

Kristiina Lehtonen

KONENÄÖN SOVELTUVUUS LAADUNVALVONTAAN

KONENÄÖN SOVELTUVUUS LAADUNVALVONTAAN

Kristiina Lehtonen
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Kristiina Lehtonen

Opinnäytetyön nimi: Konenäön soveltuvuus laadunvalvontaan

Työn ohjaaja: Heikki Kurki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014

Sivumäärä: 50

Työn toimeksiantaja on Nokia Solutions and Networks eli NSN. Työn teon aikana toimeksiantajan nimi muuttui Nokiaksi.

Työn aiheena on konenäön soveltuvuus laadunvalvontaan. Tavoitteena oli saada tuotantolinjaan integroitu, luotettavasti toimiva laadunvarmistuskonenäköjärjestelmä, joka tarkastaa, että tuotteen kansiruuvit ovat paikallaan. Työssä käytettiin lähtökohtana NSN:n Shanghain tehtaalla rakennettua sovellusta, joka ohjelmoitiin eri tuotteelle kuin Shanghaissa ja saatettiin käyttöön Oulun tehtaalla.

Työn alkuvaiheessa perehdyttiin sovelluksen ohjelmaan ja toimintaan. Kun ne oli selvitetty, koottiin kamerajärjestelmä ja integroitiin se osaksi tuotantolinjaa, jossa laitteiston toimintaa testattiin käytännössä. Testauksen jälkeen laitteisto otettiin käyttöön tuotantolinjalle. Lopuksi arvioitiin laitteiston luotettavuutta ja käytettävyyttä.

Tuloksena saatiin tuotantolinjaan integroitu laitteisto, joka hylkää vialliset tuotteet onnistuneesti. Laitteisto vaatii vielä hieman lisää säätöä, sillä se hylkää satunnaisesti myös kunnossa olevia tuotteita. Laitteiston luotettavuutta voidaan ajan kuluessa kuitenkin parantaa, ja tärkeintä on, että vialliset tuotteet eivät läpäise tarkastusta. Laitteistoa ajettiin offline-tilassa, mutta tarkoituksena on saattaa se kesän 2014 kuluessa toimimaan online-tilassa. Laitteisto on helppo muuntaa muille tuotteille, ja sillä voidaan tarkastaa myös muita komponentteja kuin kansiruuveja.

Asiasanat: konenäkö, LabVIEW, laadunvalvonta, tuotantolinjat

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Automation Technology

Author: Kristiina Lehtonen

Title of thesis: Suitability of Machine Vision for Quality Control

Supervisor: Heikki Kurki

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2014 Pages: 50

Thesis was made for Nokia Solutions and Networks or NSN. Company's name was changed from NSN to Nokia whilst thesis was done.

Topic of the thesis is Suitability of Machine Vision for Quality Control. The objective was to get reliable machine vision system integrated into production line for quality control. The system inspects the presence of the lid screws of the product. Application used in this thesis was established in NSN Shanghai factory. Application was programmed for another product than in Shanghai and implemented to NSN Oulu factory.

The thesis was carried out by exploring software and application and assembling hardware. Hardware was integrated into production line and the operation of the application was tested in practice. After testing the application it was introduced to production line. Lastly application's reliability and usability were pondered.

As a result, machine vision system integrated into production line was produced. System fails defective products successfully but needs still some tuning. System's reliability could be improved over time. The most important thing is that defective products don't pass the inspection. System is working in offline-mode but it is intend to move system in online-mode during the summer 2014. System is easy to apply to other products and the system is able to inspect also other components than lid screws.

Keywords: machine vision, LabVIEW, quality control, production line

ALKULAUSE

Työn tilaajana toimi Nokia Solutions and Networks eli NSN. Toimeksiantajan nimi muuttui työn aikana NSN:stä Nokiaksi, mutta työssä käytetään yrityksen aiempaa nimeä. NSN:n puolesta ohjaajana toimi tuotantoinsinööri Jani Savilampi ja Oulun ammattikorkeakoulun puolesta yliopettaja Heikki Kurki.

Haluan erityisesti kiittää ohjaajaani Jani Savilampea sekä kaikkia muita NSN:llä minua työssäni auttaneita. Lisäksi haluan kiittää avopuolisoani, perhettäni ja ystäviäni heidän antamastaan tuestaan.

Oulussa 23.5.2014

Kristiina Lehtonen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 KONENÄÖN KÄYTTÖ LAADUNVALVONNASSA	9
2.1 Konenäön toimintaperiaate	9
2.2 NSN:n Shanghaiin tehtaan VIS-laitteisto	10
2.3 National Instruments ja LabVIEW	12
3 SOVELLUKSEN TOIMINNAN SELVITTÄMINEN	14
3.1 LabVIEW ja Vision Development Module -konenäkötyökalu	14
3.2 Kameran ja tietokoneen välinen yhteys	19
3.3 Kuvauskohteen määrittely ja offline-testisovelluksen toiminta	20
3.4 PLCM-yhteys	28
4 LAITTEISTON KOKOAMINEN	30
4.1 Valaistus	31
4.2 Suojakotelo	33
4.3 Paikoitusjigi	34
5 LAITTEISTON TESTAUS LINJAAN INTEGROITUNA	36
5.1 Ensimmäiset tulokset	36
5.2 Score-arvojen vaikutus tuloksiin	37
5.3 Alamallien vaikutus tuloksiin	39
5.4 Laitteiston luotettavuuden kehitys testausten aikana	41
6 TAKAISINMAKSULASKELMA	44
7 POHDINTA	46
7.1 Jatkokehitysehdotukset	48
LÄHTEET	50

SANASTO

- EDSDK = EOS Digital Software Development Kit, rajapintakirjasto
- NI = National Instruments
- PLCM = Production Line Control and Monitoring, tuotteen seuraamiseen kehitetty järjestelmä
- ROI = Region of Interest, konenäkötyökalulla määriteltävä yksittäinen kiinnostava kohde
- VA = Vision Assistant, konenäkötyökalu
- VBAI = Vision Builder for Automated Inspection, konenäkötyökalu
- VDM = Vision Development Module, konenäkötyökalu
- VIS = Visual Inspection System, konenäköön perustuva laaduntarkastusjärjestelmä

1 JOHDANTO

Työn teettäjänä toimii NSN eli Nokia Solutions and Networks. NSN on yksi suurimmista tietoliikenneverkoissa käytettävien ohjelmistojen ja laitteiden suunnittelijoista ja valmistajista. Sillä on toimipisteitä noin 150 maassa. Suomessa toimipisteet sijaitsevat Espoossa, Tampereella ja Oulussa. Oulun tehtaalla kehitetään uudet tuotteet, ja ne saatetaan suurivolyymisten tehtaiden tuotantoon.

Laatuasiat ovat erittäin tärkeässä asemassa NSN:llä. Tahatonkin laadun laiminlyönti voi pahimmassa tapauksessa johtaa jopa tärkeän asiakkaan menettämiseen. Tuotantoprosessin yhteydessä operaattorit tarkastavat tuotteiden laadun visuaalisesti tarkastusjigien avulla. Visuaalinen tarkastaminen voi kuitenkin olla puuduttavaa ja yksitoikkoista. Operaattorin tarkkaavaisuus voi herpaantua, ja tällöin on vaarana inhimillisten virheiden teko, joiden seurauksena virheellisiä tuotteita saattaa jäädä havaitsematta.

NSN:n Kiinan tehtailla Tianjinissa, Shanghaissa ja Suzhoussa on otettu käyttöön VIS eli Visual Inspection System, joka on konenäköjärjestelmä. Sen avulla tutkitaan, ovatko kaikki tuotteen kannen ruuvit paikoillaan. Koska järjestelmästä on saatu hyviä käyttökokemuksia, myös Oulun tehtaalle halutaan rakentaa samanlainen ratkaisu.

Työssä kootaan kamerajärjestelmä, optimoidaan kuvausympäristö sekä muokataan olemassa olevaa sovellusta Oulun tehtaalle sopivaksi. Lisäksi testataan sovelluksen toiminta myös käytännössä osana tuotantolinjaa. Lopuksi arvioidaan sovelluksen luotettavuutta ja käytettävyyttä. Tavoitteena on saada tuotantolinjaan integroitu, luotettavasti toimiva konenäköjärjestelmä osaksi laadunvarmistusta.

2 KONENÄÖN KÄYTTÖ LAADUNVALVONNASSA

Ensimmäisen kerran konenäköä käytettiin Suomen teollisuudessa sahoilla jo 1980-luvulla. Tämän jälkeen konenäön käyttö on koko ajan yleistynyt teollisuudessa. Integroimalla konenäkö osaksi teollisuuden automaatiosovelluksia vähennetään tuotteiden laatupoikkeamia ja hävikkiä sekä lisätään tuotantonopeutta. Lisäksi konenäköä käyttämällä pystytään valmistamaan laadukkaampia tuotteita edullisemmin. (1, s. 8.) Tehokas laadunvalvonta on myös kilpailukeino edullisen kustannustason maita vastaan (2, s. 39).

Konenäköä hyödynnetään laadunvalvonnassa, mittauksissa, paikoituksessa ja lajittelussa. Hyvä käyttökohde konenäölle on nimenomaan laadunvalvontasovellukset, erityisesti yksitoikkoiset tarkistus- ja lajittelutehtävät. Ihminen herpaantuu nopeasti rutiininomaisissa tehtävissä, ja sen seurauksena lopputuotteissa on tarpeetonta laadunvaihtelua. Lisäksi ihmisen laatukäsitys on subjektiivinen, eli eri ihmiset luokittelevat laatua eri tavalla. (1, s. 8.)

2.1 Konenäön toimintaperiaate

Eri lähteissä konenäöllä tarkoitetaan kameran sisältävää järjestelmää, joka kuvaa jotain kohdetta ja osaa analysoida kuvaamaansa. Kameralla muodostetaan kuva sopivassa valaistuksessa ja sopivalla optiikalla. Kuvan muodostuksen jälkeen se siirretään väylää pitkin tietokoneelle, jossa sitä käsitellään kuvankäsittelyohjelmalla. Tämän jälkeen kuvatulle kohteelle suoritetaan valmiiksi ohjelmoidut toimenpiteet.

Järjestelmää ohjaava sovellus on ohjelmoitu hakemaan kuvasta tiettyjä piirteitä. Haettuja piirteitä verrataan valmiiksi ohjelmoituun malliin, ja jos löydetään mallista poikkeavia piirteitä, tuote hylätään. Hylkäyksen jälkeen riippuu järjestelmästä, mitä toimenpiteitä suoritetaan, esimerkiksi poistetaanko hylätty tuote linjalta vai ilmoitetaanko vain operaattorille poikkeavasta tuotteesta. Kuvassa 1 kuvataan konenäköjärjestelmän informaatioketjua.



KUVA 1. Konenäköjärjestelmän informaatioketju (1, s. 8)

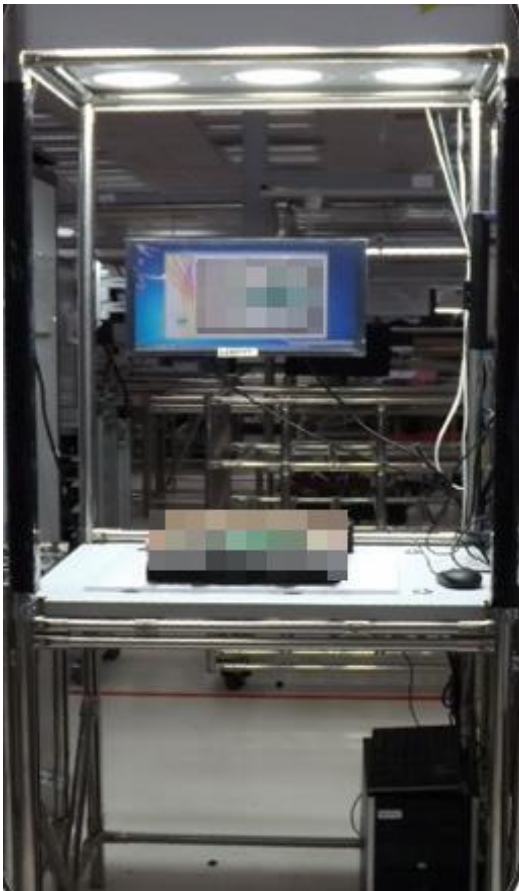
2.2 NSN:n Shanghaiin tehtaan VIS-laitteisto

Kiinassa VIS-laitteisto on otettu käyttöön kolmella tehtaalla Tianjinissa, Shanghaissa ja Suzhoussa. Alun perin VIS kehitettiin Tianjinissa, ja siellä onkin käytössä jo viisi VIS-pistettä. Shanghaissa on käytössä jo versio 2.92. (6.)

Shanghaissa järjestelmä on toteutettu käyttäen kamerana tavallista Canon EOS 600D -järjestelmäkameraa. Siinä on korkea 18 megapikselin resoluutio, mutta se on paljon edullisempi kuin varsinaisesti teollisuuskäyttöön tarkoitettu konenäkökamera. Valaistus toteutetaan järjestelmässä LED-valoilla. LEDien etuna on korkea luminanssi ja alhainen virrankulutus. Kirkkailla LEDeillä voidaan eliminoida ympäristöstä tulevaa hajavaloa ja varjojen muodostumista. Kamera ja valot ovat sijoitettuna kehikkoon, jossa uudemmassa versiossa on tumma verho ympärillä estämässä ympäristön valon pääsyä kuvattavaan kohteeseen. Kehikon alapuolella on pöytätaaso, jossa jigi sijaitsee. Kuvattava tuote asetetaan jigiin ennen kuvausta. Jigi pitää tuotteen paikallaan kuvauksen aikana. Järjestelmässä on myös tietokone ja näyttö, jossa nähdään tarkastuksen eteneminen ja tulos, onko kuvattava kohde hyväksytty vai hylätty. (3.)

Tarkasteltava kohde siis asetetaan jigiin ja sen viivakoodi luetaan viivakoodinlukulaitteella, jolloin järjestelmä tunnistaa tuotteen. Tarkastus aloitetaan, jolloin sovellus käy läpi jokaisen ruuvin järjestyksessä ja lopuksi ilmoittaa, onko tuote

hyväksytyt vai hylätyt. Hyväksyntä ja hylkäys ilmaistaan merkinnöillä ”pass” ja ”fail”. Jos tulokseksi saadaan hylätyt, jostakin kohtaa puuttuu ruuvi. Sovellus myös näyttää, mistä kohtaa ruuvi puuttuu. Jos hylkäys jätetään huomiotta ja tuote laitetaan eteenpäin, se havaitaan seuraavan kerran viivakoodia luettaessa ja pysäytetään, eikä se näin ollen pääse jatkamaan viivakoodin matkansa. Ruuveja etsivä sovellus on tehty National Instrumentsin graafisella ohjelmointialustalla LabVIEW’illa. Kuvassa 2 on Shanghain VIS-laitteisto versio 1.0 ja kuvassa 3 versio 2.0. (3.)



