelmä	12
4	Ohjausperiaate	13
4.1	TwinCAT 3 XAE	13
4.2	Servot	14
4.3	Väyläratkaisut	16
5	Käyttöönotto	17
5.1	Laitteiston konfigurointi	17
5.2	IO-testaus	19
5.3	Manuaaliajot	19
5.4	Varastopaikkojen koordinaatit	19
5.5	Automaattiajot	19
6	Yhteenveto	20
	Lähteet	21



## Lyhenteet

FIFO	<i>First in, first out.</i> Periaate, jonka mukaan tilaukset käsitellään siinä järjestyksessä, kun ne ovat järjestelmään tulleet.
HMI	<i>Human-Machine Interface.</i> Käyttöliittymä. Näkymä, josta laitteistoa ohjataan, ja sen tilaa seurataan.
PLC	<i>Programmable Logic Controller.</i> Ohjelmoitava logiikka. Tietokone, joka suorittaa laitteen ohjaukset.

## 1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena oli tehdä standardi 20 jalan merikonttiin integroitu automaattivarasto, joka pystyy sekä toimittamaan halutut tuotteet keräiltynä että kokonaisia laati-koita ulos varastosta. Varaston täytyy pystyä pitämään kirjaa sen sisältämistä tuotteista, ja niitä täytyy pystyä tilaamaan haluttu määrä.

Kontti täytyy pystyä kuljettamaan eri paikkaan niin, että se säilyy toimintakuntoisena ja järjestelmä voidaan ottaa käyttöön hyvin lyhyessä ajassa. Kontti tarvitsee ulkopuolelta vain 400 V:n jännite- ja paineilmasyötön. Paineilman tarve on vähintään 5,5 bar ja 117 l/min.

Insinööriyöhön kuului varaston toimintojen suunnittelu yhdessä projektitiimin ja asiakkaan kanssa, varaston ohjausten ohjelmointi, varastohallinnan ohjelmointi, käyttöliittymän ohjelmointi sekä järjestelmän käyttöönotto. Projektitiimiin kuului mekaniikkasuunnittelija, sähkösuunnittelija ja automaattisuunnittelija. Sähkösuunnittelija toimi myös projektipäällikkönä.

Projektin toteutti Algol Technics. Algol Technics on osa Algol konsernia. Algolin perusti Albert Goldbeck-Löwe vuonna 1894. Toiminta alkoi toimittamalla raaka-aineita teollisuuden. Siitä se on vähitellen kasvanut, ja nykyään Algolilla on viisi tytäryhtiötä, jotka toimivat teollisuuskemikaalien tukkukaupassa, laboratoriodiagnostiikkavälineiden myynnissä ja markkinoinnissa, liikkumisen ja arjen apuvälineiden myynnissä ja huollossa, soludiagnostiikan tuotteissa ja monipuolisesti teollisuudessa. Lisäksi vielä muutama vuosi sitten Algol toimi myös lääkkeiden myynti- ja markkinointitehtävissä, kunnes silloinen Algol Pharma myytiin.

Algol Technics keskittyy sisälogistiikan ratkaisuihin sekä järjestelmätoimittajana, tukkukauppijana että huolto- ja kunnossapitopalveluiden tarjoajana. Algol Technics toimittaa muun muassa nostureita, kuljetinjärjestelmiä, automaattivarastoja, robottisoluja ja lasermerkkuslaitteita.

Algol Technics toimii yhteistyössä useiden suurten toimittajien kanssa, esimerkiksi nostureissa Demagin, kuljetinjärjestelmissä Dematicin, automaattivarastoissa Dematicin ja

Fehrin. Tämän lisäksi Algol Technicsillä on myös omat suunnitteluosastot, jotka suunnittelevat kaikkia edellä mainittuja.

Vuonna 2019 etenkin robottisolut ja robotiikka yleensä on nostanut vahvasti asemaa Algol Technicsin tuotevalikoimassa, sillä se osti vaasalaisen Co-Automationin, jolla oli jo ennestään vahva osaaminen robotiikan alalla.

Sisälogistiikan ratkaisujen lisäksi Algol Technics myy ja huoltaa rautatieteknisiä tuotteita, myy erikoismetalleja kuten lyijyä, stelliittiä ja titaania ja myy kuljettajanistuimia linja-autoihin, kuorma-autoihin, traktoreihin ja moniin muihin. [1.]

## 2 Varastoautomaatiosta

Teollisuuden yhä kiristyvässä kilpailussa etsitään ratkaisuja, miten voidaan vähentää tuotteiden läpimenoaikaa, hävikkiä ja parantaa tuottavuutta. Yksi oleellinen kehityskohde on varastoinnin kehittäminen. Ennen kaikki varastot ovat olleet manuaalitoimisia, jolloin varastosaldojen ylläpito on ollut haastavaa, suuret varastot ovat vaatineet merkittävän paljon lattia pinta-alaa, varastonhoito on vaatinut paljon henkilökuntaa ja materiaalivirrat ovat olleet yleisesti ottaen hitaampia. Automaattisissa varastojärjestelmissä monia näitä haasteita saadaan ratkaistua tai ainakin kehitettyä parempaan suuntaan. Järjestelmä pitää automaattisesti kirjata varastoon syötettävistä ja varastosta poistettavista artikkeleista, automaattiset hyllystöhissit voivat olla kymmeniä metrejä korkeita, joten varastoitavaa tavaraa saadaan päällekkäin hyvin paljon, henkilökuntaa saadaan merkittävästi vähennettyä ja materiaali liikkuu paikasta toiseen ripeämmin.

Automaattivarasto kuitenkin vaatii yleensä rinnalleen jonkinlaisen kuljetinjärjestelmän, jotta siitä saadaan kaikki hyöty irti. Investoinnin koko on täten yleensä suuri, mutta etenkin suuremmilla toimijoilla siitä saatava hyöty on sitäkin suurempi. Valittavan automaattivaraston tyyppi määräytyy yleensä sen mukaan, minkälaista materiaalia halutaan varastoida. Varastoitavia materiaaleja voi olla pienistä laatikoista kymmenien neliömetrien kokosiin teräslevyihin, ja kaikkea siltä väliltä.

## 2.1 Laatikkovarastot

Yksi yleisimmistä varastointitavoista on varastoida tuotteita laatikoissa. Yhteen standardisoituun laatikkoon voidaan varastoida hyvinkin laaja valikoima erilaisia tuotteita. Nämä laatikot varastoidaan samalla tavoin riippumatta siitä, mitä laatikko sisältää. Automaattisia laatikkovarastoja voi olla esimerkiksi Dematicin Multishuttle-tyyppiset ratkaisut tai miniload-tyyppiset ratkaisut.

