



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juha Autio

PINNOITETUN TUOTTEEN
TARKASTUS KONENÄÖLLÄ

Konetekniikka
2022

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Juha Autio
Opinnäytetyön nimi	Pinnoitetun tuotteen tarkastus konenäöllä
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	32
Ohjaaja	Juho Pölönen

Tässä opinnäytetyössä käsitellään konenäön hyödyntämistä teollisen pintakäsittelyn laaduntarkastuksessa. Työ tehtiin Polttoväri Oy:n tilaamana, yhden tuotantolinjan tarpeeseen. Työssä oli tarkoitus selvittää, voidaanko konenäköä käyttää, pinnoitetun tuotteen lopputarkastuksessa pintavirheiden havaitsemiseksi niin, että se toimii yksiselitteisenä laadun valvojana ja laadun varmistajana.

Työn teoriaosuudessa perehdytään konenäön keskeisimpiin perusteisiin. Selvitystyö toteutettiin tutustumalla konenäön teoriaan kirjallisuuden ja asiantuntijalähtöjen avulla. Selvitystyö teetettiin kahdella palveluntarjoajalla, ja raportointi pohjautuu pääosin näihin kahteen selvitystyöhön.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Konetekniikka

ABSTRACT

Author	Juha Autio
Title	Machine vision inspection of coated product
Year	2023
Language	Finnish
Pages	32
Name of Supervisor	Juho Pölönen

This thesis discusses the use of machine vision in the quality control of industrial surface treatment. The thesis was commissioned by Polttoväri Oy to meet the needs of one production line. The aim was to find out whether machine vision can be used in the final inspection of coated products to detect surface defects, acting as an unambiguous quality control and quality assurance method.

The theoretical part of the thesis introduces the essentials of machine vision. The analysis was carried out by studying the theory of machine vision through literature and expert opinions. The analysis was conducted by two service providers, and the reporting is mainly based on these two analyses.

Keywords Machine vision, quality, industrial surface treatment

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Työn tausta	7
1.2	Työn tavoite ja rakenne	7
1.3	Polttoväri Oy:n yritysesittely	8
2	LAATU	9
2.1	Laatu käsitteenä.....	9
2.2	Pintakäsittelyn vaatimukset.....	9
2.3	Laadunvarmistus pintakäsittelyssä	10
2.4	Pintavirheet pinnoitetuissa tuotteissa.....	12
3	KONENÄKÖ	13
3.1	Konenäköjärjestelmä yleisesti	13
3.2	Suunnittelussa huomioitavia asioita.....	14
3.3	Yleisimpiä käyttökohteita	14
3.4	Valaistus.....	15
3.5	Kameratyytit.....	18
3.6	Kuvanprosessointi.....	20
3.7	Konenäkö laadunvalvonnassa.....	21
4	SELVITYSTYÖ	22
4.1	Selvitystyön tavoite.....	22
4.2	Nykyhetki tarkastamisen osalta.....	22
4.3	Työn rajaaminen	22
4.4	Selvitystyökumppaneiden valinta.....	23
4.5	Testiajot	23
4.6	Tulokset.....	24
4.7	Budjettitarjous	26

5	TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	28
6	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	31

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Polttoväri Oy:n toimitilat	8
Kuva 2. Pinnoitepaksuus suhteessa korroosionkestoon.	11
Kuva 3. Konenäköjärjestelmä	13
Kuva 4. Erilaisia valaistusmenetelmiä.....	16
Kuva 5. Eri valaistusmenetelmillä kuvattu kolikko.	17
Kuva 6. Digitaalinen kuva koostuu pikseleistä.....	18
Kuva 7. CCD- ja CMOS-kennojen toiminnan ero. CMOS-kennossa jännitteen muunto ja vahvistus tapahtuvat jokaisessa kuvaelementissä erikseen	19
Kuva 8. Matriisi- ja viivakamera.....	19
Kuva 9. Esikäsittelymenetelmiä. Vasemmalta alkaen kuvassa on paljon kohinaa, jota on vaimennettu toisessa kuvassa sumentavalla suodattimella. Kolmannessa kuvassa alkuperäisestä on tehty binäärikuva, jossa kynnyсарvoa tummemmat pikselit muuttuvat mustiksi ja vaaleammat valkoisiksi. Neljännessä kuvassa on korostettu näkyviä reunoja.	21
Kuva 10. Yritys B, kuvausasema.....	24
Kuva 11. Yritys A, esimerkkikuvat ja analyysi. Ylempi rivi OK ja alempi NOK.....	25
Kuva 12. Yritys A, suorituskykyarvio testin perusteella.....	25
Kuva 13. Yritys B, esimerkkikuvat.	26

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Teollista pintakäsittelyä tarjoava Polttoväri Oy, pinnoittaa tuhansia kotelomaisia valualumiinituotteita vuosittain. Tarkoituksena on selvittää, onko konenäön avulla mahdollista automatisoida tuotteen lopputarkastus pintavirheiden osalta. Tuotteille on olemassa tarkastusohjeet, jotka rajaavat pintavirheiden koon, muodon sekä esiintymistaajuuden. Tuotteen pinnat on ryhmitelty A1-A4-pinnoiksi, vaatimustason mukaan. A1-pinnalla ei hyväksytä juuri mitään pintavirheitä, kun taas A4-pinnalla sallitaan huomattaviakin poikkeamia. Tuotteet pinnoitetaan Delta MKS® tuotteilla.

Polttoväri Oy hakee automatisoinnilla inhimillisen muuttujan poistamista tarkastusvaiheesta. Tavoitteena olisi, että konenäköjärjestelmä tarkistaa tuotteen yksiselitteisesti, annettujen raja-arvojen mukaisesti. Ihmisen tarkistamana, laatu ja nopeus vaihtelevat mielialan mukaan.

Haasteena konenäkö tarkastuksessa on valualumiini tuotteiden pintaprofiili, geometria ja valuprosessista johtuvien huokosten sekä valumuotin kulumisesta johtuvien profiilin muutosten huomioon ottaminen. Haasteita aiheuttaa myös lopputuotteen väri, joka ei eroa puhtaasta alumiinituotteesta juurikaan.

1.2 Työn tavoite ja rakenne

Työn teoriaosuudessa käydään läpi laadun tarkoitusta pintakäsittelyn näkökulmasta ja perehdytään konenäön keskeisiin osa-alueisiin. Tutkimustyö suoritetaan valittujen konenäkötoimijoiden selvitystöiden pohjalta, joissa heidän valitsemaansa järjestelmään ajetaan sovittu määrä hyväksytyjä ja hylättyjä tuotteita. Näiden mallikappaleiden avulla saadaan raja-arvot laitteistoille ja päästään näkemään pystyykö konenäkö tunnistamaan pintavirheet.

1.3 Polttoväri Oy:n yritysesittely

Polttoväri Oy on vuonna 1979 perustettu metallin teolliseen esi- ja pintakäsittelyyn erikoistunut yritys. Polttoväri Oy:n sijaitsee Mustasaassa, Lintuvuoren teollisuusalueella ja työllistää n. 30 henkilöä. (Kuva 1.) Yrityksellä on käytössä monipuolinen laitekanta erilaisten metallien kemialliseen ja mekaaniseen esikäsittelyyn. Pintakäsittelymenetelminä Polttoväri tarjoaa jauhe- ja märkämaalausta, sekä Delta MKS® sinkkihiutalepinnoitusta, erilaisilla menetelmillä. Polttovärillä on käytössä myös kaksi maalausrobotia, joita käytetään sekä jauhemaalaamiseen, että sinkkihiutalepinnoitukseen.

Asiakaslähtöinen ajattelu ja halu auttaa asiakasta tekemään oikeita päätöksiä pintakäsittelyn suhteen, ovat Polttovärin tärkeimmät prioriteetit. Monipuolinen laitekanta ja kattava ammattitaito mahdollistavat laadukkaan pintakäsittelyn tarjoamisen ja tekemisen. Henkilöstön säännöllinen kouluttaminen varmistaa, että työtä tehdään laadukkaasti ja turvallisesti.

