

Henri Lautaoja

# Radiosondin lopputarkastuksen automatisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööriytyö

3.5.2016

Tekijä Otsikko	Henri Lautaoja Radiosondin lopputarkastuksen automatisointi
Sivumäärä Aika	38 sivua 3.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaaja	Prosessi-insinööri Satu Savolainen-Pulli Lehtori Timo Junell
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia mahdollisuuksia automatisoida radiosondin antureiden visuaalinen tarkastus. Ensimmäisenä tavoitteena oli perehtyä Vaisalassa jo olevaan automaattiseen optiseen tarkastukseen perustuvaan laitteeseen. Perehtymisen ja laitteen käyttöönoton jälkeen oli tarkoitus tutkia sen mahdollisuuksia ja rajoituksia radiosondin optisessa tarkastuksessa.</p> <p>Työssä käydään läpi automaattisen optisen tarkastuksen teoriaa yleisesti, käytössä olevan laitteen tekniikka ja toiminta, optista kuvankäsittelyä algoritmeilla sekä eri tekniikoiden mahdollisuuksia automatisoida visuaalinen tarkastus. Teorian tukena on käytetty laitteen valmistajan tietoja, laitteen käyttöoppaita ja useaa automaattiseen optiseen tarkastukseen perustuvaa artikkelia.</p> <p>Työ aloitettiin tutkimalla laitteen kuvausalgoritmeja teoriassa ja opettelemalla laitteen käyttöjärjestelmä sekä toiminta. Laitteen ja automaattisen optisen tarkastuksen teorian opettelemisen jälkeen algoritmien toimintaa sovelletaan käytännössä radiosondin antureihin ja tulkitaan saatuja kuvaustuloksia.</p> <p>Tuloksena on saatu tärkeä tieto olemassa olevan laitteen mahdollisuuksista radiosondin visuaalisessa tarkastuksessa sekä muista tarkastukseen sopivista automaatiomahdollisuuksista. Tulokset voivat myös toimia hyvänä pohjana 2D-tekniikkaan perustuvasta automaattisesta optisesta tarkastuksesta tai aiheesta yleisesti kiinnostuneille.</p>	
Avainsanat	AOI, automaattinen optinen tarkastus, automatisointi, visuaalinen tarkastus

Author(s) Title	Henri Lautaoja Automatization of Radiosonde Visual Inspection
Number of Pages Date	38 pages 3 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Machine Automation
Instructor(s)	Satu Savolainen-Pulli, Process Engineer Timo Junell, Senior Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to study different methods to automatize the visual inspection of radiosondes. The first objective was to examine the already existing machine used by Vaisala based on automatic optical inspection. After the examination and implementation of the machine, the second objective was to analyze the possibilities of utilizing the machine in radiosonde optical inspection.</p> <p>This thesis contains the theory of automatic optical inspection, operation and technical information of the implemented machine and optical image processing. In addition, also some other opportunities of the automation technologies are introduced. The theory and the information are mainly based on the user and programming manuals of the machine, the manufacturer's homepage and on several technical articles.</p> <p>The study was carried out as follows. Firstly, the algorithms and the function of the machine were studied in theory. Secondly, after studying the basics of optical image inspection and algorithms the information was used to inspect the sensors of the radiosonde. Thirdly, the results were analyzed and introduced.</p> <p>As a result, this thesis describes the possibilities of the implemented automatic optical system in radiosonde inspection. The results work as a good basis for all who are interested in 2D based automatic optical technology and in the topic in general.</p>	
Keywords	AOI, automatic optical inspection, automation, visual inspection

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Tavoitteet	1
2	Vaisala	2
3	Optinen tarkastus	3
3.1	AOI	3
3.1.1	Periaatteet	4
3.1.2	Haasteet	5
3.2	Kuvaustekniikat	6
4	AOI sondin tarkistuksessa	8
4.1	Radiosondin visuaalinen tarkistus	8
4.2	SAKI	10
4.3	BF-Planet-XII- optiikka ja valaistus	11
4.4	Toiminta	14
5	Kuvankäsittely ja algoritmit	16
5.1	Algoritmit	16
5.2	Kuvauksen aloitus	20
5.3	Kuvauksen tavoitteet	22
5.4	Kosteusanturin kuvaus	24
6	Tulokset ja päätelmät	26
6.1	Havainnot	26
6.2	Pohdinta	30
6.3	Jatkokehitys	33
6.3.1	3D-AOI	33
6.3.2	FocalSpec	34
7	Yhteenveto	36

**Lyhenteet**

AOI	Automated Optical Inspection, automaattinen optinen tarkastus
CAD	Computer-aided design, tietokoneella suunniteltu kolmiulotteinen malli
CCD	Charged-Coupled Device, kuvausoptiikassa käytetty valoherkkä kenno
ESD	Electrostatic discharge, staattisen sähköön purkaus
GPS	Global Positioning System, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä
LED	Light-Emitted Diode, loistediodi, elektroniikan komponentti, joka säteilee valoa
Sondi	Radiosondi, jota käytetään radioluotauksessa
2D	2-dimensional, kaksiulotteinen grafiikka, joka sisältää pituuden ja leveyden
3D	3-dimensional, kolmiulotteinen grafiikka, joka sisältää pituuden, leveyden ja syvyyden

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Tässä insinööriyössä perehdytään Vaisalan radiosondin lämpötila- ja kosteusanturin lopputarkastuksen automatisointiin AOI-menetelmää käyttämällä. Työ oli ajankohtainen, koska radiosondituotannossa on jo ollut käyttämättömänä automaattiseen optiseen tarkastukseen perustuva Saki Corporationin laite. AOI tulee englannin kielen sanoista Automatic Optical Inspection, jolla tarkoitetaan automaattista optista tarkastusta. AOI-laitteita käytetään teollisuudessa esimerkiksi piirilevyjen tai muiden elektroniikan komponenttien tarkastukseen optisesti. Digitaalisten kameroiden kehitysten myötä laitteet ovat korvanneet manuaalista visuaalista tarkastusta.

Syy tarkastuksen automatisointiin on nopeampi ja parempi laadunvalvonta sekä satunnaisten ja etenkin systemaattisten virheiden tehokkaampi havaitseminen. Tarkastus on tärkeä prosessi, koska radiosondin anturit ovat erittäin tarkkoja ja niiden on toimittava virheettömästi vaativissa olosuhteissa. Lämpötila- ja kosteusantureiden virheetön toimivuus korreloi suoraan tuotteen laatuun, joka on tärkeä kriteeri Vaisalalle ja alalla maailmanlaajuisesti.

Erityisesti tuotannon kasvaessa tai kausityöntekijöiden vaihtuvuuden takia tarkastuksen automatisointi on perusteltua, jotta laadunhallinta pysyisi korkeana. Suurin syy automatisoitumiseen onkin kustannustehokkuus ja automaattisten laitteiden työskentelytarkkuus. Elektroniikka-alalla tuotantolinjojen prosesseja on jo pitkään kehitetty automatisoidumpaan suuntaan. Käyttämällä automaattista optista tarkastusta ja yhdistämällä sitä esimerkiksi muuhun tuotannossa tapahtuvaan automaatioon, on laadunhallinta ajan tasalla ja hallittua.

## 1.2 Tavoitteet

Työn tavoitteena oli perehtyä optiseen tarkastukseen, Vaisalassa olevan laitteen AOI-tekniikkaan ja sen mahdollisuuksiin automatisoida radiosondin visuaalinen tarkistus. Myös erilaisten AOI- ja siihen liittyvien konenäkötekniikoiden soveltamista radiosondien tuotantoprosessiin oli tarkoitus tutkia ja esitellä teoriatasolla.

## 2 Vaisala

Vaisala Oyj on Vilho Väisälän perustama suomalainen pörssiyhtiö, joka valmistaa mittalaitteita ja -järjestelmiä. Vaisala kehittää, valmistaa ja markkinoi tuotteita ja palveluja ympäristömittaukseen ja teollisuuden mittaustarpeisiin. Tärkeimpiä asiakkaita ovat ilmatieteen laitokset, meteorologiset tutkimuslaitokset, tie- ja ilmailuviranomaiset, Puolustusvoimat, luonnonvarojen valvovat viranomaiset, vakuutusyhtiöt ja energiayhtiöt sekä eri alojen teollisuusyritykset. Vaisalan pääkonttori sijaitsee Vantaanlaaksossa Vantaalla. (Vaisala Corporate 2015.)

Pääkonttorissa on tutkimus-, tuotekehitys-, tuotanto- ja hallintotoimintoja. Vaisala-konserni on kansainvälinen yritys, jolla on maailmanlaajuinen asiakaskunta. Vaisalalla on lähes 30 toimistoa, ja liiketoimintaa Yhdysvalloissa, Kanadassa, Isossa-Britanniassa, Ranskassa, Saksassa, Ruotsissa, Malesiassa, Kiinassa, Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa, Japanissa ja Australiassa. Vuoden 2014 lopulla Vaisalassa työskenteli 1 613 henkilöä. Henkilöstöstä työskenteli Suomessa 61 prosenttia. (Vaisala Corporate 2015.)

Vaisalan historia ulottuu 1930-luvulle asti, jolloin professori Vilho Väisälä, Vaisalan perustaja ja pitkäaikainen toimitusjohtaja, kehitti tuotantokelpoisen radiosondin vuonna 1936. Tällöin alkoi myös Vaisalan toiminta. Vaisalan pääasiallista liiketoimintaa ovat tuotteiden ja palveluiden tarjoaminen olosuhteiden mittaukseen ja teollisuuden mittaustarpeisiin. Konsernissa on kaksi liiketoiminta-aluetta: Weather (sää) ja Controlled Environment (valvotut olosuhteet), joka palvelee esimerkiksi teollisuusyrityksiä. (Vaisala Corporate 2015.)

Weather palvelee säätiedoista riippuvaisia kohderyhmiä, jotka tarvitsevat tarkkoja, reaaliaikaisia, keskeytymättömiä ja luotettavia säätietoja tehokkaan toiminnan ylläpitämiseen. Tämän liiketoiminta-alueen asiakkaita ovat meteorologian laitokset, tie- ja rautatieviranomaiset, lentokenttäorganisaatiot ja puolustusvoimat. Yksityisiä asiakkaita ovat mm. energiayhtiöt ja merenkulku. (Vaisala Corporate 2015.)

### 3 Optinen tarkastus

Ennen automatiikan yleistymistä kaikki elektroniikan komponentit on tarkastettu manuaalisesti työntekijän toimesta esimerkiksi mikroskoopilla. Tämä on toiminut hyvin pitkään optisen tarkastuksen perustana tuotantotekniikassa. Tuotantovolyymien kasvaminen ja tehtävän toistuvuus aiheuttavat kuitenkin työntekijälle haasteita, jotka voivat johtaa inhimillisiin virheisiin. (PCB inspection techniques & technologies 2016.)

Optisella tarkastuksella tarkoitetaan joko visuaalisesti tai automaattisesti koneita käyttämällä tehtävää tarkastusta. Se on yleensä komponentin tuotannon loppu- tai alkuvaiheessa tehtävä tarkastus, jossa pyritään löytämään mahdolliset valmistusvirheet ja tarkkaillaan tuotteen laatua. Loppuvaiheessa tarkastetaan komponentin laatu ennen sen lähettämistä asiakkaalle ja alkuvaiheessa voidaan tarkastaa esimerkiksi komponentin oikeanlainen rakenne, jotta se käyttäytyy halutulla tavalla tuotannon eri vaiheissa. (PCB inspection techniques & technologies 2016.)

Koneilla tehtävät tarkastukset voidaan vielä jakaa automaattiseen optiseen tarkastukseen ja röntgentarkastukseen. Röntgentarkastus on tarkoitettu erityisesti erilaisten juotosten analysointiin, jotka voivat olla esimerkiksi komponenttien alla piilossa eikä niitä ole optiikalla mahdollista havaita. (PCB inspection techniques & technologies 2016.)

Tässä työssä perehdytään automaattisella optisella tarkastuksella tehtävään tarkastukseen, joka käydään läpi seuraavassa kappaleessa.

#### 3.1 AOI

AOI eli automaattinen optinen tarkastus on osa konenäkötekniikkaa. Konenäöllä tarkoitetaan yleisesti kohteen tunnistusta, kuvankäsittelyä ja tietokoneälyn kytkemistä optisiin laitteisiin. Pääsovellukset teollisuudessa konenäölle ovat automatisoidut tarkastukset, etäisyysmittaukset ja robottinäkö. Useimmissa tapauksissa konenäön hinta on pieni osuus suhteessa muuhun tekniikkaan ja automaatioon tuotantoprosessissa (Intelligent vision systems for industry 2002).



Automaattinen optinen tarkastus on nykyaikana tärkeä tekniikka piirilevyjen ja elektronii-  
kan tarkastukseen. Tekniikan kehittyessä, piirilevyjen elektronikka on pienentynyt ja ti-  
heytyntynyt eikä ihmissilmällä tehtävä visuaalinen tarkastus ole aina mahdollinen. (What is  
AOI 2016.)

### 3.1.1 Periaatteet

Automaattinen optinen tarkastus mahdollistaa erityisesti piirilevyjen nopean ja tarkan op-  
tisen tarkastelun sekä tasaisen laadun. AOI on tärkeä työkalu elektronii-  
kan tarkastuk-  
sessa, jotta virheelliset tuotteet voidaan havaita mahdollisimman aikaisessa vaiheessa  
prosessia ja näin pitää tuotantokustannukset hallinnassa. AOI-laite on myös mahdollista  
sijoittaa suoraan tuotantolinjaan, jolloin osa tuotteen valmistus- tai tarkastusprosessista  
voidaan kokonaan automatisoida. Puhutaan ”in-line”-laitteista, joiden huonoina puolina  
ovat laitteiden melko korkea hankintahinta ja laitteiden tarkka kalibrointi, mikäli tarkastet-  
tava tuote vaihtuu. (What is AOI 2016.)

AOI-laitteet käyttävät tarkkoja, jopa muutaman mikrometrin tarkkuudella kuvaavia kame-  
roita virheiden löytämiseen. Ne voivat havaita esimerkiksi pinnan muutoksia, naarmuja,  
roskia, katkenneita johtimia, huonoja juotosliitoksia ja puuttuvia komponentteja tai vääriä  
komponentteja. Tarkastuksessa komponentti valaistetaan useilla tehokkailla valoilla ja sen  
jälkeen kuvataan mahdollisesti useilla teräväpiirto-kameroilla. Näin laite muodostaa tar-  
kasteltavasta komponentista kuvan muistiin prosessoitavaksi. Tämän jälkeen laite vertaa  
prosessoitua kuvaa jo valmiiksi laitteeseen tallennettuun täydellisen komponentin ku-  
vaan ja tekee tämän perusteella päätöksen hylkäyksestä. Kuvauksen ja prosessoinnin  
kesto vaihtelee kuvan monimutkaisuuden ja laitteiden välillä. (What is AOI 2016.)