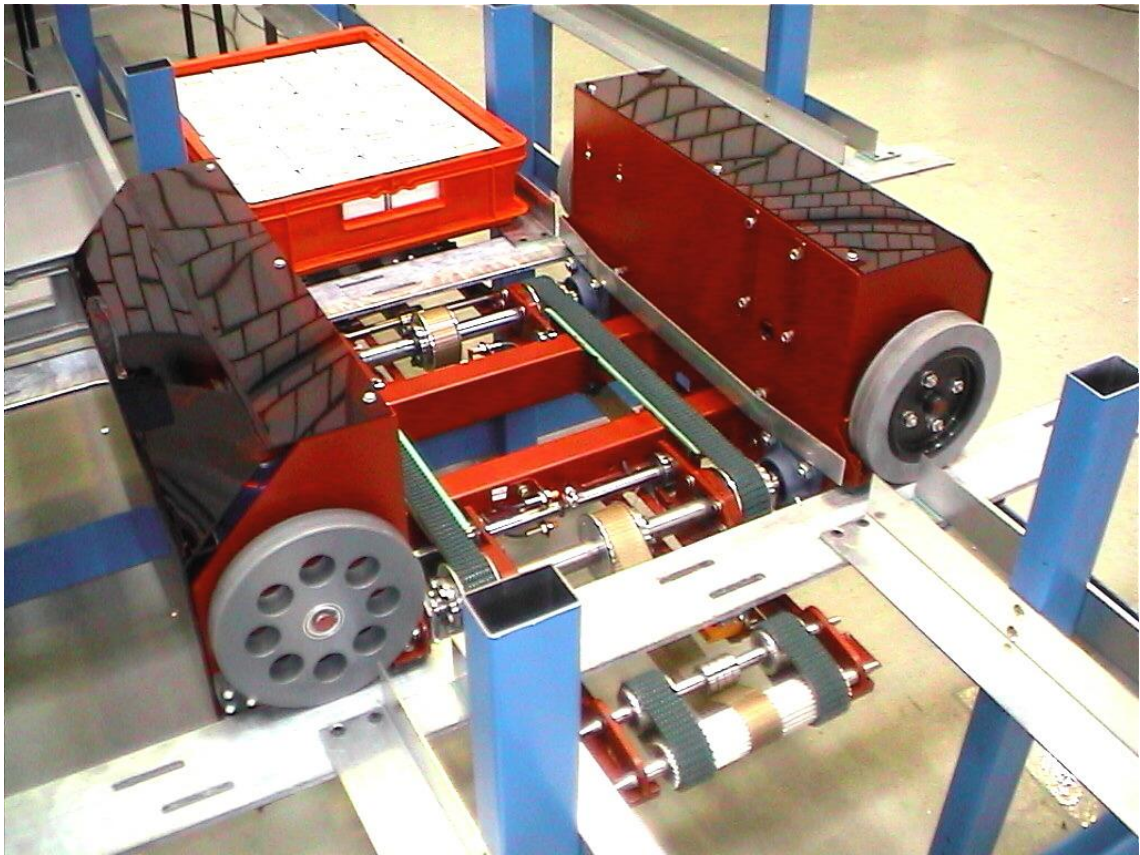
### Miniload

Miniload-tyyppisessä ratkaisussa on yksi varastointilaite, joka liikkuu X-, Y- ja Z-suunnassa. Tällä saavutetaan se etu, että varastoon syöttämiseen tarvitaan vain yksi varastointilaite, eikä pystynostimelle ole tarvetta. Myös tässä ratkaisussa on yleensä sisään- ja ulossyöttävät kuljettimet, joista varastointilaite noutaa tai jättää laatikon.

### Multishuttle

Dematicin Multishuttle laatikkovarastossa varastointikäytävän jokaisessa kerroksessa on erillinen varastointisukkula (kuva 1), joka kuljettaa laatikoita sisään varastoon, ja varastosta ulos. Varastokäytävän alkupäässä jokaisessa kerroksessa on lyhyt sisään- ja ulostulo kuljetin, joita pystykuljetin täyttää ja tyhjentää. Sukkula poimii sisääntulokuljettimelta pystynostimen tuoman laatikon ja vie sen varastoon tai hakee laatikon varastosta ja vie sen ulostulokuljettimelle, josta pystynostin hakee sen pois ja toimittaa eteenpäin. [2.]

Multishuttle-varastossa voi olla useita kerroksia, ja tällaisia varastokäytäviä voi olla myös useita rinnakkain. Suomesta löytyy tällainen järjestelmä, jossa on kymmenen kerrosta ja käytäviä 11 kappaletta rinnakkain.