Polttovärin pääprosessit ovat, esikäsittelyt, maalaus, sinkkihiutalepinnoitus, asiantuntijapalvelut, logistiset ratkaisut sekä kokoonpano. Yrityksen toimintaa ohjaavat sertifioidut laatu järjestelmät ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 ja ISO 45001.



Kuva 1. Polttoväri Oy:n toimitilat

2 LAATU

2.1 Laatu käsitteenä

Jo Aristoteles aikoinaan pohti laadun käsitettä ja osoitti sille kaksi merkitystä. Laatu ilmaisee, miten jokin kohde erottuu toisista kohteista ja miten kohde koetaan hyvänä tai pahana. Samalla tavalla laatu ymmärretään nykyisessä arkikielessä.

Laatu on vaatimusten täyttämistä ja täyttymistä. Nämä määritelmät ovat käytössä perinteisessä laatutekniikassa. Sen juuret ovat materiaalisten tuotteiden valmistuksessa spesifikaatioiden ja sopimusten mukaisesti sekä estämässä valmistusvirheitä. Laatu tarkoittaa sitä astetta, jolla tuote täyttää vaatimukset, toisin sanoen laatu on virheettömyysaste. Laatu on objektiivinen ja yksiselitteisesti mitattavissa oleva suure. Toimintaohjeena tuotannossa on hyvä (hyväksyttävissä oleva) laatutaso tai virheettömyys (0-virhetaso). Korkeat tuotantokustannukset voidaan välttää vain tekemällä kaikki työt aina kerralla oikein. Juranin mukaan voidaan erottaa kaksi tapausta:

Small Quality – Tavoitteena virheettömyys ja riskien hallinta sekä spesifikaation mukaan valmistettu tuote.

Big Quality – Tavoitteena asiakkaan tyytyväisyys ja epävarmuuden hallinta sekä sopimuksen mukainen toimitus. (Anttila, J. & Jussila, K. 2016)

2.2 Pintakäsittelyn vaatimukset

Tuotteen pintakäsittelyn tarkoitus on suojata pinnoitettavaa materiaalia ulkoisilta tekijöiltä, antaa tuotteelle väri, puhdistettavuus, sähkönjohtavuus tai toimia eristeenä.

Sinkkihiutalepinnoituksen vaatimukset tässä tapauksessa ovat ulkonäön, tartunnan ja pinnoitepaksuuden osalta ennalta määriteltäviä. Pinnoitteen on oltava kaikilla edustavilla pinnoilla, sen on oltava hopeanharmaa ja sileä, tasainen sekä hyvin tarttunut eikä siinä saa olla rakkuloita, pinnoittamattomia alueita tai muita virheitä. Pinnoitteen on ulotuttava reikiin ja syvennyksiin piirustuksessa, sopimuksessa tai tilauksessa määritellylle etäisyydelle. Sopimuksessa on määriteltävä pintakäsittely sekä pintavirheiden koko, muoto ja esiintymistäajuus. (SFS-EN 13858)

Tässä työssä kohteena olevien tuotteiden pinnat on määriteltävä pintavirheiden osalta neljään eri vaatimusluokkaan, joista tiukin on A1 ja sallivin on A4-pinta. (Liite 1.)

2.3 Laadunvarmistus pintakäsittelyssä

Pintakäsittely koostuu prosesseista. Laadunhallinnan näkökulmasta on oleellista, että pintakäsittelyprosessille on olemassa valvonta- ja tarkastusohjeet, joilla varmistetaan jokaisen prosessivaiheen onnistuminen sekä asiakasvaatimusten täyttyminen. Jokaisen prosessin tarkastustulokset on dokumentoitava reaaliaikaisesti. Dokumentoituja tietoja tarvitaan osoittamaan prosessiohjeiden noudattaminen tai mahdollisten ongelmatilanteiden selvitystyössä jälkikäteen.

Esikäsittelykylpyjen valvonta tai mekaanisen esikäsittelyn arviointi ovat suuressa roolissa pintakäsittelyn onnistumisessa. Mikäli pinnoitettava pinta ei ole kuiva, riittävän lämmin ja puhdas tai sen pintaprofiili on liian hieno, pinnoitteella ei ole edellytyksiä pysyä kiinni.

Pinnoitustyön olosuhteiden tulee olla pinnoitevalmistajan määrittelemissä rajoissa lämpötilan, kosteuden ja ilmanvaihdon osalta. Määriteltävä pinnoitteen paksuus on paikallinen vähimmäiskerros paksuus. Paksuuden on täytettävä taulukossa 1 esitetyt vaatimukset. Pinnoitteen viskositeettiin vaikuttavat liuotinpitoisuus ja

lämpötila. Pinnoitepaksuus on todennettava pintaa rikkomattomalla kalvonpaksuusmittauksella. Vaadittava pinnoitepaksuus on sovittu sopimuksessa tai mainittu tilauksessa.

Kokeen vähimmäiskesto h	Vähimmäispinnoitepaksuus ^a µm	
	Kromaattia sisältävä pinnoite flZnyc	Kromaatiton pinnoite flZnnc
	240	4
480	5	8
720	8	10
960	9	12

^a Pinnoitteen pinta-alamassa voidaan muuntaa paksuudeksi seuraavasti:

- kromaattia sisältävä pinnoite, $4,5 \text{ g/m}^2 = 1 \text{ µm}$ paksuus
- kromaatiton pinnoite, $3,8 \text{ g/m}^2 = 1 \text{ µm}$ paksuus

Kuva 2. Pinnoitepaksuus suhteessa korroosionkestoon.

Sinkkihiutalepinnoitteet paistetaan kiinni uunissa. Paistolämpötila vaihtelee pinnoitteesta riippuen 180–240°C välillä. Lämpökäsittelyn aika riippuu kappaleen massasta ja geometriasta. Kuivausuuneista ajetaan säännöllisesti lämpökäyrät erillisellä mittalaitteistolla. Laitteisto koostuu antureista ja tiedonkeruuyksiköstä.

Pinnoitteen tartunta tarkastetaan pistokokeilla, painamalla pintaan standardin EN 60545-2 mukaista teippiä, jonka leveys on 25 mm ja tartuntavoima vähintään 3,5N / 10 mm. Teippi poistetaan 180°:n kulmassa mahdollisimman nopeasti. Koe tehdään lämpötilassa (20±5) °C. Pinnoite ei saa irrota perusmateriaalin pinnasta. Sinkkihiutalepinnoitteen kohesiivinen vaurioituminen ei aiheuta hylkäystä. (SFS-EN 13858)

Taulukossa 1 esitetyt kokeen vähimmäiskestot viittaavat neutraali suolasumutestiin (SFS-EN ISO 9227). Siinä arvioidaan kiihdytetyllä korroosiokokeella pinnoitteen kykyä suojata pinnoitettua kappaletta valko- ja punaruosteelta.

