



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

SAMI MÄKIMATTILA

# **Konenäön hyödyntäminen maalaamon laaduntarkastuksessa**

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN TUTKINTO-OH-  
JELMA  
2022

Tekijä(t) Mäkimattila, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu 2022
	Sivumäärä 28	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Konenäön hyödyntäminen maalaamon laadunvalvonnassa</b>		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Valmet Automotiven maalaamossa on esiintynyt haasteita maalipinnan laadunvalvonnan varmistamisessa. Ratkaisuksi on harkittu konenäköön perustuvaa järjestelmää, joka kuvaa, analysoi ja kerää pitkäaikaista dataa maalipinnan virheistä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä konenäköjärjestelmiin yleisellä tasolla, tutustua markkinoilta löytyviin ratkaisuihin ja antaa suositukset Valmet Automotiven maalaamoon parhaiten soveltuvasta järjestelmästä. Lisäksi painoa oli järjestelmän käyttömahdollisuuksilla materiaalin vastaanotossa, hitsaamoissa ja kokoonpanossa, joissa automatisoitu pinnantarkastus olisi myös hyödyksi.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin tutustumalla Valmet Automotiven tehdasympäristöön ja analysoimalla kirjallisista lähteistä löytyvää tietoa konenäköjärjestelmistä. Havaitut haasteet liittyivät laadunvalvonnan koriotannan suhteellisen pieneen kokoon ja pintavirheiden juurisyiden todentamiseen ilman pitkän aikavälin kattavaa dataa.</p> <p>Markkinoilta ei tällä hetkellä löydy kuin yksi konenäköjärjestelmä, jolla saataisiin käytyä läpi jokaisen tuotantokorin maalipinnan laatu. Eineksen Esfi-konenäköjärjestelmä voitaisiin asentaa nykyiseen tuotantoympäristöön ja järjestelmän avulla olisi mahdollista parantaa maalipinnan laatua, helpottaa pintavirheiden juurisyiden ratkaisemista ja seurata maalipintaan syntyviä virheitä maalaamon lisäksi myös kokoonpanossa. Koska järjestelmä sopii vain maalatulle pinnalle, ei siitä kuitenkaan olisi hyötyä hitsaamoissa ja materiaalin vastaanotossakin vain maalattuna saapuvien osien, kuten muovipuskureiden tarkastamisessa.</p>		
<p><a href="#">Asiasanat</a> konenäkö, laadunvalvonta, tehdateollisuus</p>		

Author(s) Mäkimattila, Sami	Type of Publication Bachelor's thesis	Date March 2022
	Number of pages 28	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Machine vision advantages for quality control in the paint shop</b>		
Degree program Electrical and Automation Engineering		
Abstract <p>There has been challenges with paint surface quality assurance in the paint shop of Valmet Automotive. Machine vision systems have been considered as a solution as they could take pictures of each car body, analyze and collect data of paint surface problems in a long time period. Purpose of this study was to gather information on machine vision systems in general, search for suitable candidates and give recommendations on what system would fit best for Valmet Automotive paint shop. Additional info was required for system usability in other factory areas, such as body shops and general assembly.</p> <p>This study was conducted by assessing the factory of Valmet Automotive and by analyzing written sources on machine vision systems. Observed challenges included the relatively small amount of car bodies that are methodically inspected by quality assurance each work shift and possibilities to verify paint surface problem root causes without enough data.</p> <p>There is only one system readily available that can scan every production car body for their paint surface. Eines Esfi machine vision system could be installed to the current production lines and it could improve paint quality, make root cause investigations possible and enable problem surveillance also in general assembly. Because the system can be used only on painted surfaces it would not be useable in body shops and in material reception it would be suitable only for painted parts, such as plastic bumpers.</p>		
<u>Key words</u> machine vision, quality control, manufacturing industry		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 KONENÄKÖ .....	7
2.1 Konenäön hyödyt laadun suhteen .....	7
2.2 Konenäössä käytettävät komponentit.....	8
2.2.1 Valaistus .....	9
2.2.2 Linssi.....	10
2.2.3 Kenno.....	10
2.2.4 Kuvankäsittely .....	10
2.2.5 Kommunikaatio .....	11
2.3 Erilaiset tekniikat .....	11
3 KUVAN PROSESSOINTI.....	13
3.1 Kohteiden tunnistus.....	13
3.2 Kuvien käsittely .....	14
3.3 Virheiden esittäminen .....	14
3.4 Kalibroinnin merkitys .....	15
3.4.1 3D-kalibrointi .....	16
3.4.2 Kolmiomittaus .....	18
4 TUOTANTOYMPÄRISTÖ .....	19
4.1 Esikäsittelylaitos .....	19
4.2 Robottisolut ja pumppaamot .....	19
4.3 Täsmennysasemat .....	21
4.4 Laadunmittausasemat.....	21
4.5 Haasteet ja haetut parannusmallit.....	22
5 RATKAISUMALLEJA .....	24
5.1 PILOTTIHANKE.....	24
5.2 EINES ESFI .....	24
5.3 DÜRR DXQ.....	25
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	26
LÄHTEET	

## 1 JOHDANTO

Autotehtaan maalaamossa auton kori saa yllään monta pintakerrosta. Joka työvaiheen jälkeen pintaa tarkastellaan ja siitä työstetään pintavirheet pois ennen seuraavaa työvaihetta. Tiivistyksessä syntyneet tiivisteaineroiskeet ovat kooltaan todella pieniä ja hankala erottaa mattaharmaalta ED-maalipinnalta. Välimaalin jälkeen tiivisteaineroiskeet on usein helpompi nähdä karheana pintana, mutta niitä poistaessa voidaan tehdä uusi ongelma epätasaisella välimaalin korjauksella. Pintamaalin ja lakkauksen jälkeen ei korissa saa näkyä enää virheitä ja sinne asti päässeet aiempien vaiheiden pintavirheet ovat usein työläitä korjata. Konenäköjärjestelmä huomaisi pintavirheet tarkemmin ja ne saataisiin korjattua aikaisemmassa prosessivaiheessa.

Konenäön käyttöönottoaminen vaatii kohteeseen räätälöidyn järjestelmän. Suunnittelussa täytyy ottaa huomioon olemassa olevien tuotantolaitteiden tuomat tilarajoitteet, korien vaihtelevan liikkumisen linjastolla ja muut ympäristötekijät. Kerätystä datasta ei myöskään ole hyötyä, ellei sitä saada sekä tallennettua, että visualisoitua pintavirheitä korjaaville täsmentäjille nopealla ja toimivalla tavalla.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Valmet Automotive OY, jonka omistama Suomen ainoa henkilöautoja valmistava tehdas sijaitsee Uudessakaupungissa. Yrityksellä on kolme liiketoimintalinjaa: ajoneuvovalmistus, akkujärjestelmät ja avoautojen kattojärjestelmät sekä kinemaattiset ratkaisut. Autonvalmistuksessa se on erikoistunut korkean arvoluokan autoihin sekä sähköajoneuvoihin.

Opinnäytetyön tavoitteena on muodostaa selkeä kuva tulevaisuuden maalaamossa hyödynnettävästä konenäköjärjestelmästä ja mahdollisuuksien mukaan kartoittaa, millaisia ratkaisuja muilla autotehtailla on jo käytössä. Kameroiden tarkkuus ja automatisoitujen järjestelmien älykkyys ovat kehittyneet kovaa vauhtia viime vuosina ja älykkäät ratkaisut ovat tuoneet varsinkin virheiden visualisointiin paljon mahdollisuuksia. Opinnäytetyön tulosten perusteella piti olla mahdollista päättää, millaista ratkaisua

markkinoilta etsitään. Opinnäytetyötä kirjoittaessani huomasin, ettei markkinoilta löydy valmiina kuin yksi Valmet Automotivelle sopiva järjestelmä, joten käyn opinnäytetyössä läpi sen ominaisuuksia ja sopivuutta autotehtaalle. Järjestelmän valmistaja on espanjalainen Eines ja porttiskannerin mallinimi on Esfi.

## 2 KONENÄKÖ

Konenäköjärjestelmä koostuu yhdestä tai useammasta kamerasta ja niihin liitetyistä optiikoista, valaistuksesta sekä kuvia käsittelevästä ohjelmistosta, joka pyörii erillisellä tietokoneella, logiikassa tai kameraan integroidulla prosessorilla. Konenäkö tuo ihmiseen verrattuna tuotannollista tehokkuutta ja lisää tarkkuutta. Konenäöstä voi olla hyötyä myös jatkuvan prosessin hitaiden muutosten huomaamisessa. Laatu voi tuotantoprosessin lukuisista muuttujista riippuen vaihdella kahdeksan tunnin vuoron aikana ilman, että ihminen sitä havaitsee ja työvuoronvaihdon jälkeen seurantajakso alkaa tavallaan alusta seuraavan ihmisen jatkaessa työtä. Konenäkö voi havainnoida laadunvaihtelua 24 tuntia vuorokaudessa ja aina yhtä johdonmukaisesti ja tarkasti. (Stemmer imaging, 2022, s. 1.)

