

Mervi Ranni

POLYURETAANIHARKKOJEN LAADUNVALVONTA  
KONENÄKÖJÄRJESTELMÄLLÄ

Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
2013

## POLYURETAANIHARKKOJEN LAADUNVALVONTA KONENÄKÖJÄRJESTELMÄLLÄ

Ranni, Mervi  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2013  
Ohjaaja: Laine, Kari  
Sivumäärä: 28  
Liitteitä: 0

Asiasanat: konenäkö, robotti, laadunvalvonta, polyuretaani, harkko

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää konenäön soveltuvuus polyuretaaniharkkojen laadunvalvontaan. Työn aikana selviteltiin mahdollisen laitteiston rakentamista harkkosoluun ja tehtiin konenäköohjelma, jolla vikojen etsimistä tutkittiin.

Polyuretaaniharkkoja käytetään raaka-aineena rakennusteollisuudessa. Niiden ympärille valetaan betoni- tai leca-harkko. Polyuretaaniharkko toimii lopputuotteessa eristeenä. Rikkoutunut tai muuten viallinen polyuretaaniharkko ei eristä niin hyvin kuin ehjä.

Työ tehtiin Biolan Oy:lle Euraan. Polyuretaaniharkkoja tehdään kahdessa melkein identtisessä harkkosolussa, jossa kummassakin on kaksi robottia hoitamassa muottien käsittelyä.

# MACHINE VISION SYSTEM FOR QUALITY CONTROL OF POLYURETHANE BRICK

Ranni, Mervi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Automation Technology

May 2013

Supervisor: Laine, Kari

Number of pages: 28

Appendices: 0

Keywords: machine vision, robot, quality, polyurethane, brick

The purpose of this thesis was to find out how machine vision system could help to control quality of polyurethane bricks. It was studied whether it is possible to build a machine vision system for that purpose. A machine vision software was made to study how easy it would be to find the faults of the bricks.

The polyurethane brick are used as raw material in the building industry. Concrete or leca is cast around the brick. Polyurethane is used as insulating material in the final product. If the polyurethane brick has been broken, it does not insulate properly.

The work was done for Biolan Oy which is located in Eura. The polyurethane bricks are manufactured in two similar robot cells. Each cell has two robots to handle the polyurethane moulds.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KONENÄKÖ.....	6
2.1	Konenäkö lyhyesti.....	6
2.2	Digitaalinen kuva.....	6
2.3	Konenäköjärjestelmän osat.....	7
2.3.1	Kamera.....	7
2.3.2	Optiikka.....	8
2.3.3	Valaistus.....	10
2.3.4	Tietokone ja kuvankäsittely.....	12
2.3.5	Liitännät.....	13
2.4	Konenäön historiaa.....	14
3	BIOLAN OPINNÄYTETYÖN TEETTÄJÄNÄ.....	14
3.1	Yrityksen esittely.....	14
3.2	Työn tarkoitus.....	15
4	LAATUVIKOJEN ETSIMINEN KONENÄKÖOHJELMALLA.....	15
4.1	Tuotantoprosessin kuvaus.....	15
4.2	Laatuongelmien etsintää.....	16
4.2.1	Ongelmien kuvaus.....	16
4.2.2	Vikojen etsiminen konenäköohjelmalla.....	17
4.3	Konenäköohjelman toteutus.....	17
4.3.1	Ohjelman esittely.....	17
4.3.2	Käytetyt työkalut.....	19
4.3.3	Käyttöliittymä.....	20
4.3.4	Ohjelman soveltuvuuden arviointi.....	21
5	KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN MAHDOLLISUUDET.....	22
5.1	Opinnäytetyössä käytetty kamera ja valaistus.....	22
5.2	Kameran sijoittaminen harkkosoluun.....	24
5.3	Robotti konenäön apuna.....	25
5.4	Valaistuksen haasteet odotettua pienemmät.....	25
6	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	26
6.1	Arvioita työn onnistumisesta.....	26
6.2	Ideoita tulevaisuutta varten.....	27
	LÄHTEET.....	28

## 1 JOHDANTO

Biolanin Euran tehtailla tehdään polyuretaaniharkkoja, joita jatkokäytetään rakennusteollisuudessa eristeinä siten, että niiden ympärille valetaan leca-soraharkko tai betoniharkko. Polyuretaaniharkot valmistetaan pursottamalla massa metallisiin muotteihin, joissa niitä säilytetään 10–12 minuuttia. Sen jälkeen muotti aukaistaan ja harkko poistetaan muotista. Prosessia hoitaa kaksi robottia. Näitä robottisoluja on kaksi kappaletta, ja solut ovat muuten samanlaiset, paitsi että ne käsittelevät eri harkkomalleja, joten robottien koordinaatit poikkeavat hieman toisistaan. Harkkomalleja on noin kymmenen erilaista.

Muottien lämpötila vaikuttaa laatuun, sillä jos muotti ehtii jäähtyä liikaa ennen seuraavaa täyttöä, valmiin harkon irrotus vaikeutuu jopa muutaman seuraavan täytön ajaksi. Siksi harkkojen säilytyspaikan lämpötila pidetään 35–36 asteessa. Jo kahden tunnin tauko käytössä ilman lämmitystä jäädyttää muottia liikaa.

Opinnäytetyössä oli tarkoitus löytää ainakin suurimmat laatuviat ja mahdollisuuksien mukaan myös pienempiä. Pahimpia laatuviakoja ovat harkon reunojen pyöristykset, harkon rikkoutumiset sekä harkon puoliväliin muodostuva "kaulus", joka aiheutuu siitä, että muotista on päässyt pursuamaan polyuretaania ylämuotin ja alamuotin välistä. Pienempiä selviteltäviä vikoja ovat harkon pinnalle muodostuvat ilmakuplat sekä harkon kulmista puuttuvat kulmamerkit, jotka saattavat viitata siihen, että muotin ilmareiät ovat tukossa. Ilmareikien tukkeutuminen näkyy laatuvikoina seuraavilla täyttökerroilla.

Opinnäytetyössä selviteltiin sopivan konenäköjärjestelmän rakentamista robottisoluja varten sekä tehtiin ohjelma, jolla harkon laatuviakoja etsittiin.

## 2 KONENÄKÖ

### 2.1 Konenäkö lyhyesti

Konenäkö on ihmisen silmää matkiva koneellinen aisti. Kuvannus tapahtuu siten, että konenäkökamera muodostaa kohteesta kuvan, joka siirretään tietokoneelle päätöksentekoa varten. Tietokone analysoi kuvan ja tekee halutut päätökset, esimerkiksi ohjaa robottia. (Leino 2012a, 6)

Ihmissilmä on monessa suhteessa ylivertainen koneelliseen aistiin verrattuna, mutta toisaalta kone jaksaa toistaa uupumatta ja hyvin nopeasti rutiininomaisia tehtäviä. Konenäköä voidaan käyttää myös silloin, kun työskentelyolosuhteet ovat ihmiselle vaaralliset, esimerkiksi kovassa kuumuudessa tai kun joudutaan tekemisiin vaarallisten aineiden kanssa.

