



# KONENÄKÖJÄRJESTELMÄÄN PERUSTUVAN LEIPOMOLAATIKOIDEN TARKASTUS- JA POISTOMANIPULAATTORIN SUUNNITTELU JA TOTEUTTAMINEN

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Maksim Maksimov			
Työn nimi Konenäköjärjestelmään perustuvan leipomolaatikoiden tarkastus- ja poistomanipulaattorin suunnittelu ja toteuttaminen			
Päiväys	29.5.2016	Sivumäärä/Liitteet	33/1
Ohjaaja(t) Lehtori Asko Tikanoja			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) CMe Solutions Oy			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli kuopiolainen sähkö- ja automaatioalan yritys CMe Solutions Oy ja loppuasiakkaana oli Suomessa ja Baltian maissa toimiva leipomoalan yritys Vaasan Oy. Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa automaattinen leipomolaatikoiden tarkastusjärjestelmä, jonka tehtävänä on löytää kuljettimella siirrettävistä laatuista rikkiäiset ja poistaa ne kierrosta. Vialliset laatuista aiheuttavat turvallisuusriskejä sekä monenlaisia ongelmia tuotannossa ja kuljetuksessa, ja niiden tarkastaminen käsin on vaikeaa ja tehotonta.</p> <p>Laatikoiden tarkastusjärjestelmä koostuu laatuksiiirtorataan sijoitettavasta tarkastusmanipulaattorissa ja automaatio-ohjauskeskuksesta. Manipulaattorin sisällä laatuista erotetaan toisistaan, mitataan Omron FQ2 -konenäkökameroilla ja, jos laatuista on todettu rikkiäiseksi, se poistetaan radalta. Mekaaniset toimenpiteet, kuten laatuista venyttäminen vikojen korostamiseksi ja poistaminen radalta, suoritetaan käyttämällä tarkkaa ja nopeaa Omron R88M-G40030H -servomootoria. Ohjauskeskuksesta löytyy järjestelmää ohjaava Omron CP1L -ohjelmoitava logiikka, kosketusnäyttö, jossa on käyttöliittymä manipulaattorin ohjaukseen ja valvontaan, servomootoria ohjaava Omron R88D-GT04H -servokäyttö sekä muut tarvittavat sähkökomponentit.</p> <p>Työ aloitettiin automaatio-ohjauskeskuksen sähkösuunnittelusta, sitten kirjoitettiin logiikan ohjelma ja ohjelmoitiin käyttöliittymä. Kun manipulaattori, automaatio-ohjauskeskus ja logiikan ohjelma oli valmiit, voitiin aloittaa konenäkökameroiden ohjelmointia. Viimeisenä vaiheena oli manipulaattorin testaukset ja käyttöönotto asiakkaalla.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin asiakkaan kohteeseen asennettu ja käyttöönotettu laatikoiden tarkastus- ja poistojärjestelmä. Koska asiakkaalla on käytössä erityyppisiä laatuksia, jotka eroavat toisistaan muodoltaan, väriltään ja kooltaan, konenäköjärjestelmän ohjelmoinnissa oli paljon hankaluuksia ja käyttöönotto kesti yli suunnitellun ajan.</p>			
Avainsanat			
konenäkö, automatiikka, ohjelmoitava logiikka, servomootori			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Maksim Maksimov			
Title of Thesis Planning and realization of the automated system for inspecting baking boxes based on a machine vision system			
Date	29 May 2016	Pages/Appendices	33/1
Supervisor(s) Mr. Asko Tikanoja, Lecturer			
Client Organisation /Partners CMe Solutions Oy			
<p>Abstract</p> <p>The idea of the this thesis was provided by the company CMe Solutions Oy operating in the fields of electric planning and automation in Kuopio, while the end client of the project was a bakery company Vaasan Oy operating in Finland and the Baltic states. The objective of the thesis was to plan and create an automated system for inspecting baking boxes which had to find defective boxes among the ones moving on the conveyor and remove them from the cycle. The defective boxes pose risks for safety as well as numerous problems in production and transportation, and their manual inspection is difficult and ineffective.</p> <p>The box inspection system consists of an inspection manipulator placed on the conveyor with the boxes and an automation control cabinet. The boxes put into the manipulator are separated from each other and measured with Omron FQ2 machine vision cameras; if the box is considered faulty, it is removed from the conveyor. Mechanical actions, such as stretching the box to identify the defects and removing it from the conveyor, are performed with an accurate and fast Omron R88M-G40030H servo motor. The control cabinet contains a programmable logic controller Omron CP1L, which control the system, a touch screen with the interface for controlling and supervising the manipulator, an Omron R88D-GT04H servo drive for controlling the servomotor, and other required electronic components.</p> <p>The work started from engineering the automation control cabinet; after that, the program for the logic controller was written, and the user interface was created. When the manipulator, the automated signal box, and the program for the logic controller were ready, it was possible to start programming the machine vision cameras. The last step involved testing the manipulator and delivering the system to the client for exploitation.</p> <p>The result of the project was the system for inspection and removal installed and prepared for exploitation at the client's premises. Since the client utilized various types of boxes, which had a different shape, color, and size, a great deal of difficulties were faced when programming the vision cameras, and the exploitation started later than initially planned.</p>			
<p>Keywords</p> <p>machine vision, PLC, programmable logic controller, servo motor, servo drive</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Työn tausta .....	6
1.2	Työn kuvaus .....	6
1.3	Työn sisältö .....	7
2	KONENÄKÖ .....	8
2.1	Konenäköjärjestelmän rakenne ja komponentit .....	8
2.1.1	Kamera ja optiikka .....	8
2.1.2	Valaistus .....	10
2.1.3	Kuvankäsittely- ja analysointiohjelmisto .....	10
2.1.4	Ohjaus, tiedonsiirto ja käyttöliittymä .....	11
2.2	Konenäön sovellukset teollisuudessa .....	12
3	SERVOJÄRJESTELMÄT .....	13
3.1	Servomoottorit .....	13
3.2	Takaisinkytkentäanturit .....	14
3.2.1	Pulssianturi .....	14
3.2.2	Absoluuttianturi .....	15
4	LAATIKKOTARKASTUSMANIPULAATTORIN MEKANIIKAN KUVAUS .....	16
5	SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOKESKUKSEN SUUNNITTELU .....	18
5.1	Sähkönsyötön järjestelyt .....	18
5.2	Servokäytön ohjauksen suunnittelu .....	18
5.3	Konenäkökameroiden ohjauksen suunnittelu .....	20
5.4	Anturipisteiden suunnittelu ja ohjelmoitavan logiikan valinta .....	21
6	OHJELMOITAVAN LOGIIKAN JA KÄYTTÖLIITTYMÄN OHJELMOINTI .....	23
6.1	Sekvenssit .....	23
6.2	Konenäkökameroiden ohjaus PLC Link -protokollilla .....	23
6.3	Käyttöliittymä .....	24
7	KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN OHJELMOINTI .....	26
8	TARKASTUSMANIPULAATTORIN TESTAUKSET JA KÄYTTÖÖNOTTO .....	29
8.1	Testaukset .....	29
8.2	Käyttöönotto asiakkaalla .....	30
9	YHTEENVETO .....	32

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	33
LIITE 1: SERVOKÄYTÖN OHJAUSSIGNAALIEN KYTKENTÄKAAVIO.....	34

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään kuopiolaisille sähkö- ja automaatioalan yritykselle CMe Solutions Oy:lle, ja työn tilaaja on Suomessa ja Baltian maissa toimiva leipomoalan yritys Vaasan Oy. Kasvaneen rikkinäisten leipomolaatikoiden määrän sekä tämän aiheuttamien turvallisuusriskien takia Vaasan Oy on päättänyt tilata yhtiön Vantaalla sijaitsevaan leipomoon automaattisen laatikkotarkastusjärjestelmän.

### 1.1 Työn tausta

Vaasan Oy:n leipomoissa valmistetaan merkittävä osa Suomessa käytettävistä leivistä ja leivonnaisista, myös Baltian maiden markkinoilla Vaasan konsernin elintarvikkeiden osuus on iso. Valmiit tuotteet toimitetaan kauppoihin standardikokoisissa muovisissa laatikoissa, jotka helpottavat tuotteiden varastointia, siirtämistä ja kuljettamista. Laatikot ovat monikertakäyttöisiä ja ne palautetaan omistajalle. Päivittäin kymmeniä tuhansia leipomolaatikkoja kiertää Suomen ja Baltian maiden ympäri. Leipomossa palautetut tyhjät laatikot käsittelee keskitetty automaattinen laatikkovarastointijärjestelmä. Laatikot pestään, varastoidaan ja siirretään tuotantolinjoihin koneellisesti. Pelkästään Vantaan leipomossa käsitellään tunnissa jopa 2 000 tyhjää laatikkoa.

Rikkinäiset laatikot aiheuttavat erilaisia ongelmia. Laatikot yleensä siirretään ja kuljetetaan pinoissa, joissa voi olla jopa 16 laatikkoa päällekkäin. Pinon korkeus voi ylittää 2 m ja paino useita kymmeniä kiloja. Pinossa olevan viallisen laatikon takia voi koko pino kaatua ja aiheuttaa vaaratilanteen ympärillä oleville ihmisille. Lisäksi pinon kaatuminen voi aiheuttaa ongelmia kuljetuksessa ja tuhota muita tavaroita. Rikkinäinen, vääntynyt tai pullistunut laatikko voi jumittua laatikkovarastointijärjestelmän ja tuotannon linjoissa. Esteettisesti pahannäköinen laatikko voi vaikuttaa valmistajan maineeseen, koska kaupoissa yleensä leipätuotteet ovat laatikoissa kuluttajien näkyvissä.

Rikkinäisten laatikoiden poistaminen kierrosta käsin on tehotonta ja jopa mahdotonta, koska automaattisen laatikkokäsittelyjärjestelmän olleessa käytössä ihmisten pääsy laitteistolle on rajoitettu erilaisilla turvajärjestelmillä.

### 1.2 Työn kuvaus

Työssä suunnitellaan ja toteutetaan automaattinen leipomolaatikoiden tarkastusjärjestelmä, jonka tarkoituksena on poistaa viallisia ja rikkinäisiä laatikkoja kierrosta. Ajatuksena on luoda valmis laite, joka voidaan sijoittaa leipomossa olevaan laatikkovarastoon laatikkosiirtokuljettimen päälle. Tarkastusjärjestelmän toiminta ei saa häiritä automaattisen laatikkovarastointijärjestelmän toimintaa.

Tarkastuslaitteen mekaniikkasuunnittelu ei kuulu tähän työhön, vaan se tilataan ulkopuoliselta suunnittelijalta. Mekaniikkasuunnittelijan kanssa tehdään tiivistä yhteistyötä mekaniikka- ja automatiikkaratkaisujen yhteensopivuuden savuttamiseksi.

Tarkastustyökaluna käytetään Omron-merkkistä FQ2-sarjan konenäköjärjestelmää. Työssä käytetään kahta konenäkökameraa, jotka kuvaavat ja mittaavat laatikkoa kahdesta päästä. Kuvanlaadun parantamiseksi sekä mahdollisten vikojen korostamiseksi laatikko tulee ensin erottaa muista samalla kuljettimella olevista laatikoista, pysäyttää ja venyttää pitkittäissuunnassa. Jos laatikko on todettu rikkiinäksi, se työnnetään kuljettimelta sivuun erilliselle poistolinjalle.

Koska tarkastuksessa laatikkoa käsitellään mekaanisesti, tarkastus- ja poistolaitteen nimikkeenä käytetään manipulaattori. Mekaaniset käsittelyt, kuten laatikon venyttäminen ja poistaminen, tehdään yhtä servomootoria käyttäen. Laatikon pysäyttäminen ja erottaminen jonosta toteutetaan kahdella pneumaattisilla stoppareilla. Tarkastusjärjestelmän ydinkomponenttina toimii Omron CP1L - ohjelmoitava logiikkaa, joka ohjaa manipulaattoria erilaisten antureiden, sekä konenäkökameroiden tietojen perusteella.

### 1.3 Työn sisältö

Työ jaetaan neljään vaiheeseen. Ensimmäisenä on tarkastusmanipulaattorin sähkö- ja automaatiokeskuksen suunnittelu. Toisena on ohjelmoitavan logiikan ohjelmointi. Kolmas vaihe on konenäkökameroiden ohjelmointi. Neljänteen vaiheeseen kuuluu manipulaattorin testaukset ja käyttöönotto.

