

Juuso Tapola

# KONENÄÖN HYÖDYNTÄMINEN LEVYN TARKASTAMISESSA

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2019

# KONENÄÖN HYÖDYNTÄMINEN LEVYN TARKASTAMISESSA

Tapola, Juuso  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Lokakuu 2019  
Sivumäärä: 44  
Liitteitä: 0

Asiasanat: älykamera, valaistus, optiikka

---

Opinnäytetyö suoritettiin Boliden Harjavallan Porin yksikölle. Porin yksikön tehtävä on puhdistaa kuparia elektrolyysin avulla.

Työn aiheena oli tutkia konenäköjärjestelmän soveltuvuutta levyn tarkastuslinjastoon. Levystä haluttiin tutkia sen kuntoa erittäin tarkasti. Haluttiin myös varmistaa, ettei levyyn ollut jäänyt kuparin jäämiä kiinni.

Konenäköjärjestelmiä tutkittiin aluksi yleisellä tasolla niin, että konenäköjärjestelmän perusasiat tulivat selviksi. Järjestelmän osat käytiin pala palalta tarkasti lävitse. Tämän jälkeen siirryttiin kohteeseen mahdollisesti soveltuviin järjestelmiin ja ruvettiin tutkimaan niiden todellista soveltuvuutta.

Tutkimuksissa testattiin 2D-älykameraa sekä 3D-älykameraa. Tutkimuksessa ja kokeiluissa ilmeni yllättävän paljon ongelmia, joihin koitettiin puuttua. Toimivaa järjestelmää ei saatu rakennettua, mutta saatiin kerättyä kuitenkin rakentavaa tietoa, jota voidaan hyödyntää järjestelmää suunniteltaessa.

## MACHINE VISION UTILIZATION IN PLATES EXAMINATION

Tapola, Juuso

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering

October 2019

Number of pages: 44

Appendices: 0

Keywords: machine vision, illumination, optic

---

This thesis was made for Pori's unit of Boliden Harjavalta. Pori's unit refines copper by using electrolysis.

The subject of the thesis was to investigate machine vision's suitability for metal plates survey line. The plate's condition should be investigated very precisely. Also the copper remains were supposed to be identified.

At first several different machine vision systems were studied in general level, so that machine vision system basics became clear. Parts of the system were reviewed precisely piece by piece. After that the goal was moved on systems, that might be suitable for the target. In this phase the target was to investigate their real suitability.

In investigations a 2D smart camera and a 3D smart camera were tested. There appeared a surprisingly lot of problems, which were tried to intervene. Fully working system was not successfully built, but still constructive information was gathered, which might help in thinking of system.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ YLEISESTI.....	6
2.1	Esittely.....	6
2.2	Konenäkö verrattuna ihmisenäköön.....	6
2.3	Järjestelmän osat .....	6
2.3.1	Kamera .....	7
2.3.2	Valaistus .....	8
2.3.3	Optiikka .....	12
2.3.4	Kuvankäsittely ja analysointi .....	16
3	TUTKIMUKSEN KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS.....	19
3.1	Tutkimuksen kamerat .....	19
3.1.1	Gocator 2380A-3B-01 .....	19
3.1.2	In-sight 5605 .....	20
3.2	Kohteen valaistus .....	21
3.2.1	Valonlähteen valinta .....	21
3.3	Kohteen kuvantaminen.....	24
3.3.1	2D-älykameralla kuvaaminen.....	24
3.3.2	3D-älykameralla kuvaaminen.....	29
3.4	Ohjelma ja analysointi .....	34
3.4.1	In-sight Explorer analysointi .....	34
3.4.2	Gocatorin analysointi.....	39
4	PÄÄTELMÄT .....	42
4.1	2D-älykameran päätelmät .....	42
4.2	3D-älykameran päätelmät .....	42
4.3	Yhteiset päätelmät .....	43
	LÄHTEET .....	44
	LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Erilaiset konenäköjärjestelmät ovat yleistyneet paljon viime aikoina. Konenäköjärjestelmillä voidaan tutkia monenlaisia asioita, kuten esimerkiksi jonkin kappaleen ominaisuuksia. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin soveltuisiko konenäköjärjestelmä Boliden Harjavallan kuparielektrolyysin erääseen pisteeseen.

Paikka johon järjestelmän sopivuutta tuli selvittää, oli linjasto, jossa kulki haponkestäviä metallilevyjä. Järjestelmän tehtävä olisi tutkia levyjen kuntoa, jotta huonokuntoiset levyt voitaisiin automaattisesti siirtää huoltoon. Tutkittavia asioita levyissä olivat niiden suoruus, reunassa olevien muovilistojen eheys, hitsaussauman eheys ja se ettei levyissä ollut mitään ylimääräistä kiinni.

Tutkittaviksi kamerajärjestelmiksi valittiin 2D-älykamera ja 3D-älykamera. 2D-kamerana käytettiin Cognexin In-sight 5605 -älykameraa ja 3D-kamerana oli Gocator 2380A. Näillä testikameravalinnoilla haluttiin saada laajempaa ymmärrystä siitä, kumman tyyppinen ratkaisu voisi toimia kohteessa paremmin.

Tavoitteena oli, että levyjen kunnon tarkastus saataisiin automatisoiduksi, jolloin ihmisen, ei tarvitsisi sitä valvoa, kuten nykyään asia oli hoidettuna. Kohteessa oli aiemminkin yritetty automatisoida tarkastusta, mutta ratkaisu ei ollut toiminut toivotusti.

Boliden Harjavalta on perustettu 1936. He ovat yksi maailman tehokkaimmista kuparin ja nikkelin tuottajista. Tehtaat sijaitsevat Lounais-Suomessa lähellä satamaa. Heidän päätuotteitaan ovat kupari, nikkeli, kulta ja hopea. Opinnäytetyö tehtiin Boliden Harjavallan Porin yksikölle, jossa kuparia puhdistetaan elektrolyysin avulla. (Boliden)

## 2 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ YLEISESTI

### 2.1 Esittely

Konenäköjärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, joka kuvaa valmiiksi älykällä laitteistolla tai kuvauslaitteella, johon yhdistetään tietokone älyn tuomiseksi. Usein, varsinkin ennen, konenäköjärjestelmät yhdistettiin vain teollisuuteen, mutta kehityksen myötä sen käyttö on yleistynyt myös lääketieteellisiin sovelluksiin, tutkimuslaitteisiin ja jopa elokuva käyttöön. (Teledyne DALSA 2014, 1)

Konenäköjärjestelmällä otetaan kuvia, joita ohjelmisto tutkii, sen mukaan kuinka sitä ollaan ohjelmoitu. Saatujen tulosten perusteella järjestelmä lähettää eteenpäin viestiä, mitä esimerkiksi robotin pitää tässä tapauksessa tehdä kappaleelle, josta kuva otettiin. (Teledyne DALSA 2014, 1)

### 2.2 Konenäkö verrattuna ihmisenäköön

Ihmisen näkökyvyn monipuolisuus on sen vahvuus verrattuna konenäköön, mutta muilta osin kone voittaa ihmisen näkökyvyn. Heikkoudet tulevat esiin työn toistettavuudessa, sillä ihmisen toimintaan vaikuttaa väsymys, mielialat, häiriöt ympäristössä ja muut vastaavat asiat. Toinen asia missä kone on aivan omaa luokkaansa verrattuna ihmiseen, on sen nopeus nähdä ja käsitellä asiat. Näiden vahvuuksien avulla saadaan työ tehtyä huomattavasti nopeammin ja laatu pysymään tasaisena. (Teledyne DALSA 2014)

### 2.3 Järjestelmän osat

Konenäköjärjestelmä koostuu monesta eri osasta ja osa-alueesta. Eri yhdistelmillä saadaan todella paljon erilaisia järjestelmiä, joilla voidaan kuvata eri asioita eri tilanteissa.

### 2.3.1 Kamera

Kameran tehtävä on napata kuvia, jotka se joko tallentaa tai siirtää eteenpäin. Yksinkertaisuudessaan kamera kerää valoa optiikan läpi sen kennolle, josta se muuttaa sähkömagneettisen säteilyn kuvatiedoksi. Prosessi voi olla sähköinen tai kemiallinen. Kameratekniikka onkin ottanut viime vuosikymmeninä huiimia askelia eteenpäin. Kehittyneitä asioita ovat etenkin kuvien resoluutiot ja niiden muodostamiseen menevän ajan lyhentymisen. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Kameratypit voidaan jakaa matriisi- ja viivakameroihin. Matriisikamerat ovat yleisimpiä ja niillä saadaan kaksiulotteisia kuvia. Ne toimivat hyvin perinteisessä kappaleen kuvausprosessissa. Matriisikameran muodostamassa kuvassa pikselit ovat pysty ja vaakasuunnassa. Viivakamerassa taas on toisin, siinä kennolla on elementtejä vain yhdellä tai muutamalla rivillä, jolloin kuvista tulee yksiulotteisia. Ne soveltuvat joissain tilanteissa hyvin liikkuvien kappaleiden kuvaamiseen tai jos halutaan kuvata sylinterinmuotoisen kappaleen pintaa. Viivakamera on myös teknisesti vähemmän vaativampi kuin matriisikamera. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

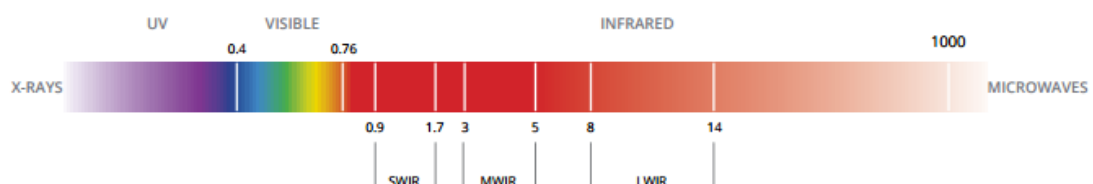
Kameroissa voi olla kahden tyyppisiä kennoja CCD tai CMOS. CCD -kenno eli Charged-couple device koostuu valoherkistä puolijohteista fotodiodeista. Fotodiodit muuttavat linssin läpi tulevan valon sähkövarauksiksi, jotka muutetaan numerotiedoksi ja niistä lopulta kuvaksi. Valon määrä määrittää kunkin fotodiodin sähköisenvarauksen muutoksen, jolla taas määritetään kunkin pikselin tummuus tai vaaleus. CMOS -kenno eli Complementary metal-oxide semiconductor koostuu myös fotodiodeista, mutta jokaisen fotodiodin tieto voidaan lukea erikseen ilman, että muita luetaan. Tämä taas puolestaan mahdollistaa nopeamman kuvaamisen ja sen, että voidaan periaatteessa kuvata pienemmällä kennokoolla, joka taas tekee prosessista nopeamman. Tosin kuvanlaatu ei ole aivan CCD -kennon tasoinen. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Jos kameraan halutaan muita värejä kuin harmaan sävyjä, on siihen kaksi erilaista ratkaisutyyppiä. Yleisempi on Bayermatriisi, jossa kennolla on kolmeen eri väriin erikoistuneita diodeja. Värit ovat tietenkin punainen, vihreä ja sininen. Näiden kolmen värin yhdistelmällä saadaan muodostettua värikuvia. Toinen tapa on, että jokaiselle näille kolmelle värille on oma kennonsa, mutta se on kallis tapa. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Kuvan tarkkuuteen vaikuttaa monta tekijää, mutta kameran osalta siihen vaikuttaa kennon koko ja siellä olevien fotodiodien määrä. Yksi fotodiodi muodostaa yhden pikselin kuvaan, ja mitä enemmän pikseleitä on kuvassa, sen tarkemmin asiat voidaan kuvata. Mutta se, että kennot ovat samankokoisia ei tarkoita, että niissä olisi sama määrä pikseleitä. Pikselien koko voi vaihdella. Pienempi pikseli johtaa isompaan resoluutioon, mutta se tuo myös mukanaan ongelmia optiikan kanssa. Tämän lisäksi pienempi diodi on vähemmän herkkä valolle, mikä saattaa aiheuttaa kohinaa. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

