

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikka

2022

Heikki Metsäranta

# KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI

**TURKU AMK**   
TURKU UNIVERSITY OF  
APPLIED SCIENCES

Heikki Metsäranta

## KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä pakkauslinjan konenäköjärjestelmästä optimointimahdollisuuksia. Käytössä oleva järjestelmä koostuu neljästä eri tarkastuspisteestä, joista tässä opinnäytetyössä käsiteltiin kolmea. Ongelmana on materiaalin sekä tulostuslaadun vaihtelu, jota kameratarkastukset eivät pysty tunnistamaan ja joka aiheuttaa turhaa hylkyä pakkauslinjalla.

Työ aloitettiin perehtymällä käytössä olevaan konenäköjärjestelmään sen komponentteihin sekä tarkastettavaan tuotteeseen. Järjestelmästä voitiin todeta, että se suorittaa monia eri tarkastuksia. Materiaalivaihteluun ja tulostuslaatuun ei pysytä vaikuttamaan, joten kameratarkastuksen optimointi materiaali vaihtelulle ja tulostuslaadulle on ainoa keino poistaa turha hylky.

Opinnäytetyön tuloksena löydettiin lähtökohtaisesti hyvästä järjestelmästä pieniä optimointikeinoja, kuten mahdollisuus opettaa useampia hyväksyttäviä vaihtoehtoja tarkastettavalle kohteelle. Löydetyillä optimointikeinoilla on mahdollista saada kameratarkastukset joustavimmiksi materiaalin vaihtelulle sekä tulostuslaadulle. Täten voidaan todeta, että opinnäytetyölle annetut tavoitteet saavutettiin.

### ASIASANAT:

Konenäkö  
Hahmontunnistus  
Teollisuusautomaatio

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

2022 | 34 pages

Heikki Metsäranta

## OPTIMIZING OF A MACHINE VISION SYSTEM

The purpose of this thesis was to find optimizing possibilities of an automated packing line's machine vision system. The machine vision system consists of four different inspection points and three of these were discussed in this thesis. The problems are variation on used packing material and variation of the printing quality that camera inspections cannot recognize, and this causes unwanted scarp.

The work was started by studying with the machine vision system, existing components, and the product. The system was found to carry out many different inspections. The variation of the material or quality of the print cannot be affected, so optimizing of the camera inspections was the only way to eliminate unwanted scrap caused by material variation and print quality.

As a result of the thesis, small optimizing methods were found from an originally good system. These small but powerful methods made the camera inspection more flexible to material variation and print quality. It can be said the thesis achieved its goal.

KEYWORDS:

Machine vision  
Pattern identification  
Industrial automation

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ JA SEN KOMPONENTIT</b>	<b>8</b>
2.1 Konenäköjärjestelmät	8
2.2 Valaistus konenäköjärjestelmässä	9
2.3 Kameran optiikka	14
2.4 Kamerate	16
2.5 Kameroiden kennot	17
<b>3 KÄYTÖSSÄ OLEVA KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ</b>	<b>19</b>
3.1 Ensimmäinen tarkastuspiste	19
3.2 Toinen tarkastuspiste	24
3.3 Kolmas tarkastuspiste	28
<b>4 YHTEENVETO JA OPTIMOINNILLA SAAVUTETTAVAT TULOKSET</b>	<b>33</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>34</b>

## KUVAT

Kuva 1. Konenäköjärjestelmän komponentit. (SAMK automaation tutkimusryhmä 2022).	9
Kuva 2. a) Suora heijastus, b) säännöllinen heijastus, c) epäsäännöllinen diffuusi heijastus (Hornberg 2017).	10
Kuva 3. Taustavalaisu (National Instruments Corporation 2022).	11
Kuva 4. Diffusiivinen hajavalaisu (National Instruments Corporation 2022).	11
Kuva 5. Aksiaalinen diffuusivalaisu (National Instruments Corporation 2022).	12
Kuva 6. Suoravalaisu (National Instruments Corporation 2022).	13
Kuva 7. Sivuväläisy (National Instruments Corporation 2022).	14
Kuva 8. Polttopiste ja polttoväli (digifaq 2011).	15
Kuva 9. Himmenin kuvauksessa (digifaq 2011).	16
Kuva 10. Kameran näkökenttä (FOV field of view) (Wavelength Opto-electronic 2022).	17
Kuva 11. Matriisi kenno (Kameratekniikat, Turku AMK 2022).	17
Kuva 12. Polarisaatio-suotimen vaikutus valon heijastukseen (Vision doctor 2022).	20
Kuva 13. Ensimmäinen tarkastuspiste.	20

Kuva 14. Tarkastettava kasetti, johon merkitty siivet sekä hammas.	21
Kuva 15. Laminaatin vaihtelun ero.	22
Kuva 16. Tarkastettu kasetti polarisaatiosuotimen säädön jälkeen, jonka ansiosta kasetti näkyy tasaisesti valoittuneena.	23
Kuva 17. Kameralle opetettu toinen hyväksyttävä siipi.	24
Kuva 18. Toinen tarkastuspiste.	25
Kuva 19. Kuppien ja adsorbentin tarkastus.	25
Kuva 20. Puuttuvia kuppeja, jotka näkyvät punaisella.	27
Kuva 21. Kolmas tarkastuspiste.	29
Kuva 22. Skaalatun symbolin vaikutus tarkastukseen.	31
Kuva 23. Skaalaustyökalu.	32

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia pakkauslinjan konenäköjärjestelmää ja etsiä siihen kehitysmahdollisuuksia. Pakkauslinjalla kulkeva tuote (jäljempänä kasetti) kulkee eri vaiheiden läpi pakkauslinjalla. Ensin kasettiin laminoidaan pohjalaminaatti, johon applikoidaan etiketti. Seuraavaksi kasettiin asennetaan 16 kappaletta lopputuotteita, joista tässä opinnäytetyössä käytetään sanaa kuppi sekä adsorbentti, jonka jälkeen kasettiin laminoidaan päällilaminaatti sekä applikoidaan etiketti. Näiden vaiheiden jälkeen kasetti vielä pussitetaan.

Pakkauslinjan tutkittava konenäköjärjestelmä koostuu neljästä eri kameratarkastus pisteestä, joista kolmea käsitellään tässä opinnäytetyössä. Ensimmäisessä tarkastuspisteessä konenäkö tarkastaa kasettiin applikoitavaa etikettiä, sen paikoitusta, etikettiin printattavaa viivakoodia, kasetin eheyttä sekä sitä, että kasettiin on laminoitu pohjalaminaatti. Toisessa tarkastuspisteessä konenäkö tarkastaa, että kasetin sisälle on asennettu oikea määrä kuppeja eikä niitä puutu kasetista sekä, että adsorbentti löytyy kasetista. Kolmannessa tarkastuspisteessä tarkastetaan päällilaminaattiin applikoidun etiketin paikkaa, etikettiin printattavia tietoja sekä vielä uudelleen kasetin eheyttä. Konenäköjärjestelmää käytetään myös pakkauslinjan laadunvarmistamiseen.

Ensimmäisessä kameratarkastuspisteessä ongelmana on kasettiin lisättävän laminaatin laadun vaihtelu. Tätä vaihtelua kamera ei osaa tulkita, joten se hylkää täysin käyttökelpoisia tuotteita. Tässä päättötyössä ei tutkita laminaatin vaihtelun syitä vaan keskitytään etsimään ratkaisuja, joilla kameratarkastuksen saisi joustavammaksi materiaalivaihtelulle ja siten vähennettäisiin materiaali hukkaa ja nostettaisiin pakkauslinjan nopeutta ja tuottavuutta. Ratkaisun edellytyksenä on kuitenkin, että oikeasti viallista tuotetta ei hyväksytä vaan se hylätään.

Toisessa kameratarkastuspisteessä ongelmana on kasettiin asennettujen kuppien tunnistus. Satunnaisesti kamera ei löydä kaikkia kasettiin asennettuja kuppeja, vaikka ne kasetissa ovatkin. Tässä opinnäytetyössä pyritään etsimään ratkaisu tähän satunnaiseen tuotteen hylkäämiseen. Tämän ongelman poistaminen lisää linjan tuottavuutta, mutta tuo eniten rahallista hyötyä, koska lopputuote on jo asennettu kasettiin.

Kolmannessa kameratarkastuspisteessä suurin ongelma on huono ja vaihteleva tuloslaatu etiketissä. Opinnäytetyössä kameratarkastus pyritään saamaan hyväksyttäväksi vaihtelevalle tulostuslaadulle niin, että tulostettavat tiedot ovat luettavissa ja oikeassa kohdassa etikettiä. Tämä tarkastuspiste tuottaa tällä hetkellä eniten ”turhaa” hylkyä vaihtelevan tulostuslaadun vuoksi. Suurin osa hylätyistä tuotteista olisi kuitenkin hyväksyttäviä, mutta kameratarkastus on turhan tarkka.

Opinnäytetyössä käsitellään konenäköjärjestelmien komponentteja yleisesti, tutustutaan optimoitavaan järjestelmään ja siinä käytössä oleviin tarkastus työkaluihin sekä esitetään mahdolliset optimoinnilla saavutettavat tulokset.