### 2.1 Konenäön hyödyt laadun suhteen

Yksi konenäön pääasiallisista käyttökohteista teollisuudessa on laadunvalvonta. Laadunvalvontaa parantavat automatisoidut menetelmät ovat viime vuosina tulleet yksinkertaisemmiksi ottaa käyttöön ja automaatioissa käytettävien komponenttien hinnat ovat samalla alentuneet huomattavasti. Hyödyt ovat selkeästi havaittavissa sekä tuotteiden parempana laatuna että tuotantotekniikan kehittymisenä. (Anand & Priya, 2020, s. 1.)

Käsiteltäessä monimutkaisen muotoisia ja eri suuntiin valoa taittavia tuotteita tulevat laadunvalvonnassa vastaan ihmissilmän rajoitukset. Sen lisäksi, että tarkastuksista pääsee läpi virheellisiä osia, myös turhaan linjalta poistettujen pseudovirheellisten osien määrä kasvaa. Aiemmin käytössä olleesta visuaalisesta tarkastuksesta pseudovirheellisten osien prosentuaalinen määrä oli keskimäärin 10 %, 3D-kuvaavan konenäön käyttöönoton jälkeen pseudovirheellisten osien määrä putosi alle kahteen prosenttiin ja järjestelmää parannellaan yhä. Konenäköjärjestelmä on laadunvalvonnassa lisäksi entistä toimintatapaa nopeampi ja tehokkaampi. (Stemmer, 2014, s. 1, 3.)

Moderni laadunvalvonta on 3D-teknologian ansiosta siirtymässä enenevässä määrin automatisoituun laadunvalvontaan ja lisäksi pois nykyisestä pitkään käytössä olleesta

nollavirheen toleranssista. Tällä tarkoitetaan määritelmää, jossa osa hylätään pienimmästäkin poikkeamasta. Uudessa määritelmässä hyväksytään pieniä virheitä tietyillä osa-alueilla, joissa virheet eivät vaikuta osan toimintaan tai asiakkaalle näkyvään pintaan. Tarkoituksena on löytää laadullisesti kriittiset virheet, jotka vaikuttavat lopputulokseen. Näin saadaan vähennettyä romutukseen menevää tuotantoa ja laatu pysyy silti tasaisena ja hyväksyttävänä. Hyväksyttävän laadun määritelmä on tietysti valmistajan määriteltävissä ja konenäköjärjestelmä säädetään halutun mukaiseksi. (Stemmer, 2014, s. 4.)

## 2.2 Konenäössä käytettävät komponentit

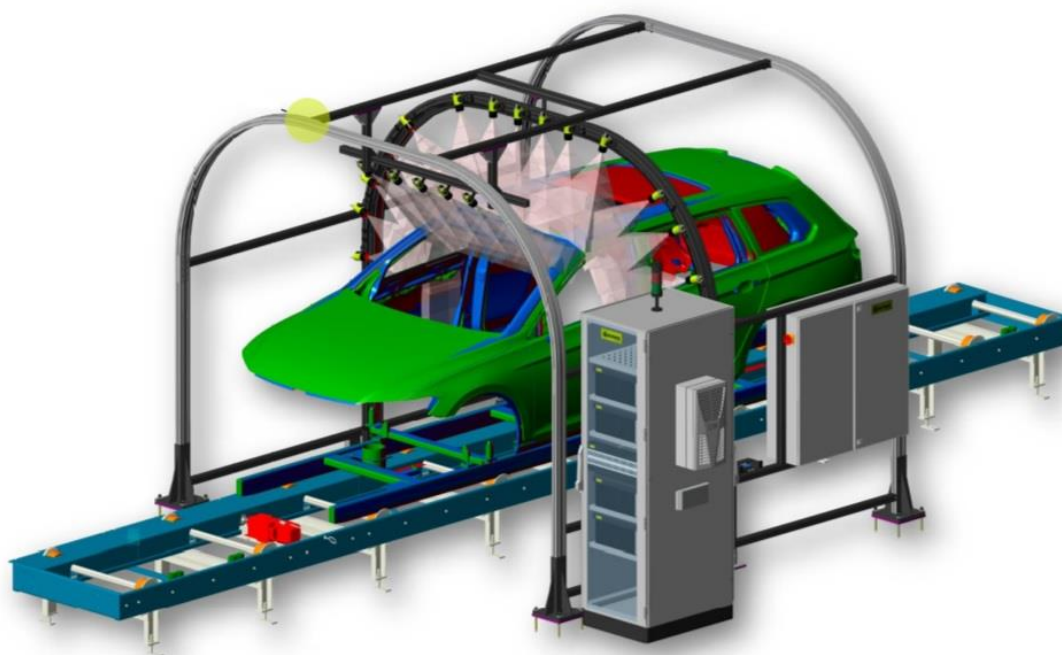
Vaikka teollisuuden konenäkö hyödyntää samankaltaisia algoritmeja ja lähestymistapoja kuin oppilaitosten käytössä olevat konenäkölaitteet ja sotateollisuuden luomat järjestelmät, laitteiden rajoitteet ovat hyvin erilaisia. Teollisuudessa vaaditaan enemmän kestävyyttä, luotettavuutta ja tasaista suorituskykyä kuin oppilaitoksissa, mutta järjestelmät ovat huomattavasti edullisempia kuin sotateollisuuden tuotokset. Näin ollen teollisuuden konenäköjärjestelmä on alusta asti suunniteltu yhdistelmäksi kustannustehokkuutta, laitteiden riittävää tarkkuutta ja korkean luokan luotettavuutta, kestäen samalla teollisen ympäristön tärinää, pölyä, kuumuutta ja muita olosuhteita. (Cognex, 2018, s. 3.)

Konenäköjärjestelmä koostuu viidestä pääosasta: valaistus, linssi, kameran kenno, kuvankäsittelyohjelma ja kommunikaatiolaite. Useimmat konenäköjärjestelmän osat ovat saatavilla yksittäisinä komponentteina ja järjestelmän voi hankkia eri valmistajilta, tai tilata integroidun kokonaisuuden, jossa järjestelmän laitteistopuolen lisäksi saadaan myös tiettyyn tarpeeseen kehitetty ohjelmisto. Valaistus huolehtii pinnan muotojen korostamisesta, linssi tarkentaa kohteeseen ja esittelee sen kamerakennolle valona. Kamerakenno kääntää valon digitaaliseksi kuvaksi, jonka prosessori analysoi ohjelmoiduilla algoritmeilla. Analysoitu data usein joko tallennetaan, tai esitetään välittömästi visuaalisena viestinä. (Cognex, 2018, s. 11.)

Tällä hetkellä Valmet Automotiven maalaamon linjastolla korit tarkastetaan silmämääräisesti, valaistus vaihtelee suuresti eri alueilla ja ylimääräistä tilaa ei



tuotantoalueelta löydy. Parhaassa tapauksessa kuljettimia ei tarvitsisi muokata ja Eines Esfi -porttiskanneri on suunniteltu kaikkien komponenttiansa osalta kompaktiksi kokonaisuudeksi, jotta sen voi lisätä olemassa olevalle tuotantolinjalle (Kuva 1). Portin alumiininen runko ehkäisee ympäristöstä tulevan hajavalon häiritseviä vaikutuksia, järjestelmä ei sisällä liikkuvia osia ja on siten melko huoltovapaa. Skanneri tunnistaa myös kaksiväriset autot ja uusien värien opettaminen on mahdollista. Skannereita on useassa eurooppalaisessa autotehtaassa käytössä ja niillä on käytössä todistettu kyky löytää pieniä pintavirheitä, kuten pöly, maalivalumat tai epätasaisuudet ja pieniä lommoja, sekä kolhuja. Järjestelmä luo tekemistään havainnoista raportin tietokantaan. (Eines, 2021, s. 3.)



Kuva 1. Eines Esfi -porttiskannerin havainnekuva (Eines, 2021)

### 2.2.1 Valaistus

Valaistus valitaan tarkasteltavan kohteen mukaan. Konenäköjärjestelmä muodostaa kuvan analysoimalla kuvattavasta kohteesta heijastuvaa valoa, eikä analysoimalla kohdetta itseään. Valaistuksen onnistuminen vaatii kohteen ominaisuuksien tutkimista, tunnistamista ja suunnittelua. Ulkopuolelta tuleva hajavallo täytyy kuvanlaadun optimoimiseksi sulkea pois ja useasta eri valaisutavasta täytyy usein kokeilemalla valita sopivin. (Cognex, 2018, s. 13.)

