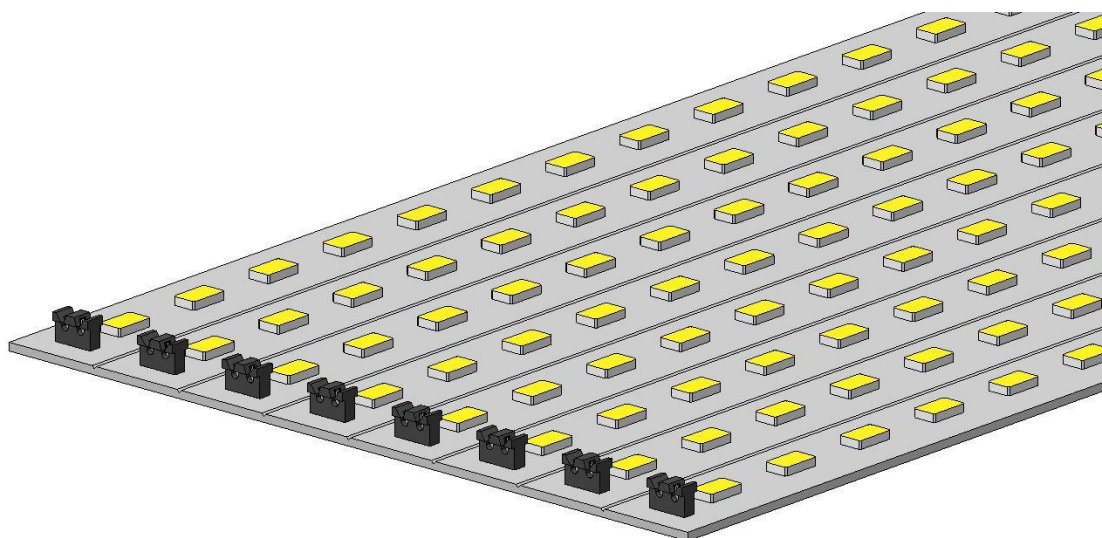


Kalle Kärkkäinen

Selvitys led-valojen tuoteperheen testauksen tehostamistoimenpiteistä



Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Kevät 2020



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä(t): Kärkkäinen Kalle

Työn nimi: Selvitys led -valojen tuoteperheen testauksen tehostamistoimenpiteistä.

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikka

Asiasanat: Selvitystyö, elektroniikkateollisuus, tietokoneavusteinen suunnittelu, 3D-tulostus

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Elektroval Oy. Työssä käsiteltävä tuote on erään led- loisteputkivalmistajan tuote, joihin yritys valmistaa pintaladottuja led-piirilevyjä.

Opinnäytetyö käsittelee Led-tuoteperheen testaustoimenpiteiden tehostamisen suunnittelua. Tuotteet testataan tällä hetkellä manuaalisesti ja niiden toimivuus tarkastetaan silmämääräisesti SMT operaattorin toimesta. Työn tarkoituksena oli tutkia erilaisia tehostamistoimenpiteitä led-tuoteperheen testausvaiheeseen. Opinnäytetyössä käydään läpi elektroniikkateollisuuden käyttämiä testaus- ja tarkastusmenetelmiä sekä tuotantotestausta yleisesti.

Laitteen mekaniikan suunnittelussa käytettiin SolidWorks-ohjelmistoa. Mekaniikan suunnittelussa käytettiin hyväksi systemaattisen koneensuunnittelun metodeja, kuten toleranssianalyysiä ja vaatimuslistaa. Suunnittelun tuloksena saatiin kriteerien mukainen testauslaitteen prototyyppi, joka on helppokäyttöinen ja edullinen valmistaa. Testauslaitteesta tehtiin valmistuskuvat, joiden perusteella valmistettiin prototyyppi laitteesta.

Abstract

Author(s): Kärkkäinen Kalle

Title of the Publication: Survey on Measures to Enhance the Testing Procedure of the LED Product Family

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: survey, electronics industry, computer assisted design, 3D printing

This thesis was commissioned by Elektroval Oy. The product covered in this work is a product of a LED Fluorescent Tube manufacturer, for which the company manufactures surface-stacked LED circuit boards.

The thesis deals with the planning of streamlined testing procedures of the LED product family. The products are currently being tested manually and their functionality is visually inspected by the operator. The purpose of the work was to study various efficiency measures for the testing phase of the LED product family. The thesis reviews the testing and inspection methods used by the electronics industry, as well as production testing in general.

The Solidworks software was used to design the mechanics of the device. Methods of systematic machine design, such as tolerance analysis and requirements list were used in the design of the mechanics. The design resulted in a prototype test device that meets the criteria and is easy to use and inexpensive to manufacture. Production drawings of the test device were made, based on which a prototype of the device was manufactured.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Toimeksiantaja ja työn lähtökohdat.....	2
	Työn tausta ja tavoite	3
3	Pintaliitosprosessi	4
	3.1 Pastanpaino	5
	3.2 SPI-tarkastus	6
	3.3 Komponenttien ladonta.....	7
	3.4 Reflow-prosessi.....	8
4	Elektroniikan tarkastus- ja testausmenetelmät.....	11
	4.1 AOI-tarkastus	11
	4.2 Röntgentarkastus	12
	4.3 Elektroniikan testausmenetelmät.....	13
	4.3.1 In Circuit Testing	13
	4.3.2 Flying probe- tarkastus	15
5	Testausmenetelmän suunnittelu ja valmistus	16
	5.1 Tuotantosolun mallintaminen.....	17
	5.2 Tuotekehityksen työvaiheet	18
	5.3 Testausmenetelmien vertailu ja ratkaisumahdollisuuksien suunnittelu.....	19
	5.4 Testilaitteen suunnittelu ja valmistus	22
	5.5 Toleranssianalyysi	24
	5.6 Valmistus ja parannusehdotukset.....	26
6	Yhteenveto.....	27
	Lähteet	28

Liitteet

Liite 1 Tekninen tietolomake, Testineulan holkki Feinmetall H100LA/7,6

Liite 2 Tekninen tietolomake, Testineula Feinmetall F10006B150G200.

Symboliluettelo

AOI	Automated Optical Inspection, piirikorttien optinen tarkastus
CAD	Computer-Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
ESD	Electrostatic Discharge, sähköstaattinen purkaus
ICT	In circuit Testing, elektroniikan sähköinen testaus
LED	Light Emitting Diode, puolijohdediodi
PCB	Printed Circuit board, pintaladottu piirilevy
SMT	Surface Mount Technology, pintaliitosprosessi
SPI	Solder Paste Inspection, optinen juotospastan tarkistus
SMD	Surface mount diode, pintaliitosdiodi

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on Led-tuoteperheen testauksen tehostaminen. Led- valojen testaaminen hoidetaan tällä hetkellä siten, että työntekijä syöttää tarvittavan jännitteen piirilevyille käsin testauslaitteella ja tarkistaa, toimivatko kaikki Led-valot piirilevyllä silmämääräisesti.

Virta syötetään jännitelähteen kautta testauskynään, jolla työntekijä käy läpi kaikki piirilevyaihi-
ossa olevat tuotteet. Testauksen jälkeen piirilevyt leikataan levyleikkurilla valmiiksi tuotteiksi.

Yrityksen muissa led-tuotesarjoissa tapahtuu melko usein muutoksia ja tuotteet vaihtuvat, jolloin testauksen tehostamisen hyödyt jäävät melko pieniksi. Testausmenetelmä tulisi suunnitella niin, että sitä voitaisiin hyödyntää jokaisessa tuotesarjan variaatiossa, jolloin testauslaitteiston suunnittelu olisi hyvin monimutkaista. Työssä käsiteltävä tuotesarja on kuitenkin pysynyt samanlaisena pitkään, joten testauksen tehostamiseen kannattaa tämän tuotesarjan osalta panostaa.

2 Toimeksiantaja ja työn lähtökohdat

Elektroval Oy on suomalainen vuonna 2014 omaksi yhtiökseen PLANRAY OY:stä jakautunut perheyritys. Elektroval Oy on tämän opinnäytetyön toimeksiantaja.

Yritys valmistaa sopimusvalmistuksella elektroniikkaa pieniä ja keskisuuria sarjoja. Yrityksen palveluihin kuuluu myös pakkaus, testaus ja loppukokoonpano. Yrityksen toiminta on ISO9001:2015-sertifioitua.

ESD-tiloissa sijaitsevat tuotantotilat sisältävät koneellisen pintaliitosladonnan, läpivientiladonnan, Reflow-pintaliitosuunin sekä aaltojuotoksen (kuva 1). Tarvittaessa yritys testaa ja suorittaa tuotteiden loppukokoonpanon. Tuotteita valmistetaan led-valoteollisuuteen, metsäteollisuuteen, kemianteollisuuteen, konepajateollisuuteen ja ajoneuvoteollisuuteen.



Kuva 1. Elektroval Oy:n Smd-tuotantolinja

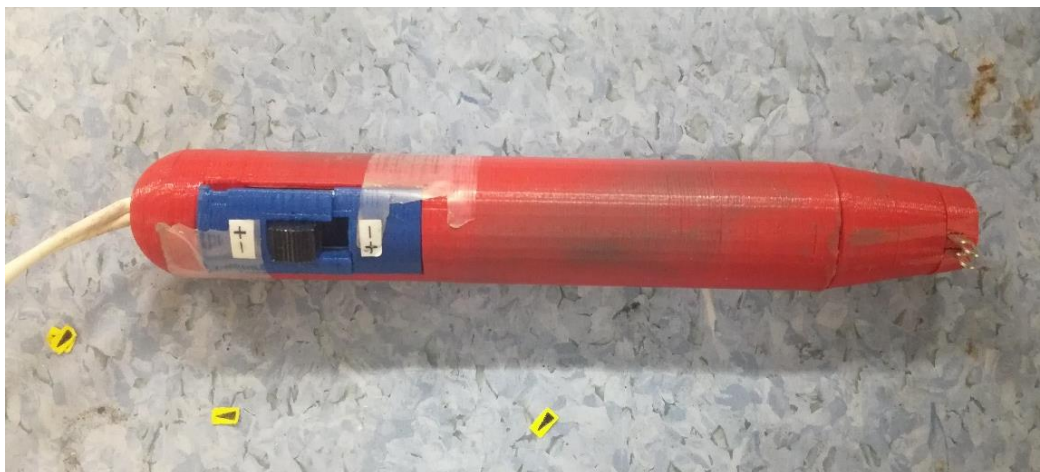
Yritys voi asiakkaan halutessa suorittaa materiaalin hankinnan piirilevyistä ja elektroniikan komponenteista mekaniikkaan asti. Vaihtoehtoisesti voidaan myös koota asiakkaan haluama tuote heille toimitetuista komponenteista [1.]

2.1 Työn tausta ja tavoite

Selvitystyön kohteena on led-tuoteperhe, joiden valmistusvaiheisiin yrityksessä kuuluu pintaladonta, juottaminen Reflow-uunissa, tuotteiden testaaminen ja pakkaus. Piirilevyaihiot tulevat valmiina aihioina yritykseen, ja niihin liitetään halutut komponentit ladontakoneella.

Led-valot ladotaan piirikorttiaihiioihin, ja ne leikataan myöhemmin testausvaiheen jälkeen valmiiksi tuotteiksi.

Selvitystyö kohdistuu näiden tuotteiden testausvaiheeseen, jossa tuotteiden toimivuus todetaan työntekijän toimesta. Kortille syötetään jännite testauskynällä, joka on valmistettu tätä prosessia varten. Kynästä voidaan vaihtaa sen napaisuus kytkimestä, ja se sisältää vastuksen, jolla rajoitetaan piirikortille syötettävää virtaa (kuva 2).

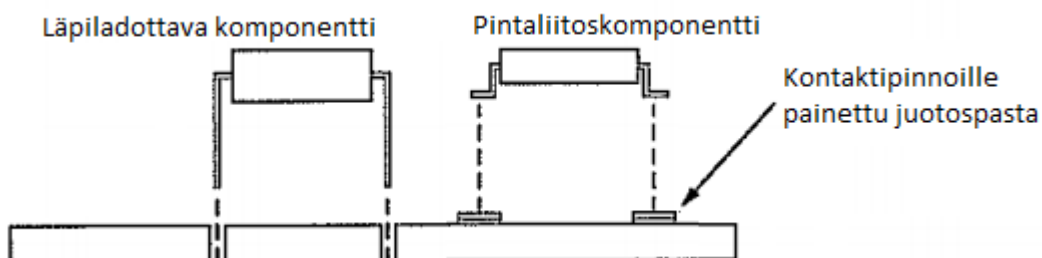


Kuva 2. Vanha led-valojen testaukseen valmistettu testilaite

Toimeksiannon tavoitteena on etsiä sopivat keinot tehostamaan testausprosessia ja suunnitella laitteisto tai prototyyppi, jolla saavutetaan nopeampi testausaika ja samalla varmistutaan tuotteiden toimivuudesta.