Kaksi yleistä kuvan prosessointitapaa ovat skannaustekniikka ja algoritmipohjainen tek-  
niikka. Skannaustekniikassa virheetön piirilevy syötetään laitteeseen, joka kuvaa ja opet-  
telee levyn komponentit sekä niiden liitoksen muistiin. Useampi skannauskerta yleensä  
takaa hyvän referenssikuvan, johon tulevia piirilevyjä verrataan. Algoritmipohjaisessa  
tekniikassa käyttäjä ohjelmoi joko itse tai käyttää valmiiksi olevia algoritmeja laitteeseen  
tallennettuun kuvaan, jonka jälkeen algoritmit laskevat seuraavan komponentin kuvasta  
annettuja vaatimuksia. Algoritmeilla voidaan saavuttaa monimutkaisempia kuvausana-  
lyyseyä, mutta ohjelmointi voi olla hidasta ja virheelliset tulkinnat kuvista ovat todennä-  
köisempiä. (What is AOI 2016.)

Käyttäjän yleensä tarvitsee puuttua kuvausprosessiin vain silloin, mikäli laite havaitsee kuvattavasta kohteesta virheitä, muuten kaikki tapahtuu täysin automaattisesti. Kuvan prosessointi vaihtelee laitekohtaisesti, mutta yleensä täydellisen kuvan ohjelmoiminen laitteen muistiin oikein on hyvin tärkeää, jotta laite osaa havaita kaikki mahdolliset virheet. (What is AOI 2016.)

### 3.1.2 Haasteet

Monimutkaisen elektroniikan yleistyessä massatuotannossa, painotus siirtyy myös sen automaattiseen tarkastukseen. Monet yritykset ovat valmiina ottamaan käyttöön automaattisen optisen tarkastuksen laajemmassa mittakaavassa tuotannossa, samalla kun yli 30 AOI-laitteiden valmistajaa kilpailee markkinoilla. Tämän ansiosta hintakilpailu on hieman alentanut hintoja ja samalla hyödyntänyt molempia osapuolia. (Realizing the expectations of AOI 2016.)

Monissa tehtaissa on käytetty paljon aikaa ja rahaa automaattiseen tarkastukseen, mutta silti useissa linjastoissa käyttäjä valvoo automatiikkaa ja mahdollisia virheellisiä hälytyksiä, eikä näin saada täyttä potentiaalia automatiikasta irti. Virheelliset hälytykset ovatkin yksi isoimmista tekijöistä, miksi AOI ei ole käytössä kunnolla tuotantolinjoilla. Monesti AOI-laitteet ovat tarkastamassa vain jotain yksittäistä osaa komponentista, missä selkeitä virheitä esiintyy useammin, tai laite tekee usein virrehälytyksiä ja tietokantaan tallentuvat virheet eivät anna kokonaiskuvaa tuotteen laadusta. Tästä johtuen tietokannan dataa ei voida esimerkiksi käyttää luotettavasti tilastolliseen prosessinohjaukseen. Useimmiten suurin hyöty saadaan AOI:sta, kun in-line laitteet ovat suoraan tuotantolinjoilla, eikä erillisiin tiloihin luoda tarkastuspistettä käyttäjineen. (Realizing the expectations of AOI 2016.)

Suurimmat kustannukset syntyvät AOI:ssa alussa, laitteen hankintahinnasta ja koulutuksesta, joka on tärkeä, sillä oikealla ohjelmoinnilla vältetään tulevat virrehälytykset ja sen kautta mahdollisesti syntyvät pullonkaulat tuotannossa. AOI-systeemiä arvioidessa on kiinnitettävä huomiota laitteen ohjelmitavuuteen, testattavuuteen ja toimivuuteen. Usein on käytettävä eniten aikaa ohjelmoimiseen ja testaamiseen, jotta tarkastuksesta tulisi sujuvaa. Lopuksi käyttäjän on arvioitava ajan käyttö näihin kaikkiin osa-alueisiin AOI-laitteen hankinnassa. (Realizing the expectations of AOI 2016.)

AOI:n kunnollinen käyttö on silti monissa yrityksissä takkuavaa vielä vuosien kokemusten jälkeen. Virrehälytysten välttämiseksi käyttäjät monesti asettavat tarkastuksen raja-arvot liian suuriksi, eivätkä kiinnitä huomiota esimerkiksi itse tuotantoprosessiin tai kuvausalgoritmeihin. Kalliit in-line AOI-laitteet toimivat täydellä hyötysuhteella vasta silloin, kun laitteen ohjelmistosta ja algoritmeista otetaan kaikki irti. Hankintahinta on usein ratkaiseva tekijä, ja AOI:n kanssa se voi muodostua vielä kalliimmaksi, kun laite jää käyttämättömäksi tai toimii puolella kapasiteetilla ja virheellisiä tuotteita pääsee linjastosta läpi. (Realizing the expectations of AOI 2016.)

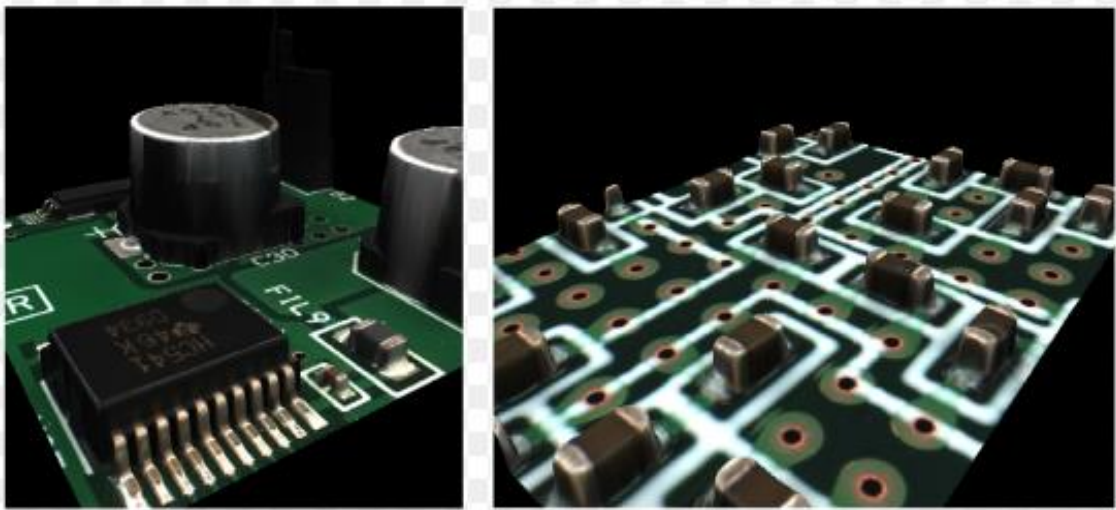
On arvioitu, että lähes 25 % kaikista myydyistä AOI-systeemeistä ovat lähes käyttämättöminä monissa yrityksissä. Jos pitkäaikainen tavoite on jatkuva tuotekehitys, tarvitaan hyvät AOI-laitteet, hyvin koulutetut käyttäjät ja tarkat kuvausanalyysit komponenttien tulkitsemiseen. Vasta silloin saadaan paras mahdollinen hyöty AOI-systeemeistä. (Realizing the expectations of AOI 2016.)

### 3.2 Kuvaustekniikat

Automaattisessa optisessa tarkastuksessa kuvaustekniikat voidaan jakaa kahteen ryhmään, 2D-tekniikkaan ja 3D-tekniikkaan. 2D-tekniikka on yleisimmin käytetty AOI-sovelluksissa. Yleisemmät kuvausresoluutiot ovat 10–15 megapikselin luokkaa, mutta myös tarkempia erikoiskameroita on olemassa. Kuvia voidaan ottaa monessa eri valaistuskulmassa, jotta saadaan mahdollisimman tarkka kuva. 2D-laitteet ovat helpompia ohjelmoida, nopeampia ja halvempia verrattuna 3D-tekniikkaan. (The industry requirement for 2D and 3D inspection technology in a single AOI platform 2016.)

3D-tekniikassa käytetään useampaa kameraa, joiden avulla tietokone saa muodostettua kolmiulotteisen kuvan (kuva 1). Korkeustiedon ansiosta komponentin tarkastusmahdollisuudet ovat paljon laajemmat. Tarkasteltavana kohteena voi olla esimerkiksi jonkin komponentin maksimi korkeus piirilevyllä. Ohjelmoitava data voidaan tuoda laitteeseen esimerkiksi komponentin CAD-mallista. 3D-laitteiden hinta on jo huomattavasti korkeampi verrattuna 2D-laitteisiin. Muita huonoja puolia ovat esimerkiksi hitaampi kuvan prosessointi, monimutkaisempi kuvan ohjelmoiminen laitteeseen, varjojen aiheuttamat ongelmat valaistuksessa ja se, että värien tarkastelu ei ole mahdollista 3D-tekniikalla. Paras tarkastelumetodi AOI:ssa olisi 2D- ja 3D-tekniikan yhdistäminen samaan laitteeseen.

(The industry requirement for 2D and 3D inspection technology in a single AOI platform 2016.)

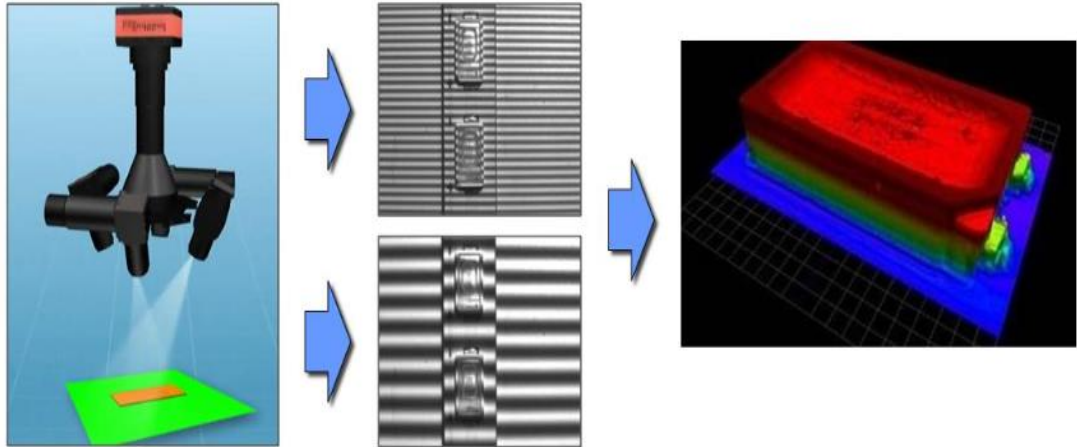


Kuva 1 3D-kuva piirilevystä (SAKI 3D-Technology 2016)

3D-tekniikan suurin hyöty verrattuna 2D-tekniikkaan on sen antama korkeustieto. Korkeustiedon ansiosta esimerkiksi komponenttien korkeutta tai asentoa voidaan valvoa hyvin tarkasti. 3D-tekniikat voidaan jakaa myös useampaan ryhmään. Ensimmäinen tekniikka perustuu lasermittaukseen, jossa komponentista hajaantuneet ja heijastuneet lasersäteet muodostavat tietokoneelle kuvan.

Lasermittaustekniikkaan perustuvaa 3D-skannausta käytetään paljon erilaisissa konenäkösovelluksissa kuten autoteollisuudessa ja CAD-ohjelmoinnissa. Skannauslaserit ovat nopeita ja niillä päästään helposti suuriin tarkkuuksiin. Skannauksessa luotu data kappaleesta siirretään usein CAD-mallina tietokoneelle tai robotille, jotka analysoivat kappaletta halutulla tavalla. 3D-skannauksen vahvuuksia konenäkösovelluksissa ovat nopeus ja suuri tarkkuus. (Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning 2008.)

Toinen tekniikka perustuu useampaan optiseen projektoriin, jotka muodostavat tietokoneelle niin sanotun stereokuvan eri kulmista tallennetuista kuvista. (The industry requirement for 2D and 3D inspection technology in a single AOI platform 2016.) (kuva 2.)



Kuva 2 3D-kuvan muodostus (The industry requirement for 2D and 3D inspection technology in a single AOI platform 2016)

## 4 AOI sondin tarkistuksessa

### 4.1 Radiosondin visuaalinen tarkistus

Radiosondi (kuva 3) on GPS:ää käyttävä laite, jota käytetään radioluotauksessa. Radioluotauksella mitataan ilmakehästä lämpötilaa, painetta, kosteutta, tuulen suuntaa ja nopeutta sekä mahdollisesti otsonin pitoisuuksia. Tärkein radiosondien valmistaja on Vaisala. (Ilmatieteen laitos 2016.)



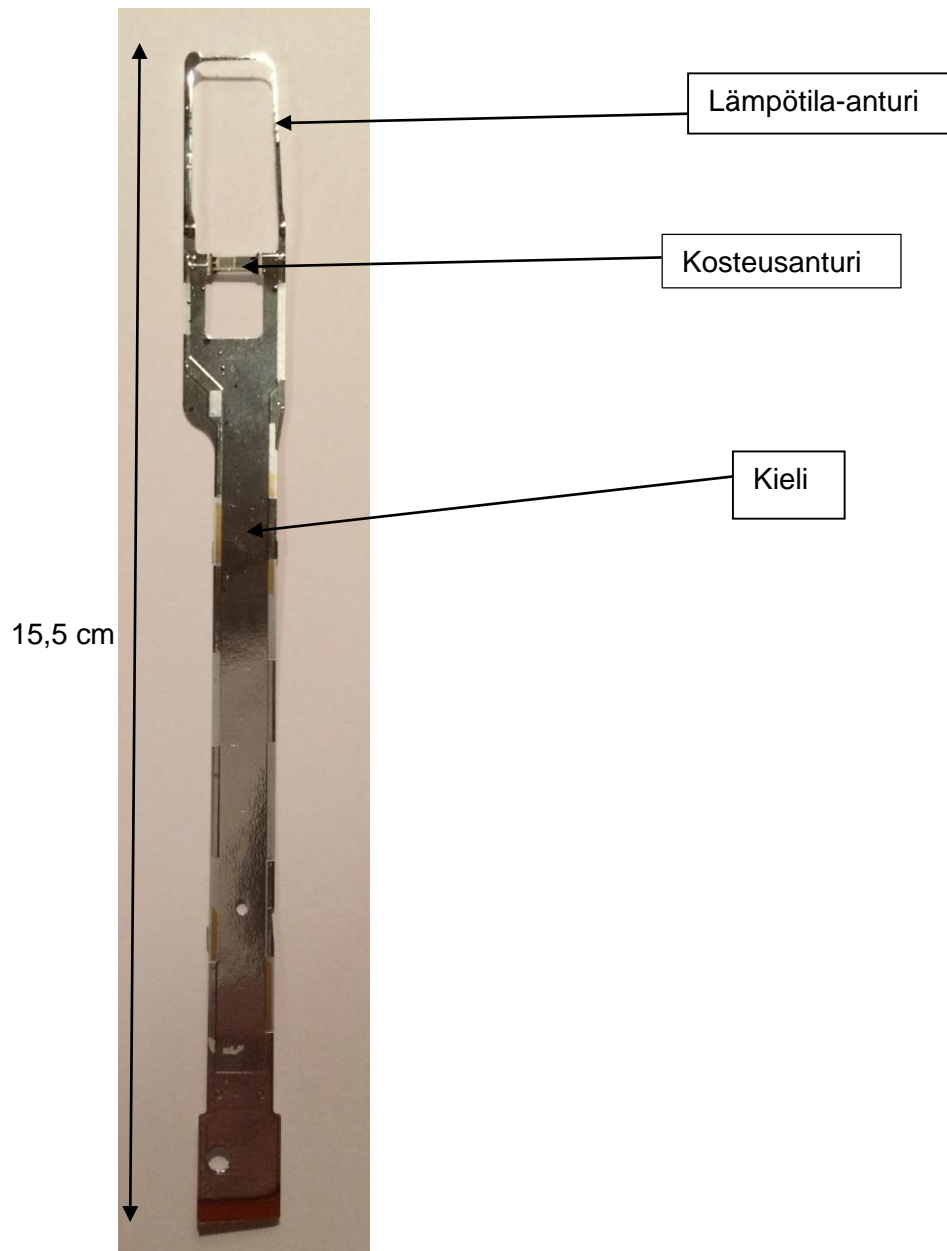
Kuva 3 RS41 Radiosondi (Vaisala 2016)

Tällä hetkellä sondin kielet (kuva 4) tarkastetaan visuaalisesti mikroskoopilla ESD-suojatussa puhdashuoneessa Vaisalan ohjeiden mukaisesti. Mikroskoopin suurennos asetetaan nelinkertaiseksi. Tarkastettavat anturit sijaitsevat sondin kielessä. Yhden kielen tarkastukseen kuluu aikaa puolesta minuutista minuuttiin, työntekijästä riippuen.