## 2 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ JA SEN KOMPONENTIT

### 2.1 Konenäköjärjestelmät

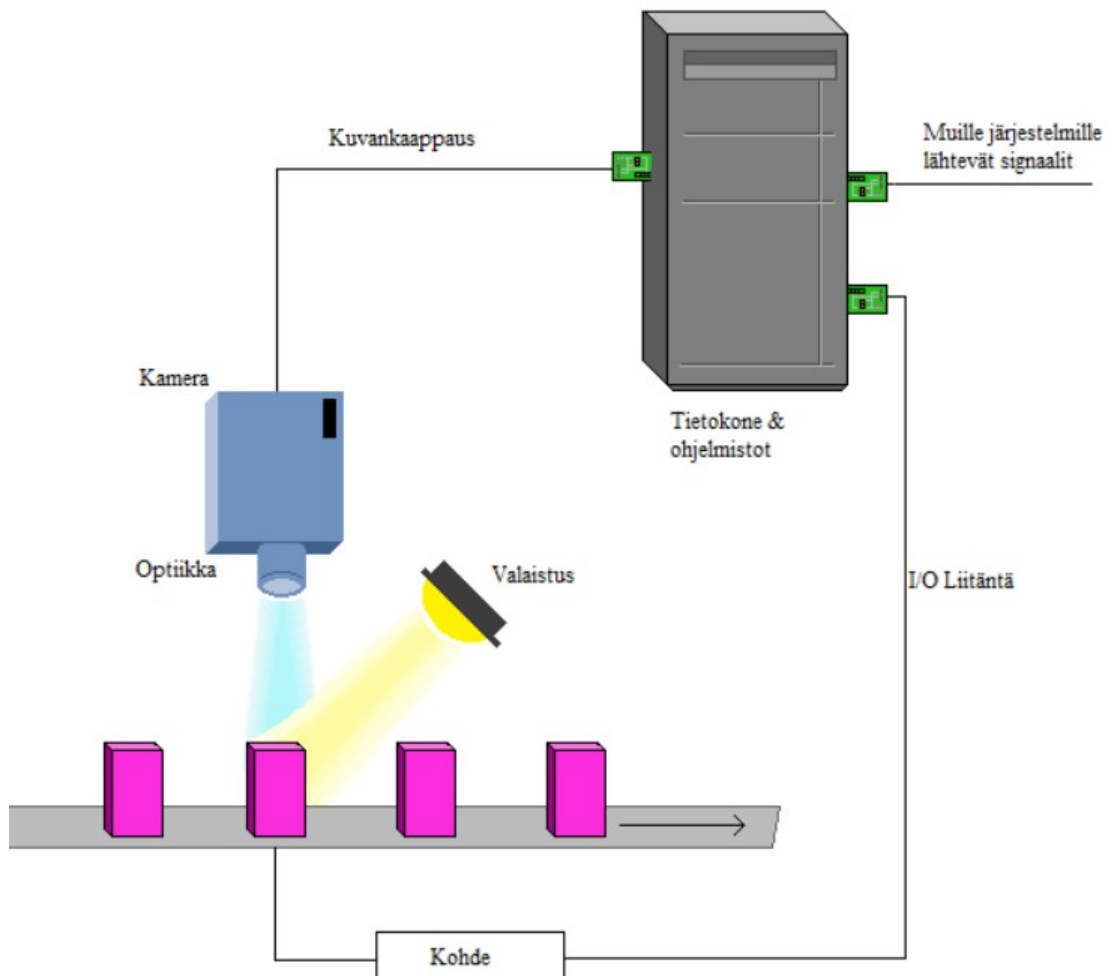
Siinä missä ihmisen näkökyky on paras monimutkaisen ja jäsentämättömän kuvan tulkintaan, konenäkö vastaavasti on erinomainen strukturoidun kuvan tulkitsemiseen sen nopeuden, tarkkuuden ja toistettavuuden ansiosta. Esimerkiksi tuotantolinjalla konenäkö voi tarkastaa satoja tai jopa tuhansia osia minuutissa. Oikein valitun kameran resoluution ja optiikan ympärille rakennettu konenäköjärjestelmä pystyy helposti tarkastamaan kohteen yksityiskohdat, joita ihmissilmän on vaikea havaita. Konenäkö tuo turvallisuutta ja toiminnallisia etuja vähentämällä ihmisten osallistumista valmistusprosessiin. (Cognex Corporation 2022.)

Konenäöllä tarkoitetaan teollisuuskameroiden, objektiivien ja valaistuksen käyttöä erilaisten tuotteiden visuaaliseen tarkastukseen. Konenäkö tarjoaa nopean ja luotettavan tavan tarkastaa tuotettuja komponentteja. Konenäön avulla jokainen tuotettu osa voidaan kuvata ja tarkastaa 100 prosenttisen laadun varmistamiseksi. Tehdasprosesseissa konenäöllä voidaan suorittaa automaattisesti monia erilaisia tarkastuksia, kuten tuotteen ulkonäkö, havaita tuotteessa olevat viat ja puutteet sekä suorittaa mittauksia, paikannuksia ja lukea erityyppisiä koodeja. (Keyence Corporation 2022.)

Lähes kaikki teollisesti tuotetut tuotteet tarkastetaan enemmän tai vähemmän visuaalisesti. Aikaisemmin tämän tehtävän suoritti asianmukaisesti koulutettu erikoishenkilöstö tavanomaisten työtehtävien lisäksi. 1970-luvulta lähtien konenäköjärjestelmät ovat yleistyneet teollisuudessa.

Visuaalisen eli silmämääräisen tarkastuksen tarkoituksena on varmistaa väli- tai lopputuotteen erityiset laatuominaisuudet. Vaikka ihmisen suorittamassa visuaalisessa tarkastuksessa on paljon hyviä ominaisuuksia, usein se kuitenkin mielletään työlääksi ja yksitoikkoiseksi ja siitä puuttuu hyvä toistettavuus tai se voi olla myös hidaskonenäköjärjestelmät tuovat tähän helpotuksen. Konenäköjärjestelmä toimii väsymättä, tuottaa puolueettomia ja toistettavia tuloksia ja mahdollistaa täydellisen sekä yksityiskohtaisen dokumentoinnin. (Beyerer & Frese 2016, 3–4.) Kuvassa 1 näkyy konenäköjärjestelmän peruskomponentit, kamera, optiikka, valaistus, tarkastettava kohde sekä konenäköjärjestelmän ohjausjärjestelmä.





Kuva 1. Konenäköjärjestelmän komponentit. (SAMK automaation tutkimusryhmä 2022).

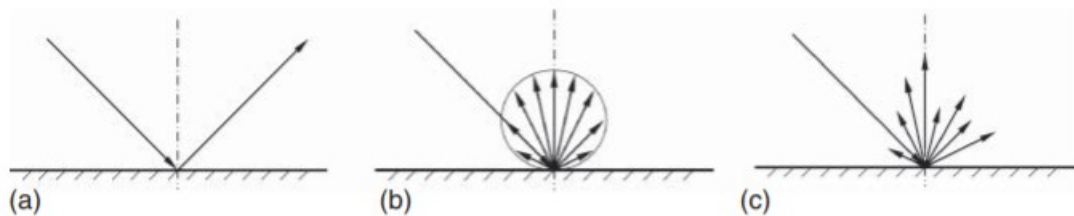
## 2.2 Valaistus konenäköjärjestelmässä

Ennen kuin markkinoille oli tullut konenäköä varten suunniteltuja valaisimia ja valaisutapoja, valaistus oli viimeisin suunniteltu kokonaisuus konenäkö järjestelmässä. Tämä lähestymistapa ei ollut täysin ymmärrettävä, koska saatavilla oli vain tavanomaisia hehku- tai loistelamppuja. (National Instruments Corporation 2022.)

Konenäkö järjestelmä koostuu paljon useammasta osasta kuin pelkästä valaistuksesta, mutta kaikki käsiteltävä tieto tulee valosta. Valaistuksen avulla kuvattava kohde saadaan erottumaan sen taustasta ja kohteesta etsittävät asiat saadaan näkymään. Kontrasti eli

sävyero, varjot ja tekstuurit ovat välttämättömiä saada näkyviin, jotta kohteen tunnistus onnistuu ja kaikki tämä tehdään valolla. (Hornberg 2017, 66).

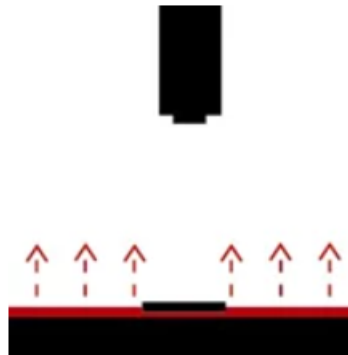
Valo alkaa toimia konenäköjärjestelmässä, kun se on vuorovaikutuksessa kuvattavan kohteen kanssa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että valon kanssa kohteesta haettavat yksityiskohdat saadaan hohtamaan. Valon luomia heijastuksia pitää pyrkiä suuntaamaan pois kamerasta. Heijastus tarkoittaa valon poikkeamaa materiaalien pinnoilla ja luo rajapinnoille erilaisia taitekertoimia. Heijastuslain mukaan valo periaatteessa heijastuu siitä osasta, jossa tulevat ja heijastuvat valonsäteet ovat samassa tasossa kuvassa 1 yleisimpiä heijastusmuotoja. (Hornberg 2017, 91).



Kuva 2. a) Suora heijastus, b) säännöllinen heijastus, c) epäsäännöllinen diffuusi heijastus (Hornberg 2017).

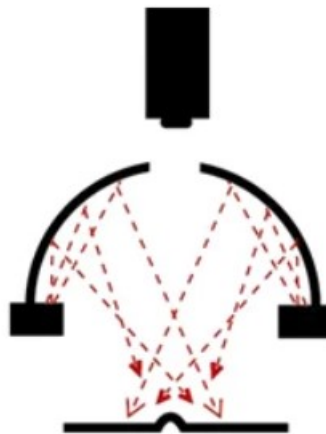
Kuvattavan kohteen valaisu on hyvin tärkeässä roolissa ja on aina suunniteltava kuvattavan kohteen mukaan. Valaistuksen huono suunnittelu johtaa väistämättä huonoon lopputulokseen. Nykyään kohteita valaistaan monin eritavoin ja valmiita ratkaisuita on monia.

Taustavalaistus luo välittömän kontrastin, kun se luo tummia siluetteja kirkasta taustaa vasten. Yleisimmät käyttötarkoitukset ovat reikien ja rakojen olemassaolon tai puuttumisen havaitseminen, osien paikoitus ja kohteiden mittaaminen. Usein on hyödyllistä käyttää yksiväristä valoa, kuten punaista, vihreää tai sinistä, linssissä voidaan myös käyttää polarisaatiosuodinta, jos tarkka reunan tunnistus tulee tarpeelliseksi. Kuvassa 3 on kuvattu taustavalaistus. (National Instruments Corporation 2022).



