

Ari J Väänänen

## **KONENÄKÖ PAINETTAVASSA ELEKTRONIIKASSA R2R-PAINOKONEELLA**

Esitutkimus ja testaus konenäön vaatimuksille ja toteutukselle

# **KONENÄKÖ PAINETTAVASSA ELEKTRONIIKASSA R2R-PAINOKONEELLA**

Esitutkimus ja testaus konenäön vaatimuksille ja toteutukselle

Ari J Väänänen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Tietotekniikan koulutusohjelma, hyvinvointiteknologian suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Ari J Väänänen

Opinnäytetyön nimi: Konenäkö painettavassa elektroniikassa R2R-painokoneella

Työn ohjaaja: Risto Korva

Työn valmistuslukukausi- ja vuosi: Kevät 2015

Sivumäärä: 51 sivua

---

Painettavan elektroniikan silkkipainokoneella painetaan haluttua vaihtuvaa kuviota tai sen osia alustamateriaaliin useampia kerroksia kerroksittain. Halutun painojäljen saaminen oikeaan kohtaan kullakin painokierroksella vaatii avukseen kohdistusmerkit, jotka yritetään saada jokaisella painokierroksella osumaan päällekkäin. Työn tilaajan silkkipainokoneelle haluttiin tutkia, miten konenäköä mahdollisesti voitaisiin käyttää kohdistuksessa apuna.

Tavoitteena oli tutkia, mitä laitteistojen, olosuhteiden ja prosessin mahdollisesti aiheuttamia rajoituksia sekä toteutuskeinoja tunnistetaan. Työn tuloksista haluttiin apua ja tukea sille kehitykselle, mitä kohdistuksen mittaaminen ja säätäminen jatkossa toteutuessaan tarvitsisi. Työssä huomioitiin painettavan elektroniikan yleistä teoreettista taustaa ja sen mahdollisia käytännön vaikutuksia. Samalla varmistettiin kameroiden ja optiikan soveltuvuutta kohteeseen. Lisäksi haettiin tietoa ohjelmistosta, jota tapaustyyppisesti haluttiin tässä yhteydessä tutkia. Ympäristö- ja käyttöolosuhteiden vaikutusta arvioitiin myös ja apuna käytettiin tutustumiskäyntiä VTT:n painettavan elektroniikan laittiloihin. Lisäksi toteutettiin käytännön testejä yhteistyössä meneillään olevan oppilasprojektin kanssa.

Työssä saatiin aikaan tavoiteltua esitutkimusmateriaalia, jota voi hyödyntää jatkokehityksessä. Tulokset antavat myös yleistietoa, joka on hyödynnettävissä muidenkin ympäristöjen konenäkösovelluksiin. Kokeiltavana oli optiikkaa ja kamera, jotka kytkettiin ohjelmistoon, jolloin käytöstä ja rajapintavaatimuksista saatiin kokemuksia ja lisätietoa. Ohjelmistokokonaisuuksien laajuus ja käyttöönottomahdollisuuksia saatiin selvitettyä valitulla ohjelmistolla. Alustava kohdistamista ja mittaamista tekevän ohjelman toimintaperiaate ja käytettävät mallit pystyttiin määrittelemään. Graafista ohjelmointia kokeiltiin, ja valitulla laitteistolla saatiin luettua kuvaa.

Lisäksi huomioitiin asioita, joilla voi olla vaikutusta käytännön toteutusprosessin onnistumiseen. Näistä nostettakoon esille valaistuksen ja taustavärien kokonaisvaikutus. Tulevaisuudessa tehtävä säätäminen kannattaa tehdä lukemalla pituus- ja sivuttaisrekisteriä keskilinjan suhteen, jolloin korjaavia säätöjä ei tehdä reunaan mittaamalla. Koko yksikön siirtämistä keskilinjan suhteen tulee se, että sillä voi eliminoida painomateriaalin leveysvaihteluita, jotka voivat johtua esim. kutistumisesta tai epälaadukkaasta valmistusvaiheesta.

---

Asiasanat: digitaalikuvaus, graafinen suunnittelu, konenäkö, kuvankäsittely, painotekniikka, prosessin ohjaus, tulostettava elektroniikka, valaistustekniikka

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Information Technology, Medical Engineering

---

Author: Ari J Väänänen

Title of thesis: Machine Vision in printed electronics with R2R printing machine

Supervisor: Risto Korva

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015

Number of pages: 51

---

In printed electronics figures and components are printed on several layers on substrate with roll silk screen machine. To set different layers to right wanted places on layout asks to use fiducials. The aim of the thesis was to make study of using machine vision with R2R silk screen print machine to help placing of fiducials.

Target was to study available options and theory of optics, cameras, lighting, coding, image processing and measuring. Idea was to recognize existing possibilities, benefits and limitations with machine vision and related software applications. It was asked information and knowledge how to do developing and what issues should be taken into consideration. Theory was the minimum requirement for coming results, but as an optional possibility was to get some preliminary testing results with first programming code and with chosen camera and optics. Interest was centralized to this particular printing machine and it's environment at Prinlab laboratory in Oulu.

Study was based on knowledge got from printed electronics courses, Image processing course and programming courses from Oulu University of Applied Sciences. Practical experience has also gathered from over twenty years career from electronics and automation industry. Besides that there is also over thirty years experience from photographing hobby to support understanding of task. In start phase a lot of time was used with software applications and making tests with camera systems. Also graphical programming basic training was included in study. The main content of this study is based on theory and on specialist comments received from VTT Oulu and Nokia. Tests results and personnel comments from Prinlab laboratory have also significant role in this study.

Result of thesis was that we managed to get wide knowledge about basics of machine vision systems. We got optics and camera connected to needed interface with chosen software applications. We were able to read image and certain planned fiducials. We also got results of testing different kind of background colors and lightning setting. There is identified plenty of questions and requirements which could define later phase of activities related to finalizing machine vision solution This is good step to go ahead and make more effort for developing future model of machine vision.

---

Keywords: image processing, printed electronics, machine vision

## ALKULAUSE

Tämä työ tehtiin yhteistyössä Oulun ammattikorkeakoulun kanssa. Varsinainen tilaaja oli koulun painettavan elektroniikan laboratorio PrinLab.

Kiitän mukana ollutta koulun ja laboratorion henkilökuntaa sekä oppilaskollegoja saamastani tuesta. Ohjauksen ja sisällön osalta kiitoksen kohteena ovat Tomi Tuomaala, Risto Korva ja Tuula Hopeavuori.

Kiitos myös työnantajalleni Nokialle, joka on mahdollistanut joustavuudellaan aikuisopintojeni suorittamisen ja myös opinnäytetyön teon. Lisäksi haluan kiittää myös yhteistyötä tehneitä yrityksiä ja tahoja, joilta olen saanut tukea opinnäytteen sisältöihin ja suoritettavaan vaiheeseen.

Suurimmat kiitokset kuuluvat perheelleni. Heidän päivittäinen joustavuutensa arkielämässä on ratkaiseva tuki, joka on mahdollistanut opintojen suorittamisen kokonaisuutena. Kiitos!

Oulussa 30.4.2015

Ari J Väänänen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
ALKULAUSE.....	5
SISÄLLYS.....	6
1 JOHDANTO.....	8
2 PAINETTAVA ELEKTRONIIKKA.....	10
2.1 Rullalta rullalle- eli R2R-painomenetelmät.....	10
2.1.1 Silkkipaino.....	11
2.1.2 Syväpainomenetelmä.....	12
2.1.3 Kohopainomenetelmä.....	13
2.1.4 Kuumapuristusmenetelmä.....	14
2.2 Painettavat aineet.....	15
2.3 Alustamateriaalit.....	16
2.4 Käyttökohteet.....	16
3 R2R-PAINOKONE.....	18
3.1 Kohdistaminen.....	19
3.2 Ohjaus.....	20
3.3 Alusta ja painomateriaalit.....	20
3.4 Muut havainnot.....	22
4 KONENÄKÖ.....	23
4.1 Määritelmä ja käyttö.....	23
4.2 Konenäkö prosessina.....	23
4.3 Järjestelmän osat.....	24
4.3.1 Valo.....	24
4.3.2 Kamera.....	27
4.3.3 Optiikka.....	28
4.3.4 Tietokone, sovellukset ja kuvankäsittely.....	30
5 TOTEUTUS JA TULOKSET.....	35
5.1 Ympäristöolosuhteet – tausta ja valaistus.....	35
5.2 Kamera ja optiikka.....	38

5.3	Tietokone, sovellukset sekä kuvan otto ja sen käsittely.....	42
5.4	Kohdistus.....	43
5.5	Mittaus ja ohjaus .....	45
5.6	Rekisteröinti ja raportointi.....	47
6	YHTEENVETO .....	48
	LÄHTEET.....	50

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin osana Oulun ammattikorkeakoulun tietotekniikan hyvinvointiteknologian AMK-insinööritutkinnon opintoja yhteistyössä yksikössä toimivan painettavan elektroniikan laboratorion PrinLabin kanssa.

Työn tarkoituksena oli selvittää konenäön käyttömahdollisuuksia ja -rajoituksia sekä tunnistaa niiden asettamia vaatimuksia painettavan elektroniikan laboratorion R2R-koneen painoprosessin kohdistukselle. R2R-koneella painojälki ajetaan alustaan kerroksittain ja niiden kerrosten kohdistaminen toisiinsa on haasteellista. Konenäön käyttö saattaisi olla ratkaisu kohdistamisen ja saannon parantamiseen.

Opinnäytteen tilaajaa kiinnosti selvittää, voisiko konenäköä käyttää parantamaan kohdistamista R2R-painokoneella. Tavoitteena oli saada selville, mitä asioita ja vaatimuksia aiheesta nousee esille. Tutkittavaksi tuli konenäköön liittyvää teoriaa ja sen soveltamiseen liittyviä asioita. Kokonaisuus on esitutkimus ja sisältää tutkivaa testausta alustavalla konenäkökoonpanolla ja sen osilla.

Konenäköön kuuluu periaatteessa kolme tärkeää osa-aluetta. Ensimmäinen on kamera ja optiikka. Toiseksi voidaan määritellä valaistus ja olosuhteet tutkittavalla alueella. Kolmantena voidaan pitää laitteistoa, jolla kokonaisuutta ohjataan. Laitteistoon kuuluvat silloin tietokone sekä sen ohjelmistot mukaan lukien kuvankäsittely.

Kameraksi oli valikoitunut Basler acA640-90um. Optiikaksi saatiin tutkimukseen Azure 11005THM. Valaistukseen ei ollut käytettäväksi erilaisia valaisimia, vaan testaaminen hoidettiin yhdellä valaisimella. Ympäristöolosuhteiden vaikutuksen tutkimiseen varattiin erilaisia testiväripahveja. Niiden avulla simuloitiin taustavärien vaikutusta kuvion- ja hahmontunnistuksessa. Laitteiden mukana oli kannettava tietokone, johon asennettiin entuudestaan koululla käytettävissä oleva graafinen ohjelmointityökalu LabView. Vision Builder -ohjelmistolla ja tarvittavilla kirjasto-komponenteilla testattiin hahmontunnistuksen mallia.



Testauksen ja teorian lisäksi kokonaisuutta rakennettiin perehtymällä NI LabView -ohjelmiin ja niiden mahdollisuuksiin. National Instruments antoi koulutusta ohjelmistoihin. Heidän asiantuntijoiltaan on kirjattu kommentit ohjelmoinnista ja sen mahdollisuuksista. Teknistä asiantuntija-apua kohdistuksesta, valaistuksesta ja väreistä saatiin VTT:lle tehdyn tutustumiskäynnin yhteydessä sekä haastatteleamalla Nokian asiantuntijoita.

## 2 PAINETTAVA ELEKTRONIIKKA

Painettava elektroniikka tarkoittaa elektroniikkaa, joka on painettu materiaaliin. Kyseessä on siis samalla painotekninen menetelmä, joilla painettavaan materiaaliin saadaan vettymisilmiöllä tarttumaan haluttu määrä mustetta haluttuun muotoon. Painettava ja tulostettava elektroniikka liittyvät toisiinsa. Tulostettava elektroniikka on sähkömagneettisen, optisen tai elektromekaanisesti toiminnallisten rakenteiden muodostamista tulostus- ja painoteknisin menetelmin. Tulostaminen eroaa siten painamisesta siinä, että muste tai vastaava materiaali saadaan alustamateriaaliin koskematta sen pintaa. (Tulostettava elektroniikka 2015).

Idea ja hyöty painettavan elektroniikan käytöstä ja sovelluksista on siinä, että perinteiset elektroniset ratkaisut ja komponentit pystytään painamaan jopa hyvin joustaviin materiaaleihin. Painojälki itsessään vie hyvin vähän tilavuutta. Nämä molemmat edut yhdessä takaavat sen, että teknologian käyttämiselle ja kehittämiselle on nyt ja tulevaisuudessa kysyntää. Pienempi tilavuus ja muodon joustavuus antavat lukuisia uusia käyttömahdollisuuksia ja sovelluskohteita verrattuna perinteiseen isompikokoiseen, jäykkään ja huomattavasti painavampaan perinteiseen elektroniikkaan, sen komponentteihin ja piirilevyihin. Sopivien materiaalien käytöllä ja suurilla tuotantomäärittä on mahdollista tavoitella myös kohtuullisia tai edullisia tuotekustannuksia. Painettava elektroniikka mahdollistaa uutta innovointia uusiin kohteisiin ja uusille toimialoille, sillä se yhdistää osaamista laajasti erilaisilta toiminta-alueilta, kuten kemian-, elektroniikka-, tulostus- ja tulostuslaiteteollisuudesta. Laajemmin ajateltuna kyse ei ole pelkästään elektroniikasta. Kyseessä on loppujen lopuksi painettava älykkyys, jonka sovelluskentän osa-alueita elektroniikka ja kemia ovat. Tuotteiden suunnittelu, valmistaminen ja käyttö muuttuvat ja tuovat monilta osin lisäarvoa koko tuotteen elinkaareen sekä arvoketjuun. (Määttä 2012; Tulostettava elektroniikka 2015; Vainio 2014).

### 2.1 Rullalta rullalle- eli R2R-painomenetelmät

Rullalta rullalle -menetelmässä substraatti eli alustamateriaali on rullalla, josta se syötetään painoprosessin läpi toiselle rullalle. Painomenetelmänä voivat olla esimerkiksi silkkipaino (silk screen printing, seripaino), syväpaino (gravure printing) tai kohopaino (flexo printing). Näihin painomenetelmiin liittyvät parametrit poikkeavat toisistaan. Parametrien ymmärtäminen ja hallinta vaikuttavat

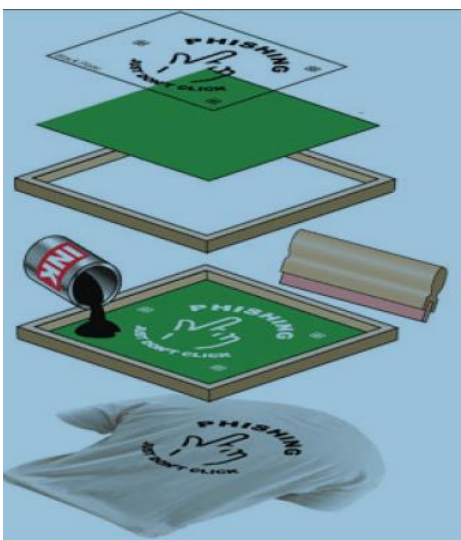
prosessiin ja painamisen onnistumiseen. Merkittävimpiä parametreja painamisessa ovat useimmiten painonopeus, lämpötila, kosteus, paine, musteen viskositeetti, mustekerroksen paksuus sekä painopinnan ja alustamateriaalin etäisyys toisiinsa (snapp off). (Määttä 2012.)

