



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ismo Laurila

KONENÄÖN HYÖDYNTÄMINEN
MOOTTOREIDEN LOPPUTARKAS-
TUKSESSA

Tuotelaadun seuranta

Hyväksytty

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Ismo Laurila
Opinnäytetyön nimi	Konenäön hyödyntäminen moottoreiden lopputarkastuksessa
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	82 + 3 liitettä
Ohjaajat	Mika Billing ja Aki Alanen

Opinnäytetyössä tarkastellaan mahdollisuutta käyttää konenäköä ABB Oy Motors and Generators Vaasan yksikössä valmistettavien moottoreiden laadunvarmistukseen. Työn tarkoituksena on tunnistaa moottorista kohteita, jotka määrittelevät tuotteen käyttöturvallisuutta ja yhdenmukaisuutta.

Tutkimus aloitettiin teoriaosuudella, jossa tutustuttiin digikuvauksessa käytettäviin komponentteihin ja niiden tekniikoihin, joita myös konenäössä käytetään. Teoriaosan lopussa paneudutaan enemmän konenäön tekniikkaan käyttämällä Cognexin kameraa ja In-Sight Explorer -ohjelmaa, sekä tutustutaan niiden käyttöön. Tarkastukset osassa konenäöllä tunnistetaan kohteita moottorista. Lähdeaineistoa työhön on hankittu internetlähteistä sekä alan kirjoista.

Perinteisellä 2D-tekniikan konenäöllä pystyy kyllä tunnistamaan kohteita moottorista, mutta tietyillä ehdoilla. Valaistuksen tasaisuus huomioitava sekä etäisyys kuvattavaan kohteeseen on vakioitava. Yleiskuvat tarkastetusta moottorista toisi lisäarvoa asiakkaalle.

ABSTRACT

Author	Ismo Laurila
Title	Utilization of Machine Vision in the Final Inspection of motors
Year	2020
Language	Finnish
Pages	82 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Mika Billing ja Aki Alanen

This thesis investigates the possibility of using machine vision to ensure the quality of the motors manufactured in the ABB Oy Motors and Generators unit in Vaasa. The purpose of this thesis is to identify objects in the electric motors that define the safety and consistency of the product.

The research began by examining the components of digital imaging and their techniques that are also used in machine vision. After that, the focus was more on the machine vision technology using Cognex's camera and the In-Sight Explorel program and becoming familiar with their use. Finally, the items on the motors were identified using machine vision. The material of the thesis was obtained from the internet sources and the literature in the field.

With a traditional 2D machine vision, it is possible to identify items from the motor under certain conditions. The uniformity of the illumination must be taken into account and the distance to the subject must be standardized. The overview images of the inspected motors add value to the customer.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB Motors & Generators Oy:n Vaasan tehtaalle keväällä 2020. Työn vastaavana ohjaajana on Motorsin puolesta toiminut development engineer Aki Alanen. Kannustavan tukensa projektissa on antanut business development manager Pertti Alamartimo sekä esimieheni quality control manager Otto Rautiainen. Vaasan ammattikorkeakoulun puolelta on ohjaajana toiminut lehtori Mika Billingin. Haluan kiittää kaikkia edellä mainittuja henkilöitä kiinnostavan opinnäytetyön mahdollistamisesta, sekä siihen liittyvistä palautteista. Kiitokset ansaitsevat myös opintoja tukenut vaimoni, sekä molemmat edellä mainitut yhteiskunnalliset instituutiot, jotka ovat mahdollistaneet toimeentuloni sekä ilmaisen opiskelun.

Ismo Laurila

Asevelikylässä, 18.05.2020

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	13
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoite.....	13
1.2	Opinnäytetyön rajaus	14
2	ABB-KONSERNI	15
2.1	ABB Oy Suomi.....	15
2.2	ABB Motors and Generators Vaasa.....	16
3	LAATU.....	17
4	KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ	19
4.1	Näkevä kone.....	20
4.2	Digitaalikamera.....	21
4.3	Kuva-anturi	21
4.3.1	Digitaalinen kuva	22
4.3.2	CCD-anturi.....	22
4.3.3	CMOS-anturi.....	23
4.3.4	Suljin	24
4.3.5	Anturin koko	25
4.3.6	RGB-väritekniikka	25
4.3.7	Värin mittaaminen.....	27
4.3.8	Mittaustapoja.....	27
4.4	Optiikka.....	28
4.4.1	Kiinnitys.....	29
4.4.2	Optiset suotimet	30
4.4.3	Polttoväli ja kuvakulma.....	31
4.4.4	Terävyysalue	33
4.5	Valaistus.....	34
4.5.1	Valaistustapa	34
4.5.2	Valaisimet	37

4.6	Rajapinnat	38
4.6.1	Liitännät ja tiedonsiirto	38
4.6.2	Ohjelma	40
4.6.3	Kamerat	41
4.7	Kuvadatan kerääminen.....	42
4.7.1	Kuvan esisäätö	42
4.7.2	Kalibrointi	43
4.7.3	Kuvaus alue ja etäisyys	45
4.7.4	Kuvan esikäsittely	47
4.8	Algoritmit.....	49
4.8.1	Kernel.....	50
4.8.2	Tekoäly.....	50
4.8.3	Koneoppiminen.....	51
5	TARKASTUKSET.....	52
5.1	Tarkastusrutiini silmämääräisessä tarkastelussa	52
5.2	Virheiden luokittelu	53
5.3	Konenäkötarkastelu.....	54
5.3.1	Tarkasteluympäristö.....	55
5.4	Käyttöturvallisuuteen vaikuttavat tarkastelut	56
5.4.1	ATEX-merkinnät.....	56
5.4.2	Läpivientiholkit ja tulpat.....	58
5.4.3	Puuttunut kiinnityspultti.....	60
5.4.4	Tarrat ja lisäkilvet	60
5.4.5	Maadoitus.....	62
5.5	Käytettävyyteen vaikuttavat tarkastelut.....	63
5.5.1	Nostolenkki	63
5.5.2	Liitinosat	64
5.5.3	Pääarvokilven identifiointi.....	65
5.5.4	Kiila.....	68
5.6	Luotettavuuteen vaikuttavat tarkastelut	69
5.6.1	Suojatulpat	69
5.6.2	Tuotetieto QR code	70

5.6.3	Smart Sensor	71
6	LOPPUPÄÄTELMÄT JA POHDINTA	73
6.1	Yhteenveto	73
6.2	Pohdinta	74
6.2.1	Varmennus	75
6.2.2	Kauppakohtaisuus	76
6.2.3	Asiakaskeskeisyys.....	77
6.3	Jatkokehitys.....	78
	LÄHTEET	79

LIITTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Instagram-kuva Vaasassa valmistetusta moottorista. /10/	14
Kuvio 2. Ensimmäinen digitaalinen kuva. /8/	19
Kuvio 3. Satire on False Perspective' (1754). /6/	20
Kuvio 4. Ensimmäinen digikamera. /8/	21
Kuvio 5. 2D-harmaasävymatriisi. /20/	22
Kuvio 6. CCD-kennon toimintaperiaate. /11/	23
Kuvio 7. CMOS-kennon toimintaperiaate. /11/	24
Kuvio 8. Pyörivän sulkimen vaikutus. /17/	24
Kuvio 9. Standardeja kuvakennon kokoja. /13/	25
Kuvio 10. Kontrastin suhteelliset suuruuserot musta/valkoinen. /21/	26
Kuvio 11. Optiikkaan vaikuttavat tekijät. /16/	29
Kuvio 12. Objektiivin C-tyypin kiinnitys. /33/	29
Kuvio 13. Vihreän värisuodattimien vaikutus harmaasävykuvassa. /49/	30
Kuvio 14. Polttovälissä yhtyvät ja hajaantuvat valosäteet. /34/	31
Kuvio 15. Kuvakulma, jossa vaakatason näkymä määritellään. /16/	32
Kuvio 16. Niveljalkaisten silmää mukaileva kamera. /38/	33
Kuvio 17. Aukon vaikutus syväterävyyteen. /50/	34
Kuvio 18. Taustavalaisu. /40/	35
Kuvio 19. Kupu ja aksiaalinen hajavalaisu. /40/	35
Kuvio 20. Suora kohdevalaisu. /40/	36
Kuvio 21. Tumman alueen valaistus. /49/	36
Kuvio 22. Polttimotyyppien vahvuudet ja heikkoudet. /39/	38
Kuvio 23. Kameroiden liitinmalleja. /41/	40
Kuvio 24. Kuvakaappaus ohjelman Spreadsheets työnäkymästä.	41
Kuvio 25. 2D- ja 1D-kameralla kuvattu lieriömallinen kohde. /51/	41
Kuvio 26. Älykamera In-Sight 7402.	42
Kuvio 27. Esimerkki huonosta ja hyvästä tarkennuksesta.	43
Kuvio 28. Vasemmalla tarrat valottuneet oikein, oikealla ylivalottuneet.	43
Kuvio 29. Kalibroinnin tarkastelu.	44
Kuvio 30. Kuvan liiallinen pikselöityminen, kohde r/min ympyröity.	46
Kuvio 31. Vasemmalla on 500 mm ja oikealla 250 mm päästä kuvattuna.	47

Kuvio 32. Binäärinen kuva-alue.	48
Kuvio 33. Suodatin on jakanut sävyarvot uudestaan koko harmaasävy alueelle.	49
Kuvio 34. Kernel 3*3 matriisi (blur) ja 9*9 matriisi reunan etsintään. /47/	50
Kuvio 35. Havainnekuva neuroverkon kerroksista. /52/	51
Kuvio 36. Kohdemoottorin komponentit.	55
Kuvio 37. Työpiste laboratoriossa.	56
Kuvio 38. Tunnistettuja ATEX-kohteita arvokilvessä.	57
Kuvio 39. Segmentointi ei kohdistu tunnistusalueelle.	58
Kuvio 40. Läpivientiholkin tunnistus.	59
Kuvio 41. Referenssimerkin virhetunnistus.	59
Kuvio 42. Puuttuvan pultin tunnistaminen.	60
Kuvio 43. Varoitustarrojen tunnistaminen ja asennon huomiointi.	61
Kuvio 44. Pyörimissuunnan merkit, moottorin tarkasteluasento huomioiden.	62
Kuvio 45. Maadoituspisteen tunnistaminen.	63
Kuvio 46. Nostolenkin tunnistaminen.	64
Kuvio 47. Liitinosapussin tunnistaminen.	65
Kuvio 48. Segmentointi ja merkin tunnistaminen.	66
Kuvio 49. Numeroiden opettaminen.	66
Kuvio 50. Merkin tunnistaminen ei onnistunut.	67
Kuvio 51. Valvontakortti X.	68
Kuvio 52. Valvontakortti R.	68
Kuvio 53. Kiilan tunnistaminen binäärikuvassa oikealla.	69
Kuvio 54. Suojatulppien tunnistaminen D-päässä.	70
Kuvio 55. QR-koodin tunnistaminen.	70
Kuvio 56. Smart Sensorin tunnistaminen.	71
Kuvio 57. Smart Sensorin valmiuskiskon tunnistaminen.	72
Kuvio 58. Tarkastelun tasoerot.	74
Kuvio 59. Glass Enterprise Edition 2. /54/	78

	10
Taulukko 1. Linssivertailu kuvausetäisyyksillä 250 mm ja 500 mm.	45
Taulukko 2. Objektiivin tuottama kuva-alue tietyllä etäisyydellä.	47
Taulukko 3. Vikatyypitarkastelu.	54
Kaava 1. Kuvakulman määrittäminen. /35/ (1)	32
Kaava 2. Aukon F-luvun määrittäminen. /19/ (2)	33

LYHENNELUETTELO

1D	Yksiulotteinen
2D	Kaksiulotteinen
3D	Kolmiulotteinen
ABB	Asea Brown Boweri
A/D	Analog to digital
ATEX	Atmosphères explosibles
Azipod®	Ruoripotkurijärjestelmä
BU	Business unit
C-kasetti	Compact Audio Cassette
CCD	Charge-coupled device
CMOS	Complementary metal oxide semiconductor
CPM	Collaborative Production Management
DoF	Depth of Field
FOV	Field of view
GBU	Global business unit
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
MEPS	Minimum energy performance standard
QR-Koodi	Kaksiulotteinen kuviokoodi
SOLAS	Safety of Life at Sea
VTR	Videotape recorder

LIITELUETTELO

LIITE 1. In-Sight 7402 tekniset tiedot

LIITE 2. Kuvakaappaus tarkastuslista MM_V02

LIITE 3. Sarjanumero vertailun mittausdata

1 JOHDANTO

Laatukustannukset ja niiden hallittavuus ovat eräs tärkeimmistä osatekijöistä teollisessa valmistuksessa. Kiristynyt kilpailu, kasvavat työvoimakustannukset ja asiakaslähtöisempi yrityskulttuuri asettavat tuotantolaitoksille haasteita oman toiminnallisuuden tehostamiseksi. Vaasan sähkömoottoritehtaan profiloituttua enemmän erikoismoottoreiden valmistajaksi, on kauppakohtaiset rakenteet ja eri luokituslaitosten vaatimukset moninaistuneet. Asiakkaiden laatutietoisuus ja odotukset tuotteen laadusta ovat kasvaneet, koska valmistamaamme tuotetta käytetään osana isompaa kokonaisuutta, mikä määrittää myös asiakkaidemme brändiä. Laatu on nykyään digitaalista, yritysten laaduntuottokyky ja toimintatavat tulevat välillisesti esille sosiaalisten medioiden alustoilla kuvina ja tägäyksinä. **(Kuvio 1)**.

Viime vuosina varsin merkittäväksi vaikuttimeksi on noussut myös ympäristötietoisuus. Laatukustannuksien rakennetta joudutaan avaamaan yhä enemmän, koska asiakas haluaa tietää minkälainen osuus laatukustannuksista, on ympäristövaikutteisia. Kilpailuetua muihin valmistajiin saavat ne, jotka kykenevät tekemään tuotteensa kerralla valmiiksi, aiheuttaen vähemmän ympäristövaikutuksia, esimerkiksi turhien kuljetuksien ja energian käytön muodossa.

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoite

Tuotannon kokoonpanolinjojen viimeistä työvaihetta kutsutaan lopputäydennykseksi. Lopputäydennyksessä moottoriin asennetaan viimeiset ulkoiset komponentit ja se kiinnitetään kuljetusalustalleen. Tuotteen yhdenmukaisuutta ja käytöturvallisuutta määrittävät komponentit ovat esimerkiksi arvokilpi, jossa merkittynä moottorin nimellisarvot, tuuletin ja tuuletinsuoja, pääliitäntäkotelon runko ja kansi, läpivientiholkit sekä sähkölaitteisiin vaadittavat varoitustarrat.

Ajatus laatutarkastusten automatisoinnista ja konenäön mahdollisesta hyödyntämisestä sai alkunsa toimiessani moottoreiden lopputarkastajana. Huomio kiinnittyi saman tuotantosarjan moottoreiden keskinäisiin poikkeamiin. Työn tarkoituksena on selvittää, voidaanko konenäköä hyväksikäyttäen tunnistaa moottoreista kohteita,

jotka määrittelevät tuotteiden yhdenmukaisuutta sekä käyttöturvallisuutta. Tavoitteena on asiakasreklamaatioiden vähentäminen teknologiaa hyödyntämällä.

1.2 Opinnäytetyön rajaus

Työhön kuului konenäköjärjestelmään ja sen komponentteihin tutustuminen sekä mittauksien suunnittelu ja toteutus. Kuvien ja tietojen kerääminen laboratoriossa olevalla kuva-anturilla, tarkoittaen kohteiden tunnistamista moottorista konenäköä hyväksikäyttäen.



Kuvio 1. Instagram-kuva Vaasassa valmistetusta moottorista. /10/

2 ABB-KONSERNI

ABB on teknologia-alalla toimiva monikansallinen konserni, jonka uutena (The new ABB) suuntana on johtaa teollisuuden digitaalimuutosta. Konsernilla on jo yli 130 vuotta innovaation täyteistä historiaa takanaan. ABB:llä on neljä asiakaskesteistä globaalisti johtavaa liiketoimintaa: **Electrification**, **Industrial Automation**, **Motion** ja **Robotics & Discrete Automation**. Liiketoimintoja tukee yhteinen digitaalinen alusta, ABB Ability™. ABB:n **Power Grids** -liiketoiminta divestoidaan Hitachille vuoden 2020 aikana. Toimintaa konsernilla on 100 eri maassa ja sillä on noin 147 000 työntekijää. /1/

2.1 ABB Oy Suomi

Alun perin Strömberg-nimellä toiminut sähkölaitevalmistaja aloitti toimintansa Helsingin Kampissa vuonna 1889. Axel Gottfrid Strömbergin aloittama liiketoiminnan ydin oli tasavirtakoneiden valmistus, asuin- ja liikehuoneistojen valaistuskeskukset, sekä niiden asennukset. Yli 100 vuotta Strömberg-nimellä toiminut yritys fuusioitui ensin Kymi-Kymmene osakeyhtiön kanssa vuonna 1983 josta nimeksi tuli Kymi-Strömberg. Strömberg siirtyi Asealle vuonna 1986 ja myöhemmin 1988 syntyi ABB, kun sveitsiläinen BrownBoveri ja Asea yhdistyivät. /2/

Nykyään ABB:llä on Suomessa toimipisteitä noin 20:ssä eri paikkakunnassa. Suurimmat tuotantolaitoskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Porvoossa ja Haminassa. Pitäjänmäellä Helsingissä valmistetaan ja kehitetään moottoreita, generaattoreita, taajuusmuuttajia, CPM-energianhallintajärjestelmiä sekä paperikonkäyttöratkaisuja. Vuosaarella ja Haminassa valmistetaan Azipod®-ruoripotkurijärjestelmiä. Vaasassa valmistetaan ja kehitetään moottoreita, muuntajia, sähköverkon ohjaus- ja suojauslaitteita, pienjännitustuotteita ja -järjestelmiä, sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmiä, voimantuotannon järjestelmiä sekä hallinnoidaan prosessiteollisuuden kokonaisprojekteja. Porvoossa valmistetaan sähköasennustuotteita. /3/

2.2 ABB Motors and Generators Vaasa

Moottoreiden valmistus Vaasan Strömberg parkissa alkoi vuonna 1944. Nykyään pienjännitteisiä alle 1 000 V:n IEC-moottoreita valmistetaan yhteensä noin 80 000 kpl vuodessa. KK-tehtaan tuotannossa valmistetaan akselikorkeudeltaan 71–250 mm. moottorit ja MM-tehtaassa tuotetaan moottoreita kokoluokassa 280–500 mm. Asiakkaan vaatimusten mukaisesti räätälöityjä moottori kokoluokkia on yhteensä 17 kpl. Teholuokaltaan aina 2 000 kW saakka. Nykyään moottoreihin sisältyy jo lähes 224 erilaista sertifikaattia ja tuhansia MEPS-rekisteröintejä. Tuoteperheistä mainittakoon vaativien käyttöympäristöjen ATEX- sekä Marine-luokan moottorit.

/4/

3 LAATU

Jokainen meistä on valmis kertomaan tulkintansa laadusta omien kokemuksiensa ja näkemyksiensä kautta. Laatu mielletään arkiseksi ja jokapäiväiseksi aiheeksi niin työssä kuin vapaa-ajallakin. Aristoteleen filosofiset pohdinnat käsitteestä laatu, osoitti sille kaksi merkitystä: (1) Ilmaistaan miten jokin kohde poikkeaa toisista kohteista ja (2) miten tuo poikkeama koetaan hyvänä tai pahana. /36/

Laatu alkoi muuttua ammattimaisemmaksi jo 1900-luvun alkupuolella. Ammatillinen näkökulma johti eri asiantuntijoiden virallistamiin määritelmiin laadusta. Ammattimaisuudesta seurasi myös mielipide-eroja sekä aiheutti lopulta laatukonseptien pirstoutumisen. Laatuun liittyvät eri merkitykset voidaan ryhmitellä, mutta eri ryhmien rajat eivät välttämättä ole itsestään selvää:

- Tuoteperusteiset määritelmät. On mitattava ominaisuus. Laatu mitataan nopeutena, tehokkuutena, painona, pitoisuutena (kulta), jne. Laatuero johdetaan mitattavien ominaisuuksien eroista. Nämä voidaan ymmärtää objektiivisesti. Näihin liitetään usein hinta ja kustannukset, joten korkeampi laatu saataisiin aikaiseksi ainoastaan korkeammilla tuotantokustannuksilla, jolloin on perusteltua, että tuote voidaan hinnoitella korkeammaksi. Tämänkaltaisen **laatukäsitteen omaavat usein markkinointihenkilöt.**
- Tuotantoperusteiset määritelmät. Laatu on vaatimuksen mukaisuutta, se täyttää sille asetetut määritykset. Valmistetaan tuote spesifikaatioiden ja sopimusten mukaan välttäen mahdolliset valmistusvirheet. Korkeisiin tuotantokustannuksiin **voidaan vaikuttaa vain tekemällä työt kerralla oikein.**
- Rahalliset arvoperusteiset määritelmät. Laatu mitataan käyttöarvona. Se kuinka korkeaksi asiakas kokee hankinnastaan saaman hyödyn. Jalostusarvon nosto valmistusvaiheessa. Asiakkaan kokema henkilökohtainen statusarvo. **Käyttöarvon suhde hintaan.**
- Reaalitaloudelliset arvoperusteiset määritelmät. Hyötyarvo määrittää kohteen laadun. Hyötyarvo, joka saavutetaan tuotteen eliniän aikana, riippumatta tuotteen ostohinnasta. Tarpeisiin sidottu laatu. Reaalitaloudelliset

perusteet voidaan saavuttaa ilman korkeita tuotantokustannuksia. **Esimerkiksi omenasorvi, viinipullon kaatonokka.**

- Heuristiset ja myyttiset määritelmät. Laatu määritelläänkin pelkän luksuksen tai erinomaisuutensa kautta. **Tuotteen laadukkuus on käsite itsessään.**
/36/

Kansainvälisiä standardijärjestelmiä kuten ISO 9000, käytetään työkaluina laadun hallinnassa, parantamisessa ja varmistamisessa. Eritoten laadunhallinnassa ISO 9000 on johtava kansainvälinen standardisarja, johon sisältyvät myös standardistoon kuuluvat peruskäsitteiden termit ja määritelmät. /36/

Nykyisessä työssäni lopputarkastajana sekä näyttötyön aineistoa kerätessäni, on muistiinpanoihin kertynyt myös ajatuksia laatuun liittyvistä sidosryhmistä. Jokaisen uuden laatupoikkeaman selvitystyössä olen samalla miettinyt sen mahdollista alkulähdettä ja sitä, missä organisaatiossa on kulloiseenkin tapaukseen voitu vaikuttaa. Mahdollisia kohteita voisi olla:

- ABB GBU -laatu
- ABB BU -laatu
- Toiminnan laatu
- Suunnittelun laatu
 - o Suunnittelijan laatu
- Hankinnan laatu
 - o Ostajan laatu
 - o Toimittajan laatu
- Tuotannon laatu
 - o Työnjohtajan laatu
 - o Asentajan laatu
- Laatuosaston laatu
 - o Auditoinnin laatu
 - o Tarkastajan laatu
- Standardin laatu
- Sertifiikaatin laatu
- Asiakkaan laatu.

