

Jarno Sarhaluoma

ROOTTORI- JA STAATTORILEVYJEN LAADUNTARKASTUS KONENÄÖLLÄ

Insinööri
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Syksy 2006



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ
TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Jarno Sarhaluoma	
Työn nimi Roottori- ja staattorilevyjen laaduntarkastus konenäöllä	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Konenäkö ja mittaustekniikka	Ohjaaja(t) Pentti Romppainen
	Toimeksiantaja ABB Oy
Aika Syksy 2006	Sivumäärä ja liitteet 42
<p>Insinööriyö on tehty ABB Oy:n sähkömoottoritehtaalle Vaasaan. Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia, onnistuuko sähkömoottoreihin kuuluvien roottori- ja staattorilevyjen laaduntarkastus konenäöllä. Levyistä täytyi saada selvitettyä tärkeitä mittoja sekä muita ominaisuuksia.</p> <p>Nykyisin laaduntarkastus tehdään käsin perinteisiä mittavälineitä käyttämällä. Tämä on kuitenkin hidas tapa, koska levyille tehtäviä mittauksia on monta. Lisäksi mittaustulokset voivat vaihdella eri mittaajilla. Konenäköjärjestelmä olisi nopea ja tarkka mittaustapa, ja se olisi inhimillisistä tekijöistä riippumaton.</p> <p>Työssä käytettyyn laitteistoon kuului digitaalinen harmaasävykamera sekä itse rakennettu taustavalaisin. Kuvankäsittely ja mittaukset toteutettiin National Instrumentsin Vision Assistant -ohjelmalla. Ohjelma valittiin, koska se oli tarpeeksi monipuolinen tutkimusta ajatellen. Lisäksi kuvankäsittely on nopeaa ja suhteellisen yksinkertaista.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Konenäkö, hahmon tunnistus, reunan tunnistus
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Jarno Sarhaluoma	
Title Quality Inspection of Rotor and Stator Disks with Machine Vision	
Optional Professional Studies Machine Vision and Measurement Technology	Instructor(s) Pentti Romppainen
	Commissioned by ABB Oy
Date Autumn 2006	Total Number of Pages and Appendices 42
<p>This Bachelor's thesis was done for ABB Oy electric motor factory in Vaasa. The purpose was to study whether it is possible to inspect rotor and stator disks with machine vision. The system has to measure distances and some specific attributes from the disks.</p> <p>The measurements are carried out today by means of traditional measurement tools and they are done manually. This is a slow process and the measurement results vary by the person who is performing the measurements. A machine vision application would decrease measurement times dramatically and the results would not be dependent of the person who is performing the measurements.</p> <p>The camera used for this study was a high resolution digital camera. The image processing and measurements were carried out by National Instruments Vision Assistant program. This program is relatively easy to use and its properties are ideal for this kind of study.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Machine Vision, shape matching, edge detection
Deposited at	<input type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Insinööriytyö tehtiin ABB Oy:n Vaasan sähkömoottoritehtaalle Kajaanin ammattikorkeakoulun konenäkölaboratoriossa. Haluaisin kiittää yliopettaja Pentti Romppaista työn valvomisesta ja auttamisesta pahoissa paikoissa. Haluaisin kiittää ABB Oy:n Vaasan moottoritehtaan laatuinsinööri Markus Pulkista yhteyshenkilönä olemisesta. Lisäksi kiitokset kuuluvat Kajaanin ammattikorkeakoulun Pekka Juntuselle, koska häneltä sain tämän insinööriytyön aiheen.

Kajaanissa 24.11.2006

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 TUTKITTAVAT KOHTEET	2
3 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ	5
3.1 Kamerate	5
3.2 Optiikka	6
3.3 Valaistus	8
3.4 Kameraliitännät	12
4 KUVANKÄSITTELY	14
4.1 Kuvankäsittelyn perusteet	14
4.2 Kuvan esikäsittely	14
4.3 Suodattimet	14
4.4 Segmentointi	16
4.5 Morfologiset operaatiot	18
4.6 Hahmontunnistus	19
5 TYÖSSÄ KÄYTETTY LAITTEISTO	20
5.1 Kamera	20
5.2 Valaistus	21
5.3 IMAQ Vision Assistant	24
6 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	25
6.1 Roottorilevyjen tutkiminen	25
6.2 Staattorilevyt	32
7 TULOSTEN TARKASTELU	39
8 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	42

1 JOHDANTO

ABB on maailman johtavia yrityksiä automaatiotekniikan ja sähkövoimatekniikan saralla. ABB toimii yli 100 maassa, ja Suomessa sillä on useita toimipisteitä. Vaasassa toimii ABB Oy:n sähkömoottoreiden valmistukseen keskittynyt tehdas, johon myös tämä insinöörityö on tilattu.

Insinöörityön tarkoituksena oli selvittää, onnistuuko sähkömoottoreihin asennettavien roottori- ja staattorilevyjen laaduntarkastus konenäön avulla. Tähän asti laaduntarkastukset on tehty käsin mm. digitaalisen työntömitan avulla. Konenäköjärjestelmän etuna olisi huomattavasti suurempi tarkastusnopeus ja inhimillisistä tekijöistä riippumaton tarkkuus.

Tutkimuksessa tarkasteltiin levyjen mittauksia lähinnä periaatteiden kannalta. Työssä tutkittiin lähinnä kuvankäsittelyyn ja mittauksen suorittamiseen liittyviä seikkoja. Valmista konenäköjärjestelmää ei pyritty rakentamaan, vaan työssä käytettiin Kajaanin ammattikorkeakoulun laboratoriolaitteita.

Tutkimukseen vaikutti muutama mittauksiin liittyvä ehto. Lopullisen konenäköjärjestelmän tulisi pystyä suorittamaan mittauksia tarkimmillaan 0,05 mm:n epätarkkuudella. Tästä johtuen työssä pyrittiin tutkimaan myös asioita, jotka ovat tarkkuuden kannalta olennaisia.

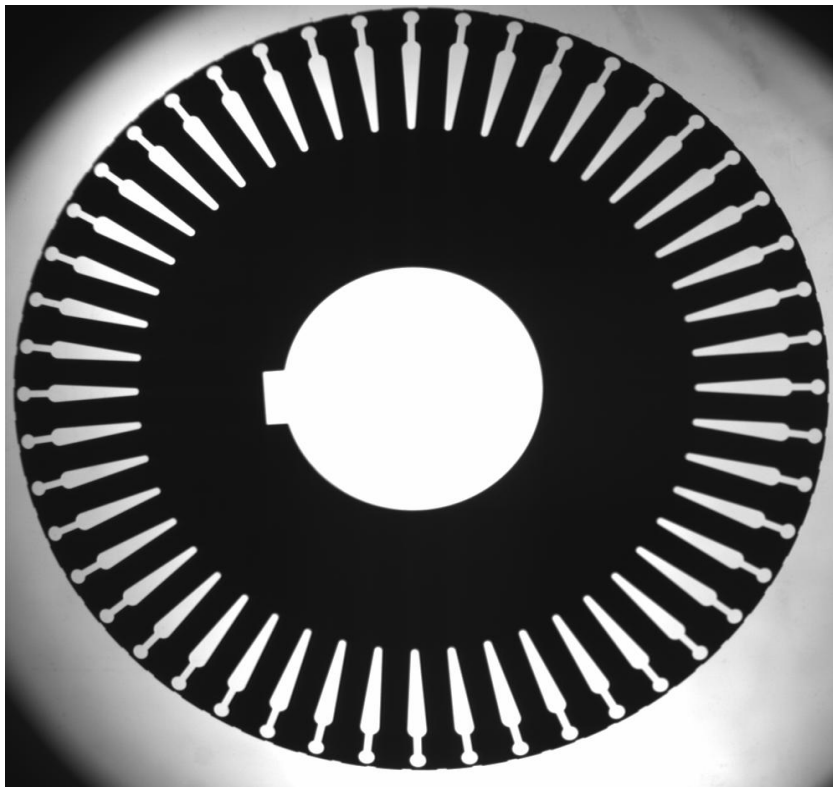
2 TUTKITTAVAT KOHTEET

Tutkittavana kohteena olivat sähkömoottoreissa käytettävät roottori- ja staattorilevyt. Koh-teista tuli saada selville tärkeitä mittoja sekä muita ominaisuuksia.

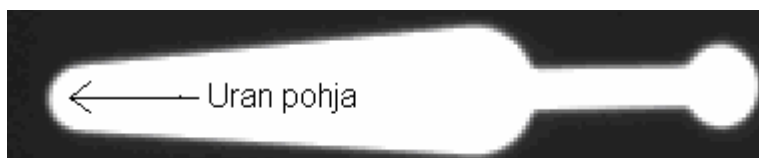
Roottorilevyt

Tutkittavat roottorilevyt olivat kuvan 1 kaltaisia. Levyjä on erikokoisia ja niissä on eroja, ku-ten erilaisia uramuotoja ja valmistusmateriaaleja. Urat ovat kuvan 2 mukaisia. Kaikille rootto-rilevyille on yhteistä, että ne ovat ohuita, ympyrän muotoisia metallilevyjä. Levyistä tuli saada selville seuraavat tiedot:

1. Akselireiän halkaisija
2. Ajomitta eli etäisyys uran pohjasta vastakkaisen uran pohjaan
3. Uravinous eli uran kulmaero levyn keskipisteen kautta kulkevaan normaaliin
4. Meistettäessä syntyneen jäystepurseen korkeus
5. Urien lukumäärä
6. Oikea uramuoto ja uran koko



Kuva 1. Roottorilevy.



Kuva 2. Roottorilevyn ura.

Stattorilevyt

Tutkittavat stattorilevyt ovat kuvan 3 mukaisia. Myös stattorilevyjä oli erikokoisia, erimuotoisia ja eri materiaaleista valmistettuja. Stattorilevyn ura on esitetty kuvassa 4. Levyistä oli tarkoitus selvittää seuraavat tiedot:

1. Ajomitta eli levyn sisähalkaisija
2. Jakoheitto eli ulkokehän urien ja stattoriurien välinen sijainti toisiinsa nähden
3. Aukon keskeisyys eli etäisyys levyn ulkokehältä uran pohjaan
4. Uravinous eli uran kulmaero levyn keskipisteen kautta kulkevaan normaaliin

5. Uraheitto eli uran leveysvaihtelu
6. Levyn meistossa syntyneen jästepurseen korkeus
7. Urien lukumäärä



Kuva 3. Stattorilevy.

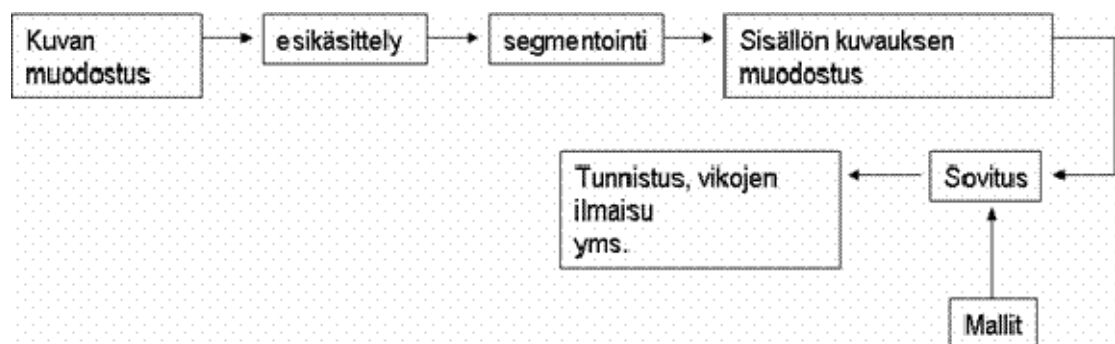


Kuva 4. Stattorilevyn ura.

3 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ

Konenäköjärjestelmä koostuu yleensä kamerasta, valonlähteestä sekä kuvankaappauskortilla varustetusta tietokoneesta tarvittavine ohjelmistoinen. Konenäköä käytetään tunnistamaan kuvattavasta kohteesta erilaisia ominaisuuksia, esimerkiksi pinnan virheitä tai kappaleen mittoja. Usein konenäköjärjestelmä on vuorovaikutuksessa suuremman järjestelmän kanssa, jolloin konenäköjärjestelmän tuottamaa tietoa voidaan hyödyntää moninaisten tehtävien suorittamisessa.

Usein konenäköllä ymmärretään kuvien tuottamista halutusta kohteesta, niiden käsittelyä ja hyödynnettävissä olevan kuvauksen muodostamista kuvien sisällöstä. Tätä määritelmää kutsutaan kuva-analyysiksi, jonka tyypilliset vaiheet on esitetty kuvassa 5. Kuva-analyysillä on monia sovelluskohteita, kuten visuaalinen laaduntarkastus sekä näkevät robotit.



Kuva 5. Kuva-analyysin vaiheet.

Konenäön käyttämisessä esimerkiksi tuotantolinjan laaduntarkistuksessa on monia hyötyjä. Järjestelmät voidaan rakentaa hyvin nopeiksi, jolloin jopa reaaliaikaiset mittaukset ovat mahdollisia. Konenäön etuna on suuri tarkkuus ja luotettavuus verrattuna ihmisen tekemiin mittauksiin.

3.1 Kamerateat

Nykyisin on olemassa lukuisia erilaisia konenäkökaineroita eri tarkoituksiin. Tietynlaiset kamerat sopivat paremmin tiettyjen asioiden mittauksiin kuin toiset. On olemassa analogisia ja digitaalisia konenäkökaineroita. Digitaalisen kameran kennotekniikka voi olla CCD- tai CMOS-pohjainen, joista CCD-tekniikka on ainakin vielä nykyään käytetympi.

Analogiset kamerat

Perinteinen konenäkösovelluksissa käytettävä videokamera tuottaa analogisen videosignaalin. Videosignaali sisältää kaiken kuva- ja synkronointi-informaation. Tällaista kameraa kutsutaan ns. komposiittivideokameraksi. Konenäkösovelluksissa käytetään myös kameroita, joissa synkronointisignaalit ovat omissa johtimissaan. Tällaisella kameralla kuvan muodostus voidaan aloittaa ulkoisella pulssilla. [1, s. 6.]

Analogiset kamerat ovat välttäviä ratkaisuja tapauksissa, jolloin kuvan tarkkuus ei ole pääasia ja halutaan mahdollisimman edullinen kamera. Analoginen kamera on toimiva ratkaisu esimerkiksi silloin, kun kohteesta halutaan selvittää esimerkiksi pinnan laatuviikoja.

