

Joonas Kortelainen

KONENÄKÖÖN PERUSTUVA VEREN SEERUMIN TAI  
PLASMAN HIL-ARVOJEN VASTAAVUUS

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

2013



Konenäköön perustuva veren seerumin tai plasman HIL-arvojen vastaavuus

Kortelainen, Joonas  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Tammikuu 2013  
Ohjaaja: Asmala, Hannu  
Sivumäärä: 55  
Liitteitä:

Asiasanat: HIL, konenäkö, kliininen laboratorio, hemolyysi, ikteerisyys, lipeemisyys

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia miten SataDiagin kliinisessä laboratoriossa Hemolyyttisyys, Ikteerisyys ja Lipeemisyys -häiriötekijöitä omaavia näytteitä saataisiin konenäön avulla poistettua automaattiselta analysointilinjastolta. Jos näytteissä on näitä häiriötekijöitä, voivat ne mennä virheellisinä analysoitavaksi tuottaen vääriä tuloksia loppuanalyysiin. Tästä johtuen potilaille saatettaisiin antaa vääriä lääkkeitä.

Työ aloitettiin esitutkimuksella, jossa testattiin millä kameralla, valaistuksella ja millaisiin olosuhteisiin tämä järjestelmä olisi hyvä rakentaa. Tutkimus aloitettiin testaamalla koululta löytyviä kameroita; harmaasävymatriisikamera, viivakamera, värikamera sekä lähi-infrapuna aallonpituusalueella toimiva spektraalikamera

Kameran valinnan jälkeen testattiin ja valittiin valaistus sekä optiikka. Ohjelmisto oli jo päätetty. Se oli koululta jo ennestään löytyvä MVTec HALCON - konenäköohjelmisto.

Kun kaikki testit esitutkimuksen aikana oli tehty, haettiin SataDiagin laboratorion näytteitä kuvattavaksi ja alettiin suunnitella ohjelmistoa, joka suorittaisi analyysin. Kun ensikuvaukset oli suoritettu, siirryttiin laboratorioon suorittamaan laajemmat kuvaukset, jotka koostuivat yli 150 näytteestä.

Kuvauksissa saatiin näytteistä kuvat, joiden avulla voitiin muodostaa selkeämpi suunnitelma siitä, miten ohjelmisto kannattaa rakentaa. Samalla kun ohjelmistoa tehtiin, kehitettiin myös laitteistoa, jolla kuvaukset suoritettiin.

Kun järjestelmästä saatiin viimeinen laitteistoprototyyppi valmiiksi, suoritettiin vielä yhden kuvaukset, joiden aikana kuvattiin yli 500 näytettä. Näiden viimeisellä prototyypillä suoritettujen kuvausten avulla voitiin kehittää analysointiohjelmistoa entistä tarkemmaksi.

Analysis of blood serum's or plasma's HIL-index based on machine vision.

Kortelainen, Joonas  
Satakunta University of Applied Sciences  
Degree Programme in Automation engineering  
Tammikuu 2013  
Supervisor: Asmala, Hannu  
Number of pages: 55  
Appendices:

Keywords: HIL-index, machine vision, clinical laboratory, hemolysis, icterus, lipemic

---

–

The meaning of this thesis was to examine how blood samples that had HIL-distractions could be removed from automated analyzation line with the help of machine vision. If the samples have these distractions, they could cause wrong results in the final analysis and that would possibly cause wrong medication to a patient.

Work started with a feasibility study of the camera and lighting. Also the type of enviroment where this system would be good to be built in was tested. Choosing the camera started with testing some possible cameras that school have; a gray matrix camera, a linescan camera, a color camera and a infrared wavelength based spectral camera.

After choosing the camera, the lighting and optics were chosen as a result from many tests. Programming environment was already chosen. It was a software that the school already had: MVTec's HALCON machine vision software.

When all the tests in the feasibility study were made, samples were collected from the SataDiag clinical laboratory to be shot. After imaging the samples, the program for the analysis started to come together. When the first shootings were done, the equipment were taken to the laboratory for a bigger shooting session that consisted of imaging over 150 samples.

Based on images gotten from the shooting, a more clearer image from the whole program could be created, and from that it was a lot easier to know which direction to develop the program to. In the same time the program was being developed, the hardware was being improved.

When the final prototype was finished, final shootings were done in which over 500 samples were shot. With these final images, the program could be developed to it's final stage.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	HIL- MITÄ SE ON .....	7
2.1	HIL-indeksi .....	7
2.1.1	Hemolytytisyys .....	7
2.1.2	Ikteerisyys .....	8
2.1.3	Lipeemisyys .....	8
2.1.4	HIL-arvojen luokitus .....	9
2.2	Mikä hyöty HIL-arvoista on .....	10
2.3	Miten ennen ja nyt tutkitaan .....	10
3	KONENÄKÖ .....	11
3.1	Mitä konenäkö on .....	11
3.2	Konenäköjärjestelmän osat ja niiden valinta .....	12
3.2.1	Kamera .....	12
3.2.2	Optiikka .....	15
3.2.3	Valaistus .....	17
3.2.4	Ohjelmistot .....	22
3.2.5	Kommunikointi.....	23
3.2.6	Kuvankaappauskortit.....	25
3.2.7	Käyttöliittymä .....	26
3.2.8	Minkälaisia kameroita on olemassa?.....	26
4	KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU.....	32
4.1	Kameran valinta .....	32
4.1.1	Harmaasävyälykamera .....	32
4.1.2	Lähi-infrapuna-aallonpituusalueen spektraalikuvaus.....	34
4.1.3	Harmaasävyviivakamera .....	35
4.1.4	Värikonenäkökamera.....	36
4.2	Optiikan valinta.....	37
4.3	Valaistuksen valinta .....	38
4.3.1	Kupolivalo .....	38
4.3.2	Viivavallo .....	38
4.3.3	Dark field-valaisin .....	39
4.3.4	Taustavallo .....	39
4.3.5	Koaksiaalinen diffuusiovalaisin .....	39
4.3.6	Rengasvalo sinisellä sekä punaisella valaistuksella .....	39
4.3.7	Kuituvalo viivamaisella valokeilalla .....	39
4.3.8	Kuituvalo pistemäisellä valokeilalla.....	40

4.4	Ohjelmiston valinta.....	40
5	PROTOTYYPIT.....	41
5.1	Prototyypit.....	41
5.1.1	Ensimmäinen prototyyppi .....	41
5.1.2	Toinen prototyyppi .....	42
5.1.3	Kolmas prototyyppi.....	43
6	NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI .....	45
6.1	Kuvanottotilanne lopullisessa järjestelmässä.....	45
6.2	Miten kuva analysoidaan .....	46
6.3	Toistettavuus .....	47
6.4	Luotettavuus.....	47
6.5	Lipeemisyyden tunnistaminen .....	47
7	POHDINTA.....	49
8	LÄHTEET .....	51
	LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia mahdollisuutta käyttää konenäköä verinäytteiden hemolyyttisyyden, lipeemisyiden ja ikteerisyyden tarkastelussa. Selvityksen perusteella oli tarkoitus kehittää suuntaa antava konenäköjärjestelmä, jonka avulla raja-arvoja ylittävien hemolyyttisten, ikteeristen tai lipeemisten näytteiden analysointi voitaisiin tarvittaessa estää. Hemolyyttisyys, ikteerisyys ja lipeemisyys ovat useimpia analysointiprosesseja häiritseviä tekijöitä. Häiritsevät tekijät ovat voineet syntyä näytteenottotilanteessa, sentrifugointivaiheessa tai kyse voi olla potilaan sairaustilasta.

Näytteet on aiemmin tutkittu enimmäkseen silmämääräisesti, päättäen onko näyte tutkimuskelpoinen vai ei. Eräissä tapauksissa näyte on laitettu tutkittavaksi fotometriseen analysaattoriin, josta on saatu hemoglobini-, bilirubiini- tai triglyseridi-pitoisuus. HIL-indeksin määrittäminen on mahdollista uusimmissa fotometrisissä analysaattoreissa. Näissä käytetään laitetoimittajan tuottamaa laskukaavaa, jonka tuloksena saadaan hemoglobiini-, bilirubiini- ja triglyseridi-pitoisuuksia vastaavia H-, I- tai L-arvoja. Indeksit eivät ole tarkkoja pitoisuusarvoja vaan osittain laskennallisia estimaatteja.

Automaatiolinjaston näytteet ovat erityyppisissä näyteputkissa, ja vain osa seerumi- ja plasmaputkista päätyy linjaston kautta sellaiselle analysaattorille, jossa HIL-indeksimäärittäminen on mahdollista. Tarkoituksena on saada kaikki linjaston seerumi- ja plasmanäytteet automatisoituun konenäkö-tarkasteluun ennen analysointia.

## 2 HIL- MITÄ SE ON?

### 2.1 HIL

HIL, eli Hemolyyttisyys (hemoglobiini), Ikteerisyys (bilirubiini) sekä Lipeemisyys (triglyseridi), ovat tyypillisimpiä häiriötekijöitä useimmissa kliinisen kemian analyyseissa.

Osa häiriötekijöistä voi syntyä näytteenottovaiheessa, jos näytteenotto tapahtuu virheellisesti. Kyse voi myös olla henkilön tautitilasta tai muusta perinnöllisestä tilasta, joka aiheuttaa näytteessä häiriöitä. (Dugan, Leech, Gabel Speroni & Corriher 2005, 339)

#### 2.1.1 Hemolyyttisyys

Näytteen hemolyyttisyys johtuu punasolujen hajoamisesta, ja niiden sisältämän hemoglobiinin vapautumisesta. Seerumi tai plasma, joka yleensä on lähes väritöntä, värjäytyy tästä johtuen punaiseksi. Tämä huomataan yleensä vasta sentrifugoinnin jälkeen. (Dugan, Leech, Gabel Speroni & Corriher 2005, 339; Castellone, 2011)

Näytteen punaisuus johtuu usein vääränlaisesta näytteenottotekniikasta. Syitä tähän ovat esim. putken ravistelu, liian pieni neula tai jopa ihon puhdistukseen käytetty alkoholi, joka ei ole kuivunut ennen näytteenottoa. Näytteen hemolyyttisyys voi johtua myös näytteenantajan sairaudesta tai lääkityksestä. (Dugan, Leech, Gabel Speroni & Corriher 2005, 339; Castellone, 2011)

Hemolyysi on suurin syy näytteiden häiriötekijöihin. Hemolyysi aiheuttaa liian korkeita tuloksia useissa näytemäärytyksissä, kuten fosforin (Pi), kaliumin (K), magnesiumin (K), ammoniakkin (NH<sub>4</sub>) ja totaaliproteiinin (Prot) määrytyksissä sekä liian matalia tuloksia, esim. glukoosin (Gluk), bilirubiinin (Bil), natriumin (Na) määrytyksissä. (Dugan, Leech, Gabel Speroni & Corriher 2005, 339; Castellone, 2011)

### 2.1.2 Ikteerisyys

Näytteen ikteerisyys on merkki kohonneesta bilirubiini-arvosta veressä. Bilirubiini on verenkiertoon jäävä jäte, jota muodostuu, kun rauta poistuu hemoglobiinista, joka on poistunut hajonneista punasoluista. (Gillot 2009)

Bilirubiinia, jota on vapaasti verenkierrossa, kutsutaan konjugoitumattomaksi bilirubiiniksi. Bilirubiinin päästessä maksaan, siitä muodostuu konjugoitunutta bilirubiinia (Gillot 2009)

Bilirubiini häiritsee useita kliinisen kemian testejä vaikuttamalla näytteen spektrisiin ominaisuuksiin ja kykyyn reagoida kemiallisesti muiden reagenssien kanssa. (Dimeski 2008)

### 2.1.3 Lipeemisyys

Näytteen lipeemisyys johtuu kasvaneesta lipoproteiinin määrästä plasmassa. Lipemia esiintyy näytteissä silmin nähtävänä sameutena. Lipeemisen näytteen ulkonäkö riippuu siitä, minkä tyyppinen lipoproteiini on kohonnut plasmassa. Useimmiten kyse on kuitenkin triglyserideistä. (Dimeski 2008; Kroll 2004)

Lipemia häiritsee kliinisen kemian testejä hajottamalla näytteeseen kohdistetun valon, tai heijastamalla sitä ympäristöön. Tällöin fotometriset tarkistusmenetelmät eivät ole mitenkään käytettävissä kyseisiin näytteisiin. (Dimeski 2008; Kroll 2004)



## 2.1.4 HIL-arvojen luokitus

**Taulukko 1. SataDiagin laboratorion HIL-arvojen luokittelu. (Salo, 2012)**

LUOKITUS (hemolyysi/punaisuus)		LUOKITUS (ikteerisyys /keltaisuus)		LUOKITUS (Lipeemisyys /sameus)	
Hb			Bil- pitoisuus ( $\mu\text{mol/l}$ )		Trigly- pitoisuus
0	Hemolyttisyys alle 0,5 g/l	0	alle 50	0	alle 2 mmol/l
1	Hemolyttisyys 0,5-1	1	50 - 100	1	2 - 10 mmol/l
2	Hemolyttisyys 1-1,5	2	100-600	2	yli 10 mmol/l
3	Hemolyttisyys 1,5 - 2,0	3	yli 600		
4	Hemolyttisyys yli 2-5				
5	Hemolyttisyys yli 5				

Hemolyttisyys luokitellaan SataDiag laboratoriossa niin, että jos Hb on alle 0,5 g/l niin, näyte on hemolyttisyydeltään negatiivinen (-). Jos näytteessä on 0,5-1 g/l, niin hemolyttisyys vastaa (+) arvoa. (Salo henkilökohtainen tiedonanto 16.10.2012)

Luokitukset ilmoitetaan tietojärjestelmässä kvalitatiivisinä merkkeinä: (-), (+), (++) , (+++), (++++), (+++++). (Salo henkilökohtainen tiedonanto 16.10.2012)

Ikteerisyys luokitellaan Bilirubiini-pitoisuutena ( $\mu\text{mol/l}$ ). Jos pitoisuus on alle 50, niin luokka on 0. Luokka 1 vastaa pitoisuutta 50-100  $\mu\text{mol/l}$ .