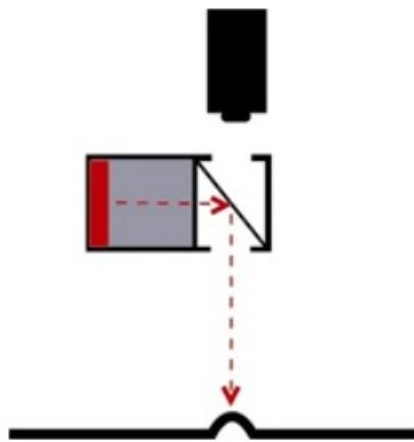
Kuva 3. Taustavalaisu (National Instruments Corporation 2022).

Diffuusia hajavalotekniikkaa käytetään yleisimmin kiiltävissä peilaavissa ja heijastavissa pinnoissa, joissa tarvitaan tasaista, mutta monisuuntaista valoa. Useita hajavalaistuksen toteutusmuotoja on yleisesti saatavilla, mutta päätyyppejä on kolme, joista puolipallomainen kupoli ja akselin suuntainen ovat yleisimmät. Kuvassa 4 on kuvattu diffuusivalaistus. (National Instruments Corporation 2022).



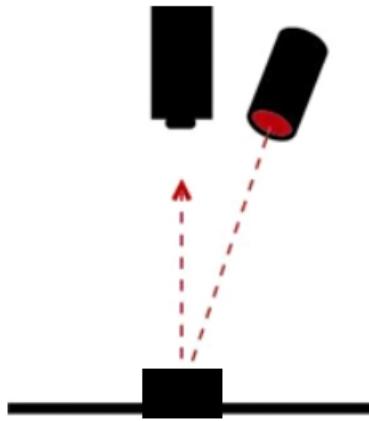
Kuva 4. Diffusiivinen hajavalaistus (National Instruments Corporation 2022).

Aksiaalinen diffuusivalaisu, jota kutsutaan myös koaksiaaliseksi valaistukseksi, lähettää valoa kohtisuoraan kohteeseen ja käyttää peiliä valonsäteiden lähettämiseen 90 asteen kulmassa kohteeseen. Tämä tekniikka korostaa peilaavat pinnat kohtisuorassa kameraan. Pinnat, jotka ovat kulmassa kameraan nähden, näkyvät tummia. Tämä valaistustekniikka vähentää varjoja, ja siinä on hyvin vähän heijastumia. Tämän ansiosta on mahdollista havaita puutteita kiiltäviltä, tasaisilta pinnoilta sekä mitata tai tarkastaa kiiltäviä esineitä. Kuvassa 5 on kuvattu aksiaalinen diffuusivalaistus. (Cognex Corporation 2022).



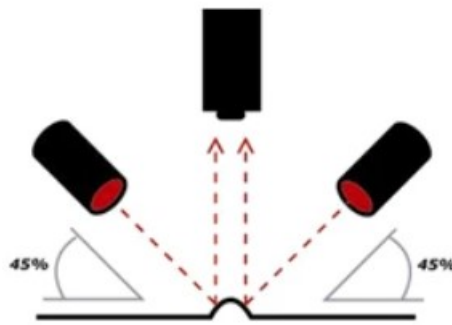
Kuva 5. Aksiaalinen diffuusivalaistus (National Instruments Corporation 2022).

Suoravalaistus (bright field) on yleisimmin käytetty valaistustekniikka, ja se on tutuin päivittäin käytettävä valaistus, esimerkkinä auringonvalo. Tämän tyyppinen valaistus eroaa täysin muista valaistustavoista siinä, että se on suunnattu, tyypillisesti pistelähteestä, ja suuntaavan luonteensa vuoksi se on hyvä valinta kontrastin luomiseen ja topografisten yksityiskohtien parantamiseen. Kuvassa 6 on kuvattu suoravalaistus, (National Instruments Corporation 2022).



Kuva 6. Suoravalaistus (National Instruments Corporation 2022).

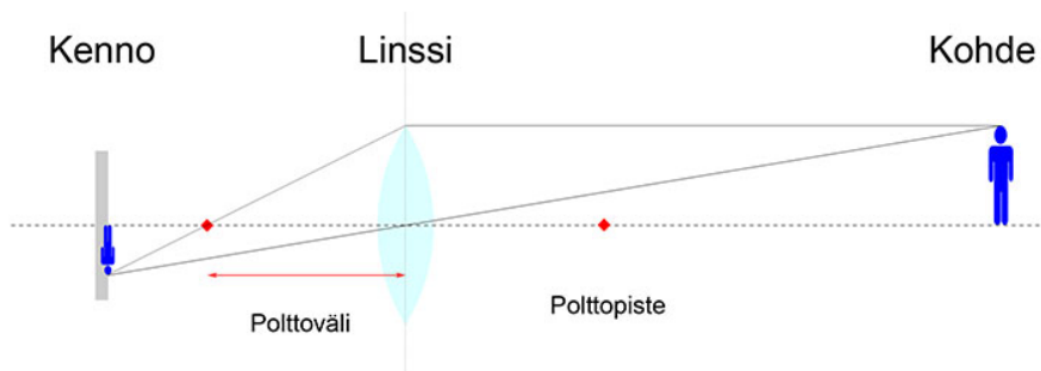
Sivuvalaisutekniikka (dark field) tarjoaa valon matalassa kulmassa kohteeseen. Kaikki pinnan piirteet naarmut, reunat, painatukset, kolot heijastavat valon takaisin kameraan, jolloin nämä pinnan piirteet näyttävät kirkkailta, kun taas muu pinta on tumma. Tämä tekniikka voidaan luoda millä tahansa suunnatulla valaistusvaihtoehdolla, joka mahdollistaa valon suuntaamisen osan pintaan. Tätä valaistustyyppiä käytetään useimmiten pintatarkastuksissa, joissa tarvitaan voimakasta kontrastia reunoilla, kuten lasin tarkastus ja laseroitujen koodien lukeminen. Se parantaa pintaominaisuuksien, kuten laserkohokuvioitujen tai kaiverrettujen merkkien sävyeroja taustaan nähden. Kuvassa 7 on kuvattu sivuvalaistus. (Cognex Corporation 2022).



Kuva 7. Sivuvalaistus (National Instruments Corporation 2022).

### 2.3 Kameran optiikka

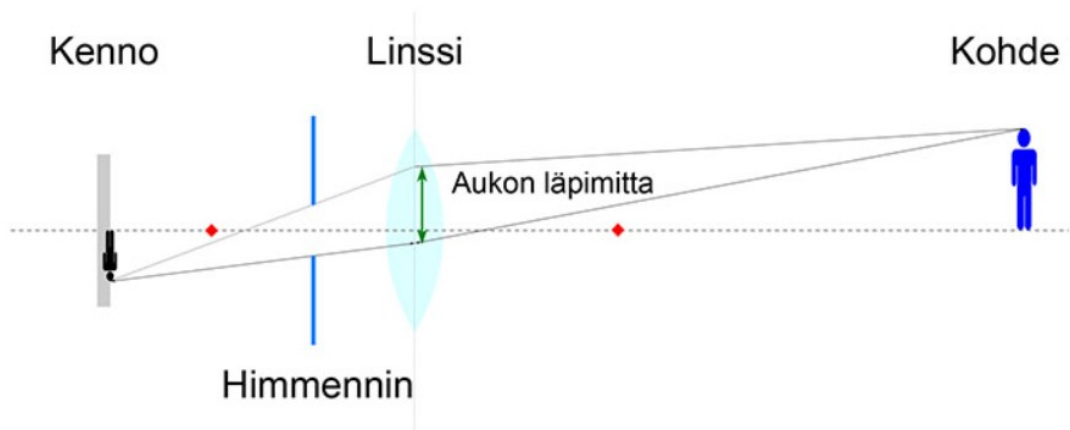
Linssin tehtävä kamerassa on koota kohteen yhden pisteen valoisuus ja väri linssin toiselle puolelle yhteen pisteeseen. Linssien käyttäytymisessä yritetään tutkia, mihin kohtaan tuo kuvapiste tulee. Helpoin tilanne on johtaa yhdensuuntaista valoa linssiin, vaikkapa kohdistaa siihen auringonvalo. Tällöin kaikki samasta suunnasta tuleva valo keräytyy yhteen pisteeseen. Jos linssi on kohtisuoraan valoon nähden, kutsutaan tätä pistettä linssin polttopisteeksi. Auringon tapauksessa nimen synty selviää helposti asettamalla tämä piste, vaikka omaan kämmeneen. Polttopisteen ja linssitason välistä etäisyyttä kutsutaan polttoväliksi. Tämä on linssin olennaisin ominaisuus ja se riippuu vain linssin hionnasta ja materiaalista. Kannattaa huomata, että mitä paksumpi tai pyöreämpi linssi on, sitä lyhyempi sen polttoväli on. Yksinkertaisesti, mitä kauempana olevaa kohdetta halutaan kuvata sitä suurempi polttoväli ja vastaavasti jos halutaan kuvata laajaa aluetta polttovälin tulee olla pieni. Kuvassa 8 on kuvattu polttopiste ja polttoväli. (Digifaq 2011).



Kuva 8. Polttopiste ja polttoväli (digifaq 2011).

Valokuvauksessa pyritään keräämään valoa mahdollisimman paljon. Hämärässä kaikki mahdollinen tieto kuvattavasta kohteesta pitää saada kerättyä talteen, jotta siitä saisi tarkan kuvan. Koko linssi kerää valoa yhtä kuvan pistettä varten, tästä nähdään, että mitä suurempi linssin pinta-alaltaan on, sitä enemmän se saa kerättyä valoa. Valovoima on suoraan verrannollinen linssin pinta-alaan. Valovoima riippuu myös optiikan polttovälistä. Valovoimaa esitetään yleisesti  $f$ -luvulla. Se lasketaan jakamalla polttoväli optiikan läpimitalla. Esimerkiksi 25 mm läpimittainen 100 mm polttovälin omaavan linssin valovoima on  $100/25 = 4$ . Mitä suurempi  $f$ -luku on, sitä heikompi on valovoima. Yleisin tapa esittää valovoiman luku on  $f/4.0$  tai  $f:4.0$ .

