

Tommi Suominen

PAPERIRULLAN DIMENSIOIDEN MITTAUS KONENÄÖLLÄ

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

2019

PAPERIRULLAN DIMENSIOIDEN MITTAUS KONENÄÖLLÄ

Suominen, Tommi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2019
Sivumäärä: 35
Liitteitä: 0

Asiasanat: konenäkö, mittauss, valaistus

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää, millä tarkkuudella paperirullan dimensiot on mahdollista mitata konenäön avulla. Työn tarkoituksena oli tutkia konenäön soveltuvuutta paperirullan halkaisijan ja muiden dimensioiden mittaamiseen sekä selvittää konenäöllä saavutettavat mittaustarkkuudet.

Opinnäytetyössä perehdyttiin ensimmäisenä eri konenäkötekniikoihin, joista valittiin paperirullan mittaukselle soveltuva tekniikka. Tämän pohjalta suunniteltiin kuvausten toteutus, jonka avulla todennettiin konenäöllä saavutettavat mittaustarkkuudet. Paperirullan kuvaamisessa keskityttiin etenkin valaistusolosuhteisiin. Kuva-analyyssissa käytiin läpi kuvien käsittelyä, kalibrointia sekä dimensioiden mittaamista. Työn tuloksena selvitettiin konenäöllä saavutettava mittaustarkkuus paperirullan halkaisijalle sekä käytiin läpi kameralta ja valaistusolosuhteilta vaadittavat edellytykset mittaustarkkuuden saavuttamiseksi.

Opinnäytetyössä tuloksena konenäön avulla päästiin kahden millimetrin tarkkuuteen paperirullan halkaisijaa sekä profiilia mitatessa. Mittaustuloksia varten käytettävältä kameralta vaaditaan korkeaa resoluutiota, harmaasävykennoa sekä laadukasta linssiä. Mittaustuloksiin päästiin hyödyntämällä laserin valotehoa, minkä avulla tehdashallin haastavat valaistusolosuhteet pystyttiin välttämään. Mittaustarkkuus riippuu kameran resoluutiosta, joten korkeammalla resoluutiolla on mahdollista päästä tarkempaan mittaustulokseen.

MEASURING DIMENSIONS OF THE PAPER REEL WITH MACHINE VISION

Suominen, Tommi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering

March 2019

Number of pages: 35

Appendices: 0

Keywords: machine vision, measurement, lighting

The subject of this thesis was to study measurement accuracy that could be achieved with machine vision to measure dimensions of a paper reel. Purpose of the project was to examine the suitability of the machine vision for measuring diameter and other dimensions of the paper reel and to find out measurement accuracy achieved with the machine vision.

The thesis commenced with familiarization with different machine vision technologies to select a suitable technology for measuring the paper reel. Image acquisition was implemented to verify measurement accuracy achieved by the machine vision. Image acquisition focused particularly to lighting condition. Image processing comprises of processing images, calibration and measuring the dimensions. The project discovers measurement accuracy achieved with the machine vision system for the diameter of the paper reel. Results also describe requirements for the camera and for the lighting conditions required to achieve the measurement accuracy.

In this thesis machine vision was capable of measuring diameter and profile of the paper reel with two-millimetre measurement accuracy. High resolution, grayscale and high-quality lens are necessary requirements for the camera to achieve the measuring results. The measuring results were reached by utilizing intensity of laser light, which helps to avoid challenges laid by the lighting conditions in a factory hall. Better accuracy can be achieved with higher resolution, as the measurement accuracy depends on the resolution.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	PROJEKTIN LÄHTÖKOHDAT	6
2.1	Paperirulla.....	6
2.2	Suoritusvaatimukset.....	6
3	TEORIA	8
3.1	Konenäkö	8
3.2	Konenäköjärjestelmän komponentit	10
3.2.1	Valaistus	10
3.2.2	Kamera	11
3.2.3	Kuvan prosessointi	11
3.2.4	I/O	11
3.3	Kameratekniikat.....	12
3.3.1	Matriisikamera.....	12
3.3.2	Viivakamera	12
3.3.3	Stereokuvaus	13
3.3.4	Rakenteellinen valaisu.....	14
3.4	Älykamera.....	14
3.5	Mittaustarkkuus.....	15
3.6	Kenno.....	16
3.6.1	CCD	17
3.6.2	CMOS	17
3.7	Linssi.....	17
4	TOTEUTUS	18
4.1	Suunnittelu	18
4.1.1	Kameratekniikan valinta.....	18
4.1.2	Käytettävä kameratekniikka	18
4.1.3	Kuvausten suunnittelu	20
4.2	Kuvaukset	23
4.3	Kuvankäsittely	24
4.3.1	Kalibrointi	24
4.3.2	Mittaus	25
4.4	Liityntä tehdasautomaatioon.....	31
5	PÄÄTELMÄT	32
	LÄHTEET.....	34

1 JOHDANTO

Projektin tarkoituksena on tutkia konenäön toimivuutta paperirullan halkaisijan mittaamiseen. Projektissa selvitetään, minkälaiseen mittaustarkkuuteen konenäöllä päästään halkaisijan mittauksessa. Paperirullasta on tähän asti mitattu halkaisija laseranturilla kolmen millimetrin tarkkuudella. Projektissa selvitetään, pystyykö konenäkö korvaamaan olemassa olevan mittausratkaisun.

Projektin tarkoituksena on myös tutkia paperirullan muiden dimensioiden mittaamista konenäöllä. Muut paperirullasta mitattavat dimensiot ovat päädyn profiili, päädyn kehän pyöreys sekä vaipan leveys. Päädyn profiilin mittauksella on tarkoitus selvittää paperirullan päädyn muoto eli onko pääty kupera tai kovera. Päädyn kehältä mittauksella on tarkoitus selvittää kehän mahdollista soikeutta. Vaipan leveys on myös tarkoitus mitata.

Konenäköjärjestelmän tarkoituksena on olla lisäosa, joka voidaan asentaa joko uuteen tai jo olemassa olevaan linjastoon. Jotta konenäöllä suoritettava mittaus olisi mahdollista asentaa olemassa olevaan linjastoon, konenäköjärjestelmän rajoitteena on, ettei järjestelmä vaadi muutoksia kuljettimeen.

2 PROJEKTIN LÄHTÖKOHDAT

Opinnäytetyön tarkoituksena oli lähteä selvittämään, millä tarkkuudella paperirullan halkaisija on mahdollista mitata konenäön avulla. Tähän asti paperirullan halkaisija on mitattu laseranturilla, jolla päästään kolmen millimetrin tarkkuuteen. Halkaisijalle halutaan yhden millimetrin mittaustarkkuutta, johon tässä opinnäytetyössä pyritään. Lisäksi opinnäytetyössä selvitetään mittaustarkkuutta päädyn profiilille ja pyöreydelle sekä vaipan leveydelle.

2.1 Paperirulla

Paperirullien halkaisija vaihtelee 400 millimetristä enimmillään 2100 millimetriin. Vaipan leveys eli päädyistä päätyyn mitta on noin kolme metriä. Päädyn halkaisija mitataan paperirullan alareunasta sen yläreunaan. Päädyn profiililla tarkoitetaan päädyn muotoa, mikä paperia kelatessa voi lähteä ajautumaan sivusuunnassa. Profiilista mitataan enimmäisvaihtelut eli miten paljon paperi työntyy ulos- tai sisäänpäin. Pyöreystä halutaan mitata paperirullan päädyn mahdollinen soikeus sekä onko kehällä jokin kohta painautunut kasaan. Vaipan leveys mitataan paperirullan päädyistä toiseen.

Paperirullaa mitatessa on otettava huomioon rullan ylin kerros paperia, sillä uloimalla kerroksella paperi voi olla löysällä ja muutaman millin irti rullasta. Materiaali on joko paperia tai kartonkia ja niiden väri on joko valkoinen tai ruskea. Rullan keskellä oleva kartonkihylsy on ruskea. Paperirullat saapuvat mittauspisteelle yksittäin rullakuljettimella ja tarvittaessa ne pysäytetään mittauspisteelle.

2.2 Suoritusvaatimukset

Taulukossa 1 on listattu tarkkuusvaatimukset paperirullan eri dimensioille. Päädyn profiilista tarvitsee löytää viiden millimetrin poikkeama keskikohdasta. Päädyn pyöreydelle ei ole asetettu tarkkuusvaatimuksia.

Taulukko 1. Dimensioiden tarkkuusvaatimukset.

Dimensio	Tarkkuusvaatimus
Päädyn halkaisija	± 1 mm
Päädyn profiili	5 mm poikkeama
Päädyn pyöreys	Ei ole määritelty
Vaipan leveys	± 1 mm

Rullakuljetin tuo paperirullan 30 sekunnin välein mittauspisteelle, josta paperirullan kulkemiseen kuljetinyksikön läpi vie noin 15 sekuntia. Kuljetin pysäytetään mittauspisteelle, joten kuvaukselle jää aikaa noin kymmenen sekuntia. Kuvan analysoinnille on aikaa kuvauksen aloituksesta 20 sekuntia. Mikäli kuvaus vie kymmenen sekuntia, jää kuvan prosessoinnille silti aikaa vähimmillään kymmenen sekuntia.

Konenäköjärjestelmästä siirretään mittaustulokset logiikkaohjaimen Profinet-liitynnällä. Liityntää ei ole määritelty tarkemmin.

Kuvauspiste sijaitsee tehdasympäristössä, jossa on useita valonlähteitä. Tehtaissa on kattovalaisimien lisäksi ikkunoita, joista kuvauspisteelle saattaa tulla suoraa auringonvaloa. Tehtaassa olevien valaisimien tyyppiä eikä sijaintia ei ole mahdollista valita. Kuvauspiste voidaan rakentaa eri tehtaisiin, joten ympäristön valonlähteitä ei pysty etukäteen määrittelemään. Paperirullan suuri koko tarvitsee ottaa huomioon valaistusta suunnitellessa. Konenäköjärjestelmää lähdetään suunnittelemaan lisäosana linjastolle, joka ei vaadi muutoksia olemassa olevaan linjastoon.