Jos näytteen lipeemisyys on enemmän kuin 2 mmol/l, niin se on suurimmassa osassa testeistä käyttökeltoton näyte. Lipeemisyys poistoon laboratoriolta on oma ohjeensa.

## 2.2 Mikä hyöty HIL-arvoista on?

Hemolyttisyys, ikteerisyys ja lipeemisyys vaikuttavat kliinisen kemian tutkimuksiin häiritsevästi. Se, miten suuri pitoisuus hemoglobiinia, bilirubiinia tai triglyseridejä saa näytteessä olla, on yleensä menetelmäkohtaisesti määritetty (laitetoimittajan tms. toimesta) ja tiedotettu menetelmäspesifikaatioissa. Jos näytteen jollekin tutkimukselle sallittu hemolyysin, ikterian tai lipemian pitoisuuden raja-arvo ylittyy, niin tämä näyte tulisi poistaa linjastolta, ettei se menisi analysoitavaksi. (Salo henkilökohtainen tiedonanto 16.10.2012)

Kemian analysaattoreissa on nykyään ns. HIL-indeksin määritysmahdollisuus. Varsinaisten hemoglobiini-, bilirubiini- tai triglyseridi-pitoisuusmäärityksien ohella, analysaattorissa on eri aallonpituuksia käyttävä HIL-indeksin mittaus yhdistettynä laskentakaavaan, jolloin määrittäminen on varsinaisia pitoisuusmäärittämiä nopeampi. (Salo henkilökohtainen tiedonanto 16.10.2012)

## 2.3 Miten ennen ja nyt tutkitaan?

Laboratorionäytteiden hemolyttisyyttä, ikteerisyyttä ja lipemiaa tutkittiin aikaisemmin silmämääräisesti arvioiden; lievä hemolyysi, ikteerisyys ja lipemia sallittiin. Sittemmin otettiin käyttöön vertailukartat, joiden avulla näyteputken näytteen väriä verrataan pitoisuuksiltaan tunnettuihin näytteisiin. (Salo henkilökohtainen tiedonanto 16.10.2012)

Karttojen perusteella mm. liian hemolyttiselle näytteelle, josta on analysoitava kalium, ei anneta laboratoriovastausta, vaan näyte otetaan uudelleen. Laboratoriossa on laitteet hemolyysin (hemoglobiini) ja ikteerisyyden (bilirubiini) sekä lipeemisyden (triglyseridit) tarkkaan määrittämiseen; näitä käytetään tarvittaessa. Lipeemisyys on aina selvästi silmin nähtävissä ja useimpien tutkimusten analysointi suoritetaan vasta lipemian poistamisen jälkeen. (Salo henkilökohtainen tiedonanto 16.10.2012)

### 3 KONENÄKÖ

Tässä kappaleessa keskitytään konenäön perusteisiin ja käyttöön. Mitkä osat ovat tärkeitä, mitä ilman konenäkö ei toimi, miten se toimii sekä miten sitä käytetään teollisuudessa, mitä ottaa huomioon kameraa valittaessa, miten valaistus vaikuttaa, sekä mikä valaistuksessa on tärkeää.

#### 3.1 Mitä konenäkö on?

Konenäkö tarkoittaa ihmisen kehittämää koneellista näköä, jota voidaan käyttää esim. kappaleen paikantamisessa, mittaamisessa, virheiden paikantamisessa, värin tunnistamisessa sekä viiva- ja 2D-koodien tunnistamisessa. (Bulckaert Machine Vision www-sivut 2010)

Nykyaikana konenäköjärjestelmiä löytyy teollisuudesta laidasta laitaan, mikrobiologiasta kaivosteollisuuteen. Konenäköä käytetään erittäin paljon kappaletavara-automaatiossa, jossa se pääsee parhaimpiin tuloksiinsa nopeutensa, tarkkuutensa sekä väsymättömyytensä ansiosta. Jos verrataan konenäköjärjestelmää ihmiseen kappaletavara-automaatiolinjastolla olevassa laaduntarkastuspisteessä, niin ihminen voi kyllästyä työtehtäväänsä, jolloin virhekappaleita voi mennä tarkastelusta lävitse. Konenäköjärjestelmä asennettuna tarkastelupisteeseen ihmisen sijaan pystyisi suorittamaan tehtäväänsä vuorokauden ympäri, ilman tylsistymistä tai keskittymisen herpaantumista, taaten näin tasaista laatua työtehtävässään. (Batchelor 2012, 4-17)

## 3.2 Konenäköjärjestelmän osat ja niiden valinta

Tärkeimmät huomioon otettavat seikat konenäköjärjestelmää suunnitellessa ovat:

- Valaistus
- Optiikka
- Kamera
- Ohjelmisto(t)
- Kommunikointimahdollisuudet muiden laitteiden kanssa

(Bulckaert Machine Vision www-sivut 2010)

### 3.2.1 Kamera

Konenäköjärjestelmän ydin on kamera. Se kerää kuvan ja joskus suorittaa itse jopa analyysin, riippuen kamerasta. Kamera muodostaa kuvan keräämällä optiikan kautta kulkeneet valonsäteet kameran kennolle. Kennossa olevat fotodiodit muodostavat niille kertyneistä valonsäteistä sähköisen signaalin, joka lähetetään eteenpäin ohjauselektronikalle. Ohjauselektronikka lähettää signaalin kommunikointiväylää pitkin sanomana tietokoneelle, joka purkaa sen ja muodostaa tietokoneella pyörivään ohjelmistoon kuvan analysointia varten. (Gilblom D.L. 2012. 358-360)

Kameran kenoja on kahta erilaista päätyyppiä, CCD ja CMOS. CCD on vanhempi kennotekniikka, joka on kehitetty jo 1960-luvulla. CMOS kehitettiin samoihin aikoihin, mutta sen ajan teknologian vuoksi sitä oli vaikea ottaa käyttöön. (Mattfeldt H. 2006. 364,373)

CCD-kennon (Charged-coupled device) toiminta perustuu siihen, että se koostuu valoherkistä fotodiodeista, joista jokainen vastaa yhtä pikseliä. Kun valo osuu tällaiseen diodiin, niin sen sähköinen varaus muuttuu. Kun pikseli on saanut varauksensa, siirtää se sen viereiselle pikselille, joka kuljettaa sen taas viereiselle, niin kauan kunnes rivi saavuttaa reunansa. Tästä laitimmaisesta sarakkeesta varaukset kirjataan rekisteriin, joka siirtää ne kennosta pois E/V-muuntimelle, joka muuttaa kennolta muodostuneen elektronivarauksen jännitevarauksiksi. Tämän

jälkeen se lähetetään kameran mikropiirille, joka muuttaa sen A/D-muuntimen avulla digitaaliseen muotoon ja lähettää valmiin signaalin kommunikointiväylää pitkin tietokoneelle. Tietokone muodostaa ohjelmiston avulla tästä data-sanomasta kuvan ruudulle. (Mattfeldt H. 2006. 364; Teledyne Dalsa www-sivut)

CMOS-kennon (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) toimintaperiaate on se, että jokaisella pikselillä on oma elektroniikkansa, jolloin valonsäde muuttuu elektronien varaukseksi ja se voidaan jo suoraan muuttaa jännitteeksi. Tämä voidaan varastoida sitten kennolta löytyvään elektroniikkaan tai pikselin vieressä olevaan apupiiriin. CMOS-kennot omaavat pitkälti sen kaiken mitä CCD-kennollisissa kameroissa on ohjauselektronikan puolella, joten kennolta lähtevä data on jo digitaalisena. Näin se voidaan suoraan lähettää kommunikointiväylää pitkin tietokoneelle, joten erillistä ohjauselektroniikkaa ei tarvita. (Gilblom 2012. 385; Teledyne Dalsa www-sivut 2012)

CCD- ja CMOS kennoa verrattaessa huomataan, että molemmilla on hyvät ja huonot puolensa. Seuraavassa taulukossa (taulukko 2) on listattuna CCD- ja CMOS-kennojen ominaisuuksia.

Taulukko 2. Taulukosta voidaan nähdä CMOS ja CCD-kennojen eroavaisuudet. (Teledyne Dalsa www-sivut 2012)

Ominaisuus	CCD	CMOS
Pikselin tuottama signaali	Elektronipaketti	Jännite
Signaali sirulta	Jännite (analoginen)	Biteillä (digitaalinen)
Kameralta tuleva signaali	Biteillä (digitaalinen)	Biteillä (digitaalinen)
Täyttyvyyskerroin	Korkea	Keskiverto
Vahvistimen epätarkkuus	N/A	Keskiverto
Järjestelmän kohina	Pieni	Kohtalainen
Järjestelmän monimutkaisuus	Korkea	Matala
Kennon monimutkaisuus	Matala	Korkea
Kameran komponentit	Kenno + useita apusiruja + linssi	Kenno + linssi mahdollinen, ylimääräiset apusirut mahdollisia, mutta ei pakollisia

Kustannukset T&K-käytössä	Pienempi	Suurempi
Suorituskyky	CCD	CMOS
Vastaavuus	Keskiverto	Hieman parempi
Dynaaminen alue	Suuri	Keskiverto
Yhtenäisyys	Korkea	Heikosta keskivertoon
Yhtenäinen sulkija	Nopea, yleinen	Heikko
Nopeus	Keskinopeasta nopeaan	Nopeampi
Ikkunointi	Rajoitettu	Laaja
Antiblooming	Korkeasta olemattomaan	Korkea
Painottaminen ja kellotus	Useampi, korkeampi jännite	Yksittäinen, pienjännite

Kameran valintaa tehdessä tulee ottaa huomioon, millaista tehtävää varten se tullaan asentamaan ja kuinka nopea tämä tehtävä tulee olemaan.

Tarkastellaan esimerkkiä, jossa linjastolla tarkastellaan vaatehengareihin tulevia tunnistetageja. Näitä tageja menee linjastolla 300 kpl minuutissa. Tagien värit vaihtelevat sen perusteella, mitä kokoa ne merkitsevät, joten kameroilla luokitellaan tagit värien sekä tageissa olevan tekstin perusteella. Tässä esimerkissä ei käytetä korkearesoluutioista kameraa, sillä värien ja tageissa olevan tekstin tarkastelu ei vaadi korkeaa resoluutiota, vaan värien erottelukykä sekä nopeutta. Linjastolla menee 64 erilaista värillistä tagia, joista jokaisella on oma väriprofiilinsa, jonka mukaan tagit lajitellaan. Kamera kuvaa jokaisen tagin strobovalaisimen alla ja kuvauksen jälkeen linjastolla on pneumaattinen tagin poistojärjestelmä, joka lajittelee tagit puhalluksilla. (Industrial Vision Systems 2012)

Toisena esimerkkinä tarkastellaan linjastoa, jossa tehdään ja täytetään limonaaditölkkejä. Linjastolla kulkee jopa 2200 tölkkiä minuutissa. Useampi konenäköjärjestelmä eri pisteissä tutkii tölkeistä niiden väriä sekä epämuodostumia. Tällaisessa linjastossa ei resoluution tarvitse olla suuri, sillä tarkasteltavat kohteet

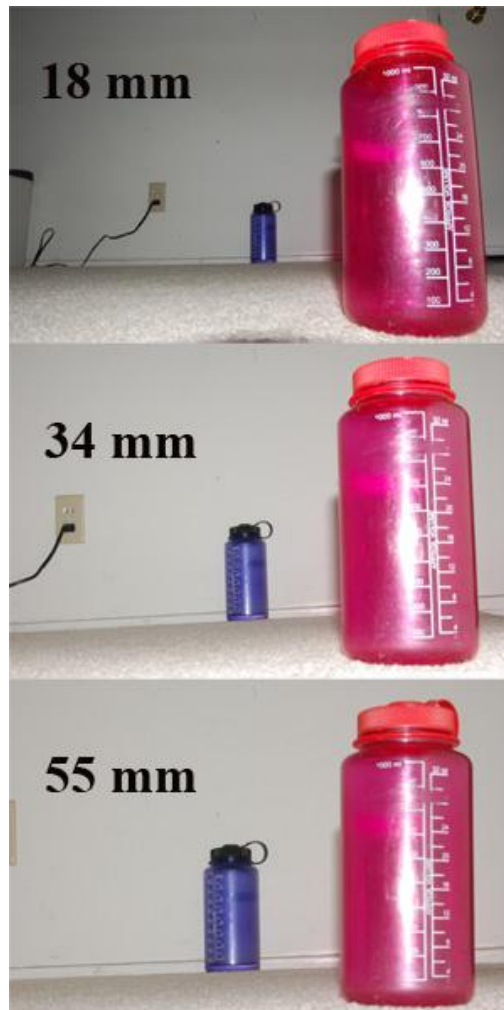
eivät ole niin suurta tarkkuutta vaativia. Suuri nopeuden tarve myös pakottaa resoluution hyvinkin pieneksi. (National Geographic Ultimate Factories 2011)