### 2.1.1 Silkkipaino

Silkkipainomenetelmä on tuhansia vuosia vanha painamismenetelmä. Sitä käytetään nykyään esimerkiksi tekstiilien kuvioden painamiseen, keramiikan koristeluihin ja elektroniikan painamiseen. Silkkipainamisessa on kaksi erilaista painamistyyppiä. Ensimmäinen on perinteinen tasopainaminen (flat bed) ja toinen on rullapainaminen (rotary). (Määttä 2012, 11.)

Silkkipainomenetelmässä käytetään stensiiliä eli verkkoa, johon on valmistettu valoherkkä emulsio. Siihen valotetaan aukko, joka on halutun kuvion muotoinen. Muste saadaan painettua lastalla aukon kautta verkon läpi alustamateriaaliin (kuva 1). Tämä on verrattavissa toimenpiteeseen, joka perinteisessä elektroniikassa tehdään, kun pasta painetaan stensiilin läpi piirilevyn pintaan. Painomenetelmässä voidaan tunnistaa kolme päävaihetta:

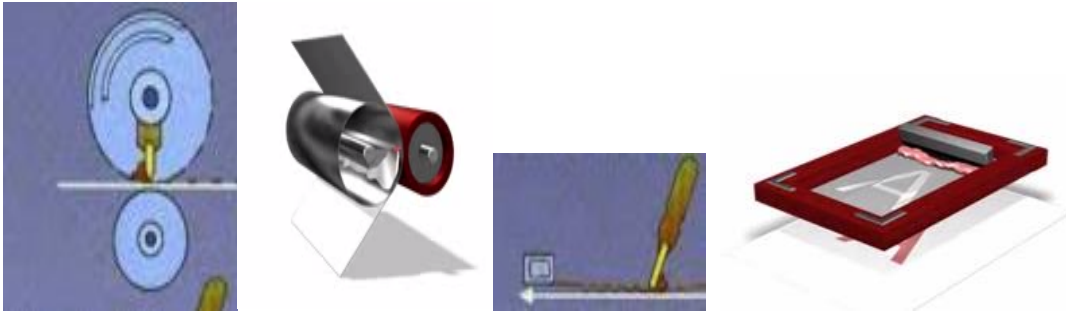
- 1) stensiilin valmistaminen
- 2) painotapahtuma, jossa muste imeytetään stensiilin läpi painolastan avulla
- 3) kuivatus (uunissa tai esim. UV-valolla) (Määttä 2012, 12) .



KUVA 1. Silkkipainostensiili (Määttä 2012, 12).

Silkkipainoa (seripaino) voidaan käyttää rullapainomenetelmän koneessa. Siinä tapauksessa verkko pingotetaan sylinterimäiselle painotelalle. Rullamenetelmässä paine kohdistuu tangentia-

lisesti pienelle pinta-alalle. Rullamenetelmässä painolasta on koko ajan paikallaan rullan pyöriesä (kuva 2). Raina liukuu painosylinterin ja vastasyylinterin välistä. Muste syötetään painosylinterin sisälle, jossa se kumilastalla painetaan stensiiliin läpi alustamateriaaliin. Musteella on korkea viskositeetti, joten se ei pääse itsestään valumaan painotelan läpi. (Määttä 2012, 14.)



KUVA 2. Silkkipainomenetelmien kuvia (Rahn 2012).

Snapp off -etäisyys eli gap on välimatka verkon ja alustan välillä. Sillä varmistetaan, että verkko ei koske alustaan muulloin kuin painohetkellä. Snapp offin lisäksi painojälkeen vaikuttavat silkkipainossa paine, musteen ominaisuudet, verkon ominaisuudet, painolastan ominaisuudet ja alustamateriaalin ominaisuudet. (Määttä 2012, 29.)

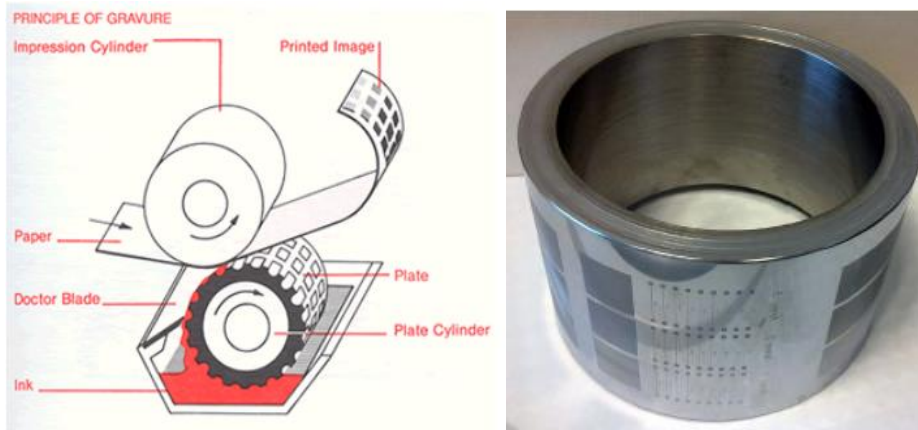
Tyypillisiä silkkipainon parametriarvoja voivat olla

- painonopeus eli vetonopeus 10–50 mm/s
- ympäristön lämpötila 20–25 °C
- paine 1–3 baaria
- musteen viskositeetti 0,5–50 Pas
- snapp off 0,5–2 mm
- mustekerroksen paksuus yleensä 5–40  $\mu\text{m}$  (kerrokset voivat olla myös paksumpia) (Määttä 2012).

### 2.1.2 Syväpainomenetelmä

Syväpainomenetelmässä (gravuremenetelmä) painokuvio kaiverretaan painotelalle, joten se näkyy telassa koloina. Muste tarttuu koloihin, joista se siirtyy substraatin pinnalle (kuva 3). Syväpainomenetelmä on nopea, mutta haitaksi voidaan ajatella painotelat, koska ne ovat verrattain kalliita ja niiden valmistaminen vaatii erityisosaamista. Painotela (kuva 3) valmistetaan teräksestä,

jonka pinnalle lisätään kuparikerros. Painokuvio kaiverretaan kupariin. Kupari pinnoitetaan kromilla, jotta telasta saadaan kestävämpi. (Määttä 2012, 34.)



KUVA 3. Syväpainomenetelmä (Vainio 2014) ja syväpainosylinteri (Määttä 2012).

Painojälkeen vaikuttavat tekijät syväpainossa ovat musteen ominaisuudet, painonopeus, pyyhki-jäterän ominaisuudet, alustamateriaalin ominaisuudet ja sylinteripaine sekä sylinterin muut ominaisuudet (Määttä 2012, 38).

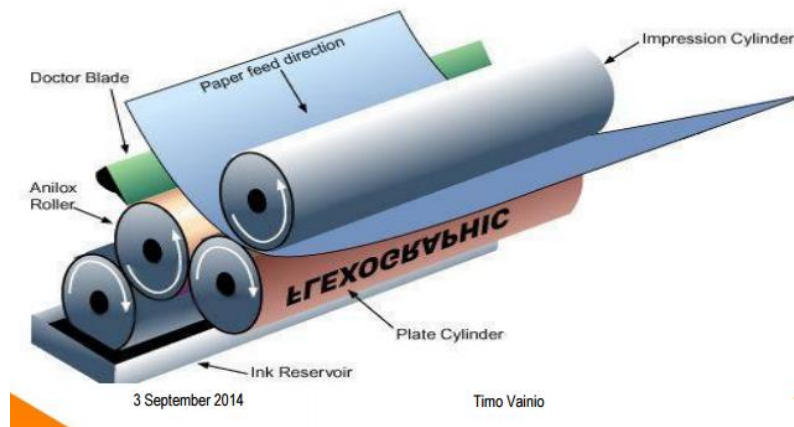
Syväpainon tyypillisiä parametrien arvoja ovat

- painonopeus eli alustan nopeus on 1–20 m/min (sylinterinopeus sama)
- ympäristön lämpötila 20–25 °C
- painosylinterin lämpötila lähellä ympäristön lämpötilaa
- sylinteripaine eli nippipaine 0,2–5 MPa
- mustekerroksen paksuus hyvin ohut (nanometreistä muutamaan mikrometriin)
- musteen viskositeetti on matala (25–200 mPas). (Määttä 2012, 33–39.)

### 2.1.3 Kohopainomenetelmä

Kohopainomenetelmä (flexo) on perinteinen painomenetelmä, jonka tyypillinen sovelluskohde on pakkaus eli esimerkiksi pahvilaatikon pintateksti ja pintakuviot. Kohopainomenetelmässä painokuvio on kokokuviona painotelan pinnalla. Painokuvio on paksuudeltaan satoja mikrometrejä ( $\mu\text{m}$ ) tai jopa millimetrejä (mm). Uusi painokuvio voidaan vaihtaa painotelan pinnalle, joten samaa

telaa voidaan käyttää useampaan kertaan (vrt. gravure). Kohopainomenetelmässä on kolme painotelaa, joista anilox-tela nostaa musteen painotelan pinnalle (kuva 4).(Vainio 2014.)



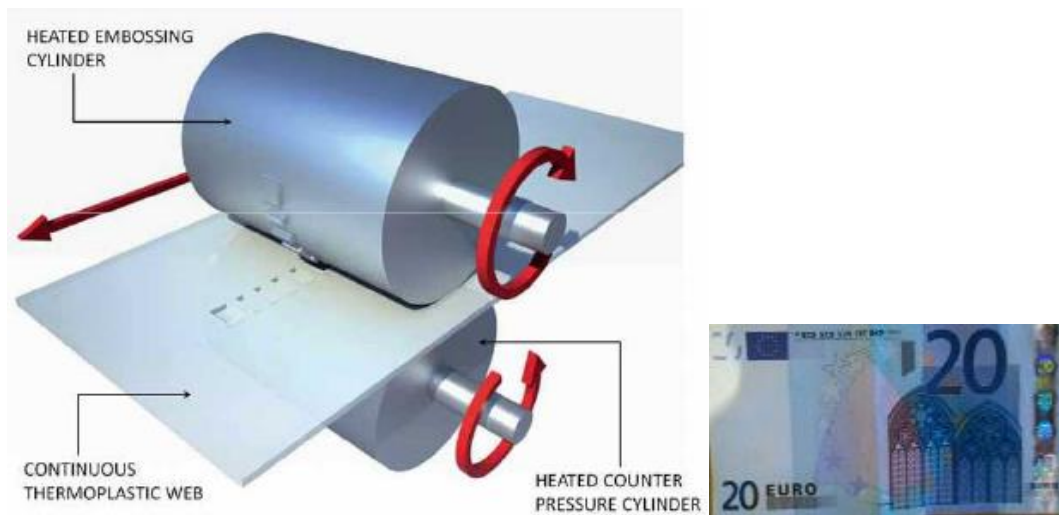
KUVA 4. Kohopainomenetelmä (Vainio 2014).

Kohopainon tyypillisiä parametreja arvoineen ovat

- painonopeus on 1–30 m/min
- lämpötila 20–25 °C
- sylinteripaine 0,1–0,5 MPa
- mustekerrokset ohuita (maksimissaan muutaman mikrometrin)
- musteen viskositeetti on matala (50–500 mPas), koska musteen pitää päästä pois aniloxin kuopista, vaikka nopeus on suuri (Määttä 2012, 49).

#### 2.1.4 Kuumapuristusmenetelmä

Kuumapuristusmenetelmässä paineen ja lämpötilan avulla painetaan kuvio substraatin pinnalle (kuva 5). Menetelmällä voidaan tehdä esimerkiksi varmennustunnisteita seteliin (kuva 5). Aitous-tunnistuksen lisäksi kuumapuristuksella voi tehdä mm. koristeita ja kuvioita muovisiin. (Määttä 2012, 77, 81.)



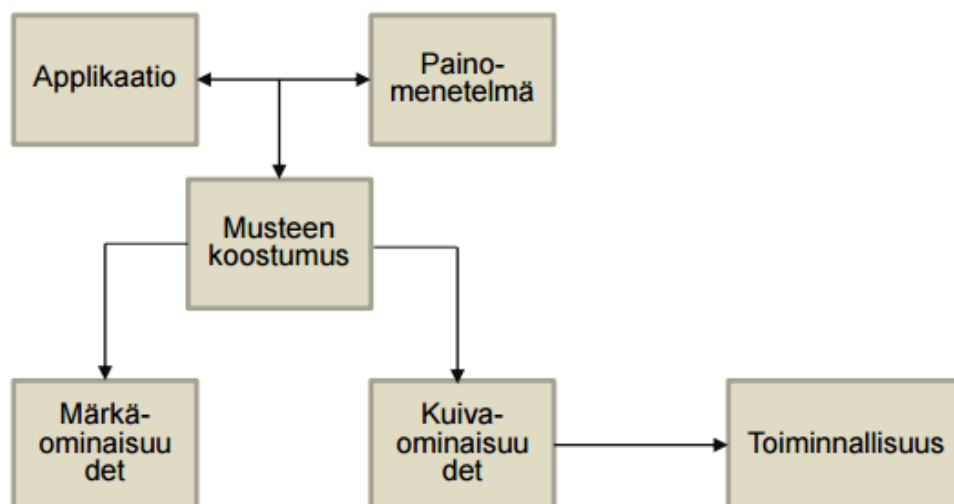
KUVA 5. Kuumapuristusmenetelmä (Määttä 2012) ja menetelmällä tehty setelin varmennustunniste.

## 2.2 Painettavat aineet

Painettavat aineet eli musteet voidaan yleisesti jakaa niiden käyttötarkoituksen perusteella kolmeen eri luokkaan. Tämä luokittelu on tässä yhteydessä tehty peruselektroniikkaa mukaillen. Luokat ovat johtava, puolijohtava ja eristävä muste.

Musteita voidaan luokitella myös valmistustavan perusteella. Tässäkin jaossa päädytään kolmeen perusluokkaan. Valmistustavan mukainen jako on sekoitus, myllytys ja dispersio.

Applikaatio ja painomenetelmä vaikuttavat siihen, mitä mustetta tulee painamisessa käyttää. Ominaisuudet, jotka ratkaisevat lopullisen valinnat, ovat musteen koostumus, märkäominaisuudet, kuivaominaisuudet ja toiminnallisuus (kuva 6). Märkäominaisuuksia ovat viskositeetti, painettavuus ja substraatti. Kuivaominaisuuksia ovat rakenne, adheesio ja koheesio sekä pintaominaisuudet. (Hannu 2014.)



KUVA 6. Musteen valinta (Hannu 2014).

Musteissa on erilaisia ainesosia. Nämä voidaan jakaa neljään osaan. Toiminnallinen osa määrittää sähköisen toiminnan. Sen lisäksi musteessa on erilaisia lisäaineita, sidosaineita ja liuottimia. Yleisesti R2R-prosesseissa käytettäviä musteita ovat erilaiset johtavat musteet, kuten hiili, grafiitti, metallikolloidit, hopea, alumiini, kulta, kupari ja nikkeli. (Hannu 2014.)