### 2.3.2 Valaistus

Valaistuksen tärkeyttä ei voida tarpeeksi korostaa, sillä sen merkitys on valtava kuvauksen kannalta. Jos jotain kohtaa ei saada valaistua tarpeeksi tai se valaistuu liikaa, niin menetetään mahdollisesti kriittistä tietoa, eikä sitä useimmiten saada ohjelmallisesti korjattua, vaikka ohjelmisto olisi kuinka hyvä. Tämän takia on erityisen tärkeää, että valaistuksen suunnittelussa onnistutaan. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)



Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri (Opto-engineering 2017)

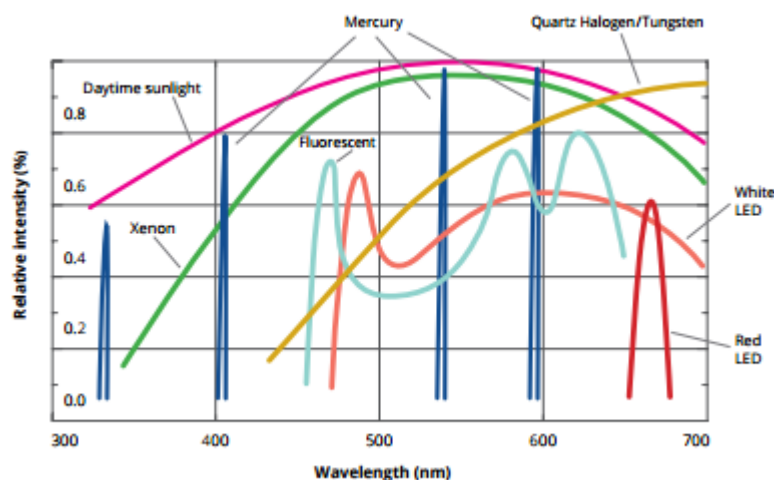


Valo on sähkömagneettista säteilyä ja sillä on eri värisävyjä, joka perustuu valon aallonpituuteen. Ihmisen silmä pystyy normaalisti havaitsemaan 400 -700 nanometrin alueella (kuva 1), mutta konenäkö ja erisovellukset pystyvät hyödyntämään tuon alueen ulkopuolella olevia aallonpituuksia. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Riippuen materiaalista ja valon aallonpituudesta, valo voi heijastua, läpäistä tai imeytyä materiaaliin. Valo voi tehdä useampaa edellä mainituista tai sitten vain yhtä. Näitä valon ominaisuuksia pystytään nimenomaan hyödyntämään eri asioiden tutkimisessa. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Valon taittumiseen vaikuttaa kääntäen verrannollisesti sen aallonpituus. Se tarkoittaa sitä, että punaiset säteet taipuvat vähemmän kuin violetit säteet. Näin ollen violetin sävyiset eli matalan aallonpituuden omaavat valot hajoavat pinnalle helpommin kuin korkean aallonpituuden omaavat. Violetin sävyinen valo soveltuu siis paremmin pintojen tutkimiseen. Punainen valo taas soveltuu paremmin esimerkiksi läpinäkyvien kappaleiden reunojen löytämiseen. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

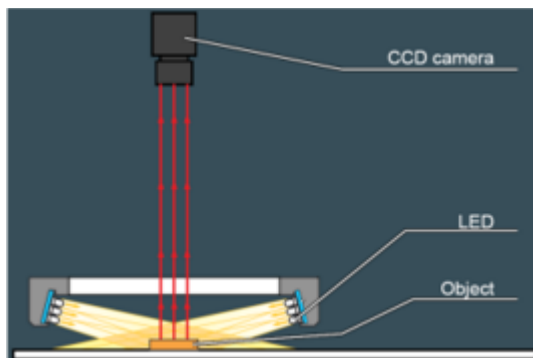
Eri väristen valojen käyttäminen on erittäin tehokas tapa korostaa tiettyjä elementtejä kuvissa. Käyttämällä elementin vastaväriä saadaan se kuvassa tummemmaksi ja jos käytetään saman väristä valoa kuin elementti, niin se vaalentuu. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)



Kuva 2. Eri valonlähteiden säteilyspektrejä (Opto-engineering 2017)

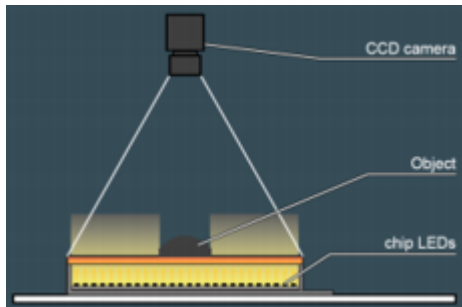
Eri valonlähteitä ovat esimerkiksi, aurinko, halogeenit, ledit, loisteputket, laserit, ultraviolettivalaisimet, infrapunavalaisimet ja xenon valaisimet. Näistä aurinko kattaa kaikki sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusalueet ja myös suurimmalla intensiteetillä, kun taas esimerkiksi punainen ledi kattaa vain pienen aallonpituusalueen punaisen valon vyöhykkeellä ja laseri ei anna kuin yhtä aallonpituutta olevaa valoa (kuva 2). Eroja löytyy myös välkyntätaajuuksista. Esimerkiksi ledillä on erittäin tasainen valo, kun taas loisteputkella on huomattavissa välkyntää, jos sen perusverkkovirrasta saamaa 50 Hz taajuutta ei olla muutettu taajuusmuuttajalla. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Valaistustavan etsimiseen on periaatteessa kaksi tapaa, joista ensimmäinen on puhtaasti eri valojen ja valaistustapojen kokeileminen. Toinen tapa taas on ehkä tehokkaampi, jossa tunnistetaan ympäristö ja sovelletaan siihen teoriassa parasta valaistustapaa. Tärkeintä olisi saada valon avulla korostettua asioita, joita halutaan tutkia ja vähentää niiden alueiden kontrastia, jotka eivät ole tarpeellisia. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)



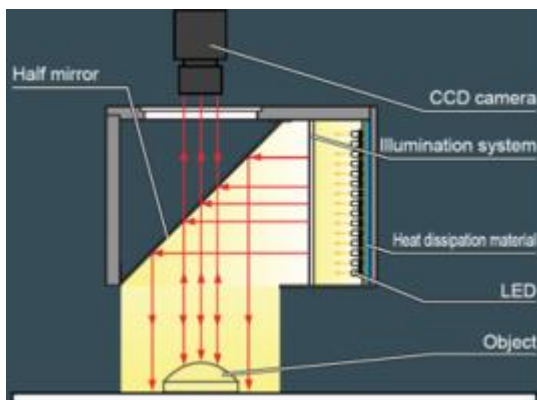
Kuva 3. Sivuvälo (CCS America n.d)

Sivuvälo on valaistustapa, jossa valo tuodaan kohteeseen sivuilta sopivalla kulmalla, niin että valo ei tasaisella pinnalla heijastu suoraan kameraan (kuva 3). Tämä soveltuu hyvin esimerkiksi pintojen tutkimiseen ja heijastaville pinnoille. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)



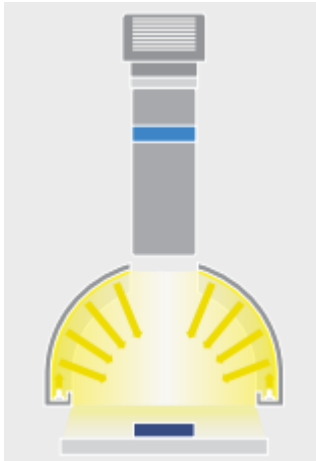
Kuva 4. Taustavalo (CCS America n.d)

Taustavalo on valaistustapa, jossa valo tuodaan kappaleen takapuolelta (kuva 4), niin että kamerassa näkyy vain tumma kappale ja vaalea tausta. Tämä sovellus toimii erinomaisesti kappaleen ääri viivojen etsimiseen. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)



Kuva 5. Aksiaalinen diffuusivalo (CCS America n.d)

Aksiaalinen diffuusivalaistus on valaistustapa, jossa valo heijastetaan kohtisuoraan kappaleeseen säteenjakajan avulla (kuva 5). Kyseinen sovellus soveltuu heijastaviin pintoihin ja sillä saadaan tutkittua hyvin kappaleen pinnoista virheitä, pois sulkien korkeuserot. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)



Kuva 6. Diffuusikupoli (Opto-engineering 2017)

Kupolivalo eli diffuusikupoli on valaistustapa, jossa kupoli asetetaan kohteen päälle ja kupolin reunoista heijastuu valonsäteet monissa eri kulmissa kohteeseen (kuva 6). Tällä tavalla päästään usein eroon epätasaisesta valosta ja heijastusongelmista. Diffuusikupoli soveltuu hyvin moniin eri tilanteisiin, kuten epätasaisiin ja kiiltäviin kohteisiin. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Viivanomainen valo on valaistustapa, jossa valonlähteestä saadaan viivamainen ulostulo. Sitä käytetään esimerkiksi erilaisiin kolmiulotteisiin mittauksiin. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

### 2.3.3 Optiikka

Optiikan linssin tarkoitus on kerätä hajallaan olevat valonsäteet ja ohjata ne kennolle, josta ne tulkitaan kuvaksi. Optiikkaa valittaessa on hyvä tietää, kuinka suuresta alueesta tarvitaan kuva ja millaiselta etäisyydeltä kuvataan. Samoin kameran kennon fyysinen koko on hyvä tuntea, jotta tiedetään, millaiselle alueelle valonsäteet pitäisi johtaa. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Optiikan ominaisuuksista polttoväli on varsin olennainen. Se on mitta sille, kuinka paljon linssi hajottaa tai kokoaa valoa. Mitä pienempi polttoväli optiikassa on, sitä suurempi taittokyky sillä on eli mitä suurempi polttoväli luku on,

sitä pienemmältä alalta saadaan kuvattua etäisyyttä muuttamatta. Polttoväli voi olla positiivinen tai negatiivinen. Positiivinen tarkoittaa sitä, että linssi on kupera ja negatiivinen tarkoittaa koveraa. Yleensä konenäössä käytetyt linssit ovat kupera. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Joissain optiikoissa on myös suurennos mahdollisuus, joka taas vaikuttaa näkökentän suuruuteen. Jos kuvaa zoomataan suuremmaksi optiikasta, sen näkökenttä pienenee samalla, kun kuva tietyltä alueelta suurenee. Sama pätee myös tietenkin toisinpäin. Kiinteällä polttovälillä olevat optiikat ovat silti yleisiä konenäössä, koska etäisyydet kohteeseen ja niiden koot tiedetään yleensä ennalta hyvin ja näillä parametreilla voidaan laskea oikealla polttovälillä oleva optiikka. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