4 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ

Konenäköjärjestelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, jonka tärkeimpiä komponentteja ovat kameran kuva-anturi, linssi, valaistus, kuvankäsittely ja tiedonsiirto. Valaistus valaisee kuvattavan kohteen siten, että sen ominaisuudet erottuvat selkeästi. Objektiivin läpi tulevan kuvaheijasteen mukana kulkeutuvat fotonit, lankeaa kuva-anturin pinnalle, joka muuntaa nämä digitaaliseksi tiedoksi. Kuvatieto siirtyy prosessoreille analysoitavaksi, jonka prosessit koostuvat monista eri algoritmeista. Kuva tarkastetaan ensin ja siitä puretaan tarvittavat tiedot, joiden perusteella tehdään tarvittavat tarkastukset ja päätökset. Saatu tieto siirtyy sarjaliikenteen kautta toimilaitteelle tai tallennetaan myöhempää käyttöä varten. /9/

Suurin osa konenäkölaitteiston komponenteista, kuten valaisimet, anturit ja prosessorit, on saatavilla yksittäisinä kaupan hyllystä. Konenäköjärjestelmät voidaan koota komponenteista tai hankkia se integroituna järjestelmänä, jossa kaikki komponentit on koottu yhdeksi laitteeksi. /9/

1950-luvulla tutkijana työskentelevällä (National Bureau of Standards) Russell Kirschillä oli käyttöoikeus Yhdysvaltojen ainoaan ohjelmoitavaan tietokoneeseen. Kirsch kollegoineen yritti selvittää ”mitä tapahtuisi, jos tietokoneet näkisivät maailman kuten mekin.” Kuvanlukijalla skannattu kuva muutettiin binäärimuotoiseksi koodiksi, jonka tuloksena oli 176 x 176 pikselin kuva Russell Kirschin pojasta Waldenista (**Kuvio 2**). /8/



Kuvio 2. Ensimmäinen digitaalinen kuva. /8/

4.1 Näkevä kone

Tutkijoita ja tieteiskirjailijoita on kiehtonut mahdollisuus rakentaa älykkäitä koneita, jotka ymmärtäisivät visuaalista maailmaa. Ihminen käyttää suuren osan aivoistaan näköhavainnointiin ja niiden aistimukseen. Kuvalliset ongelmat ratkeavat helposti, vaikka meillä ei olisikaan sen suurempaa käsitystä itse näkemiseen liittyvästä anatomiasta. /5/

Yksi nykyaikaisen tietokoneen sekä keinotekoisen älyn alkuperäinen kehittäjä Alan Turing (1912–1954) uskoi, että tietokonejärjestelmät alkaisivat ymmärtää näkemäänsä. Ihminen käyttää ympäristön hahmottamiseen mielikuvitusta ja kokemukseen apuna, kun se arvioi näkemänsä todenperäisyyttä. Ympäristön hahmottamisesta koneet selviävät, mutta mielikuvitusta ne eivät pysty hyödyntämään. Oppivissa järjestelmissä on kehitystä kuitenkin koko ajan tapahtumassa. /5/

Milloinka ollaan tilanteessa, jossa nämä keinotekoiset älyn omaavat, itsenäisesti toimivat laitteet, ymmärtäisivät näkemänsä eivätkä hämmentyisi kuvasta, jolla William Hogarth haastoi näkökuvan luotettavuutta vuonna 1754 (**Kuvio 3**). /6/



Kuvio 3. Satire on False Perspective' (1754). /6/

4.2 Digitaalikamera

Digitaalisen kameran historia alkoi vuonna 1951, kun elävää kuvaa aloitettiin tallentamaan videokameroilla. CCD-kuva-anturit muuttivat kuvatiedot jänniteimpulsseiksi ja ne tallennettiin magneettiselle VTR-nauhalle. NASA aloitti käyttämään saman tyyppistä tekniikkaa 1960-luvulla, siirtäessään analogisesti kuvia avaruusluotaimesta maahan. /7/

Kodakilla vuonna 1975 insinöörinä työskennellyt Steve Sasson teki ensimmäisen digitaalisen ”kannettavan” näppäilykameran. Kamera painoi 8 kiloa ja kuvatarkkuus oli ainoastaan 0,01 megapikseliä. (Kuvio 4). Kameralla kuvattavan yhden mustavalkokuvan ottaminen kesti noin 23 sekuntia ja se tallennettiin kameran kyljessä olevalle C-kasetille. /8/



Kuvio 4. Ensimmäinen digikamera. /8/

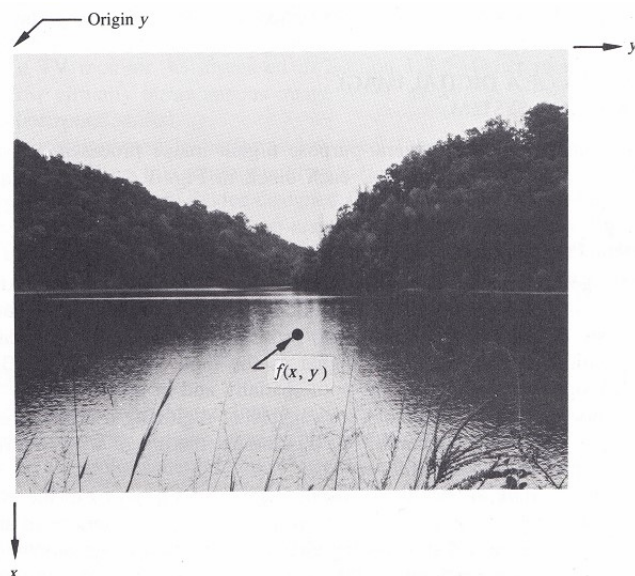
4.3 Kuva-anturi

Kuva-anturi sisältää kennoston, jonka pikselit rekisteröivät niihin kohdistuneen valon fotonien määrän. Mitä voimakkaampi valo on, sitä enemmän fotoneita imeytyy pikselissä oleviin atomeihin, irrottaen niistä vastaavan määrän elektroneja. Elektronit muunnetaan jännitteeksi, jonka jälkeen A/D-muuntimen jännitetieto muuttuu digitaaliseksi tiedoksi. Numeroista muodostunut signaali prosessoidaan kameran

elektronipiirien avulla. Nykyään melkein kaikki konenäön anturit jakautuvat kahden luokkaan, kondensaattori kytkettyihin laitteisiin CCD-kennoihin ja täydentäviin metallioksidipuolijohteisiin CMOS-kennoihin /11/.

4.3.1 Digitaalinen kuva

Digitaalinen 2D-harmaasävykuva tarkoittaa kaksiulotteista valovoimafunktiota $f(x,y)$. Paikkakoordinaateista x ja y muodostuu funktio $f(x,y)$ arvo, joka on verrannollinen kuvan kirkkauteen eli harmaasävyyden kussakin kuvan pisteessä eli pikselissä. Kuvamatriisin koordinaatisto on yleensä käännetty niin, että x -koordinaatti kasvaa ylhäältä alaspäin ja y -koordinaatti kasvaa vasemmalta oikealle. Origo $(0,0)$ sijaitsee kuvan vasemmassa yläkulmassa. **(Kuvio 5)**. /20/

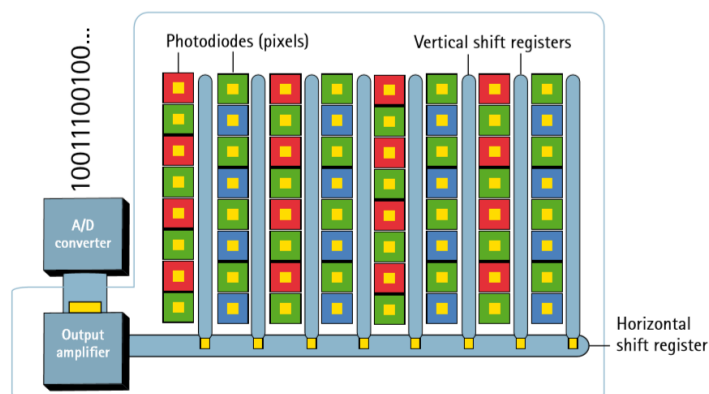


Kuvio 5. 2D-harmaasävymatriisi. /20/

4.3.2 CCD-anturi

Charge-Coupled Device tekniikka on kehitetty kameroihin, joissa sitä on käytetty jo yli 30 vuotta. CCD-anturilla on ollut etunsa verrattuna CMOS-antureihin, kuten parempi valoherkkyys ja pienempi kohinan muodostus. Vuosien varrella tekniikka on kuitenkin kehittynyt ja ero CMOS-antureihin on kaventunut. CCD-kennon suurin haittapuoli on analogisuus, joka vaatii enemmän elektronia piirejä anturin ulkopuolelle. **(Kuvio 6)**. Kennon valmistus on kalliimpaa ja ne voivat kuluttaa jopa

100 kertaa enemmän virtaa kuin CMOS-anturit. CCD-anturin haittapuoliin luetta-
koon myös vaatimus suuremmasta datanopeudesta, koska valmistustavan mukaan,
kaikkien pikseleiden data ajetaan joko yhden tai vain muutama lähtövahvistimen
kautta. /11/

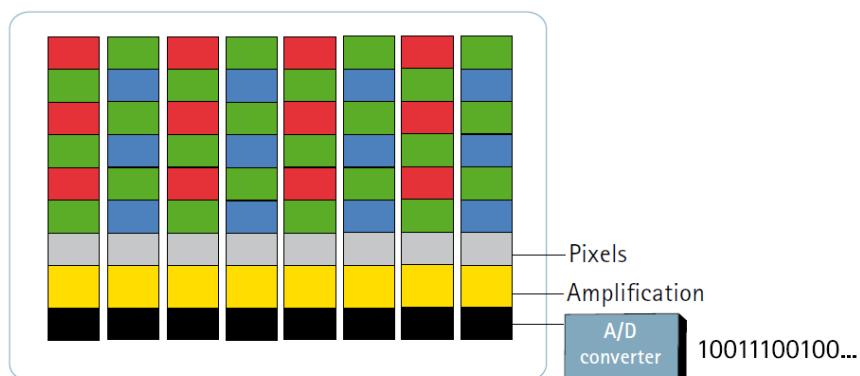


Kuvio 6. CCD-kennon toimintaperiaate. /11/

4.3.3 CMOS-anturi

Complementary Metal-Oxide-Silicon-anturit ovat olleet markkinoilla melkein yhtä
kauan kuin CCD-anturit. Viime aikoina niiden suorituskyky on saavuttanut kuva-
teknisesti sellaisen tason, jota voidaan hyödyntää ammattikäytön konenäkösovel-
luksissa. Parhaimmillaan CMOS-anturi ylittää jo nyt parempaan suorituskykyyn
herkkyyden ja dynaamisen alueen vertailussa kuin CCD-anturi. /12/

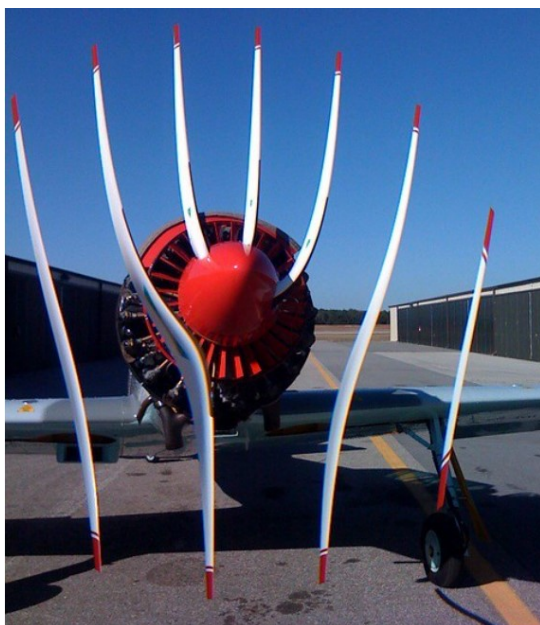
Rakenteeltaan CMOS eroaa CCD-anturista jo pikselitasolla. Jokaisella pikselillä on
oma vahvistin ja kennolla on useita A/D-muuntimia, eli koko muuntoelektronikka
sijaitsee anturilla. Rakenne alentaa kameran kustannuksia, koska se sisältää kaikki
kuvan tuottamiseen tarvittavat logiikat. CMOS-antureilla on enemmän toimintoja
ja paremmat integrointimahdollisuudet. Näiden sisäisten logiikkapiirien käyttö voi
kuitenkin johtaa kohinaan, kuten raitojen ja muiden kuvioiden riskiin. CMOS-an-
turin etuja on nopeampi lukunopeus, alhaisempi virrankulutus, korkeampi kohi-
nasuoja ja pienempi järjestelmän vaatima koko. (**Kuvio 7**). /11/



Kuvio 7. CMOS-kennon toimintaperiaate. /11/

4.3.4 Suljin

CCD- ja CMOS-antureissa käytetään joko globaalia tai rullaavaa suljin tekniikkaa. Rullaavalla menetelmällä valotusaika on jokaiselle pikseleille sama, mutta valotuksen välillä on pieni viive pikselirivistä seuraavaan. Globaalisen sulkimen valotusaika alkaa ja loppuu samanaikaisesti koko kuva-anturilla. Tällä tavoin saadaan jokaisen pikselin antama tieto viittaamaan samaan ajanhetkeen, joka on tärkeä kuvattaessa nopeita kohteita. /17/

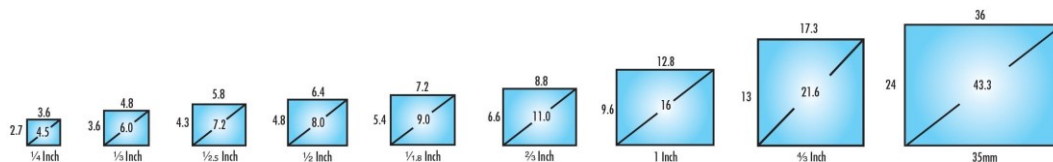


Kuvio 8. Pyörivän sulkimen vaikutus. /17/

4.3.5 Anturin koko

Kuva-anturin pikselit ovat tyypillisesti neliömäisiä ja niiden koko on välillä 3–10 μm . Vaikka anturi määritetään pelkästään pikselien lukumäärän perusteella, niiden fyysinen koko on myös tärkeä. Anturin resoluutio on pikselien määrä millimetriä kohden. /13/

Kuva-anturissa oleva aktiivisen alueen koko määrittää konenäköjärjestelmän näkökentän, field of view (FOV). Kiinteän polttovälin tuottama suurennos, suhteutetaan kennon kokoon, joten suuremmalla kennolla saadaan tarkempia ja kontrastiltaan suurempia kuvia. Kuvakenttien vakiokokoja on useita, joista yleisimmät ovat: $\frac{1}{4}$ " – $\frac{1}{3}$ " – $\frac{1}{2}$ " – 1" – 1.8 " – $\frac{2}{3}$ " – 1" ja 1.2". (**Kuvio 9**). /13/



Kuvio 9. Standardeja kuvakennon kokoja. /13/

Kuva-anturin pikseleissä tuottama kuvakoko lasketaan kuten mikä tahansa suorakaiteen muotoinen pinta-ala, leveys * korkeus. Esimerkiksi valokuva, joka on 4 500 pikseliä leveä ja 3 000 pikseliä korkea, se tekee yhteensä $13\,500\,000/10^6=13,5$ megapikseliä. /14/

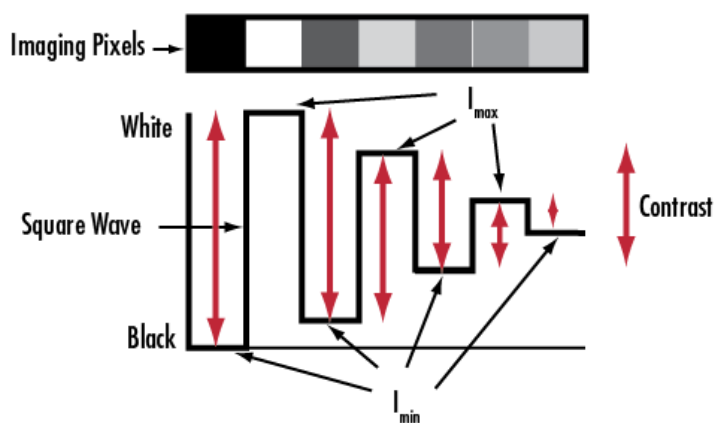
4.3.6 RGB-väritekniikka

Yleisin tapa luoda värikuvia, on käyttää värillisiä suodattimia. Värilliset suodattimet ovat kiinteästi kuvakennoston päällä, jolloin ne peittävät jokaisen pikselin. Käytetyt värit ovat yleensä punainen (R), vihreä (G) ja sininen (B), eli RGB-värimalli. Vihreää pikseliä on kennossa kaksi kertaa enemmän kuin punaista tai sinistä. Ajatuksena on jäljitellä ihmisen silmän erottelukykä, jossa suurin väriherkkyysalue on vihreälle valolle. Yleisesti käytetty värisuodatustapa on nimeltään Bayer-suodatin, jossa anturi lukee $\frac{1}{4}$ punaista, $\frac{1}{2}$ vihreää ja $\frac{1}{4}$ sinistä valoa. /15/

Digitaalisessa RGB-värimallissa on jokaisella yksittäisellä osavärillä 255 eri sävyä, jotka voidaan tallentaa yhteen 8-bitin tavuun. 24-bittiset RGB-värikuvat käyttävät

3 tavua ($8+8+8=24$), joten niissä voi olla 256 punaista, 256 vihreää ja 256 sinistä sävyä eli $256*256*256=16,7$ miljoonaa eri sävyä. RGB-järjestelmän mukaisesti punainen ja vihreä tuottavat keltaista. Joten (255.255.0) tarkoittaa täysisävyistä punaista ja vihreää, sinistä sävyä on 0, joten tulokseksi saadaan keltainen. Mustalla RGB-arvo on (0, 0, 0) ja valkoisella (255, 255, 255). Harmaa väri on myös mielenkiintoinen, koska sillä ei ole tasapainottomia sävyjä, joten RGB-arvot ovat samat, (220, 220, 220) on vaaleanharmaa ja (40, 40, 40) on tummanharmaa. 255 on kirkkain yksittäinen 8 bittinen sävy. /22/

Mustavalkokuvassa kontrasti määrittelee, kuinka hyvin musta voidaan erottaa valkoisesta. Jotta kuva näyttäisi terävältä, on mustien yksityiskohtien oltava mustia ja valkoisten yksityiskohtien oltava valkoisia. Mitä suurempi ero vaalean ja tumman viivan voimakkuuden välillä on, sitä parempi on kontrasti. (Kuvio 10). Mitä harmaasävyisemmäksi mustavalkoinen kuvatieto muuttuu, sitä matalampi on kontrasti /21/. Mustavalkokuvat ovat 8-bittisiä ja niiden sävyarvot ovat musta-0, valkoinen-255 sekä 254 eri harmaasävyä eli yhteensä 256 sävyä.



Kuvio 10. Kontrastin suhteelliset suuruuserot musta/valkoinen. /21/

Konenäkösovelluksissa ei monestikaan ole suoranaista hyötyä väritietojen sisällyttämisestä itse tarkastelukuvaan, koska järjestelmän käyttämiin algoritmeihin vaikuttaa pääosin vain kontrasti. Värikameran käyttö voi tietyissä tapauksissa olla jopa haitallista, koska anturin erottelukyky kärsii samalla kun tuotetaan väritietoa. Väriällisen kuvadatan koko on suurempi, joten myös siirto vaatii enemmän kaistaa, nopeutta ja tallennustilaa. On kuitenkin tapauksia, joissa värit halutaan mitata, mutta

silloin on tärkeä ymmärtää menetelmät, joita kamera tarvitsee väritietojen tuottamiseen. /15/

4.3.7 Värien mittaaminen

Puhuttaessa värien mittaamisesta, täytyy huomioida, että oikeastaan mitataankin vain valoa. Väritapahtuma koostuu kolmesta eri tekijästä, valosta, kohteesta ja havainnoitsijasta. Fysikaalisesti väriaistimus ilmenee ainoastaan havainnoitsijan mielessä. /25, s.37/

Silmä on hyvä työkalu värierojen havaitsemiseksi, mutta tuotannon kannalta silmät eivät tarjoa tarpeeksi tietoa esimerkiksi värierojen suuruudesta tai eroista muihin väreihin. Teollisessa mittaamisessa käytetään värimittaria, jolla tuotetaan numeeriset arvot mitattaville väreille. Yleisimmin käytetyt väriarvomenetelmät ovat kansainvälisen valaistuskomission (Commission Internationale de l'Eclairage CIE) kehittämä CIELAB XYZ ja niistä lasketut $L^*a^*b^*$ -arvot. /23, 24/

4.3.8 Mittaustapoja

Spektrofotometri on laite, jota käytetään valon voimakkuuden ja aallonpituuden suhteen mittaamiseen. Kohteesta heijastuva sähkömagneettinen energia tulee mitalaitteeseen, jossa hila käyttäen energian komponentit erotellaan aallonpituuden mukaan. Erotetut värit kohdistetaan CCD-anturiin, jossa kunkin aallonpituuden voimakkuus mitataan anturissa olevilla pikseleillä. Tuloksena on spektri, joka näyttää kunkin värien aallonpituuden voimakkuuden. Hila siis erottaa jokaisen värien valkoisesta valosta. /28/

Värikamera mittaus, jonka kuva-anturin pikseleiden R-, G-, B-arvot voidaan konvertoida esittämään arvoja muissa värialueissa ja standardeissa. R-, G-, B-arvot konvertoidaan ensin X-, Y-, Z-arvoiksi, jonka jälkeen ne voidaan muuttaa esim. CIELAB väriavaruuden mukaan $L^*a^*b^*$ -arvoiksi. /29/

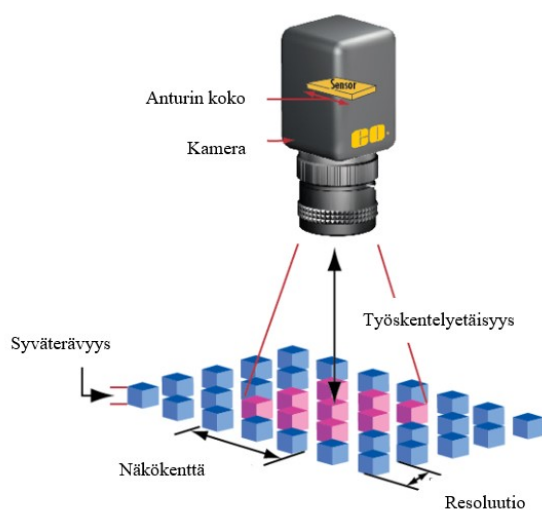
Monispektri kuvantaminen on alun perin kehitetty avaruuskuvaukseen. Nykyään sitä käytetään muillakin aloilla, kuten ympäristön havainnointi, puolustus ja turvallisuus, lääketieteelliset sovellukset ja niin edelleen/26/. Monispektri voidaan

toteuttaa lisäämällä värisuotimia sisältävä kiekko tavalliseen kameraan, jolla on laaja taajuusvaste kuva-anturissa. Suodinkiekko voi pyöriä jatkuvasti tai tietokoneohjatusti valita suodattimen kerrallaan /27/.

4.4 Optiikka

Objektiivien ja linssien tehtävänä on kerätä kuvattavan kohteen hajottamaa valoa ja luoda kohteen kuva uudelleen valoherkälle anturille. Ilman optiikkaa ei terävää kuvaa pystytä muodostamaan. Optiikkaa valittaessa eri käyttökohteisiin on huomioitava muutamia parametrejä /16/. (**Kuvio 11**).