Konenäköä käytetään nykyään myös sellaisilla aallonpituuksilla, joita ihminen ei havaitse, esimerkiksi infrapuna-alueella.

### 2.2 Digitaalinen kuva

Digitaalinen kuva koostuu kuvaelementeistä, joita kutsutaan pikseleiksi. Pikselin arvo riippuu kyseisen pisteen kirkkaudesta. Jos kyseessä on 8-bittinen kuva, pikseli voi saada arvoja 0–255. Arvolla 0 pikseli näkyy mustana ja arvolla 255 valkoisena. Muut harmaan sävyt asettuvat tälle välille. Jos käytössä on enemmän bittejä, pikseli voi saada myös suurempia arvoja kuin 255.

Värien esittämisessä käytetään usein RGB-järjestelmää (R = punainen, G = vihreä ja B = sininen). Kuvapisteen väri koostuu tällöin kolmesta eri kanavasta. 8-bittisessä järjestelmässä kukin kolmesta väristä voi saada arvoja 0–255. Väri muodostuu näiden kolmen arvon yhdistelmästä. Esimerkiksi punaisessa värissä R-arvo on suuri ja G- ja B-arvot ovat pienet.

Kuvattava kohde heijastaa valoa, ja tätä valoa mitataan pikseli pikseliltä. Yhtä kuvapistettä vastaa yksi valoilmaisin kameran kennolla. Valoilmaisimelle tuleva valo muutetaan sähkövaraukseksi ja sähkövaraus numeeriseksi arvoksi. Näin saadaan pikselille arvo.

### 2.3 Konenäköjärjestelmän osat

Konenäköjärjestelmän osat ovat kamera, optiikka, valaistus, tietokone, kuvankäsittelyohjelmisto ja tarvittavat liitännät.

#### 2.3.1 Kamera

Järjestelmän tärkein osa on kamera. Kameroita on kahta tyyppiä: perinteisiä konenäkökameroita ja älykameroita. Älykamera eroaa perinteisestä siinä, että se sisältää jo tarvittavan älyn eli ei tarvitse erillistä tietokonetta ja siinä olevaa kuvankäsittelyohjelmaa. Kuvan käsittely ja analysointi tapahtuu älykamerassa. Tämä on älykameran vahvuus suhteessa perinteiseen kameraan. Heikkoja puolia perinteiseen konenäkökameraan nähden on se, että prosessointiteho on yleensä heikompi (tehokkaitakin kameroita löytyy, mutta ne ovat kalliita), koska perinteisessä kamerassa voidaan käyttää hyväksi PC:n laskentatehoa. Älykamerassa laajennettavuus voi muodostua ongelmaksi. Älykameroiden ohjelmistot eivät myöskään ole aina niin kattavia kuin perinteisten kameroiden. Nykyisin älykameroiden ja perinteisten kameroiden hinta- ja tehoerot eivät ole enää kovin suuria.

Suurin osa nykyisin käytettävistä kameroista on CCD-tekniikalla toimivia. Niiden rinnalla käytetään CMOS-kameroita, jotka ovat tehneet tuloaan jo pitkään saavuttamatta kuitenkaan vielä hallitsevaa asemaa. CMOS-kameroiden läpimurron esteenä on ollut korkeampi hinta.

CCD-kameran (Charge-Coupled Device) tekniikka perustuu valoherkkään kennoon, jossa kennolle tuleva valo muutetaan sähköisiksi signaaleiksi. Saatu kuva on harmaasävykuva (Wikipedia 2013). Kuvan muuttaminen värikuvaksi tapahtuu

esimerkiksi suodattimia käyttämällä. Yleensä konenäkökäyttöön riittää harmaasävykuva, mutta värikameroitakin on tarjolla.

Kuvanmuodostus CCD-kamerassa tapahtuu siten, että valo tulee linssisysteemin läpi varatulle valoilmaisimelle, jossa se purkaa varausta valomäärän mukaan. Näin pikselien sähköinen varaus muuttuu ja kuva on luettavissa yksittäisten pikselien varauksia tutkimalla. (Leino 2012b, 24)

CMOS-tekniikan (Complementary Metal-Oxide-Silicon) käyttö kameroissa vähentää virran kulutusta, sillä varausta ei siirretä kennolta eteenpäin, vaan varauksen muuntaminen jännitteeksi tapahtuu kennossa. Kennolle tuleva valoenergia muutetaan sähkövaraukseksi, joka muutetaan jännitteeksi. A/D-muunninta tarvitaan muuttamaan jännite biteiksi. (Leino 2012b, 30)

Kamerat voidaan jaotella myös matriisi- ja viivakameroihin. Matriisikamerassa kennon valoilmaisimet on järjestetty matriisiksi vaaka- ja pystyriveihin. Viivakameralla on yksi ulottuvuus vähemmän eli valoilmaisimet ovat vain yhdessä suunnassa. Viivakameraa käytetään nopeasti liikkuvien, yhtenäisten kappaleiden kuvaamiseen. Esimerkki viivakameran käytöstä on paperirullan kuvaaminen paperitehtaassa.

### 2.3.2 Optiikka

Kuva muodostetaan linseillä. Linssi keskittää tulevan valon kuvailmaisimelle. Linssin tuottama kuva on ylösalaisin, mutta sen kompensoimiseksi myös ilmaisimien kameran sisällä on asennettu ylösalaisin. Näin näkemämme kuva on oikein päin.

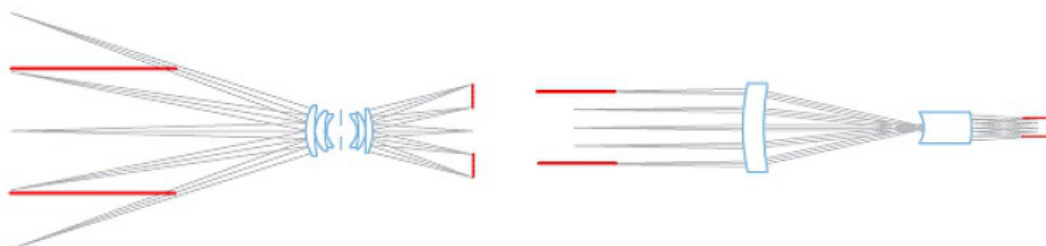
Optiikka valitaan kameran mukaan. Valintaan vaikuttavat kameran sijoittelu (lähinnä kameran etäisyys kuvattavasta kohteesta), haluttu kuvakoko ja kameran kennon koko.

