

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2020

Elias Meriläinen

# KONENÄKÖRATKAISU ELINTARVIKEPAKKAUSTEN LAADUNVALVONTAAN

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

2020 | 24 sivua

Elias Meriläinen

# KONENÄKÖRATKAISU ELINTARVIKEPAKKAUSTEN LAADUNVALVONTAAN

Opinnäytetyössä suunniteltiin ja toteutettiin laadunvalvontaratkaisu elintarvikepakkausten etikettien tarkastukseen. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli turkulainen insinööritoimisto Focusplan Oy. Asiakas, eli toteutetun laitteiston loppukäyttäjä oli elintarviketeollisuuden yritys. Työssä toteutettu kahden kameran konenäköjärjestelmään perustuva laadunvalvontaratkaisu toteutettiin loppukäyttäjän olemassa olevalle elintarvikepakkauslinjalle, elintarvikepakkausten suljennan ja etikettiapplikoinnin jälkeen.

Opinnäytetyössä keskitytään konenäkölaitteiston valintakriteereihin, tarkastusohjelman kehitysprosessiin sekä ohjelman ratkaisuihin.

Työn tuloksena syntyi avaimet käteen -toimituksena loppukäyttäjälle konenäkölaitteisto, joka toteuttaa sille annetut vaatimukset.

ASIASANAT:

elintarviketeollisuus, konenäkö, laadunvalvonta, teollisuusautomaatio

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

2020 | 24 pages

Elias Meriläinen

## MACHINE VISION SOLUTION FOR QUALITY INSPECTION OF FOOD PACKAGING

The objective of this thesis was the designing and implementation of a quality control solution for inspection of food packaging. The thesis was commissioned by a Turku-based engineering company Focusplan Oy. The customer to whom the two-camera machine vision system was delivered was a food manufacturing company. The system was installed on the end user's existing food packaging line. The inspection system was installed after package sealing and label application.

This thesis focuses on the selection criteria of the machine vision equipment, the development of the inspection program and the solutions of the machine vision program.

As a result of the work a machine vision equipment was created as a turnkey delivery to the customer, fulfilling the given requirements.

### KEYWORDS:

food industry, industrial automation, machine vision, quality control

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>5</b>
<b>2 KONENÄKÖ</b>	<b>6</b>
2.1 Konenäkö yleisesti	8
2.2 Konenäkö valmistavassa teollisuudessa	8
2.3 Kamera- ja konenäköteoriaa	9
2.3.1 Kameran ominaisuudet	9
2.3.2 Kameroiden optiikka	10
2.4 Valaistus konenäköratkaisuihin	11
2.5 Laitteistonvalintakriteerit ja markkinoilla olevat konenäkölaitteenvaihtoehdot	12
<b>3 KONENÄKÖSOLU ELINTARVIKEPAKKAUSTEN TARKASTUKSEEN</b>	<b>13</b>
3.1 Laitteiston vaatimukset ja tarkastuksen toiminnot	13
3.2 Tuotantoprosessin kuvaus	14
3.3 Valitun konenäkölaitteistoratkaisun esittely	16
3.4 Konenäköohjelman esittely	18
3.4.1 Tarkastusoperaatiot	19
3.4.2 Laitteiston asetukset	21
3.4.3 Tarkastuksen tulosten ilmoittaminen	21
<b>4 LOPUKSI</b>	<b>23</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>24</b>

## KUVAT

Kuva 1. Havainnekuva yläkameran kuvausalueesta ja kameran sijoittelusta.	10
Kuva 2. Valokuva kameralaitteistosta paikan päälle asennettuna ja selostus linjalla kuvattavista rasiariveistä.	14
Kuva 3. Havainnekuva yläkameran kuvausalueesta.	15
Kuva 4. Havainnekuva alakameran kuvausalueesta.	16
Kuva 5. Kuva yläkamerasta ja kameran osien nimet.	17

# 1 JOHDANTO

Tehokkaassa teollisessa tuotannossa on luovasti hyödynnettävä olemassa olevia teknologioita. Visuaalisen laadunvalvonnan tehtävät vaativat työntekijältä jatkuvaa keskittymistä ja yksinkertaisessakin laadunvalvonnassa ihmisen on vaikea havaita virheitä. Tilanne on verrattavissa siihen, että ihminen pystyy huomaamattaan lukemaan ymmärrettävästi tekstiä, jossa on paljon kirjoitusvirheitä ja vääriä kirjaimia. Koska ihminen ei luonnostaan sopeudu yksitoikkoisen laadunvalvonnan tehtäviin, virheitä pääsee syntymään, eikä laadunvalvonta ole vaaditulla tasolla. Mikäli tuotannon virheet jäävät huomaamatta ja virhetila ehtii jatkua pitkään, virheiden aiheuttamat kustannukset pääsevät kumuloitumaan.

Muun muassa näiden asioiden vuoksi tällaiset laadunvalvonnan tehtävät on järkevintä ulkoistaa tietokoneiden tehtäväksi, ja laadunvalvonnan automatisointi onkin merkittävässä osassa tuotantoa tehostettaessa ja laatutasoa parannettaessa.

Opinnäytetyössä kehitettiin loppukäyttäjälle konenäkölaitteisto. Focusplan Oy suunnitteli ja toimitti laitteiston kokonaisuudessaan. Opinnäytetyössä keskitytään yksinomaan laitteiston konenäköosuuteen eli optiikkaan, laitteistoon sekä tarkastusohjelmaan. Lisäksi luodaan katsaus tietokonenäön moninaisiin mahdollisuuksiin muillakin aloilla.

Konenäkölaitteistolta vaadittavat ominaisuudet oli määritelty tarjousvaiheessa, ja niitä tarkennettiin suunnitteluprojektin edetessä. Pakkauslinjalla, jonka ympärille laitteisto asennettiin, tuotetaan useita eri tuotteita, mikä toi ohjelmantekoon haastetta. Laitteistossa käytettävien laitteiden valinta ja ohjelmointi tehtiin yhteistyössä laitetoimittajan edustajan kanssa.

## 2 KONENÄKÖ

Tietokonenäkö-termi (engl. computer vision) kattokäsitteenä pitää sisällään kaiken tietokoneilla tehtävän älykkään kuvantunnistuksen. Yleisellä tasolla konenäkö on digitaalisten kuvien ja videoiden tarkastelua kehittyneillä tietokoneohjelmilla. Konenäköohjelmat perustuvat tähän tarkoitukseen kehitettyihin kuvantunnistusalgoritmeihin. Tietokonenäkö-termiä käytetään digitaalisten kuvien ja videoiden koneellisen tarkastelun lisäksi tarkoittamaan muun muassa kolmiulotteisen kuvantamisen ja röntgenkuvauksen sovelluksia.

Konenäkö-termiä (engl. machine vision) käytetään suppeammin tarkoittamaan erityisesti perinteisen koneenrakennuksen ja valmistavan teollisuuden yhteydessä käytettäviä tietokonenäön sovelluksia. Tässä opinnäytetyössä toteutettua laitteistoa ja ohjelmaa voidaan käyttötarkoituksensa vuoksi pitää nimenomaan konenäkösovelluksena. Konenäköominaisuuksien lisäämisen jo käytössä oleviin koneisiin voidaan ajatella olevan seuraava askel verrattuna yksittäisten antureiden ja ohjelmoitavien logiikoiden käyttöön. Termit tietokonenäkö ja konenäkö ovat laajasti päällekkäisiä, ja niitä voidaan käyttää käytännössä synonyymeinä. Erityisesti suomen kielellä termien päällekkäisyys korostuu.

Konenäköä käytetään valmistavassa tänä päivänä hyvin monenlaisiin teollisen tuotannon tarpeisiin. Tietokonenäköä laajemmin käytetään laajasti lähes kaikkialla, missä käytetään kameroita ja digitaalista kuvaa.

Esimerkiksi autoteollisuus ja teknologiayritykset kehittävät itseajavia autoja, joissa tietokonenäkö on kriittinen osa itseajamisen mahdollistavaa järjestelmää. Eri kehittäjillä on kullakin omanlaisensa järjestelmä, joka yhdistelee erilaista kamera-, tutka- ja anturiteknologiaa. Toimivien itseajavien autojen saapuminen markkinoille vapauttaisi ihmisten aikaa auton ajamisesta tärkeämpiin tehtäviin ja samalla liikenneturvallisuus parantuisi huomattavasti nykyisestä.