3 Pintaliitosprosessi

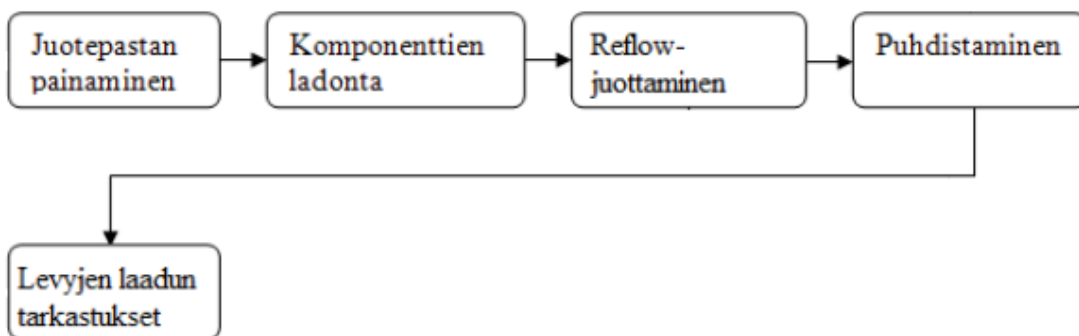
Pintaliitostekniikka on elektronisen kokoonpanon osa-alue, jota käytetään elektronisten komponenttien asentamisessa piirilevyn pintaan. Pintaliitostekniikka kehitettiin vähentämään valmistuskustannuksia ja myös käyttämään piirilevyn tilaa tehokkaammin (kuva 3).



Kuva 3. Pintaliitoskomponentin ja läpiladottavan komponentin erot [4]

Pintaliitostekniikan yleistymisen seurauksena on nyt mahdollista rakentaa erittäin monimutkaisia elektronisia piirejä pienempiin ja pienempiin kokoonpanoihin, joilla on hyvä toistettavuus korkean automaatiotason takia. [2.]

Pintaliitosprosessi voidaan kuvata pääpiirteittäin viidellä eri vaiheella, ja ne ovat Juotepastan painaminen, komponenttien ladonta, Reflow-juottaminen, puhdistus ja levyjen tarkastaminen. (kuva 4).



Kuva 4. Pintaliitosprosessin kaaviokuva [4.]

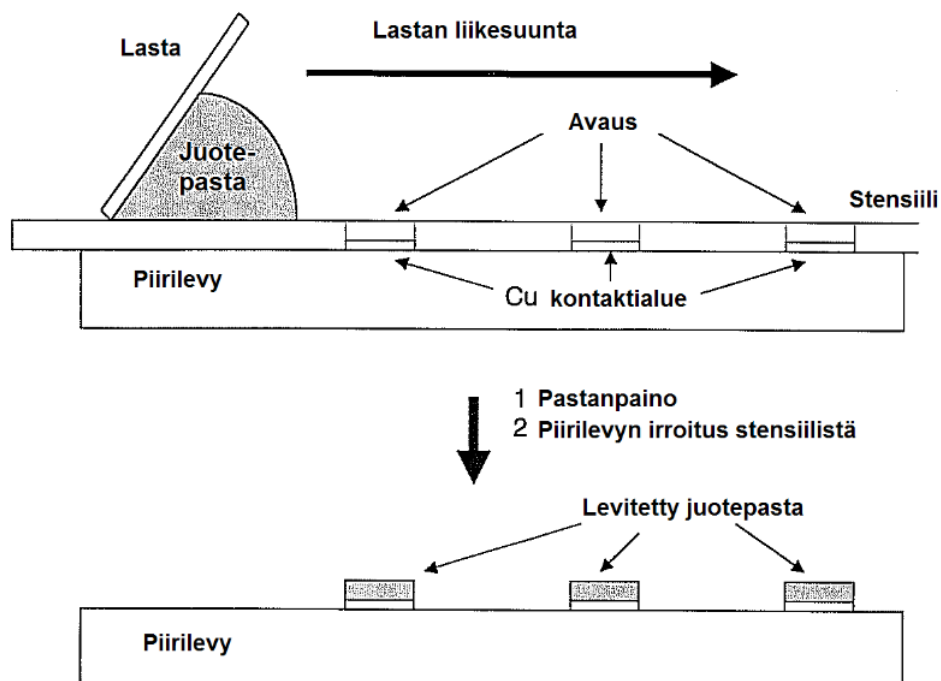
Koska Reflow-juottamista käytetään vain pintaliitettäville eli SMD-komponenteille, kutsutaan automaattista Reflow-juotokseen perustuvaa linjastoa usein SMD- tai SMT-linjastoksi. Tyhjät piirilevyt asetetaan linjaston toiseen päähän kuljettimelle, joka siirtää ne jonossa laitteelta toiselle. Linjaston toiseen päähän saapuvat valmiit piirilevyt, joihin komponentit on juotettu kiinni. [4]

Pintaliitostekniikalla saavutetaan useita etuja verrattaessa sitä läpiladontatekniikkaan. Näitä etuja ovat muun muassa valmiin piirilevyn suurempi komponenttitiheys sekä pienempi paino, tilavuus ja valmistuskustannukset. Nämä edut saavutetaan pintaliitostekniikassa käytettävien pintaliitoskomponenttien ansiosta, jotka ovat vastaavia läpiliitoskomponentteja huomattavasti kevyempiä ja pienempiä. [6, s. 1.]

3.1 Pastanpaino

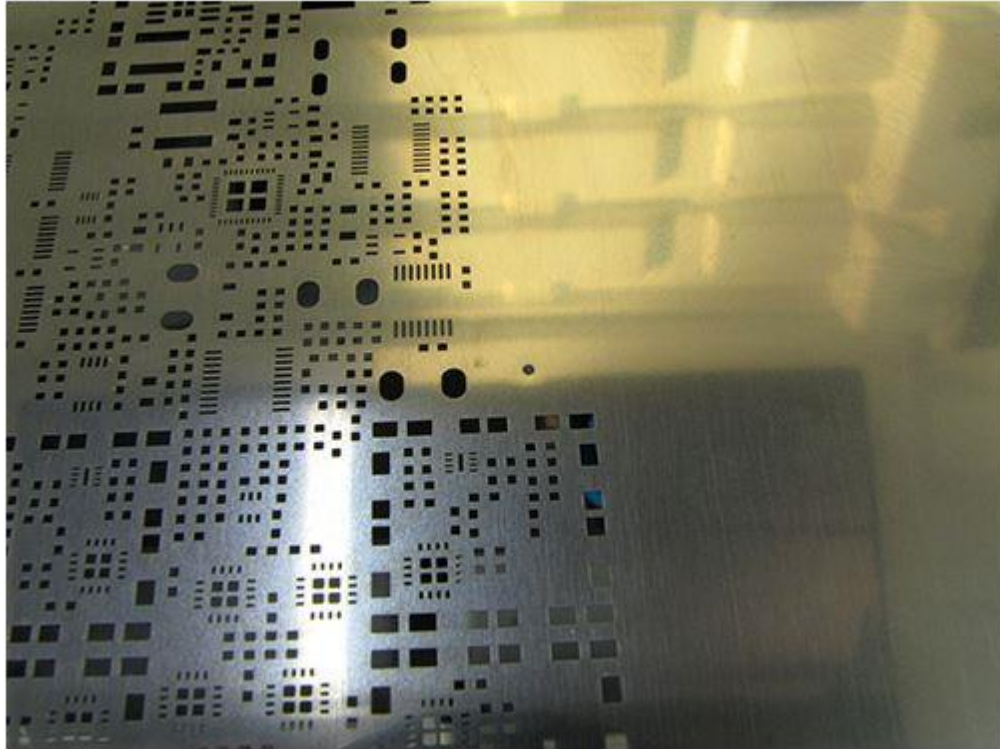
Yksi tärkeimmistä vaiheista pintaliitosprosessissa on juotospastan painaminen piirilevylle (kuva 5). Tämän prosessin tarkoituksena on sijoittaa oikea määrä juotospastaa komponenttien johdinpintaan. Juotospasta toimii myös ikään kuin liimana, jotta SMD-komponentti pysyy ladonnan jälkeen kiinni piirilevyllä ennen juottamista.

Yleisesti uskotaan, että tämä prosessi väärin kontrolloituna on syyllinen suurimpaan osaan piirilevyissä tapahtuvista kokoonpanovirheistä. [2.]



Kuva 5. Pastanpanoprosessi [4, s. 18.]

Juotospasta painetaan piirilevylle stensiilin läpi, joka on yleensä valmistettu ruostumattomasta teräksestä, jonka paksuus on 100-120 μm (kuva 6). Stensiilin tarkka kohdistaminen piirilevyn johdepinnoille tapahtuu konenäön avulla. Stensiilissä ja piirilevyssä onkin tätä varten yleensä noin 1,0 mm kokoinen pieni pyöreä täplä. [3.]



Kuva 6. Esimerkkikuva stensiilistä [3]

Juotospasta koostuu pienistä tinapalloista, jotka on sekoitettu juoksutteeseen. Juoksute pitää tinapallot yhdessä ja toimii väliaikaisena liimana, joka pitää ladotun komponentin paikoillaan ennen piirikortin uuniin menemistä. Juotospastan määrä ja oikeanlainen levitys tarkistetaan yrityksessä visuaalisesti työntekijän toimesta ja kuitataan ennen ladontakoneeseen menoa.

3.2 SPI-tarkastus

Juotospastan tarkistukseen SPI (Solder Paste Inspection) on olemassa menetelmiä jo pastanpainokoneessa itsessään, ja on myös olemassa valmiita laitteistoja, jotka voidaan liittää osaksi tuotantolinjaa. Koska juotospastan paino on yksi kriittisimmistä vaiheista SMT- prosessissa, niin SPI-menetelmät ovat yleistyneet varsinkin suurissa tuotantolaitoksissa.

SPI-tarkastus tapahtuu optisesti, eli tarkasteltavasta piirilevystä otetaan kameroiden avulla kuvia, joita analysoimalla pystytään havaitsemaan piirilevyllä olevat viat. [6, s. 15.]

Komponenttien ollessa yhä pienempiä ja monimutkaisempia juotospastaan painamisen tarkkuus tulee yhä kriittisemmäksi vaiheeksi SMT-tuotannossa. Tämän takia on hyvä tarkistaa jokainen piirikortti pastanpainon jälkeen ennen pintaladontaa, koska myöhemmin havaitut virheet tulevat aina vain kalliimmaksi, mitä pidemmälle prosessissa mennään. Yleisesti ottaen vika, joka havaitaan juottamisen jälkeen maksaa kymmenen kertaa enemmän kuin vika, mikä havaitaan ennen juottoa. [2.]

SPI-tarkastusta ei lähdetty tässä työssä käsittelemään sen laajemmin, koska laitteistoja ei ole yrityksessä ja SPI-tarkastus tehdään yleensä paljon pienemmille piirilevyille. Ongelmaksi tässä tarkastustavassa muodostuukin piirilevyn pituus, koska laitteistolla kuvataan yleensä hyvin paljon pienempiä piirilevyjä, joissa kuvattavat kontaktialueet ovat myös hyvin pieniä. Kuvattavat levyt ovat pisimmillään 1500 mm pitkiä, ja hyvin harvat laitteistot pystyvät kuvaamaan tämän kokoisia kortteja.

Led-tuoteperheen kontaktialueet ovat kuitenkin sen verran suuria, että tarkastus voidaan tehdä visuaalisesti työntekijän toimesta ja tämä on myös kaikista kustannustehokkain menetelmä.

3.3 Komponenttien ladonta

Ladontavaiheessa komponentit asetetaan levyille siten, että niiden kontaktialueet painetaan aiemmin levitettyyn tahmeaan juotospastaan. Juotepasta toimii väliaikaisena liimana ja pitää komponentit kiinni levyssä juottamisvaiheeseen saakka.