Tavanomaisten optiikoiden lisäksi löytyy erikoisempia. Telesentrinen optiikka häivyttää kuvasta perspektiivin ja korkeuserot. Perisentrinen optiikka tuo

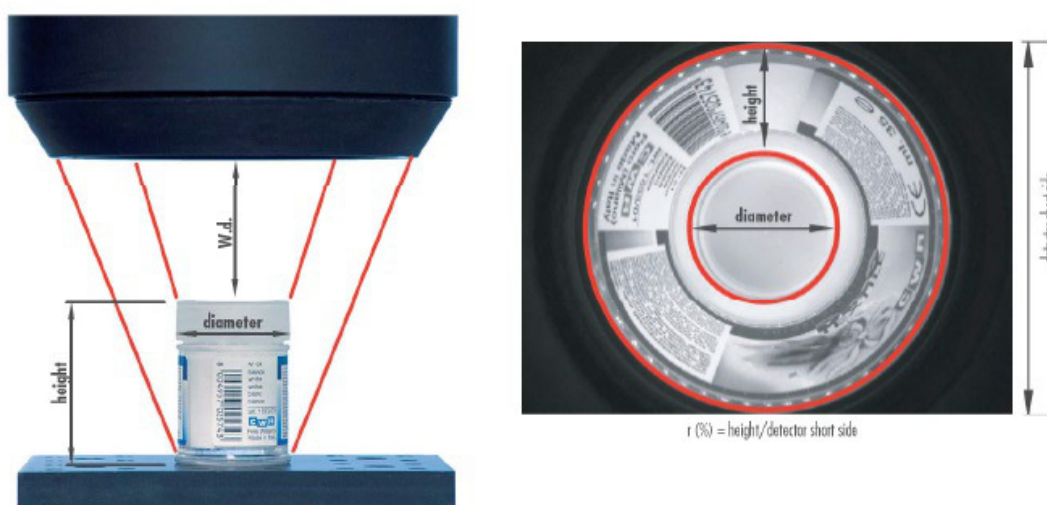


kuvattavasta kappaleesta esiin sekä kameraa kohti olevat pinnat että myös normaalisti piiloon jäävät näitä vasten kohtisuoraan olevat sivut. Moninäköoptiikalla saadaan kohteesta useampi näkymä samaan kuvaan.

Kuvissa 1, 2 ja 3 on esitelty erilaisia erikoisoptiikoita.



Kuva 1. Tavanomainen optiikka vasemmalla ja telesentrinen optiikka oikealla (Leino 2012b, 65).



Kuva 2. Perisentrisen optiikka (Leino 2012b, 67).



Kuva 3. Moninäköoptiikka (Leino 2012b, 68).

### 2.3.3 Valaistus

Valaistumahdollisuuksia on lukemattomia. Valintaan vaikuttaa mm. se, minkälainen kuvattava kappale on ja mitä piirteitä siitä halutaan saada näkyville. Myös kameran ja optiikan valinta vaikuttavat valaistukseen.

Valaistus voidaan valita hieman tieteellisemmin analysoimalla kappaleen ja sen ympäristön ominaisuudet ja valitsemalla valaistus sen mukaan, mitä informaatiota kuvasta halutaan ja mitä ominaisuuksia halutaan korostaa. Kappaleen ja taustan materiaalien ominaisuudet sekä niiden heijastavuus pitää tietää. Tämä valintatapa vaatii sekä hyvää teoreettista osaamista että myös kokemusta. Olosuhteiden pitää myös olla hyvin tiedossa etukäteen.

Tavallisesti valaistus valittaneen kokeilemalla. Kokeillaan erilaisia valaistustapoja, kunnes löydetään juuri kyseiseen kohteeseen sopivin tapa. Myös tätä tapaa käytettäessä kokemus auttaa, vaikka analysointia ei tehtäisikään kovin perusteellisesti etukäteen.

Valaistus on tärkeä osa konenäköjärjestelmää siksi, että ilman sopivaa valaistusta on kameralla vaikea, ehkä jopa mahdoton saada riittävän hyviä kuvia analysointia varten. Sopivalla valaistuksella saadaan kuvassa esiin kaikkein kiinnostavin informaatio. Valaistus on yleensä yksi halvimmista konenäköjärjestelmän osista, ja sitä on helppo muokata. Kun konenäköjärjestelmän ympäristössä tapahtuu muutoksia, valaistusolosuhteet saattavat muuttua sen verran, että

konenäköjärjestelmä ei enää toimikaan halutulla tavalla. Ongelma korjataan valaistusta muuttamalla.

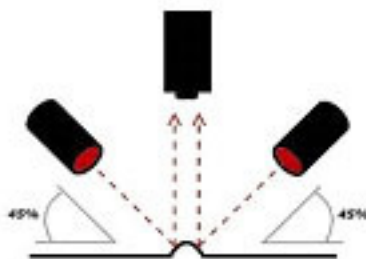
Yleisesti käytettyjä valaistustekniikoita ovat kohtisuora valo, sivuvalo, taustavalo ja diffuusivalo (joko kupoli- tai aksiaalinen valo).

Kohtisuora valaisu tuottaa epätasaisen valon pinnalle. Varjot ovat terävät.



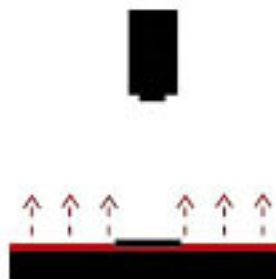
Kuva 4. Kohtisuora valaisu (Orbis 2013)

Sivuvalo tulee nimensä mukaisesti sivusuunnasta. Sitä voidaan käyttää heijastaville pinnoille ja sillä voidaan etsiä pinnan vikoja.



Kuva 5. Sivuvvalo (Orbis 2013)

Taustavalo tulee kuvattavan kappaleen takaa ja saa kappaleen näyttämään tummalta vaaleampaa taustaa vasten. Tällöin kappaleen reunat saadaan hyvin esille.



Kuva 6: Taustavalo (Orbis 2013)

Diffuusivalo eli epäsuora valo saadaan aikaan heijastamalla se jonkin toisen pinnan kautta kohteeseen. Tällöin valo on tasaisempaa ja varjoja on vähemmän.



Kuva 7: Diffuusivalo. Vasemmalla kupoli ja oikealla aksiaalinen (Orbis 2013)

Valonlähteenä voidaan käyttää erilaisia valoja, mutta yleisesti käytetään ainakin loisteputkia, ledejä ja halogeeniä. Loisteputkien ongelma on niiden välkkyminen, sillä niiden aallonpituus ei ole tasainen. Ledeillä ja halogeenilla tätä ongelmaa ei ole, joten ne soveltuvat hyvin konenäkökäyttöön.

#### 2.3.4 Tietokone ja kuvankäsittely

Tietokone tarvitaan usein kuvan käsittelyä ja analysointia varten, ainakin perinteisissä konenäköjärjestelmissä. Perus-PC ei useimmissa tapauksissa riitä, vaan ainakin muistia tarvitaan yleensä lisää.

Kuvankäsittelyohjelmisto asennetaan tietokoneeseen. Ohjelmistovaihtoehtoja on paljon. Ohjelmisto voidaan valita omien mieltymysten mukaan, kunhan ohjelmisto

tukee käytössä olevaa kameratyyppejä. MVTec HALCON ja Matrox Imaging MIL ovat hyviä esimerkkejä tunnetuista ohjelmistoista.

Tavallisesti kuva pyritään ottamaan niin, että sitä ei tarvitse erityisesti käsitellä analysointia varten, mutta tarvittaessa kuvaa voidaan myös parannella.