Linssin pinta-alaa voidaan rajoittaa himmentimellä. Himmennin on käytännössä säädettävä aukko, joka muodostuu ohuista kaarevista levyistä. Näitä levyjä liikuttamalla niiden keskelle muodostuva aukko suurenee tai pienenee. Himmennin sijaitsee joko linssin takana tai linssin keskellä, kuitenkin niin, että aukko pienentäminen ei estä varsinaista kuvan syntymistä. Valon on siis päästävä aukon kautta koko kennon alueelle. Himmennimen avulla voidaan rajoittaa valon pääsyä kameraan, jos kuva ylivalottuu. Kennolle pääsee liikaa valoa, jolloin kuvassa näkyy pelkästään valkoista. Säättämällä himmentimen aukkoa pienemmäksi saadaan vähennettyä valon määrää. Himmennämällä voidaan parantaa kuvan terävyyttä. Himmennin aukon säädöllä voidaan vaikuttaa kuvan syväterävyyteen, eli siihen miten suuri ala kuvasta näkyy terävänä. Kuvan syväterävyys on pieni silloin kun pieni osa kuvasta näkyy terävänä ja suuri silloin kun suuri osa kuvasta näkyy terävänä. Konenäköjärjestelmissä tarkoituksena on saada koko kuvasta kohde näkymään terävänä. Himmennyksen suuruutta kuvataan käsitteellä aukko. Sitä kuvataan samoin kuin valovoimaa,  $f$ -luvulla ja periaatteessa sitä mitataan samoin. Polttoväli jaetaan linssin läpimitalla. Kuvassa 9 näkyy himmentimen vaikutus. (Digifaq 2011).



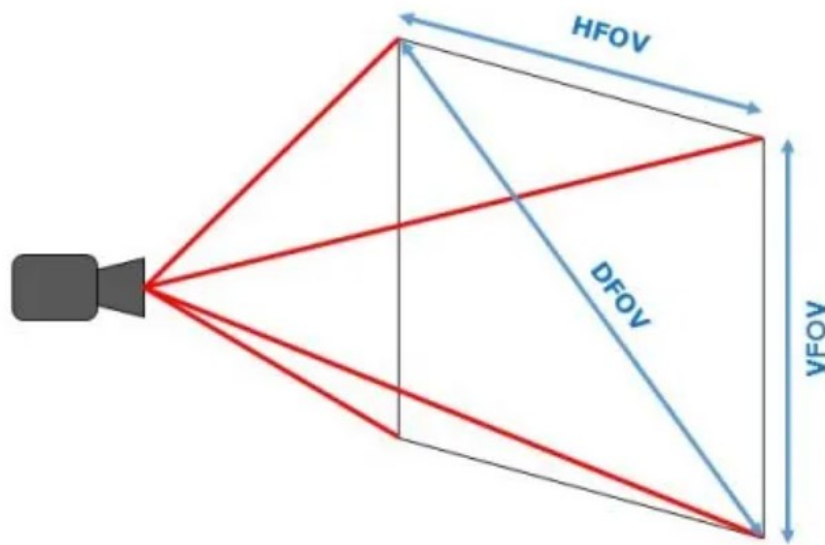
Kuva 9. Himmennin kuvauksessa (digifaq 2011).

## 2.4 Kamerat

Kuva muodostuu kuvattavan kohteen materiaalin ja pinnan ominaisuuksien sekä valaistuksen monimutkaisesta vuorovaikutuksesta. Kamera tulee kuitenkin valita aina tarkastettavan kohteen mukaan sekä sen mitä kameran halutaan kohteesta havaitsevan.

Kameran resoluutio eli tarkkuus on yksi määräävä tekijä, kun kameraa ollaan valitsemassa. Resoluutio kertoo valoilmaisimen määrän vaaka- ja pystysuunnassa, eli pikseleiden määrän. Mitä suurempi resoluutio sitä enemmän pikseleitä, joka tarkoittaa tarkempaa kuvaa. Hyvä yleissääntö on, että kamera valitaan kuvakentän koon (FOV Field Of View) sekä pikselitarkkuuden perusteella. Kuvassa 10 on kuvattu kameran näkökenttä. (Keyence Corporation 2022).

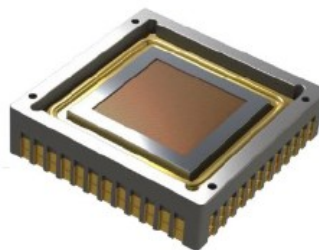




Kuva 10. Kameran näkökenttä (FOV field of view) (Wavelength Opto-electronic 2022).

## 2.5 Kameroiden kennot

Kenno on osa kameraa, johon kuva on juuttunut. Kenno on kameran tärkein osa ja usein kennon koko onkin ratkaiseva tekijä kuvan lopputulokseen. Kameroiden kennot voidaan jakaa tuotantotavan mukaan kahteen ryhmään, CCD (charged-couple device)- ja CMOS (Complementary Metal-Oxide-Silicon) -kennoihin. Kuvassa 11 on matriisikenno.



Kuva 11. Matriisi kenno (Kameratekniikat, Turku AMK 2022).

CCD- ja CMOS-matriisikennojen käyttämä tekniikka on pohjimmiltaan samanlaista. Valomäärää mitataan valoherkällä pinnalla eli photodiodeilla, jotka muutetaan varaukseksi. Jokaiselta pikseliltä varaus voidaan lukea erikseen, ja varaus muutetaan numeeriseksi arvoksi. CCD-kennon perusidea on, että yksittäisessä pikselissä oleva varaus voidaan siirtää samalla rivillä seuraavaan pikseliin. Varaukset voidaan siirtää riveittäin, nämä va-

raukset vahvistetaan ja siirretään ulkoiselle A/D-muuntimelle, joka luo näistä numeroarvon. Tämä tulos tallennetaan digitaaliseksi kuvaksi. CMOS-kennon toimintaperiaate on hyvin samantapainen kuin CCD-kennon. Erona on se, että CMOS-kennon jokaisella pikselillä on oma muunnin siinä missä CCD-kenno siirtää varaukset riveittäin yhdelle ulkoiselle muuntimelle. Tästä syystä CMOS-kenno kuluttaa paljon vähemmän virtaa ja muodostaa kuvan paljon nopeammin ja on myös paljon edullisempi. Näistä syistä se on paljon yleisemmin käytössä oleva kenno kuin CCD-kenno. (Digifaq 2003).

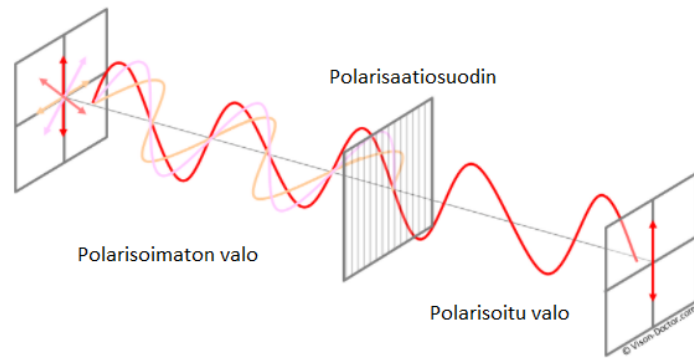
## 3 KÄYTÖSSÄ OLEVA KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ

Pakkauslinjan konenäköjärjestelmä koostuu neljästä erillisestä tarkastuspisteestä, joissa konenäkö tarkastaa eriasioita. Tässä opinnäytetyössä käsitellään näistä kolmea. Jokaisessa on erilaisia ongelmia, mutta jokaisessa tarkastuspisteessä yhteinen ongelma on niin sanotusti turhaan hylätty tuote. Turhaan hylkäykseen johtaa kasettiin lisättävien materiaalien laadun vaihtelu, jota kameratarkastus ei osaa tulkita. Toinen syy turhille hyllyille on pakkauslinjan tulostimien tulostuslaadun vaihtelu.

### 3.1 Ensimmäinen tarkastuspiste

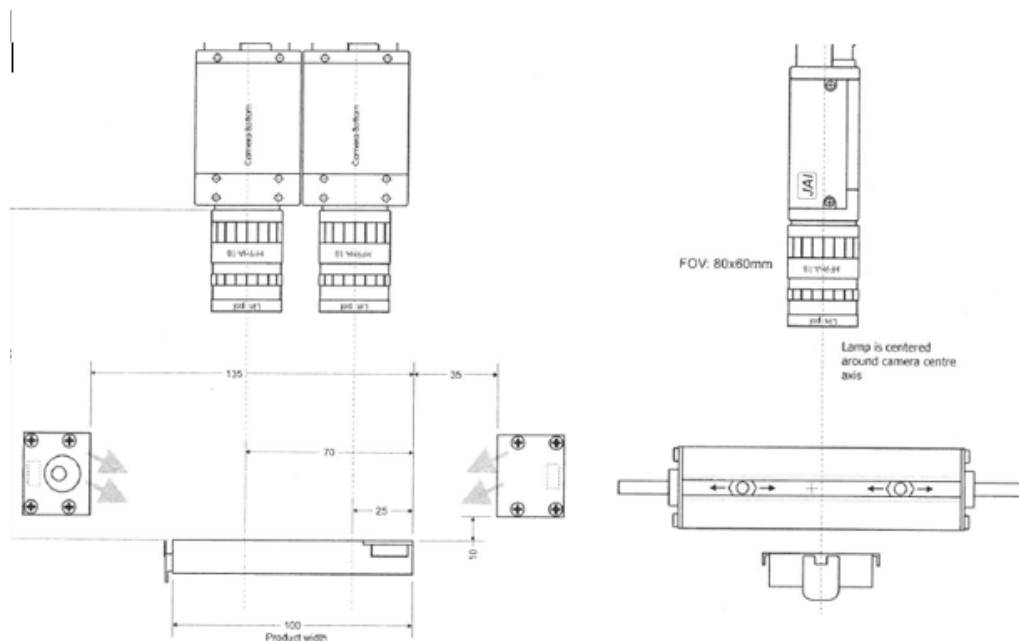
Ensimmäinen tarkastuspiste koostuu kahdesta JAI CV-A1- kamerasta. CV-A1 on mustavalkokamera, jossa progressiivinen 1/2" -CCD-kenno, jonka resoluutio on 1,4 megapikseliä. Kamera on tarkoitettu automaattiseen tarkastukseen. Molemmissa kameroissa linssinä on Fujinonin HF9A-1B, jonka polttoväli on 9 mm ja siinä manuaalisesti säädettävä aukko välillä  $f/1.4 - f/16$ . Toisessa linssissä on myös polarisaatio-suodin.