Vuonna 2009 perustettu yhdysvaltalainen Waymo on kehittänyt pitkään itseajavaa autoteknologiaa. Waymon keväällä 2020 esittelemässä viidennen sukupolven Waymo Driver -teknologiassa yhdistellään kameroita ja LiDAR-antureita (lyhenne sanoista engl. Light Detection and Ranging). (Waymo 2020).

Yhdysvaltalaisella autovalmistajalla Teslalla on itseajaviin autoihin hieman Waymosta poikkeava näkemys. Teslan kehitteillä olevassa itseajamisjärjestelmässä ei ole lainkaan LiDAR-antureita. LiDAR-antureiden sijaan Tesla käyttää pelkästään kamerapohjaista tietokonenäköä, ultraäänianturointia ja tutkateknologiaa. (Washington Post 2019). Tulevaisuus näyttää millainen anturointijärjestelmä tuottaa parhaan lopputuloksen itseajavissa autoissa.

Vaativat tietokonenäkösovellukset yhdistävät tietokonenäköön tekoälyominaisuuksia, kuten koneoppimista ja monikerroksisia neuroverkkoja.

Niiden avulla voi luoda hyvin vaativia tietokonenäkösovelluksia, esimerkiksi tapahtumantunnistusohjelmia (engl. event recognition). Esimerkkinä tällaisesta sovelluksesta voi käyttää tapahtumantunnistusteknologiaa kehittävän Visual Onen nopeasti oppivaa mallia, jonka voi opettaa esimerkiksi tunnistamaan videokuvasta, onko ovi auki vai kiinni (Mohammad Rafiee 2020).

Tietokonenäkösovelluksia on mahdollista toteuttaa niin, että kuva-analyysitoiminnot lasketaan internetin yli pilvessä, esimerkiksi Amazonin, Microsoftin tai Googlen palveluissa. Tällaisissa tapauksissa etuna on, ettei kameran lähetyville tarvita tehokkaita ja hintavia tietokoneita suorittamaan konenäköohjelmia, tämän sijaan vakaa internetyhteys on olennaisinta. (Microsoft; Amazon; Google.)

Valmistavan teollisuuden konenäkölaitteistoissa on ainakin tähän saakka käytetty enimmäkseen paikan päällä suoritettavaa laskentaa, koska pilvilaskennan käyttäminen ei toisi merkittävää lisäarvoa. Pilvilaskentaa käyttämällä voidaan alentaa kertainvestointikustannuksia, koska tehokasta tietokonetta ei tarvita paikan päällä.

Suomessa tietokonenäköosaamista edustaa muiden muassa Vaisala. Vaisala vastasi konenäköosuudesta eräässä projektissa, jossa erikoisalojen osaajat yhdistivät useat nykyaikaiset teknologiat, kuten viidennen sukupolven mobiilidatateknologian, dronit ja konenäön, kokonaisratkaisuun, jolla pystyttiin tehokkaasti toteuttamaan Itämeren sinilevätilanteen seuranta (Vaisala 2019).

Myös terveydenhuollossa on tietokonenäkösovelluksille kysyntää. Eräs esimerkki käytössä olevasta lääketieteellisestä tietokonenäkösovelluksesta on Gauss Surgicalin kehittämä tietokonenäkösovellus synnytyksenaikaisen verenvuodon tunnistukseen. Gauss Surgical mainitsee ratkaisun eduiksi pitkälti samoja asioita, joita muidenkin alojen tietokonenäkösovelluksissa painotetaan: tietokoneen tekemät arviot ovat luotettavampia kuin ihmisen tekemät, ja tietokone tekee havainnot nopeammin. (HealthTech Magazine 2019.)

Toinen lääketieteellinen tietokonenäkösovellus on ihosyövän tunnistaminen ihomuutoksista. Tällaisten ratkaisujen luotettavuudesta on hyvää näyttöä. Etuna on myös, että terveydenhuollon saatavuus paranee, kun lääketieteenammattilaisten ei tarvitse olla tarkastuksissa fyysisesti läsnä. (Esteva, A. ym. 2017, 2; IBM 2016.)

Maanviljelyssäkin on paljon potentiaalisia tehtäviä, joita on mahdollista tehostaa konenäköä käyttämällä. Useat yritykset ympäri maailman kehittävät konenäköratkaisuja maatalouden isolle markkinalle. Esimerkiksi ranskalainen Naïo Technologies on kehittänyt rikkakasvien kitkentälaitteita ja viinirypäleidenpoimintalaitteita. Tällaisissa konenäkösovellutuksissa kuvantunnistus yhdistetään mekaaniseen laitteeseen. (Naïo Technologies.)

Tietokonenäköteknologialla voidaan luoda myös turvallisuutta. Esimerkiksi mobiililaitteissa vauhdikkaasti yleistynyt kasvontunnistusteknologiaa käyttämällä voidaan toteuttaa luotettava ja nopea tunnistautuminen.

Näiden lisäksi lukemattomilla muillakin aloilla on paljon toistaiseksi hyödyntämätöntä tietokonenäkösovelluspotentiaalia.

## 2.1 Konenäkö yleisesti

Konenäkö mahdollistaa useiden aiemmin ihmissilmää ja -älyä vaatineiden toimintojen toteuttamisen tietokoneella. Konenäköjärjestelmän osat ovat valonlähde, kamera optiikoineen, tietokone ja tietokoneen ohjelma, joka analysoi otetun kuvan. Konenäkösovellukset vaativat verrattain paljon laskentatehoa, koska tietomäärät erityisesti korkeatarkkuuksisissa kuvissa ovat suuria. Vaativuuden ja kapean sovellusalan vuoksi laitteet ovatkin menneisyydessä olleet hintavia, mutta tätä nykyä kustannukset ovat moneen käyttötarkoitukseen sopivalla tasolla, jolloin investoinnit tuotannon kehittämiseen ovat kannattavia. (Milan ym. 2014, 4.)

Konenäkösovelluksilla voidaan suorittaa hyvin monenlaisia kuva-analyysitoimintoja. Tällaisia ovat niin yksinkertaiset toiminnot, kuten reunantunnistus, kappaleiden keskinäisen etäisyyden laskeminen ja kohteen värin tunnistus, kuin monimutkaisemmat toiminnot kuten hahmontunnistus ja optinen tekstintunnistus. (Milan ym. 2014, 5–6.)

## 2.2 Konenäkö valmistavassa teollisuudessa

Konenäköä voidaan käyttää itsenäisesti tai integroituna toiseen kokonaisuuteen. Itsenäisesti konenäköä voidaan käyttää tekemään analyysejä ja tarkastuksia halutulle kohteelle, esimerkiksi laadunvalvontatehtävissä. Konenäöllä voidaan toteuttaa laajasti toimintoja esimerkiksi hahmon-, värin- ja tekstintunnistukseen, sekä mittojen sekä muotojen tarkastukseen.

Joissain tapauksissa konenäkölaitteistoja voidaan kytkeä tehtaan muihin tietojärjestelmiin. Esimerkiksi laadunvalvontakonenäkölaitteiston integroiminen yrityksen ERP-järjestelmään voi olla hyödyksi, sillä tiedot saadaan reaaliaikaisesti käyttöön ja lisäksi talletettua keskitetysti. Tämän opinnäytetyön laitteisto toteutettiin itsenäisenä laitteistona, ilman integraatiota.

Laitteeseen yhdistettynä konenäköä voidaan käyttää esimerkiksi jonkin mekaanisen laitteen, kuten robotin, ohjauksessa. Tällaisessa käytössä konenäöllä tehdään ohjaavia toimintoja, joilla ohjataan koneiden liikkeitä.