Kuva voidaan muuttaa binääriseksi eli mustavalkokuvaksi, jossa käytetään vain mustaa ja valkoista. Tällöin pitää määritellä jokin kynnyisarvo, jota suuremman arvon saaneet pikselit määritellään valkoisiksi ja kynnyisarvon alapuolelle jäävät mustiksi. Tällä muutoksella voidaan kuvasta etsiä vaikkapa reunoja.

Kuvan parantamiseksi voidaan käyttää myös erilaisia maskeja ja suodattimia. Esimerkkinä maskin ja suodattimen käytöstä on vaikkapa 3 x 3 pikselin kokoinen maski ja keskiarvosuodatin. Maskia liikutellaan kuvan alueella, ja maskiin osuvista pikseleistä lasketaan keskiarvo, joka merkitään keskimmäisen pikselin arvoksi.

Keskiarvosuodattimen heikkous on keskiarvosta voimakkaasti eroavat arvot, jotka saattavat muuttaa keskiarvoa paljonkin. Tästä syystä keskiarvosuodattimen sijasta käytetään usein mediaanisuodatinta, jolloin keskiarvo korvataan mediaanilla eli otetaan arvoksi keskimäinen arvo (tai parillisen määrän tapauksessa kahden keskimmäisen arvon keskiarvo). Voimakkaasti muista eroavat arvot eivät siten vaikuta lopputulokseen.

### 2.3.5 Liitännät

Liitäntöjä tarvitaan ainakin kameran ja tietokoneen välille sekä mahdollisesti muihin järjestelmiin, esimerkiksi ohjattavalle robotille.

Käytettyjä liitännätapoja ovat Firewire, USB2, USB3, CameraLink, CoaXPress, GigE ja GigE Vision.

## 2.4 Konenäön historiaa

Konenäön historia alkaa 1940-luvun sotien ajalta, jolloin sotateollisuus hyödynsi konenäön varhaisimpia sovelluksia. Suomessa varhaisimmat konenäkösovellukset olivat tukkimittareita, joissa lasersäteen avulla saatiin mitattua tukkien läpimitta.

Ensimmäiset sovellukset perustuivat kuvaputkitekniikkaan, joka oli yleisesti käytössä vielä 1970-luvulla, vaikka CCD-kameratekniikka oli keksitty vuonna 1969 ja CCD-kameroiden valmistaminen aloitettu 1970-luvun lopulla. Konenäkökäyttöön CCD-kamerat tulivat 1980-luvulla.

Aluksi kamerat olivat analogisia ja mustavalkoisia, mutta 1980-luvun aikana saatiin ensimmäiset värikamerat ja kameroiden ulostulo muuttui digitaaliseksi. Kameroiden ja konenäköjärjestelmien yleistymistä edisti tietotekniikan voimakas kehittyminen, joka nopeutti suurien tietomäärien käsittelemistä.

1990-luvulla kehitettiin CMOS-tekniikka, jolla kameroista saatiin nopeampia. CMOS-tekniikkaan perustuvat kamerat olivat kuitenkin kalliita, joten ne yleistyivät hitaasti. Tänä päivänä CCD- ja CMOS-kamerat ovat kaksi yleisintä kameratyyppiä konenäkösovelluksissa. (3T 2013)

## 3 BIOLAN OPINNÄYTETYÖN TEETTÄJÄNÄ

### 3.1 Yrityksen esittely

Biolan Oy on vuonna 1974 perustettu euralainen perheyhtiö, jolla on tuotantotoimintaa Suomessa, Virossa ja Kiinassa. Yritys valmistaa ja myy luonnonmukaiseen viljelyyn ja ekologiseen viheralueiden hoitoon soveltuvia tuotteita sekä ympäristötuotteita. (Biolan 2013)

Yrityksen tuotteita ovat mm. puutarha- ja turvetuotteet, kasvihuoneille tarkoitettu Novarbo-ilmastonhallintajärjestelmä, kompostorit, kuivakäymälät ja

jätevesijärjestelmät. Myös rakennusteollisuuteen tuotetaan materiaalia, kuten tämän opinnäytetyön yhteydessäkin on tullut esiin.

### 3.2 Työn tarkoitus

Polyuretaaniharkkojen valmistusprosessin aikana harkkoihin saattaa tulla laatuongelmia, joista on haittaa sekä harkkojen jatkokäsittelijälle että mahdollisesti myös loppukäyttäjälle. Ongelmista pahimpia ovat harkkojen rikkoutumiset tai harkon reunojen pyöristymiset. Polyuretaanin pursuaminen muotin reunojen yli aiheuttaa vikoja, jotka näkyvät valmiissa harkossa ylimääräisenä reunuksena harkon sivuissa. Reunus haittaa seuraavassa tuotantovaiheessa, sillä reunuksen alle saattaa jäädä tyhjää tilaa, kun betonimassa ei pääse leviämään tasaisesti polyuretaaniharkon ympärille. Pienempiä pintavikoja harkossa ovat pinnan värimuutokset sekä ilmakuplista aiheutuneet syvennykset. Tarkkailtava ominaisuus on harkon kulmien merkit. Merkkien puuttuminen voi tarkoittaa sitä, että muotin ilmareiät ovat tukossa, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia seuraavan täytön yhteydessä.

Myös pienempiä vikoja pyritään löytämään konenäköjärjestelmällä, mutta päähuomio kohdistetaan isompiin vikoihin.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten muotista poistettujen harkkojen laatua voitaisiin valvoa konenäköä hyväksi käyttäen niin, että selkeästi huonolaatuiset harkot löydettäisiin, eivätkä ne menisi eteenpäin asiakkaalle.

## 4 LAATUVIKOJEN ETSIMINEN KONENÄKÖOHJELMALLA

### 4.1 Tuotantoprosessin kuvaus

Metallinen harkkomuotti koostuu kahdesta osasta, alamuotista ja ylämuotista. Molemmat osat suihkutetaan aluksi aineella, joka auttaa harkon irrotuksessa. Takimmainen robotti ottaa alamuotin telineestä ja vie sen irrotusaineen suihkutuksen

jälkeen paikalle, jossa polyuretaani suihkutetaan muottiin. Sen jälkeen alamuotti siirretään paikkaan, jossa etummainen robotti kiinnittää siihen ylämuotin. Alamuotin tuonut takimmainen robotti ottaa muotin ja vie sen telineeseen. Samaan aikaan etummainen robotti vie lavalle valmiin harkon, joka on kulkenut robotin mukana edellisten vaiheiden ajan.

Takimmainen robotti hakee nyt telineestä muotin, joka on täytetty aikaisemmin. Etummainen robotti poistaa ylämuotin ja nostaa tarttujalla valmiin harkon pois muotista. Ylämuotti on myös mukana saman robotin toisessa tarttujassa.

Tässä kohtaa kierto alkaa uudelleen eli irrotusaine suihkutetaan muotin molempiin osiin.