## 2 KONENÄKÖ

Konenäkö on ohjelmistojen ja laitteistojen yhdistelmä, joka tuottaa mittaustietoja kohteesta analysoimalla kameran tai kameroiden avulla otettuja kuvia (Karto, 2015). Toisin sanoen konenäkö on koneen tai tietokoneen näköaisti. Silmänä toimii silloin digitaalinen kamera. Kamera on liitetty kuvankäsittelylaitteistoon, joka tulkitsee kameran näkemää kuvaa ennalta ohjelmoidulla tavalla. (Lempäinen, 2011)

Konenäkö on suhteellisesti uusi teknologia, ja sillä on laaja soveltamisala. Konenäköä käyttäen on mahdollista suorittaa sellaisia tehtäviä ja mittauksia, joita ei millään muilla tunnistusmenetelmillä voida toteuttaa. Nämä mittaustehtävät voivat olla esimerkiksi värien ja värivikojen tunnistusta tai pintavikojen kuten ruosteen tai korroosion jälkien tunnistusta. (Batcelor & Whelan, 2002)

Konenäköä sovelletaan tehtäviin, joissa visuaalisen tarkastuksen tai mittauksen on oltava nopeaa ja tarkkaa. Konenäkö voi toimia ihmisten tilalla rutiinitehtävissä, kuten liukuhihnasovelluksissa. Konenäköllä voi havaita myös valon aallonpituuksia, joita ihmisen silmä ei näe, mikä mahdollistaa konenäön toiminnan esimerkiksi pimeässä. (Savolainen, Konenäkö, Yleistä [Verkkosivu], 2013)

### 2.1 Konenäköjärjestelmän rakenne ja komponentit

Perinteiseen konenäköjärjestelmään kuuluu digitaalinen kamera (kiinteällä tai vaihdettavalla optiikalla), valaistus ja tietokone, jossa on kuvankäsittely-, mittaus-, ohjaus-, tiedonsiirto- sekä käyttöliittymäohjelmisto. Prosessoritehojen kasvaminen ja samalla koon ja tuotettavan lämmön pienentäminen tekevät mahdolliseksi näiden komponenttien yhdistämisen samaan koteloon. (Leino, 2011)

Konenäköjärjestelmää, jossa kaikki perinteisen systeemin komponentit sisältyvät samaan koteloon, sanotaan älykameraksi. Älykameran ohjelmointi ja asetukset täytyy tehdä erillisellä tietokoneella tai muulla käyttöliittymäpäätteellä. Kun älykameran ohjelmointi ja asetukset on tehty, ohjelmointipääte voi irrottaa ja kamera toimii täysin itsenäisesti. (Leino, 2011)

#### 2.1.1 Kamera ja optiikka

Kameran tehtävänä on kuvata mitattavaa kohdetta ja muuttaa saatu kuva digitaalseksi muodoksi. Kamerassa on optiikka, joka kohdistaa tuotteesta heijastuvan valon valoherkälle matriisille. Valoherkän matriisin avulla valon kirkkausarvo muuttuu sähköiseksi muodoksi. Kameran matriisi koostuu suuresta määrästä soluja eli pikseleitä. Pikselien määrä vaikuttaa kameran tarkkuuteen. (Voutilainen, 2004)

Konenäköjärjestelmien yhtenä tärkeänä ominaisuutena on tunnistus- ja mittausprosessin nopeus. Kameran matriisin pikselimäärän kasvaminen vaatii enemmän prosessoritehoa ja pidempää käsittelyaikaa. Siksi kamerantarkkuus on syytä valita tarkasti sopivaksi konkreettiseen sovellukseen. Sa-



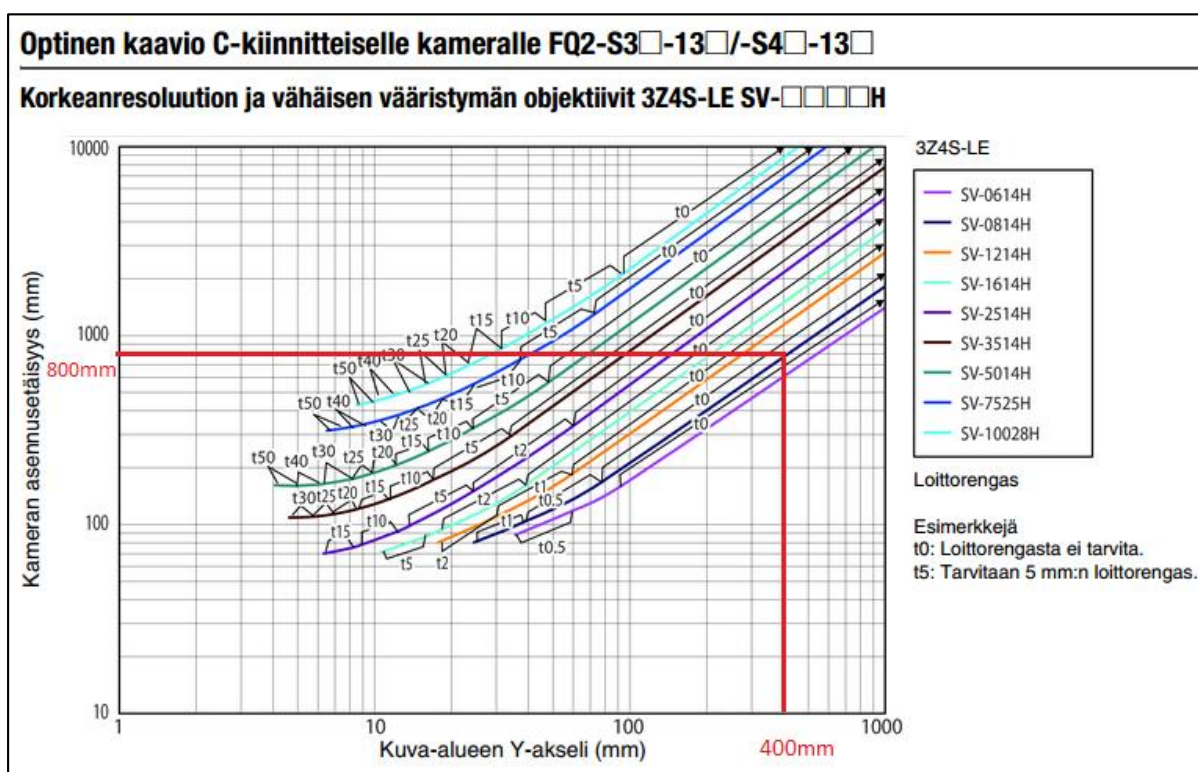
masta syystä edelleen monissa sovelluksissa käytetään mustavalkokameroita, kun väritieto kohteesta ei ole oleellista. (Lempäinen, 2011)

Yleisimmät matriisikoot, joita käytetään konenäkökameroissa ovat 350 000, 760 000 tai 1 300 000 pikseliä eli vastaavasti kameran resoluutio on silloin 752 x 480, 928 x 828, 1280 x 1024 (Omron, 2015).

Kameran kuvanlaatuun vaikuttaa myös kameran optiikka. Linssien kautta valo pääsee kameran matriisille, ja linssien laadusta ja optisista ominaisuuksista riippuu, kuinka matriisille projisoitu kuva toistaa kameran todellista näkymää. Valmistuksessa syntyvät linssivirheet ja niiden aiheuttamat kuvan vääristymät häiritsevät mittausta. Osaa virheistä kuitenkin voidaan eliminoida jälkikäteen laskennallisesti erilaisilla matemaattisilla menetelmillä, mutta tämä taas vie prosessorin aikaa. Kameralinssien valintaan kannattaakin kiinnittää erityisesti huomiota. (Halinen, 2007)

Kameralinssien optiset ominaisuudet, jotka kannattaa huomioida, ovat aukko eli f-luku ja polttoväli. Linssien f-luku kertoo, kuinka paljon valoa pääsee linssin kautta kameraan, mikä määrittää valaistusvaatimuksia. Polttoväli määrittää kuva-alan koon, joka näkyy kameralta tietyssä kameran ja kuvattavan kohteen välisestä etäisyydestä. (Halinen, 2007)

Tässä opinnäytetyössä käytettiin kahta Omron FQ2-S35-13M -älykameraa vaihdettavalla optiikalla. Linssien valinnassa kiinnitettiin huomio kameran ja kuvattavan leipomolaatikon väliseen etäisyyteen, joka oli noin 80 cm. Lopullinen valinta tehtiin käyttämällä Omronin optista kaaviota linssien valinnalle (kuvio 1). Linssiksi on valittu SV-0814H-linssi, jolla on 8 mm polttoväli, ja jonka f-luku on 1.4



KUVIO 1. Linssien valintakaavio (Omron, 2015)

### 2.1.2 Valaistus

Valaistus on kenties haasteellisin asia konenäöllä suoritettavassa mittauksessa. Kohteen tarkka kuvaaminen sekä virheetön mittausta vaatii oikeaa valaistusta. Valaistuksen on oltava muuttumaton, koska valon kirkkauden tai värin vaihtelu voi aiheuttaa saadun kuvan virheellistä tulkitsemista. Tämän takia ulkoinen yleisvalaistus, toteutettu esimerkiksi loisteputkivalaisimilla, ei sovi konenäkömittauksiin. Vaikka loisteputkivalo tuntuu muuttumattomana ihmisen silmälle, todellisuudessa sen kirkkausarvo muuttuu sähköverkkotaajuuden mukaisesti. (Voutilainen, 2004)

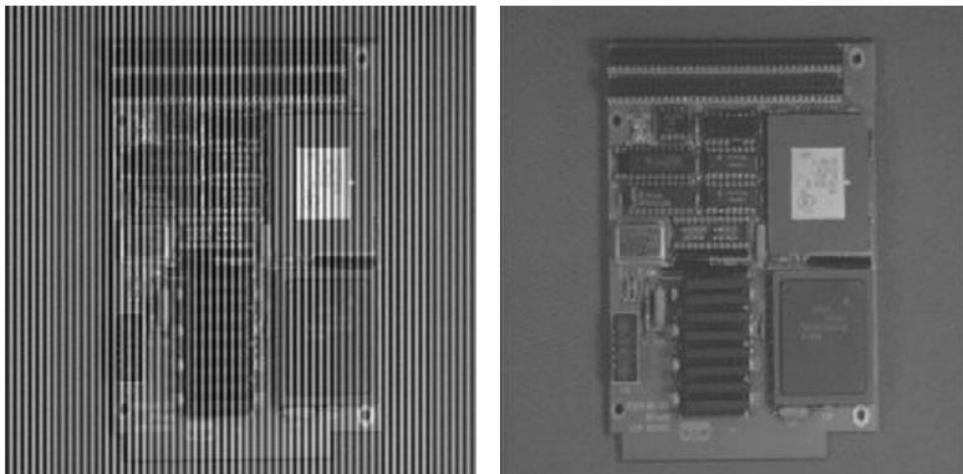
Nykyisin konenäkösovelluksissa valaistus toteutetaan käyttämällä ledi- tai lasertekniikkaa. Lasereja on tarpeellista käyttää, kun kyseessä on todella tarkka sovellus. Lediteknikka tarjoaa laajaa spektriä valoaaltoja myös ihmisille näkymättömällä infrapunaspektrialueella. (Lempäinen, 2011)

Konkreettisesta konenäkösovelluksesta riippuen voidaan käyttää erilaisia valaistustekniikoita. Tärkeää on, että valoa on tarpeeksi, ei liikaa tai liian vähän. Oikein valittu valaistus auttaa korostamaan tuotteen kiinnostavat kohdat, kuten pintaviat, reunat jne. (Halinen, 2007)

Valaistusmenetelmät, joita käytetään konenäköjärjestelmissä, ovat suora vakiovalo, epäsuora valo, taustavalon sekä salama- tai stroboskooppivalo. Suoravalaisuudessa valolähde on suunnattu suoraan kuvattavaa objekti kohti, se muodostaa terävät varjot mutta ei ole tasainen. Epäsuoravalon heijastuu kohteeseen toisten pintojen kautta, se on hyvin tasainen ja vähentää varjoja. Taustavalomenetelmässä valaistava tuote sijaitsee valolähteen ja kameran välissä, tuotteen ulkoreunat korostuvat hyvin esimerkiksi leveyden mittaukselle. Välikkyvä valo sopii hyvin nopeasti liikkuvan objektin kuvaamiseen. (Halinen, 2007)

### 2.1.3 Kuvankäsittely- ja analysointiohjelmisto

Kun objekti on kuvattu ja kuva on konenäköjärjestelmän muistissa, kuvaa voidaan muokata ja valmistella mittaukselle käyttäen erilaisia graafisia menetelmiä. Yleensä kuvasta yritetään suodata pois kohinaa tai muuta häiritsevää graafista melua (kuva 1) sekä käyttämällä erilaisia filttärejä, korostaa kiinnostavia piirteitä (kuva 2). (Pietikäinen & Silven, 2011)



KUVA 1. Sinimuotoisen häiriön poistaminen Fourier-muunnoksen avulla (Halinen, 2007)



KUVA 2. Punaista väriä sisältävän alueen korostaminen (Omron, 2012)

Konenäköjärjestelmien ohjelmoinnissa ja opetuksessa sovelletaan valmiina olevia analyysimetodeja. Metodien valikoima riippuu sovelluksesta, johon konenäköjärjestelmä on suunniteltu. Useimmissa sovelluksissa käytetään useita metodeja yhdelle kokonaiselle tarkastukselle. (Savolainen, Konenäkö, Yleistä [Verkkosivu], 2013)

Periaate, johon perustuu suurin osa kuva-analyysimetoodeista on seuraava. Muodostettu kuva tai kuvasta leikattu alue verrataan systeemiin etukäteen ohjelmoituun referenssikuvaan. Jos otettu kuva on riittävästi samankaltainen mallikuvan kanssa, järjestelmä hyväksyy sen. Jos kuva on toleranssirajojen ulkopuolella, se hylätään ja tieto hylkäyksestä siirretään ohjausjärjestelmälle. (Halinen, 2007)

Muut analyysimetodit, jotka eivät välttämättä vaadi vertailumallia, ovat esimerkiksi: (Savolainen, Konenäkö, Yleistä [Verkkosivu], 2013)

- tietynväristen pikselien lukumäärän laskenta
- tietynvärisistä pikseleistä muodostetun alueen sijainnin ja/tai pinta-alan laskeminen
- viivakoodin ja kaksiulotteisten koodien lukeminen
- OCR eli tekstin tunnistus
- viiva- ja QR -koodien tunnistus
- reunojen haku ja niiden sijainnin määrittäminen.