Polarisaatio-suodinta käytetään poistamaan heijastukset, joita syntyy usein väistämättä käytettäessä epätäydellisesti hajaantuneita valonlähteitä. Heijastuksia voi esiintyä jopa tummissa, kiiltävissä materiaaleissa täysin valkoisina kuva-alueina, jotka peittävät tarkastusominaisuudet ja voivat siten estää onnistuneen tarkastuksen. Valoa voidaan pitää sähkömagneettisena aaltona, jonka sähkömagneettinen vektori värähtelee poikittain (suorassa kulmassa) etenemissuuntaan nähden. Polarisoimaton valo itsessään voi myös värähtää mihin tahansa suuntaan. Jos optiikan eteen laitetaan polarisaatio-suodatin, se pystyy absorboimaan tietyt valon värähtelysuunnat. Kuvasta 7 ilmenee polarisaatio-suodattimen vaikutus valon kulkuun. (Vision doctor 2022).



Kuva 12. Polarisaatio-suotimen vaikutus valon heijastukseen (Vision doctor 2022).

Valaisutapana pisteessä on käytetty sivuvalaisua. Valonlähteenä käytetään LED palkki valoja. Sivuväläisun ansiosta etiketti, kasetti ja laminaatti saadaan ”hohtamaan”, jolloin näiden tarkastus onnistuu. Valaistukseen ei tarvitse tehdä muutoksia. Kuvasta 13 ilmenee, miten tarkastuspiste on fyysisesti rakennettu, sekä field of view kuvattava alue.

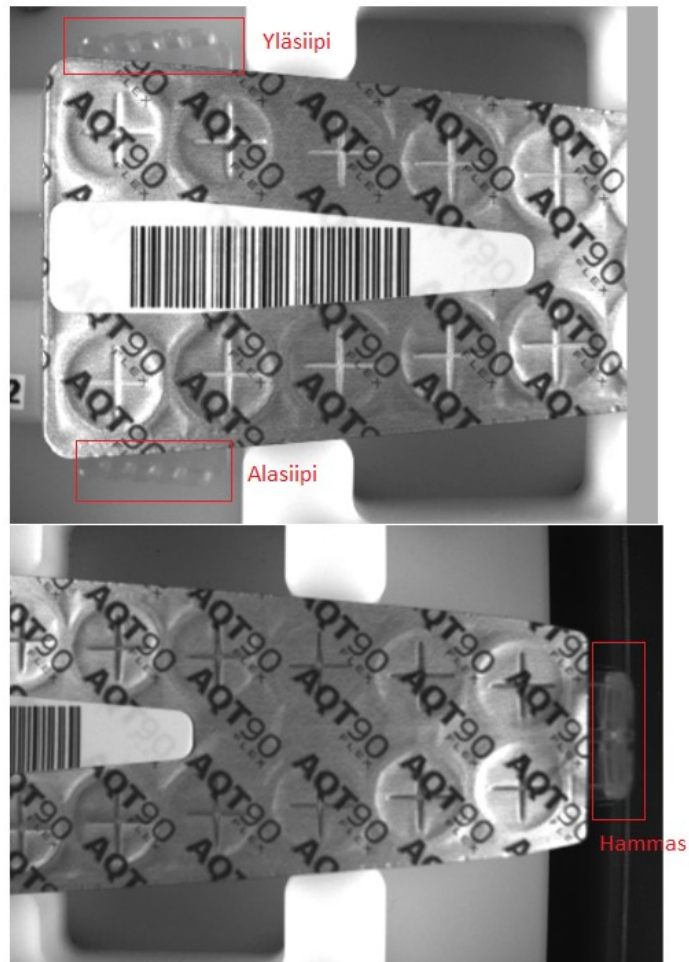


Kuva 13. Ensimmäinen tarkastuspiste.

Kameratarkastuspisteessä tarkastetaan seuraavat asiat:

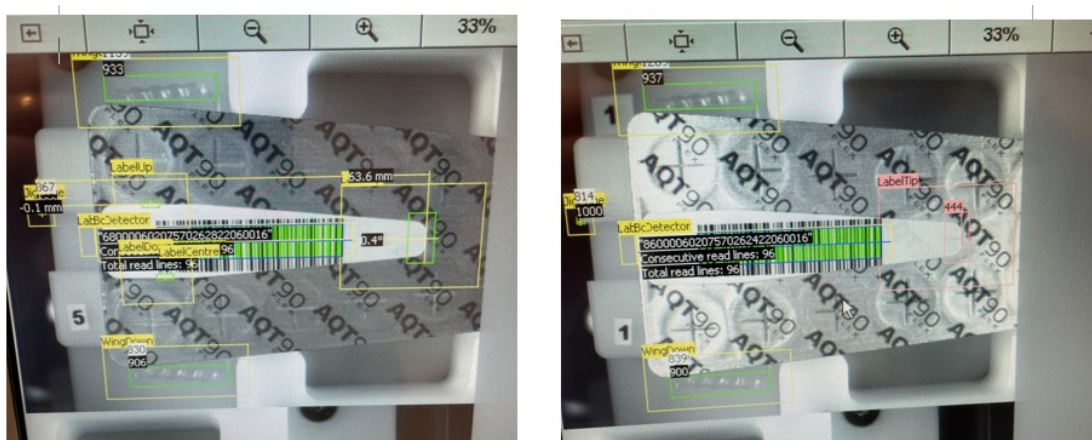
- Kasetin siivet
- Kasetin hammas
- Kasettiin on applikoitu etiketti, ja se on oikeassa kohdassa kasettiin nähden ja suorassa
- Etiketissä on viivakoodi, ja viivakoodi on oikea
- Kasetissa on laminaatti

Kamera 1 tarkastaa kasetin siivet ja etikettiin liittyvät asiat ja kamera 2 tarkastaa kasetin hampaan ja laminaatin olemassaolon. Kuvassa 14 on kuva kasetista ja siihen on merkitty siivet sekä hammas.



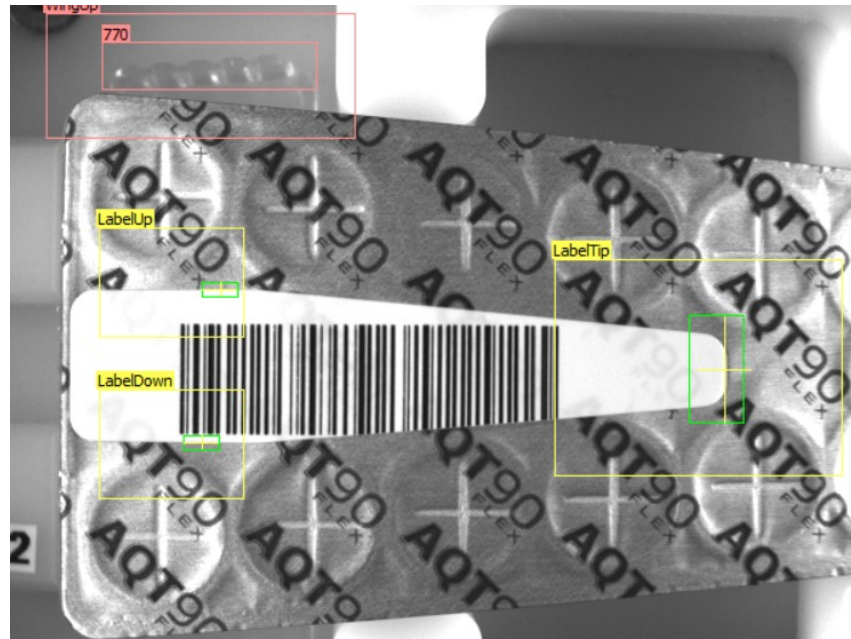
Kuva 14. Tarkastettava kasetti, johon merkitty siivet sekä hammas.

Ongelmana tässä tarkastuspisteessä on ollut kasettiin laminoitavan laminaatti materiaalin vaihtelu. Laminaatissa on alumiinia, joka heijastaa valoa hyvin voimakkaasti ja tästä syystä polarisaatiosuodin on otettu käyttöön. Suotimen myötä on valon heijastuksia saatu hallittua ja kuvaa täten tummemmaksi, jolloin etiketti saadaan erottumaan laminaatista. Laminaatissa käytettävän alumiinin heijastusominaisuudet vaihtelevat ja tämä luo haasteen tarkastukseen ja polarisaatiosuodinta joudutaan säätämään. Aina suotimen säätö ei auta ja kameratarkastus hylkää tuotetta turhaan. Laminaatin materiaalin vaihtelu ei ole syy hylätä tuote vaan kameratarkastuksen pitää pystyä tulkitsemaan vaihtelu, ettei se hylkää tuotetta.



Kuva 15. Laminaatin vaihtelun ero.

Kuvassa 15 ilmenee, miten pohjalaminaatin materiaalin vaihtelu näkyy kameratarkastuksessa. Vasemmalla on normaali tilanne, jossa laminaatti on ”normaali” ja oikealla selvästi kirkkaampi laminaatti, joka heijastaa valoa täysin eri tavalla. Tämä on johtanut siihen, että kamera ei enää löydä laminaattiin applikoitua etikettiä, joka kuvassa näkyy punaisella Label-Tip-virheenä, joka johtaa tämän kasetin hylkäämiseen. Kontrastiero laminaatin ja etiketin välillä on niin pieni, ettei kamera enää löydä etikettiä. Kontrastieroa on mahdollista suurentaa säätämällä polarisaatiosuodinta, jolloin kuvaa saadaan tummennettua. Kuvaa tummennettaessa siipitarkastus kuitenkin heikkenee ja usein kamera alkaa hylkäämään kasetteja muka puuttuvan yläsiiven takia, vaikka siipi oikeasti kasetissa onkin. Kuvassa 16 nähdään tilanne polarisaatiosuotimen säädön jälkeen, kuva on paljon tummempi ja kamera löytää etiketin, mutta yläsiipeä kamera ei enää tunnista.