### 2.3 Alustamateriaalit

Alustamateriaalit eli substraatit voidaan jakaa mekaanisten ominaisuuksien puolesta kolmeen pääryhmään. Materiaaliluokat ovat silloin kiinteä, taipuva ja venyvä. Valintakriteereinä ovat hinta, yhteensopivuus ja lopputuotteen toimivuus. Tärkeimpiä ominaisuuksia ovat lämpöominaisuudet eli kuumakesto, optiset ominaisuudet eli läpinäkyvyys, liuottimien kesto, saatavuus, kostuvuus, puhtaus, tasaisuus ja sähköiset ominaisuudet. Myös leveys ja paksuus voivat vaikuttaa valintaan käyttökohteen ja painokoneen mukaan. Tyypillisiä alustoja ovat muovi ja paperi. (Hannu 2014.)

### 2.4 Käyttökohteet

Painettavan elektroniikan ja painettavan älytekniikan käyttökohteita voivat olla esimerkiksi erilaiset anturit tai komponentit. Peruskomponentteja, kuten kela, kondensaattori ja vastus, on suhteellisen helppo valmistaa. Painettavaa älyä sovelletaan rakennusten rakenteisiin upotettavissa kosteusantureissa ilmoittamaan, jos ja kun seinässä kosteusvuoto tai -vaurio. Biokemiallisella puolel-



la painettavaa älyä on sovellettu hyvinvointiteknologiassa antureina mittaamaan ihmisen iholta tai verestä mielenkiinnon kohteena olevia asioita.

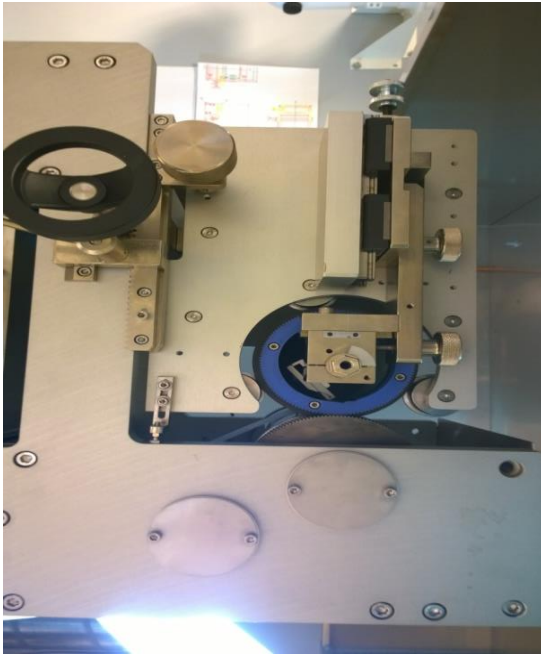
### 3 R2R-PAINOKONE

PrinLabin tutkittava painokone on SOM-100-R2R. Se on erilaisista osista koottu järjestelmä, eikä se vastaa mitään kaupallista kokonaisuutta. Laboratorion R2R-laitteella (kuva 7) on mahdollista käyttää painomenetelmänä rullasilkkipainoa, kohopainoa tai syväpainoa sekä kuumapuristusta.



KUVA 7. R2R-painokone (Tuomaala 2015).

Kuvassa vasemmalla on substraatti rullalla. Se syötetään siitä ohjausyksikön (rekisterin) kautta painoyksikköön (kuva 8), jossa painaminen tapahtuu. Telojen välistä materiaali lähtee painon jälkeen edelleen eteenpäin ja siinä on kohta, johon myöhemmässä vaiheessa todennäköisesti rakennetaan konenäön kamera kiinni painokoneeseen. Kameran jälkeen viira lopulta päätyisi kuvassa oikealla olevalle rullalle. Välissä on toki tarpeen mukaan kuivatusta, ohjausrekistereitä ja mahdollisesti painoteloja, joiden tehtävä ei ole painaa jälkeä ja kuviota vaan pitää viira kireällä.

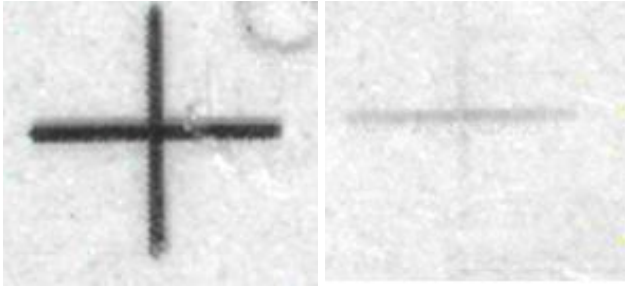


KUVA 8. R2R-laitteen silkkipainoyksikkö (Tuomaala 2015).

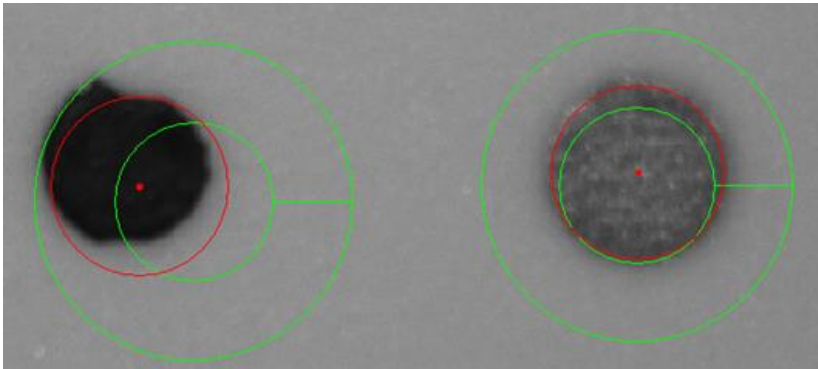
Käytännössä uunikapasiteetti määrittää laboratoriossa käytössä olevan laitteen kapasiteetin. Tällä hetkellä uunin pituus on 1,6 metriä. Se mahdollistaa tulostusnopeuden 3 m/min. Tapauskohtaisesti nopeus muuttuu käytettävien materiaalin mukaan. Musteen paksuus, kuivamisominaisuudet ja ympäristön lämpötila vaikuttavat lopulliseen tulostusnopeuteen.

### 3.1 Kohdistaminen

Seuraavassa on esitetty kohdistusmerkkien käyttöä. Esimerkit ovat alustamateriaalista ja niihin painetuista kohdistusmerkeistä, joiden kuvat on tallennettu konenäkötestauksien yhteydessä. Kahdessa ensimmäisessä kuvassa on kyseessä ns. plus-kohdistusmerkki (kuva 9). Kolmannessa kuvassa kohdistusmerkin muoto on pyöreä kuvio (kuva 10). Painokoneella ovat käytännössä kohdistusmerkeille käytössä kolme eri väriä. Ne ovat musta, harmaa ja valkea. Lisäksi näistä väreistä esiintyy erilaisia sävyjä, jotka vaihtelevat painomusteen valmistajan mukaan.



KUVA 9. Plus-kohdistusmerkkejä (musta ja hopea) (Kuva: Ari Väänänen).



KUVA 10. Ympyrä-kohdistusmerkkejä (musta ja hopea) (Kuva: Heikki Niemelä).

### 3.2 Ohjaus

Laitteistolla tällä hetkellä oleva viiraa säätävä ohjaustoiminto on manuaalinen. Toiminto perustuu siis operaattorin tekemään näköhavaintoon ja sen perusteella operaattori säätää manuaalisesti pitkittäis- tai poikittaisrekisteriä. Säädön vaikutus näkyy ajonopeuden mukaan useiden sekuntien tai minuuttien päästä korjatusta painojäljestä tehdyssä havainnossa.

### 3.3 Alusta ja painomateriaalit

Substraattina eli alustamateriaalina rullalta rullalle -menetelmässä on muovi. Ainoat käytettävät värit ovat kirkas eli läpinäkyvä ja valkea (taulukko 1). Tyypillistä muoviselle alustamateriaalille on, että ne saattavat venyä tai kutistua. Kaikki materiaalit eivät ole yhtä joustavia.

TAULUKKO 1. Käytössä olevat alustamateriaalit (Tuomaala 2015).

Autostat CT5 PET-film	CT5 125um	Autostat
Valox white PTT-film	FR1 Valox 250µm	SABIC Innovative Plastics

Painonopeuteen vaikuttaa mm. materiaalien erilainen kuivuminen. Saman alustamateriaalin käytössä voi olla erilaisia painonopeuksia mm. kuivatusnopeuden erilaisuuden vuoksi. Kuivamiseen vaikuttaa materiaalin paksuuden lisäksi kuivatustapa. Käytössä ovat uunissa kuivattaminen sekä UV-valolla kuivattaminen. Liuotinpohjaiset materiaalit kuivatetaan UV-valolla.

Rullakoneella musteet vaihtelevat painomenetelmän mukaan (taulukko 2). Erilaisia hopeamusteita on käytössä kolme erilaista. Perushopeaa silkkipainossa on kahdelta eri valmistajalta ja sitä löytyy myös syvä- ja kohopainotapaan. Hopeoissa on sävyeroa ja käytettävät kerrospaksuudet vaihtelevat. Lisäksi käytetään hopea-hopeakloridi-yhdistelmämustetta (Ag+AgCl), jossa on sävyeroa perushopeaan. Eri valmistajien hopeavärien sävyeroista johtuen ne heijastavat ja kiiltelevät erillailla. Hopeaväriin lisäksi käytetään grafiittimustetta, jolla saatava painojälki on mustaa. Valmistajien kesken näillä mustilla musteilla ei ole ihmissilmällä havaittavia sävyeroja. Painomenetelmien välillä käytetään grafiittimusteilla eri kerrospaksuuksia. Silkkipainon paksuus on korkeampi ja siitä aiheutuu sävyeroa. Musteet painokoneelle on valittu toiminnallisuuden perusteella. Hopeamusteilla on hyvä sähköinen johtavuus ja grafiittimusteilla on hyvät vastusominaisuudet. Muita värejä, kuten kultaväri, ei ole käytössä. (Tuomaala 2015.)

TAULUKKO 2. Rullapainon musteet (Tuomaala 2015).

<b>Silkkipaino</b>			
CARBON INK	Gwent	C2140423D1	
CARBON SENSOR PASTE	Gwent	C2030519P4	
Carbon PASTE	DuPont	BQ242	
SILVER PASTE	Asahi	LS-411AW	
Silver Paste	Gwent	C2121022D1	
<b>Koho ja syväpaino</b>			
BECTRON Silver CP 6638 VP	Altana	IG60-0003	
BECTRON Silver CP 6639 VP	Altana	IG60-0010	
BECTRON Carbon CP 6620 VP	Altana	IG60-0014	
BECTRON Carbon CP 6621 VP	Altana	IG60-0015	
FLEXOGRAPHIC Silver	Gwent	C2080815P1	
CARBON COATING		Conductive compounds	C-1011

### 3.4 Muut havainnot

R2R-painokoneesta on tiedossa muutamia asioita ja havaintoja, joilla saattaa olla merkitystä konenäön toteutukseen. Tiedossa on, että ohjauksen manuaalisuus aiheuttaa epätarkkuutta. Viiran säätäminen ei siten välttämättä ole helppoa, eikä se aina onnistu oikein. Lopputuloksena saanto on heikko. Lisäksi tiedetään, että käytössä olevat alustamateriaalit venyvät. Koneella ei ennestään ole kameraa, jota voisi käyttää konenäössä. Huomioitava on myös, että painokoneella ei ole entuudestaan varsinaista valaistusta. Koneen mekaanisen ympäristön toteutus saattaa aiheuttaa konenäölle lisähaasteita, koska mekaaniset peltipinnat aiheuttavat huomattavia heijasteita. Koneetta ei myöskään ole eristetty muusta tilasta. Sen vuoksi ohikulkijat aiheuttavat valolle erilaisia varjoja.

## 4 KONENÄKÖ

### 4.1 Määritelmä ja käyttö

Konenäkö voidaan määritellä kokonaisuudeksi, jossa tietokoneen ja kameran muodostama tietokonenäkö on sovellettu teolliseen toimintaan. Järjestelmästä voidaan tyypillisesti tunnistaa seuraavia osakokonaisuuksia: valonlähde, kamera, tietokone ja kuvankäsittelyohjelma. Sovellusesimerkkinä voi olla esimerkiksi pullonpalautusautomaatti, pullotuskone ja teollisuuden robotti, joka testaa koottujen piirilevyjen sähköisiä toiminnallisuuksia. (Konenäkö 2015.)

Konenäköjärjestelmät suorittavat tarkasti ennakkoon määriteltäviä ja ohjelmoituja tehtäviä tai tehtäväketjuja, joita voivat olla vaikka kappaleiden laskenta liukuhihnalta, sarjanumeroiden tai muiden tunnistemerkkien lukeminen tai pintavikojen etsiminen. Konenäköjärjestelmä on hyödyllinen nopeutta, tarkkuutta, väsymättömyyttä ja toistuvuutta vaativissa tehtävissä. Tehtävät, jotka ihmiselle ja ihmissilmälle ovat rasittavia tai hankalia suorittaa, ovat niitä tehtäviä, joissa konenäön hyödyllisyys tulee parhaiten esille. Lisäksi on olemassa tehtäviä, joihin ihmissilmä ei yksinkertaisesti edes pysty. Tällaisia voivat olla esimerkiksi aallonpituudet, joita ihmissilmä ei erota eikä havaitse. Konenäön tyypillinen tehtävä on optinen tarkistus. (Konenäkö 2015.)

### 4.2 Konenäkö prosessina

Järjestelmän toimintaa voidaan karkeasti kuvata seuraavalla tavalla. Anturi (esimerkiksi valokenno) tai esimerkiksi ajastin säätää ja ohjaa kameraa ottamaan kuvaa kohteesta, joka on valaistu riittäväällä tavalla. Ennakkoon tehty optimointi valaistuksessa auttaa korostamaan niitä asioita, jotka kohteesta on tarkkailun aikana tunnistettava ja jotka on saatava kuvatuksi.

Otettu kuva siirretään digitaalisena langattomasti tai kaapelia pitkin tietokoneelle. Kameran ja tietokoneen välissä voi olla erillinen liityntäkortti. Nykyaikaisissa tietokoneissa ja älykamaroissa erillistä korttia ei välttämättä tarvita. Tietokoneelle siirretty kuva käsitellään kuvankäsittelyohjelmalla tai koodilla. Kuvankäsittelyn tavoite on yksinkertaistaa kuva siihen muotoon, että sieltä on helpommin löydettävissä ne asiat, jotka kuvasta halutaan löytää. Yksinkertaistetusta kuvasta voidaan laskea, mitata tai tunnistaa kappaleita tai kappaleen osia.

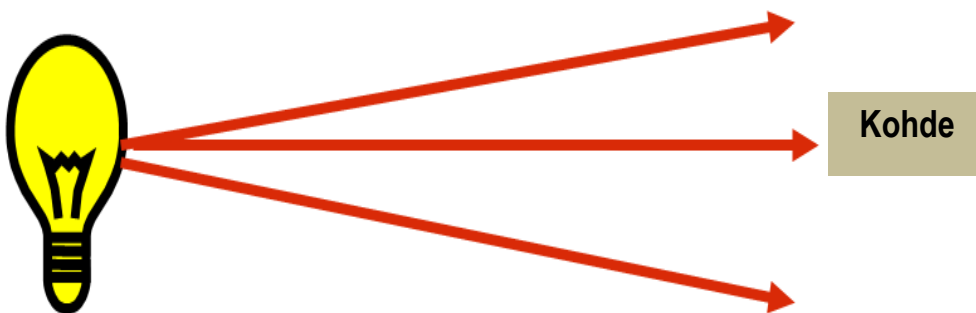
Analysointi tietokoneella ja sen ohjelman avulla sisältää esimerkiksi mittaamista. Saatujen mittau tuloksien perusteella tietokoneohjelma luokittelee kuvan sisältämän tiedon ennalta ohjelmoidulla tavalla esimerkiksi luokkaan hyvä tai huono. Tieto välitetään tuotantolinjalle, jotta esimerkiksi huonot kappaleet voidaan poistaa liukuhihnalta. Tavoitteena voi olla myös hinnan liikeradan säättäminen antamalla toimintoja ohjaaville laitteille riittävä määrä tietoa, joka perustuu kuvaamisesta saatuun tietoon ja on ennalta sovitussa muodossa. Tiedon ennakkoluokittelu "OK"- ja "ei OK"-tyyppisesti pitää ohjaustilanteen ennallaan tai laukaisee jonkin uuden ennalta sovitun toiminnon.