KUVA 2. Shanghain VIS versio 1.0. Kuvaa on sensuroitu tietosuojasyistä. (4).

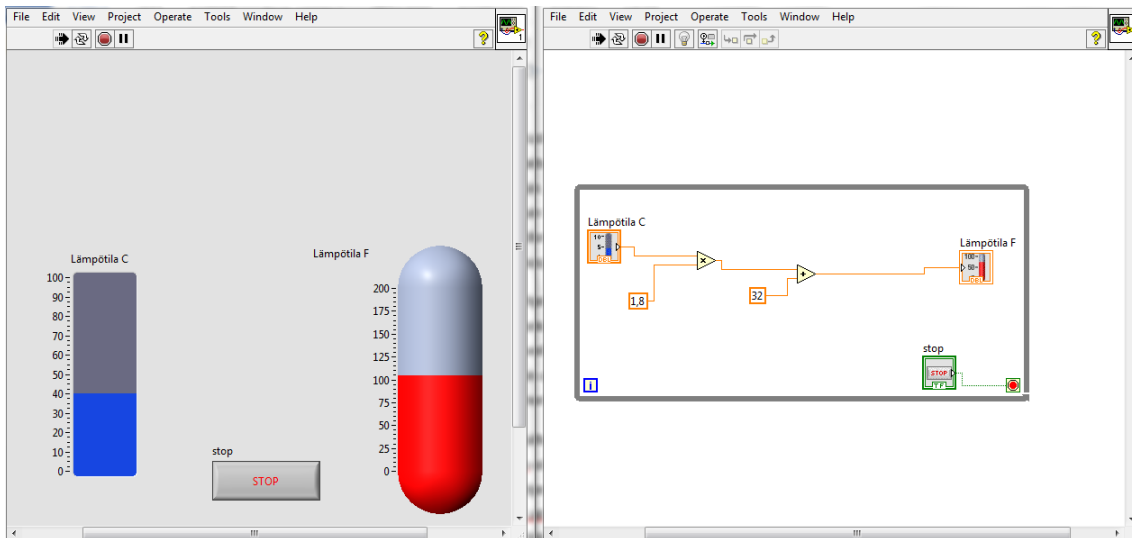


KUVA 3. Shanghai VIS versio 2.0. Kuvaa on sensuroitu tietosuojasysteistä. (3).

2.3 National Instruments ja LabVIEW

National Instruments eli NI on perustettu vuonna 1972. Suomen toimipiste perustettiin vuonna 1992, ja toimisto sijaitsee Espoossa. National Instrumentsin tuotevalikoimassa on työkaluja, joiden avulla voidaan nopeuttaa ja parantaa niin tuottavuutta, innovaatiota kuin tutkimusta. NI:n graafisessa järjestelmäsuunnittelussa integroitu ohjelmisto ja laitteistoalusta nopeuttavat kaikkien mittaus- ja ohjausjärjestelmien kehittämistä. (5.)

NI LabVIEW on graafinen ohjelmointialusta, johon saa liitettyä erilaisia työkaluja, joilla voidaan käsitellä esimerkiksi kuvaa, signaaleja tai mittaustietoa. Graafinen ohjelmointikieli helpottaa sovelluksen tekemistä ja sen toiminnan ymmärtämistä. Tämä alentaa ohjelmoinnin aloituskynnystä verrattuna tavallisiin ohjelmointikieliin, kuten esimerkiksi C-kieleen. LabVIEW-näkymässä on kuvan 4 tapaan vasemmalla puolella käyttöliittymänäkymä ja oikealla puolella Block Diagram, johon luodaan itse sovellus. (5.)



KUVA 4. LabVIEW'illa tehty sovellus, joka muuttaa celsiusasteet fahrenheiteiksi

LabVIEW'n kaksi kuvien käsittelyyn ja konenäköön erikoistunutta työkalua ovat Vision Development Module eli VDM ja Vision Builder for Automated Inspection eli VBAI. VDM käsittää kattavan kirjaston eri kuvantamis- ja konenäkötoimintoja ja sitä voi ohjelmoida käyttäen LabVIEW'ta. VBAI taas toimii itsenäisesti, eli sitä ei tarvitse ohjelmoida LabVIEW'illa. (5.)

3 SOVELLUKSEN TOIMINNAN SELVITTÄMINEN

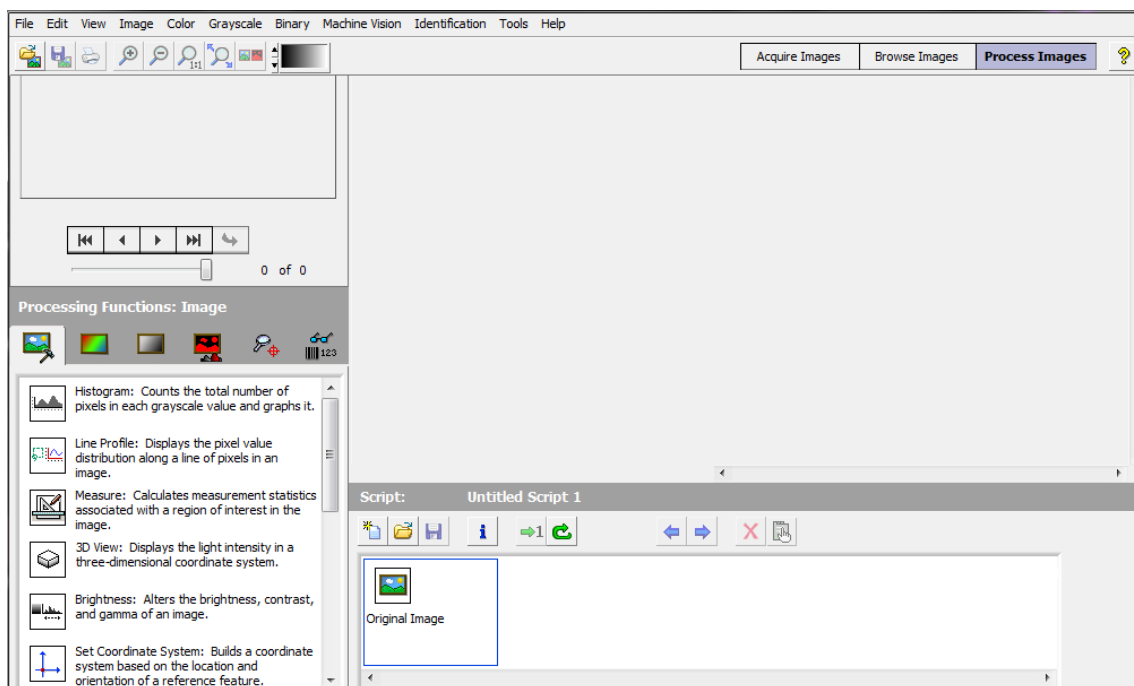
Shanghaissa VIS-sovellus oli rakennettu käyttäen LabVIEW'ta ja Vision Development Modulea. NSN:ltä toivottiin, että työssä käytetään valmista sovellusta ja ohjelmoidaan se eri tuotteelle kuin Shanghaissa.

3.1 LabVIEW ja Vision Development Module -konenäkötyökalu

Työ aloitettiin tutustumalla National Instrumentsin graafiseen ohjelmointityökaluun LabVIEW'hun. Konenäkösovellusta rakennettaessa voi käyttää LabVIEW'ta ja VDM:ää tai VBAI:tä.

Pidettiin National Instrumentsin edustajan kanssa palaveri, jossa tutustuttiin kumpaankin konenäkötyökaluun. VBAI:n hyvänä puolena on sen helppo ohjelmitavuus ja selkeys. Ohjelmoitujen toimintojen vaikutukset kuvaan ovat heti nähtävissä, ja myös aloittelijan on helppo saada selkoa eri toiminnoista valikkoasettelun ansiosta. VDM taas on toiminnoiltaan monipuolisempi. Sitä on yhtä helppo käyttää kuin VBAI:tä, mutta VDM:n liittäminen LabVIEW-ohjelmaan vaatii aloittelijalta enemmän perehtymistä.

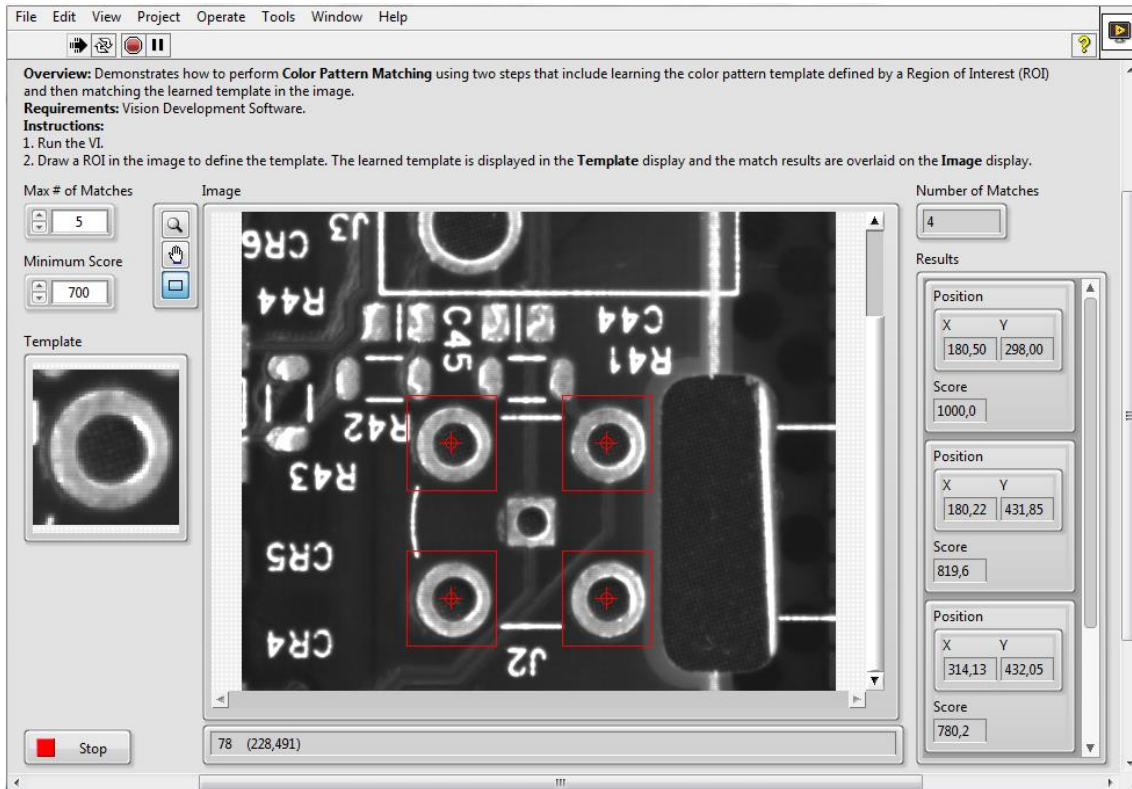
Koska VIS on rakennettu käyttäen VDM-ohjelmistoa ja siitä löytyvää Vision Assistant -työkalua (kuva 5), perehdyttiin siitä löytyviin eri kuvan analysointitoimintoihin. Vaihtoehtoja Vision Assistantissa eli VA:ssa on useita, mutta tässä tapauksessa sopivimpia toimintoja voisivat olla joko Pattern Matching, Colour Pattern Matching, Geometric Matching tai Colour Matching. Toimintoja testattiin tuotteesta otetulla testikuvalla.



KUVA 5. Vision Assistant -näkyvä

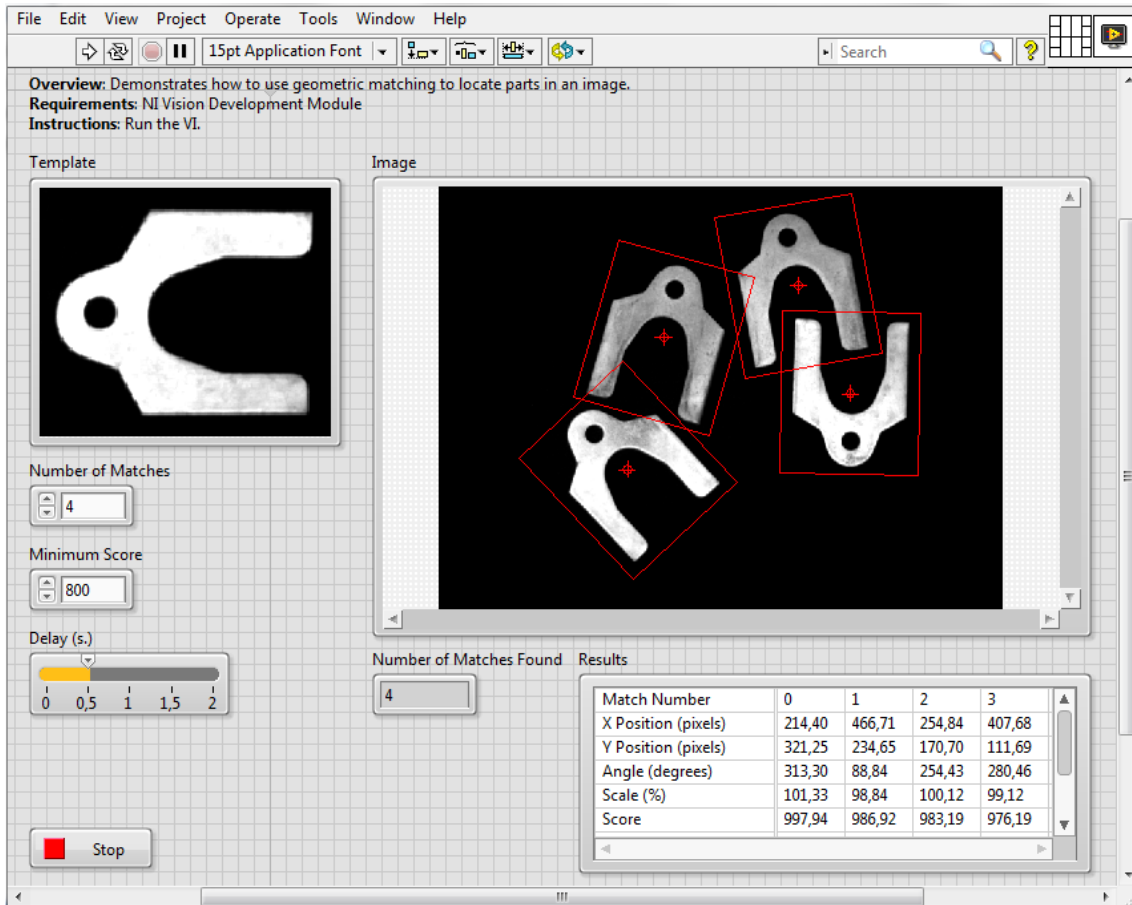
Pattern Matching ja Colour Pattern Matching (kuva 6) toimivat samalla tavalla. Ne etsivät kuvasta ennalta määritettyjä mallia vastaavia alueita (7). Ainoa ero niiden välillä on, että Pattern Matching toimii vain mustavalkokuvilla, kun taas Colour Pattern Matching on nimensä mukaisesti tarkoitettu värikuvilla.