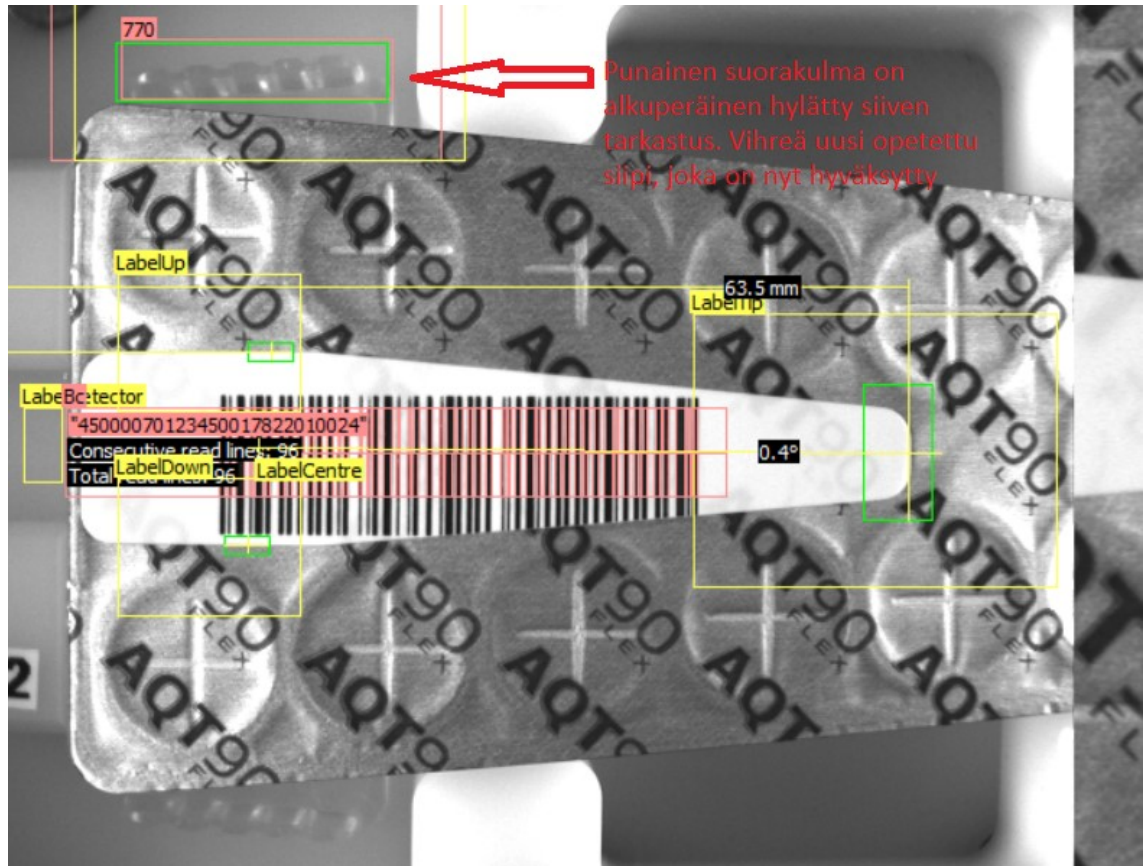


Kuva 16. Tarkastettu kasetti polarisaatiosuotimen säädön jälkeen, jonka ansiosta kasetti näkyy tasaisesti valoittuneena.

Etiketin ja siipien tarkastamiseen käytetään samaa tarkastus konenäkö ohjelman työkalua Checkpoint. Checkpoint-työkalua voidaan käyttää paikannukseen ja tunnistukseen. Sitä voidaan käyttää etäisyyden mittaukseen paikannusta varten, tarkastamaan tekstin paikoitus ja esimerkiksi tarkastamaan etiketin paikka. Checkpoint-työkalulle määritetään hakualue kuvasta, jonka sisäpuolelle opetetaan etsittävä kohde, joka kameras ohjelman halutaan tunnistavan. Opetetulle kohteelle määritetään score-arvo 0–1000 välillä. Määritetty score-arvo on minimi raja-arvo, miten hyvin kameras löytämä kohde vastaa opetettua kohdetta. Toisin sanoen mitä suurempi score-arvo, sitä tarkempi tarkastus on. Tässä pitää kuitenkin olla tarkkana, ettei arvoa nosta liian ylös, jolloin todennäköisesti kamera hylkäisi myös hyviä tuotteita. Myöskään score-arvo ei voi olla liian alhainen, koska silloin kamera hyväksyy myös huonoa tuotetta. Score-arvo periaatteessa määrittelee kohteen laadun. Checkpoint-työkalulle määritetään myös kontrasti arvo, joka on minimi kontrasti ero, joka hyväksytään.

Checkpoint-työkalulle voidaan opettaa yhteen tarkastukseen neljä eri hyväksyttävää vaihtoehtoa. Tässä tarkastuspisteessä voidaan käyttää tätä ominaisuutta hyväksi, jotta kameratarkastus pystyisi tulkitsemaan materiaalivaihtelua. Opettamalla toisen kuvan yläsiivestä tilanteesta, jossa polarisaatiosuodin on jo säädetty ja etiketti löytyy, mutta yläsiipeä ei löydy saadaan kameratarkastus joustavammaksi materiaalin vaihtelulle.





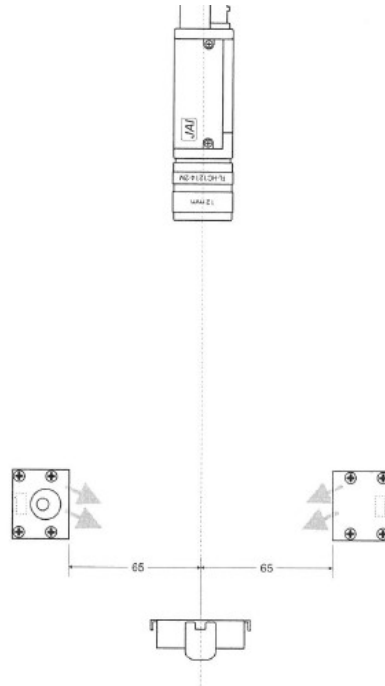
Kuva 17. Kameralle opetettu toinen hyväksyttävä siipi.

Kuvassa 17 nähdään, että kameralle on opetettu toinen kuva siivestä, joka on hyväksytty, mutta toinen opetettu kuva on hylätty, joka olisi johtanut kasetin hylkäämiseen. Nyt kun kameralle on opetettu myös toinen hyväksyttävä siipi, ei kameratarkastus hylkää tuotetta, joka on täysin käyttökelpoinen.

### 3.2 Toinen tarkastuspiste

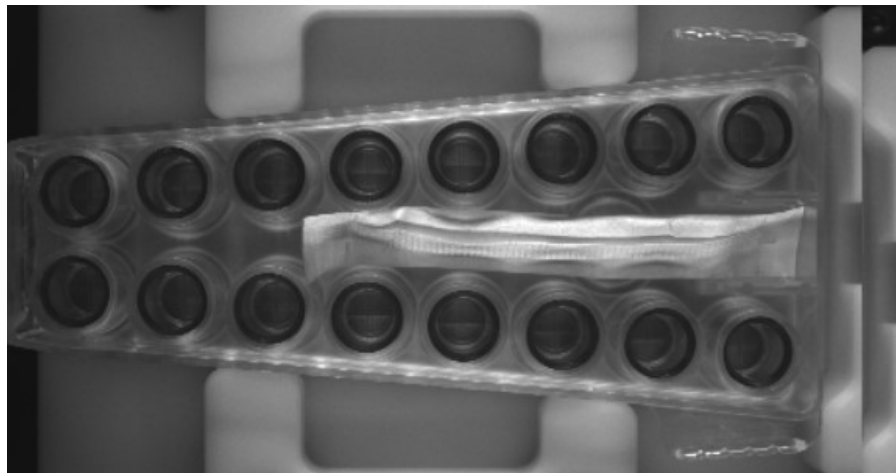
Toinen tarkastuspiste koostuu yhdestä samanlaisesta JAI CV-A1 kamerasta, samanlaisesta linssistä ja valoista kuin ensimmäinenkin tarkastuspiste. Erona on, että linssissä ei ole polarisaatio-suodinta. Kuvassa 13 nähdään miten tarkastuspiste on rakennettu.





Kuva 18. Toinen tarkastuspiste.

Kameratarkastuspisteessä tarkastetaan seuraavat asiat. Tarkastetaan, että kasettiin on asennettu kupit ja adsorbentti. Kuvassa 19 kuva tarkastuksesta.