#### 2.1.4 Ohjaus, tiedonsiirto ja käyttöliittymä

Kuvankäsittelyn ja analysoinnin jälkeen mitatut tiedot siirretään raakana konenäköjärjestelmän ylempään päätöksenteko- ja ohjaustasoon. Näiden tietojen perusteella konenäön ohjausjärjestelmä voi tehdä korjaus- tai ohjaustoimenpiteitä alimpiin tasoihin, esimerkiksi muuttaa kuvan muodostuksen parametreja. Jos saatu informaatio on riittävä päätöksentekoon, ohjausjärjestelmä välittää tulokset ulkopuoleen automaatiojärjestelmälle, esimerkiksi ohjelmoitavalle logiikalle. (Halinen, 2007)

Konenäköjärjestelmän ohjelmointiin ja opettamiseen tarvitaan ihmisen ja konenäön välinen rajapinta eli käyttöliittymä. Käyttöliittymäpäättteenä voi toimia esimerkiksi tietokone. Liittymän ohjelmisto sisältää toiminnot konenäkölaitteiston toiminnan seurantaan ja säätämiseen sekä raportointityökalut. (Voutilainen, 2004)

## 2.2 Konenäön sovellukset teollisuudessa

Nykyään konenäköjärjestelmät sovelletaan laajasti erilaisten teollisuusprosessien automatisoinnissa. Konenäöllä korvataan ihmisten osallistumista prosessin vaikeisiin, aika vieviin ja yksitoikkisiin vaiheisiin. Konenäön avulla voidaan suorittaa myös ihmisille mahdottomia tehtäviä. (Halinen, 2007)

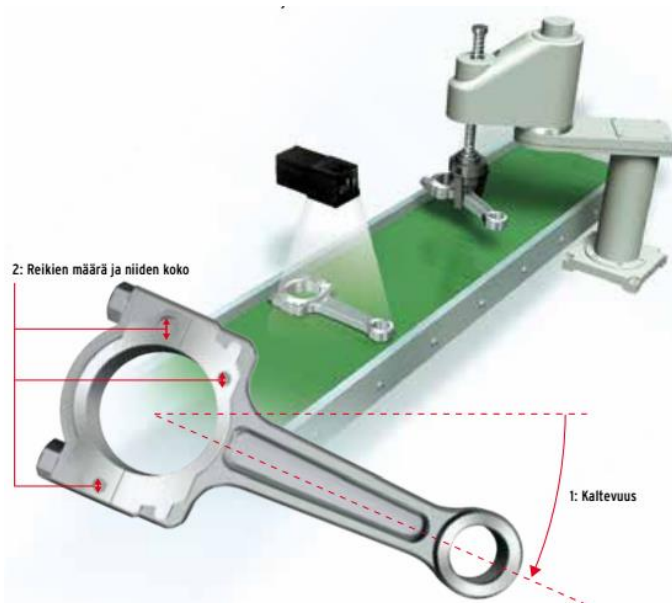
Yksi konenäköjärjestelmien tärkeimmistä sovellusalueista on laadunvalvonta, missä konenäöllä tarkkaillaan tehtäviä tuotteita vertaamalla niitä mallikappaleeseen ja etsimällä tuotteesta mahdollisia tyyppivikoja. Kun päätöksenteko on tehty ja välitetty automaatiojärjestelmälle, tuote voidaan lajitella halutulla tavalla. (Soini, 2011)

Visuaalinen laadunvalvonta ja lajittelu konenäöllä käytetään mm. elektroniikka-, metalli-, puunjalostus- ja elintarviketeollisuuden sovellutuksissa. Automaattisen laaduntarkastuksen hyväksi käyttäminen mahdollistaa korkeampaan tuotelaatuun päästämistä, sekä tuotantokustannusten optimointia. (Pietikäinen & Silven, 2011)

Toinen suuri konenäön sovellus on robotin ohjaus. Konenäöllä pystytään tunnistamaan tuotteiden muoto, koordinaatit ja asento esimerkiksi hihnalla. Tätä informaatiota voidaan käyttää erilaisten robottien ja manipulaattorien ohjaamiseen. (Halinen, 2007)

Perinteisesti robottia ohjattiin opettamalla sille tietty joukko toimintapisteitä robotin toiminta-alueesta. Näissä pisteissä robotti suorittaa ohjelmoituja toimenpiteitä, kuten tuotteen poiminta tai asettaminen. Jos tuotteiden paikka ja asento vaihtelee, pysyviä pisteitä ei voi käyttää. Silloin robotin ohjausjärjestelmä voi saada kappaleen paikkatiedot konenäköjärjestelmältä. (Halinen, 2007)

Kuvasta 3 näkyy esimerkksiovellus konenäön soveltamisesta tuotteen paikantamisesta robotin ohjaukselle. Samaan tien konenäöllä tarkastetaan kappaleen laatua. Näiden tietojen perusteella robotti pystyy poimimaan tuote hihnalta ja siirtää sen oikeaan paikkaan.

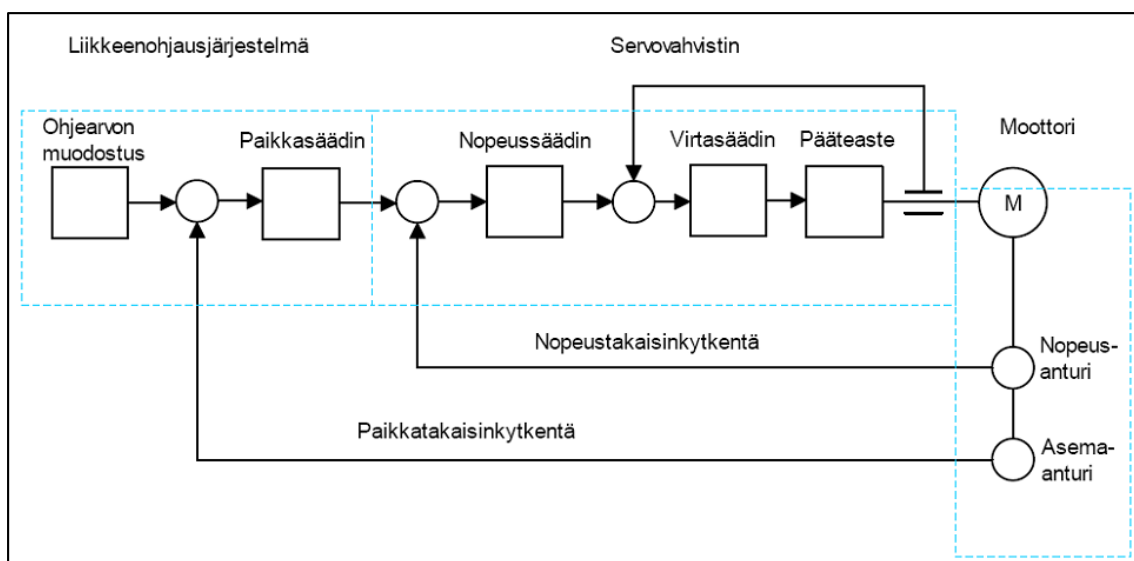


KUVA 3. Konenäköjärjestelmän sovellus robotin ohjauksessa. (Omron, 2015)

### 3 SERVOJÄRJESTELMÄT

Servojärjestelmällä tarkoitetaan suljettua liikkeensäätöjärjestelmää, joka ohjaa mekaanista liikettä dynaamisessa tilanteessa. Säädetävät mekaaniset suuret ovat nopeus, kiihdytys, asema ja vääntömomentti. Servojärjestelmän keskeisiä komponentteja ovat toimilaite (yleensä moottori), takaisinkytkentäanturi ja servokäyttö (servo drive), joka koostuu liikkeenohjausjärjestelmästä ja servovahvistimesta. Tärkeimpänä vaatimuksena servojärjestelmille on lyhyt vasteaika, eli järjestelmän on reagoitava hyvin nopeasti ohjearvon tai kuormituksen muutoksiin. Myös ohjearvon seuraaminen on oltava tarkka ja värähtelytön. Tyypilliset teollisuussovelluskohteet, joissa laajasti käytetään servojärjestelmiä, ovat erilaiset työstö- ja tuotantokoneet sekä robotit. (Teknillinen korkeakoulu, 2008)

Sähköisen servojärjestelmän periaatteellinen rakenne on esitetty kuvassa 4. Servovahvistin säättää moottorin pyörimistä liikkeenohjausjärjestelmältä annetun ohjearvon mukaisesti. Moottorin nopeutta ja asemaa mitataan ja seurataan antureilla, joilta servojärjestelmä saa takaisinkytkennän. Tyypillisissä sähköisissä servojärjestelmissä on kolme säätöpiiriä, nopeuden-, aseman-, sekä voimansäätö. (Teknillinen korkeakoulu, 2008)



KUVIO 2. Tyypillisen servojärjestelmän kaavio (Teknillinen korkeakoulu, 2008)

Säädettävän servomoottorin akselin ja takaisinkytkentäanturin välisen mekaanisen kytkennän täytyy olla mahdollisimman joustamaton, jotta anturin antamat mittaustiedot vastaavat tarkasti mitattavia suureita. Mekaaniset välykset ja joustot voivat aiheuttaa säädön epästabiilisuutta ja epätarkkuutta. Myös antureiden sähköiseen johdotukseen on käytettävä häiriösuojattuja kaapeleita sähkömagneettisten häiriöiden indusoitumisen estämiseksi.

#### 3.1 Servomoottorit

Servomoottorit voivat olla toimintaperiaatteeltaan sekä tasa- että vaihtosähkötyypisiä. Vanhemmat moottorit yleensä ovat DC-moottoreita, koska tasavirran säätö oli helpommin toteutettavissa. Transistoriteknikan kehittyessä vaihtosähköservomoottorien käyttö on yleistynyt. Automaatiosovelluk-

sisä käytettävien moottoreiden rakennetyypit ovat harjallinen tasavirtaservomoottori, harjaton DC-servomoottori ja tahti- tai epätahtityyppiset vaihtovirtamoottorit. (Halme & Parikka, 2005)

Rakenteeltaan servomoottorit ovat hyvin samankaltaisia tavallisten sähkömoottorien kanssa. Erona ovat tiukat dynamiikka- ja tarkkuusvaatimukset, joiden mukaisesti servomoottorit suunnitellaan. Esimerkiksi servomoottorit toimivat laajalla pyörimisnopeusalueella ja iso vääntömomentti on saattavissa jo nollassa nopeudesta. Lisäksi servomoottoreilla on oltava matala hitausmomentti ja hyvä momentin ja massan suhde. (Teknillinen korkeakoulu, 2008)

Servomoottorit ovat pienempikokoisia samatehoisiin tavallisiin sähkömoottoreihin verrattuna, ne mahtuvat ahtaampiin paikoihin ja tuottavat vähemmän hukkalämpöä korkean hyötysuhteen ansiosta. Servomoottorien pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia on helppo säätää ja nopea jarrutus ja kiihtyminen sekä tarkka paikoitus ovat mahdollisia myös korkeilla vauhdeilla. Moottorin suunnittelu, käyttöönotto ja virittäminen yleensä vaativat erityisosaamista. (Teknillinen korkeakoulu, 2008)

### 3.2 Takaisinkytkentäanturit

Servojärjestelmien toiminnan kannalta tieto servomoottorin akselin asemasta ja nopeudesta on tärkeä. Tavallisten automaatiojärjestelmissä käytettävien antureiden antama kaksitilainen (on ja off) informaatio ei riitä tässä tapauksessa, vaan tarvitaan anturi, joka pystyy tarpeeksi tarkasti mittaamaan akselin asentoa ja tunnistamaan tämän asennon pienempiäkin muutoksia. (Teknillinen korkeakoulu, 2008)