Tarkastuksessa kielen hylkäykseen johtavia syitä:

- roiskeita tai roskia kosteusanturissa
- kielen epätasainen väri
- kielen puutteellinen pinnoitus
- aukkoja värissä
- kosteusanturin johtimet poikki.

Kielen tulee olla täysin virheetön, ennen kuin se liitetään radiosondiin ja lähetetään eteenpäin.



Kuva 4 Radiosondin kieli

#### 4.2 SAKI

SAKI Corporation on vuonna 1994 perustettu AOI-laitteita valmistava japanilainen yritys. Valikoimasta löytyy 2D-, 3D- ja röntgentekniikkaan perustuvia laitteita. Tarkasteltavana oleva laite Vaisalalla on SAKI Corporationin valmistama 2D-tekniikkaan perustuva BF-Planet-XII (kuva 5). (Saki Corporation 2016.)



Kuva 5 SAKI BF-Planet-XII (SakiCorp 2016)

#### 4.3 BF-Planet-XII- optiikka ja valaistus

Laite on varustettu telesentrisellä optiikalla ja CCD-kameralla, jolla voidaan muuntaa valo digitaaliseksi signaaliksi. CCD-kamerassa valoanturina on CCD-kenno, joka koostuu tuhansista pienistä yhteen liitetyistä puolijohdeantureista. Jokainen anturi vastaa yhtä pikseliä kuva-alueella ja muodostaa kuvan kirkkautta vastaavan sähköisen varauksen. BF-Planet-XII:stä löytyy kolme erilaista LED-valaisujärjestelmää: TopLight, SideLight ja LowLight. Näiden valaistusten erilaisilla yhdistelmillä on mahdollista saada lukuisia muita erilaisia valaistusmahdollisuuksia. (SAKI käyttöohje.)



Automaattinen varjostustekniikka kompensoi kuvan kirkkautta, jotta kuvaolosuhteet pysyisivät aina mahdollisimman samanlaisina. Kuvausjärjestelmä voi tallentaa kolme erilaista kuvaa yhdessä tarkastelussa 10 µm:n pikselitarkkuudella. Tarkasteltavat komponentit voivat olla kooltaan maksimissaan 250 x 330 x 40 mm. Tämän kokoisen piirilevyn tarkastukseen SAKI AOI -laite lupaa 9 s. (SAKI käyttöohje.)

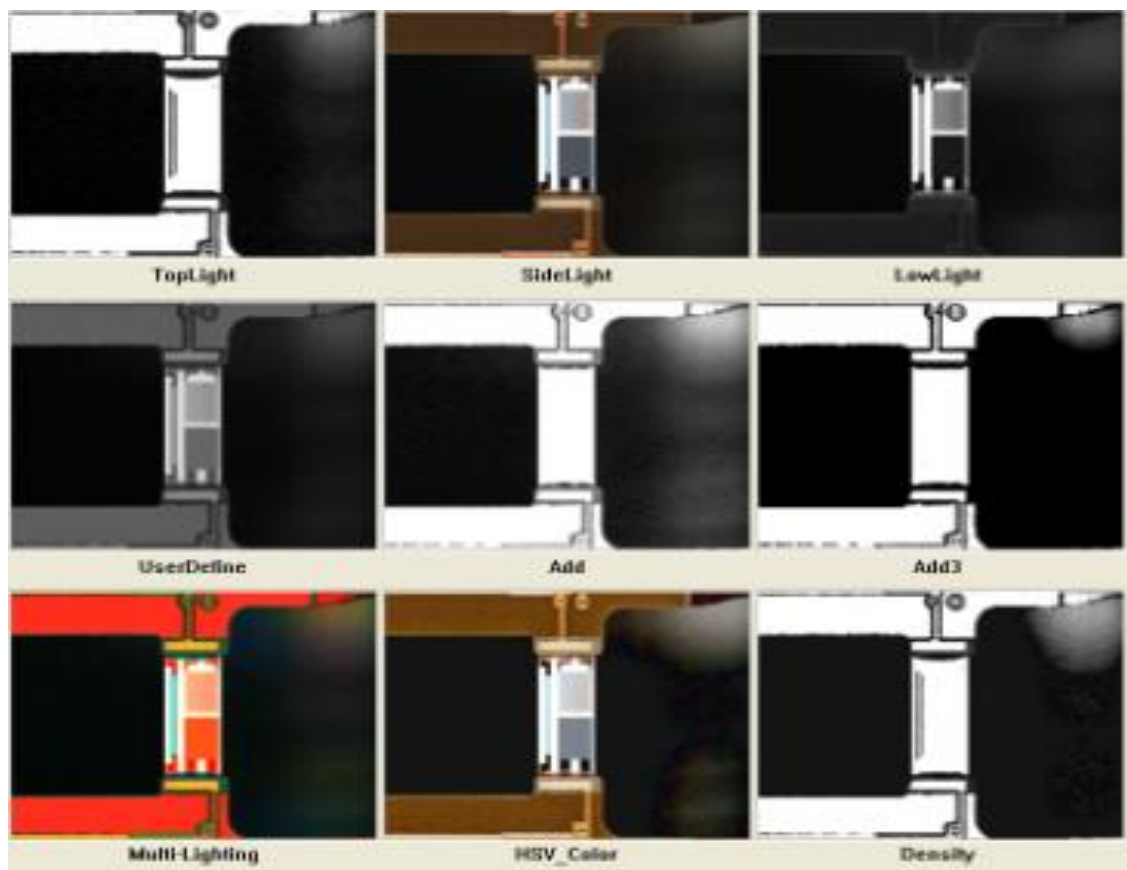
Sopivan valaistuskulman löytäminen on olennainen osa hyvää kuva-analyysiä. BF-Planet-XII:ssä jokaiselle tarkastuskohteen algoritmille asetetaan käyttäjän parhaaksi näkemä valaistus, eikä ohjelma sen jälkeen muuta sitä, vaikka ympäristön valaistus muuttuisi. Tarkastuskohteeseen sopivan valaistuksen löytyminen mahdollistaa yksinkertaisemman algoritmin käyttämistä laajemmilla toleransseilla. Tällöin myös virheellisten kuva-analyysojen mahdollisuus pienenee.

Valaistus on tärkeä elementti AOI-systeemissä. Valitsemalla oikea valaistus voidaan löytää erityyppisiä virheitä helpommin. Valaistuksen viimeaikainen kehittyminen on mahdollistanut huonolaatuistenkin kuvien virheiden paremman analyysin, joka puolestaan parantaa laitteiden nopeutta ja tarkkuutta. Useimmat AOI-systeemit ovat määrittäneet jo valmiiksi käyttämänsä valaistuksen. Valaistusjärjestelmä riippuu laitteen toiminnoista tuotannossa ja tarkasteltavasta kohteesta. Valaistustyyppi yleensä optimoidaan näiden kahden ehtojen mukaisesti. (What is AOI 2016.)

Käytettäviä valaistustyyppejä eri AOI-laitteissa ovat fluoresenssi-valo, LED-valo ja infra- tai ultraviolettivalo. Fluoresenssi-valo on laajalti käytetty automaattisessa optisessa tarkastuksessa, sillä se tarjoaa tehokkaan valaistuksen pienien virheiden etsintään. Suurin ongelma ovat fluoresenssi-lamput, joiden teho heikkenee ajan myötä, jolloin tarkastuksen laatu heikkenee. LED-valaistus tarjoaa vakaan, vähävirtaisen ja valoteholtaan paljon pitkäikäisemmän ratkaisun AOI-systeemille. Mikäli havaitaan LED-polttimon valotehon heikentymistä, voidaan sitä kompensoida lisäämällä käyttöjännitettä. Infra- ja ultraviolettivaloa käytetään harvemmin AOI:ssä. Harvoissa tapauksissa, jos halutaan nähdä esimerkiksi silmälle näkymätöntä lakkaa, voidaan käyttää ultraviolettivaloa. (What is AOI 2016.)

Valaistuksen ohella, myös valaistuksen automaattinen asettaminen kuvattavalle kohteelle on yhtä tärkeää. Oikealla asettamisella varmistetaan, että ei jää varjoja ja kohde on hyvin valaistu joka puolelta. Valaistusta voidaan myös terävöittää halutuille alueille, joista virheitä etsitään. (What is AOI 2016.)

Kuvasta 6 nähdään kosteusanturi muutamissa erilaisissa valaistuksissa. BF-Planet-XII pystyy tuottamaan lukuisia eri valaistusvaihtoehtoja kolmesta eri LED-valaisujärjestelmästä. Anturin paikallaolon havaitsemiseen voidaan käyttää lähes mitä tahansa valaistusta, koska tausta on tumma ja itse anturi erottuu hyvin tai kohtalaisesti sen tunnistusta varten. Jos halutaan etsiä pienempiä virheitä kosteusanturin päältä, on valaistustyyppillä erittäin suuri merkitys. Valaistuksen ollessa suoraan päältä tai liian kirkas, kuvista tulee helposti ylivalottuneita, eikä haluttuja virheitä löydy monimutkaisillakaan algoritmi-tyypeillä. Valaistuksen ollessa himmeämpi, kuvista tulee helposti liian tummia, eikä esimerkiksi kosteusanturin johtimet erotu hyvin tai ollenkaan.



Kuva 6 Erilaisia kosteusanturin valaistuksia

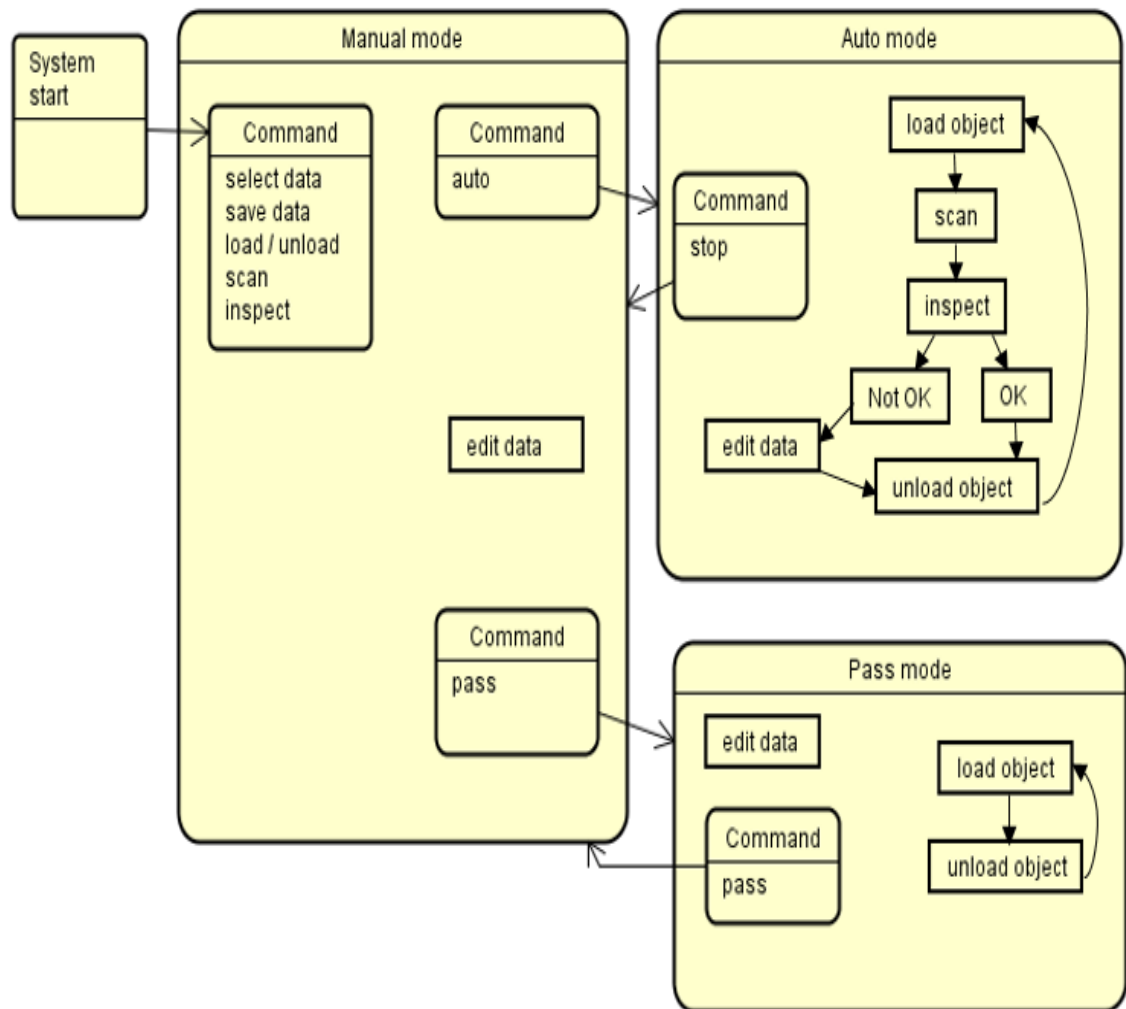
Sondin kielen tapauksessa, usein hyvin komponentit erottava valaistus on SideLight, joka erottelee kuvasta kosteusanturin eri alueet ja johtimet. SideLight eli sivuvalo toimii useimmiten sekä anturin paikallaolon, että pienempien virheiden erotukseen. Samalle kosteusanturille voi asettaa jokaisen algoritmin kohdalle eri valaistuksen, kullekin virheyydelle sopivimman.