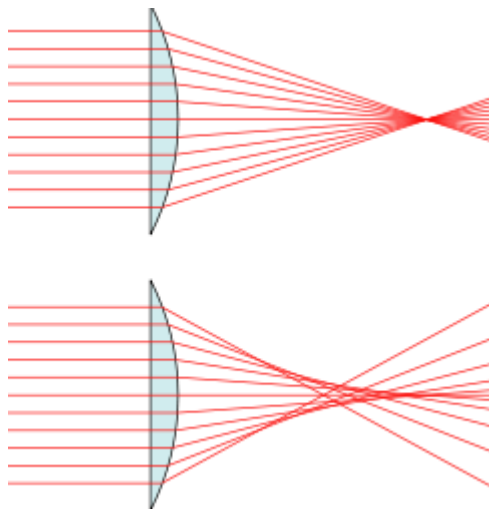
Optiikassa on niin sanottu valotusaukko, jonka kokoa muuttamalla voidaan säätää kennolle pääsevän valon määrää. Kun tiedetään aukon halkaisija ja polttoväli, niin niistä voidaan laskea niin kutsuttu aukkosuhde. Optiikan kyljessä tämä yleensä esiintyy esimerkiksi merkintänä  $F/1.0$ ,  $F/1.4$  tai  $F/$  jokin muu numero. Useimmiten paras tulos saadaan aukkosuhteen ollessa viiden ja kahdeksan välissä. Aukon ollessaan liian auki se saattaa aiheuttaa reunojen tummumista, kun taas jos se on liian kiinni, se voi aiheuttaa optisia vääristymiä. Aukon suuruutta vaihdellessa todennäköisesti tarvitsee myös säädellä valotusaikaa, jotta kuva ei yli tai ali valoituu. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Aukkosuhde vaikuttaa myös syväterävyyteen, joka määrittää etäisyysalueen, jolla kuvan kohteet pysyvät tarkkoina. Aukkosuhteen vaikutus ilmenee siten, että syväterävyys alue pienenee sitä enemmän, mitä suuremmaksi aukkoa kasvatetaan. Syväterävyyysalueeseen kuitenkin vaikuttaa muitakin tekijöitä, kuten objektiivin oikea polttoväli ja mikä etäisyys kameralla on kohteeseen. Mitä lähempänä kamera on kohdetta, sitä lyhyemmäksi syväterävyyysalue muuttuu ja mitä suurempi objektiivin polttoväli todella on, sitä lyhyemmäksi syväterävyyysalue muuttuu. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Kuvan laatuun vaikuttaa monta eri tekijää, kun suunnitellaan konenäköjärjestelmää. On hyvin tärkeää ottaa huomioon suoritusrajoitukset, joihin vaikuttaa poikkeamat, vääristymät, mekaaniset ominaisuudet ja tietenkin parametrit, kuten näkökenttä, syvä-terävyysalue ja resoluutio. (Opto-engineering 2017)

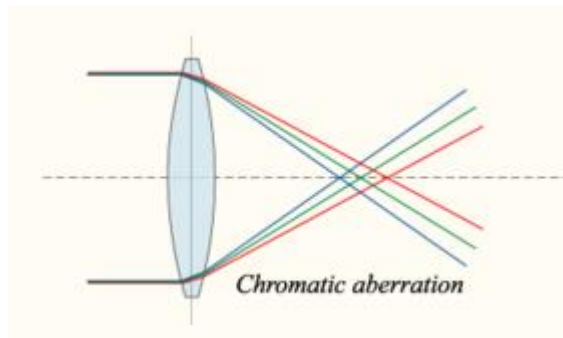
Linssistä aiheutuvia poikkeamia on montaa eri tyyppiä, jotka johtuvat monesta eri syystä. Ne vaikuttavat optiikan suoritukseen siten, ettei optiikasta saada kaikkein parasta tulosta irti. (Opto-engineering 2017)

Jotta valonsäteet keskittyisivät kunnolla, optisen materiaalin ja pintojen pitää olla tasalaatuisia. Fyysisiä poikkeaman aiheuttajia ovat etenkin pöly ja lika. (Opto-engineering 2017)



Kuva 7. Pallopoikkeama (Wikipedia 2008)

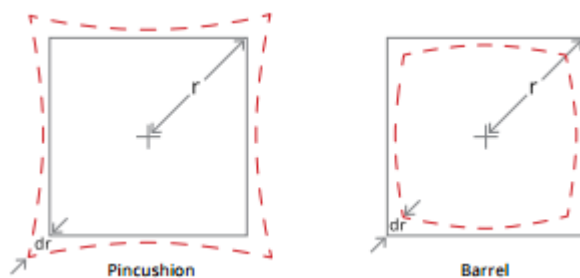
Pallopoikkeama aiheuttaa sen, että valonsäteet eivät yhdisty täysin samassa pisteessä keskenään, jolloin polttopiste on varsin epäselvä (kuva 7). Tämä voidaan korjata linssillä, joka ei ole pallonmuotoinen. Tällainen asfäärinen linssi korjaa säteet niin, että ne taittuvat taas samassa pisteessä keskenään. Vaihtoehtoinen ratkaisu olisi käyttää korkeaa aukkosuhdetta, jolloin säteet osuisivat kaukaa optiselta akselilta ja tämä estäisi pallopoikkeaman pääsemisen kennolle. (Opto-engineering 2017)



Kuva 8. Väripoikkeama (Wikipedia 2006)

Väripoikkeama aiheutuu siitä, että valon eri aallonpituudet taittuvat eri lailla keskenään (kuva 8). Valonsäteiden suuremmat aallonpituudet taittuvat vähemmän, kuin pienemmän aallonpituuden omaavat säteet, eli punainen väri taittuu vähemmän kuin sininen väri. Tämä aiheuttaa taas sen, että säteet leikkaavat optisen akselin eri kohdissa, jolloin kuvasta tulee epäselvä. Kyseinen ongelma voidaan korjata käyttämällä akromaattista linssiä. (Opto-engineering 2017)

Muita poikkeama tyyppisiä ovat hajataitto, koma eli kuvausvirhe sekä kenttä kaarevuus. Hajataittoisuus saa kuvan poikkisuorat linjat näyttämään teräviltä, kun taas pystysuorat linjat näyttävät epäselviltä, tai sitten juuri toisin päin. Koma aiheuttaa nimensä mukaisesti pyrstötähden näköisen kuvausvirheen kuvaan, kun valopiste jää linssin akselin ulkopuolelle. Kenttä kaarevuus aiheuttaa kuvan reunoille tai keskelle epätarkkuutta. (Opto-engineering 2017)



Kuva 9. Vääristymä (Opto-engineering 2017)

Vääristymät johtuvat linssien pyöreyydestä. Se saa suorakulmaisen kohteen vääntymään joko ulos- tai sisäänpäin (kuva 9), joka taas monesti aiheuttaa ongelmia kappaleiden suoruuksia tutkiessa. Onneksi vääristymiä pystytään

korjaamaan jonkun verran ohjelmallisesti kalibroinnin ja laskennan avulla. (Opto-engineering 2017)

Linssi tyyppinä on monia, niistä muutamia ovat kiinteän polttovälin linssit, säädettävän polttovälin linssit ja telesentriset linssit. Kiinteän polttovälin linssi on varsin usein käytetty konenäkö sovelluksissa, koska yleensä näitä sovelluksia suunniteltaessa tiedetään jo työtäisyydet ja kuvausalueen koot. Ne ovat halvempia verrattuna säädettävillä polttoväleillä oleviin linsseihin. Säädettävät polttovälit taas tarjoavat enemmän mahdollisuuksia käyttää linssiä eri sovelluksissa. Telesentrinen linssi soveltuu hyvin korkeiden kappaleiden kuvantamiseen, sillä ne eivät vääristä, kunhan kohde kuvataan suoraan ilman perspektiiviä. Pitää kuitenkin muistaa, että telesentrisen linssin pitää olla vähintään yhtä suuri kuin halutun kuvan näkökenttä. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

#### 2.3.4 Kuvankäsittely ja analysointi

Konenäköjärjestelmän ja etenkin sen ohjelmapuolen rakenteeseen vaikuttaa erittäin vahvasti, mihin tarkoitukseen sitä käytetään. Sillä on kuvankäsittelyn kannalta merkitystä, etsitäänkö kuvasta jotain tiettyä elementtiä, mitataanko jotain tai tutkitaanko jotain muuta. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Digitaalinen kuva muodostuu matriisista, jossa pikselit ovat matriisin alkioita. Tämä tarkoittaa sitä, että kuva jaetaan pysty- ja vaakasuunnassa johonkin määrään välejä. Digitaalisessa kuvassa harmaansävyt on 8-bittisessä esityksessä jaettu 256 sävyyn. Jokaisella pikselillä on lukuarvo, joka ilmaisee sen harmaansävyä. Värikuvan tapauksessa on kolme eri matriisia, joissa on punaisen, vihreän ja sinisen sävyjen arvot. Binäärikuvassa pikselin väri on, joko musta tai valkoinen ja sen arvo voi olla vain ykkönen tai nolla, jossa ykkönen valkoinen ja musta nolla. Se, että digitaaliset kuvat ovat matriisi muodossa, tarkoittaa myös sitä, että suurin osa kuvankäsittelystä on matemaattisia operaatioita matriisille. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)



Segmentointi toimii kuva-analysoinnin perustana. Segmentoinnissa kuva jaetaan osiin, niin että saadaan haluttuja asioita korostettua kuvasta, jotta niitä taas voitaisiin tutkia tarkemmin. Sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi kohteiden koon tutkinnassa tai lukumäärän laskemiseen. Kynnystys on eräs segmentointi tapa, jossa kuva voidaan muuttaa esimerkiksi harmaansävynkuvasta binäärikuvaksi. Siinä vedetään raja johonkin kohtaan harmaansävyjä, jolloin rajan toisella puolella olevat sävyt muutetaan mustiksi ja toisen puolen sävyt valkoisiksi. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Reunojen etsiminen on myös eräs vaihtoehto, kun etsitään kuvassa olevia kohteita. Reunakohdalla on vierekkäin kaksi tai useampia toisistaan hyvin poikkeavaa harmaansävynarvoa. Reunoja etsittäessä käytetään suodatinmaskeja, jotka on kehitetty nimenomaan reunojen tunnistamiseen. Maskin tarkoitus on laskea sen alueen pikselien keskiarvo tai mediaani ja antaa sen mukaan arvo pikselille. Maskin koko voi vaihdella 2 x 2 pikselistä 64 x 64 pikseliä olevaan maskiin, jolla käydään sitten koko kuvan matriisi lävitse. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Usein kuvaa tarvitsee ehostaa, jotta siitä saadaan mahdollisimman hyvin tietoa irti. Eräs ehostustapa on intensiteettiehostus. Jos kuva on haalea, se tarkoittaa sitä, että sen intensiteettijakauma on kapea. Intensiteettiehostuksen tarkoitus on laajentaa intensiteettijakaumaa kuvassa niin, että tummimmat alueet piirtyvät aivan nollan lähellä olevilla arvoilla ja vaaleimmat alueet taas alueen toisen puolen arvoilla. Muut sävyt skaalautuvat siitä väliltä sopiviksi ja näin kuvasta tulee huomattavasti selkeämpi. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Kuvien ehostamiseen käytetään myös suodatusta, jolla saadaan poistettua häiriöitä, kuten kohinaa tai voidaan korostaa tiettyjä piirteitä. Mitä huonompi kuvan laatu on, sitä enemmän kuvaa tarvitsee suodattaa ja sitä enemmän menetetään tietoa eli olisi parasta saada aina kuvattua heti selkeä kuva ilman kohinaa tai muuta häiriötä. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

Suodatus voi tapahtua lineaarisesti tai epälineaarisesti. Pikselin arvo on sen ympärillä olevien pikseleiden lineaarikombinaatio, kun käytetään lineaarista suodatusta. Suodatusmaskit voivat olla pystyviivoja painottava, vaakaviivoja painottava tai sitten se voi olla vaan keskiarvosuodatin. Maskin koko vaikuttaa siten, että suuri maski tasoittaa yksityiskohtia, kun taas pieni maski voi aiheuttaa suuria muutoksia yksittäisille pikseleille. Keskiarvosuodatuksen kanssa tulee ongelmia, jos matriisissa on suuresti poikkeavia lukuja. Tähän tilanteeseen sopii paremmin epälineaarinen suodatus, jonka perus suodatusmenetelmä on mediaanisuo-datus. Tällöin suodatuksessa matriisista napataan keskimäinen luku ja suuri poikkeama jää huomioimatta. Esimerkiksi tätä menetelmää kannattaa soveltaa, kun kuvassa on pienten valkoisten ja mustien pisteiden aiheuttamaa kohinaa. (Dechow 2014; Leino n.d; Opto-engineering 2017)

## 3 TUTKIMUKSEN KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

### 3.1 Tutkimuksen kamerat

Tutkimukseen valittiin kaksi eri tyyppistä kameraa. Ensimmäinen kameravalinta oli Gocator 2380A, joka on 3D-älykamera. Tällä kameralla saatiin kokeiltua 3D-kameroiden soveltuvuutta kohteeseen. Toinen valinta oli Cognexin Insight 5605 älykamera, joka valikoitui tutkimukseen, koska haluttiin kokeilla normaalia 2D-kameraa ja kyseisellä kameran mallilla oli parhaimmat ominaisuudet koulun valikoimasta onnistua tutkimuksissa.