Tarkasteltavalla tuotteella voi olla suuri määrä eri muotoja ja lisäksi pintojen heijastuksilla on suuri merkitys, varsinkin metallisävyissä. Suuret kontrastit tumman ja vaalean välillä vaikuttavat pinnan laadun määrittelyyn ja ihmisen arvioimana tulokset ovat moniselitteisiä. Konenäköjärjestelmää käytetään, jotta tuotteen pinnasta saadaan topologisesti tarkka kuva, jossa pinnan epätasaisuudet erottuvat selkeästi pinnan heijastuksista. Tällä tavoin kriittiset virheet löydetään, eikä ole tarvetta keskittyä ongelmattomiin ihmissilmän löytämiin muutoksiin. (Stemmer, 2014, s. 2.)

### 2.2.2 Linssi

Linssin ominaisuudet vaikuttavat kuvanlaatuun ja hankintahintaan. Linssi kerää kuvattavasta kohteesta heijastuvan valon ja määrittelee lopullisen kuvan laadun ja resoluution. Useimpiin kameramalleihin on valittavissa joko kiinteä linssi, tai vaihdettava linssi, jonka hyvin valitsemalla saadaan tarkin mahdollinen kuva. Kiinteä linssi on usein automaattisesti tarkentava ja pystyy tarkentamaan vain tietyn näkökentän alueelle ja tietylle etäisyydelle. (Cognex 2018, s. 15.)

### 2.2.3 Kenno

Kameran kyky tallentaa oikein valaistua kuva riippuu valaistuksen ja linssin lisäksi kameran sisällä olevasta kuvakennosta. Yleensä kenno on CCD- tai CMOS-teknologiaa, jotka perustuvat siihen, että kenno muuttaa näkyvän, kohteesta heijastuvan valon sähköisiksi signaaleiksi. Kuva koostuu pikseleistä ja mitä parempi resoluutio kamerassa on, sitä enemmän yksityiskohtia kuvasta voidaan erotella. (Cognex, 2018, s. 15.)

### 2.2.4 Kuvankäsittely

Kuvien prosessointi tapahtuu joko ulkoisella tietokoneella, tai suoraan konenäköjärjestelmän sisällä. Kuvien prosessoinnista huolehtii ohjelmisto, joka kerää kuvista informaatiota monessa eri vaiheessa. Jossain tapauksissa kuvat vaativat optimointia, jotta vaadittavat ominaispiirteet saadaan näkyville. Ohjelmisto voi esimerkiksi etsiä kuvista määriteltyjä ominaisuuksia, mitata löydettyjen ominaisuuksien koon ja

etäisyydet, sekä verrata löydettyjä ominaisuuksia ennalta määriteltyihin arvoihin. Ohjelmisto koostaa tuloksista arvion ja kommunikoi sen eteenpäin. Monilla konenäköjärjestelmän fyysisillä komponenteilla on ominaisuuksia, joita voidaan vertailla eri valmistajien välillä, mutta kuvankäsittelyohjelmisto määrittelee, paljonko muista komponenteista lopulta on hyötyä ja tästä syystä ohjelmistoa on käsiteltävä konenäköjärjestelmän tärkeimpänä osana. (Cognex, 2018, s. 16.)

### 2.2.5 Kommunikaatio

Kommunikaatiolla voidaan käsittää myös erillisten konenäkökomponenttien välistä I/O-kommunikaatiota, mutta kokonaisuutta tarkastellessa tärkeimmäksi nousee kommunikaatio konenäön ja muun tuotantojärjestelmän välillä. Konenäköjärjestelmä voi kuvasta analysoitujen tulosten pohjalta esimerkiksi tehdä ja kommunikoida päätöksen tuotteen hylkäyksestä linjastolle, tai hienostuneemmassa ympäristössä välittää tiedon tuotannon henkilöstölle visuaalisessa muodossa lähettämällä tulokset esimerkiksi monitorille. (Cognex, 2018, s. 16.)

### 2.3 Erilaiset tekniikat

1D-konenäköjärjestelmä käyttää viivakameraa, joka kuvaa laaja-alaisen kuvan sijaan vain kapeaa yhden tai enintään kolmen pikselin korkuista linjaa kerrallaan. Yleensä viivakameroita käytetään rullatavaraa valmistavassa teollisuudessa, kuten paperi-, teräs-, tai muovikalvorullien valmistuksessa. Konenäkö usein vertaa esimerkiksi kymmentä aiempaa linjakuvaa viimeisempänä kuvattuun ja arvioi tulosten perusteella onko rullassa virheitä, kuten repeämiä tai värimuunnoksia. (Cognex, 2018, s. 17-18.)

Teollisuudessa eniten käytetty konenäköjärjestelmä on 2D-konenäkö, jolla voidaan kuvata esimerkiksi piirikortteja ja tarkistaa ovatko kaikki vaaditut komponentit ladottuna omille paikoilleen ennen kortin juottamista. 2D-kamera ottaa niin sanotun tasokuvan, joka muodostuu pikselimatriisista. Myös etikettien paikallaanolo ja elintarvikepakkausten tiiveys voidaan tuotantolinjalla kuvata automaattisesti. Viivakameroissa on kuitenkin tietty etu, jos kuvataan sylinterinmuotoisia pakkauksia, kuten lääkepurkkeja tai juomatölkkejä. 1D-kamera ei ole näihin tarpeeksi monipuolinen, mutta 2D-

kameran voi yhdistää erityiseen linjavaloon, jonka avulla 2D-kamera voi kuvata pyörivän kappaleen kokonaan ja kuvankäsittelyohjelmisto avaa kuvan yhdeksi kokonaiskuvaksi. Skannerin tavoin kuvatessaan 2D-kameran voi asentaa ahtaaseenkin väliin, vaikkapa kuljetinrullien väliin, koska kuvattava ala ei ole laaja. Viivakamera vaatii kuvattavan objektin jatkuvaa liikettä ja sopii tuotantolinjoille hyvin. (Cognex, 2018, s. 19.)

3D-konenäköjärjestelmä koostuu aina useasta kamerasta, tai kameran ja laseranturin yhdistelmästä. Laserilla suoritettavan laserkolmiomittauksen toiminta perustuu laser-  
viuhkaan, joka piirtää kuvattavan kappaleen pinnasta topografisen syvyysprofiilin. Laserskannerilla voidaan tutkia kuvattavan kappaleen pinnanmuotoja ja samalla laskea tilavuus esimerkiksi auton jarrupalasta, jolloin automatiikka päättelee, onko kitkapala tarpeeksi paksu ja tasainen. Muodostettu kuva esittelee pinnanmuodot ja korkeuserot laserin mittaamien etäisyyksien avulla kameran kuvaaman kuvan päälle. Laserskannerilla kuvatessa kuvattavan tuotteen tai kamerajärjestelmän täytyy liikkua, kuten viivakameralla tai viivaskannerilla kuvatessa. Hyvin kalibroidulla järjestelmällä päästään korkeuserojen mittaamisessa 20 µm tarkkuuteen. Usean kameran muodostamia 3D-konenäköjärjestelmiä kutsutaan stereonäköjärjestelmiksi ja niillä voidaan esimerkiksi välittää tieto kuvatun kohteen tarkasta sijainnista robottisolulle. Tekniikka perustuu kolmiomittaukseen, jossa etäisyyksien määrittely perustuu näköyhteyteen kiintopisteiden välillä ja edellyttää kameroiden asentamista kuvattavan kohteen ympärille eri suunnille. (Cognex, 2018, s. 20.)

### 3 KUVAN PROSESSOINTI

Konenäkö hyödyntää visuaalista dataa tuotantoautomaation ohjaamiseen. Matemaattiselta kannalta on olemassa eri tasoisia valokuvia ja kuvaformaatin valinta vaikuttaa paljon järjestelmän mahdollisuuksiin siirtää, varastoida ja prosessoida otettuja kuvia. Kamerateat itsessään eivät analysoi kuvien sisältöä tai niissä esiintyviä objekteja suoraan ottamastaan kuvasta. Sen sijaan kuvat tallennetaan, prosessoidaan tai analysoidaan ohjelmallisesti. Kuvankäsittelyohjelmasta riippuen kerätty ja analysoitu data usein vielä esitetään tavalla, jonka ihminen ymmärtää. (Anand & Priya, 2020, s. 1.)

#### 3.1 Kohteiden tunnistus

Konenäkö on jalostunut tekniikan alaksi, jossa yhdistetään kamera ja tietokone. Konenäön tavoite on pohjimmiltaan toimia kuten ihmissilmä ja sen vuoksi on tärkeää ymmärtää, miten nämä järjestelmät toisistaan eroavat. Ihmissilmä tunnistaa kukkasen sen nähdessään, vaikka ei tunnistaisi kukan lajia. Lisäksi ihminen voi käyttää hajuaistiaan kukan tunnistamiseen. Ihminen tunnistaa kukkasen muodosta ja väristä, mutta kaikki saman muotoiset, -hajuiset ja -väriset eivät silti ole kukkasia. Esimerkiksi karkeissa on samoja muotoja, hajuja ja värejä. Tämän vuoksi ollakseen hyödyllinen konenäkö ei voi vain pyrkiä ottamaan kuvaa näkemästään, vaan sen täytyy myös oppia prosessoimaan ja tulkitsemaan näkemäänsä. (Anand & Priya, 2020, s. 2.)