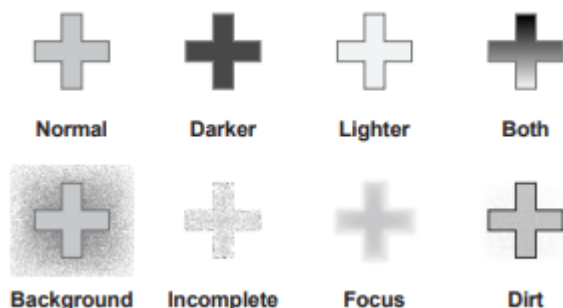
3 TEORIA

3.1 Konenäkö

Konenäkö viittaa tietokoneen ohjelmalliseen näköön, joka kuvaa analysoimalla ottaa siitä talteen informaatiota. Konenäköjärjestelmä käyttää tietokoneohjelmaa tunnistamaan kuvasta etukäteen opetettuja piirteitä. Tunnistettujen piirteiden pohjalta järjestelmää voi käyttää käynnistämään toimintoja. (AIA, 2014)

Konenäön käytöllä voidaan tuotannossa saavuttaa useita hyötyjä. Konenäkö soveltuu parhaiten mittaamaan määrällisiä mittauksia sen nopeuden, tarkkuuden ja toistettavuuden takia. Konenäön nopeus lisää tuottavuutta vähentämällä käsintehtävää ja toistuvaa työtä sekä sillä pystytään tarkastelemaan kappalemääriä, joita ihminen ei kykene käsittelemään. Konenäön tarkkuutta voi käyttää mittauksessa ja laadunvarmennuksessa myös kohteissa, mitkä ovat esimerkiksi liian pieniä tai monimutkaisia käsin tehtävään mittaukseen. Toistettavuus tarkoittaa järjestelmän kykyä toistaa mittaustulos luotettavasti. Konenäköä käyttäessä mittaus suoritetaan ilman fyysistä kontaktia, joten kappale ei vahingoitu mittauksessa. (Assembly Magazine, 2016, 5)

Konenäkösovelluksen kulmakivi on muodon, mallin tai kuvion löytäminen. Muodon löytäminen on tärkeää, sillä mikäli kappaletta ei löydetä kuvasta, ei sitä voida mitata tai tunnistaa. Kuvassa 1 nähdään muodon ulkonäön muutoksia, jotka vaikeuttavat muodon löytämistä. Muodon löydyttyä kappale saadaan paikannettua kuvasta. (Assembly Magazine, 2016, 6)



Kuva 1. Kappaleen erilaisia ulkonäön muutoksia. (Assembly Magazine, 2016, 6)

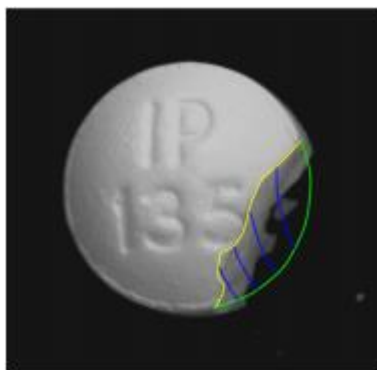
Konenäön käyttökohteet jakautuvat neljään pääkategoriaan: opastus, tunnistus, mitaus ja tarkastus.

Opastusta voi käyttää joko ulkoiselle robotille tai laitteelle sekä ohjelman sisäisesti. Opastamista varten konenäköjärjestelmä paikantaa kappaleen sijainnin ja kulman 2D- tai 3D-avaruudessa. Kun kappale on paikannettu, syötetään paikkatieto robotille, joka noutaa kappaleen. Antamalla robotille kappaleen kulman robotti kiertää työkalun oikeaan kulmaan ja kappaleet saadaan noudettua oikeassa kulmassa. Opastusta voi käyttää myös ohjelman sisäisesti apuna muille konenäköohjelman työkaluille. Muiden työkalujen sovittaminen kappaleen sijaintiin on tehokas ominaisuus, sillä kappaleet voivat saapua kameralle eri kulmissa. (Assembly Magazine, 2016, 7)

Konenäköjärjestelmällä voidaan tunnistaa viivakoodeja, matriisikoodeja sekä merkkejä ja kirjaimia kappaleessa. Optical Character Recognition (OCR) työkalu lukee ja tunnistaa merkit, kun taas Optical Character Verification (OCV) tarkistaa merkkien oikeellisuuden vertaamalla niitä annettuun merkkijonoon. Järjestelmä voi myös tunnistaa kappaleita värin, muodon tai koon mukaan. (Assembly Magazine, 2016, 8)

Mitattaessa kappaleita konenäköjärjestelmä laskee etäisyyden kahden tai useamman pisteen välillä ja vertaa tulosta annettuihin raja-arvoihin. (Assembly Magazine, 2016, 9)

Kappaleen tarkastuksella löydetään mahdollisia vikoja tai epäkohtia, kuten kuvassa 2 oleva lääketabletti, josta puuttuu osa tablettia. Konenäköjärjestelmällä pystytään tarkastamaan jokainen tuote, joka on tärkeää etenkin lääketeollisuudessa. (Assembly Magazine, 2016, 9)



Kuva 2. Konenäköjärjestelmä pystyy havaitsemaan virheellisen kappaleen. (Assembly Magazine, 2016, 10)

3.2 Konenäköjärjestelmän komponentit

Konenäköjärjestelmän komponentteihin kuuluvat kappaleen valaisu, kamera, kuvan prosessointi sekä liityntä ulkoiseen järjestelmään.

3.2.1 Valaistus

Valaistus on oleellinen osa konenäköjärjestelmää, sillä kuvantunnistusta varten kohteen ja taustan tarvitsee erottua toisistaan. Valaisulla pyritään kasvattamaan kontrastia eri kohteiden välillä, sillä ilman kontrastia algoritmi ei erota reunaa kohteen ja taustan välillä. Muuttumattomana pysyvä valaistus on erityisen tärkeää, koska vaihtelut valaistuksessa aiheuttavat muutoksen järjestelmän muiden osien toimivuudessa. Käytettävältä valonlähteeltä vaaditaan siis vakiona pysyvää aallonpituutta ja kirkkautta. (Hornberg, 2006, 78-81)

Konenäössä valonlähteinä käytetään tavallisia valaisintekniikoita, joista selkeästi yleisimpiä ovat LED-valaisimet. Niiden suosio perustuu halpaan ja kestäväan tekniikkaan, jolla saadaan paljon valotehoa luotettavasti. Muita valaisintekniikoita käytetään lähinnä sovelluksissa, joihin LED-valaisimet eivät sovellu, kuten tarkkaan värien tunnistukseen. Lasereita käytetään valaisimena erilaisissa 3D-sovelluksissa. (Hornberg, 2006, 95-100)

3.2.2 Kamera

Konenäössä kuvantamislaitte koostuu yleensä kamerasta, joka sisältää kennon ja linsin. Lisäksi linssiin kiinnitettävät suodattimet lasketaan osaksi kameraa. Linssin tarkoituksena on kerätä valonsäteet kennolle, joka muodostaa kuvan. Osa kameraa ovat myös kamerassa olevat A/D-muunnin ja mahdolliset kuvaa esikäsittävät algoritmit. Nämä lasketaan osaksi kameraa, sillä ne vaikuttavat kameralta saatuun kuvaan ja koska käyttäjä ei voi vaikuttaa niiden toimintaan. (AIA, 2014; Hornberg, 2006, 334)

3.2.3 Kuvan prosessointi

Kuvan prosessointi tehdään ohjelmallisesti ja se koostuu kuvan esikäsittelystä, kappaleten ja sen piirteiden mittaamisesta sekä lopputuloksesta. Kameran ottama kuva esikäsitellään, jolloin sen halutut piirteet tuodaan kuvassa esille. Esikäsitely vähentää kuvassa olevaa tiedon määrää helpottaen kuvan analysointia. Esikäsitelystä kuvasta paikannetaan halutut piirteet, jotka mitataan. Mittaustuloksia verrataan ennalta määriteltäviin arvoihin, jolloin vertailusta saadaan lopputulos. Lopputulos voi olla yksinkertainen hyväksyty/hylätty tai mittaustulos. (Hornberg, 2006, 702-708)

Kuvan prosessoinnissa käytettävä laitteisto voidaan jakaa PC-pohjaisiin järjestelmiin ja kuvankäsittely-yksiköihin. PC-pohjaiset järjestelmät vaativat tietokoneen, kun taas kuvankäsittely-yksikkö voidaan integroida yhteen kameran kanssa. Kameroita, joissa on sisäänrakennettuna kuvankäsittely-yksikkö, kutsutaan älykameroiksi. (Hornberg, 2006, 702-708)

3.2.4 I/O

Konenäköjärjestelmään kuuluu ulkoinen liitäntä, jolla kuvan prosessoinnin lopputulos siirretään ulkoiseen järjestelmään, kuten logiikkaohjaimen tai tietokoneelle. Samaa liitäntää käytetään myös ohjaamaan konenäköjärjestelmää, kuten esimerkiksi antamaan käsky kuvan ottamiseen. Tiedonsiirtoon käytetään sarjaporttia, kenttäväylää ja yhä kasvavissa määrin TCP/IP-protokollaa. TCP/IP:n etuna on suuri tiedonsiirtokaista, jolloin lopputulosten lisäksi myös kuva voidaan siirtää. (Hornberg, 2006, 724-725)