Markkinoilla on saatavana monia erityyppisiä ladontakoneita. Ladontakoneen tarkoitus on asettaa tarvittavat komponentit mahdollisimman tarkasti ja tehokkaasti piirilevyille. Ladontakoneita on olemassa nopeaan ladontaan ja tarkkaan ladontaan räätälöityjä. Ladontakoneen valitseminen prosessiin sopivaksi voikin osoittautua hankalaksi, jotta koneesta saadaan mahdollisimman paljon hyötyä tuotantoon.

Koneet, jotka on suunniteltu vain asetusnopeutta silmällä pitäen, asettavat jopa 100 000 komponenttia tunnissa. [2.]

Yrityksessä on käytössä Fuzion-ladontakone, jonka on valmistanut Universal Instruments (kuva 7). Koneeseen asennetaan komponenttirullat, joita voi olla koneessa yhtäaikaaisesti monelle eri tuotesarjalle.

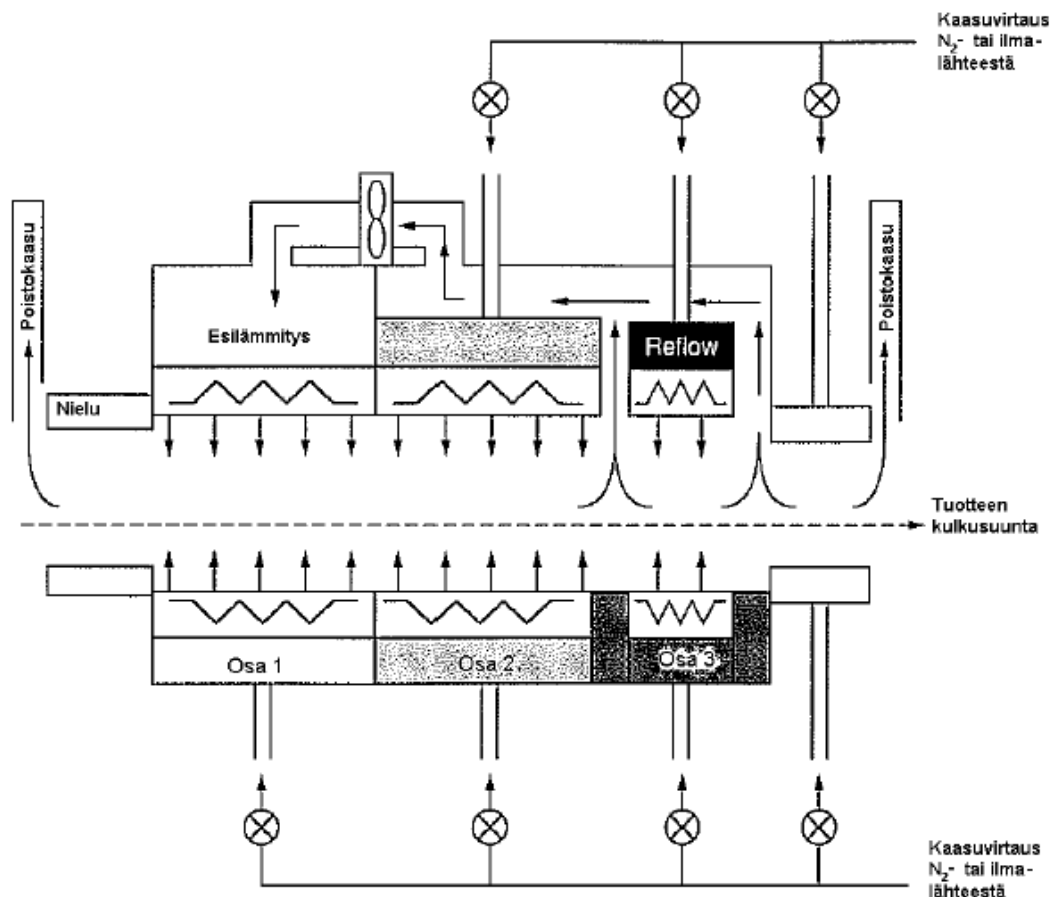


Kuva 7. Fuzion ladontakone, jonka laitevalmistaja on Universal Instruments [7]

3.4 Reflow-prosessi

Reflow-juottaminen on laajimmin käytetty komponenttien juottamistapa PCB tuotannossa. Prosessin tarkoitus on muodostaa juotos komponentin ja piirilevyn kontaktipinnan välille. [2.]

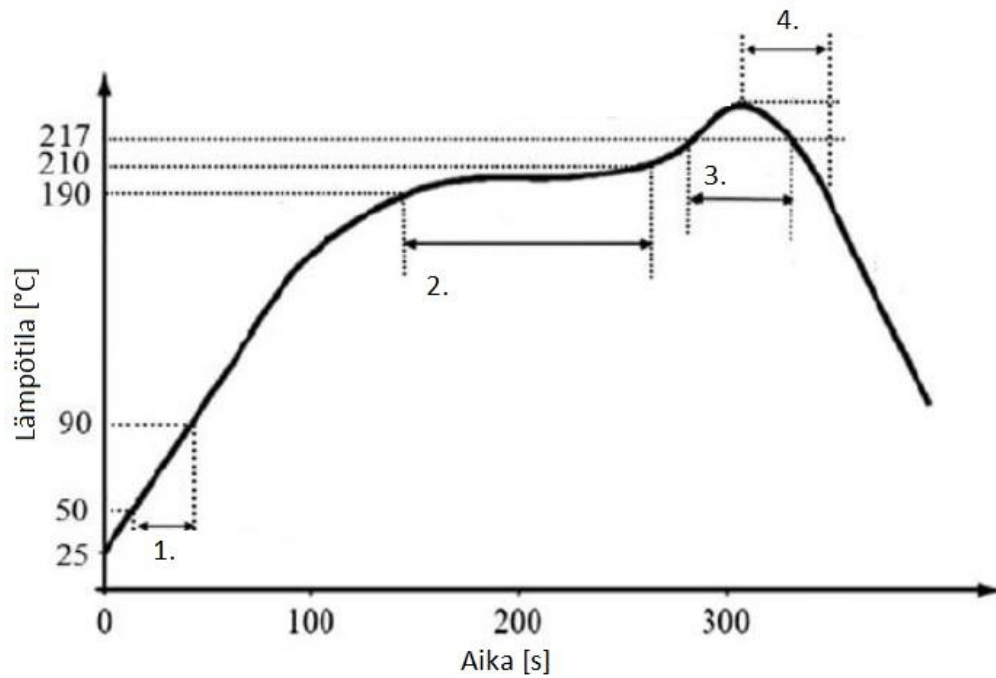
Juotostapoja on olemassa kahta erilaista: kuumakaasujuottaminen ja höyryfaasijuottaminen. Kuumakaasujuottaminen suoritetaan pitkässä uunissa, joka on jaettu toisistaan erotettuihin osastoihin, joissa vallitsee erilainen lämpötila (kuva 8).



Kuva 8. Reflow-uunin toimintaperiaate [4]

Komponenttilevy kulkee uunin läpi kuljettimen mukana vakionopeudella. Uunin osastojen lämpötilojen ja kulkunopeuden perusteella komponenttilevyn lämpötila muuttuu ajan mukaan. Levyn kokema lämpötila ajan suhteen kutsutaan Reflow-profiiliksi. [4.]

Profiili koostuu neljästä osasta, joista ensimmäinen on esilämmitys lämpötilaan, jossa juotepastan sisältämä juoksute aktivoituu kemiallisesti ja alkaa puhdistaa kontaktimetallien pintoja epäpuhtauksista ja muodostuvasta oksidikerroksesta. Toisessa vaiheessa tätä lämpötilaa kohotetaan hitaasti siten, että juoksute jatkaa toimintaansa puhdistuksessa ja lämpötila ehtii jakautua levyille tasaisesti (kuva 9). [4.]



Kuva 9. Tyypillinen Reflow-lämpötilaprofiili [8]

Kolmas vaihe eli Reflow-vaihe suoritetaan nopeasti, jotta komponentit eivät vaurioituisi. Reflow vaiheen jälkeen viimeisessä vaiheessa lämpötilaa lasketaan sopivalla nopeudella, jolloin sula juote siirtyy kiinteään olomuotoon.

Reflow profiilin eri vaiheiden lämpötilojen muutosnopeuksilla on suuri vaikutus erilaisten virheiden syntymiseen ja juotelitoksen metallin raekokoon, joka puolestaan vaikuttaa liitoksen luotettavuuteen. Tämän vuoksi lämpötilamuutoksen nopeuteen tulee kiinnittää huomiota profiilia suunniteltaessa. [4.]

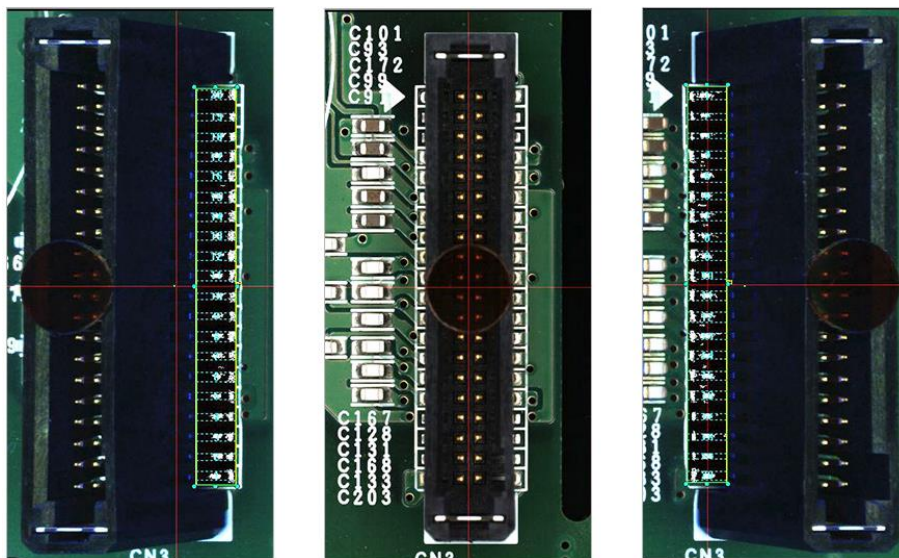
4 Elektroniikan tarkastus- ja testausmenetelmät

Piirilevyjen odotetaan toimivan suunnitteluparametriensä mukaisesti ilman virheitä tai vikoja. Monissa elektroniikan sovelluksissa tuotteen toiminta on erittäin kriittistä, joten piirilevyjen on toimittava moitteettomasti. [9.]

Kun piirilevyt olivat yksinkertaisia ja sisälsivät vain muutamia komponentteja, niin työntekijän manuaalinen tarkastus oli riittävä takaamaan tuotteen laadun. Tällä menetelmällä on kuitenkin omat haittansa, koska ihminen ei välttämättä pysty havaitsemaan kaikkia virheitä. Tarkastajat väsyvät tai tylsistyvät toistuviin liikkeisiin ja virheitä ei välttämättä havaita ajoissa. Tämä johtaa kalliisiin korjauksiin tuotannon myöhemmissä vaiheissa virheellisten tuotteiden korjaamiseksi. [9.]

4.1 AOI-tarkastus

AOI on piirilevyjen konenäköön perustuva visuaalinen tarkastustapa. AOI-järjestelmässä yksi tai useampi valokuva- tai videokamera skannaa kortin (kuva 10). Taulu valaistaan useista valolähteistä eri kulmista, ja kone ottaa kuvia, jotta se voi rakentaa kuvan levyistä. Sitten järjestelmä vertailee kaapattuja kuvia sen kanssa, miltä kortin tulisi näyttää. [9.]