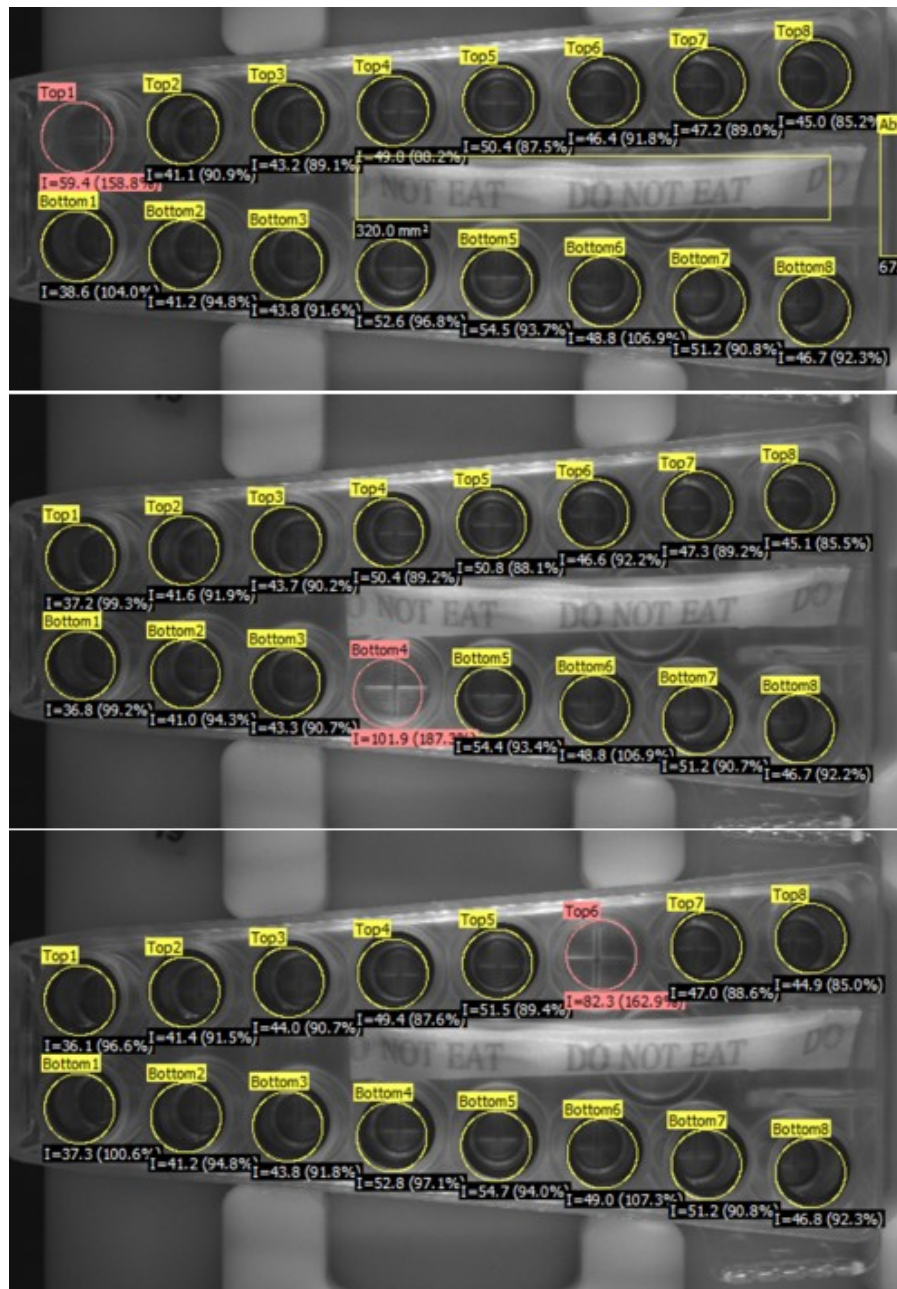


Kuva 19. Kuppien ja adsorbentin tarkastus.

Ongelmana tarkastuspisteessä se että, kamera ei satunnaisesti tunnista kaikkia kuppeja, vaikka kaikki kupit kasetissa ovat. Tämä on jo paljon kalliimpaa turhaa hylkyä, koska tuote on jo lisätty kasettiin ja hylkäämisen jälkeen tuotetta ei voi enää ottaa uudelleen käyttöön.

Kuppien olemassaolo kasetissa tarkastetaan Reference Colour työkalulla. Työkalu itseasiassa mittaa valoa ja sen intensiteettiä. Työkalu mittaa valon vaihtelua ja reagoi valon voimakkuuden vaihteluun, eli se mittaa valon keskimääräistä voimakkuutta hakualueella. Tarkastukseen on mahdollista määrittää rajat valon vaihtelulle. Arvot asetetaan prosentteina referenssitasosta, jos valotaso heittää enemmän kuin minimissä tai maksimissa on määritetty tuote hylätään.

Tarkastuspisteessä jokaiselle kupin paikalle on määritetty oma hakualue, josta työkalu mittaa valon vaihtelua. Kameralle on siis opetettu kuva, jossa jokaiselle kuppipaikalle on määritetty valon määrä, kun kuppi on paikallaan. Jokaisella paikalla on täten omat yksilölliset arvot. Tarkastusta lähdettiin tutkimaan kuvaamalla jokainen kuppipaikka yksitellen ilman kuppia, kuvassa 20 tyhjiä kuppipaikkoja.



Kuva 20. Puuttuvia kuppeja, jotka näkyvät punaisella.

Tutkimuksen jälkeen todettiin, että jos valon intensiteetin maksimiarvon asettaa liian ylös kamera löytää kupin myös tyhjästä paikasta. Puuttuva kuppi on ainoa syy hylätä kasetti tässä tarkastuspisteessä. Nyt käytössä olevia maksimiarvoja ei ollut tarpeen muuttaa, koska puuttuvat kaivot kamera on hylännyt kuten kuuluukin. Jos intensiteetin minimiarvon asettaa liian ylös kamera ei löydä kuppia, vaikka se paikallaan olisikin. Tämä on se

arvo, jota säätämällä saadaan poistettua satunnainen ongelma tarkastuspisteessä. Miniarvo on asetettu joko 70 % tai 80 %, jokaisessa kaivopaikassa. Jos arvonnosti 90 %:iin kamera ei enää löytänyt kuppia, vaikka se siinä olikin. Ongelman saa poistettua säätämällä intensiteetin minimiarvoa alaspäin, jolloin kamera aina varmasti löytää kupin. Satunnaiselle virheelle tarkastuksessa löydettiin kaksi syytä. Kasetin materiaalin värin vaihtelut sekä kasettiin asetettavan adsorbenttien asento. Adsorbentti luo eritavoin varjostumia olleessaan eriasennoissa kasetissa.

### 3.3 Kolmas tarkastuspiste

Kolmas tarkastuspiste on komponenteiltaan sekä komponenttien asetteluiltaan täysin ensimmäistä tarkastuspistettä vastaava, joka on nähtävissä kuvassa 8. Kolmannessa tarkastuspisteessä kamera tarkastaa kasetin pääli puolelta. Kamera tarkastaa seuraavat asiat:

- Kasetin siivet
- Kasetin hammas
- Etiketin paikoitus kasettiin nähden ja etiketin suoruus
- Etikettiin tulostettavat tiedot. Etikettiin tulostetaan tuotteen tiedot ja kameralla varmistetaan niiden oikeellisuus sekä niiden sijainti etiketissä.

Kuvassa 21 nähdään kolmas tarkastuspiste. Kuvasta poistettu toimeksiantajan tiedot, jotka eivät vaikuta tarkastukseen, koska kamera ei tarkasta etiketissä alun perin olevia tietoja.

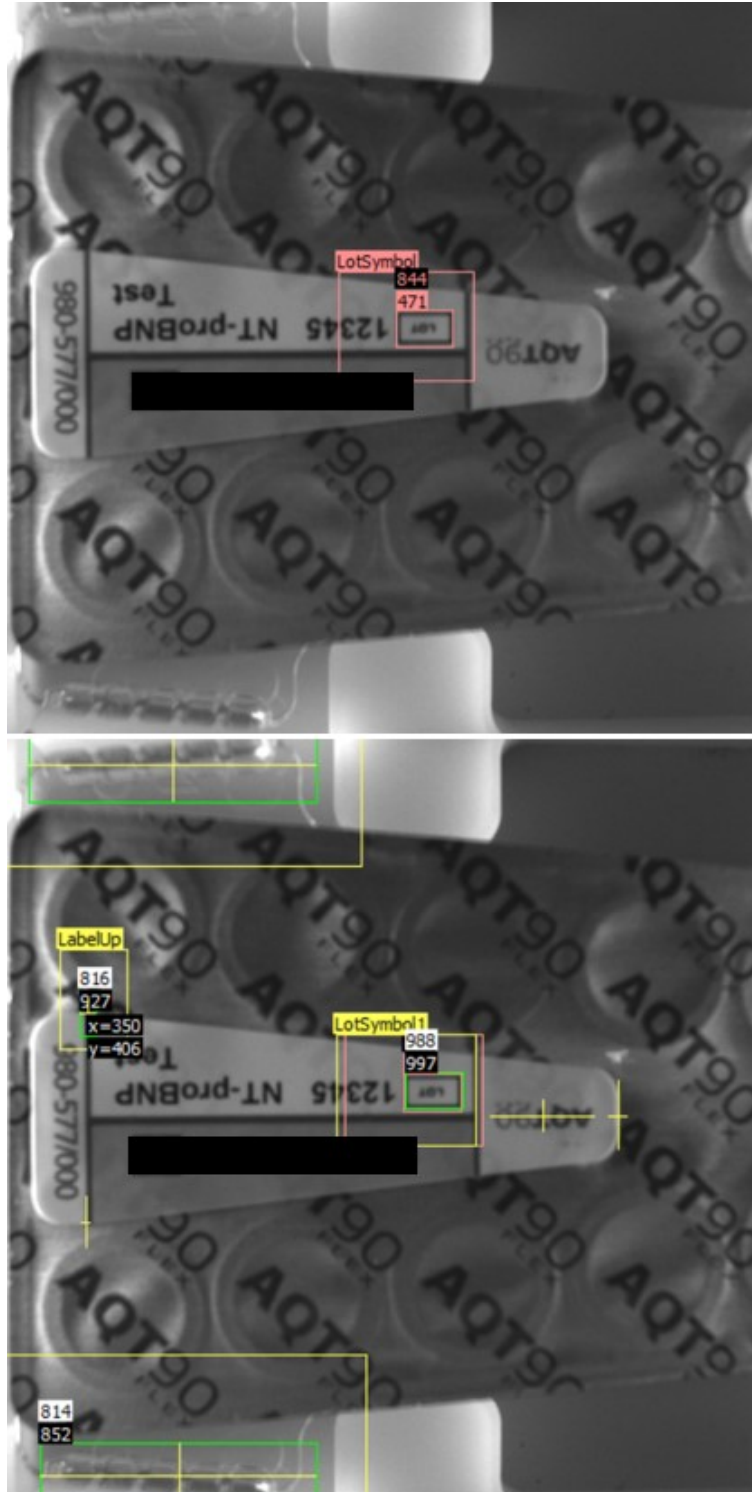


Kuva 21. Kolmas tarkastuspiste.