## 2.3 Kamera- ja konenäköteoriaa

Seuraavissa kappaleissa käsitellään konenäkölaitteiden toimintaan liittyvää teoriaa toteutetun konenäkölaitteiston kannalta liittyvin osin. Sekä digitaalista että analogista kamerateknologiaa tutkitaan ja kehitetään jatkuvasti, mutta perusteiltaan se on pysynyt samana kameroiden, digitaalikameroiden ja niissä tarvittavan optiikan kehittämisestä saakka.

### 2.3.1 Kameran ominaisuudet

Konenäkösovelluksissa kuvia analysoidaan tietokoneella, joten konenäkösovelluksissa käytetään digitaalikameroita. Digitaalikameran tehtävä on muuttaa optiset havainnot tietokoneelle ymmärrettävään muotoon – digitaaliseksi informaatioksi. Kamera koostuu kameran rungosta, kamerakennosta ja optiikasta. Kameran tärkeimpiä mekaanisia ominaisuuksia ovat kuvausympäristön mukainen suojaustaso lämpötilavaihteluita, pölyä, vettä ja likaantumista vastaan. Tässä opinnäytetyössä toteutetussa konenäkölaitteistossa kameran mekaanisille ominaisuuksille ei ollut merkittävien korkeita suojausvaatimuksia.

Kameran kenno muuttaa optiikan siihen suuntaaman sähkömagneettisen säteilyn, eli nähtävän valon, eli fotonit, digitaaliseksi tiedoksi. Kameran kenno vaikuttaa osaltaan merkittävästi kuvien tarkkuuteen. Kenno vaikuttaa muun muassa lopullisen digitaalisen kuvan kohinaan, herkkyteen ja dynaamiseen alueeseen. Erilaisia kennotyyppejä on useita. (Cognex 2018, 15.)

Tämän opinnäytetyön konenäkölaitteistossa käytettiin Complementary Metal Oxide Semiconductor- eli CMOS-kennoilla varustettuja kameroita. CMOS on tällä hetkellä yleisimmin käytetty kamerakennotyyppi hyvän hintalaatusuhteensa ansiosta.

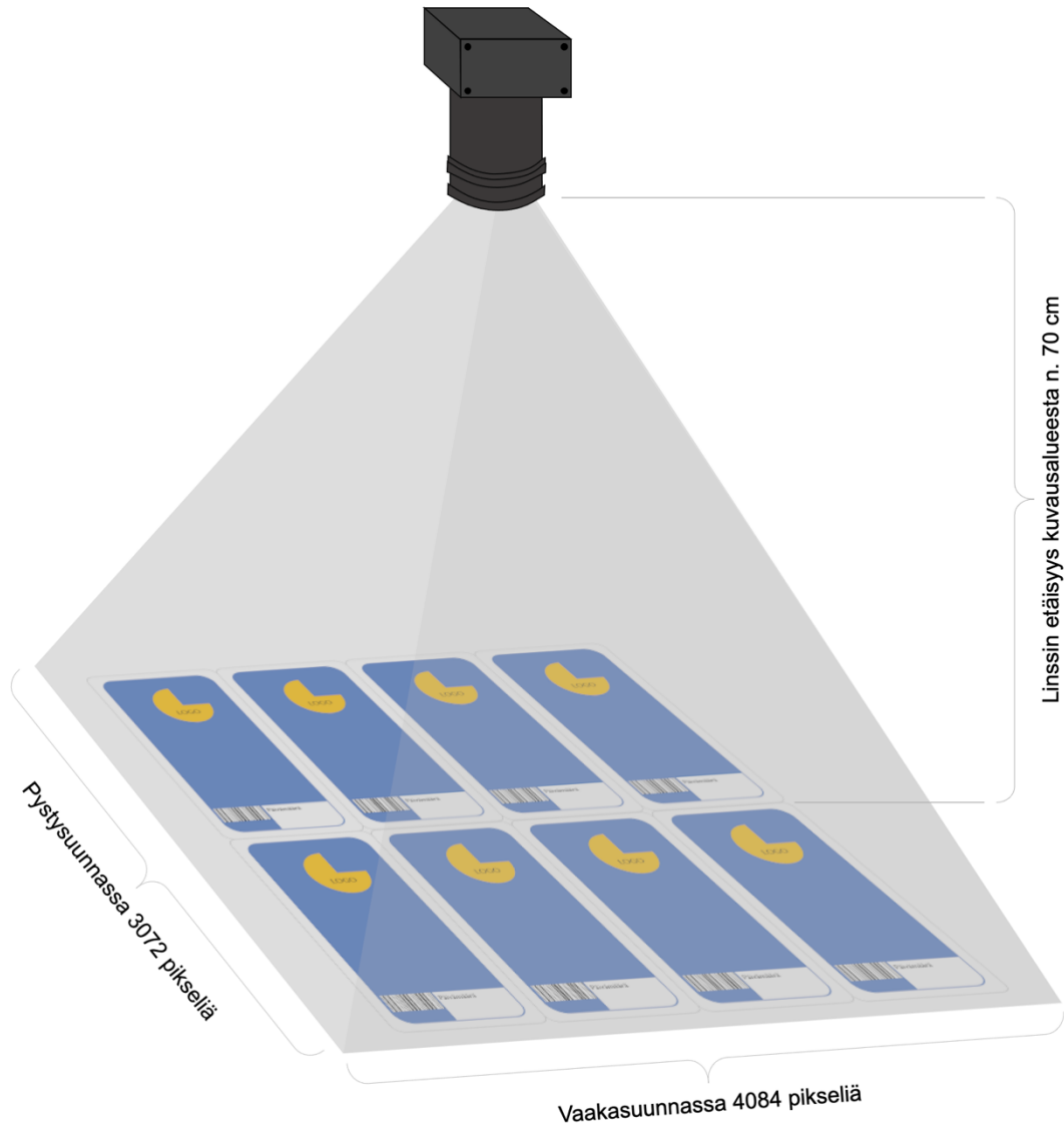
Konenäkösovelluksissa käytetään yleisesti kahta eri kamerakennomuotoa. Ensimmäinen on matriisikenno. Matriisikenno on muodoltaan matriisi, eli käytännössä kaksikulotteisen tason muotoinen. Matriisikennossa pikseleitä on useita rivejä, joissa jokaisessa on useita pikseleitä. Matriisikennossa kuva muodostuu kerralla koko kennolle valotuksen aikana.

Toinen kennomuoto on viivakenno. Viivakennossa on vain pikseleitä vain yhdessä rivissä. Viivakennolla varustettu kamera kuvaa kerralla vain yhden pikselin korkuisen ohuen kaistaleen. Viivakameralla kaksikulotteinen kuva saadaan aikaan, kun kuvattava kohde liikkuu suhteessa kennoon, esimerkiksi kuvattaessa kuljettimella liikkuvaa esinettä. Vaihtoehtoisesti voidaan liikuttaa kennoa, kuten esimerkiksi dokumenttiskannereissa. Kun liikkuvasta kohteesta talletetaan useita vierekkäisiä viivoja, ohuet, yhden pikselirivin korkuiset kuvat voidaan yhdistää, ja saadaan kaksikulotteinen digitaalikuva. Rakenteensa

ansiosta viivakameran käyttö mahdollistaa erittäin nopeasti liikkuvien kohteiden kuvaamisen tarkasti.

### 2.3.2 Kameroiden optiikka

Optiikka valitaan kuvattavan kohteen mukaan. Valintaan vaikuttaa olennaisesti sekä kameran etäisyys kohteesta, että kuvattavan alueen suuruus.



Kuva 1. Havainnekuva yläkameran kuvausalueesta ja kameran sijoittelusta.

Kuvassa 1 on esitetty yläkameran sijoittelu suhteessa kuvattaviin etiketteihin. Objektiivi valittiin sopivaksi, jotta kuvausalue saadaan kuvattua sopivalta etäisyydeltä mahdollisimman tarkasti.

Tässä opinnäytetyössä toteutetussa konenäkölaitteistossa käytettiin kameroissa objektiivettä, joissa on manuaalinen tarkennus. Manuaalinen tarkennus on rakenteeltaan yksinkertaisempi kuin automaattinen tarkennus. Opinnäytetyön tapauksessa kuvattavien kohteiden etäisyys kameroista pysyi vakiona, joten manuaalinen tarkennus oli oikea valinta.