Kuva 10. AOI -laitteet ottama valokuva liittimestä eri kuvakulmista [10]

AOI-järjestelmät pystyvät löytämään piirilevyistä löytyviä epätasaisuuksia, naarmuja, tahroja, mitavirheitä ja avoimia virtapiirejä. Niiden avulla voidaan myös havaita puuttuvia, viallisia ja vinossa

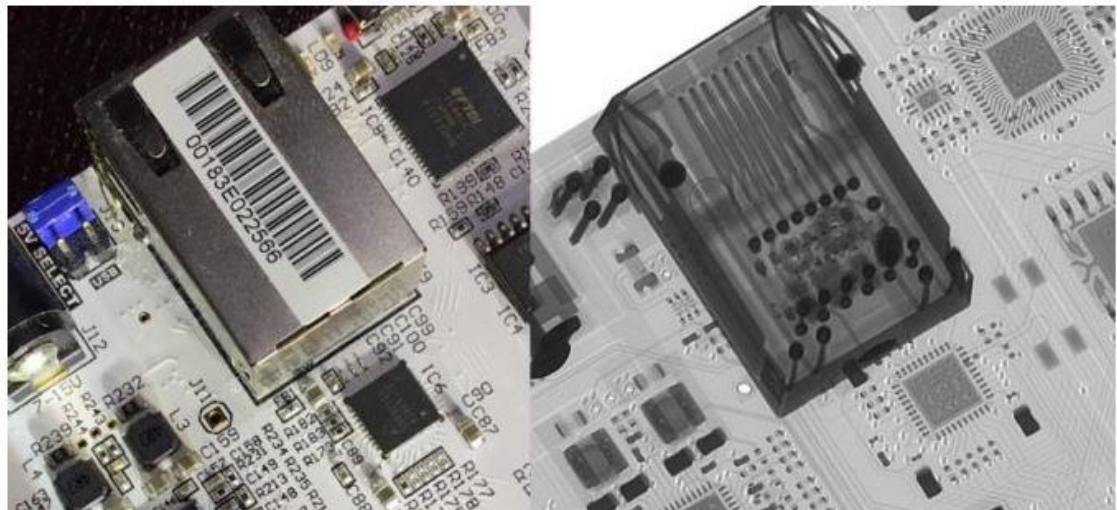
olevia komponentteja. Laitteet pystyvät havaitsemaan piirikorttien virheet paljon pienemmässä ajassa ja tarkemmin kuin ihminen. [9.]

AOI-tarkastus on laajasti käytetty ja toimivaksi todettu ratkaisu elektroniikan alalla sen nopeuden ja tarkkuuden ansiosta. AOI-tarkastuksella pystytään havaitsemaan kaikki yleisimmät pintaliitosprosessissa tapahtuvat virheet. Sen haittapuoleksi voidaan kuitenkin lukea rajoitettu näköalue, koska sen avulla voidaan tarkastella vain tietynkokoisia piirilevyjä ja piilossa olevat liitokset jäävät tarkistamatta.

4.2 Röntgentarkastus

Nykyaikainen pintaliitostekniikka on mahdollistanut komponenttien kokojen pienentyä radikaalisti. Piirikorttien komponentit ovat hyvinkin tiheään sijoitettu ja ovat niin pieniä, että AOI -tarkastus ei ole enää näille korteille mahdollista. Pienien komponenttien liitostyypit myös aiheuttavat sen, että visuaalista tarkastusta ei voida käyttää.

Toisin kuin näkyvä valo röntgensäde läpäisee kappaleen ja muodostaa siitä kuvan kappaleen toiselle puolelle. Näin pystytään näkemään piilossa olevia liitoksia ja tarkastelemaan hyvinkin pieniä komponentteja (kuva 11) [9.].



Kuva 11. Röntgenkuva komponentista, jonka avulla nähdään piilossa olevat liitokset [17]

Röntgentarkastuksen etuna on se, että sillä pystytään näkemään piirilevyn sisäiset liitokset ja niiden eheys, sekä hyvin pienten liitosten ja komponenttien tarkastelu on mahdollista. Röntgenlaitteistot ovat kuitenkin erittäin kallis sijoitus suurellekin elektroniikan valmistajalle, joten laitteiston

hankkimisessa on vain järkeä, jos tuotteiden komponenttitiheys ylittää AOI-tarkastuksen kyvyt tarkistaa tuotteet tai jos pintaliitoksen tyyppi on sellainen, jota AOI-tarkastus ei voi havaita. Esimerkiksi BGA-liitos (pallohilamatriisi).

4.3 Elektroniikan testausmenetelmät

Piirikorttien testauksen tarkoitus on kuormittaa tuotetta ja simuloida oikeata tuotteen toimintaa. Testissä tutkitaan levyjen sähköisiä ominaisuuksia, jotta ne vastaavat valmiin tuotteen toimintaa. Ulkoisesti ehjässä piirilevyssä saattaa olla toimimattomia komponentteja tai visuaalisissa tarkastuksissa havaitsematta jääneitä vikoja.

Elektroniikan testaukseen käytetään monia erilaisia menetelmiä, mutta seuraavassa luvussa käsitellään niistä yleisimmin käytössä olevat.

4.3.1 In Circuit Testing

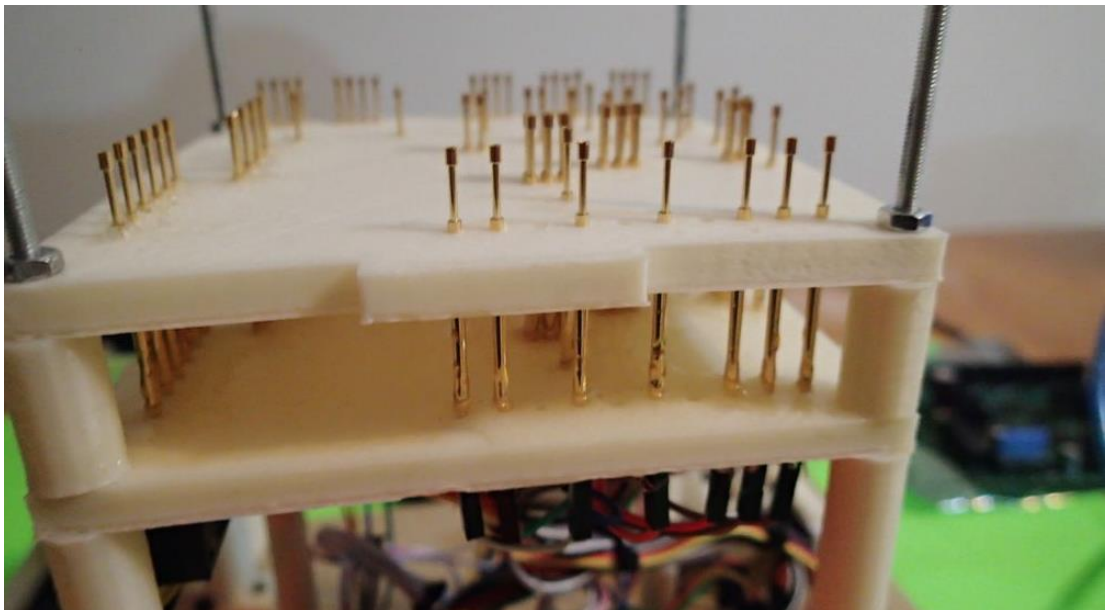
In Circuit testing (ICT, neulapetitestausta) on testausmenetelmä, jossa mitataan ja testataan eri komponenttien toimintaa piirilevyllä. Komponentteihin luodaan testineulojen avulla sähköinen yhteys, jonka avulla päästään syöttämään eri komponenteille haluttua dataa tai jännitettä (kuva 12). Näin pystytään tarkastelemaan eri komponenttien toimivuutta ilman että tuotteeseen tarvitsee syöttää käyttöjännitettä. ICT-menetelmällä ei testatakaan koko tuotteen toimintaa vaan yksittäisten komponenttien toimintaa. [11.]

Neulapetitestausta on hyvin yleinen menetelmä lähinnä edullisuutensa vuoksi. Haittapuolena voidaan mainita, että eri tuotteille tarvitaan aina uusi neulapeti ja tämä aiheuttaa nousevia kustannuksia testauslaitteen suunnittelussa. Verrattaessa kuitenkin muihin testausmenetelmiin on neulapetitestausta huomattavasti edullisempi ja nopeampi tapa testata tuotteet, ja sen takia se onkin yleisesti käytössä. Hyvin yleisesti tämän tyyppin testauslaitteet toimivat lihasvoimin, mutta myös automatisoituja testauslaitteita on valmistettu.



Kuva 12. Esimerkkikuva neulapedistä, jolla testataan piirikorttia [12]

Myös 3D-tulostusta on hyödynnetty neulapetien suunnittelussa, ja tämä valmistusmenetelmä onkin yleistynyt harrastajien ja elektroniikkateollisuudenkin keskuudessa. 3D-tulostimien tulostustarkkuus on parantunut ja sen myötä pystytään tulostamaan tarpeeksi mittatarkkoja testauslaitteistoja, jotka ovat myös mekaanisesti riittävän kestäviä. (kuva 13).



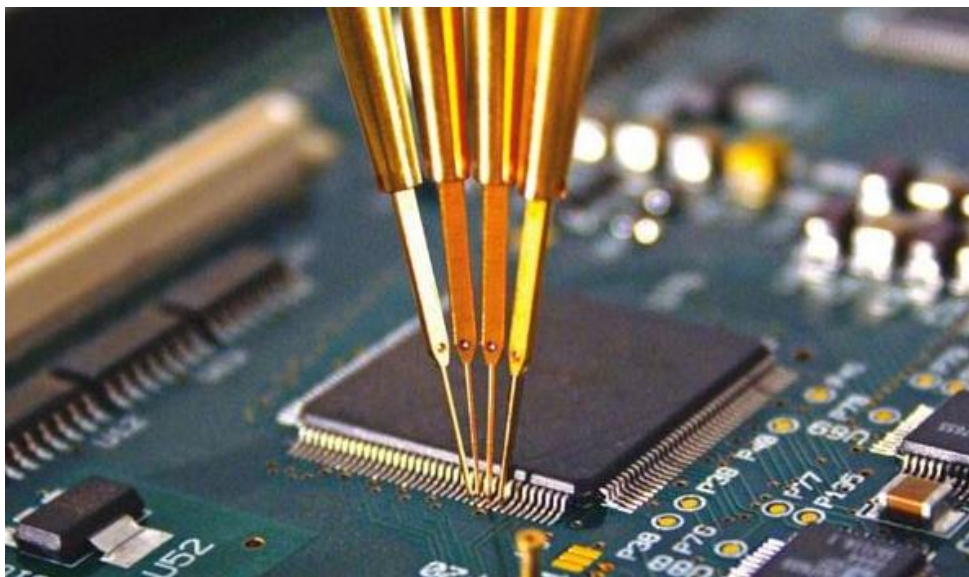
Kuva 13. 3D-tulostamalla valmistettu neulapeti piirikortin testaamista varten [13]

Varsinkin tuotesarjojen muuttuessa usein 3D-tulostamisella voidaan saavuttaa etuja perinteisiin valmistustapoihin nähden. Uusi testauslaite on nopea suunnitella ja valmistaa eikä vaadi kovin suuria investointeja yritykselle.

4.3.2 Flying probe-tarkastus

Flying probe -testissä komponenttilevyllä ei välttämättä vaadita kaikkien pisteiden tarkastamista varten omaa testijuotospistettä. Testijuotospisteet ovat nykyaikaisessa tiukkaan pakatussa elektroniikassa ongelmallisia, sillä niille ei usein ole tilaa levyn pinnalla. Flying probe -laitteessa on useita mielellään mahdollisimman vapaasti liikuteltavia antureita, jotka vievät tehdyn ohjelman mukaan tietyille kohdille, suoritetaan mittaus boundary scan -menetelmän mukaisesti, ja siirrytään seuraavalle mitattavalle kohdalle. [4.]

Anturin kärkiä varten levyllä ei välttämättä tarvitse olla tarkastusjuotepisteitä, vaan kärjet voidaan ohjata koskettamaan komponentin juotealustaa tai jopa komponentin jalkaa (kuva 14). Ohjelmassa on määritelty, mitä komponenttia tai toimintoa antureilla testataan ja missä järjestyksessä tämä kannattaa suorittaa, jotta testaaminen olisi mahdollisimman nopeaa. Piikkimattotestien nopeustasoon "Flying probe" -testillä ei päästä, mutta menetelmä sopii vapaan ja nopean ohjelmoitavuutensa ansiosta hyvin pienten erien ja prototyypisarjojen sähköisten ominaisuuksien tarkastukseen. [4.]



Kuva 14. Flying probe -testausprosessi [18]

5 Testausmenetelmän suunnittelu ja valmistus

Testausyksikön suunnittelu aloitettiin alkutilanteen kartoittamisella ja nykyiseen testausmenetelmään tutustumisella. Kaikkien tuotteiden sähköinen testaus suoritetaan tuotannon loppupäässä, josta ne testauksen jälkeen leikataan, pakataan ja viedään lähetettäväksi asiakkaalle. Testauspiste sijaitsee piirilevynostimen kohdalla (kuva 15). Piirikorttiaihiot tulevat uunista kuljettimelle, josta piirikorttiaihiot nostetaan nostimen avulla toiselle puolelle tuotantosolua. Tämän jälkeen ne testataan ja kuljetetaan levyleikkurille leikattavaksi omiksi tuotteikseen.