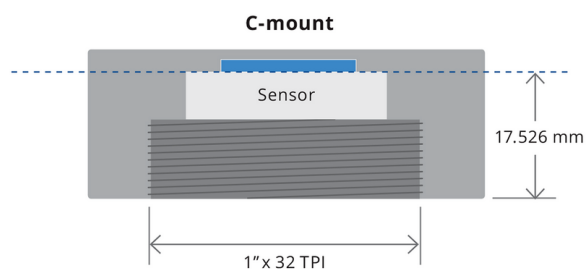
- Näkökenttä, Field of View (FOV). Kokonaispinta-ala, jonka objektiivi pystyy tuottamaan kameran kuva-anturiin
- Työskentelyetäisyys, Working distance (WD). Objektiivin etäisyys kuvauskohteesta, kun kuva on tarkennettu teräväksi
- Syväterävyys, Depth of Field (DoF). Etäisyyserot, joilla kohteet näkyvät hyväksyttävällä tarkennuksella
- Suurennus. Anturin kuva koon ja näkökentän välinen suhde
- Anturin koko. Kuva-anturin aktiivisen alueen koko
- Tarkkuus. Pienin mahdollinen etäisyys kahden pisteen välillä, joka voidaan vielä erottaa erillisinä pisteinä. /16/



Kuvio 11. Optiikkaan vaikuttavat tekijät. /16/

4.4.1 Kiinnitys

Objektiivin kytkemiseen voidaan käyttää erinäisiä mekaanisia kiinnitysjärjestelmiä, joilla saadaan sekä hyvä tarkennus että riittävä kuvan vakaus. Kuvan tarkennusongelmien välttämiseksi on tärkeää, että linssin ja kamerasensorin kiinnityslaipan polttoetäisyys ovat täsmälleen samat. Kierteisissä mekanismeissa, voidaan linssin etäisyyttä säätää suhteessa kuvakennoon. (**Kuvio 12**). Teollisuusmarkkinoilla C-tyyppinen kiinnike on yleisin optiikan kiinnike. Sen määrittelee laipan polttoväli 17,526 mm, halkaisija 1" (25,4 mm), 32 kierrettä/tuuma. /33/



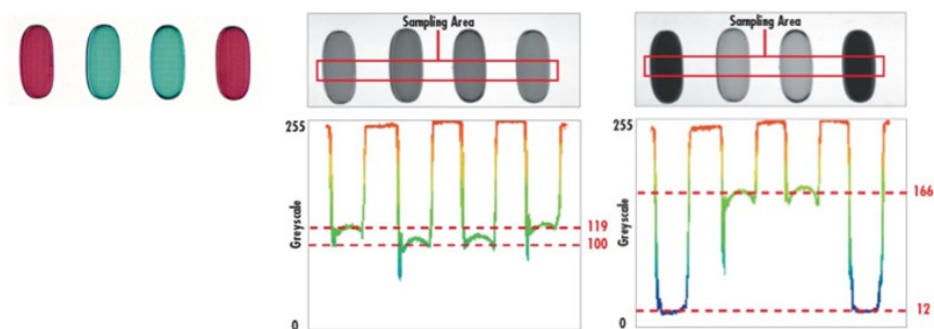
Kuvio 12. Objektiivin C-tyypin kiinnitys. /33/

4.4.2 Optiset suodimet

Optisia suodattimia käytetään joko läpäisemään tai estämään haluttu aallonpituus tai aallonpituusalue. Optisia suodattimia käytetään kliinisissä kemian alan sovelluksissa, kuten fluoresenssimikroskopia, spektroskopia tai teollisuudessa käytettävät konenäkösovellukset. /30/

Optisen suodattimen käyttökohteita:

- valokuitutekniikassa voidaan eri aallonpituuksista johtuvat häviöt kompensoida, kuituvahvistimen vahvistusta tasaamalla. Suodattimia voidaan käyttää myös ilmaisimissa ja tutkissa, jossa valonlähteen tuottamaa spektriä halutaan vakauttaa
- laserlaitteiden sisäpuolisissa mittaelementeissä voidaan käyttää suodattimia aallonpituuden virittämiseen, tai mahdollisten ei-toivottujen aallonpituuksien aiheuttamien heijastuksien estämiseksi
- esimerkiksi valokuvakameroiden kuva-antureissa olevat RGB-suodattimet mahdollistavat värien intensiteetin havaitsemisen eli poikkeaman ns. normaalista harmaasta (**Kuvio 13**)
- kirkkaissa olosuhteissa valokuvatessa (lumi maisemat) voidaan käyttää neutraali tiheys suodattimia, vähentämään kameran linssin läpi kulkevan valon määrää, ilman että kohteen värimaailmaa vääristyisi alkuperäiseen verrattuna. /31/

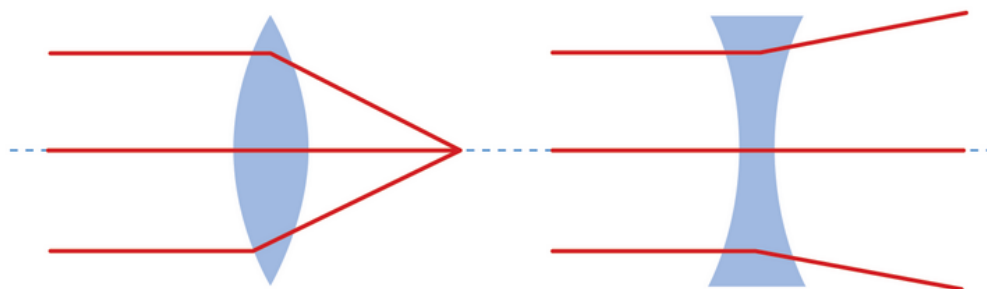


Kuvio 13. Vihreän värisuodattimien vaikutus harmaasävykuvassa. /49/

Markkinoilla on myös kameroita, joissa nelisuuntainen polarisoiva suodin on rakennettu suoraan kuva-anturiin, kuten (*imx253mzr/myr*) tuotteensa julkaissut Sony Semiconductor Solutions on julkaissut lokakuussa 2019. Kirkkauden- ja väritiedon kaappaamisen lisäksi kuva-anturilla voi tallentaa myös polarisaatio tietoja, joita normaali kuva-anturi ei tunnista. Polarisaatioanturia voidaan käyttää teollisuuden sovelluksissa ja tarkastuksissa, varsinkin jos näkyvyys ja havaitseminen ovat vaikeita. /32/

4.4.3 Polttoväli ja kuvakulma

Tavallisissa linssirakenteissa, polttoväli on etäisyys, jonka päässä linssin läpi tulevat valosäteet yhtyvät polttopisteeksi. Polttoväli on perusominaisuus optiselle järjestelmälle. Se mittaa kuinka voimakkaasti järjestelmä lähentää tai hajauttaa valosäteitä. Jos suunnatut valosäteet keskittyvät samaan pisteeseen, linssin sanotaan olevan positiivinen eli kupera. Kun taas valosäteet suuntautuvat pois päin toisistaan, on tarkennuspiste näennäinen ja linssin sanotaan olevan negatiivinen eli kovera. Kaikissa konenäkösovelluksissa käytetty optiikka on yleensä positiivista, eli ne kohdistavat valoa anturitasoon. (**Kuvio 14**). Linssit tunnustetaan yleensä polttovälillä millimetreinä (12 mm, 25 mm, 35 mm jne.). /34/



Kuvio 14. Polttovälissä yhtyvät ja hajaantuvat valosäteet. /34/

Linssikokoonpanon polttoväli määrittelee myös optiikan näkökentän kulmissa mitattuna. (**Kuvio 15**). Mitä lyhyempi on polttoväli, sitä leveämpi on linssin perspektiivi eli kuvakulma tietyllä anturikoolla. Eli mitä lyhyempi on linssin polttoväli, sitä lyhyempi etäisyys tarvitaan samaan näkymään kuin verrattuna pidemmän

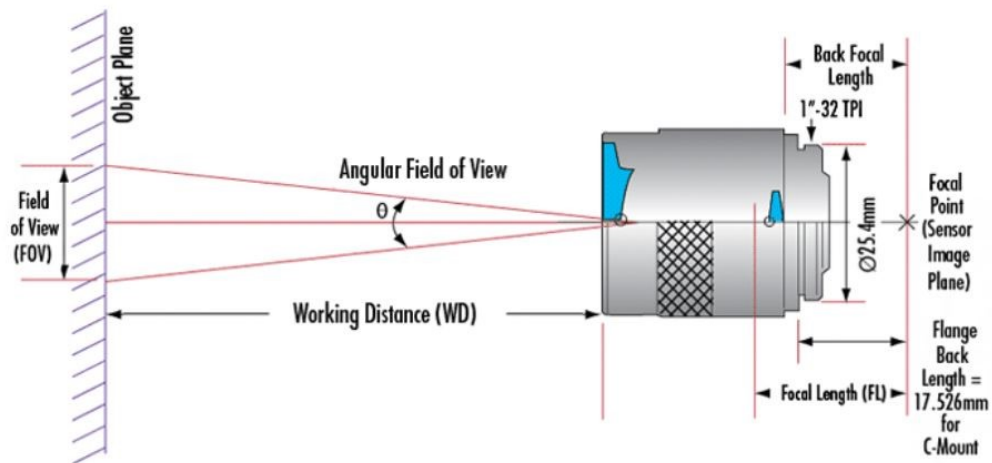
polttovälin linssiin. Määritelmän mukaan voidaan osoittaa, että optiikan näkökenttä kulmissa mitattuna liittyy linssijärjestelmän polttoväliin (**Kaava 1**). /35/

Kaava 1. Kuvakulman määrittäminen. /35/ (1)

$$\text{Kuvakulma}^\circ (AFOV) = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{h}{2f} \right)$$

jossa f on kuvausetäisyys

h on näkymän leveys



Kuvio 15. Kuvakulma, jossa vaakatason näkymä määritellään. /16/

Tulevaisuuden linssiteknologiaa edustaa jäljitelmät hyönteisillä olevasta verkkosilmästä (**Kuvio 16**). Viime vuosina huomiota saanut rakenne, jonka ominaisuuksiin lukeutuu suuri näkökenttä (FOV). Kompakti fyysinen rakenne, suuri herkkyys ja nopeus liikkuvia kohteita tarkastellessa. Nykyään on monia eri tutkimuksia kohdistettu juuri niveljalkaisilla hyönteisillä esiintyvän verkkosilmä jäljittelemiselle. /38/



Kuvio 16. Niveljalkaisten silmää mukaileva kamera. /38/

4.4.4 Terävyysalue

Objektiivin tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu F-luvun asetus, jota säätelemällä voidaan vaikuttaa linssin parametreihin kuten, valonläpäisykykyyn, syväterävyyteen (DoF) ja kykyyn tuottaa kontrastia tietyllä resoluutiolla. (**Kuvio 17**). Periaatteessa F-luku on linssin efektiivisen polttovälin f suhde aukon todelliseen halkaisijaan d . (**Kaava 2**) /18/. Tyypillisiä F-lukuja ovat F/2.8, F/4, F/5.6, F/8, F/11, F/16, F/22 jne. Jokainen F-numeron lisäys (aukon pienentäminen) vähentää kaksinkertaisesti sisään tulevaa valon määrää. Annettu F-luvun määritelmä koskee kiinteitä polttovälin linsejä, joissa esineen eli kohteen etäisyys on paljon suurempi kuin sen polttoväli /19/.

Kaava 2. Aukon F-luvun määrittäminen. /19/ (2)

$$F/\# = \frac{f}{d}$$

Jossa f on polttoväli

d on aukon halkaisija



Kuvio 17. Aukon vaikutus syväterävyyteen. /50/

4.5 Valaistus

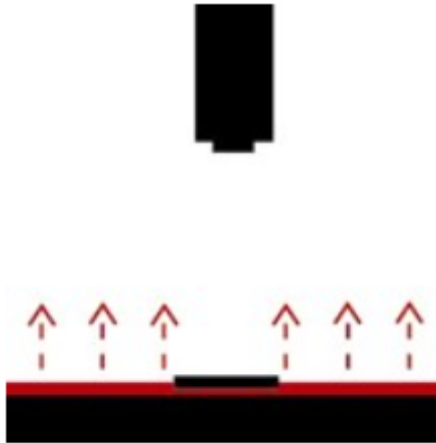
Sana *photography* (valokuvaus) tarkoittaa kirjoittamista valon avulla. Määritelmä pitää paikkansa myös konenäön suhteen, joka on nykyaikaisempi menetelmä. Valo on siis työkalu, jonka avulla mahdollistetaan luotettava informaatio, koska sitä käytetään tiedon välineenä. Valaistus on yhtä tärkeä kuin optiikka, koska sitä kautta tulee ensisijainen tieto tarkasteltavasta kohteesta. /37, s.75/

Koska kuvan käsittelyvaihe tehdään matemaattisesti, on kohteen ja taustan kirkkausarvot eroteltava toisistaan mahdollisimman hyvin. Kontrasti (kirkkaat ja tummat alueet) sekä varjot, pinnan muodot, heijastukset ja raidat ovat välttämättömiä. Kaikki nämä toteutetaan valoa käyttämällä. Suurin osa, noin kaksi kolmasosaa konenäöstä perustuu valaistukseen. Jos ei ole kirkkautta ja kontrastia, eivät myöskään algoritmit löydä reunoja, joiden perusteella tehdä matemaattisia ratkaisuja itse kohteesta. /37, s.76/

4.5.1 Valaistustapa

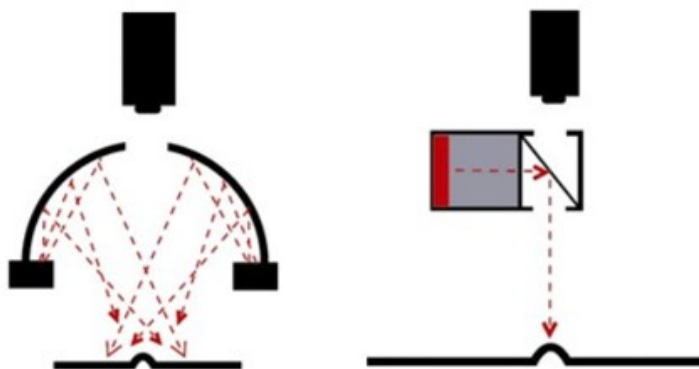
Taustavalaistus tuottaa jyrkkää kontrastia, koska se luo tumman siluetin kirkkaalle taustalle. (**Kuvio 18**). Yleensä taustavalaistusta käytetään reikien ja rakojen paikantamiseen, esineiden mittojen tai osien sijoittumisen tarkasteluun. Yksivärisen valon

käyttöä, kuten punaista, vihreää tai sinistä suositellaan yhdessä polarisaation kanssa, jos halutaan tarkkaa reunan tunnistusta. /40/



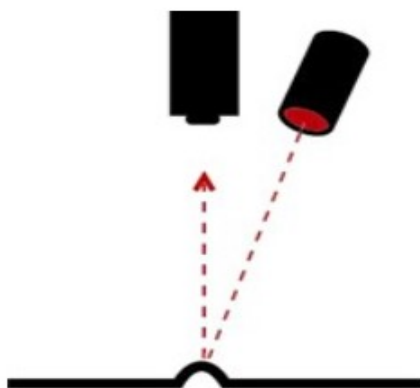
Kuvio 18. Taustavalaisu. /40/

Diffuusioivaa eli **kirkasta hajavalaistusta** käytetään yleisimmin kuvattaessa heijastavia ja kaarevia peilipintoja, joissa tarvitaan tasaista ja monisuuntaista valoa. Hajavalaistuksen toteutuksia on useita, mutta yleisimmät ovat puolipallon muotoinen kupu tai aksiaalinen kohdevalaistus. Kupu tuottaa varjoista vapaata valaistusta, mutta toimiakseen, se vaatii lyhyen etäisyyden kohteeseen. Aksiaalisen hajavalaistuksen ominaisuus on se, että siinä voidaan hyödyntää heijastusta ja korostamalla tunnistaa kiinnostavat kohteet. (**Kuvio 19**). /40/



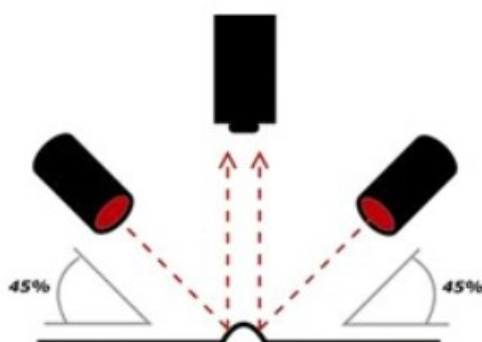
Kuvio 19. Kupu ja aksiaalinen hajavalaistus. /40/

Suora **kirkas kohdevalaistus** on yleisimmin käytetty valaistustekniikka, mukaan lukien luonnollinen auringonvalo. Tekniikka erottuu kirkkaasta yleisvalaistuksesta siinä, että se on suunnattua valoa suoraan valolähteestä. (**Kuvio 20**). Suuntaavalla tekniikalla saadaan parannettua kontrastia ja pinnanmuotojen yksityiskohtia. Valaistuksena ei niin tehokas, mutta kun sitä käytetään aksiaalisilla peilipinnoilla, syntyy muotoa korostava heijastus. /40/



Kuvio 20. Suora kohdevalaistus. /40/

Tumman alueen valaistus on tekniikoista ehkä vähiten ymmärretty, vaikka huomaamattamme käytämmekin näitä tekniikoita päivittäin. Esimerkiksi auton ajovalojen valaisema tienpinta, josta heijastuu valoa takaisin pienistä pintavirheistä ja lähellä olevista esineistä. Tekniikka perustuu siihen, että suuri osa pinnalle lankeavasta loivakulmaisesta valosta, heijastuuikin kauemmas kamerasta poispäin. (**Kuvio 21**). /40/

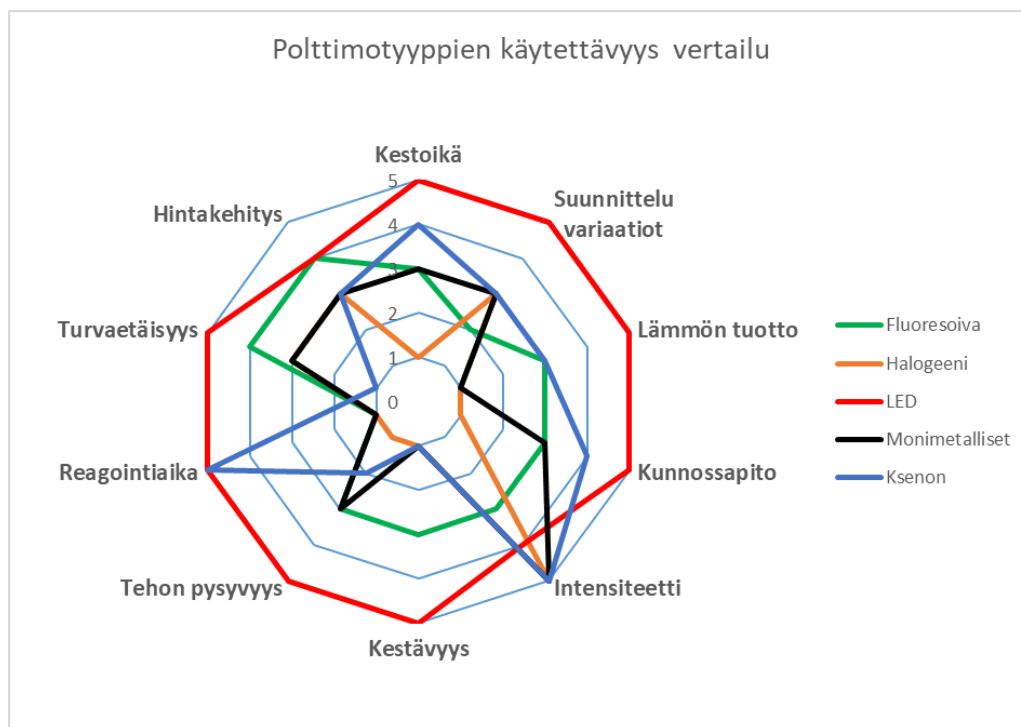


Kuvio 21. Tumman alueen valaistus. /49/

4.5.2 Valaisimet

Konenäköjärjestelmän valaistus perustuu pitkälti valon lähteeseen, eli valaisimeen. Järjestelmään sisäänrakennetulla valolähteellä voidaan vaikuttaa koko systeemin toimivuuteen. Valolähteitä voidaan luokitella lämpö- tai luminenssia säteileviin valaisimiin. Hehkulamppu, säteilee ympärilleen eri aallonpituuksia lämpönä sekä jatkuvana spektrinä eli sateenkaaren väreinä. Koska vain osa säteilevästä spektristä käytetään näkyvänä valona, on hehkulampun hyötysuhde huono. Luminenssi säteileviin lähteisiin kuuluvat ledit ja laserit, jotka lähettävät valoa vain rajatulla spektrikaistalla. Selektiivisen säteilyn takia näiden valoteho on korkea, vaikka toimivatkin tehokkaimmin matalassa lämpötilassa. /37, s.88–89/

Nykyisin konenäköjärjestelmien valaisimissa käytettävät valonlähteet, ovat ultra-violetti säteileviä- (fluoresoivia), kvartsihalogeenisia-, LED-, monimetallisia- (elohopea) tai ksenon valaisimia. Pienillä ja keskisuurilla tarkastusasemilla käytetään valaisintyyppisiä, joissa valonlähteenä on yleensä loisteputki-, kvartsihalogeeni- tai LED-polttimo. Suurilla alueilla, jotka vaativat erittäin kirkasta valonlähdettä, käytetään yleensä monimetalli-, ksenon- tai korkeapaineista natriumpolttimia. Kvartsihalogeeni valaisimet tuottavat suuren intensiteetin, kun taas LED-tekniikka on ympäristöystävällinen, energiatehokas ja pitkäikäinen. LED-tekniikkaa on kuitenkin kehitetty eniten vakauden, intensiteetin ja kustannustehokkuuden suhteen. Jokaisella valaisintyyppillä on omat vahvuutensa (**Kuvio 22**) ja kulloisenkin tarpeen mukaan voidaan käyttää useampaa valonlähdettä yhdessä. /39/



Kuvio 22. Polttimotyyppien vahvuudet ja heikkoudet. /39/

4.6 Rajapinnat

4.6.1 Liitännät ja tiedonsiirto

Digitaalikameroiden käyttö konenäköjärjestelmissä on lisääntynyt, koska niiden tuottamassa kuvadataassa on vähemmän häiriöitä ja tiedonsiirto on nopeampaa. Yleisimpiä rajapintoja kameran ja tietokoneen välillä on videokaappauskortit, USB, FireWire, Camera Link® ja GigE. (**Kuvio 23**). Vaihtoehtoja on useampia rajapintojen kokoonpanoissa. On kuitenkin huomioitava, että tiedonsiirron ollessa joko tahdistamaton (asynkroninen) tai deterministinen (ennustettava, viestien kulku-aika on syklinen) voitaisiin signaalin eheys kuitenkin mahdollistaa kaksisuuntaisessa liikenteessä. /41/

FireWire, (IEEE 1394 / IIDC DCAM -standard) 1986 Apple Computer. FireWire.a- ja FireWire.b -liitännät sallivat useiden kameroiden kytkemisen yhtäaikaista ja hoitavat myös virran syötön kameroille kaapelin kautta. Järjestelmän ollessa

käynnissä, ei kameraa voida vaihtaa, koska kaapelin kaksitoimisuuden takia on olemassa oikosulkumahdollisuus. Tiedonsiirtonopeus on 800 Mb/s. /41/

Camera Link® ja **Camera Link® HS** -sarjaliitännästandardi on kehitetty konenäkösovelluksiin ja prosessien valvontaan ja etenkin niihin, joihin liittyy automatisoitu tarkastus ja prosessinohjaus. Videokaappauskortin on tuettava Camera Link®/ HS -liitännää ja virran syöttö kameroille on toteutettava erikseen. Tiedonsiirtonopeudet kokoonpanon mukaan 255 Mb/s – 2 100 Mb/s. /41/

GigE (GigE Vision Standard) perustuu Gigabit Ethernet -tiedonsiirto-protokollaan. Kokoonpanoissa voidaan käyttää tavallisia Ethernet -laitteita kuten kytkimiä, keskittimiä ja toistimia. Kameran virransyöttö toteutetaan erikseen, mutta tiedonsiirto hoidetaan normaaleilla Cat5 – 6-sarjan kaapeleilla, huomioiden mahdollinen häiriösuojauksen tarve. Tiedonsiirtonopeudet 10–1 000 Mb/s. /41/

USB 2.0 (Universal Serial Bus) on suosittu käyttöliittymä, koska useimmat tietokoneet tukevat kyseistä liitännätapaa. Tiedonsiirtonopeus riippuu käytettävien laitteiden määrästä, koska siirtonopeus on kiinteä 480 Mb/s. Kameran virransyöttö voidaan ottaa liittimestä, mutta suositellaan erillistä tehonsyöttöä. **USB 3.0** sisältää samat ominaisuudet kuin USB 2.0 mutta tiedonsiirtonopeus on nopeampi 4.8 Gb/s. /41/

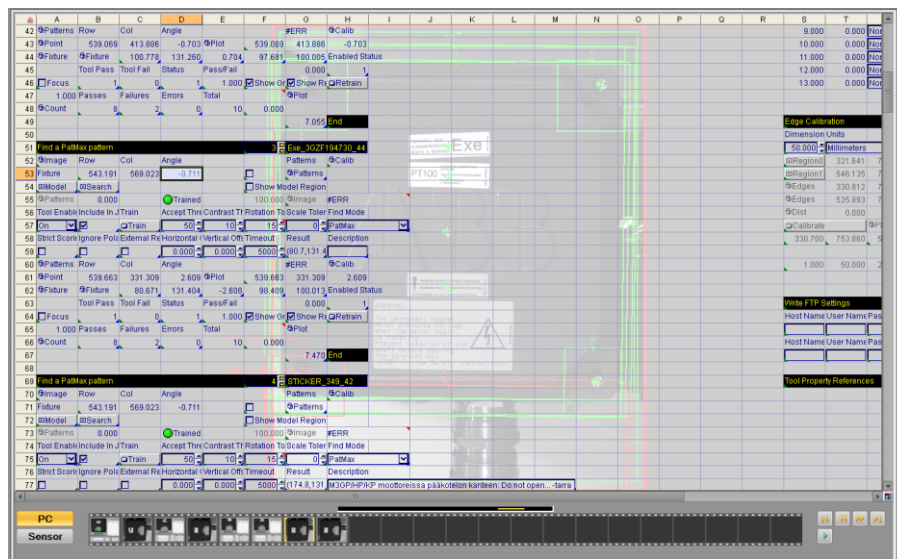
CoaxPress (CXP) on kaistanleveydeltään suuri sarjaliitännästandardi, jonka yhden kaapelin siirtonopeus voi olla jopa 6,25 Gb/s. Kehitetty nimenomaan konenäkösovelluksia varten. Käytettävien kaapelin pituudet voivat olla jopa 100 m. Useilla kaapeleilla rinnakkain voidaan päästä jopa 25 Gb/s nopeuksiin. Virransyöttö kameralle vaaditaan erikseen. /41/



Kuvio 23. Kameroiden liitinmalleja. /41/

4.6.2 Ohjelma

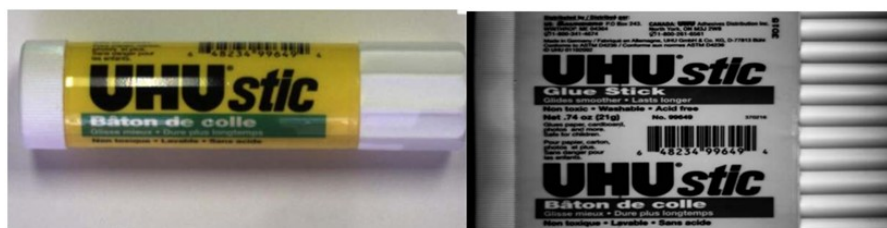
Opinnäytetyössä tehdyissä kuvakaappauksissa on käytetty Cognex Corporationin valmistamaa In-Sight Explorer 5.8.0 -ohjelmaa. Ohjelmaa voidaan käyttää kahdessa eri moodissa, helpommin omaksuttavalla EasyBuilder tai vaihtoehtoisesti taulukkolaskennan tapaisella Spreadsheets näkymässä. (**Kuvio 24**). Käyttöliittymä on jaettu eri osioihin (Start, Set up tools, Configure ja Finish), jotka helpottavat uuden tarkastustyön aloittamista. Start osiossa määriteltiin ensin yhteys haluttuun kameraan, valitsemalla se ohjelmaan ehdottamasta listasta IP-osoitteen määrittämisen jälkeen. Tools osio sisältää valmiiksi koodattuja työkaluja, jolloin ohjelmointia ei itse tarkastus toimintoihin tarvitse osata. Configure -osiolla tarjotaan rajapinta tiedonsiirtoon logiikoille, roboteille tai muille prosessin käyttäjärjestelmille, tietojen keräämistä ja tulosten arkistointia varten. In-Sight Explorer 5.8.0 -ohjelma oli asennettuna normaalille pöytäkoneelle, jossa käyttöjärjestelmänä oli Windows 10.