Yleisin kameroissa käytettävä objektiivien linssityyppi on entosentrinen linssi. Entosentrinen linssi on perinteinen ja tutumpi linssityyppi. Entosentrisellä linssillä on perspektiivi, jossa kauempana linssistä olevat kohteet ovat vähemmän suurennettuja kuin lähellä olevat kohteet. Entosentrisissä linseissä lähellä linssiä olevat kohteet voivat näyttää kameralle eri muotoisilta, kuin ne todellisuudessa ovat.

Toinen linssityyppi, jota joissain konenäkösovelluksissa on tarpeen käyttää, on telesentrinen linssi. Esimerkiksi tarkat mittaukset, tai reikien kuvaaminen voivat edellyttää telesentrisen linssin käyttämistä. Telesentrinen linssi suurentaa kuvattavia kohteita yhtä paljon riippumatta niiden etäisyydestä. Telesentrinen linssi tuottaa siis CAD-ohjelmista tutun ortografisen näkymän kuvausalueesta. (Edmund Optics 2017.)

## 2.4 Valaistus konenäköratkaisuissa

Valaistus on kriittinen osa konenäköratkaisujen toiminnassa. Valaistuksesta ei yleisellä tasolla voida sanoa muuta kuin, että valaistuksen tulee olla kuvattavan kohteen mukaan toteutettu. Käyttökohteesta riippuen sillä halutaan korostaa kuva-alueella kuvattavasta kohteesta eri piirteitä. Esimerkiksi tämän opinnäytetyön kohteessa paras ratkaisu oli tasainen diffusoitunut kirkas valkoinen yleisvalaistus, toisessa kohteessa paras valaistusratkaisu voisi olla vaikkapa pulssitettu punasävyinen taustavalaistus.

Konenäkökohteen valaistuksessa kulloinkin käytettävien valaisintyyppien valinta vaikuttaa suuresti valaistusratkaisun mahdollisuuksiin. Nykyisin laadukkaalla LED-valaistuksella voidaan helposti säätää valaistuksen värisävy halutunlaiseksi. Valaisintyyppin lisäksi myös kaikilla muilla valinnoilla, esimerkiksi valaisimien määrällä, muodolla ja sijoittelulla pystytään tekemään paljon.

Joissain tapauksissa voi olla tarpeen kuvata kohde useaan kertaan, eri värisävyillä ja eri suunnista valaistuna. Tällaisissa tapauksissa kuvauksen mahdollisuudet moninkertaistuvat, ja samalla kuvauksen monimutkaisuus kasvaa.

Valaistus voidaan toteuttaa joko jatkuvana valona tai pulssimaisena, salamavalon tapaan. Tämäkin päätös tulee tehdä kuvattavan kohteen mukaan. Pulssitettua valaistusta käytetään esimerkiksi nopeasti liikkuvien kohteiden kuvauksessa. Tällöin lyhytkestoisella valaistuspulssilla saadaan pysäytyskuva liikkuvasta kohteesta.

Rengasvalaisimet ovat myös yleisiä konenäköratkaisuissa. Rengasvalaisimet sijoitetaan kameran ympärille. Konenäkökäyttöön tarkoitetulla rengasvalaistuksella voidaan toteuttaa hyvin monenlaisia valaistuskuvioita, joiden avulla kuvauskohteesta saadaan korostettua esille hyvinkin haastavat piirteet, joita ei välttämättä esimerkiksi ihmissilmällä huoneenvalossa havaittaisi.

## 2.5 Laitteistonvalintakriteerit ja markkinoilla olevat konenäkölaitevaihtoehdot

Konenäkölaitteiston komponentteja valittaessa on huomioitava useita eri ominaisuuksia kuvattavan kohteen mukaan. Tällaisia seikkoja ovat esimerkiksi kuvaukselta vaadittava nopeus, kohteen koko, kuvaukselta vaadittava tarkkuus ja kuvauksen tarkoitus.

Konenäkölaitemarkkinoilla on useita maailmanlaajuisia valmistajia. Useat valmistajat tarjoavat vaihtoehtoja laajasti yksittäisistä kameroista ja kompakteista älykameroista kokonaisesti kamerajärjestelmiin kamerakontrollereineen. Älykamerassa kuvan analysointi suoritetaan kameran koteloon integroidulla pienellä tietokoneella.

Merkittäviä teolliseen käyttöön tarkoitettuja laitteistoja tuottavia konenäkölaitevalmistajia ovat esimerkiksi japanilaiset Omron ja Keyence, yhdysvaltalainen Cognex ja saksalainen SICK. Näiden valmistajien kamerat ohjelmoidaan käyttäen valmistajien omia ohjelmistoja ja kamerat tekevät analyysit valmistajien ohjelmistoilla. Valmistajien ohjelmistojen välillä on jonkin verran eroja, vaikka ne tekevätkin pohjimmiltaan samoja toimintoja. Kunkin ohjelmiston käytön oppiminen vaatii aina jonkin verran perehtymistä ja mahdollisesti koulutusta.

### 3 KONENÄKÖSOLU ELINTARVIKEPAKKAUSTEN TARKASTUKSEEN

Opinnäytetyön toimeksiantona oli kehittää loppukäyttäjälle kolmioleipärasioiden etikettien tarkastuslaitteiston ohjelma. Tarkastuslaitteiston hankkimalla asiakas halusi varmistua kolmioleipärasioiden etikettien kiinnittymisen ja etiketteihin tehtävän päivämäärätulostuksen tasaisesta laadusta. Konenäkölaitteisto sijoitettiin pakkaamoon, olemassa olevan kolmioleipärasioiden pakkauslinjan ympärille.

Asiakas oli asettanut laitteistolle vaatimukset, joiden pohjalta käytettävät laitteet valittiin ja ohjelma kehitettiin.

Konenäkölaitteiston suunnittelu- ja toteutusprosessi karkeasti jaotellen:

1. Tarjousvaihe, laitteiston vaatimusten määrittely ja eri laitteiden testaus
2. Käytettävien laitteiden valinta ja testaus, rungon mekaaninen suunnittelu
3. Tarkastusohjelman alustava suunnittelu
4. Laitteiston asennus asiakkaan tiloihin
5. Kuvamateriaalin kerääminen offline-ohjelmointia varten
6. Päivitetyn ohjelman testaus paikan päällä
7. Käyttöönotto, pienten muutosten tekeminen ja ohjelman lopullinen säätö

Tässä opinnäytetyössä sivuutetaan laitteiston mekaaninen suunnittelu ja toteutus, ja keskitytään käsittelemään konenäkölaitteita ja -ohjelmaa.

#### 3.1 Laitteiston vaatimukset ja tarkastuksen toiminnot

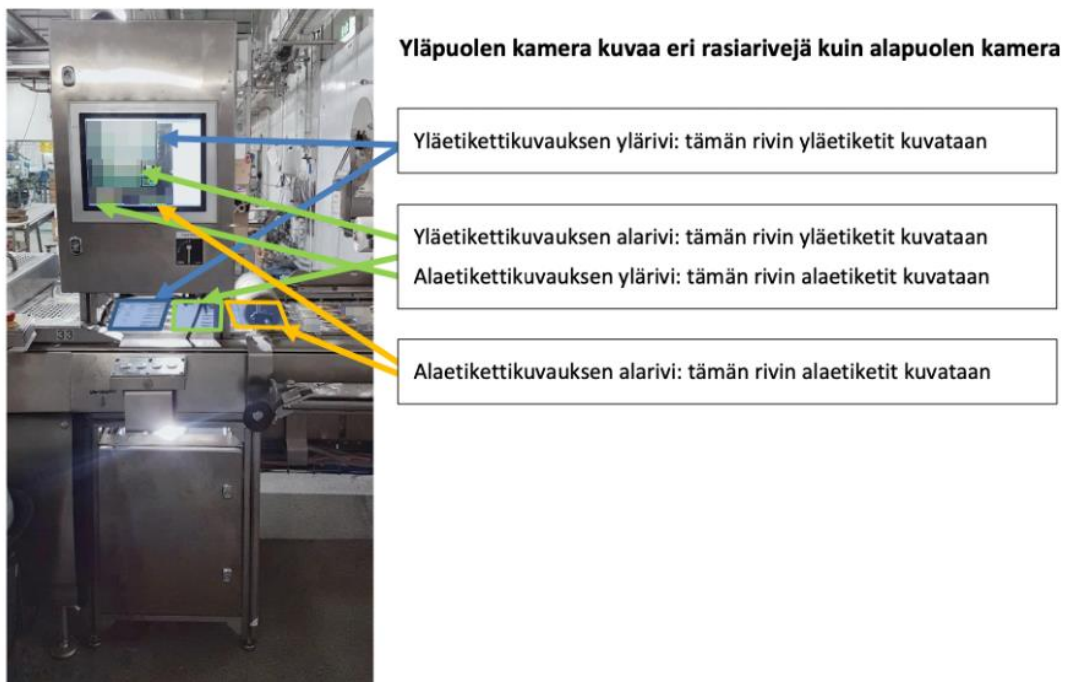
Asiakkaan asettamat vaatimukset laitteistolle:

- Laitteiston tulee tarkastaa, että kolmioleipärasian yläpuolen etiketti on liimautunut paikalleen riittävällä tarkkuudella.
- Laitteiston tulee tarkastaa, että kolmioleipärasian alapuolen etiketti on liimautunut paikalleen riittävällä tarkkuudella.
- Laitteiston tulee tarkastaa, että päivämäärämerkintä on tulostettu onnistuneesti yläpuolen etikettiin.
- Laitteiston tulee tarkastaa, että yläpuolen etiketti vastaa laitteiston asetuksissa valittua tuotetta.
- Laitteiston tulee toimia riittävällä nopeudella.
- Laitteiston on tarkastettava kaikki pakkauslinjalla kulkevat rasiat.
- Laitteiston tulee olla helppokäyttöinen ja toimintavarma.
- Laitteisto toimii itsenäisesti ja ilmoittaa hylätyksi tulleesta rasiasta valo- ja äänimerkillä.

### 3.2 Tuotantoprosessin kuvaus

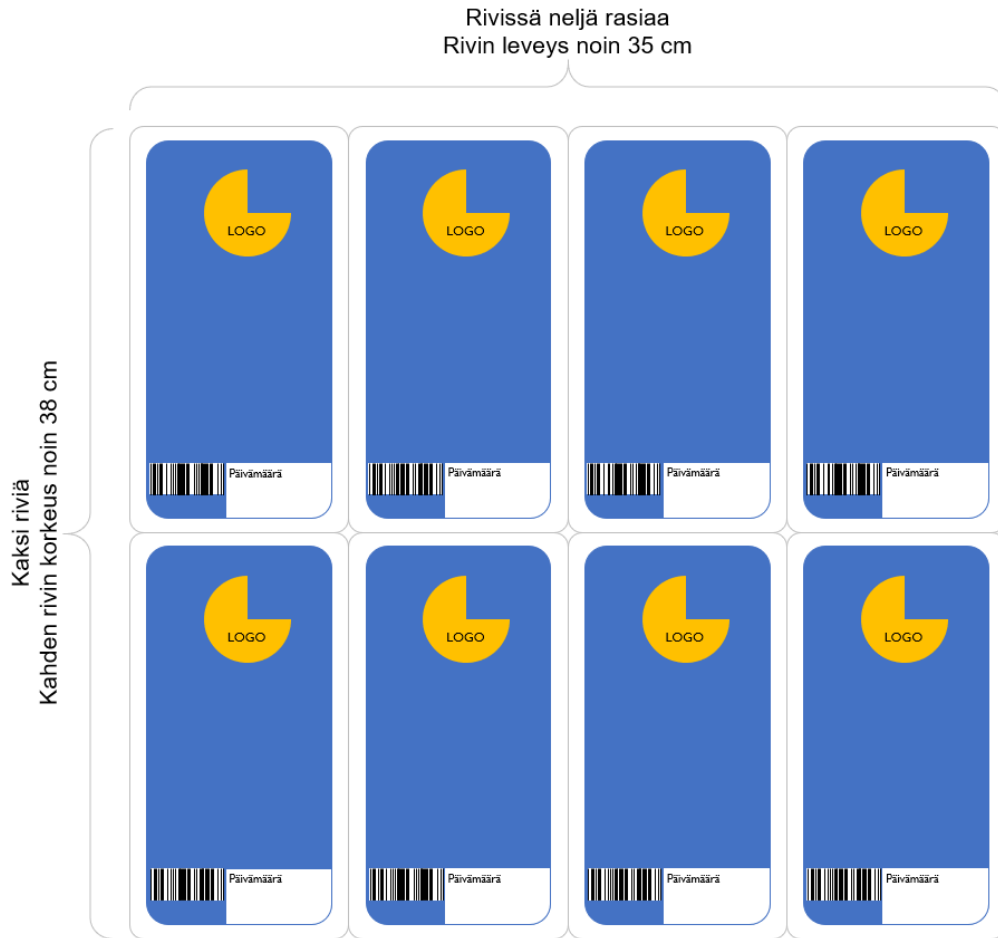
Kolmioleipien pakkauslinjalla kolmioleivät asetetaan muovisiin rasioihin, jotka suljetaan muovikalvolla. Kolmioleipärasioiden tarkastuslaitteisto oli sijoitettava pakkauslinjalle, etikettitarra-aplikaattorin jälkeen, ennen rasioiden laatikointia. Konenäkölaitteisto sijoitettiin olemassa olevan kolmioleipien pakkauslinjan ympärille niin, että se sijaitsee linjalla heti tarra-aplikaattorin jälkeen.

Kuvauksen olisi periaatteessa voinut vaihtoehtoisesti toteuttaa myös viivakameroilla, mutta tässä kohteessa matriisikameroiden käyttö todettiin yksinkertaisuutensa ansiosta paremmaksi vaihtoehdoksi, koska linja joka tapauksessa askeltaa matriisikameralle sopivassa syklissä.



Kuva 2. Valokuva kameralaitteistosta paikan päälle asennettuna ja selostus linjalla kuvattavista rasiariveistä.

Pakkauslinja askeltaa niin, että jokaisessa syklissä se liikuttaa tuotteita kahden rasiarivin verran. Jokaisessa rivissä on neljä rasiaa, joten kuvien ottaminen suoritetaan linjan ollessa pysähtyneenä niin, että linjan ylä- ja alapuolisella kameralla kuvataan kuvausalueella näkyvät kahdeksan rasiaa. Käytettävissä olevan tilan vähäisyyden vuoksi alakamera kuvaa yhtä riviä aikaisempia kahta rasiariviä, kuten kuvassa 2 on esitetty. Kuvassa 2 näkyy myös selkeästi laitteiston runko ja kotelointi.



Kuva 3. Havainnekuva yläkameran kuvausalueesta.

Kuvassa 3 on esitetty yläkameran kuvausalue. Kuvausalueella näkyy kerrallaan kahdeksan etikettiä kuvan osoittamassa muodostelmassa. Havainnekuvas-  
 ka kaikki etiketit ovat kauniisti keskellä rasiaa, mutta todellisuudessa etiketit ovat  
 hieman vaihtelevissa asennoissa. Kuvassa 3 näkyy myös esimerkkilogo.  
 Etikettien paikoitus toteutettiin tunnistamalla logon sijainti ja asento. Tämän  
 lisäksi kuvassa 4 näkyy päivämääräntulostusalue ja tarkastettavan viivakoodin  
 suhteellinen koko ja sijainti.



Kuva 4. Havainnekuva alakameran kuvausalueesta.

Kuvassa 4 on esitetty alakameran kuvausalue. Kerralla kuvataan havainnekuvan mukaisessa asetelmassa olevat kahdeksan rasiaa. Tässä havainnekuvasssa myös käy ilmi kameras optiikan ja asettelun aiheuttama perspektiivivääristymä.