2.4 Pintavirheet pinnoitetuissa tuotteissa

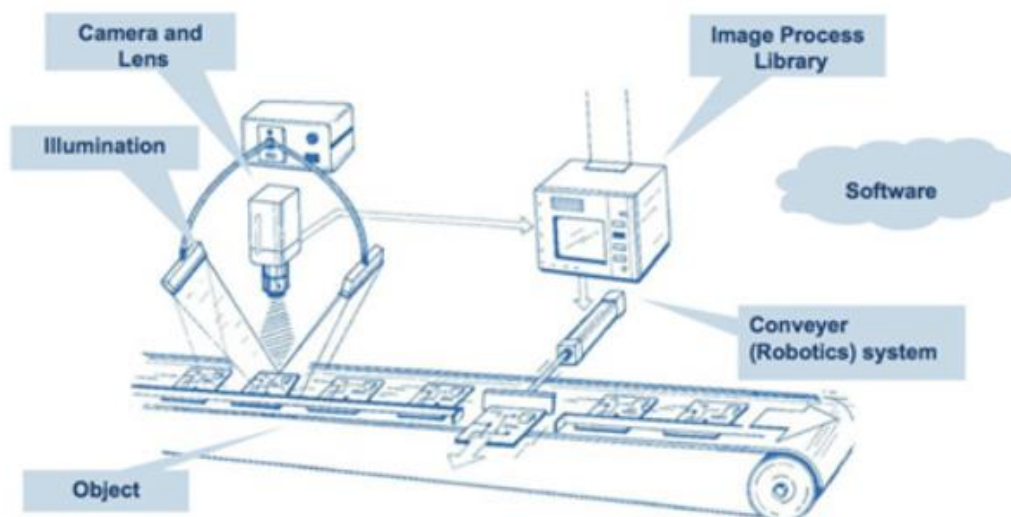
Pintavirheiden havainnointi on pääsääntöisesti visuaalista ja se on tärkein yksittäinen testi, koska siinä arvioidaan visuaalisten ominaisuuksien kokonaisuus lopullisesta tuotteesta. Ihmissilmä on erittäin tarkka instrumentti pintavirheiden etsimiseen. Pintavirheet pystytään havaitsemaan nopeasti kokeneen tarkastajan avulla. Kokeneet työntekijät pystyvät havaintojen perusteella tunnistamaan virheet ja niihin johtaneet todennäköiset syyt. Tämä johtaa nopeasti vaadittaviin toimenpiteisiin ongelman korjaamiseksi. (Goldschmidt, A, & Streitberger, H-J, 2003, s. 664–665.)

Yleisimmät virheet ovat, kraatterit, rakkulat, neulanpistot, roskat, kiiltoerot, appelsiinipinta, valumat, pinnoittamattomat alueet, värin muutokset, hylkimisreaktiot. Osa pintavirheistä riippuu tekijästä ja osa ympäristöstä. (Pietschmann, J. 2004).

3 KONENÄKÖ

3.1 Konenäköjärjestelmä yleisesti

Konenäköjärjestelmä koostuu yleisesti konenäkökamerasta, kameran optiikasta, valaistuksesta, kuvankäsittely-yksiköstä (PC tai kameraan integroitu), käyttöliittymästä, toimilaitteesta ja kuvattavasta kohteesta. Karkeasti voidaan sanoa, että konenäkö koostuu siis kuvan muodostamisesta, kuvankäsittelystä ja ohjauksesta. (Cognex Corporation, 2016, s.11–16)



Kuva 3. Konenäköjärjestelmä

Konenäkö on ihmisen näköaistia matkiva koneellinen aisti, jota käytetään ihmissilmän kaltaisena apuvälineenä automaattisen tuotantolinjan apuna. Konenäkössä kameran linssiltä tuleva kuvatiieto muutetaan digitaaliseksi ja siirretään tietokoneelle tai muulle ohjauslaitteelle, minkä jälkeen sitä verrataan sinne tallennettujen ennalta ohjelmoitujen ohjeiden mukaisesti. Tästä saadun analyysin perusteella annetaan ohjauskomennot järjestelmään kytketyille koneille ja laitteille, esimerkiksi robotille. Parantuneiden kameroiden sekä tietokoneiden avulla konenäköön

tarkkuus on useiden miljoonien kuvapisteen luokkaa. Nykyään kuvasta pystytään havaitsemaan yhä pienempiä yksityiskohtia ja tekemään yhä tarkempia mittaustuksia. Kuvan ottaminen on myös nykytekniikalla todella nopeaa. Täten pystytään kuvaamaan todella tarkasti nopeastikin liikkuvia kappaleita sekä analysoimaan niiden ominaisuuksia. (Soini, 2011)

3.2 Suunnittelussa huomioitavia asioita

Konenäön suunnittelu on monimutkainen prosessi, jossa tulee ottaa huomioon muun muassa seuraavia asioita: kuvaustarkkuus, kameran ominaisuudet, kuvausgeometria, kuvausnopeus, valaistus, häiriötekijät, kohteen ominaisuudet sekä liitännät muihin järjestelmiin kuten PC, robotti tai PLC. Usein itse kohde ja kohdeympäristö asettavat vaatimuksia edellä mainituille ominaisuuksille. Tällaisia ovat esimerkiksi kohteesta haluttu informaatio, kuten dimensioiden mittaaminen, virheiden tunnistus, muu kohteen muotoon tai värisävyyn liittyvä laaduntarkkailu, kuvattavan kohteen tai kohteiden koko (eli kuva-alue), mahdollisten peilien käyttö apuna, liikenopeus, ympäristön valaistus, epäsuora valo tai taustavallo. (Cognex Corporation, 2016 s.7–22)

Konenäköala kasvaa nopeasti ja on kohtuullisen helppoa löytää yhteistyökumppani, jolla on kokemusta ja tietotaitoa konenäköjärjestelmän suunnittelusta ja toteutuksesta.

3.3 Yleisimpiä käyttökohteita

Konenäön yleisimpiä sovelluskohteita ovat, erilaiset teollisuuden laadunvalvonta-tehtävät. Tällaisia ovat vikojen ilmaiseminen ja paikantaminen, kappaleiden mittaaminen ja lajittelu, kokoonpanon tarkastus ja virheellisten tuotteiden poisto tuotantolinjalta. Sovellukset voivat olla myös tuotteen aseman valvontaan liittyviä,

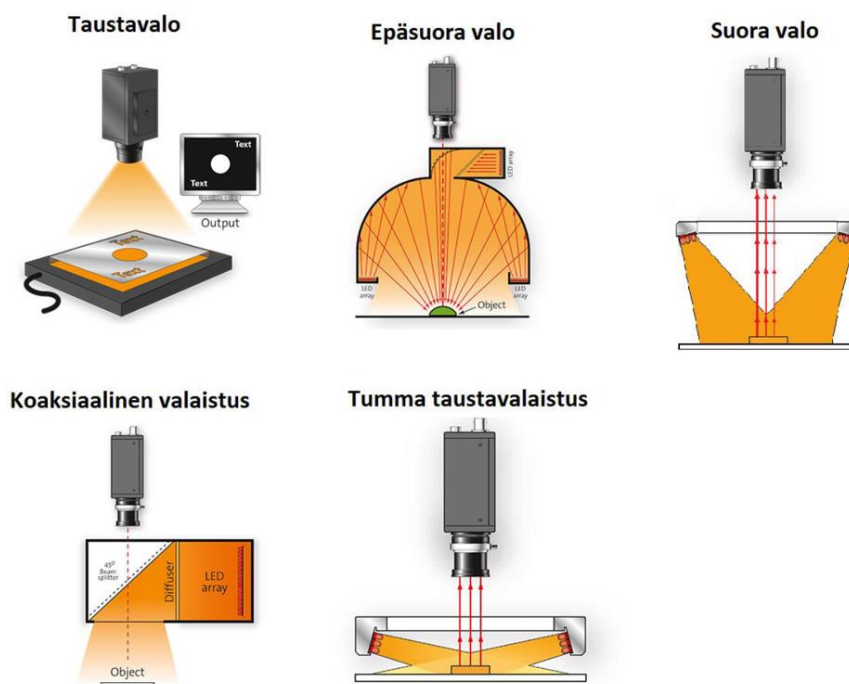
esimerkiksi metalli- ja paperiteollisuus, tai merkkien, koodien, nestepinnan, kirjainten tai hahmojen tunnistus. Konenäkö soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa kohde tulee kuvata nopeasti ja tasalaatuisesti tai joiden olosuhteissa ihminen ei pysty olemaan tai sen ei ole mielekästä olla. (Groover, 2015, s. 689–690)