Testaamisessa huomattiin, että Pattern Matchingia ja Colour Pattern Matchingia käytettäessä sovellus löytää ruuveja myös kohdista, joissa niitä ei sijaitse. Hämmäntävää oli, että kohdat, joista sovellus oli löytävinään ruuvien kannan, eivät muistuttaneet mitenkään mallia, joka sovellukselle näytettiin. Näin ollen Pattern Matching tuntui epäluotettavalta tavalta ruuvien paikantamiseen. Pattern Matching on ehkä parhaimmillaan kuvissa, jotka ovat mustavalkoisia ja joissa kohteella on suuri kontrasti verrattuna taustaan, esimerkiksi kun etsitään jonkin tuotteen ääriviivoja valkoisesta taustasta. Colour Pattern Matching toimi luotettavammin kuin Pattern Matching. Silläkin löydettiin testauksessa ruuveja sieltä, missä niitä ei ollut, mutta ei niin usein kuin pelkällä Pattern Matchingilla.



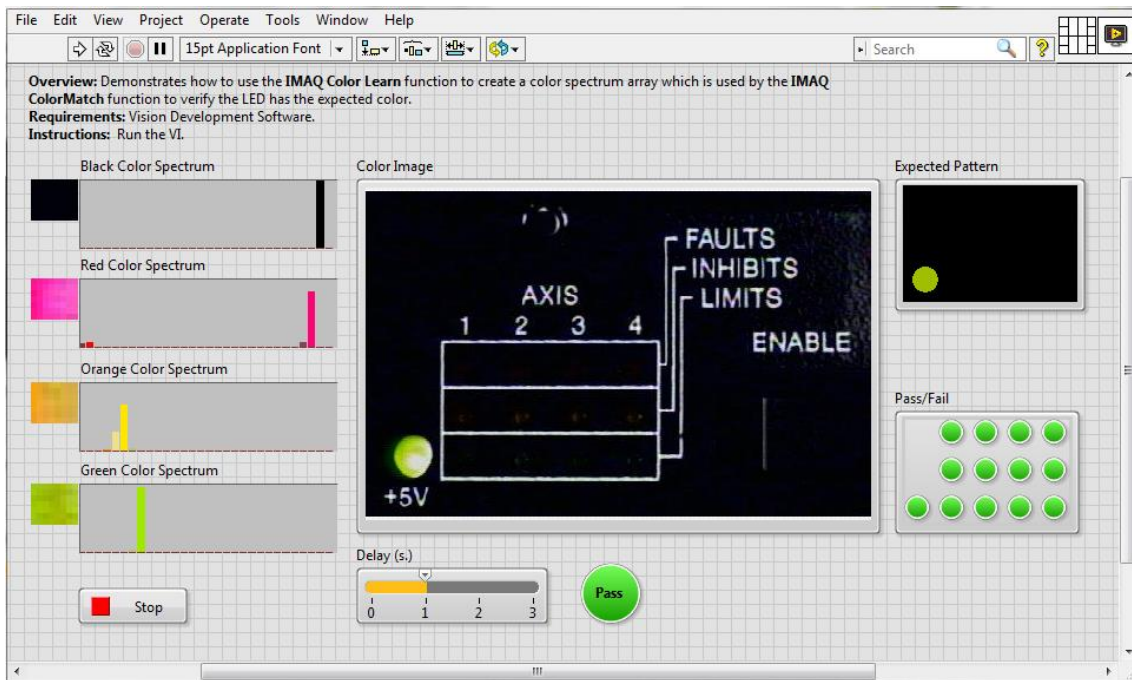
KUVA 6. Colour Pattern Matching -esimerkkisovellus (8)

Geometric Matching (kuva 7) toimii samalla tavalla kuin kaksi edellistä, mutta ennalta määrätystä mallista tunnistetaan tietty geometrinen muoto ja etsitään tätä tiettyä muotoa (7). Myös Geometric Matchingia käytettäessä ruuveja löydettiin sieltä, missä niitä ei ollut, mutta sovellus löysi kuitenkin ruuvin kantaa muistuttavia pyöreitä muotoja eikä mitä tahansa muotoja. Geometric Matching kuitenkin sekoitti ruuvin kannan pyöreän muodon piirilevyssä olleeseen pyöreään piirroskuviin. Geometric Matching toimii todennäköisesti parhaiten samoissa tilanteissa kuin Pattern Matching, eli sillä etsitään tiettyä erikoista geometrinen muotoa korkean kontrastin avulla valkeasta taustasta.



KUVA 7. Geometric Matching -esimerkkisovellus (8)

Colour Matchingissa (kuva 8) kuvasta on mahdollista näyttää useampi ennalta määrätty malli, ja näistä malleista muodostetaan RGB-värikartta. Kuvasta etsitään ennalta määritetyistä kohdista värikartan mukaisia värejä (7). Näin ollen sovelluksella ei ole mahdollisuutta etsiä mallin mukaisia kohteita mistä vain, kuten ensimmäisissä tapauksissa. Kuitenkin Colour Matching ei niinkään tunnista muotoja vaan pelkkiä värejä, joten sen käyttö tilanteessa, jossa tunnistus perustuu värien lisäksi ruuvin kannan ainutlaatuiseen muotoon, ei olisi tullut kyseeseen.



KUVA 8. Colour Matching -esimerkkisovellus (8)

Shanghaiin sovellus oli toteutettu käyttämällä Colour Pattern Matchingia. Shanghaiin sovelluksessa oletus-score-arvo on 750, mikä on aika korkea. Scorella määritellään, kuinka täydellisesti kohteen täytyy muistuttaa mallia. Jos score on 1000, kohde on täysin samanlainen kuin malli, jos taas 0, kohde ei muistuta millään tavalla mallia. Näin tarkka score-arvo vaatii sitä, että valaistuksen ja kohteen asennon täytyy pysyä muuttumattomina, sillä muuten sovellus antaa etsinnän tulokseksi "fail".

Kun eri toimintoihin tutustuttiin, käytettiin melko huonolaatuisia esimerkkikuvia. On selvää, että tuloksiin vaikutti kuvan huono laatu. Esimerkkikuva oli otettu huonossa valaistuksessa, eikä kamera ollut täysin suorassa vaakatasossa kuvauksen aikana, jolloin kuva oli vääristynyt. Testauksen tulokset olisivat voineet olla erilaisia parempilaatuisella kuvalla.

3.2 Kameran ja tietokoneen välinen yhteys

Samalla kun tutustuttiin VDM-työkaluun, tilattiin järjestelmässä käytettävä kamera. Kun kamera saapui, ensimmäisenä se piti saada kommunikoimaan ohjelmiston kanssa.

Kamera liitettiin PC:hen USB-liitännällä. Kuitenkaan ohjelmisto ei tunnistanut kameraa, vaikka ajurit oli asennettu oikein. PC kuitenkin tunnisti kameras, joten ongelma oli kameras ja ohjelmiston välisessä rajapinnassa. Shangain VIS-sovellus käyttää Canon EOS Digital Software Development Kitiä eli EDSDK:ta luomaan rajapinnan ja mahdollistamaan ohjelmiston ja kameras väliseen kommunikointiin. Sovellukseen on liitetty EDSDK:sta .dll-tiedostoja. Koska sovelluspaketin saapumiseen Shanghaista kesti muutamia viikkoja, kokeiltiin myös muita tapoja muodostaa yhteys kameras ja ohjelmiston välillä.

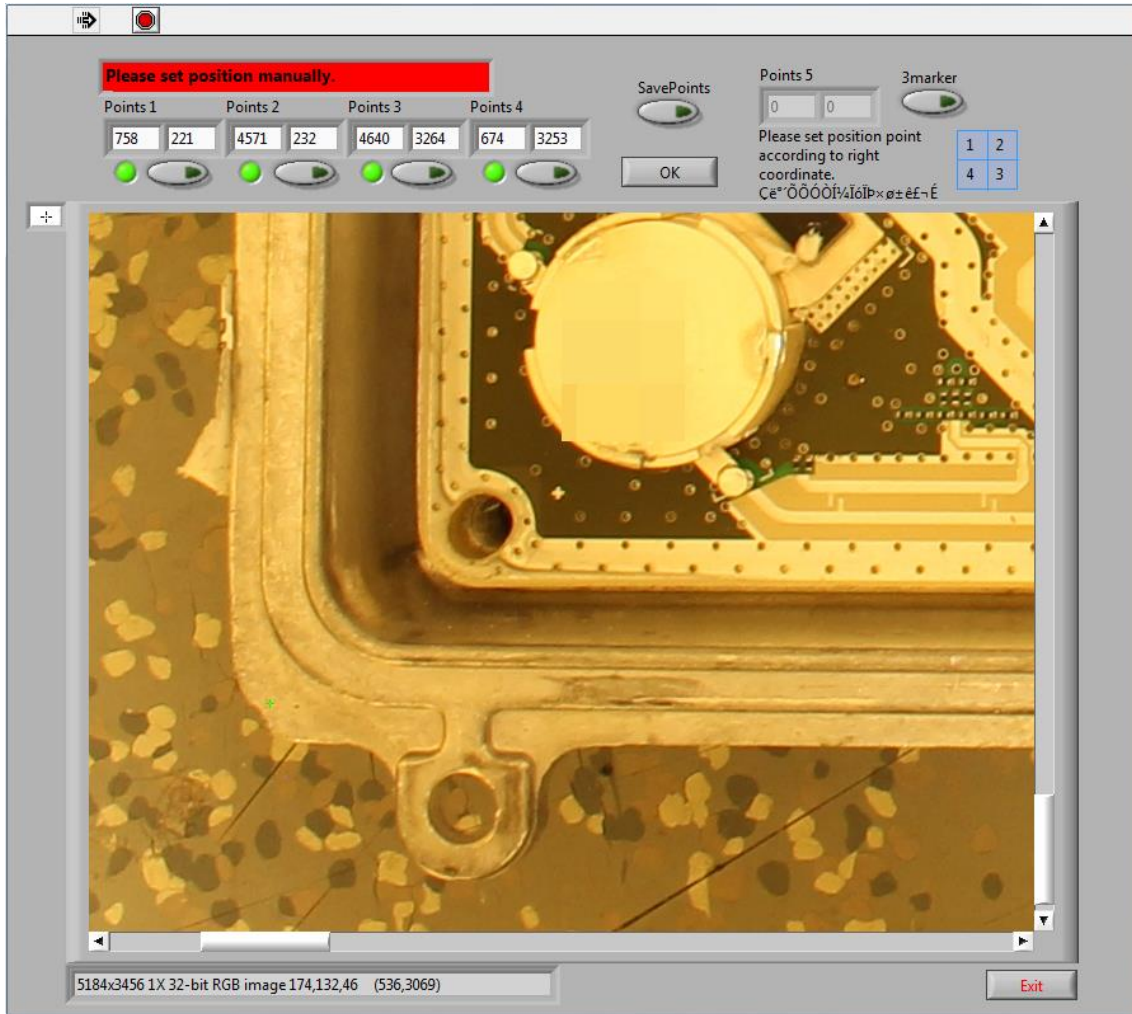
NI:n edustaja kävi ratkomassa ongelmaa. Hänen ehdotuksenaan oli käyttää Ackermann Automationin Canon EOS Control for LabVIEW'tä, jolla voidaan ohjata Canonin kameroita LabVIEW'in kautta. Näin saatiin kameras yhteys ja saatiin ohjattua kameras LabVIEW'illa, mutta vain hetken aikaa, sillä Ackermann Automationin kokeiluversio oli vain 10 minuutin pituinen. Tämän jälkeen olisi pitänyt tilata maksullinen lisenssi. Seuraavaksi ladattiin National Instrumentsin sivuilta löytyvää NI IMAQ for USB Cameras -ajuri, mutta se ei myöskään kommunikoinut kameras kanssa.

Kun valmis sovelluspaketti saapui Shanghaista, kamera saatiinkin kommunikoidaan, mutta aluksi siitä ei saatu tuotua kuvaa PC:n näytölle. Ongelma ratkaistiin tallentamalla Shanghain valmis sovelluskansio suoraan D:\-hakemiston juureen. Shanghain sovellukseen oli ohjelmallisesti määritetty, että sovelluskansio täytyy tallentaa D-kiintolevylle. Sovelluskansio sisältää pääohjelman ja siihen liittyvät hakemistokansiot. Hakemistopaikan vaihdon jälkeen kuva saatiin tulos-tettua näytölle ja päästiin tutustumaan itse sovellukseen.