Servotekniikan kehittyessä on keksitty paljon metodeja ja antureita pyörivän liikkeen mittaamiseen. Nämä anturit voidaan jakaa kahteen pääryhmään analogiset ja digitaaliset. Analogiseja antureita ovat mm. potentiometrit, takogeneraattorit ja resolverit. Niiden yhteisiä huonoja puolia ovat epätarkkuus, nopea kuluvuus sekä huono suojaus häiriöistä, mutta niitä edelleen käytetään erikoissovelluksissa. (Teknillinen korkeakoulu, 2008)

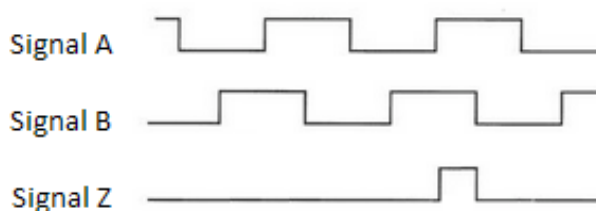
Anturitekniikan kehittyminen on vaikuttanut digitaalisten antureiden yleistymiseen servojärjestelmissä. Kertymäkulmaa sekä pyörimisnopeutta mittaavat digitaaliset anturit ovat periaatteeltaan optisia pulssi- tai absoluuttiantureita, joilla on hyvä tarkkuus ja häiriösuojaus, sekä kuluvien osien määrä on minimissä. (Teknillinen korkeakoulu, 2008)

#### 3.2.1 Pulssianturi

Pulssianturi eli inkrementtianturi koostuu valolähteestä, valon vastaanottimesta ja niiden välissä akselin kanssa pyörivästä optisesta pulssikiekosta. Pulssikiekko on jaettu tasaisesti moniin kirkkaisiin sekä läpinäkyvättömiin alueisiin. Näiden alueiden lukumäärää määrittelee pulssianturin tarkkuutta eli resoluutiota. Kiekon pyöriminen aiheuttaa valon näkyvyyden vuorottelua vastaanottimessa. Vastaanotin muodostaa kanttiaaltosignaalia eli pulssijonoa, jota analysoimalla voidaan päättää akselin kulmasiirrosta ja nopeudesta. (OEM Automatic. N.d., 2014)

Valovastaanottimen muodostaman pulssijonon yksi pulssi vastaa yhtä jako-osaa akselin täydestä kierroksesta. Jotta akselin kulmasiirto ja nopeus voitaisiin tietää, pulssien määrä on laskettava erillisellä laskurilla. Laskurilla laskettu pulssimäärää jaettuna pulssianturin resoluutiolla kertoo kierrosluvun, jonka akseli on kääntynyt laskemisen aikana. (Savolainen, Pulssianturi [Verkkosivu], 2011)

Akselin pyörimissuunnan tunnistamiseksi koodikiekkoon tehdään kaksi 90 astetta vaihesiirrossa olevaa viivavyöhykeitä. Näin saadaan aikaan kaksi pulssijonoa, joita yleensä nimitetään A- ja B- jonoiksi. Siitä kumpi pulsseista A vai B nousee ensimmäisenä, voidaan päätellä, pyöriikö akseli myötä- tai vastapäivään. A- ja B-pulssijonojen lisäksi pulssianturi antaa vielä yhden nolla tai Z -pulssin / kierros, joka osoittaa akselin nolla-asentoa (kuvio 3). (OEM Automatic. N.d., 2014)



KUVIO 3. Pulssianturin A, B ja Z signaalien aikakaavio

### 3.2.2 Absoluuttianturi

Absoluuttianturilla voidaan aina määrittää akselin tarkka asento riippumatta siitä pyöriikö akseli tai ei. Absoluuttianturista voidaan lukea asematieto muuttumattomana sähkökatkoksen tai muiden häiriöiden jälkeen. Rakenteeltaan absoluutti- ja pulssianturin ovat samankaltaisia. Absoluuttianturin koodikiekkolla on useita valokehoja, joissa vuorottelevat eripituisia valoa läpäiseviä ja läpäisemättömiä sektoreita. Lukemalla kiekkoa sädetään saadaan vyöhykkeiden lukumäärän pituista binäärikoodia. Binaarikoodista voidaan yksiselitteisesti sanoa akselin nykyhetkestä asennosta. (Teknillinen korkeakoulu, 2008)

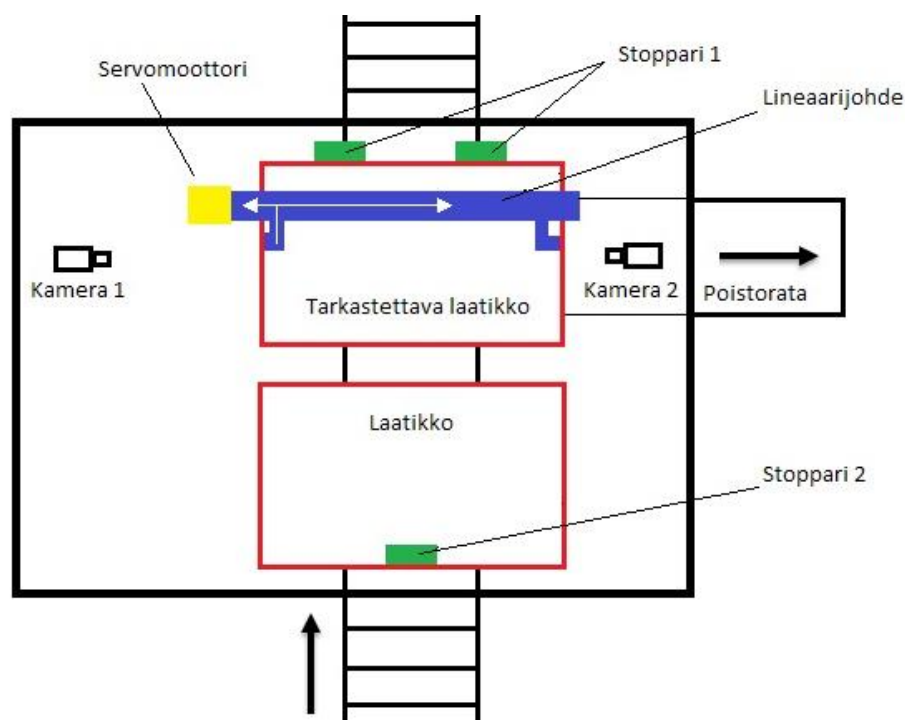
Absoluuttianturit voivat olla yksi- tai monikierroksia. Yksikierroksissa antureissa kerroksen menossa umpeen koodi alkaa nollasta, eli tarkasti akselin asennosta voidaan sanoa ainoastaan yhden kierroksen rajoissa. Monikertaisiin absoluuttiantureihin on lisätty myös kierrosten laskenta, eli on tiedossa, akselin kulma-asennon lisäksi, montako kierrosta akseli on tehnyt nolla-asennosta alkaen. (OEM Automatic. N.d., 2014)

Valokiekot koodaukseen on olemassa erilaisia menetelmiä kuten, luonnollinen binäärikoodi, binääridesimaalikoodi eli BSD ja Gray-koodi. Binääri- ja BCD koodien käyttö voi aiheuttaa virheitä koska niissä, valokiekon yhden pykälän pyörähtäessä, voivat useat bitit vaihtaa tilansa. Silloin bittien tilojen vaihdon on tapahtuva samanaikaisesti, jotta seuraavana luettu koodi olisi oikea, mutta todellisuudessa samanaikainen bittitilojen vaihto on vaikea toteuttaa. Gray-koodi on suunniteltu niin, että vain yksi biitti muuttuu kerrallaan, joten Gray-koodi on yleisin absoluuttiantureissa. (Teknillinen korkeakoulu, 2008)

## 4 LAATIKKOTARKASTUSMANIPULAATTORIN MEKANIIKAN KUVAUS

Mekaanisesti laatikkotarkastusmanipulaattori on suunniteltu valmiina laitteena, joka voidaan sijoittaa laatikkovarastoon jatkuvasti pyörivän siirtokuljettimen päälle. Manipulaattori koostuu suorakaiteen muotoisesta alumiinirungosta, jossa on kiinni kaikki tarkastusjärjestelmän osat. Jotta ulkovalon vaikutusta konenäkökameroiden toimintaan voidaan vähentää, on alumiinirunkoon kiinnitetty peltiseinät sekä katto. Huoltotoimenpiteitä varten peltiseiniin on tehty avattavat luukut. Laitteen ulkomitat ovat 150 x 200 x 150 cm.

Valitun sijoituspaikan ahtauden takia manipulaattoria ei onnistuttu suunnitella niin, että laatikot kulkeisivat sen keskellä, vaan kulkuakseli on siirretty hieman oikealle manipulaattorin keskiakselin suhteen. Kuviossa 2 on esitetty tarkastusmanipulaattorin periaatteellinen rakenne, josta kaikki pääkomponentit näkyvät.



KUVIO 4. Laatikkotarkastusmanipulaattorin yksinkertaistettu rakennekuva, ylhäältä katsottuna

Laatikkorata, poistorata, lineaarijohde, servomoottori ja stopparit ovat manipulaattorin alapuolella. Kameras 1 ja 2 sekä ledinauhoilla toteutettu valaistus ovat yläpuolella.

Kameras 1 ja 2 on sijoitettu noin 80 cm etäisyyteen laatikosta, sen yläpuolelle. Osittain servomoottori ja lineaarijohde piilottavat laatikon kameroilta. Asiakkaan kanssa käydyissä palavereissa selvitetiin, että tämä piilotettu alue ei ole kriittinen ja yleensä siellä ei ole vikoja.

Stopparilla 1 laatikko pysäytetään tarkastuspaikkaan ja se on tuplattu laatikon kääntymisen estämiseksi. Stopparilla 2 seuraava laatikko pysäytetään ja erotetaan tarkastettavasta. Stopparit avataan ja suljetaan pneumaattisilla sylintereillä.



Servomoottorin akseliin on kytketty lineaarijohde, jolla moottorin pyörivä liike muutetaan lineaariseksi, suhteessa 30 mm / kierros. Lineaarijohteen liikkuvan osaan (vasemmalla) on kiinnitetty metallinen linkku, jolla laatikon vasen reuna otetaan kiinni venyttämistä ja tarvittaessa poistamista varten. Vastapuolella on samanlainen kiinteä linkku, jonka vastaan laatikkoa voidaan venyttää.

Laitteen automaattiseen ohjausjärjestelmään liittämiseksi laatikkotarkastusmanipulaattoriin on lisätty erilaisia antureita, muun muassa optiset anturit eli valokennot laatikoiden sijainnin määrittämiseksi sekä induktiiviset anturit lineaarijohteen liikkuvan kelkan ääri- sekä nolla-asentojen tunnistamiseksi. Näistä antureista kerrotaan tarkemmin seuraavassa luvussa.

## 5 SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOKESKUKSEN SUUNNITTELU

Ohjauskeskuksen sähkösuunnittelu aloitettiin syksyllä 2015. Automaatio-ohjauskeskuksen tuli sisältää kaikki tarkastusmanipulaattorin automaattiseen toimintaan tarvittavat komponentit, sekä vastata koneturvallisuuteen liittyviä standardeja.

### 5.1 Sähkösyötön järjestelyt

Alussa suunniteltiin sähkösyötön järjestely keskuksen komponenteille. Ohjauskeskuksen komponentit, jotka tarvitsivat 230 V AC sähkösyöttöä, olivat:

- 24 V 5 A DC virtalähde
- keskuksen sisäinen pistorasia huoltotarpeisiin
- servokäyttö.

Valittu servokäyttö vaatii toimiakseen kaksi erillistä 230 AC sähkösyöttöä. Toinen syöttää käytön päävirtapiiriä ja toinen ohjausvirtapiiriä. Koska servokäyttö ei ollut varustettu turvallisuustoiminnoilla, jotka takaisivat servomoottorin varmaa pysäytystä kytkemättä pois päävirtapiirin jännitettä, pääpiiriin sähkösyöttö järjesteltiin kahden sarjaan kytketyn kontaktorin kautta. Kontaktorien kelojen ohjaus on järjestetty Omron G9SE-201 -turvarelelyksikön kautta.

Ohjauskeskuksen pienen koon sekä matalan tehon ja nimellisvirran takia keskuksen sähkösyötöksi suunniteltiin yksivaiheinen 16 A liittymä.

### 5.2 Servokäytön ohjauksen suunnittelu

Leipomolaatikkaa tarkastettaessa ennen kuvaamista konenäkökameroilla sitä venytetään, ja jos laatikko on todettu rikkiinäkseksi, se on poistettava kuljettimelta sivuun. Nämä mekaaniset toimenpiteet manipulaattorissa toteutetaan käyttämällä hyvin tarkkaa ja nopeaa servomoottoria ja sitä ohjaavaa ohjausyksikköä eli servokäyttöä (servo drive).