Kuvio 24. Kuvakaappaus ohjelman Spreadsheets työnäkymästä.

4.6.3 Kamerat

Konenäköjärjestelmää suunniteltaessa, tulee valita käyttökohteeseen sopivat kamerat tarkasteltavien kappaleiden ja tuotantocykliin mukaan. Perinteisessä konenäkö kuvaamisessa käytettävät kamerat ovat 2D-matriisi- tai 1D-viivakameroita. Matriisikameroiden käyttö on yleisempää kuin viivakameroiden, joiden asettelu ja säätäminen on haastavaa liikkumattomassa tuotantotavassa (liukuhihnaton). Viivakamerat pystyvät tuottamaan suuremman resoluution, mutta kuvan muodostamiseen tarvitaan jatkuva liike. Tyypillisiä viivakameran käyttökohteita ovat esim. kelalta avautuvan peltirainan skannaus tai sylinterin muotoisen kohteen tarkastelu, jolloin sen tuottama näkymä avataan 2D-tasokuvaksi. (Kuvio 25). /37, s.42/



Kuvio 25. 2D- ja 1D-kameralla kuvattu lieriömäinen kohde. /51/

Tässä Opinnäytetyössä oli käytössä In-Sight 7402 -älykamera, jossa osa kuvankäsittely prosessoinnista tapahtuu (**Kuvio 26**). Linssin liittäminen kamerarunkoon tapahtuu C-kiinnitystyyppin mukaisesti kierteillä. CMOS -tyyppisen kuva-anturin fyysinen koko on 1/1.8-tumaa (1280*1024 pxl) jolla pystytään tuottamaan tarkkuudeltaan 1,3 Mpx harmaasävykuvia. Kameran käyttöjännite on 24 VDC/2.0 A, jota syötetään ulkoisesta virtalähteestä oman liittimen kautta. Tiedonsiirtokaapelointi tapahtuu 8-pinnisestä, kierteillä kiinnitettävästä M12 Ethernet-liittimestä /42/. Tarkempia tietoja kameraan liittyvistä teknisistä tiedoista, löytyy opinnäytetyön lopussa olevasta liitteestä. (LIITE 1).



Kuvio 26. Älykamera In-Sight 7402.

4.7 Kuvadatan kerääminen

Tässä osiossa käydään läpi kuvaamiseen liittyvät vaiheet, jotka kuuluvat tehdä ennen konenäöllä suoritettavia tarkasteluita. Kuvadatan keräämiseen vaikuttavia tekijöitä on esim. valaistus, kuvaetäisyys tai optiikka. Keräämisen eri vaiheet on suoritettu käyttämällä oikeista kohteista otettuja kuvia.

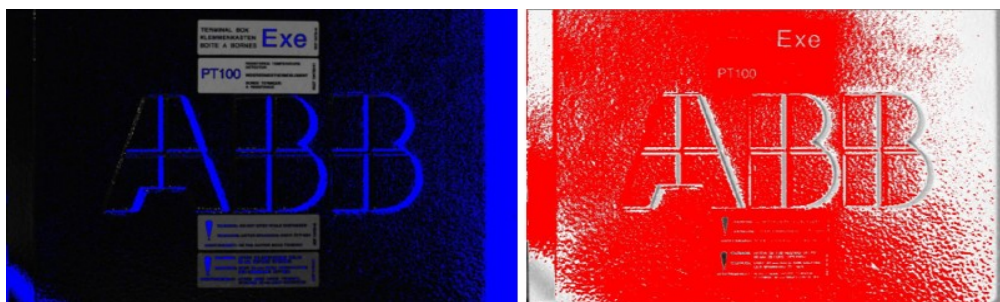
4.7.1 Kuvan esisäätö

Tarkastettavan kohteen kuvaaminen aloitetaan valitsemalla **Set Up Image**, josta päästään määrittelemään kuvan ottotapa, valotusaika ja -tapa sekä tarkennus. Kamera asettelun jälkeen, kuva säädetään teräväksi kohteen etäisyyden mukaan joko

manuaalisesti optiikan tarkennusrenkaasta tai automaattisesti ohjelmasta optiikan niin salliessa. (Kuvio 27). Kuvan valotukseen vaikuttaa aina vallitseva valo kohteen ympäristössä sekä objektiivin aukon koko, jota säädetään manuaalisesti. **Show Brightness Feedback** -työkalu ohjaa värillä indikoiden, valitsemaan oikean valaistuksen. (Kuvio 28). Tarkasteltavan kohteen kuva on mahdollista ladata myös suoraan PC:ltä. Pääsääntöisesti kuvan ottotapa (trigger) voidaan valita jatkuvaksi tietyllä taajuudella, ulkoisesti väylän kautta jostain muusta I/O -rajapinnasta tai In-Sight Explorer -ohjelman kautta joko työkaluvalikosta tai painamalla F5. /43/



Kuvio 27. Esimerkki huonosta ja hyvästä tarkennuksesta.



Kuvio 28. Vasemmalla tarrat valottuneet oikein, oikealla ylivalottuneet.

4.7.2 Kalibrointi

Kaikkia konenäön kuvia käsitellään pikselitasolla, toisin sanoen kuinka monta pikseliä heijastettu kohde on esim. leveyssuunnassa. Jos kuvasta kohteesta halutaan ottaa mittatietoja, pitää todellisen maailman millimetrit yhdistää pikselimaailman mukaan, jolloin puhutaan kalibroinnista. Yksittäisten pikseleiden mitat vaihtelevat

anturin koon ja valmistajan mukaan. Opinnäytetyössä käytetyn In-Sight 7402 -älykameran yksittäisen pikselin koko on $5,3 \times 5,3 \mu\text{m}$. Koordinaatiston skaalaus tapahtuu joko mittaruudukkoa käyttäen, joka huomioi myös linssivääristymät (non-linear calibration) tai kalibrointikuvan yhteydessä kerrotaan järjestelmälle tunnettu etäisyys kuvassa. Kalibrointi on suoritettava aina, jos muutetaan kuvausetaisyyttä, kulmaa tai käytettävää optiikkaa. Kalibroinnin jälkeen voidaan kuvasta ottaa mittaustyökalulla (Measurement tool) vertailumittaus ja todeta skaalauksen onnistuminen (Kuvio 29). /44/



Kuvio 29. Kalibroinnin tarkastelu.

Ylemmässä kuvassa kalibroinnin jälkeinen mittaustulos 56,85 mm. Kalibrointi on tehty uudestaan ja mittaustulokseksi on saatu 57,67 mm. Tarrojen leveydeksi työntömitalla mitattuna saatiin 57,88 mm. Tarra venyy liimattaessa, joten vertailu ei kovin tarkka, mutta osoittaa kalibroinnin vaikutuksen.

4.7.3 Kuvaus alue ja etäisyys

Technobothnian laboratoriossa oli käytössä muutamia eri valmistajien linsejä, joita pystyi vertailemaan keskenään. Vertailun lähtökohdaksi valitsin kaksi eri kuvausetäisyyttä 250 mm ja 500 mm, että selviäisi millaisen näkymän (FOV) vertailtavat optiikat antavat. Kohteeksi valitsin pääarvokilven 80*80 mm, koska se on jokaisessa moottorissa oleva komponentti ja kooltaan helposti hahmotettavissa. Linsien likimääräinen kuvakulma on laskettu (**Kaava 1**) kuvaetäisyyksien tuottaman näkymän mukaan. Taulukossa 1 mitatut h ja v arvot ovat suuntaa antavia (± 3 mm) koska mitat on luettu kuvasta.

Taulukko 1. Linssivertailu kuvausetäisyyksillä 250 mm ja 500 mm.

Kuvakulma ja polttoväli								
Polttoväli	8mm		12mm		12,5mm		25mm	
	44.8°		31.6°		29.7°		15.4°	
Kulma°								
f [mm]	250	500	250	500	250	500	250	500
h [mm]	205	415	143	280	133	265	Out of focus	135
v [mm]	163	330	112	220	105	210	Out of focus	105

Kuvatessa Japanilaisen Spacecomin valmistamalla objektiivilla (HR F1.4/8 mm) oli kuva-ala suurin muihin objektiiveihin verrattuna. Vaikka etäisyyttä ei kuvattavaan kohteeseen ollut kuin 500 mm, oli kuva-alaan mahdollista saada 415*330 mm kokoinen alue. Kuva-anturin ja optiikan tarkkuuden takia ei tällaista kuvaa voida kuitenkaan suurentaa rajattomasti, koska kuva pikselöityy, eli muuttuu epätarkaksi. (**Kuvio 30**).

Pikselöityminen johtuu kohteen piirtymisenä liian pienelle alueelle kuva-anturin (1,3 Mpx) pintaa, jolloin pienten yksityiskohtien tarkastelu ei onnistu luotettavasti, koska kennon erottelukyky ei ole riittävä /45/. Mikäli haluttaisiin tarkastella kaukaa kuvattua objektin tarkkoja yksityiskohtia, olisi kuva-anturin pikselitasoinen tarkkuus oltava huomattavasti suurempi. Suurempi tarkkuus johtaisi taas osaltaan

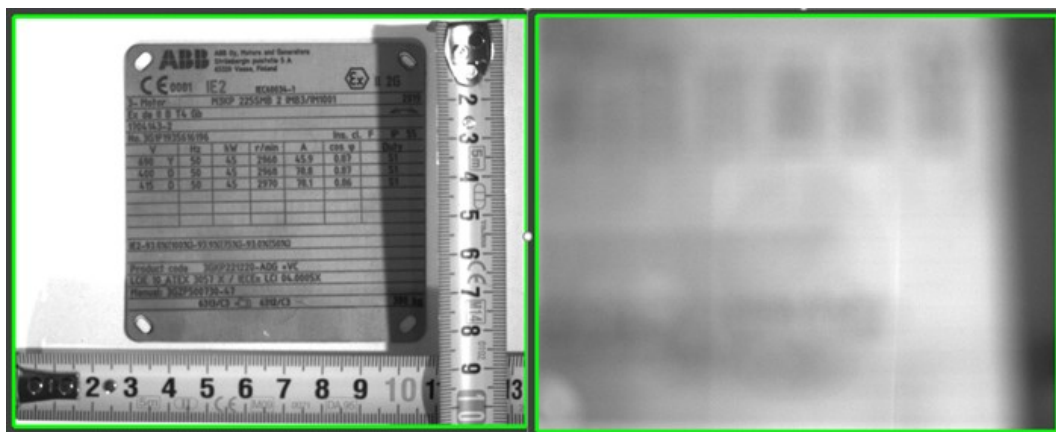
siihen, että kuvatiedostojen koko kasvaisi tarpeettoman suureksi, kuormittaen datan siirtonopeuksia ja veisi paljon tallennustilaa.



Kuvio 30. Kuvan liiallinen pikselöityminen, kohde **r/min** ympyröity.

Spacecom HR F1.4/8 mm -objektiivilla otetut kuvanäytteet. Kuvan 30 vasemmalla on 500 mm ja oikealla 250 mm etäisyydeltä kuvattuna. Alapuolella suurennokset vastaavista kuvista (kohdasta r/min) joista huomaa, että kennon erotuskyky ei riitä tarkkoihin kuviin 500 mm etäisyydeltä kuvattaessa.

Rainbow G25 mm 1:1.4 -objektiivi on myös japanilaisvalmisteinen ja hintaluokaltaan vastaava kuin Spacecom. Kuvatussa 500 mm päästä, oli kameran tuottama näkymä optimaalinen arvokilven tarkastelua ajateltuna, objekti mahtui hyvin kuvaan. Kohteesta pystytään tarkastelemaan pieniäkin yksityiskohtia luotettavasti. Kuva muuttuu epätarkaksi 250 mm etäisyydeltä kuvatussa, koska kohde on objektiivin tarkennusalueen ulkopuolella. (**Kuvio 31**)

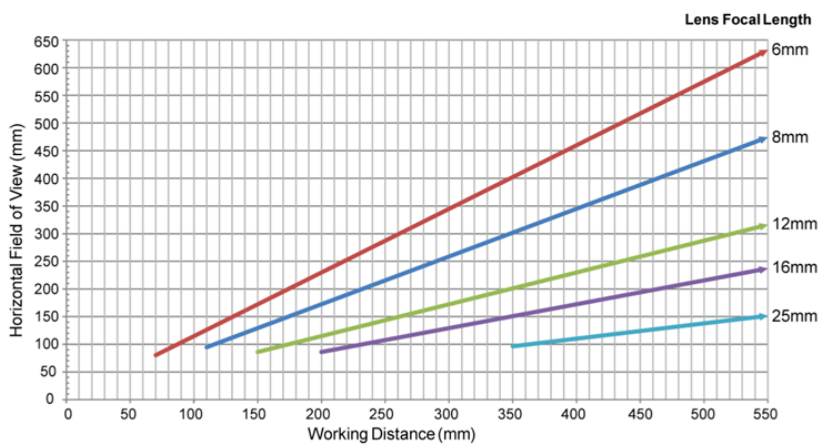


Kuvio 31. Vasemmalla on 500 mm ja oikealla 250 mm päästä kuvattuna.

Cognexin Installation manuaalista löytyvästä taulukossa 2 on vertailtu eri polttovälillä olevien objektiivien kuvausetaisyydestä (Working distance) suhteessa näkyvän leveyteen (Horizontal field of view). Kameran kuva-anturin resoluution ollessa 1280*1024 mm eli 1,31 Mpx.

Taulukko 2. Objektiivin tuottama kuva-alue tietyllä etäisyydellä.

Vision System with 1280 x 1024 Resolution (mm)



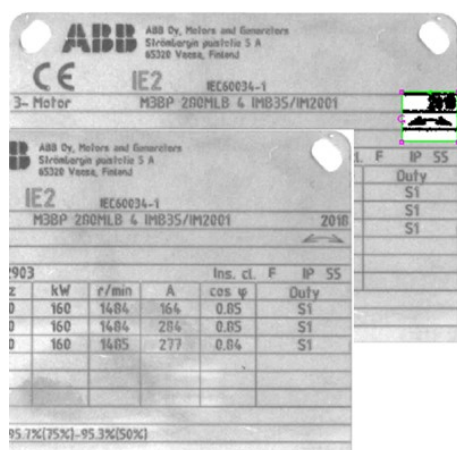
4.7.4 Kuvan esikäsittely

Korkealaatuisten kuvien tuottamiseksi olisi jo järjestelmän suunnittelu ja asennuksen aikana varmistettava, että laitteisto ja ympäristö, kuten valaistus ja linssien optimointi siten, että otetut kuvat olisivat teräviä, vääristämättömiä ja tasaisesti

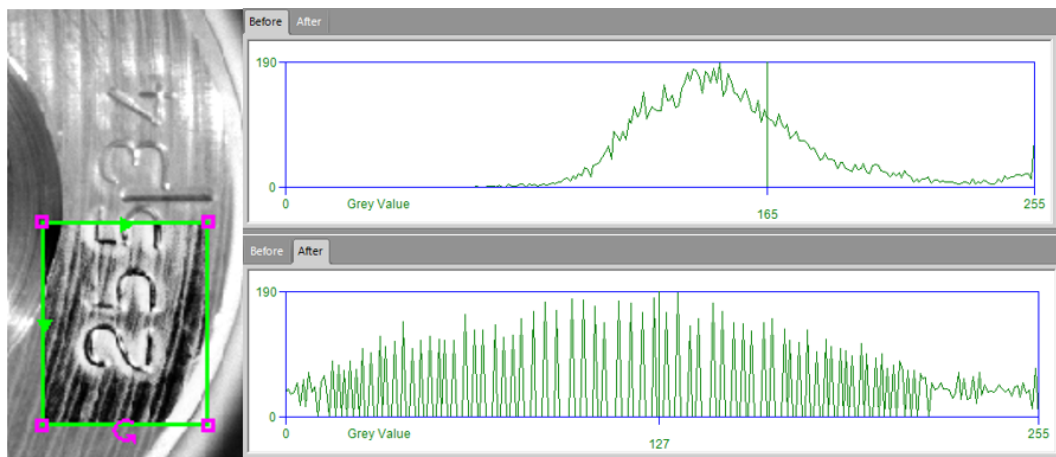
valaistuja. Jos edeltävistä toimenpiteistä huolimatta on vaikeuksia tuottaa haluttua dataa, voidaan kuvan ominaisuuksia kuitenkin digitaalisesti parantaa. Yleensä kuvasta halutaan tunnistaa muotoja esim. reikien kappalemäärä tai etsiä kohteiden reunoja mittauksien tai asentojen määrittämiseksi. Kuvankäsittely ohjelman algoritmeilla pystytään korostamaan, tasaamaan sekä minimoimaan ei-haluttuja ominaisuuksia kuvassa, ja näin edesauttaa tarkastussovellusten luotettavuutta sekä toistettavuutta /46/. In-Sight Explorer 5.8.0 -ohjelmassa on useita suodattimia erilaisiin kuvanparannus tarpeisiin, kuten Binarize, Bottom Hat, Clip, Dilate, Erode, High Pass. Tässä luvussa käydään läpi esimerkein kahden yleisimmän kuvanparannus suotimen Binarize ja Equalize käyttöä.

Binarize. Binääri suodatus (**Kuvio 32**), jolla muutetaan kuvan pikselit asetetun harmaasävykynnyksen perusteella valkoisiksi (255) tai mustiksi (0). Näin käsitellyssä kuvassa on selkeät kynnyalueet, joihin on tarkempi tarttua muilla työkaluilla esim. edge tai line, joissa vaatimuksena selkeä reunan tunnistus. /46/

Equalize. Tasaa. Kontrastia parantava suodatin (**Kuvio 33**), joka perustuu histogrammin taajuuskorjaukseen, jolla harmaasävyn arvoja korjataan tasapainoisemman kuvan tuottamiseksi. Suodatin on hyödyllinen ympäristössä, jossa kuvan va-loisuus voi tietyissä rajoissa vaihdella esim. asennon muuttuessa. /46/



Kuvio 32. Binäärinen kuva-alue.



Kuvio 33. Suodatin on jakanut sävyarvot uudestaan koko harmaasävy alueelle.

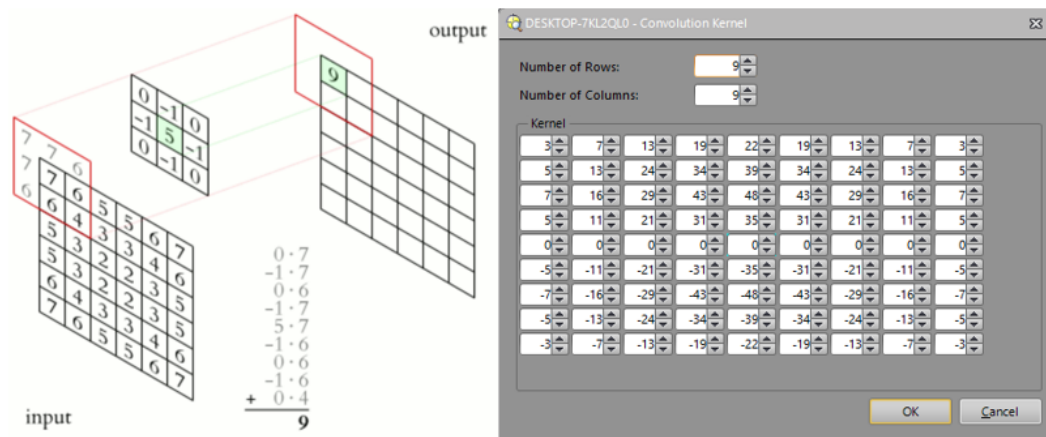
4.8 Algoritmit

Algoritmi on yleisnimi ohjelmallisesta koodista, jolla halutut matemaattiset kaavat tai toiminnot voidaan prosessorissa suorittaa. Ohjelmia käytetään kuvan haluttujen ominaisuuksien parantamiseen tai korostamiseen sekä vertailumallien täsmäämiseen, jolla tunnistetaan mitkä kuvan osat vastaavat mallikuvaa edustavaa mallia /47/. Digitaalisessa kuvankäsittelyssä käytettäviä algoritmiohjelmia on useampia, joista tärkeimpiä ovat:

- mallivertailu (Template matching)
- ääriiviiva-analyysi (Contour analysis)
- ydin analyysi (Kernel)
- reunan tunnistus (Edge detection)
- ryhmä/kynnysarvo (Segmentation/Thresholding)
- pikseliryhmä (Blob analysis)
- muotosovitus (Shape fitting)
- tarkennus (Autofocus)
- kalibrointi (Camera-lens calibration)
- hermoverkko (Neural network)
- koneoppiminen (Machine learning).

4.8.1 Kernel

Aiemmin mainittu equalize suodatointoiminto perustuu kernel-operaation sisältävään algoritmiin. Kerneli on neliömatriisi, jota myös konvoluutiomatriisiksi kutsutaan. Alkuperäinen kuvamatriisi (input), käsitellään kerneli matriisioperaatiota apuna käyttäen (kertomalla yhteen) uudeksi kuvaksi (output), jolloin siitä on saatu korostettua haluttu ominaisuus /47/. Kernel-matriisin numeerisia komponentteja voidaan halutessa muuttaa, jolloin sitä voidaan käyttää kulloinkin haluttuun suodatus tehtävään. Kuvassa 34 on esitettyä kaksi eri 3*3 matriisi -operaatiota. Vasemmalla matriisi, jolla kuvaa voidaan sumentaa (blur). Oikealla on In-Sight Explorer 5.8.0 -ohjelmassa oleva matriisityökalu, jolla voidaan muuttaa kernelin kokoa ja sen sisältämiä komponentteja. Kernelissä on asetukset, jotka sopivat horisontaalisen reunan etsimiseen, erottuu rivinä nollia matriisin keskellä. (**Kuvio 34**).

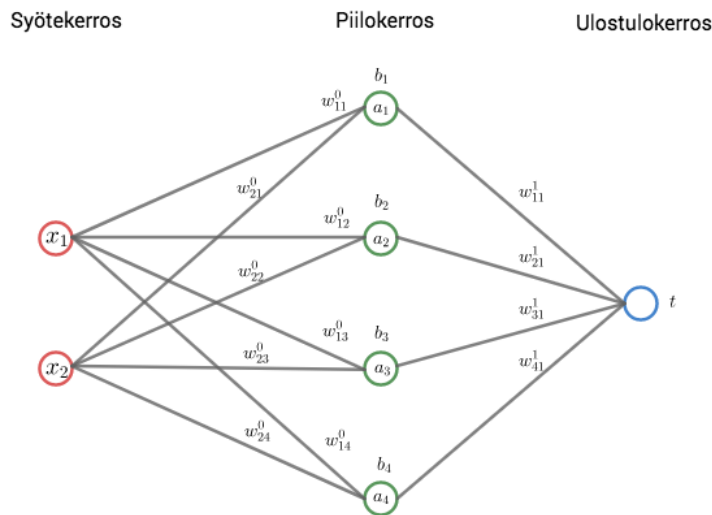


Kuvio 34. Kernel 3*3 matriisi (blur) ja 9*9 matriisi reunan etsintään. /47/

4.8.2 Tekoäly

Yksinkertaistettuun biologiseen hermostoverkkomalliin perustuva keinotekoinen neuroverkko, on loogisista elementeistä (neuronit) koostuva laskentamalli, joka on tekoälyn perusteita (**Kuvio 35**). Oppimisprosessia on tapahduttava, jotta hermostoverkko saadaan toimimaan halutulla tavalla. Synkronisesti toimivan verkon neuroneista muodostuu synapseja eli yhteyksiä oppimisen aikana. Osa synapseista heikkenee ja osa vahvistuu, kun taas osa katoaa kokonaan tarpeettomana. Pääasiallisesti

verkko rakentuu kolmesta eri tasosta, syöttö-, piilo- ja tuotosneuroneista /47/. Kuvan tulkintaan liittyvässä oppimisessa, syötoneuroneita vastaavat yksittäiset pikselit kuva-anturilla. Pikselin intensiteettiä ylittyessä tietyn kynnyksen, aktivoivat ne piilotason neuroneita, joiden perusteella tuotosneuronit antavat laskennan lopullisen tuloksen.