3.3 Kuvauskohteen määrittely ja offline-testisovelluksen toiminta

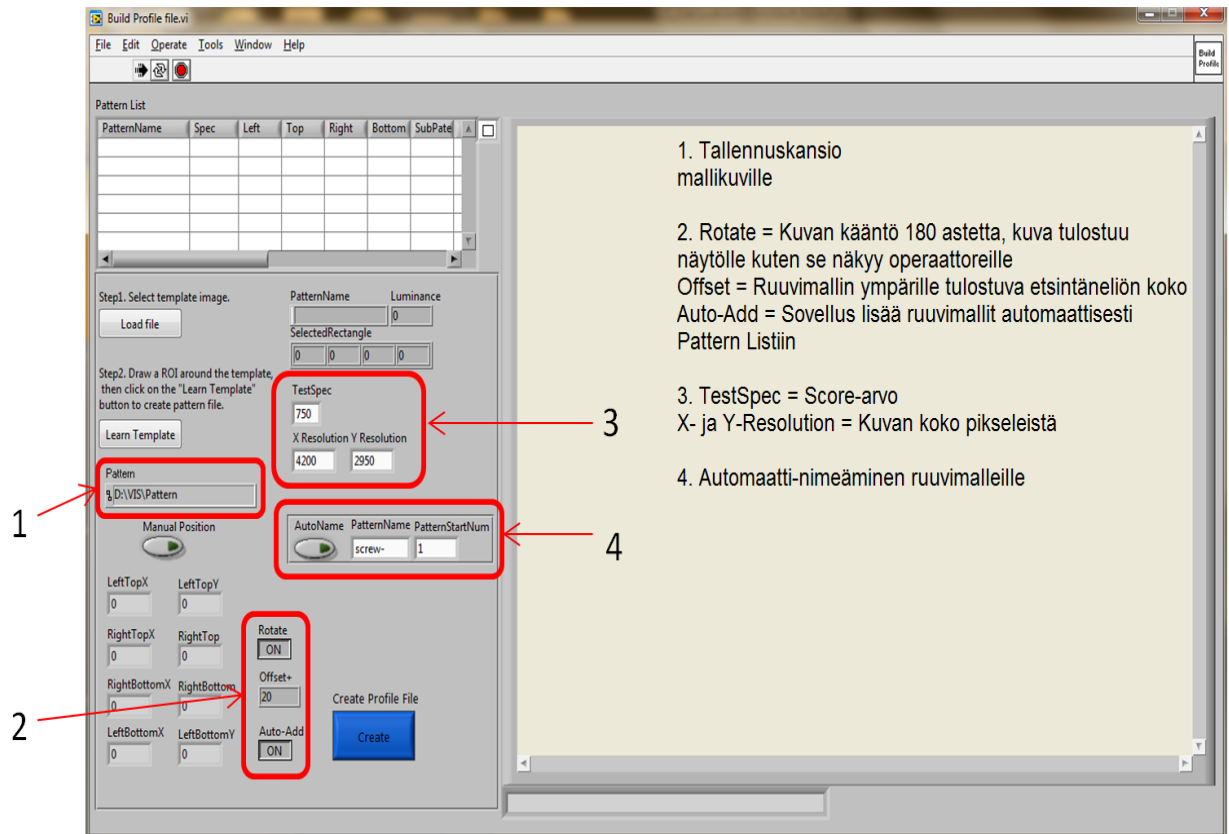
Kun kamera ja sovellus oli saatu kommunikoimaan keskenään, aloitettiin tutustuminen offline-testisovellukseen. Ennen kuin päästiin kokeilemaan testisovellusta, kuvalle piti tehdä määrittelyt eli luotiin standardimallikuva, johon kaikkia kuvattavia tuotteita vertaillaan.

Kuvauskohteelle tehdään määrittelyt avaamalla BuildProfile.exe. BuildProfilessa määritetään tutkittava tuote eli luodaan sille profiili. Ensin ladataan tiedostoista mallikuva Load file -toiminnolla. Avautuu uusi ikkuna, jossa mallikuvasta näytetään sovellukselle kuvattavan tuotteen reunakulmat. Kulmien näyttäminen rajaa kuvasta pois ylimääräisen tyhjän tilan. Reunat näytetään osoittamalla hiirellä vihreät rastit tuotteen reunakulmiin. Reunakulmien koordinaatit tallentuvat Points 1..4 -näppäimiä painamalla. Kun kulmat on määritetty, painetaan OK, jolloin pisteet tallentuvat ja BuildProfilen päänäkymään saadaan tuotteen kuva ilman reunoille jäävää merkityksetöntä kuvadataa. Kuvassa 9 näkyy kulmakoordinaattien määrittely.



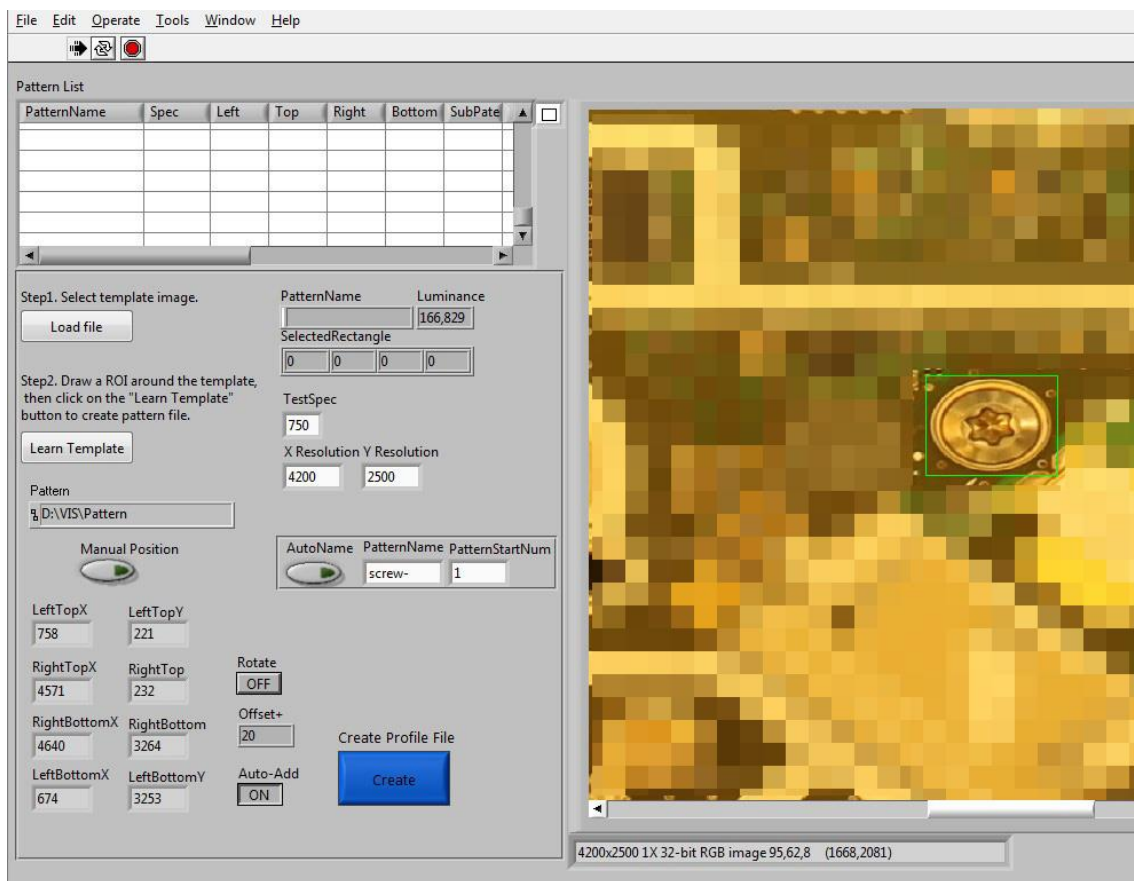
KUVA 9. Load file ja kulmakoordinaattien määrittäminen. Kuvaa on sensuroitu tietosuojasysteemistä.

Kulmien koordinaattien määrittämisen jälkeen opetetaan sovellukselle ruuvit. Jokaiselle ruuville tehdään oma malli, ja ne nimetään yksilöllisesti automaattisella nimeämällä. Uusi malli luodaan vetämällä vihreä valintaneliö eli ROI kohteen päälle ja painamalla Learn Template, jolloin sovellus pyytää tallentamaan kohteen Pattern-hakemistokansioon ja kysyy, lisätäänkö se Pattern Listiin. Aktivoitua AutoName, jolloin mallin tallentuessa Pattern Listiin PatternStartNum kasvaa automaattisesti yhdellä. Kuvassa 10 näkyy BuildProfilen päänäkymä ja siinä käyttäjän valittavissa olevat parametrit.

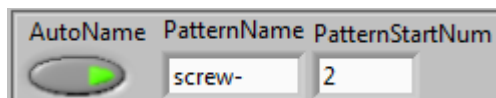


KUVA 10. BuildProfilen päänäkö

Kuvassa 11 esitetään näkö, kun sovellukselle opetetaan uutta ruuvimallia, ja kuvassa 12 esitetään Autonamen käyttö.



KUVA 11. Learn Template ja uuden ROI:n näyttäminen. Kuvaa on sensuroitu tietosuojasyistä.



KUVA 12. Autoname

Pattern Listissä listataan kaikki talletetut ruuvimallit. Tallennettujen mallien lukumäärä kertoo sovellukselle, montako ruuvia pitäisi löytää ja missä ne sijaitsevat. Kuvassa 13 esitetään Pattern List ja siihen tallennettu malli. Pattern Listissa näkyvät myös mallille annettu score sarakkeessa Spec, ruuvimallin koordinaatit eli sijainti mallikuvassa ja annettujen alamallien määrä.

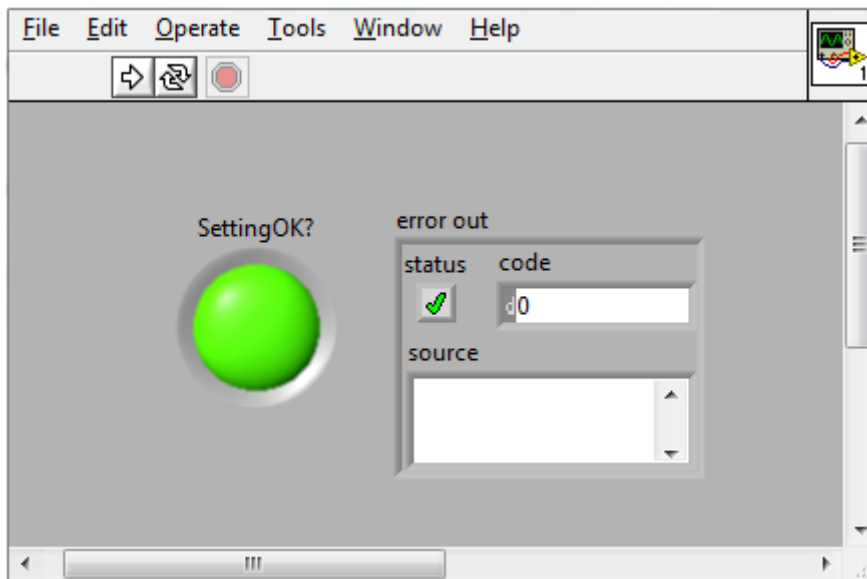
PatternName	Spec	Left	Top	Right	Bottom	SubPate	
screw-1.png	750	1807	1720	1962	1847	0	

KUVA 13. Pattern List

Mallien luomisen, tallentamisen ja lisäämisen jälkeen kaikki sovellukselle annetut tiedot talletetaan profiiliksi painamalla sinistä Create profile -näppäintä. Tällöin sovellus pyytää tallentamaan uuden profiilin. Profiilin tallentamisen jälkeen mallikuva häviää BuildProfilen päänäkymästä, ja sovelluksen voi sulkea.

Kuten kamerankin, myös BuildProfilen tallennuspaikat olivat ohjelmallisesti määritettyjä. Ne piti tallettaa D-kiintolevyllä VIS-kansioon, joka sisältää .exe-tiedostot. VIS-kansiossa on oma tallennuspaikka sekä malleille että profiileille.

BuildProfilen jälkeen ennen tarkastusohjelman ajamista voidaan ajaa Canon600D.exe. Se tarkistaa, ovatko kameran asetukset oikein. Canon600D:llä voi asettaa automaattisesti tietyt parametrit ja se tarkastaa, ovatko manuaalisesti asetettavat parametrit oikein. Jos asetukset ovat oikein, SettingOK?-valo syttyy. Kuvassa 14 esitetään Canon600D.exe-näkymä.



KUVA 14. Canon600D.exe

Taulukossa 1 luetellaan kameran sisäiset asetukset. Jos taulukossa on Auto/Manual-kohdassa kirjain A, Canon600D.exe muuttaa parametrin, jos taas kirjain M, käyttäjän täytyy itse määrittää parametri.

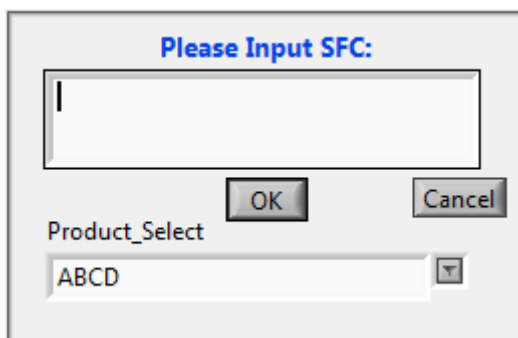
TAULUKKO 1. Kameran asetukset

Canon EOS 600D Asetukset		
Järjestelmäkameran ominaisuudet	Asetukset	Auto/Manual
Kuvanlaatu	Large fine	A
DriveMode	One Shot	A
ISO	200	A
Mittaus	Arvioiva mittaus	A
Focus-tilassa	Single AF	A
Valotuksen korjaus	+2	A
WB	Päivänvalo	A
AEMode	AV	M
Automaattinen kääntö	Pois	M
Automaattinen virran katkaisu	Pois	M
Polttoväli	35 mm	M

Valotuksen korjaus on melko korkea, mutta testauksissa huomattiin, että kuva saa olla ylivalottunut. Muuten ympäristön valo alkaa vaikuttamaan liikaa kuvaukseen. Polttoväli oli alkuperäisessä lähteessä määritelty 44 mm:iin. Päätettiin käyttää polttoväliä 35 mm, jotta saataisiin eliminoitua zoomauksen aiheuttamaa rakeisuutta kuvasta.