Digitaaliset kamerat

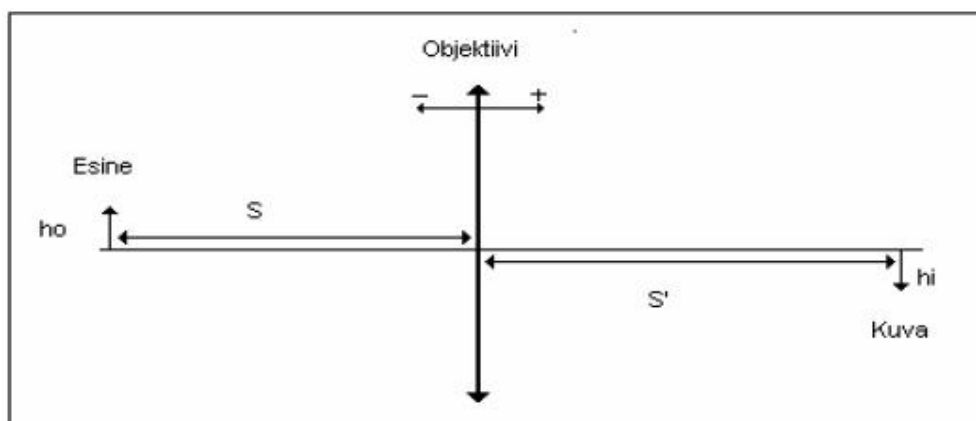
Digitaaliset kamerat siirtävät kuvainformaation kuvankaappauskortille digitaalisena. Digitaalisen kamerasen etuna on parempi tarkkuus analogiseen kameraan nähden. Lisäksi digitaalisilla kameroilla saadaan aikaiseksi suurempi kuvaustaajuus riippuen tiedonsiirtotavasta. Nykyisin on myös saatavilla USB- ja Firewire- tekniikkaan perustuvia kameroita, jolloin kuvankaappauskorttia ei tarvita.

3.2 Optiikka

Kameran optiikalla on suuri merkitys saatavan kuvan laatuun. Vääristymät optiikassa aiheuttavat saatavaan kuvaan vastaavanlaisen virheen. Kameran tarkennusetäisyys, kuvausaukon koko ja kamerasen etäisyyden muutokset aiheuttavat kuvaustulokseen muutoksia. Mikäli asetukset muuttuvat, täytyy järjestelmä kalibroida uudelleen. [1, s. 5.]

Gaussin kuvausyhtälö

Esineen etäisyys, kuvan etäisyys ja objektiivin polttoväli riippuvat toisistaan Gaussin kuvausyhtälön mukaisesti. Kuvan 6 perusteella



Kuva 6. Gaussin kuvausyhtälön periaatekuva

voidaan kuvausyhtälö esittää muodossa

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f},$$

missä s' on kuvan etäisyys objektiivista, s on esineen etäisyys objektiivista ja f on objektiivin polttoväli. [2, s. 49.]

f-luku ja aukkoluku

Objektiivien läpi pääsevän valon määrää kontrolloidaan himmentimen avulla. f-luku määritellään seuraavasti:

$$\text{f-luku} = (\text{efektiivinen polttoväli}) : (\text{tulopupillin halkaisija})$$

f-luku kuvaa objektiivin valovoimaa eli kykyä päästää valoa läpi, kun himmennin on täysin auki. Mitä pienempi f-luku on, sitä valovoimaisempi on optiikka, eli samaan valaistukseen päästään lyhyemmällä valotusajalla.

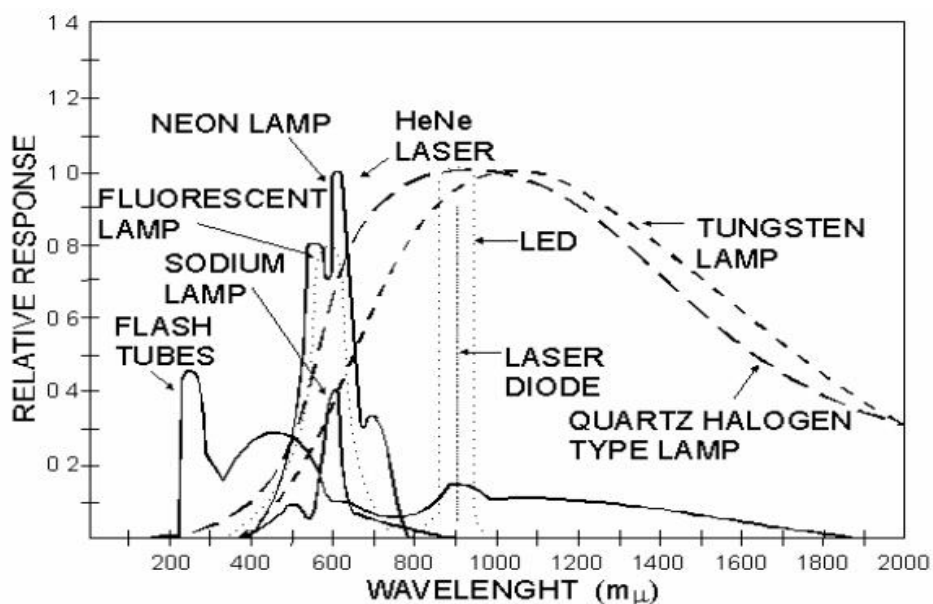
Aukkoluvulla kuvataan valotuksen muuttumista himmentimen aukon koon suhteen. Aukkoluku määritellään samalla tavalla kuin f-luku, paitsi että himmennin ei ole täysin auki. Usein himmentimen aukon kokoa voidaan muuttaa $\sqrt{2}$:n kerrannaisina (1, 1.4, 2, 2.8, 4,...) Kun aukkolukua suurennetaan $\sqrt{2}$:lla, pienenee tulopupillin pinta-ala puoleen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että halutessa päästä samaan valaistukseen kasvaa valotusaika kaksinkertaiseksi. [2, s. 50.]

3.3 Valaistus

Valaistus on erittäin tärkeä osa-alue konenäköjärjestelmän suunnittelussa. Hyvän valaistuksen avulla kuvista saadaan korostettua ominaisuuksia, joista ollaan kiinnostuneita. Kuvien käsittely ja tulkitseminen helpottuu, mikäli valaistus on onnistunut.

Valolähteet

Valonlähteet voidaan jaotella koherentteihin ja ei-koherentteihin valonlähteisiin riippuen siitä, mikä on valon interferenssikuvioiden tuottamiskyky. Ei-koherentteja valonlähteitä ovat fluoresenssiputket ja termiset valonlähteet, kuten hehkulamput. Kuvassa 7 on graafinen esitys erilaisista valonlähteistä ja niiden tuottamista spektreistä. [3, s. 4.]



Kuva 7. Valonlähteiden spektrit.

Tyypillisiä koherentteja valonlähteitä ovat laserit, joista yleisimpiä ovat Helium Neon -laser ja puolijohdelaserit. Laserien etuna on suurempi säteilytysteho pinta-alayksikköä kohti kuin millään ei-koherentteilla valonlähteillä. Laserien ongelmana on ns. Speckle-kohina, joka ilmenee valaistavassa kohteessa näkyvinä tummempina ja vaaleampina alueina. [3, s. 4.]

LED-valaisimet ovat yleistyneet suuresti viime vuosina niiden laadun paranemisen ja monikäyttöisyyden vuoksi. LED-valaisimella saadaan aikaan välikkymätön ja suuri-intensiteettinen

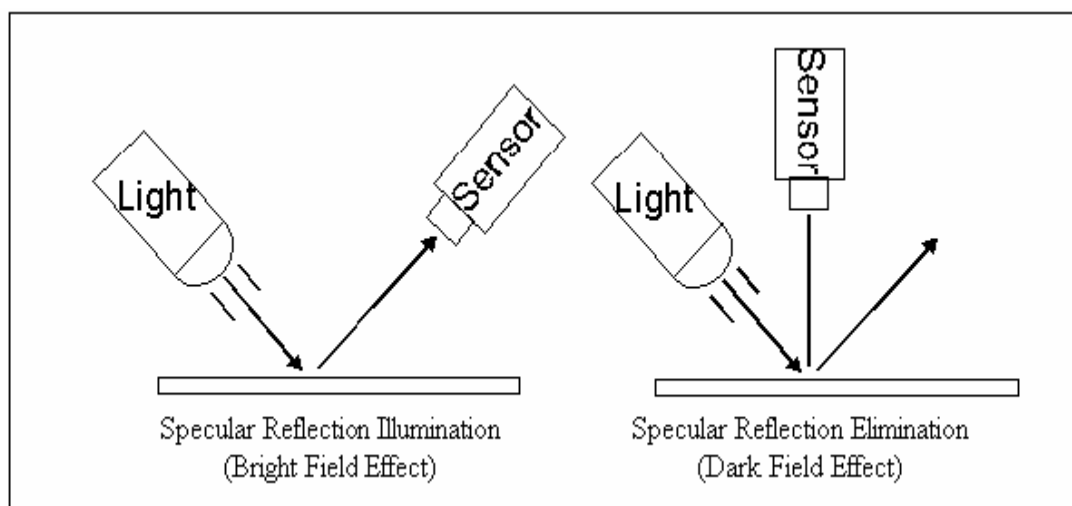
valaistus. LED-valaisimilla voidaan toteuttaa monenlaisia rakenteita, kuten taustavalo, valaistus sivulta tai ylhäältä, valon diffuusoiminen ja viivamainen rakenne. [3, s. 4.]

Valaistusmenetelmät

Valonlähteet jaotellaan yleensä niistä tulevan valon suuntautuneisuuden perusteella. Diffuusit valonlähteet jakavat valon tasaisesti kaikkiin avaruuskulmiin valaisimen rajoitusten rajoissa. Kollimoidut valonlähteet tuottavat mahdollisimman yhdensuuntaista valoa. Seuraavassa on esitetty erilaiset valaistusmenetelmät pääpiirteittäin. Konenäköjärjestelmän suunnittelussa valaistusta ei välttämättä voida rakentaa puhtaasti pelkästään yhteen menetelmään perustuen, vaan valaistus on usein monimutkainen kokonaisuus järjestelmässä.

Etupuolinen valaistus

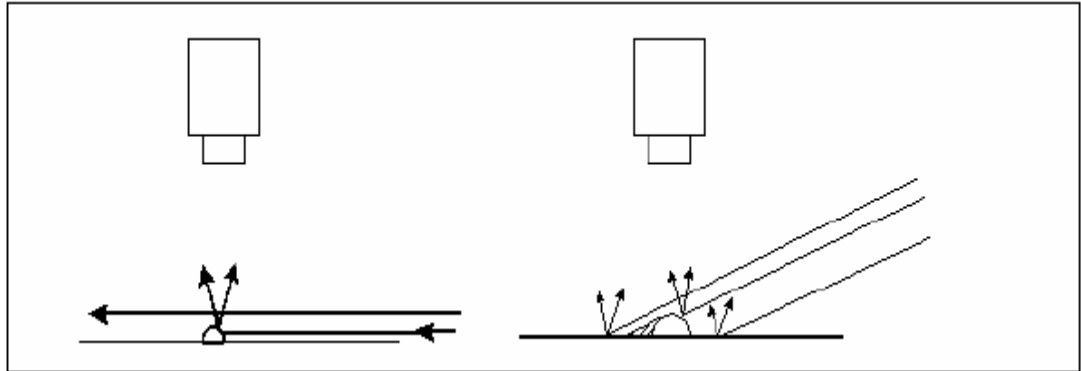
Etupuolisella valaistuksella voidaan kuvata osittain peiliheijastavia pintoja joko valon peiliheijastunutta komponenttia (bright field) tai diffuusia komponenttia (Dark field) hyödyntämällä (kuva 8). [3, s. 6.]



Kuva 8. Etupuolinen valaistun kentän ja pimeän kentän valaistus.

Sivustapäin valaisu

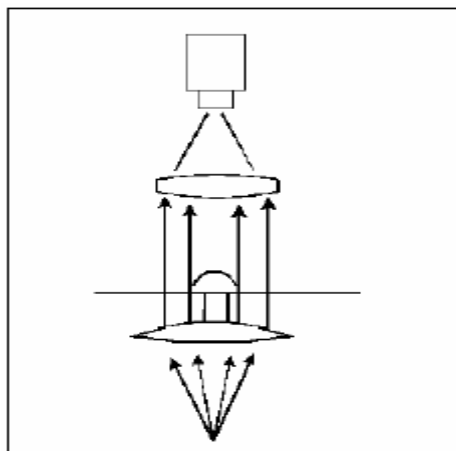
Sivusta päin valaisemalla kuvaan aiheutetaan tahallisesti voimakkaita heijastumia tai varjoja (kuva 9). Kyseisellä valaisutavalla kuvasta saadaan esimerkiksi mallinnettua kuvattavan kappaleen 3D-muotoa. [3, s. 8.]



Kuva 9. Suunnattu sivusta päin -valaisu.

Takaapäin valaisu

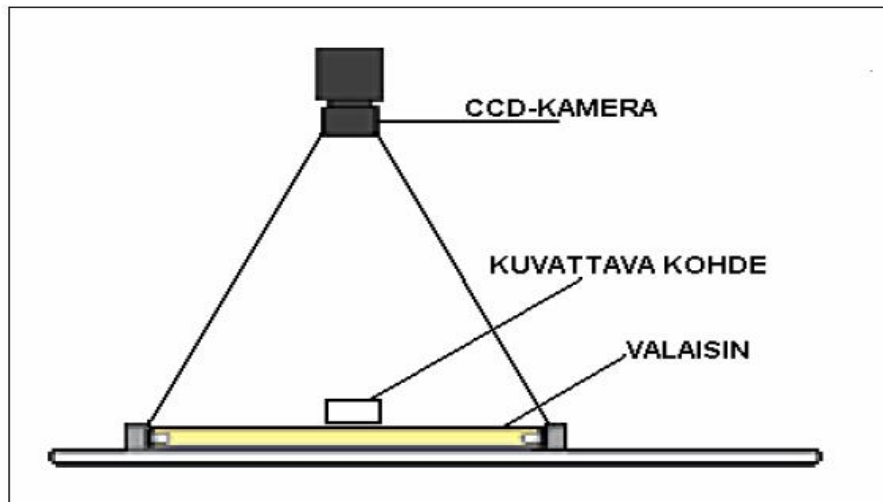
Takaapäin valaisemalla saadaan kuvassa näkymään kohteen siluetti. Tällä valaisutavalla kuvaan saadaan jyrkkä kontrasti kappaleen ja ympäristön välillä, jolloin kuva on helppo kynnystää binääriseksi ja esimerkiksi kappaleen dimensiot saadaan helposti mitattua. Diffuusi valo voi aiheuttaa heijastumia kohteen pinnalla, jolloin käytetään suunnattua takaapäin valaistusta (kuva 10). [3, s. 8.]



Kuva 10. Suunnattu takaapäin -valaistus.