Kuvio 35. Havainnekuva neuroverkon kerroksista. /52/

4.8.3 Koneoppiminen

Koneoppimisessa päätyypeinä on valvottu ja valvomaton oppiminen. Suurin ero näiden oppimistapojen välillä on se, että valvottu oppiminen suoritetaan perustotuutta käyttäen, eli järjestelmää käyttävällä operaattorilla (opettajalla) on etukäteen tieto siitä, mitä näytteiden inputtien eli lähtöarvojen pitäisi olla. Oppimisalgoritmi analysoi koulutusdataa ja päättämisen avulla pyrkii oppimaan toiminnon, jossa annettu näyte halutuista tiedoista ja tuloksista olisi lähempänä syötteiden ja lähtöjen välistä suhdetta. Valvomattomasta oppimisesta puhutaan silloin, kun käyttäjä antaa syötteenä olevan kuvan ilman vaihtoehtoja mahdollisesta hyväksyttävästä rajasta. Valvomattoman oppimisen tavoitteena on mallintaa mahdollisimman hyvin syötteenä olevaa rakennetta tai jakaumaa. /47/

5 TARKASTUKSET

Silmämääräiseen lopputarkastukseen on olemassa oma yleinen tarkastuslista, jonka mukaan tarkastukset on pyritty tekemään. Jos tarkastettavassa kohteessa on kuitenkin näkynyt selvä puute tai virhe, joka on tarkastuslistan ulkopuolelta, on se luonnollisestikin huomioitu.

Tarkastuksilla on ensisijaisesti haluttu poistaa virheitä, joista asiakkaat olisivat mahdollisesti reklamoineet ennen laitteen käyttöönottoa, eli ne rajoittuvat moottorin ulkopuolisiin kohteisiin. Nämä viimeisen vaiheen komponentit määrittelevät myös kaupan ja sen positioilla olevien moottoreiden visuaalisen yhdenmukaisuuden. Silmämääräisessä tarkastustoiminnassa ja sen hallinnassa ei vielä tällä hetkellä ole olemassa erillistä suunnitelmaa, jonka mukaan löydöksiä vakavuusastetta luokiteltaisiin.

5.1 Tarkastusrutiini silmämääräisessä tarkastelussa

Tuotantolinjalta valmistuneista moottoreista valikoituu silmämääräiseen tarkasteluun ne, jotka on siirretty lastausalueelle. Tällöin oletuksena on se, että tuote on kuitattu järjestelmässä valmiiksi ja luovutettu kuljetettavaksi asiakkaalle. Moottorin arvokilvessä olevan kaupanumeron perusteella, tulostetaan työkortti ja aloitetaan tarkastelu. Tarkastelu suoritetaan listassa olevien kohtien mukaan, joiden oikeellisuus moottorissa varmistetaan moottorikohtaisesta työkortista, osanumeroa ja lajimerkkiä hyväksikäyttäen. Tarkastuksen jälkeen tehdään kirjaus sille varatulle Excel-tiedostolle, johon merkitään OK tai NOK sen mukaan onko moottori läpäissyt tarkastuksen vai ei (**Liite 2**). Listaan merkitään myös vikakoodi ja vian kuvaus, joiden perusteella voidaan myöhemmin tarkastella ja raportoida mahdollisia löydöksiä vika-alueittain. Tarkastelun jälkeen moottori palautetaan takaisin tuotantoon, jossa siihen tehdään vaadittavat korjaukset ennen asiakkaalle lähettämistä, jos niitä on tarkastuksessa löytynyt.

5.2 Virheiden luokittelu

Tässä opinnäytetyössä on sähkömoottorista tunnistetavat kohteet pyritty luokittelemaan sen mukaan, kuinka niitä olisi aiheellista tarkastella jatkossakin. Koska kysymyksessä on sähkölaite, on sen täytettävä tiettyjä vaatimuksia lakien, asetusten ja IEC-standardien suhteen. Vaatimustenmukaisuutta määrittelevät myös luokituslaitokset ja kansallista energiatehokkuutta säätelevät (Minimum Energy Performance Standard) MEPS-standardit. Vaikka opinnäytetyön tavoitteena on pyrkiä vähentämään asiakkailta annettuja reklamaatioita, voidaan löydöksiä kuitenkin tarkastella myös niiden vakavuuden suhteen. Näin tarkastellessa olisi edellytykset löytää ja vaikuttaa ajoissa niihin virheisiin, jotka ovat kriittisimpiä asiakkaalla ja loppukäyttäjällä. Virhetyyppien luokittelu on tehty asiakkaan näkökulmasta, pisteyttämällä löydökset seuraavasti:

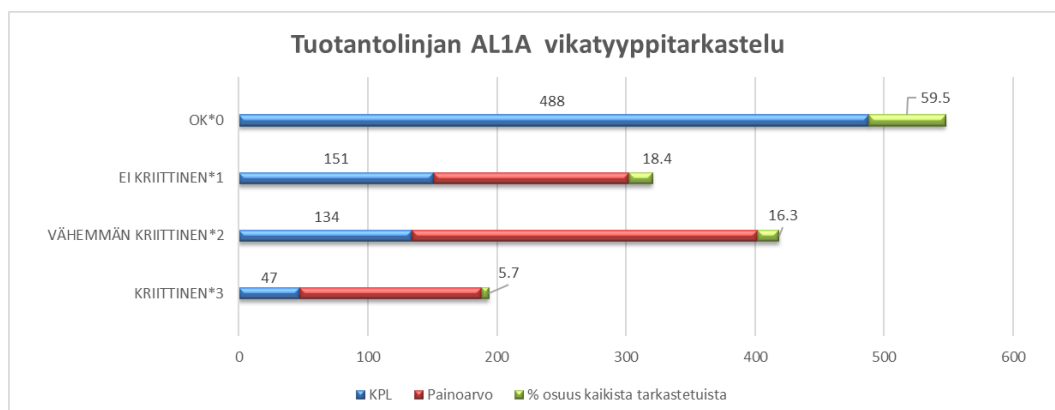
- **3 = Kriittiset** (voivat aiheuttaa kuolemanvaaran tai systeemin tuhoutumisen). Kriittisiin tyyppisiin kuuluvat esim. virheet moottorin merkinnöistä tai asennuksista, jotka on huomioitava käyttöympäristöön tai tapaan liittyen. Vikoja, kuten kaapeleiden läpiviennit, niiden tulppaukset tai vesireikien käyttötila (kiinni, auki), puutteellinen IP luokitus tai esim. ilmoitustarrat 'Do not open while energized' tai 'After de-energizing, delay 60min before opening'.
- **2 = Vähemmän kriittiset** (viivästyttää ja vaatii huoltotoimenpiteen). Vähemmän kriittisiin tyyppisiin kuuluvat esim. kiinnityslaipan otsapinta maalissa, väärä mittausnippa, tasapainotusmerkintä, IE2 -tarrapuute, Jacking bolts puuttuu. Vikoja, jotka aiheuttaisivat viivästymistä käyttöön-otossa eli eivät läpäise käyttöönototarkastusta ja aiheuttaisivat huoltotoimenpiteitä kentällä tai lähimmällä huolto paikalla.
- **1 = Ei kriittiset** (voi vaatia huoltotoimenpiteen). Ei kriittisiin vikatyyppeihin luetaan esim. laakerivalvonnan asennustapa, v-rengas liian syvällä, maadoitusosan väärä materiaali (työkortilla zinc

asennettuna ruostumaton). Vikoja, jotka rikkovat kaupan position yhtäläisyyden tai voivat aiheuttaa huoltotoimenpiteitä, mutta eivät estä käyttöön-ottoa.

- **0 = OK** (Tarkastus läpäisty hyväksytysti).

Silmämääräisesti tarkastettujen moottoreiden listalta on vian kuvauksen mukaan tehty uusi jaottelu vikatyypeittäin. Vikatyypeille ei tällä hetkellä ole olemassa virallista määritettä sen muodostamiselle, mutta tässä tarkastelussa se on tehty edellä mainittua luokittelua mukaillen (**Taulukko 3**). Tarkastelun graafissa esitetyt määrät ovat tarkastuksessa huomioituja vikamääriä, jotka ovat moottoreista korjattu ennen asiakkaalle lähettämistä.

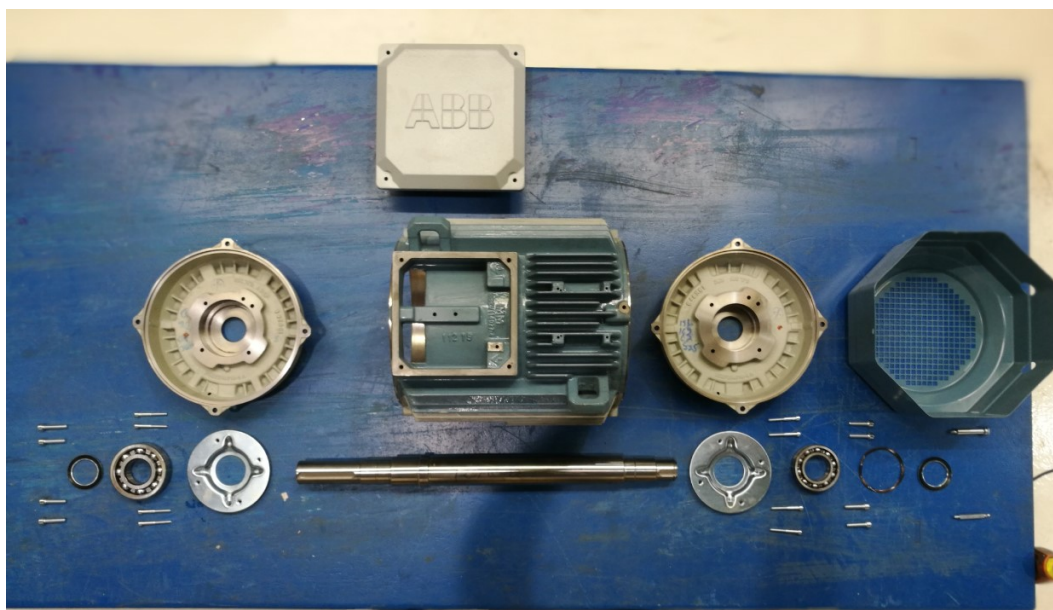
Taulukko 3. Vikatyypitarkastelu.



5.3 Konenäkötarkastelu

Tarkasteluun valittu kohde oli valurautarunkoinen 160 moottori, jolloin fyysinen koko ei ollut rajoittava tekijä ja tarkasteluasemana voitiin käyttää laboratoriossa olutta pöytää. Yläpuolisten kuvausetäisyyksien ja kulmien asetelua helpottivat alumiiniprofiilista tehdyt ruuvikiristeiset kameratuet, joita oli helppo siirtää tarvittaessa. Sivustapäin kuvattaessakaan ei kameraa tarvinnut paljoakaan säätää, koska kohdetta itseään oli helppo kääntää haluttuun asentoon. Kohdemoottori (**Kuvio 36**) oli ns. dummy, eli rakenteesta oli jätetty staattori ja roottori-core kokonaan pois,

jolloin paino (80 kg) saatiin kohtuulliselle tasolle käsitellä. Kuvausetaisyudet eri tarkasteluissa vaihtelevat 250–500 mm välillä.



Kuvio 36. Kohdemoottorin komponentit.

5.3.1 Tarkasteluympäristö

Kohteet kuvattiin ja analysoitiin tarkastelupaikan (**Kuvio 37**) yläpuolisen valaistuksen mukaan ilman tarkempia analysointia tai mittauksia itse valon määrästä, koska se tuntui riittävän työn vaatimien kohteiden tunnistamisessa. Valaisutavan vaikutukset tulivat kyllä tarkasteluissa esille tunnistamista haittaavana häikäisynä, varsinkin koneistetuissa ja kiiltävissä pinnoissa.



Kuvio 37. Työpiste laboratoriossa.

5.4 Käyttöturvallisuuden vaikuttavat tarkastelut

Tässä osiossa on tarkasteltu kohteita, jotka liittyvät moottorin tavanomaiseen käyttämiseen sen oletetussa käyttöympäristössä. Määritteleviä tekijöitä ovat esimerkiksi räjähdysvaarallisten tilojen ympäristö kuten: kaasut, höyryt ja pölyt, sekä suojausjärjestelmiin liittyvät rakenteet kuten: tarrat, kilvet, läpiviennit ja maadoitukset.


5.4.1 ATEX-merkinnät

Räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitetuissa laitteissa on oltava merkinnät sen käyttöympäristöön soveltuvan rakenteen täyttymisestä, sekä laitteen turvallisesta käytämisestä. Yleisimpiä vaarallisen alueen standardeja ovat ATEX-, IECEx- ja NEC. Merkintöihin liittyvistä vaatimuksista sanotaan ATEX (atmosphères explosibles) -merkintöjen osalta seuraavaa:

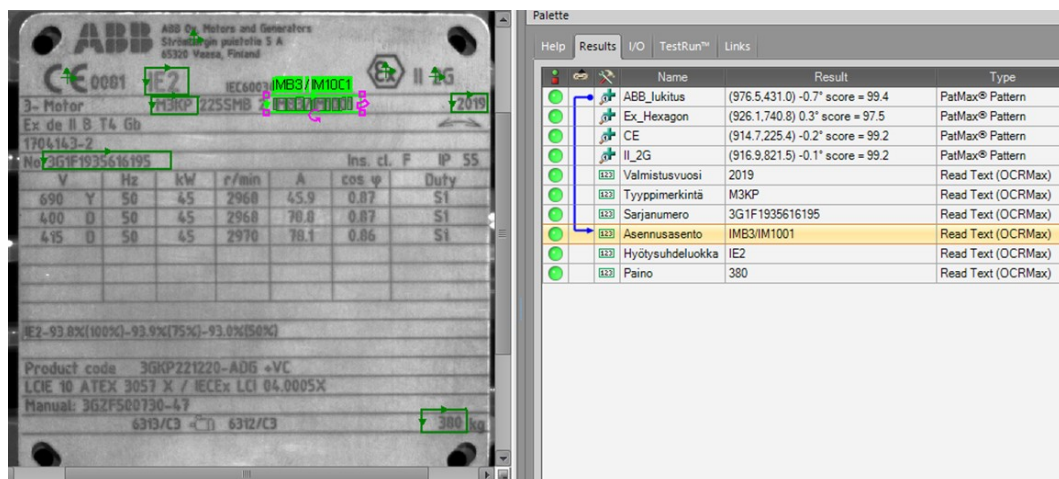
”EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2014/34/EU, annettu 26 päivänä helmikuuta 2014, räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta (uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti)” /48/

”1.0.5 M e r k i n t ä

Kussakin laitteessa ja suojajärjestelmässä on oltava luettavalla ja pysyvällä tavalla vähintään seuraavat tiedot:

- valmistajan nimi, rekisteröity tuotenimi tai rekisteröity tavaramerkki sekä osoite,
- CE-merkintä (ks. asetuksen (EY) N:o 765/2008 liite II),
- sarja- tai tyyppimerkintä,
- mahdollinen erän numero tai sarjanumero,
- valmistusvuosi, räjähdyssuojauksen erityismerkintä  ja laitteiden ryhmän ja luokan tunnus,
- ryhmään II kuuluvien laitteiden osalta kirjain ”G” (kaasujen, höyryjen tai sumujen aiheuttamien räjähdystilojen osalta) ja/tai
- kirjain ”D” (pölyn aiheuttamien räjähdystilojen osalta).
- Lisäksi niissä on myös oltava, jos katsotaan tarpeelliseksi, kaikki käyttöturvallisuutta koskevat välttämättömät tiedot” /48/

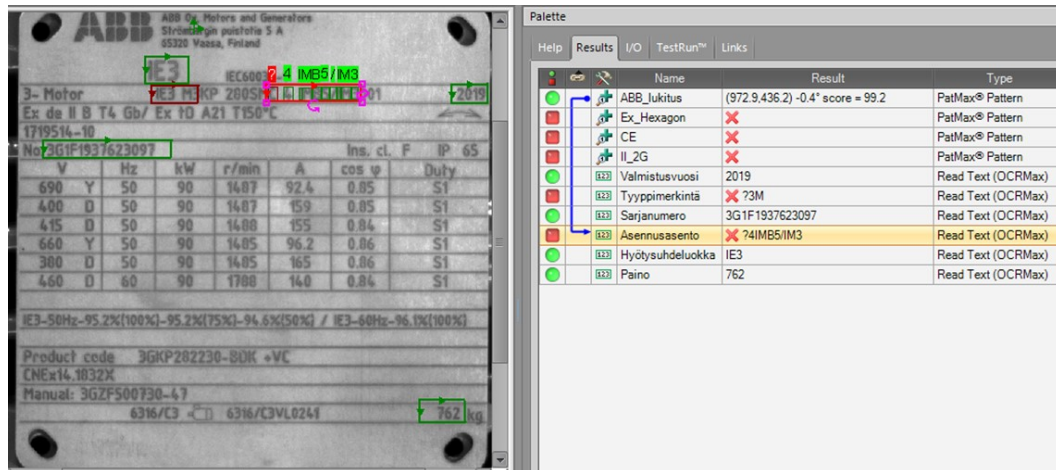
Käyttöympäristöön liittyvien merkintöjen tunnistaminen onnistui tietyin ehdoin (Kuvio 38). Numerot ja niiden variaatiot oli opetettava moneen kertaan, eikä mikään saanut tuottaa varjoa kuvauskohteeseen, eli valaistus piti olla muuttumaton. Kilvessä oleville teksteille varatut paikat pitäisi olla vakioita.



Kuvio 38. Tunnistettuja ATEX-kohteita arvokilvessä.

Kuviossa 39 on arvokilven tyyppimerkintä riville lisätty myös IE3-merkintä. Ohjelmalle opetettu segmentointi pysyy kuitenkin vakiona eikä tyyppimerkinnän lukeminen tapahdu onnistuneesti. Kuvakaappauksessa näkyy punaisilla neliöillä

merkittyjä rivejä, näitä kohteita ei luettu onnistuneesti tai niitä ei kyseisessä kilvessä esiinny. Tarkastelun kohteet kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia. (Kuvio 39).

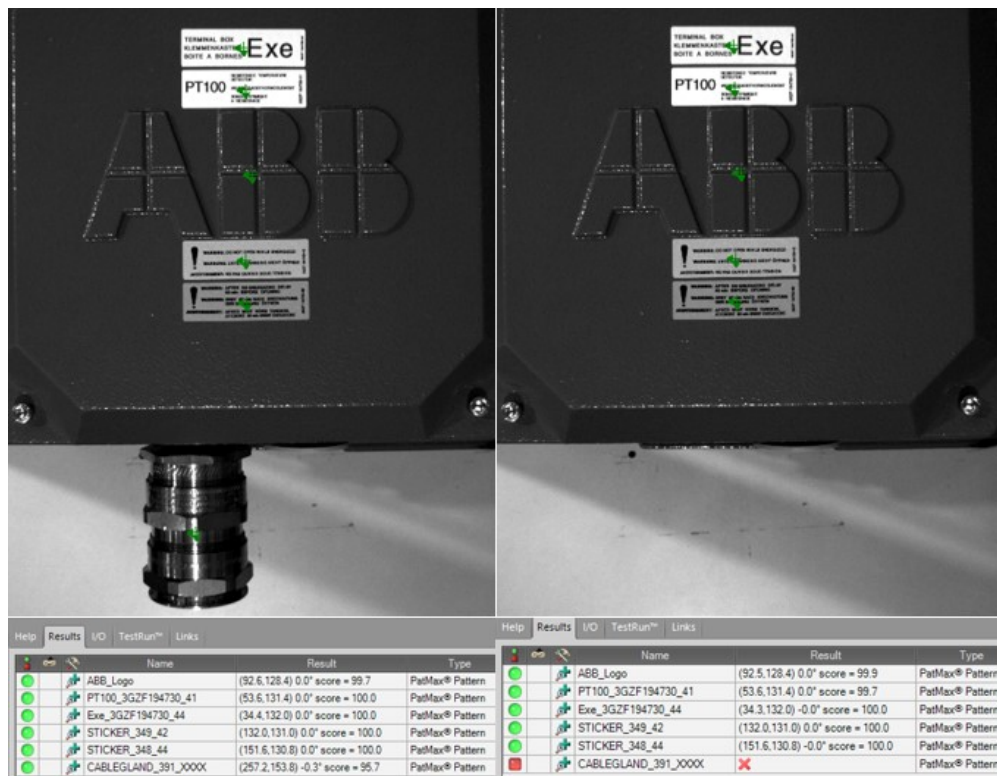


Kuvio 39. Segmentointi ei kohdistu tunnistusalueelle.

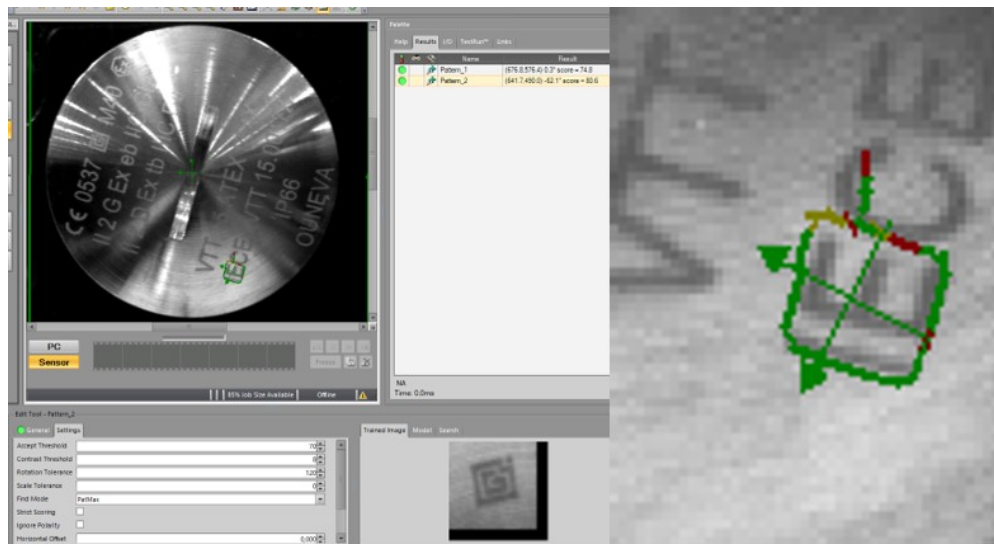
5.4.2 Läpivientiholkit ja tulpat

Kaapelin läpivienteihin liittyvissä tarkasteluissa korostui valaistustavan vaikutus tunnistamisessa. Kiiltävät pinnat ja siitä johtuvat heijastukset vaikeuttavat tekstin tunnistamista kohteesta. Huomioitavaa on myös, että tarkasteltavat kohteet ovat kierrekiinnitteisiä, joten niiden teksteillä ei ole vakioasentoa. Läpivientiholkin muoto oli helposti opetettavissa, koska kuvan taustana oleva pöytä tuotti selkeän kontrastieron. Tarkastelukohde kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia. (Kuvio 40).

Läpivientiholkin tilalle tulevasta tulpasta oli tarkoitus tunnistaa siinä oleva Ex -merkki. Tunnistuksen referenssipaikaksi valitsin samalla rivillä olevan neliön muotoisen tuotemerkin. Konenäkö tulkitse kuitenkin kirjaimet IE, referenssipaikaksi 80,6 % varmuudella. Tarkastelukohde kuvattiin 250 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia. (Kuvio 41).