Niin ihmissilmän kuin konenäköjärjestelmän pääasiallinen tarkoitus on kerätä mahdollisimman paljon oleellista tietoa kuvamuodossa ja samalla karsia kerätystä informaatiosta pois mahdollisimman paljon epäoleellista tietoa. Kun mietitään, mitä tietoa haluamme kuvattavasta kohteesta, täytyy suunnitteluvaiheessa kysyä kysymyksiä, kuten: mitä kuvista halutaan nähdä ja mitä konenäköjärjestelmä tosiasiasa tulee näkemään? Mitä erityispiirteitä kuvasta täytyy nähdä ja miten näitä piirteitä pystytään korostamaan? Miten vakaa kuvausympäristö on, entä millainen valaistus tilassa on ja miten sitä voidaan parantaa? Käytännössä moneen kysymykseen saa vastauksen miettimällä kohteen valaistusta. Valaistuksen merkitys kuvauksessa ja kohteiden tunnistamisen mahdollistamisessa on todella suuri. (Hornberg, 2006, s. 1, 73.)

### 3.2 Kuvien käsittely

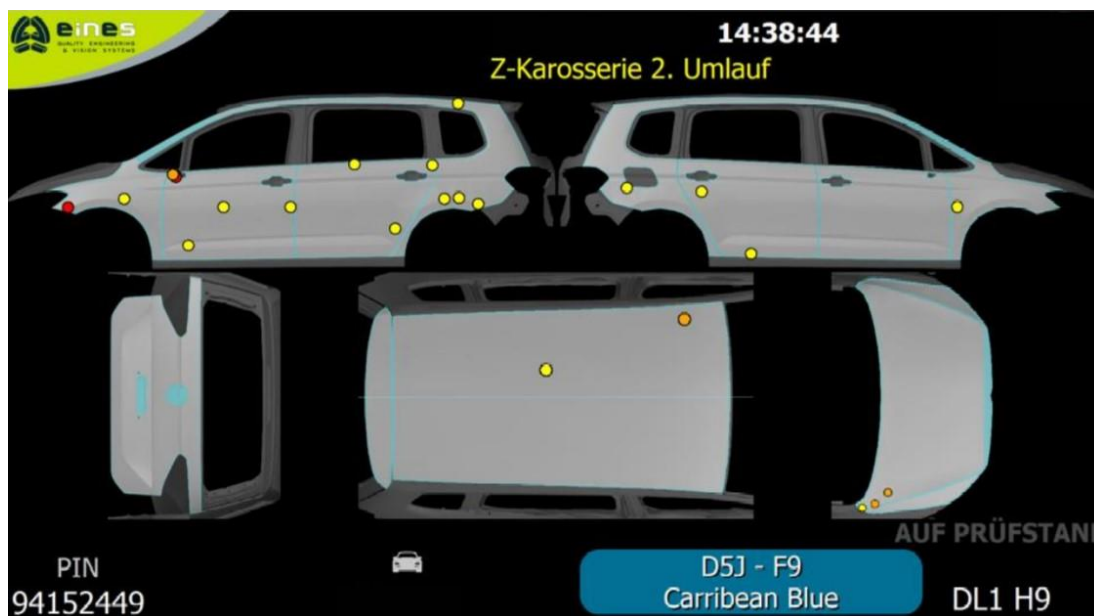
Sekä ihminen että konenäkö muuntavat näkemänsä valon hyödyllisiksi signaaleiksi, joista voidaan muodostaa fyysisessä maailmassa sijaitsevia malleja. Ihmisen näkö perustuu silmien ja aivojen yhteistyöhön, konenäön taas kameran ja tietokoneen. Yksi ero on näkökentän laajuus. Ihminen näkee noin 220 astetta ja päätä kääntämällä vielä enemmän, mutta esimerkiksi värit näemme parhaiten vain keskeltä näkökenttää. Konenäön voi rakentaa näkemään täydet 360 astetta ja järjestelmän kyky erotella esimerkiksi värit ja muodot on yhtenevä joka puolella näkökenttää. Toinen ero on signaalin siirrossa. Konenäkö pystyy siirtämään signaaleja paljon nopeammin kuin ihmisen silmien ja aivojen yhdistelmä. Nähdessään jotakin uutta konenäkö ei kuitenkaan nykyisellään pysty prosessoimaan ja analysoimaan näkemäänsä yhtä nopeasti kuin ihminen. Ihminen hyödyntää aiemmin näkemäänsä ja oppimaansa ja tekee nopeasti päätelmiä näkemästään, konenäkö taas ei välttämättä näe kuvassa mitään, minkä tunnistaisi. Molemmat käyttävät hyödyksi aiemmin näkemäänsä ja oppimaansa, mutta suuria eroavaisuuksia on esimerkiksi kyvyssä tulkita ihmiskasvoja tai optisia illuusioita. Ihminen kokee ympäröivää maailmaa myös muilla aisteillaan ja aivoissamme prosessoitu kuva voi erota suurestikin todellisuudesta. Näkökyvyn lisäksi muisti näyttölee tärkeää roolia näkemämme tulkitsemisessa ja ihmisten väliset erot yksilötasolla voivat lopulta olla todella suuria. (Anand & Priya, 2020, s. 9-10.)

Auton kori on iso ja muodoltaan monimutkainen. Ihminen joutuu korja tarkastellessaan kulkemaan sen ympäri ja vaihtelevaan asentoon useasti nähdäkseen sekä korin katon, että korin alaosat. Eines Esfi -porttiskannerin toiminta perustuu usean kameran stereonäköön ja jokaisesta kuvattavasta korista otetaan yli 60.000 kuvaa, joiden käsittelyyn Einesin konenäköjärjestelmältä menee vain muutama sekunti. Digitaalisessa muodossa olevaa kuvaa käsitellään niin, että ihminen voi kuvan sisällön tulkita ja ymmärtää. (Eines, 2021, s. 5-6.)

### 3.3 Virheiden esittäminen

Kerätystä datasta tehdyt tulokset viedään henkilöstön nähtäville monitorille, tabletille, älypuhelimelle tai printataan paperille (Kuva 2). Eines Esfi -porttiskanneri sisältää tulevaisuutta ajatellen laajennukset, joilla nykyisin täsmennyksen monitoreille

välitettävä visuaalinen tieto voidaan viedä AR-lasien kautta täsmentäjien käyttöön. Toinen laajennus antaa mahdollisuuden ohjata robotisoitua täsmennysasemaa. Säilötystä datasta voidaan etsiä automallikohtaisesti tietyllä aikavälillä esiintyneet pintavirheet. Näin ollen voidaan analysoida vikojen perimmäisiä syitä, esimerkiksi rajaamalla aikaväli tietyn työvuoron kohdalle tai eri tuotantolinjojen kohdalle. (Eines 2021, s. 5-6.)



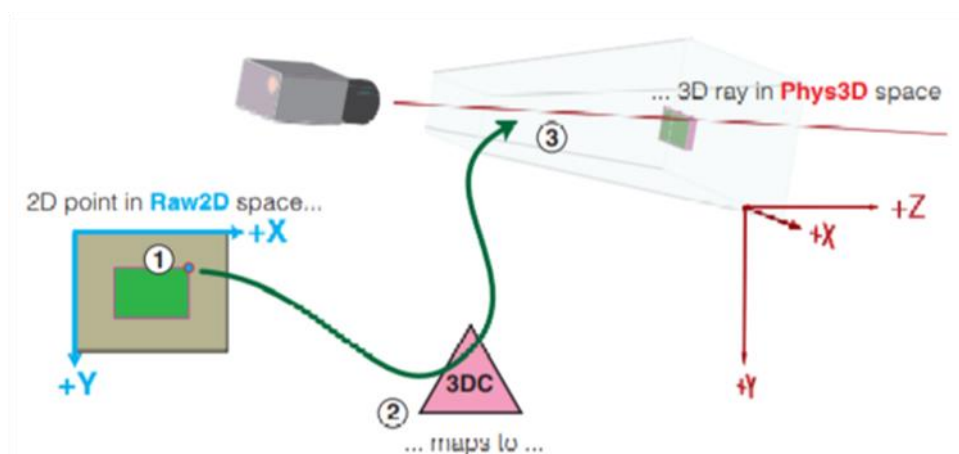
Kuva 2. Eines Esfi virhekohteiden esitys (Eines, 2021)

### 3.4 Kalibroinnin merkitys

On odotettavissa, että Industry 4.0 tulee lähitulevaisuudessa johtamaan teollisuuden mittavaan digitaaliseen muuntumiseen, jossa automaatio viedään uudelle tasolle ja uusinta teknologiaa tuodaan tuotantoympäristöissä yleiseen käyttöön. Tehtaissa toimivista tuotantokoneista tulee täysin automaattisia laitteita, jotka keräävät ja analysoivat dataa, sekä toimivat tulosten pohjalta reaaliajassa. Tämä tarkoittaisi, että järjestelmä tunnistaa halutut ominaisuudet analysoimistaan kappaleista ja oppii havaitsemaan myös poikkeamat, joita ei ole sille opetettu. Tänä päivänä on oppivia konenäköjärjestelmiä, mutta monet järjestelmät tunnistavat kuitenkin vain sille opetetut asiat, kuten etsittävät muodot ja väripoikkeamat. Järjestelmä ei myöskään tunnista kuvauksen kohdetta tai muiden kameroiden näkymää, ellei järjestelmää ole kalibroitu näitä asioita ymmärtämään. (Anand & Priya, 2020, kohta Johdanto.)