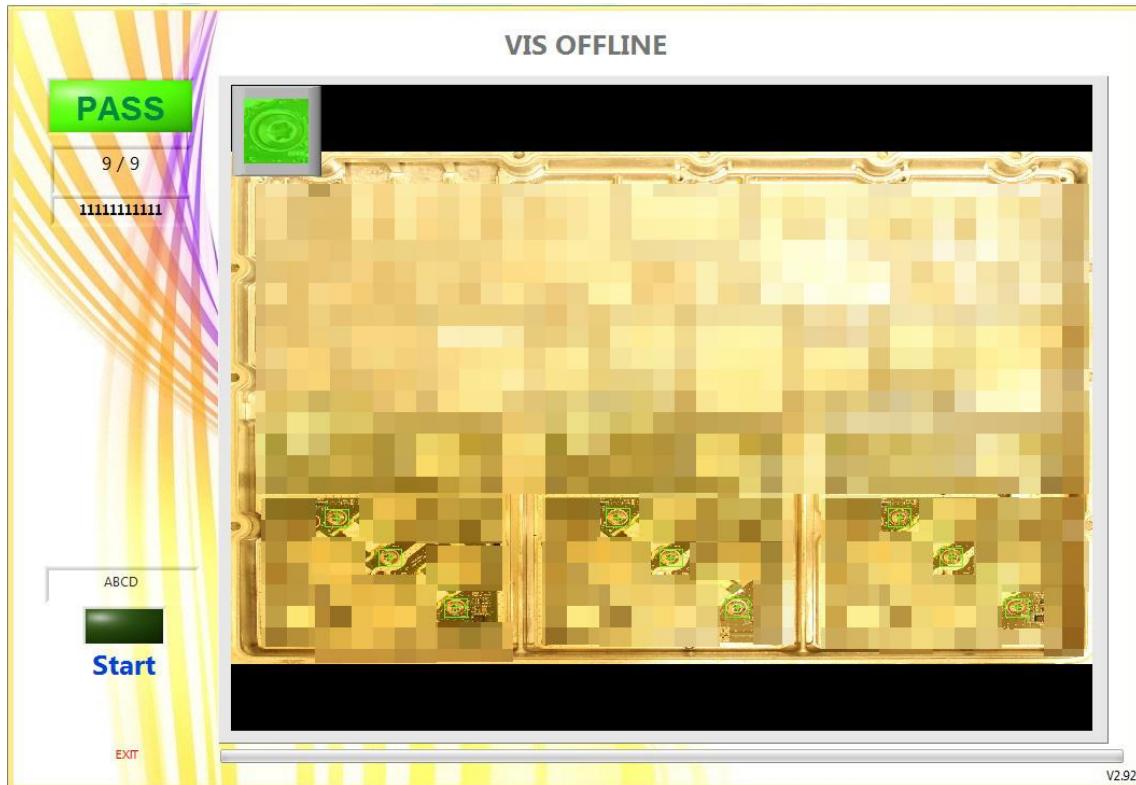
Kameran asetusten tarkastamisen jälkeen voidaan ajaa VIS_v2.92_offline.exe. VIS_v2.92_offline on sovellus, joka ohjaa kameraa ottamaan kuvan, käsittelee sen ja kertoo tuloksen, onko tuote pass vai fail. Se hakee BuildProfilessa luodun profiilin ja käyttää siinä määriteltyjä tietoja hyväksi tarkastuksessa. Se eroaa VIS_v2.92_online.exe:stä siten, että kun viivakoodi on syötetty, kerrotaan sovellukselle, mitä tuotetta ollaan kuvaamassa. VIS_v2.92_online taas osaa hakea profiilin tuotteen viivakoodin perusteella. VIS_v2.92_offlinea voi käyttää vain testauksessa, sillä se ei kommunikoi PLCM:n kanssa. PLCM on NSN:n järjestelmä, jossa seurataan tuotteen etenemistä ja sitä, että jokaisesta tuotteelle tehdystä toimenpiteestä saadaan tulokseksi pass.

Ensin annetaan SFC eli tuotteen viivakoodi. Testauksessa käytettiin keksittyä 11-merkkistä numerosarjaa. Alasvetovalikosta valitaan tuote, jota kuvataan. Näin sovellus osaa hakea juuri tälle tuotteelle tehdyt määrittelyt. Tuotteelle annettiin keksitty nimi ABCD. Ajettiin VIS_v2.92_offline. Tuotteesta otettiin kuva, joka tuotiin näytölle. Sille suoritettiin tarkastus, jonka jälkeen tulostettiin tarkastuksen tulos. Kuvassa 15 esitetään viivakoodin syöttönäkymä.



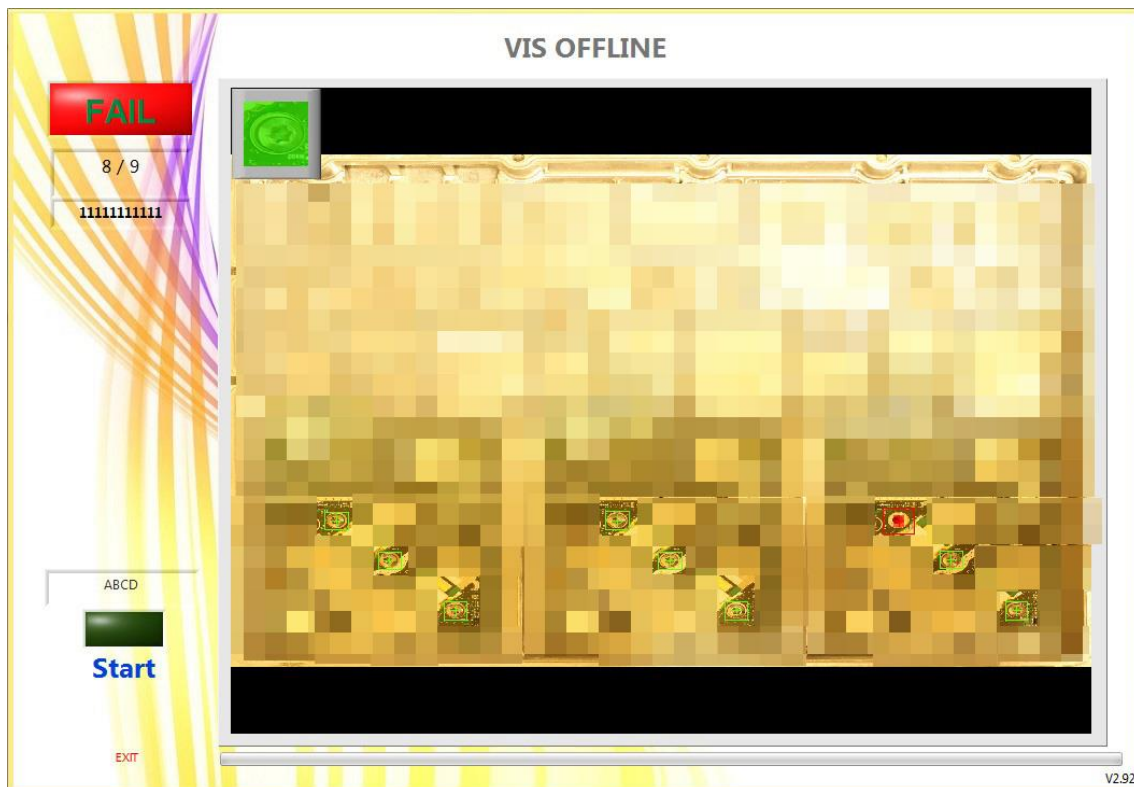
KUVA 15. SFC:n eli viivakoodin syöttö

Jos kuvaus onnistuu ja tarkastuksessa löydetään oikea määrä ruuveja, tässä tapauksessa yhdeksän kappaletta, saadaan tulokseksi pass. Kuvassa 16 esitetään hyväksytty tarkastuksen tulos.



KUVA 16. VIS-tarkastuksen tulos pass. Kuvaa on sensuroitu tietosuojasyistä.

Jos taas ruuveja puuttuu, saadaan tulokseksi fail. Lisäksi puuttuvan ruuvin paikka ilmaistaan punaisella laatikolla. Kuvassa 17 esitetään hylätty tarkastuksen tulos.



KUVA 17. VIS-tarkastuksen tulos fail. Kuvaa on sensuroitu tietosuojasyistä.

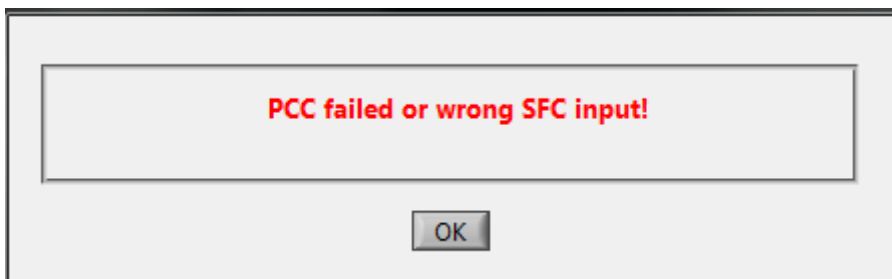
3.4 PLCM-yhteys

Kun kuvaus ja tarkastus alkoivat onnistua, alettiin tutkia, miten sovellus saadaan kommunikoimaan PLCM:n kanssa. VIS_v2.92_offlinelle kerrotaan alasve-tovalikosta valitsemalla, mikä kuvattava tuote on kyseessä. VIS_v2.92_offline on testaussovellus, jolla voidaan testata, toimiiko sovellus halutulla tavalla tarpeeksi luotettavasti.

VIS_v2.92_online taas on sovellus, jota operaattorit käyttävät linjalla tuotteen tarkastukseen. VIS_v2.92_online kommunikoi PLCM:n kanssa. Kun sovelluk-selle luetaan tuotteen viivakoodi, se hakee viivakoodin perusteella, mistä tuot-teesta on kyse, ja hakee tälle tuotteelle tehdyt määrittelyt. Kun tarkastus on tehty ja saadaan tarkastuksen tulos, tulos syötetään PLCM-järjestelmään. Näin tiedetään, että tarkastus on tehty ja tuote on joko läpäissyt tarkastuksen tai sit-

ten ei. Jos tarkastuksen tulos on fail, viallinen tuote jää kiinni viimeistään seuraavan kerran viivakoodia luettaessa, kun PLCM ilmoittaa, ettei tuote ole hyväksyttävästi läpäissyt edellistä askelta.

PLCM:n ja sovelluksen välille piti myös rakentaa kommunikointiin rajapinta. Shanghaista tullessa sovelluspaketissa rajapinta oli rakennettu Shanghain palvelimelle. Oulussa konfigurointi tehtiin Shanghain mallin mukaisesti Oulun palvelimelle. Luotiin testiserveri PLCM:ään, jotta testaaminen ei häiritsisi PLCM:n muuta toimintaa. Testiserverin konfigurointi onnistui, mutta kun ajettiin VIS_v2.92_online, tarkastus ei toiminut. Viivakoodin syöttämisen jälkeen saatiin kuvan 18 mukainen virheilmoitus.



KUVA 18. Virheilmoitus

Koska viivakoodi oli syötetty oikein ja se löytyi PLCM-järjestelmästä, vika ei voinut olla siinä. Epäiltiin myös, onko sovelluksen tallennuspaikka taaskaan oikea. Tallennuspaikkojen muuttaminen ei vaikuttanut virheilmoitukseen millään lailla. Apua pyydettiin Shanghaista sovelluksen alkuperäiseltä tekijältä. Sovelluksen tekijöiden kanssa käydyistä sähköpostiviesteistä kävi ilmi, että Shanghain sovellus on konfiguroitu vain viidelle tietylle tuotteelle, eikä kuvaamamme tuote kuulunut näiden joukkoon. Loppujen lopuksi ongelma ratkesi, kun saatiin sovelluksen alkuperäiseltä tekijältä uusi online-versio VIS_v2.92_debug.exe, joka oli konfiguroitu nimenomaan Oulussa testattavalle tuotteelle. Ajettiin VIS_v2.92_debug, kuvaus suoritettiin onnistuneesti ja pass- sekä fail-tulokset saatiin tulostumaan PLCM:ään.

4 LAITTEISTON KOKOAMINEN

Koska Shanghaiin tehtaan konenäköjärjestelmä oli toteutettu tietyillä komponenteilla, myös Ouluun haluttiin samat komponentit. Kiinan tehtailla itse tehty järjestelmä oli jo todettu toimivaksi. Tämä oli suurin syy, miksi laitteistoa ei tilattu suoraan konenäköjärjestelmiin suuntautuneelta yritykseltä. Lisäksi tilattaessa konenäköjärjestelmiin erikoistuneelta yritykseltä hinta voi nousta korkeaksi. Esimerkiksi älykamera, joka ei vaadi erillisiä lisälaitteita vaan sisältää älyn itsessään, voi maksaa tuhansia euroja. Tehokaskin järjestelmäkamera on siten paljon edullisempi vaihtoehto. Lisäksi olosuhteet, joihin kamera tulee, eivät ole vaativia. Tällöin tavallisen kameran käyttö onnistuu. Kaikki muut tarvittavat komponentit saatiin yrityksen puolesta.

Laitteisto koottiin rakentamalla metalliputkista kehikko, johon komponentit sijoitettiin. Kehikkoon liitettiin kamera, näyttö, PC, näppäimistö, hiiri, viivakoodinlukija, LED-valot ja paikoitusjigi. PC:llä on paikka pöytätason alla. Näppäimistö ja hiiri sijoitettiin pöytätason alle alustalle, joka voidaan vetää esiin helposti. Liikkuvan alustan ansiosta operaattoreiden ei tarvitse kuvauksen aikana kurotella pöytätason yli tai ohitse. Kuvassa 19 näkyy valmis laitteisto.



KUVA 19. Valmis laitteisto. Kuvaa on sensuroitu tietosuojasyistä.

4.1 Valaistus

LED-valot asennettiin paikoilleen, ja seuraavaksi piti miettiä niiden asemointi. Ensin asennettiin kaksi LED-valoa pitkittäissuuntaisesti. Tavoite oli aluksi valaista tuote tasaisesti joka puolelta ja testata erilaisia valaistustapoja. Kuvattavasta kohteesta johtuen valaistustapoja oli oikeastaan vain kaksi, joko kohtisuora tai epäsuora valo. Lisäksi valoilla ei ollut oikeastaan muuta mahdollista asennuspaikkaa kuin pöytätason yläpuolelle rakennettu, kameraa pitelevä kehikko.

Ensimmäisenä kokeiltiin kohtisuoraa valoa. Kohtisuoraa valoa käytettäessä kohde valaistuu kirkkaasti, mutta epätasaisesti. Testikuvista nähtiin, että tuotteen keskelle tuli kirkkaammin valottunut kohta ja reunat olivat tummemmat.

Tätä epätasaista valon jakautumista yritettiin välttää käyttämällä epäsuoraa valoa, eli valo yritettiin heijastaa valkoisesta suojaverhon pinnasta tuotteen pinnalle. Epäsuoran valon oletettiin valaisevan kohdetta tasaisemmin, koska teräviä varjoja ei synny kuten kohtisuoraa valoa käyttämällä. Suunnattiin LED-valot ylöspäin 45 asteen kulmaan pois päin tuotteesta ja heijastettiin valoa tuotteeseen valkoisten pintojen avulla. Tämä kuitenkin vain voimisti ilmiötä, jossa keskelle kuvaa ilmestyi kirkkaammin valottunut kohta.

Seuraavaksi kokeiltiin pienentää kameran asetuksista valotuksen korjausta ja himmentää LED-valoja, jolloin tuote valaistui taas tasaisemmin, mutta kamera tuli herkäksi ympäristöstä tulevalle valolle. Esimerkiksi kun joku tuli kuvanottolanteessa seisomaan laitteiston viereen, kuvaus epäonnistui. Tämän perusteella pääteltiin, että ympäristöstä tuleva valo täytyy eliminoida kokonaan LEDeillä ja suojaverhoilla ja kameran valotuksen korjauksen pitää olla korkea. Kun LED-valot ovat tarpeeksi kirkkaat, ympäristöstä tuleva hajavalo ei ole tarpeeksi voimakasta häiritäkseen kuvausta. Kuitenkin kirkkaat LED-valot aiheuttavat kuvaan epätasaisen valotuksen, joka johtuu tuotteen heijastavista pinnoista. Toisaalta taas paljaalle silmälle tuote näytti valaistuvan melko tasaisesti. Kamera kuitenkin toimii automaattisesti ja säätää itse asetuksiaan, jolloin PC:n näytölle tulostuva kuva voi näyttää hyvinkin tummalta ja epätasaiselta, vaikka asia ei kuitenkaan näin ole.