3.4 Valaistus

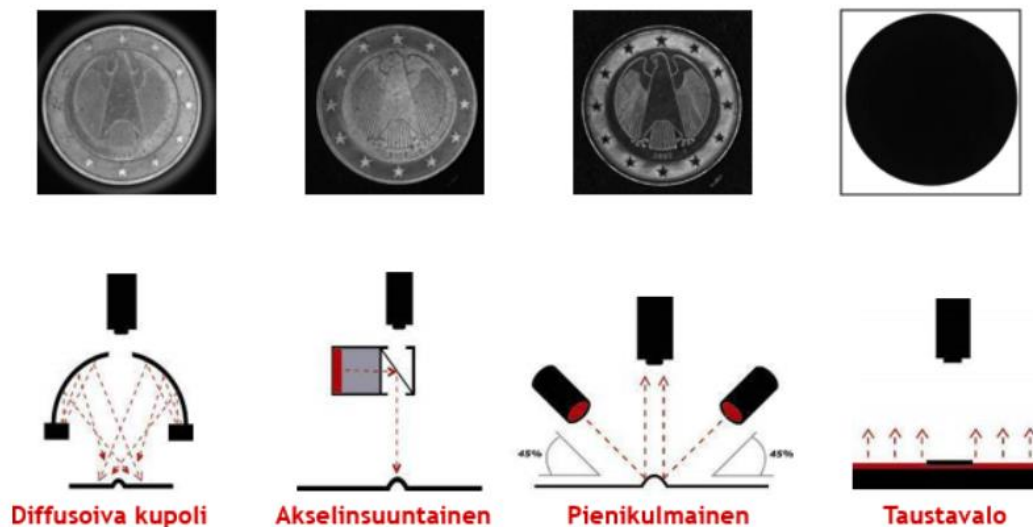
Kuva syntyy, kun valo heijastuu kohteesta kameran linssille. Konenäköjärjestelmissä on hyvin tärkeää löytää oikeanlainen valaistus, että kohteesta saadaan esiin tarkkailtavat ja tärkeät piirteet. Samalla pyritään estämään ei-toivottuja heijastuksia ja varjoja, sekä valon pääsy kuvattavaan kohteeseen muualta. Toistettavuuden vuoksi valaistuksen tulisi pysyä aina samana. Kohteen muoto, väri ja tekstuuri sekä mahdolliset ympäristön valonlähteet vaikuttavat valaistuksen valintaan. Valaistuksella konenäköjärjestelmässä tarkoitetaan valonlähdettä ja valaistustekniikkaa. (Anand, S. & Priya, L. 2020, s. 67–76)

Yleisimmät valonlähdetypit ovat hehkulamput, Xenon- ja halogeenilamput, loisteputkilamput sekä LED lamput. Hehkulamput ovat edullisia ja kirkkaita ja luovat valaistessaan jatkuvan spektrin, mutta tuottavat paljon lämpöä ja ovat lyhytikäisiä. Loisteputket ovat edullisia ja niillä saadaan paljon alueellista valoa, mutta valoa ei pystytä kohdentamaan. Xenon ja halogeeni lamppujen etu on kirkas valo, joka pystytään tarvittaessa kohdentamaan. (Anand, S. & Priya, L. 2020, s.67-68). LED-lamppujen etuja ovat alhainen virrankulutus ja vähäinen lämmöntuotto. LED-lamput ovat pitkäikäisiä ja turvallisia, ja niiden kirkkautta ja välähtelyä pystytään tarvittaessa säätämään. LED-valoja on saatavilla useissa väreissä, myös ihmiselle näkymättöminä infrapuna- ja ultraviolettivaloina. LED-valot ovatkin syrjäyttäneet muut valonlähdetypit, hyvien ominaisuuksiensa ansiosta, ja ne ovat tällä hetkellä eniten käytetty valonlähde konenäköjärjestelmissä. (Steger, C. Ulrich, M. & Wiedemann, C. 2017, s.53).

Valaistustekniikalla tarkoitetaan valonlähteen valintaa ja sijoittamista suhteessa kameraan ja kuvattavaan kohteeseen. Valaistustekniikoita ovat taustavalo, suora valo, hajautettuvalo sekä pienikulmainen valaistus (dark field lighting). (Kuva 4.) (Anand S. & Priya. L. 2020, s.69)



Kuva 4. Erilaisia valaistusmenetelmiä

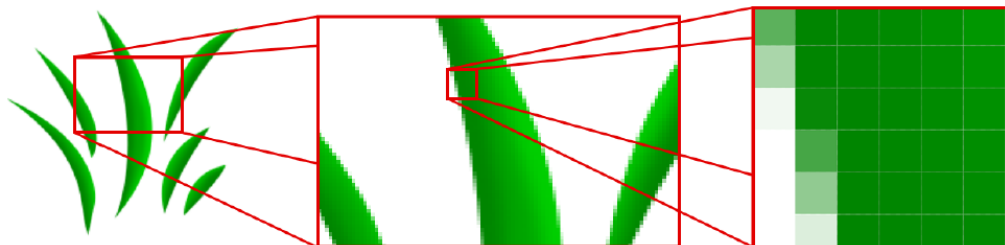


Kuva 5. Eri valaistusmenetelmillä kuvattu kolikko.

Taustavalossa kamera on kohteen yläpuolella ja valonlähde kohteen alapuolella. Suoravalotekniikassa kamera ja valonlähde ovat kohteen yläpuolella, jolloin kuvasta saadaan tarkka. Yhdestä pisteestä tuleva valo aiheuttaa helposti varjoja, joita pystytään estämään muuttamalla valaistuskulmaa tai lisäämällä valaistusta. Hajautetun valon tekniikkaa käytetään, kun halutaan minimoida varjot ja heijastumat. Hajautin eli diffuusori mahdollistaa ison ja tehokkaan valaisualan ilman heijastumia. Kyseistä tekniikkaa voidaan käyttää myös tausta- ja suoravalotekniikoissa. Hajautetun valon yksi sovellus on akselinsuuntainen hajautus, jossa kamera kuvaa peilin läpi, josta heijastuu valo kuvattavaan kohteeseen. Pienikulmainen valaistus tarkoittaa tilannetta, jossa suurin osa valosta heijastuu kamerasta poispäin. Tällä menetelmällä voidaan etsiä esimerkiksi lasipullosta halkeamaa tai kovalevystä sormenjälkiä. (Steger, C. Ulrich, M. & Wiedemann, C. 2017, s. 52–60).

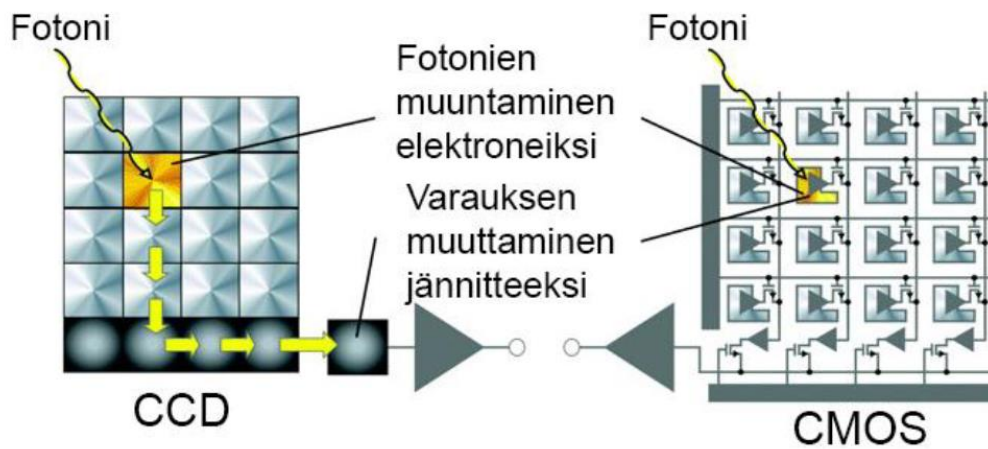
3.5 Kameratyypit

Konenäköjärjestelmissä kamerat ovat pääasiassa digitaalikameroita. Niiden tehtävänä on kerätä kuvadataa määrätystä kohteesta. Kuvan muodostus tapahtuu kameran valoherkässä kennossa, eli kuvasensorissa, jonka pinnalle kuva projisoidaan kameran optiikan avulla. Kenno muodostuu suuresta määrästä varausyksiköitä, joita kutsutaan pikseleiksi. (Kuva 6.) (Steger ym. 2017, s. 42).