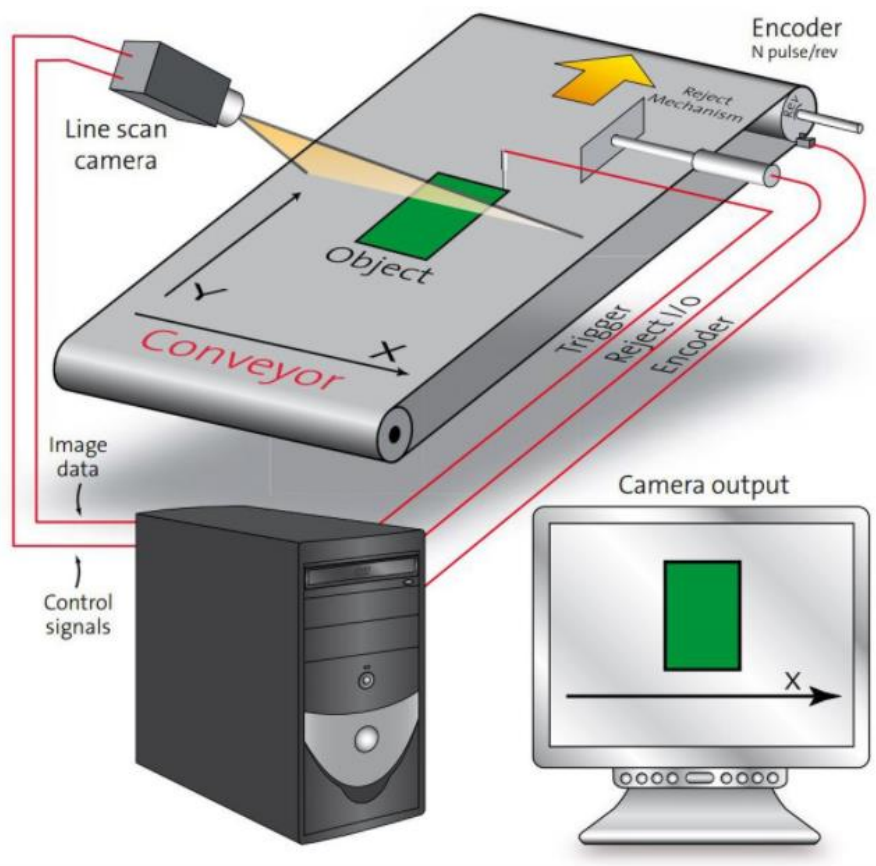
3.3 Kuvaustekniikat

3.3.1 Matriisikamera

Matriisikamera on yleisin 2D-kameratekniikka, joka on käytössä lähes kaikissa kuluttajille suunnatuissa kameroissa. Matriisikameran nimi tulee kennon muodosta, jossa pikselit ovat matriisimuodossa eli pikseleitä on vaaka- ja pystysuuntaan. Esimerkiksi VGA-resoluutiolla kennon resoluutio on 640x480 pikseliä. Koska erilaisia kameratekniikoita on useita, nimitetään konenäön yhteydessä peruskameraa matriisikameraksi selvyuden vuoksi.

3.3.2 Viivakamera

Viivakamera on 2D-kamera, jonka kenno on viivamainen. Vaakasuunnassa resoluutio on 512 pikselistä jopa 16 000 pikseliin, kun taas pystysuunnassa pikseleitä on yksi tai enintään muutama. Viivakameraa käytetään kuvamaan liukuhihnalla kulkevaa materiaalia. Kuvassa 3 näkyy viivakameran toimintaperiaate. Liukuhihnaan asennettavalla pulssianturilla tahdistetaan viivakamera liukuhihnan nopeuteen. Viivakamera kuvaa yhden pikselin korkuisen viivan kerrallaan. Kun liukuhihna on liikkunut yhden pikselin verran eteenpäin, otetaan kameralla seuraava kuva. Kameran ottamista kuvista muodostetaan tietokoneella yksi yhtenäinen kuva. Näin muodostetun kuvan kooksi tulee vaakasuunnassa viivakameran resoluutio ja pystysuunnassa rajaton. Viivakamera soveltuu kuvaamaan erilaisia jatkuvia materiaaleja, kuten paperirataa tai tekstiilejä sekä liukuhihnalla kulkevaa kappalevirtaa. (Stemmer Imaging [www-sivut](http://www-stemmer.com), 2018)



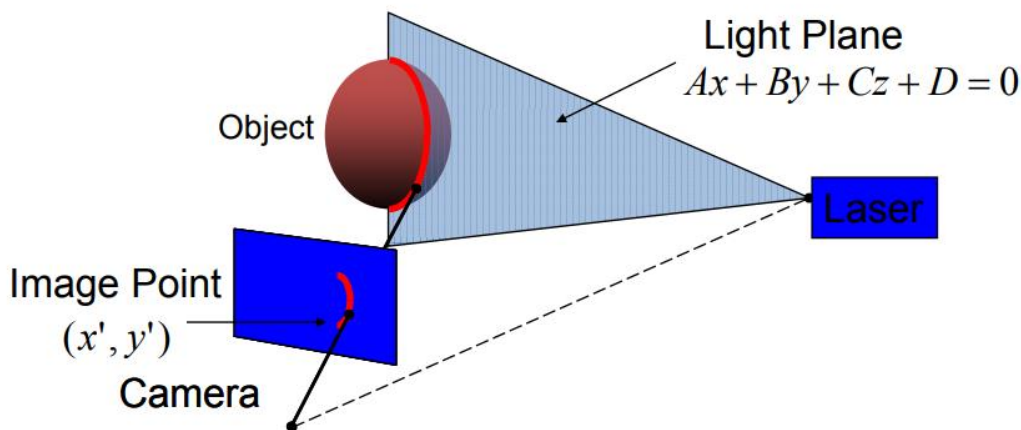
Kuva 3. Viivakamerajärjestelmän rakenne. (Stemmer Imaging www-sivut, 2018)

3.3.3 Stereokuvaus

Stereokuvauksessa käytetään kahta tai useampaa kameraa, jotka kuvaavat pienessä kulmassa toisiinsa nähden. Stereokuvauksen ideana on luoda ihmissilmiä vastaava kuvausjärjestely, jolla pystyy tunnistamaan kolmiulotteisia kappaleita. Kolmiulotteinen kuva luodaan etsimällä kameroiden kuvista vastinpisteitä, jotka vastaavat samaa pistettä kappaleessa. Stereokuvauksen suurena ongelmana on prosessoinnin yhteydessä stereokuvaa muodostettaessa, kun kahdesta eri kuvasta löydettyjä vastinpisteitä yritetään yhdistää toisiinsa. Tunnistettavassa kappaleessa tarvitsee olla riittävästi kuviointia ja mahdollisia kiintopisteitä vastinpisteille. (Bertozzi & Broggi, 1998)

3.3.4 Rakenteelliseen valaisuun perustuva 3D-kuvaus

Rakenteelliseen valaisuun perustuva 3D-kuvaus on 3D-kuvausmenetelmä, jolla kappaleen pinnasta luodaan 3d-malli. Rakenteelliselle valaistukselle on kaksi päävaihtoehtoa: laserviiva ja fringe-kuvio. Laserviivaa käytettäessä kappale kuljetetaan laserviivan alta, jolloin kappaleen pinta skannataan. Kuvassa 4 kappaleen pinnalle projisoitu laserviiva näyttää pinnan muodon yhdeltä skannaukselta. Kuviin syntyvistä vääristymistä lasketaan pinnan muoto yhdistämällä tulokset 3d-profiiliksi. Fringe-tekniikalla projisoidaan fringe-kuvio kappaleen päälle projektorilla. Fringe-kuvio muodostuu viivoista, joiden muoto muuttuu kappaleen muotojen mukaisesti. Fringe-tekniikkaa käytettäessä kuvan tarkkuutta parannetaan ottamalla useita kuvia erikokoisilla fringe-kuvioilla. Laservalaisuksessa kuvan tarkkuuteen vaikuttaa kamera ja optiikka, fringe-tekniikalla tarkkuuteen vaikuttaa myös viivaprojektion tarkkuus. (Karpinsky & Zhang, 2010, 56-62)



Kuva 4. Laserviivan kolmiomittaus. (Aliaga 2010)

3.4 Älykamera

Älykamera on itsenäinen yksikkö, joka kuvaa ja analysoi kuvan sekä siirtää analysoinnin tulokset tiedonsiirtoväylää pitkin eteenpäin. Älykamerassa on samassa paketissa kamera, prosessointiyksikkö, kuvan analysointiohjelma sekä tiedonsiirtoväylä eli tietokonetta ei tarvita lainkaan. Älykameroille tehdyt analysointiohjelmat ovat yksinkertaisia ja helppokäyttöisiä, mutta PC-pohjaiseen ohjelmaan verrattuna algoritmien

määrä ja kuvan analysointikyvyt ovat suppeita. Prosessointiyksikön suorituskyky rajaa kameran resoluutiota, analysointinopeutta ja raskaiden algoritmien käyttöä. (Zuech, 2002)

Taulukko 2. Älykameran ja PC-pohjaisen järjestelmän erot. (Zuech, 2002)

	Älykamera	PC-pohjainen
Joustavuus	Huono	Erinomainen
Fyysinen kestävyys	Erinomainen	Huono
Toiminnot	Rajoitettu	Laajennettavissa
Suorituskyky	Rajoitettu	Laajennettavissa
Helppokäyttöisyys	Ei tarvitse ohjelmointitaitoja	Tarvitsee ohjelmointitaitoja

3.5 Mittaustarkkuus

Optisessa mittaamisessa resoluutiolla käsitetään pienintä välimatkaa, jolla kaksi pistettä voidaan erottaa erillisiksi pisteiksi. Optisen järjestelmän viivaresoluutio ilmoitetaan viivoissa per millimetri. (Wuerker, Matthews & Heckert 1970, A-1)

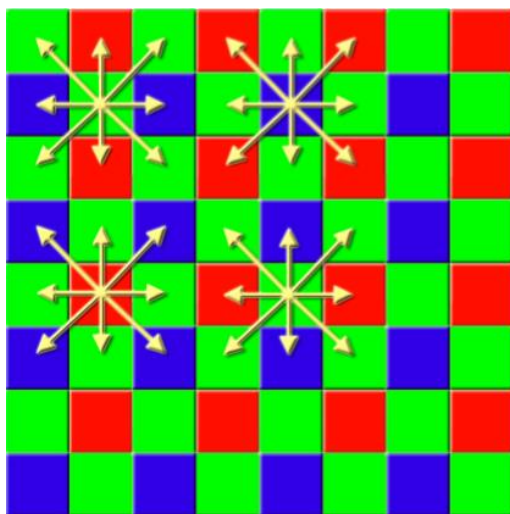
Nyquistin teoreema rajoittaa tunnistuksen tarkkuutta. Teoreema määrittelee tarkkuudeksi puolet näytteenottotaajuudesta. Esimerkiksi näytteenottotaajuus kaksi pikseliä/mm rajoittaa tarkkuuden yhteen viivapariin/mm. Jotta teoreema pitäisi paikkaansa, tarvitsee pikseleiden osua tarkasti millimetrin sisälle. Kuitenkin käytännössä pikselit ovat puoliksi kahdella eri millimetrillä ja tämän takia pikseleiden poikkeamaa korjataan Kell-kertoimella. Kell-kerroin kompensoi myös kennon pikselien välissä olevaa välimatkaa. Kell-kertoimena käytetään arvoa 0,7. Käyttäen yhtälöä 1 nähdään, että kaksi pikseliä/mm näytteenottotaajuudella saavutetaan tarkkuudeksi 0,7 viivaparia/mm. Tällöin päästäkseen yhden millimetrin tarkkuuteen tarvitaan lähes kolme pikseliä/mm. (Edmund Optics n.d.)

$$\text{Nyquist Limit} \left(\frac{lp}{mm} \right) = \frac{1}{2} [\text{Kell Factor}][\text{Sampling Frequency} \left(\frac{\text{pixels}}{mm} \right)]$$

Yhtälö 1. Nyquistin teoreema. (Edmund Optics n.d.)