### 4.3 Järjestelmän osat

#### 4.3.1 Valo

Kuvaamisessa yleensä, kuten myös konenäköjärjestelmässä kaikkein tärkeimpänä osana pidetään valoa. Ilman sitä ei informaation lähteen sisältämä tieto siirry havainnoitsijaan, joka voi olla ihminen tai konenäköjärjestelmään liitetty laite tai järjestelmä. Pää tarkoituksena on, että valon tuottama tietoa käytetään jollain tavalla järjestelmässä ja kokonaisuudessa hyväksi. Jos valaistus ja valo eivät ole riittävät, konenäköjärjestelmä kokonaisuutena ei voi toimia, vaan se epäonnistuu tehtävässään. (Alhroth 2010, 12.)

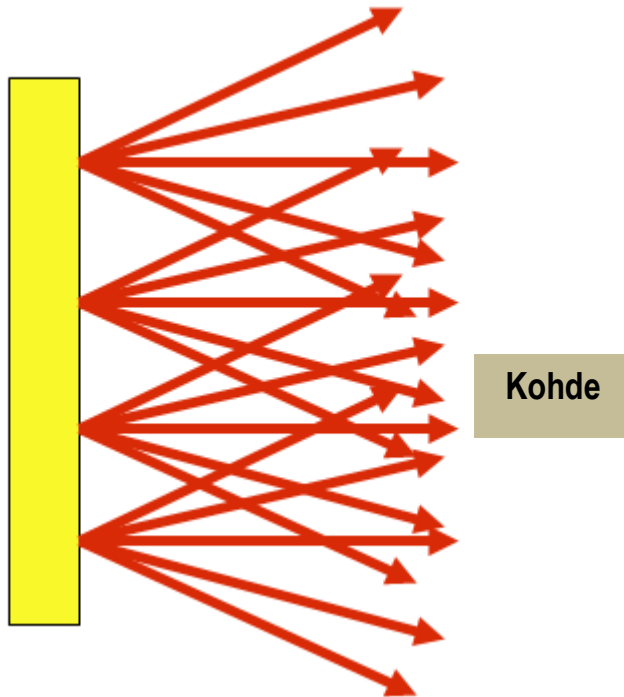
Valotyyppejä on useita. Tyyppi vaikuttaa siihen, miten valo käyttäytyy kohteen näkökulmasta tarkasteltuna. Pistemäisessä valotyypissä (kuva 11) valo lähtee pisteestä tasaisesti ympäristöön, mutta vain osa valosta tulee tarkasteltavaan kohteeseen suoraan.



KUVA 11. Pistemäinen valotyyppi (Viitala 2007, 12).



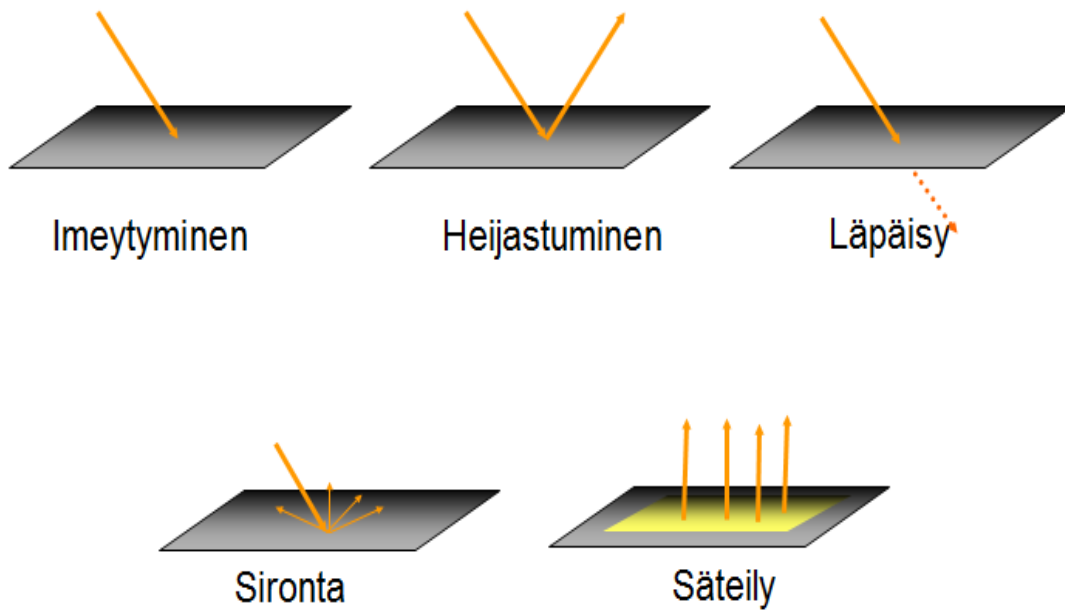
Diffuusiovalotyypissä (kuva 12) valonlähteitä on useita. Niistä lähtevä valo hajaantuu omista pisteistään ympäristöön. Lopputuloksena on, että kohteeseen tulee valoa useista eri kulmista. Valo voidaan muotoilla rengasmaiseksi tai kupolimaiseksi. Rengasvalon kulma on kohteeseen nähden pieni ja kiinteä. Kupolivalossa puolestaan on suuri kiinteä kulma. (Viitala 2007, 14–15.)



KUVA 12. Diffuusiovalotyyppi (Viitala 2007, 13).

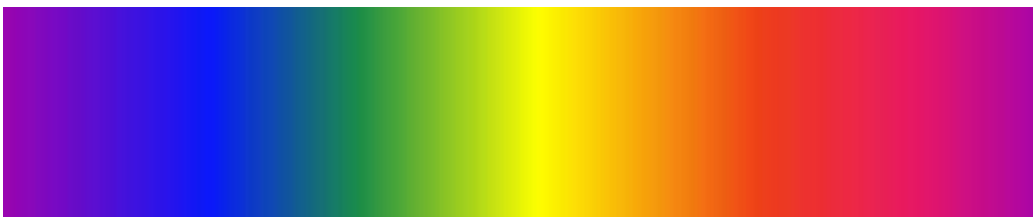
Valaistuksessa on huomioitava valon käyttäytymistä. Valo saattaa heijastua ja aiheuttaa kiiltämistä. Toisaalta myös varjot ovat mahdollisia. Tähän kaikkeen voi vaikuttaa valon sijoittelulla, sillä valonlähteen sijainti ja suuntaus sekä kameraan nähden että kuvattavaan kohteeseen nähden on merkityksellinen. Valon ominaisuudet kuten aallonpituus eli väri ja polarisaatio vaikuttavat valaistuksen onnistumiseen. Erilaisia valaisintyyppäjä käyttämällä voidaan muodostaa erilainen ympäristö. Kupolivalaistus käyttää hyväkseen diffuusiota. Sillä tasoittuvat pinnan heijastukset ja varjot. Darkfield-valaistus puolestaan hyödyntää pientä tulokulmaa. Siinä aiheutuu peiliheijastusta, josta suuri osa jää kameran näkymän ulkopuolelle. Jäljelle jäävässä osassa pinnanmuodon poikkeamiin tulee kirkasta heijastumista, josta on hyvä lukea kohokuvion tekstiä ja tarkistaa sitä. (Alhroth 2010, 13–16.)

Valo voi kulkea useammalla eri tavalla, joista voi toteutua eri tapoja myös yhtä aikaa. Aiemmin mainitun heijastumisen lisäksi valon kulkutapoja ovat imeytyminen, läpäisy, sironta ja säteily (kuva 13).



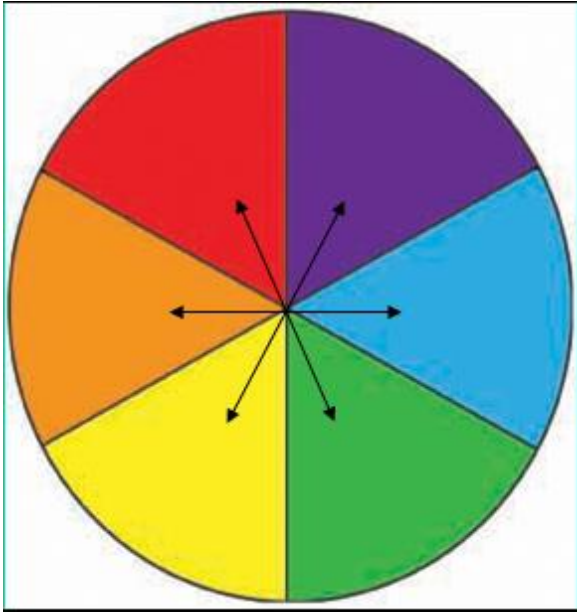
KUVA 13. Valon kulutavat (Viitala 2007, 16).

Spektrin (kuva 14) eri värisävyjä voidaan käyttää hyväksi valojen ja myös muun ympäristön (eli esimerkiksi taustavärien) valintaan ja määrittämiseen. Väreille pätevät seuraavat säännöt. Punainen väri heijastaa punaista valoa. Samoin sininen väri heijastaa sinistä valoa. Valkoinen väri heijastaa puolestaan kaikkia värejä. Musta ei heijasta mitään, vaan imee kaikkia värejä itseensä. (Viitala 2007, 19.)



KUVA 14. Spektri (Viitala 2007, 19).

Kuvan erottelukykyä voi parantaa käyttämällä erilaisia värivaloja. Vastavärien (kuva 15) käyttämisellä saadaan aikaan kontrastia. Käyttö perustuu siihen, että vastavärillä saa aikaan tummempaa väriä. Samaa väriä käyttämällä kohteessa oleva väri haalistuu. (Viitala 2007, 22.)



KUVA 15. Vastavärit (Viitala 2007, 22).

Näkymätöntä valoa voidaan myös käyttää valonlähteenä konenäköjärjestelmän valaistuksessa. Infrapunavärillä on kyky eliminoida osavärien vaikutuksia. Taustalla vaikuttaa punaisen valon toimintaperiaate. Ultraviolettivalolla pystyy korostamaan fluoresoivien värien säteilyä, mutta valo on ihmisilmälle vaarallista. (Viitala 2007, 23.)

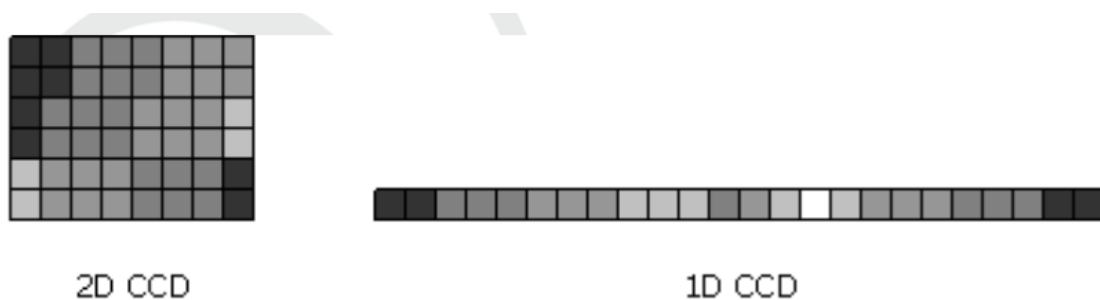
#### 4.3.2 Kamera

Useimmat konenäköjärjestelmät käyttävät mustavalkoisia kameroita, mutta värikameroiden käyttö yleistyy jatkuvasti. Olipa kyseessä mustavalkoinen tai värikamera, niin molemmille on saatavilla laajasti valmiita kuvankäsittelyohjelmistoja. Kameran tyypillisimmät ominaisuudet valinnassa ovat sen tekniset käyttöominaisuudet sekä mahdollisesti lopullisen käyttöympäristön aiheuttamat vaatimukset esimerkiksi lämpötilan tai kosteuden suhteen.

Tiedonsiirtoväylät ja niiden yleistymisen helpottavat nykyään kameroiden valintaa. Väylät ovat suoraan kameroissa ja näin saadaan kameroiden välille suora yhteys tietokoneeseen eikä erillisiä liitäntäkortteja vaadita. Saatavilla on usein USB-väylä (Universal Serial Bus), joka on hyvin yleinen sarjaväyläarkkitehtuuri. USB-väylän nopeus ja virransyöttömahdollisuus vaihtelee standardin mukaan. USB3.0-väylää pitkin kameralle voidaan syöttää sen tarvitsema virta eikä erillistä virransyöttökaapelia tarvita. Tiedonsiirron yhteensopivuuden varmistamisessa on huomioitava konenäköjärjestelmän käyttötarkoitus ja käytettävissä olevat järjestelmän osat.

Kameran ei ole pakko olla PC-pohjaiseen eli tietokoneen rakenteeseen ja toimintaan nojautuva kamera. Se voi olla älykamera, joka on itsenäinen kokonaisuus ja sisältää sulautettuna kuvankäsittelyn prosessorin ja prosessoinnin. Samoin se voi sisältää kuvankäsittelyohjelmiston. Ulkoinen liityntä voi olla tuolloin hoidettu mm. Ethernet-liitynnän kautta tai sarjaväylällä. Älykamerassa voi olla integroitu valmiiksi myös valaistus. Älykameran eduksi voidaan laskea yksinkertaisuus. PC-pohjaisessa laitteistossa voi kuitenkin olla parempi prosessointi- ja laskentateho. PC-pohjainen laite saattaa olla monimutkainen ja kallis. Kameran ja optiikan kiinnitykseen löytyy standardeja, kuten C-, CS- ja F-mount, joiden perusteella keskenään yhteensopivan kiinnityksen voi tarkistaa. (Alhroth 2010, 36–38.)

Kamerassa käytettävän kennotyyppin mukaan kamerat jaetaan kahteen tyyppiluokkaan: CCD-kennokameroiksi ja CMOS-kennokameroiksi. Tämän lisäksi kamerat jaetaan kennon perusteella (kuva 16) siten, onko kyseessä viivakenno vai matriisikenno käyttävä kamera. Viivakamerassa kenno on viivan mallinen ja siinä on yleensä leveyssuunnassa enemmän pikseleitä kuin matriisikamerassa. Viivakamera on kätevä esimerkiksi luettaessa pyörivää kappaletta, esim. tölkkiä, josta tietystä kohdasta luetaan viivakoodia tölkin pyörähtämisen aikana. Viivakamera on tarkempi ja nopeampi. Viivakameran heikkous on suuri valaistuksen tarve. Lisäksi sillä on kallis hinta. Matriisikameran matriisien määrä tekee siitä hitaan. Lisäksi matriisikamera ei ole niin tarkka kuin viivakamera. (Alhrot 2010, 33–35.)