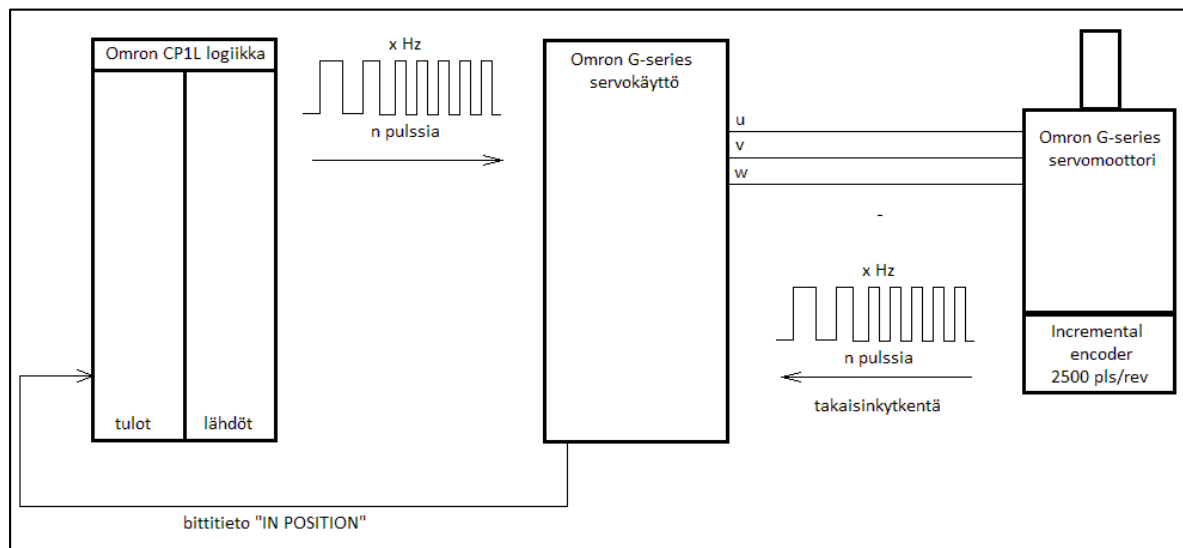
Työssä käytettiin pulssijonolla ohjattavaa Omron R88D-GT04H -servokäyttöä sekä R88M-G40030H AC -servomoottoria. Käytetyn servomoottorin teho on 400 W ja nimellispyörimisnopeus on 3 000 kierrosta minuutissa. Moottorin nimellismomentti on 1,3 Nm, ja vähintään kolmen sekunnin ajan moottori pystyy tuottamaan siitä 300 %.

Moottori on varustettu kaksikanavaisella inkrementti- eli pulssianturilla, jonka avulla muodostuu takaisinkytkentä moottorista servokäytölle. Pulssianturin resoluutio on 2 500 pulssia kierrosta 'kohden. Lineaarijohde muuttaa servomoottorin pyörivää liikettä lineaarisesti suhteessa 30 mm / kierros, mikä tarkoittaa sitä, että mekaanisten liikkeiden tarkkuus on silloin:

$$\Delta = \frac{30}{2500} = 0,012mm$$

Ohjelmallisesti pulssianturin resoluutiota voidaan nostaa neljäkertaiseksi eli 10 000 askelta kierroksellaan. Silloin ei lasketa pulssien määrää vaan lasketaan pulssianturin A- ja B-kanavien pulssien nousevat sekä laskevat reunat.

Servokäyttöä ohjataan pulssijonolla ohjelmoittavalta logiikalta kuvion 5 mukaisesti



KUVIO 5. Servokäytön ohjauksen pulssijonolla periaate

Servomoottori kytketään ohjauskeskuksessa olevaan servokäyttöön kahdella kaapelilla, päävirta- ja pulssianturikaapelilla. Servokäytön ohjaukseen pulssijonolla ohjelmoitavassa logiikassa on oltava siihen tarkoitettu nopea pulssilähtö, joka johdotetaan servokäytölle kytkentäkaavion mukaisesti (liite 1). Logiikan sisällä pulssilähtö voidaan kommutoida kahteen eri liittimeen. Toinen liittimistä on kytketty ohjaamaan servokäyttöä pyörittämään moottoria eteen (CCW = Counterclockwise) ja toinen taakse (CW = Clockwise).

Pulssilähdöllä muodostetun pulssijonon taajuus määrittää servomoottorin pyörimisnopeutta ja pulssien määrä määrittää liikematkaa. Lisäksi muuttamalla pulssijonon taajuutta lennossa voidaan säätää kiihdytys- ja jarrutusramppeja.

Servokäytön parametreissa voidaan määrittä kertoluku (Electronic Gear Raitio), jolla skaalataan logiikalta syötettyä pulssijonoa halutulla tavalla. Esimerkiksi tätä ominaisuutta voidaan käyttää, kun logiikan pulssilähdön maksimitaajuus ei riitä pyörittämään moottoria halutulla nopeudella.

Työssä käytettiin servomoottorin pulssianturin oletusresoluutiota 2 500 pulssia / kierros ja servokäytön sisäinen skaalausparametri oli 1. Silloin moottoriakselin yksi kierros vastaa logiikalta syötettyä 2500 pulssia pitkää pulssijonoa. Esimerkiksi jos pulsseja syötetään 2 500 Hz taajuudella, moottorin akseli tekee yhden täyden kierroksen sekunnissa. Koska moottoriakselin yksi täysi kierros vastaa 30 mm lineaarijohteen siirtoa, saadaan laatikon käsittelynopeudeksi (venytys- tai poistoliike) 30 mm/s.

Servokäyttö pyrkii pyörittämään moottoria logiikalta syötetyn pulssijonon mukaisesti (nopeus ja lii-  
kematka), moottorin pyörimistä seurataan jatkuvasti takaisinkytkennällä pulssianturista. Kun pulssi-  
anturista on saatu logiikan pulssijonoa vastaava pulssimäärä, servokäyttö välittää logiikalle bittitieto  
"In position", joka osoittaa, että pyydetty liikematka on tehty.

Työssä, pulssilähdön lisäksi, oli käytetty myös muita digitaalisia signaaleja servokäytön ohjaukseen  
ja jokainen signaali oli johdotettu omaan ohjelmoitavan logiikan lähtöön. Nämä signaalit ovat:

- run- signaali, joka kytkee servokäyttö päälle
- häiriön kuittaus
- momentin rajoitus, signaalin olleessa päällä servomoottorin momentti rajoitetaan servokäy-  
tön parametreissa olevaan arvoon
- paikkavirheen nollaus.

Servokäytöltä logiikan digitalituloihin, "In position" -signaalin lisäksi, oli kytketty myös seuraavat sig-  
naalit:

- häiriö
- servo valmis
- momenttiraja on saavutettu
- pulssianturin nollapulssi.

### 5.3 Konenäkökameroiden ohjauksen suunnittelu

Omron FQ2 -sarjan älykameronissa on kaksi fyysistä liitäntää, virta + I/O -liitin ja Ethernet-liitin. FQ2  
-konenäkökamerat tukevat useita viestintämenetelmiä muihin laitteisiin. Perinteisesti kameroita voi-  
daan ohjata digitaalisten ohjaussignaalien avulla, mutta tämä vaihtoehto rajoittaa kameroiden omi-  
naisuuksien käyttöä, monimutkaistaa sähkösuunnittelua ja asennustöitä, sekä kasvattaa ohjelmoitta-  
van logiikan digitaalisten tulojen ja lähtöjen määrää.

Toisenlaisesti FQ2 -kameraa voidaan ohjata, sekä lukea tiedot kameralta Ethernet -liitännän kautta.  
Tämä vähentää konenäköanturin ja ohjelmoitavan logiikkaohjaimen väliseen tiedonsiirtoon kuluva  
suunnittelutyötä. Kameralat tukevat erilaisia Ethernet-pohjaisia tiedonsiirtoprotokollia kuten PLC Link,  
FINS, sekä Ethernet/IP.

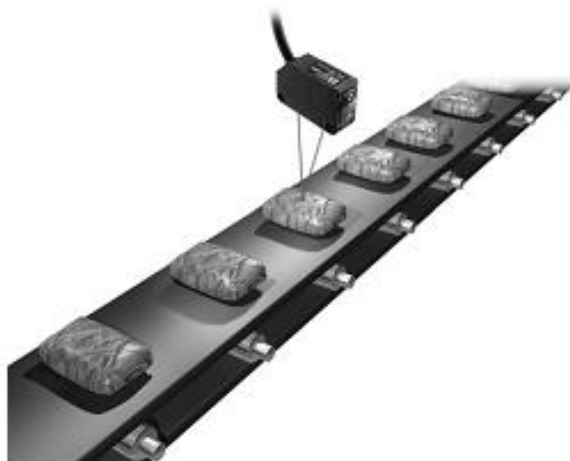
Työssä päätettiin ohjaamaan konenäkökamerat Ethernet liitännän kautta PLC Link protokollilla, sil-  
loin kameroiden toista, virta + I/O -liitäntä, käytettiin pelkästään 24 V DC -sähkösyötön kytkentään.  
Molemmat kameralat kytkettiin ohjelmoitavaan logiikkaan Ethernet-kytkimen (switch) kautta. Samaan  
kytkimeen yhdistettiin myös konenäkökameroiden käyttöliittymäpääte TouchFinder, sekä kosketus-  
näyttö, johon ohjelmoitiin käyttöliittymä laatikotarkastusmanipulaattorin ohjaukseen.

#### 5.4 Anturipisteiden suunnittelu ja ohjelmoitavan logiikan valinta

Tarkastusmanipulaattorin automaattisen toiminnan toteuttamiseksi, tarvittiin tiedot laatikoiden sijainnista, sekä laitteen liikkuvien osien asennosta.

Laatikoiden sijainti tai olemassaolo päätettiin tunnistamaan optisia antureita tai ts. valokennoja käyttäen. Kahta valokennoa laitettiin tunnistamaan laatikon reunaa ennen molempaa stopparia. Näin tiedetään laatikon saapumisesta manipulaattorin sisääntuloon, sekä tarkastuspaikkaan. Myös näiden valokennojen avulla pystytään varmistamaan, että stopparin alla ei ole laatikkoa ennen stopparin laskemista.

Valokennot oli laitettu niin, että niiden valosäteet oli suunnattu pystysuorasti alaspäin tunnistamaan laatikon pitkittäistä reunaa. Laatikon alla olevan kuljetinhihnan vaikutuksen valokennojen toimintaan estämiseksi valokennoiksi oli valittu Omron E3Z-LS86 säädettävällä tunnistuspituudella ja taustan vaimennustoiminnolla (kuva 4).



KUVA 4. Hihnalla olevien esineiden tunnistus taustan vaimennustoiminnolla varustetulla valokennolla (Omron, 2016)

Kolmas valokenno laitettiin poistoradalle varmistamaan, että rata on tyhjä ennen laatikon poistamista tarkastuksen jälkeen.

Servomootorilla liikuttavalla lineaarijohteella on selkeät mekaaniset ääriasennot, joita ennen lineaarinen liike on pysäytettävä ohjelmallisesti. Lineaarijohteen ohjelmallisten ääriasentojen osoittamiseksi käytettiin kahta M12 kokoista induktiivista anturia. Anturit laitettiin noin 3 cm ennen mekaanisia rajoja. Logiikka on ohjelmoitu niin, että jommankumman antureista aktivoinnissa logiikan pulssilähtö lopettaa pulssijonon syöttöä servokäytölle välittömästi, servomoottori pysähtyy ja sen liikkuminen samaan suuntaan estetään.

Kolmas induktiivinen anturi on laitettu osoittamaan lineaarijohteen nolla-asentoa eli ts. kotipaikkaa. Ainoastaan silloin kun lineaarijohde on kotipaikassa, laatikko voi siirtyä manipulaattorin sisällä.

Yhteensä manipulaattorin sisään laitettavaksi suunniteltiin 10 anturia, sekä 2 pneumaattista venttiiliä ja valonohjaus. Manipulaattorin ja ohjauskeskuksen välisten kytkentäkaapeliin määrän pienentämiseksi päätettiin kytkemään kaikki ylämainitut anturit ja toimilaitteet kahden 8-pisteisten hajautusrasioden kautta. Jakorasioihin anturit ja toimilaitteet kytketään M12 kierrelähtimillä.