#### 4.4 Toiminta

Työmenetelmät, joilla kuvan prosessointi BF-Planet-XII:ssä tapahtuu, ovat erilaiset kuvausalgoritmit, jotka käyttäjä ohjelmoi tarkasteltavaan kuvaan. Laite pohjautuu siis algoritmipohjaiseen tekniikkaan. Ennen algoritmien ohjelmointia, tarkasteltavasta komponentista syötetään mitat, pituus, leveys ja syvyys sekä koordinaatisto, jonka avulla laite hahmottaa komponenttien sijainnin piirilevyllä. Kun kohde on kuvattu ja luotu koordinaatisto, voidaan ohjelmoida haluttuja algoritmeja ja automaattinen optinen tarkastus voidaan aloittaa. Kaikki tämä tehdään laitteeseen integroidulla hallintapäänteen ohjelmistolla. Kuvankäsittely käydään tarkemmin läpi luvussa 5.

Automaattiseen tarkastukseen BF-Planet-XII:ssä on kolme käyttötapaa: auto, manual ja pass. Auto-tilassa kohteet tulevat automaattisesti linjalta, jotka ladataan laitteeseen, kuvataan, analysoidaan ja syötetään eteenpäin täysin automaattisesti. Jos kuvattavasta kohteesta löytyy ohjelmiston mielestä virhe, prosessi pysähtyy ja käyttäjälle tulee ilmoitus tilanteesta. Tässä tilanteessa voidaan palata manual-tilaan ja tehdä korjauksia, mikäli kyseessä on virrehälytys. Auto-tila on tarkoitettu käytettäväksi silloin, kun laite halutaan sijoittaa suoraan tuotantolinjaan osaksi automaattista prosessia.

Manual-tila on käytännössä tarkoitettu virheen korjauksiin, säätöön ja ohjelmointiin. Tässä tilassa kaikki komennot tekee käyttäjä, kuten kuvattavien kohteiden syötön, kuvauksen ja tarkastuksen. Laite käynnistyy oletuksena manual-tilassa. Pass-tilassa mitään kuvauksia eikä tarkastuksia tehdä, vaan kohteet päästetään suoraan laitteesta läpi. Jokaisessa käyttötilassa voidaan tehdä korjauksia tarkastettavaan kuvausdataan (kuva 7). (SAKI ohjelmointi-opas.)



Kuva 7 Käyttötapojen prosessikaavio

## 5 Kuvankäsittely ja algoritmit

Kuvankäsittelyyn ja algoritmeihin päästään, kun tallennetusta kuvasta on saatu mitat ja luotu koordinaatisto. SAKIn käyttöliittymässä valmiit algoritmit rajataan graafisesti siihen kohtaan kuvasta, jota on kiinnostuttu tarkastamaan. Rajaamalla algoritmit yhteen kuvan alueeseen, ohjelma tallentaa ne koordinaatistoon ja pystyy soveltamaan samoja algoritmeja seuraavan kappaleen kuvaan. Algoritmien kannalta onkin erittäin tärkeää, että kuvattavat kohteet ovat täysin samanlaisia väriltään, muodoiltaan ja mitoiltaan. Näin koordinaatisto ja tallennetut algoritmit pysyvät samassa paikassa myös seuraavan kohteen kuvassa. Kun kuvankäsittelytulokseen ollaan tyytyväisiä, tallennetaan ohjelmoitu data laitteen tietokoneelle muistiin. Mikäli tarkasteltavaksi halutaan jokin muu kohde, on luotava aina uusi koordinaatisto ja halutut tarkastusalgoritmit. (SAKI programming manual.)

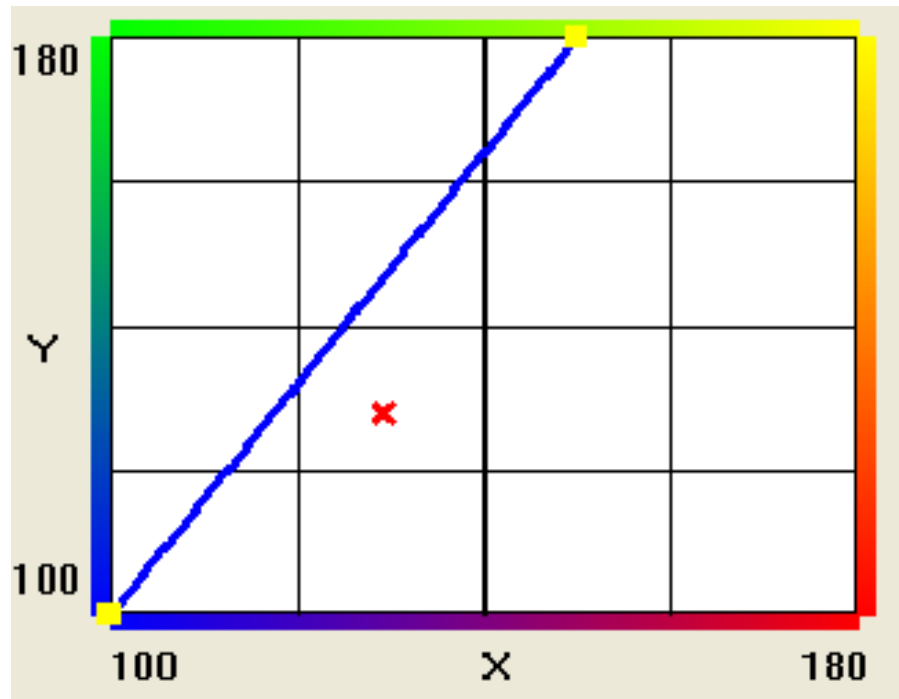
### 5.1 Algoritmit

Valmiita tarkastusalgoritmeja BF-Planet-XII:ssä on yhteensä 20 kappaletta. Niitä yhdistämällä erilaisiin valaistuksiin voidaan saada melko monimutkaisiakin tarkastusmenetelmiä. Algoritmeista voidaan päätellä, että laite on suunniteltu varsinaisesti piirilevyjen, elektroniikkakomponenttien ja juotosten automaattiseen tarkastukseen. Tämän vuoksi kaikkia laitteen toimintoja ei käydä tässä työssä läpi, vaan perehdytään siihen, mikä voisi olla radiosondin kielen optimaalisin tarkastusmenetelmä.

Lähes kaikki tarkasteltavat algoritmit käyttävät analysointiin kuvan värien keskiarvoa, tasapainoa, värilämpötilaa tai luminanssia eli pinnalta heijastuvaa valon voimakkuutta. Pinnalta heijastuvan valon voimakkuus eli kirkkaus riippuu hyvin paljon siitä, millaista valaistusta käyttää. Jokaisen algoritmin kohdalla voidaan valita erilainen valaistus. Valaistus on hyvin tapauskohtainen. Yleensä valaistus kannattaa valita niin, että tarkasteltavan komponentin ja muun taustan välinen kontrasti on suuri eli se erottuu mahdollisimman hyvin taustasta. Tällöin optiikka ja algoritmit voivat havaita virheet helpommin. Toisaalta myös virhetulkinnan mahdollisuus kasvaa, mikäli kuvauspinnalla esiintyy esimerkiksi sallittavaa pölyä. Useimmiten paras valaistus selviää kuvakohtaisesti kokeilemalla.

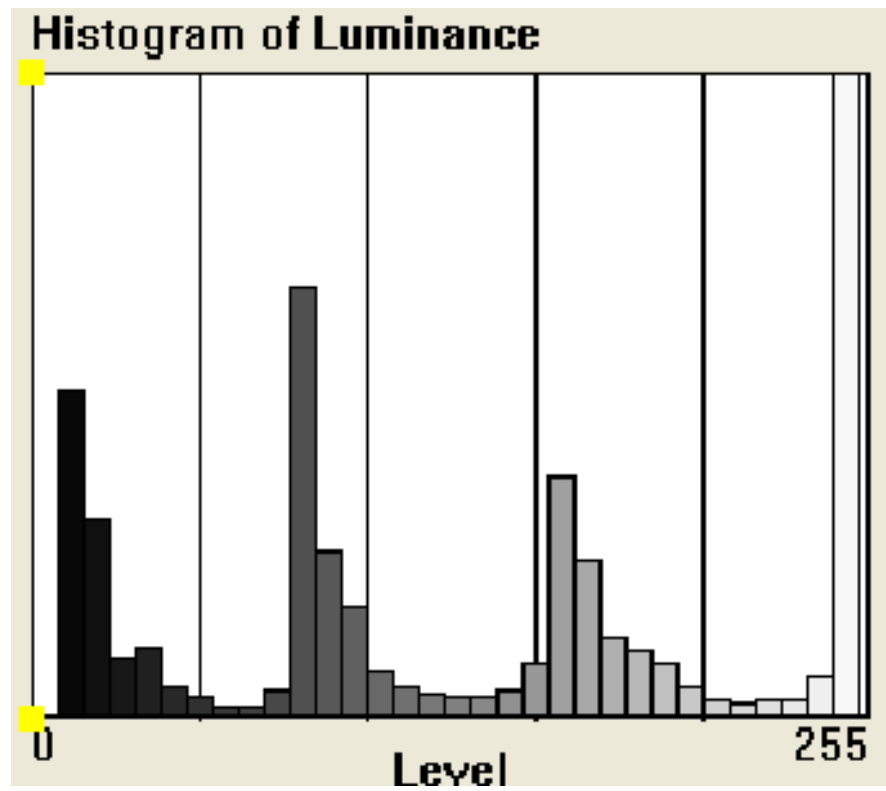
Seuraavassa listassa käydään läpi algoritmeja, jotka ominaisuuksiensa puolesta soveltuvat parhaiten radiosondin kielen tarkastukseen.

- **ChipMissing3** on tarkoitettu juotoksen tarkasteluun sirun molemmissa päissä käyttäen ylä- ja sivuvalaistusta. Algoritmi mittaa kuvan kirkkautta. Juotoksen ollessa paikallaan, valo heijastuu siitä sivuille pois ja kirkkaus vähenee. Jos siru puuttuu tai juotosta ei ole ollenkaan, valo heijastuu takaisin ylös ja kirkkaus suurenee. Algoritmia voidaan käyttää sirun paikallaolon ja juotosten tarkasteluun.
- **Lenght-** algoritmilla voidaan tarkastella komponentin pituutta. Komponentin pituus lasketaan kuvan kirkkauden avulla. Algoritmi laskee rajatun alueen kirkkauden keskiarvon, jolle käyttäjä voi määrittää ylä- ja alarajan. Mikäli kirkkauden keskiarvo ylittää toleranssin raja-arvot, ilmoittaa laite virheestä komponentissa. Algoritmi soveltuu esimerkiksi myös sirun paikallaolon tunnistukseen.
- **ColoryXY** on hyvin monikäyttöinen algoritmi, joka laskee rajatun alueen värien keskiarvoa käyttäen oletuksena sivuvalaistusta. Hyväksytyin värin keskiarvon ja ei-hyväksytyin värin keskiarvon alueet näkyvät kuvassa 8. Punainen rasti (kuva 8) tarkoittaa algoritmilla rajatun alueen värien keskiarvoa. Mikäli tämä on hyväksytty, rajataan alue sinisellä suoralla haluttuun toleranssiin. Kun kuvan värien keskiarvo ylittää sinisen suoran toiselle puolelle, algoritmi tulkitsee komponentin virheelliseksi. Algoritmi soveltuu esimerkiksi komponentin paikallaolon, siirtymän, polariteetin ja likaisuuden tarkasteluun.



Kuva 8 ColoryXY

- **AreaColor**-algoritmi laskee halutun alueen ennalta määrätyn värin prosentuaalisen osuuden. Oletusvalaistus on sivuvalo. Jos sallitun värin prosentuaalinen osuus ei osu käyttäjän ennalta asetettuun toleranssiin, tulkitaan rajattu alue virheelliseksi. Tarkastusmenetelmä sopii esimerkiksi komponentin paikallaolon tai likaisuuden tarkasteluun.
- **Average**-algoritmi laskee tarkastelualueen kirkkauden keskiarvon. Jos kuvan kirkkaus on raja-arvojen sisällä, tulos hyväksytään. Average-algoritmi soveltuu myös komponenttien värien, pinnoitteen ja virheiden tulkintaan.
- **Black/White**-algoritmeilla tarkastellaan haluttua prosenttiosuutta tarkastusalueen luminanssista. Kuvasta voidaan hyväksyä esimerkiksi vain tummat sävyt tai vain vaaleat sävyt. Jos halutut sävyt ovat niille määritetyn raja-alueen sisällä, tulos hyväksytään. Kuvan 9 histogrammissa on esimerkkinä eri kirkkauksien sävyt. Jos komponentti on sävyiltään musta tai tumma, voidaan histogrammista rajata vain tummat sävyt. Näin kaikki vaaleat sävyt hylätään ja mikäli niitä heijastuu, tulkitaan komponentti virheelliseksi.