Taustavalaistus

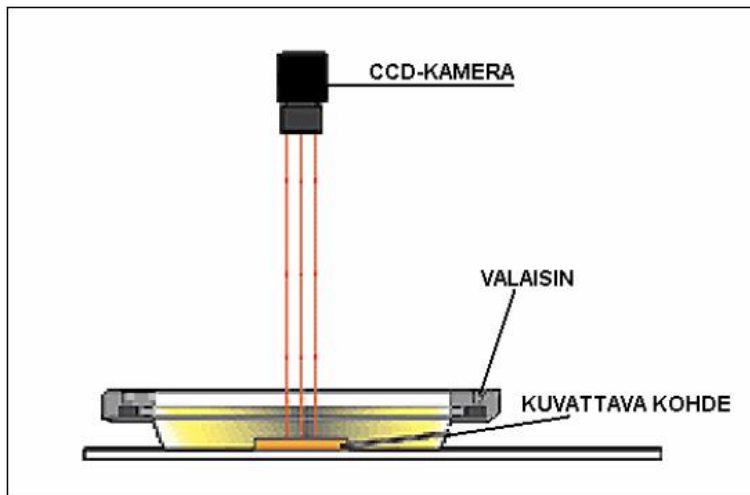
Taustavalaistuksen periaate on esitetty kuvassa 11. Valaisimen kehällä on LEDejä, jotka aikaansaavat tasaisen valon intensiteetin koko valaisimen alalle. Taustavalaistuksella saadaan aikaan erittäin suuri kontrasti kappaleen ja taustan välille (jopa täysin mustavalkoinen kuva), jolloin kappaleen dimensioiden mittaaminen onnistuu luotettavasti. Taustavalaistuksella kuvaan ei tule lainkaan haitallisia heijastumia. [3, s. 9.]



Kuva 11. Taustavalaistuksen periaate.

Pimeän kentän valaistus

Pimeän kentän valaistuksen periaate on esitetty kuvassa 12. Valaisin voidaan asettaa lähelle kuvattavaa kohdetta tai kohde voi olla myös valaisimen sisällä. Pimeän kentän valaistusta käyttämällä kappaleesta nähdään kuvassa erilaiset virheet ja painaumat tummaa taustaa vasten. Valaistustyyli sopii siksi hyvin erilaisten pintavikojen tutkimiseen. [3, s. 9.]



Kuva 12. Pimeän kentän valaistuksen periaate.

3.4 Kameraliitännät

Nykyisin tiedonsiirto kameralta tietokoneelle voidaan toteuttaa monin eri keinoin. Digitaalisten kameroiden tiedonsiirtotapaa ja kaapelointia ei ole vielä standardoitu, mutta vallalla on muutamia erityyppisiä ratkaisuja. Seuraavassa on esitetty muutamia perusasioita kameroiden tiedonsiirrosta.

Kuvankaappauskortti

Kuvankaappauskorttia käytetään nimensä mukaan kaappaamaan kuva kameralta. Digitaalisten kameroiden tapauksessa kuvankaappauskortti toimii rajapintana kameran ja PC:n välillä. Analogisten kameroiden tapauksessa kuvankaappauskorttia tarvitaan kuvan vastaanottamiseen ja digitointiin. Analogista kuvaa voidaan tämän jälkeen käsitellä digitaalisena tietokoneella.

TTL-, RS-422- ja LVDS-signaalit

Maapotentiaalia vasten kytkettyjä TTL-tasoisia signaaleja on käytetty datan ja muiden signaalien siirrossa kameran ja kuvankaappauskortin välillä. Tehokas siirtoetäisyys (siirtojohtoon pituus) on vain muutaman metrin luokkaa aiheutuen suuresta häiriöherkkyydestä ja suuresta

on- ja off-tilan välisestä jännite-erosta (0 V - 5 V). TTL-tasoinen siirto on jo väistynyt tehokkaampien siirtotapojen myötä. [2.]

RS-422 on differentiaalinen siirtolinja, jonka on- ja off-tilan vaihteluväli on 0,30 V - 3,30 V. Se ei ole yhtä häiriöherkkä kuin TTL-tasoinen siirto differentiaalisuudesta aiheutuen. Suurin siirtoetäisyys on noin 8 metriä. Kellotaajuus on rajoittunut 20 MHz:n luokkaan tilojen suuren vaihteluvälin takia. RS-422-linjan kaapelointi on hankalaa johtuen differentiaalisuuden ja siirron rinnakkaisuuden aiheuttamasta liittinnastojen tarpeesta. [2.]

LVDS eli Low Voltage Differential Signaling on standardoitu National Semiconductorin lanseeraama siirtolinja. Se on differentiaalinen vakiovirtageneraattoriin perustuva ratkaisu. Tästä syystä sen häiriönsieto on todella suuri. Koska tilojen välinen jännite-ero on pieni, myös linjan nopeus on suuri. Datan siirto PC:lle onnistuu nopeudella 100 Mbyte/s. Liittimenä käytetään yleensä 100-napaisia liittimiä, mistä johtuen kaapelointi on hankalaa. [2.]

Camera Link

Camera Link perustuu National Semiconductorin esittelemään väylään ja sen toiminta perustuu LVDS-tekniikan käyttöön siirtotienä. Siinä multiplexoidaan 28 digitaalista linjaa neljään LVDS-linjaan ja sen suurin siirtonopeus on yli 1,6 Gbit/s. Camera link on nopein olemassa oleva tiedonsiirtotapa konenäkösovelluksissa. Siksi sitä käytetään sovelluksissa, joissa tarvitaan suurta kuvausnopeutta, suurta resoluutiota tai molempia. [2.]

USB ja Firewire

USB- ja Firewire-liitäntöjen etuna on se, että kuvankaappauskorttia ei tarvita kuvausprosessissa lainkaan. Monissa uudemmissa tietokoneissa on nämä liitännät valmiina ja tiedonsiirto onnistuu suoraan kameran tietokoneelle. USB ja Firewire ovat koko ajan suosiotaan kasvattavia kameraliitäntöjä kustannustehokkuutensa ja helposti toteutettavan liitännän ansiosta.

4 KUVANKÄSITTELY

Digitaalinen kuvankäsittely tarkoittaa käytännössä sähköisessä muodossa olevan kuvan muokkaamista kuvankäsittelyohjelmien avulla. Kuvankäsittely on kriittinen osa konenäköjärjestelmän toimintaa. Tässä kappaleessa on käsitelty joitakin tärkeitä kuvankäsittelyfunktioita.

4.1 Kuvankäsittelyn perusteet

Kuva voidaan ajatella 2-ulotteisena funktiona $f(x, y)$, missä x ja y ovat spatiaalikoordinaatteja ja f :n arvo viittaa harmaasävyyn intensiteettiin kussakin pisteessä (mustavalkoisen kuvan tapauksessa). Digitaalisesta kuvasta puhutaan silloin, kun kaikki $f(x, y)$:n arvot esitetään diskreetissä muodossa. Yksittäinen funktion arvo $f(x, y)$ tarkoittaa kuvassa olevaa yhtä kuvaelementtiä eli pikseliä. [4, s. 1.]

4.2 Kuvan esikäsittely

Kuvan esikäsittelyn tarkoitus on parantaa kuvan laatua ennen varsinaista kuvainformaation hyödyntämistä. Käytännössä tämä tarkoittaa kohinan poistamista, kontrastin parantamista sekä ylimääräisen kuvainformaation poistamista kuvasta. Hyvin suoritettu esikäsittely helpottaa kuvan myöhempää käsittelyä.

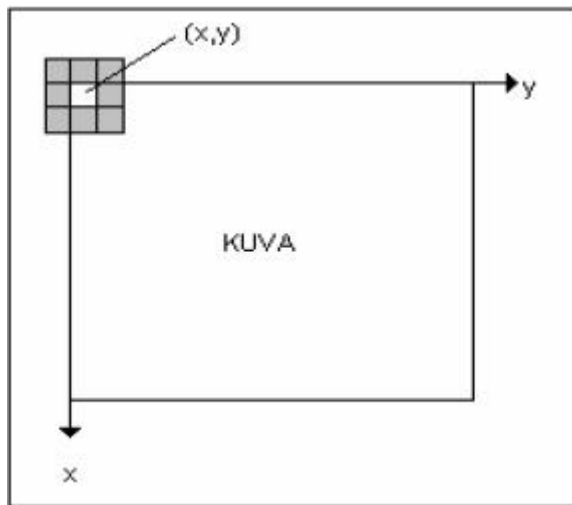
4.3 Suodattimet

Suodattimien avulla kuvasta voidaan poistaa kohinaa, terävöittää kuvaa tai korostaa jotain tiettyä ominaisuutta kuvassa. Suodatin voi olla spatiaalinen tai taajuustasossa suoritettu. Suodattimet ovat merkittäviä lähinnä kuvan esikäsittelyvaiheessa.

Spatiaaliset suodattimet

Spatiaalinen suodatus tarkoittaa operaatiota, jossa suodatus kohdistuu suoraan pikseleihin. Spatiaalisessa suodatuksessa ja yleensäkin spatiaalisissa menetelmissä kullekin kuvapisteelle

saadaan uusi arvo liikuttamalla eräänlaista alikuvan keskustaa kuvan yli (kuva 13). Tätä operaatiota kutsutaan maskaukseksi. [4, s. 117.]



Kuva 13. Maskauksen periaate.

Kuvassa 8 maskioperaattori on kooltaan 3X3, mutta olemassa on myös suurempia maskeja. Voidaan ajatella, että suurempi maski vaikuttaa kuvaan enemmän. Maski vaikuttaa kuvaan eri tavalla riippuen, millaista funktiota käytetään.

Tasoittavat suodattimet

Tasoittavia suodattimia (smoothing filter) käytetään yleensä kohinan vähentämiseen. Se onnistuu joko lineaarisen tai epälineaarisen tasoittavan suodattimen avulla.

Lineaarisia tasoittavia suodattimia kutsutaan yleensä alipäästösuodtimiksi. Joskus niitä kutsutaan myös keskiarvoistussuodattimiksi niiden toimintaperiaatteen takia. Lineaarisen tasoittavan suodattimen vaste on keskiarvo suodatusmaskin ympäristön pikseleiden harmaasävyistä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että harmaasävyjen erot tasoittuvat koko kuvan alueella. Satunnaisen kohinan vähentäminen voidaan toteuttaa alipäästösuodattimen avulla, koska satunnainen kohina koostuu tyypillisesti suurista harmaasävyjen eroista. Huonona puolena näissä suodattimissa voidaan pitää sitä, että kuva sumentuu niitä käytettäessä. [4, s. 119.]

Myös epälineaarisia tasoittavia suodattimia käytetään kohinan poistamiseen. Tärkein ja käytetyin tämän kaltainen suodatin on mediaanisuodatin, koska niillä voidaan poistaa kohinaa erittäin tehokkaasti eikä kuva sumennu lähellekään niin paljon kuin alipäästösuodattimien tapauksessa.

Terävöittävät suodattimet

Terävöittävien suodattimien tärkein tehtävä on parantaa kuvan yksityiskohtien terävyyttä. Terävöittävien suodattimien käyttö helpottaa varsinkin reunojen tunnistusta myöhemmissä kuvankäsittelyn vaiheissa. Terävöittävien suodattimien ongelma on, että ne korostavat myös kuvassa olevia virheitä. Tästä syystä on tärkeää, että esimerkiksi kohina saadaan poistettua kuvasta ennen terävöittävä suodattimen käyttöä. [4, s. 125.]

4.4 Segmentointi

Segmentoinnilla tarkoitetaan kuvan jaottelemista eri osa-alueisiin. Segmentointi on vaativin osa-alue kuvankäsittelyssä ja sen onnistumisesta riippuu usein koko kuva-analyysin onnistuminen. Onnistuneella valaistuksella on usein suuri merkitys segmentoinnin onnistumiseen.

Segmentointi perustuu joko samankaltaisuuden tai epäjatkuvuuden havaitsemiseen. Edellisessä tapauksessa kuva jaotellaan alueisiin, jotka ovat samankaltaisia ennalta määrättyjen kriteerien mukaan. Tällaisia segmentointitapoja ovat esimerkiksi kynnystys, alueen kasvatus sekä alueen pilkkominen ja yhdistäminen. Jälkimmäisessä tapauksessa segmentointi perustuu äkillisten intensiteetin muutosten, kuten reunojen, pisteiden ja viivojen havaitsemiseen. [4, s. 568.]

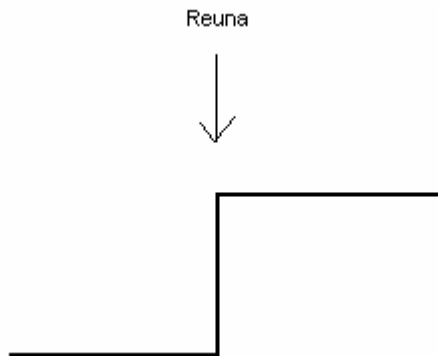
Kynnystys

Kuvan kynnystys on keskeinen osa useimmissa kuvan segmentointiopeeraatioissa. Kynnystyksessä kuvasta muodostuu binäärinen kuva, jossa kuvattava kohde erottuu taustasta. Yksinkertaisimmillaan puhutaan globaalikynnestyksestä, jolloin kynnystysarvo riippuu kaikkien pikseleiden harmaasävyarvosta. Kynnysarvolla tarkoitetaan raja-arvoa, joka jakaa sitä pienemmät harmaasävyarvot "0:ksi" ja suuremmat "1:ksi". Kynnystyksessä voidaan käyttää myös useampia kynnysarvoja, mutta tällöin kynnysarvojen valinta on vaikeampaa. [4, s. 595]

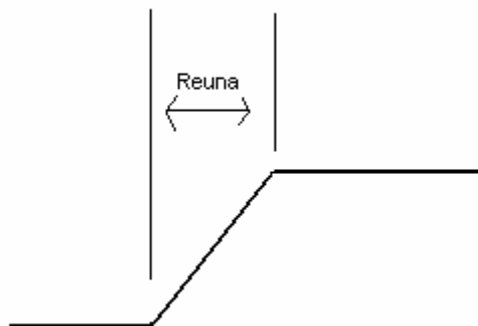
Binääriselle kuvalle voidaan tehdä monipuolisempia kuvankäsittelyoperaatioita kuin normaalille harmaasävykuvalle, koska kuva on huomattavasti yksiselitteisempi. Lisäksi onnistuneen kynnestyksen avulla kuvasta voidaan esimerkiksi hävittää kohteen aiheuttamat varjot taustaa vasten.

Reunan havainnointi

Reunan havainnointi on käytetyin epäjatkuvuuden havaitsemiseen perustuva segmentointitapa. Yleisesti ottaen reuna on sarja yhdistyneitä pikseleitä, jotka sijaitsevat kahden eri alueen rajalla. Reunan havainnointi perustuu äkilliseen harmaasävyn muutokseen. Ideaalitapauksessa harmaasävy muuttuu suoraan mustasta valkoiseksi, eikä muita harmaasävyjä ole (kuva 14). Käytännössä harmaasävy muuttuu kuitenkin vähitellen (kuva 15). [4, s. 572]



Kuva 14. Ideaalitapaus reunan havainnoinnista.



Kuva 15. Käytännön tapaus reunan havainnoinnista.