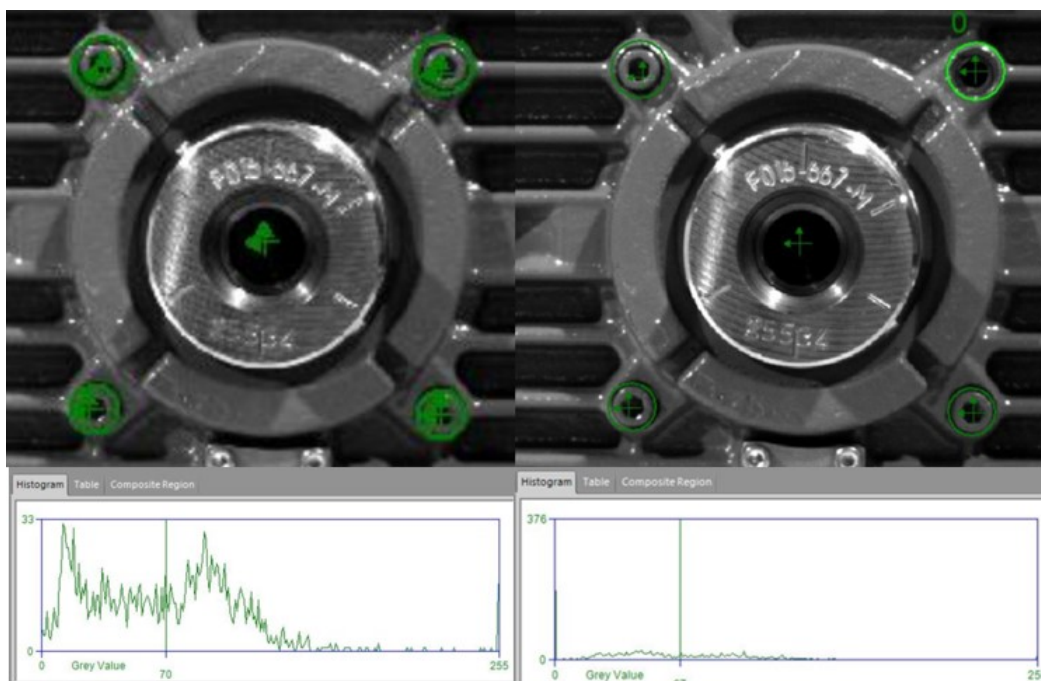
Kuvio 40. Lämpivientiholkin tunnistus.



Kuvio 41. Referenssimerkin virhetunnistus.

5.4.3 Puuttunut kiinnityspultti

Asennuksessa poisjäänyt pultti ja sen mahdollinen huomaaminen voitaisiin tunnistaa esimerkiksi avainkolan muodosta. Ongelmaksi saattaa koitua kantatyyppin vaihtaminen pultissa, joten muuttuessaan se vaatisi järjestelmän uudelleen kouluttamisen. Yhtenä mahdollisuutena olisi käyttää histogrammin sävyarvoja tarkastelun hylkäysperusteena, jolloin ei oltaisi riippuvaisia sen muodosta. Tarkastuksessa oli tarkoitus tunnistaa pultit avainkolan muodosta ja laskea niiden määrä 4 kpl. Tarkastuksen tulos näytti hyväksytyä, vaikka yksi pulteista puuttui. Histogrammin arvossa tuo puute kuitenkin näkyi selvästi. Tarkastelukohde kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia. (Kuvio 42)

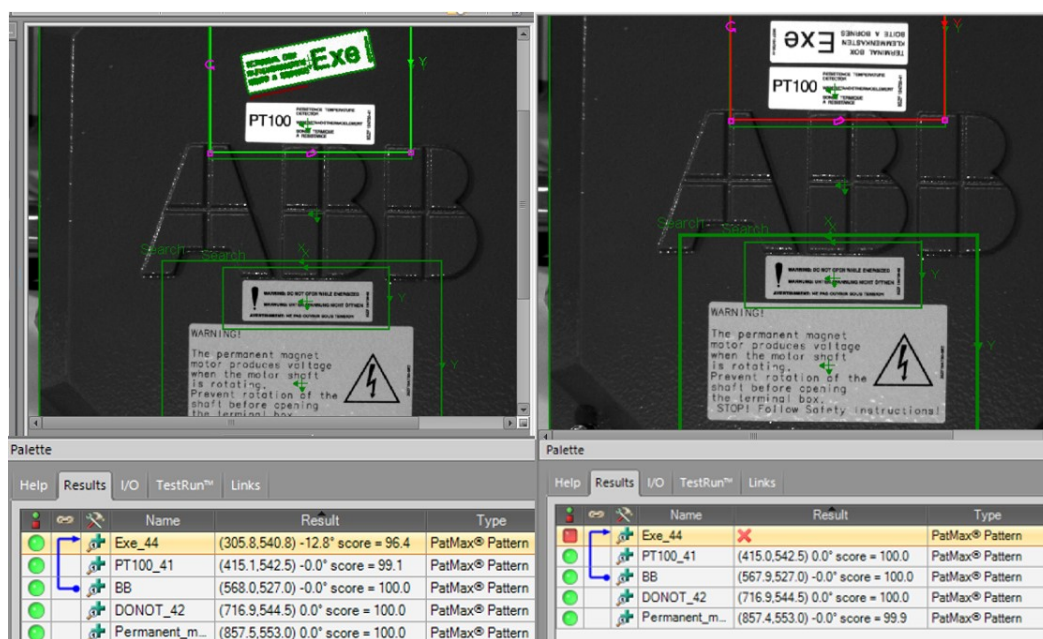


Kuvio 42. Puuttuvan pultin tunnistaminen.

5.4.4 Tarrat ja lisäkilvet

Moottoreihin asennettavat varoitustarrat ovat osa käyttöturvallisuuden vaikuttavia komponentteja, jotka moottorityypin mukaan ilmoittavat päävirtapiirin ulkopuolisesta tehonsyötöstä, jäännösenergiasta tai kestopagnetoinnista. Ulkopuolinen

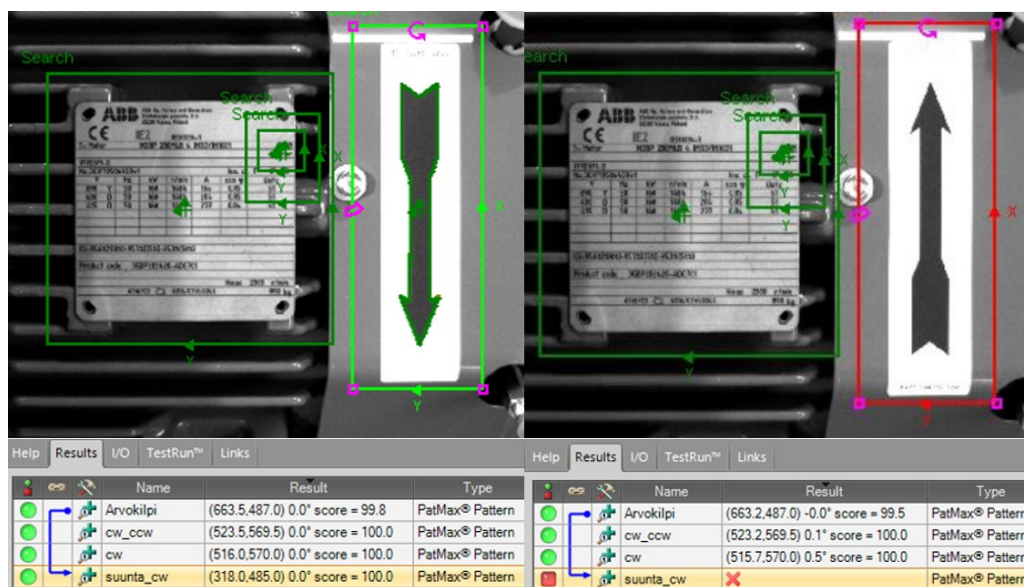
tehonsyöttö tarkoittaa esim. staattorikäimityksen kuivaukseen tarkoitettun seisontalämmityksen energian syöttöä. Tarralla varoitetaan myös kestmagnetoitujen moottoreiden energiantuottokyvystä akselin pyöriessä. Varoitustarrat asennetaan pääliitäntäkotelon kannessa olevan ABB-tekstin alapuolelle. Tarkastuksessa on varoitustarrat tunnistettu onnistuneesti pelkästään niiden ulkorajojen ja tekstirivien muodon perusteella. Tarran suoruutta voidaan tarkastella sen asentokulman hyväksymisrajaa muuttelemalla. Kuvassa 43 vasemmalla, on Exe-tarra korostetusti asennettu vinoon mutta se täyttää vielä hyväksymisrajan. Oikealla on tarra asennettu ylösalaisin ja tarkastus merkkää sen punaisella neliöllä. (Kuvio 43). Tarkastelukohta kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia.



Kuvio 43. Varoitustarrojen tunnistaminen ja asennon huomiointi.

Moottorin pyörimissuuntaa osoittavaa lisäkilpeä käytetään yleensä tuuletintyyppin tai moottorikäytön niin vaatiessa. Yleisesti pyörimissuunta osoitetaan vähintäänkin pääarvokilvessä, johon suuntanuoli on koverrettuna. Suunta on käyttöturvallisuuden vaikuttava tekijä, kun käytetään mekaanisesti pyörimissuuntaa estäviä komponentteja tai suuntariippuvaisia vaihteita ja pumppuja. Pyörimissuuntaa osoittavan

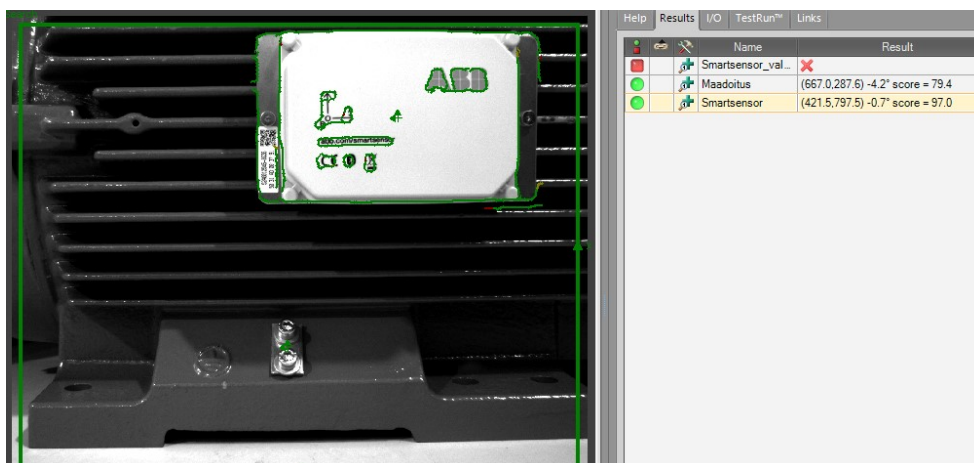
tarran tarkastelussa, opetettiin konenäölle tunnistamaan suuntanuolen muoto. Tarkastelun referenssi otettiin arvokilpeen merkitystä pyörimissuunnasta. (Kuvio 44). Tarkastelukohde kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia



Kuvio 44. Pyörimissuunnan merkit, moottorin tarkasteluasento huomioiden.

5.4.5 Maadoitus

Moottorin rungossa oleva lisämaadoitus, on yleensä kaapelikengälle tarkoitettu yhdellä ruuvilla toteutettu maadoituspiste. Käytössä on myös maadoituskaapelin puristusliittämiseen tarkoitettu kaksoisruuvi kiinnike. Lisämaadoitus auttaa laakerivirtojen ja häiriöiden ehkäisyssä sekä mahdollisten oikosulkuvirtojen hallinnassa. Tarkastelussa konenäölle opetettiin maadoitusrakenteen ulkomuoto, jonka ohjelma tunnisti 79.4 % varmuudella. Tarkastelukohde kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia. (Kuvio 45).



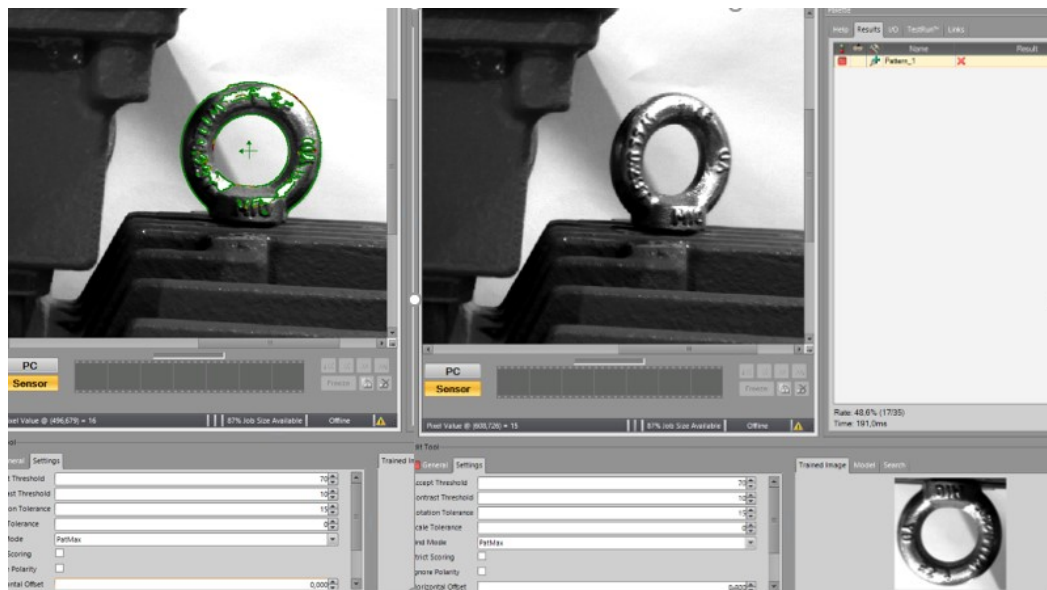
Kuvio 45.Maadoituspisteen tunnistaminen.

5.5 Käytettävyyteen vaikuttavat tarkastelut

Tässä osiossa on tarkasteltu kohteita, jotka ovat moottorin käytettävyyteen ja käyttöönottoon vaikuttavia tekijöitä. Kohteet on valikoitu lähinnä siitä näkökulmasta, että asiakas on saanut tilaamansa moottorin, mutta sen käyttöönotto viivästyy virheen tai puutteen takia.

5.5.1 Nostolenkki

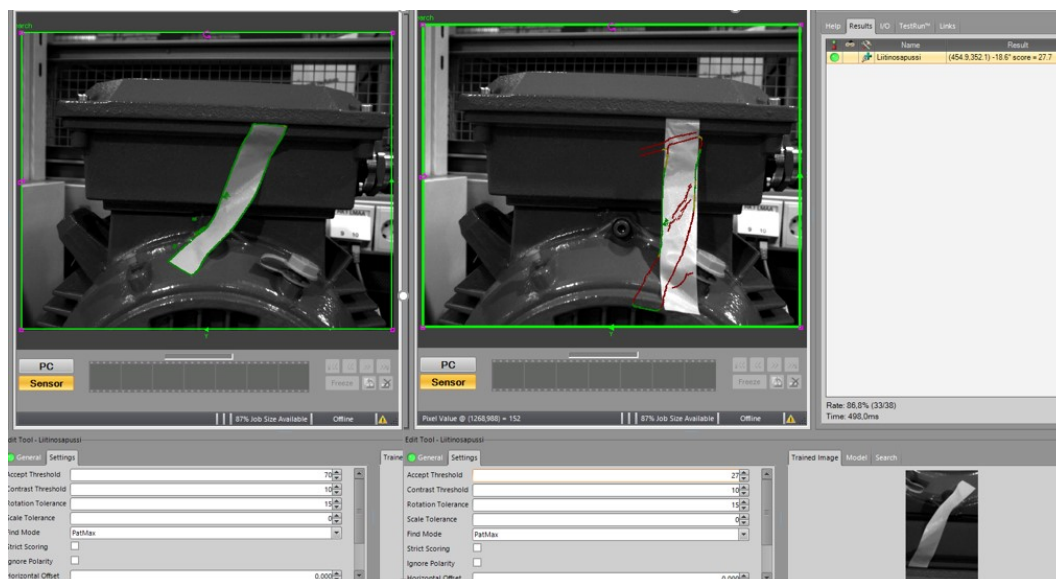
Nostolenkki on moottorin käytettävyyden kannalta oleellinen komponentti, joka osaltaan määrittää asennettavuuden ja moottorin käyttöönoton. Nostopisteinä käytettävien nostolenkkien malli ja asennuspaikka määräytyy asennus- tai kuljetus- asennot huomioiden. Tarkastelu tehtiin kuvaamalla sivustapäin moottorin päällä olutta nostolenkkiä. Nostolenkin muoto opetettiin konenäölle, jonka se myös tunnisti, kun asento pysyi samana. Asennon muuttuessa ei hahmo vastannut enää opetettua ja ohjelma ilmoitti lenkin puuttuvan. (**Kuvio 46**). Tarkastelukohde kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia.



Kuvio 46. Nostolenkin tunnistaminen.

5.5.2 Liitinosat

Moottorin käyttöpaikalla, syötön liittämiseen tarvittavat yleiset liitinosat tulevat tehtaalle valmiiksi pussitettuna. Lopputäydennyksessä päälliitöntakoteloon lisättävästä pussista jätetään siinä oleva merkkinauha kotelon ulkopuolelle. Nauha toimii indikaattorina liitinosien mukanaolosta moottoria pakattaessa ja lähettäessä. Kotelosta ulkona oleva nauhan hahmo opetettiin konenäölle. Nauhan asentoa muutettiin ja tunnistusta yritettiin uudestaan. Kuvassa 47 näkyy punaisella ääri viivalla nauhan hahmo, jota ohjelma yrittää sovittaa löytämiinsä vastaavuuksiin. Jos hyväksymisraja oli 27 % ilmoitti ohjelma nauhan löytyvän, 28 % rajalla ei vastaavuutta enää löytynyt. Tarkastelukohde kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia. (**Kuvio 47**)



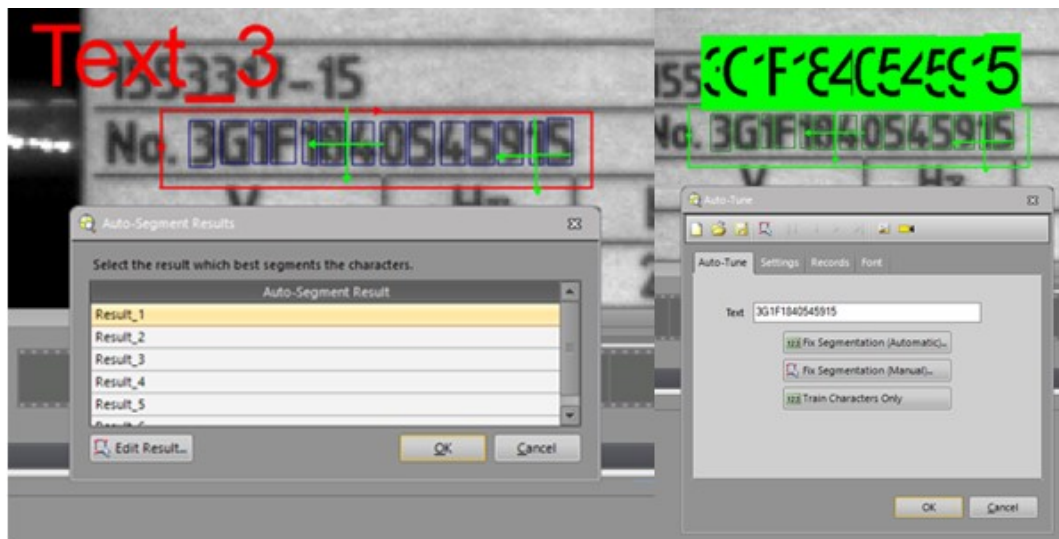
Kuvio 47. Liitinosapussin tunnistaminen.

5.5.3 Pääarvokilven identifiointi

Moottorit yksilöidään sarjanumeronsa perusteella. Numero on merkittynä pääarvokilvessä, lisäarvokilvessä sekä tarrassa liitöntäkotelon sisäpuolella. Kilpiä asennettaessa sarjanumeron vastaavuus varmennetaan liitöntäkotelon sisällä olevasta tarrasta, jonne se on liimattu rutiinitestin jälkeen. Tarrassa sarjanumero on merkittynä myös viivakoodina. Identifiointi tarkastelussa olen tehnyt vertailevan mittauksen pääarvokilven sarjanumeron lukemisen onnistumisesta. Sarjanumeron tunnistaminen on tärkeä, koska se määrittää kaikki muut arvokilvessä olevat merkinnät, suhteessa moottoriin ja siihen liittyvään kauppaan.

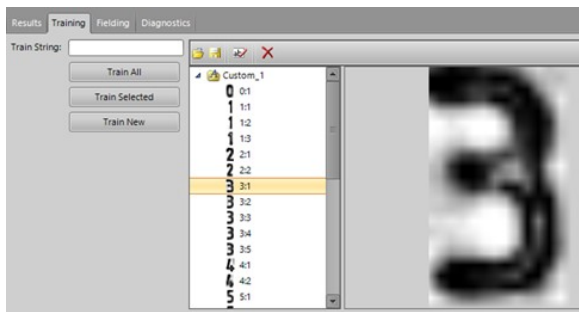
Tarkastelu tehtiin asettamalla kamera moottorin yläpuolelle ja asetuksia muuttamatta vaihdettiin luettavaa kilpeä alapuolella. Tarkastelukohde kuvattiin 250 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia.

Tarkastelussa käytettiin Red Text (OCRMax) -työkalua. Ensimmäinen vaihe on opettaa sarjanumeron sijainti tyyppikilvessä. Sijainnin selvittyä suoritetaan segmentointi eli merkkien paikat tekstissä, kuvio 48 vasemmalla. Haluttu alue rajataan, ja kirjoitetaan opetettava teksti ruutuun, jonka jälkeen ohjelma tekee automaattisen segmentoinnin, kuviossa 48 oikealla. Segmentoinnin voi halutessa tehdä myös manuaalisesti, jos automaatti ei tunnista merkkipaikkoja.



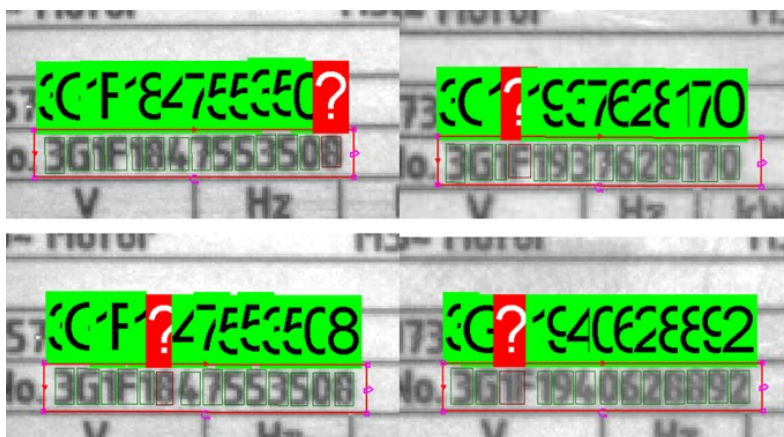
Kuvio 48. Segmentointi ja merkin tunnistaminen.

Sarjanumeroissa esiintyvät yksittäiset numerot opetettiin konenäölle useampaan kertaan, jolloin ohjelmalla oli vaihtoehtoisia versioita merkeistä, joita sen piti osata lukea. Kuviossa 49 on nähtävillä osa numeroista, joita konenäölle on opetettu. Numeroa 3 on opetettu enemmän, koska se sekoittuu helposti numeroihin 8 ja 9.



Kuvio 49. Numeroiden opettaminen.

Kuviossa 50 on koostettuna neljä eri virhelukutilannetta. Kuvion vasemmalla reunalla olevassa numerosarjassa on jäänyt kahdesta eri kohdasta tunnistus tekemättä, mutta merkki on sama, numero 8. Kuvion oikeassa reunassa on vaikeuksia tunnistaa 1- ja F-merkki toisistaan.

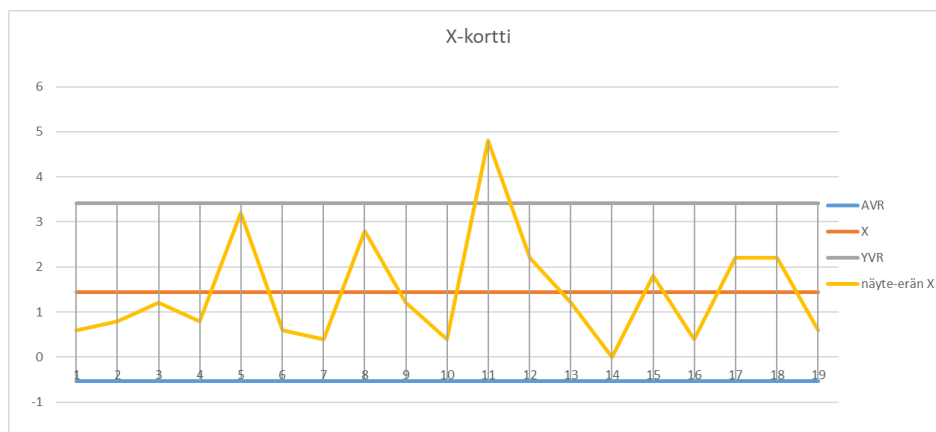


Kuvio 50. Merkin tunnistaminen ei onnistunut.