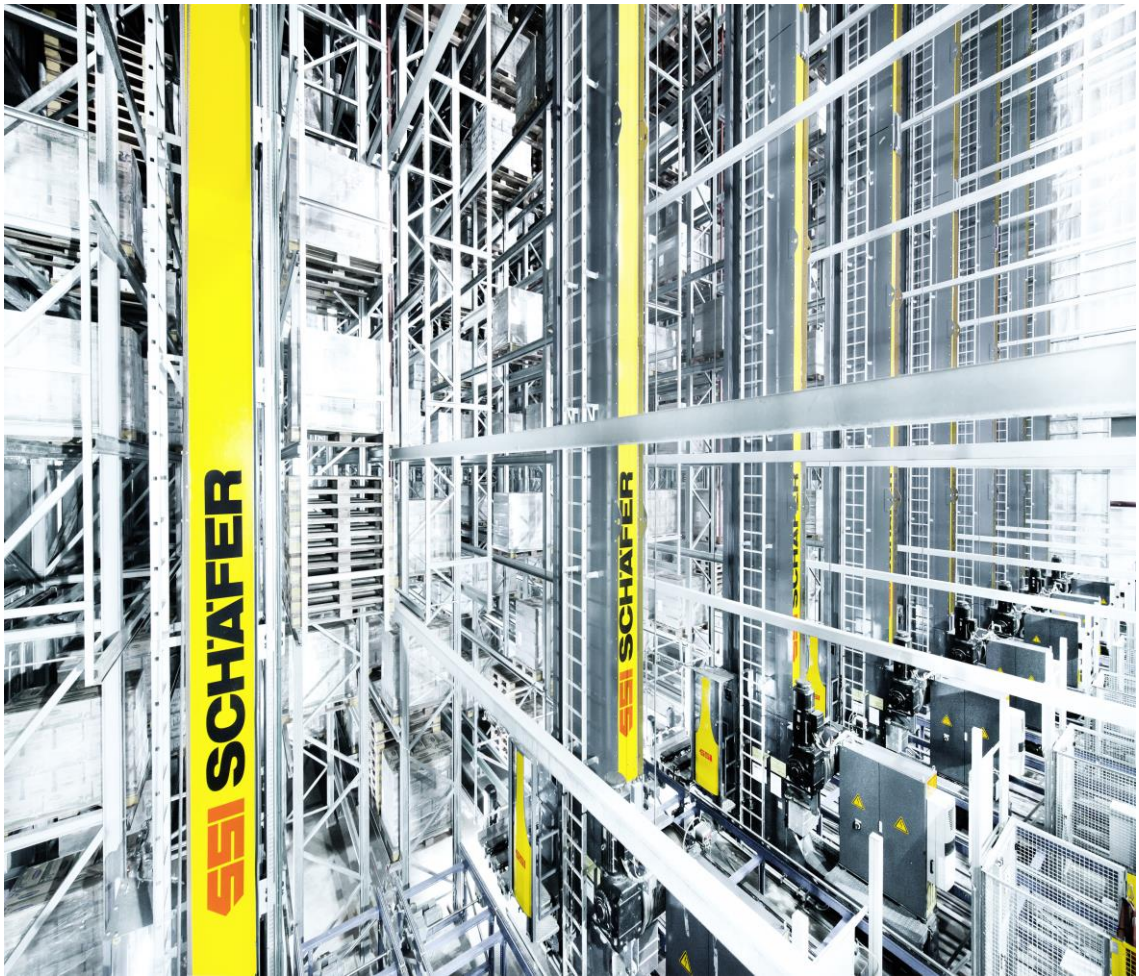


Kuva 1. Dematic Multishuttle [3.]

## 2.2 Lavavarastot

Toinen yleinen tapa on varastoida kuormalavoja, joiden päälle on yleensä kasattu laatikoita. Tämä on hyvin tehokas tapa varastoida suuria määriä, sillä usein lavalle mahtuu kymmeniä laatikoita. Lavat tuodaan kuljettimilla poimintapaikkaan, josta hyllystöhissi poimii lavan (tai useamman) kyytiin ja vie sen varastoon. Varastosta poisto tapahtuu vastaavasti. Hyllystöhissi liikkuu miniloadin tapaan X-, Y- ja Z-suunnassa.

Esimerkiksi Dematic toimittaa hyllystöhissejä kuormalavoille jopa 46 m:n korkuisina. [4.]. Kuvassa 2 näkyy korkeavarasto, jossa varastoidaan kuormalavoja.



Kuva 2. Korkeavarasto [5.]

### 2.3 Suuren tavaran varastot

Monesti täytyy pystyä varastoimaan tavaraa, joka on esimerkiksi liian suurta kuormalavoille tai laatikoille. Tästä voidaan pitää esimerkkinä pitkiä, yli kymmenmetrisiä teräsprofiileja. Tällaisissa tapauksissa on usein varastointikasetteja, jotka suunnitellaan erikseen kyseessä olevaa varastointiartikkelia varten. Muuten periaate on samankaltainen kuin esimerkiksi lavavarastoissa. Myös varastopaikat suunnitellaan varastointikasetin mittojen mukaan.

## 2.4 Varastohallintajärjestelmät

Jokainen edellä mainituista varastoratkaisusta vaatii toimiakseen jonkinlaisen varastohallintajärjestelmän. Varastohallintajärjestelmä on varaston aivot, ja se on vastuussa materiaalin ja tuotteiden siirtelystä, materiaalin vastaanotosta, tavaran hyllytyksestä, tavaran keräilystä, tavaran pakkauksesta ja lähetysten toimituksesta. Varastohallintajärjestelmän täytyy pitää kirjaa materiaalista, jota on varastossa sekä matkalla varastosta ulos tai varastoon sisään. Tähän käytetään muutamia erilaisia teknologioita, kuten RFID-tunnisteet ja viivakoodit. [6.]

Älykkäällä varastohallintajärjestelmällä pystytään hallitsemaan energian kulutusta optimoimalla materiaalien varastointipaikkoja. Esimerkiksi keskimääräistä raskaammat materiaalit varastoidaan mahdollisimman lähelle poistoratoja, jotta varastolaite ajaa mahdollisimman lyhyitä matkoja kuorman ollessa raskas. Lisäksi materiaalit, joita varastoidaan lyhyemmän aikaa, voidaan sijoittaa lähemmäs poistoratoja, jolloin yhteenlaskettu ajomatka vähenee.

Varastohallintajärjestelmät ovat tietokoneohjelmia, ja ne on yleensä liitetty muuhun tuotannonohjausjärjestelmään.

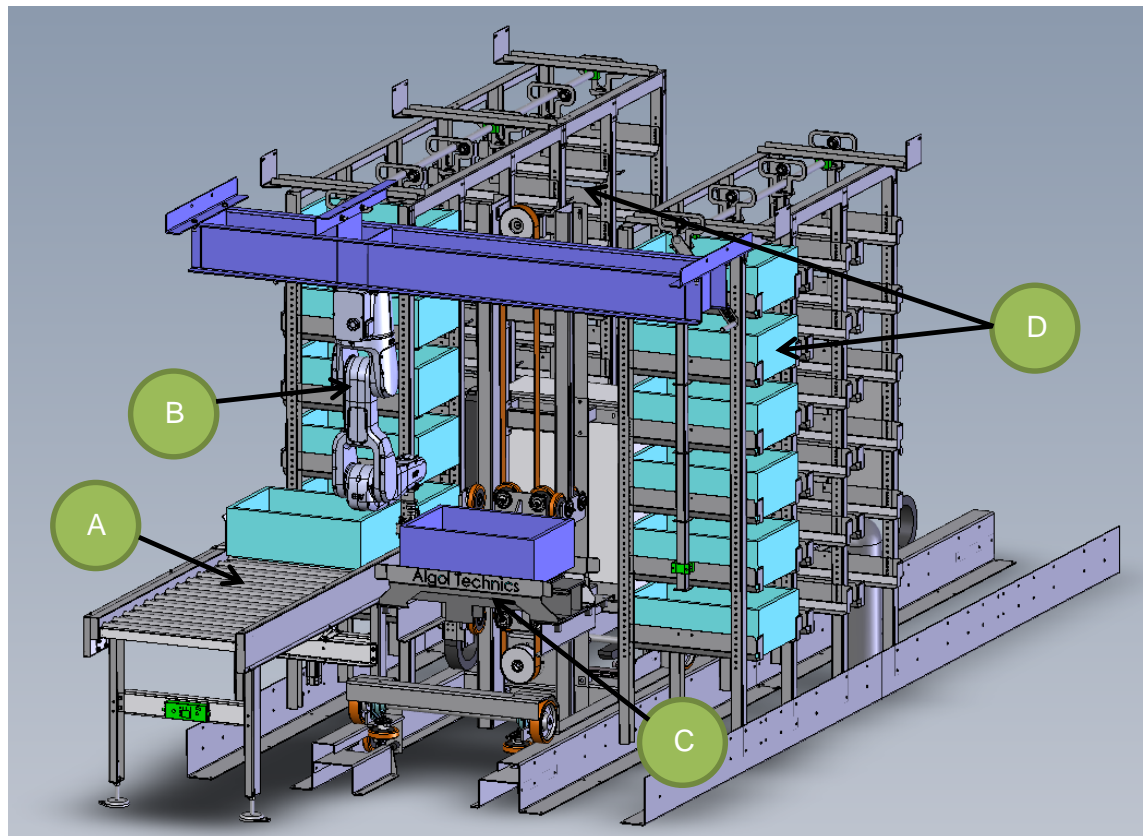
## 3 Järjestelmä

### 3.1 Järjestelmän komponentit

Järjestelmä koostuu kuvassa 3 näkyvistä komponenteista sekä varastohallintajärjestelmästä. Komponentit ovat