Kolmas esimerkki on linjastolta, jossa tarkastellaan erilaisia pakkauksia. Siinä tarkastellaan pakkauksen valun onnistuneisuus, pakkauksen reunat, luetaan pakkauksen viivakoodi sekä katsotaan pakkauksen etiketti vikojen varalta. Linjastolla on yhteensä 53 kpl AVT:n kameroita, jotka suorittavat nämä tarkastelun vaiheet. Jokaiselle vaiheelle on sijoitettu tietty määrä kameroita, jolloin saavutetaan mahdollisimman tarkka tulos. (AlliedVision Technologies 2011)

### 3.2.2 Optiikka

Konenäköjärjestelmässä optiikka kokoaa kuvattavasta kohteesta heijastuvan valon kameran kennolle. Kootut valonsäteet muodostetaan kuvaksi kameran kennolla olevien ilmaisimien avulla ja lähetetään muodostunut kuva eteenpäin. (Batchelor 2012, 160; Steger, Ulrich & Wiedemann 2008, 16)

Optiikka on tärkeä osa konenäköjärjestelmää. Se tulee ottaa huomioon jo konenäköjärjestelmän suunnittelun alkuvaiheessa. Jos optiikka on valittu väärin, tai valitaan liian myöhään, voidaan ajautua tilanteeseen, jossa kameran muodostama kuva on erittäin epätarkka tai se alue mitä halutaan kuvata, ei mahdu kokonaan kameran muodostamaan kuvaan. (Batchelor 2012, 160)



**Kuva 1. Eri polttovälin omaavien optiikoiden merkitys (Boerner 2010)**

Optiikkaa valittaessa on tärkeintä ottaa huomioon kyseisen optiikan polttoväli, sillä se vaikuttaa kamerasuodattaman kuvan kokoon sekä kuvausväistyteen, kuten kuvassa 1 on tämä nähtävissä. Polttoväli määrittää, miten suuri on optiikan avautumiskulma eli miten suuressa kulmassa kohde näkyy kameralle. (Batchelor 2012, 189-192; Steger ym. 2008, 20-24)

Mitä pienempi polttoväli kuvassa 1 on, sitä laajemman kuvan kamera näkee kyseisellä linssillä, mutta mitä isompi polttoväli, sen pienempi kuva-ala. Pienen polttovälin linssit ovat tarkoitettu lyhyeltä etäisyydeltä kuvaamiseen, kun taas isomman polttovälin omaavat linssit on tarkoitettu kauempaa kuvattaviin kohteisiin. Ajatellaan pienen polttovälin linssiä kalansilmäobjektiivinä, jolla nähdään läheltäkin jo laaja kuva-alue ja isomman polttovälin linssiä ajatellaan teleskooppina, jolloin nähdään hyvin pieni alue, mutta hyvin kaukaa. (Batchelor 2012, 189-192; Steger ym. 2008, 20-24)



Optiikassa on yleensä kiinteä polttoväli, joten sitä ei voida säätää, mutta on olemassa myös linsejä, joissa on säädettävä polttoväli. Näillä saadaan tavallaan ”zoom”-efekti aikaiseksi. Ne ovat yleensä CCTV-linsejä, eli turva-alan käyttämien turvakameroiden linsejä. (Batchelor 2012, 189-192)

Optiikassa on yleensä myös säädettävä aukko. Tällä voidaan säädellä sitä, kuinka paljon valoa päästetään optiikan kautta kulkemaan kameran kennolle. Näin voidaan manuaalisesti säätää sitä, kuinka pimeään tai kirkkaaseen tilaan kamera voidaan sijoittaa. Toki kamerassakin on valotusajan säätö, jolla voidaan tätä kontrolloida, mutta linssissä olevalla aukon säädöllä voidaan silti saavuttaa hyvinkin pienellä valoitusajalla hyvin valoisa kuva. (Batchelor 2012, 192-196; Steger ym. 2008, 24-27)

Kappaleiden ominaisuuksia kuvatessa linssin tärkeä ominaisuus on tarkkuus. Sen vuoksi linseissä on myös säädeltävä fokus eli tarkkuus. Tätä säätämällä voidaan löytää optimaalisin kohta, jolloin ottaa kuva. Jos kuvattavan kappaleen etäisyys kameraan muuttuu, niin kuva muodostuu epätarkaksi. Tällöin on säädettävä linssin fokusta, että kuva olisi jälleen tarkka. (Batchelor 2012, 193-197; Steger ym. 2008, 24-27)

Tärkeimmät optiikan valintaan vaikuttavat tekijät ovat haluttu kuva-alan koko, kohteen etäisyys kamerasta sekä kameran kennon koko. Näitä tietoja hyväksi käyttäen voidaan tarvittavan optiikan polttoväli laskea erilaisilla Internetistäkin löytyvillä laskureilla. Yksi esimerkki tällaisesta laskurista löytyy osoitteesta: <http://www.graftek.com/lensselect.php>.

### 3.2.3 Valaistus

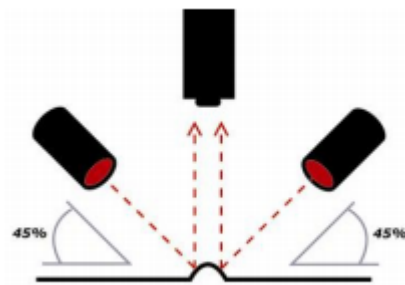
Konenäköjärjestelmän valaistusta valittaessa on tärkeä ottaa huomioon ympäristö, johon järjestelmä tullaan sijoittamaan. Samoin tausta, jota vasten kuvataan, on hyvä huomioida. Tällä tavoin voidaan säädellä valaistuksen tarvetta. Ympäröivä, jo olemassa oleva valaistus on syytä ottaa myös huomioon ikkunoiden ohella. Ulkoa

tuleva auringonvalo voi aiheuttaa hyvinkin erilaiset valaistusolosuhteet eri vuodenaikoina sekä vuorokauden aikoina. (Batchelor 2012, 284-287; Steger ym. 2008, 5)

Kappaleita, jotka sisältävät värillisiä ominaisuuksia kuvattaessa, on hyvä ottaa huomioon se, minkä väristä valaistusta käyttää. Värillisiä kappaleita kuvatessa, on hyvä käyttää hyvin neutraaleja valaisimia, esimerkiksi valkoista valoa. Jos käytössä ei ole neutraalia väriä tai väriä, joka poikkeaa täysin kuvattavasta kappaleesta, niin värin analysointi ei anna mitenkään todellisuutta vastaavia kuvia, joita sitten voitaisiin käyttää analysoinnissa. (National Instruments 2010; Steger ym. 2008, 5)

Yleisimpiä valaistustekniikoita:

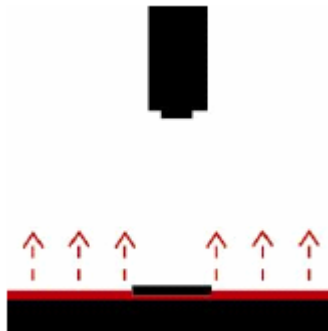
Dark field-valo eli sivuvalo



**Kuva 2. Dark-field valo (National Instruments 2010)**

Dark field –valo kuvassa 2, on esim. renkaan muotoon tehty valaisin, jossa renkaan sisäpinnalle on asennettu led-valaisimet pieneen kulmaan alaspäin. Kun kappale valaistaan tästä pienestä kulmasta tulevalle valolla, niin kappaleen pinta näkyy tummana. Pienetkin kohoumat näkyvät kameralle vaaleampina, ja mitä suurempi kohouma, sitä vaaleampana se näkyy. Dark field -valaisemella valaistaessa, tulee se sijoittaa lähelle kappaletta, että pinnanmuodot voidaan saada parhaiten esille. (National Instruments 2010; Steger ym. 2008, 15)

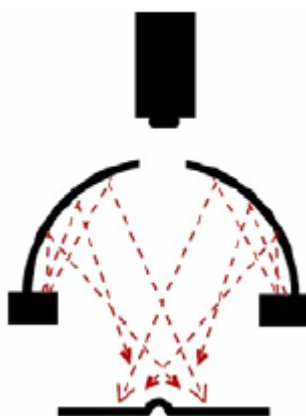
Taustavalo



**Kuva 3. Taustavalo (National Instruments 2010)**

Taustavalo kuvassa 3 koostuu yleensä isosta valotasosta. Taustavalo muodostaa kuvattavasta kappaleesta kameralle siluetin selkeillä kontrastieroilla. Yleisimmät käyttökohteet kyseiselle valaistustekniikalle on paikalla olon tunnistaminen, kappaleen mittaaminen, sijanti sekä orientaation mittaaminen. (National Instruments 2010; Steger ym. 2008, 15-16)

Diffuusikupolivalo

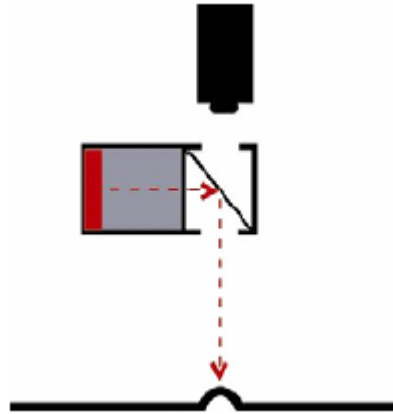


**Kuva 4. Diffuusikupolivalo (National Instruments 2010)**

Diffuusikupolivalossa, kuvassa 4 on kupoli, jonka sisälle reunaan on asennettu ledejä. Ledit heijastavat valon kupolin sisäpinnasta ympäriinsä. Kupolivaloa käytettäessä tulee kameran olla hyvinkin lähellä kupolin katossa olevaa reikää. Tällöin saadaan hyvin muodostunut kuva. Kupolivalo tuottaa kameralle kappaleesta

varjottoman kuvan. Tämä perustuu siihen, että kupolin sisäpinnalta heijastuvat valonsäteet osuvat joka puolelle kappaletta, niin ei pääse syntymään varjoja. (National Instruments 2010; Steger ym. 2008, 14)

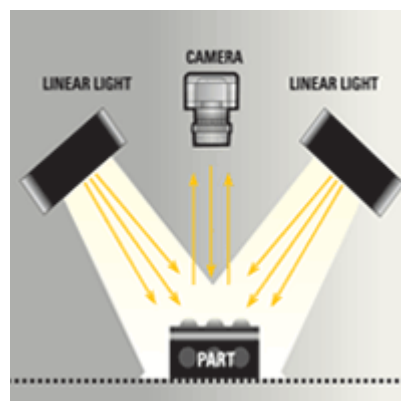
Koaksiaalinen diffuusivalo



**Kuva 5. Koaksiaalinen diffuusi valo (National Instruments 2010)**

Koaksiaalinen diffuusivalo on valaisin, joka on pienen laatikon näköinen. Se sisältää valotason toisessa sivussa. Valotaso emittoi valoa puoliläpäisevän peiliin. Peili heijastaa valon kappaleeseen ja kamera katsoo peilin lävitse kappaletta. Koaksiaalisella diffuusivalolla saadaan tasainen valaistus koko valaisimen alueelta. Se soveltuu parhaiten kirkkaiden ja heijastavien pintojen tarkasteluun esim. naarmujen tai vastaavien epäkohtien löytämiseksi. (National Instruments 2010; Steger ym. 2008, 14)

Viivavallo

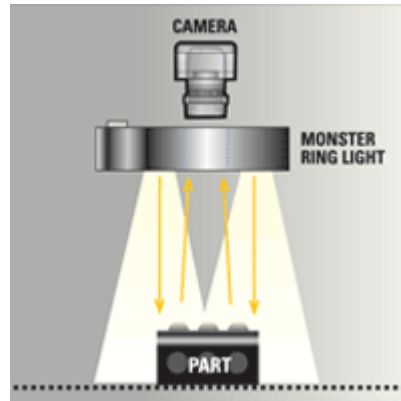


**Kuva 6. Viivavallo (Spectrumillumination www-sivut 2009)**

Viivavallo kuvassa 6 on esim. suorakulmion muotoinen led-rivistö. Valaisimen kulmaa voidaan vapaasti säädellä, sillä ledit osoittavat suoraan, joten koko

valaisinta tulee täten asetella kulmaan. Viivavaloja löytyy hyvinkin paljon eri leveyksillä ja pituuksilla, ja jokainen koko soveltuu aina johonkin tarkoitukseen. Viivavalon yleisesti käytetty viivakameroiden kanssa. Niitä voidaan käyttää myös matriisikameroiden kanssa, jos tarkasteltavana on jotain hyvin ohutta, kuten paperia, tai jotain hyvin karkeapintaista. (Steger ym. 2008, 13-14)