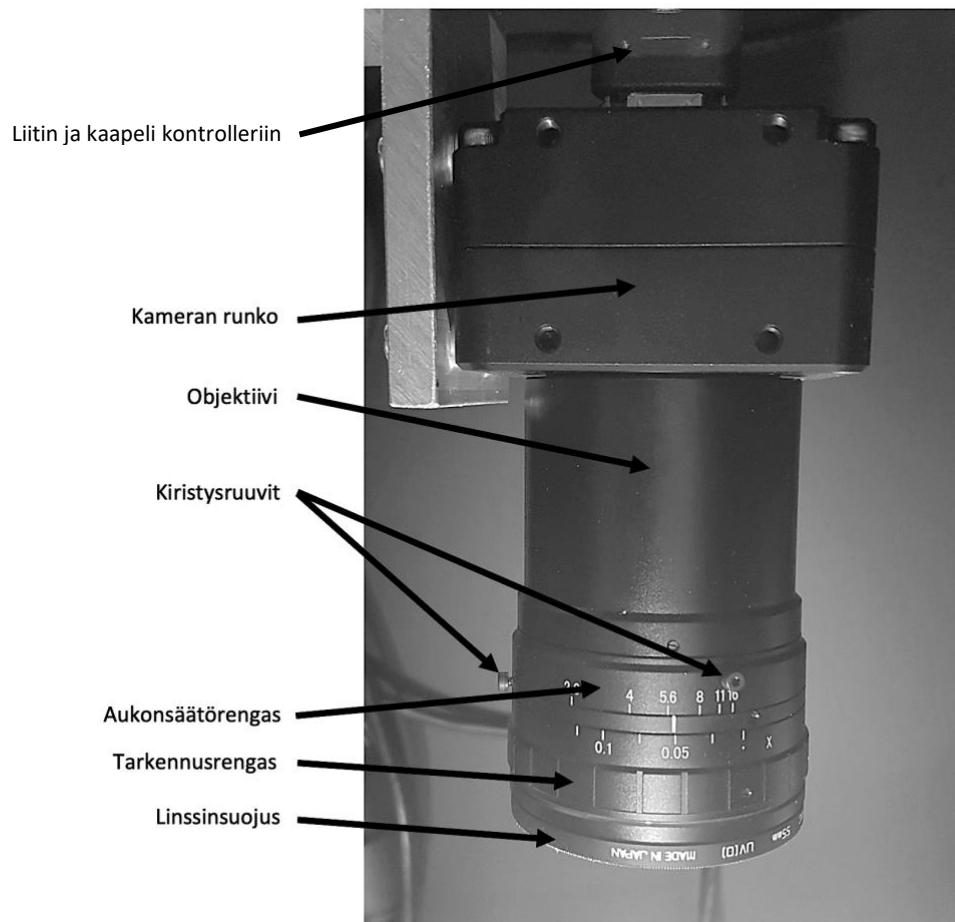
Kuvan 4 keltaiset esimerkkietiketit ovat asettuneet rasioiden pintaan vaihteleviin asentoihin, kuten etiketit todellisuudessaakin asettuvat. Havainnekuvan etiketeissä ei näy tuoteselostetta ja muuta tekstiä, jotka etiketeissä todellisuudessa on. Tämä havainnollistaa sitä, että tarkastus tehtiin kuvalle, jota on tarkoituksella sumennettu ja suodatettu tekstin hävittämiseksi. Niin tekemällä tarkastus saatiin toimimaan selkeimmin.

### 3.3 Valitun konenäkölaitteistoratkaisun esittely

Eri laitetoimittajien laitteiden vertailu mahdollistaa aina kulloiseenkin kohteeseen parhaiten sopivien laitteiden löytämisen. Tässä konenäkösolussa käytettävät laitteet valittiin asetettujen vaatimusten perusteella. Eri laitetoimittajien tuotteita kokeilemalla ja vertailemalla löydettiin sopivin laitekoonpano. Laitteisto valittiin aiemmista projekteista tutulta valmistajalta, Omronilta. Valintakriteereinä painotettiin eniten ohjelmistoa, osaavia asiantuntijoita sekä kattavaa laitevalikoimaa.



Kriteerin laitteille asetti kuvattava kohde eli pakkauslinjalla olevat kolmioleipärasiat. Koska rasioista haluttiin kuvata sekä isommat yläpuolen etiketit että alapuolella olevat pienemmät etiketit, täytyi kamerat valita niin, että niillä voi kuvata tarvittavan alueen riittäväällä tarkkuudella. Laitteistoon tarvittiin siis kaksi kameraa optiikkoineen. Tämän lisäksi tarvittiin kamerakontrolleri, joka on konenäkökäyttöön räätälöity Windows-pohjainen tietokone. Ylä- ja alapuolille valittiin samanlaiset kamerakokoonpanot. Kameroiksi valittiin Omronin 12,5 megapikselin CMOS-kennoiset värikamerat. Molempiin kameroihin tuli 25 mm polttovälin entosentriset objektiivit. Lisäksi laitteiston käyttöliittymän toteutukseen valittiin kosketusnäyttö, jolla pakkauslinjan operaattorit valitsevat tarkastuslaitteiston asetukset.



Kuva 5. Kuva yläkamerasta ja kameran osien nimet.

Kuvassa 5 on yläkamera ja siinä on esitetty sen osien nimet. Alakamera oli samanlainen kuin yläkamera.

Lopullisessa ohjelmassa tarkastusten tekeminen kuvauksen jälkeen kesti hieman alle yhden sekunnin. Tämä riitti prosessin tarpeisiin, joten tässä sovelluskohteessa ei ollut tarpeen kiinnittää erityistä huomiota ohjelman laskenta-ajan optimointiin, koska laitteisto pystyi ilman varsinaista optimointiakin suorittamaan tarkastukset vaaditussa ajassa. Tarkastusohjelmien nopeutta on

mahdollista optimoida tiettyyn pisteeseen asti, ja sen jälkeen lisää nopeutta tarkastukseen saa käyttämällä tehokkaampaa tietokonetta.

Laitteiston kamerakontrollerina oli aluksi Omronin pienempi versio, jonka oli arvioitu olevan riittävän tehokas. Myöhemmin ohjelmaa kehitettäessä kuitenkin huomattiin, että ohjelman laajuuden vuoksi kontrollerin muistikapasiteetti ei riittänyt suorittamaan ohjelmaa. Tämä ilmeni niin, että laitteisto toimi käynnistyksen jälkeen hetken halutusti, mutta muutaman tarkastuksen jälkeen kosketusnäytön kamerakuvanäkymä ei enää päivittänyt kuvaa, eikä kontrolleri suorittanut tarkastusohjelmaa loppuun saakka. Tässä asiassa saatiin tukea Omronin asiantuntijoilta. Omronin asiantuntijat Saksassa testasivat suorittaa ohjelmaa tehokkaammalla kontrollerilla, jossa oli enemmän RAM-kapasiteettia. Lupaavien testitulosten jälkeen laitteistoon vaihdettiin tällainen tehokkaampi kontrolleri, ja ohjelma saatiin toimimaan halutulla tavalla.

Kameroiden laukaisu toteutettiin kontrolleriin liitettävällä anturilla, koska kameralaitteistosta haluttiin tehdä täysin itsenäinen. Alun perin anturiksi valittiin pienikokoinen hajaheijastava anturi, joka asennettiin niin, että se tunnisti pakkauslinjalla kohdalleen pysähtyneen muovirasian. Tällainen anturointi todettiin kuitenkin myöhemmin epävarmaksi, joten tilalle vaihdettiin SICKin peilivalokenno. Tällä muutoksella kuvanoton laukaisu saatiin toimintavarmaksi.

### 3.4 Konenäköohjelman esittely

Ohjelmaa tehtäessä tuli ottaa huomioon linjalla tuotettavien eri tuotteiden etikettien eroavaisuudet. Ohjelma tehtiinkin sopivaksi kaikille eri tuotteille. Eri tuotteiden etiketeissä oli eroavaisuuksia esimerkiksi asetelussa ja värityksessä, joten ohjelma oli rakennettava ottamaan huomioon nämä erot.

Konenäkösovelluksissa on, jos vain mahdollista, kannattavaa järjestää kuvaus niin, että kuvattava kohde kuvataan hallitusti valaistuna, hallitussa asennossa ja hallitulla taustalla. Tällöin minimoidaan odottamattomat kuvausolosuhteiden muutokset kuvauksessa. Tällaisia haitallisia muutoksia aiheuttavat esimerkiksi auringon valo, tilan yleisvalaistus, hallitsematon liike ja epämääräinen tausta.