Usein riittää pelkkä reunan havaitseminen, mutta jos kuvasta halutaan mitata esimerkiksi etäisyyksiä reunojen välillä, kuvassa 15 esiintyvä nousu halutaan mahdollisimman lähelle ideaalitapausta. Mitä jyrkempi nousu on, sitä tarkemmin reunan sijainti saadaan selville, eikä mittavirhettä synny niin paljon. Yleisesti voidaan ajatella, että reuna on sitä leveämpi, mitä enemmän se on sumentunut. [4, s. 573]

Monet mittaukset konenäössä perustuvat reunan havaitsemiseen. Reunojen avulla voidaan esimerkiksi mitata etäisyyksiä, laskea kulmia tai reunojen väliin jääviä pinta-aloja. On siis hyvin tärkeää, että reunojen tarkka paikannus onnistuu.

4.5 Morfologiset operaatiot

Morfologisten operaatioiden avulla kuvaa voidaan käsitellä monin eri tavoin. Kohteita voidaan supistaa tai laajentaa, suuret tai pienet kohteet voidaan poistaa ja reiät voidaan täyttää. Edellä mainittujen lisäksi sovelluksia on lukuisia. Morfologisten operaatioiden käytöllä on suuria hyötyjä monipuolisuutensa vuoksi. Morfologisia operaatioita voidaan tehdä joko suoraan harmaasävykuvalla tai binääriselle kuvalle. Harmaasävykuva täytyy kynnystää binääriseksi, ennen kuin siihen voidaan kohdistaa binäärisiä operaatioita.

Binääriset operaatiot

Binäärinen morfologinen operaatio perustuu loogisten operaatioiden käyttöön (AND, OR, XOR,...). Loogiset operaatiot kohdistuvat vuorotellen jokaiseen kuvan pikseliin. Morfologiset operaatiot vaativat toimiakseen strukturointielementin, jonka pikselien arvot voivat saada vain arvoja "1" tai "0". Kuvassa 16 on esitetty periaatekuva strukturointielementistä. Strukturointielementtiä liikutetaan kuva-alueen yli ja kuvan pikseliarvot joko muuttuvat ($1 \rightarrow 0$ tai $0 \rightarrow 1$) tai pysyvät ennallaan riippuen siitä, täyttääkö strukturointielementin ja kuvan pikselit jonkin loogisen ehdon. Seuraavassa on esitelty muutamia tärkeitä binäärisiä operaatioita. [4, s. 522]

0	0	0
1	1	1
0	0	0

Kuva 16. 3X3-kokoinen strukturointielementti.

Dilaatio ja eroosio

Dilaatio ja eroosio ovat binäärisen morfologian perusoperaatioita. Monet muut operaatiot perustuvat näihin operaatioihin. [4, s. 523]

Dilaation avulla kohteen reuna-alueita voidaan kasvattaa riippuen siitä, millaista strukturointielementtiä käytetään. Dilaatio muistuttaa hieman tekstin lihavoitua. Yksi helpoimmista dilaatiosovelluksista on välien täyttäminen, jota voidaan käyttää esimerkiksi huonokuntoisen tekstin rekonstruoinnissa. [4, s. 525]

Eroosio on käänteinen operaatio dilaatiolle eli siinä poistetaan kohteen reuna-alueilta pikseleitä riippuen strukturointielementin koosta ja sen pikseleiden arvosta. Eroosion avulla voidaan esimerkiksi poistaa tarpeettomia yksityiskohtia. [4, s. 527]

Hit-mis-operaatio

Hit-mis-operaatio on perustyökalu hahmontunnistukseen. Sen toiminta perustuu strukturointielementin muotoon. Operaatio jättää kuvaan vain ne pikselit, joilla on samanlaiset naapuripikselit, kuin strukturointielementin keskimmaisella pikselillä. Operaatiota voidaan käyttää esimerkiksi yksittäisten pikseleiden havaitsemiseen taustaa vasten tai esimerkiksi nurkkien havaitsemiseen nelikulmaisesta kappaleesta. [4, s. 532-533]

4.6 Hahmontunnistus

Hahmontunnistuksen avulla kohteesta voidaan etsiä toistuvia hahmoja. Tämä tapahtuu yleensä siten, että kuvankäsittelyohjelmalle "opetetaan" yhden hahmon muoto. Tämän jälkeen ohjelma etsii kuvasta muut hahmot, joiden muoto täyttää annetut ehdot. Yleensä voidaan tunnistus määrittää myös siten, että hahmon koko ei ole ratkaiseva asia, vaan pelkästään hahmon suhteellinen muoto ratkaisee. Usein voidaan myös päättää, täytyykö hahmojen olla täysin samanlaiset, vai riittääkö vähäisempi samankaltaisuus.

5 TYÖSSÄ KÄYTETTY LAITTEISTO

5.1 Kamera

Työssä käytettiin digitaalista harmaasävykameraa Adimec MX12P. Kamerassa on CCD-kennon. Kameraan päädyttiin siksi, koska se on oppilaitoksen tarkin kamera. Kuvassa 17 on esitetty kamerasen ulkoasu. Taulukossa 1 on esitetty kamerasen tärkeimmät ominaisuudet.



Kuva 17. Adimec MX12P.

Taulukko 1. Adimec MX12P-kamerasen ominaisuudet.

Resoluutio	1024 x 1024
Kennon koko	2/3"
Liitäntä	LVDS
Pikselin koko	7,5 μm x 7,5 μm

Kamerassa käytettiin kuvan 18 mukaista Rainbow-merkkistä objektiivia. Objektiivin polttoväli oli 6 millimetriä. Kyseistä objektiivia käytettiin siksi, että sen avulla kuvausetaisyudet saatiin pidettyä sopivan pieninä. Laboratorio-olosuhteissa olisi tullut ongelmia tilankäytössä, mikäli kuvausetaisyudet olisivat kasvaneet liikaa.



Kuva 18. Rainbow-objektiivi.

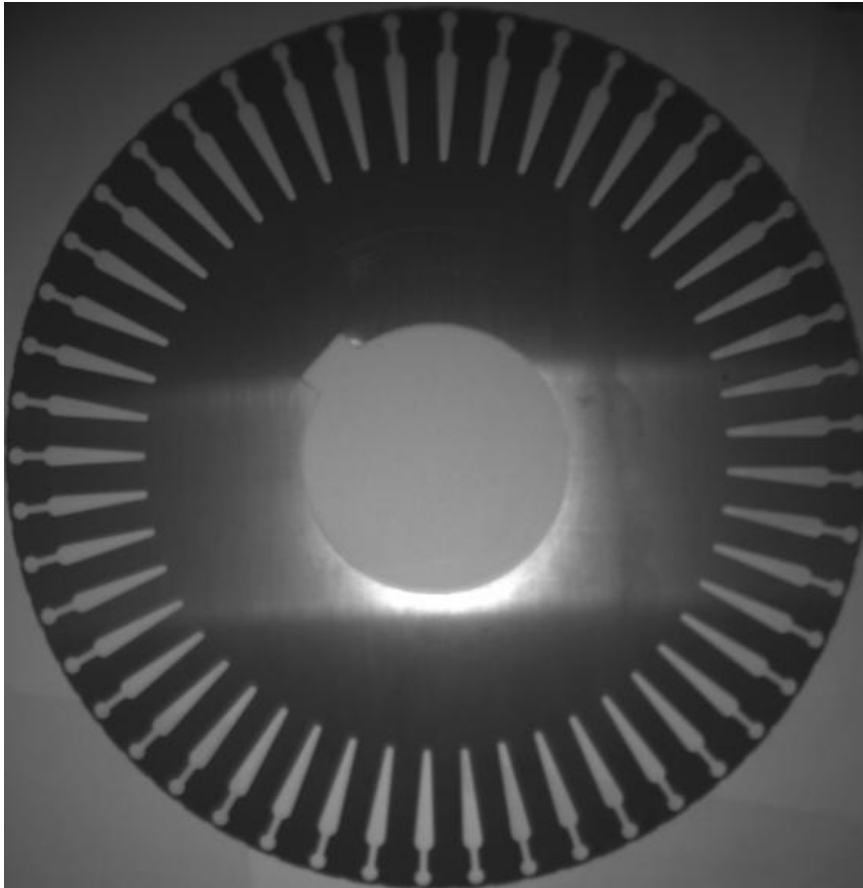
Työssä käytetylle kuvankaappauskortille ei ollut tärkeitä kriteereitä. Tietokoneessa oli valmiina paikoillaan Matrox Meteor II DIG -kuvankaappauskortti. Kortin suurimmaksi tiedonsiirtonopeudeksi on ilmoitettu 130 Mb/s, joka on riittävä, koska levyjen kuvaaminen ei vaadi suurta nopeutta.

5.2 Valaistus

Valaistuksen suunnittelu osoittautui kaikista kriittisimmäksi osa-alueeksi koko työssä. Runsaan kokeilemisen ja testaamisen tuloksena työssä päädyttiin käyttämään taustavalaistusta.

Aluksi järjestelmässä kokeiltiin diffuusialaisinta rengasvalaisinta. Tulokset olivat lupaavia ja kehityskelpoisia, mutta kuvassa esiintyi kiiltoa jossakin kohtaa kappaletta riippumatta kameran, valaisimen ja kappaleen välisistä etäisyyksistä. Kiilto saatiin pienennettyä melkein olemattomiin valaistustehoa pienentämällä, mutta tällöin kuvan kontrasti ja kirkkaus pienenevät liikaa.

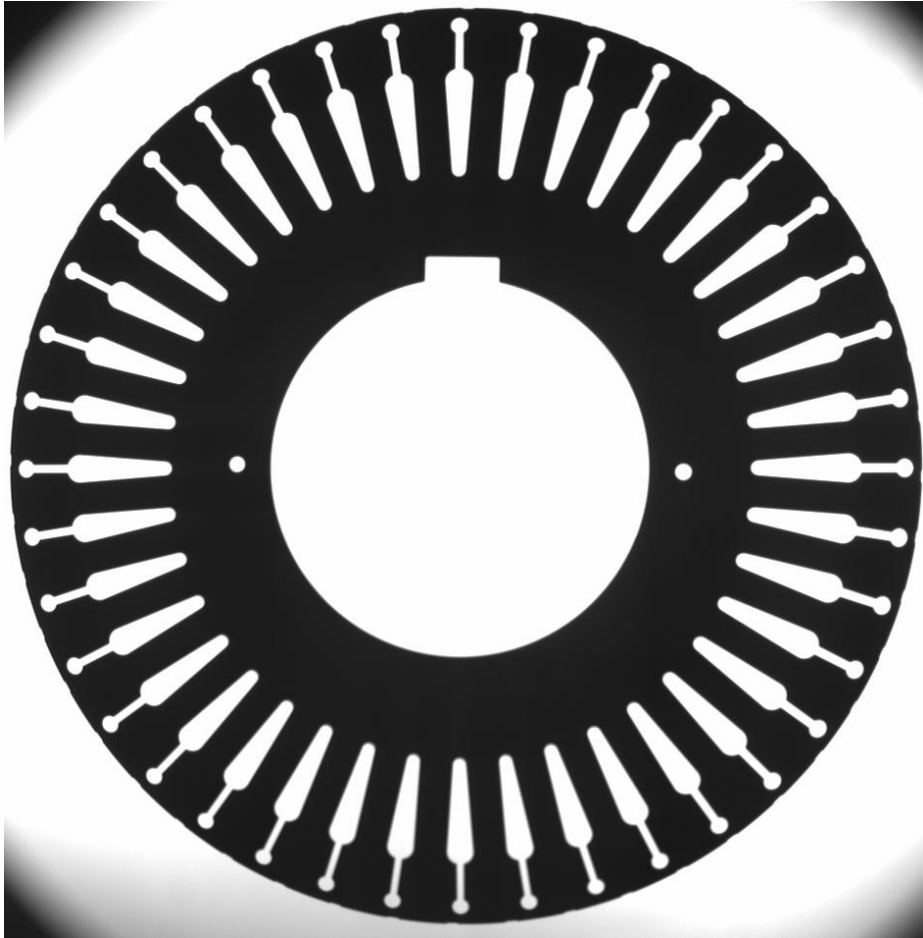
Kuvassa 19 on esitetty diffuusialaisilla rengasvalaisimella aikaan saatu kuva. Kuvassa on nähtävissä kiiltoa akselireiän ympärillä. Myöskään kuvan kirkkaus ei ole hyvä, mutta sopivia kuvankäsittelyfunktioita käyttämällä kirkkautta olisi saanut parannettua. Kiilto osoittautui erittäin haitalliseksi ominaisuudeksi, varsinkin kun kuvaa halutaan kynnystä binääriseksi.



Kuva 19. Roottorilevyn kuva diffuusilla rengasvalaisimella.

Taustavalaistus

Työssä päädyttiin käyttämään taustavalaistusta. Etuna tässä on se, että valaistaessa levyä alapäin kaikki kiilto saatiin eliminoitua ja kuvassa on erittäin suuri kontrasti levyn ja taustan välillä. Kuvassa 20 on esitetty kuva roottorilevystä taustavalaistusta käyttäen. Kuvasta nähdään, että taustavalaistimen ansiosta kappale näkyy mustana ja tausta valkoisena. Muita harmaasävyjä kuvassa ei juurikaan ole. Tämä helpottaa suuresti kuvan käsittelyä, varsinkin kun kuva kynnystetään binääriseksi. Lisäksi kappaleen reunojen havainnointi onnistuu hyvin ja luotettavasti.



Kuva 20. Roottorilevyn kuva taustavalaistuksella.