#### 3.1.1 Gocator 2380A-3B-01



Kuva 10. Gocator 3D-älykamera (LMI Technologies n.d)

LMI Technologies valmistaa Gocator 3D-älykamaroita (kuva 10), joista mallia 2380A käytettiin tässä tutkimuksessa. Kyseiset laitteet ovat hinnaltaan useamman tuhannen euron luokkaa ja tämä nimenomainen malli maksaa yli 10 000 euroa, joten koulun valikoima kyseisistä laitteista ymmärrettävästi jäi tähän yhteen. Kameran toiminta perustuu laserviivan muodonmuutosten tutkimiseen kappaleen pinnalla ja sitä varten kamera on koostettu täysin integroiduksi kokonaisuudeksi, joka pitää sisällään sekä laserin, kameran ja optiikan. Siinä suhteessa saadaan säästöä, kun erillisiä lisäosia ei tarvita, vaikka kamera muuten on hintava.

Kameran on listattu pystyvän tutkimaan montaa erityyppistä pintamateriaalia, kuten betonia, metallia, orgaanista materiaalia, muovia, kumia ja puuta. Näistä metalli ja muovi täsmäävät kohteen kanssa, joten näiltä osin kamera valintaan oltiin tyytyväisiä.

Suurin mahdollinen Field of view mitta on 1260 millimetriä, joka tarkoitti sitä, että kameran etäisyyden kanssa jouduttiin aivan rajoille. Jos vain olisi ollut mahdollista tilalle oltaisiin valittu suuremman Field of view mitan omaava kamera. Tämän ei kuitenkaan annettu vaikuttaa, koska kameralla pystyttiin kuitenkin kuvaamaan kohdetta niin, että nähtäisiin, soveltuuko se kohteeseen muilta osin.

### 3.1.2 In-sight 5605



Kuva 11. Cognex älykamera (Cognex n.d)

In-sight 5605 on Cognexin valmistama älykamera (kuva 11), jossa äly on integroituna kameraan, eikä se ohjelmointien jälkeen vaadi tietokonetta rinnalle toimimaan. Kyseinen malli valittiin koulun valikoimasta, siksi että sillä saatiin suuremmalla resoluutiolla olevia kuvia, kuin koulun muilla malleilla. Kamera on harmaansävykamera eli värejä ei ole, mutta se ei aiheuttanut ongelmaa, sillä niitä ei tässä tutkimuksessa tarvittu.

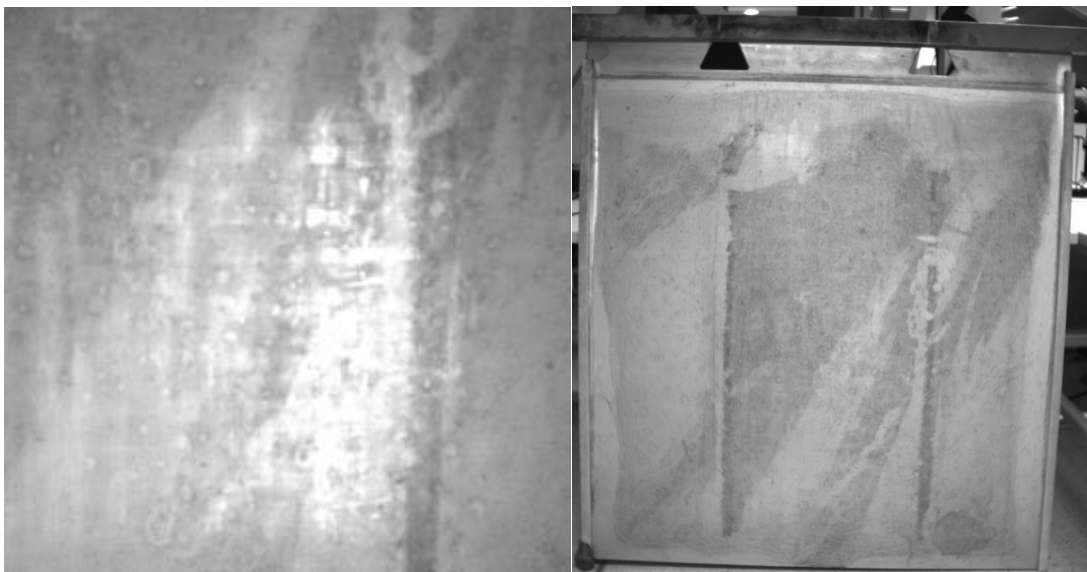
Tämä Cognexin kamera on matriisikamera, joita käytetään perinteisessä kappaleenkuvauksessa. Kameran kennotyyppi on CCD eli Charged-couple device, jonka pitäisi tuottaa hieman parempilaatuisia kuvia, kuin CMOS kennoilla olevien kameroiden. Mahdollisimman hyvää kuvanlaatua tarvittiinkin juuri tässä tutkimuksessa, sillä etäisyys kameran ja kappaleen välillä oli varsin suuri, koska kappale oli iso ja näin ollen tarvitsi suuren kuva-alan.

### 3.2 Kohteen valaistus

Valaistus on kriittinen osa konenäköjärjestelmää ja sen takia siinä haluttiin onnistua mahdollisimman hyvin. Ongelmaksi heti osoittautui kuvattavan kappaleen materiaali, koko ja kuvauspaikkaan vaikuttavat muut valot, sekä jonkun verran myös kuvaustelineet. Tämä tarkoitti sitä, että jouduttiin tekemään kompromisseja ja muutenkin soveltamaan valaistuksen kanssa, eikä se tietenkään ollut kuvantamisen kannalta ollenkaan hyväksi. Valaistusjärjestely tehtiin kuitenkin parhailla mahdollisilla käytettävissä olleilla menetelmillä ja laitteilla.

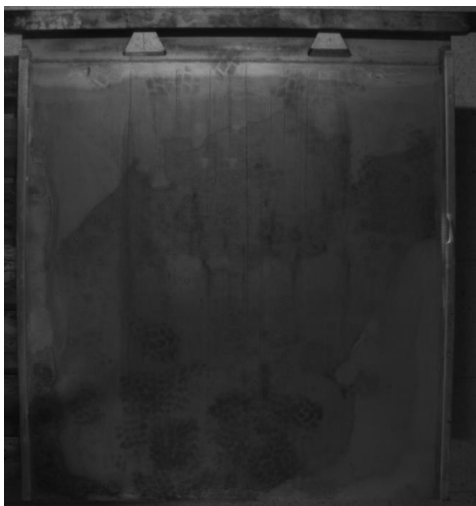
#### 3.2.1 Valonlähteen valinta

Valonlähteen valinta lähti liikkeelle siitä, että poissuljettiin vaihtoehdot, joita ei ollut käytettävissä. Sitten aloitettiin testailu niillä valoilla, joita oli käytössä.



Kuva 12. ja kuva 13. Epäsuora valaistus vähentää ylivalottuneita kohtia

Ensimmäisenä testattiin katossa olevat loisteputket. Niissä heti rajoitteeksi tuli se, ettei niitä pystynyt säätämään eri kulmaan tai eri voimakkuudelle, vain ai-noastaan päällä tai pois päältä olivat säädöt. Kohtisuorassa valaistuksessa loisteputki valaistus aiheutti kuvauksessa valotuksen ajan säätämisten jälkeen edelleen ylivalottuneita kohtia (kuva 12), joten kuvat olivat pitkälti kelvottomia. Näin ollen katossa olevat loisteputket poissuljettiin lopuista ylhäältä alaspäin tehdyistä kuvauksista. Sivulta tullut loisteputki valaistus ei aiheuttanut, niin va-kavia ylivalottumisia kuin kohtisuora, mutta se jätti kuitenkin esimerkiksi reu-nalistat varsin epäselviksi (kuva 13).



Kuva 14. Led-valaistu levy

Sitten kokeiltiin led valaisimia. Ledeissä hyvänä puolena oli se, että ne eivät pahemmin lämmenneet ja niitä saattoi siirtää. Heikkoudeksi tässä tapauk-sessa huomattiin, ettei käytössä olevissa ledeissä riittänyt valaistusteho (kuva 14). Kun ledeillä osoitettiin suoraan kappaleeseen, valaistusteho toki riitti, mutta johtuen osittain kappaleen materiaalistakin, siihen muodostui helposti ylivalottuneita kohtia, joita ei taaskaan voitu sallia. Tehokkaammilla ledeillä olisi voitu saada toisenlaisia tuloksia, kun teho olisi riittänyt siihen, ettei valoa osoiteta suoraan kappaleeseen.



Kuva 15. Halogeeneillä valaistuja levyjä

Tämän jälkeen testattiin halogeenejä, jotta valaistustehoa riitti (kuva 15). Huonoksi puoleksi huomattiin, että halogeenit odotetusti lämpenevät ja suorastaan kuumenevat nopeasti. Mutta halogeeneillä toivotusti teho riitti, siihen ettei valaisinta tarvinnut osoittaa suoraan kappaleeseen. Näin vältettiin aiemmin ongelmaksi tullut ylivalottumiset, ainakin joissakin tapauksissa, joissa valotusajat olivat säädetty pienelle. Mutta edelleenkin valaistus ei ollut ihanteellinen, sillä kuvat olivat varsin tasaisen synkkiä, kun päästiin eroon ylivalottuneista kohdista eroon. Kontrastin puute taas vaikeuttaa ohjelman tekemistä, sillä kuvista on vaikea eritellä osia.



Kuva 16. Sivuvälo käytössä

Testien perusteella parhaaksi valaistustavaksi osoittautui sivuvalomenetelmä (kuva 16). Sillä saatiin vältettyä parhaiten ylivalottumiset kirkkaalla metalli pinnalla. Tämän lisäksi oltaisiin kokeiltu kupolivaloa ja aksiaalista diffuusivaloa, mutta kyseisiä menetelmiä ei kappaleen suuresta koosta johtuen pystytty kokeilemaan. Mahdollisesti näillä tavoilla oltaisiin saatu jokseenkin parempia tuloksia, mutta kyseisten laitteiden kappalehinta on reilusti yli 10 000 euroa. Muut valaistustavat poissuljettiin niillä periaatteilla, että ne eivät soveltuneet kiiltäviin pintoihin tai ne olivat jotenkin muuten vajavaisia, kuten taustavaloo, jolla ei olisi saatu kuvattua muuta, kuin kappaleen ääriiviivat.