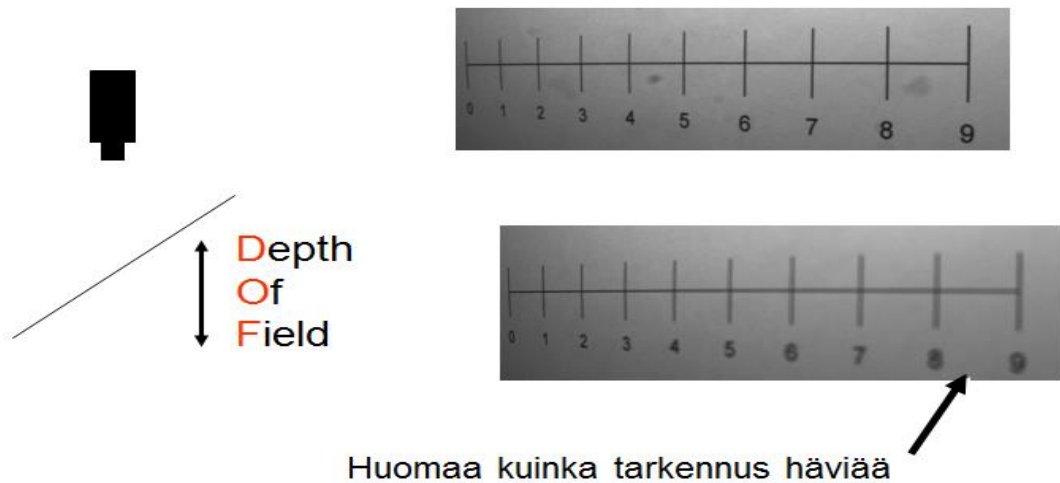


KUVA 16. Matriisi- ja viivakenno (Alhroth 2010).

### 4.3.3 Optiikka

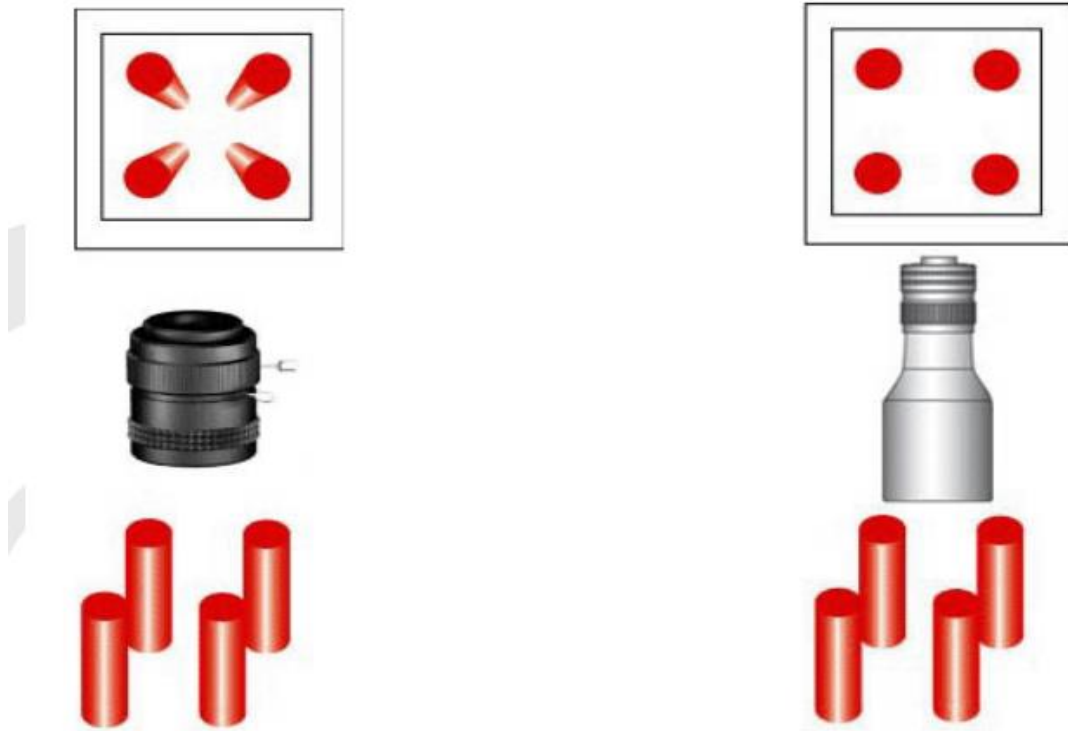
Hyvin valitulla optiikalla voidaan hivenen huonommastakin kamerasta saada haastavaan ko-  
nenäköympäristöön toimiva ratkaisu. Optiikalla pystytään vaikuttamaan mm. kameran linssin ja  
kuvauskohteen etäisyyden tai esimerkiksi kohteen tarvittavan laajan pinta-alan havainnointiin.

Kukin optiikka toimii vain tietyllä etäisyydellä hyvin. Kyseessä on ns. syväterävyysalue. Liian lähellä oleva tai liian kaukana oleva – syväterävyysalueen ulkopuolella oleva – kohde ei voi näkyä tarkasti (kuva 17).



KUVA 17. Optiikan syväterävyys (Viitala 2007).

Linssit aiheuttavat usein vääristymää, jolla kohteen koko, tarkkuus tai muoto vääristyy. Vääristymiä pystyy kuitenkin korjaamaan mekaanisesti erikoislinssillä sekä ohjelmallisesti. Telesentrinen erikoislinssi (kuva 18) on hyvä ratkaisu kohtisuoraan kuvaamiseen ja mittaamiseen, koska se poistaa perspektiivin. Optiikan valinnassa on hyvä tiedostaa, että väärällä optiikalla hyvästäkin kamerasta saadaan tehtyä huono konenäköratkaisu. (Alhroth 2010, 29–30.)



KUVA 18. Perinteisen ja telesentrisen linssin sauvoista muodostama kuva (Alhrot 2010, 30).

Optiikan kiinnityksissä on käytössä standardeja. Tiettyjä kiinnityksiä käytetään linseillä tietynlaisien ominaisuuksien yhteydessä. CS-kiinnityksellä olevilla linseillä on lyhyet polttovälit ja laaja kuvakulma. C-kiinnityksellä olevilla linseillä on pidempiä polttovälejä ja kapeampia kuvakulmia (Viitala 2007, 7–8.)

#### 4.3.4 Tietokone, sovellukset ja kuvankäsittely

Tietokoneen kytkeminen kameraan vaatii oikeanlaisen yhteensopivan rajapinnan. Tässä yhteydessä tarvitaan koneelle myös riittävät ohjelmistot ja sovellukset, jotta rajapintoja saadaan ohjattua. Rajapintojen kautta saadaan sitten siirrettyä tietoa sovelluksen käsiteltäväksi. Ensimmäinen kuvan oton ja siirron jälkeinen toimenpide on kuvankäsittely. Kuvankäsittely on kamerasympäristön eli kuvaustaustan ja valaistuksen ohella tärkeä osatekijä, jotta konenäkö toimii hallitusti ja suunnitellusti. Kun kuvankäsittely saadaan hoidettua toivotulla tavalla, sen jälkeen sovellus ja ohjelmallinen koodaaminen voivat tehdä muita haluttuja tehtäviä, joita konenäön avulla alun perin on käyttökohteessa tavoiteltu tehtävän.

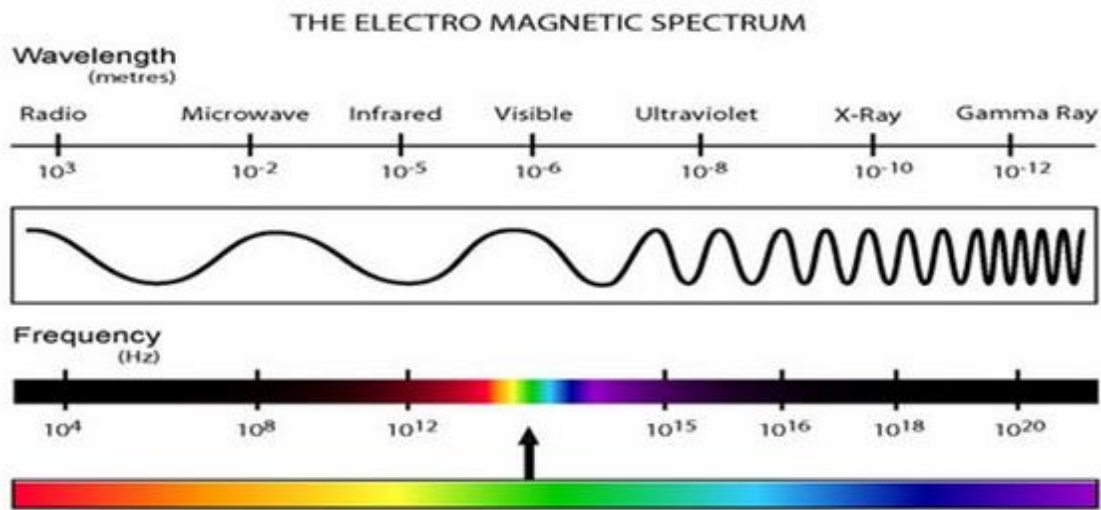
Kuvan ja kuvankäsittelyn ymmärtämiseksi on hyvä tuntee käsitteitä ja termejä. Kuva on kaksiulotteinen valon intensiteettifunktio,  $f(x, y)$ , jossa on paikkakoordinaatit  $x$  ja  $y$ . Funktiolla  $f$  on arvo, joka kertoo kuvan kirkkaudesta. Se on verrannollinen harmaasävyyden kussakin kuvan pisteessä (pikseli). Digitaalikuvaan jokaista tuollaista pistettä edustaa tietty määrä bittejä koodaustavan mukaisesti. Esimerkiksi 8-bittisessä harmaasävykuvassa yksi kuvapiste voi saada 256 eri arvoa. (Jauhiainen 2006, 3.)

Kuvankäsittelyssä ensimmäinen vaihe on kuvan kerääminen. Toisessa vaiheessa tapahtuu esikäsittely, jossa muokataan kontrastia kohinaa poistamalla. Kolmas vaihe on segmentointi. Sen tarkoitus on jakaa kuva osiin tai eristää siitä käsiteltäväksi vain mielenkiinnon aiheet ja niihin liittyvät alueet. Tämän jälkeen käsiteltävänä on dataa, jossa ovat kiinnostavat pisteet. Ne sisältävät mielenkiinnon reunat, tai vaihtoehtoisesti ne pisteet, jotka jäävät mielenkiinnon kohteeseen sisään. Reunaviiva kiinnostaa yleensä silloin, kun ollaan kiinnostuneita muodosta. Segmentoinnin jälkeen tapahtuu neljäs vaihe eli hahmon tunnistaminen. Viimeinen vaihe on lopullisen objektin tunnistus (recognition) ja tulkinta (interpretation). (Jauhiainen 2006, 4.)

Kuvan perusmuokkaamista voi toteuttaa poistamalla kuvasta erilaisia harmaan sävyjä. Tarpeen mukaan harmaasävykuva voidaan muuttaa vain mustaa ja valkoista sisältäväksi kuvaksi, kun kuvaan halutaan tuoda jotain tiettyjä piirteitä voimakkaammin esille ja mahdollisesti poistaa häiritseviä ja tilanteessa epäolennaisia piirteitä. Lopputuloksena saatu yksinkertaistettu kuva on helpompi lukea ja analysoida.

Elektromagneettinen spektri (kuva 19) sisältää sekä ihmissilmälle näkyvät että näkymättömät värit ja aallonpituudet. Ihmissilmä erottaa aallonpituuksilla 400 nm (violetti) – 780 nm (punainen) olevat värit. Valkoinen väri sisältää kaikkia värejä. Kuvassa on esitetty aallonpituuksien lisäksi taajuudet. Silmälle näkyvä aallonpituus sisältää yhteensä seitsemän eri väriä. (Applications and usage of DIP 2014.)

The electromagnetic spectrum according to the energy of photon is shown below.



In this electromagnetic spectrum, we are only able to see the visible spectrum. Visible spectrum mainly includes seven different colors that are commonly term as (VIBGOYR). VIBGOYR stands for violet , indigo , blue , green , orange , yellow and Red.

*KUVA 19. Elektromagneettinen spektri ja ihmissilmälle näkyvät värit ja aallonpituudet (Applications and Usage of DIP 2014).*

Kuvankäsittelyllä on mahdollista saada siis näkyviin myös niitä asioita, joita ihmissilmä ei erota. Suurin haaste konenäkösovelluksissa ja laitteissa on saada aikaan kuva, hahmottaa kuvasta haluttu asia ja opettaa sovellukselle, mitä kuvasta lopulta halutaan tunnistaa. Turhalta kuvankäsittelyltä välttyy, kun tuntee kuvaamisen perusteet. On ymmärrettävä, miten lopullinen kuva muuttuu, jos kameraa ja optiikkaa käytetään eri tavoilla tai jos niiden tekniset ominaisuudet muuttuvat.

Seuraavaksi Tutorialspointin havaintoesimerkki siitä, kuinka liikkuvan kohteen kuvaamistapa (kuva 20) muuttaa kuvasta erottuvia asioita. Nopeampi kuvanotto ehtii pysäyttää liikkuvasta kuvasta yksityiskohtia paremmin. Ylhäällä olevissa kuvissa vesi on yhtenäisempi ja samea alue. Alempana puolestaan on lyhyemmällä valotusajalla saatu kiinni kuvaan liikkuvat pisarat. Tämän tyyppisten perusasioiden tarkastelu konenäköjärjestelmän rakentamisessa, kameran ja optiikan valinnassa ja lopullisessa kuvanoton toteuttamisessa on olennaista myös painokoneen liikkuvan kohdistusmerkin saamiseksi kuvaan. Mitä parempi kuvatekninen toteutus ennakkoon saadaan suunniteltua ja toteutettua, sitä vähemmän jää kuvankäsittelyn rooliksi ennen lopullista onnistumista, jossa haluttu asia havaitaan ja tunnistetaan.





Then you set your shutter speed to a faster speed and you get.



Then again you set your shutter speed to even more faster and you get.



KUVA 20. Valotusajan vaikutus liikkuvan kohteen kuvatarkkuuteen (*Digital Image Processing Quick Guide 2014*).

Kaiken kaikkiaan digitaalinen kuva on siis joukko diskreettejä kirkkausarvoja. Kuvatiedot sisältävät joukon ykkösiä ja nollia. Näitä käsittelemällä otetusta kuvasta voidaan saada esiin ihmiskäsittelemättömässä olevia asioita ja tietoja. Mitä huonommat ovat kuvaolosuhteet ja laitteet, tai jos ihminen ei osaa ottaa laitteista ja niiden ominaisuuksista kaikkea hyötyä irti, niin sitä enemmän joudutaan laskemaan kuvankäsittelyn varaan. Tämä pätee niin konenäkösovelluksiin

kuin tavalliseen valokuvaukseenkin. Kyse on kokonaisuudesta ja sen kokonaisvaltaisesta hallinnasta.