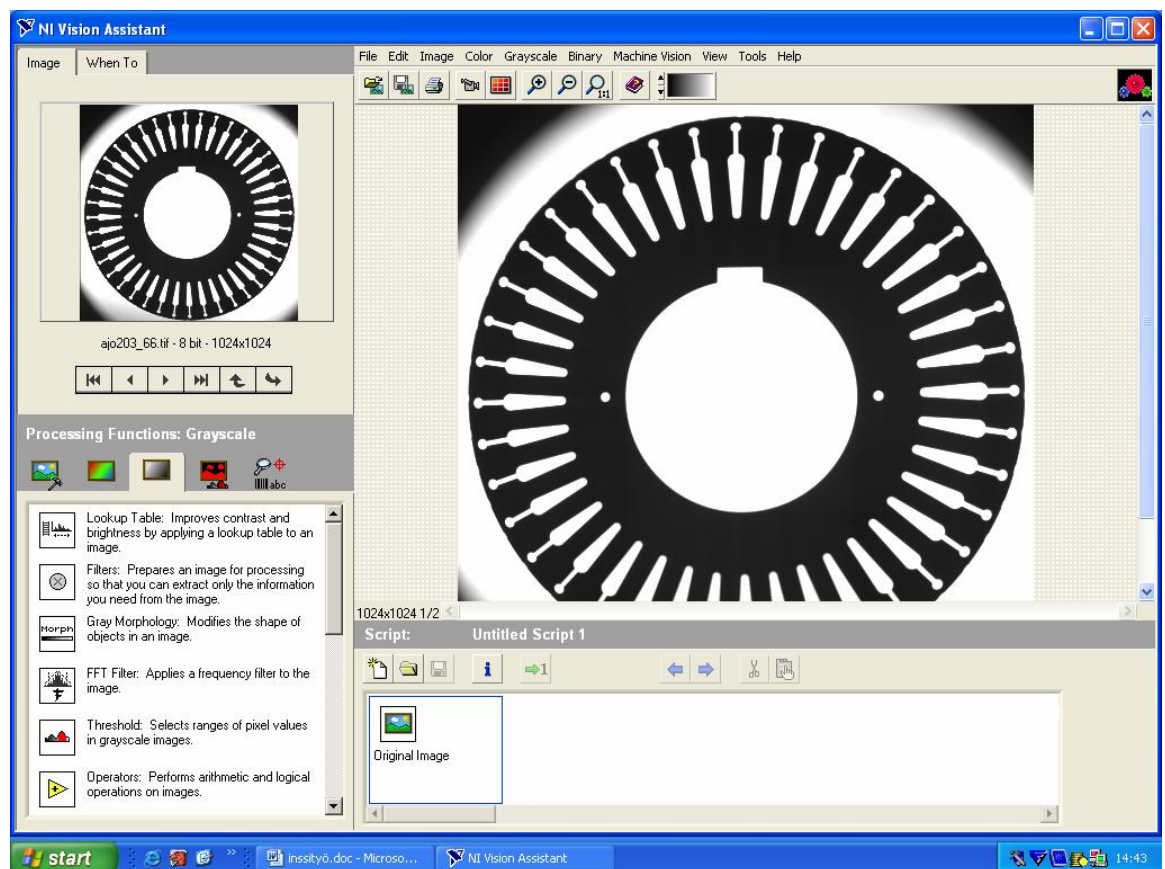
Ongelmana taustavalaistuksessa oli se, että oppilaitoksella ei ollut tarpeeksi suuria taustavalaistimia levyjen valaisemiseksi. Lopulta tultiin siihen tulokseen, että taustavalaistin olisi mahdollista rakentaa itse. Toimivaan taustavalaistimeen tarvitaan vain valkoinen valo läpäisevä pinta sekä intensiteetiltään tasainen valonlähde.

Pintana päädyttiin käyttämään maitopleksiä, koska se on suhteellisen edullista sekä mekaanisesti kestävä (ei naarmuunnu helposti). Valaisimia jouduttiin miettimään pidempään, koska tasainen valo koko pinnan alueella oli tärkeää. Lopulta päädyttiin käyttämään normaaleja pöytävalaisimen halogeenilamppuja. Kun niissä oli varjostimet paikallaan, saatiin jo kolmella lampulla suhteellisen tasainen valaistus pinnalle, kun etäisyys lamputa pintaan oli noin 30 cm. Valaisimelle koottiin 300 mm korkea kehikko muovista (pituus x leveys = 550 x 550). Lamput laitettiin kehikon sisään ja pleksi kehikon päälle. Valaisimen osia ei liitetty toisiinsa, koska se osoittautui turhaksi ja liian aikaa vieväksi työksi.

5.3 IMAQ Vision Assistant

Tutkimuksessa tehtyyn kuvankäsittelyyn käytettiin IMAQ Vision Assistant -ohjelmaa. Vision Assistant on National Instrumentsin lanseeraama konenäön ja kuvankäsittelyn testausympäristö, joka perustuu LabVIEW-ohjelmaan. Vision Assistantilla voidaan kaapata kuvaa ja tehdä erilaisia kuvankäsittely- ja konenäköoperaatioita. Vision Assistantilla voidaan luoda tehdyistä kuvankäsittelyoperaatioista skriptitiedosto, jonka avulla kuvankäsittelyoperaatiot voidaan kohdistaa toisiin kuviin. Lisäksi skriptitiedoston avulla voidaan muodostaa LabVIEW-ohjelma, joka monipuolistaa ohjelman ominaisuuksia.

Vision Assistant valittiin työhön siksi, koska se on selkeä ja tarpeeksi monipuolinen tällaiseen tutkimustyöhön. Lisäksi kuvankäsittelyoperaatioiden tekeminen on nopeaa ja suhteellisen yksinkertaista. Kuvassa 21 on esitetty Vision Assistant -ohjelman ulkoasu. Huomaa keskellä alhaalla oleva skripti-ikkuna sekä kuvankäsittelyfunktioikkuna vasemmalla alhaalla.



Kuva 21. Vision Assistant.

6 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

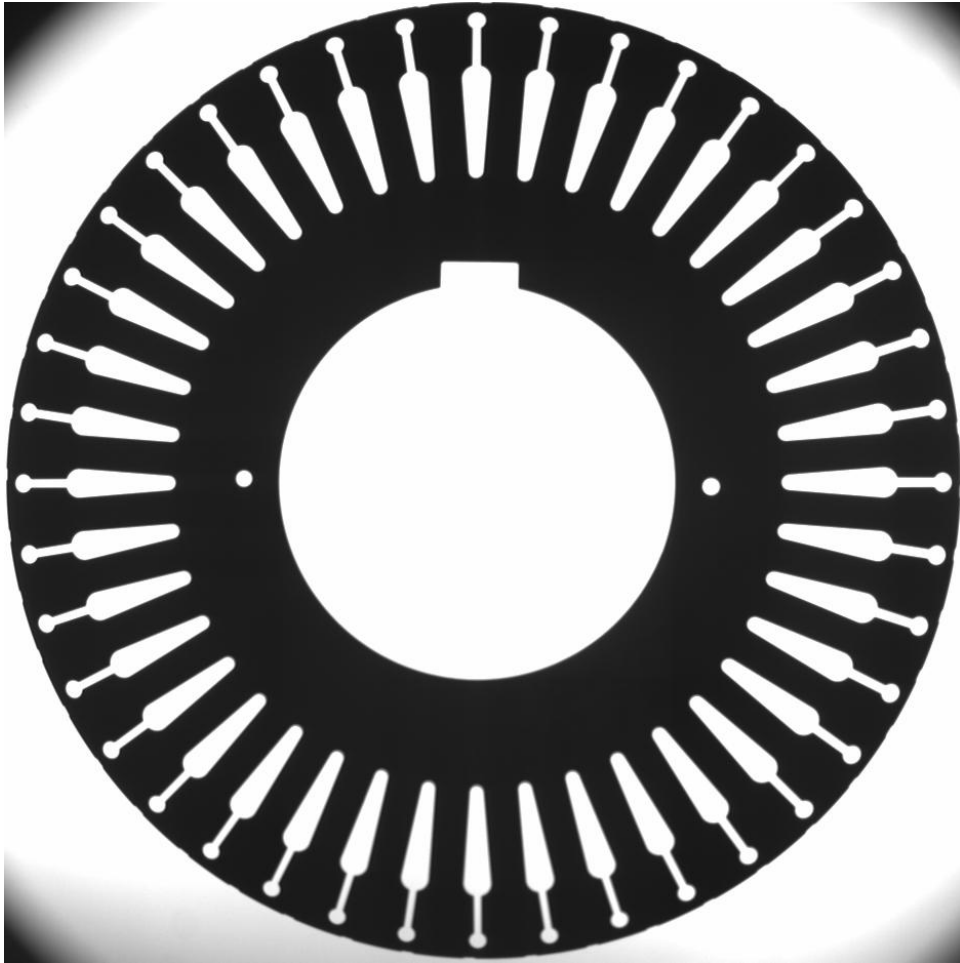
Jästepurseen korkeuden mittaus

Jästeen korkeuden mittaus ei onnistu työssä käytetyllä laitteistolla. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että se ei olisi mahdollista konenäön avulla. Tutkimuksessa kokeiltiin jästeen mitausta valaisemalla levyä sivusta päin (periaate kuvassa 9). Tällä valaistustekniikalla yritettiin saada aiheutettua jäysteisimpiin kohtiin varjoja, joista olisi saanut määritettyä jästeen korkeuden. Kuvissa ei kuitenkaan näkynyt minkäänlaisia jästeen aiheuttamia varjoja koska mitattavat jästeenkorkeudet olivat niin pieniä.

Jästeen korkeuden mittaus voisi perustua tavallisen jästemittarin käyttämiseen. Esimerkiksi ABB:llä käytössä olevaan optiseen jästemittariin voisi liittää kameran. Kyseinen jästemittari toimii periaatteessa samalla tavalla kuin sivusta päin valaisu. Laitteessa on valonlähde, joka tuottaa valoa vaakasuorassa suunnassa levyn pintaan. Jäyste näkyy varjona laitteessa olevalla asteikolla. Varjon leveys on suoraan verrannollinen jästeen korkeuteen.

6.1 Roottorilevyjen tutkiminen

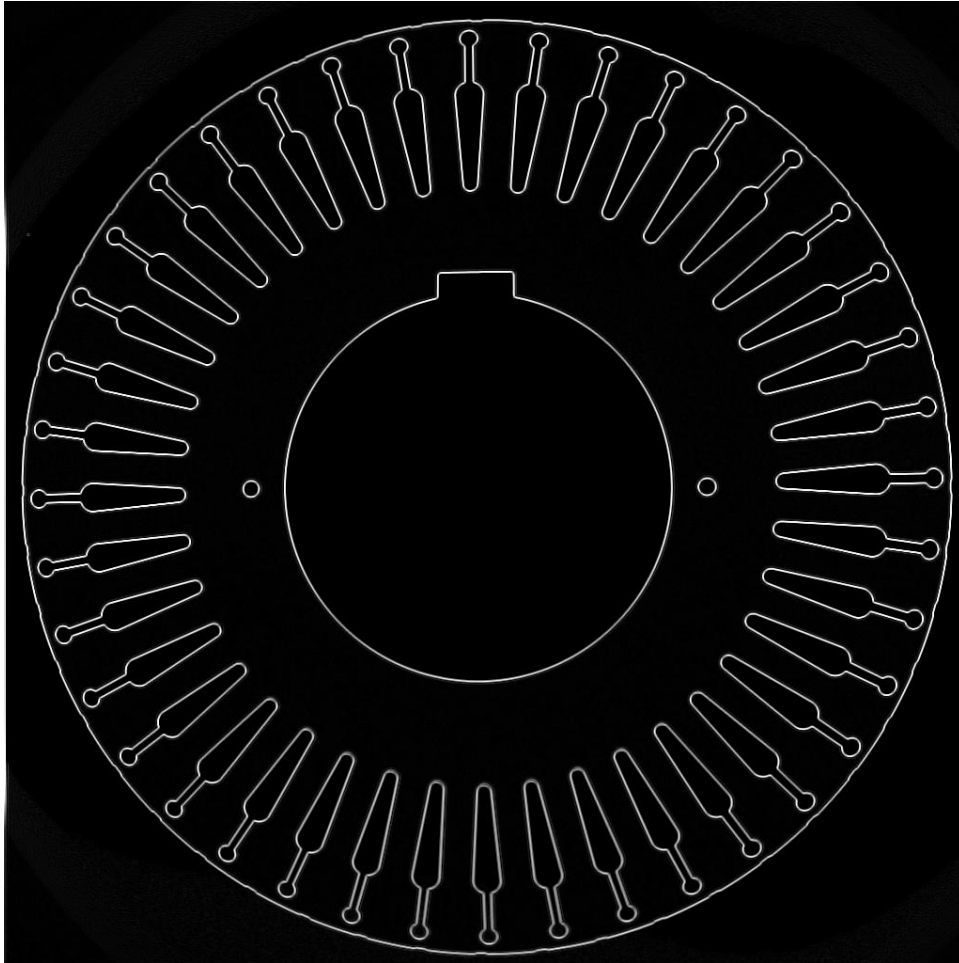
Roottorilevyjen tutkimisessa käytettiin kuvaa, joka on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Mittauksissa käytetty kuva.

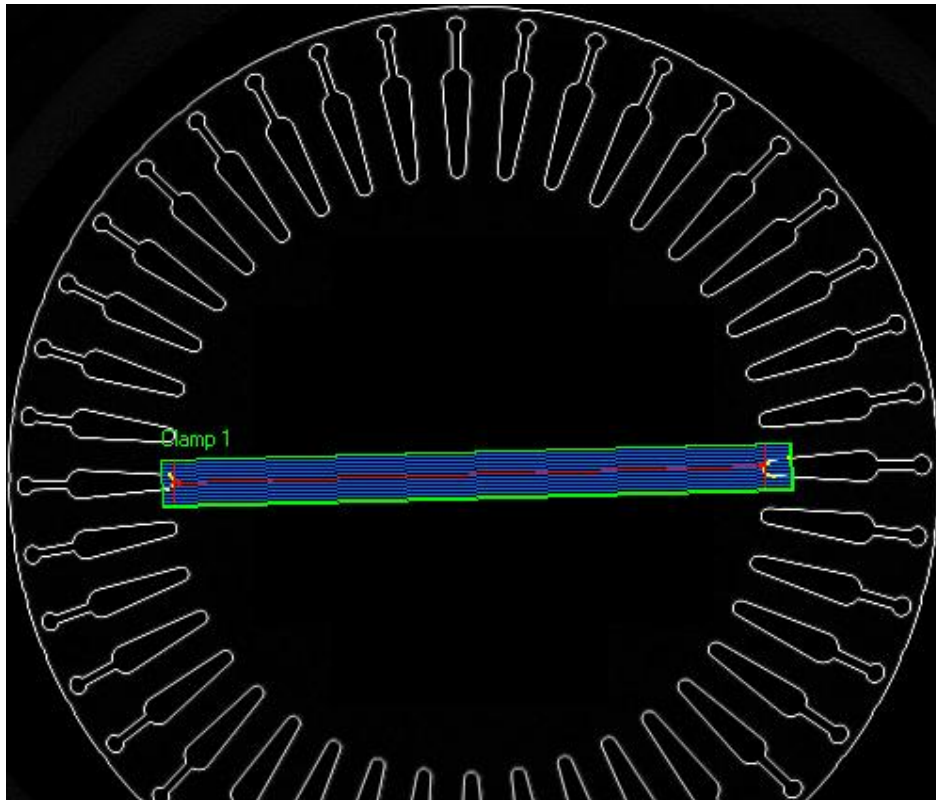
Ajomitta

Ajomitan tutkiminen suoritettiin seuraavalla tavalla. Aluksi kuvalle tehtiin Prewitt-tyyppinen suodatus, jonka avulla reunojen tutkiminen helpottuu. Suodatuksen vaikutus on nähtävissä kuvassa 23. Seuraavaksi kuvaa täytyi muokata maskiooperaation avulla siten, että kuvassa keskellä olevat akselireikä ja kaksi pienempää reikää häviävät kuvasta. Tämä operaatio täytyi tehdä, jotta mittausalgoritmi osaisi katsoa kuvasta oikeat reunat eli vastakkaiset uran pohjat mittausta varten.



Kuva 23. Prewitt-suodatuksen vaikutus kuvaan.