## 4.2 Laatuongelmien etsintää

### 4.2.1 Ongelmien kuvaus

Tavallisimmat laatuongelmat harkoissa ovat halkeamat ja rikkoutumiset, harkon kulmien pyöristymiset, harkon puoleenväliin muodostuva "kaulus" sekä pinnan ilmakuplat. Myös kulmamerkkien puuttuminen voidaan laskea ongelmaksi.

Harkon rikkoutuminen tai halkeamat ovat selkeitä laatuviikoja, joka aiheuttavat sen, että kyseinen harkko ei sovellu jatkokäyttöön. Reunojen ja kulmien pyöristyminen aiheuttaa ongelmia jatkokäytössä, sillä päälle valettava betoni tai lecamassa pääsee tunkeutumaan liian syväälle ja lopputuotteen eristysominaisuudet heikkenevät.

Polyuretaaniharkon puoleenväliin muodostuva "kaulus" eli ylimääräinen reunus johtuu siitä, että alamuotin ja ylämuotin välistä on päässyt pursuamaan polyuretaania. Reunus saattaa aiheuttaa jatkokäytössä ongelmia, kun reunuksen alle ei tule massaa riittävän tiiviisti, joten valmis tuote ei ehkä täytä laatukriteereitä.

Pinnan ilmakuplat luokiteltiin toisen prioriteetin vioiksi, joiden selvittelyyn päätettiin käyttää aikaa hieman muita vähemmän. Vika oli myös hieman epämääräinen siksi,



että ei ollut olemassa mitään tarkkaa määritelmää siitä, kuinka paljon ilmakuplia sallitaan. Opinnäytetyötä varten raja määriteltiin siten, että valittiin yksi malliharkko, jossa olevien ilmakuplien pinta-ala kerrottiin kahdella ja saatu lukema määriteltiin sallitun määrän yläraja-arvoksi.

#### 4.2.2 Vikojen etsiminen konenäköohjelmalla

Ohjelmassa tutkittiin harkoista otettuja kuvia ja pyrittiin löytämään määritellyt laatuviat. Harkkokuvaukset tehtiin koulun laboratoriossa, joten kuvat eivät vastanneet todellista tuotantotilannetta. Harkkojen kuvauksella laboratoriossa saavutettiin kuitenkin se etu, että päästiin tarkastelemaan, miten hyvin konenäöllä pystyy löytämään virheitä harkoista.

Myöhemmin käytiin myös tehtaalla kokeilemassa, miten kuvaaminen siellä onnistuu. Kuvausta hankaloitti se, että robottien välissä olevassa tilassa ei tosiasiaassa ollut paikkaa, jossa robotit eivät tuotantovaiheiden aikana kävisi, joten kameralle ei jäänyt kunnolla tilaa. Jotta saataisiin edes joitakin mallikuvia, kuvaus hoidettiin niin, että robotit pysäytettiin sopivassa kohdassa, vietiin kamera paikalle ja otettiin kuva. Sen jälkeen poistuttiin kameran kanssa robottisolusta ja odotettiin seuraavaa sopivaa pysäytyshetkeä. Kuvaaminen oli hidasta, ja oli hyvin vaikea tietää etukäteen, minkälaisesta tilanteesta kuvia tulisi.

### 4.3 Konenäköohjelman toteutus

#### 4.3.1 Ohjelman esittely

Ohjelmassa voidaan käyttää joko livekuvaa tai koneelle talletettuja kuvia. Tässä työssä käytettiin laboratoriokuvauksissa saatuja kuvia, jotka oli tallennettu koneen kovalevylle. Ohjelmassa näytettiin kuvia tietyllä nopeudella ja ohjelma teki tarkistuksia. Sen pohjalta käyttöliittymään saatiin tieto, oliko vikoja löytynyt tai oliko varoituksia aktiivisena.

Kuvassa 8 tarkistetaan, että muotti näkyy kuvassa. Tämä oli tärkeää ohjelmassa siksi, että suurin osa kuvista oli kuvattu ilman muottia (tilanne, jota ei todellisuudessa esiinny), joten tiettyjä tarkastuksia tehtiin vain siinä tapauksessa, että muotti oli näkyvissä.

The screenshot shows the In-Sight Explorer software interface. The main window displays a grid of image frames. The first row is labeled 'Image' and contains a grayscale image of a mold. The second row is labeled 'Patterns' and contains a similar grayscale image. The third row is labeled 'KUVAN NÄKYVYYS' (Image Visibility) and contains a green text label. The fourth row is labeled 'Tutkitaan, löytyykö muotti' (Check if mold is found) and contains a green text label. The fifth row is labeled 'Patterns' and contains a table with the following data:

	Index	Row	Col	Angle	Scale	Score
Patterns	0.000	158.004	788.910	0.090	100.000	99.941

Kuva 8. Näkymä konenäköohjelmasta.

Kuvassa 9 näkyy tilanne, jossa tarkistus antaa negatiivisen tuloksen. Muottiin jääneitä harkonpaloja tutkitaan kahdella eri tavalla. Toinen on tarkistaa, onko muotti tyhjä. Toinen kriteeri on etsiä kuvasta vaaleampia alueita (muottiin jäänyt pala näkyy kuvassa muottia vaaleampana). Vikailmoitus tulee, jos jompikumpi kriteeri täyttyy, mutta kuvan 9 tapauksessa saadaan sama tulos molempia tarkistuksia käyttäen (muotti ei ole tyhjä ja muotissa on vaaleampi alue).

MUOTTIIN JÄÄNEET PALAT									
Tarkistetaan, löytyykö tyhjä muotti									
	Index	Row	Col	Angle	Scale	Score			
Patterns	0.000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR	0.000			
Blob-työkalu liitettyä muotin tunnistukseen									
	Index	Row	Col	Angle	Color	Score	Area	Elongation	Holes
Blobs	0.000	774.252	1293.492	77.093	1.000	100.000	2167.000	0.015	185.00

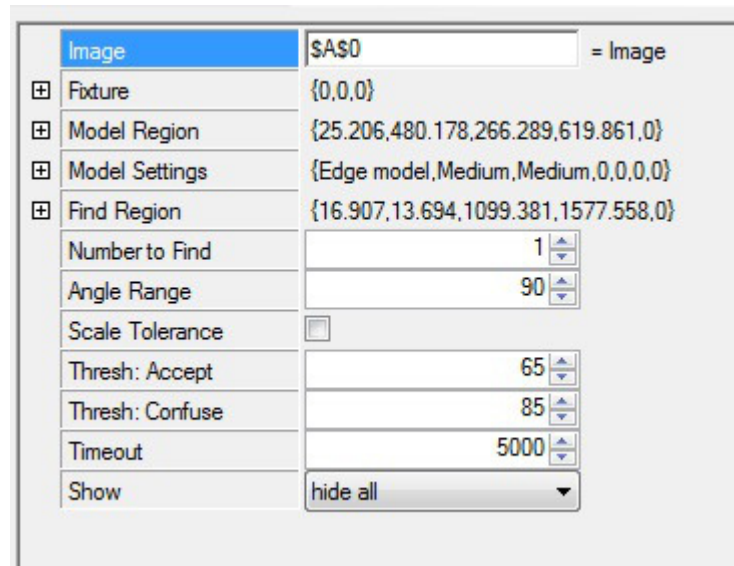
Kuva 9. Tarkistuksen mukaan muotti ei ole tyhjä.