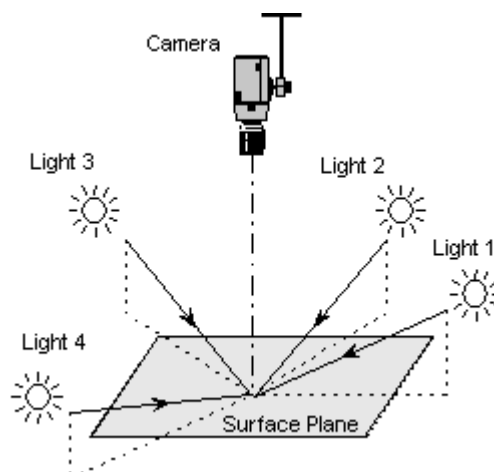
Rengasvalo



**Kuva 7. Rengasvalo (Spectrumillumination www-sivut 2009)**

Rengasvalo, kuvassa 7 on renkaanmuotoinen valaisin, jossa ledit on aseteltu renkaan muotoon tasaisesti. Rengasvalo tuottaa hyvin intensiivisen valaistuksen valaistuskohde keskelle. Rengasvalo asetetaan yleensä optiikan ympärille, jolloin valaistus tuotetaan lähes kohtisuorasti kohteeseen. Rengasvaloa voidaan käyttää useissa eri tehtävissä juuri sen monipuolisuuden vuoksi. (Steger ym. 2008, 13-14)

Fotometrinen stereo



**Kuva 8. Fotometrinen stereo (Wu 2009)**

Fotometrinen stereo -valaistus perustuu siihen, että otetaan kuva samasta kohteesta moneen kertaan eri valaisimien ollessa päällä. Tällöin jokaisesta kuvasta

muodostuu eri suuntiin omanlaisensa varjot, ja tällöin fotometristä stereota varten kehitetty algoritmi voi laskea pinnan poikkeavuuksia. Tämä valaisumenetelmä on hyvin samanlainen kuin dark-field -valaisu, mutta se tuottaa paljon selkeämpiä tuloksia. Tätä valaistusta on hyvä käyttää erilaisten pinnanpoikkeamien huomaamiseen tai erilaisten viiltojen havaitsemiseen. (Woodham 1980)

### 3.2.4 Ohjelmistot

Konenäkökameroille on useita erilaisia ohjelmistoja, mitä hyväksi käyttäen voidaan muodostaa analyyseja. Ohjelmiston tehtävänä konenäköjärjestelmässä on olla tavallaan ne ns. ”aivot” koko järjestelmässä. Ohjelmisto määrittää sen, mitä kameran muodostamalle kuvalle tehdään, tai minne se viedään. Ohjelmisto lähettää linjaston toimilaitteille käskyjä sen oman tulkintakyvyn mukaisesti eri kommunikointiväyliä pitkin. (Telljohann A. 2006, 54)

Tällä hetkellä suurimpana tekijänä markkinoilla on MVTec:in luoma Halcon-ohjelmisto. Se sisältää kattavan tuen erilaisiin kameroihin sekä kuvankaappauslaitteisiin. Markkinoilta löytyy muitakin jo vuosikymmeniä alalla olleita ohjelmistoja: Matrox Imaging Library (MIL), Cognexin Vision Pro OpenCV, SimpleCV, LabView. Näiden lisäksi älykameroille löytyy yhtä monta ohjelmistoa, kuin löytyy älykamera-valmistajiakin. Jokaisella konenäköohjelmisto on oma valttikorttinsa, jonka he laittavat pöytään, sillä jokainen tukee eri määrän kameroita, ja sisältää toisiinsa verrattavissa olevan määrän analysointityökaluja. Käyttöliittymä sekä ohjelmointikieli voivat vaihdella hyvinkin paljon eri ohjelmistojen välillä. Esimerkiksi älykameraohjelmistoissa käyttäjän ei tarvitse tietää ohjelmoinnista mitään, kunhan ymmärtää peruspiirteittäin sen, miten erilaiset työkalut toimivat käytännössä. Cognex In-Sight Explorer -ohjelmistossa, joka on älykameraohjelmisto, on hyvinkin yksinkertainen excelmäinen käyttöliittymä, johon ohjelmistoa rakennetaan pala palalta. Jokaiseen soluun voidaan tuoda sivusta olevasta työkalulaatikosta oma työkalunsa, joka tällöin aktivoituu.

In-sight Explorerissa on se huono puoli, että sillä ei ole minkäänlaista kaavaa, minkä mukaan se suorittaa eri analysoinnit, joten yleensä ohjelmistosityklin

automatisointi jää käyttäjän harteille. Käytännössä tämä tarkoittaa erilaisten count- ja if-lausekkeiden pomputtelua keskenään.

Matrox Design Assistant, on Matroxin kehittämä ohjelmointityökalu Matroxin omille älykameroille, Iris GT:eille. Sen ohjelmointiympäristö on hieman poikkeava Cognexin ohjelmistosta, sillä se perustuu vuokaavio-ohjelmointiin. Käyttäjä voi helposti seurata, missä askeleessa ohjelmisto on milläkin hetkellä, sekä voi tehdä erilaisia syklejä paljon helpommin kuin Cognexin vastaavassa ohjelmistossa. Design Assistantista löytyvät myös samat työkalut, kuin mitä Cognexin vastaavasta, mutta hieman eri tavalla nimettynä ja toteutettuna. Perustoimintaperiaate sekä lopputulos ovat hyvin lähellä toisiaan.

### 3.2.5 Kommunikointi

Kameran kommunikointi tietokoneen kanssa tapahtuu yleisimmin teollisuudessa käyttäen GigE Vision -liitäntää, mutta on olemassa myös USB 2.0, USB 3.0, FireWire, WLAN, CoaXPress sekä vartavasten kameroiden datansiirtoa varten kehitetty CameraLink. (Iglesias 2006, 428; Batchelor 2012, 500-501)

Jokaisella liitännällä on omat etunsa ja haittansa. Nämä tulee ottaa huomioon konenäköjärjestelmää suunnitellessa. Kameran, valaistuksen, ohjelmiston ja optiikan lisäksi tulee ottaa huomioon kameran sijainti, siitä syystä että kaikki kommunikointiväylät eivät sovellu pitkälle matkalle. Esim. USB 2.0 ei sovellu yli 5 metrin matkoille, kun taas USB 3.0 ei sovellu edes yli 3 metriä pitemmille matkoille. Onneksi USB 3.0:aa varten on kehitetty erikoiskaapeleita, jotka mahdollistavat jopa 100 metrin etäisyyden tietokoneesta. (Iglesias 2006, 428; Batchelor 2012, 500-501)

### USB 2.0 & USB 3.0

USB 2.0 kehitettiin vuonna 2000 nopeammaksi kuin alkuperäinen USB. Sillä saavutettiin 480 Mbit/s maksimisiirtonopeus, kun ennen se oli 1.5 Mbit/s. USB 3.0 julkaistiin vuonna 2008, ja sen maksimaaliseksi nopeudeksi määritettiin 5000

Mbit/s. Tämä oli huima parannus verrattuna edelliseen USB-liitäntästandardiin. Nykyaikana, kun USB 3.0 on yleistynyt tietokoneissa ja myös teollisuudessa, on useat kameravalmistajat alkaneet käyttää sitä kommunikointiväylänä juuri sen takia, että se on jopa nopeampi kuin GigE Vision -väylä. USB:n kanssa muodostuu ongelmaksi se, että sen liittäminen linjastoon ja linjastolla oleviin logiikoihin tai toimilaitteisiin on huomattavasti hankalampaa kuin GigE Visio -kameroiden kanssa. USB-kameroiden etu on se, että se ei välttämättä tarvitse USB:n lisäksi mitään muuta kaapelia, vaan jännitteen syöttö voidaan hoitaa samalla kaapelilla kuin kommunikaatio. (Batchelor 2012, 501-502; Steger ym. 2008, 57-58)

## CameraLink

CameraLink kehitettiin konenäköä varten, tarkoituksena standardoida tieteelliset ja teolliset videointituotteet, sisältäen kamerat, kaapelit ja kuvankaappauskortit. CameraLink -yhteydellä saavutetaan 5440 Mbit/s nopeus, jolla voidaan siirtää suurempiakin määriä kuvadataa hyvin nopeasti. CameraLinkin etuna on sen viiveettömyys, varmuus sekä yleinen käyttö konenäkökameroissa, mikä tekee siitä hyvinkin kilpailukykyisen kommunikaatioväylän. CameraLinkistä on kehitetty myös PoCL, joka tarkoittaa Power over CameraLink, jolloin dataliikenteen lisäksi saadaan kameraan myös jännitteen syöttö saman kaapelin kautta. (Batchelor 2012, 502-503; Steger ym. 2008, 54-55)

Huonona puolena CameraLink -liitännässä on se, että se vaatii kuvankaappauskortin. Ilman korttia ei pystytä muodostamaan kuvaa. CameraLink ei ole mitenkään yleistynyt, joten ainoa tapa saada kuva kameralta, on hankkia CameraLink -kuvankaappauskortti. CameraLink on käytössä konenäön parissa, mutta siihen se rajoittuukin. (Batchelor 2012, 502-503; Steger ym. 2008, 54-55)

CameraLinkistä on olemassa myös CameraLink HS, joka on CameraLinkin versio 2.0, suuri askel eteenpäin. CameraLink HS:llä päästään jopa 128 000 Mbit /s nopeuksiin, joka on huima askel verrattuna edelliseen nopeuteen, sekä GigE Visionin nopeuteen.



## FireWire

FireWire on alunalkajaan samoilta ajoilta kuin USB:kin, mutta sitä ei suunniteltu niinkään yleiseksi väyläksi, vaan videonkaappausta varten sekä erilaisia audiolaitteita ajatellen. Sillä saavutettiin aluksi 100 Mbit/s, 200 Mbit/s sekä 400 Mbit/s nopeuksia. Nykyään FireWireä on kehitetty eteenpäin, ja sen maksiminopeus on 3200 Mbit/s. FireWirellä voidaan saavuttaa vain 4,5 metrin välimatka tietokoneelta toimilaitteelle, mutta erilaisilla toistimilla ja adaptereilla sekä pidennyskaapeleilla, voidaan maksimipituus saada jopa 72 metriin. FireWire-järjestelmässä voidaan enintään 16 kaapelia, toistinta tai hubia liittää toisiinsa. (Batchelor 2012, 502; Steger ym. 2008, 55-57)

## GigE Vision

GigE Vision on vuonna 2006 Automated Imaging Associationin standardoima liitäntä. Tarkoituksena oli luoda Gigabitin ethernetin pohjalta standardi, joka olisi suunnattu konenäköä varten. Tällä tavoin voitaisiin mahdollistaa yleiskäyttöinen standardi, jolla yhdistetään useita eri laitteita sekä laitevalmistajia toisiinsa. GigE Vision -kamera voidaan liittää jo tehtaassa olevaan verkkoon, tai suoraan tietokoneeseen. (Batchelor 2012, 502; Steger ym. 2008, 58-60)

GigE Visionin nopeusluokka on 1000 Mbit/s, joka on nykyaikana jo standardoitunut lähiverkkonopeudeksi. Tällä liitännällä päästään 100 metrin etäisyyksiin, mutta tätäkin voidaan sitten taas kasvattaa yhä pidemmäksi erilaisilla toistimilla ja kuiduilla.(Batchelor 2012, 502; Steger ym. 2008, 58-60)

### 3.2.6 Kuvankaappauskortit

Kuvankaappauskorttien avulla saadaan kuva kameralta tietokoneelle, jos liitäntätapa on erilainen kuin tietokoneen normaalit liitännät, tai jos signaali on analoginen. Konenäön parissa analogiset signaalit ovat enää käytössä niissä konenäköjärjestelmissä, joissa käytetään erikoisliitäntätapaa, mutta turva-alalla on

käytössä kuvankaappauskortteja analogikameroita varten. Teollisuuden konenäössä ei ole tarvetta kuvankaappauskortteille kuin CameraLink- tai CoaXPress-liitäntöjen kanssa. Pöytätietokoneille on saatavilla kuvankaappauskortteja PCI- sekä PCIE-väylään, johon yleensä liitetään CameraLink- tai CoaXPress-liitäntää käyttävä kamera. Kannettaville tietokoneille on myös saatavilla erilaisia kuvankaappauskortteja PCMCIA- tai ExpressCard -väyliin.

GigE Visionille ja FireWirelle on olemassa silti kuvankaappauskortteja, joiden pitäisi vähentää liitännän aiheuttamaa tietokoneen kuormitusta. Kun kuva dekodataan jo kortilla, niin ei tietokoneen tarvitse enää muuta kuin analysoida se.

### 3.2.7 Käyttöliittymä

Konenäön käyttöliittymästä puhuttaessa tarkoitetaan yleensä linjastolla olevaa kosketuspaneelia tai tietokoneruutua, joka välittää ihmiselle tietoa konenäköjärjestelmästä tai automaatiolinjastosta. Käyttöliittymällä ihminen voi nähdä linjaston tuottavuuden, sekä konenäköjärjestelmän tarkkailun alaisena olevan kappaleen lopputuloksen tai siitä saadun informaation. Käyttöliittymä tehdään periaatteessa vain sen takia, jos ihminen tarvitsee havainnollistusta jostakin tarkasteluun tai linjastoon perustuvasta asiasta.

Käyttöliittymä on myös erittäin monipuolinen kokonaisuus, sillä sitä kautta voidaan tehdä hienosäätöjä ilman, että tarvitsee käynnistää konenäköohjelmistoa tai pyytää järjestelmän kehittäjää paikanpäälle. Käyttöliittymästä voidaan helposti vaihtaa tarkasteltava tuote tai tehdä pienet muutokset, jos se on tällä tavoin toteutettu.