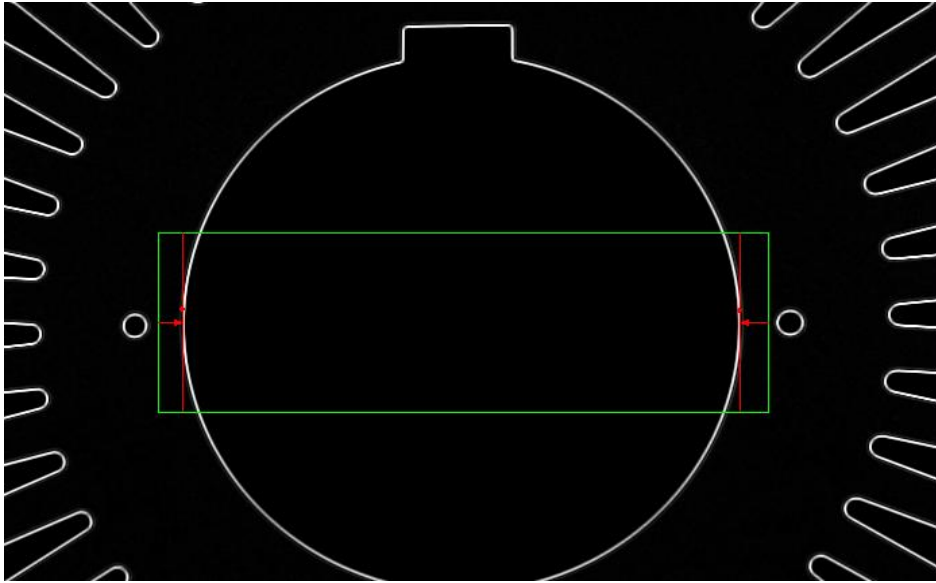
Kuvassa 24 on esitetty mittausalgoritmia käytetyn Clamp-funktion periaate. Clamp-funktio toimii siten, että se etsii määritellyltä alueelta reunat ja mittaa niiden välimatkan. Funktion avulla voidaan tutkia joko reunojen minimi- tai maksimietäisyyksiä. Tässä tapauksessa tutkitaan minimietäisyyttä, jotta mittaus tapahtuu uran pohjasta vastakkaisen uran pohjaan.



Kuva 24. Clamp-funktio.

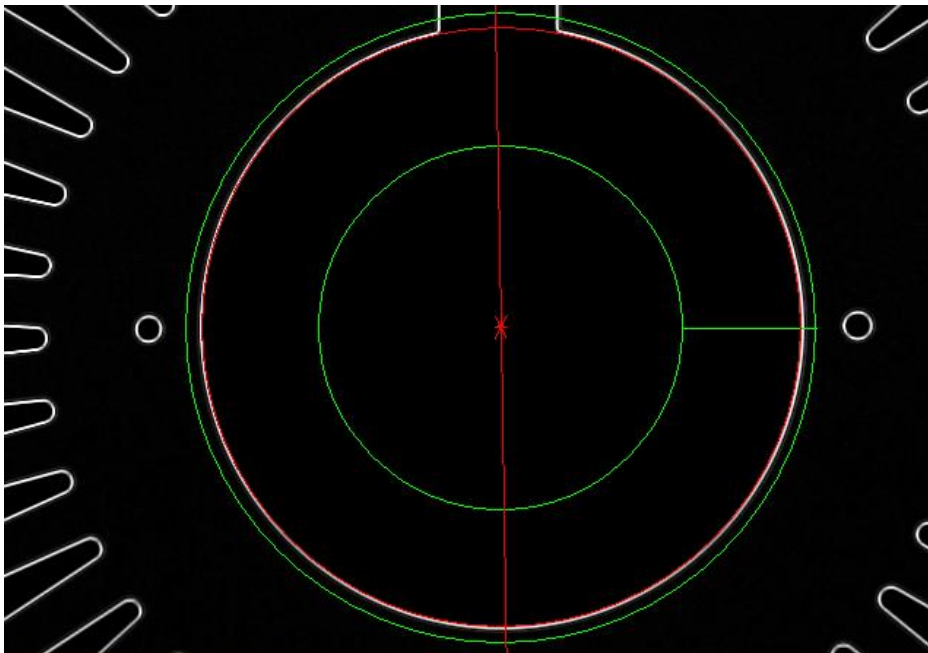
Akselireiän halkaisija

Akselireiän halkaisijan mittaus osoittautui yksinkertaiseksi. Kuvalle tehtiin samanlainen Pre-witt-suodatus kuin ajomitan tapauksessa. Akselireiän halkaisija voidaan mitata kahdella eri tavalla. Kuvassa 25 on esitetty akselireiän halkaisijan mittaus Clamp-funktion avulla. Clamp-funktiota käytettiin etsimään reunojen maksimietäisyyksiä, jotta mittaustuloksena saataisiin varmasti akselireiän halkaisija. Kuvassa vihreällä värillä merkitty alue kuvaa aluetta, jolta reunoja etsitään. Punaisella värillä on merkitty kohdat, joista ohjelma mittaa etäisyydet.



Kuva 25. Akselireiän halkaisijan mittaus Clamp-funktion avulla.

Akselireiän halkaisija voidaan määrittää myös Find Circular Edge -funktion avulla. Kyseinen funktio etsii määritellyltä alueelta reunoja, joista muodostuu ympyrä. Kuvassa 26 on esitetty Find Circular Edge -funktion käyttäminen. Kuvassa suurempi vihreä ympyrä määrittelee alueen, josta funktio etsii reunoja. Punainen ympyrä, joka näkyy hieman epäselvästi kuvassa, on ohjelman löytämä ympyrä eli akselireikä. Punainen tähti keskellä ympyrää kuvastaa ympyrän keskipistettä. Funktio laskee automaattisesti ympyrän säteen, jonka avulla akselireiän halkaisija voidaan määrittää.

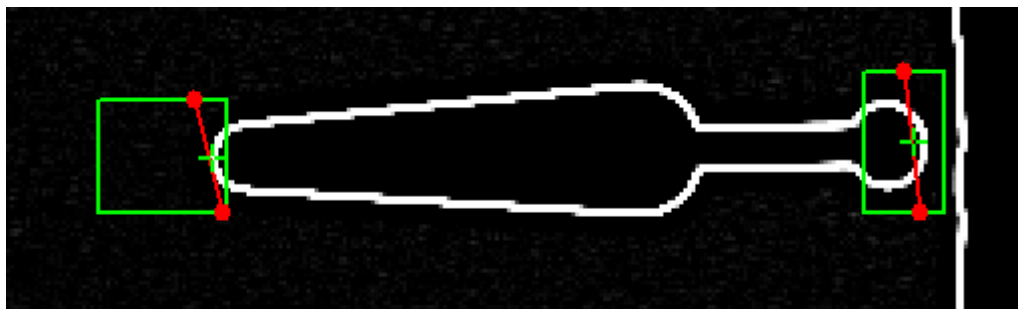


Kuva 26. Find Circular Edge -funktion käyttö.

Uravinous

Uravinouden mittaus osoittautui hieman vaikeaksi. Periaate mittaukselle on kuitenkin seuraavanlainen. Aluksi käytettiin funktiota Find Circular Edge määrittämään akselireiän keskipiste, joka on samalla myös levyn keskipiste ja piste johon uravinoutta verrataan.

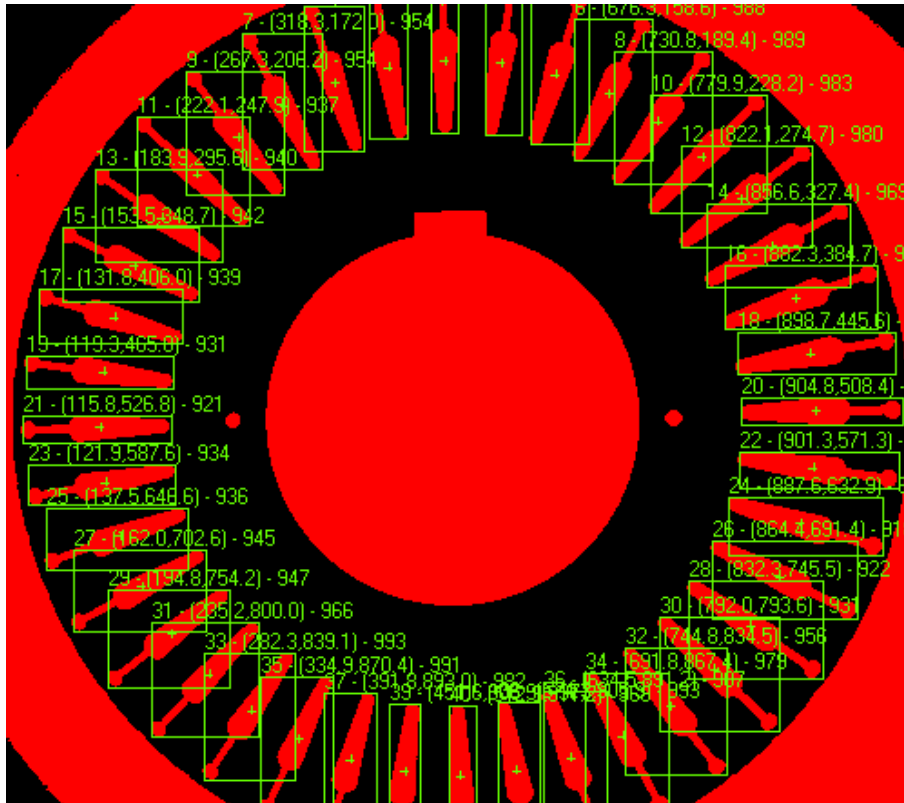
Seuraavaksi urasta määritettiin tarvittavat pisteet eli uran pohjimmainen piste ja uloin piste käyttäen apuna työkalua, joka etsii halutulta alueelta suoria reunoja. Koska uran pohjan ja uloimman pisteen ympäristöt ovat luonteeltaan suhteellisen suorita, ohjelma tulkitsee ne suoriksi reunoiksi. Määrittämällä suorien reunojen keskipisteet saadaan selville oikeat pisteet, joiden avulla uravinous voidaan määrittää. Kuvassa 27 on esitetty pisteiden määrittäminen urasta. Uravinous saadaan mitattua laskemalla kulma urasta määritettyjen pisteiden ja akselireiän keskipisteen välillä.



Kuva 27. Pisteiden määrittäminen urasta.

Urien lukumäärä, muoto ja koko

Urien määrän määrittäminen onnistui loppujen lopuksi helposti roottorilevyjen tapauksessa. Määrittämisessä päädyttiin käyttämään Shape matching -funktiota, joka on tyypillinen hahmontunnistuskäytännön funktio. Aluksi kuva kynnystettiin, koska Shape matching -funktio vaatii toimiakseen binäärisen kuvan. Seuraavaksi ohjelmalle opetettiin oikeanlainen ura, minkä jälkeen ohjelma etsi automaattisesti muut kriteerit täyttävät urat Shape matching -funktion avulla. Kuvassa 28 on esitetty urien määrän määrittäminen. Ohjelma löytää kohteesta kaikki 40 uraa.



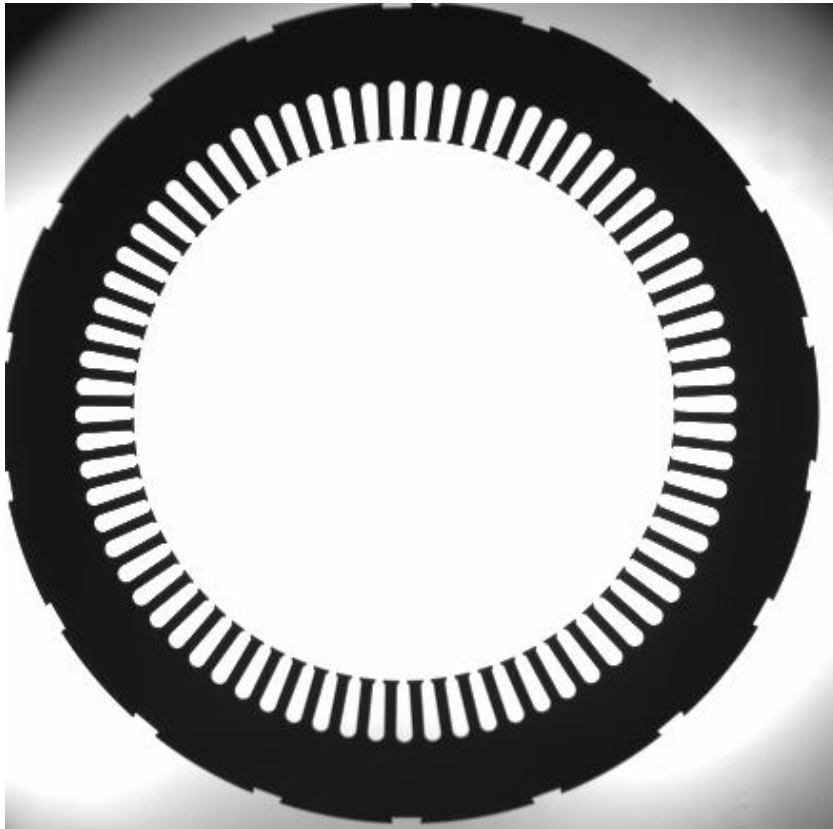
Kuva 28. Urien määrän määrittäminen.

Uramuotojen ja uran koon tutkiminen onnistuu samalla, kun määritetään urien määrä. Shape matching -funktiossa on ominaisuus, jolla selviää, kuinka hyvin eri kohteet vastaavat, kooltaan ja muodoltaan, esimerkkikohtetta. Tätä ominaisuutta kutsutaan pistemääräksi. Pistemäärä on kokonaisluku 0:n ja 1000:n välillä, missä 1000 on täydellinen vastaavuus ja 0 erittäin huono vastaavuus eli käytännössä täysin erilainen hahmo. Esimerkiksi kuvassa 28 urien pistemäärän keskiarvo oli noin 960, mitä voidaan pitää erittäin hyvänä vastaavuutena. Shape matching -funktioon voidaan määrittää vähimmäispistemäärä eli raja-arvo, jota suuremmilla arvoilla ohjelma tunnistaa hahmot.

Käytännössä urien määrä, oikea uramuoto ja koko voidaan määrittää kahden Shape matching -funktion avulla. Ensimmäinen funktio määrittäisi urien määrän pienemmällä vähimmäispistemäärällä. Toisessa funktiossa käytettäisiin suurempaa vähimmäispistemäärää uramuodon ja koon tutkimiseen.