### 3.4.1 3D-kalibrointi

Kolmiulotteinen kalibrointi on prosessi, jossa matemaattisesti luodaan sijaintisuhde usean eri 2D-kameran samasta kohteesta ottamien kuvien välille tunnistamalla kuvissa esiintyviä vastinpisteitä. Nämä pisteet ovat fyysisessä maailmassa sijaitsevan kohteen kalibrointipisteitä, joiden sijainti halutaan löytää kameroiden kuvaamassa 3D-näkymässä (Kuva 3). (Cognex, 2016, s. 14.)



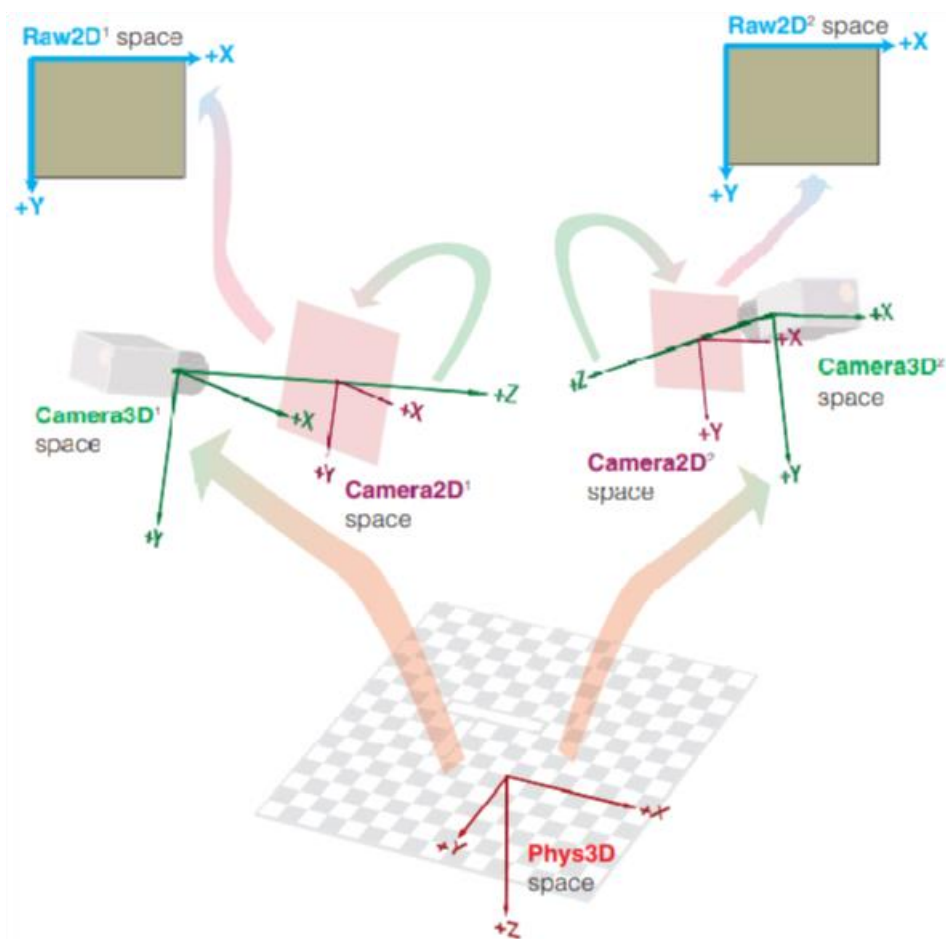
Kuva 3. 2D-kuvassa näkyvän pisteen muunnos 3D-järjestelmän 3D-säteeksi (Cognex, 2016, s. 14.)

3D-sijainnilla tarkoitetaan yksittäisen tunnistettavan pisteen sijaintia 3D-näkymässä X-, Y- ja Z-suunnissa. 3D-asento taas tarkoittaa saman pisteen asentoa samassa 3D-näkymässä, mutta X-, Y- ja Z-suuntien lisäksi pisteellä on lisäksi X-kierto, Y-kierto ja Z-kierto, jotka kertovat pisteen sijainnista omassa 3D-järjestelmässään ja lisäksi pisteen sijainnista suhteessa toiseen 3D-järjestelmään. (Cognex, 2016, s. 12.)

Valmet Automotiven robottisoluissa tämä nähdään, kun auton kori kuvataan sen pysähtyessä soluun. Korista etsitään pisteitä, joiden X-, Y- ja Z-sijainteja verrataan solun X-, Y- ja Z-sijainteihin. Kameran kuvaavat koria eri suunnilta ja algoritmi etsii korin tunnistettavia 3D-pisteitä sekä vertaa niitä tallennettuihin referenssikuviin. Jos pisteitä löytyy kuvista tarpeeksi, on kori tunnistettu ja algoritmi laskee sen fyysisen 3D-sijainnin ja -suunnan suhteessa robottisolun tallennettuun 3D-näkymään. Korin kuvatiiedoissa on X, Y, Z ja X-relat., Y-relat.- ja Z-relat.-arvot. Nämä korjatut 3D-asentotiedot välitetään roboteille ja solu aloittaa työt. Ilman korjauksia 3D-asentotietoihin pitäisi korin pysähtyä aina millilleen samaan kohtaan ja samassa asennossa, mikä ei näin



painavalla kappaleella ole mahdollista. Kameroiden asento saattaa solun värinän myötä lisäksi vaihdella, minkä vuoksi kamerat pitää tarkistaa melko usein käyttäen solun automatisoitua kamerakalibrointia, jossa kamerat kuvaavat solun rakenteisiin maalattuja kalibrointimerkkejä (Kuva 4).



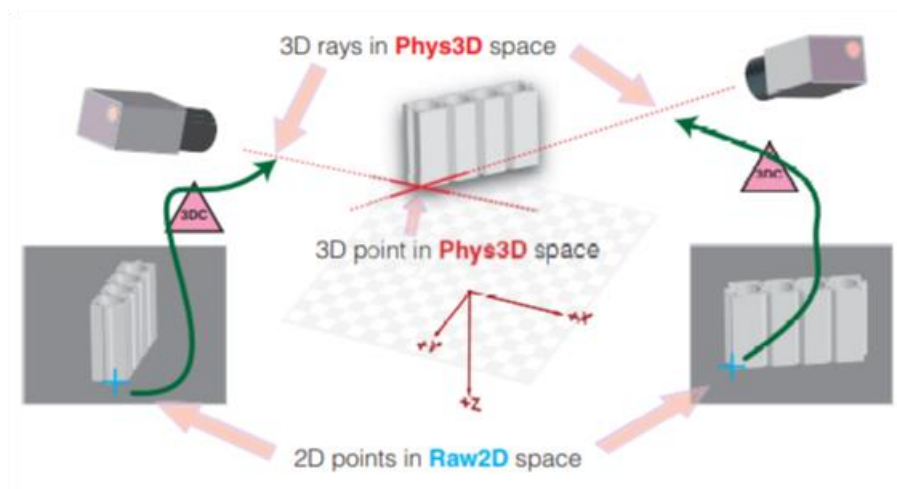
Kuva 4. Kahden kameran eri suunnilta kuvaama kalibrointilevy (Cognex, 2016, s. 24.)

Yksittäinen 3D-kamerakin saattaa olla tarpeeksi tarkka moniin sovelluksiin, mutta käyttämällä useamman kameran kuvausta saadaan suurempi tarkkuus ja tekninen joustavuus. Jokaisella järjestelmän kameralla on omat 2D-kuvansa ja myös omat 3D-kuvansa, mutta koska ne kuvaavat samaa fyysistä kohdetta, jakavat kamerat yhteisen 3D-koordinaatiston. Ohjelmallisesti usean kameran järjestelmä kalibroidaan yhdellä käskyllä, jolloin jokainen kamera näkee saman kohteen juuri samalla hetkellä. Vain näin saadaan kalibroinnista todella tarkka. (Cognex, 2016, s. 22-24.)