#### 4.3.2 Käytetyt työkalut

Opinnäytetyössä tehtiin konenäköohjelma In-Sight Explorerin versiota 4.7.3 käyttäen. Kyseiseen ohjelmaan päädyttiin, koska se on koululla opetuskäytössä ja siitä on jo saatu käyttökokemusta. Valintaan vaikutti myös se, että harkkojen kuvauksissa käytettiin In-Sight 5403 -kameraa, joten In-Sight Explorerin käyttö tuntui luontevalta vaihtoehdolta.

In-Sight Exploreria on helppo käyttää, sillä näkymä muistuttaa Excel-taulukkoa. Solujen sisältöä pystyykin muokkaamaan hyvin samaan tapaan kuin Excelissä. Ohjelmassa on paljon valmiita funktioita, joita on helppo valita listalta ja viedä hiirellä sopivaan soluun. Parametrien muuttaminen on helppoa, ja ohjelman helpeistä löytyy apua, kun haluaa tietää tarkemmin kyseisen funktion toiminnasta.

Kuvassa 10 näkyy lista parametreista, joita funktiossa findPatterns voi muuttaa.



Kuva 10. Funktion findPatterns parametrin.

#### 4.3.3 Käyttöliittymä

Ohjelman käyttöliittymässä on listattu etsittävät viat. Jos viimeisestä tarkistetusta kuvasta on löytynyt jokin vika, kyseisen vian perässä lukee punaisella teksti 'FAIL'. Pienemmät viat näkyvät varoituksina.

Kuvassa 11 on näkymä käyttöliittymästä.



Kuva 11. Ohjelman käyttöliittymä, jossa näkyvät virheet ja varoitukset.

#### 4.3.4 Ohjelman soveltuvuuden arviointi

Ohjelmalla voidaan löytää etsityt viat. Opinnäytetyössä ei päästy asiaa kovin syvällisesti tutkimaan, sillä kuvamateriaali ei ollut riittävä, jotta ohjelman olisi voinut saada lopulliseen muotoonsa. Laboratoriossa otetuilla kuvilla pääsi kuitenkin tutkimaan erilaisia mahdollisuuksia ja jo näiden kuvien avulla pystyi toteamaan, että virheiden löytäminen harkoista konenäön avulla on mahdollista.

Opinnäytetyössä tehty ohjelma toimii hyvin jonkinlaisena demoversiona siitä, mitä kaikkea konenäköohjelmalla voidaan tehdä, mutta varsinaiseksi tuotantoversioksi siitä ei ole. Käytetyt kuvat oli otettu laboratoriossa, mikä teki kuvista vähän huonoja suunniteltuun tarkoitukseen. Ongelmana oli, että suurin osa kuvista oli otettu ilman muottia, mikä ei vastaa todellista tilannetta. Toinen ongelma oli se, että tuotantotilanteessa otetuissa kuvissa harkko olisi kuvissa aina samassa asemassa, mutta laboratoriokuvissa harkon suunta vaihteli. Tämä rajoitti joidenkin työkalujen käyttöä.

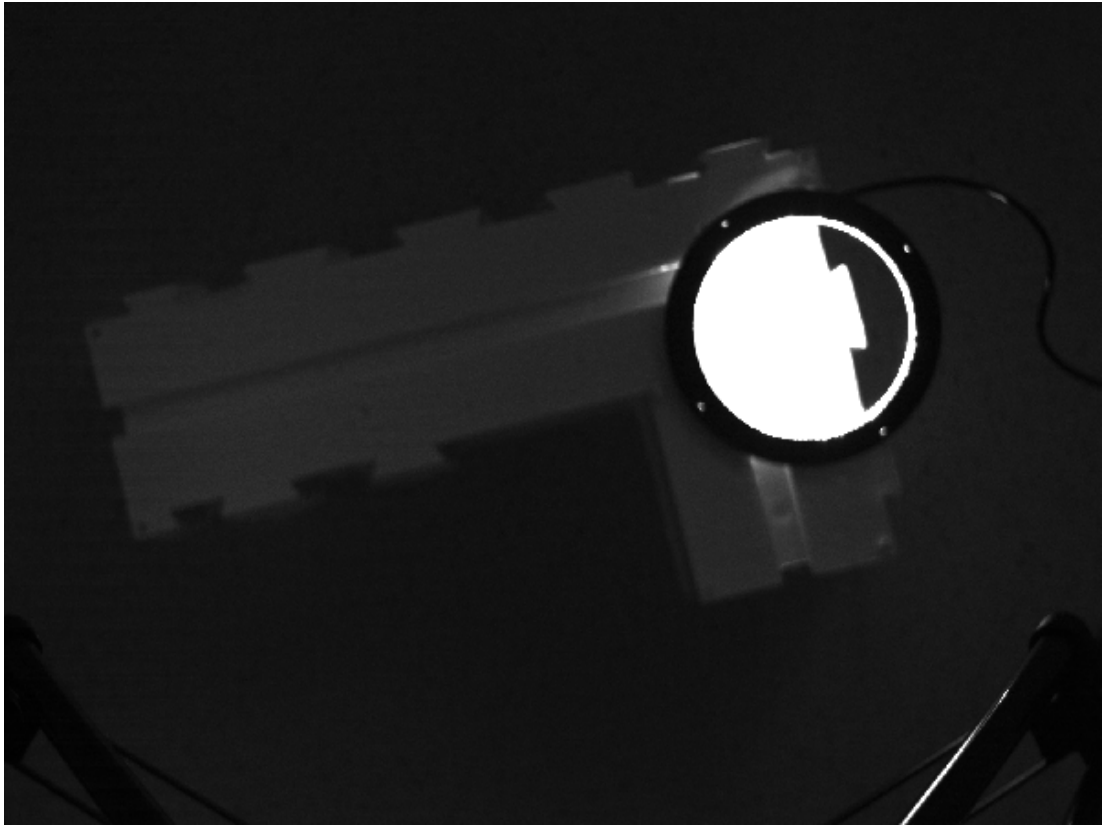
## 5 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN MAHDOLLISUUDET