### 3.3 Kohteen kuvantaminen

Kappaleita kuvattiin kahdella eri tyyppisellä kameralla, joilla saatiin erityyppisiä kuvia ja näin ollen saatiin enemmän osviittaa, mihin minkäkin tyyppinen kamera soveltui hyvin ja mihin huonosti. Kuvaustelineitä käytettiin useita, sillä niissäkin tuli ongelmia vastaan.

#### 3.3.1 2D-älykameralla kuvaaminen

2D-kuvaamiseen käytettiin aiemmin mainittua In-sight 5605 -älykameraa. Ensimmäisenä siihen etsittiin sopiva optiikka, jolla saatiin koko kappale mahtumaan kuvaan niin, että etäisyys kameran ja kappaleen välillä pysyi siedettävänä. Tämä tarkoitti sitä, että etsittiin mahdollisimman pienellä polttovälillä olevaa optiikkaa, sillä sellaisella saataisiin helpoiten kappale mahtumaan kokonaan kuvaan.

Optiikaksi valittiin 6 millimetrin polttovälillä oleva optiikka. Kyseinen optiikka oli kiinteällä polttovälillä, joten sen polttoväliä ei voitu muuttaa. Tämä asia tosin ei tuottanut ongelmaa, sillä kappaleet joita kuvattiin, olivat likimain samankokoisia, eikä etäisyyskään vaihdellut. Kuvausetäisyydeksi laskettiin noin 900 millimetriä, jonka jälkeen oli helppo asetella kamera telineeseen niin, että koko kappale saatiin kuvaan.





Kuva 17. Ensimmäinen kuvausteline

Kuvaustelineeksi valittiin peruskameran kolmijalkateline, johon tehtiin adapteri (kuva 17). Adapterilla saatiin käännettyä kamera niin, että se kuvasi suoraan ylhäältä alaspäin. Samalla sillä saatiin vietyä kamera tarpeeksi kauas kameranjalasta niin, että jalat eivät tulleet kuvaan häiritsevästi mukaan.



Kuva 18. Sumea ja ylivalottunut levy

Tämän jälkeen voitiin aloittaa ensimmäisten kuvien ottaminen. Kuvat olivat varsin sumeita, joten jouduttiin säätämään valotusaukon kokoa, valotusaikaa sekä aukkosuhdetta (kuva 18). Oikean yhdistelmän löytäminen osoittautui varsin vaikeaksi. Kuva oli välillä aivan liian valottunut ja välillä aivan liian synkkä. Kun valon määrä saatiin suhteellisen kohdilleen, niin kuvaa ei saatu aukkosuhdetta säätämällä sumeasta muutettua teräväksi tai edes oikeastaan terävämmäksi. Linssiä puhdistettiin, koska pölyllä voi olla suurikin vaikutus kuvanlaatuun. Tosin tällä kertaa siitäkään ei saatu apua.



Kuva 19. Optiikka 8,5 mm:n polttovälillä

Ongelmien vuoksi jouduttiin miettimään, mikä auttaisi tässä tilanteessa. Apua kysyttiin konsultilta, joka kertoi, että koulun optiikoissa saattoi olla laadussa

eroja. Niinpä optiikka vaihdettiin 8,5 millimetrin kiinteällä polttovälillä olevaan (kuva 19). Laskemalla kuvaus etäisyydeksi saatiin noin 1200 millimetriä. Kuvaamisetäisyys kasvoi sen verran, että jouduttiin jo ennestään huonohkoa kuvaustelineettä suunnittelemaan uusiksi.



Kuva 20. Käsivarisrobotti kuvaustelineenä

Uudeksi kuvaustelineeksi keksittiin käsivarsirobotti Universal robot (kuva 20), jota voitaisiin myöhemmin myös hyödyntää Gocatorin kameran kuvauksissa. Robotti antoi paljon säätövaraa niin, että kuvat tulisivat hyvältä etäisyydeltä ja hyvässä kulmassa.

Nyt aloitettiin uudestaan testikuvaamaan. Levy asetettiin lähes pystyasentoon. Kamera säädettiin noin 1200 millimetrin päähän kappaleesta sellaiseen kulmaan, että se kuvasi mahdollisimman kohtisuoraan kappaletta.

Kuvanlaatu oli parempi verrattuna, mitä edellisellä optiikalla oli saatu. Toki tässäkin optiikassa jouduttiin hyvän aikaa hakemaan toimivaa aukkokokoa, aukkosuhdetta ja valotusaikaa.

Seuraava ongelma ilmeni, kun valaistusta ruvettiin testaamaan. Jotkut valaistavat onnistuivat kyseisellä paikalla, mutta eivät kaikki, mitä haluttiin kokeilla. Robottia ei voitu siirtää, eikä kaikkia valaistuksen esteitäkään voitu ruveta purkamaan ja siirtämään. Välissä kuvattiin Gocatorilla, jolle jouduttiin myös miettimään uutta kuvaustelinettä.



Kuva 21. Kuvausteline lineaarijohteella

Uusi kuvausteline rakennettiin kahdesta isosta kolmijalasta, joiden päälle kiinnitettiin alumiinitanko, johon kiinnitettiin lineaarijohde (kuva 21). Lineaarijohde ei ollut tässä kuvauksessa välttämätön, mutta siihen saatiin helposti tehtyä 3D-tulostimella adapteri, jolla saatiin kamera kiinni telineeseen.

Kamera asetettiin uuteen telineeseen niin kuin ensimmäisessäkin telineessä. Kameralla kuvattiin siis kohtisuoraan ylhäältä alas. Tässä telineessä saatiin parhaiten kokeiltua valaistuksia, vaikka jalat estivätkin vielä muutamaa kokeilua, mutta parempaa telinettä ei juurikaan tiloihin voinut rakentaa, joten tähän tyydyttiin.



Kuva 22. Kameran kennolla pölyä

Kuvanlaatu oli taas heikko, joten jouduttiin säätämään aukonkoko, aukkosuhdetta ja valotusaikaa. Kuvaa ei tahdottu millään saada hyväksi ja tarkemalla tutkailulla selvisi, että linssissä oli pölyä. Linssi putsattiin ja kokeiltiin uudestaan kuvata, mutta kuvassa oli edelleen pölyä. Todettiin, että pöly onkin kennolla (kuva 22), joka on varsin arkapaikka kamerassa. Sen putsaaminen suoritettiin varoen ja tämän jälkeen ruvettiin saamaan parempia kuvia. Kuvat eivät kyllä vieläkkään olleet mitenkään loistokkaita, mutta niihin oli tällä kertaa tyytyminen, sillä taidot ja resurssit tulivat vastaan.

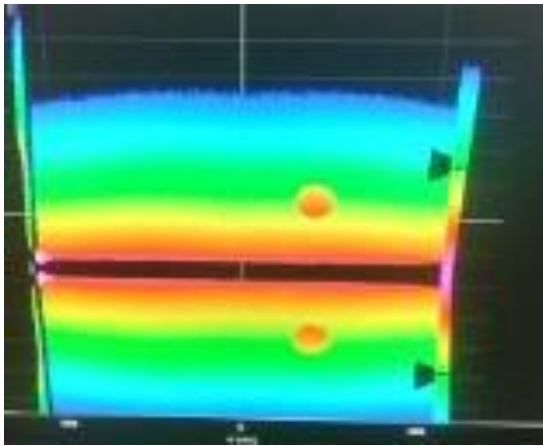
### 3.3.2 3D-älykameralla kuvaaminen

3D-kuvaus suoritettiin Gocator 2380A -älykameralla. Se kuvaa laserviivan muodonmuutoksia kappaleen pinnalla, joten jos kuvaa haluttiin enemmän kuin yhden siivun verran, tuli joko kappaleen tai kameran liikkua. Samalla se tarkoitti myös sitä, että kyseiseen kameraan ei tarvittu erillistä optiikkaa. Näin ollen säästyttiin heti sen miettimiseltä, eikä jouduttu myöskään säätämään valotusaukon kokoa, aukkosuhdetta tai valotusaikaa.

Alustaksi valittiin Universal robotti. Kamera kiinnitettiin robottiin sille suunnitellulla adapterilla. Kuvattava kohde asetettiin lähes pysty asentoon. Kohdetta kuvattiin siten, että robotti ohjelmoitiin liikkumaan tasaisesti niin, että koko kohde saatiin kohtisuorasti kuvattua. Robotin tuomina etuina saatiin säädettyä

kameran etäisyyttä, korkeutta ja kulmaa sen mukaan, mitä haluttiin. Kyseisten parametrien kanssa jouduttiinkin jonkin verran taistelemaan. Ongelmaa tuotti se, että robotin käsivarrella oli hieman esteitä, kuin myös se, että käsivarresta saattoi loppua mitta tietyillä korkeuksilla.

Etäisyyttä kappaleen ja kameran välillä vaihdeltiin noin 1000 ja 1200 millimetrin välillä, sillä kappale saatettiin saada kokonaan kuvaan vain maksimi etäisyydellä, joka ei lähtökohtaisesti ollut hyvä asia. Se ei kuitenkaan haitannut muuten tutkimuksen tekemistä siitä, soveltuisiko kamera muuten tyypiltään kappaleen kuvaamiseen.



Kuva 23. Kalibrointivaikeuksia

Ennen kuin varsinaisen kappaleen kuvaus saatettiin aloittaa, tarvitsi kamera kalibroida. Kalibrointi suoritettiin harmaan pyöreän tasapintaisen kiekon avulla. Kalibrointikaan ei heti tahtonut onnistua ja jouduttiin paljon säätämään erinäisiä parametreja (kuva 23), kuten laserin voimakkuutta ja monia eri mittoja. Lopulta kamera saatiin kalibroituksi, joten saatettiin aloittaa kappaleiden kuvaukset.

Sitten huomattiin, että kuvista tuli varsin venyneen näköisiä. Siihen vaikutti kuvanottotaajuus, joka ei ollut säädetty kunnolla. Tämäkin virhe saatiin korjattua ja kuvaukset saattoivat jatkua.

Lopulta kun yhdestä kappaleesta oltiin saatu useampi onnistuneen näköinen kuva, ruvettiin niitä tarkemmin tutkimaan. Kuvat eivät olleet niin hyviä, kuin nopeasti katsottuna antoivat ymmärtää. Kuvien tarkempaa tietoa tutkiessa huomattiin, että lähes vierekkäisissä kohdissa saattoi olla useamman millin heitto, joka taas ei pitänyt lainkaan todellisuudessa paikkaansa.

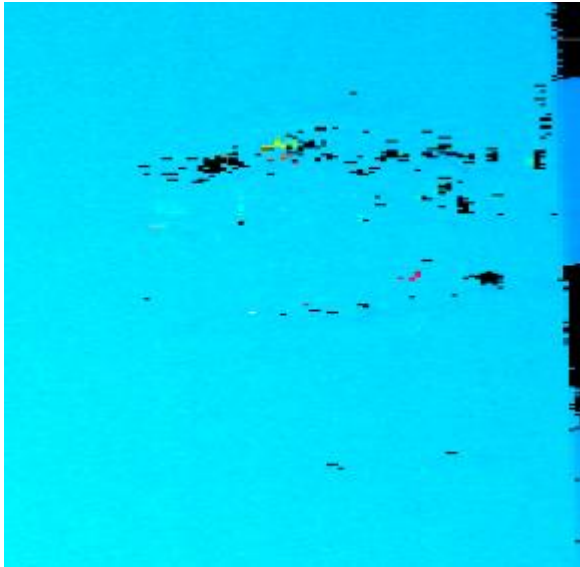
Ongelma selvisi, kun katsottiin robotin liikettä. Se täristi aivan vähän, etenkin kun se joutui työtäisyytensä kanssa rajoille. Todettiin, että tarvittiin uusi alusta, jolla voitaisiin kuvata ilman tärinän aiheuttamaa haittaa.