3.6 Kenno

Kennolla olevat pikselit vastaanottavat valohiukkaset kaikilta aallonpituuksilta. Muodostuva kuva on siis ensisijaisesti harmaasävykuva, jossa pikselin valoisuusarvo kertoo valon määrän kaikkien aallonpituuksien summana. Kennolla saadaan kuvattua värikuvia laittamalla värisuodatin pikselien eteen. Kuva 5 näyttää yleisesti käytetyn Bayer-suodattimen, jossa jokaiselle pikselille annetaan oma värisuodatin. Näin yksittäinen pikseli kuvaa vain yhtä aallonpituutta. Tällöin syntyy tilanne, missä yhtä väriä on vain tietyillä pikseleillä. Interpoloimalla pikselin kirkkaudesta väriarvo viereisille pikseleille saadaan jokaiselle pikselille laskettua RGB-arvo. Esimerkiksi sinistä valoa pääsee suodattimien läpi vain osalle pikseleistä ja näiden pikselien kirkkaudesta lasketaan viereisille pikseleille arvio sinisen valon määrästä. Kun värikuvauksessa käytetään värisuodatinmatriisia, kameras mittauksen tarkkuus vähenee verrattuna harmaasävykameraan. (Curtis, n.d., 19-21)



Kuva 5. Bayer-kuvio ja viereisten pikselien väriarvon interpolointi. (Curtis, n.d., 20)

3.6.1 CCD

Charged Coupling Devices (CCD) on kennotekniikka, joka on kehitetty käytettäväksi kameroissa. Valohiukkasen osuessa fotoilmaisimeen vapautuu fotoilmaisimelta elektroni. Näiden vapautuneiden elektronien määrä on suhteessa ilmaisimelle saapuneisiin valohiukkasiin. Kennon jokainen ilmaisin varastoi elektronivarauksen, joka lähetetään pikseli kerrallaan A/D-muuntimelle. CCD-kennon etuja ovat hyvä valoherkkyys ja vähäinen kohina. CCD-kenno koostuu analogisista elektroniikkapiireistä, joten sen virrankulutus on suuri. Kenno soveltuu hyvin sovelluksiin, joissa tarvitaan hyvää kuvanlaatua ja valoherkkyttä. (Axis Communications, n.d.; Hofer, 2016)

3.6.2 CMOS

Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) on puolijohdetekniikkaa käytävä kennotekniikka. Kenno tunnistaa valon fotoilmaisimella, jonka jälkeen kennon jokaisella pikselillä oleva piiri muuttaa fotoilmaisimen varauksen jännitteeksi. CMOS-kennon etuihin kuuluvat lukunopeus, pieni virrankulutus ja pienempi koko. Kennon valmistaminen piisirulle takaa kennolle edullisen hinnan. Kennolle ominaista on CCD-kennoa suurempi kohina. (Axis Communications, n.d.; Hofer, 2016)

3.7 Linssi

Konenäköjärjestelmässä linssi on tärkeässä osassa, sillä linssi kerää valon kuvattavalta kohteelta kennolle. Linssin valintaan vaikuttavat kuva-ala, kameran kennon koko sekä kuvausetäisyys. Suurempi kuvausetäisyys tuottaa yleensä lyhyttä kuvausetäisyyttä paremman kuvanlaadun, joten kuvattava kappale kannattaa sijoittaa mahdollisimman kauas linssistä. Tiedettäessä kuvausetäisyys voidaan laskea linssin polttoväli. Linssin ja kameran kennon tarvitsee sopia yhteen. Liian pieni linssi rajaa kuvaa kennon reunoilta, kun taas reilusti kennoa suurempi linssi suurentaa kuvaa. Linssin laatu on erityisen tärkeä käytettäessä korkearesoluutioista kameraa, jotta linssi ei rajoita kuvanlaatua. (Hornberg, 2006. 48-50)

4 TOTEUTUS

4.1 Suunnittelu

4.1.1 Kameratekniikan valinta

Kameratekniikan valintaan vaikuttaa eniten resoluution tarve. Koska paperirulla on iso ja sitä halutaan mitata tarkasti, vaaditaan kameralta suurta resoluutiota, jolla saavutetaan haluttu tarkkuus. 3D-tekniikkaan perustuvat kamerrat ovat pieni-resoluutioisia eivätkä siten sovellu paperirullan mittaamiseen. Pienellä erottelukyvyllä haluttua mitaustarkkuutta ei tulla saavuttamaan.

Viivakamerassa riittäisi resoluutio tarkkaan mittaamiseen, mutta paperirullan pääty ei kulje viivakameran ohitse kohtisuorassa, sillä paperirulla kulkee kuljettimella pääty edellä. Viivakameralla ei saada kuvaa päädyistä.

Matriisikamera jää kameratekniikoista ainoaksi vaihtoehdoksi. Matriisikameroita saa suurella resoluutiolla, joka on selvästi 3D-kameroita parempi, mutta suurimmat resoluutiot ovat kuitenkin selkeästi pienemmät kuin viivakameroilla. Lisäksi paperirulla tarvitsee pysäyttää kuvan ottamisen ajaksi, koska liikkuva rulla voi näkyä liikkeestä johtuen epätarkkana.

4.1.2 Käytettävä kameratekniikka

Tässä opinnäytetyössä tehtyihin testikuvauksiin kameraksi valittiin IDS UI-3590CP, sillä kameran resoluutio oli suurin saatavilla olevista kameroista.

Taulukko 3. Kameran tekniset tiedot. (IDS:n www-sivut, 2018)

Kamera	IDS UI-3590CP-C-HQ Rev.2
Kennon tyyppi	Värillinen CMOS
Suljin	Rolling shutter
Kameran resoluutio	18 MP
Resoluutio (leveys x korkeus)	4912 x 3684 pikseliä
Kuvasuhde	4:3
Kennon koko (mm)	6,140 x 4,605
Liitin	USB 3.0 micro-B
Linssin kiinnitys	C
IP-luokitus	IP30

Paperirullan päädyn mittaamiseen tarvittava kuva-ala koostuu rullan maksimihalkaisijasta, rullan paikan poikkeamasta kuvauspisteellä sekä kuvan reunoille jätettävästä marginaalista. Käyttämällä maksimihalkaisijaa 2100 mm ja jättämällä reunoille 100 mm marginaali saadaan kuva-alaksi 2300 mm. Kameran resoluutiona käytetään pienempää leveysresoluutiota, jotta koko paperirulla saadaan kuvaan.

$$Rc = \frac{FOV}{Rs} = FOV * \frac{Nf}{Sf}$$

Yhtälö 2. Kohteen erotuskyvyn laskeminen kuva-alasta ja kameran resoluutiosta.

Taulukkoon 4 on laskettu pikselien lukumäärä pienimmässä piirteessä halutulla piirteiden koolla käyttäen yhtälöä 2. Kameran resoluutiolla saadaan yhdelle pikselille noin 0,62 millimetriä kohdetta näkyviin. Nyquistin teoreemaa kertoo, että piirteiden erotuskyky vaatii 3 pikseliä pienimmälle halutulle piirteelle. Käytettävän kameran resoluutio riittää siis kahden millimetrin tarkkuuteen halkaisijan mittaamisessa.

Taulukko 4. Kohteen erotuskyky määrittää mittaustarkkuuden.

Nimi	Muuttuja	Arvo		Yksikkö
Kameran resoluutio	Rc	3684		pikseliä
Kuva-ala (pääty)	FOV	2300		mm
Kohteen erottelukyky	Rs	0,62		mm / pikseli
Pienimmän piirteen koko	Sf	1	2	mm
Pikselien lukumäärä pienimmässä piirteessä	Nf	1,6	3,2	pikseliä

Kennon koon ja kuva-alan lisäksi kuvausetäisyyteen vaikuttaa linssin polttoväli. Koululta löytyy eri polttovälin linsejä, joille voidaan yhtälöllä 3 laskea kuvausetäisyys. Käyttämällä pienintä 8,5 mm polttoväliä saadaan lyhimmäksi kuvausetäisyydeksi 4,3 metriä.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o} + \frac{1}{i}$$

jossa f = polttoväli, o = etäisyys kohteeseen ja i = etäisyys kennoon

Yhtälö 3. Linssin polttovälin yhtälö.

4.1.3 Kuvausten suunnittelu

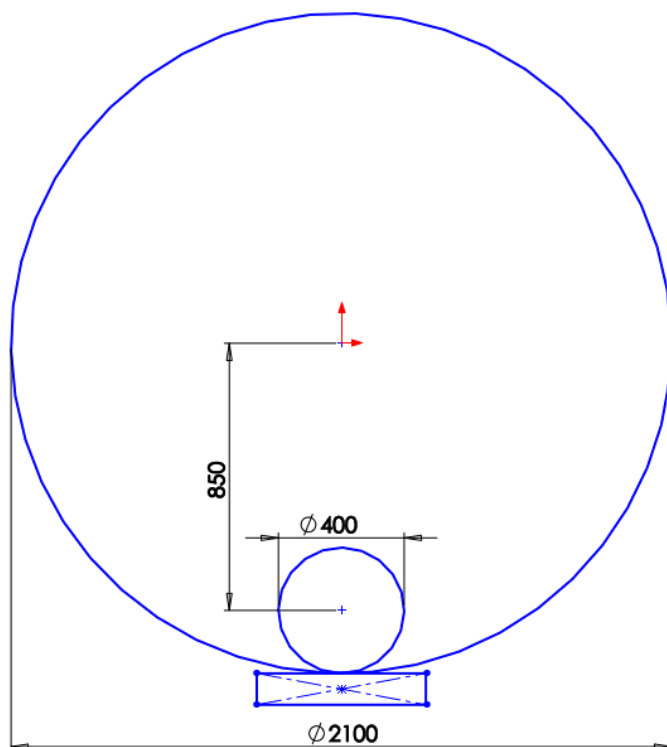
Paperirullan vaipan leveys tarvitsee kuvata viivakameralla paperirullan kulkiessa kameran ohitse, sillä matriisikamera ei yllä riittävän tarkkaan tulokseen. Viivakamera tarvitsee kuljettimen liikenoisuuden pysyäkseen tahdissa, joten kuljettimeen tarvitsee asentaa pulssianturi. Leveyttä mitatessa viivakamera mittaisi paperirullasta ensimmäisen sekä toisen päädyn ja laskisi pulssianturin avulla vaipan leveyden.