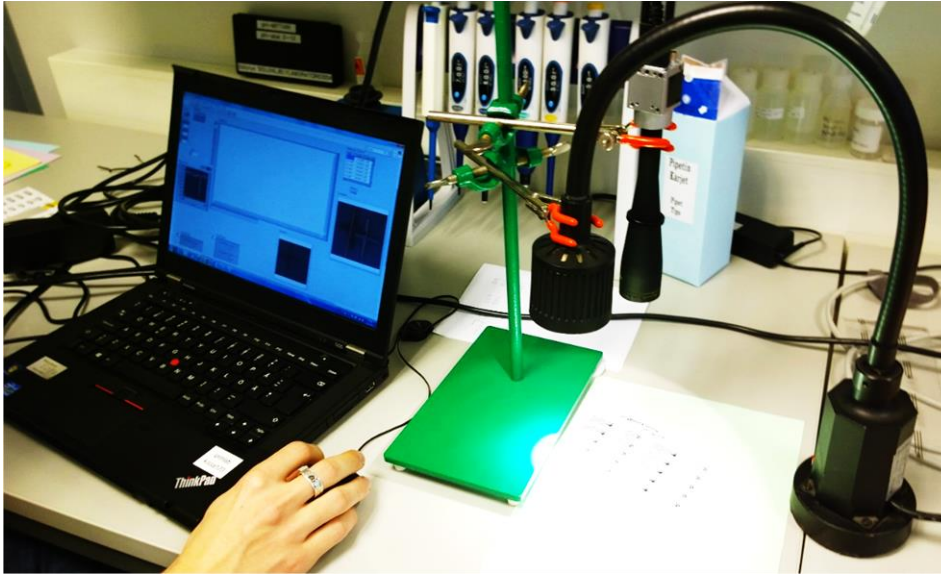
## 5 TOTEUTUS JA TULOKSET

Työssä haettiin selvitystä painokoneen konenäköteoriassa keskeisistä asioista. Esitutkimuksella haluttiin tunnistaa rajoitteita ja mahdollisuuksia, joiden avulla tulevaa konenäköjärjestelmää voisi suunnitella ja toteuttaa. Alustavien laitteiden ja ohjelmistojen tutkimisella ja testaamisella haluttiin varmistaa, soveltuvatko ne käyttöön. Värien ja valon testaamisesta haluttiin tukea jatkokehitykseen.

Opinnäytteessä tutkittiin konenäön määritelmää ja siihen liittyviä järjestelmän osia perehtymällä teoriaan sekä käytännön sovelluksiin ja laitteisiin. Jo toteutetuista konenäköratkaisuista haettiin tietoa mm. VTT:ltä Oulussa. Vertailua tehtiin myös Nokia Oyj Oulun tuotekehityksessä konenäköä käyttävään, elektroniikan testaukseen kehitettyyn robottisovellukseen. Lisäksi olen peilannut aiheita ja tietoutta nykyisen työnantajani Nokian sekä aiemman työnantajani JOT Automationin tuoteratkaisuihin ja käytäntöihin automaatio- ja elektroniikkateollisuuden parissa. Suurena apuna perustietojen käsittelyssä ja soveltamisessa ovat olleet vuonna -82 alkanut freelancer-tyyppinen valokuvausharrastus sekä Ilmavoimien tiedustelukuvauksesta, automaatioinsinöörin työurasta sekä elektroniikkateollisuuden työurasta käytännön työstä kertynyt tietotaito. Haitaksi ei tietenkään voi laskea hiljattain opintojen kautta päivittynyttä koodauksen, kuvankäsittelyn ja painettavan elektroniikan tietoutta.

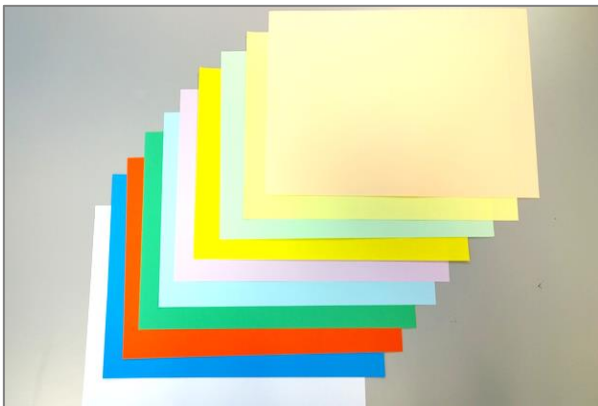
### 5.1 Ympäristöolosuhteet – tausta ja valaistus

Teoriassa valaistus on tärkein ja vaikuttavin osa konenäön toteutuksessa. Lisäksi taustalla ja taustaväreillä on merkitystä, koska niiden voidaan ajatella olevan osa valaistuskokonaisuutta. Tästä ei kuitenkaan käytännössä saatu varmuutta asiaan. Käytettävissä olevan ohjelmakoodin alkoversioilla testattiin pöytätestinä peruskohdistusmerkkien tunnistamista. Testikokoonpanossa (kuva 21) näkyy kannettava tietokone, jossa on LabView-ohjelmisto asennettuna. Tietokone on kytketty kaapelilla kameraan. Kuvausta auttamaan ja kohdistusta parantamaan on asetettu valaistus. Valaistuksen kohta ja optiikan etäisyys tutkittavasta pinnasta ovat tutkimuksen ajan kiinteitä.



KUVA 21. Taustaväritestin testikoonpano (Kuva: Ari Väänänen).

Kirkkaalle (läpinäkyvä) ja valkealle alustamateriaalille käytettiin erilaisia taustavärejä (kuva 22). Tässä yhteydessä on huomattava, että mustaa väriä ei ollut käytössä. Kaikissa taustaväritutkimuksen mittauksissa kohdistusmerkki oli plus-merkin mallinen. Yksikään tutkituista väreistä ei toiminut huonommin kuin muut. Tutkimuksella ja pöytätestillä ei voitu kiistattomasti todeta, mitä taustavärejä tulisi käyttää. Taustavärien valinnalle ei voida tällä testillä antaa jatkosuositusta tai ohjetta. Teoriaan pohjautuva alustava suositus on jatkaa taustaväritutkimuksia valkoisella, mustalla, eri sävyisillä harmailla sekä punaisella värillä. Lopputoteutukseen on hyvä harkita, voidaan-ko rakentaa ratkaisu vaihtuvasta taustaväristä, jotta kontrastit saadaan eri alustamateriaaleilla helpommin esiin.



KUVA 22. Taustaväritutkimuksessa testatut taustavärit (Kuva: Ari Väänänen).

Taustaväritutkimuksessa tutkitut eriväriset plus-kohdistusmerkit olivat vahvuudeltaan hieman erilaisia. Kirkkaaseen alustaan painetut merkit olivat ohuempia kuin tutkittavana olleet valkeaan alustaan painetut merkit. Molempien muoto oli sama. Merkin vahvuus (paksuus) ei oletettavasti vaikuta merkittäväällä tavalla testiin, vaan olennaisinta käytetyissä merkeissä on niiden muoto, joka tunnistetaan periaatteessa yhtä hyvin ohuesta ja paksusta merkistä. Muodon tunnistuksen jälkeen kyetään hakemaan merkin pystyviivan reuna.

Kohdistuksen lukemisen yhteydessä havaittiin mittausepä tarkkuutta. Mahdollisesti kyse oli liiallisesta tarkkuudesta, sillä tunniste- ja kohdistuspisteitä ilmestyi kuvankäsittelyyn liiaksi sinne tänne. Syynä saattoivat olla sovellukseen asetetut parametrit. Tiedetään, että plus-merkin mallinen kohdistusmerkki on alun perin painamisen aiheuttaman epätarkkuuden vuoksi hieman pyöreä ja laite hakee hajapisteitä myös varsinaisesta kohdistusmerkistä. Voidaan päätellä, että muut hajapisteeet syntyvät ilmeisesti havaituista taustapaperin pinnan muodoista. Taustapapereille on jatkossa syytä harkita lisätutkimusta, jossa kameran asetettuja parametreja muutetaan ohjelmistokoodissa, jotta turhat tunnistamispisteet saataisiin pois.

Kvanttunnistamisen koodien kokeilun yhteydessä havaittiin, että laboratorion valaistuksen varjojen eliminointi on avainasemassa kuvantunnistuksen onnistumisessa. Tilojen valaistukseen käytetyllä muulla lisävalolla ei olisi kovin suurta merkitystä tunnistuksen onnistumisen kannalta. Periaatteessa prosessiympäristössä riittää kuvauspaikalla kiinteä kohdevalo, johon ei lankea ylimääräisiä varjoja esimerkiksi ohikulkijoista. Valon ja kameran ympärillä kannattaa rakentaa jonkinlainen kuori eristämään mittaus- ja kohdennusalue valoon ja heijastumiin liittyviltä häiriöiltä. Valaisintyyppinä pienellä tulokulmalla oleva valo saattaa olla todennäköinen toimiva valo. Sen pitäisi heijastaa tasopinnassa halutut merkit niin, että ne pystytään tunnistamaan. Mikäli laboratoriossa oleva kohdevalaisin ei riitä, kannattaa kokeilla kameran ja optiikan ympärille kehänä tulevaa valaisinta oikein mitoitetuna. Lisäksi kannattaa harkita salamavalojen kiinteää asennusta, kuten VTT on linjastollaan tehnyt.

Teoriassa valon aallonpituudella on merkitystä konenäön käytön onnistumiseen. Mikäli kohdistusmerkin lukemisessa jatkossa on häiritsevää toistuvaa haastetta, kannattaa tehdä lisätestiä esimerkiksi kohde- tai taustavalaisimella, jossa valon aallonpituutta voi muuttaa. Valaistuksen lisätutkimus ja valonvärien testaaminen on suositeltavaa huolimatta mahdollisesti turhaksi jäävien valaisinten aiheuttamista kuluista.

Valaistusta on myös pohdittava osana kuvan ottamista. Voi olla, että käytetty valo on taajuudeltaan sellaista, että se häiritsee kuvanottoa. Pysyvästi tai satunnaisesti epäselvä kuva voi olla merkinä tästä. Asiaan törmättiin painokoneella ensimmäisissä prosessin aikaisissa testikuvauksissa, joita yritettiin tehdä liikkuvaan kohdistusmerkkiin. Mikäli valaistusta ei halua tai sitä ei voi muuttaa, on tutkittava, voiko kuvan ottamistaajuutta muuttaa tai hallita niin, että kuva onnistuu.

## **5.2 Kamera ja optiikka**

Tutkittavana ja testattavana olivat Baslerin ace-sarjan USB-3-kamera sekä siihen liitettynä Azuren optiikka. Laitteilla on suora yhteensopivuus LabView -ohjelmistojen kanssa niin, että sovellukset tukevat suoraan kyseessä olevaa HW-rajapintaa ja niiden toimittamaa kuvaa. Kameraa voidaan käyttää myös omalla Baslerin Pylon Camera SW-ohjelmalla. LabView-tuki on ollut yksi päätekijä kameraa valittaessa.

Kameran teknisistä tiedoista (taulukko 3) todetaan, että valittu kamera ja valittu optiikka sopivat keskenään yhteen. Niissä molemmissa on mekaaninen rajapinta C-mount-standardin mukaan. Virransyötöstä havaitaan, että kamera vaatii tietokoneelta USB3-rajapinnan. Jos tietokoneessa on pelkästään USB2-liitin – kuten käytettävissä olleessa tietokoneessa alun perin oli – kamera ei toimi. Liitin toki menee paikoilleen, mutta kamera ei saa virtaa, koska sille ei ole tarjolla virransyöttöä suunnitellulla tavalla. Virransyötön mahdollistaa vain USB3-standardin mukainen liityntä.

TAULUKKO 3. Kameran teknisiä tietoja (Basler Ace Camera Data Sheet 2015).

TECHNICAL DETAILS

Specifications				
Basler ace	acA640-90um/uc	acA640-120um/uc	acA640-850um/uc**	acA645-100um/uc*
Resolution (H x V pixels)	659 x 494	659 x 494	640 x 480	659 x 494
Sensor	Sony ICX424	Sony ICX618	PYTHON 300	Sony ICX414
Sensor Size (optical)	1/3"	1/4"	1/4"	1/2"
Sensor Technology	Progressive Scan CCD	Progressive Scan CCD	CMOS, global shutter	Progressive Scan CCD
Pixel Size (µm)	7.4 x 7.4	5.6 x 5.6	4.8 x 4.8	9.9 x 9.9
Frame Rate	90	120	850	100
Mono / Color	Mono/Color			
Video Output Format	Mono (8,12,12p) YCbCr 422_8, Bayer (8,12), RGB 8, BGR 8			
Interface	USB 3.0			
Synchronization	Via external trigger or free-run			
Exposure Control	Via external trigger or programmable via the camera API			
<b>Mechanical / Electrical</b>				
Housing Size (L x W x H)	29.3 mm x 29 mm x 29 mm			
Housing Temperature	Up to 50 °C			
Lens Mount	C, CS	C, CS	C	C, CS
Digital I/O	1 opto-isolated input + 1 opto-isolated output + 2 Fast-GPIO (configurable as In/Out)			
Power Requirements	Via USB 3.0 interface			
Power Suspend Mode	Yes, less than 0.02 W, configurable			
Power Consumption	3 W	3 W	2.8 W	3.3 W
Weight (typical)	<80 g			
Conformity	CE, FCC, IP30, RoHS, UL			
<b>Software Environment</b>				
Driver	Basler pylon Camera Software Suite or 3rd party USB3 Vision Software			
Operating System	Windows, Linux - 32 bit and 64 bit			
Conformity	USB3 Vision, GenICam			

Specifications are subject to change without prior notice. Latest specifications can be found on our website. Please visit [www.baslerweb.com/manuals](http://www.baslerweb.com/manuals) for the detailed camera User's Manual and [www.baslerweb.com/thirdparty](http://www.baslerweb.com/thirdparty) for information on third party software.

\* Available Q2/2015 \*\* Available Q3/2015

Baslerin USB-kamerassa (kuva 23) etupuolella kameraa on linssi (vasemmanpuoleinen kuva) ja kameran takaosasta (oikeanpuoleinen kuva) löytyvät liittynät yhdyskaapelille, jolla liitytään tietokoneelle. Sitä myöten kuva saadaan vietyä kuvankäsittelyyn.



KUVA 23. Basler USB kamera (Basler Ace Camera Data Sheet 2015).

Azuren optiikka ja teknisiä tietoja optiikasta on kuvassa 24. Liityntä C on yhteensopiva kameraan. Kyseessä on telesentrinen eli perspektiivin hävittävä optiikka.