Kuva 24. Gocator kiinni lineaarijohteessa

Uudeksi kuvaustelineeksi rakennettiin aikaisemmin mainittu lineaarijohteella varustettu teline. Lineaarijohde oli hyvä vaihtoehto, sillä pystyisi liikuttamaan kameraa tasaisesti ilman tärinää. Lineaarijohteeseen oli hyvä tehdä 3D-tulos-timella adapteri, jolla saataisiin kamera kiinni kelkkaan (kuva 24). Ainut huono puoli oli, että johde oli liian lyhyt kuvatakseni koko kappaletta, mutta kappaletta saatiin kuitenkin osittain kuvattua, joten se ei tutkimusta varsinaisesti haitannut.

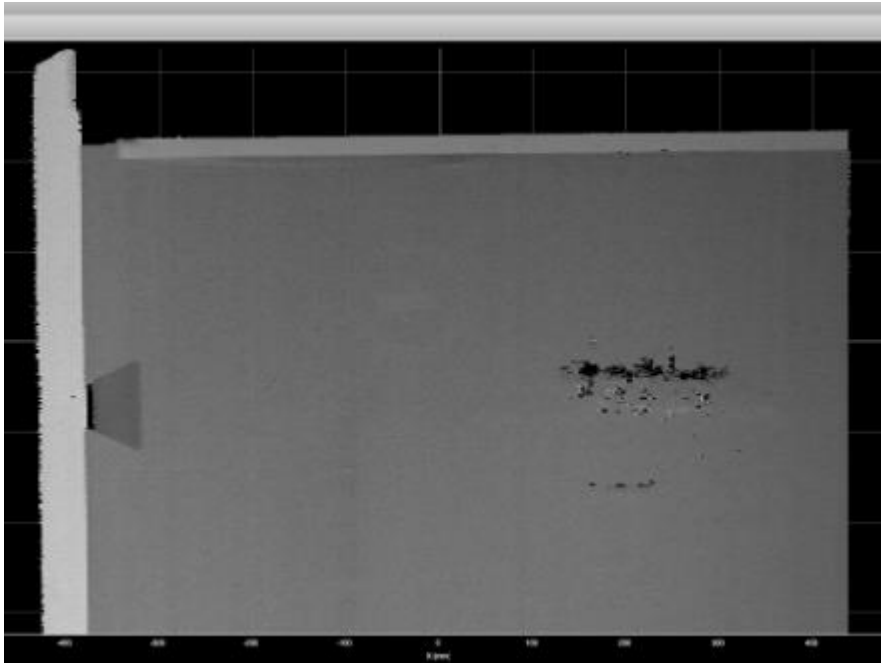
Kalibroinnit ja säädöt jouduttiin tekemään uudestaan. Kalibroinnin aikaansaamisessa oli kovasti vaikeuksia säätöjen kanssa, mutta lopulta palikat loksahdivat paikoilleen. Sitten säädettiin kuvanottotaajuus niin, että se oli sopiva lineaarijohteen nopeudelle.



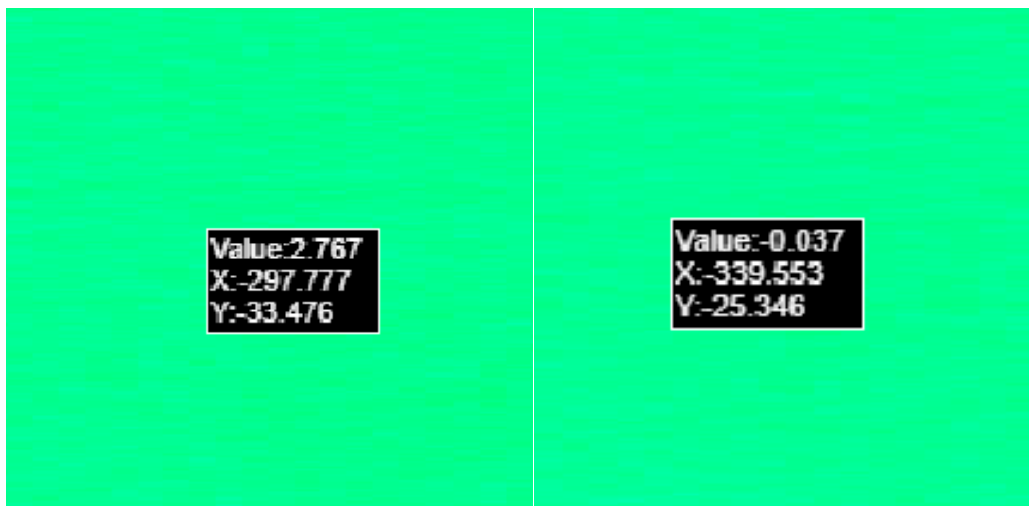
Kuva 25. Mustia kohtia kuvassa

Näin päästiin aloittamaan uudestaan kuvaaminen. Kuvissa ilmeni mustia kohtia, joissa ei ollut ollenkaan tietoa, vaikka kappaleet olivat niiltä kohdin ehjiä (kuva 25). Pohdinnan jälkeen todettiin, että se saattoi johtua laserin värin sopimattomuudesta metallipinnalle tai taustalta tullut valo häiritsi jonkun verran kuvantamista. Käytössä oleva laseri oli punainen, kun taas vihreä laseri saattaisi sopia paremmin, mutta sellaista ei ollut käytettävissä.



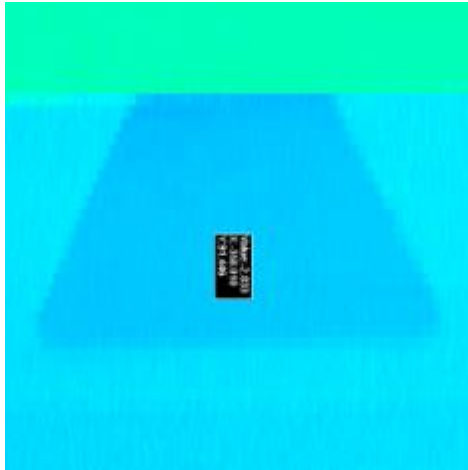


Kuva 26. Suurpiirteisesti onnistunut kuva



Kuva 27. Vierekkäisissä kohdissa parin millin heittoa

Muilta osin kuvat näyttivät jälleen suurpiirteisesti hyvältä (kuva 26). Tarkemalla tutkinnalla kuitenkin taas ilmeni samaa, että lähes vierekkäisissä kohdissa saattoi olla parin millin heittoa (kuva 27), vaikka se ei todellisuudessa pitänyt paikkaansa. Todettiin, että ongelma ei enää johtunut ainakaan täri-  
nästä, mutta laserin värin sopimattomuudella saattoi olla vaikutusta.



Kuva 28. Tyhjää kohtaa ei näy aukon yläreunassa

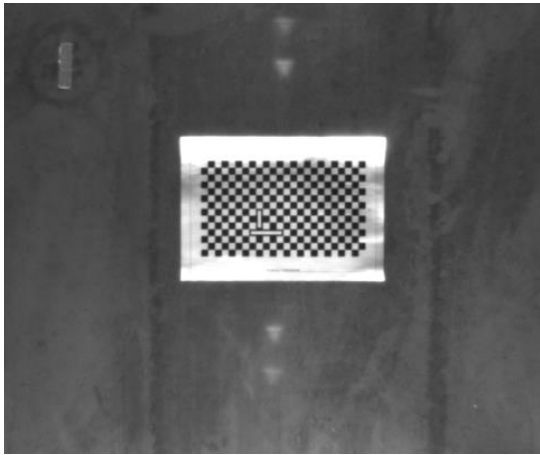
Jos näitä virheitä ei oteta huomioon, kameralla tuntui saavan hyvin tietoon pinnan korkeudet. Niillä tiedoilla pystyisi tutkimaan onko levy vääntynyt, onko möykkyjä, tai onko levy muuten ehjä. Ongelmana tosin oli, että kappaleesta ei pystyisi tutkimaan yläpalkin hitsausaamaa, sillä laseri osuu siihen kohtaan hieman vinosti. Yllä olevassa kuvassa pitäisi näkyä tyhjää aukon yläreunassa (kuva 28), koska levy oli jätetty hieman yli trukkilavan, mutta niin ei käynyt.

### 3.4 Ohjelma ja analysointi

Tutkimuksissa käytettiin kahta eri ohjelmaa kuvien tutkimiseen. Cognexin kameran kanssa käytettiin, sille erityisesti tehtyä In-sight Explorer ohjelmistoa. Ohjelma muistutti etäisesti Excel -taulukko-ohjelmaa, johon oli lisätty kamerankäsittely, kuvankäsittely sekä analysointityökaluja. Gocatorin kamerassa käytettiin kameran sisällä valmiiksi olevaa ohjelmaa, johon yhdistettiin tietokone nettiselaimen avulla.

#### 3.4.1 In-sight Explorer analysointi

Lähtökohdat olivat varsin huonot, kun aloitettiin tutkimaan mahdollisia analysointitapoja. Kuvat olivat varsin heikkolaatuisia, joten niitä piti pystyä jotenkin parantamaan, jos se olisi mahdollista.



Kuva 29. Kalibrointipaperi



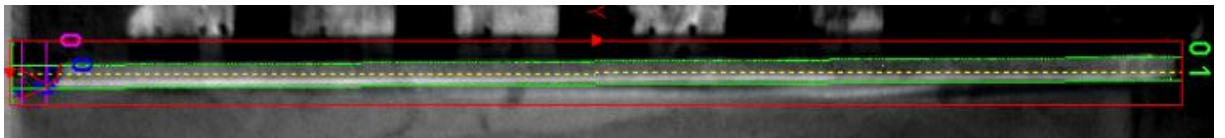
Kuva 30. Kuvan vääristymän korjaus

Kuvien parantaminen aloitettiin kalibroimalla kuvista linssin aiheuttamaa vääristymää. Vääristymä aiheutti sen, että kappale näytti hieman vääntyneeltä. Kuvia otettaessa oltiin otettu tähän tarkoitettuja kalibrointi kuvia (kuva 29). Niissä oli kappaleen päälle sijoitettu A4 papereita, joissa oli kalibrointi ruudukko. Näiden kuvien ja ohjelmiston avulla ohjelma pyrki parantamaan kuvan mahdollisimman luonnolliseksi vääristymistä (kuva 30).

Kun vääristymä oltiin saatu kohtuullisesti korjattua, ruvettiin etsimään ja tutkimaan erilaisia suodattimia, joilla kuvia mahdollisesti voisi hieman parantaa. Pitkien etsintöjen ja kokeiluiden jälkeen, vain muutamasta suodattimesta tuntui

olevan edes jotain hyötyjä tässä tapauksessa. Niistä eniten käytettiin PointFilter -työkalua, josta valittiin stretch ominaisuus, jolla saatiin säädettyä harmaasävyjen intensiteettiä. Kyseisellä työkalulla muutamassa tapauksessa saatiin korostettua tutkittavia alueita taustasta.