### 3.2.8 Minkälaisia kameroita on olemassa?

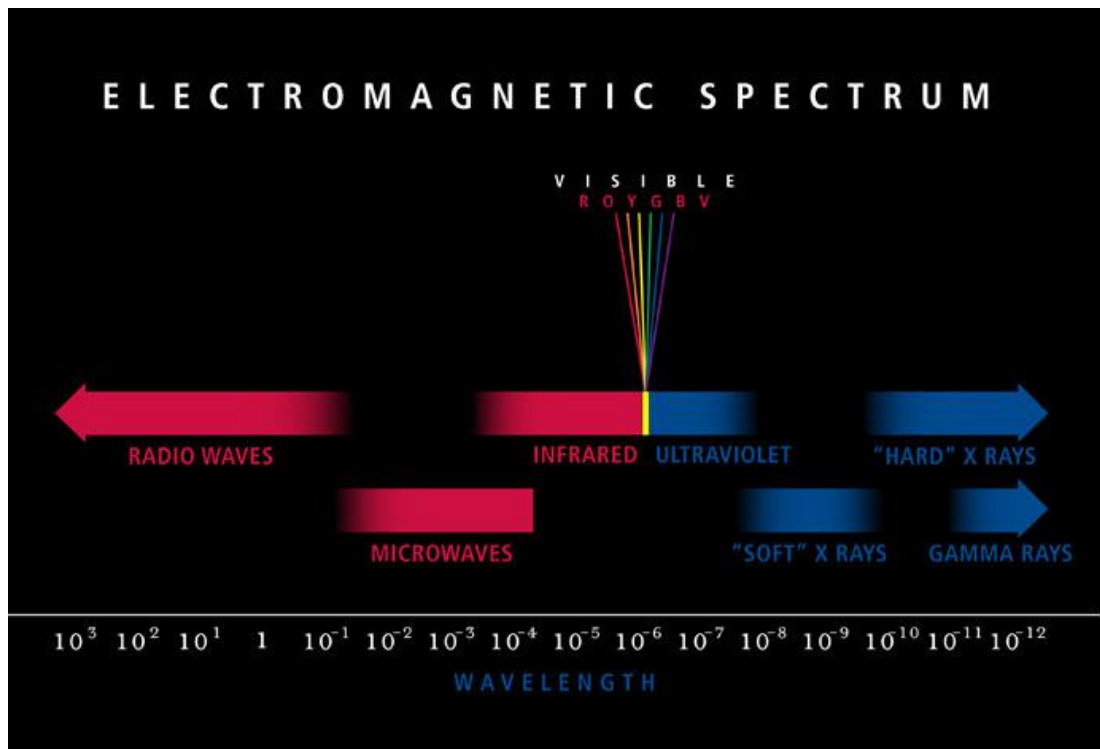
Konenäköjärjestelmä voi muodostua yhdestä tai miksei vaikka jopa monesta seuraavista: viivakamerasta, matriisikamerasta, älykamerasta, spektraalikamerasta, lämpökamerasta, tai lähi-infrapunakamerasta. Yleisimmät konenäköjärjestelmät pohjautuvat silti ihan tavallisiin, näkyvän aallonpituuden kameroihin. (Batchelor 2012, 399, 479, 486-488; Hornberg, 2006, 41-71)

Kappaletavara-automaatiossa käytetyimpiä kameroita ovat matriisi- ja viivakamerat. Matriisikamera toimii normaalin kameran tavoin, eli se muodostaa kuvansa tekemällä pikseleitä sekä vaaka- että pystysuuntaan. (Batchelor 2012, 479-488; Hornberg, 2006, 41-42)

Viivakamera muodostaa kuvansa yhdestä pikselistä pystyriivillä ja kameran resoluution verran vaakasuorassa. Tällöin voidaan tuottaa niin iso kuva kuin pystysuorassa halutaan. Viivakamerajärjestelmissä tulee liikuttaa kameraa tai kuvattavaa kappaletta, ns. ”skannata” kappale. Tällä tavoin saadan koko kuva kyseisestä kappaleesta. Tietokoneella kuvat tulevat yksi rivi kerrallaan, mutta analysointiohjelmistolla voidaan muodostaa näistä kuvista yhtenäinen kuva, yhdistämällä pystyriivit keskenään. Yhdistämisen jälkeen viivakameralla syntynyt kuva on analysoitavissa. (Batchelor 2012, 486-488)

Älykamerat ovat joko viiva- tai matriisikameroita, mutta niissä on itsessään kuvankäsittelyyn ja analysointiin tarvittavat ominaisuudet. Älykamera sisältää prosessorin, joka hoitaa kuvankäsittelyn sekä kuvanmuodostuksen. Näin kuvanmuodostukseen tai analysointiin ei tarvita tietokonetta. Älykamera on järkevä vaihtoehto sellaisiin tilanteisiin, missä voidaan tarkastella yksittäisiä kappaleita. (Batchelor 2012,465-467)

Harvinaisempia ja vähemmän konenäköjärjestelmissä käytettyjä kameroita ovat ne kamerat, jotka käyttävät jotain muuta tekniikkaa tai aallonpituusalueita kuin näkyvää aallonpituusalueita; lähi-infrapunakamera, infrapunakamera eli lämpökamera sekä spektraalikamera. (Batchelor 2012, 399-400)



**Kuva 9. Sähkömagneettisen spektrin eri aallonpituusalueet. (Stephens, Rasmusse 2010)**

Lähi-infrapunakamera, eli NIR = Near InfraRed, on kaikkein lähimpänä näkyvää aallonpituusaluetta oleva infrapuna-alue. Sen aallonpituus on 800 – 1700 nm, kun näkyvän valon aallonpituus on 400 – 750 nm. Kuvassa 9 näkyy kaikki sähkömagneettisen spektrin aallonpituusalueet. NIR-kuvaustekniikkaa käytetään hyvin laajalti maatalous-, kemia-, lääke- sekä tekstiilialalla. (Batchelor 2012, 400-401; Stephens, Rasmusse 2010)

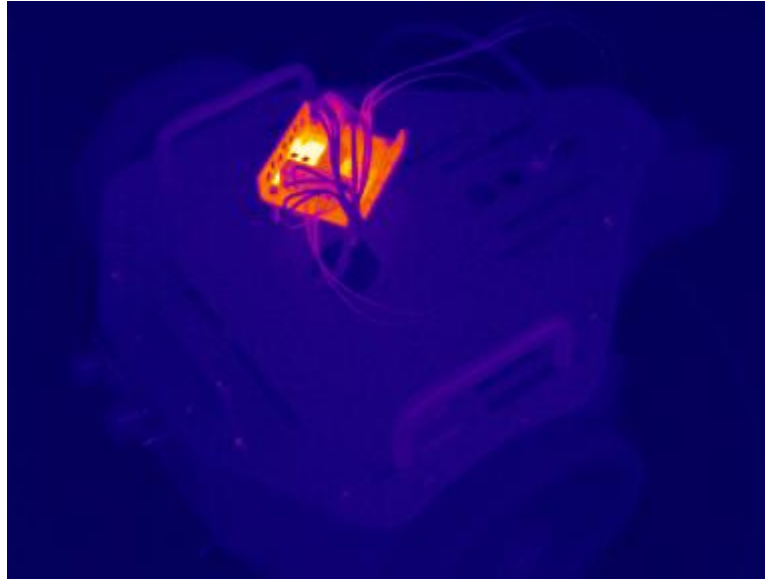
NIR:n toimintatapa perustuu orgaanisten molekyylien kykyyn imeä tietyllä NIR:in aallonpituusalueilla valoenergiaa, esimerkiksi purkissa oleva vesi on ihmissilmälle hyvinkin läpinäkyvää, kun taas NIR-kamera ei pystyisi näkemään kyseistä purkista lävitse, sillä se sisältää suuren määrän orgaanisia molekyyliä, jotka imevät ympäristöstä kaiken valon kyseisellä aallonpituusalueella. Tämän vuoksi vesi näkyy NIR-kameralle erittäin tummana, kuten kuvasta 10 nähdään. (Stephens, Rasmusse 2010; Batchelor 2012, 400)



**Kuva 1. NIR-kuva vedestä ja kerosiinipohjaisesta aineesta. (SAMK:n www-sivut 2012)**

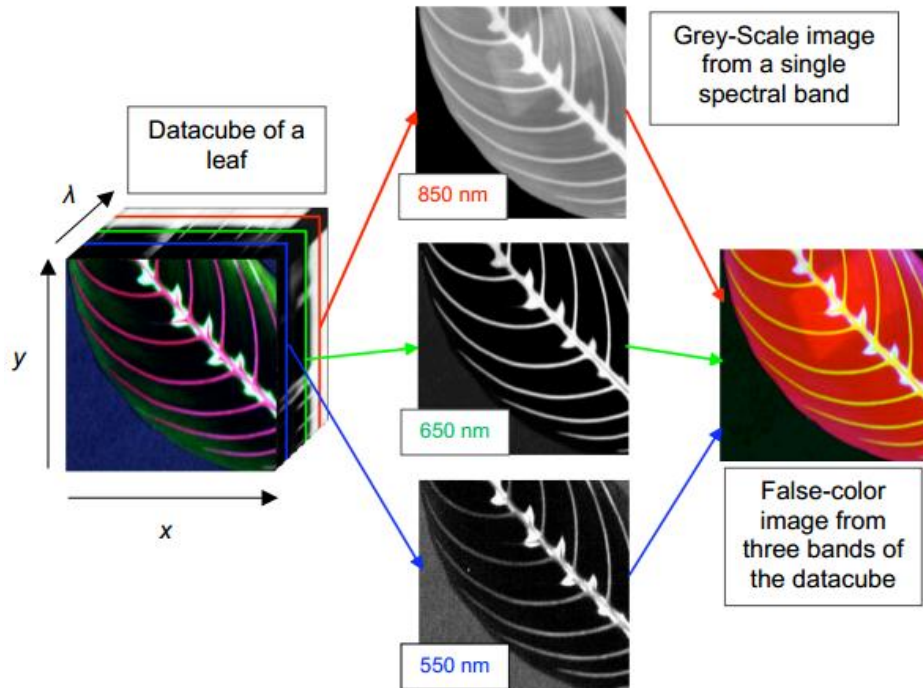
Esimerkiksi ihmisen hiukset taas näkyvät NIR-kameralle hyvinkin vaaleina, kun ihmisen hiukset ovat kuivia, mutta jos juuri suihkusta tullut henkilö menisi NIR-kameran eteen, niin hänen hiuksensa näkyisivät kameralle tummina. Myös NIR-kameran kennon toiminta perustuu erilaisen materiaalin hyödyntämiseen kuin näkyvän aallonpituusalueen kameran. Sen kenno on nimittäin tehty Indium Gallium Arsenidista, lyhennettynä InGaAs:ista. (Stephens, Rasmusse 2010; Batchelor 2012, 400)

Infrapunakamera toimii samalla infrapuna-aallonpituusalueella kuin NIR-kamerakin, mutta toisessa ääripäässä, kuten kuvasta 9 nähtiin. Infrapunakamerassa on erikoislinsi, joka fokusoii kaiken näkökentässä olevien objektien lähettämän infrapunavalon. Tämä fokusoitu valo menee skannattavaksi infrapunadetektorille, joka muodostaa erittäin tarkan lämpötilamallin, joka sitten lähetetään eteenpäin signaalinkäsittely-yksikölle, jossa on datakäännökselle omistettu siru. Tämä siru kääntää saadun datan lämpökameran ohjelmistossa näkyvään muotoon ja muodostaa kuvan 11. mukaisen kuvan. (Batchelor 2012, 404)



**Kuva 2. Infrapunakameralla otettu kuva ohjausrobotista.**

Lämpökameroiden lämpötila-alueet vaihtelevat  $-40$  asteesta  $2000$  °C asteeseen. Kotioloihin, rakenteiden mittailuun ja vuotojen tarkasteluun, riittää  $-20$  °C –  $250$  °C alueella toimiva, käsissä pidettävä lämpökamera, kuten kuvassa 3 näkyvän koiran kuvan ottanut kamera. Teollisuuteen, erilaisten kaasuvuotojen, lämpövuotojen, sota- tai vastaavaan tarkoitukseen taas on käytössä juuri näitä  $-40$  °C –  $2000$  °C-alueella toimivia lämpökameroita, mutta niiden lämpötilaresoluutio on hyvin vaihteleva. Tällä hetkellä tarkin lämpökamera omaa  $0,014$  asteen erottelukyvyn. (Bruce G. Batchelor 2012, 404)



**Kuva 3. Esimerkkejä eri aallonpituuksilla otetuista kuvista sekä hyperspektraalidatakuutiosta, kohteena puun lehti. (Resonon www-sivut 2012)**

Spektraalikamera on kamera, johon on liitetty spektrograafi. Spektraalikamera toimii viivakameran tavoin ja muodostaa kuvansa viiva kerrallaan, ja se sitten muodostetaan tietokoneella matriisikuvaksi, mutta se sisältää ns. ”kolmannen akselin”, eli z-akselin. Kameran muodostama z-akseli kuvaa kappaleen/kuvan materiaalin spektriä eli kohteesta heijastuneen valon intensiteettiä sen aallonpituuden funktiona. Kun yhdistetään viivakameralta syntyvä matriisikuva ja tämä kolmas ”z-akseli”, niin syntyy hyperspektraalidatakuutio kuten kuvassa 12. (Batchelor, 2012, 448)

Spektraalikamera on hyvin käytännöllinen maataloudessa, mineralogiassa, sekä erilaisten aineiden ja värien tunnistamisessa niiden aallonpituusalueiden avulla.