Valaistuksesta tuli hieman tasaisempi, kun vaihdettiin kahden LED-valonauhan paikkaa pitkittäissuuntaisesta poikittaissuuntaiseksi. Haluttiin vielä kokeilla, mitä tapahtuisi, jos valoja olisikin neljä kappaletta, ja se osoittautui parhaimmaksi vaihtoehdoksi. Asennettiin yhteensä neljä LED-valoa ja kaikki poikittain tuotteeseen nähden. Neljä LED-valoputkea eivät olisi mahtuneet yhdessä siten, että ne olisivat sijainneet kaikilla neljällä kamerakehikon sivuilla. Valaistus oli poikittaisesti asennettujen LEDien ansiosta myös tasaisempi.

Jos kuvauspaikka olisi tarkoitettu vain kuvaukseen, olisi laitteistosta voinut rakentaa ns. suljetun systeemin. Tällöin valoja olisi voinut asentaa eri korkeuksille, jolloin olisi voitu saada valaistuksesta tasaisempi. Epäsuoran valon käyttö

olisi voinut myös onnistua paremmin. Lisäksi olisi voitu rakentaa suojakotelo, joka laskettaisiin tuotteen päälle kuvauksen ajaksi, jolloin ainut valonlähde olisi LEDeistä tuleva valo. Käytännössä tämä ei ollut mahdollista, sillä työpisteessä, jossa kuvaus tapahtuu, täytyy pystyä tekemään muitakin työvaiheita kuin pelkkää kuvausta. Kuvassa 20 esitetään kameran ja valojen lopullinen sijoitus suojakotelon sisällä.



KUVA 20. Kameran ja valojen asettelu suojakotelon sisällä

4.2 Suojakotelo

Kamera ja LED-valot suojattiin alumiinipelistä rakennetulla suojakotelolla (kuva 21). Suojakotelon reuna on noin 10 cm pöytätasoa kauempana, jotta työskentely pisteessä on helpompaa. Pitemmän ihmisen on hankala työskennellä, jos suojakotelon reuna tulee kovin lähelle päätä ja otsaa. Aluksi kamera ja valot olivat 70 cm:n korkeudessa pöytätasoon nähden, mutta suojakotelon 40 cm:n sivujen kanssa koko järjestelmä olisi tullut niin alas, että työskentely pisteessä olisi ollut mahdotonta. Kameraa ja valoja nostettiin ensin 10 cm ylöspäin, mutta yhäkin järjestelmä oli liian alhaalla ja haittasi työn tekemistä. Päätettiin siis nostaa kamera ja valot metrin korkeuteen pöytätasosta.

Ensin pelättiin, että liian korkealla valaistusteho ei riittäisi valaisemaan tuotetta tarpeeksi ja ympäristön valo sotkisi taas kuvausta. Testikuvien otto osoitti pelon turhaksi, sillä valaistusolosuhteet eivät muuttuneet merkittävästi. Todettiin, että paras korkeusetäisyys kameralle ja valoille on noin 1 m pöytätasosta. Tällöin valaistusteho on vielä riittävä ja työnteko pisteessä on helpompaa, kun suojakotelo ei ole liian alhaalla haittaamassa operaattoreiden työntekoa. Suojakotelo on mahdollista nostaa vieläkin korkeammalle, mutta siinä tapauksessa pitäisi jo miettiä tehokkaampien LEDien hankintaa tai vaihtoehtoisesti asentaa lisää jo järjestelmästä löytyviä LEDejä.



KUVA 21. Suojakotelo

4.3 Paikoitusjigi

Paikoitusjigillä (kuva 22) kohdistetaan tuote kuvauksen kannalta oikeaan kohtaan ja se pitää tuotteen tietyssä kohdassa kuvan oton ajan. Tuotetta liikutellaan linjalla erityisellä alustalla eli paletilla rullakiskojen päällä. Paletti vedetään kuvauspaikalle, jossa tuotteen reunaan lasketaan paikoitusjigi. Näin tuote lukittuu paikoilleen. Toisin kuin Shanghain ratkaisussa, työssä käytettiin jigiratkaisua, joka mahdollistaa tuotteen katkeamattoman liikkumisen linjalla. Shanghaissa tuote täytyy nostaa jigiiin ja siitä pois, kun taas tässä järjestelmässä tuotetta ei

tarvinnut erikseen liikuttaa pois paletilta. Tämä nopeuttaa operaattoreiden työtä, sillä kuvaustilanne on näin nopeampi ja vältytään tuotteen nostelemiselta. Myöhemmin lisättiin jigiin ominaisuus, jolla jigin leveyttä on mahdollista säätää, jolloin laitteiston vaihtaminen tuotteelta toiselle on helpompaa.



KUVA 22. Paikoitusjigi. Kuvaa on sensuroitu tietosuojasyistä.

5 LAITTEISTON TESTAUS LINJAAN INTEGROITUNA

Kun sovellus oli saatu toimimaan ja laitteisto oli koottu, lähdettiin seuraavaksi integroimaan laitteistoa osaksi tuotantolinjaa.

5.1 Ensimmäiset tulokset

Asennettiin laitteisto jo olemassa olevaan tuotantolinjaan ja aloitettiin testaus ensin offline-tilassa. Sovellus oli laitteiston rakentamisen yhteydessä tehdyssä testauksessa toiminut juuri niin kuin sen pitäisi. Yllättäen tuotantolinjalla sovellus alkoi kuitenkin hylkäämään tuotteita väittäen, että ruuveja puuttuu, vaikkei näin ollut. Yritettiin ottaa uusi mallikuva tuotantolinjan valaistusolosuhteissa, joka auttoi hieman, mutta yhäkin tuotteita hylättiin ilman syytä. Tarkastuksista saatiin fail-tuloksia enemmän kuin pass-tuloksia. Lisäksi hylkäyksen aiheuttava ruuvien paikka vaihteli. Aluksi tavoitteena oli saada pois väärät hylkäykset.

Pohdittiin aluksi, että vika voisi olla valaistuksessa. Ehkä valoa ei ole tarpeeksi uusissa ympäristöolosuhteissa, jolloin ympäristöstä tuleva hajavallo häiritsee kuvasta. Paikoitusjigiä muokattiin niin, että tuotetta työnnettiin noin 1 cm eteenpäin, jolloin LEDien valo jakaantui tasaisemmin tuotteelle. Tuotteen alareuna sai enemmän valoa eikä katon loisteputkivalaisimista päässyt hajavalloa tuotteen pintaan niin paljon kuin aikaisemmin. Tämä paransi tuloksia hetkeksi aikaa.

Valoa voi olla myös liikaa johtuen kuvattavasta tuotteesta, joka heijastaa erittäin paljon valoa. Otettiin testikuvia iltavuoron ajan, ja kaikki tuotteet hylättiin tarkastuksessa. Tulokset huononivat sitä mukaa, mitä enemmän kuvia otettiin. Pohdittiin, johtuvatko fail-tulokset siitä, että tuotteen pinta heijastaa ja on joka tuotteella hieman erilainen, jolloin heijastukset muodostuvat eri tavalla joka kuvassa. Valo heijastuu ruuveihin joka kuvassa hieman eri lailla, jolloin ne eroavat mallikuvasta ja sovellus päättää hylätä tuotteen.

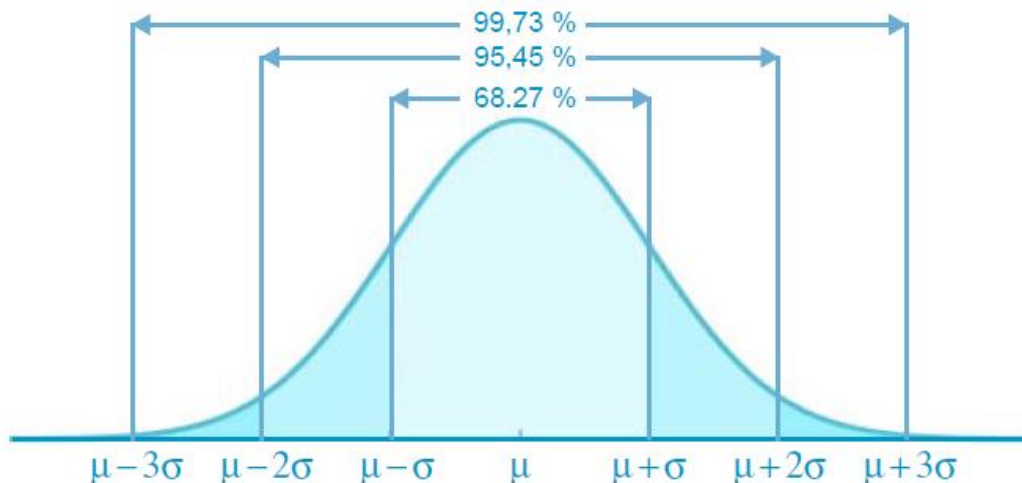
Myös mallikuvaa otettaessa on voitu vahingossa häiritä valaistusta. Lisäksi mietittiin, pitäisikö tuotteen valaistusta muuttaa sittenkin suorasta valosta epäsuoraan valoon. Näin eliminoidaisiin heijastukset kuvasta. Epäsuoran valaistusratkaisun rakentaminen laitteistoon voi olla hankalaa laitteiston rakenteen ja sen sijoituksen vuoksi. Toisaalta heijastuksesta aiheutuvat erot kuvissa olivat niin pieniä, että score-arvoa korjaamalla niiden ei pitäisi merkittävästi vaikuttaa tarkastuksen tuloksiin.

5.2 Score-arvojen vaikutus tuloksiin

Tutkittiin lisää tarkastetuista tuotteista tallentuneita score-arvoja, jolloin huomattiin, että aina, kun saatiin fail-tulos, score-arvo oli 0. Mallista täydellisesti eroavan kuvan score on 0. Mietittiin, että ei ole mahdollista saada score-arvoksi nollaa, jos ruuvi on paikallaan. Eroja asetettuun minimi-score-arvoon voi olla kuvien välillä, mutta nolla pitäisi saada vain siinä tapauksessa, että ruuvia ei havaita ollenkaan tarkastetussa paikassa tai tarkasteltu paikka on jotain ihan muuta kuin mallikuva ruuvista. Lisäksi kun tarkastuksen tulokset alkoivat huonontua sitä mukaa, mitä enemmän otettiin kuvia, vahvistui käsitys, että ongelma johtuu itse sovelluksesta. Päätettiin kysyä asiasta sovelluksen kehittäjältä.

Sovelluksen tekijän kanssa käydyssä sähköpostikeskustelussa kävi ilmi, että sovellus on rakennettu niin, että kun ruuvien score jää alle minimirajan, tulostetaan score-arvoksi 0. Nolla tulostetaan, vaikka score olisi oikeasti jotain muuta. Hän ehdotti, että score-arvoa laskettaisiin tarpeeksi alas, esimerkiksi 100:aan. Näin kaikki ruuvit menisivät hyväksytysti läpi tarkastuksesta, ja voitaisiin ottaa kuvat tuotteesta, joka sisältää kaikki ruuvit, ja vastaavasti tuotteesta, jossa ei ole yhtään ruuvia paikallaan. Tällöin nähtäisiin, mikä score-arvon pitää vähintään olla. Otettiin viidestä tuotteesta testikuvat ja vertailtiin niiden välillä alinta score-arvoa. Alimmillaan score oli 404. Vastaavasti otettiin yhdestä tuotteesta kuva, jossa ruuveja ei ollut ollenkaan. Tässä korkein score-arvo oli 364. Pääteltiin, että minimi-scoren täytyy siis olla noin 400. Tehtiin uusi mallikuva, johon minimi-scoreksi laitettiin 395.

Otettiin lisää testikuvia score-arvolla 395. Sovellus lopetti turhat hylkäykset, mutta alkoi myös hyväksymään tuotteita, joista puuttui ruuveja. Päätettiin, että otetaan testikuvia lisää. Näistä testikuvista tulostuneista score-arvoista lasketaan jokaisen yksittäisen ruuvin normaalijakauman mukainen odotusarvo. Todennäköisyysmassa on keskittynyt odotusarvon ympärille kuvan 23 mukaisesti (9, s. 7).



KUVA 23. Todennäköisyysmassan keskittyminen odotusarvon ympärille (9, s. 7)

Yleensä uusi laite on tarpeeksi luotettava, jos 99,73 % muuttujan arvoista on korkeintaan kolmen keskihajonnan mitan päässä odotusarvosta (9, s. 7). Niinpä laskettiin kaikille ruuveille odotusarvo-score, jonka normitettu arvo on 0,997.

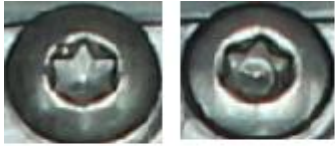
Odotusarvo saatiin, kun iltavuorossa kuvattiin 27 tuotetta ja kunkin ruuvin saamista score-arvoista laskettiin ensin keskiarvo ja -hajonta. Lisäksi katsottiin kunkin ruuvin saama alin score-arvo. Alimmasta scoresta laskettiin poikkeama keskiarvoon ja saadusta poikkeamasta normitettu arvo jakamalla poikkeama keskihajonnalla. Normitettu arvo vähennettiin luvusta 1, jolloin saatiin tulos, paljonko tuotteita menisi tarkastuksesta läpi alimmalla saadulla score-arvolla. Tämän jälkeen muutettiin scorea joko suuremmaksi tai pienemmäksi, jotta normitetuksi arvoksi saatiin 0,997.

Tehtiin uusi malli, jossa jokaisella ruuvilla oli normaalijakauman odotusarvon mukainen score-arvo. Lisäksi tähän malliin muutettiin BuildProfilen oletusasetuksia sovelluksen kehittäjän ehdotuksesta. Hän suositteli muuttamaan Offset-, X- ja Y-Resolution-asetuksia. Offset-asetukseksi asetettiin M4-ruuville 20 ja M5-ruuville 30. Offset-asetuksilla säädetään tarkastuksen yhteydessä ruuvin ympärille tulostuvan neliön kokoa ruuvin koon mukaan. Lisäksi X_Resolutioniksi asetettiin 3600 ja Y_Resolutioniksi 2700. Resolution-asetukset määritetään ennen Load file -toimintoa. Resolution-asetuksilla estetään kuvan vääristymistä.