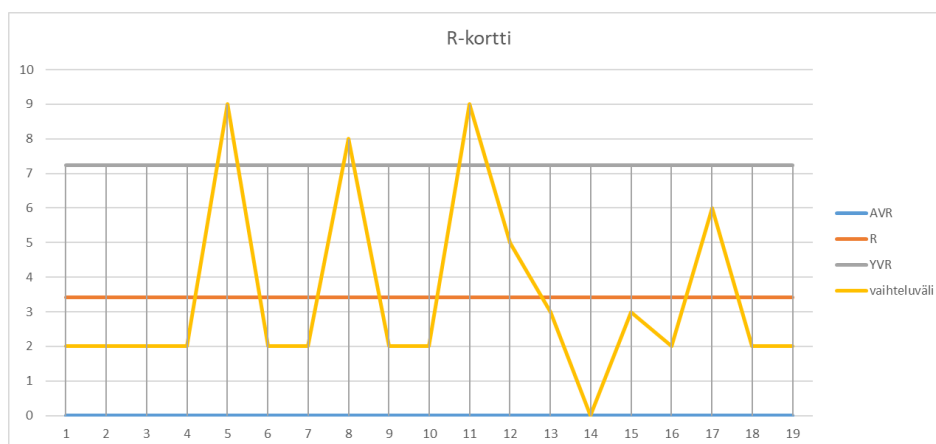
Vertailevan mittauksen avulla voidaan tarkastella järjestelmän luotettavuutta. Käytännössä tämä tarkoittaisi järjestelmän ulkopuolista tukea vikatilanteessa tai virheellisten tuotteiden läpäisyä. Mittaus suoritettiin 20:llä eri arvokilvellä, joista jokainen mitattiin 5 eri kertaa, eli mittauksia tuli yhteensä 100 kpl.

Tulosten tarkastelusta jätettiin pois kilpi nro 20. Eriolaisen rakenteen vuoksi, merkkien segmentointi oli eri kohdassa, joten ei ollut edellytyksiä tunnistukseen. Sarjanumero koostuu 14:tä eri merkistä, mittaustuloksena käytetty tunnistamattomien merkkien määrä. Sarjanumeron tunnistuksen luotettavuutta voidaan tarkastella x-korteista /55/. Kuviossa 51, X-kortin data perustuu mittauksien keskiarvoihin. Kilven nro 11 valvontarajan ylitys osoittaa hallitsematonta tilaa tunnistusprosessissa.

Kilvissä numero 5, 8, 11 ja 17 on suuri vaihteluväli virheiden määrässä, joten niiden sarjanumero muodostuu merkkiyhdistelmästä, joiden tunnistamisessa oli eniten vaikeuksia. Sarjanumero kilvessä 14, tunnistettiin oikein jokaisella mittauskerralla. Tarkastelluista kilvistä 11:ssä oli kahden numeron heitto. (**Kuvio 52**)



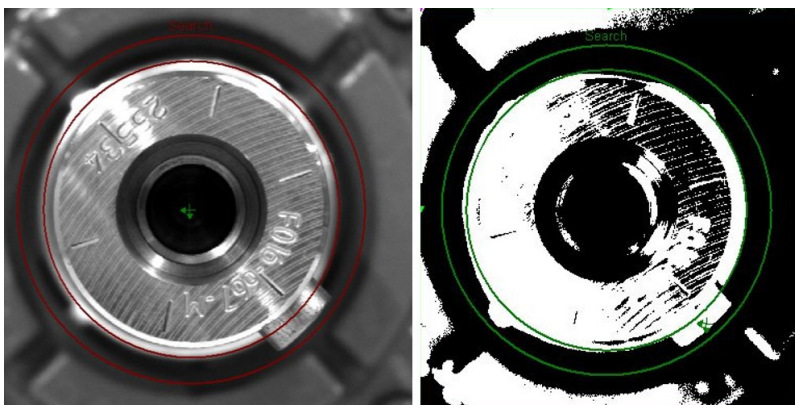
Kuvio 51. Valvontakortti X.



Kuvio 52. Valvontakortti R.

5.5.4 Kiila

Urakiila asennetaan melkein jokaiseen normaaliakseliseen moottoriin. Kiiloja akseliin tulee 1–2 kappaletta. Tarkastelu oli tehtävä aksiaalisesti D-päästä katsottuna, tällöin asennettu kiila oli näkyvässä missä tahansa akselin asennossa. Tarkastelun referenssipiste oli akselin päässä oleva reikä, jonka suhteen kiilaa yritettiin tunnistaa. Alue, mistä kiilaa etsittiin, piti rajata mahdollisimman hyvin, jolloin välttyttiin virheellisiltä tulkinnoilta kohteen löytymisestä. Kiila tunnistettiin parhaiten eri asennoissa, kun tarkastelussa käytti binääriseksi suodatettua kuvaa. (**Kuvio 53**). Tarkastelukohde kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia.



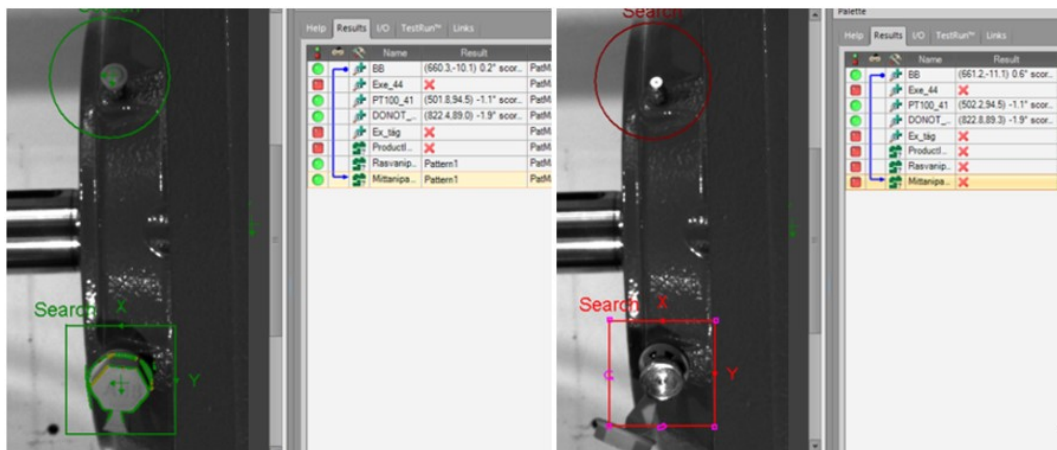
Kuvio 53. Kiilan tunnistaminen binäärikuvassa oikealla.

5.6 Luotettavuuteen vaikuttavat tarkastelut

Tässä osiossa on tarkasteltu kohteita, jotka eivät estä moottorin käyttöönottoa, mutta vaikuttavat esim. tuotteen ylläpitoon, huoltosykliin ja käyttöikään. Asiakkaan näkökulmasta ei niinkään kriittinen, mutta antaa kuitenkin aihetta reklamoida jo pelkästään mahdollisten takuuvastuiden näyttämiseksi.

5.6.1 Suojatulpat

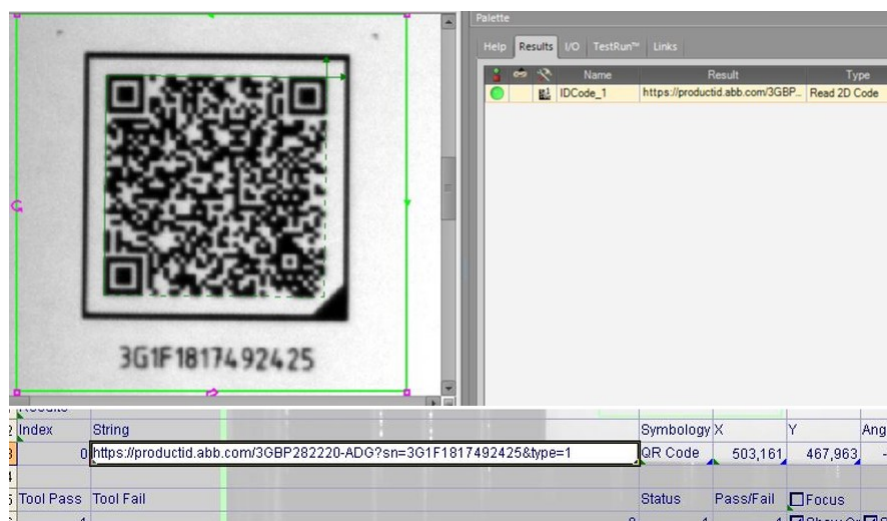
Moottorin voitelu- ja mittausnipoissa, käytetään niiden suojaamiseen muovisia suojatulppia estämään niiden likaantumista ja hapettumista. Yksittäisinä muoviosina merkityksettömän tuntuksia, mutta niiden suojaava vaikutus saattaa juontaa pidemmälle moottorin elinkaaressa. Voitelunipan suojan puuttuessa, saattaa kanavassa oleva voiteluaine vettyä. Vettynyt voiteluaine painetaan sisään laakeriin, joka lyhentäisi moottorin mekaanista käyttöikää. Moottorin D-pään suojatulppia tarkasteltiin suoraan ylhäältäpäin, koska tämän kokoluokan moottorissa mahtuivat samaan kuvaan. Kuvion 54 vasemmassa laidassa on konenäölle opetettu suojatulppien paikat ja muoto. Oikeassa laidassa on rasvanipan tulppa poistettu kokonaan ja mittausnipan suoja on kiinni, mutta ei paikoillaan. (**Kuvio 54**). Puutteet ilmoitetaan punaisella indikaattorilla. Tarkastelukohteet kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia.



Kuvio 54. Suojatulppien tunnistaminen D-päässä.

5.6.2 Tuotetieto QR code

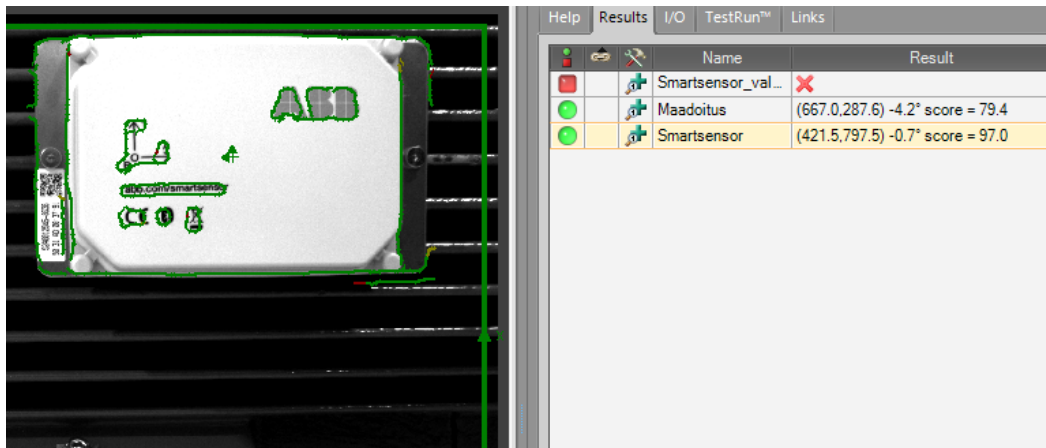
Read 2D code on koodin lukuun tarkoitettu työkalu In-Sight Explorer 5.8.0 -ohjelmassa. QR-koodin luku oli helppo kohdistaa ja tuloksesi saatiin verkkotunnus, jota käyttämällä selaimen avautui moottoriin liittyvä tuotetietosivu. Jos tunnistuksessa olisi ongelmia, saattaisi se johtua koodin huonosta painojäljestä. Tarkastelukohte kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia. (Kuvio 55).



Kuvio 55. QR-koodin tunnistaminen.

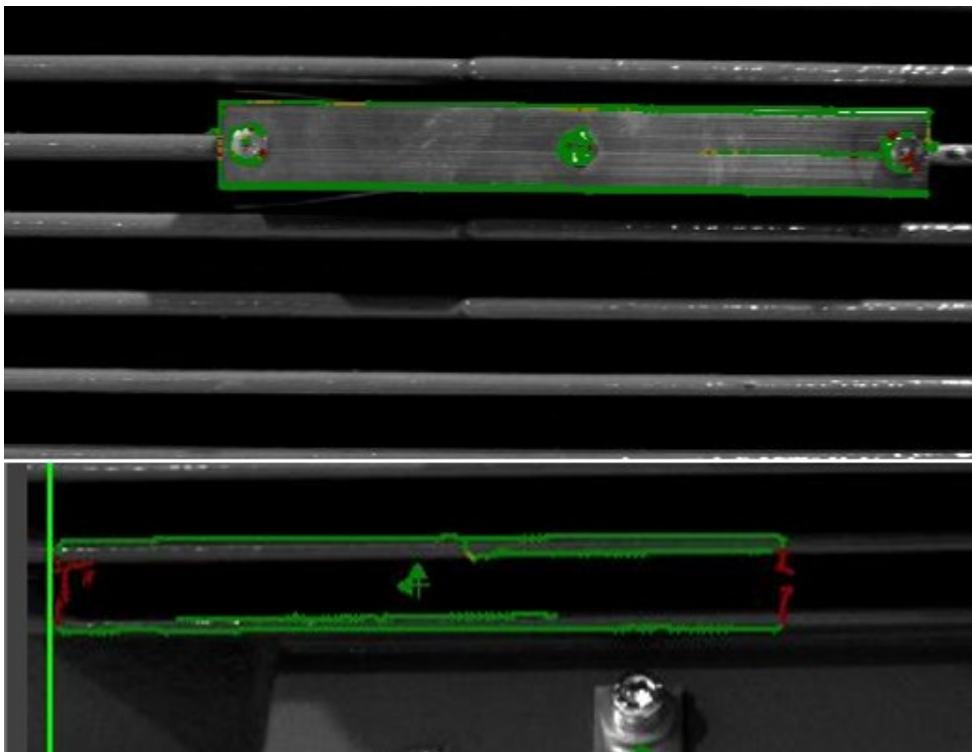
5.6.3 Smart Sensor

Moottoritoimintojen etävalvontaan tarkoitettu ABB Ability™ Smart Sensor on li-sälaite, joka asennetaan jo tehtaalla asiakkaan niin halutessa (**Kuvio 56**). Sensorin muoto ja siinä olevien merkkien paikat opetettiin konenäölle onnistuneesti. Mahdollista olisi opettaa myös sensorissa oleva koodi, mikäli tarvetta myöhemmälle todennukselle esim. takuutapauksissa. Tarkastelukohde kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia.



Kuvio 56. Smart Sensorin tunnistaminen.

Asiakas voi halutessaan asentuttaa pelkästään valmiuden Smart Sensorille. Sensorin asennukseen tarkoitettu kiinnityskisko, tulee ohjeistuksen mukaan asentaa moottorin sivulla olevaan jäähdytysripaan, akselin keskilinjalle. Konenäölle opetettu kiinnityskiskon hahmo oli suorakaiteen muotoinen. Tarkastelualan ollessa liian laaja, erehtyi järjestelmä luulemaan 91 % vastaavuudella jäähdytysriivoista muodostunutta välikkää kiinnityskiskoksi. (**Kuvio 57**). Tarkastelukohde kuvattiin 500 mm etäisyydeltä, käyttäen Spacecomin HR F1.4/8 mm -objektiivia.



Kuvio 57. Smart Sensorin valmiuskiskon tunnistaminen.

6 LOPPUPÄÄTELMÄT JA POHDINTA

Tässä pääluvussa käydään läpi yhteenvetoa tutkimuksesta. Kerrotaan projektiin liittyvistä mittauksista, sekä siihen liittyvien tavoitteiden onnistumisesta. Luvun loppuosassa käydään läpi kehitysideoita sekä mahdolliset jatkotutkimusaiheet, joita projektin aikana on tullut esille.

6.1 Yhteenveto

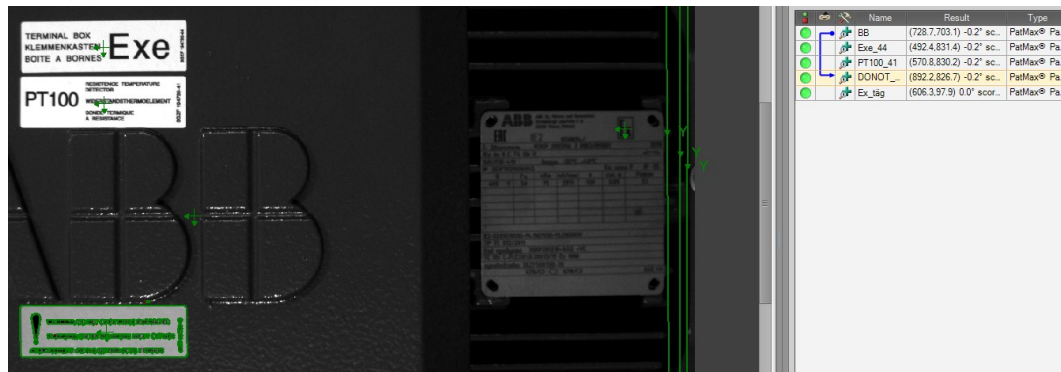
Opinnäytetyön tarkastelujen perusteella, sähkömoottorin ulkoisia komponentteja voidaan opettaa konenäölle. Järjestelmä toimii tunnistuksen osalta niin, että se vertailee sille opetetun hahmon vastaavuutta ja asetetun hyväksymisrajan mukaan antaa tuloksen halutussa muodossa esim. fail/pass näyttöpäätteelle ja niistä 1 tai 0 toimilaitteelle. Tekstin tunnistuksen osalta tulokseksi saadaan esim. luettu teksti, tekstin kirjainten määrän sekä fail/pass näyttöpäätteelle ja niistä 1 tai 0 toimilaitteelle.

Kohteen hyväksymisen määrittävää rajaa voidaan halutessa muuttaa. Mitä väljemmällä vastaavuudella halutaan kohde tunnistaa, sitä suurempi on mahdollisuus virhetulkintaan ja tarkastuksen luotettavuuteen. Hyväksymisraja kannattaa pitää ehdottomasti suurena, koska vähemmän varaa koituisi, että tarkastelu hylkäisi kunnossa olevia moottoreita.

Huomiota vaaditaan kuitenkin tarkastelupaikan ja kohteen kuvaustaustalta. Tasa-laatuinen selkeä kontrasti auttaa rajaamaan kohteen väljemmin. Epätarkkuutta aiheutuu, jos kuvaustaustalla on liikaa saman kaltaisia kontrastieroja sekä muotoja kuten kuviossa 57. Tällöin rajaukset pitää tehdä tiukaksi, ettei järjestelmä tulkitse näkemäänsä väärin. Tiukat rajaukset johtaisivat tarkkoihin asemointeihin tarkasteltavan moottorin osalta.

Perinteinen konenäkö toimii tasopinta 2D-tarkasteluissa, joissa ei tarvita syvyystietoon perustuvaa mittausdataa. Tarkasteltavat kohteet voivat olla eri etäisyydellä kamerasta optiikan syväterävyyden riittäessä, mutta näkymää kameran suunnasta käsitellään aina 2D-tasoisena. Esimerkki kuviossa 58 on tarkastelutilanne, jossa ylhäältäpäin kuvatessa, kuva-alassa näkyy liitäntäkotelon kannen tarrat ja alempana

arvokilpi. Muutokset kuvausetäisyydessä, valaistuksessa tai optiikassa vaativat aina laitteiston kalibroinnin. Kalibrointi voidaan tehdä ohjelman muistista, mutta se pitää perustua oikeaa tilanteeseen. Tarkastaessa eri kokoluokan moottoreita, pitää myös kameraa siirtää tai järjestelmä kalibroida vastaamaan kuvausetäisyyden muutosta.



Kuvio 58. Tarkastelun tasoerot.

Vertailevaa mittausta eri moottorityyppien kesken ei voinut toteuttaa koska tarkasteltavana oli vain yksi 160 valurautarunkoinen moottori. Käytössä olleen järjestelmän luotettavuutta pystyi testaamaan sarjanumeroita vertaillen. Vertailun tulosta ei voida kuitenkaan pitää täysin luotettavana, koska valaistukseen liittyvä vakiointi puuttui. Käytännön osuus valaistuksen vaikutuksista jäi todella vähälle, koska ei ollut tarkoituksenmukaisia valaisimia, joilla testata. Valaistuksen merkitys tuli kuitenkin esille, kiilan ja arvokilven tarkastelussa, jossa kiiltävä pinta häikäisi tietyissä asennoissa.

Opinnäytetyön tavoitteeksi asetettu kohteiden tunnistaminen onnistui ja tieto kokenäköjärjestelmän perusteista oli kirjoittajalle avuksi. Järjestelmää apuna käyttäen voidaan vaikuttaa laatupoikkeamiin ja vähentää asiakasreklamaatioiden määrää.

6.2 Pohdinta

Konenäön käyttö moottorin tarkastustoiminnassa toimisi parhaiten todentamaan komponentin olemassaoloa. Lajimerkkitasoinen varmennus ei onnistu koska kaikissa komponenteissa ei ole lajimerkkiä. Tärkeää olisikin huomioida fonttien

luettavuusmerkintöjä koskevissa muutoksissa ja luoda niiltä osin paremmat edellytykset tekniikan käytölle.

Konenäöllä tehtävä tarkastus voitaisiin toteuttaa robottikäsivarren päässä olevalla kameralla. Tarkastusprosessi alkaisi moottorityypin sekä kaupan tunnistamisella, jonka jälkeen se tekisi suunnitelman mukaisen tarkastuksen moottorista. Asetuksina voisi olla eri tasoisia tarkastuksia, aina yksittäisestä kohteesta kokonaisen moottorin tarkasteluun.

Tarkastuksen perusteena olisi kauppaan liittyvä työkortti, jonka osanumeroiden perusteella se tietäisi, mitä komponentteja pitäisi löytyä ja missä kohtaa ne moottorissa sijaitsee. Tarkastelu aseman vaa'asta saadaan vertailupaino, jota voidaan verrata arvokilpeen merkittyyn painoon (SOLAS-määräykset). Tarkastuksen yhteydessä voidaan ottaa myös kaupalle määrätyt valokuvat, jotka asiakas haluaa moottorista.

6.2.1 Varmennus

Kokoonpanossa komponentteja asentaessa, ne tulisi lukea ylös järjestelmään. Näin toimien tulisi rakenteen oikeellisuus varmennettua. Ylös luku auttaisi myös jäljitettävyydessä, kun tiedetään mitä komponentteja on mihinkin kauppaan ja rakenteseen käytetty. Lajimerkkitasoinen ylös luku olisi syytä olla ainakin rakenteen tärkeimmissä peruskomponenteissa kuten, runko, staattori, roottori, laakerikilvet, laakerointiosat, liitännän osat, tuuletin, tarrat, arvokilvet, nostolenkit, kiilat ja nipat. Kriittisiä näistä ovat tuuletin, joka vaikuttaa suoraan hyötysuhteeseen ja ATEX-luokitukseen. Laakerit, jotka vaikuttavat mekaaniseen kestävyYTEEN, sekä varoituskilvet ja tarrat, jotka vaikuttavat käyttöturvallisuuteen. Kauppakohtaisista komponenteista esim. takometrit, kytkyt, laakeri maadoitukset ja pyörimissuunnan rajoittimet.

Vakioidut moottorirakenteet luovat edellytyksen myös tarkastussuunnitelmalle, mitä tarkastetaan ja miksi. Virhetyyppien ja virhekoodien suunnitelmallinen luokittelu parantaisi tuotantoaikaista seurattavuutta ja antaisi tietoa muutoksesta. Pakotaisi reagoimaan, jos tulokset menevät kriittisten virheiden alueelle.

Arvokilven tietovarmistus olisi oltava kaupan suunnittelutyökalussa tai kaiverruslaitteessa. Logiikkaan perustuvaa IF-, AND-, OR-typistä älykästä ohjausta, joilla varmistettaisiin sen oikea rakenne. Arvokilpi valmistetaan erillään muusta tuotannosta, joten sen rakenne voidaan varmistaa itsenäisesti. Varmistetaan ainoastaan, että moottoriin on kiinnitetty kaupaltaan ja sarjanumeroltaan oikea kilpi.

Dokumentointiaste vaikuttaa rakenteiden varmennukseen ja siihen, onko ne varmennettavissa. Koronaviruspandemia korostaa työpaikoilla saatavilla olevien ohjeistuksien ja dokumentointien tärkeyden. Jos rakenteiden toteuttamisessa käytetään perinnetiedon varaisia toimintatapoja, olisi mahdollista, että pandemian tapahtuessa ja sen edetessä, jäisi hiljaiseen tietoon perustuvia toimintoja dokumentoimatta. Esimerkkinä mottoreiden protot, tuotannon ensisarjat, jarruasennuksiin liittyvät ohjeistukset, pyörimissuunnan estin, instrumentointi johdotukset yms.