Työn tarkoituksena on etsiä keinoja tuotteiden testaamisvaiheen tehostamiseen. Tällaiselle piirikorttityypille ei ole tehty aikaisemmin automatisoituja testausratkaisuja tai neulapetitestausten kaltaisia testereitä.

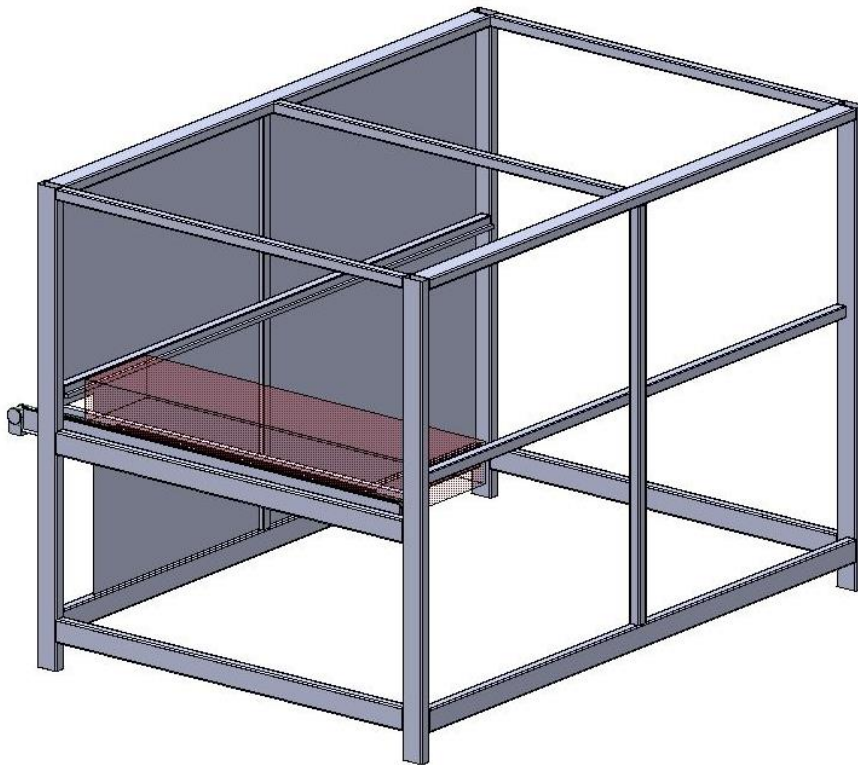


Kuva 15. Piirikorttien nostolaite ja testauspiste

5.1 Tuotantosolun mallintaminen

Suunnittelu päätettiin aloittaa piirtämällä tilamalli tuotantosolusta ja piirilevykuljettimesta, jolla piirilevyt kuljetetaan leikkurille (kuva 16). Mallin avulla pystytään arvioimaan erilaisten testausratkaisujen tilantarvetta ja niiden toimivuutta tuotannossa.

Soluun mallinnettiin myös piirikorttikuljetin, joka on kiinnitettyinä levyleikkuriin. Tämäkin aiheutti hieman haasteita suunnitteluun, koska ei voida olettaa, että kuljetin pysyy samassa pisteessä tuotantosoluun nähden. Mallista jätettiin käytännön syistä pois työlle tarpeettomat asiat, kuten levyleikkuri, piirilevyjen välivarastointi ja reflow-uunin puoleinen piirilevykuljetin.



Kuva 16. Piirilevynosturin tilamalli ja piirikorttikuljetin

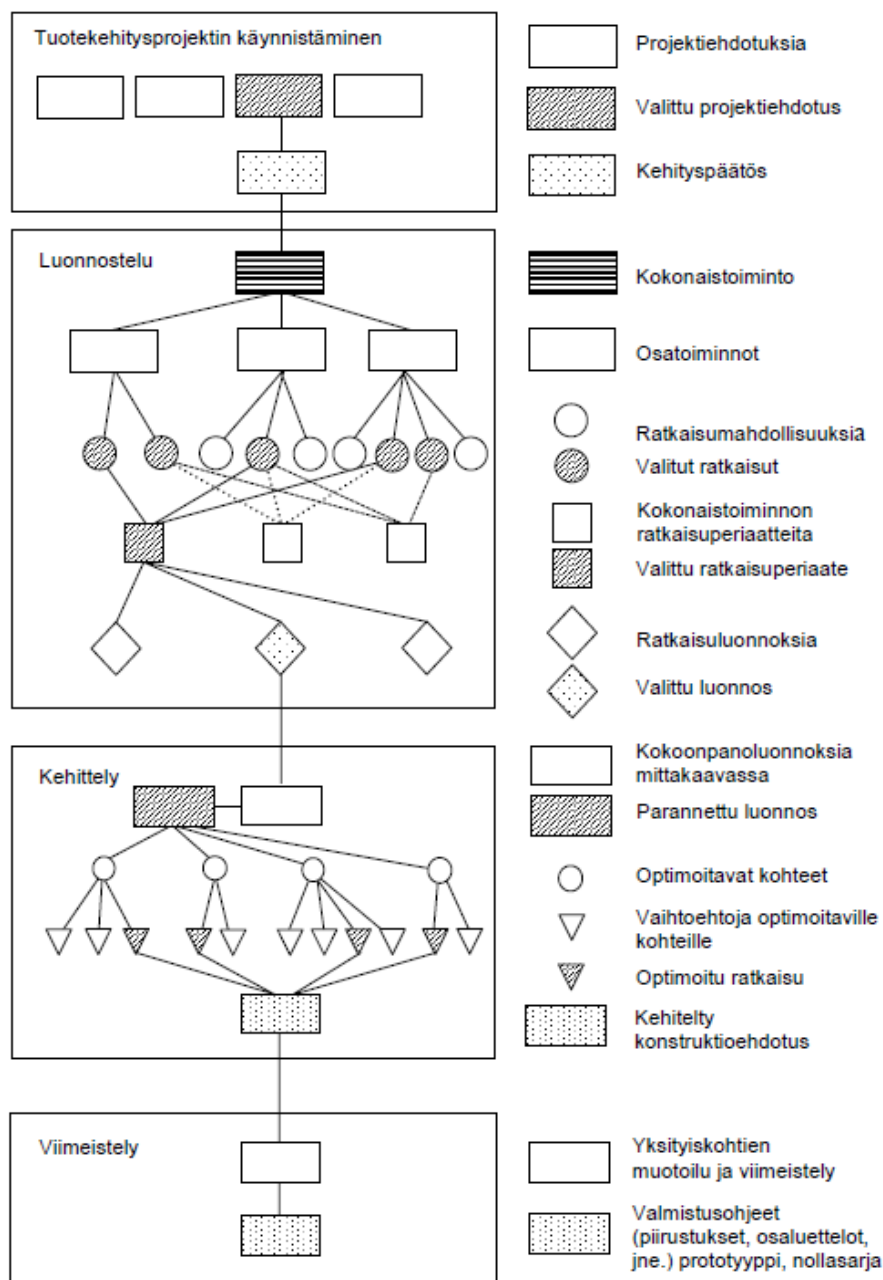
Kriittisimmäksi suunnitteluun vaikuttavaksi asiaksi ilmeni piirikortinostimen tilantarve. Nostin tarvitsee toimiakseen kohtuullisen suuren tilan, ja tämä rajoitti testausmenetelmän suunnittelua melko paljon ja sulki pois muutamia testausvaihtoehtoja.

Työn alkuvaiheessa lähdettiin liikkeelle siitä, että led-valojen testaus suoritettaisiin samassa paikassa, mutta etsittäisiin tehokkaampi tapa suorittaa tarkastus piirikorteille.

5.2 Tuotekehityksen työvaiheet

Tuotekehityksellä ymmärretään toimintaa, jonka tavoitteena on kehittää uusi tai parannettu tuote. Tuotekehityksessä pyritään täyttämään asetetut tavoitteet niin hyvin kuin on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista ja tarkoituksenmukaista [15].

Tuotekehityshanke voidaan jakaa neljään toimintavaiheeseen: projektin käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely (kuva 17).



Kuva 17. Tuotekehitysohjelman toimintavaiheet [15]

5.3 Testausmenetelmien vertailu ja ratkaisumahdollisuuksien suunnittelu

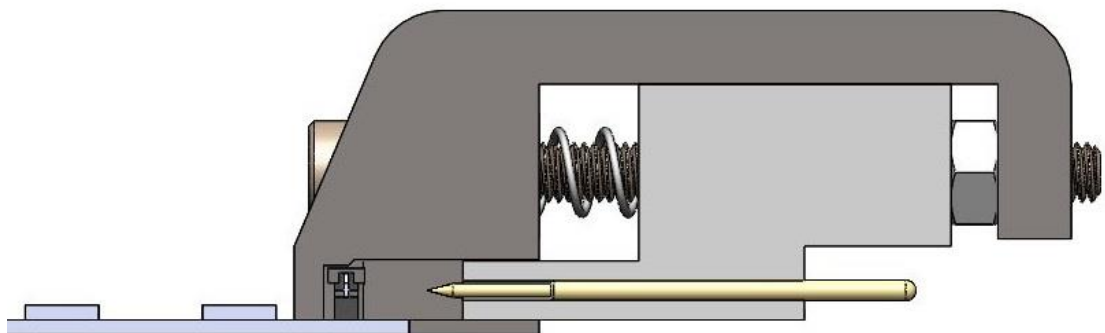
Suunnittelussa pyrittiin käymään läpi mahdollisimman monta eri toteutustapaa tuotteen testaamiselle ja valitsemaan niistä toimivin vaihtoehto toimeksiantajan kanssa. Opinnäytetyössä suunniteltavan testerin kriteereinä oli edullinen valmistustapa ja muunneltavuus jatkossa mahdollisimman pienin kustannuksin.

Testauslaitteen tulisi kyetä syöttämään jännite kaikille tuotteille samanaikaisesti, jotta testausprosessia saataisiin nopeutettua. Työntekijän on myös helposti pystyttävä toteamaan led-valojen toimivuus laitetta käytettäessä ja se ei saa olla näköesteenä led-valojen tiellä.

Flying probe-testaus ja optinen tarkastusmenetelmä karsittiin melko nopeasti pois niiden hinnan takia. Lisäksi monet AOI-laitteistot eivät pysty tarkastamaan näin pitkiä piirikortteja eivätkä välttämättä ole varusteltavissakaan näin pitkille tuotteille.

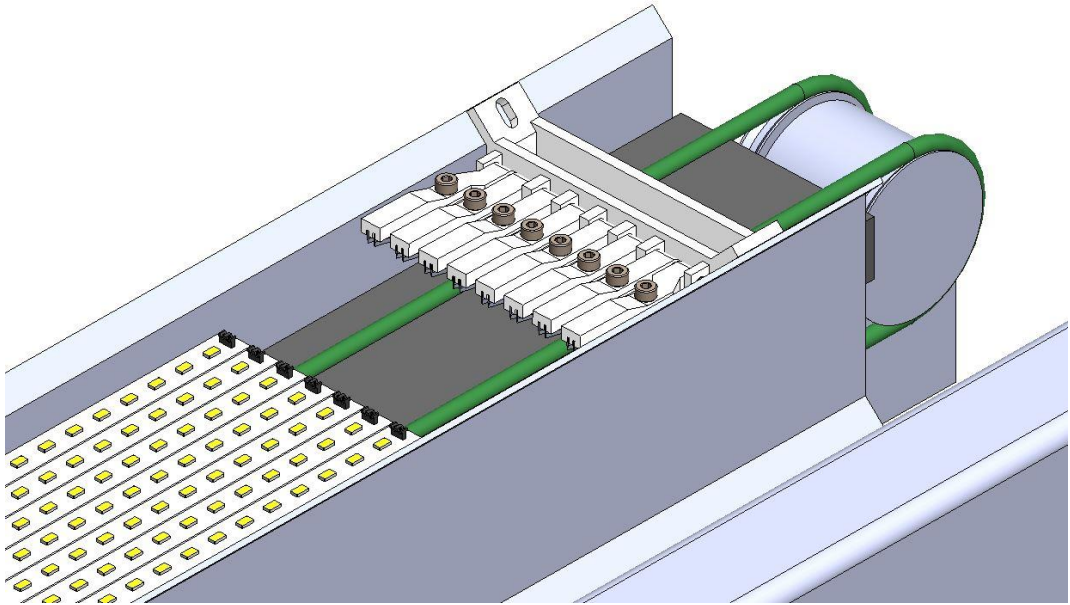
Testaamista lähdettiin suunnittelemaan aluksi tuotteen liitinpuolelta, ja tämän vuoksi liittimistä tehtiinkin tarkka malli suunnittelua varten. Liitinpuolelta tuotteen testaamisen tekee haastavaksi se, että tuotteet ovat eripituisia ja liittimet ovat eri paikassa kuljettimeen nähden tuotteen vaihtuessa eripituisiksi.