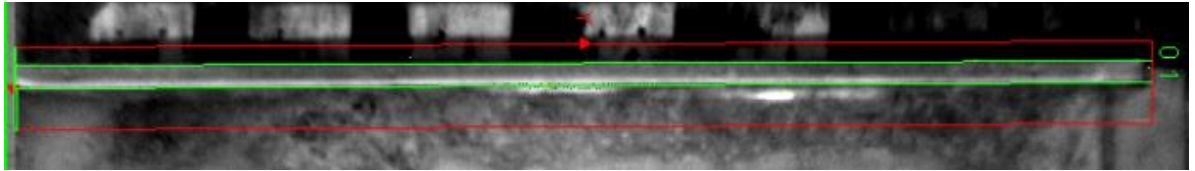
Kun kuvan parannusmahdollisuudet oltiin tutkittu läpi, ruvettiin miettimään, mitä asioita kyseisistä kuvista voitaisiin yrittää tutkia. Reunalistojen tutkiminen vaikutti varsin mahdolliselta. Vaikeuksia tulisi varmasti kappaleen suoruuden tutkimisessa, ylimääräisten kuparikappaleiden löytämisessä, sekä yläpalkin ja levyn välisen hitsausseaman tarkastamisessa. Lopulta todettiin, että kuvien laadulla ei voitu edes yrittää tutkia hitsausseamaa. Kaikissa tutkimuksissa tarkkuuteen joka tapauksessa tulisi vaikuttamaan kuvien heikko laatu, eikä tavoite tarkkuuksiin päästäisi.



Kuva 31. InspectEdge -työkalu löytää virheitä

Calipers									
Inspect	311.000								
Total Count									
Inspect	4.000								
Summary									
Edge	Total	Defects	Gaps	Line Fit	Row0	Col0	Row1	Col1	
0.000	2.000	1.000	1.000	2032.538	372.731	163.732	358.452		
Defects									
	Index	Size	Area	Row	Col	High	Wide	Angle	
Edge 0	0.000	18.000	464.450	1955.026	398.528	26.828	18.000	-88.875	
Gaps									
	Index	Size		Row	Col	High	Wide	Angle	
Edge 0	0.000	42.001		2014.056	332.344	103.466	42.001	-268.875	
Extremes									
	Furthest Point 1			Furthest Point 2					
	Caliper	Row	Col	Distance	Caliper	Row	Col	Distance	
Edge 0	10.000	1969.526	399.077	26.828	302.000	217.545	355.574	-3.288	

Kuva 32. InspectEdge -työkalu näyttää virheet myös taulukossa



Kuva 33. InspectEdge -työkalu ei löydä virheitä

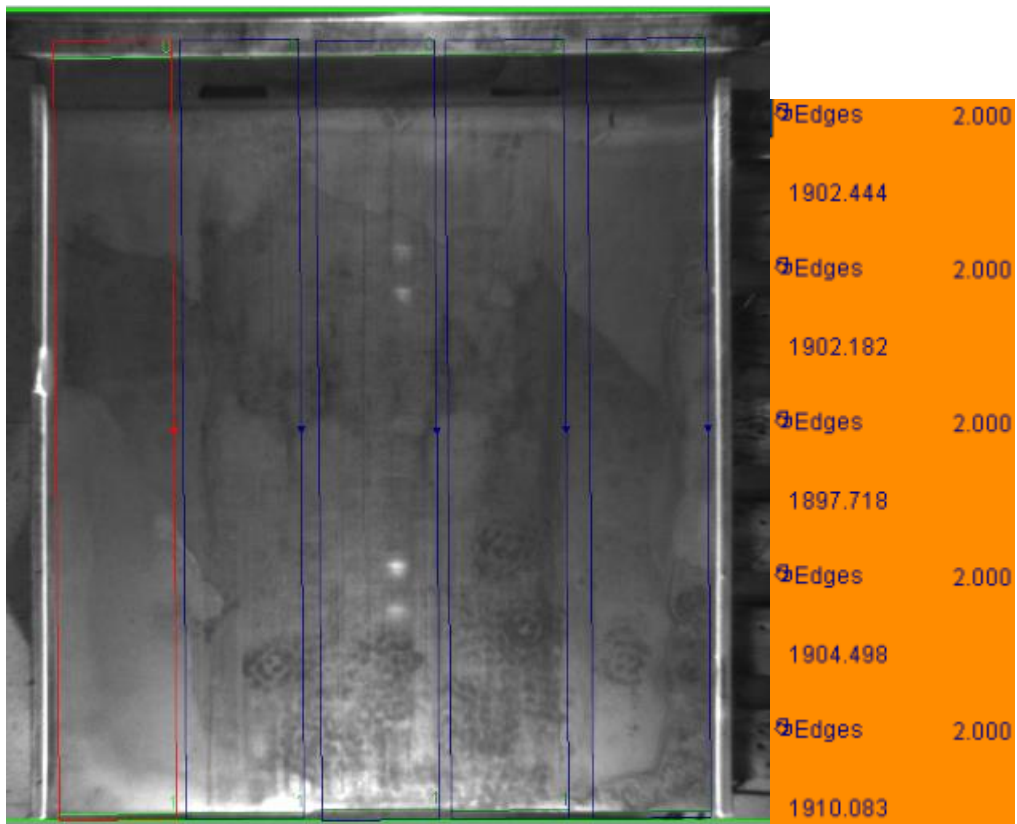
Calipers									
Inspect	309.000								
Total Count									
Inspect	0.000								
Summary									
Edge	Total	Defects	Gaps	Line Fit					
0.000	0.000	0.000	0.000	Row0	Col0	Row1	Col1		
				2031.146	425.464	173.378	418.176		
Defects									
		Index	Size	Area	Bounds				
Edge 0		0.000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR
Gaps									
		Index	Size	Bounds					
Edge 0		0.000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR
Extremes									
				Furthest Point 1		Furthest Point 2			
Edge 0	Caliper	Row	Col	Distance	Caliper	Row	Col	Distance	
	308.000	180.096	428.951	10.749	261.000	462.171	416.647	-2.662	

Kuva 34. InspectEdge -työkalu ilmoittaa taulukossa nolla virhettä

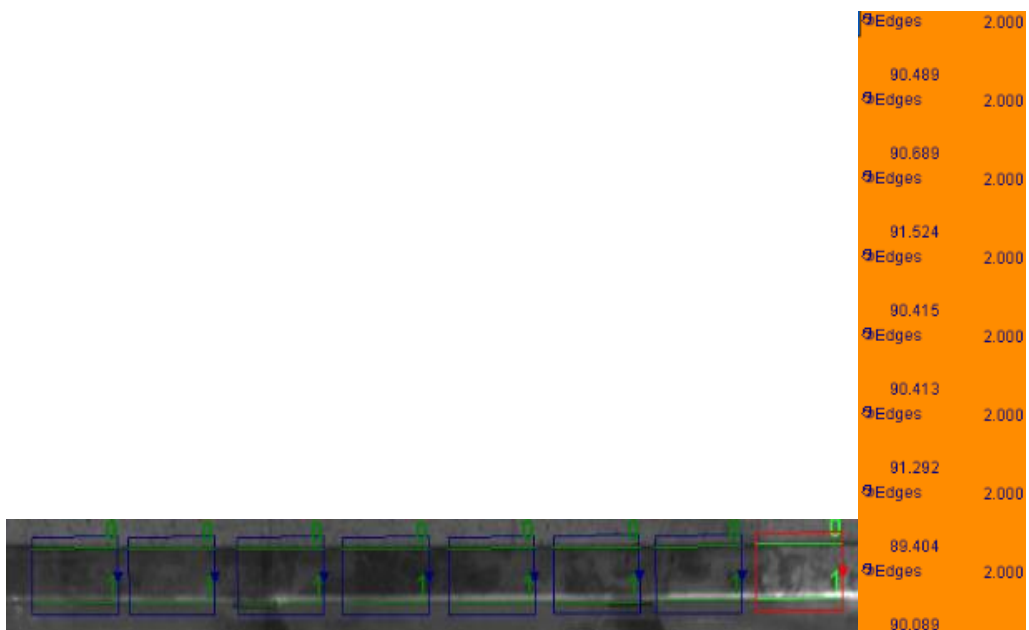
Kokeiluiden jälkeen parhaiksi reunalistojen tutkimiseen osoittautui InspectEdge -työkalu. Kyseistä työkalua säädettiin kauan ja tarkasti, jotta ensinnäkin se toimisi tarkoitukseensa ja toisekseen, jotta tarkkuus olisi mahdollisimman hyvä. Ensimmäisellä työkalun osalla paikannettiin tietyltä alueelta kahta reunaa eli sitä käytettiin löytämään reunalistan molemmat sivureunat (kuvat 31 ja 33). Jos säädöt eivät olleet kohdillaan työkalu tahtoi havaita väriä reunoja tai elementtejä, joita se luuli reunoiksi. Tämän jälkeen käytettiin työkalun toista osaa, joka käytännössä analysoi edellisen työkalun löytämät reunat ja niiden ympäristöt (kuvat 32 ja 34). Tämäkin säädettiin mahdollisimman tarkasti niin, että väriä havaintoja ei tulisi. Säädöt tehtiin niin, että se hakee vain yhtä virhettä, sillä yksikin virhe riitti kappaleen hylkäykseen. Näin säästyttiin turhalta lisävirheiden etsinnältä.

Kuten kuvat osoittavat, parhaimmillaan laite saatiin tunnistamaan selviä virheitä (kuvat 31 ja 32), mutta kuvien ollessa epätarkkoja pienempiä virheitä

saattoi jäädä havaitsematta tai ohjelma saattoi epäselvää kohtaa luulla virheeksi, vaikka todellisuudessa mitään virhettä siinä ei ollut.

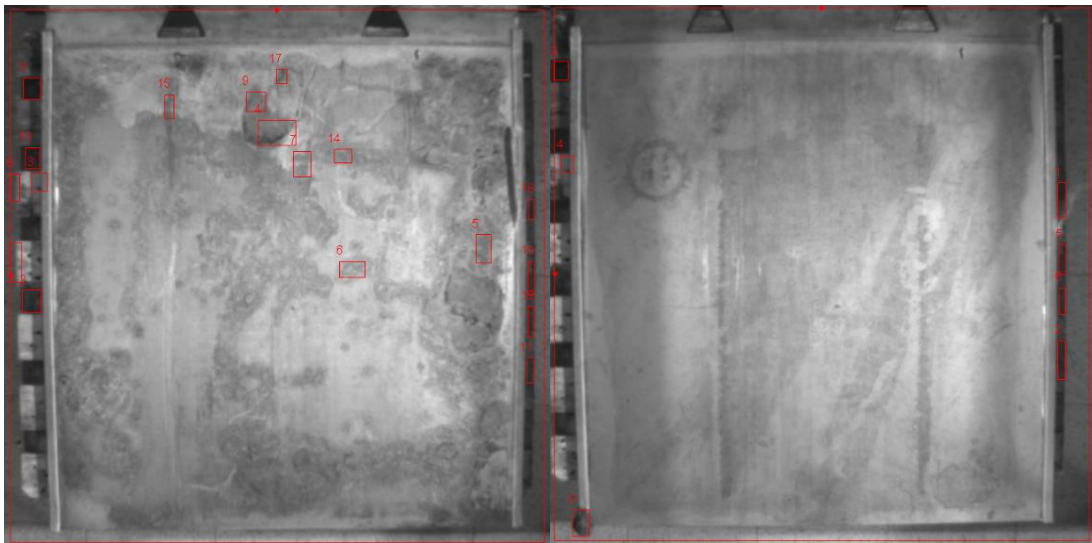


Kuva 35. Levyn suoruuden mittaaminen



Kuva 36. Yläpalkin suoruuden mittaus

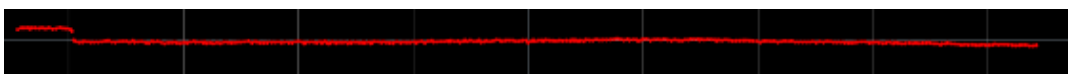
Levyn suoruuden mittaaminen osoittautui hankalaksi. Parhaaksi tavaksi todettiin menetelmä, jolla mitattiin useasta kohdasta levyn reunojen etäisyyttä toisistaan. Työkaluna käytettiin FindMultiLine -työkalua, jolla etsittiin reunan pätkiä sekä ylä- että alareunasta levyä. Sitten toisella työkalulla nimeltään PairMinDistance mitattiin reunaparin etäisyys toisistaan. Näin saatiin useasta eri kohdasta mitattua levyn korkeus ja tuloksia voitiin verrata toisiinsa (kuva 35). Jos heittoa olisi enemmän kuin sallittu määrä, levy pistettäisiin hylkyyn. Samaa sovellusta sovellettiin myös yläpalkin suoruuden mittaamiseen (kuva 36).