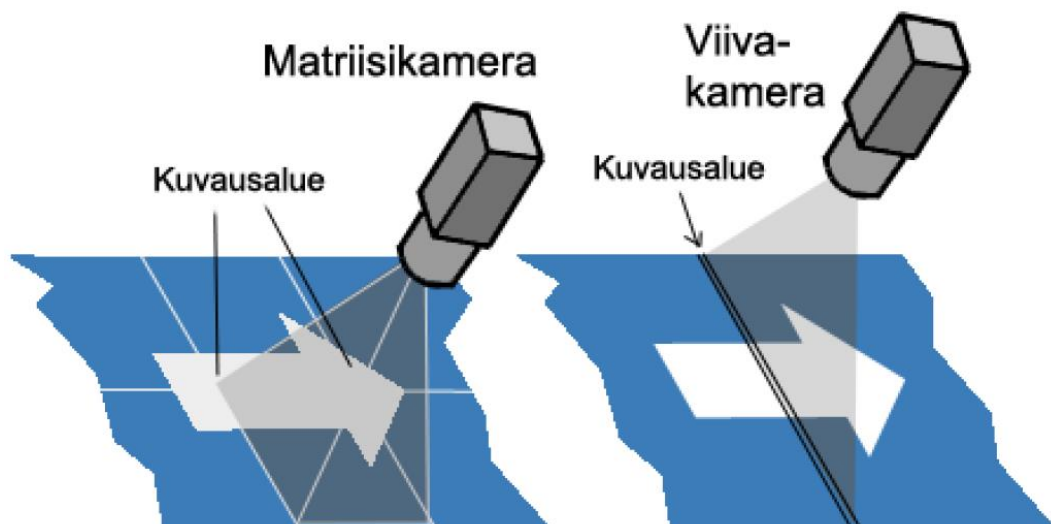
Kuva 6. Digitaalinen kuva koostuu pikseleistä

Kamerat voidaan jakaa kennon muodon mukaan viiva- ja matriisikameroihin ja kennot niiden käyttämän tekniikan mukaan CCD- ja CMOS-kennoihin. CCD (Charge-Coupled Device) ja CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) kennot toimivat samojen periaatteiden mukaisesti, näistä kahdesta jälkimmäinen on kehitetty nopeammaksi ja pienemmällä virralla toimivaksi. (kuva 7.) Kappaleesta heijastuva valo muutetaan kennon pinnalla fotodiodien avulla sähkövarauksiksi, jotka prosessoidaan kuvaksi. (Steger ym. 2017, s. 42).



Kuva 7. CCD- ja CMOS-kennon toiminnan ero. CMOS-kennossa jännitteen muunto ja vahvistus tapahtuvat jokaisessa kuvaelementissä erikseen

Viivakameratekniikka soveltuu parhaiten nopeisiin sovelluksiin, mutta vaatii aina liikkuvan kohteen. Kuva on yhden pikselin korkuinen, joten kuvadataa saadaan siirrettyä nopeammin käsiteltäväksi. Matriisikamerasovellus vaatii yleensä pulssitetun valonlähteen saadakseen aikaan pysäytyskuvan. (Kuva 8.)



Kuva 8. Matriisi- ja viivakamera

Värikameroissa käsiteltävää dataa on usein enemmän, koska jokaiselle päävärille on omat alueensa kennolla. Värikamerat eivät sovellu parhaiten nopeisiin sovelluksiin, mutta ne ovat välttämättömiä väriin perustuvassa luokittelussa. Kohteisiin, jossa tunnistus voi pohjautua näkymättömän valon aallonpituuksiin, löytyy myös kameratekniikkaa. (Hornberg, 2017, s. 36–37; ks. myös Groover, 2015 s. 685)

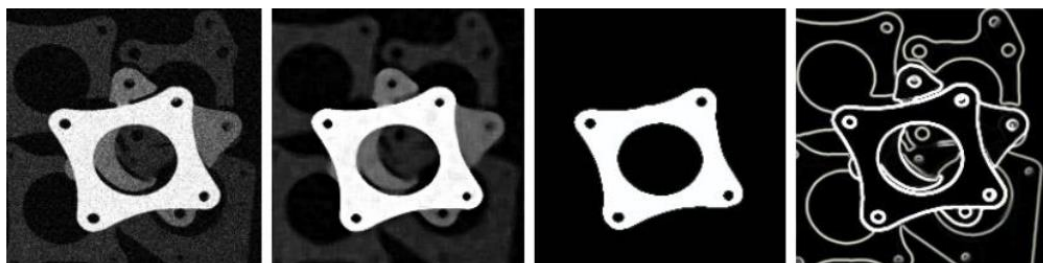
Mikäli kohteesta halutaan mitata myös korkeuskomponentti, tulee käyttää 3D-tekniikkaa. Usein 3D-konenäkökamerat perustuvat viivalaserin ja 2D-kameran yhdistelmään. 3D-konenäkökamera tuottaa 2D-kuvan lisäksi Z-komponenttidataa eli tiedon kohteen korkeudesta. 3D-tekniikka käytetään usein esimerkiksi robotin paikottamiseen. (Groover, 2015, s. 683–684)

3.6 Kuvanprosessointi

Kuvankäsittely tehdään joko osittain tai kokonaan konenäkökamerassa, jolloin puhutaan älykamerasta. Käsittelyn voi tehdä erillisellä PC:llä, jolloin konenäkökameran tehtävänä on ainoastaan tuottaa kuvadataa. Kuvankäsittelyyn on geneerisiä ja valmistajakohtaisia kehitysympäristöjä. Geneeriset ympäristöt ovat usein valmistajasta riippumattomia, kun taas konenäkötoimittajilta monesti löytyy oma kehitysympäristö konenäkösovelluksen ohjelmointiin. Lisäksi robottivalmistajilta löytyy omien robottien kehitysympäristöihin integroitua konenäköympäristöjä. (Hirvonen, J. 2021)

Esikäsittelyn tarkoitus on muokata tai analysoida kuvaa niin, että siitä saadaan esille ainoastaan haluttu informaatio. (Kuva 9.) Kuvankäsittelyn tuloksena kuvaa on mahdollisesti muokattu tai muunnettu binäärikuvaksi tai kohteesta on irrotettu tai havaittu tarvittavia piirteitä. Tällaisia voivat olla kohteen värisävy, dimensiot, sijainti, tunnistus tai sääntöpohjainen kuvavertailu eli tarkistus. Riippuen sovelluksesta, järjestelmä vertaa esimerkiksi mittaustulosta asetettuihin

raja-arvoihin, tekee päätöksen hyväksymisestä tai hylkäämisestä ja kommunikoi siitä tuotantoon, toimilaitteelle tai muulla ohjelmoidulla tavalla. (Cognex Corporation, 2022. s. 7–10).



Kuva 9. Esikäsittelymenetelmiä. Vasemmalta alkaen kuvassa on paljon kohinaa, jota on vaimennettu toisessa kuvassa sumentavalla suodattimella. Kolmannessa kuvassa alkuperäisestä on tehty binäärikuva, jossa kynnyksarvoa tummemmat pikselit muuttuvat mustiksi ja vaaleammat valkoisiksi. Neljännessä kuvassa on korostettu näkyviä reunoja.