Uutta mallia testattiin jälleen iltavuorossa. Kolme ensimmäistä tuotetta hylättiin tarkastuksessa, vaikka uusiksi minimi-scoreiksi valittiin keskiarvoa sekä edellisen testauksen alinta saatua scorea selvästi pienemmät scoret. Päätettiin seurata iltavuoron ajan, alkavatko vain tietyt ruuvit aiheuttamaan hylkäyksiä vai pitääkö kaikkien ruuvien score-arvoa laskea matalammaksi. Sovellus alkoi hylkäämään tuotteita vaihdellen aina hylkäyksen aiheuttavan ruuvin paikkaa, jolloin laskettiin kaikkia score-arvoja selvästi alemmas. Hylkäyksien määrä väheni, mutta ne silti jatkuivat.

5.3 Alamallien vaikutus tuloksiin

Sovelluksen tekijän kanssa käydyssä sähköpostikeskustelussa tuli esiin, että on mahdollista tehdä standardimallikuville myös alamalleja. Ruuvit eivät aina ole samannäköisiä metallin hapettumisen vuoksi, ja eri lailla hapettuneet ruuvit voivat johtaa tuotteen hylkäykseen. Päätettiin siis ajaa lisää tuotteita läpi kuvauspaikasta ja tehdä jokaisesta hylkäyksen aiheuttaneesta ruuvista alamalli standardimallille. Päätettiin, että ajetaan tuotteita läpi kuvauspaikasta suuri määrä, jolloin jossakin vaiheessa hylkäysten määrä vähenee niin paljon, että laitteisto voidaan siirtää online-tilaan. Turhien hylkäysten määrä väheni sitä mukaa, mitä enemmän alamalleja tehtiin. Alamalleja tehtäessä huomattiin, kuinka paljon ruuvit saattavat poiketa toisistaan. Tätä ei ollut osattu edes ajatella, kun laitteistoa siirrettiin linjalle. Kuvassa 25 esitetään kahden ruuvin standardimallin ja alamallin eroja.



Ruuvi 15



Ruuvi 40

KUVA 25. Esimerkki ruuvien eri hapettumisasteista. Vasemmalla puolella standardimallit, oikealla alamallit.

Samalla huomattiin, miksi laite toimi ennen tuotantolinjalle siirtoa niin hyvin. Kun kuvataan jatkuvasti samaa tuotetta, ei ruuveissa esiinny vaihtelua. Paras tapa olisi rakentaa laitteisto valmiiksi ja siirtää se linjalle, jonka jälkeen tehdään linjan ympäristöolosuhteissa standardimalli. Standardimallin tekemisen jälkeen aletaan ajamaan laitteiston läpi suuri määrä tuotteita, jotta saadaan riittävästi vaihtelua ruuvien välille. Tällöin saadaan rakennettua tarvittava määrä alamalleja. Alamallien tekemisen merkitys oli suuri, kun laitteistoa yritettiin saada toimimaan linjalla.

Alamalleja tehtiin muutaman viikon ajan. Tietyt ruuvit aiheuttivat hylkäyksiä enemmän kuin toiset ja niille alkoi kertyä alamalleja enemmän kuin muille ruuveille. Päätettiin laskea niiden ruuvien score-arvoa, joille alamalleja oli kertynyt kolme tai enemmän. Laitteiston toiminta parani koko ajan ja turhien hylkäysten määrä väheni, muttei loppunut kokonaan. Päätettiin, että satunnaisista turhista hylkäyksistä huolimatta aloitetaan laitteiston ajo online-tilassa. Tärkeämpää on, että laitteisto ei päästä tarkastuksesta läpi viallisia tuotteita. Satunnaiset turhat hylkäykset on helppo kuitata PLCM-järjestelmästä ja hylkäyksen aiheuttavasta ruuvista voi tehdä alamalleja, jolloin sovelluksen luotettavuus paranee ajan mittaan.

Testattiin vielä ottamalla kuvia ruuvittomista tuotteista, että laitteisto varmasti tunnistaa vialliset tuotteet. Kuvaukset onnistuivat, jolloin vietiin laitteisto osaksi tehtaan verkkoa. Tehtaan verkkoon viemisen jälkeen olisi pitänyt testata vielä

yhteyttä PLCM-järjestelmään, jotta laitteisto olisi voitu siirtää offline-tilasta online-tilaan. Testiserveriin ei kuitenkaan saatu yhteyttä laitteistoon asennetun verkon käyttöoikeuksien vuoksi. Jotta yhteyttä PLCM:ään olisi päästy testaamaan, olisi pitänyt rakentaa uusi rajapinta, jotta olisi päästy testiserveriltä oikealle serverille. Resurssipulan sekä työkiireiden vuoksi rajapintaa ei ehditty rakentamaan.

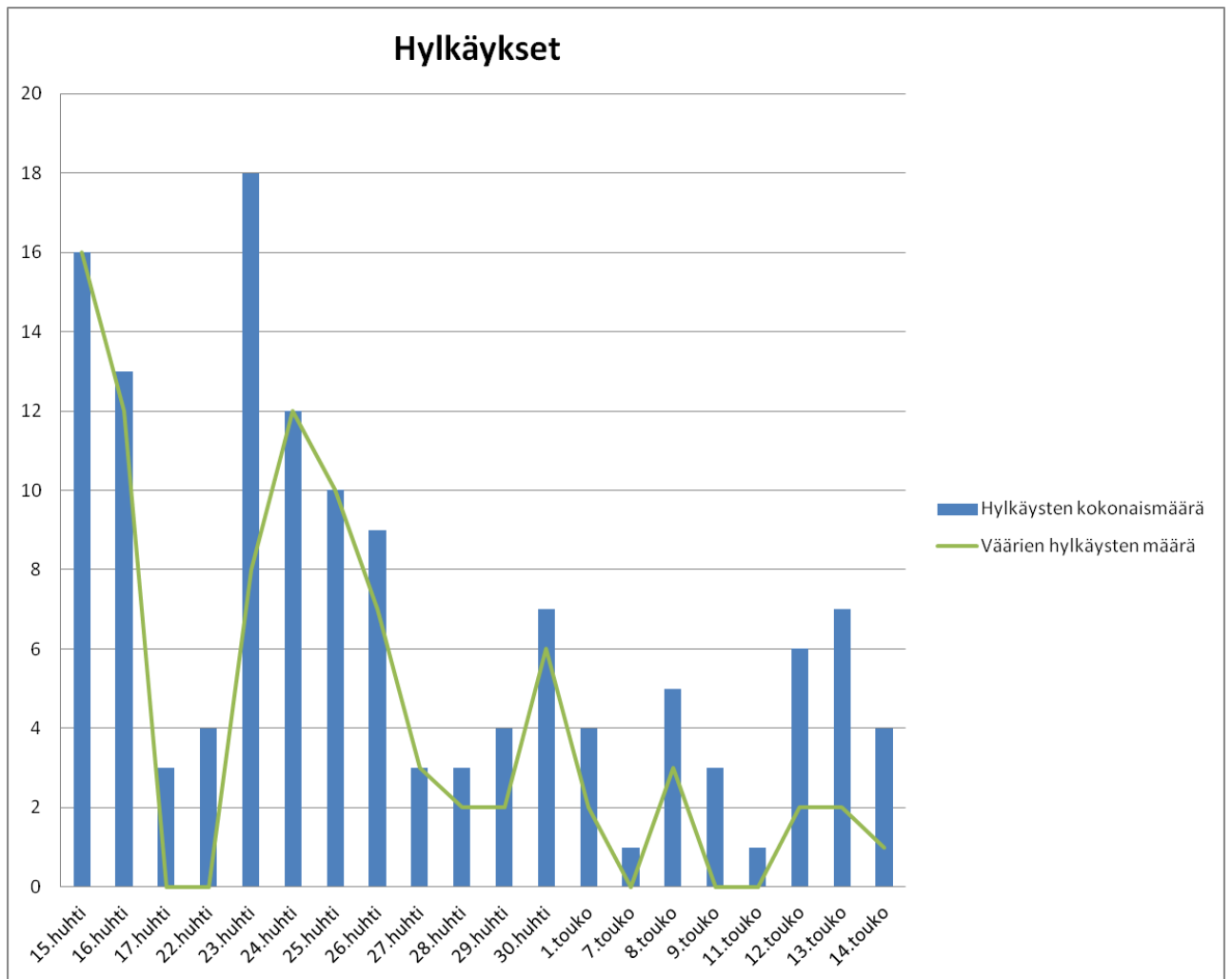
5.4 Laitteiston luotettavuuden kehitys testausten aikana

Päätettiin, että laitteiston ajoa jatketaan offline-tilassa ja kesän 2014 aikana saatetaan se online-tilaan. Haluttiin vielä tutkia, miten laitteiston luotettavuus on kehittynyt ajan kuluessa. Tutkittiin tuloksia kuvauksista ja piirrettiin kuvan 26 ja 27 mukaiset kuvaajat.

Kuvaajasta näkee laitteistolle tehtyjen toimenpiteiden vaikutukset kuvausten tuloksiin. Hylkäykset johtuvat kolmesta eri syystä:

- Hylkäys on perusteltu, eli ruuvi puuttuu.
- Hylkäys johtuu tuotteen väärästä paikoituksesta.
- Hylkäys on väärä, eli hylkäys johtuu ruuvien hapettuneisuuseroista.

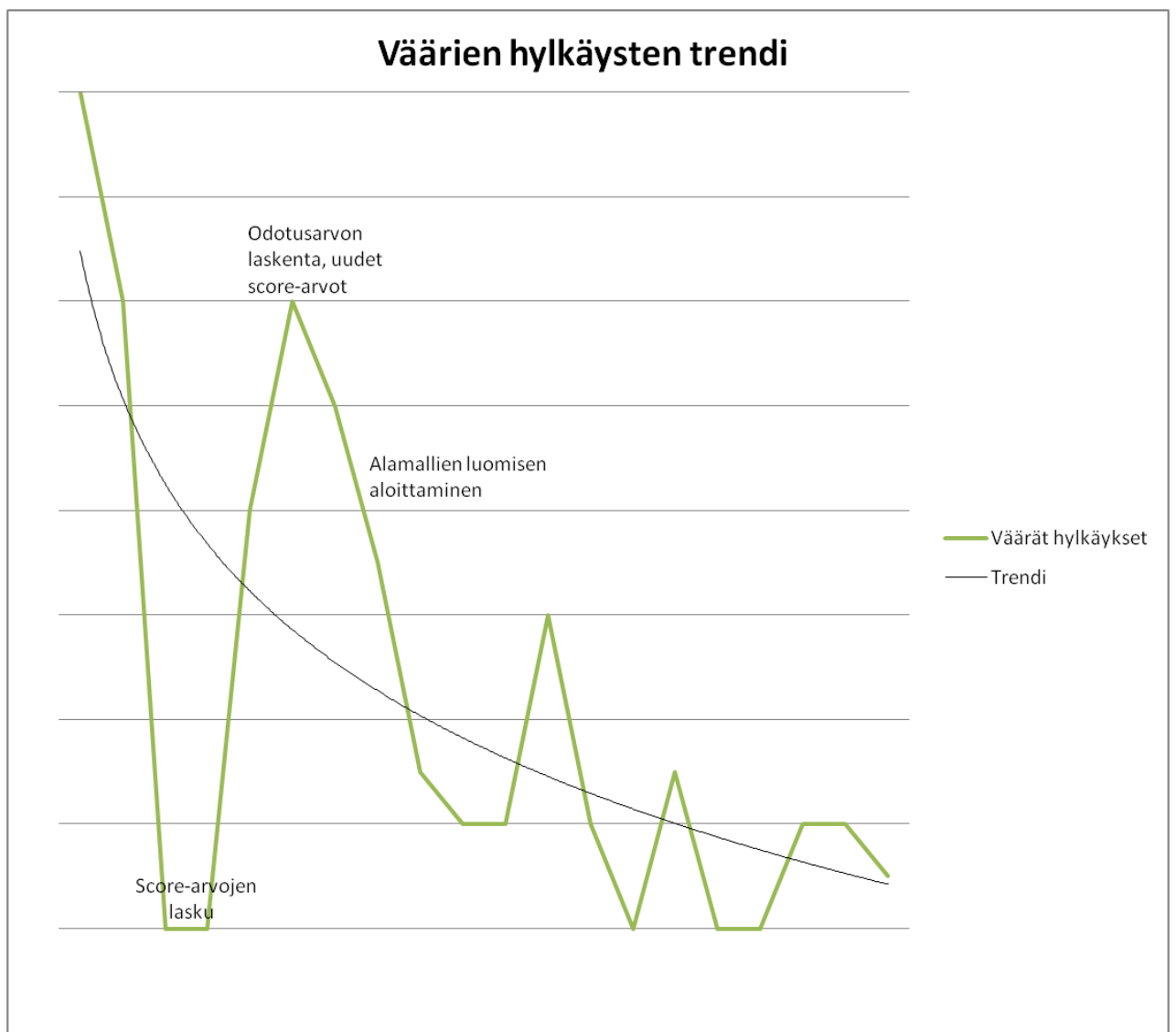
Työssä haluttiin eliminoida aluksi kaikki väärät hylkäykset pois eli parantaa laitteiston luotettavuutta. Paikoituksesta johtuvat hylkäykset voidaan eliminoida paikoitusjigiä muuttamalla ja lisäämällä koulutusta laitteiston käyttöön. Kuvassa 26 keskityttiin erityisesti väriin hylkäyksiin ja niiden muutoksiin.



KUVA 26. Hylkäysten kokonaismäärät ja väärien hylkäysten määrän muutokset

Aluksi väärien hylkäysten määrä oli suuri. Laitteisto vietiin tuotantolinjalle 15.4. jolloin kaikki kuvatut tuotteet hylättiin. Sama jatkui, kunnes 17.4. laskettiin score-arvoja tuntuvasti alaspäin sovelluksen tekijän kanssa käydyn sähköpostikeskustelun perusteella. Tällöin turhien hylkäysten määrä oli nolla, koska ruuvien haurastumiseroista johtuneet hylkäykset poistuivat. Score-arvoja nostettiin jälleen 23.4., jolloin laskettiin odotusarvon mukainen score, mutta score-arvot olivat liian korkeita ja hylkäysten määrä kasvoi. Lisäksi aikavälillä 23.4.–24.4. aiheutettiin hylkäyksiä tahallaan, jolloin nähdään kuvaajassa korkeampi piikki hylkäysten määrässä. 24.4. alkaen alettiin luomaan standardimalleille alamalleja, jolloin turhien hylkäysten määrä alkoi vähentyä.

Alamallien teon aloittamisen jälkeen väärin hylkäysten määrä heittelee jonkin verran, mutta trendi osoittaa heittelyn ja turhien hylkäysten määrän olevan tasaantumassa. Heittelehtiminen on melko tyypillistä datalle, jota kerätään, kun otetaan käyttöön uutta laitteistoa. Jos dataa olisi pystytty keräämään pitemmältä aikaväliltä, nähtäisiin kuvaajassa tasaantumista johonkin tietylle tasolle. Kuvassa 27 esitetään trendi, joka on menossa oikeaan suuntaan laitteistolle tehtyjen toimenpiteiden ansiosta.