- A. Rullakuljetin
- B. ABB:n käsivarsirobotti
- C. Varastolaite

## D. Hyllystö



Kuva 3. Järjestelmän selitekuva

## 3.2 Rullakuljetin

Järjestelmän kuljetin (kuva 4), joka siirtää laatikoita varastosta ulos ja sisään, on manuaalitoiminen. Kuljetinta ohjataan käyttöliittymältä painikkeilla. Käyttöliittymältä pystyy valitsemaan kuljettimen nopeuden sekä suunnan. Nopeusvalintoja on kaksi (hidas ja nopea). Kuljettimessa on lisäksi integroitu automaattinen nostolaite, joka nostaa laatikon ylös, jotta varastolaitteen teleskooppi pääsee laatikon alle poiminta- ja jättötilanteissa. Nostolaite on paineilmatoiminen, ja paineilmasylinterissä on rajakytkimet, jotta nostolaitteen asentoa voidaan seurata ohjelmoitavalta logiikalta.



Kuva 4. Rullakuljetin

### 3.3 ABB-robotti

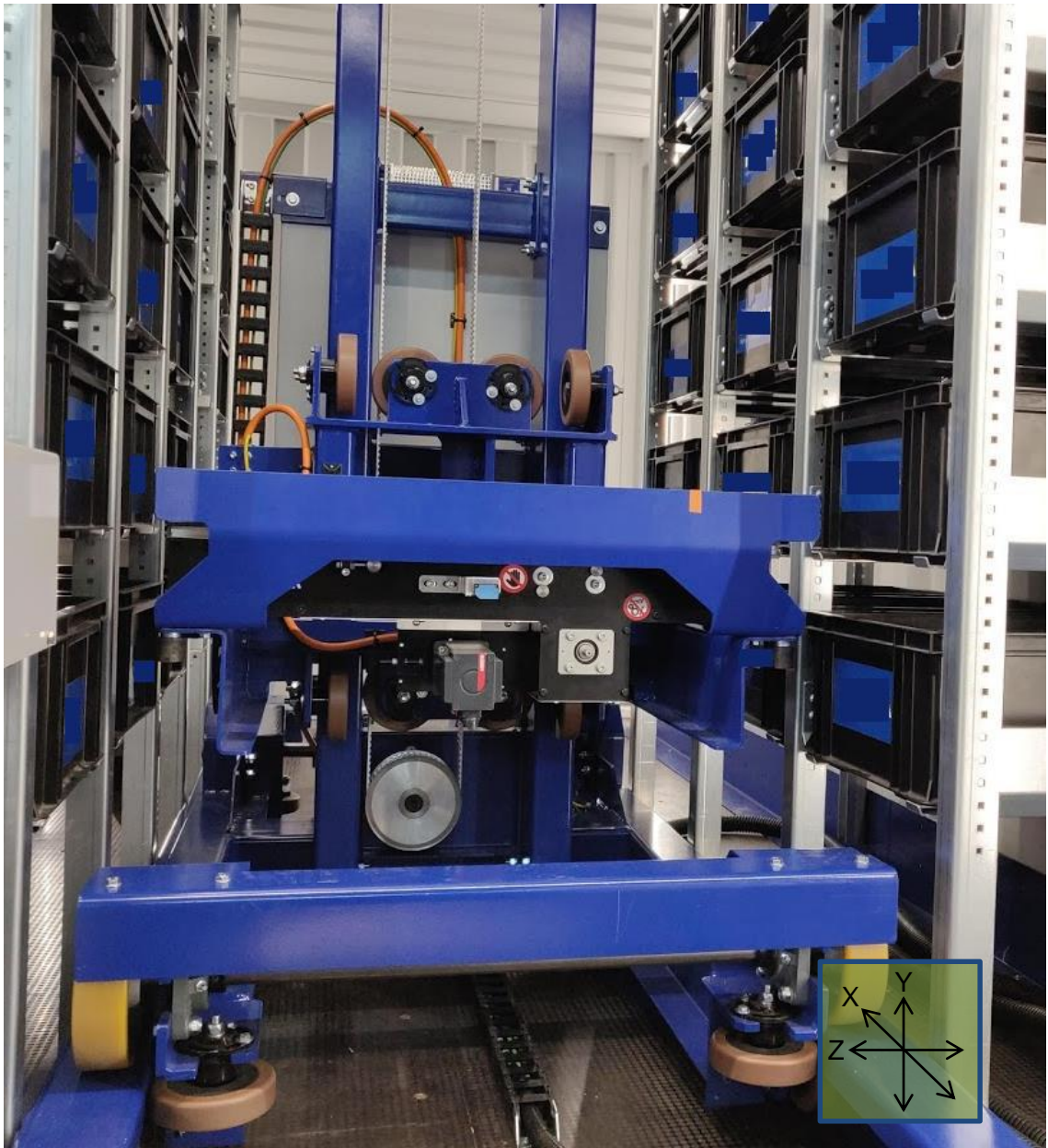
Robotin tarkoitus on keräillä tuotteet varastolaitteen kyydissä olevasta laatikosta kuljettimella olevaan siirtolaatikkoon. Käytössä oleva robotti on ABB:n IRB 1200-5/0.9 (kuva 5). Robotti tarttuu poimittavaan tuotteeseen Schmalzin valmistamalla alipainetarttujalla (kuva 5). Tarttujassa on paineanturi, joka tunnistaa onnistuneen tartunnan. Järjestelmän ohjauslogiikka kertoo robotille keräiltävän tuotteen tyypin ja määrän, kun hissi on valmiina keräilyä varten. Ohjauslogiikka ja robotti kommunikoivat Ethernet/IP-väylän yli.



Kuva 5. ABB:n robotti ja tarttuja

### 3.4 Varastolaite

Varastolaite on Algol Technicsin suunnittelema hyllystöhissi, joka pystyy liikkumaan X-, Y- ja Z-suunnassa (kuva 6). Laite saa keräiltävän tuotteen tyypin, määrän, tehtävätyypin ja sijainnin varastonhallintajärjestelmästä. Näiden tietojen pohjalta laite tarkastaa sijainnin koordinaatit omista parametreistaan ja suorittaa tehtävän. Kun kyseessä on tuotteiden keräilytehtävä, laite välittää tuotetiedot (tyyppi ja määrä) robotille.