Aluksi luonnosteltiin malli, jossa käytettäisiin hyväksi testineuloja, jotka ovat yleisesti käytössä elektroniikan teollisessa testauksessa. Ensimmäinen malli olisi käsikäyttöinen ja neuloja puristava voima saataisiin lihasvoimasta (kuva 18). Neulat olisivat kiinni liikkuvassa johteessa, jota puristetaan lihasvoimin kiinni liittimiin. Tätä mallia ei lähdetty jatkokehittämään, koska ongelmiksi muodostuivat laitteen mittatarkat vaatimukset ja ei oltu varmoja siitä kestäisivätkö piirikortin liittimet mekaanista rasitusta.



Kuva 18. Ensimmäinen suunniteltu versio testauslaitteesta

Seuraavassa suunnitellussa mallissa jännite syötettäisiin kortille liittimien kautta, mutta kontakti saataisiin aikaan veitsen terää muistuttavalla metallilevyllä. Levyt olisivat kiinni nivelletyissä rungoissa, jotka puolestaan kiinnittyisivät piirikorttikuljettimeen (kuva 19).



Kuva 19. Toinen versio testauslaitteesta

Tämä ratkaisumalli olisi toimiva, jos tuotteiden pituudet pysyisivät samanlaisina. Testauslaite suunniteltiin tuotteelle, jossa piirikortit ovat 1200 mm pitkiä. Tuotesarjan pituudet vaihtelevat 900 mm:stä aina 1500 mm:iin asti.

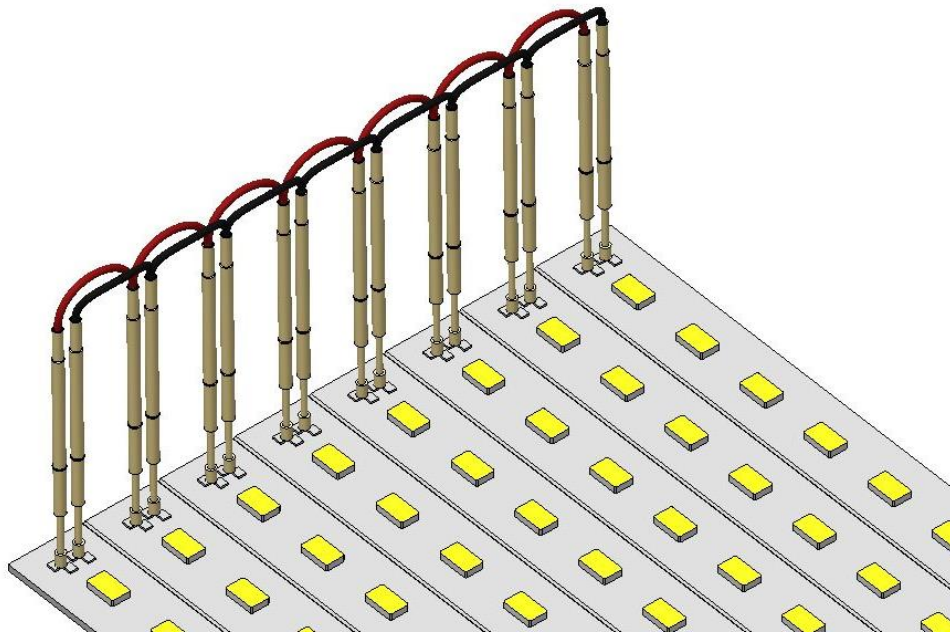
Lisäksi laite ei pystyisi olemaan kiinteänä linjassa, vaan se jouduttaisiin poistamaan eri tuotteiden valmistamisen ajaksi ja kiinnittämään uudelleen eri tuotteille. Tämä lisäisi työnvaihtoihin kuluva-aikaa ja ei olisi välttämättä kannattava menetelmä testaukselle.

Tästä versiosta valmistettiin myös 3D-tulostettu prototyyppi, jossa myös tulostustarkkuus osoittautui yhdeksi ongelmaksi. Näistä edellä mainituista syistä tämäkin versio päätettiin jättää toteuttamatta. Tuotteiden testaaminen osoittautui hankalaksi toteuttaa liittimien kautta, jos jännite halutaan syöttää kaikille tuotteille samanaikaisesti.

Testaustavan suunnittelu kohdistettiin seuraavaksi tuotteiden toiselle puolelle, missä piirikortteihin on jätetty tyhjä kontaktialue, joka on mitoiltaan samankokoinen kuin kontaktipiste, johon liitin kiinnitetään.

Testaaminen kontaktipisteiden puolelta olisi helpompaa, koska piirikorttinosuri nostaa aina kortin likimain samaan kohtaan kuljettimelle. Näin pystyttäisiin suunnittelemaan linjalle kiinteä ratkaisu, jota ei tarvitsisi muuttaa erimittaisille tuotteille.

Kontaktipisteet piirrettiin piirikorttimallin toiselle puolelle ja lisättiin piirikortin 3D-malliin. Kontaktipisteitä on yhteensä 32 kpl, ja 4 kpl per tuote. Testaustavan suunnittelussa päädyttiin käyttämään testineuloja niiden edullisuutensa vuoksi. Neuloja päätettiin sijoittaa 2 kpl yhden piirikortin jännitteensyöttöä varten ja neula kohdistettaisiin kahden kontaktipisteen välille (kuva 20). Tämä sen takia, koska ainevahvuus materiaalissa, johon neulat kiinnitetään, olisi ollut liian pieni. Näin varmistutaan myös siitä, että piirikortin liikkuessa sivuttaissuunnassa kuljettimella neula osuisi todennäköisemmin haluttuun kontaktipisteeseen.



Kuva 20. Neulojen suunniteltu sijainti piirilevyllä testausvaiheessa

Erilaisia testineuloja vertailtiin ja päädyttiin Feinmetallin valmistamaan neulaan, jonka malli on F10006B150G200. Näille neuloille testiholkiksi valittiin H100LA/7,6. Nämä F100 sarjan testineulat ovat kooltaan yleisesti käytössä olevia ja ovat näin helposti saatavissa.

Testineulat tilattiin Perel Oy:stä, koska toimeksiantaja tilaa kyseiseltä toimittajalta muutenkin paljon tarvikkeita ja materiaaleja. Neuloille tarkoitetut holkit tilattiin vastaavasti Farnell Oy:stä.

5.4 Testilaitteen suunnittelu ja valmistus

Seuraavaksi ongelmaksi muodostui se, miten testineulat voidaan kiinnittää tuotantolinjalle siten, että testilaitteen käyttö on helppoa ja turvallista. Lisäksi suunnittelussa tulisi varmistaa, että neulat osuvat aina haluttuun testauspisteeseen piirilevyllä.

Testilaitteen suunnittelu aloitettiin lähtökohtaisesti siitä, että prototyyppin osat olisivat valmistettavissa 3D-tulostamalla. Näin saataisiin luotua edullisesti toimiva malli tuotteesta ja testata sen toimintaa käytännössä. Laitte olisi näin myös helposti muunneltavissa, jos tuotteessa tapahtuikin muutoksia. Laitteen suunnittelun teki haastavaksi erityisesti se, että vastaavanlaisia laitteistoja ei ole tehty aikaisemmin.

Neulavalmistajan tuotekatalogista etsittiin tarvittavat tiedot testineulojen asennusta varten. Valitulle testineulan holkille asennusreiän koon tulisi olla 1,7 - 1,75 mm välillä (kuva 21).

Receptacle with inserted press ring (without knurl)

1,05	0,98-1,00	0,99-1,01	H050
1,10	1,05-1,08	1,05-1,08	H787
1,47	1,36-1,40	1,36-1,40	H703, H075
1,80	1,70-1,75	1,70-1,75	-
1,81	1,70-1,75	1,70-1,75	H502, H585, H100
2,08	2,03-2,05	2,03-2,05	H772, HVF100
2,49	2,39-2,44	2,39-2,44	-
2,50	2,40-2,45	2,40-2,45	H563
2,80	2,72-2,77	2,72-2,77	-
2,82	2,75-2,78	2,75-2,78	H564
3,66	3,58-3,63	3,58-3,63	H566

Kuva 21. Suositellut porauskoot H100-sarjan holkeille [16]

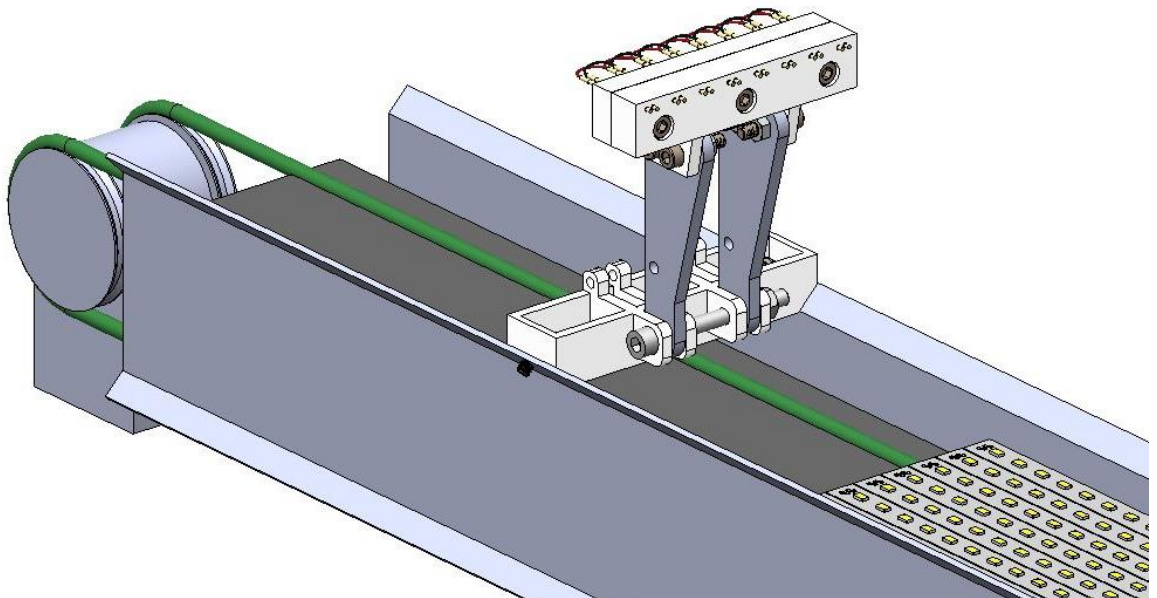
Elektroniikan testauslaitteissa neulojen kiinnitykseen käytetään materiaalia, joka täyttää ESD-vaatimukset tuotannossa. Materiaalina käytetään yleisesti muoveja, joilla on hyvä koneistettavuus ja kulutuskestävyys.

Tällaisia muovilaatuja ovat POM-C (kopolymeeri), POM AST (antistaattinen polyasettaali), PE (polyeteeni) ja ABS ESD-muovit. ESD-luokitettuja muoveja on myös saatavilla 3d-tulostusta varten filamenttina, joten prototyyppien valmistuksessaakin on helppo saavuttaa tuotteen sähköstaattiset vaatimukset.

Näiden tietojen avulla piirrettiin konstruktioehdotus, jossa neulat olisivat kiinnitettynä mekanismiin, jossa lihasvoimalla painettaisiin neulat kontaktipisteisiinsä. Tämä malli valittiin muiden toteutusten joukosta, koska se todettiin olevan sopivin ratkaisu testauksen tehostamiseksi.