Suunnittelussa automaattista järjestelmää ohjaavalle ohjelmoitavalle logiikalle muodostuivat seuraavat vaatimukset:

- vähintään yksi pulssilähtö servokäytön ohjaukseen
- sisäänrakennettu Ethernet-portti konenäkökameroiden ohjaukseen
- vähintään 19 digitaalista tuloa ja 13 lähtöä antureiden, toimilaitteiden, merkkivalojen, servokäytön ja muiden digitaalisten signaalien kytkentään I/O -kartan mukaisesti (taulukko 1)

Näiden vaatimusten mukaisesti valittiin Omron CP1L-EM40DT1-D ohjelmoitava logiikka

TAULUKKO 1. Ohjelmoitavan logiikan I/O -kartta

Tulot, 24 kpl			Lähdöt, 16 kpl		
Looginen osoite	Signaalin lähde	Kuvaus	Looginen osoite	Kytkenäpaikka	Kuvaus
CIO 0.00	Servokäyttö	Servo valmis	CIO 100.00	Servokäyttö	Pulssijono eteen CCW
CIO 0.01	Servokäyttö	Servon häiriö	CIO 100.01	Servokäyttö	Pulssijono taakse CW
CIO 0.02	Servokäyttö	Servo "In position"	CIO 100.02	Ohjauskeskus, riviliitin	Varalla
CIO 0.03	Servokäyttö	Momenttiraja saavutettu	CIO 100.03	Apurele	Valaistuksen ohjaus
CIO 0.04	Servokäyttö	Pulssianturin nollapulssi	CIO 100.04	Servokäyttö	Paikkavirheen nollaus
CIO 0.05	Valokenno	Laatikon tunnistus 1	CIO 100.05	Servokäyttö	Momentin rajoitus
CIO 0.06	Valokenno	Laatikon tunnistus 2	CIO 100.06	Servokäyttö	Servo päälle
CIO 0.07	Induktiivinen anturi	Lineaarijohden päätyraja	CIO 100.07	Servokäyttö	Servon häiriön kuittaus
CIO 0.08	Induktiivinen anturi	Lineaarijohden päätyraja	CIO 101.00	Apurele	Starttikäsky poistoradalle
CIO 0.09	Induktiivinen anturi	Lineaarijohden kotipaikka	CIO 101.01	Apurele	Vara relelähtö
CIO 0.10	Ohjauskeskus	Ohjausjännite päällä	CIO 101.02	Apurele	Stoppari 1 alas
CIO 0.11	ei käytetty	ei käytetty	CIO 101.03	Apurele	Stoppari 2 alas
CIO 1.00	Induktiivinen anturi	Stoppari 1 ylhäällä	CIO 101.04	ei käytetty	ei käytetty
CIO 1.01	Induktiivinen anturi	Stoppari 1 alhaalla	CIO 101.05	ei käytetty	ei käytetty
CIO 1.02	Induktiivinen anturi	Stoppari 2 ylhäällä	CIO 101.06	Ohjauskeskus	Merkkivalo, käynnissä
CIO 1.03	Induktiivinen anturi	Stoppari 2 alhaalla	CIO 101.07	Ohjauskeskus	Merkkivalo, häiriö
CIO 1.04	Valokenno	Laatikon tunnistus poistoradalla			
CIO 1.05	Hajautusrasia	Vapaa liitin (varalla)			
CIO 1.06	Hajautusrasia	Vapaa liitin (varalla)			
CIO 1.07	Varastojärjestelmä	Laatikkokuljetin käynnissä			
CIO 1.08	Poistorata	Poistorata käynnissä			
CIO 1.09	Poistorata	Poistorata valmis			
CIO 1.10	ei käytetty	ei käytetty			
CIO 1.11	ei käytetty	ei käytetty			

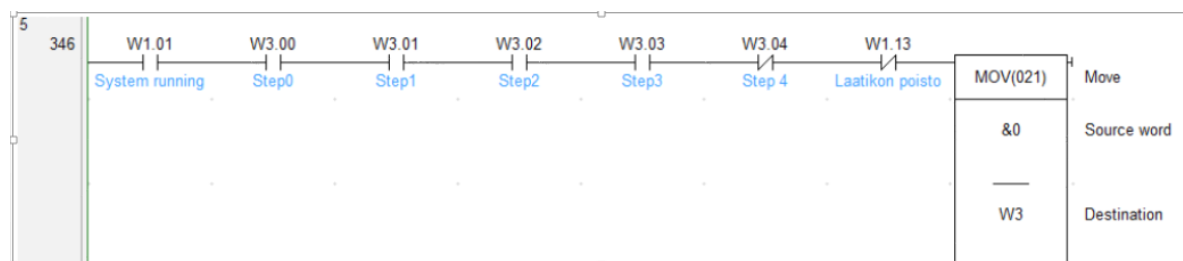
## 6 OHJELMOITAVAN LOGIIKAN JA KÄYTTÖLIITTYMÄN OHJELMOINTI

Laatikoiden tarkastusjärjestelmää ohjaa Omron CP1L -ohjelmoitava logiikka. Logiikka ohjelmoitiin Omron CX-Programmer -ohjelmointiympäristössä, ja ohjelmointikielenä oli Ladder Diagram (LD) -kieli. Ohjelmoitava logiikka ohjaa tarkastusmanipulaattorin kaikki mekaaniset toiminnot antureista ja konenäkökameroista saatujen tietojen perusteella.

Ohjelmoinnissa logiikan ohjelma jaettiin eri loogisiin osiin (section). Jokaisessa osassa ohjataan manipulaattorin yhtä toimintaa, esimerkiksi stopparien ohjaus, servon kotipaikan (nolla-asennon) haku, konenäkökameroiden ohjaus ja kameroista saatujen tietojen analysointi.

### 6.1 Sekvenssit

Käydessään manipulaattori toistaa samanlaiset toimenpiteet syklisesti tietyssä järjestyksessä, minkä vuoksi ohjelma on järjestetty sekvenssiperiaatteella. Yhdestä pääsekvenssistä erilaisten ehtojen mukaisesti kutsutaan suoritettavaksi manipulaattorin loogisia ja mekaanisia toimintoja, joista suurin osa myös on ohjelmoitu sekvenssillä. Toisin sanoen ohjelmassa on yksi pää- ja useat alisekvenssit. Kuviossa 6 on logiikan ohjelman pääsekvenssin loppuosa, jossa laatikon poiston alisekvenssin loppuosassa ohjelman suoritus siirtyy pääsekvenssin alkuun eli nolla-askeliin ja seuraavan laatikon käsittely alkaa.



KUVIO 6. Pääsekvenssin koodin esimerkki

Tarkastusjärjestelmän käynnistyessä ensin suoritetaan Start-funktiota, jossa manipulaattoria tyhjenetään laatikkoista pysähtymällä laatikkojonoa stopparilla. Kun manipulaattorin sisällä ei ole laatikkoja, tilanne vastaa pääsekvenssin nolla-askelin tilannetta, jolloin pääsekvenssiä ja vastaavasti koko tarkastusjärjestelmää voidaan käynnistää.

Manipulaattorin toiminnot, joita kutsutaan pääsekvenssistä, ovat mm. laatikon päästäminen manipulaattoriin sisään, laatikon venyttäminen, kuvaaminen konenäkökameroilla ja tulosten analysointi, rikkinäisen laatikon poistaminen, tarkastetun laatikon läpi päästäminen.

### 6.2 Konenäkökameroiden ohjaus PLC Link -protokollilla

PLC Link -protokollia käyttäen voidaan logiikan muistia jakaa useiden laitteiden välillä. Konenäkökameran asetuksissa määritetään logiikan muistialueet, joita kamera (client) voi käyttää kommunikoinnissa logiikan kanssa. Vastaavasti ohjelmoitavan logiikan asetuksissa määritellään kameroi-

den(clients) IP-osoitteet ja portit, joista kamera voi päästä lukemaan ja kirjoittamaan tiedot logiikan muistiin. Kameralle määritetään yhteensä kolme muistialuetta logiikan muistista: komentoalue (command area), vastausalue (response area) ja data-alue (data alue). Kameranohjausjärjestelmä jatkuvasti skannaa komentoaluetta odottaessaan ohjauskäskyä logiikalta. Vastausalueeseen kamera kirjoittaa käskyn suorituksen tilaa (busy, done) ja omaa tilatietonsa (ready, error). Jos ohjauskäskyn suorituksen jälkeen kameran tulee välittää jotakin tietoja logiikkaan, niitä kirjoitetaan data-alueeseen.

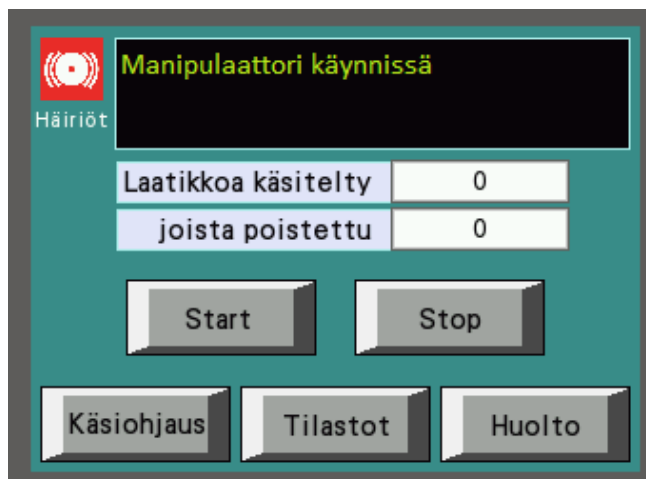
Kun kaikki asetukset on tehty, konenäkökamerat voidaan helposti ohjata kirjoittamalla ohjauskäskyä suoraan kameroiden kanssa jaettuun logiikan muistiin. Käskyjen suorittamista voidaan seurata lukemalla kameroille määritettyjä vastaus- ja data-alueita.

Kuvaaminen ja kuvaamisen tulosten analysointi on toteutettu myös sekvenssiperiaatteella. Ensin kameroille annetaan kuvauksensuorittamiskäsky, sen jälkeen kun kamera vastaa vastausalueeseen, että käsky on suoritettu ja mittaustiedot on siirretty muistin data-alueeseen, voidaan aloittaa mittaustulosten analysointia ja tehdä päätös laatikon kunnosta. Yksityiskohtaisemmin kameroilla tehtävistä mittauksista ja mittaustulosten tyypeistä kerrotaan luvussa 7.

Tarkastusjärjestelmän testivaiheessa selvitettiin, että asiakkaalla on käytössä kolme eri laatikkotyyppiä, joita ei voitu tarkastaa samoilla metodeilla. Kameroille tehtiin kolme eri asetussarjaa(scene) eri laatikkotyyppien tarkastukseen. Ensimmäisen kuvauksen yhteydessä tunnistetaan laatikon tyyppiä, ja jos se eroa yleistyytilältä, kameroissa aktivoidaan laatikkotyyppiä vastaava asetussarja ja kuvaaminen toistetaan. Konenäkökameroiden ohjaussekvenssi monimutkaistunut ja myös kameroiden ohjelmoinnin työn määrä on kolmikertaistunut.

### 6.3 Käyttöliittymä

Käyttäjä voi ohjata tarkastusjärjestelmää, muuttaa automaattiajon parametreja, lukea virhe- ja huomioilmoitukset, selvittää virhetilanteet jne. käyttöliittymän kautta. Ohjauskeskuksessa käyttöliittymäpäätteenä on käytetty Omron NB5Q 5-tuumanen kosketusnäyttö. Näyttö on kytketty logiikkaan konenäköjärjestelmän kanssa saman Ethernet-kytkimen (switch) kautta. Käyttöliittymän päänäkymä on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Laatikkotarkastusjärjestelmän käyttöliittymän päänäkymä



Omronin NB -sarjan kosketusnäytöt ohjelmoidaan NB-Designer-ohjelmointisovelluksessa. Ensin NB-Designerin projektissa luodaan looginen yhteys NB-näytön tai näyttöjen ja logiikan välillä Loogisen yhteyden parametrissa määritetään fyysisen yhteyden tyyppi (Ethernet, RS-232 ta USB) ja sen parametrit, kuten IP-osoitteet ja portit.

NB-Designer tarjoaa laajan valikoiman graafisia ja ohjelmointityökaluja käyttöliittymänäyttöjen luomiseen. Suurin osa toiminnoista toimii suoraan CP1-logiikkaohjaimen muistin kanssa. Esimerkiksi bittipainikkeen tilatieto (1 tai 0) voidaan linkittää johonkin logiikan muistin bittiin. Kosketusnäyttö voi suorittaa myös lasku- tai loogisia toimintoja ohjelmoitavasta logiikasta saatujen tietojen perusteella ja palauttaa tulokset logiikan muistiin.

Kun NB-Designerin projektin alkuasetukset oli tehty, voitiin aloittaa käyttöliittymän ohjelmointia. Ohjelmoinnissa pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeä ja helppokäyttöinen rajapinta käyttäjän ja tarkastusjärjestelmän välillä. Normaalityötoiminnassa, kun manipulaattori on käynnistetty automaattitilaan, käyttäjä ei tarvitse käyttää kosketusnäyttöä ollenkaan.

Luodun käyttöliittymänäytön komponentit, kuten bittipainikkeet, bittilamput, datakentät ja hälytysikkunat, on linkitetty logiikan välimuistipaikoihin. Näissä muistipaikoissa olevien tietojen perusteella logiikka ohjaa tarkastusprosessia ja indikoi prosessin tilaa käyttäjälle. Näytön sisällä ei suoriteta laskuja tai loogisia toimintoja.

Huoltopainikkeen takaa löytyy "Asetukset" -sivut, joihin on kerätty tarkastukseen vaikuttavat parametrit, kuten ajastimet, nopeudet, viiveet, servomoottorin liikkeiden pituudet ja nopeudet. Osa parametreista, joita tarvittiin vain käyttöönoton yhteydessä, on suojattu salasanalla.

"Käsiajot"-suvulta käyttäjä voi liikuttaa manipulaattorin osat käsin, esimerkiksi virhetilanteiden selvittämisessä. Käsiajoihin ei voi päästä, kun manipulaattori on automaattitilassa.