Kuva 6. Varastolaite ja koordinaatisto

Laite paikoittaa itsensä servomootoreiden avulla. Moottori saa pulssianturilta takaisin-kytkentänä paikkatiedon. Lisäksi X-akselissa on ulkoinen Pepperl+Fuchs PXV100A-F200-B28-V1D asema-anturi (kuva 7), jolla saa turvaluokitellun paikkatiedon. Asema-anturi lukee kiskoon kiinnitettyä datamatriisinauhaa, joka kertoo lukupäälle paikkatiedon millimetрилukemana.



Kuva 7. Asema-anturi [7]

### 3.5 Hyllyt

Varastohyllyt ovat kahdessa rivissä ja niissä on varastopaikkoja yhteensä 48 kappaletta (kuva 8). Hyllyissä on lisäksi lukituslaitteet, jotta varastossa olevat laatikot saadaan lukittua paikalleen kuljetuksen ajaksi. Lukituslaitteen pystypalkissa on jokaisen hyllypaikan kohdalla uloke, joka painaa laatikon varastopaikan pohjaa vasten lukituslaitteen ollessa lukitusasennossa.



Kuva 8. Varastohyllyt ja lukituslaitteet

### 3.6 Varastohallintajärjestelmä

Varastohallintajärjestelmä on toteutettu samalla ohjelmoitavalla logiikalla, joka vastaa varastolaitteen ohjauksista ja kommunikoinnista robotille. Järjestelmä sisältää varastopaikkakohtaiset tuotetiedot, töiden käsittelyn, varaston kokonaissaldot ja varastolaatikoi-

den tiedot. Jokaisella varastopaikalla on koodi, ja kyseiseen paikkaan kuuluvalla laatikolla on vastaava koodi. Järjestelmä välittää keräilypyynnössä varastolaitteelle laatikon koodin, ja halutut tuotteet. Näiden tietojen pohjalta varastolaite osaa suunnistaa oikeaan paikkaan hakemaan laatikon ja välittämään keräilytiedot robotille. Kun robotti on keräillyt tuotteet laatikosta, varastolaite kertoo varastohallintajärjestelmälle työn valmistumisesta, ja varastohallintajärjestelmä vähentää kerätyt tuotteet varastosaldosta.

Töiden käsittelyyn on FIFO-työrekisteri. Tämä tarkoittaa sitä, että varastohallinta antaa varastolaitteelle tehtävät siinä järjestyksessä, kun ne on varastohallinnalta tilattu.

## 4 Ohjausperiaate

Järjestelmän ohjaukset, varastohallintajärjestelmä sekä käyttöliittymä toteutettiin Beckhoffin CX5140-0155 Embedded PC:llä, joka on Windows-pohjainen ohjelmoitava logiikka. Beckhoffin PC-pohjaisiin logiikoihin on asennettu TwinCAT 3 XAR -runtime, joka suorittaa ohjelmoijan tekemää konfiguraatiota ja PLC-ohjelmaa. Lisäksi PC:hen asennettiin Beckhoffin TwinCAT HMI -palvelin, joka toimii järjestelmän käyttöliittymänä. Käyttöliittymään pääsee käsiksi millä tahansa selaimella, joka tukee HTML5:sta.

### 4.1 TwinCAT 3 XAE

TwinCAT 3 XAE on Microsoft Visual Studioon integroitu Beckhoffin kehittämä ohjelmointiympäristö. Sekä logiikkaohjaukset että käyttöliittymä on ohjelmoitu kyseisessä ympäristössä. Se tukee kaikkia IEC 61131-3-standardin mukaisia ohjelmointikieliä. Tässä työssä ohjausten ja varastohallintajärjestelmän ohjelmointiin käytettiin pelkästään Structured text -kieltä, joka on tekstipohjainen ohjelmointikieli. TwinCAT 3:ssa määritellään ja parametroidaan samalla ohjelmistolla projektiin kuuluvat laitteet, parametroidaan liikkeenohjauskomponentit, ohjelmoidaan turvatoiminnot, ja kirjoitetaan logiikkaohjelmat. Logiikkaohjelma koostuu Program organization uniteista, jotka sisältävät itse suoritettavan ohjelman, funktiot ja funktiolohkot. Funktiot suorittavat jonkun tehtävän, ja voivat palauttaa jonkun arvon. Funktiolohkoilla taas on oma sisäinen muisti, jolloin ne voivat ottaa vastaan tietoja, käsitellä ne ja sen jälkeen palauttaa useita arvoja tai ohjata lähtöjä. Kuvassa 9 esimerkki structured text -ohjelmointikielestä.

```

1  rtResetSeq(CLK := gvlSeqParameters.bReset);
2  ftResetSeq(CLK := gvlSeqParameters.bReset);
3  tonReset(IN:= gvlToRobotInterface.bReset, PT := T#15S);
4
5  IF NOT gvlFromRobotInterface.bRobotHome THEN
6      IF rtResetSeq.Q THEN
7          gvlToRobotInterface.bReset      := FALSE;
8      END_IF
9
10     IF ftResetSeq.Q THEN
11         gvlToRobotInterface.bReset      := TRUE;
12         gvlToRobotInterface.bCycleStart := TRUE;
13     END_IF
14
15     IF gvlToRobotInterface.bReset THEN
16         IF gvlFromRobotInterface.bRobotHome OR tonReset.Q THEN
17             gvlToRobotInterface.bReset      := FALSE;
18             gvlToRobotInterface.bCycleStart := FALSE;
19         END_IF
20     END_IF
21 END_IF