Opinnäytetyön kohteessa valaistus pystyttiin toteuttamaan hyvin hallitusti kohteelle sopivaksi, mutta taustaan ei ollut mahdollisuutta vaikuttaa. Tämä johtui siitä, että kuvattiin läpinäkyvissä muovisissa kolmioleipärasioissa olevia etikettejä. Jokaisessa rasiassa oli sisällä epäsäännöllisessä asennossa oleva hieman epäsäännöllisen muotoinen leipä. Sen takia kuvattavan kohteen eli etiketin tausta oli epäsäännöllinen ja hallitsematon. Leivän väri ja asento vaihtelivat, ja lisäksi joissain leivissä täytteet näkyivät ja joissain eivät. Tämä toi jonkin verran lisähaastetta, mutta ongelma poistettiin suuren kerätyn kuvamateriaalin avulla.

### 3.4.1 Tarkastusoperaatiot

Konenäkölaitteisto ohjelmoitiin Omronin FZ-PanDA-ohjelmistolla. Tämä ohjelma on Omronin konenäkökameroiden ohjelmointiin tarkoitettu Windows-sovellus. Ohjelmassa on graafinen käyttöliittymä ja ohjelmointi suoritetaan drag & drop -tyylisesti. Ohjelma tarjoaa laajan valikoiman kuvankäsittely- ja kuva-analyysitoimintoja. Tässä kappaleessa esitellään otetuille kuville tehtävät tarkastusoperaatiot. Tarkastusoperaatiot esitellään samassa järjestyksessä kuin ne ohjelmassakin ovat.

Ohjelmasta tuli lopulta kohtalaisen pitkä. Koska ajettavia tuotteita oli useita erilaisia, ohjelma piti rakentaa huomioiden tarkastettavien etikettien erot. Omronin ohjelmassa on eri tasoja. Samassa ohjelmassa voi olla useita aliohjelmaa, joita kutsutaan sceneiksi. Tässä laitteistossa eri etikettien ohjelmat olisi voinut olla selkeämpää tehdä omiin sceneihin, mutta scenejen välille ei pystynyt tekemään yhteisiä ominaisuuksia. Tämän takia eri sceneihin jaetusta ohjelmasta olisi tullut hankalasti hallittava niiltä osin kuin eri tuotteiden välillä käytettiin samoja operaatioita. Tässä kohtaa Omronin ohjelmisto asetti tiettyjä rajoitteita.

#### **Tyhjien rasioiden tarkastus**

Ohjelmaa tehtäessä oli otettava huomioon poikkeustilanteet. Poikkeustilanteet huomioon ottamalla pyrittiin eliminoimaan aiheettomat hälytykset. Eräs huomioitava poikkeustilanne oli tuotteen vaihto. Kun pakkauslinjalla ajettava tuote vaihdetaan, ajetaan linjan puhdistamiseksi useita rivejä tyhjiä rasioita. Jos tällaisia tyhjiä, etiketittömiä rasioita tulisi kesken normaaliajon, niiden tulisi aiheuttaa hälytys. Kuitenkin, jotta aiheetonta hälytystä ei tulisi joka kerta tuotetta vaihdettaessa, täytyy kuvista tarkastaa ensimmäisenä, onko kuvatuissa rasioissa kolmioleipä sisällä.

Tyhjien rasioiden tarkastus toteutettiin Color Data -työkalulla, joka tunnistaa määritellyltä alueelta määrätyn värisiä kuvapisteitä.

#### **Alaetiketin paikoituksen tarkastus**

Alakameralla tehdään alaetiketeille samankaltainen tarkastus kuin yläpuolen etiketeillekin. Alapuolella olevan etiketin tarkastuskriteerit ovat hieman vapaammat. Alaetiketit ovat suhteessa pienempiä kuin yläetiketit, joten ne voivat olla vapaammin asetettuina. Tärkeintä on, että etiketti on liimautunut rasiaan. Alapuolen kameralla tarkastetaan, että kaikissa kahdeksassa kuva-alueen rasiassa on onnistuneesti liimautunut etiketti.

Tämä tarkastus toteutettiin Omronin ohjelmassa olevalla Gravity and area -työkalulla, joka etsii rasian pinnasta määrätyn kokoisen alueen määrätyn värisiä pikseleitä. Jokaisessa tuotteessa oli erisävyinen alaetiketti, joten työkalu oli määriteltävä jokaiselle tuotteelle erikseen. Näin toteutettuna jokaisesta kuva-alueen kahdeksasta rasiasta tarkastetaan alaetiketti, ja saadaan huomattua rasiat, joissa etiketti on liimautunut väärään kohtaan tai liian vinoon.

### **Viivakoodin tarkastus**

Yläpuolen etiketeistä luetaan viivakoodi. Luettua EAN-viivakoodia verrataan laitteiston kosketusnäytöltä valittuun tuotteeseen. Viivakoodin luku toteutettiin siten, että tarkastus hyväksytään, kun yhdestä kuvausalueen kahdeksasta rasiasta löytyy oikea EAN-viivakoodi. Tämä riittää, koska yläetikettejä applikoidaan rasioihin aina vain yhdestä rullasta kerrallaan, joten ei ole mahdollista, että vierekkäisiin rasioihin tulisi keskenään eri etiketit. Viivakoodin luku toteutettiin Omronin ohjelmassa olevalla Barcode-työkalulla.

### **Yläetiketin paikoituksen tarkastus**

Yläkameralla tarkastetaan yläpuolisen etiketin onnistunut asettaminen. Tarkastetaan, että kaikissa kuva-alueen kahdeksassa rasiassa on riittävällä tarkkuudella asetettu etiketti. Etiketit ovat pienempiä kuin rasioiden pinta, joten niiden on sallittua olla jonkin verran vinossa ja jonkin verran sivussa keskikohdasta. Mahdollisia yläetiketin hylkäystilanteita ovat esimerkiksi: päällekkäin väärään kohtaan liimautuneet etiketit, etikettiä ei ole ollenkaan, etiketti on liimautunut väärään kohtaan, etiketti on liian vinossa.

Yläetiketin paikoituksen tarkastus toteutettiin Omronin ohjelman hahmontunnistustyökalulla. Jokaisesta kahdeksasta rasiasta tunnistetaan tuotteen logo, ja logon sijaintia ja asentoa verrataan asetettuihin raja-arvoihin. Näin toteutettuna tarkastuksesta tuli luotettava. Paikoituksen tarkastuksessa oli otettava huomioon, että kaikissa tuotteissa ei ollut samaa logoa. Tarkastusohjelma on opetettu tunnistamaan eri tuotelogot, eli tunnistus aktivoidaan kosketusnäytöltä valitun tuotteen mukaan.

### **Päivämäärätulosteen tarkastus**

Yläkameralla tarkastetaan yläetikettiin tulostettu päivämäärämerkintä. Päivämäärätuloste on muotoa PP.KK.VVVV Z, jossa Z on tuotantolinjan yksilöivä kirjain. Tarkastuksessa haluttiin varmistua, että muste on onnistuneesti tulostettu. Eli tarkastettiin, että tulostusalueella on haluttu määrä merkkejä.

Päivämäärämerkinnän tarkastus ajateltiin alun perin tehtäväksi tulostetun musteen määrän tarkastuksella. Tämä menetelmä kuitenkin osoittautui

myöhemmin liian epävarmaksi. Epävarmuus johtui siitä, että kamera piti sijoittaa laajan kuvausalueen vuoksi melko kauas, jolloin yksittäisen tulostetun merkin korkeus oli kuvassa vain noin 30 pikseliä.

Kaikkien kuva-alueen kahdeksan rasian yläetiketeistä tarkastetaan päivämäärätuloste. Päivämäärä saatiin tarkastettua luotettavasti OCR-työkalulla. OCR-toiminto konfiguroitiin niin, että se laskee tulostusalueella olevat merkit, ja hyväksyy tarkastuksen, jos kaikki merkit ovat paikallaan tai jos vain yksi merkki puuttuu. Päivämäärätulosteessa käytettävällä fontilla ja fontin koolla on merkitystä tekstin koneellisen luettavuuden kannalta.