### 3.4.2 Kolmiomittaus

Kolmiomittaus perustuu kiintopisteistä muodostettuun kolmioverkkoon, jossa pisteet muodostavat kolmioita. Kun tiedetään yhden kolmion sivun pituus, voidaan tiedettyjen kulmien perusteella laskea seuraavien pisteiden etäisyys ja sijainti kolmioverkossa. Konenäköjärjestelmän kolmiomittauksessa voidaan lähteä siitä, että kameroiden välinen etäisyys ja niiden näkökenttien välinen kulma ovat tiedossa. Kun kameroita on tarpeeksi monta suhteessa kohteen muotoon, saadaan kuvista muodostettua matemaattinen 3D-malli. Edellytyksinä tälle on esimerkiksi, että jokainen kamera näkee yhteisiä tunnistettavia pisteitä, joiden avulla 3D-piste saadaan laskettua. Kuvattava kohde ei saa liikkua kameroiden kuvatessa ja paras tulos saadaan, mikäli kaikki kamerat ottavat kuvansa täsmälleen samalla hetkellä. Kameroiden kalibroinnin täytyy olla onnistunut, jotta ne kaikki vertaavat mittaustuloksiaan samaan 3D-koordinaatistoon. Kameroiden täytyy myös kuvata kohdetta eri kulmista, jotta kohteen kaikki halutut piirteet saadaan näkymään. (Cognex, 2016, s. 25.)

Alla olevassa kuvassa (Kuva 5) sama piste etsitään ensin kameroiden ottamien kuvien 2D-tilassa, jonka jälkeen algoritmi laskee pisteen 3D-sijainnin kolmiomittauksen avulla. (Cognex, 2016, s. 26.)



Kuva 5. Saman pisteen löytäminen kahden eri kameran 2D-tilassa (Cognex, 2016, s. 26.)

## 4 TUOTANTOYMPÄRISTÖ

Nykyaikaisen henkilöauton monikerroksinen maalipinta palvelee kahta käyttötarkoitusta. Maalipinta sekä suojelee auton koria korroosiolta, että saa aikaiseksi toivotun visuaalisen ulkonäön. Korin pinnoitus on moniosainen prosessi, jonka jokaisen työvaiheen jälkeen vaaditaan laadunvarmistusta ja tuotantoprosessin jatkuvaa hienosäätöä. Maalauksen suorittavat automatisoidut robottisolut, joiden toiminnan varmistavat prosessinhoitajat. Maalipinnan karheutta ja värin tasaisuutta valvotaan täsmennykseksi kutsutuissa työasemissa, joissa työvaiheisiin kuuluu esimerkiksi maalipinnan hionta. Erilliset laadunmittausasemat tarkistavat maalipintaa tietyistä korimäärästä jokaisen tuotantovuoron aikana. Laadunmittaus tarkistaa maalipinnasta esimerkiksi värisävyn, karheuden ja pinnan paksuuden. Jokaiseen mittaukseen vaaditaan oma laitteistonsa ja vuoron aikana tarkistettu otanta on melko pieni suhteessa kokonaistuotantomäärään. (Saastamoinen, 2021.)

### 4.1 Esikäsitteilylaitos

Maalaamon prosessi alkaa, kun peltivalmiit korit kulkevat hitsaamosta esikäsitteilylaitokselle, joka tunnetaan pohjamaalauksessa käytetyn prosessin mukaan myös nimellä ED-laitos. ED-lyhenne tulee englannin kielen sanoista Electrophoretic Deposition ja tarkoittaa prosessia, jossa kori varataan sähköisesti ja maali tarttuu upotusaltaassa korin pintaan.

Esikäsitteilylaitoksen prosessiin kuuluu hitsaamon jäljiltä rasvaisen korin pesu, pinnan fosfointi ja maalaus. Prosessien välissä kori huuhdellaan useasti ja lopuksi ED-pinta kuivatetaan uunissa. Prosessit vaativat jatkuvaa tarkkailua ja hyvästä pintalaadusta vastaavat ED-laitoksen prosessinhoitajat. Jos prosessista pääsee läpi huonolla laadulla olevia koreja, ne saadaan usein kiinni vasta tiivistyksessä.

### 4.2 Robottisolut ja pumppaamot

ED-laitoksen jälkeen korit kulkevat varsinaisen maalaamon läpi, jossa on neljä erillistä robottilinjaa. Kaksi tiivistyslinjaa, välimaalilinja ja pintamaalilinja. Tiivistykseen

kuuluu myös kaksi sisätiivistyslinjaa, jossa korin ahtaiden sisätilojen, kattolinjan peltisaumat ja ovien peltisaumoja tiivistetään käsityönä. Myös sisätiivistyksen käyttämä korimassa tulee samasta pumppaamosta kuin robottiasemien korimassa. Tiivistyspumppaamon lämpötila on vakioitu, eikä lämpötila pääse vaihtelemaan kesän helteistä tai talven pakkasista huolimatta. Korimassan runkolinjoissa käytetään noin 200 bar painetta, joka varmistaa korimassan saatavuuden sisätiivistyksessä ja robottiasemilla. Korimassan runkolinjat ovat kymmeniä metriä pitkiä ja valmistettu paksuseinäisestä haponkestävästä putkesta, joka sähkövastuksien ja solumuovieristeiden ansiosta ylläpitää toivotun lämpötilan todella hyvin. Massaa myös kierrätetään runkolinjassa jatkuvasti.

Mahdollisia ongelmia korimassan lämpötilassa tulee vasta sisätiivistyksen asemilla tai robottiasemissa. Muutos massan lämpötilassa näyttäytyy käytännössä kahdella mahdollisella tavalla. Kylmänä massa aiheuttaa roboteilla annostelijan syöttövirheen ja sisätiivistyksessä massa tulee massapistoolista tavallista hitaammin ulos. Liian lämpimänä robotit ruiskuttavat liian leveää tiivistysaamaa ja sisätiivistyksessä korimassa ei tartu varsinkin konepellin peltisaumoihin tarpeeksi hyvin kiinni, vaan voi alkaa roikkoa. Robotit saadaan kalibroimalla käyttämään suurempaa tai pienempää painetta ruiskutuksessa ja sisätiivistyksessä ovat perinteisesti työntekijät mukautuneet muuttuvaan ruiskupaineeseen. Tiivistystäsmennyksen jälkeen korit uunitetaan, jotta korimassa kovettuu.

Välimaalaus ja pintamaalaus tapahtuvat täysin automatisoiduissa robottisolussa ja nämä ovat ympäristöiltään vakioituja. Ulkolämpötilalla tai maalaamohallin lämpötilalla ei täten ole merkitystä, vaan suurin ero tulee eri maalierien ominaisuuksista. Tämän vuoksi VA:n materiaalilaboratorio antaa testiensä perusteella ohjeet yksittäisten maalierien sekoitukseen. Ennen maalausrobottisoluja korit hiotaan ja niiden pinnoilta pyyhitään epäpuhtaudet erillisillä työasemilla. Maalaamisen jälkeen korit uunitetaan maalin kovettamiseksi.

### 4.3 Täsmennysasemat

Täsmennysasemilla pintaa täsmennetään, eli edellisten työvaiheiden laatua tarkkailaan silmämääräisesti, ongelmakohtia paikataan tarpeen mukaan ja epäpuhtaudet poistetaan korin pinnalta. Ensimmäinen täsmennysasema on tiivistyksen jälkeen. Siellä tietyt korisaumat viimeistellään käsityönä ja korin pinnasta etsitään ja poistetaan tiivistysaineroiskeita ennen korien kulkemista tiivistysuuniin. Uunista saattaa irrota korin pintaan öljyistä kondenssivettä ja tiivistysaine kovettuu niin, ettei sitä saa enää poistettua korin pinnoilta kuin hiomalla.

Toinen täsmennysasema on tiivistysaseman jälkeinen ED-täsmennys, jossa pohjamaalattu ja tiivistetty kori usein hiotaan ainakin osittain. Karkeuksia voi jäädä jo esikäsittelylaitoksen prosessista ja kaikista epäpuhtauksista täytyy päästä eroon mahdollisimman varhaisessa työvaiheessa.

Kolmas täsmennysasema on välimaalauksen uunin jälkeen ja tarkoituksena on jälleen poistaa edellisissä prosessivaiheissa syntyneitä pintavirheitä ja varmistaa hiomalla korin tasainen pinta. Neljäs ja viimeinen varsinainen täsmennysasema on pintamaaliuunin jälkeen, jossa maalattu ja lakattu kori on käynyt läpi lähes koko maalaamon prosessin. Korin pintaa tarkkaillaan silmämääräisesti ja pinnasta hiotaan epätasaiset kohdat, kuten lakkavalumat ja hionnan jälkeen kohdat puleerataan kiiltäviksi samalla asemalla.