3.7 Konenäkö laadunvalvonnassa

Konenäköä tarvitaan laadunvalvonnassa, kun tarvitaan ihmissilmän kaltaista tiedonkeruuta tietokoneelle ominaisella nopeudella ja tarkkuudella. Konenäkö on kustannustehokas ratkaisu laadunvalvontaan erilaisten ratkaisujen myötä. (Cognex Corporation, 2022)

4 SELVITYSTYÖ

4.1 Selvitystyön tavoite

Tämän työn tavoite on selvittää, löytyykö markkinoilta ratkaisua tai toimittajaa, joka pystyisi automatisoimaan Polttovärillä tehtävän tarkastusvaiheen. Polttoväri Oy:llä ei ole mitään omaa tuotetta vaan kaikki pintakäsiteltävät tuotteet ovat alihankintapinnoituksia, joten kohteeksi valittiin erään asiakkaan pitkän elinkaaren tuote.

4.2 Nykyhetki tarkastamisen osalta

Polttoväri Oy:n tuotannossa havaittiin kehityskohde, pinnoitettujen tuotteiden tarkastamisessa. Maalatut ja pinnoitetut tuotteet tarkastetaan ennen kokoonpanoa tai pakkaamista pintavirheiden varalta. Tämä työvaihe tehdään 100 prosentille tuotteista. Kokenut tarkastaja havaitsee pintavirheet helposti, mutta tarkastajien tai jopa saman tarkastajan havainnointikyky vaihtelee. Vaihteluun vaikuttavat tekijä, mieliala, ympäristön paine, tarkastajan näkökyky ja ympäristön valo. Kun samaa tuotetta tarkastaa satoja tai tuhansia kappaleita, silmä väsyä. Tarkastaja saattaa tiedostaa kohdan, jossa virhe yleensä esiintyy, ja keskittää huomiota liiaksi tällaiseen kohtaan, jolloin jokin toinen virhe muussa kohdassa saattaa jäädä huomaamatta. Toinen vaihtoehto on, että tarkastaja huomaamattaan kiristää laatuvaatimuksia, jolloin yrityksen sisäisten reklamaatioiden määrä ja tarkastusaika kasvavat ja asiakkaalle toimitetaan ylilaatua. Kummassakin tapauksessa toiminta aiheuttaa yritykselle ylimääräisiä kustannuksia.

4.3 Työn rajaaminen

Työ päätettiin rajata yhden tuoteperheen tarkastukseen, koska tämän tuoteperheen elinkaari on todettu pitkäksi ilman revisiomuutoksia. Tälle tuoteperheelle on myös selkeät tarkastusohjeet (kuvat 14,15 ja 16) ja tarkastuskalvo (kuva 17). Tarkastusohjeessa on määritelty tuotteiden pinnoille eriasteiset vaatimukset A1-A4

(kuva 14), joista A1 on tiukin ja A4 sallivin. Tuotteet pinnoitetaan Delta MKS® sinkkihiutalepinnoitteilla. Tarkastusohjeet salataan.

4.4 Selvitystyökumppaneiden valinta

Konenäköjärjestelmien toimittajia lähdettiin kartoittamaan etsimällä internetistä tietoa. Mahdollisiin toimittajiin tutustuttiin heidän kotisivujensa referenssikohteisiin tarkastelemalla. Näiden tietojen valossa, aloitettiin yhteydenotot toimittajiin. Tämä prosessi oli haastava, koska tarkoituksena oli löytää paras mahdollinen yhteistyökumppani. Valinta perustui lähinnä muutamaan kontaktiin yrityksen kanssa. Itselläni ei ollut välttämättä riittävästi tietotaitoa kysyä oikeita asioita. Pysyimme periaatteessa kertomaan vain, mikä on tämänhetkinen tapamme toimia ja mitä mahdollisesti haluaisimme järjestelmän tekevän.

Valitsimme kaksi yritystä, Yritys A:n ja Yritys B:n, joiden kanssa lähdimme viemään asiaa eteenpäin. Kutsuimme nämä kaksi yritystä Polttovärille yritysvierailulle, jossa kävimme tarpeemme läpi ja tutustuimme samalla tuotantoon ja tuotteisiin.

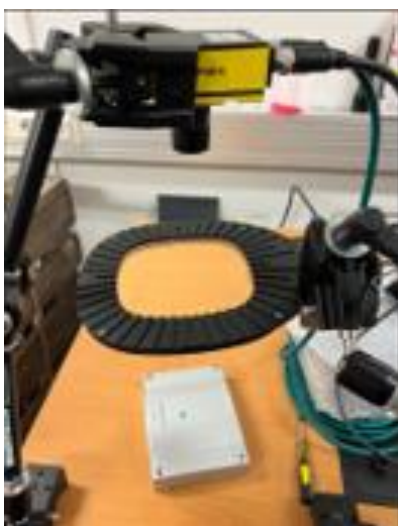
4.5 Testiajot

Molempien yritysten kanssa sovimme, että keräämme heille lähetettäväksi 10 hyväksyttyä tuotetta (OK) ja 10 hylättyä tuotetta (NOK). Hylättyihin tuotteisiin merkitsimme pienillä merkkeillä virheet, joiden vuoksi tuotteet eivät ole läpäisseet tarkastusta. Lisäksi molemmille yrityksille toimitettiin käytössä olevat tarkastusohjeet. Näillä näytekappaleilla konenäköyritykset suorittivat testiajot, parhaaksi näkemällään kokoonpanolla.

Yritys A suoritti testin rakentamallaan kuvausasemalla, jossa tuote asetetaan tasolle ja ajetaan kuvausaseman sisään. Kuvausasema on yhdeltä sivulta auki oleva kotelomainen rakennelma, jossa on sisällä kirkkaat valot ja peilejä. Kuvaaminen suoritettiin suoralla valolla, (kuva 4.) 2K-viivakameralla, (kuva 8.) tuotteen ollessa

liikkeessä. Kuvia ei muokattu, lukuun ottamatta kuvauksen perussäätöjä kuten suljinnopeutta ja väritasapainoa. Kuvista haluttiin mahdollisimman tarkkoja virheidten havaitsemiseksi.

Yritys B suoritti testin hieman erilaisella kokoonpanolla. Kuvausasema oli rakennettu seuraavalla tavalla. Kuvattava tuote oli pöydällä, noin 20 cm ylempänä oli LED-rengasvalaisin ja rengasvalaisimesta noin 20 cm ylempänä oli kamera. Kuva otettiin LED-rengasvalaisimen läpi, rakenne ei ollut suljettu ja testierän tuloksiin vaikuttivat ympäristön valonlähteet. Varsinainen kuvaus suoritettiin käyttäen suoraa valaistusta ja 1,3Mp:n matriisikameraa. (Kuva 10.)