```

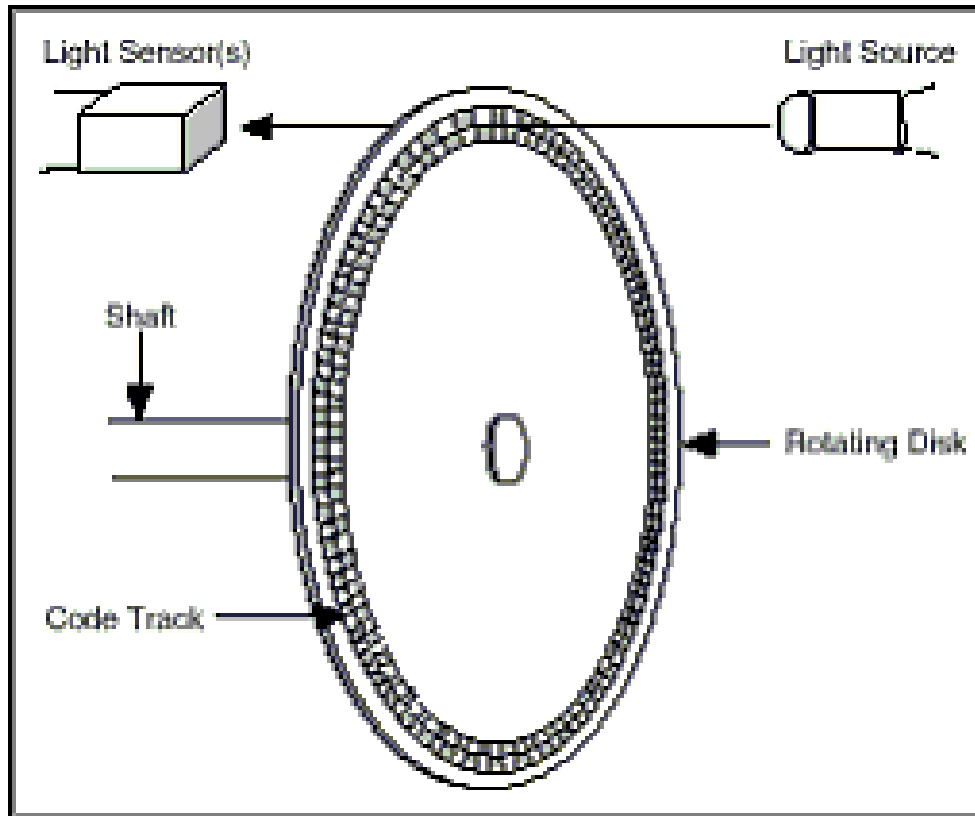
Kuva 9. Structured text –ohjelmointikieltä

TwinCAT HMI on ohjelmistoon liitettävä lisäosa, jolla voidaan ohjelmoida käyttöliittymä. Käyttöliittymä ohjelmoidaan vetämällä työkalulaatikosta komponentteja kankaalle, ja linkkaamalla niitä logiikan muuttujiin. Tehty käyttöliittymäprojekti julkaistaan HMI palvelimelle, jonka voi asentaa mihin tahansa Windows-tietokoneeseen. Käytettäessä Beckhoffin logiikkaa se usein asennetaan joko samaan PC:hen, joka suorittaa ohjaukset tai suuremmissa järjestelmissä erilliseen vastaavaan laitteeseen. Kun projekti on julkaistu palvelimelle, käyttöliittymän saa auki millä tahansa laitteella, joka on samassa verkossa kuin palvelin ja jossa on selain, joka tukee HTML5:sta. Kaikki tunnetuimmat internet-selaimet tukevat kyseistä teknologiaa.

## 4.2 Servot

Servojärjestelmä koostuu servo-ohjaimesta, moottorista ja takaisinkytkennästä. Takaisinkytkennällä tarkoitetaan sitä, että servo-ohjain saa tiedon moottorin todellisesta pyörimisnopeudesta ja se toteutetaan yleensä enkooderilla. Enkooderit ovat yleensä joko pulssi- tai absoluuttiantureita [2]. Tässä työssä käytössä olivat pulssianturit.

Pulssianturissa on pyörivä kiekko, jossa on usein tummia ja vaaleita osioita, valonlähde ja valoisuusanturi. Kiekon pyöriessä valoisuusanturi havaitsee eri määrän valoa riippuen onko valonlähteen edessä tumma vai vaalea osio. Kun valoisuus muuttuu, pulssianturi lähettää digitaalisen pulssin [3]. Kuvassa 10 on havainnollistettu pulssianturin toimintaa.



Kuva 10. Pulssianturin toiminta [8].

Servo-ohjain laskee annettujen nopeus-, kiihtyvyy-, hidastuvuus- ja nykäysparametrien mukaisesti tarvittavan virran pyydetyin ajotavan mukaisesti ja lähettää ne edelleen pienjänniteviestinä. Tämän jälkeen servovahvistin antaa moottorille tarvittavan sähkövirran vaaditun liikkeen toteuttamiseksi. Ajon aikana servo-ohjain laskee kuljettua matkaa takaisinkytkennän avulla ja tekee sen mukaisesti korjauksia jänniteviestiin, jolloin liike saadaan toteutettua tehokkaasti ja tarkasti [9.].

Tässä työssä käytettiin Beckhoffin AX5000-sarjan servo-ohjaimia ja Beckhoffin AM-sarjan servomoottoreita. Valitsemalla molemmat edellä mainitut samalta valmistajalta saavutettiin useita etuja, esimerkiksi servo-ohjain tunnistaa automaattisesti moottorin ja

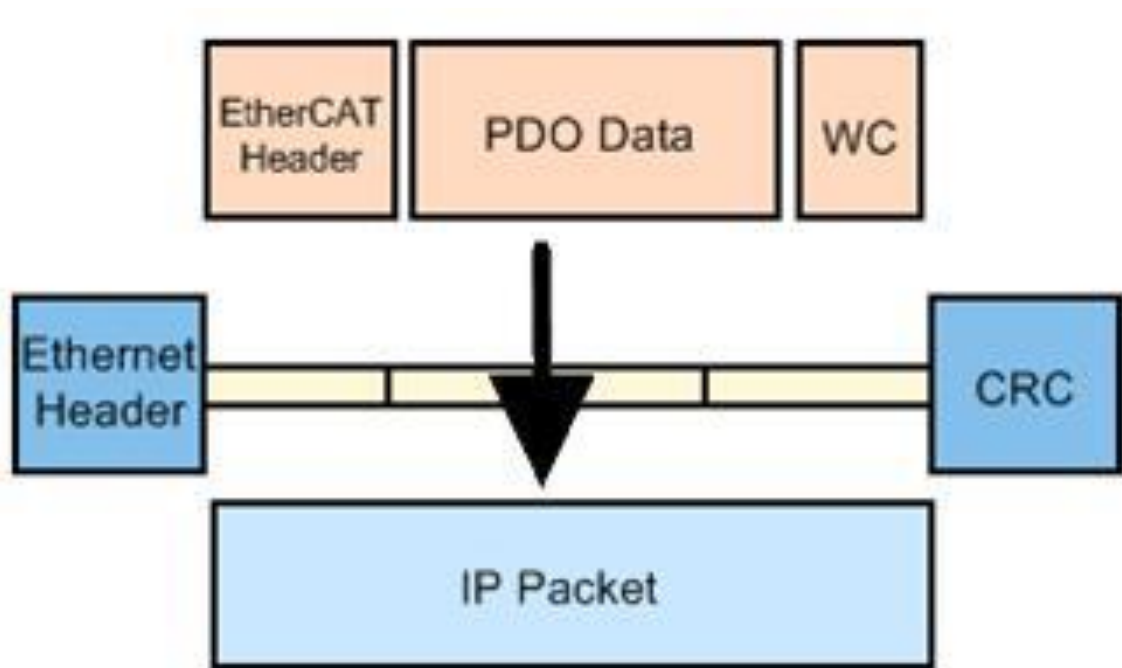
asettaa moottorin tyyppitiedot ja perusparametrit itsestään. AX5000-sarjan servo-ohjaimiin voi liittää turvaoptiokortin, jolla servojen turvatiedot saadaan kulkemaan suoraan EtherCAT-väylää pitkin ohjelmoitavalle logiikalle. Tässä järjestelmässä käytössä oli STO (Safe Torque Off)-turvatoiminto, joka estää häiriötilanteessa moottorin liikkeen sekä sen tahattoman käynnistymisen.