6.2 Staattorilevyt

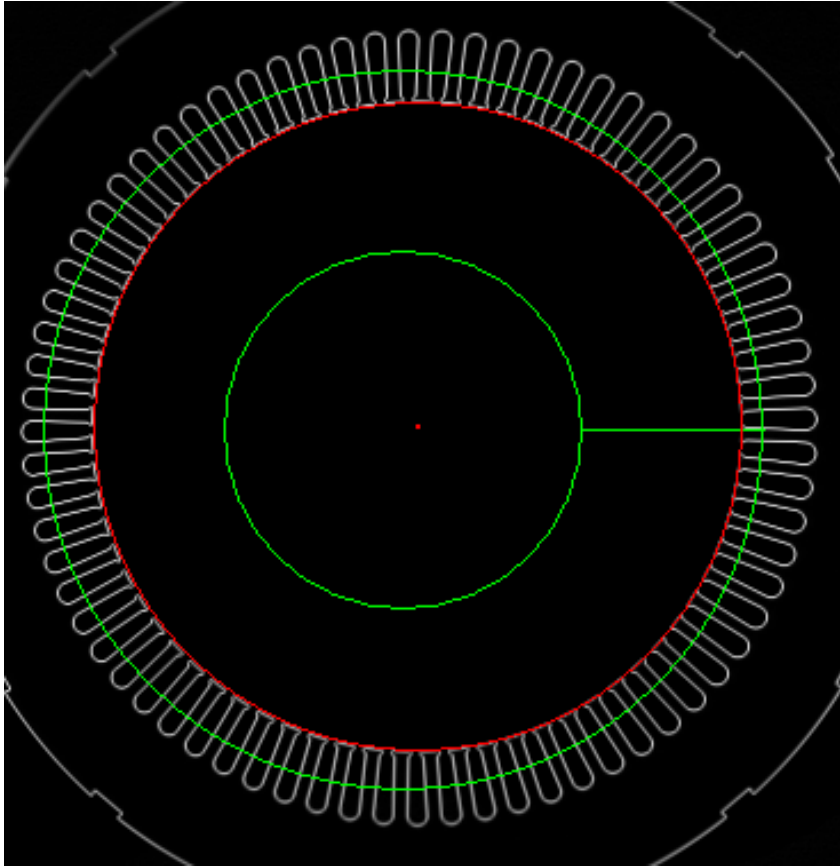
Staattorilevyjen tapauksessa käytetty kuva, johon mittaukset perustuvat, on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29. Staattorilevy.

Ajomitta

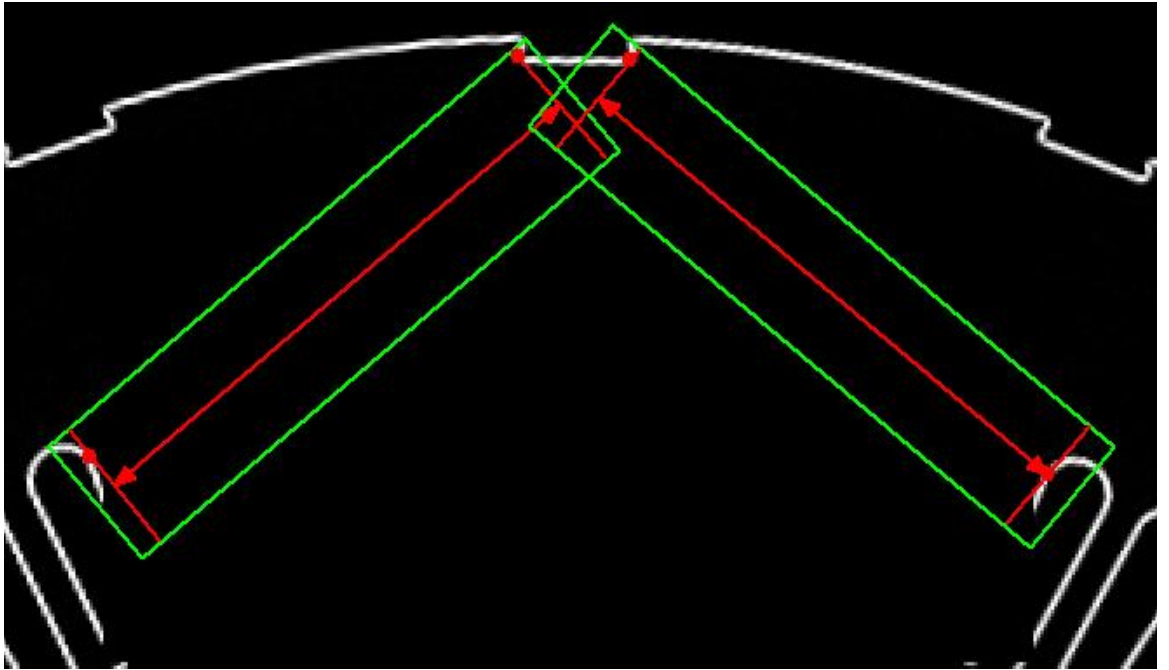
Ajomitta voidaan mitata monella eri tavalla. Käyttämällä Clamp-funktiota ajomitta voidaan mitata monesta eri kohdasta, mikä voi olla hyödyllistä, jos halutaan tietää, onko ajomitta sama eri puolilla levyä. Jos ajomitan suuruutta eri puolilla levyä ei epäillä vaan ajomitasta halutaan yksi arvo, voidaan käyttää Find Circular Edge -funktiota, jolloin levyn sisäpinnasta saadaan muodostettua kuvan 30 mukainen ympyrä. Funktio laskee automaattisesti ympyrän säteen, jonka avulla voidaan määrittää levyn ajomitta.



Kuva 30. Find Circular Edge -funktio.

Jakoheitto

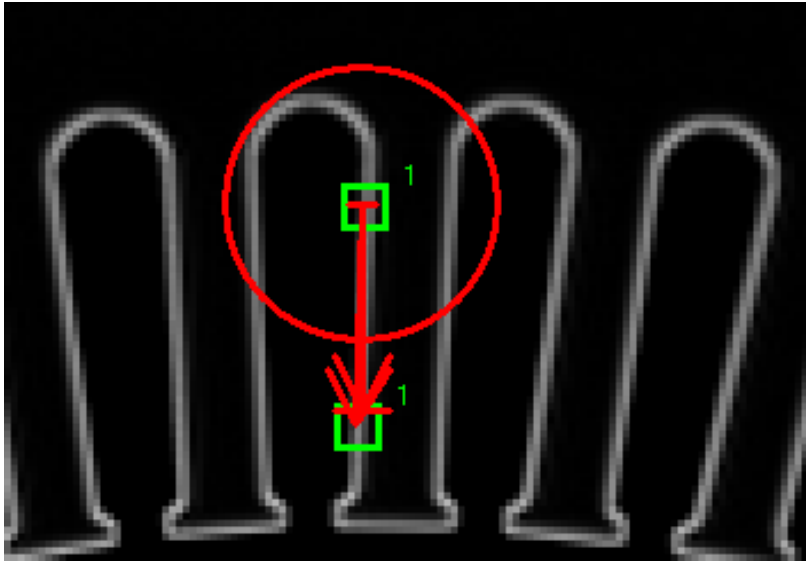
Jakoheiton määrittäminen osoittautui vaikeaksi toteuttaa. Ongelmaksi muodostui oikeiden mittapisteiden löytäminen. Ohjelman avulla ei aluksi löytänyt mittapisteitä, joiden avulla etäisyydet voitaisiin laskea tarkasti. Lopulta mittaus kuitenkin onnistui Clamp-funktion avulla. Aluksi mittausympäristöstä piti hävittää ylimääräinen kuvainformaatio, jotta Clamp-funktio ei ottaisi mittauksiin vääriä reunoja. Mittauksen toteutus on esitetty kuvassa 31. Ongelmaksi muodostuu funktiossa käytetyn mittausalueen määrittäminen. Mikäli alue on liikaa levyn ulkokehällä, funktio mittaa etäisyyden vääristä pisteistä.



Kuva 31. Jakoheiton mittaus.

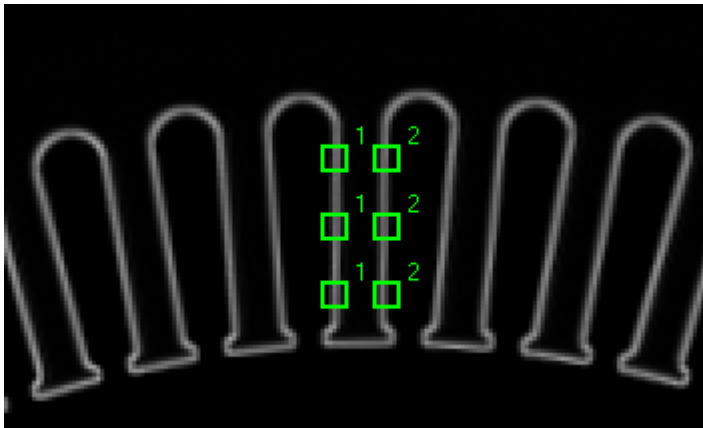
Uraheitto

Uraheiton mittaus toteutettiin seuraavalla tavalla. Urasta määritettiin vaakasuorassa suunnassa kolmesta eri kohdasta uraa reunat kummaltakin puolelta uraa. Ura täytyi saada tarkalleen pystysuoraan, jotta reunat saataisiin määritettyä vastakkaisilta puolilta uraa 90 asteen kulmassa pystysuoraan kulmaan nähden. Pystysuoruus urassa saatiin aikaiseksi siten, että aluksi uran toiselta puolelta määritettiin kaksi reunapistettä ja laskettiin niiden kulmaero pystysuoraan suuntaan nähden (kuva 32). Rotation-funktiolla kuvaa voitiin "pyörittää" sopivasti, jotta pystysuoruus toteutui.



Kuva 32. Pystysuoruuden määrittäminen.

Seuraavaksi määritettiin vastakkaiset reunapisteet kolmesta eri kohdasta uraa, yläosasta, keskeltä ja alaosasta ja laskettiin vastakkaisten pisteiden etäisyydet (kuva 33).

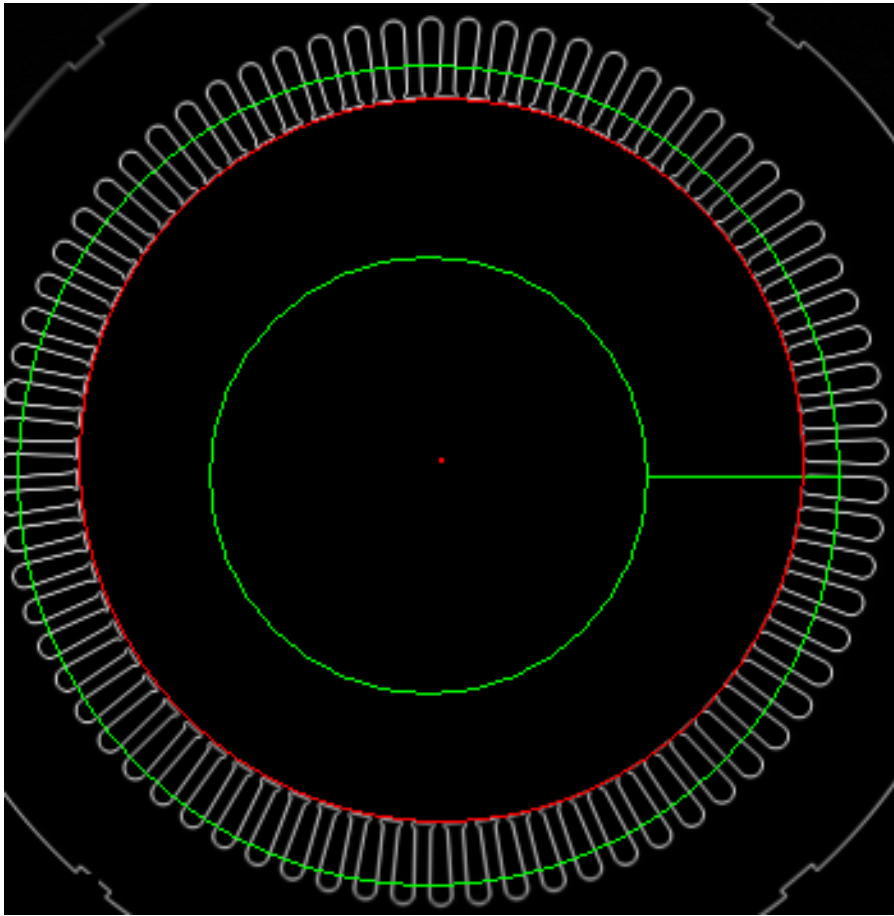


Kuva 33. Uraheiton määrittäminen.

Uraisuus

Mittaus suoritettiin seuraavalla tavalla. Aluksi ura piti saada täsmälleen pystysuoraan. Tämä toteutettiin samalla tavalla kuin uraheiton mittauksessa. Seuraavaksi kahdesta kohdasta uraa määritettiin vastakkaiset reunapisteet ja laskettiin niiden keskipisteet eli uran keskikohdat reunapisteiden välissä. Nämä pisteet haluttiin selville siksi, että niiden avulla voidaan laskea kulma levyn keskipisteeseen. Levyn keskipiste saatiin määritettyä käyttämällä Find Circular Edge -funktiota. Funktion avulla saatiin määritettyä ympyrä staattorilevyn "sisäpinnasta"

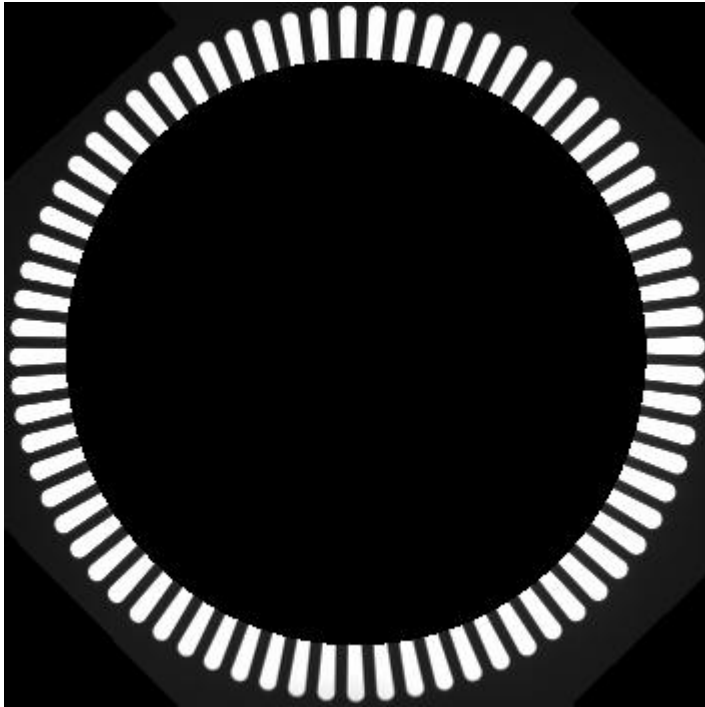
(kuva 34). Ympyrän keskipiste on samalla levyn keskipiste. Uravinouskulma saatiin laskettua levyn keskipisteen ja kahden uraan määritetyn pisteen avulla.



Kuva 34. Levyn keskipisteen määrittäminen.