### 5.1 Opinnäytetyössä käytetty kamera ja valaistus

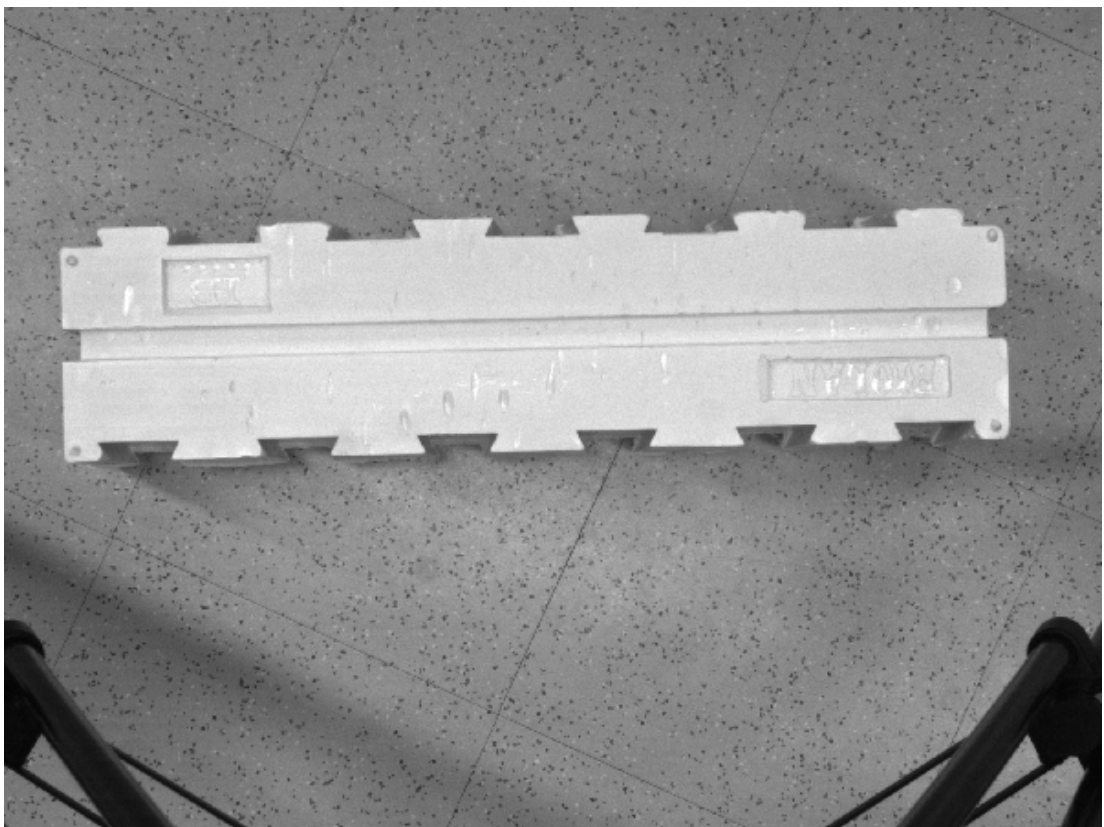
Kuvauksissa käytettiin koululta löytyvää Cognexin In-Sight 5403 -kameraa. Valaistuksena laboratorioskuvauksissa kokeiltiin sivuvaloa ja katon loisteputkia. Sivuvalo toi hyvin esille mm. reunojen pyöristymiset, mutta sivuvalon ongelmana oli se, ettei harkkojen kuvaukseen löytynyt riittävän isoa valaisinta. Sama ongelma oli myös aksiaalissa diffuusivalossa ja viivamaisessa sivuvalossa eli valaisimella ei saatu valaistua riittävän isoa aluetta, jotta kohde olisi näkynyt kokonaan. Katon loisteputket todettiin riittäviksi opinnäytetyön tarkoituksiin, eli tarvittava informaatio saatiin näkymään kuvissa.

Harkkosolussa tehdyissä kuvauskokeiluissa kokeiltiin ensin laboratoriossa käytettyä In-Sight 5403 -kameraa. Sillä kuvaaminen ei kuitenkaan onnistunut, koska jalustalla kameraa ei saanut riittävän etäälle, jotta koko harkko olisi näkynyt kuvassa. Kuvat saatiin otettua In-Sight 5605 -kameralla. Mitään lisävalaisinta soluun ei tuotu, vaan seinällä olevat loisteputket toimivat valaisimena.

Kuvissa 12 ja 13 näkyy valaistustapojen ero. Kuvassa 9 on käytetty rengasmaista sivuvaloa ja kuvassa 10 loisteputkia.

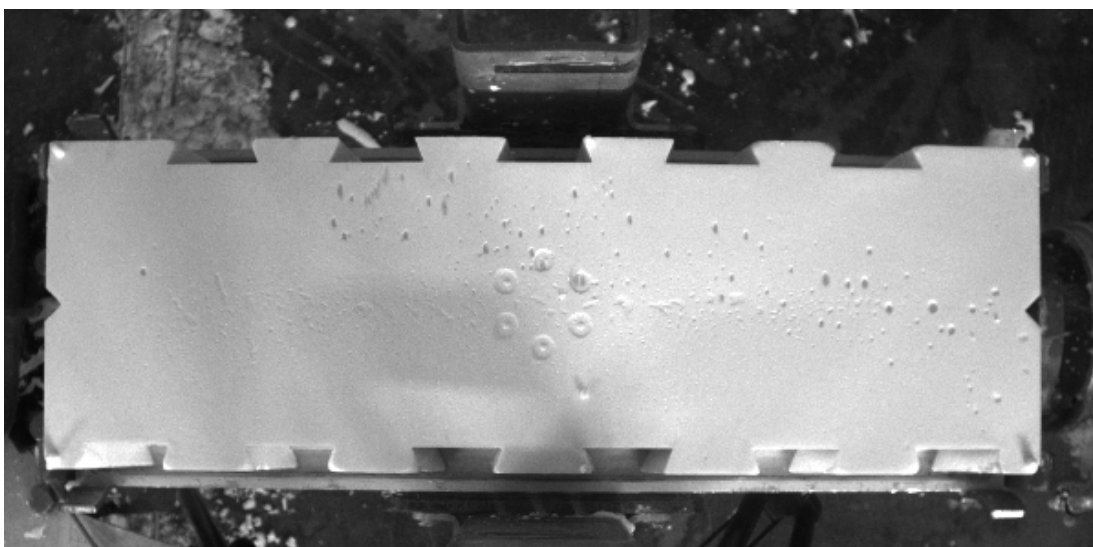


Kuva 12. Rengasmaisen sivuvalon käyttö kuvauksessa.



Kuva 13. Loisteputkien käyttö valaistuksena.

Harkkosolussa tehdyissä kuvauksissa valaistuksena käytettiin seinillä olevia loisteputkia, joiden valoteho oli riittävä. Sivusuunnasta tuleva valo aiheutti kuitenkin pieniä varjoja kuvattavaan kappaleeseen, sillä ainakin kamera jalustoineen oli valonlähteen ja kuvattavan harkon välissä. Kuvassa 14 on esimerkki harkkosolussa otetuista kuvista.



Kuva 14. Harkko kuvattuna muotin avaamisen jälkeen.

## 5.2 Kameran sijoittaminen harkkosoluun

Harkkosoluun voidaan sijoittaa kamera kolmella eri tavalla: kattoon muotin käsittelypaikan yläpuolelle, robottiin tai johonkin muualle vähän sivummalle.