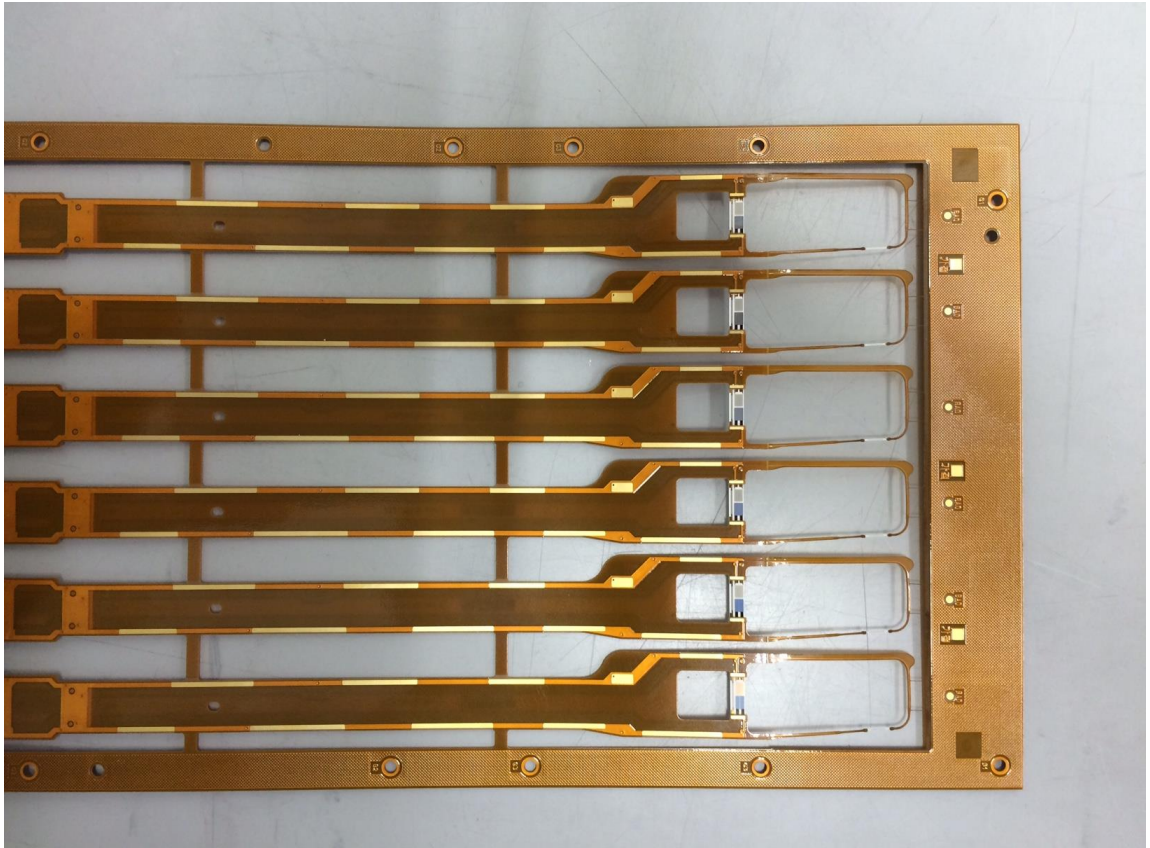


Kuva 9 Kuvasta heijastuvat luminanssin sävyt



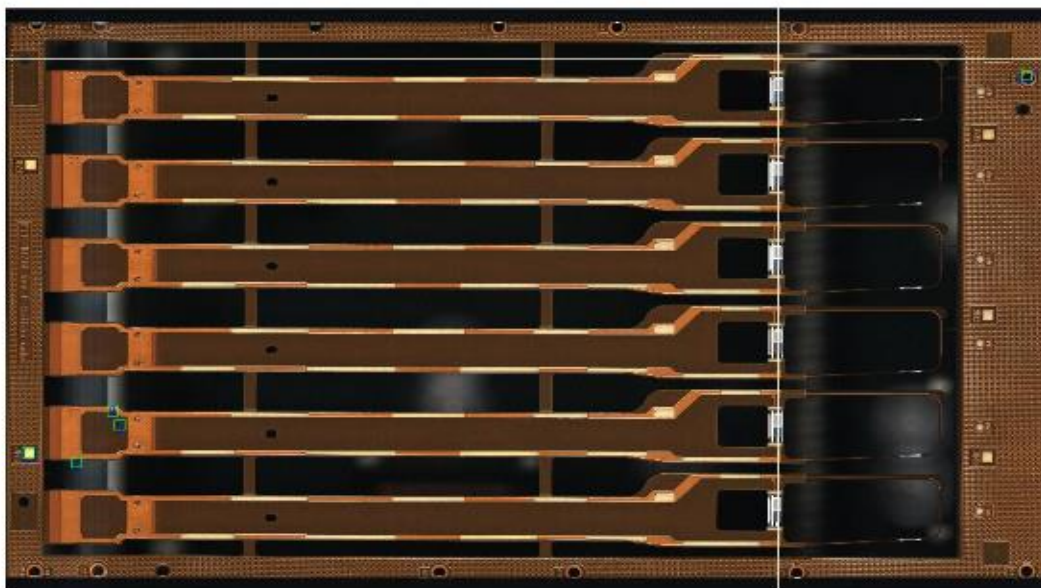
## 5.2 Kuvauksen aloitus

Radiosondin antureiden automaattisen optisen tarkastuksen selvitystyö ja SAKIn AOI-laitteen käyttömahdollisuudet alkoivat testianturien tarkastelusta (kuva 10).



**Kuva 10** Sondin testianturit

Testianturit eivät olleet aluksi pinnoitettuja joten tarkastuksen kohteena olivat lämpötila- ja kosteusanturi. Kun anturien levyn mitat oli asetettu ja luotu koordinaatisto laitteeseen, voitiin tarkastus aloittaa. Kuvattu testilevy näkyy kuvassa 11. Testilevystä oli tarkoituksena aluksi tarkastella anturin paikallaoloa ja itsetehtyjä virheitä kosteusanturiin. Virheet olivat esimerkiksi naarmuja, mustekynällä tehtyjä pisteitä tai muita helpoksi havaittavia virheitä. Näin sopivan algoritmin löytäminen on aluksi helpompaa ja oikeiden virheiden pienentyessä voidaan hienosäätää samaa algoritmia tai esimerkiksi valaistusta.



Kuva 11 BF-Planet-XII:llä kuvattu testilevy

Kuvassa 12 asetetaan anturilevyn mitat x- ja y-suunnassa sekä paksuus mikrometreinä. Fiducial mark 1 ja 2 ovat levyn ohjelmoituja kiintopisteitä, joiden avulla ohjelma luo levyille koordinaatiston. Kiintopisteiden täytyy olla samassa kohdassa jokaisessa tarkasteltavassa levyssä. Sondin anturilevyssä kiintopisteet voivat olla esimerkiksi reiät levyn reunoilla. Tällöin ohjelma osaa asettaa halutut algoritmit oikeille paikoilleen jokaisessa anturissa kiintopisteiden avulla. Kiintopisteille on ohjelmistossa omat algoritmit, joiden avulla ne asetetaan yleensä piirilevyn molemmille reunoille tai kulmiin.

**Board Data**

[Setting]

Board Name

Group Name

	X	Y	t
Board Size	<input type="text" value="180000"/>	<input type="text" value="111000"/>	<input type="text" value="161"/>
Board Origin	<input type="text" value="175000"/>	<input type="text" value="5000"/>	[um]

Use Fiducial Mark Compensation

	X	Y
MARK1	<input type="text" value="-172026"/>	<input type="text" value="8068"/>
Actual Position	<input type="text" value="999999"/>	<input type="text" value="999999"/>
MARK2	<input type="text" value="-171040"/>	<input type="text" value="21165"/>
Actual Position	<input type="text" value="999999"/>	<input type="text" value="999999"/>

[um]

[Detail Setting]

Model Name

Comment

Data Editor  Date

Operator Shift  DayTime  Evening  Overnight

Machine No.  Block No.  Number

Original Data

Inspection Selection

Option

Surface

Chip surface

Solder surface

Move Time  Scan Time

Shading Time  Inspection Time

Tact Time

OK Cancel

Chip:1 IC:0 Total:2[window] 0[Joins] PixelSize=11358,11358 EditffCount=24

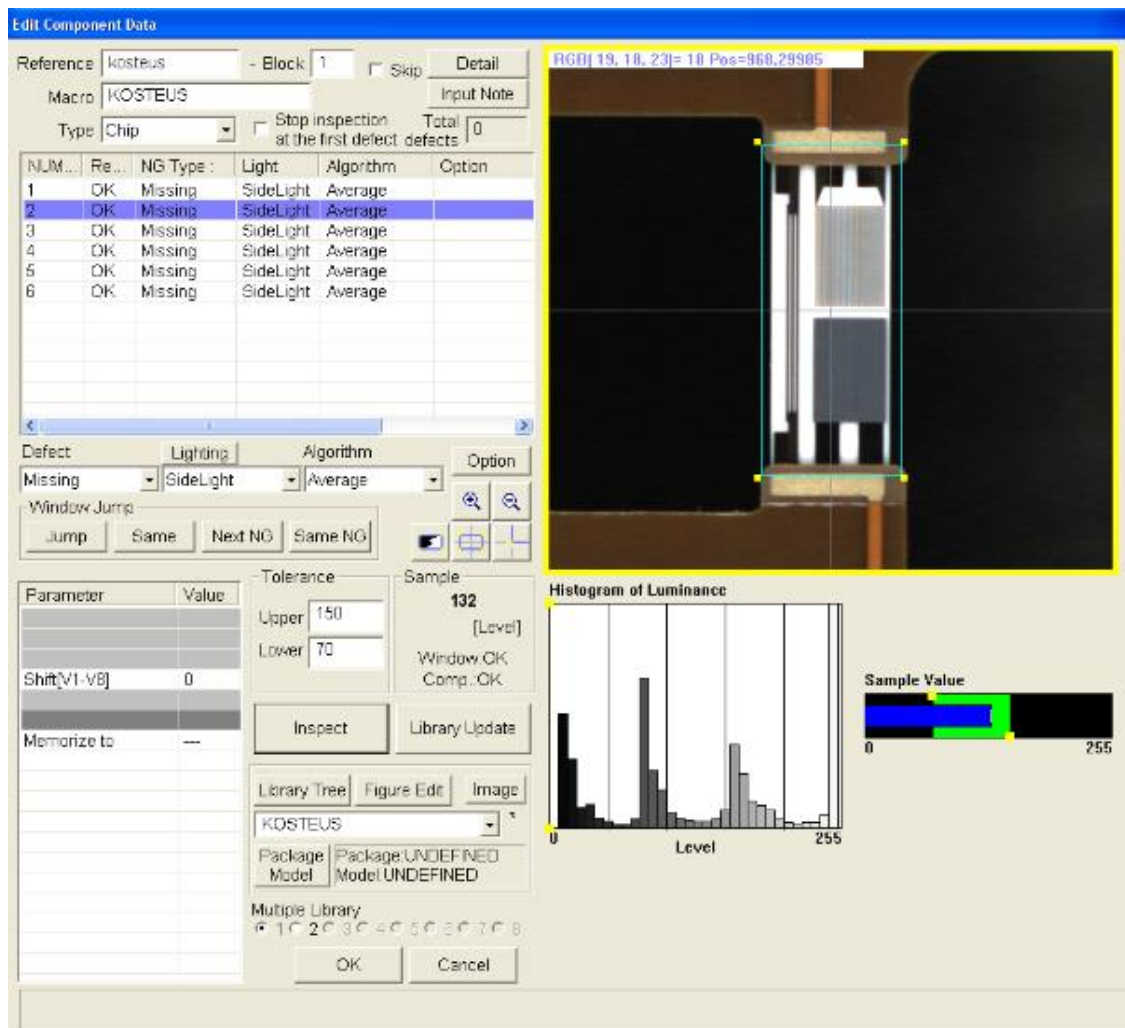
Kuva 12 Levyn mitat ja koordinaatisto

### 5.3 Kuvauksen tavoitteet

Ensimmäisenä tavoitteena automaattisessa optisessa tarkastuksessa oli saada laitteen optiikka havaitsemaan paikaltaan puuttuvia lämpötila- tai kosteusantureita. Tähän tarkoitukseen sopi melko moni laitteen valmiista algoritmista, sillä antureiden puuttuessa kieleltä, tausta on musta ja anturit ovat melko vaaleita. Isot kontrastierot ovat optikalle ja algoritmeille helppo havaita valaistuksesta riippuen

Average-algoritmi (kuva 13) laskee kuvan kirkkauden keskiarvon ja soveltuu kosteus- ja lämpötilanaturin tapauksessa hyvin paikallaolon tunnistukseen. Kosteusanturin luminanssin sävyt ovat melko kirjavia, joten niiden osalta kannattaa raja-arvot asettaa melko laajaksi. Sample-arvo kertoo algoritmin laskeman parametrin oletustason alueelle, jolla

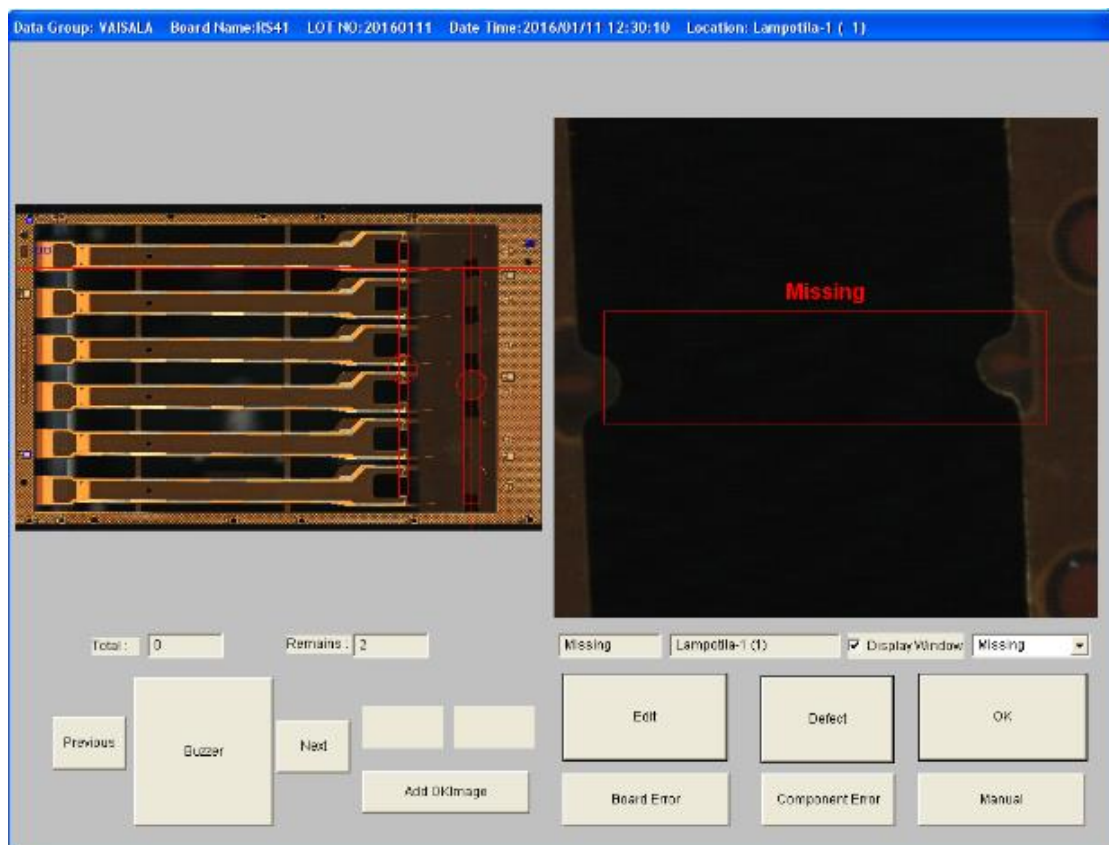
ei ole mitään poikkeamia, average-algoritmin tapauksessa kokonaiskirkkauden tason. Sample-arvoon asetetaan haluttu minimiarvo ja maksimiarvo.