#### 4.3 Väyläratkaisut

Laitteet keskustelevat keskenään pääosin EtherCAT-väylän yli, sillä se on Beckhoffin laitteissa oletuksena. Lisäksi käytettiin Ethernet/IP-väylää logiikan ja robotin väliseen kommunikointiin sekä Profinettia logiikan ja asema-anturin väliseen kommunikointiin.

EtherCAT eli Ethernet for Control Automation Technology on Beckhoffin kehittämä Ethernet-pohjainen kenttäväylä. Se on teollisuuteen optimoitu hyvin nopea väylä. Nopeus perustuu siihen, että viestit eivät ole suunnattu tietylle vastaanottajalle, vaan vastaanottaja käsittelee viestiä samanaikaisesti, kun sitä luetaan, lisää oman datansa viestiin ja lähettää sen seuraavalle. EtherCAT master lähettää dataa kaikille vastaanottajille yhdessä viestissä, kaikki vastaanottajat lukevat viestin, lisäävät siihen oman datansa ja lähettävät eteenpäin, kunnes se palaa masterille.

EtherCAT viesti (kuva 11) sisältää otsikon (EtherCAT Header), prosessidatan (PDO Data) ja laskurin (WC). Otsikko sisältää viestin pituuden, varatun bitin ja tyyppin. Tyyppi varmistaa, että vastaanottajat tulkitsevat viestin oikein. Prosessidata sisältää tiedot, jotka vastaanottajan tulee lukea. Jokaiselle vastaanottajalle on oma yksilöity prosessidata. Vastaanottaja lukee ainoastaan sille kohdistetun osion. Laskurin tarkoitus on varmistaa, että jokainen vastaanottaja saa luettua kaiken sille suunnatun datan. [10.]



Kuva 11. EtherCAT viesti [10].

## 5 Käyttöönotto

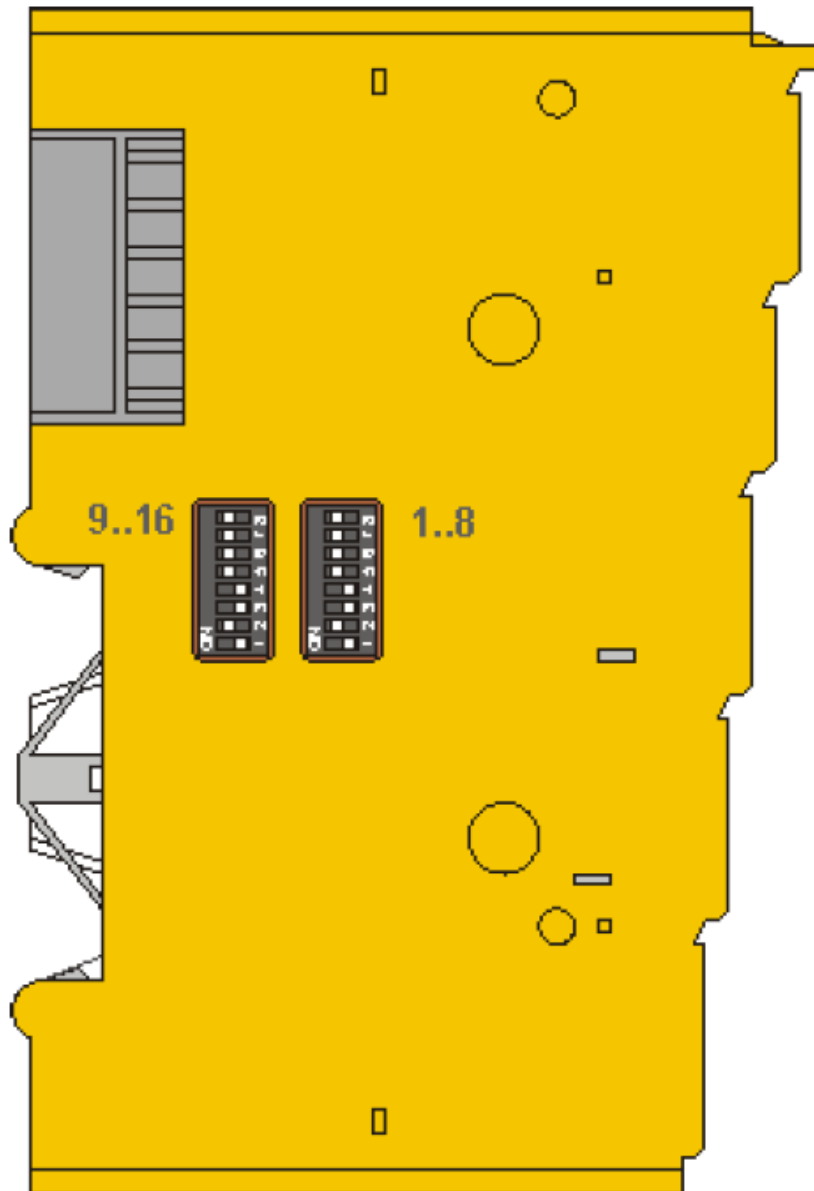
### 5.1 Laitteiston konfigurointi

Laitteiston käyttöönotto alkoi parametroida väylälaitteet. Servot ja standardi IO-kortit eivät yleensä vaadi erillistä parametointia, vaan ne joko toimivat sellaisenaan tai TwinCAT osaa asettaa perusparametrit valmiiksi. Turvalogiikka ja turva IO-kortit tarvitsevat parametointia. Niille pitää asettaa TwinSAFE-osoite, joka tapahtuu fyysisesti kortin kyljessä olevilla dip-kytkimillä (kuva 12). Kyseinen valittu osoite pitää myös parametroida laitteelle ohjelmointiympäristössä [11].

Asema-anturi keskustelee logiikan kanssa profinet-väylän yli, joten järjestelmässä pitää olla profinet master. Profinet masterille ja asema-anturille piti määrittää ip-osoite ja profinet device name. Näiden molempien ip-osoitteiden tulee olla samassa aliverkossa. Ennen asema-anturin ip-osoitteen määrittämistä laite tulee olla lisättyä konfiguraatioon. Tämä tapahtuu asentamalla laitteen GSD-tiedosto. GSD on tiedosto, joka sisältää ohjeen miten

kyseiselle laitteelle kommunikoidaan. Sen mukana tulee valmiina sen käyttämät tiedonsiirtoalueet ja asetettavat parametrit.