## 4 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

### 4.1 Kameran valinta

Tämän opinnäytetyön aloitusvaiheessa oli useampikin kameravaihtehto valittavissa. Satakunnan ammattikorkeakoululla on käytössä kameroita näkyvästä aallonpituusalueesta (450-750nm) jopa 9 000 nm:n aallonpituusalueelle, jota lämpökamerat käyttävät. Realistiseksi vaihtehtoiksi kuitenkin valikoituivat harmaasävyälykamera, 8-bittinen värikamera, NIR-kamera, lähi-infrapuna-aallonpituusalueen spektraalikamera sekä harmaasävyviivakamera, joilla tehtiin esiselvitys.

#### 4.1.1 Harmaasävyälykamera

Harmaasävyälykamera tuotti harmaasävykuvia näytteistä. Kuvien ottoon käytettiin 5 megapikselin Cognexin In-sight 5605 -älykameraa.



**Kuva 4. Harmaasävykuva ikteerisestä näytteestä.**





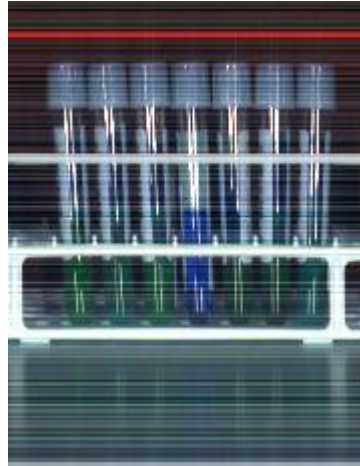
**Kuva 14. Harmaasävykuva hemolyttisestä näytteestä**

Kuten kuvista 13 ja 14 huomataan, niin niistä ei voida ottaa minkäänlaisia väriarvoja talteen. Näissä kuvissa tumman keltainen ja punainen näyttävät samalta, joten niitä ei voida erottaa toisistaan. Myöskään tässä tapauksessa ei ole mitenkään mahdollista tarkastella molempia värejä yhdestä kuvasta. Tämä harmaasävykuva olisi mahdollinen, jos käytettäisiin erivärisiä valoja, joiden kanssa otettaisiin kuvia. Näitä kuvia vertailemalla saisi väriarvot esiin, mutta tässä tapauksessa ei ole järkevää hankkia useampaa eriväristä valaisinta, joita sitten välkyttelemällä saataisiin nämä ”värikuvat” talteen. Myös useamman kuvan yhdistely ja analysointi aiheuttaisi järjestelmään erittäin epäsuotavaa viivettä.

Älykameran analysointityökalut eivät olleet riittävät tarpeellisen analysoinnin suorittamiseen. Tietojen tallentaminen ja hakeminen oli huomattavasti hankalampaa ja hitaampaa kuin esimerkiksi konenäkökameran ohjelmistolla.

Kirkkaan valon aiheuttamaa pistettä ei älykameran analysointityökaluilla ollut mahdollista paikallistaa, jolloin järjestelmä olisi hyvinkin voinut erehtyä luulemaan muita mahdollisia kirkkaita alueita täksi referenssipisteeksi. Tästä olisi ollut seurauksena se, että järjestelmä olisi asettanut mittausalueen virheelliseen sijaintiin, jolloin mittaustulokset eivät olisi olleet käytettävissä.

#### 4.1.2 Lähi-infrapuna-aallonpituusalueen spektraalikuvaus



**Kuva 15. Hyperspektraalikuva eri näytteistä.**

Kuten kuvasta 15 huomataan, niin näytteet ovat suurimmaksi osaksi samanlaisia, joten tämä kuvaustapa ei varsinaisesti soveltuisi järjestelmään, kun kuvista ei suoraan olisi mahdollista saada tuloksia. Kuvat vaatisivat tarkat spektritiedot, ja näitä tietoja pitäisi kerätä todella laajalta testikuvauskierrokselta. Testikuvauksilla voitaisiin tehdä spektrikartta, jolla sitten voitaisiin osoittaa jokaisen näytteen oma spektri kartalta ja tällöin saada näytteiden tulokset. Spektritietojen saanti ja analysointi on erittäin hidasta. Lähi-infrapuna-aallonpituusalueen spektraalikameralla kuvattaessa, toiminta on samanlaista kuin viivakameralla, joko kappale tai kamera liikkuu, erittäin hitaasti. Kamerassa on myös pieni resoluutio leveyssuunnaltakin, tällöin kuvat eivät ole kovin tarkkoja, ja näytteiden ainevaihtelut aiheuttaisivat suuria virheitä tuloksiin.

Lähi-infrapuna-aallonpituusalueen kameraa käytettäessä, joudutaan käyttämään useampaa ohjelmaa, joilla muodostetaan yllä olevan kuvan näköinen kuva. Kameralla on erillinen ohjelma, jolla ohjataan itse kameran grabbausta sekä oma analysointiohjelmisto spektreille, jolla saadaan kuvasta spektritiedot. Tämän jälkeen kuva pitää vielä analysoida, jolloin tarvitaan kolmas ohjelma, joka hakee syntyneen kuvan ja tekee siihen analysointitoimenpiteet sekä lähettää tulokset eteenpäin järjestelmälle.

Tämä kuvaustapa todettiin täysin mahdottomaksi. Sillä syntynyt kuva ei ole millään tavoin analysointikelvoinen. Käytössä olevilla laitteistoilla kuvan tuonti kameralta analysointiohjelmistoon olisi ollut suora mahdottomuus.

Lähi-infrapunaspektraalikuvauksesta todettiin, että ei olisi järjestelmän kannalta mitenkään järkevää kokeilla näkyvän valon- ja lähi-infrapuna-aallonpituusalueen lyhytaaltoisilla alueilla kuvaavaa spektraalikuvausta. Nyt tiedossa olevat lähi-infrapunaspektraalikuvauksilla syntyneet ongelmat olisivat kyseisissä kuvaustavoissa läsnä.

#### 4.1.3 Harmaasävyviivakamera

Harmaasävyviivakamera on konenäkökamera, mutta se kuvaa vain yhden viivan kerrallaan, ja tietokone sitten muodostaa näistä viivoista kuvan. Täten voidaan muodostaa niin pitkä kuva kuin vain halutaan, leveysresoluution pysyessä staattisena. Kuvan pituussuuntainen resoluutio vaihtelee tehdyn ohjelman mukaan. Tällä kuvaustavalla täytyy kappaleen tai kameran liikkua tasaisella nopeudella, näin saavutetaan hyväksytyntylainen kuva.

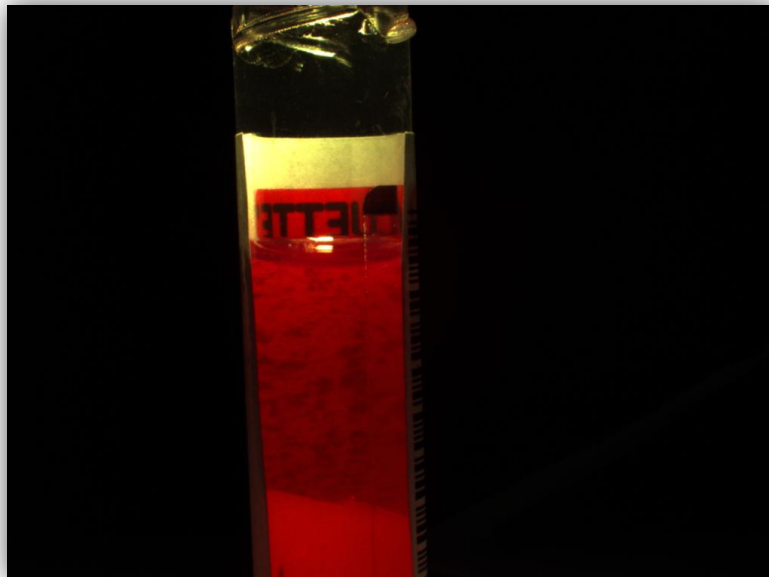
Kyseiseen järjestelmään ei saatu viivakameralla käyttökelpoista kuvaa. Laboratoriossa ei ollut mahdollista rakentaa laitteistoa, jolla olisi voitu liikuttaa koeputkia tai viivakameraa tarpeeksi suurella nopeudella. Lopputulos olisi ollut sama kuin harmaasävykamerassa, mutta huomattavasti isommalla resoluutiolla ja laajemmalla analysointityökaluarsenaalilla.

Ongelmaksi olisi muodostunut se, että kuva on harmaasävykuva, jolloin punainen ja keltainen olisi vaikea erottaa harmaasävykuvasta, ja viivakameralla olisi huomattavasti hitaampaa ja hankalampaa tuoda järjestelmään mukaan eriväriset valaistukset, jolla nuo värit olisi voitu tuoda esiin. Järjestelmä olisi näin tullut erittäin kalliiksi ja todella vaikeaksi toteuttaa. Se olisi myös vienyt kovasti tilaa, jolloin sitä ei olisi voitu käyttää sille varatussa tilassa.

#### 4.1.4 Värikonenäkökamera

Konenäkökamera on kaikkein yleisimpiä kameroita, joita käytetään konenäköjärjestelmissä. Käytössä oli AVT:n Marlin F146B-kamera, jolla oli 8-bitin väritunnistus, jolloin saadun pikselin väriarvo voi olla 0-255 aina pääväriä kohden.

Värikonenäkökameroissa on tärkeää värisovelluksissa huomioida kameran bittisyvyys, eli kuinka tarkasti kamera osaa tuottaa värejä kuvaan. Tarkemmin sanottuna siis se lukumäärä, kuinka monta bittiä voi olla yhdessä pikselissä. Jos bittien lukumäärä kasvaa, niin kasvaa myös toistettavien värien määrä. Esimerkiksi 8-bittinen kamera voi tuottaa kuvia, joissa punainen esitetään arvoilla 0-255, vihreä arvoilla 0-255 ja sininen arvoilla 0-255. Näin erilaisten värisävyjen kokonaismäärä kasvaa yli 16 miljoonaan. 10-bittinen kamera tuottaa vastaavat värit arvoilla 0-1023. Tällöin värien luokittelu on huomattavasti tarkempaa.



**Kuva 16. Värikuva hemolyttisestä näytteestä.**

Kuvassa 16 on hemolyttinen näyte, joten sen punaisuusarvo on erittäin korkea. Tällöin järjestelmä antaa tiedon eteenpäin, jos näytteestä saadut arvot ylittävät ennalta määritetyt luokka-arvot. Kuvassa 17 on taas ikteerinen näyte, jolloin sen keltaisuusarvo on hyvin korkea.

Tällä kuvaustavalla oli mahdollista tunnistaa näyteputket ja niiden sisältä löytyvä veriseerumi. Myös mittausarvon ottopaikka oli mahdollista kohdistaa, käyttäen valolähteestä syntymää heijastumaa.



**Kuva 17. Värikuva ikteerisestä näytteestä.**

#### 4.2 Optiikan valinta

Optiikkana käytettävissä oli Satakunnan ammattikorkeakoululta löytyvät linssit. Yksi linssi osoittautui parhaimmaksi kyseiseen sovellukseen, ja se oli 10-40mm CCTV-linssi. Siinä oli zoomin, focuksen sekä aukon säätö, joilla saatiin hyvin laaja ja tarkka kuva näytteistä. Tämä linssi täytyi valita juuri siksi, että pahvilaatikkoprototyyppi ei voinut olla kovin iso, ja tämä linssi oli ainoa jolla saatiin hyvä kuva aikaiseksi tarvittavalta etäisyydeltä.

### 4.3 Valaistuksen valinta

Valaistuksen kanssa tehtiin useampia kokeita, joiden kautta saavutettiin paras mahdollinen valaistusolosuhde.

Valaistusvaihtoehtona oli käytettävissä:

- Kupolivalo
- Viivavallo
- Dark field -valaisin
- Taustavallo
- Koaksiaalinen diffuusiovalaisin
- Renkasvalo (Sininen sekä punainen)
- Kuituvalo viivamaisella valokeilalla
- Kuituvalo pistemäisellä valokeilalla

Nämä valaisimet löytyivät koululta, ja niitä testattiin seuraavana esitetyin tuloksin.

#### 4.3.1 Kupolivalo

Kupolivalolla näyteputki tuli tasaisesti valaistuksi, mutta kamera voitiin sijoittaa kuvaamaan ainoastaan ylhäältä päin, jolloin ei ollut mahdollista saada kunnollista kuvaa näytteestä putken sisällä. Kupolivalon tuottama punainen valo oli myös haitaksi näytteen värin tutkimiselle.

#### 4.3.2 Viivavallo

Viivavallo tuottaa tasaisen viivavalon kuvattavaan kohteeseen, tällöin vain osa koeputkesta saadaan valaistua. Viivavallo ei sovellu myöskään käyttötarkoitukseen juuri sen takia, että putki saadaan vain yhdestä kohtaa valaistua. Valaisu tulee myös toteuttaa putken ulkopuolelta, joten putkesta tulee kameralle heijastumaa, joka häiritsee analyysia.

#### 4.3.3 Dark field-valaisin

Dark field –valaisin tuotti vain osaan koeputkea hyvän valaistuksen, joka olisi käytännöllinen. Valaistu alue oli riittämättömän kuvausta varten. Myöskään kameran sijoitus valaisimen kanssa ei ollut toteutettavissa.