KUVA 27. Väärin hylkäysten trendi

6 TAKAISINMAKSULASKELMA

Työhön päätettiin sisällyttää laskelma laitteiston takaisinmaksuajasta. Yksinkertaisesti takaisinmaksuaika saadaan jakamalla investointikustannus tuotolla per vuosi. Käytettiin takaisinmaksuajan saamiseksi kaavaa, jossa hankintahinta jaettiin säästöllä vuodessa ja kerrottiin se 12:lla, jotta saatiin takaisinmaksuaika kuukausissa. Laitteiston takaisinmaksuaika saatiin taulukon 2 mukaisten tietojen avulla. Saatuja lukuja ei tietosuojasyistä esitetä.

TAULUKKO 2. Takaisinmaksulaskelmaan tarvittavat tiedot

VIS
Hankintahinta
Tarkastuskustannusyksikkö
Työarvoaika
Työarvokustannus / tunti
Arvioitu vuosivolyymi
Säästö / yksikkö

Tiedettiin laitteiston hankintahinta ja tarkastusjigin hinta. Tarkastusjigin hinta kerrottiin kahdella, sillä laitteistolla voidaan korvata kaksi tarkastusjigiä. Tarkastuskustannusyksikkö saadaan muuttamalla työarvokustannus minuuttitasolle ja kertomalla se työarvoajalla eli kauanko työvaiheeseen menee aikaa. Sama toistettiin operaattorin tekemälle työlle. Säästö yksikköä kohti saatiin vähentämällä laitteiston laskettu tarkastuskustannusyksikkö operaattorin tarkastuskustannusyksiköstä. Tiedettiin valmiiksi myös arvioitu vuosivolyymi eli se, montako yksikköä vuodessa valmistetaan. Kerrottiin vuosivolyymi säästöllä yksikköä kohti. Näin saatiin tietoon myös säästö vuodessa. Lopuksi jaettiin hankintahinta säästöllä vuotta kohden ja kerrottiin jako vielä 12:lla, jolloin takaisinmaksuajaksi saatiin 5 kk.

Tarkastusjigejä tarvitaan useita kappaleita eri tuotteille ja eri asioiden tarkastamiseen. Yhdellä VIS-laitteistolla voidaan tarkastaa niin monta tuotetta ja asiaa

kuin halutaan. Näin VIS-laitteisto tulee edullisemmaksi kuin että käytettäisiin lukuisia tarkastusjigejä. Lisäksi 5 kk:n takaisinmaksuaikana on erittäin lyhyt. Vuosittaisella säästöllä olisi mahdollista hankkia jopa kolme uutta VIS-laitteistoa.

Sen lisäksi, että laitteisto on kyvykäs tarkastamaan useita eri tuotteita ja asioita, se on väsymätön eikä tee inhimillisiä virheitä. Inhimilliset virheet kostautuvat asiakaspalautuksina. Ruuvien puuttuminen vaikuttaa tuotteen sähkönjohtamiseen sekä pöly- ja vesitiiveyteen. Kuitenkaan tuotteen kansiruuvien puuttuminen ei aiheuta tuotteen hylkäystä lopputestauksessa, ja viallinen tuote saattaa päätyä asiakkaalle. Jos ruuveja puuttuu, se mahdollistaa tuotteen vikaantumisen kentällä. Jos saadaan asiakaspalautus, se pitää korvata uudella tuotteella ja siitä maksetaan palautuksesta aiheutuneet kustannukset. Palautuksen hinta yritykselle voi nousta tuhansiin euroihin. Lisäkustannuksia syntyy myös siinä tapauksessa, kun tuote aiheuttaa hylkäyksen lopputestauksessa ja se täytyy korjata. Esimerkiksi adapterien puuttuminen näkyy lopputestauksessa, jolloin tuote pitää purkaa ja korjata.

Jos laitteistolla saadaan yksikin inhimillisestä virheestä johtunut lisäkustannus eliminoitua, laitteisto maksaa itsensä takaisin nopeasti. Loppujen lopuksi pahinta on kuitenkin menettää asiakkaan luottamus.

7 POHDINTA

Työssä tavoitteena oli saada tuotantolinjaan integroitu luotettavasti toimiva laadunvarmistuskonenäköjärjestelmä. Laitteiston toimintaa ei päästy testaamaan online-tilassa, mutta koska laitteisto toimii hyvin offline-tilassa, tarkoituksena on siirtää se online-tilaan kesän 2014 aikana. Laitteisto tunnistaa ruuvittomat tuotteet ja hylkää ne, mutta hylkää myös satunnaisesti tuotteita, joissa kaikki ruuvit ovat paikallaan. Tämä johtuu ruuvien hapettuneisuuseroista, jotka on mahdollista eliminoida keräämällä tarpeeksi alamallikuvia ruuveille. Toisaalta ei ole niin vakavaa, jos laitteisto hylkää tuotteita, jotka ovat kunnossa. Paljon vakavampaa olisi, että läpi pääsisi tuotteita, jotka ovat viallisia.

Laitteiston luotettavuutta voidaan ajan kuluessa parantaa keräämällä kattavampaa kirjastoa ruuvimalleille. Aina jos saadaan fail-tulos, lisätään hylkäyksen aiheuttava ruuvi mallikirjastoon. Joidenkin ruuvien score-arvoja on mahdollista muuttaa, jos ne tuntuvat liian korkeilta tai matalilta.

Laitteiston käytettävyys on hyvä. Laitteisto on helppokäyttöinen ja laitteisto on helppo laajentaa myös muille tuotteille. Sovellukselle on helppoa opettaa uusi tuote ja sille standardimalli. Yhdellä VIS-laitteistolla voidaan tarkastaa niin monta eri tuotetta kuin halutaan. Tulevaisuudessa sovellusta voisi käyttää myös muiden komponenttien kuin ruuvien läsnäolon tarkastamiseen. Esimerkiksi tuotteesta, jolle laitteisto ohjelmoitiin, voisi tarkastaa lämmönjohtavuutta edistävien thermal padien tai adaptereiden läsnäolon. Sovellusta voisi käyttää sellaisenaan ja tehdä vain omat tarkastusmallit thermal padeille ja adaptereille.

Loppupäätelmänä on suositus, että VIS-laitteistoja hankittaisiin lisää. Luotettavuustutkinta ja takaisinmaksulaskelma tukevat loppupäätelmää. Laitteiston luotettavuus on paranemassa, ja tekemällä lisää tarkastuksia sekä pienellä säädöllä laitteistosta saadaan hyvinkin luotettava. Käyttökohteita laitteistolle on paljon. Lyhyen takaisinmaksuajan ja vuosittaisen säästön ansiosta laitteisto tulee edullisemmaksi ajan kuluessa verrattuna operaattorin tekemään visuaaliseen tarkastukseen tarkastusjigien avulla.

Työtä tehdessä opittiin, että varsinkin tapauksissa, joissa kuva on hyvin informatiivinen, standardimallin rakentaminen ei ole ihan yksinkertaista. Kun kuva sisältää sekä muotoja että värejä, vaihtelua standardimalliin voi olla paljonkin. Jos ei haluta tinkiä tarkastuksen tarkkuudesta eli score-arvosta, voi standardimallin rakentaminen olla haasteellista. Shanghain sovelluksessa oli mahdollista lisätä standardimalliin alamalleja, jolloin score-arvo voidaan pitää tarpeeksi korkealla ja silti kertoa sovellukselle, että standardin lisäksi on olemassa myös toisennäköisiä hyväksyttäviä malleja. Alamallien rakentaminen oli ratkaiseva osa työtä.

Sovelluksen alkuperäinen tekijä suositteli M4-ruuveille scorea 700 ja M5-ruuveille scorea 750. Kuitenkin sovelluksen teossa käytettiin parhaimmillaan scorea 800 ja alimmillaan scorea 400. Score-arvoissa on paljon hajontaa. Odotusarvoa laskettaessa keskihajonta oli tietyillä ruuveilla melko suuri. Siksi score-arvot heittelevät niin paljon keskenään. Parhaat score-arvot saivat ruuvit, jotka sijaitsivat tuotteen keskellä, johon tulee eniten valoa. Pienemmät score-arvot annettiin ruuveille, jotka sijaitsivat tuotteen reunoilla, koska valo ei pääse reunoille niin hyvin kuin keskelle. Lisäksi reunoilla osa ruuveista sijaitsee syvemmällä kuin muut. Score-arvot ovat suoraan yhteydessä valaistuksen määrään. Mitä enemmän valoa, sitä suurempi score-arvo voi olla koska kirkkaamman valon ansiosta ruuvien erilainen hapettuminen ei tule niin selkeästi esille.

Laitteiston käyttöönoton yhteydessä pyrittiin ottamaan huomioon Lean- ja Six Sigma -ajattelutavat. Lean-ajattelussa keskitytään hukkien ja ei-lisääarvoa tuottavien vaiheiden eliminoimiseen. Lean lisää tuotantoprosessin nopeutta. Six Sigma -ajattelussa taas keskitytään vaihtelun ja toiminnan virheiden vähentämiseen, mikä taas vähentää tuotevirheitä. Lean ja Six Sigma yhdessä mahdollistavat arvovirran nopeuttamisen ja kyvykkyyden lisäämisen. (10, s. 6.)

Laitteisto on nopeampi ja tarkempi tarkastuksessaan kuin ihminen. Näin nopeutetaan prosessia ja poistetaan virheitä eli yhtä Lean-hukkaa. Six Sigman mukaan laitteistolla saadaan sekä tuotteiden että tarkastuksen laadun vaihtelua pienemmäksi.

7.1 Jatkokehitysehdotukset

Tulevaisuudessa voisi harkita suojakotelon nostoa ylöspäin, jos operaattoreilta tulee palautetta, että työpisteessä työskentely on hankalaa suojakotelon sijoituksen takia. Varsinkin jos kameraa, valoja ja suojakotelo nostetaan ylöspäin, harkitsisin järjestelmään tehokkaampia valoja.

Jos valot olisivat tarpeeksi tehokkaat, sivuilta tulevaa hajavaloa estäviä suojaavia reunoja ei ehkä tarvittaisi ollenkaan. Kovin kirkkaita valoja käytettäessä pitäisi kuitenkin miettiä laitteiston käytön miellyttävyyttä operaattoreiden kannalta. Iso osa työtä oli valaistuksen miettiminen sekä valojen ja suojakotelon sijoittaminen. Työtä tehdessä tuli selväksi, kuinka tärkeä osa valaistuksella on kuvauksen onnistumiseen. Valaistuksella voi parantaa merkittävästi sovellusta tai pilata sen kokonaan. Sovelluksen alkuperäiseltä tekijältä saatiin palautetta, että kuvamme ovat hieman alivalottuneet reunoilta. Alivalottuneisuuden voisi korjata hankkimalla tehokkaammat valot.

Toisaalta pitäisi miettiä, mikä on saavutettu hyöty tehokkaammilla valoilla. Kuva ei olisi enää niin alivalottunut reunoilta, mutta heijastavat pinnat tulisivat vielä kirkkaammiksi. Valaistuksen parantamisella tuskin saataisiin kuvaan enää kovin paljon paremmaksi. Yksi konenäkökuvaamisen perusteita kuitenkin on, että kuvasta saadaan vain tarvittava määrä informaatiota, ei liian vähän tai liian paljon. Ylimääräisellä informaatiolla ei tehdä mitään.

Operaattoreilta saadun palautteen perusteella myös paikoitusjigiä voisi muuttaa. Nyt kun operaattorit vetävät palettia rullakiskojen päällä linjaa pitkin, kuvauspai-kalle tullessa paletti saattaa törmätä paikoitusjigin reunaan. Jigiä voisi muuttaa niin, että tuote pääsisi vapaasti liikkumaan linjalla ilman, että palettia täytyy siirtää tai nostaa.

Toinen parannusehdotus paikoitusjigille olisi poistaa se kokonaan ja muokata sovellusta siten, että tarkastus olisi mahdollista suorittaa, vaikka tuote ei ole joka kerta paikoitettu samaan kohtaan. VA:ssa pystyy tekemään Set Coordination System -toiminnon, jonka avulla kuvattava kohde voi olla kiertynyt, eri

korkeudella tai leveydellä. Kuvasta näytetään esimerkiksi tietty kulma tuotteesta. Ennen tarkastuksen alkamista sovellus paikantaisi tämän kulman, jonka perusteella sovellus tietäisi, missä asennossa tuote on ja missä etsittävät kohdet sijaitsevat. Paikoitusjigin poistaminen voisi lisätä myös laitteiston käyttömu- kavuutta operaattoreiden kannalta, kun tuotteen voisi vain vetää kuvauspisteeseen ilman paikoitusjigiin asettamista.

LÄHTEET

1. Karttunen, Juha 2005. Konenäkö yleistyy tuotantoautomaatiossa. Automaatiöväylä 2/2005. S. 8–9.
2. Koivula, Petri 2006. Konenäöllä yhä suurempi rooli laadunvarmistuksessa. Automaatiöväylä 4/2006. S. 39.
3. Visual Inspection System (VIS) SHA factory Introduction. 2013. Powerpoint-diaesitys. Saatu NSN:ltä 23.1.2014.
4. Visual Inspection System (VIS) SHA Implement VIS Version 1.0. 2013. Powerpoint-diaesitys. Saatu NSN:ltä 24.2.2014.
5. National Instruments Finland. Saatavissa: <http://finland.ni.com/info>. Hakupäivä 14.3.2014.
6. Aaltomaa, Matti 2014. VIS-materiaalia. Sähköpostiviesti. Vastaanottajat: Kristiina Lehtonen, Jani Savilampi. 23.1.2014.
7. Vision Assistant 2013. Suunnittelutyökalun kokeiluversio. National Instruments.
8. LabVIEW 2013. Suunnittelutyökalun kokeiluversio. Help-tiedostot. National Instruments.
9. Pii-Kirjat Ky. Esittely kirjasta Tilastotieteen perusteet. Saatavissa: http://www.pii-kirjat.fi/esittelyt/Esittely_Tilastotieteen_perusteet.pdf. S. 7. Hakupäivä 25.4.2014.
10. Moisio, J 2006. Lean Management - osa 5 - 5S, 7 hukkaa ja muita perusasioita Lean + 6 Sigma yhdistettynä. Saatavissa: http://www.ims.fi/sites/default/files/article_attachments/Lean_management_osa_5_5S_7_hukkaa_ja_muita_perusasioita..pdf. S. 6–8. Hakupäivä 28.4.2014