Päänäkymän ylhäällä olevaan viestikenttään kirjoitetaan manipulaattorin tilaa osoittavat ilmoitukset, sekä virhetiedot. Viestien lista on luotu NB-näyttöön, jokainen huomio- tai virheviesti on linkitetty omaan logiikan muistin bittiin. Kun logiikassa bitin tila muuttuu ykköseksi, bittiä vastaava viesti näytetään viestikenttään.

## 7 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN OHJELMOINTI

Konenäköjärjestelmän ohjelmoinnissa sovellettiin FQ2-S35-13M kameroiden tunnistus- ja analyysimetodeja leipomolaatikoiden tarkastukseen ja vikojen etsimiseen. Omron FQ2 -konenäkökamerat voidaan ohjelmoida tietokoneeseen asennetulla TouchFinder PC -ohjelmistolla tai järjestelmän omalla TouchFinder-kosketusnäytöllä. PC -ohjelman ja kosketusnäytön käyttöliittymät ovat täysin samantyyppiset (kuva 6) ja työssä käytettiin molempia vaihtoehtoja. Ohjelmointi tapahtui pääosin hiirellä tai styluksella. Tietokoneen käytön etuna oli mahdollisuus ohjelmoida sekä konenäköä, että logiikkaa samaan aikaan. Tietokone ja TouchFinder-kosketusnäyttö kytketään samaan Ethernet-verkkoon logiikan, kameroiden ja NB- kosketusnäytön kanssa. Ohjelmoinnin jälkeen tietokone erotettiin ja TouchFinder-kosketusnäyttö jäi tarkastusjärjestelmään. monitorointityökaluna.

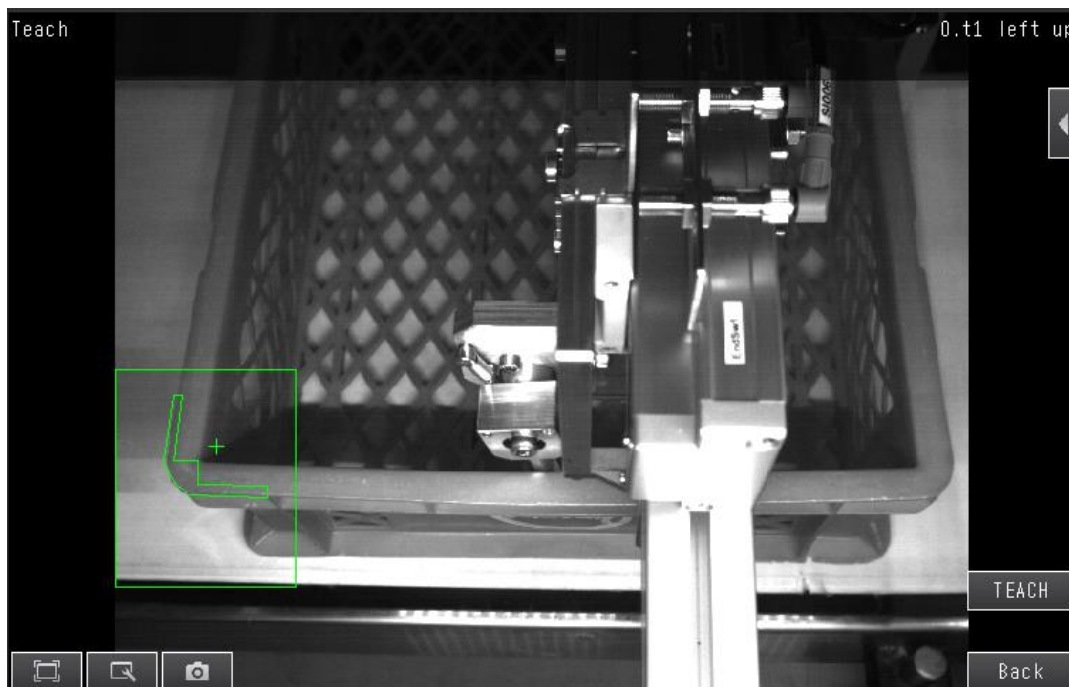


KUVA 6. TouchFinder-käyttöliittymän näkymä, ohjelmointitilassa

Ennen otetun kuvan analysointia, kuva voidaan muokata graafisilla työkaluilla laatikon haluttujen piirteiden korostamiseksi. Nämä työkalut ja filtterit löytyvät Image- otsikon alta (kuva 6). Manipulaattorin testivaiheessa kokeiltiin soveltamaan erilaisia graafisia filttärejä, mutta lopussa päätettiin, että kuvan muokkausta ei tarvita.

Asiakkaan kanssa sovittiin, minkälaiset laatikon virheet pitää löytää konenäkökameroilla. Tarkastuksessa tarkastetaan laatikon ylä- ja alakulmien ehjyyttä, etsitään halkeamia laatikon yläreunasta kahvan kohdasta sekä puuttuvia paloja alareunasta. Vasemmalla kameralla oli myös mahdollista tarkastaa Vaasan logon oikeellisuutta tai laatikon keskiosan kokonaan puuttumista. Koska kamerat oli sijoitettu eri tavalla laatikon suhteen, kameroiden näkymät olivat erilaiset, eikä ollut mahdollista ohjelmoida ensin jommankumman kameralta ja sitten kopioida ohjelman toiseen kameraan, vain molemmat kamera ohjelmoitiin erikseen.

Laatikon kulmien ehjyyttä tarkistettiin Search-metodilla (inspection item). Hyväkuntoisen laatikon jokaisesta kulmasta kameroille opetettiin malleja, joihin tarkistettavien laatikoiden kulmat verrataan (kuva 7). Vertailussa kamera laskee vastaavuusarvot prosentteina jokaiselle kulmalle ja välittää nämä tiedot reaaliaikaisesti logiikalle.



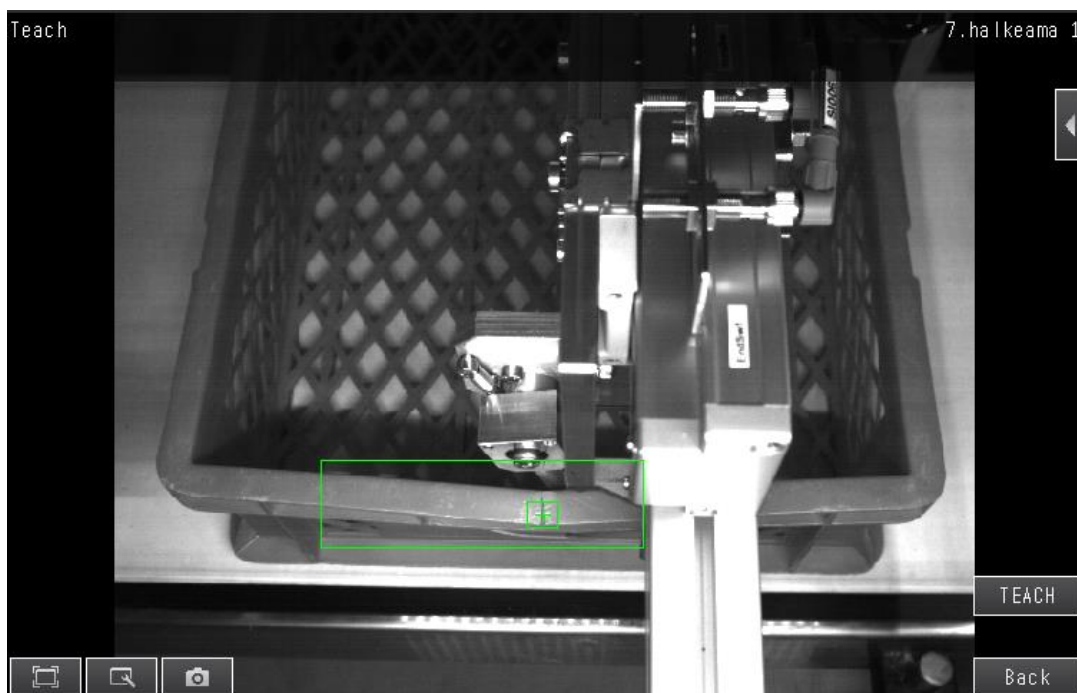
KUVA 7. Kulman mallin opettaminen kameralle

Samalla tavalla, Search-metodilla, tarkistetaan laatikon alareunan muotoa (pitkä suora reuna), jos reunasta puuttuu pala, kamera joko ei löydä mallia vastaavaa aluetta ollenkaan (silloin vastaavuusarvo on nolla), tai laskee pieni vastaavuusarvo vialliseksi reunalle, joka hylätään logiikan tasolla.

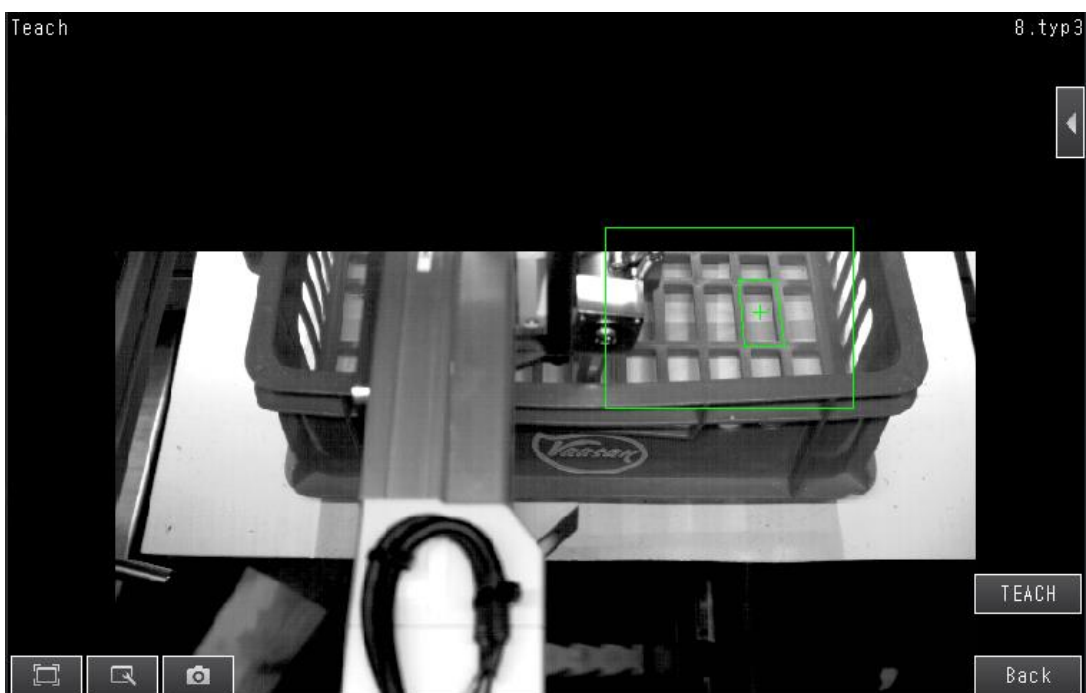
Laatikon yläreunan halkeamista tarkistetaan Shape Search II -metodilla. Ajatus toimii vastakkaisella tavalla, eli kameroille opetettiin erilaisten halkeamien malleja, joita tarkastuksesta kamera etsii laatikosta (kuva 8). Jos yhtään halkeamaa ei löydy (vastaavuusarvo on nolla) tai jos laskettu vastaavuusarvo on kameralle asetettua arvoa pienempi, niin kamera välittää logiikalle NG -bittitieto (no good) siitä.

Koska eri laatikkotyypeillä on erimuotoiset kulmat, erityyppisten laatikoiden vertaaminen samoihin malleihin voi aiheuttaa ehjän laatikon hylkäämistä. Päätettiin, että kameroissa jokaisen laatikkotyypin tarkastukseen luodaan oma "Scene". Jokaisessa scenenssa on opetettu yhden laatikkotyypin kulmat. Laatikon ensimmäisen kuvaamisen yhteydessä tunnistetaan laatikon tyyppi, ja tarkastetaan ylä- ja alareunojen ehjyys. Jos vikoja ei löydy ja laatikkotyyppi on tunnistettu, logiikka välittää kameroille scenenvaihto-ohjauskäskyä. Kun laatikkotyyppiä vastaava scene on ladattu kameroiden muistiin, kuvausta toistetaan, ja saadut tiedot analysoidaan logiikassa.

Laatikkotyyppi tunnistetaan Shape Search II -metodilla laatikon pohjan ritilän muodon perusteella (kuva 9).



KUVA 8. Halkeaman mallin opettaminen kameralle



KUVA 9. Laatikkotyypin tunnistaminen pohjan ritilän muodon perusteella

Konenäkökameroiden ohjelmointiin ja kameroita ohjaavan logiikan sekvenssin tekemiseen meni paljon aikaa. Yhteensä kameroille oli ohjelmoitu noin 40 tarkastusmetodia mukaan lukien laatikkotyyppien tunnistusta ja laatikonkulmien tarkastusta eri sceneissa. Kun tarkastusmanipulaattori oli asennettu asiakkaalle, valaistus ja kameroiden asennot muuttuivat ja kameroiden opettamista jouduttiin tekemään uudestaan.