Robotin kanssa kommunikointia varten piti olla Ethernet/IP master. Tälle masterille piti asettaa ip-osoite, ja lisätä tiedonsiirtoalueet siirrettävää dataa varten. Käytännössä täytyy siis varata osoiteavaruus robotille menevälle datalle sekä myös vastaava osoiteavaruus robotilta tulevalle datalle.



Kuva 12. Beckhoff turvakomponenttien TwinSAFE-osoitteen dip-kytkimet [11]

## 5.2 IO-testaus

Kaikkien laitteiden ollessa toimintavalmiina, seuraava askel oli yhdistää IO:t ohjelman muuttujiin, ja käytännössä kokeilla vastaako kentällä tapahtuvat antureiden ja toimilaitteiden tilojen muutokset ohjelman vastaaviin muutoksiin. Tämä tapahtui käytännössä niin, että kentällä esimerkiksi painettiin painonappia, ja samaan aikaan katsottiin ohjelmointipäätteeltä tapahtuvaa muutosta.

## 5.3 Manuaaliajot

Laitteiston konfiguroinnin jälkeen piti kokeilla kuljettimien, nostolaitteen ja hyllystöhissin toimintaa manuaalisesti. Laitteita kokeiltiin ajaa kaikkiin mahdollisiin suuntiin hitaalla nopeudella, ja seurattiin liikkuuko kaikki sulavasti ja ilman sivuääniä. Lisäksi hyllystöhissillä kokeiltiin manuaalisia paikoitustoimintoja. Hissille annettiin joku millimetrilukema, johon sen tulee ajaa ja havainnoitiin kuinka tarkasti se tehtävän suoritti.

## 5.4 Varastopaikkojen koordinaatit

Hyllystöhissille täytyi opettaa varasto-, nouto- ja jättöpaikkojen koordinaatit. Varastopaikkojen koordinaatit opetettiin niin, että hissi ajettiin manuaalisesti jonkin varastopaikan kohdalle, mitattiin rullamitalla sen olevan sekä keskellä että oikean millimetrilukeman verran varastopaikalla olevan laatikon alapuolella, ja asetettiin lukema kyseisen varastopaikan kohdalle tietokantaan. Nouto- ja jättöpaikat opetettiin samalla periaatteella.

## 5.5 Automaattiajot

Viimeinen vaihe käyttöönotossa oli testata automaattisekvenssejä. Ensin aloitettiin laatikoiden noutotehtävät hyvin hitaalla nopeudella. Tästä edettiin ottamalla robotti mukaan, eli välitettiin laatikon tiedot robotille, ja palautettiin laatikko varastoon automaattisesti. Myös kokonaisen laatikon tilaamista kuljettimelle, ja lähettämistä takaisin varastoon kokeiltiin. Näiden onnistuttua lisättiin ajonopeuksia. Automaattisekvenssien ajon aikana

seurattiin varastohallintajärjestelmän toimintaa, esimerkiksi näyttääkö järjestelmä hissin kyydissä olevan laatikon sisällön oikein, päivittyykö se robotin keräilyn valmistuttua, palautuuko kyseinen laatikko varastoon oikein.

## 6 Yhteenveto

Projektin tarkoituksena oli toteuttaa täysin automaattinen varasto, joka voi toimittaa tuotteita ulos keräiltynä. Lisäksi varasto täytyi pystyä siirtämään minne tahansa maailmassa ja ottaa käyttöön hyvin nopeasti. Nämä tavoitteet saavutettiin. Tästä todistuksena on, että järjestelmä käyttöönotettiin Raahessa ja kuljetettiin Müncheniin, jossa se esiteltiin Transport Logistic 2019 -messuilla. Messuilla järjestelmän toimintavalmiuteen saattaminen kesti pari tuntia.

Käyttöönotossa suurimmat haasteet olivat servo-ohjainten turvaoptiokorttien konfigurointi ja hyllystöhissin x-akselin paikoituksen epätarkkuus. Paikoituksen epätarkkuus johtui jonkinlaisesta mekaanisesta välyksestä, mutta se saatiin kompensoitua ulkoisen asema-anturin avulla. Turvaoptiokortin haasteet johtuivat siitä, kun käytössä oli kaksi kanavainen servo-ohjain, johon oli kytketty vain yksi moottori. Tästä johtuen parametreissa täytyi valita epäjohdonmukaisia arvoja, joita selvitettiin Beckhoffin teknisen tuen kanssa.

Lopulta projekti onnistui hyvin, eikä nelipäiväisten messujen aikana järjestelmään tullut yhtään toimintahäiriötä.

## Lähteet

- 1 Muut tuoteryhmät 2019. Verkkoaineisto. Algol Technics Oy. <<https://www.algol-technics.fi/muut-tuoteryhmat/>>. Luettu 3.9.2019.
- 2 Dematic Multishuttle 2019. Dematic. Verkkoaineisto. <<https://www.dematic.com/en-us/multishuttle>>. Luettu 2.9.2019.
- 3 Wikimedia Commons 2019. Verkkoaineisto. <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KLT\\_MultiShuttle.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KLT_MultiShuttle.jpg)>. Avattu 3.9.2019.
- 4 Hyllystöhissit kuormalavoille 2019. Verkkoaineisto. Algol Technics Oy. <<https://www.algoltechnics.fi/automaattivarastot-ja-kuljetinratkaisut/automaattivarastot/?p=hyllystohissit-kuormalavoille>>. Luettu 2.9.2019.
- 5 Wikimedia Commons 2019. Verkkoaineisto. <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Armaz%C3%A9m\\_Autoportante.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Armaz%C3%A9m_Autoportante.jpg)>. Avattu 3.9.2019.
- 6 Varastonhallintajärjestelmät 2019. Verkkoaineisto. Logistiikan maailma. <<http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/ohjausjarjestelmat/varastonhallintajarjestelmat>>. Luettu 2.9.2019.
- 7 PXV 2-D 2019. Vision Online. Verkkoaineisto. <<https://www.visiononline.org/product-catalog-detail.cfm/Pepperl-Fuchs-Inc-VMT/PXV-2-D/productid/5399>>. Avattu 20.8.2019.
- 8 Incremental Encoders 2008. PC Control. Verkkoaineisto <[https://www.pc-control.co.uk/incremental\\_encoders.htm](https://www.pc-control.co.uk/incremental_encoders.htm)>. Luettu 20.8.2019.
- 9 What is a servo drive? 2016. Motion Control Tips. Verkkoaineisto. <<https://www.motioncontroltips.com/faq-what-is-a-servo-drive/>>. Luettu 20.8.2019.
- 10 Ethercat 2019. RT Automation. Verkkoaineisto <<https://www.rtautomation.com/technologies/ethercat/>>. Luettu 20.8.2019.
- 11 Operating Instructions for EL1904 2017. Verkkoaineisto. Beckhoff. <<https://download.beckhoff.com/download/document/automation/twinsafe/el1904en.pdf>>. Luettu 20.8.2019.