#### 4.3.4 Taustavaloin

Taustavaloina voitettiin käyttää ainoastaan, jos se sijoitettiin koeputken taakse, tällöin saatiin putken muodot esiin ja pystyttiin paikantamaan putki. Itse analyysissä ei taustavalosta ollut mitään hyötyä, myöskään taustavalon tuottama punainen valo ei ollut suotuista.

#### 4.3.5 Koaksiaalinen diffuusiovalaisin

Koaksiaalisen diffuusiovalaisimen asettelu järjestelmään tuotti hankaluuksia sen koon takia. Myöskään valaisimen edut konenäköjärjestelmissä eivät tuottaneet minkäänlaista etua kyseiseen järjestelmään. Koeputki saatiin valaistua ainoastaan ulkopuolelta epätasaisesti, mikä aiheutti kameralle heijastumia koeputkesta.

#### 4.3.6 Rengasvalo sinisellä sekä punaisella valaistuksella

Rengasvalon tuottama valaistus ei auttanut analyysia lainkaan, sillä rengasvalon tuottamalla valolla ei saatu mitenkään nestepintaa valaistua hyvin. Valaistus tuli putken ulkopuolelta, mikä aiheutti merkittävää heijastumista koeputken pinnasta kameralle. Punainen ja sininen valo olivat myös haitaksi analyysille.

#### 4.3.7 Kuituvalo viivamaisella valoikeilalla

Kuituvalon tuoma valaistus oli valaistukseltaan hyvä, mutta siihen kohdistui sama ongelma kuin viivavalollakin. Itse nestettä ei voitu valaista eikä putkea saatu

valaistua muuten kuin ulkopuolelta, joten putkesta tuli kameralle heijastumia, jotka estivät analyysin.

#### 4.3.8 Kuituvalo pistemäisellä valokeilalla

Kuituvalolla toteutettu pistemäinen valokeila oli erittäin käytännöllinen, kun se laitettiin osoittamaan koeputken yläpuolelta suoraan koeputken sisään. Tällöin saatiin nesteinpinta valaistua sekä neste itsessään tiettyyn pisteeseen asti. Se että, valaiseeko pistevalo hyvin erilaisilla nestepitoisuuksilla, oli aluksi epävarmaa. Testien jälkeen huomattiin, että nesteen pinnan korkeuden vaihtelu kuituvalolla ei ollut haitaksi analyysin kannalta.

#### 4.4 Ohjelmiston valinta

Ohjelmistoksi valittiin MVTec HALCON –koneäköohjelmisto. Se oli jo Satakunnan ammattikorkeakoululta saatavilla, ja siinä oli todella kattavat analysointityökalut sekä liitettävyyttä käytettyyn kameraan.



## 5 PROTOTYYPIT

### 5.1 Prototyypit

Järjestelmän kehitys aloitettiin ensin suunnitteleamalla, millainen koejärjestely tulee olla ja miten saavutetaan hyvä aloitustaso, mistä lähteä liikkeelle. Pahvilaatikoit ovat aina osa prototyyppejä.

#### 5.1.1 Ensimmäinen prototyyppi



**Kuva 58. Kuva ensimmäisestä prototyypistä.**



**Kuva 19. Kuva ensimmäisestä prototyypistä sivulta.**

Järjetelmän ensimmäinen prototyyppi, kuvassa 18 sekä 19, koostui pahvilaatikosta, alumiinikuutiosta, styrofoamista, AVT:n Marlin-kamerasta, mustasta kangaspalasta sekä kuituvalosta. Alumiinikuutiossa oli ylä- ja alaosassa styrofoami, jonka avulla koeputki sekä kuituvalo oli mahdollista sijoittaa niin, että ne pysyivät aloillaan, eivätkä aiheuttaneet vakavaa virhettä kuvauksessa.

Tärkeää oli ottaa huomioon ulkopuolelta tuleva valaistus. Tämän takia päädyttiin mustaksi maalattuun pahvilaatikkoon, joka ei aiheuttanut niin paljoa heijastuksia kuituvalosta.

Ensimmäiseen prototyyppiin kuului myös kuution sisällä oleva styrofoam-palanen, johon oli laitettuna pistelaser-osoitin, jonka avulla oli mahdollista tunnistaa onko näyte lipeeminen vai ei.

Kun ensimmäinen prototyyppi oli saatu valmiiksi, siirryttiin sitä kokeilemaan SataDiagin kliiniseen laboratorioon muutamaksi päiväksi, sekä keräämään näytekantaa kuvista, jotta voitiin suorittaa laajempi tarkastelu näytteille. Näytteitä kuvattaessa olivat Turun ammattikorkeakoulun opiskelijat Hanna Lukka sekä Tarja Tasala myös laboratoriolla tekemässä omaa opinnäytetyötään, vertailukarttaa plasma- ja seeruminäytteistä. He suorittavat kuvatuille näytteille kemiallisien keinoin tulosten laskun.

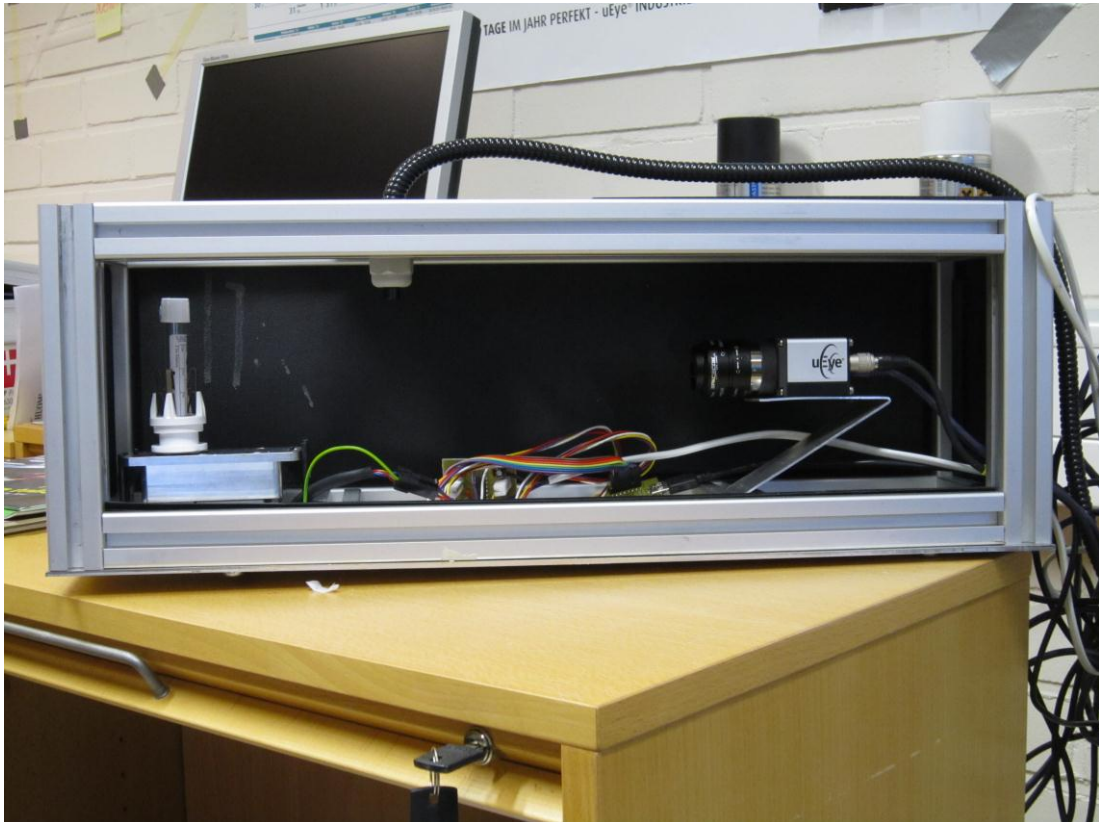
### 5.1.2 Toinen prototyyppi

Järjestelmä koostui yhä pahvilaatikosta, mutta nyt siihen oli lisätty koeputken pyöritin. Samalla alumiinikotelo oli poistettu.

Mikropiiri oli välttämätön, ilman sitä ei olisi voitu koeputkea pyörittää. Mikropiirillä toteutettiin koeputken pyöriksen ohjaus tietokoneelta. Elektroniikan asiantuntija Pauli Valo Satakunnan ammattikorkeakoulusta auttoi tässä ja teki mikropiirin, joka mahdollisti kommunikaation analysointiohjelmistosta koeputkenpyörittäjään. Mikropiiri emuloi USB:n kautta sarja-porttia, jolloin on

mahdollista lähettää sarjadataa tätä väylää pitkin. Tiedon tultua piirille, se lähettää sen edelleen askelmoottorin ohjaimelle, joka sitten pyörittää askelmoottoria saamansa signaalin mukaan.

### 5.1.3 Kolmas prototyyppi



**Kuva 20. Kuva kolmannesta prototyypistä, sivulta.**

Kolmannessa prototyypissä, kuvassa 20, järjestelmälle on suunniteltu oma kotelo, johon tulee sisään kamera, putkenpyöritin, siihen tarvittava elektroniikka ja valaistus järjestelmän päälle.

Kotelo on suunniteltu 30 x 30 mm alumiiniprofilista. Sivuille tulee muovia, joka ei päästä valoa lävitse, jolloin ulkopuolelta tuleva valo ei häiritse näytteen kuvaamista. Valaistus pysyi samana, mutta kamera vaihdettiin uEyen 10 megapikselin kameraan, jossa on 10-bitin värisyvyys. Näin saadaan RGB-arvoja väliltä 0-1023 ja värien tunnistus on tällöin tarkempaa.

Kotelon päälle tulee luukku, johon kuituvalo liitetään, jolloin valaistus menee aina samaan paikkaan. Kun näyte kuvataan, liu'utetaan kotelon päällä oleva luukku, jolloin kuituvalo siirtyy kannen mukana, ja näyteputki laitetaan koteloon sisälle putkenpyörittäjään. Kun putki on saatu paikalleen, liu'utetaan kansi kiinni ja käynnistetään kuvaus. Kun kuvaus on suoritettu, eli putki on pyörähtänyt, niin voidaan avata kansi ja ottaa näyteputki pois.

## 6 NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI

### 6.1 Kuvanottotilanne lopullisessa järjestelmässä

Lopullinen järjestelmä on liitettävä moduuliin, joka liitetään olemassa olevaan analysointilinjastoon. Moduuli sisältää kameran, valonlähteen sekä putkenpyörittimen ja tietenkin linjastokuljettimen, jossa näyteputket liikkuvat. Näyte tulee kuljettimella pimennettyyn osioon, jossa sijaitsee kamera sekä valonlähde. Näytteen saavuttua paikalleen, putkenpyörittimelle, linjastoa pitkin, laitetaan valonlähde päälle ja otetaan ensimmäinen kuva, tämän jälkeen lähdetään pyörittämään putkea lähettämällä mikropiirille komento ja otetaan kuva joka askeleen kohdalla. Putkea pyöritetään kokonaisen kierroksen verran, eli 20 askelta.

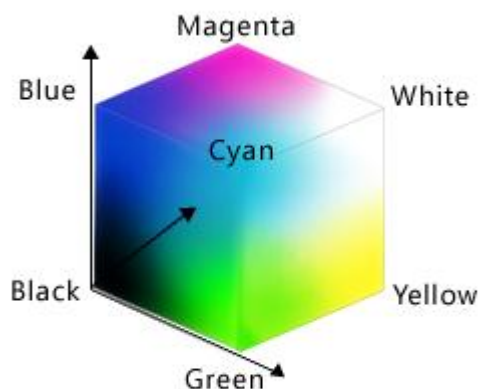
Kun kokonainen kierros on pyöritetty, järjestelmä tutkii kuvista, missä kohtaa aukko on ja ajaa pyöritintä niin kauan kunnes aukko on kohdalla.

Kun näyteputken ikkuna on löytynyt, voidaan aloittaa itse näytteen analysointi. Otetaan viimeinen kuva siitä tilanteesta mihin putkenpyörittäjä on näytteen pyöryttänyt, joka analysoidaan konenäköohjelmistolla, tässä tapauksessa HALCON-nimisellä ohjelmalla tehdyn ohjelmiston avulla. Tämän jälkeen järjestelmä lähettää saadut arvot automaatiolinjastolle ja päästää koeputken eteenpäin. Automaatiolinjasto päättää konenäköjärjestelmän antaman tiedon perusteella antaako se putken jatkaa matkaansa, vai pitääkö se poistaa järjestelmästä liiallisen hemolyyttisyyden, ikteerisyyden tai lipeemisyden takia.

## 6.2 Miten kuva analysoidaan

Kun näyteputki on käännetty niin, että nähdään mahdollisimman paljon ikkunasta sisään, suoritetaan kuvalle analyysi. Analyysi koostuu siitä, että kuvasta tarkastellaan ensin virheet. Nämä virheet, jotka voivat johtaa virheanalyysiin näytteelle ovat:

- Putken tulevan tarran liimapinnan irtonaisuus
- Putken tarran numerot tai kirjaimet
- Putken tarran värikuviot
- Putken tarran sijainti on alempana kuin nesteepinta
- Nesteepinnan osuminen putken oman tarran taakse
- Virheellinen asento koeputkella



**Kuva 6. RGB-värikuutio. (Microsoft www-sivut 2012)**

Kun nämä virheet on poistettu, tarkastetaan kuvasta näytteen väriarvot. Kuvassa 21 on värikuutio, joka kuvastaa RGB-värimaailman värikarttaa. Väriarvot RGB-mallista saadaan ottamalla jokaisen pikselin koordinaatit ylös, sekä ottamalla alkuperäisestä kuvasta R-, G- ja B-kuvat, joista käydään nämä saatujen pikselien koordinaatit lävitse, sekä tallennetaan niiden kirkkausarvot muuttujaan. Tällä tavoin saadaan alkuperäisen kuvan jäljelle jääneiden pikseleiden RGB-väriarvot, jolloin voidaan laskea näiden pikselien punaisuus- sekä keltaisuusarvot.