Jos kamera kiinnitetään kattoon sen paikan yläpuolelle, jossa muottia avataan ja suljetaan, saadaan helposti otettua kuvat tilanteesta, jossa muotti on avattuna ja harkon yläosa on näkyvissä. Myös tyhjän muotin kuvaaminen harkon poiston jälkeen onnistuu. Paikan yläpuolinen tila on robottien ahkerassa käytössä, joten kameran väistämiseksi robottien liikeratoja pitäisi muuttaa.

Kameran sijoittaminen robottiin antaisi enemmän mahdollisuuksia siihen, milloin ja missä kuvat otetaan. Tässä vaihtoehdossa saattaisi kameran nopea likaantuminen olla ongelma, sillä muottiin suihkutettavaa irrotusainetta saattaisi suihkuta myös kameraan.



Kameran voisi sijoittaa myös jonnekin muualle, esimerkiksi seinälle tai kattoon vähän kauemmaksi. Tällöin kuvan saamiseksi robotin pitäisi käydä näyttämässä kuvattavaa kohdetta kameralle. Kuvauspaikalla pitäisi käydä ainakin kahdesti – ensin avatun muotin kanssa ja sitten tyhjän muotin kanssa. Liikkeisiin kuluu aikaa, mutta tämän sijoittelun hyvänä puolena on se, että kameran sijoittelulle on enemmän mahdollisuuksia ja harkosta voitaisiin ottaa kolmaskin kuva, jos haluttaisiin kuvata myös harkon pohja.

### 5.3 Robotti konenäön apuna

Onnistuneen järjestelmän rakentamiseksi robotin ja konenäköjärjestelmän pitäisi keskustella keskenään. Robotilta konenäköjärjestelmälle välitettäviä tietoja olisivat ainakin se, mitä harkkotyyppiä ollaan tekemässä ja milloin kuvat otetaan. Konenäköjärjestelmältä robotille välitettäisiin tieto viallisista harkoista, jolloin robotti voisi siirtää kyseisen harkon muualle kuin hyvälaatuisten joukkoon.

Konenäköohjelman käyttöliittymään voisi tulla tietoja paitsi ohjelman omasta toiminnasta, myös varoituksia robotilta saatavien signaalien perusteella. Varoitukset voisivat olla tuotantotilanteisiin tai ylläpitoon liittyviä. Ylläpitoon liittyviin varoituksiin voisi kuulua myös ilmoitus kameran likaantumisesta ja kuvan laadun heikkenemisestä.

In-Sight Explorerissa on valmiina joitakin toimintoja, joilla kommunikointi robotin kanssa voidaan toteuttaa.

### 5.4 Valaistuksen haasteet odotettua pienemmät

Valaistus on usein haasteellinen osa konenäköjärjestelmää, mutta tässä tapauksessa valaistus vaikuttaisi aika yksinkertaiselta, sillä opinnäytetyössä tehtyjen kokeilujen perustella loisteputken valo on riittävä tuomaan esiin tarvittava informaatio kohteesta. Parempiakin valaistustekniikoita löytyy, ja kohteen parempi valaisu tuottanee tarkempaa tulosta konenäköohjelmalla.

Diffuusikupoli olisi ehkä sopiva valonlähde, jos käytössä olisi riittävän iso kupoli. Tosin kupolin kanssa saattaisi muodostua ongelmaksi riittävän kokoisen kupolin hankkiminen ja valaisimen sijoittaminen harkkosoluun. Opinnäytetyön aikana saatujen kokemusten perusteella harkkosolussa voisi kokeilla loisteputkia, sillä laboratoriokuvauksissa ja myös harkkosolussa tehdyissä kokeiluissa ne osoittautuivat riittäviksi.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 6.1 Arvioita työn onnistumisesta

Työ oli mielenkiintoinen tutkimusretki konenäön maailmaan. Työn aikana sai jonkinlaisen kuvan siitä, mihin kaikkeen konenäkö pystyy ja myös siitä, minkälaisia haasteita järjestelmän rakentamisessa on. Konenäkökurssilta saatu perustieto syventyi ja kiinnostus konenäköä kohtaan lisääntyi.

Käytännön toteutuksen näkeminen ja sen rakentamisen haasteet olisivat tuoneet lisää kiinnostavuutta, mutta se jäi tämän työn ulkopuolelle. Toisaalta käytössäni olevalla materiaalilla (erityisesti kuvamateriaalilla) ei mielestäni voinut päästä pidemmälle, ja kunnan kuvien saaminen olisi vaatinut jonkin verran muutoksia robottisoluuun. Varsinainen työ ja konenäön käyttöönotto jää siis yrityksen vastuulle, jos konenäön mahdollisuuksia laadun tarkkailussa halutaan hyödyntää.

Mielestäni aiheessa pysyttiin ja kaikki oleellinen tehtiin. Omasta mielestäni olen saanut aikaiseksi sen, mitä näissä puitteissa oli mahdollista.

### 6.2 Ideoita tulevaisuutta varten

Opinnäytetyön aikana selvisi, että konenäön avulla on mahdollista löytää harkkojen laatuviikoja. Kameran sijoittaminen harkkosoluun vaatii vähän suunnittelua, mutta muutamia ehdotuksia asiaan löytyi. Konenäköjärjestelmän toimivuus vaatii

vuoropuhelua robottien kanssa, mutta sen pitäisi olla teknisesti melko yksinkertaisesti toteutettavissa. In-Sight Explorerissa on jopa valmiina apuvälineitä robottien kanssa kommunikointiin.

Yrityksen arvioitavaksi jää, lähdetäänkö konenäköjärjestelmää kehittämään. Päätöksessä pitää mielestäni ottaa huomioon se, miten suureksi ongelmaksi laatuviat arvioidaan. Konenäön avulla vialliset harkot on mahdollista löytää ja saada pois hyvälaatuisten joukosta. Lisäksi voidaan kerätä tilastotietoa viallisten tuotteiden määristä ja myös vikojen tyypeistä.

Yhtenä osana opinnäytetyötä oli selvittää, löytyykö Ex-suojattuja kameroita, sillä harkkosolu on Ex-tila (räjähdysvaarallinen tila). Cognexin In-Sight 5000 -sarjassa tällainen räjähdyskoteloitu älykamera löytyy.

## LÄHTEET

3T. Viitattu 29.5.2013.

[http://www.3t.fi/artikkeli/shortcut/konenaon\\_lyhyt\\_historia\\_elektroniputkista\\_cmos\\_kennoihin](http://www.3t.fi/artikkeli/shortcut/konenaon_lyhyt_historia_elektroniputkista_cmos_kennoihin)

Biolan. Yrityksen kotisivut. Viitattu 23.1.2013.

<http://www.biolan.fi/suomi/yritysesittely/biolan-oy/yleistae>

Leino, Mirka. 2012a. Johdanto konenäköön. Konenäkökurssin luentomateriaali. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Leino, Mirka. 2012b. Kameratekniikat. Konenäkökurssin luentomateriaali. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Orbis. Yrityksen kotisivut. Viitattu 18.4.2013. <http://www.orbis.fi/valaistus>

Wikipedia. CCD. Viitattu: 13.5.2013. [http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled\\_device](http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device)