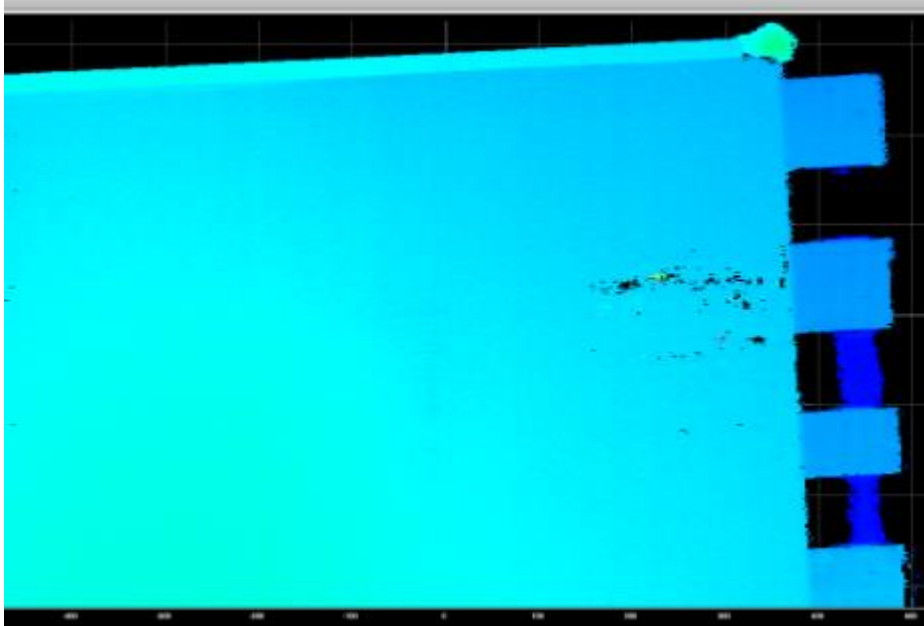
Kuva 37. SurfaceFlaw -työkalulla etsittiin ylimääräisiä kappaleita

Ylimääräisten kuparikappaleiden löytämiseen ei toimivaa ratkaisua löytynyt. Siihen kokeilluista työkaluista SurfaceFlaw vaikutti parhaimmalta, mutta siinäkin ongelmia jäi ratkaisematta. Kyseisellä työkalulla etsittiin poikkeavia muotoja kontrasti erojen avulla. Ongelmaksi havaittiin etenkin levyjen pintojen värien epätasaisuus. Ohjelma erehtyi luulemaan laikkuja ongelmakohdiksi (kuva 37). Optimointi ainakin näillä kuvilla jäi mahdottomaksi.

#### 3.4.2 Gocatorin analysointi



Kuva 38. Levyn profiili sivusta



Kuva 39. Kuva levyn pinnasta

Gocatorilla saatiin hyvänolaisia kuvia aikaiseksi (kuvat 38 ja 39), vaikka hieman kompromisseja jouduttiin tekemäänkin. Kuvista näytti näkevän hyvin, jos pinnassa olisi virheitä tai vääntymiä. Yleisesti ottaen kuvista saaduilla mittaus-tiedoilla saatiin varsin hyvin hahmotettua reunalistojen kuntoa, ylimääräisiä ku-parikappaleita sekä kappaleen muotoja.

Ongelmaksi vaikutti jälleen muodostuvan ainakin hitsaussauman havaitsemi-nen, koska laseri osui hitsaussauman kohtaan vinosti. Näin ollen, jos sau-massa olisi reikä, laser ei huomaisi sitä, koska se osuisi vinosta kulmastaan johtuen yläpalkkiin, jolloin kamera luulisi, ettei siellä ole tyhjää kohtaa. Toki pinnan korkeuteen tulisi vaihtelua, mutta olisiko poikkeama riittävän suuri, jotta se huomattaisiin, niin sitä on vaikea todeta.

Tarkemmin kuvia tarkasteltaessa huomatiin, että kuvaus oli ottanut jonkun ver-ran häiriötä, joko kiiltävästä kuvauspinnasta tai taustalla ollut valaistus häiritsi kuvantamista. Tämä ilmeni niin, että kuvassa oli mustia kohtia, joissa ei ollut mitään tietoa. Toinen tapa, jolla häiriöt ilmenivät, oli sellainen, että lähes vie-rekkäisten pisteiden korkeusero oli jopa muutaman millimetrin, vaikka todelli-suudessa sellaista korkeuseroa ei ollut. Optimalisemmalla laserin värillä tai ilman valaistushäiriötä kamera olisi saattanut soveltua hyvin kaikkien muiden



vaadittujen asioiden tutkimiseen paitsi hitsausseuran kunnan tarkastamiseen.

## 4 PÄÄTELMÄT

### 4.1 2D-älykameran päätelmät

Järjestelmän hinta olisi yli 10 000 euroa tutkimuksissa käytetyillä komponenteilla. Kameran hinta on noin 10 000 euron paikkeilla ja optiikkakin voi maksaa pari tuhatta, joten ainakin 10 000 euron raja rikkoontuisi helposti. Hinta kuulostaa varsin korkealta, kun huomioidaan, että tutkimuksissa ei päästy lähellekään tavoitteita. Tähän oli osittain syynä heikko valaistusvalikoima, sekä muut sattumukset.

Tutkimuksien perusteella voidaan todeta, että 2D-älykameralla pystytään tutkimaan montaa halutuista asioista, mutta ei kuitenkaan kaikkia samanaikaisesti, sillä niille sopivat hieman eri valaistukset ja eri asetukset. Eräs ratkaisu tietenkin olisi ottaa useampi kuva, eri valaistuksilla kohteessa, mutta tämän vaatisi aikaa, jota kohteen linjastossa ei välttämättä olisi riittävästi. Muutamia hyviä valaistustapoja jäi vallan kokeilematta, sillä kappaleen koko olisi vaatinut, niin suuria valaisinratkaisuja, joita ei tutkimuksiin ollut käytettävissä, niiden yli 10 000 euron hintojen vuoksi. Nämäkin käyttämättömät valaistustavat olisivat saattaneet vähentää ongelmia.

### 4.2 3D-älykameran päätelmät

Hinta tällaisella järjestelmällä nousee päälle 10 000 euroon, vaikka optiikka kustannuksessa säästetäänkin. Kameratyypillä saattaisi olla mahdollista tehdä valtaosa vaadituista tehtävistä, mutta hitsausauma ongelmaa tuskin pystytään ratkaisemaan ilman, että muut tehtävät kärsivät.

Asioita, joita tulisi ainakin muuttaa, jotta 3D-älykamera ratkaisulla olisi mahdollisuuksia onnistua, on muutamia. Ensinnäkin häiritsevän valon estäminen tulisi estää tehokkaammin. Toisena asiana tulisi kamera vaihtaa eri versioon, jossa olisi hieman suurempi field of view ja laserin tulisi olla vihreä, jolloin muualta

tuleva valo häiritsisi vähemmän ja kuvasta saattaisi tulla tarkempi ilman poikkeamia. Kolmantena asiana tulisi hitsausseurausta tutkia jollain muulla keinolla. Eräs vaihtoehto voisi olla oma viivaälykamera pelkästään tutkimaan hitsausseurausta. Viimeisenä tärkeänä huomiotavana asiana tulisi kuvattavien kappaleiden heiluminen estää kohteessa. Tätä ongelmaa ei tutkimuksissa ollut, sillä kappale pysyi paikoillaan. Pienikin heiluminen aiheuttaa jo huomattavaa vääristymää 3D-kuvauksessa.

#### 4.3 Yhteiset päätelmät

Molemmissa tavoissa tuntui olevan ongelmia, joihin saattoi olla ratkaisuja, mutta niistä ei voitu saada selvyttä, koska tarvittavia laitteita ei ollut. Tosin molemmista tavoista myös saatiin osviittaa siitä, mihin ne parhaimmillaan voisivat taipua.

Täydelliseen ratkaisuun ei päästy, mutta ongelma kohdista ja tärkeistä asioista saatiin kuitenkin lisää tietoa, joihin tulisi kiinnittää huomiota sellaista rakentamassa.

Tämän monivaiheisen ja useita erilaisia kuvaus- ja valaistusratkaisuja testanneen tutkimuksen tuloksena voidaan sanoa toimivien ratkaisujen olleen kaksi 3D-älykameraa molemmin puolin levyä. Kohteeseen täytyisi tehdä täysin heilunnan estävä järjestelmä, sekä suojata kuvauspaikka ylimääräiseltä valolta.

## LÄHTEET

Boliden. n.d. Viitattu 31.5.2018 [https://www.boliden.com/fi/operations/smel-  
ters/boliden-harjavalta](https://www.boliden.com/fi/operations/smel-<br/>ters/boliden-harjavalta)

Cognex. n.d. Viitattu 31.5.2018 <https://www.cognex.com/>

CSS America. n.d. Viitattu 31.5.2018 <http://www.ccsamerica.com/>

Dechow D. 2014. The Fundamentals of Machine Vision. Viitattu 31.5.2018 [https://www.visiononline.org/userAssets/aiaUploads/file/T1-The-Fundamen-  
tals-of-Machine-Vision.pdf](https://www.visiononline.org/userAssets/aiaUploads/file/T1-The-Fundamen-<br/>tals-of-Machine-Vision.pdf)

Leino M. n.d. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Konenäön kurssin (2016) materiaalit. Viitattu 31.5.2018 <https://moodle2.samk.fi/course/view.php?id=4515>

LMI Technologies. n.d. Viitattu 31.5.2018 <https://lmi3d.com/products/gocator>

Opto-engineering. 2017. Basics. Viitattu 31.5.2018 [https://www.opto-enginee-  
ring.com/basics](https://www.opto-enginee-<br/>ring.com/basics)

Teledyne DALSA. 2014. Basics of Understanding Machine Vision. Viitattu 31.5.2018 [https://www.automation.com/pdf\\_articles/dalsa/210414\\_wp\\_Ba-  
sicsMVision.pdf](https://www.automation.com/pdf_articles/dalsa/210414_wp_Ba-<br/>sicsMVision.pdf)

Wikipedia. 2004. Viitattu 31.5.2018 [https://fi.wikipe-  
dia.org/wiki/V%C3%A4riaberratio#/media/File:Lens6a.png](https://fi.wikipe-<br/>dia.org/wiki/V%C3%A4riaberratio#/media/File:Lens6a.png)

Wikipedia. 2008. Viitattu 31.5.2018 [https://fi.wikipedia.org/wiki/Palloaberraa-  
tio#/media/File:Spherical\\_aberration\\_2.svg](https://fi.wikipedia.org/wiki/Palloaberraa-<br/>tio#/media/File:Spherical_aberration_2.svg)