Kolmannessa tarkastuspisteessä ongelmana on etikettitulostimen tulostuslaadun vaihtelu. Kamera ei pysty tulkitsemaan vaihtelua ja tämä johtaa kalliiseen hylkyyn, koska tuote on jo pakattu kasetin sisälle. Tämä hylky vaikuttaa vahvasti myös pakkauslinjan tuottoon, koska kasetti on tässä pisteessä jo täysin valmis. Tulostuslaadun heittelyn ei pitäisi aiheuttaa hylkyä ja, koska tuloslaadun heittelyä ei saada kokonaan poistettua on kameran työkaluja muutettava siten, että se hyväksyisi visuaalisesti hyvän näköisen tuotteen.

Suurin hylkäämisperuste on etikettiin tulostettavan LOT-symbolin koon vaihtelu. Kameralle on opetettu 2,5 mm korkea symboli ja tulostimen epätarkkuuden vuoksi symboli näyttää kameralle matalammalta. Tarkastus-työkaluna on käytössä Checkpoint. Ennen tarkastustyökalujen muuttamista piti määrittää visuaalisesti, milloin LOT-symboli on liian pieni ja se pitääkin hylätä. Etiketintulostus ohjelmalla skaalattiin symbolia pienemmäksi 0,1 mm välein välillä 2,5 mm – 2,2 mm. Skaalauksen jälkeen todettiin, että jo 2,3 mm on liian pieni, eli symbolin vaihteluväli jää 2,4 mm – 2,5 mm välille. Ongelman poistamiseksi voidaan taas käyttää konenäköohjelman mahdollisuutta neljälle erilaiselle kuvalle sa-

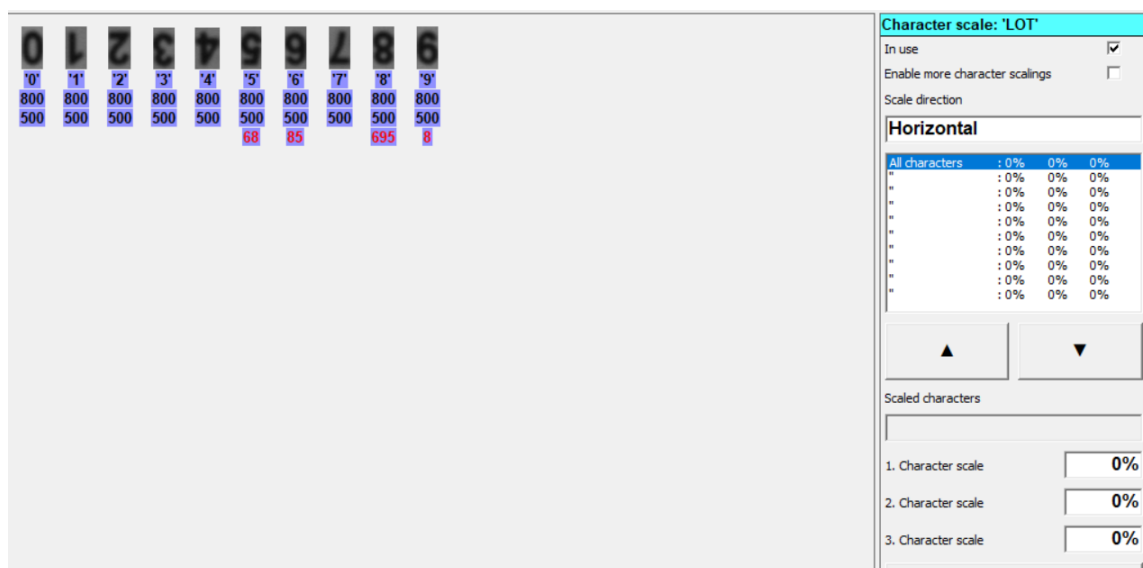
maan tarkastukseen. Tässäkin tapauksessa riittää kaksi opetettua kuvaa symbolille, alkuperäinen ja uusi, joka opetetaan skaalatulle symbolille. Kuvassa 22 nähdään, että jo tämä pieni muutos opetettuun kuvaan riittää ja kamera pystyy tulkitsemaan vaihtuvaa symbolikokoa. Ylemmässä kuvassa on vain yksi opetettu symboli, jonka kamera on hylännyt ja alemmassa on alkuperäisen lisäksi opetettu pienemmäksi skaalattu symboli, jolloin kamera on osannut tulkita tulostuksesta johtuvaa heittelyä.



Kuva 22. Skaalatun symbolin vaikutus tarkastukseen.

Ongelmia tuottaa myös tekstin tunnistus. Samasta syystä kuin LOT-symbolissa kamera-tarkastus ei osaa tulkita vaihtuvaa teksti kokoa. Tekstin tarkastusta varten kameralle pi-

tää opettaa jokainen kirjain ja numero erikseen. Kirjaimille pätee sama neljän eri vaihtoehdon sääntö, mutta tämä on erittäin työläs tapa. Kirjainten opetuksessa on myös riski sille, että tarkastus sekoittaa samalta näyttävät kirjaimet tai numerot keskenään, jos niitä on kameralle paljon opetettu. Konenäköjärjestelmän ohjelmassa on valmis toiminto tulostettujen kirjainten vaihteluun. Tekstintarkastustyökalun voi määrittää skaalaamaan kaikki opetetut merkit, tämän saa tehtyä vain valitsemalla työkalun skaalauksen käyttöön ja määrittämällä skaalaus suunnan ja määrän prosentuaalisesti. Tämän toiminnon avulla kirjainten ja numeroiden tulostus vaihtelun vuoksi hylkääminen mitä todennäköisemmin loppuisi kokonaan. Kuvassa 18 näkyy skaalaustyökalu valikko.



Kuva 23. Skaalaustyökalu.

Näillä kahdella pienellä muutoksella kameratarkastus saadaan toimivammaksi, linjan tahtiaika nopeutuu sekä vähennetään turhaan romutettuja tuotteita, jota kautta saadaan rahallista hyötyä.



## 4 YHTEENVETO JA OPTIMOINNILLA SAAVUTETTAVAT TULOKSET

Pakkauslinjan konenäköjärjestelmää tutkiessa selvisi nopeasti, että kameroilla tarkastetaan hyvin monta asiaa. Kameratarkastusten määrän ja niiden monimutkaisuuden huomioon ottaen kameratarkastukset toimivat hyvin. Kamera tarkastukset ovat myös hyvin samanlaisia ja käytettävät komponentit ovat yhdenmukaisia, mikä helpotti suuresti järjestelmän optimointimahdollisuuksien tutkimista. Konenäköohjelmaa ja tarkastuksissa käytössä olevia työkaluja tutkiessa kävi selväksi, että näistä löytyy pieniä optimointimahdollisuuksia, joilla saadaan suuri vaikutus.

Tärkeimpänä havaintona ja suurimpana vaikuttavana tekijänä opinnäytetyössä oli konenäköohjelmasta löytnyt ominaisuus, joka mahdollistaa neljän eri hyväksytyin vaihtoehdon opettamisen tarkastettavalle kohteelle. Tällä pienellä mutta erittäin hyödyllisellä ominaisuudella saadaan kameratarkastukset tulkitsemaan materiaalin vaihtelua sekä tulostuksen laadun vaihtelua. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää myös neljännessä tarkastuspisteessä, jota ei tässä opinnäytetyössä käsitelty.

Tulostuksen laadunvaihtelun poistamiseksi yksi vaihtoehto voisi olla myös tulostimen korvaaminen tarkempaan tulostukseen pysyvällä tulostimella. Tätä ei opinnäytetyössä tutkittu, mutta kuitenkin tulostimen korvaamista voisi olla hyvä myös tutkia tulostuslaadun parantamiseksi.

Yhteenvetona voidaan todeta kameroiden olevan yhdenmukaisia ja toimivan tarkoituksessaan hyvin, kunhan materiaali ei varioi sekä tulostimet toimivat stabiilisti. Nämä haasteet ovat kuitenkin mahdollista poistaa optimoinnilla, jolla pakkauslinjan tahtiaika nopeutuu sekä vähennetään turhaan romutettuja tuotteita, jota kautta saadaan rahallista hyötyä.

## LÄHTEET

Beyerer, J. & Frese, F. 2016. Machine Vision Automated Visual Inspection: Theory, Practice and Applications. Germany: Springer

Cognex Corporation 2022. Benefits of machine vision. Viitattu 21.1.2022

[Benefits of Machine Vision | Cognex](#)

Cognex Corporation 2022. Lightning advisor. Viitattu 5.3.2022

[Lighting Advisor | Cognex](#)

Digifaq 2003. Digikameroiden kennotyyppien eroja. Viitattu 31.3.2022

[Digikameroiden kennotyyppien eroja \(digifaq.info\)](#)

Digifaq 2011. Optiikkaa valokuvaajille. Viitattu 5.3.2022

[Optiikkaa valokuvaajille \(digifaq.info\)](#)

Hornberg, A. 2017. Handbook of machine and computer vision: The guide for developers and users. Second, revised and updated edition. Weinheim, Germany: Wiley-VCH.

Keyence Corporation 2022. Selecting the correct camera. Viitattu 12.3.2022

[Selecting the Correct Camera | Selecting Machine Vision | Machine Vision Basics | KEYENCE America](#)

Keyence 2022. What is machine vision? Viitattu 21.1.2022

<https://www.keyence.com/ss/products/vision/visionbasics/>

Kuvakenno. Viitattu 19.3.2022

[Kuvakenno.fi | Digikuvaus](#)

National Instruments Corporation 2022. A practical guide to machine vision lighting. Viitattu 13.3.2022

[A Practical Guide to Machine Vision Lighting - NI](#)

Vision Doctor 2022. Polarising filters. Viitattu 19.3.2022

[Polarising filters \(vision-doctor.com\)](#)

Wavelength Opto-electronics 2022. Viitattu 12.3.2022

[IR Field Of View - Wavelength Opto-Electronic \(wavelength-oe.com\)](#)