Toinen tapa mitata vaipan leveys on laittaa valokenno tai vastaava anturi kameran tilalle ja laskea leveys pulssianturilta tulevista pulsseista logiikkaohjaimessa. Valokennon käytön etuja ovat helppo liityntä logiikkaohjaimen, vähäinen ohjelmoinnin tarve sekä halvempi hinta verrattuna viivakameraan.

Viivakameran häiritseminen valokennoon nähden on asentamisen yhteydessä tarvittava ohjelmoinnin määrä. Kameralla tarvitsee ottaa kuvia liikkuvasta rullasta, jotta ohjelmalle voidaan opettaa paperirullan reunat. Myös halkaisijan vaihtelu tarvitsee ottaa huomioon vähintäänkin varmistamalla, että kuvantunnistus toimii kaikenkokoisilla paperirullilla.

Vaipan leveyttä ei lähdetä opinnäytetyössä mittaamaan, sillä konenäön avulla tehtävä mittaus ei ole kustannustehokas ratkaisu.

Päädyn halkaisijaa mitattaessa tarvitsee kuvasta löytää ja tunnistaa paperirullan alin ja ylin piste luotettavasti. Koska kuljetin pysäyttää paperirullan samaan kohtaan, pysyy alin piste samassa kohtaa kuvaa. Ylin piste voi kuitenkin olla kuvan yläreunassa tai melkein alareunassa. Paperirullan pyöreän päädyn kehän etsintää kuvasta vaikeuttaa suuri kokoeron vaihtelu, joka on havainnollistettu kuvassa 6. Kuvassa erottuvat paperin kerrokset saattavat häiritä tunnistusta. Lisäksi paperirullan keskellä on pyöreä kartonkihylsy.



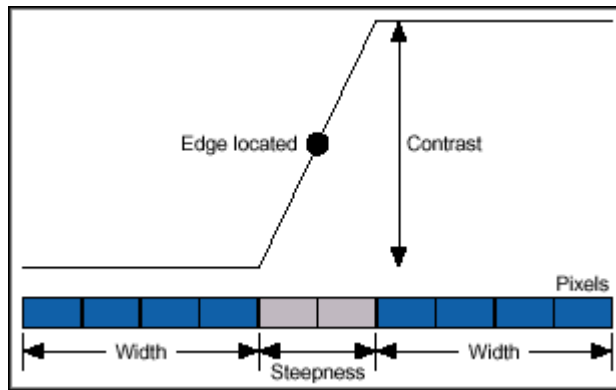
Kuva 6. Paperirullan halkaisijan minimi ja maksimiarvot.

Halkaisija saadaan esille laserviivalla, joka valaisee rullan halkaisijan ylhäältä alas. Näin kuvasta ei tarvitse etsiä kuin laserviiva ja sen loppupisteet. Laservalon intensiteetti on muihin valaistusmenetelmiin verrattuna suuri, joten laserviivan erottaminen muusta kuvasta on yksinkertaista.

Päädyn profiilin vaihtelu on kuvassa syvyysuunnassa, mikä ei näy suoraan 2D-kuvassa. Ratkaisu löytyy rakenteellisen valaisun 3D-kuvausmetelmästä, jossa profiilin muoto tuodaan esille laserviivan kolmiomittauksella. Ratkaisun erona 3D-kuvaukseen on vain, että päädyn profiili saadaan esille yhdellä paikallaan olevalla laserviivalla eikä koko päätyä tarvitse skannata. Profiilin muoto näkyy kuvassa sivuttain, josta kolmiomittauksen avulla lasketaan enimmäisvaihtelut.

Päädyn pyöreyttä mitatessa parhaaseen tulokseen päästään kuvaamalla kohtisuoraan pyöreän muodon keskipisteestä. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista sillä päädyn halkaisija ja samalla sen keskipiste vaihtelevat. Kameraa ei myöskään voi sijoittaa kohtisuoraan päätyä vasten, sillä kamera olisi liikkuvan paperirullan edessä. Kamera tarvitsee sijoittaa paperirullan viereen siten, että paperirulla pääsee vapaasti kulkemaan kulkettimella. Pädyn kuvaaminen paperirullan vierestä aiheuttaa perspektiivivirheen kuvaan. Pädyn koko kehä ei ole samalla etäisyydellä kamerasta ja tällöin pyöreä pääty näkyy kuvassa soikeana. Lisäksi kuva tarvitsee tarkentaa laajalle syvyysuuntaiselle alueelle.

Pyöreiden mittaamiseen tarvitsee kuvasta löytää päädyn kehä, joka etsitään kuvasta reunantunnistuksella. Jotta reunantunnistus onnistuisi, tulisi paperirullan ja taustan erottua mahdollisimman hyvin toisistaan, kuten kuvassa 7 esitetään. Kontrastia voidaan lisätä valaisemalla pääty, mutta ulkoiset valonlähteet saattavat valaista taustaa voimakkaasti. Paperirullan koon vuoksi ulkoisten valonlähteiden poistaminen vaatisi huoneen rakentamista kuvauspaikan ympärille.



Kuva 7. Reunantunnistuksen periaate. (National Instruments www-sivut, 2016)

Päädyn pyöreiden mittaamisen suurimmat haasteet ovat perspektiivivirheen korjaaminen sekä paperirullan ja taustan erottaminen toisistaan.

4.2 Kuvaukset

Kuvauksissa oli käytössä kaksi paperirullaa. Kummankin paperi oli ruskeaa ja niiden halkaisijat olivat 90cm ja 140cm. Paperirullien kunto ei vastannut vastavalmistettua paperirullaa, sillä paperirullien päädissä kierrokset näkyivät selvästi sekä paperirullien siirtämisen takia hylsyet eivät olleet pyöreitä.

Kumpikin paperirulla kuvattiin täydellä kuva-alalla, johon mahtuu suurin mahdollinen paperirulla. Näissä kuvissa paperirullat eivät täyttäneet koko kuvaa. Täydellä kuva-alalla otetuista kuvista oli tarkoitus varmistaa lasketun resoluution paikkaansapitävyys, selvittää laserviivan ominaisuudet ja näkyminen paperirullalla sekä ulkoisen valaistuksen vaikutus kuvaukseen. Lisäksi paperirullat kuvattiin siten, että ne peittivät koko kuva-alueen. Näiden kuvien tarkoituksena oli esittää täysikokoista paperirullaa. Täyden kuva-alueen peittävä paperirulla oli myös tarpeen kuvankäsittelyyn.

Kuvauksissa käytetty viivalaser oli heikkotehoinen pistelaser, jolla linssin avulla muodostetaan viiva. Linssin laatu vaikutti viivan laatuun, jonka leveys oli noin millimetri. Kuvausten aikana valaistus muuttui huomattavasti ikkunoista paistavan auringon takia, joka aiheutti tarpeen säätää kameran valotusarvoja. Laserviiva oli kuitenkin erottavissa muuttuvista ulkoisista valonlähteistä huolimatta. Laserviivan saa näkymään kuvassa luotettavasti lisäämällä laserin tehoa tai pienentämällä laserin viivan leveyttä,

koska kapeammalla viivalla laserin intensiteetti jakautuu pienemmälle alueelle lisäten valotehoa.

Kameran tarkalla sijainnilla ei ole merkitystä kuvauksen tai mittaustarkkuuden kannalta. Tärkeämpää on mitata kamerasiirron etäisyys paperirullan päädyistä laserviivan kolmiomittausta varten.

4.3 Kuvankäsittely

Kuvien käsittelyyn käytettiin MVTecin Halcon 12.0 konenäköohjelmaa. Halcon soveltuu kuvien esikäsittelyyn ja prosessointiin. Halconin kehitysohjelma on PC-pohjainen, mutta lopullinen ohjelma voidaan kääntää C++ yhteensopivaksi kirjastoksi. Näin Halconilla tehty konenäköohjelma on käytössä käyttäjän haluamalla alustalla. Koulun käytössä olevista konenäköohjelmista Halconiin päädyttiin sen runsaiden ominaisuuksien perusteella. Halcon toimii käytännössä kaikkien konenäkökameroiden kanssa sekä siinä on Ethernet- ja automaatioyhteydet liitännät.

4.3.1 Kalibrointi

Kalibrointia varten Halcon käyttää kuusikulmaisesti järjestellyistä merkeistä koostuvia kalibrointilevyjä, joilla kuvasta korjataan perspektiivivirhe ja linssivääristymä. Kalibrointilevyn pitää kuitenkin peittää yli neljäsosa kuvasta, joka paperirullaa kuvattaessa tarkoittaisi yli neliömetrin kokoista kalibrointilevyä. Tämän kokoisen levyn tai tulostetun paperin käyttö kalibrointiin on hankalaa ja epäkäytännöllistä, sillä kalibrointilevyn tulee olla suora eikä se saa olla vioittunut. Paperirullaa kuvattaessa käytettiin useaa pientä kalibrointilevyä. Näistä yritettiin löytää ratkaisu linssivääristymän korjaamiseen. Halcon ei kuitenkaan tunnistanut A4-kokoisia kalibrointilevyjä, sillä niiden koosta johtuen kalibrointilevyn merkit ovat liian pieniä erotettaviksi.