Kuva 13 Average-algoritmi

Mikäli valo ei heijastu takaisin tai heijastuu huonosti, kirkkautta on liian vähän ja anturi todennäköisesti puuttuu kieleltä. Tällöin ohjelma ilmoittaa virheestä anturilevyssä. On myös mahdollista, että kuvassa on liikaa kirkkautta, joten raja-arvo kannattaa asettaa myös siihen suuntaan tarpeeksi suureksi, jotta vältetään virheellisiltä kuvatulkinnolta. Liian kirkkaasta kuvasta tai kosteusanturista ei kuitenkaan löytynyt esimerkitapauksia. Käytössä oli myös testilevy, josta puuttuivat kosteus- ja lämpötila-anturit. Sen avulla pystyi tarkastamaan algoritmien toimintaa puuttuvien anturien osalta käytännössä.

Auto-moodissa laite löysi testilevystä puuttuvat anturit hyvin erilaisilla algoritmeilla ja valaistuksilla. Kuvasta 14 näkyy, mitä käyttäjä voi tehdä laitteen havaitsemalle virheelle. Tarkempaa laitteen toimintaprosessia voi tarkastella kuvasta 7. Tavoite anturien paikallalon tunnistukseen eri testilevyillä onnistui.



Kuva 14 Puuttuvat anturit

Kokonaan puuttuvat kosteus- tai lämpötila-anturit ovat harvinaisia virheitä ja ne ovat myös paljaalla ihmissilmällä havaittavissa. Havaitut virheet olivat kuitenkin tärkeä alku AOI-selvitystyölle, sillä näin varmistuttiin algoritmien ja erilaisten valaistuksien oikeanlaisesta toiminnasta testilevyjen kohdalla. Puuttuvien anturien jälkeen oli tarkoitus tutkia pienempiä virheitä kosteusanturissa. Tarkemmat sondin kielen hylkäyssyyt löytyvät kapaleesta 4.1.

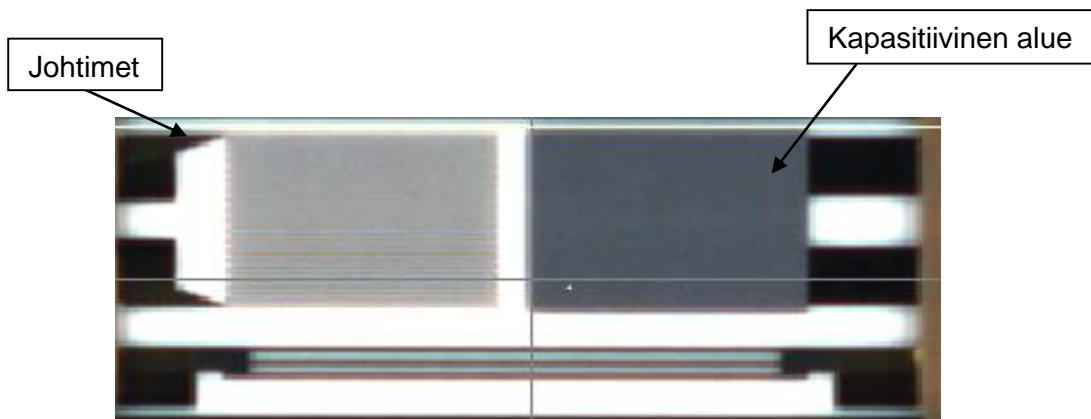
#### 5.4 Kosteusanturin kuvaus

Seuraavana tavoitteena oli tutkia tarkemmin kosteusanturia. Tarkemman kuvauksen ja pienempien virheiden etsimiseen algoritmeilta vaaditaan jo paljon suurempaa tarkkuutta. Pienempien virheiden etsimiseen algoritmeilla rajataan moninkertaisesti pienempi tarkastusalue anturilta, kuin paikallaolon tunnistukseen. Pienemmältä alueelta vaaditaan paljon tarkempaa säätöä sopivan valaistuksen ja algoritmin osalta. Mitä pienemmän alueen

algoritmilla rajaa tarkasteltavalta alueelta, sitä helpommin pienemmätkin virheet aiheuttavat kontrasti-, kirkkaus- tai väri vaihtelua, jonka laite pystyy tulkitsemaan virheeksi. Tällöin myös virheellisten kuva-analyysien mahdollisuus kasvaa, mikäli anturissa on sallittuja väri vaihteluita.

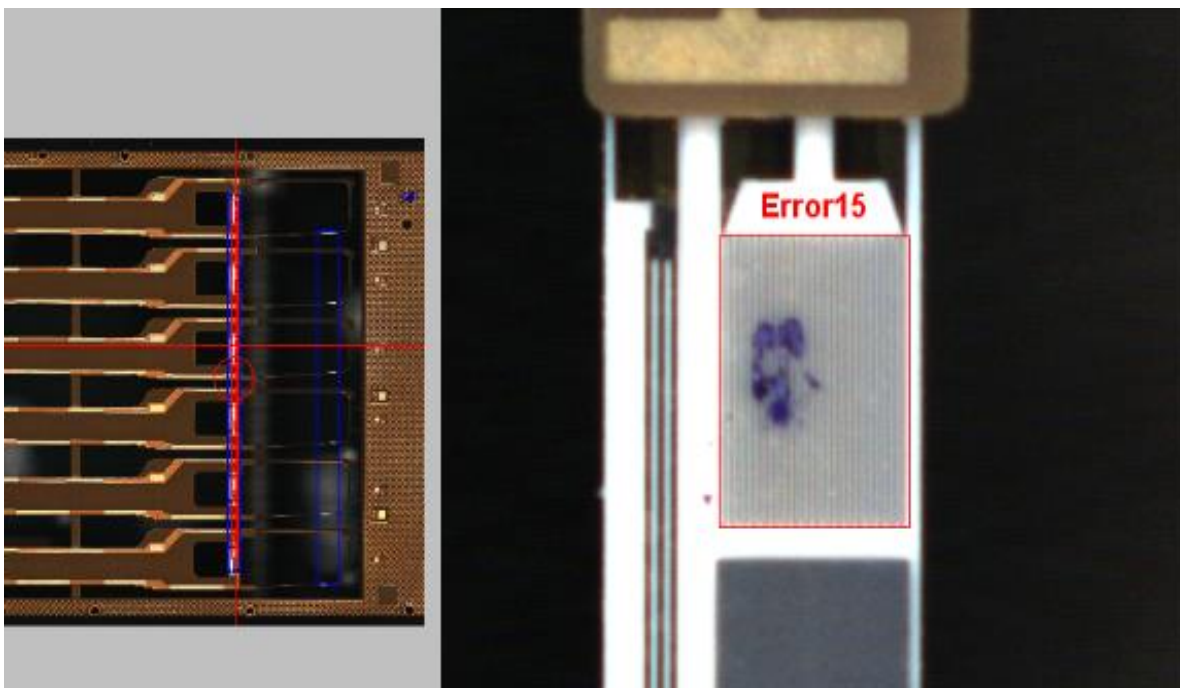
Kosteusanturi (kuva 15) koostuu kapasitiivisesta ja ei-kapasitiivisesta alueesta sekä johtimista. Kaikista osista ei voi tehdä samaa kuva-analyysia, koska anturin kaikki värisävyt ovat liian kirjavia ja erilaisia yhden algoritmit tulkittavaksi. Jokaiselle anturin tarkasteltavalle alueelle on siis tehtävä oma tarkastusalgoritminsa valaistuksineen.

Ensimmäisenä kuvauskohteena oli kapasitiivinen alue, koska se on erityisen herkkä kaikille roskille ja virheille sen pinnassa. Tarkastettava alue on tumma ja siihen tehdyt virheet olivat mustekynällä tehtyjä merkintöjä, joten algoritmiksi valittiin alkuun Black/White, jolla voidaan rajata vain halutut harmaansävyt luminanssin histogrammista (kuva 9). Kapasitiivinen alue on oikealta kooltaan noin 1x1,5 mm.



Kuva 15 Kosteusanturi

Tarkastus aloitettiin asettamalla Black/White-algoritmi jokaisen kielen kapasitiiviselle alueelle. Valaistuksena toimi parhaiten SideLight-valo, jota on käytetty myös kuvassa 15. Sillä erottuvat hyvin johtimet ja molemmat kosteusanturin alueet. Kuvauksessa ilmeni, että myös AreaColor-algoritmi toimii kosteusanturin molemmilla alueilla hyvin, koska se laskee määrätyn värin prosentuaalisen osuuden. Molemmat algoritmit tunnistivat mustekynällä tehdyt merkinnät sekä kapasitiivisella alueella, että ei-kapasitiivisella alueella ja hälyttivät virheestä kosteusanturissa (kuva 16).



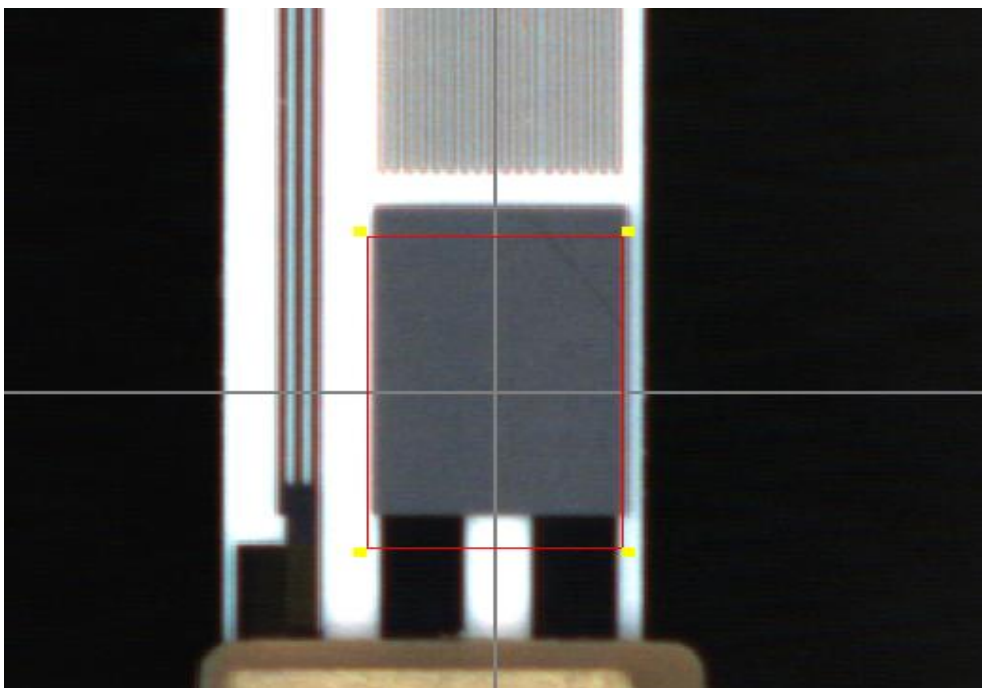
Kuva 16 Virhe kosteusanturissa

## 6 Tulokset ja päätelmät

Testilevyjen vaihtuessa anturien paikallaolon tunnistus toimi jatkuvasti ilman virheitä, mutta kosteusanturien algoritmeissa esiintyi usein virheilmoituksia. Virheilmoitukset tulivat myös virheettömistä, ilman mitään testimerkintöjä olevista antureista. Algoritmien tai valaistuksen vaihdolla ei myöskään ollut merkitystä, lähes jokaisessa testilevyn algoritmossa sallitut parametrit ylittivät raja-arvot ja aiheuttivat täten virheilmoituksen.

### 6.1 Havainnot

Tarkemman kuva-analyysin jälkeen virheiden syy löytyi. Kapasitiiviselle alueelle rajatut algoritmit olivat hieman siirtyneet paikaltaan rajaten myös johtimia ja muuta aluetta anturilta analysoitavaksi (kuva 17). Kun analysoitavan kuvan värikartta muuttuu muiden komponenttien myötä huomattavasti, algoritmista ja valaistuksesta riippumatta parametrit ylittävät helposti raja-arvot tiukkojen toleranssien takia. Pienimmät virheet anturilla eivät muuta kuvan väritasapainoa tai kirkkautta paljon, joten raja-arvojen on oltava lähellä kuvan oletusarvoa eli sample-arvoa, jonka algoritmi laskee virheettömälle tarkastusalueelle.



Kuva 17 Siirtynyt algoritmi

Testilevyt ja siinä olevat sondin anturikielet ovat hyvin joustavia, paksuudeltaan alle 1 mm. Kielet ovat kahdesta kohtaan kiinni toisissaan ja levyn ulkokehikossa, tehden niistä vielä joustavampia kuin levyn ulkokehikko. Tarkemmassa tarkastelussa selvisi, että kosteus- ja lämpötila-anturit eivät ole samalla korkeudella toisiinsa nähden. Kielten anturipää on hyvin ohut ja heikosti tuettu ulkokehikkoon, minkä takia anturit pääsevät hieman heilumaan. Kun anturin korkeus vaihtelee, se siirtyy myös laitteen luomassa koordinaatistossa ja algoritmi tarkentuu väärään paikkaan tai pahimmassa tapauksessa kokonaan ohi.

Ensimmäisessä kuvatussa testilevyssä anturit olivat tietynlaisessa asennossa johon algoritmit tallentuivat koordinaatistossa. Samaa testilevyä ajettaessa läpi uudestaan virheitä ei tule, koska anturit ovat samassa asennossa, ellei levyä heiluta voimakkaasti. Muiden levyjen kielet eivät silmämääräisesti juurikaan eroa korkeudeltaan, mutta alle 1 mm vaihtelu riittää kosteusanturin mittakaavassa kameran optiikalle tarkentamaan algoritmit pois paikoiltaan. Lämpötila-anturit ja muut osat kielestä ovat yhtä joustavia, joten niiden tutkiminen piti tässä vaiheessa myös keskeyttää.