Kun kuvasta otetaan R-, G- ja B-kuvat, niin otetaan samalla HSV-kuva. Kirjaimet HSV tulevat sanoista Hue, Saturation ja Value. Hue on sen värin oma arvo, eli luku väliltä 0-255. Tällöin yhdellä skaalalla voidaan ilmoittaa jokin väri, piittaamatta sen sävystä tai intensiteetistä. Hue-arvoa käytetään jatkossa lopullisen analyysin tekoon.

### 6.3 Toistettavuus

Kuvanotto ja vastaukset voidaan toistaa niin monta kertaa kuin halutaan, olettaen, että kuvauspaikalla ei tapahdu mitään muutosta valaistukselle. Näin järjestelmän väritunnistus pysyy samana ja kohta, josta tunnistetaan kirkkain piste löytyy samasta paikasta ja malli otetaan näin samasta kohdasta. Tällöin saadaan taas sama tulos kuin edellisellä kerrallakin.

### 6.4 Luotettavuus

Järjestelmän luotettavuus kasvaa sen mukaan, kuinka paljon se saa näytteitä alkukalibrointiin, tällöin voidaan määrittää näytteen indeksi ja sitä kautta luokitus huomattavasti tarkemmin. Jos näytekanta järjestelmässä on hyvin pieni, niin luotu kaava ei osaa muodostaa vertailuarvoja niin tarkasti.

### 6.5 Lipeemisyden tunnistaminen

Lipeemisyttä lähdettiin miettimään siltä kantilta, että miten kamera sen näkisi parhaiten. Lipeemisyden tutkimiseen päädyttiin käyttämään laserpistettä, joka ammuttaisiin näytteeseen. Jos laserpiste näkyy kameran kuvassa selvästi, voidaan päätellä että näyte ei ole lipeeminen. Jos taas laserpiste on näkymättömissä tai erittäin heikko, voidaan päätellä, että näyte on lipeeminen.

Ensimmäisenä oli kokeiltava ampua laserpiste näytteen takaa, jolloin pisteen tulisi kulkea näyteputken tarrojen, näyteputken materiaalin sekä nesteen lävitse, tullakseen näkyväksi kameralle. Tämän takia oli hyvä ensiksi kokeilla laserpisteen

ampumista näytteen takaa päin, ettei heijastuksia pääse syntymään laserpisteestä. Laserpiste näkyi lipeemisissä näytteissä huonosti tai ei ollenkaan, kun taas kirkkaissa näytteissä se näkyi osittain, yhdessäkään tapauksessa piste ei näkynyt kokonaan, mikä oli odotettavissa.

Laserpistettä koetettiin myös ampua etupuolelta, eli kameran suunnalta. Piste näkyi tällöin erittäin hyvin, mutta vaikeudeksi muodostui löytää kulma, joka ei aiheuttaisi heijastumista lasipinnasta takaisin kameraan ja heijastuisi takaisin kameralle. Oikea kulma löytyi lopulta, ja tällä tavoin saadut tulokset olivat myös erittäin hyviä.

Molemmilla keinoilla muodostui ongelmaksi yhteensopivuus nykyisen valaistuksen kanssa. Valaistus piti sulkea kokonaan pois, jolloin laserpiste oli mahdollista havaita. Tämä taas aiheuttaa järjestelmään pientä viivettä lisää, kun joudutaan ottamaan toinenkin kuva ja sammuttamaan varsinainen valaistus.

Kokeilujen jälkeen oli helppo todeta, että normaali valaistus on tarpeeksi riittävä lipeemisiin näytteisiin, jolloin laserpiste ei ole välttämätön, mutta ei kuitenkaan täysin unohdettava vaihtoehto. Laserpisteellä voidaan helpottaa lipeemisyyden tunnistamista niistä näytteistä, joissa lipeemisyys on hyvin pieni.



## 7 POHDINTA

Järjestelmän analyysiversio onnistui hyvin, sillä saatiin tarvittava data talteen, jolla voitiin muodostaa kaava ja suorittaa analyysi. Kamera olisi voinut olla lähempänä näytettä, jolloin kuvista olisi saatu tarkempia.

Parannuksina voisi viimeiseen järjestelmään tehdä normaalin konenäkökameran tilalle väriivakamera. Tällä tavoin voitaisiin skannata koko putki läpi, ja tarkkuus olisi huomattavasti parempi. Myös analyysi olisi tarkempaa, jolloin saataisiin koko putki kuvattua ja osattaisiin varmasti paikantaa neste ja pinta, ilman heijastuspistettä. Tällä tavoin olisi samalla mahdollista tuottaa tarkempaa värianalyysia, ja mahdollisuus lukea viivakoodi. Järjestelmä nopeutuisi huomattavasti, sillä viivakameroiden kuvausnopeus on todella nopea, jolloin voitaisiin skannata koko putki hyvin tarkasti ja saada putken kokonaisresoluutio hyvinkin suureksi. Näin olisi mahdollista saada kamera lähemmäksi putkea, jolloin kuva olisi taas kerran tarkempi. Valitettavasti analyysivaiheessa ei ollut mahdollista kokeilla väriivakameraa, sillä sellaista ei koululta löytynyt.

Haittoina viivakameraa käyttäessä tulisi luultavasti sen synkronointi järjestelmään, varsinkin putkenpyörittäjän kanssa. Viivakameralla kuvanmuodostuksessa pitää saada kamera ja kappale synkroniin, jos halutaan kuvan muodostuvan aidonlaiseksi. Kuvanottotahti pitää olla siis tasainen ja pyörittäjä ei saa alkaa jumittumaan.



**Kuva 7. Vasemmalla 8 bittinen värikuva ja oikealla 24 bittinen värikuva. - JAI's 3-CCD Area Scan Technology**

Toisena vaihtoehtona olisi vaihtaa tilalle 3CCD-kamera, joka on väritarkkuudeltaan todella tarkka. 3CCD:n kamerassa on 24 tai 30 bitin syvyys joka tarkoittaa 24-bitin osalta yli 16 miljoonan eri värin erottelukykyä. Tällöin värimahdollisuuksia olisi moninkertaisesti verrattuna 8-bittiseen kameraan. Kuvassa 22 näkyy näiden kahden kameratyyppien erot väritilkkiiä kuvattaessa.

## LÄHTEET

AlliedVision Technologies. 2011. AVT Packaging Inspector. Viitattu 20.12.2012.

<http://www.alliedvisiontec.com/us/corporate/press/press-releases/press-release/article/packaging-inspector-1.html>

Batchelor B. G. 2012. Selecting Cameras for Machine Vision. Teoksessa Batchelor B.G. (toim.) Machine Vision Handbook New York: Springer 477-507

Batchelor B.G. 2012. Illumination Sources. Teoksessa Batchelor B.G. (toim.) Machine Vision Handbook New York: Springer, 284-316

Batchelor B.G. 2012. Light and Optics. Teoksessa Batchelor B.G. (toim.) Machine Vision Handbook New York: Springer, 160-258

Batchelor B.G. 2012. Machine Vision for Industrial Applications. Teoksessa Batchelor B.G. (toim.) Machine Vision Handbook New York: Springer, 3-59

Boerner G. 'Prof. Boerner's Explorations'. Photographic Concept of the Day... Choosing your Lens, Part 1. 6.2.2010. <http://www.boerner.net/jboerner/?p=8087>

Bulckaert Machine Vision www-sivut. 2010. Viitattu 14.12.2012 .

<http://www.bulckaertmachinevision.be/wat-en.htm>

Dimeski G. 2008. Interference Testng. Viitattu 20.12.2012.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2556582/>

Donna D. Castellone, Interference of Hemolysis, Icteric & Lipemia Coagulation Testing, Viitattu 20.10.2012. <http://laboratory-manager.advanceweb.com/Archives/Article-Archives/Interference-of-Hemolysis-Icteric-Lipemia-Coagulation-Testing.aspx>

Dugan L., Leech L. Gabel Speroni K., Corriher J. 2005. Factors Affecting Hemolysis Rates in Blood Samples Drawn From Newly Placed IV Sites in the Emergency Department. Journal of Emergency Nursing Vol. 31, 338-345. Viitattu 20.12.2012. <http://bmhlibrary.info/16126097.pdf>

Gilblom D.L. 2012. Cameras. Teoksessa Batchelor B.G. (toim.) Machine Vision Handbook New York: Springer, 355-476

Gillot C. 2009. What Is Jaundice? What Causes Jaundice? What Is Icterus? Viitattu 20.12.2012. <http://www.medicalnewstoday.com/articles/165749.php>

Iglesias T., Salmon A. Scholtz J. Hedegore R. Borgendale J. Runnels B. McKimpson N. 2006. Camera Computer Interfaces. Teoksessa Hornberg A. (toim.) Handbook of Machine Vision Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 427-511

Industrial Vision Systems. 2012. Case Study – Sizing up the sorting issue. Viitattu 20.12.2012. <http://www.industrialvision.co.uk/IMAGES/PDFs/IVS-CSN-0108.pdf>

Industrial Vision Systems. 2012. Vision system automatically sorts color coded clothes tags using machine vision technology. Viitattu 20.12.2012. <http://www.youtube.com/watch?v=5NYZ5ytYzpY&feature=related>

Jahr I. 2006. Lightning in Machine Vision. Teoksessa Hornberg A. (toim.) Handbook of Machine Vision Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 73-202

JAI www-sivut. 2012. JAI's 3-CCD Area Scan Technology. [http://www.jai.com/SiteCollectionDocuments/Camera\\_Solutions\\_Other\\_Documents/Flyer\\_3CCD\\_AreaScan\\_EN.pdf](http://www.jai.com/SiteCollectionDocuments/Camera_Solutions_Other_Documents/Flyer_3CCD_AreaScan_EN.pdf)

Kroll M. H. 2004. Evaluating Interference Caused by Lipemia. Viitattu 20.12.2012. <http://www.clinchem.org/content/50/11/1968.full>

LOT Quantum Design www-sivut. 2012. Viitattu 20.12.2012. <http://www.lot-orient.com/de/en/home/infraredcameras/>

Mattfeldt H. 2006. Camera Systems in Machine Vision. Teoksessa Hornberg A. (toim.) Handbook of Machine Vision Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 361-426

Microsoft www-sivut. 2012. Color. Viitattu 20.12.2012. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/aa511283.aspx>

National Geographic. 2011. Ultimate factories: Coca Cola. Viitattu 20.12.2012. <http://www.youtube.com/watch?v=dVfUo6NzTKE>

National Instruments. 2010. Practical Guide to Machine Vision Lightning – Part II. Viitattu 20.12.2012. Whitepaper <http://www.ni.com/white-paper/6902/en>

National Instruments. 2010. Practical Guide to Machine Vision Lightning – Part III. Viitattu 20.12.2012. Whitepaper <http://www.ni.com/white-paper/6903/en>

Resonon www-sivut. 2012. Viitattu 20.12.2012. Whitepaper <http://www.resonon.com/whitepapers/Resonon-Hyperspectral-Tutorial.pdf>

Salo, T. 2012. Sairaalakemisti, SataDiag. Pori. Haastattelu 16.10.2012. Haastattelijana Joonas Kortelainen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

SAMK:n www-sivut. 2012. Viitattu 20.12.2012. <http://www.samk.fi/lahi-infrapunakuvaus>

Spectrumillumination www-sivut. 2009. Viitattu 20.12.2012. <http://www.spectrumillumination.com/>

Steger C., Ulrich M., Widemann C. 2008. Image Acquisition. 2. uud. p. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 5-65

Stephens S. C., Rasmusse V. P. 2010. Near Infrared Tutorial. Viitattu 20.12.2012  
<http://extension.usu.edu/nasa/html/on-target/near-infrared-tutorial>

Teledyne Dalsa www-sivut. 2012 Viitattu 14.12.2012  
[http://www.teledynedalsa.com/corp/markets/CCD\\_vs\\_CMOS.aspx](http://www.teledynedalsa.com/corp/markets/CCD_vs_CMOS.aspx)

Telljohann A. 2006. Introduction to Building a Machine Vision Inspection.  
Teoksessa Hornberg A. (toim.) Handbook of Machine Vision Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 35-73

Unity Scientific Asia Pacific – Why consider NIR. Viitattu 21.12.2012  
<http://www.unityscientific.com.au/page.asp?id=28>

Woodham R. J. 1980. Photometric method for determining surface orientation from multiple images. Vancouver: Universit of British Columbia. Viitattu 20.12.2012  
<http://www.umiacs.umd.edu/~raghuram/ENEE731/Stereo/Woodham80c.pdf>

Wu J. 2009. Experimental Apparatus. Viitattu 21.12.2012.  
<http://www.taurusstudio.net/research/pmtexdb/apparatus.htm#illumination>