## 8 TARKASTUSMANIPULAATTORIN TESTAUKSET JA KÄYTTÖÖNOTTO

Laatikkotarkastusjärjestelmän testaukset aloitettiin tammikuussa 2016, käyttöönoton ajankohdaksi oli ensin määritelty helmikuun alkupuoli, mutta asiakkaan sisäisten syiden takia laitteiston käyttöönotto oli siirretty maaliskuun loppupuoleen.

### 8.1 Testaukset

Tarkastusmanipulaattorin testaukset päästiin aloittamaan heti kun tarkastuslaite oli kasattu CMe Solutionsin hallissa Kuopiossa. Hallissa rakennettiin noin 3 m pitkä laatikkorata, jonkun päälle asennettiin manipulaattori. Poistorataa ei ollut mahdollista rakentaa testiolosuhteissa, siksi hylätty ja sivulle työnnetty laatikko poistettiin käsin, mitä hidasti prosessia ja välillä aiheutti virheitä. Myös laatikon syöttö laatikkoradalle ja tarkastetun laatikon radalta poistaminen tehtiin käsin. Näiden syiden takia laatikkotarkastusmanipulaattorin täydellinen testaus vaatii kolmen henkilöiden osallistumista, mitä ei ollut aina mahdollista.

Ensin testattiin manipulaattorin kaikki mekaaniset toiminnot, ajettiin logiikan ohjelman kaikki alisekvenssit erikseen. Kun mekaaniset toiminnot oli testattu, kokeiltiin simuloimaan laatikkomanipulaattorin jatkuvaa toimintaa kameroiden olleessa kytkettynä pois päältä. Laatikkomanipulaattoriin syötettiin jatkuvasti laatikkoja ja pyrittiin päästämään mahdollisimman lyhyeen laatikon käsittelyaikaan. Kameroiden toimintaa simuloitiin 1 s pitkällä viiveellä laatikon venytyksen jälkeen. Testiolosuhteissa saatiin laatikon käsittelyajaksi noin 3 s / laatikko.

Kun tarkastusmanipulaattorin mekaaniset toiminnot oli tarkistettu ja mahdolliset mekaniikka- ja ohjelmavirheet oli korjattu, aloitettiin konenäkökameroiden ohjelmointi ja testaukset. Ohjelmointia ja testauksia varten asiakkaalta pyydettiin toimittamaan rikkiinäisten laatikoiden lajitelma, joilla tarkastusjärjestelmää voitaisiin testata. Koska, aiemmin, CMe Solution Oy:ssa ei ollut tehty vastaava konenäkösovellusta, kameroiden ohjelmoinnissa jouduttiin ensin tutkimaan, mitkä kameroiden asetukset ja mittausmenetelmät sopivat parhaiten laatikoiden tarkastukseen.

Testauksissa selvitettiin, että asiakkaalla on käytössä eri laatikkotyyppisiä (kuva 10), mikä monimutkaistaa kameroiden opettamista ja testausta. Kuitenkin päätettiin, että ensin tehdään kameroiden opettamista yleisimmille laatikkotyypille. Kun sopivat tarkastusmenetelmät oli löydetty ja laatikon tarkastus toimii hyvin, ohjelmoitiin muiden laatikkotyyppien tunnistusta ja tarkastusta.

Testausvaiheen tuloksena saatiin testattua laatikkotarkastusjärjestelmän kaikki toiminnot, laitteisto todettiin olevan valmis asiakkaalle lähetettäväksi.



KUVA 10. Asiakkaan käytössä olevat eri laatikkotyypit (Maksim Maksimov 25.2.2016)

## 8.2 Käyttöönotto asiakkaalla

Käyttöönotto aloitettiin manipulaattorin mekaanisesta asennuksesta. Mekaaniset asennukset teki mekaniikka-asennusyritys Konejunik Oy. Manipulaattori sijoitettiin likaisten laatikoiden varaston ja laatikkopesulan välillä olevan siirtokuljettimen päälle. Tilan ahtauden takia sekä siirtokuljettimen oltua noin 2 m korkeudella lattialta manipulaattoria jouduttiin purkkamaan, jotta sitä voitiin nostaa paikkaansa. Kun manipulaattori oli paikallaan ja sen asento oli säädetty, rakennettiin poistolinja, jolla hylätyt laatikot siirretään erilliseen paikkaan.

Sähkökytkentöjen tekeminen aloitettiin, kun manipulaattori oli koottu paikkaansa ja ohjauskeskus oli laitettu seinälle. Manipulaattori ja ohjauskeskuksensa väliin rakennettiin kaapelireitti, jolla vedettiin ohjauskaapelit, sähkösyöttö ja paineilma. Sähköasennusten jälkeen pidettiin käyttöönottomittaukset ja kirjoitettiin käyttöönottopöytäkirja.

Kun mekaaniset ja sähköasennukset olivat valmiit, voitiin aloittaa tarkastusjärjestelmän toiminnalliset testaukset ja konenäkökameroiden lopullinen ohjelmointi. Käyttöönotossa huomattiin, että siirtokuljetin ei käy jatkuvasti kuten oli ajateltu, vaan välillä se pysähtyy ja käynnistyy taas laatikkovarastointijärjestelmän logiikan mukaisesti. Tieto siitä käykö kuljetin piti saada logiikkaan. Kättelytieto saatiin kuljettimen moottoria ohjaavasta Siemens G120 -taajuusmuuttajasta. Siemensin G120-taajuusmuuttajilla on vapaasti parametroitava relelähtö, johon voi linkittää muun muassa "käynnissä" -tiedon. Manipulaattorin ohjauskeskuksen ja laatikkovarastointijärjestelmän moottorikeskuksen MCC1 vedettiin kättelykaapeli, jota kautta tämä bittitieto kulkee. Myös logiikan ohjelma muokattiin hyödyntämään tätä tietoa.

Käyttöönotossa löydettiin ja korjattiin muutama ohjelman vika sekä lisättiin ohjelmaan poistolinjan ohjaus. Kun manipulaattorin mekaaniset toiminnot oli säädetty ja tarkistettu, aloitettiin konenäkökameroiden säätö.

Koska asennusvaiheessa konenäkökameroiden asento laatikkoon nähden, sekä valaistusolosuhteet olivat hieman muuttuneet, jouduttiin konenäkökamerat ohjelmoimaan uudestaan. Konenäkökameroille piti opettaa uusia vertailumalleja. Opettamista hankaloitti se, että sopivia malleja ei ollut voitu laittaa kameroiden eteen käsin, vaan piti odottaa, kun malliksi sopiva laatikko tuli siirtokuljettimella varastolta. Tämän takia konenäkökameroiden opettaminen kesti muutaman päivän. Laatikon hylkäämisen rajat logiikassa ja konenäkökameroissa asennettiin sillä periaatteella, että mieluummin rikkinäinen laatikko pääsee tarkastuksen läpi, kuin ehjä laatikko poistetaan.

Käyttöönoton loppuvaiheessa pidettiin opastusta henkilökunnalle.

## 9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa automaattinen leipomolaatikoiden tarkastus- ja poistojärjestelmä. Työssä suunniteltiin automaatio-ohjauskeskus, kirjoitettiin ohjelmoitavan logiikan ohjelma sekä sovellettiin konenäköjärjestelmä suhteellisesti hankalan ja ison kohteen mittaukseen ja tarkastukseen.

Työ oli laaja ja vaati perusteellista perehtymistä moniin asioihin. Työssä opiskeltiin Omronin ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmointia CX-Programmer-ohjelmointiympäristössä, perehdyttiin servojärjestelmän ohjaamistapaan pulssijonolla, sekä konenäön mahdollisuuksiin ja toimintaperiaatteisiin. Työn haastavin osa oli konenäkökameroiden ohjelmointi.

Lopputuloksena saatiin toimiva leipomolaatikoiden tarkastus- ja poistojärjestelmä, jonka avulla rikki-  
näiset ja vialliset laatikot poistetaan kierrosta automaattisesti. Tarkastusjärjestelmän ensimmäisissä  
ajoissa havaittiin, että rikkinäisten laatikoiden määrä oli todella iso. Joka minuutti manipulaattori  
poisti 2 - 3 rikkinäistä laatikkoa eli tunnissa yli sata laatikkoa. Tulevaisuudessa vastaavat tarkastus-  
järjestelmät voidaan asentaa myös muihin asiakkaiden leipomoihin.



## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Batcelor, B.;& Whelan, P. (2002). Intelligent Vision Systems for Industry. London: Springer-Verlag.
- Halinen, M. (2007). Konenäkö robotin ohjauksessa [pdf-julkaisu]. Aalto-yliopisto. Haettu 09. 04 2016 osoitteesta [http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c\\_teoria.pdf](http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teoria.pdf)
- Halme, J.;& Parikka, R. (2005). AC-servomoottori - rakenne, vikaantuminen ja havainnointimenetelmät [Raportti]. Teollisuuden käynnissäpidon prognostiikka. Haettu 25. 04 2016 osoitteesta [http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori\\_rakenne\\_vikaantuminen&havainnointi.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf)
- Karto, M. (2015). Konenäön tekniikka kehittyy nopeasti [Artikkeli]. Haettu 03. 04 2016 osoitteesta Teknologiainfo: <http://www.teknologiainfo.com/automaatio/konenaon-tekniikka-kehittyy-nopeasti>
- Leino, M. (13. 09 2011). Älykamerakuvaus [Verkkosivu]. (Satakunnan ammattikorkeakoulu) Haettu 09. 04 2016 osoitteesta <https://www.samk.fi/alykamerakuvaus>
- Lempäinen, M. (2011). Konenäkö tutuksi viikossa [Verkkosivu]. Haettu 03. 04 2016 osoitteesta Konenäkö: <http://konenako.blogspot.fi/>
- OEM Automatic. N.d. (02. 05 2014). Pulssianturien teoriaa [Verkkosivu]. Noudettu osoitteesta [http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Pulssianturit/Yleista/Pulssianturien\\_teoraa/825723-526144.html](http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Pulssianturit/Yleista/Pulssianturien_teoraa/825723-526144.html)
- Omron. (2012). FQ2-S FQ2-CH Smart Camera User Manual [Käyttäjän käsikirja]. Haettu 09. 04 2016 osoitteesta <https://downloads.omron.fi/IAB/Products/Sensing/Vision%20Sensors%20and%20Systems/Easy%20Vision%20Sensors/FQ2/Z337/Z337-E1-02.pdf>
- Omron. (2015). FQ2-konenäköanturi [Tuote-esite]. Haettu 09. 04 2016 osoitteesta [https://downloads.omron.fi/IAB/Products/Sensing/Vision%20Sensors%20and%20Systems/Easy%20Vision%20Sensors/FQ2/KPP\\_CD\\_EU-01\\_FQ2+Brochure/Low\\_CD\\_FI-02+FQ2+Brochure.pdf](https://downloads.omron.fi/IAB/Products/Sensing/Vision%20Sensors%20and%20Systems/Easy%20Vision%20Sensors/FQ2/KPP_CD_EU-01_FQ2+Brochure/Low_CD_FI-02+FQ2+Brochure.pdf)
- Omron. (25. 04 2016). Pienikokoiset muovikuoriset valokennot E3Z [Tuote-esite].
- Pietikäinen, M.;& Silven, O. (2011). Johdatus konenäköön [pdf-julkaisu]. Oulun yliopisto. Haettu 09. 04 2014 osoitteesta <http://www.cse.oulu.fi/CMV/AboutCMV?action=AttachFile&do=view&target=konenako.pdf>
- Savolainen, J. (28. 04 2011). Pulssianturi [Verkkosivu]. Haettu 02. 05 2016 osoitteesta Koneautomaation wiki - Wiki of Machine Automation and Mechatronics: <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Pulssianturi>
- Savolainen, J. (2013). Konenäkö, Yleistä [Verkkosivu]. Haettu 03. 04 2016 osoitteesta Koneautomaation wiki - Wiki of Machine Automation and Mechatronics: <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=12160787>
- Soini, A. (2011). Konenäkö [pdf-julkaisu]. Suomen Automaatioseura ry. Haettu 16. 04 2016 osoitteesta <http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/Konenako.pdf>
- Teknillinen korkeakoulu. (06. 08 2008). Servojärjestelmän viritys [Laboratoriotyön työohje]. Haettu 25. 04 2016 osoitteesta [http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/Labratyo4\\_2008.pdf](http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/Labratyo4_2008.pdf)
- Voutilainen, P. (2004). Konenäkö [Verkkosivu]. Haettu 09. 04 2016 osoitteesta Puutuoteteollisuus: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/automaatio/konenako/index.html>

## LIITE 1: SERVOKÄYTÖN OHJAUSSIGNAALIEN KYTKENTÄKAAVIO

# ■ Control I/O Signal Connections and External Signal Processing for Position Control