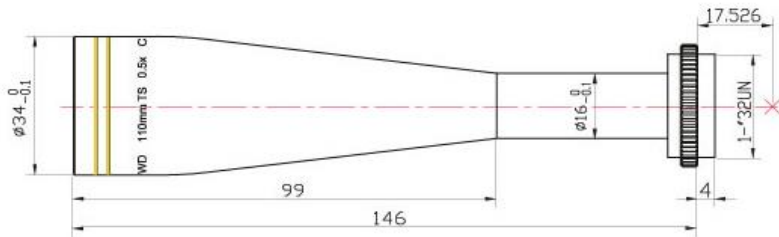
**>AZURE- 11005THM**

**► Specification**

Working Distance : 110mm  
 Magnification : 0.5x  
 NA : 0.026  
 Mount : C  
 Effective Fno: 9.5  
 Format : 2/3"  
 Distortion : <0.012%  
 Depth of Field : 3mm  
 Dimension :  $\varnothing 34 \times 146$ mm  
 Field Range: 17.6mm  
 Weight : 143g



**► Dimension**

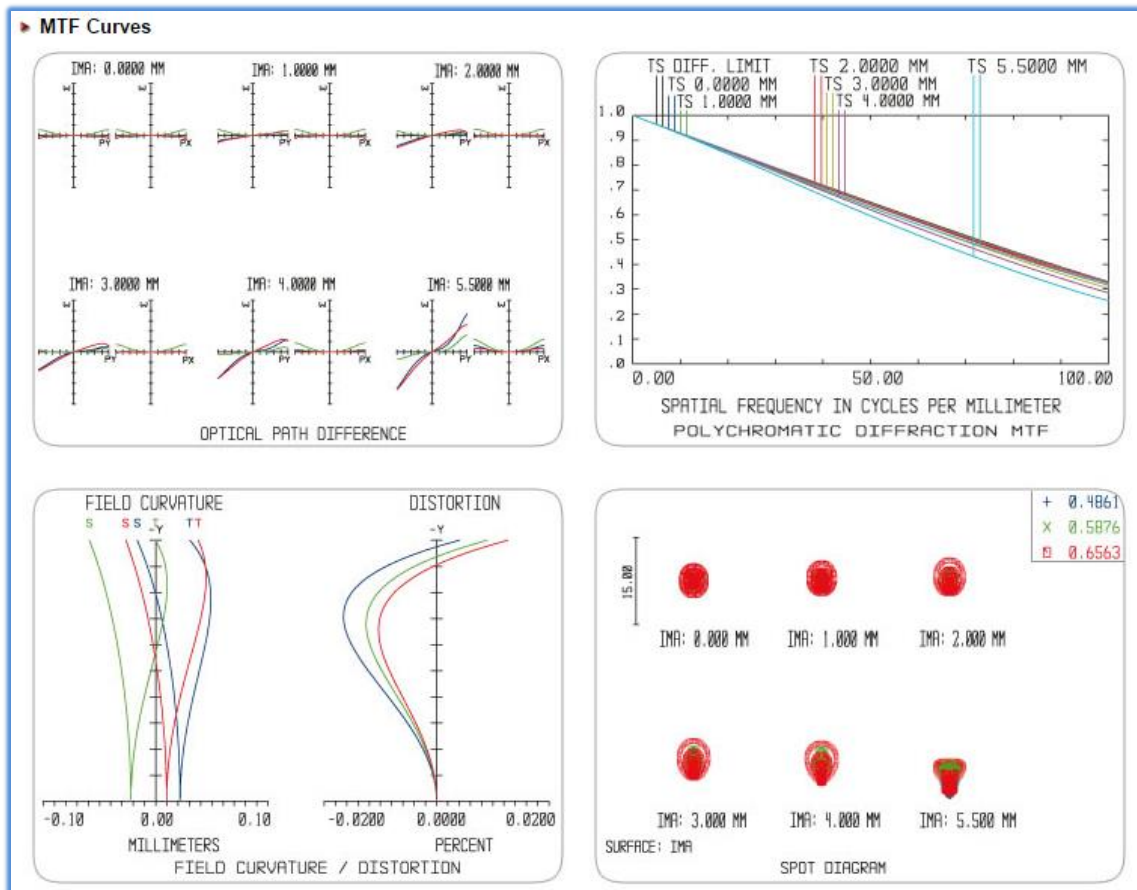


KUVA 24. Optiikka (Azure-1105THM Optics Data Sheet 2013).

Optiikan käyrät (kuva 25) antavat lisätietoa optiikan ominaisuuksista. Syväälle ominaisuuksiin tai niiden vaikutuksiin ei testissä menty. Kamera oli saatavilla ja siihen kytkettiin saatavilla ollut optiikka onnistuneesti. Mikäli valaistuksella, kameran suojauksella, kohdistusmerkkien muuttamisella tai painomateriaalien valinnoilla ei pääse toivottuun lopputulokseen, on tutkittava, voiko optiikal-



le tehdä jotain. Optiikan käyristä saa tietoa mm. optisen reitin eroista, spatiaalitaajuudesta, kenttäkaarevuudesta, vääristymästä ja kohdealueen muodosta. Näiden ja mahdollisen toisen vertailuoptiikan vertaaminen vaatii perehtyneisyyttä asiaan. Alustavasti näyttää siltä, että hankitulla kameralla ja optiikalla voi tehdä ensimmäisen toteutusversion painokoneen konenäkösovellukseksi. Optiikkaa ei kannata ainakaan tässä yhteydessä vaihtaa.



KUVA 25. Optiikan tekniset käyrät (Azure-1105THM Optics Data Sheet 2013).

Optiikan valinnasta tiedetään seuraavaa. Valittavana on ollut alun perin kaksi samankaltaista tai jopa samanlaista optiikkaa. Käytännössä ne ovat olleet lyhyt ja pitkä Azuren optiikka. Tekniset ominaisuudet ovat olleet hyvin pitkälle samat. Optiikoiden hintakin on ollut sama. Valituksi oli kuitenkin tullut pidempi optiikka, joka voi olla kätevämpi ja helpompi kiinnittää tukevasti. Lyhempi optiikka olisi kuitenkin ehkä voinut olla tällaiseen tasopinnalla olevaan hahmon ja kuvion tunnistukseen parempi. (Tuomaala 2015.)

### 5.3 Tietokone, sovellukset sekä kuvan otto ja sen käsittely

Käytössä oli HP:n kannettava perustietokone Windows-käyttöliittymällä. Ensimmäinen käytettävissä ollut tietokone hylättiin rajapintojen riittämättömyyden vuoksi. Kamera ei ole USB2-yhteensopiva, joten kone vaihdettiin uudempaan, joka tuki USB3-rajapinnan käyttöä. Ilman tuota rajapintaa kamera ei toimi eikä saa virtaa.

Molemmille tietokoneille asennettiin erikseen tarvittavat ohjelmistot eli tässä tapauksessa kameran ja optiikan ajurit sekä National Instrumentsin LabView-sovellukset osaohjelmistoinen. Tilajan välineistöä odotellessa nämä työllistävät vaiheet toistettiin myös henkilökohtaiselle koneelle, jotta asioita saataisiin edes jollain lailla eteenpäin. Ennakoimatonta ylimääräistä työtä teetti myös alkuperäisten oppilaslisenssien riittämättömyys. Jo ladatut ohjelmat piti poistaa ja uudelleen asentaa kattavampien lisenssien ohjelmistoilla.

Laajuudestaan huolimatta käytetty ladattu kokonaisuus National Instrumentsin LabView-ohjelmistoja ei tuntunut aluksi riittävän. Lisenssien kattavuuden rajoitukset hankaloittivat aluksi mm. saatavilla olevien komponenttien ja esimerkkikoodien määrää ratkaisevasti. Vaikuttaa siltä, että National Instrumentsin LabView-ympäristö on varsin laaja kokonaisuus erilaisia osamoduuleja ja niistä eri tavoin koottuja paketteja. Mikäli vastaavassa hankkeessa ei olisi entuudestaan olemassa ohjelmistoja ja lisenssejä, tulisi harkita todelliset perusteet ja hyöty lähteä hankkimaan ja käyttämään näin raskasta ohjelmistokokonaisuutta puhtaalta pöydältä. Kysymys jää auki, koska tällä kertaa ohjelmisto ja lisenssit ovat jo olemassa ja toteutusta haluttiin tutkia LabView kautta.

Ohjelmistojen sisällöstä ja tarjonnasta voidaan huomioida seuraavaa. Vision Builder -moduulilla päästään näkemään ja kokeilemaan erilaisia valmiita malleja ja niiden toimivuutta. Varsinaiseen omiin tarpeisiin tehtävän koodin ja toiminnallisuuden muokkaamiseen käytetään Vision Development -moduulia. Olennaisimmat kirjastot kuvankäsittelyyn ja kohteiden tunnistukseen tai muuhun kuviin sekä kameroihin liittyvään logiikkaan ovat IMAQ ja IMAQdx. Nämä kirjastot asentuvat Vision Acquisition Softwaren tai Vision Development Modulen kautta. Tutkittavat valmiit mallit kuvata tunnistamisessa löytyvät "Pattern recognition" -alueelta. Jos Vision-ohjelmistoja ei haluta tai voida käyttää, tulee kuvankäsittelyssä käyttää avoimen lähdekoodin kirjastoa (OpenCV). Sitä voi kutsua tarvittaessa LabView'n sisältä, kun ohjelmisto muilta osin on käytössä. Tällaisessa tapauksessa tarvitaan tekstipohjaista ohjelmointia. OpenCV -käytössä ohjelmointia voidaan tehdä C-, C++-, Python- ja Java-ohjelmoinneilla. Käytännössä tulee luoda itse oma dll-kirjasto, jota käytet-

täisiin LabView'n kautta kutsumalla. (Petterson 2015.) Lisätietoja lisätutkimuksiin saa esimerkiksi NI:n OpenCV-sivustolta ja OpenCV-yhteisösivustolta (OpenCV. 2015).

Viimeistään siinä vaiheessa, kun kamera on painokoneessa kiinni, tulisi suunnitella kuvanottoa syvällisemmin. On haettava lisätietoa ja vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

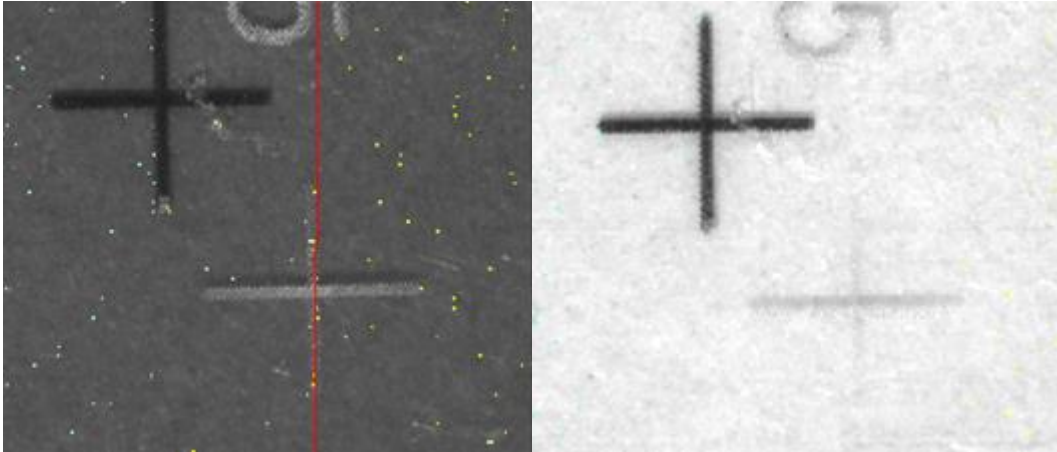
- Kuinka usein ja miksi kuva kannattaa ottaa?
- Millaisia poikkeustilanteita linjastossa voi esiintyä ja kuinka usein ne esiintyvät?
- Miten ne vaikuttavat kuvanottotarpeeseen?
- Kauanko mahdollisen korjauksen tekemisestä kuluu aikaa, kunnes korjaus alkaa näkyä kuvissa onnistuneesti?

Toteutuksessa on valmistauduttava siihen, että prosessi saa tarvitsemansa ajan korjauksen tekemiseen. On eliminointava liian usein tapahtuva kuvaus, laskenta ja ohjaus, jotta vältetään virheellisestä ylikorjaukselta liikeradan ohjaamisessa. Kuvien tallentamiselle ja käsittelylle voi tulla resurssiraja vastaan esimerkiksi käytettävissä olevan muistin loppuessa.

Kuvankäsittelymahdollisuuksia muulla tavoin kuin alkuperäisin ohjelmistoesimerkein voi olla hyvä miettiä. Tiettyyn rajaan saakka ohjelmistoilla ja käytetyllä koodilla voi tehdä ihmeitä epäselvälle kuvalle. Jos on kokemusta kuvankäsittelystä ja koodaamisesta, kannattaa harkita, onko mahdollista käsitellä kuvaa vielä uudelleen erilaisella tavalla, ennen kuin muuttaa kiinteää valaistusta, kiinteää kameraa, kiinteää optiikkaa tai muuta kiinteästi jo rakennettua laitteiston osaa.

#### **5.4 Kohdistus**

Kohdistusmerkeistä testattiin jo aiemmin käytössä olleita plus-merkkejä. Niiden värit vaihtelevat niin, että eri kerroksilla käytetään eri värejä. Merkkien päällekkäin ja limittäin meno aiheuttaa jonkin verran haastetta jo peruspöytätestissä. Testauksessa huomattiin, että yksittäisen, jopa silmälle hyvin hankalasti näkyvän merkin tunnistaminen (kuva 26) ei tuota kameralle ja ohjelmistolle paikoillaan pysyvänä vaikeuksia.



*KUVA 26. Kohdistamisesimerkinä kirkas alustamateriaali ja plus-kohdistusmerkki (musta ja hopea) sekä sininen tausta (vasen kuva) ja valkoinen tausta (oikealla oleva kuva) (Kuva: Ari Väänänen).*

Liikkuvasta viirasta tunnistaminen on hankalampaa. Se ei onnistu samankaltaisella kokoonpanolla kuin pöytätestissä käytettiin. Valaistus ei ole riittävä eikä tarkoituksenmukainen. Lisäksi optiikka ei ole suojattu varjoilta eikä heijastumilta. Liikkuvan kohdistusmerkin tunnistaminen vaatii seuraavien aiheiden lisätutkimuksia: kuvanottotaajuus, musta ja punainen taustaväri, kameran ja optiikan suojakuori, valaistuksen aallonpituus ja valaistuksen taajuus. Tulevaan koodiin on harkittava myös jonkinlaista kalibrointiominaisuutta. Sitä pitäisi pystyä käyttämään halutessaan ja aina ennen painon aloittamista. Tätä puoltaa se, että kameraa on aiottu käyttää myös muualla. Jos näin on, säädöt eivät todellakaan tule pysymään samana ilman kalibrointia ja hahmojen ja kohdistusmerkkien lukeminen tulee olemaan epävarmaa. Kannattaa kyseenalaistaa, onko kameran ja optiikan irrottaminen todella tarpeellista.

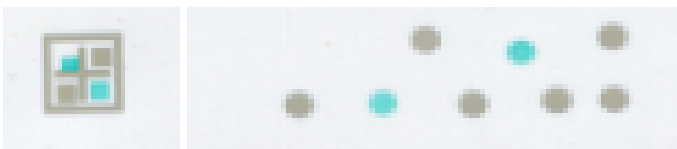
Kohdistusmerkkien muodolle ja mahdollisille lisäväreille jää myös tarvetta lisätutkimuksiin. Lisätestejä esimerkiksi pyöreille kohdistusmerkeille tulee jatkaa. Alustavat tutkimukset ja testaukset osoittavat ainakin sen, että kuvassa olevan ympyrän mallisen kohdistusmerkin tunnistaminen on periaatetasolla helppoa. Opinnäytteen valmistumisen tienoilla ympyrän testaamisessa päädyttiin kuitenkin ongelmiin. Hahmontunnistus hakee ympyrän heti sen osien ilmaannuttua näkökenttään, mutta tunnistettu hahmo sijaitsee lopulta väärin kuvassa. Asia jää lisätutkimuksiin opinnäytteen ulkopuolelle.

Perinteisessä piirilevy- ja elektroniikkateollisuudessa ja painettavassa elektroniikassa pyöreän merkin käyttö on yleistä. Tosin on todettava, että perinteisen piirilevyn kerrosrakenteesta huoli-

matta kohdistaminen ei ole täysin sama asia. Kerrokset kohdistetaan valmistusvaiheessa mekaanisesti, joka kerroksen reiästä läpivietävän tapin avulla. Itse kohdistusmerkki jää siten käytettäväksi komponenttien ladontavaiheessa.