### 4.4 Laadunmittausasemat

Laadunmittauksesta vastaavat maalaamon laadunmittaajat. Heillä on käytössään erilaisia teknisiä laitteita, joilla voidaan esimerkiksi mitata maalipinnan sävyä ja maalipinnan kerrospaksuutta, mutta pääosin työ koostuu korin tiivistysaumojen tai korin maalipinnan tarkastamisesta silmämääräisesti ja tulosten raportoimisesta. Joka asemalla toimii yksi tai kaksi laadunmittaajaa ja työssä on asemien välistä kiertoa, eli täysin koulutettuina kaikki laadunmittaajat osaavat joka aseman työtehtävät ja mittauslaitteiden käytön.

Tiivistysuunin jälkeen on ensimmäinen laadunmittausasema. Korisaumojen sijainti, leveys, materiaalin kerrosvahvuus ja pienten tiivisteaineroiskeiden määrä arvioidaan pitkälti silmämääräisesti. Korien pinnassa voi olla yhä myös esikäsittelystä jäänyttä karheutta ja maaliin tarttunutta roskaa. Jokaisella korisaumalla on oma yksilöintinumero, joka katsotaan teknisestä piirroksesta ja merkitään virheellisen kohdan arvoksi. Näin voidaan myöhemmin tarkastella, onko useampi virhe esimerkiksi viikon aikana osunut saman tiivistysrobotin saumoille. Tämä voi kertoa piilevästä mekaanisesta viasta, joka ei vielä näy robotin toiminnassa robottisolulla.

Välimaaliuunin jälkeen on toinen laadunmittausasema, jossa pinnan karheutta ja maalin värisävyä tarkastellaan. Pintamaalin jälkeen on kolmas asema, jossa suoritetaan pitkälti samat tarkastelut. Neljäs laadunmittaus suoritetaan kaikkien muiden maalaamon työvaiheiden jälkeen, juuri ennen kuin korit kulkevat kokoonpanon alueelle. Luonnollisesti korien pitää olla virheettömiä tässä prosessivaiheessa.

Laadunmittaajat kirjaavat tekemänsä havainnot järjestelmään ja tieto kulkee alueiden prosessi- ja laatuinsinööreille, sekä robottisolujen osalta alueiden pääkäyttäjille. Mittausten perusteella tehdään korjaavia toimenpiteitä, oli se sitten täsmentäjien ohjeistamista, massan tai maalin koostumuksen tarkistamista, tai laitteiden korjaamista.

#### 4.5 Haasteet ja haetut parannusmallit

Nykyisessä toimintamallissa on lukuisia eri mittaluokan haasteita, jotka ilmenevät laadun vaihteluna eri vuodenaikojen ja joskus myös eri työvuorojen välillä. Suurelta osin syyt ovat toistaiseksi jääneet tunnistamatta tai tiedostamatta ja ongelmia korjataan reaktiivisesti, korjaamalla niitä parhaan tiedon mukaan. Aina ei ole selvää, mitä löydetty hiukkaset maalipinnassa ovat, tai missä naarmut ovat syntyneet.

Maalaamoon suunniteltu konenäköjärjestelmä toisi varmuutta moneen asiaan, kuten pintavirheiden todelliseen syntyperään, havaittujen virheiden määrään jokaisessa korissa, johdonmukaisen arvion virheen vakavuudesta ja siitä, miten virheen korjaus täsmennyksessä onnistui. Pintavirheet saataisiin aiemmassa vaiheessa poistettua, mikä parantaa korin lopullista pintalaatua ja mittaustuloksien tarkentuessa tuloksia on

mahdollista hyödyntää nykyistä paremmin. Voidaan esimerkiksi sulkea pois kone- tai työntekijäperäinen virhe ja kohdentaa parannustoimet tarkemmin. Juurisyiden löydyttyä prosessien kehitys helpottuu ja laitteiston säätöjä, kuten tiivistyssaumojen leveyttä ja maalin peittävyyttä voidaan automaattisesti säädellä tulosten pohjalta materiaalin säästämiseksi, hyvästä lopputuloksesta tinkimättä.

Tulevaisuutta ajatellen tehostetulla pintavirheiden seurannalla ja linjojen kehityksellä voidaan tähdätä osittain, tai jopa täysin automatisoituihin pintavirheiden korjauspisteisiin, joissa konenäkö löytää virheet ja robottikäsi varsien päässä olevilla työkaluilla virheiden korjaus onnistuu automaattisesti. Maalaamosta saatujen kokemusten perusteella voidaan myös suunnitella konenäkölaitteistoja tehtaan muille alueille, aina materiaalin vastaanotosta kokoonpanon viimeiselle linjalle. Materiaalin vastaanotossa voidaan varmistua sisään tulevan materiaalin korkeasta laadusta, hitsaamossa nähdään ovatko pelleistä löydetty lommot prosessiperäisiä ja kokoonpanossa ymmärretään naarmujen juurisyitä.

## 5 RATKAISUMALLEJA

### 5.1 PILOTTIHANKE

Kahden eri yrityksen suomalaiset edustajat esittäytyivät vuorollaan VA:n projektiväelle vuoden 2021 aikana ja yritysten edustajat esittivät aiemmin hankkimaansa laaja-alaista osaamista sekä yritysysteistä, että teknisistä ratkaisuista. Kummallakin on tuotantotekniikan kehittämiseen suuntaavan konenäön suunnitteluun ja toteutukseen liittyvää osaamista ja selvästi intoa kehittää uutta laitteistoa, mutta ei olemassa olevaa VA:n maalaamolle sopivaa valmista ratkaisua. Kehitystyö täytyisi aloittaa tehdasympäristöön tutustumisella ja ensimmäisten kameroiden valinnan jälkeen käytännön testeillä.

Pilottihankkeen aikatauluksi toinen yritys ehdotti kolmea kuukautta ja jatkokehitykseen voisi mennä vuosi tai pari. Ehdotettu pilotti olisi kolmen kameran yhdistelmä, joka tarkastelee ohi kulkevien korien pintamaalattua maalipintaa noin 10 cm:n alalta. Pilottiprojekti sitoo resursseja myös VA:n puolelta, eikä mahdollisesti saavutettavista eduista tuotannon laadun suhteen ole takuita.

### 5.2 EINES ESFI

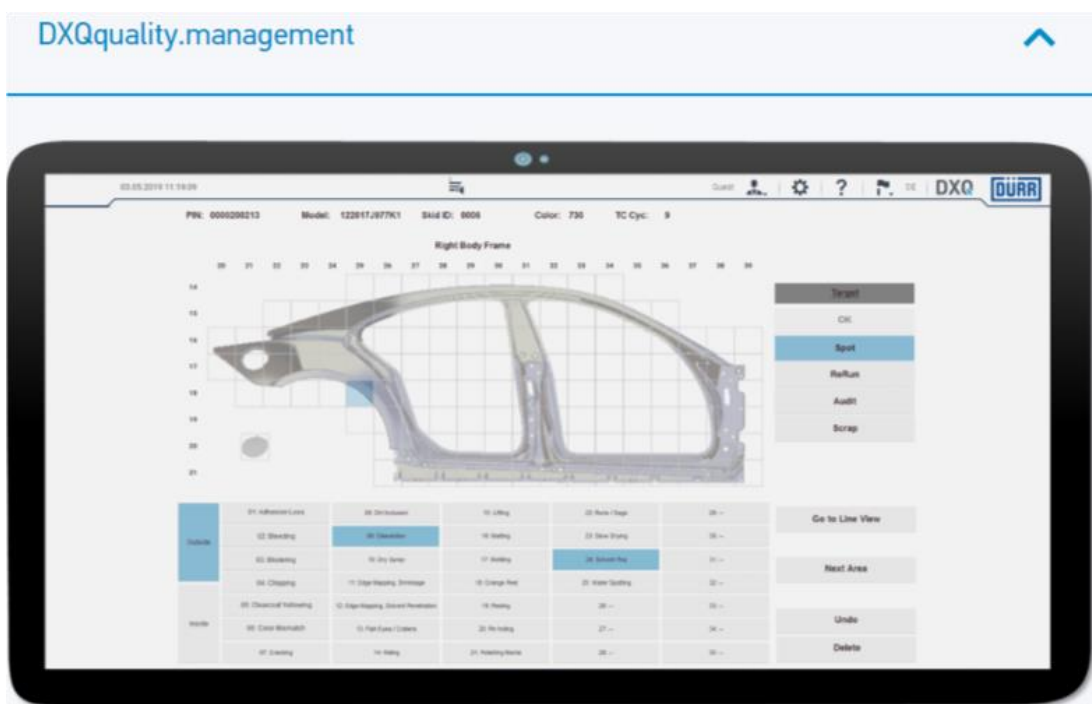
Espanjalainen Eines Systems on osa Konica Minolta Groupia ja yritys suunnittelee ja tuottaa päätoimenaan konenäköjärjestelmiä autoteollisuuden tarpeisiin. Eines Esfi on olemassa oleva ratkaisu auton pohja- ja pintamaalipinnan, sekä lakkapinnan tarkasteluun. Valmet Automotivelle esitelty Esfi-porttiskanneri kalibroidaan toimituksen ohessa tietyille automallille ja se pystyy skannaamaan useita saman kokoluokan autoja. (Eines, 2021, s. 2.)