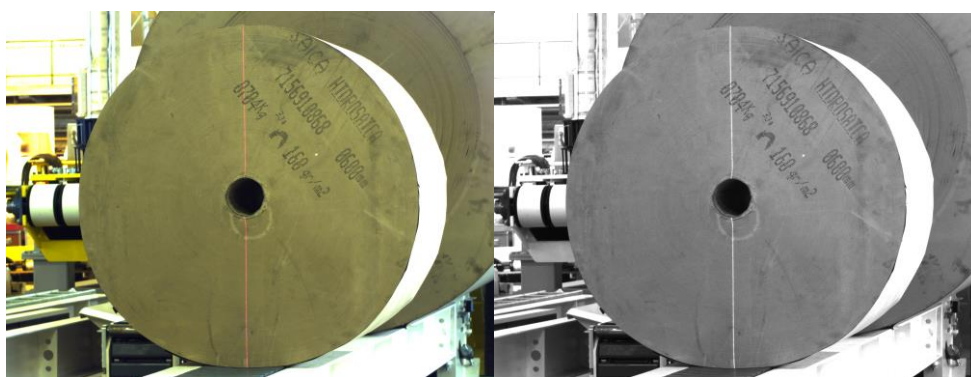
Toinen vaihtoehto Halconissa linssivääristymän korjaamiselle on asettaa kameralle linssivääristymän korjauskertoimen. Korjauskertoimella kuvasta poistetaan linssin aiheuttama tynnyrivääristymä. Pelkän linssivääristymän korjaamalla kuvaan jää vielä perspektiivivirhe, joten vaipan kehä näkyy edelleen soikeana. Perspektiivivirheestä

huolimatta paperirullan halkaisija voidaan laskea, sillä halkaisija on kuvassa yhdellä etäisyydellä kamerasta, kun kamera on sijoitettu kuljettimen viereen.

Kameran parametreilla tapahtuvaan linssivääristymän korjaukseen tarvitaan yksi kuva, jossa laserviivan viereen asetetaan mittanauha. Linssivääristymän korjauskertoimeksi etsitään arvo, jolla mittanauhan jokaisella senttimetrillä on yhtä monta pikseliä. Näin korjatussa kuvassa halkaisija näkyy lineaarisena eli jokainen pikseli vastaa yhtä pitkä matkaa halkaisijalla. Korjauskertoimen asettaminen on manuaalista, mutta se tarvitsee tehdä kameralle vain kerran.

4.3.2 Mittaus

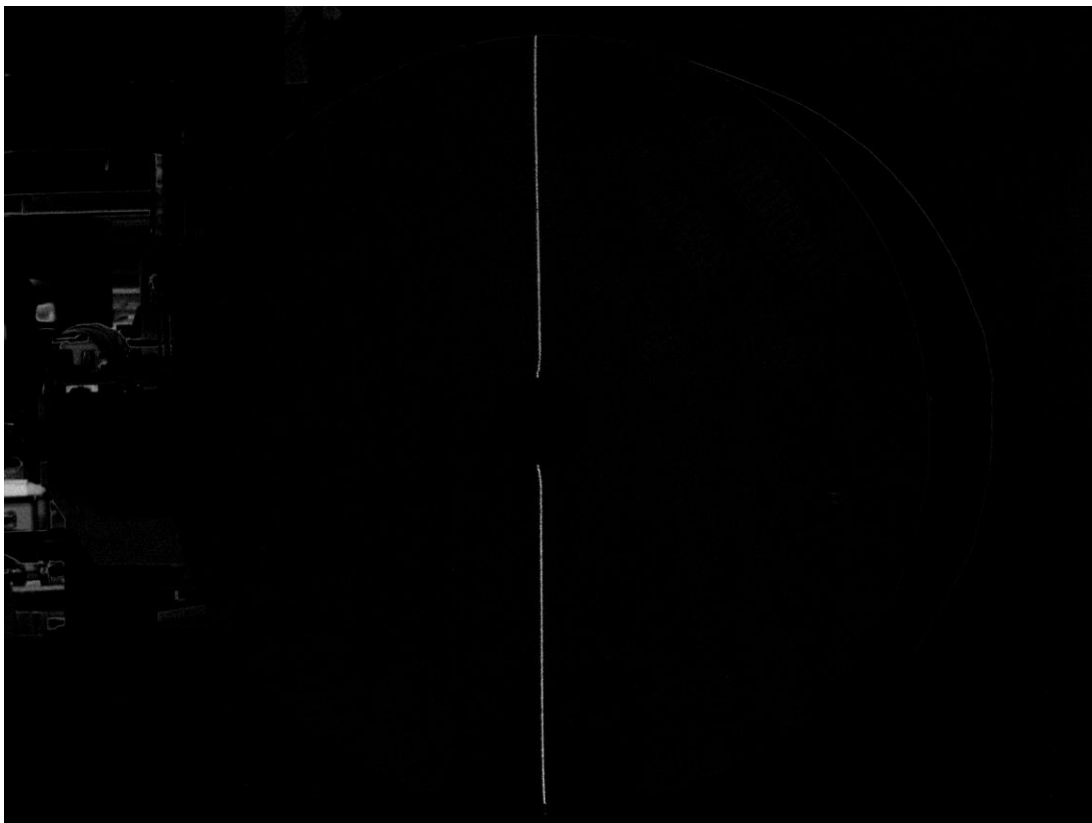
Ennen mittauksia kuville tehdään esikäsittely. Esikäsittelyllä kuvasta tuodaan esille halutut piirteet kuten laserviiva ja poistetaan piirteet, joita ei tarvita mittauksissa. Näin kuvassa ei ole ylimääräistä dataa, joten kuvankäsittely helpottuu. Halconissa esikäsittelyn voi tehdä jokaiselle mittaukselle tarvittaessa erikseen. Koska käytössä on värisävykamera, erotetaan RGB-kuvasta värit omiin kuviin, jolloin punainen laser näkyy hyvin punaisessa kuvassa. Kuvassa 8 näkyy laserviiva kameran ottamassa värikuvassa sekä pelkkää punaista sisältävässä kuvassa.



Kuva 8. Laserviiva värikuvassa ja punaisessa kuvassa.

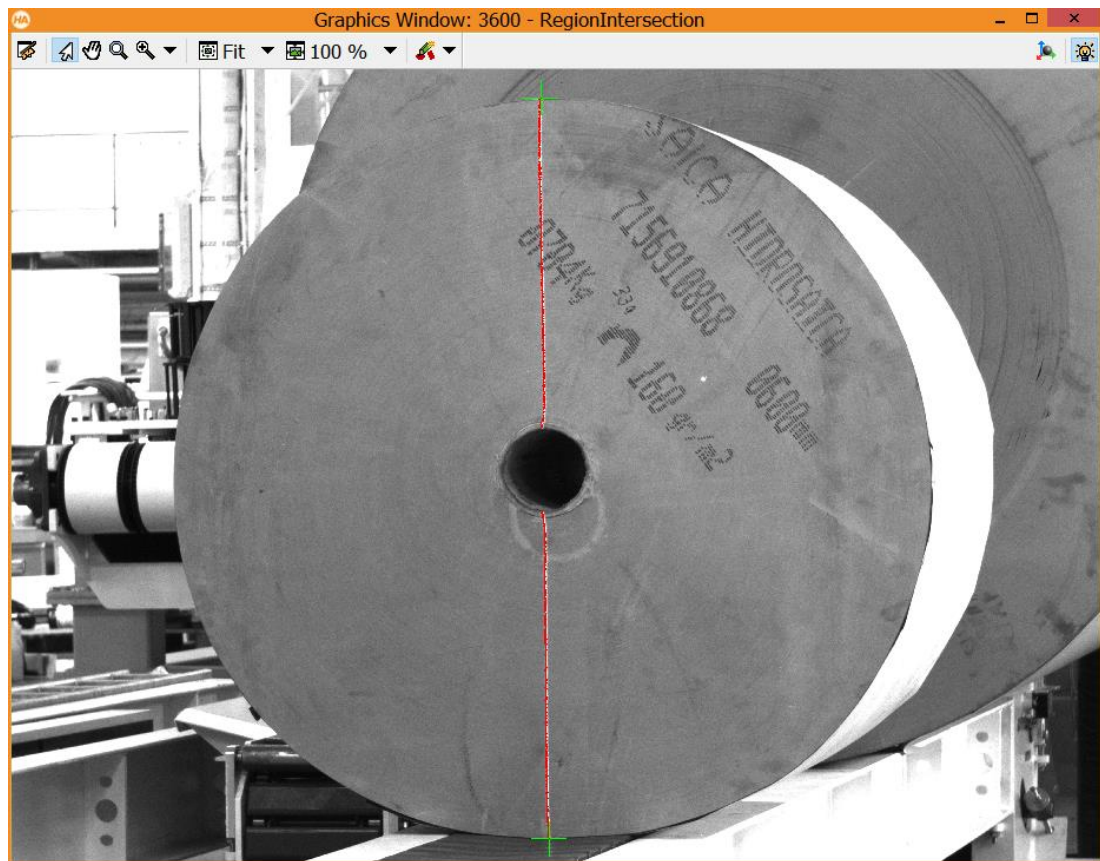
Laserin laatu vaikuttaa tarvittavaan esikäsittelyn määrään. Kuvauksissa käytetty heikkotehoinen laserviiva näkyy hieman himmeänä. Laserille ominainen täplikkyys ja kennon värisuodatin aiheuttavat kuvassa epätasaisesti näkyvän laserviivan. Tämä aiheuttaa laserviivan katkeamista eli laserviiva ei näy yhtenäisenä viivana.

Laadukkaammalla laserilla ja harmaasävykennolla vältyttäisiin suurelta osalta esikäsittelyä, kun laser olisi valmiiksi esillä kuvassa.



Kuva 9. Esikäsittelyllä kuvasta esille tuotu laserviiva.

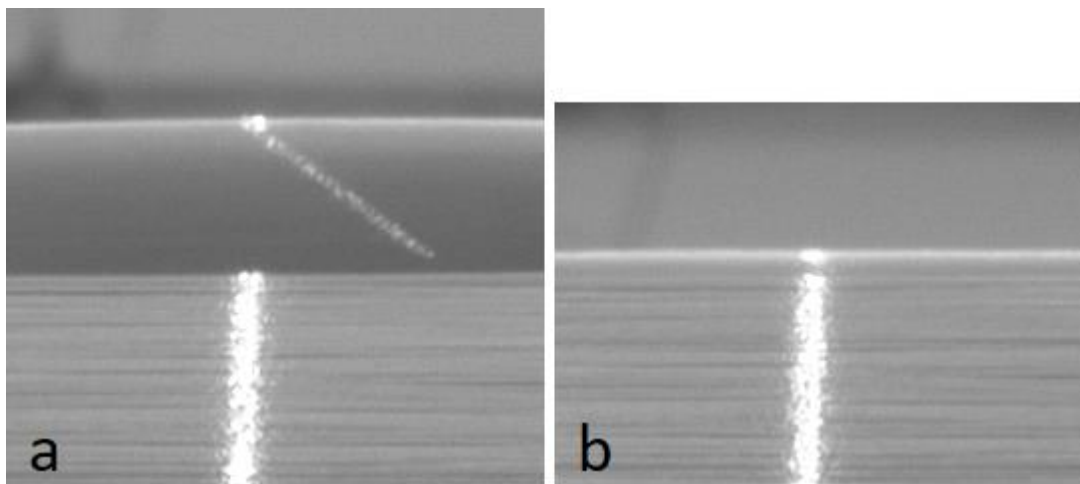
Halkaisijan mittaamiseen laserviivasta etsitään viivan ylin ja alin piste. Pisteiden välin mittaamalla saadaan paperirullan halkaisija pikseleissä. Tämä arvo saadaan muutettua millimetreiksi katsomalla linssivääristymän korjauksessa käytetyltä mittanauhalla, kuinka montaa millimetriä yksi pikseli vastaa. Kuvassa 10 on halkaisijan ylin ja alin piste merkattu vihreällä ristillä sekä löydetty laserviiva on maalattu punaisella.