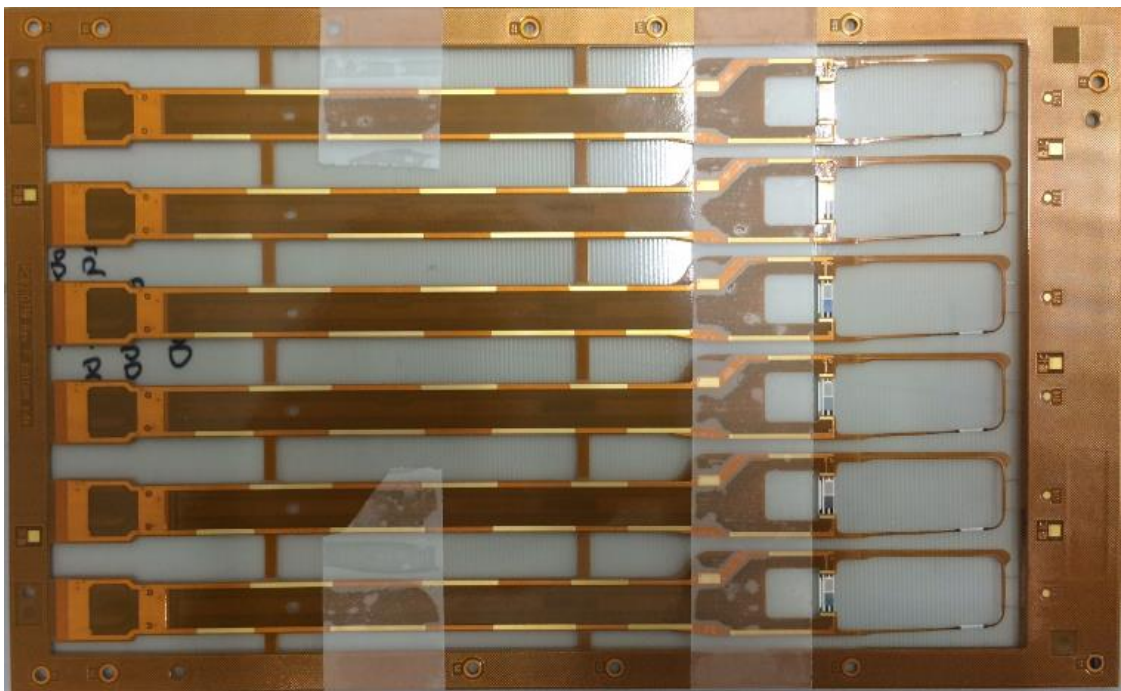
Anturit piti jollain tavalla saada samalle tasolle, jotta algoritmit eivät tarkentuisi niistä ohi. Rajoituksia ei periaatteessa ollut, koska laitteen syöttökiskojen leveyttä voi säätää ja anturilevyn korkeus on myös ohjelmoitavissa erikseen. Anturien erilainen tukeminen tai



asettaminen johonkin muuhun rakenteeseen on haastavaa, sillä kaikki muutokset voivat aiheuttaa ennalta odottamattomia vaikutuksia esimerkiksi ennalta ohjelmoituihin algoritmeihin tai valaistuksiin. Ohjelman säätäminen uudestaan uusille komponenteille vie todella paljon aikaa uusine algoritmeineen ja koordinaatistoineen.

### Ratkaisu 1

Ensimmäisessä ratkaisussa anturilevyt tuetaan samankokoiseen muovilevyyn teipillä kahdesta kohdasta keskeltä (kuva 18). Anturipäätä ei voi teipata, sillä kuva-analyysiin läpinäkyvä teippi aiheuttaa liikaa virhettä laitteen tarkalle optiikalle ja algoritmeille. Muutoksessa ei tarvinnut säätää syöttökiskoja, ainoastaan kuvattavan kohteen korkeutta 1mm. Teippauksesta huolimatta, anturit kielen päädyssä pääsevät joustamaan juuri sen verran, että algoritmit tarkentuvat hieman pois paikoiltaan. Tässä ratkaisussa siis ainoastaan anturien paikallaolon tunnistus saadaan toimimaan.



Kuva 18 Teipattu anturilevy

### Ratkaisu 2

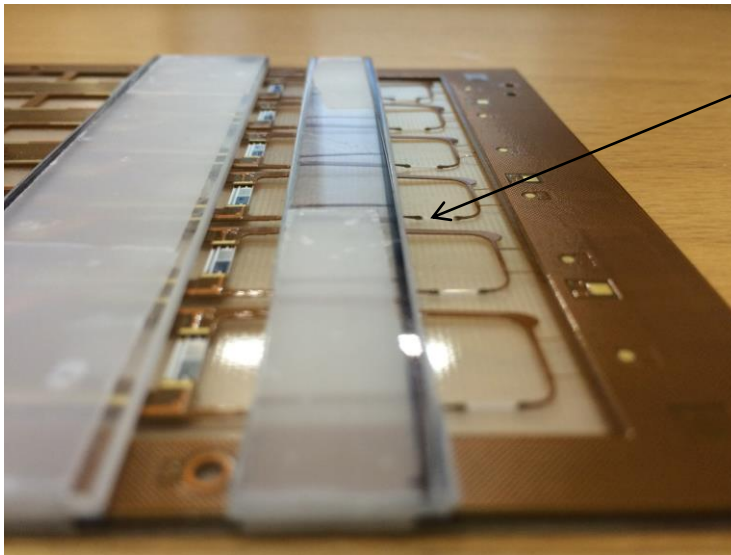
Seuraava ratkaisu oli tukea anturilevy itse rakennettuun jigiiin, joka puristaisi kielet keskeltä ja kosteusanturin sekä lämpötila-anturin välistä tiukasti muovilevyyn. Kielet on pakko tukea myös kosteusanturin yläpuolelta, koska se alue on kielestä kaikkein herkin

ja altis korkeusvaihteluille. Jigi olisi kokonaismitoiltaan samankokoinen, jotta ohjelmaan asetettuja testilevyn mittoja ei tarvitsisi muuttaa paksuutta lukuun ottamatta niin kuin ratkaisussa 1.

Jigi koostui samasta 1 mm paksusta muovilevystä, johon anturilevy tuettiin teipillä ja muovipaloilla, joilla anturit puristetaan tiukasti kiinni muovilevyyn. Lopuksi muovipalat teipataan tiukasti testilevyyn kiinni. Samanlaisia jigeillä tuettuja antureita oli useampi kappaletta, jotta voitaisiin nähdä onko eri anturilevyjen välillä enää joustavuutta ja vaihtelua jäljellä. Ongelmaksi vielä jäi, että jigin peittävien muovilevyjen takia kielten pinnoitusten laatua ja muita roiskeita ei pysty tutkimaan. Jigin kanssa tarkasteltavaksi jäi kielistä kosteus- ja lämpötila-anturit.

Jigi-anturilevy yhdistelmää kuvatessa kosteusanturin algoritmit pysyivät oikeilla paikoillaan pienten korjauksien jälkeen, eikä muutaman anturilevyn välillä esiintynyt vaihtelua. Laajempi otanta kuvaukseen olisi antanut kattavamman tulokinnan kosteusanturin algoritmien suhteen. Myös jigin kanssa oli ongelmia kuvauksessa, sillä muovilevyjen puristuksesta johtuen lämpötila-anturit pullistuivat ulos muovilevystä eri tasoille. Lämpötila-anturit eivät soveltuneet jigin muovilevyjen puristukseen kosteusanturien vaatimalla tavalla (kuva 19). Kielen lämpötila-anturin alue on todella herkkä, eikä se siedä minkäänlaista puristusta pysyäkseen tasaisena. Parhaan kuvaustuloksen saamiseksi koko kielen pitäisi olla täysin tasainen eli tuettuna muovilevyyn koko matkaltaan. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, kun kyseessä on automaattisella optisella järjestelmällä tehtävä kuvaus.

Jigillä tuetulla testilevyllä AOI:lla tehtävä tarkastus olisi tässä tapauksessa hyvin rajallinen, eikä laitteesta saisi täyttä hyötyä irti. Tuloksena tarkastus olisi jokseenkin mahdollista tehdä kosteusanturin virheille, kosteusanturin paikallaolon tunnistukseen ja lämpötilanturin paikallaolon tunnistukseen, sillä se ei vaadi suurta tarkkuutta algoritmeilta. Muut tärkeät tarkastukset eivät ole mahdollisia, kuten kielen pinnoituksen laadun tutkiminen.



Lämpötila-anturit ovat eri tasoilla muovilevyn puristuksesta johtuen

Kuva 19 Jigi

### Ratkaisu 3

Anturilevyn tasaamiseksi voisi myös olla mahdollista hyödyntää ilmanpainetta. Paine-ero pitäisi saada anturilevyä kuljettavien kiskojen ja ympärillä vallitsevan paineen välille. Paine-eron aiheuttama vakuumi voisi pitää anturilevyn tasaisena peittämättä sen kuvattavia pintoja. Myöskään jigien mahdollisesti valaistukselle aiheuttamaa häiriötä ei tarvitse huomioida.

Paineilman integroiminen kuvauslaitteistoon voi olla tässä tapauksessa haasteellista. Laitteen kuljetuskiskojen alle on mahdollista sijoittaa putkisto, jolla imu voidaan saada aikaiseksi. Tässä ratkaisussa kuljetuskiskojen päälle on laitettava pienillä rei'illä varustettu matto tai ritilä, joita vasten anturilevyt painautuvat paineilman vaikutuksesta. Paineilmaratkaisua ei ole kokeiltu käytännössä, joten tästä ratkaisusta ei ole tuloksia ja ehdotukset sekä pohdinta ovat ainoastaan teoriatasolla.

## 6.2 Pohdinta

Tähän tutkimukseen perustuen, ilman minkäänlaista jigiiä tai muuta ratkaisua, täydellistä automaattista optista tarkastusta BF-Planet-XII 2D-tekniikalla anturilevyille ei ole mahdollista tehdä. Ensimmäinen vaihtoehto olisi tukea jokainen anturilevy ratkaisun 2 tyylisellä jigillä, joka kulkisi anturilevyn mukana koko tuotantolinjan läpi. Tämä asettaisi kui-

tenkin suuria haasteita tuotannossa tapahtuvalle muulle automaatiolle, joka pitäisi ohjelmoida uuteen jigiin sopivaksi. Myös jigien määrä nousisi hyvin suureksi tuotantovolyymintakia.

Toinen vaihtoehto on joko automaattisesti tai manuaalisesti tehtävä anturilevyn asettaminen ratkaisun 2 mukaiseen jigiin juuri ennen optista tarkastusta. Kaikki manuaalinen työ asettaa kuitenkin omat haasteensa ja virhemahdollisuudet kasvavat, jos se tuodaan keskelle automaattista tuotantoprosessia. Jigillä tukemisen suurimmaksi ongelmaksi muodostuvat esimerkiksi erilaiset päältä asetettavat muovituet, jotka peittävät osan anturilevystä, eikä täydellistä optista tarkastusta pysty suorittamaan. Myös jigien automaattinen asettaminen antureihin tuo omat haasteensa juuri ennen automaattista optista tarkastusta.

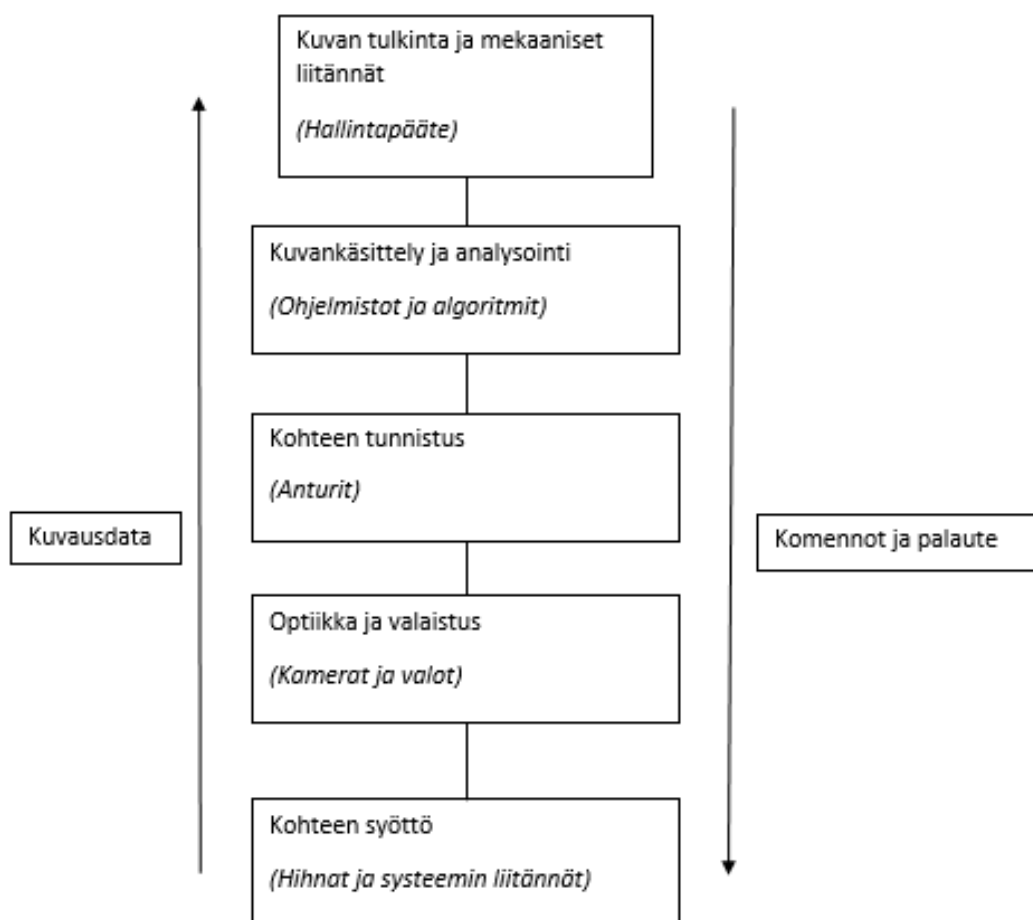
Paineilmaratkaisussa laitteiston ei todennäköisesti tarvitse olla kovin suuri, mutta järjestelmän asentaminen kuvauslaitteistoon voi olla hankalaa, jotta se ei häiritse muuta automaatiota radiosondin valmistusprosessissa. Käytännössä tukiritoilöiden ja paineilmaputkien pitäisi olla täysin integroitu AOI-laitteen kuljetuskiskoille. Edellisestä prosessista tulevat anturilevyt asettautuvat näin automaattisesti AOI-laitteen ritoilöillä tai matoilla varustetuille kuljetuskiskoille, tasaantuvat paineilman vaikutuksesta ja ovat valmiina kuvaukseen.

Konenäön asentamisessa radiosondien tuotantolinjastoon on huomioitava seuraavia asioita:

- vaikuttaako konenäön lisääminen tuotannon nopeuteen
- tarvitseeko tuotteen valmistusprosessia muokata konenäköä varten
- vaatiiko konenäkölaitteisto uusien linjastojen jälkiasennusta
- mikä on konenäkölaitteiston tilantarve
- miten tulevat tuote- tai prosessimuutokset vaikuttavat konenäön hallintaan
- tarvitseeko työntekijöitä kouluttaa

- mikä on konenäkölaitteiston huollon tarve ja voiko sen suorittaa yrityksen oma henkilöstö
- voiko konenäön tuloksia käyttää luotettavasti tilastolliseen prosessinohjaukseen.

Tyypillisessä teollisessa konenäkö- tai AOI-järjestelmässä systeemin komponentit rakentuvat kuvan 20 prosessikaavion mukaisesti. (Intelligent vision systems for industry 2002.)



Kuva 20 Konenäön komponenttien prosessikaavio

### 6.3 Jatkokehitys

Teoriassa jatkotutkimusmahdollisuudet ovat rajalliset, sillä konenäössä hyvä kuva-analyysi edellyttää käytännön kuvaustuloksia ja havaintoja.