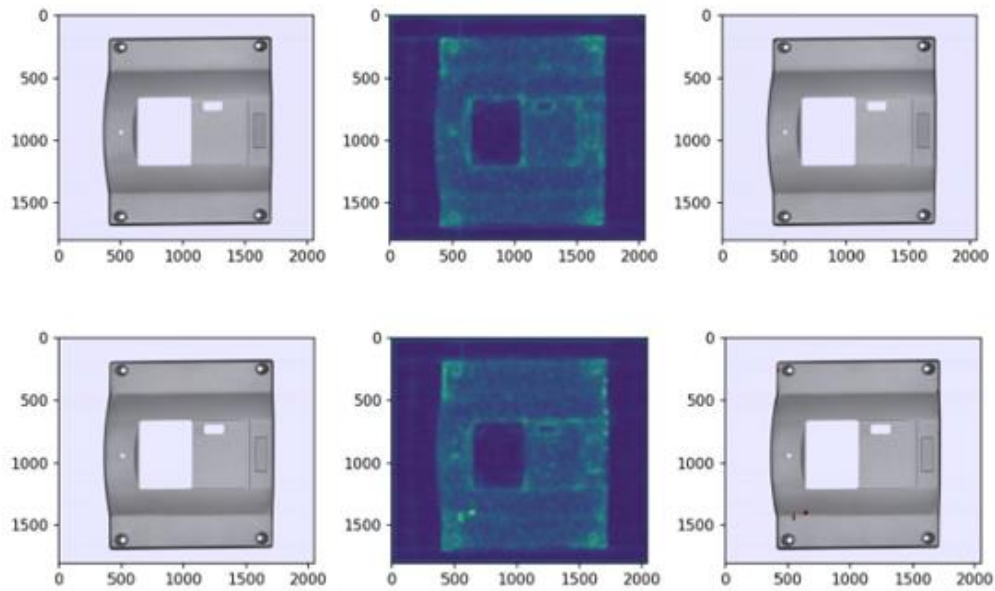


Kuva 10. Yritys B, kuvausasema

4.6 Tulokset

Yritys A:n testeissä oli malleista koulutettu järjestelmään kahdeksan OK-tuotetta. Testaus suoritettiin kahdella OK- ja kahdeksalla NOK-tuotteella. Tulokset (kuva 11) käytiin läpi yritysvierailun aikana Polttoväri Oy:n tiloissa. Kuvassa 11 esitetyt kuvat vasemmalta oikealle: kameran ottama kuva, prosessoitu kuva, ohjelmiston merkitsemät virheet punaisella. Kysyttäessä tarkkaa toteutustapaa testikuvien käsittelystä ja merkitsemistavasta, Yritys A:n edustaja kertoi sen olevan ohjelmallisesti

toteutettu. Ilmeisesti se on yrityssalaisuus, koska syvempää analyysia en saanut. Tulokset jaettiin etukäteen sekä sähköpostilla PDF-tiedostona että pilvipalvelun kautta tarkasteltavaksi. Yritys A oli tehnyt tuloksiin perustuvan suorituskykyarvion (kuva 12).



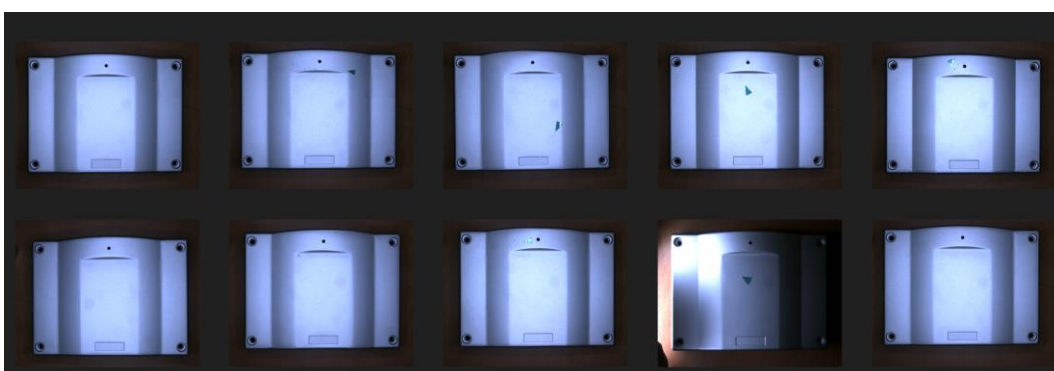
Kuva 11. Yritys A, esimerkkikuvat ja analyysi. Ylempi rivi OK ja alempi NOK.

Suorituskykyarvio

<p>Tarkkuus</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8/10 oikein <p>Kuvausaika</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riippuu onko jigä vai ei • Noin 4-5s <p>Prosessointiaika</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2K kuvalla → 13s prosessointiaika • 4K kuvalla → 6s prosessointiaika <p>Laadunvarmistuksen sykliäika</p> <ul style="list-style-type: none"> • Noin 4-10s 	<p>Tuotantoversiolla todennäköisesti vielä paremmat tulokset</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kuvauksen parametrien säätö • Enemmän OK kappaleita • Standardi kappaleen asettelu • Sopiva linssi • 4K kamera <p>Eri vaihtoehtoja</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vaihtoehto 1 - Valtaosa laadunvalvonnasta automatisoidaan <ul style="list-style-type: none"> ◦ Selkeät virheet varmasti pois ◦ Epäselvät tapaukset sivuun ihmisen tarkistettavaksi • Vaihtoehto 2 - Kokonaan automatisoitu <ul style="list-style-type: none"> ◦ Asiakkaalle asti saattaa mennä pieniä virheitä
--	--

Kuva 12. Yritys A, suorituskykyarvio testin perusteella.

Yritys B:n testeissä kaikki tuotteet oli kuvattu, mutta ei prosessoitu ja analysoitu. Kuvat jaettiin pilvipalvelun kautta tarkasteltavaksi, ja käytiin myöhemmin läpi Teams-palaverissa. Kuvan 13 alarivin neljännessä kuvassa vasemmalta on muutettu valaistuksen suuntaa ja sillä tavoin yritetty korostaa pinnassa olevia kuoppia. Yritys B:n kuvat oli ottanut heidän yhteistyökumppaninsa, jonka edustaja oli myös mukana palaverissa.



Kuva 13. Yritys B, esimerkkikuvat.

4.7 Budjettitarjous

Testikuvausten jälkeisissä palavereissa listattiin muutamia muutoksia laitteiston suorituskykyyn ja prosessiaikaan. Kuvattavien pintojen määrä nostettiin kuuteen, neljä sivua sekä ylä- ja alapuoli. Automaation lisääminen tuotteiden siirtelyyn jätettiin optioksi, mutta rajapinta tulee ottaa huomioon laitteiston suunnittelussa. Prosessiaikaan Polttoväri antoi tavoitteeksi kymmenien sekuntien sykliajan.

Kumpikin testit suorittaneista yrityksistä antoi budjettitarjouksen kuvauslaitteistoista ja lisenssimaksusta.

Yritys A:n budjettitarjous tuli sähköpostilla noin viikon kuluttua palaverista ja sisälsi virheiden minimikoon määrittelyn, kappaleen maksimitat, sykliajan, toimitusajan sekä hinnan. Hinta piti sisällään käyttöönottomaksun, jolla järjestelmä asennetaan, henkilöstö koulutetaan ja käyttöönottesti suoritetaan, sekä lisenssimaksun, joka alkaa käyttöönoton jälkeen ja sisältää suorituskykytakeet, etätuen ja ohjelmiston päivitykset. Toimitusaika oli kahdeksan viikkoa tilauksesta.

Yritys B:n budjettitarjous annettiin suullisesti testikuvien läpikäyntipalaverissa. Budjettitarjous sisälsi kuvauslaitteiston eli kamerat ja valaistuksen. Sykli aikaan ei annettu tarkkaa aikaa, koska järjestelmä tulisi suunnitella ja rakentaa tätä tapusta varten erikseen. Hinta-arvio sisälsi myös lisenssimaksun, jonka suuruutta ei vielä osattu määrittellä. Laitteiston ja kuvausaseman hinta oli kolminkertainen Yritys A:n tarjoukseen verrattuna. Yritys B:n ajatus toteutettavasta ratkaisusta sisälsi joko kuusi kameraa ja valaisinta tai robotin, joka liikuttaisi kameraa ja valaistusta kuvattaville pinnoille. Kuvaprosessoinnin tarvitsema algoritmi tulisi koodata erikseen. Järjestelmän rakentaisi Yritys B:n yhteistyökumppani. Seuraava askel olisi Yritys B:n yhteistyökumppanin kanssa järjestetty selvitystyö ja kuvauspäivä. Uudelle selvitystyölle ja kuvauspäivälle annettiin hinta. Tämän selvitystyön pohjalta Polttoväri Oy saisi lopullisen tarjouksen järjestelmästä.