Päivämäärätarkastuksessa eniten työtä aiheuttivat tuotteet, joissa päivämäärätulostusalueen tausta oli eri värinen. Optinen merkkien tunnistus (engl. Optical character recognition) eli OCR-työkalu vaati toimiakseen suhteellisen korkean kontrastin päivämäärätulosteen ja taustan välille, joten filteröinti tuli tehdä jokaiselle tuotteelle erikseen.

### 3.4.2 Laitteiston asetukset

Ohjelman käyttäjien muutettavissa olevista asetuksista tehtiin mahdollisimman suppeat, jotta käyttäjän ei tarvitse tehdä monimutkaisia asetuksia. Ohjelman ainoaksi käyttäjän muutettavissa olevaksi asetukseksi tehtiin ajettavan tuotteen valinta. Käyttäjä valitsee tuotteen vaihdon yhteydessä kosketusnäytön valikosta ajettavan tuotteen nimen. Samaan valikkoon tehtiin lisäksi mahdollisuus keskeyttää tarkastuksen tekeminen. Tämä toiminto tehtiin esimerkiksi huoltotilanteita varten.

### 3.4.3 Tarkastuksen tulosten ilmoittaminen

Laitteesta tehtiin täysin itsenäinen, eli se ei ole yhteydessä tehtaan muihin laitteisiin. Laitteeseen kuitenkin tehtiin valmius yhdistää se pakkauslinjaan myöhemmin. Tällä yhdistämisellä konenäkölaitteisto voisi hylätyn tarkastuksen tapahtuessa lähettää pakkauslinjalle pysähtymiskäskyn, jotta hylkäyksen aiheuttaneen virheen syy voidaan tarkastaa ja siihen voidaan reagoida.

Laitteisto ilmoittaa jokaisen tehdyn tarkastuksen lopputuloksen valomajakalla. Hyväksytystä tarkastuksesta ilmoitetaan valomajakan vihreällä valolla. Eli käytännössä vihreä valo palaa jatkuvasti, kun pakkauslinja toimii normaalisti. Hylätyistä tarkastuksista ilmoitetaan työntekijöille äänisummerilla ja valomajakan punaisella valolla. Näillä hälytyksillä hylätyn tarkastuksen tapahtuessa herätetään työntekijöiden huomio ja virheeseen kyetään reagoimaan nopeasti.

Konenäkölaitteiston kosketusnäyttö ohjelmoitiin näyttämään aina viimeisimmän hylätyn tarkastuksen kuvat. Eli, kun konenäkölaitteisto hylkää tarkastuksen,

työntekijä näkee punaisen valon ja kuulee summerin soivan, hän tulee laitteiston luo katsomaan kosketusnäytöstä viimeksi otetut kuvat. Näytöllä näkyvien ylä- ja alakameran kuvien päällä on jokaisen tarkastusoperaation tarkastustuloksen kertova teksti jokaisen etiketin kohdalla. Näin kosketusnäyttöä katsova käyttäjä saa nopeasti selville, mikä kuvatuista etiketeistä aiheutti hylkäyksen, ja tietää, mihin kohdistaa korjaavat toimenpiteet.

## 4 LOPUKSI

Opinnäytetyössä toteutettiin loppukäyttäjälle konenäkölaitteisto ohjelmiseen elintarvikepakkausten tarkastukseen. Tavoitteeseen päästiin hyvin – laitteistosta tuli toimiva kokonaisuus ja se täyttää asetetut vaatimukset.

Opinnäytetyön tarkastusohjelmaa ohjelmoidessa tuli oppineeksi tekniikoita, jotka nopeuttavat ohjelmointityötä. Tällaisia ovat esimerkiksi ratkaisut konenäköohjelman rakenteessa. Näistä opeista on hyötyä tulevilla konenäköprojekteissa.

Opinnäytetyötä kirjoittaessa tuli perehdyttyä laajemmin konenäköteknologioihin ja kameratekniikkaan. Tämä kaikki aihetta ympäröivä tieto on avuksi syvällisemmän ymmärryksen kasvattamisessa.

Konenäkösovelluksille on runsaasti kysyntää useilla teollisuuden aloilla, ja teknologian kehittymisnopeus, sovellusmahdollisuudet ja suorituskyky tulevat oletettavasti edelleen kasvamaan huimalla vauhdilla.

Jatkokehitettävää tulevilla konenäköprojekteissa ovat esimerkiksi mainittu integraatio ympäröiviin laitteisiin ja ERP-ohjelmistoihin. Tällaiset tulevat varmasti enenevässä määrin lisääntymään konenäkölaitteistoja toteutettaessa.

## LÄHTEET

Amazon. Computer Vision. Viitattu 18.10.2020  
<https://aws.amazon.com/computer-vision/>

Cognex 2018. Introduction to Machine Vision. Viitattu 2.3.2020  
<https://www.cognex.com/library/media/files/17151.pdf>

Edmund Optics 2017. Imaging Performance of Telecentric Lenses. Viitattu 28.11.2020  
<https://www.youtube.com/watch?v=8xP4lr1ojTo>

Esteva, A.; Kuprel, B.; Novoa R. A.; Ko J.; Swetter S. M.; Helen M.; Blau, H. M. & Thrun, S. 2017. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. Nature. Viitattu 20.9.2020  
[https://www.nature.com/articles/nature21056.epdf?author\\_access\\_token=8oxlcYWf5UNrNpHsUHd2StRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0NXpMHRAJy8Qn10ys2O4tuPakXos4UhQAFZ750CsBNMMsISFHlKinKDMKjShCpHIYPYUhhNzkn6pSnOCt0Ftf6](https://www.nature.com/articles/nature21056.epdf?author_access_token=8oxlcYWf5UNrNpHsUHd2StRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0NXpMHRAJy8Qn10ys2O4tuPakXos4UhQAFZ750CsBNMMsISFHlKinKDMKjShCpHIYPYUhhNzkn6pSnOCt0Ftf6)

Google. Vision AI. Viitattu 18.10.2020  
<https://cloud.google.com/vision/>

HealthTech Magazine 2019. Computer Vision in Healthcare: What It Can Offer Providers. Viitattu 20.9.2020  
<https://healthtechmagazine.net/article/2019/01/computer-vision-healthcare-what-it-can-offer-providers-perfcon>

IBM 2016. Identifying skin cancer with computer vision. Viitattu 20.9.2020  
<https://www.ibm.com/blogs/research/2016/11/identifying-skin-cancer-computer-vision/>

Omron. Viitattu 4.3.2020  
<https://automation.omron.com/en/us/products/category/machine-vision>

Naïo Technologies. Dino large-scale vegetable weeding robot. Viitattu 18.10.2020  
<https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/large-scale-vegetable-weeding-robot/>

Microsoft. Cognitive Services – Computer Vision. Viitattu 18.10.2020  
<https://azure.microsoft.com/en-us/services/cognitive-services/computer-vision/>

Milan S.; Hlaváč V. & Boyle R. 2014. 4. Image Processing, Analysis and Machine Vision. CL Engineering.

Mohammad Rafiee 2020. Entrance Door Open. Viitattu 1.11.2020  
[https://www.youtube.com/watch?v=HiqkkFumCi8&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?v=HiqkkFumCi8&feature=emb_logo)

Vaisala 2019. 5G valjastettiin Itämeren sinilevätilanteen seurantaan. Viitattu 21.9.2020  
<https://www.vaisala.com/fi/news/2019-08/5g-valjastettiin-itameren-sinilevatilanteen-seurantaan>

Washington Post 2020. Tesla is putting 'self-driving' in the hands of drivers amid criticism the tech is not ready. Viitattu 30.10.2020  
<https://www.washingtonpost.com/technology/2020/10/21/tesla-self-driving/>

Waymo 2020. Introducing the 5th-generation Waymo Driver: Informed by experience, designed for scale, engineered to tackle more environments. Viitattu 1.11.2020  
<https://blog.waymo.com/2020/03/introducing-5th-generation-waymo-driver.html>