Kuva 10. Paperirullan halkaisijan ylin ja alin piste.

Halkaisijan ylimmässä pisteessä uloin paperikerros voi olla löysällä ja hieman irti rullasta. Kuvassa 11 on havainnoitu esimerkeillä irtonaisen paperin erottuminen. Kuvissa laserviiva näkyy noin millimetrin levyisenä ja käytetty paperi on tavallista tulostuspapereita. Ylimmän kerroksen ollessa selkeästi irti paperirullasta (kuva 11a), laser valaisee irtonaisen paperin reunan ja näkyy myös paperin alapinnalla. Tällöin irtonainen paperi on mahdollista jättää huomiotta halkaisijaa laskiessa. Paperin ollessa irti noin millimetrin (kuva 11b), jää laserviivaan vain pieni väli. Paperirullaa kuvatessa pienen välin havaitseminen on hankalaa, sillä väli koostuu vain yhdestä tai kahdesta pikselistä. Lisäksi laserin täplikkyys voi yhdessä pienen välin kanssa aiheuttaa ongelman irtonaisen paperin erottamisessa.

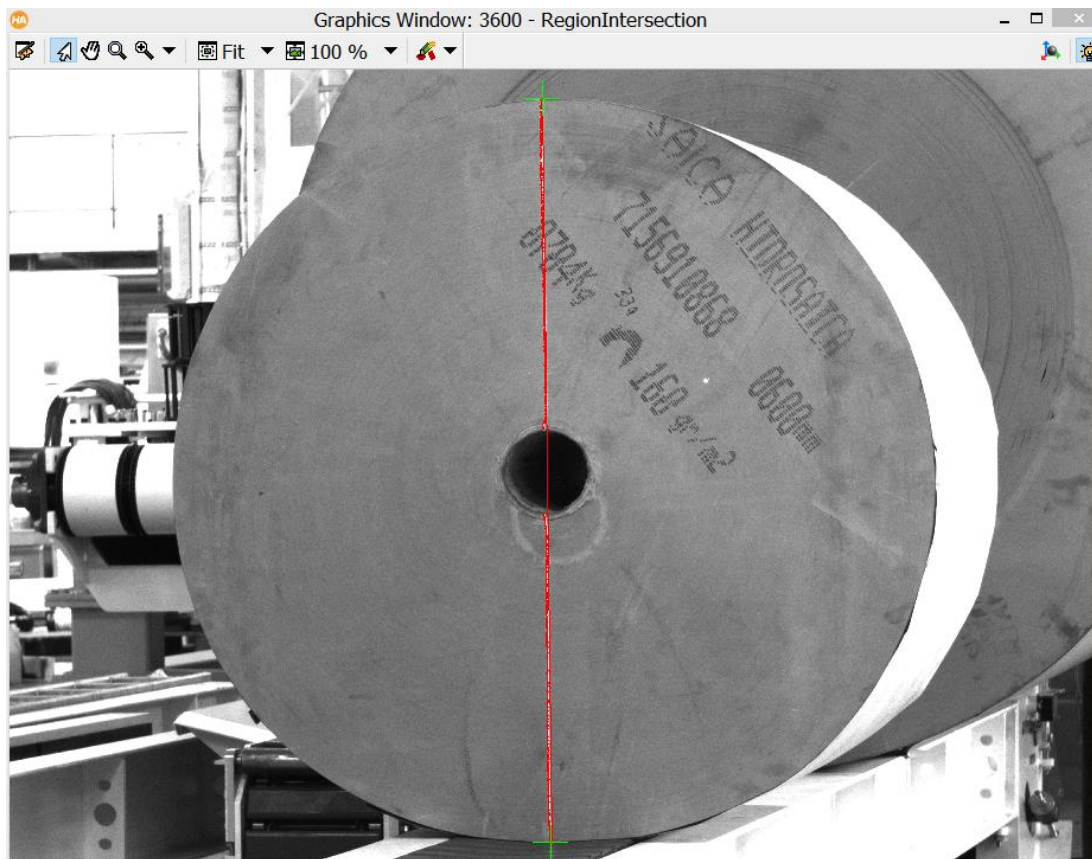
Laadukkaampi viivalaser auttaisi välin erottamisessa, kun halkaisija näkyisi yhteinäisenä viivana. Näin viivan katketessa vain irtonaisen paperin takia ylimmässä pisteessä olisi helppo jättää irtonainen paperi laskematta halkaisijaan. Kuvauksissa käytetyn viivalaserin laatu ei riitä irtonaisen paperin erottamiseen.



Kuva 11. Irtonaisen paperin erottuminen kuvassa.

Halkaisijan alimmassa pisteessä laserviiva heijastui hieman kuljettimesta. Heijastus oli himmeä eikä se erottunut halkaisijaa mitatessa.

Paperirullan profiili näkyy kuvassa laserviivan sivuttaissiirtymänä. Profiilin ollessa täysin tasainen piirtyisi laserviiva ylimmän ja alimman pisteen välille suorana viivana. Profiilin muodosta saadaan enimmäisvaihtelu laskemalla, kuinka paljon laserviiva poikkeaa ylimmän ja alimman pisteen välisestä suorasta sivusuunnassa. Näin profiilin leveyden enimmäisvaihtelu on laskettu pikseleissä. Kuvassa 12 näkyy ylimmän ja alimman pisteen välille piirretty apuviiva, jota käyttämällä lasketaan laserviivan esiintuoma profiilin muoto.



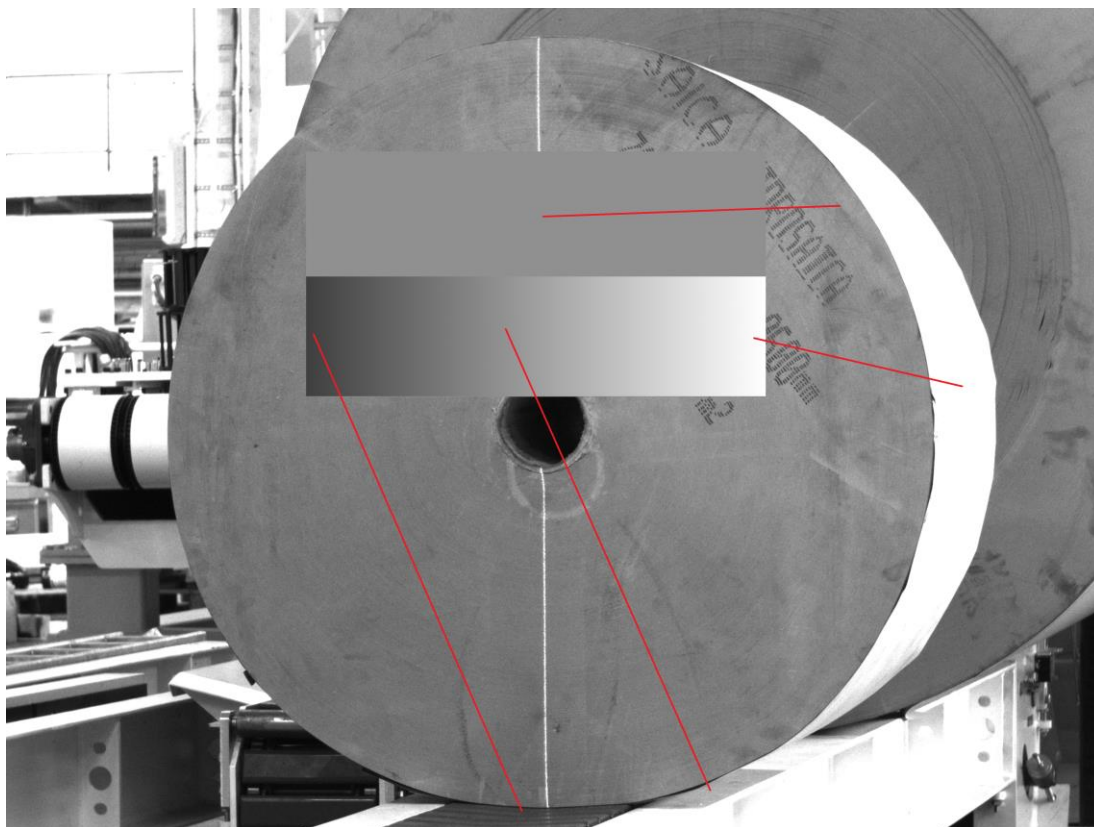
Kuva 12. Profiilin mittauksessa käytettävä apuviiva.

Profiilin enimmäisvaihtelun muuttamiseen millimetreiksi käytetään laserin kulmaa suhteessa paperirullan pätyyn, mikä saadaan laserin etäisyydestä paperirullaan ja etäisyydestä paperirullan keskihalkaisijaan. Laserin kulman avulla saadaan enimmäisvaihtelu muutettua tarkaksi millimetriarvoksi.

Päädyn pyöreiden mittaamiseen tarvitsee kuvasta löytää päädyn kehä, jonka löytämiseen kuvasta voi käyttää reunantunnistusta. Onnistuneeseen reunantunnistukseen vaaditaan kontrasti reunan eri puolille, jotta pääty ja tausta erotetaan toisistaan. Kun paperirullan pääty on vaalea, pitäisi koko tausta saada mahdollisimman tummaksi. Taustan kontrasti kuitenkin vaihtelee, sillä kuvassa näkyy kuljetinta, paperirullan vaippaa ja muuta taustaa.