Eineksen porttiskannereita on jo laajalti käytössä eurooppalaisissa autotehtaissa ja kyseinen malli soveltuu sekä maalaamon että kokoonpanon käyttöön maalipinnan laadun tarkastelussa. Järjestelmä on jo laajennettavissa AR-lasien osalta ja muitakin lisämahdollisuuksia on kehitteillä. Hitsaamoille ja materiaalin vastaanottoon portit eivät kuitenkaan sovellu, koska järjestelmä edellyttää maalattua pintaa.



### 5.3 DÜRR DXQ

Dürr on yhdistänyt kaikki ohjelmistotuotteensa DXQ-tuotemerkin alle. Tuotemerkin alle kuuluu neljä eri kategoriaa: DXQoperate, DXQanalyze, DXQcontrol ja DXQsupport. Dürr tarjosi syksyllä 2021 VA:lle omaan DXQ-järjestelmään perustuvaa konenäköratkaisua maalipinnan tarkastamiseen, mutta tarkemmat tiedot on yhä saamatta. Dürrin sivuilta selviää, että DXQ tuoteperhe on mahdollista lisätä nykyiseen tuotantolaitteistoon, jolloin tiedonkeruu ja analysointi uudella järjestelmällä on mahdollista ilman kaikkien laitteiden uusimista. Järjestelmä kattaa koko tehtaan varastosaldojen seuranta ja analysointia, sekä yksittäisten korien seuranta ja datan keräämisen eri prosessivaiheista korikortille (Kuva 6). (Dürr, 2022.)



Kuva 6. Dürr DXQ laadunvalvonnan tuotekortti (Dürr, 2022)

Sivustolta ei ainakaan vielä löydy erikseen listattuna konenäköjärjestelmää. Näin ollen on mahdotonta arvioida, miten se soveltuisi VA:n käyttöön, tai pärjäisi kilpailussa Einekseen Esfiä vastaan. Maalaamossa on käytössä paljon Dürrin robotteja, joten mahdollisia synergiaetuja voisi olla, kun huomioidaan DXQ:n big datan keruuta ja mahdollisuutta säätää robottisoluja automaattisesti analysoitujen tulosten perusteella.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Yksikään läpikäymistäni konenäkölaitteistoista ei pysty korvaamaan kaikkia maalaa-  
mon pinnanlaatua mittaavia käsikäyttöisiä nykylaitteistoja. Värisävyn ja pinnanpak-  
suuden tarkistus vaativat korin pintaan painettavan anturin käyttöä, mikä onnistuisi  
automatisoidusti, jos korin voi pysäyttää ja robottikäsi mittaisi sävyn ja paksuu-  
den tietyistä kohdista koria. Haasteet värisävyissä ja pinnanpaksuudessa käytännössä  
liittyvät pumppaamon ja robottimaalauksen toimintaan ja virheiden löytyminen nope-  
asti olisi tuotannon sujuvuuden kannalta tärkeää. Sävytysongelmat tuntuvat kuitenkin  
olevan harvinaisia ja virheet huomataan jo näiden prosessivaiheiden aikana.

Markkinoilla olevilla konenäköratkaisuilla voidaan tukea täsmennysasemien toimin-  
taa, kun konenäkö tarkistaa jokaisen läpi kulkevan korin ja antaa siitä visuaalista dataa  
täsmennyksen henkilöstölle. Lisäksi näin saadaan lopullisen maalipinnan laatua pa-  
rannettua nykyiseen toimintamalliin verrattuna, kun maalipinnassa esiintyvien tiivis-  
teaineroiskeiden, maalipinnan karheuksien ja muiden epäpuhtauksien syntyperä tun-  
nistetaan suuremmalla varmuudella ja tiedetään varmaksi, että löydetyt pintavirheet  
on myös oikeaoppisesti korjattu. Ajan myötä virheet löytyvät yhä varmemmin ja var-  
haisemmassa vaiheessa ja kertyneen datan perusteella prosesseja voidaan kehittää pe-  
rustellummin. Datan keruulla ja analysoinnilla on suuri merkitys, kun tutkitaan mitä  
maalipinnasta löytyneet hiukkaset ovat. Edellyttääkö tilanteen korjaaminen tuotanto-  
laitteiston säätöä, vai onko kyseessä jossakin prosessivaiheessa tapahtunut inhimilli-  
nen virhe, joka ei tule toistumaan. Reagointi ennaltaehkäisevän huollon suhteen toi-  
misi myös nopeammin, kun uusi, usein toistuva virhekohta löydetään ja tunnistetaan  
nopeasti.

Esfín porttiskanneri vapauttaisi täsmennyksen työaikaa, kun pintavirheitä ei tarvitse  
itse etsiä, vaan tulokset on mahdollista nähdä monitorilta heti korin kuljettua skannerin  
läpi. Tulevaisuutta ajatellen voidaan täsmennysasemien toimintaa kehittää tuomalla  
henkilöstölle AR-lasit, joiden kautta koria katsoessa pintavirheiden sijainti esitetään  
virtuaalisesti korin pinnassa. Tällöin myös monitorin katsominen, ja oikean kohdan  
etsiminen korista, jää pois. Vielä pidemmälle vietyinä täsmennysasema korvataan ko-  
konaan tai osittain automatisoidulla korjauspisteellä, jossa robotit hoitavat

täsmennyksen ja operaattori valvoo vain robottien toimintaa. Datan keruuta voidaan hyödyntää koko tehtaan prosesseissa ja valvonta löytää ongelmalliset prosessivaiheet, joissa koriin syntyy naarmuja tai kolhuja.

Opinnäytetyötä kirjoittaessani opin paljon konenäköjärjestelmien toimintaedellytyksistä ja teknisistä haasteista, jotka pitää ottaa huomioon järjestelmää valitessa ja asentaessa. Yllätyksenä tuli Valmet Automotiven tarkoituksiin edes jossain määrin soveltuvien, jo valmiiksi olemassa olevien järjestelmien, vähäinen määrä. Autotehtaita on kuitenkin kymmeniä ympäri maailmaa ja tasainen maalipinnan laatu on hyvin tärkeää. Siinä mielessä alkuperäinen ajatus eri järjestelmien arvioinnista ja parhaiten Valmet Automotivelle sopivan järjestelmän suosituksesta jäi sivuun ja keskityin kertomaan konenäöstä yleisemmällä tasolla ja arvioimaan Einoksen Esfi-järjestelmää. Tässä mielestäni onnistuin hyvin. Opinnäytetyön kirjoittaminen oli mieluisa haaste opintojen päätteeksi ja uskon aiheen valinnan tukevan hyvin työelämään siirtymistä.

## LÄHTEET

Anand S., Priya L. (2020). A Guide for Machine Vision in Quality Control. New York, CRC Press.

Cognex. (2016). Cognex 3D-Locate. Internet, viitattu 11.1.2022. [https://support.cognex.com/docs/cvl\\_900/support/EN/3d\\_guide.pdf](https://support.cognex.com/docs/cvl_900/support/EN/3d_guide.pdf)

Cognex. (2018). Introduction to machine vision. Haettu 28.9.2021 osoitteesta <https://www.cognex.com/resources/white-papers-articles/introduction-to-machine-vision-17152>

Dürr Systems AG. (2022). DXQ – Paint Shop & Application Technology. Haettu 9.2.2022 osoitteesta <https://www.durr.com/en/products/software-controls/dxq/paint-shop-application-technology>

Eines Systems. (2021). Esfi Vision Solutions: presentation for VA, 10.6.2021. [www.eines.com](http://www.eines.com)

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

Saastamoinen J. (2021). Auto kiiltää entistä kirkkaammin. Haettu 19.1.2022 osoitteesta <https://tekniikanmaailma.fi/lehti/22a-2021/nain-autojen-maalipinnat-ovat-kehittyneet-maalipinnat-nayttavat-kirkkaammilta-kuin-viime-vuosituhanella-ja-siihen-on-yksi-selkea-syy/>

Stemmer imaging. (2014). Machine vision in automated quality assurance. Haettu 3.11.2021 osoitteesta [https://www.stemmer-imaging.com/media/uploads/en/en\\_DE-ApplicationStory-Zorn-Xactools-201411.pdf](https://www.stemmer-imaging.com/media/uploads/en/en_DE-ApplicationStory-Zorn-Xactools-201411.pdf)

Stemmer imaging. (2022). Four stages of machine vision in industry. Haettu 25.1.2022 osoitteesta <https://www.stemmer-imaging.com/it-it/technical-tips/four-stages-of-machine-vision-in-industry/>