Laitte toimii lihasvoimalla ja jousipalautteisesti. Kun testattava piirikortti saapuu linjalle, niin neulat painettaisiin mekanismin avulla kontaktipisteisiin työntekijän toimesta. Kun testaus on valmis, niin laite voidaan palauttaa ja piirikortti kulkisi kuljettimella laitteen alitse, jolloin sitä ei tarvitsisi siirtää linjalle testauksen ajaksi tai vaihtaa muille tuotteille (kuva 22).

Laitte kiinnitettäisiin linjalle kahdella kiinnitysruuvilla, ja laitteen sijaintia pystyy säätämään pitkitäissuunnassa. Myöskin tukilevyt suunniteltiin siten, että testilaitteen korkeutta pystyittäisiin säätämään.



Kuva 22. Ensimmäinen suunniteltu luonnos testilaitteesta

Jotta laitteen toimintaa voitaisiin testata mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, niin neuloja pitäivät osat tulostettiin jo ennen muiden osien valmistusta. Näin pystyittäisiin varmistamaan laitteen toiminta jo aikaisessa vaiheessa.

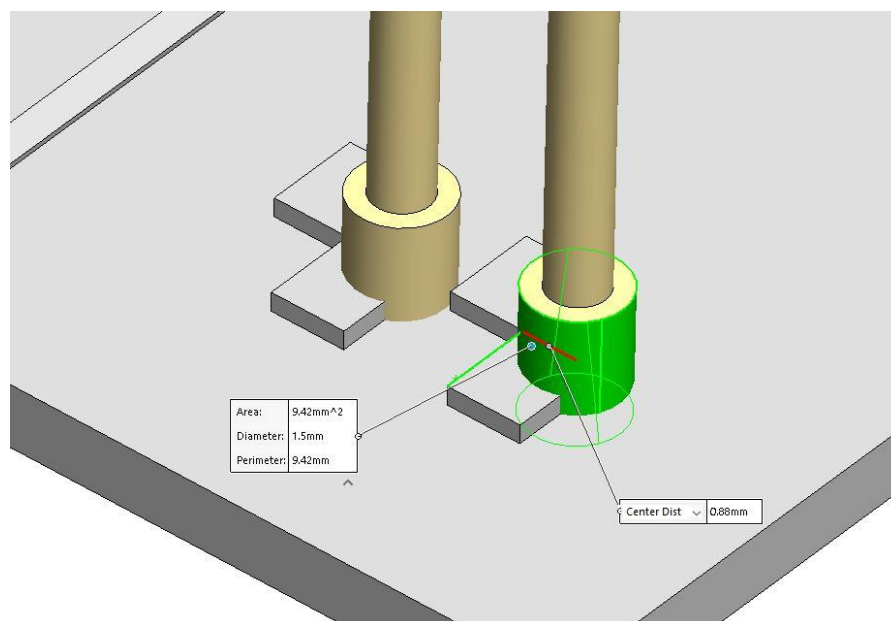
Laitteen osien valmistettavuutta ei lähdetty miettimään vielä sen tarkemmin, eikä tässä vaiheessa laitteesta luotu tarkkoja piirustuksia, koska kyse oli prototyypistä, joka tullaan todennäköisesti 3d-tulostamaan ja siihen tehdään mahdollisesti muutoksia vielä tulostuksen jälkeen.

5.5 Toleranssianalyysi

Komponenteissa ja koneenosissa on aina epätarkkuutta, eli komponenttia ei pystytä valmistamaan ikinä nimellismittaansa. Worst case -analyysi on yleisin käytössä oleva toleranssianalyysimenetelmä. Worst case-analyysissä tarkastellaan kokoonpanoa pahimman mahdollisimman tapauksen eli osien suurimpien ja pienimpien toleranssiarvojen perusteella. Menetelmän haittapuoli on se, että se saattaa johtaa liian tiukkoihin toleransseihin ja lisätä näin tuotteiden valmistuskustannuksia. Menetelmän hyvä puoli on se, että sitä käytettäessä pysytään aina varmalla puolella toleroitaessa, toisin sanoen mitoiltaan virheellisiä kappaleita ei pitäisi päästä syntymään [14].

Yleensä suunnittelijat toleroivat suunnittelemansa osat vasta juuri ennen osapiirustusten julkistamista. Toleranssiarvot perustuvat yleensä kokemukseen, valmistusmenetelmien rajoituksiin ja arvauksiin [14].

Toleranssianalyysin tekemisessä hyödynnettiin SolidWorks-ohjelmiston ominaisuuksia ja toimintoja, joissa eri osille pystyttiin antamaan liikkeen rajoituksia mate-toimintojen avulla. Näin pystyttiin visualisoimaan eri osien liike ja tarkastelemaan, osuuko neula testipisteeseen (kuva 23). Näin oli helppo nähdä, kuinka tarkalla toleranssilla eri laitteen osat tulee valmistaa. Huomioon tulisi ottaa piirikortin liikkuminen kuljettimella sivuittaissuunnassa sekä pituussuunnassa.



Kuva 23. SolidWorksin mittaustyökalun käyttöä toleranssianalyysin tekemisessä

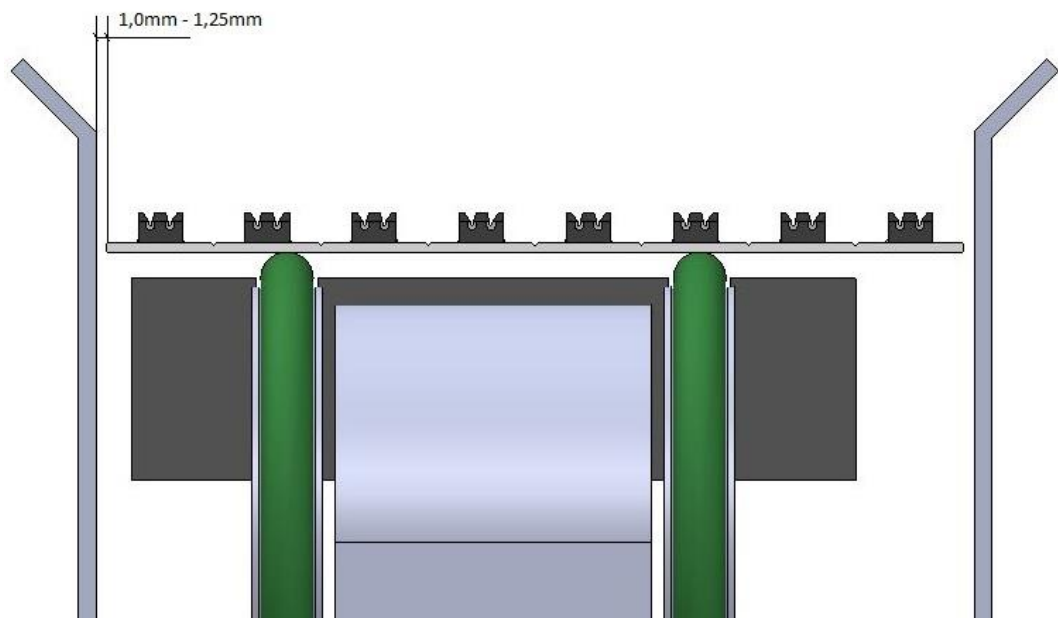
Maksimi-sivuittaispoikkeamaksi saatiin mittaamalla $\pm 0,9$ mm. Testineulat sijoitettiin testipisteiden keskelle, koska tiedettiin, että sivuittaissiirtymä olisi kriittisin suunnitteluun vaikuttava asia. Näin saatiin enemmän varaa laitteen sivuittaissiirtymän toleranssiin. Pituussuunnassa liikkumavaraa olisi näin ollen $\pm 1,5$ mm.

Toleranssianalyysin tekeminen osoittautui tärkeäksi menetelmäksi työn alkuvaiheessa, jossa huomattiin monia ongelmia, mitä ei välttämättä olisi huomattu ilman sen tekemistä.

Suurimmaksi vaikuttavaksi tekijäksi laitteen suunnittelussa osoittautui piirilevyn liike kuljettimella. Piirikorttiaihioiden leveydet myös vaihtelevat jonkin verran, ja tämä aiheuttaa ongelmia laitteen toiminnassa. Piirilevyn sivuittaispoikkeama oli suurimmillaan 1,0 - 1,25 mm (kuva 24).

Tämä aiheutti suunnittelun kannalta ongelmia, koska sivuittaisliike on suurempi kuin sallittu 0,88 mm neulan sivuittaissiirtymä, ja tämä ei jättäisi varaa testilaitteen osien toleroimiseen.

Testilaitte päätettiin suunnitella ja valmistaa loppuun siten, että oletetaan piirilevyn sijaitsevan keskellä kuljetinta. Korttiaihioiden kuljettimen rataleveyttä pystytään kuitenkin tarvittaessa säätämään sivuittaissuunnassa ja pienentämään näin kortin sivuittaissiirtymää.



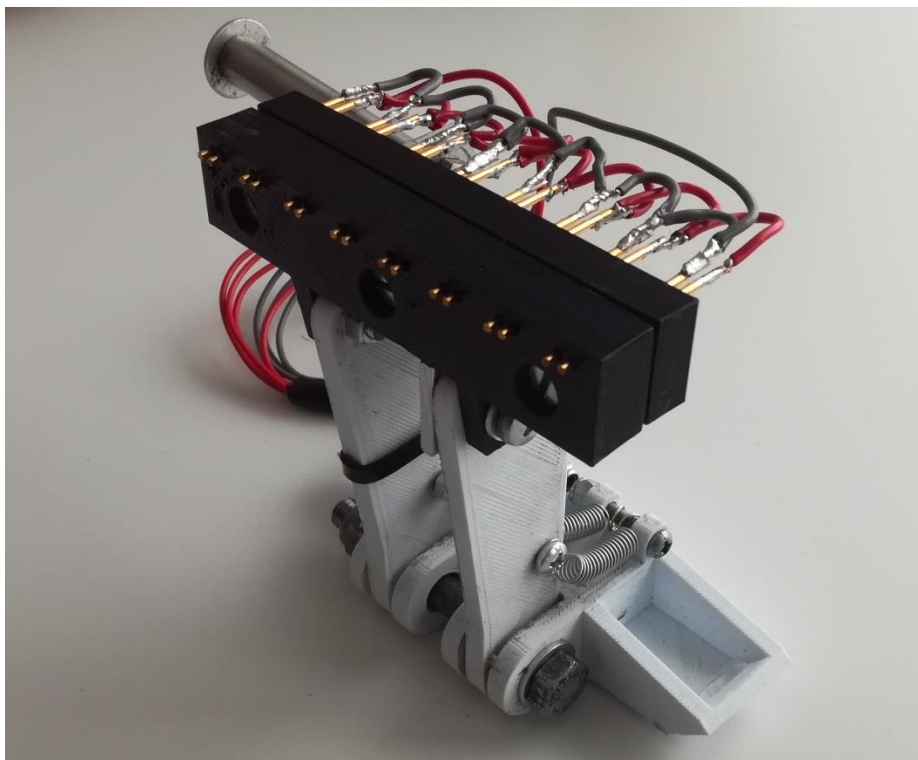
Kuva 24. Piirikorttiaihioiden sivuittaisliike kuljettimella

5.6 Valmistus ja parannusehdotukset

Suunnitellusta laitteesta valmistettiin prototyyppi, joka valmistettiin pääosin 3D-tulostamalla (kuva 25). Näin oli helppo kokeilla laitteen toimintaa jo aikaisessa vaiheessa. Ensimmäisenä päätettiin valmistaa osat, joissa testineulojen holkit ovat kiinnitettynä, jotta varmistutaan siitä, että reikäjaot osissa ovat oikein. Testineulojen holkkeihin kiinnitettiin johtimet juottamalla ja neulat kytkettiin rinnan.

Neulojen kiinnitysmekanismi todettiin toimivaksi, ja neulojen vaihtaminen onnistui helposti. 3D-tulostamisen tarkkuus osoittautui riittäväksi laitteen toiminnan kannalta. Seuraavaksi valmistettiin muut mekaaniset osat, kuten runko ja tukivarret, joilla testineulojen pitimet saadaan kiinnitettyä. Käytössä olevat työvälineet ja laitteet huomioon ottaen laitteen valmistus onnistui hyvin.

Parannusehdotuksia laitteelle löytyi useitakin. Piirilevyn sivuittaisliikettä tulisi rajoittaa jollain tavalla, jotta varmistutaan siitä, että piirilevy sijaitsee oikealla kohdalla testilaitteeseen nähden. Testauslaitteen jonkinlaista automatisointia voisi miettiä myös jatkossa, jotta laitteesta saataisiin enemmän hyötyä testaukseen.