6.2.2 Kauppakohtaisuus

Moottoreiden valmistuksessa ollaan yhä enemmän menossa kohti kauppakohtaisia rakenteita niin kappale- kuin erätasollakin. Kauppakohtaisuuden mahdollistaminen, on se millä halutaan markkinoilla erottua kilpailijoista, eli on profiloiduttu yhä enemmän asiakaslähtöiseksi erikoismoottoreiden valmistajaksi. Tämä puolestaan aiheuttaa uusia haasteita tuotannon ja logistiikan eri ratkaisuilta, kuten komponenttien tunnistaminen ja eräkokojen pienuus.

Asiakkaiden moottorirakenteissa on yhä enemmän lisälaitteita (jarru, laakerimaa-doitus, instrumentointia, kytty, kaapelointia, merkintöjä, asentoja, suuntia, värisävyjä yms.), jolloin toteutukset vaativat yhä enemmän muuntautumisvalmiutta ja ketteryyttä tuotannon, että suunnittelun osalta. Tuotantoon ketteryyttä on jo osittain haettukin hajauttamalla tuotantoa, eli moottori ohjataan keskeneräisenä toisaalle lisäasennuksia ja täydennyksiä varten. Tulevaisuudessa suurimpia haasteita tuottanee asiakaskohtaisten valmistusohjeiden hallittavuus. Jos ja kun asiakas haluaa moottorilleen rakenteellisen muutoksen, on tuon muutoksen vieminen työohjeisiin vähintäänkin työläs. Asiakaskohtaiseksi mielletty rakenne saattaa muuttua myös projektikohtaiseksi, tällöin ei pelkkä asiakkuuden tunnistaminen riitä ohjeistuksen perusteeksi.

Omat tuotannolliset haasteensa tuovat myös mahdolliset kaupan muutokset, jotka voivat olla hyvinkin monimuotoisia. Toteutusvaiheessa muutoksen tekijä saattaa olla eri henkilö, eli muutos voidaan toteuttaa osin tunteella ja hiljaisella tiedolla. Projektityyppiseen rakentamiseen osin kuuluukin, että asiakas ei tiedä projektinsa tulevia muutostarpeita, tai miten moottori tulisi soveltumaan kohteeseen jo tehtyjen muutosten osalta. Kilpailun myötä olisi pyrittävä tarjoamaan uusia keinoja, joita asiakas voi itse hyödyntää omissa työtarjouksissaan tai projektinsa suunnitelmissa, että niiden johtamisessa.

6.2.3 Asiakaskeskeisyys

Valmistajan näkökulmasta katsottuna, asiakaskeskeinen yrityskulttuuri on tuonut ja tuonee jatkossakin, yhä enemmän haasteita moottorivalmistuksen eri vaiheisiin. Vielä kymmenisen vuotta siten puhuttiin pyörivästä akselin päästä, se on se mitä asiakas tarvitsee. Nykyään on itsestään selvä, että se pyörii. Asiakkaat haluavat projekteistaan sujuvia ja nopeita saattaa päätökseen. He eivät halua ryhtyä tekemään muutoksia rakenteisiin, vaan haluavat valmiin moottorin, joka on asennettavissa käyttöpaikallaan.

Asiakaskeskeinen ajattelu ei kuitenkaan tarkoittane sitä, että asiakkaan vaatimuksia toteuttaessamme, voisimme saavuttaa ne ainoastaan pyrkimällä ymmärtämään niitä. Samaan aikaan ymmärtäisimme oman tuotantomme kannattamattomaksi kestämättömillä ratkaisuilla, esim. työtunteja lisäämällä tai suorittamalla lisäarvotonta logistiikkaa moottoreiden kotiinkutsuilla ja komponenttien turhilla siirroilla.

Tulevaisuuden digitalisoituvat markkinat, perustuneet yhä enemmän asiakkaan konsepteihin ja niiden virtuaalisiin malleihin. Koronakevään tyyppiset pandemiat pakottavat työntekijöitä etätyöskentelyyn ja yrityksissä suoritettavat vierailut ajetaan turvallisuuden takia mahdollisimman minimiin, ellei totaaliseen kieltoon, maan rajojen sulkeuduttua. Virtuaalisuuteen perustuvat ratkaisumallit toimisivat parhaiten, kun projekteihin liittyviä suunnitelmia pystytään jakamaan ja hyväksyttämään myös asiakkaan alihankintaportaissa sekä meillä tuotannossa. Olisimme suunnittelijana sekä valmistajana vähemmän riippuvaisia globaaleista turvallisuusuuhista. Kulttuurimuutoksella taitaa olla jo nimikin, digitalisaatio.

Tekniikat itsessään ei välttämättä pysty tuomaan mitään lisäarvoa toiminnallisuuteen ja pahimmillaan se saattaa huonontua. Tulevaisuuden tekniikoilla pitää olla edellytykset toimiakseen. Tutkimustyötä lisäämällä, tehostamalla sisäisiä tiedonsiirtoja ja verkkoja, tehostamalla dokumentointia, parantamalla toimintatapoja ja perusrakenteita vakioimalla.

6.3 Jatkokehitys

Moottorin ulkoinen rakenne voitaisiin mallintaa ja varmentaa ensin virtuaalisesti 3D:nä. Mallin mukaan voitaisiin tehdä valmistus ja tarkastus, eli tuliko moottorista sellainen, kun tilattiin ja suunniteltiin. Mahdollisuus hyväksyttää ulkoisia rakenteita asiakkaalla ennen kuin kauppa vapautetaan tuotantoon.

Mallinnuksen ja tuotannon rajapintana toimisi lisättyyn todellisuuteen perustuva tekniikka. AR (augmented reality) tekniikassa todellisuutta täydennetään virtuaalisilla elementeillä. Tekniikka on jo ABB:llä käytössä (ABB Ability™ Remote Insights) huoltoa tukevissa ratkaisuissa, joten siitä kehittynee standardi myös tuotannon ohjeistuksissa /53/. Koska AR-tekniikassa käytetään kameraa kuten kuviossa 59, on se konenäkö jo seuraavassa polvessa. Laadulliset tarkastelut tulee tehtyä samalla, kun järjestelmää käytetään.



Kuvio 59. Glass Enterprise Edition 2. /54/

LÄHTEET

- /1/ About ABB Let's write the future. Together. Viitattu 5.2.2020. <https://new.abb.com/about>
- /2/ Suomalaiset juuret. Strömbergin jalanjäljillä vuodesta 1889. Viitattu 5.2.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>
- /3/ ABB Suomessa. Viitattu 5.2.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- /4/ Abb_momg_vaasa_presentation Pdf. Luettu 2.2.2020
- /5/ Shapiro, L. G. & Stockman, G. C. (2001). Computer vision. Upper Saddle River (N.J.): Prentice Hall.
- /6/ William Hogarth. Viitattu 9.2.2020. https://www.lambiek.net/artists/h/hogarth_william.htm
- /7/ Digitaalikamera. Viitattu 9.2.2020. Bellis, Mary. "History of the Digital Camera." ThoughtCo, Jan. 29, 2020, <https://www.thoughtco.com/history-of-the-digital-camera-4070938>
- /8/ Digitaalikamera. Viitattu 9.2.2020. <http://wafflesatnoon.com/first-digital-image/>
- /9/ Konenäköjärjestelmä. Viitattu 16.2.2020. <https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/components>
- /10/ Instagram kuva moottorista. Viitattu 11.5.2020. https://www.instagram.com/p/B_5IPYLp5_W/?igshid=15ccw5w2rimh3
- /11/ Kuva-anturi. Viitattu 16.2.2020. https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_ccd_cmos_40722_en_1010_lo.pdf
- /12/ CMOS. Viitattu 17.02.2020. <https://www.stemmer-imaging.com/en/knowledge-base/cmos/>
- /13/ Kuva-anturi. Viitattu 17.2.2020. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/understanding-camera-sensors-for-machine-vision-applications/>
- /14/ Kuva-anturi. Viitattu 18.2.2020. <https://digital-photography-school.com/understand-pixels-resolution-resize-photoshop/>
- /15/ Väri. Viitattu 18.2.2020. <https://www.stemmer-imaging.com/en/knowledge-base/colour-cameras/>

- /16/ Optiikka. Viitattu 20.2.2020. <https://www.opto-e.com/basics/optics-basics>
- /17/ Suljin. Viitattu 20.2.2020. <https://www.opto-e.com/basics/sensor-types-ccd-and-cmos>
- /18/ Optiikka. Viitattu 20.2.2020. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/lens-iris-aperture-setting/>
- /19/ Optiikka. Viitattu 20.2.2020. <https://www.opto-e.com/basics/f-and-depth-of-field>
- /20/ Gonzalez, R. C. & Wintz, P. (1987). *Digital image processing* (2nd ed.). Reading (Mass.). Addison-Wesley publishing company.
- /21/ Contrast. Viitattu 20.2.2020. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/contrast/>
- /22/ Väri. Viitattu 24.2.2020. <https://www.scantips.com/basics1b.html>
- /23/ Väri. Viitattu 24.2.2020. <http://cie.co.at/>
- /24/ Väri. Viitattu 24.2.2020. <http://mitaten.fi/varimittarit/teoriaa-vaerieroista.html>
- /25/ Fraser, B., Bunting, F., Murphy, C. & Niemi, M. (2004). Värinhallinta. [Helsinki]. IT-press.
- /26/ A. R. Harvey, J. E. Beale, A. H. Greenaway, T. J. Hanlon, and J. W. Williams, "Technology options for hyperspectral imaging," Proc. SPIE 4132, 13–24 (2000).
- /27/ Väri. Viitattu 3.3.2020. https://www.rp-photonics.com/multispectral_imaging.html
- /28/ Väri. Viitattu 4.3.2020. <http://www.microspectra.com/support/learn/what-is-a-spectrophotometer>
- /29/ Väri. Viitattu 4.3.2020. <https://www.perten.com/Publications/Articles/Using-the-DA-7300-Digital-Camera-for-Color-Detection-in-Agri-Industry-Processing/>
- /30/ Suotimet. Viitattu 4.3.2020. <https://www.edmundoptics.com/c/optical-filters/610/#>
- /31/ Optical Filters. Viitattu 4.3.2020. https://www.rp-photonics.com/optical_filters.html
- /32/ SONY Image Sensor. Viitattu 4.3.2020. <https://www.sony-semicon.co.jp/e/products/IS/polarization/technology.html>
- /33/ Camera mounts. Viitattu 5.3.2020. <https://www.opto-e.com/basics/camera-mounts>

- /34/ Focal length. Viitattu 5.3.2020. <https://www.opto-e.com/basics/focal-length>
- /35/ Understanding Focal Length and Field of View. Viitattu 5.3.2020. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/understanding-focal-length-and-field-of-view/>
- /36/ Uutiskirjeet 2016. Mitä laatu on? Juhani Anttila, International Academy for Quality ja Kari Jussila, Aalto Yliopisto. Viitattu 13.3.2020. https://www.sfs.fi/ajankohtaista/uutiskirjeet/uutiskirjeet_2016/mita_laatu_on_artikkeli
- /37/ Hornberg, A. (2006). Handbook of machine vision. Weinheim: Wiley-VCH.
- /38/ IOPscience. Review of state-of-the-art artificial compound eye imaging systems. Viitattu 17.03.2020. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-3190/aaffb5>
- /39/ National Instruments. A Practical Guide to Machine Vision Lighting. Viitattu 17.03.2020. <https://www.ni.com/fi-fi/innovations/white-papers/12/a-practical-guide-to-machine-vision-lighting.html>
- /40/ Illumination Techniques. Viitattu 20.03.2020. <https://www.ni.com/fi-fi/innovations/white-papers/12/a-practical-guide-to-machine-vision-lighting.html#section-1534702382>
- /41/ Digital Camera Interfaces. Viitattu 30.03.2020. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/camera-types-and-interfaces-for-machine-vision-applications/>
- /42/ System Installation Manual. Viitattu 01.04.2020. <https://www.cognex.com/support/downloads/ns/1/11/35/IS7000-Color.pdf>
- /43/ Software. Image and Calibration pdf. Viitattu 06.04.2020. <https://support.cognex.com/en-au/downloads/in-sight/training>
- /44/ Calibrate and Transform Images to Correct for Image Distortion. Viitattu 07.04.2020. https://support.cognex.com/docs/is_580/web/EN/ise/Content/How_To/Calibration/Calibrating_Transforming_Image.htm?TocPath=How%20To...%7C_____7
- /45/ Resolution. Viitattu 08.04.2020. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/resolution/>
- /46/ Vision Tools Functions. Filter. Viitattu 10.04.2020. https://support.cognex.com/docs/is_580/web/EN/ise/Content/Reference/Filter.htm
- /47/ Machine Vision Algorithms. Viitattu 15.04.2020. <https://www.opto-e.com/basics/extras>

/48/ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/34/ EU. LiiteII. Laitteita ja suojajärjestelmiä koskevat yhteiset vaatimukset. Viitattu 04.05.2020. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2014_096_R_0309_01&from=EN

/49/ Color Filters. Kuva 11.05.2020. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/filtering-in-machine-vision/>

/50/ Small vs Large Aperture. Kuva 11.05.2020. <https://www.exposureguide.com/focusing-basics/>

/51/ Line scan camera basics. Kuva 11.05.2020. <https://www.vision-doctor.com/en/line-scan-cameras/line-scan-camera-basics.html>

/52/ Tekoäly. Kuva 12.05.2020. <https://helituominen.wordpress.com/kurssit-it/johdatus-tekoalyn-taustalla-olevaan-matematiikkaan-tiep1000-syksy-2017/>

/53/ ABB Ability™ Remote Insights. Viitattu 13.05.2020. <https://new.abb.com/process-automation/process-automation-service/repairs/remote-insights>

/54/ Glass Enterprise Edition 2. Kuva 13.05.2020. <https://www.google.com/glass/start/>

/55/ Mitä pitäisi ymmärtää datasta – tilastoista? OSA III. Viitattu 18.05.2020. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/mitae-pitaeisi-yymmaertaeae-datasta-tilastoista-osa-iii/>

LIITE 1

In-Sight 7402 tekniset tiedot

Specifications

The following sections list general specifications for the In-Sight vision system.

Vision System Specifications

Specifications	In-Sight 7010/7020/7050/7200/ 7210/7230/7400/7410/7430	In-Sight 7010C/7200C/7400C	In-Sight 7402/7412/7432	In-Sight 7402C
Minimum Firmware Requirement	In-Sight Version 4.9.0			
Job/Program Memory	512MB non-volatile flash memory; unlimited storage via remote network device.			
Image Processing Memory	256MB SDRAM			
Sensor Type	1/1.8-inch CMOS			
Sensor Properties	5.3mm diagonal, 5.3 x 5.3µm sq. pixels		8.7mm diagonal, 5.3 x 5.3µm sq. pixels	
Maximum Resolution (pixels) ¹	800 x 600		1280 x 1024	
Electronic Shutter Speed	16µs to 950ms			
Acquisition	Rapid reset, progressive scan, full-frame integration.			
Bit Depth	256 grey levels (8 bits/pixel)	24-bit color	256 grey levels (8 bits/pixel)	24-bit color
Frames Per Second ²	102 full frames per second.	50 full frames per second.	60 full frames per second.	30 full frames per second.
Lens Type	M12 or C-Mount.			
Trigger	1 opto-isolated, acquisition trigger input. Remote software commands via Ethernet and RS-232C.			
Discrete Inputs	3 general-purpose inputs when connected to the Breakout cable. (Eight additional inputs available when using the optional CIO-MICRO or CIO-MICRO-CC I/O module.)			
Discrete Outputs	4 high-speed outputs when connected to the Breakout cable. (Eight additional outputs available when using the optional CIO-MICRO or CIO-MICRO-CC I/O module.)			
Status LEDs	Network link and activity, power and 2 user-configurable.			
Internal LED Ring Light	Red, Green, Blue, White, IR (M12 lens configuration only). <ul style="list-style-type: none"> White LED color temperature: 4100 K Red LED wavelength: 625 nm Green LED wavelength: 530 nm Blue LED wavelength: 470 nm 			
Power Consumption	24VDC ±10%, 2.0 amp.			
Material	Aluminum housing.			
Finish	Painted.			
Mounting	Four M3 threaded mounting holes (1/4 - 20, M6 and flathead mounting holes also available on mounting bracket).			
Lens Cover View Port Material	Clear, hard-coated optical grade acrylic precision sheet with scratch-resistance coating on both sides.			
M12 Lens Configuration Dimensions	55mm (2.17in) x 84.8mm (3.34in) x 55mm (2.17in)			
C-Mount Lens Configuration Dimensions	75mm (2.95in) to 83mm (3.27in) x 84.8mm (3.34in) x 55mm (2.17in) with lens cover installed. 42.7mm (1.68in) x 84.8mm (3.34in) x 55mm (2.17in) without lens cover installed.			
Weight	220 g (7.8 oz.) with lens cover and typical M12 lens installed.			
Operating Temperature	0°C to 45°C (32°F to 113°F)			
Storage Temperature	-30°C to 80°C (-22°F to 176°F)			
Humidity	90%, non-condensing (Operating and Storage)			
Protection	IP67 with lens cover properly installed.			
Shock (Shipping and Storage)	80 G Shock per IEC 60068-2-27.			
Vibration (Shipping and Storage)	10G from 10-500Hz with a 50 gram or lighter lens per IEC60068-2-6, FC (C-Mount lens configuration only).			
Regulatory Compliance	CE, FCC, KCC, TÜV SÜD NRTL, EU RoHS			

LIITE 2

Kuvakaappaus tarkastuslista MM_V02

PVM	KAUPPAINRO	SARJAINRO	LINJA	PERUSKODIN Kuvaus	HYLÄTTY, NOK	VIKAKOODI	VIAN KUVAUS	KRIITTINEN	VÄHEM MÄN KRIITTINEN	EI KRIITTINEN
11.12.2018			AL1A	M3BP 315SMC 2	nok	Kokoonpano	Läpivienti kiristämättä			x
11.12.2018			AL1A	M3GP 315MLB 6	nok	Dokumenttipussi	ohjekirja			x
12.12.2018			AL1A	M3GP 315SMB 2	nok	Työkortti	Osa ristiriita	x		
12.12.2018			AL1A	M3GP 315SMD 6	nok	Kokoonpano	Vesiaukon tulpat puuttuu			x
13.12.2018			AL1A	M3BP 315MLA 4	nok	Liitinosapussi	puuttui		x	
17.12.2018			AL1A	M3BP315LCK4	nok	Kokoonpano	Vesiaukon tulpat puuttuu			x
18.12.2018			AL1A	M3BP 280SMC 4	nok	Kokoonpano	IE2 Tarra puuttuu		x	
19.12.2018			AL1A	M3BP 280SMC 4	nok	Materiaalivirhe	pl kotelon kansi vaihtoon	x		
19.12.2018			AL1A	M3RP 280MB 8	nok	Kokoonpano	Tarra väärä/puuttuu, rasvakahva		x	
19.12.2018			AL1A	M3JP280SMB4	nok	Työkortti	Tarra väärä/puuttuu, rasvakahva		x	
20.12.2018			AL1A	M3BP 280SMC 4	nok	Maalaus	D pää v-rengas maalissa			x
31.12.2018			AL1A	M3KP 315SMB 2	nok	Maalaus	Pohjamaalia näkyvissä			x
31.12.2018			AL1A	M3BP 280SMA 4	nok	Työkortti	roskatarra puuttui		x	
2.1.2019			AL1A	M3BC280SMC4	nok	Työkortti	roskatarra puuttui, Voiteluohje poikkeama		x	
3.1.2019			AL1A	M3BP280SMC4	nok	Työkortti	dokumenttipussi puuttui.			x
3.1.2019			AL1A	M3BP 315SMD 4	nok	Arvokilpi	Pääarvo- ja rasvakilpi eri järjestyksessä kuin ohjeessa.			x
4.1.2019			AL1A	M3BP 315SMA 4	nok	Maalaus	D pää v-rengas maalissa			x
7.1.2019			AL1A	M3BP 280SMD 4	nok	Maalaus	D pää laak, kiiven laipan kiinnityspinta maalissa.		x	
14.1.2019			AL1A	M3BP 280SMA 4	nok	Maalaus	D pää laak, kiiven laipan kiinnityspinta maalissa.		x	
14.1.2019			AL1A	M3JP 280SMA 2	nok	Liitinosapussi	puuttui		x	
14.1.2019			AL1A	M3BP 280SMB 4	nok	Kokoonpano	sulkutulpan O-rengas ulkona.			x
15.1.2019			AL1A	M3BP 280SMB 6	nok	Maalaus	D pää laak, kiiven laipan kiinnityspinta maalissa.		x	
15.1.2019			AL1A	M3BP 280SMC 4	nok	Maalaus	D pää laak, kiiven laipan kiinnityspinta maalissa.		x	
15.1.2019			AL1A	M3BC280SMC4	nok	Maalaus	D pää laak, kiiven laipan kiinnityspinta maalissa.		x	
18.1.2019			AL1A	M3KP 315SMB 4	nok	Kokoonpano	Voitelunippa väärä		x	
21.1.2019			AL1A	M3GP 315SMA 4	nok	Kokoonpano	Vesiaukon tulpat puuttuu			x
21.1.2019			AL1A	M3GP 315SMA 4	nok	Kokoonpano	Vesiaukon tulppa aukiasennossa			x
22.1.2019			AL1A	M3BP 315SMA 6	nok	Kokoonpano	IE2 tarra puuttui. Ylimääräiset läpiv.holkit 2kpl		x	
22.1.2019			AL1A	M3BP 315SMA 6	nok	Kokoonpano	Ylimääräiset läpiv.holkit 2kpl			x
23.1.2019			AL1A	M3BP 315MLB 2	nok	Kokoonpano	Vesiaukon tulpat puuttuu			x
24.1.2019			AL1A	M3BC280SMC4	nok	Työkortti	dokumenttipussi			x
24.1.2019			AL1A	M3BC280SMC4	nok	Työkortti	roskatarra puuttuu		x	
29.1.2019			AL1A	M3BP 280MLA 4	nok	Maalaus	D pää laak, kiiven laipan kiinnityspinta maalissa.		x	
30.1.2019			AL1A	M3BP 315SMC 4	nok	Maalaus	Maali valunut			x

LIITE 3

Sarjanumero vertailun mittausdata

Kilpi	ARVO	MITTAUS 1=OK 2=NOK					K	A2	D4	R-VALVONTA	0 577	A2	R	R-VALVONTA	2 115					KESKIH.
		1	2	3	4	5									AVR	AVR	AVR	AVR	AVR	
1	3G1F1935616197	0	0	0	1	2	0,6	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1935616197	3	4	5	0,894427	
2	3G1F1937569407	2	2	0	0	0,8	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1937569407	3	4	5	1,095445		
3	3G1F1933619420	0	2	2	2	1,2	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1933619420	3	4	5	1,095445		
4	3G1F1940549315	2	0	0	2	0,6	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1940549315	3	4	5	1,095445		
5	3G1F194062887	0	9	4	3	3,2	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F194062887	3	4	5	3,701351		
6	3G1F1935619420	0	1	2	0	0,6	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1935619420	3	4	5	0,894427		
7	3G1F1947555508	0	0	0	2	0,4	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1947555508	3	4	5	0,894427		
8	3G1F1929606945	0	2	4	0	2,8	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1929606945	3	4	5	3,34664		
9	3G1F1935619674	2	0	1	1	1,2	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1935619674	3	4	5	0,83666		
10	3G1F1935616196	0	0	0	2	0,4	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1935616196	3	4	5	0,894427		
11	3G1F1935616195	0	7	9	0	4,8	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1935616195	3	4	5	4,438468		
12	3G1F193562743	2	2	0	5	2,2	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F193562743	3	4	5	1,788854		
13	3G1F193762170	0	0	0	3	1,2	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F193762170	3	4	5	1,643166		
14	3G1F195664941	0	0	0	0	0	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F195664941	3	4	5	0		
15	3G1F193562742	3	0	2	2	1,8	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F193562742	3	4	5	0		
16	3G1F193627719	0	2	0	0	0,4	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F193627719	3	4	5	0,894427		
17	3G1F1937623097	1	0	3	6	1	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1937623097	3	4	5	2,387467		
18	3G1F1941631753	3	2	2	1	2,2	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F1941631753	3	4	5	0,83666		
19	3G1F194654903	1	0	0	2	0,6	-0,53184108	1,442105263	X	3,416053	0	3,421053	7,235526	3G1F194654903	3	4	5	0,894427		
20	3G1F1940629466	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1,51198	

1) datan keskiano 1,442105263