Mikäli jatkossa tutkitaan testaamalla lisää kohdistusmerkkejä ja värejä, niin kannattaa huomioida joitain elektroniikkateollisuudessa yleisesti käytettyjä ohjeita ja periaatteita. Kulta- tai hopeakohdistusmerkit vaalealla tai kirkkaalla taustalla saattavat näkyä parhaiten, kun niiden kanssa käytetään sinistä valoa. Himmeä kohdistusmerkki yleisesti ottaen voi näkyä parhaiten valkoisella valolla. Elektroniikkateollisuudessa kohdistusmerkki saattaa olla vedetty yli mustalla maalilla tai muulla pinnoitteella. Tuolloin näkyvyys ja erottelukyky infrapunavalon avulla ovat hyviä. Mikään ei tietenkään estä kokeilemasta elektroniikkateollisuuden muita yleisimpiä kohdistusmerkkimalleja, kuten rengas, neliö, neliörengas, 45 asteen neliö tai kolmio. Kohdistusmerkin koko rajoittuu lähinnä kameran ominaisuuksien ja painettavan kuvion layoutin vaatiman tilan mukaan. (Heinola 2015.)

Kohdistusmerkkien lisätutkimuskohteena voisivat olla useamman merkin ja kuvion yhdistelmät. Esimerkiksi VTT:llä on ollut jossain painossa yhdistelmä plus-merkki kehystettynä ja sen sisällä neliöt (kuva 27). Tähän ei useista yrityksistä huolimatta saatu tavoitettua alkuperäistä asiantuntijaa kommentoimaan. Useamman pisteen etuna on kuitenkin se, että niiden avulla saadaan useampia kontaktipisteitä, joiden perusteella voidaan mitata ja laskea yhtä aikaa suunnan ja kohdistuksen pysymistä oikeana.



*KUVA 27. Neliöiden käyttö plus-merkin ja kehysten kanssa sekä useampien ympyröiden käyttö kohdistusmerkkinä (Kuva: Ari Väänänen).*

## **5.5 Mittaus ja ohjaus**

Mittauksen toteutus perustuu hahmontunnistukseen. Siinä tunnistus käyttää esimerkiksi plus-merkin reunaa. Varsinainen mittaaminen laskentatoimintoihin tehdään ohjelmallisesti. Kun kahden eri kohteen keskinäinen etäisyys saadaan laskettua, voidaan laskentaan käytetty kuva ja

mittausdata arkistoida muistiin. Tämän jälkeen ohjelmallisesti määritellään toiminnot, joita ohjauksessa tulee tehdä.

Laitteiston painamisen pitkittäisohjaus voidaan tehdä yksinkertaisesti muuttamalla pyörimisnopeutta. Lisävarmistuksena pitkittäissäädölle tulee varmistaa, voiko laitteen oma pyörimisnopeus olla missään käytännön tapauksessa säätämistä rajoittava tekijä. Etsitään myös tilanteita, joissa pitkittäismittauksen tulos on niin poikkeava, että pyörimisnopeuden säätäminen ei riitä korjaamaan todettua virhettä. Alustavasti näitä ei ole tiedossa, mutta ennen lopullista ohjauksen säädön koodausta asia tulee varmistaa.

Poikittaissäädön lähtökohtana on mietittävä sitä, että mittauksen nollapiste asetetaan reunan sijasta keskelle painomateriaalia ja mittausta ei tehtäisi alustamateriaalin reunaan vasten. Kohdistusmerkit olisivat ensisijaisesti alustamateriaalin keskellä aina, kun painettava tuote ja kokonaiskuvio sen sallivat. Poikittaissäätö tehdään rekisteriä siirtämällä. Tämä antaa mittauksille ja säädöille luotettavuutta, koska se eliminoi alustamateriaalin epätasaisen laadun vaikutukset ainakin niiltä osin, että materiaalissa olisi leveyspoikkeamia. Näin painojäljessä ja sen sijoittelussa ei ole mukana virheitä, jotka edustaisivat materiaalin laatuvaihtelua tai muutosherkkyttä, kuten kutistumista. Näitä nimittäin ei voi ennustaa, vaan ne voivat ilmetä kesken painamisen missä kohdin rullaa tahansa.

Lopullinen laadukas ja toiminnallisesti luotettava konenäköjärjestelmälle vaatii runsaasti lisätestejä lopullisessa ympäristössä. Testattavana olleet koemateriaalit, joita siis ovat rajoitettu määrä alustamateriaaleja ja rajoitettu määrä kohdistusmerkkejä, ovat epätasalaatuisia. Tehdyissä mittauksissa ei ole koskaan esimerkiksi mikroskoopilla todettu, onko painojälki ollut tasaista alussa tai onko painojälki ajan myötä kulunut tai hapettunut. Se, että käytössä ei ole erikseen testikäyttöön valmistettuja ja laadullisesti varmennettuja testikappaleita, aiheuttaa testaamiseen useammassa vaiheessa kertyviä ja toistuvia virhemarginaaleja. Näiden virheiden suuruutta on vaikea arvioida. Toisaalta se ei poista sitä lisäarvoa, jonka esitestaaminen ja -tutkiminen antavat. Tässä pätee yleinen sääntö, että mitä myöhemmin tuotteistamista ja toteuttamista tehdessä jokin ongelma tai virhe toiminnassa todetaan, sitä kalliimpaa sen korjaaminen on.

## 5.6 Rekisteröinti ja raportointi

Varsinaista mittausdataa ei tässä työssä tullut saada talteen. Aihetta kuitenkin mietittiin tutkimusten aikana. Asiantuntijoiden kokemukseräiset kommentit testaamisen ja mittaamisen tiedonhallinnasta yleisesti antavat olettaa, että kannattaisi tutkia NI Reporting -työkalua ja tehdä sille tarvittaessa käyttöttestaus.

Lisäksi tulee miettiä seuraavia kysymyksiä: Tarvitaanko muuta väliohjelmaa tai lisäsovellusta saatujen mittaustulosten tallennusten ja laskettujen mittauservojen vuoksi? Halutaanko käyttää olemassa olevaa tietokantaa mittaustulosten talletuspaikkana? Jos sellainen tietokanta on olemassa, niin se voi vaatia välisovelluksen Labview'n ja tietokannan välille. Joidenkin testiympäristöjen ja LabView-sovelluksen kanssa tämä on välttämätöntä, jotta yritysten muuta olemassa olevaa tietokantaa voidaan hyödyntää niin, että kaikki erilaiset talossa tehtävät testit ja mittaukset kyetään säilömään samaan tietokantaan. Tähän liittyvää mittaustulosten taulukointia ja tietokantojen lukemista kannattaa jatkossa tutkia, mikäli se vaikuttaa PrinLabissa tarpeelliselta.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytteessä selvitettiin konenäön käyttömahdollisuuksia R2R-painokoneella. Konenäköjärjestelmään ja sen osiin liittyvät havainnot on kirjattu tähän opinnäyteraporttiin. Konenäön ja kohdistamisen kokeilu ja ohjelmointi pystyttiin karkealla tasolla suunnittelemaan. Itse ohjelman kokeilu ja erilaiset testivaiheet yhdistettiin soveltuvien osien samanaikaisesti edenneen oppilasprojektin kanssa tehdyksi yhteistyöksi. Varsinainen laajempi koodaaminen, loppu sovelluksen rakentaminen ja sen testaaminen ovat tämän opinnäytteen ulkopuolella. Niiden toteuttamiseen saa auttavaa tietoa tästä opinnäytteestä.

Alkuperäinen opinnäytteen osatavoite oli, että työssä haetaan tietoa ja sisältöä koodaamiseen ja testaamiseen tutkittavana olleella NI LabView -ohjelmistolla. Kyseessä on graafinen ohjelmointityökalu kattavilla sovellusten laajennusmahdollisuuksilla. Käytännössä huomattiin, että tarvittavien työkalujen, laitteiden ja ohjelmistojen yhteensovittaminen fyysisiin rajapintoihin ja ohjelmistojen sekä niiden lisenssien ja kirjastojen päivittäminen halutuksi oli erittäin aikaa vievä vaihe. Työn aikataulun takia opinnäytteen painopistettä siirrettiin tutkivaan ja määrittelevään vaiheeseen. Tästä johtuen opinnäyte ei sisällä alustavien graafisten luonnosten varsinaista testausta tai käyttöönottoa puhtaana yksilötyönä. Ohjelman luonnosten testaaminen soveltuvien osien synkronoitiin yhteistyöksi laboratorion oppilasprojektiin, joka aloitettiin rinnan tämän työn kanssa. Jos ajattelen tätä yhteistyötä pedagogisesta näkökulmasta, olen sitä mieltä, että ratkaisulla useampi ihminen oppii samoista asioista enemmän yhdellä kertaa. Lisäksi lopullinen tekninen ratkaisu painokoneelle tulee olemaan luultavasti laadukkaampi, kun tilaaja pystyy pidemmällä aikajänteellä saamaan enemmän resursseja kaikkiin suunnittelu- ja testausvaiheisiin.

Opinnäytetyön tuloksena kirjattiin työn kohteena olleeseen R2R-laitteeseen liittyviä sekä yleisesti konenäköön liittyviä havaintoja ja perusteita. Ne on hyvä tuntee ennen varsinaisen konenäön rakennusvaihetta ja käyttöönottoa. Tarvittaessa tiedot on jalostettava riittävän yksityiskohtaisiksi ja soveltaviksi jatkotesteiksi.

Työn suorituksen aikana todettiin, että valituksi tulleella kameralla ja optiikalla kytetään USB3.0-rajapinnan kautta kannettavaan tietokoneeseen asennettujen NI LabView -ohjelmistojen avulla näkemään ja tunnistamaan kohdistusmerkkejä. Valittu ohjelmisto on kuitenkin kohtuullisen raskas kokonaisuus. Sen käyttö vaatii jonkin verran koulutusta. Käyttäjän kannalta pidän ohjelmiston



käyttöliittymää hankalana, koska grafiikka ei zoomaudu ja merkit eivät siten ole riittävässä määrin luettavia. Avoimen koodauksen ja kuvankäsittelyn mahdollisia etuja kannattaisi ehkä jopa vielä tässä vaiheessa tarkastella perusteellisesti.

Erilaisten valaistusvaatimusten lisäksi pelkillä yleisillä ympäristöolosuhteilla, kuten taustan värillä, voi olla merkitystä lukemisen onnistumiseen. Tämä tarkoittaa sitä, että lopullisia laitevalintoja ja toteutuksia tehdessä on syytä tiedostaa, mikäli painettava tuotevalikoima ja käytetyt materiaalit ovat keskenään samantyyppisiä ja ominaisuuksiltaan samankaltaisia. Silloin toteutus voi olla yksinkertaisempi, kiinteämpi ja kustannustehokkaampi. Kyseessä voisi tuolloin olla valaistus, joka ei vaadi muunneltavuutta. Myöskään taustoja väreineen ei tarvitsisi muuttaa, vaan selvittää kiinteällä taustavärillä. Toisaalta painettavan alustamateriaalin valon läpäisykyvyn mukaan tapauskohtainen taustavärin käyttö voisi olla perusteltua. Ajokohtainen kalibroinnin välttäminen ja stabiilin toiminnan takaaminen edellyttää kiinteää asennusta kameralle ja optiikalle. Tämän vuoksi on suositeltavaa rakentaa järjestelmän osat kiinteänä. Kameraa ei kannata suunnitella käytettäväksi muualla vaan ainoastaan tässä yhdessä kohteessa pysyvänä ratkaisuna.

Radan ohjaukseen saatiin uusia ajatusmalleja. Pituussuuntaista säätöä kohdistukselle voi tehdä yksinkertaisesti säätämällä rullien pyörimisnopeutta tai periaatteessa viiran kireyttä. Leveyssuunnassa puolestaan ollaan haastavammassa tilanteessa. Poikittaissäätö siirtämällä koko sivuttaisrekisteriä laitteena on jatkotutkimuksen arvoinen asia. Lisäksi tulee tutkia, miten telojen pysty- ja vaakasuuntaus pystytään varmistamaan. Mikäli telat eivät ole ja pysy kohdallaan, suunnitellulta ohjausmallilta katoaa toimivuus. Samalla menetettäisiin koko hyöty, joka konenäöllä on mahdollista rakentaa. Kokonaisuutena voidaan arvioida, että konenäön rakentaminen painokoneelle on järkevä ja toimiva ratkaisu, jossa onnistuminen vaatii ymmärrystä ja osaamista monista asioista.

## LÄHTEET

Ahloth, Harri. 2010. Konenäköjärjestelmät. Delta Enterprise. Oppimateriaali. Saatavissa:

[https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-116.1100/luennot/AS-116\\_1100\\_luentokalvot\\_konenako.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-116.1100/luennot/AS-116_1100_luentokalvot_konenako.pdf). Hakupäivä 28.4.2015.

Applications and Usage of DIP. 2014. Tutorialspoint. Saatavissa:

[http://www.tutorialspoint.com/dip/Applications\\_and\\_Usage.htm](http://www.tutorialspoint.com/dip/Applications_and_Usage.htm). Hakupäivä 28.4.2015.

Azure-1105THM Optics Data Sheet. 2013. Azure. Saatavissa:

<http://www.azurephotonicsus.com/products/azure-11005THM.html>. Hakupäivä 28.4.2015.

Basler Ace Camera Data Sheet. 2015. Basler. Saatavissa:

[http://www.baslerweb.com/media/documents/BAS1501\\_ace\\_Brochure\\_SAP0025\\_web.pdf](http://www.baslerweb.com/media/documents/BAS1501_ace_Brochure_SAP0025_web.pdf).

Hakupäivä 28.4.2015.

Daniel, Jurgen. 2010. Printed Electronics: Technologies, Challenges and Applications. Parc.

Saatavissa: <http://www.parc.com/content/attachments/printed-electronics-technologies.pdf>.

Hakupäivä 12.12.2014.

Digital Image Processing Quick Guide. 2014. Tutorialspoint. Saatavissa:

[http://www.tutorialspoint.com/dip/dip\\_quick\\_guide.htm](http://www.tutorialspoint.com/dip/dip_quick_guide.htm). Hakupäivä 10.4.2015.

Hannu, Jari. 2014. Painettava elektroniikka. OAMK. Oppimateriaali.

Heinola, Mika. 2015. Nokia Oyj. Keskustelut ja sähköpostit 2015.

Jauhainen, Jukka. 2006. Digitaalinen kuvankäsittely. OAMK. Oppimateriaali. Saatavissa:

<http://www.oamk.fi/~jjauhiai/opetus/DIP/kuvankasittely.pdf>. Hakupäivä 16.12.2014.

Konenäkö. 2015. Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Konen%C3%A4k%C3%B6>.

Hakupäivä 30.4.2015.

Määttä, Harri. 2012. T762903 Painettavan elektroniikan valmistusmenetelmät. OAMK. Oppimateriaali.

Niemelä, Heikki 2015. OAMK. Keskustelut ja sähköpostit 2015.

OpenCV. 2015. Open Source Computer Vision org. Saatavissa: <http://opencv.org/>. Hakupäivä 10.4.2015.

Petterson, Rasmus 2015. National Instruments Finland Oy. Keskustelut, koulutus ja sähköpostit 2015.

Rahn. 2012. Graphic Arts: Screen. Printing Inks Overview. Videoitu esitys. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=9zVFYpxO7xQ>. Hakupäivä 12.12.2014.

Tulostettava Elektroniikka. 2015. Wikipedia. Saatavissa: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Tulostettava\\_elektroniikka](http://fi.wikipedia.org/wiki/Tulostettava_elektroniikka). Hakupäivä 14.4.2015.

Tuomaala, Tomi. 2015. PrinLab. Keskustelut ja sähköpostit 2014–2015.

Vainio, Timo. 2014. Painettavan elektroniikan perusteet. OAMK. Oppimateriaali.

Viitala, J. 2007. Konenäön valaistus. OAMK. Oppimateriaali.