Kuva 25. Valmis prototyyppi testilaitteesta

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten led-tuoteperheen piirilevyaihioiden testausprosessia voidaan tehostaa. Tuloksena saatiin prototyyppi laitteesta, jonka avulla testausprosessia voidaan nopeuttaa.

Työssä käytiin läpi monta eri testausvaihtoehtoa ja suunniteltiin erilaisia malleja, joista päädyttiin yhteen sopivaan vaihtoehtoon. Tästä ratkaisumallista kehitettiin prototyyppi, jota päästiin kokeilemaan testauspisteessä.

Yksityiskohtaisia valmistuspiirustuksia ei laitteelle luotu, koska tarkoitus oli valmistaa prototyyppi laitteesta. 3D-tulostusta varten ei myöskään tarvittu yksityiskohtaisia valmistuspiirustuksia, vaan 3D-mallin mittoja muokattiin tarvittaessa, jotta niistä saatiin halutun mittaisia.

Haasteita työn tekemisessä aiheutti erityisesti valmistustapa. 3D-tulostamalla valmistettavissa osissa voi esiintyä muodonmuutoksia ja osat kutistuvat tulostuksen aikana hieman, joten valmistoleranssia on hankala arvioida.

Opinnäytetyön aihe oli melko laaja, ja elektroniikkatuotannon ala on itselleni melko uusi, joten työssä tuli vastaan paljon uusia asioita ja haasteita. Työn tekeminen oli alusta asti haastavaa ja vaati paneutumista elektroniikan testausmenetelmiin. Varsinkin työn alkuvaiheessa suunnittelussa tuli vastaan ongelmia, jotka olivat haastavia ratkaista.

Projektin arvioitu valmistumispäivämäärä oli 21.2.2020, mutta suunnitellusta aikataulusta myöhästyi hieman.

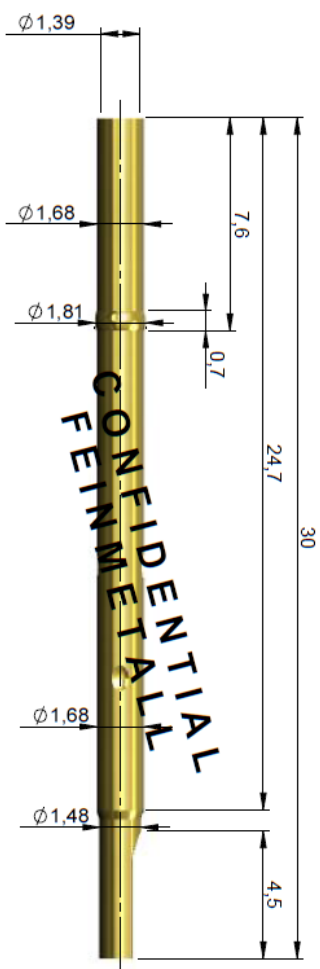
Lähteet


- 1 Elektroval Oy tiedot, Kotisivusto, Haettu 9.12.2019, sivustolta Elektroval Oy, internetosoite: <http://www.elektroval.fi/etusivu/>
- 2 Surface Mount Technology, Tietoa Pintaliitosprosessista, Haettu 9.12.2019, sivustolta surfacemountprocess, internetosoite: <http://www.surfacemountprocess.com/#>
- 3 Sulaon Oy, (2015), Pintaliitosprosessi, Haettu 9.12.2019, sivustolta Pintaliitos, internetosoite: <http://www.pintaliitos.fi/index.html>
- 4 Kurki Pekka, Diplomityö, Mittauselektroniikan komponenttilevyjen valmistukselle asetettavat vaatimukset, 2008, Haettu 17.12.2019, sivustolta lib.tkk.fi, internetosoite: lib.tkk.fi/Dipl/2008/urn012445.pdf
- 5 Intel:” Intel’s Packaging Databook Chapter 7: Leaded Surface Mount Technology (SMT)”, 2000, Haettu 17.12.2019, internetosoite: <https://www.intel.sg/content/dam/www/public/us/en/documents/packaging-databooks/packaging-chapter-07-databook.pdf>
- 6 Kivinen Oskari, Pro gradu -tutkielma, Katsaus modulaaristen piirilevyldontakoneiden käyttöön liittyvistä optimointiongelmista, 2019, Haettu 17.12.2019, internetosoite: https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/147662/Kivinen_Oskari_progradu.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 7 KUVA 7, Universal Instruments, Fuzion Platform brochure [pdf], Haettu 2.1.2020, internetosoite:http://www.uic.com/wp-content/uploads/2014/01/Fuzion_Platform_brochure.pdf
- 8 KUVA 9, Research Gate, Haettu 2.1.2020, internetosoite: https://www.researchgate.net/figure/A-typical-reflow-profile_fig5_262866703
- 9 Inspection and testing methods for PCBs: An overview [pdf], Cal Houdek, Caltronics Design & Assembly, Inc, Haettu 2.1.2020, internetosoite: <http://www.claire-e-cunningham.com/uploads/8/0/4/5/8045165/inspection-and-testing-methods-for-pcbs-an-overview.pdf>

- 10 KUVA 10, Mirtec Co Ltd, Haettu 8.1.2020, internetosoite: <http://www.mirtec.com/en/AOI.php>
- 11 Electronics notes, Incorporating Radio-electronics.com, Haettu 9.1.2020, internetosoite: <https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/automatic-automated-test-ate/ict-in-circuit-test-what-is-primer.php>
- 12 KUVA 12, National instrumets, Haettu 9.1.2020, internetosoite: <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-15227#prettyPhoto>
- 13 KUVA 13, Mcikotok, Haettu 9.1.2020, internetosoite: <http://mcikotok.blogspot.com/2014/12/how-to-build-custom-of-nails-tester-for.html>
- 14 Tutkimusraportti, VTT, Mikromekaaniset komponentit ja laitteet, Haettu 27.3.2020, internetosoite:https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2006/mikromasina_vtt_r_06045_06.pdf
- 15 Tuotekehitys 6. painos (2001), Tapani Jokinen, Haettu 31.3.2020, internetosoite: <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>
- 16 Feinmetall contact probes, Feinmetall contact Technologies, Haettu 31.3.2020, internetosoite:http://www.feinmetall.com/fileadmin/Downloadseite_Dateien/Gesamtkatalog_Kontaktstifte_2015_EN.pdf
- 17 KUVA 11, Tempoautomation, Haettu 16.4.2020, internetosoite: <https://www.tempautomation.com/blog/x-ray-inspection-reveals-hidden-pcba-defects/>
- 18 KUVA 14, KAV Systems engineering, Haettu 16.4.2020, internetosoite: <https://www.kavsys.it/2016/10/31/flying-probe/>

Liitteet

LIITE 1 Testineulan holkki Feinmetall H100LA/7,6



<p>Schlusshenmark nach ISO16916: China Zeichnung ist unser Eigentum und darf nicht kopiert, reproduziert, weitergegeben oder in irgendeiner Weise veröffentlicht werden. Any information contained in this drawing is our property and shall remain confidential. This drawing is not to be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without our prior written permission. Any violation will give rise to damage claims and a 3 criminal offense. FEINMETALL GmbH</p>		<p>ISO E  Maßstab/ 5:1 Scale: 5:1 Werkstoff/Material: Neusilber/Nickel Silver CuNi10Zn10 Beschichtung/Coating: Goldgold (Au)</p>		<p>Blatt/Sheet: 1 Von/Of: 1</p>	
<p>ISO 16916 NOTE: PROFORMA PART AND CONFIDENTIAL. Any information contained in this drawing is our property and shall remain confidential. This drawing is not to be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without our prior written permission. Any violation will give rise to damage claims and a 3 criminal offense. FEINMETALL GmbH</p>		<p>Benennung/Title: Hülse Receptacle</p>		<p>Nr./No.: H100LA-7,6_ANG</p>	
<p>Gez./Dwn: 14.07.09 HW Gepr./CHK: 18.12.09 KD Autor./Mr./Jobb No.:</p>		<p>Feinmetall GmbH</p>		<p>Ers./d./ Replaces:</p>	
<p>Zust./ Änderung/ Status Change</p>		<p>Datum/ Date</p>		<p>Name/ Name</p>	
<p>Urspr./ Origin:</p>		<p>H585LA</p>		<p>Ers./d./ Reply by:</p>	
<p>Alle unbenannten Kanten sind gratfrei. All undimensioned edges are free of burrs. Measurements are given in mm</p>		<p>Alle Maße sind in mm angegeben. Measurements are given in mm</p>		<p>A</p>	

LIITE 2 Testineula Feinmetall F10006B150G200.

ICT/FCT PROBES

F100

Probe 100 mil Standard

Centers (mm/mil)	2,54 / 100
Current	5,0 A
R typ	20 mOhm
Temperature	-20°C...+80°C -40°C...+200°C (H)

Spring Force (cN ±20%)

Version	Preload	Nominal
Standard	30	60
Standard	40	100
Standard	80	150
Standard	80	200
Standard	150	300
Standard	180	400
H	70	150
H	70	200
H	100	300
L	40	100
L	80	150
L	80	200
L	150	300
Mint-Pin	40	100
Mint-Pin	80	150
Mint-Pin	60	225

Travel (mm)

Version	Nominal	Maximum
Standard	4,3	6,4
L	4,3	6,4
Mint-Pin	4,3	6,4
Pointing Accuracy		±0,08 mm

Materials and Plating

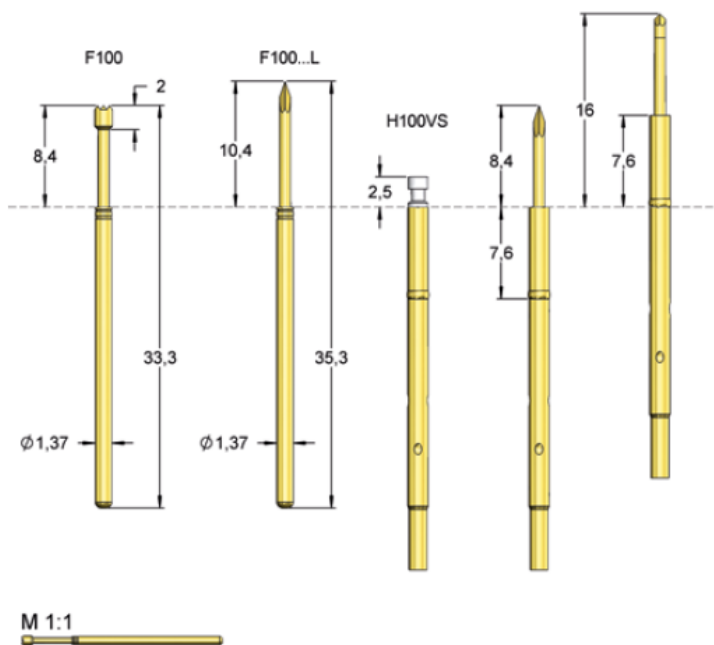
Plunger	see tip style
Barrel	Nickel silver, gold plated
Spring	Music wire, silver plated
Receptade	Nickel silver, gold plated

Accessories

Insertion tool receptacle	FEWZ-100EV
Insertion tool receptacle	FEWZ-100E0
Insertion tool probe	FDWZ-100
Plug lock	H100VS

Series	Tip-Ø	Spring Force (cN)
F100 06 B 150 G 100 L		
	Tip Style	Version

Material: B = BeCu S = Steel
Tip-Ø: 150 = 1,50 mm (e.g.)
Plating: G = Gold plated, L = Longtime Gold plated
Version: L = Long version, IK = Insulation cap
Receptacle: Order Code according drawing



Probe series F100 is the most common probe for 100 mil centers. Further information about the receptacles see extra section for receptacle H100.

Tip Style	Number	Material	Plating	Ø in mm	Version
	05	B	G	1,50	-
	06	B	G	1,30	-
	06	B	G	1,30	H
	06	B	G	1,50	-
	06	B	G	1,50	H
	06	B	G	1,50	L
	06	B	G	2,00	-
	06	B	G	2,50	-
	06	B	G	3,00	-
	06	B	G	3,10	Mint-Pin
	06	B	G	4,00	-
	07	S	L	1,50	-
	07	S	L	1,50	H
	11	B	G	0,50	-
	11	B	G	0,64	-
	11	B	G	0,90	-
	11	B	G	0,90	H
	11	B	G	0,90	L