5 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Selvitystyöt tehneillä yrityksillä oli selkeästi erilainen tausta ja kokemus konenäköalalta. Yritys A on perustettu vuonna 2018 ja Yritys B:n nettisivuilla kerrottiin kokemusta olevan jo 20 vuoden ajalta erilaisista konenäköratkaisuista. Polttovärin asettamat tavoitteet konenäköratkaisulle olivat, kappaletarkastusasema, helppo käyttöliittymä, kappaleen rajattu maksimi- ja minimikoko, havaittavan virheen ta-voitekoko 0,1 mm, sekä mahdollisuus käyttää ratkaisua myöhemmin muihinkin pinnoitettuihin tuotteisiin.

Yritys A:n tarjoama ratkaisu oli lähes valmis sellaisenaan. Siinä oli kaikki elementit, joita ratkaisulta odotettiin. Laitteisto ja ohjelmisto olivat jo olemassa. Käyttöliittymä oli yksinkertainen ja tuotteiden omatoiminen lisääminen mahdollista. Tar-kastustarkkuus vaaditulla tasolla ja modulaarinen ratkaisu, johon olisi mahdollista lisätä myöhemmässä vaiheessa robotiikkaa tai muita manipulaattoreita tarkastet-tavien tuotteiden siirtelyyn. Raportti ja budjettitarjous saatiin kirjallisina luvatussa ajassa.

Yritys B:n tarjoama ratkaisu ei ollut selvitystyön jälkeen toivotulla tasolla. En epäile, etteikö Yritys B olisi saanut tätä tarkastustehtävää hoidettua, mutta se olisi vaatinut uuden selvitystyön sekä enemmän aikaa ja rahaa. Selvitystyön kuvista oli havaittavissa virheet, jos tiesi, mitä oli etsimässä. Käyttöliittymä kuulosti moni-mutkaiselta ja epäilimme, onko asiaan perehtymättömän ihmisen mahdollista li-sätä tarkastettavia tuotteita ohjelmistoon. Yritys B:n tarjoama ratkaisu, joka var-masti perustui vuosien kokemukseen, vaikutti kankealta operoida ja sisältäisi pal-jon muuttujia, jotka pitäisi saada toimimaan yhdessä. Kuvasasemaan tulisi joko kuusi kameraa tai robotti liikuttamaan kameraa tuotteen ympärillä. Tuotteen vaih-tuessa kuvaprosessoinnin algoritmi tulisi pahimmassa tapauksessa kirjoittaa uu-delleen.

Ensimmäisten selvitystöiden pohjalta tehtiin päätös ja järjestelmän toimittajaksi valittiin Yritys A. Päätös tehtiin sen jälkeen, kun molemmat selvitystyön tehneet

yritykset olivat esittäneet oman ratkaisunsa Polttoväri Oy:n edustajille. Yrityksille ilmoitettiin päätöksestä ja Yritys B:n kanssa sovittiin, että he palauttavat testikuvauksissa käyttämänsä tuotteet Polttoväri Oy:lle.

6 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin mahdollisuutta hyödyntää konenäköä pinnoitetun tuotteen lopputarkastuksessa. Työn aihe tuli Polttoväri Oy:n yhden tuotantolinjan tarpeesta. Toimittajien seulonta ja itse selvitystyökin ehdittiin aloittaa ennen kuin ehdin tutustua konenäön teoriaan. Työn toteutus olisi ollut ainakin toimijoiden vallinnan osalta helpompaa, mikäli teoriaan olisi tutustunut ennen toimintaa. Tässä järjestyksessä ei osannut välttämättä kysyä oikeita asioita tai painottaa tarpeellista tietoa. Tiedon ja ymmärryksen kasvaessa opinnäytetyöprosessin aikana olen kuitenkin vakuuttunut siitä, että olemme valinneet oikean toimittajan konenäköjärjestelmällemme.

Automatisaatioasteen nostaminen pintakäsittelylaitoksessa, missä käsityön määrä on suuri, antaa suuren hyödyn. Vaikka tässä työssä selvitystyön kohde oli rajattu yhteen tuoteperheeseen, Polttoväri Oy:n tarkoituksena on automatisoida tarkastusvaihe mahdollisimman monen tuotteen kohdalla. Automatisoinnit ovat monesti kalliita projekteja, joille tulee laskea takaisinmaksuaika. Tuotteen lopputarkastus ei ole varsinaisesti tuottava työvaihe, vaan sen tuotto on laskettava muulla tavoin. Tarkastusvaiheelle saadaan laskettua takaisinmaksuaika määrittämällä tarkastajalta säästynyt aika. Tarkastaja voi tehdä säästyneellä ajalla esimerkiksi jotain tuottavaa työvaihetta. Toinen tapa saada rahallista arvoa tarkastustyövaiheelle on ulkoisten ja sisäisten reklamaatioiden väheneminen sekä ylilaadusta johtuvien kustannusten minimointi.

Opinnäytetyön tekeminen oli antoisa, mutta vaativa prosessi. Oma ymmärrykseni konenäön käyttömahdollisuuksista teollisuuden kohteissa on kasvanut huomasti. Haluankin kiittää Polttoväri Oy:n henkilökuntaa ja kaikkia yhteistyökumppaneita, jotka ovat osallistuneet projektin läpivientiin omalta osaltaan.

LÄHTEET

Anand S. & Priya L. A. 2020 Guide for Machine Vision in Quality Control. CRC Press.

Anttila, J. Jussila, K. 2016. Mitä laatu on? Viitattu 7.1.2023.
<https://sfs.fi/mita-laatu-on/>

Groover, M. (2015). Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. 4.painos. Pearson.

Hirvonen, J. (3.5.2021). *Konenäköjärjestelmät ja -menetelmät tutuksi*. SeAMK. Viitattu. 8.2.2023.
<https://lehti.seamk.fi/alykkaat-ja-energiatehokkaat-jarjestelmat/konenakojarjestelmat-ja-menetelmat-tutuksi/>

Hornberg, A (toim.) 2006 b. Handbook of Machine Vision. Camera Systems in Machine Vision. Weinheim: Wiley-VCH

Hornberg A. (2017). Handbook of Machine and Computer Vision: The Guide for Developer and Users. 2. painos. John Wiley & Sons

Cognex Corporation, 2016. Introduction to machine vision: A guide to automating process & quality improvements. PDF. Viitattu 8.2.2023
<https://www.cognex.com/what-is/machine-vision>

Cognex Corporation, 2022. AI vs. MACHINE VISION. Viitattu 28.1.2023.
<https://www.cognex.com/resources/white-papers-articles/deep-learning-vs-machine-vision-ebook>

Goldschmidt, Artur. Streitberger, Hans-Joachim. 2003. BASF Handbook on basics of Coating Technology. Hannover: Primedia

Pietschmann, J. 2004. Pinnoite- ja pinnoitusvirheet. Virheet jauhemaalipinnoiteissa. Hannover: Primedia

SFS-EN 13858. Metallien korroosionesto. Raudan tai teräksen ei elektrolyyttiset sinkkihiutalepinnoitteet. 2. painos. Helsinki: Suomen standardoimisliitto 2007. 24 s.

Soini, A. Suomen Automaatioseura ry. Konenäkö.pdf. Viitattu 22.1.2023
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwis_Jen99r8AhXUQvEDHd8pCYMQFnoECAs-QAQ&url=http%3A%2F%2Fautomaatioseura.planeetta.com%2Findex%2Ftiedostot%2FKonenako.pdf&usg=AOvVaw3x-kMRAjnwHOBndvYEAMBJ

Steger, C. Ulrich, M. & Wiedemann, C. 2017. Machine Vision Algorithms and Applications. 2. painos. Weinheim: Wiley-VCH.