#### 6.3.1 3D-AOI

Radiosondin anturilevyjen tuotanto on lähes täysin automatisoitu ja automaattisen tarkastuksen tulisi toimia saumattomasti muun tuotannon kanssa. Anturilevyt ovat osoittautuneet haastavaksi tekijäksi automaattisen optisen tarkastuksen näkökulmasta kosketus- ja taipumisherkkyyden vuoksi.

Vaikka korkeustieto olisi ohjelmoitavissa, ongelmaksi muodostuu anturien pieni korkeusvaihtelu levyssä, mikä ei ole ennakoitavissa. Optiikan ja algoritmin pitäisi siis pystyä tarkentamaan anturiin, vaikka sen korkeus vaihtelisi esimerkiksi 1 – 2 mm etäisyydellä.

SAKilla on valikoimissaan muutamia in-line 3D-tekniikkaan perustuvia laitteita. Valitettavasti yhteydenotto SAKliin ei tuottanut tulosta, eikä näin heidän 3D-laitteistaan saada tarpeeksi tietoa radiosondin antureiden optiseen tarkastukseen. Toinen AOI-laitteita valmistava yritys on Marantz-Electronics, jolta löytyy myös valikoimasta in-line 3D-laite. Marantzin 3D ISO-Spector -laitteesta löytyvät sekä 2D- että 3D-ominaisuudet ja se perustuu korkeutta mittaavaan lasertekniikkaan, joten se kykenee ainakin osittain yhdistämään molempien kuvaustekniikoiden hyvät puolet (Marantz-Electronics 3D-systems 2016).

Lasertekniikalla voidaan kompensoida erilaisia värinöitä, jotka voivat kantautua komponenttiin esimerkiksi muualta valmistusprosessista (Marantz-Elektronics 3D-systems 2016). Tästä voisi olla hyötyä sondin kielien tapauksessa, jos laserilla voisi kompensoida myös antureiden korkeusvaihtelua. Myös Marantzin laitteet ovat tarkoitettu piirilevyjen tarkastukseen ja sondin kielien tulkinnassa monet kalliin laitteen valmiista ominaisuuksista ovat hyödyttömiä eikä laitteen täyttä potentiaalia ja työskentelytarkkuutta saada käytettyä.

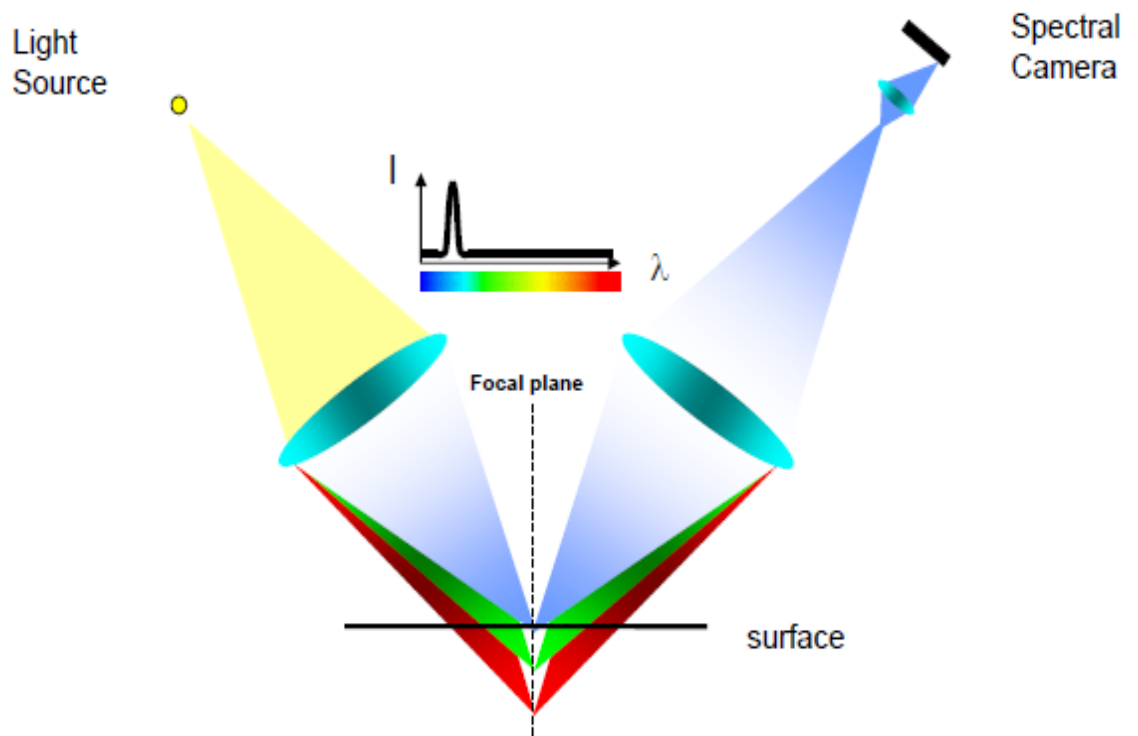
### 6.3.2 FocalSpec

FocalSpec on vuonna 2009 perustettu suomalainen yritys Oulussa, joka valmistaa automaattiseen visuaaliseen tarkastukseen tarkoitettuja konenäkölaitteita. Vaisala on yhdessä FocalSpecin tuotekehityksen kanssa analysoinut radiosondin antureiden optisen tarkastuksen haasteita ja laiteratkaisuksi (kuva 21) nousi LCI-tekniikkaan perustuva 3D-skanneri. Laiteratkaisuun kuuluu myös analyysiohjelma ja jigi sondin kielipaneeleille.



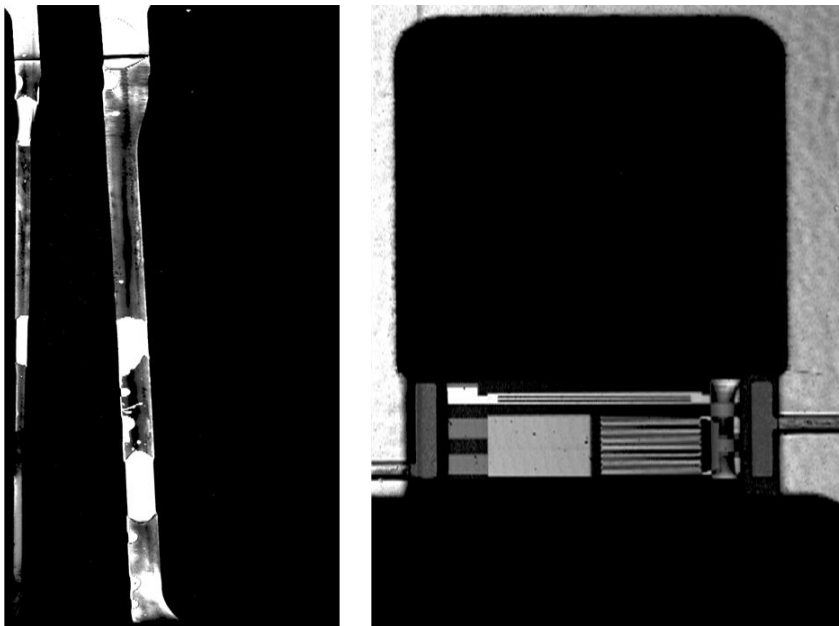
**Kuva 21 FocalSpec 3D LCI (FocalSpec technology 2016)**

LCI (Line Confocal Imaging) on kosketukseton optinen mittaustekniikka ja se on globaalisti patentoitu ratkaisu. LCI-mittausmenetelmässä valo heijastuu pinnalle eri väreinä ja kamera tunnistaa sekä mittaa kaikki heijastuneet valon aallonpituudet (kuva 22). Mittaus-tuloksista järjestelmä muodostaa tarkan pintaprofiilin. LCI-tekniikka pystyy luomaan erittäin tarkan kuvausdatan ja 3D-kuvan metallista, lasista, paperista tai muovisista pinnoista. (FocalSpec technology 2016.)



Kuva 22 LCI mittausperiaate (Vaisala 2016)

FocalSpecin tiloissa suoritettiin myös sondin antureiden testikuvaukset laiteratkaisussa esitetyllä laitteella. Kuvaustuloksista havaittiin kielen lakkauksesta jäävät roiskeet hyvin, mutta aluminointivirheitä ei löytynyt luotettavasti (kuva 22).



Kuva 22 Antureiden kuvaustulokset



Radiosondin antureiden kohdalla suurin haaste AOI- ja konenäkösovelluksissa on kohteen tunnistus ja toiseksi algoritmit. Kun kohteesta saadaan tarkka malli järjestelmään analysoitavaksi, voidaan nykyisillä käytössä olevilla tekniikoilla halutut virheet löytää varsin kohtuullisesti sopivilla algoritmeilla. 3D-skannaukseen perustuvat laitteet voivat olla tuotantokäytössä paljon kalliimpia ja hitaampia verrattuna tavalliseen 2D-tekniikalla varustettuun AOI-systeemiin, sillä yleensä kohteet skannataan useaan kertaan, jotta järjestelmään saadaan tarkka malli algoritmien analysoitavaksi. Jos hintaa ja nopeutta ei huomioida ja jokaisesta anturilevystä saisi erikseen tarkan mallin analysoitavaksi, voisi kyseinen tekniikka tarjota mahdollisen ratkaisun tarkastuksen tekemiseen.

## 7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli ensisijaisesti tutkia, onko SAKIn BF-Planet-XII:llä mahdollista automatisoida radiosondin kielten visuaalinen lopputarkastus. Lisäksi tutkimuskohteina olivat automaattinen optinen tarkastus yleisesti ja muut keinot tarkastuksen automatisointiin lähinnä AOI:ta käyttäen. Työn tulokset osoittivat, että tarkastus nykyisellä 2D-tekniikkaan perustuvalla laitteella on haasteellista ja että tällä laitteella ja tekniikalla automatisointi voidaan toteuttaa vain osittain. Osittaista tarkastusta ei kannata toteuttaa kalliilla laitteistolla, sillä tarkastuksen jälkeen tarvitaan automaattiselle tuotantolinjastolle silti työntekijä tekemään visuaalinen tarkastus.

AOI-laitteistot on tarkoitettu erilaisten piirilevyjen, elektroniikan komponenttien ja niiden juotosten tarkastuksiin. Erilaisilla säädöillä ja muutoksilla SAKIn laitteella voi tarkastaa myös muuta, mutta eteen voi tulla ongelmia, kun valmiita algoritmeja pitää soveltaa haluttuihin tarkastusmenetelmiin ja kohteisiin. Myös tiiviimpi yhteistyö SAKIn edustajien kanssa olisi ollut toivottavaa, sillä heiltä ei saanut kuin vähän tarkennusta liittyen laitteen ohjelmiston käyttöön ja ajureihin eri käyttöjärjestelmiin.

Suurin osa työhön käytetystä ajasta meni laitteen ohjelmiston ja algoritmien opettelemiseen sekä käyttö- ja ohjelmointioppaan lukemiseen. Tarkastuksissa meni myös paljon aikaa eri algoritmien kokeilemiseen ja säätöön ennen kuin mitään järkeviä tuloksia pystyi analysoimaan. Laitteen ohjelmisto on hankalahko ja vaikeakäyttöinen, vaikka apuna olisi molemmat oppaat. AOI:sta ei löytynyt yhtään hyödyllistä tietoa suomeksi ja englanniksi-kin melko niukasti sellaista, jota olisi voinut hyödyntää tässä työssä. Myöskään koulun

puolelta ei löytynyt minkäänlaista aiheeseen liittyvää kurssia tai tietoa. Aihetta voisi nostaa myös korkeakouluissa esille, sillä kausivaihtelun ja tuotantovolyymien kasvaessa yrityksissä, automatisointi on nousemassa yhä tärkeämpään asemaan.

Työtä tehdessä heräsi paljon kysymyksiä liittyen AOI-tekniikan nykyiseen potentiaaliin ja sen mahdolliseen käyttöön Vaisalassa tai Suomen teollisuudessa. Mikäli tuote soveltuu automaattiseen optiseen tarkastukseen ja henkilökunta on koulutettu käyttämään laitteistoa, tämän työn perusteella AOI:lla on hyvät lähtökohdat visuaalisen tarkastuksen automatisointiin.

## Lähteet

FocalSpec technology 2016. Verkkodokumentti. <http://www.focalspec.com/technology/>. Luettu 20.4.2016

Ilmatieteenlaitos 2016. Verkkodokumentti. <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc/Sondi>. Luettu 7.3.2016.

Intelligent Vision Systems for industry 2002. Verkkodokumentti. <http://www.eeng.dcu.ie/~whelanp/ivsi/IVSI.pdf>. Luettu 29.3.2016

Käyttöohje. SAKI BF-Planet-XII User manual

Marantz-Electronics 2016. Verkkodokumentti. <http://marantz-electronics.com/3d-inline-aoi-systems/> Luettu 14.3.2016.

Ohjelmointi-opas. SAKI BF-Planet-XII Programming manual.

PCB inspection techniques & technologies 2016. Verkkodokumentti. [http://www.radio-electronics.com/info/t\\_and\\_m/ate/electronics-pcb-inspection.php](http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/ate/electronics-pcb-inspection.php). Luettu 26.2.2016.

Realizing the expectations of AOI 2016. Verkkodokumentti. <http://marantz-electronics.com/technical-articles/Realizing%20the%20Expectations%20of%20AOI%20%28No%201%29.pdf> Luettu 24.2.2016.

SAKI Corporation 2016. Verkkodokumentti. <http://www.saki-corp.com/en/ceomessage-en>. Luettu 24.2.2016

SAKI 3D-Technology 2016. Verkkodokumentti. <http://www.sakicorp.com/en/3d-aoi-technology-en/>. Luettu 24.2.2016

The industry requirement for 2D and 3D inspection technology in a single AOI platform 2016. Verkkodokumentti. <https://www.smtnet.com/library/files/upload/Industry-Requirement-for-2D-3D-AOI-Inspection-Technology-1.pdf>. Luettu 10.2.1016.

Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning 2008. Verkkodokumentti. <https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/201130/2/>. Luettu 29.3.2016

Vaisala 2016. Verkkodokumentti. Vaisala\_visit.pdf. Luettu 14.4.2016

Vaisala Corporate 2015. Verkkodokumentti. <http://www.vaisala.fi/fi/corporate/Pages/default.aspx>. Luettu 25.11.2015.

Vaisala RS41 2016. Verkkodokumentti. <http://go.vaisala.com/gen4/>. Luettu 25.11.2015

What is AOI 2016. Verkkodokumentti. [http://www.radio-electronics.com/info/t\\_and\\_m/ate/aoi-automatic-automated-optical-inspection.php](http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/ate/aoi-automatic-automated-optical-inspection.php) Luettu 1.2.2016.