Koska tunnistettava reuna on pitkä ja sen sijainti vaihtelee kuvassa, kannattaa reunaa etsiä halkaisijan ylimmän ja alimman pisteen avulla. Reunantunnistus asetetaan tunnistamaan reunaa pisteiden avulla rajatulta alueelta. Tämä vähentää reunantunnistukseen tarvittavaa laskentatehoa ja -aikaa.

Reunantunnistus löytää pätkiä paperirullan kehästä, mutta ei koko kehää. Tämä johtuu vaihtelevasta kontrastista. Paperirullan kehän ollessa enimmillään yli kuusi metriä, tulee kahden millimetrin tarkkuutta halutessa kehän enimmäispituudeksi noin 10 000 pikseliä. Näin pitkän reunan voimakkaita kontrastivaihteluita ei pysty ohjelmallisesti paikkaamaan, vaan kontrasti kehän eri puolille tarvitsee luoda valaistuksella. Kuvassa 13 on havainnollistettu kontrastin vaihtelua päädyn ja taustan välillä. Kuvassa olevan paperirullan pääty on likainen, mutta tuotantolinjalla oleva puhdas pääty näkyisi kuvassa lähes yksivärisenä. Havainnollistamiseen on valittu värisävyt paperirullan vaipasta ja rullakuljettimesta, jotka näkyvät kuvassa joka tapauksessa.



Kuva 13. Havainnekuva vaihtelevasta kontrastierosta päädyn ja taustan välillä.

Muuttuvan kontrastin lisäksi pyöreyttä mitatessa tarvitsee ottaa huomioon perspektiivivirhe, jonka takia paperirullan kehä näkyy soikeana. Perspektiivivirheen korjaamiseen tarvitaan Halconin kalibrointilevyä. Kameran ollessa paperirullan vieressä päädyn reunat ovat eri etäisyydellä kamerasta. Kun kamera tarkennetaan keskelle rullaa,

josta halkaisija mitataan, reunat voivat jäädä linssin syvyystarkennusalueen ulkopuolelle ja näkyä sumeina.

4.4 Liityntä tehdasautomaatioon

Kameran ottamat kuvat prosessoidaan ja prosessoinnin lopputulokset siirretään tehdasautomaatioon. Kuvien prosessoinnille on vaihtoehtoina erillinen kuvankäsittelykontrolleri sekä PC- tai serveripohjainen ratkaisu.

Kuvankäsittelykontrolleri on konenäkökameroiden kuvankäsittelyyn tarkoitettu prosessointiyksikkö. Kontrolleri on käytännössä pienikokoinen tietokone, jonka suorituskyky vastaa PC-pohjaista ratkaisua. Kontrollerin etuja ovat tietokoneeseen verrattuna pieni koko, digitaalinen I/O ja konenäköille tarkoitettut liitynnät, jotka tukevat useaa kameraa. Kontrollerissa on kuitenkin älykameroita selkeästi enemmän laskentatehoa. Kuvien resoluution tarvitsema tiedonsiirtokaista rajaa kameran liitynnäksi kuvankäsittelykontrolleriin USB 3.0- ja Ethernet-liityntöihin. Liityntä tehdasautomaatioon on kontrollereissa Ethernet-pohjainen. Kontrollerit soveltuvat kameran ohjaamiseen ja komennot kuvanottamiselle voidaan antaa tehdasautomaation väylästä.

5 PÄÄTELMÄT

Taulukossa 5 on esitetty kuvauksissa käytetyllä kameralla saavutetut mittaustarkkuudet eri dimensioille.

Päädyn halkaisija ja profiili saadaan mitattua käytetyllä kameralla kahden millimetrin tarkkuudella, kun halkaisija ja profiili tuodaan esille paperirullasta laserviivan avulla. Saavutettu tarkkuus riippuu kameran resoluutiosta, joten parempaa tarkkuutta tavoiteltaessa tarvitsee kameran resoluutiota lisätä. Taulukkoon 6 on kerätty tarvittavat vähimmäisresoluutiot, jolla eri mittaustarkkuudet saavutetaan. Vähimmäisresoluutioon ei ole laskettu kuvan ylä- ja alareunaan tarvittavaa marginaalia.

Päädyn pyöreydelle ei saatu mittaustulosta. Pyöreiden mittaamisen vaikeutena on paperirullan valaisu sen suuresta koosta johtuen. Kehän esille tuomista varten valaistuksen tarvitsee poistaa ulkoiset valonlähteet sekä valaista pääty tasaisesti ilman taustan valaisua, joka vaatii käytännössä huoneen rakentamista mittausta paikan ympärille. Pyöreiden mittaamiseen tarvitaan myös halkaisijan mittaukseen verrattuna kattavampi kalibrointi, jolla poistetaan perspektiivivirhe kuvasta.

Vaipan leveyttä ei konenäöllä mitattu, sillä mittauksen pystyy suorittamaan kustannustehokkaasti ilman konenäköä. Käytännössä konenäkö korvaisi halvan ja yksinkertaisen valokennon lisäten komponenttien ja työn määrää.

Taulukko 5. Paperirullan dimensioiden mittaustarkkuus

Dimensio	Tarkkuusvaatimus	Tulos
Päädyn halkaisija	±1 mm	±2 mm
Päädyn profiili	5 mm poikkeama	Poikkeama ±2 mm
Päädyn pyöreys	Ei ole määritelty	Ei tulosta
Vaipan leveys	±1 mm	Ei mitattu

Taulukko 6. Kameralta vaadittava resoluutio eri tarkkuusvaatimuksille

Halkaisijan tarkkuus	Rullan halkaisija* (mm)	Vähimmäisresoluutio
±1 mm	2100	6300
±2 mm	2100	4200
±3 mm	2100	2100
*Ei sisällä kuva-alan reunoille jätettävää marginaalia.		

Käytettävältä kameralta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia päästäkseen hyviin tuloksiin. Kasvattamalla kameran resoluutiota saavutetaan parempi mittaustarkkuus. Kameran kennoksi kannattaa valita harmaasävykenno, koska RGB-kennon värisuodatin suodattaa ja interpoloi punaisena näkyvää laseria osasta pikseleistä vaikuttaen laserviivan laatuun kuvassa. Kameran linssin laatu vaikuttaa kuvan laatuun ja vääristymien määrään kuvassa. Suuren polttovälin linssillä vääristymiä saa vähennettyä, mutta kuvaus-ettäisyys kasvaa reilusti.

Kohteen valaiseminen on tärkeää piirteiden esille tuomista varten. Pienenkin kohteen valaistus vaatii yleensä tehokkaan valonlähteen, joten suuren paperirullan valaisu on haastavaa. Halkaisijan mittaamiseen voi kuitenkin käyttää laseria, joka laserille ominaisen korkean intensiteetin avulla on helposti erotettavissa kuvassa. Ulkoista valaistusta voi suodattaa kuvasta kaistanpäästösuodattimella, jolloin kuvassa näkyy vain laserviiva. Laseria käyttämällä ulkoisten valonlähteiden vaikutus saadaan minimoitua ilman suuria valaistusratkaisuja.

Konenäön avulla paperirullan päädyn halkaisija ja profiili saadaan mitattua kahden millimetrin tarkkuudella, kun käytetään harmaasävykameraa ja laadukasta linssiä. Yhden millimetrin tarkkuuteen on mahdollista päästä investoimalla suuriresoluutioiseen kameraan. Halkaisijaa ja profiilia mitatessa tehdasympäristön muuttuvien valaistusolosuhteiden tuomat haasteet pystytään välttämään käyttämällä viivalaseria ja kaistanpäästösuodatinta.

LÄHTEET

AIA. 2014. Computer Vision vs. Machine Vision. Viitattu 9.4.2018. https://www.visiononline.org/vision-resources-details.cfm/vision-resources/Computer-Vision-vs-Machine-Vision/content_id/4585

Aliaga, D. 2010. Structured-Light Based Acquisition. Viitattu 3.4.2018. <https://www.cs.purdue.edu/homes/aliaga/cs635-10/lec-structured-light.pdf>

Assembly Magazine. 2016. Introduction to Machine Vision. Viitattu 9.4.2018. https://www.assemblymag.com/ext/resources/White_Papers/Sep16/Introduction-to-Machine-Vision.pdf

Axis Communications. n.d. CCD and CMOS sensor technology. Viitattu 9.4.2018. https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_ccd_cmos_40722_en_1010_lo.pdf

Bertozzi, M & Broggi, A. 1998. GOLD: A Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection. Viitattu 9.4.2018. <http://www.ce.unipr.it/people/bertozzi/publications/cr/ieee.ip.gold.pdf>

Curtin, D. n.d. Sensors, Pixels and Image Sizes. Viitattu 9.4.2018. <http://www.photocourse.com/itext/pixels/pixels1.pdf>

Edmund Optics. n.d. Viitattu 9.4.2018. <https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/imaging/camera-resolution-for-improved-imaging-system-performance/>

Hofer, L. 2016. CMOS vs. CCD Sensors and Overview. Viitattu 9.4.2018. <https://www.dataray.com/blog-cmos-vs-ccd-overview.html>

Hornberg, A. 2006. Handbook of Machine Vision. Weinheim: Wiley-VCH.

IDS:n www-sivut. 2018. UI-3590CP Rev. 2. Viitattu 26.2.2018. <https://en.ids-imaging.com/store/ui-3590cp-rev-2.html>

Karpinsky, N & Zhang, S. 2010. High-resolution, real-time 3D imaging with fringe analysis. Viitattu 3.4.2018.

<https://engineering.purdue.edu/ZhangLab/publications/papers/2012-rtip-fringe.pdf>

National Instruments www-sivut, 2016. Viitattu 3.4.2018. <http://www.ni.com/white-paper/4536/en/>

Stemmer Imaging www-sivut. 2018. Viitattu 3.4.2018. <https://www.stemmer-imaging.co.uk>

Wuerker, R., Matthews, B. & Heckert, B. Analysis of Holograms of Reacting Sprays. 1970. Viitattu 11.4.2018.

<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19700011185.pdf>

Zuech, N. 2002. Smart Cameras vs. PC-Based Machine Vision Systems. Viitattu 3.4.2018. https://www.visiononline.org/vision-resources-details.cfm/vision-resources/Smart-Cameras-vs-PC-Based-Machine-Vision-Systems/content_id/1275