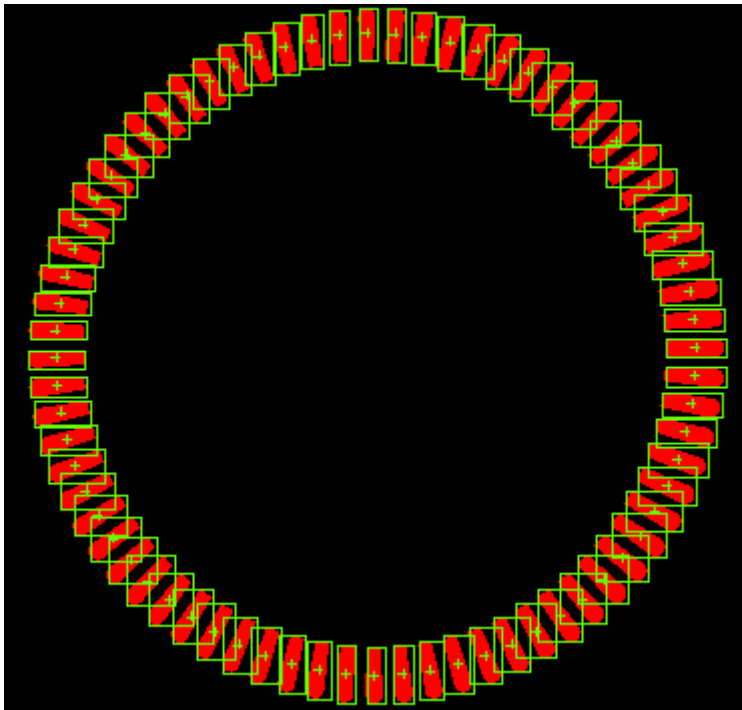
Urien määrä

Staattorilevyllä olevien urien määrä saatiin laskettua seuraavasti. Mittaus perustuu samankaltaiseen hahmontunnistukseen kuin roottorilevyn urien määrän laskeminen. Aluksi mittauksessa tuotti ongelmia uran muoto, koska hahmontunnistustyökalu ei löytänyt kaikkia uria. Tämä johtuu siitä, että ura on avoin eli se ei ole rajoittunut levyn sisäpinnan puolelta reunaan. Jotta kaikki urat saatiin laskettua, täytyi urat saada levyn sisäpinnan puolelta rajoitetuiksi. Levyn sisäpinta "mustattiin" määrittelemällä ympyränmuotoinen alue levyn sisäpintaan uriin asti ja maskaamalla rajattu alue. Muokkauksen vaikutus kuvaan on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. Operaatioiden vaikutus kuvaan.

Urien määrä saatiin selville opettamalla ohjelmalle yhden uran muoto ja vertaamalla sitä muihin kuvan muotoihin. Ohjelma löysi tällä tavalla kaikki levyssä olevat urat (kuva 36).

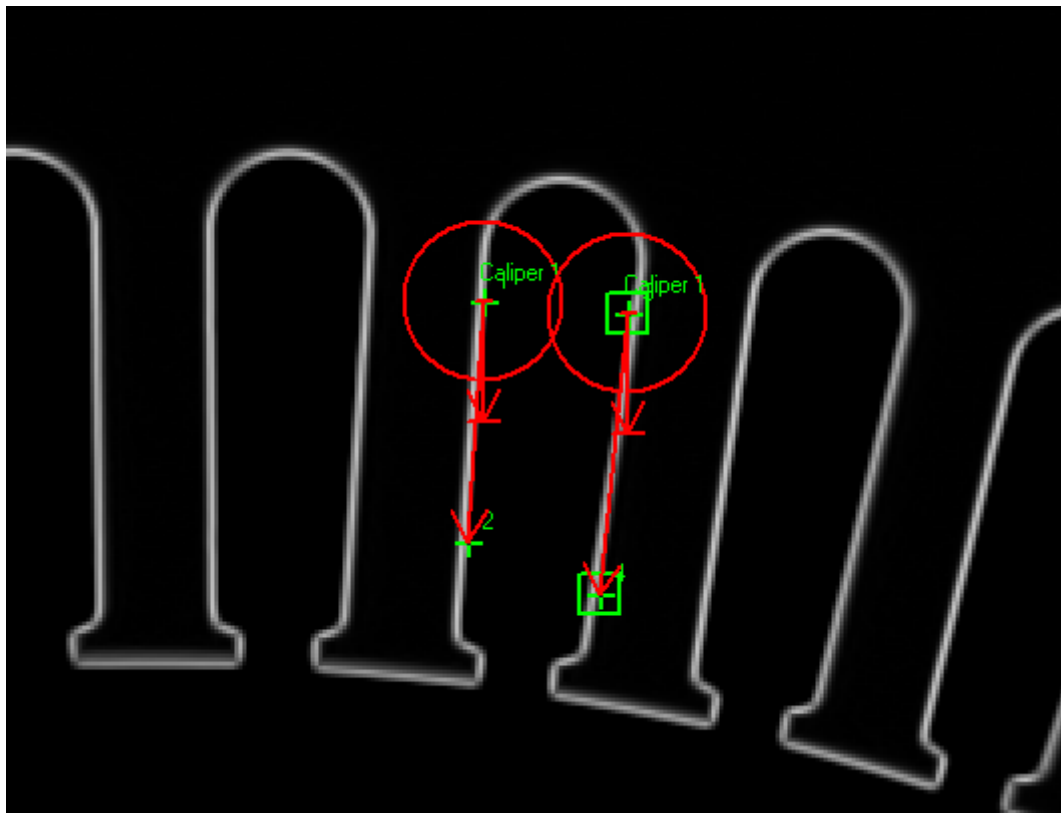


Kuva 36. Urien määrän laskeminen.

Aukon keskeisyys

Aukon keskeisyyden mittaus osoittautui vaikeaksi mitattavaksi. Ongelmia tuotti oikeiden mittapisteiden löytäminen. Mittausta kokeiltiin Clamp-funktion ja tavallisen reunanetsintätyökalun avulla. Clamp-funktion käytön ongelmana oli se, että funktio ei löytänyt oikeita mittapisteitä. Reunanetsintätyökalun tapauksessa reunat täytyi etsiä käsin, mutta lopulta mittaus päätettiin toteuttaa kyseisellä tavalla. Uran pohja löytyy helposti, mutta mittauspiste levyn ulkokehältä on vaikea määrittää.

Aluksi kuva täytyi saada sellaiseen kulmaan, jossa mitattavan uran pohja olisi pystysuorassa kulmassa, jotta reunanetsintätyökalun avulla löydettäisiin oikea mittauspiste levyn ulkokehältä. Tässä tapauksessa käytettiin kuvan 37 mukaista operaatiota pystysuoruuden määrittämiseen. Mitattujen kulmien ero on noin yksi aste eli mittaus ei voida suorittaa vain toisen kulman perusteella. Kun mitatuista kulmista laskee keskiarvon, saadaan uran pohjan kulma. Kun kulma saadaan selville, kuvaa pyöritetään sopivasti, jotta pystysuoruusehto toteutuu. Aukon keskeisyys saadaan mitattua, kun reunantunnistustyökalun avulla vedetään pystysuora viiva uran pohjasta levyn ulkokehälle ja mitataan reunojen välinen etäisyys.



Kuva 37. Pystysuoruuden määrittäminen.

7 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen perusteella roottori- ja staattorilevyjen laaduntarkistus onnistuu konenäön avulla. Ainoastaan jäysteen korkeuden mittaamiseen ei löytynyt keinoja työssä käytetyllä laitteistolla. Työssä ei pyritty saamaan aikaiseksi valmista konenäköjärjestelmää, vaan siinä tutkittiin periaatteita ja algoritmeja, joiden avulla mittaukset voitaisiin toteuttaa valmiissa järjestelmässä. Alla on käsitelty asioita, jotka tutkimuksen perusteella havaittiin tärkeiksi.

Kamera

Työssä käytetty kamera, jonka resoluutio on 1024 x 1024, ei ole tarpeeksi tarkka lopulliseen järjestelmään. Varsinkin kuva-alueen kasvaessa tarkkuus heikkenee suuresti. Jos kuvattavan alueen koko on esimerkiksi 700 millimetriä, on yhden pikselin pituus noin 0,7 mm. Nykyisin markkinoilta löytyy kuitenkin erittäin tarkkoja kameroita, joten mittausten tarkkuus ei kaadu ainakaan kameran tarkkuuteen. Lisäksi jotkut reunantunnistustyökalut käyttävät hyväkseen ns. osapikseliresoluutiota, jolloin reunan sijainti saadaan määritettyä noin 1/10 -pikselin tarkkuudella.

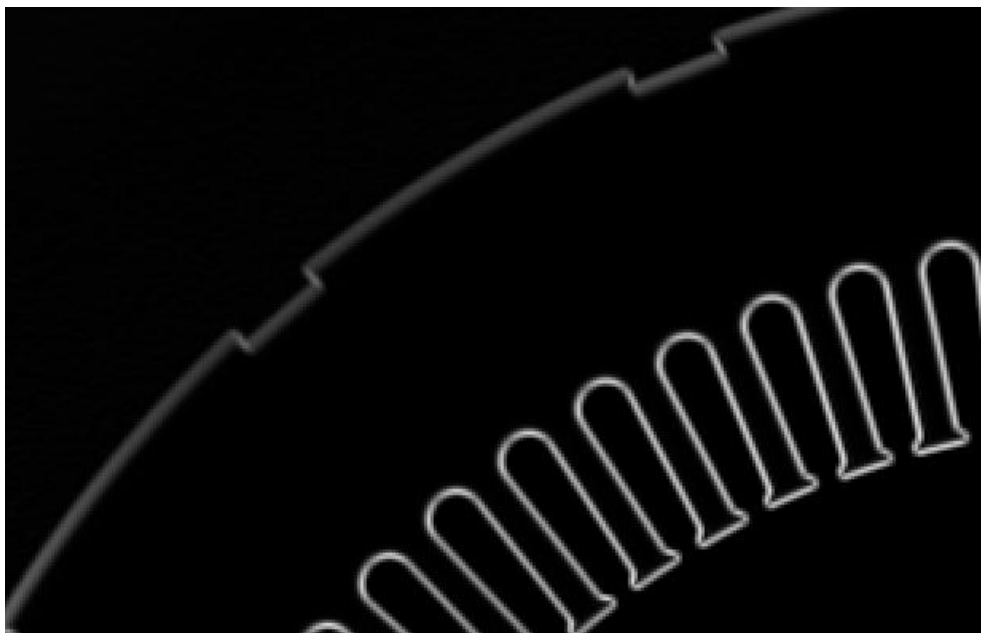
Optiikka

Sopivan optiikan valinta on erittäin tärkeää lopullisessa järjestelmässä. Koska kuvausetäisyys on muuttuva aiheutuen erikokoisista levyistä, on sopivan optiikan valinta vaikeaa. Muuttuva kuvausetäisyys aiheuttaa ongelmia sopivan polttovälin määrittämisessä. Ensiarvoisen tärkeää on saada kuvan vääristymät eliminoitua. Työssä käytetyllä optiikalla ilmeni tynnyrivääristymää varsinkin suurten levyjen tapauksessa. Tämä aiheutti omalta osaltaan mittauksiin epätarkkuutta.

Mikäli käytettäisiin telesentristä objektiivia, kuvan vääristymät saataisiin eliminoitua tehokkaasti. Telesentrinen objektiivi on yleisesti käytetty tarkkoja mittauksia vaativissa järjestelmissä, koska se ei aiheuta merkittäviä kuvavääristymiä. Lisäksi telesentrinen objektiivi ei ole yhtä riippuvainen kuvausetäisyydestä, kuin tavalliset objektiivit.

Valaistus

Työssä käytetty taustavalaisin on periaatteeltaan toimiva. Sen ominaisuudet reunojen havainnoinnissa ovat erittäin hyvät ja taustan ja mitattavan kohteen kontrasti on suuri. Kehittämisen tarve on. Valon intensiteetti ei ole tarpeeksi tasainen koko valaistulla alueella. Tämä aiheuttaa sen, että joissakin kohdissa reunat ovat vähemmän valaistuja. Tästä aiheutuu ongelmia reunojen paikan määrittämisessä. Mikäli valaistus on liian heikko, reunan tunnistus ei välttämättä onnistu lainkaan. Kuvassa 38 on esitetty tapaus, jossa levyn ulkokehän valaistus on liian pieni verrattuna urien valaistukseen.



Kuva 38. Valaistusvoimakkuuden vaikutus kuvaan.

Valmiiseen järjestelmään kannattaa rakentaa valaisin, jossa on tasainen valon intensiteetti ja säädettävä valaistusvoimakkuus. Säätöä tarvitaan, jotta valaistusolosuhteet voidaan optimoida oikeiksi. Liian voimakkaalla valaistuksella tapahtuu kuvainformaation "häipymistä" reunoilta ja niiden läheisyydestä, koska liian suuri valovoimakkuus häiritsee kameran ilmaisinta.

8 YHTEENVETO

Insinööriyössä tutkittiin, onko roottori- ja staattorilevyjen laaduntarkistus mahdollista kokenäön avulla. Levyistä tuli saada selville tiettyjä tärkeitä mittoja sekä muita ominaisuuksia. Työssä tutkittiin lähinnä periaatteita ja kuvankäsittelyalgoritmeja, joiden avulla laaduntarkistus onnistuisi. Tutkimusta tehtiin myös mittausten tarkkuutta ajatellen, koska lopullisen kokenäköjärjestelmän tulisi pystyä mittauksiin tarkimmillaan 0,05 millimetrin toleranssilla. Rakennetulla järjestelmällä ei tällaiseen tarkkuuteen päästy, mutta muutamalla parannuksella tarkkuusehdon pitäisi täytyä.

Työ onnistui pääpiirteissään hyvin. Laaduntarkistus onnistuu, mikäli käytettävä laitteisto on sopiva. Myös kuvankäsittelyllisesti ajatellen selvisi monia asioita, joita voi käyttää hyväksi lopullista järjestelmää rakennettaessa. Ainoa mittausta, jota ei työssä käytetyn laitteiston kaltaisella järjestelmällä pystytä toteuttamaan, on jäystepurseen korkeuden mittausta.

Työssä tarvittavia laitteita olivat digitaalinen harmaasävykamera, itse rakennettu taustavalaisin sekä LVDS-kuvankaappauskortti. Kuvankäsittely ja mittaukset toteutettiin National Instrumentsin Vision Assistant -ohjelmalla. Haasteellista työssä oli varsinkin valaistuksen suunnittelu sekä joidenkin mittausten toteutus.

Levyjen laaduntarkistuksen ympärille voisi järjestää mahdollisesti toisenkin insinööriyön. Siinä voitaisiin tutkia jäystemittausta tarkemmin sekä pyrkiä rakentamaan järjestelmä, jossa mittaustarkkuus on riittävä.

LÄHTEET

1. Savolainen, J. Konenäkö. Savon ammattikorkeakoulu. Päivitetty 15.5.2006 [WWW-dokumentti]
<http://opetus.stadia.fi/savolainen/konenako/kuvakas7.pdf>
2. Romppainen, P. Konenäkö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Opintomoniste
3. Kärkkäinen, T. Valaistusgeometria. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Opintomoniste
4. Gonzalez, Rafael,. Woods, Richard. Digital image processing. 2002. ISBN: 0-20-118075-8