



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# JUOTOSPROSESSIN OPTIMOINTI

TEKIJÄ: Jani Ollikainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Elektroniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Jani Ollikainen			
Työn nimi Juotosprosessien optimointi			
Päiväys	28.4.2013	Sivumäärä/Liitteet	44/0
Ohjaaja yliopettaja Ari Suopelto, Savonia-ammattikorkeakoulu			
Toimeksiantaja Elektropoint Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin toimeksiantajan Elektropoint Oy:n reflow-uunin, höyryfaasin ja aaltojuotoskoneen juotosprosesseja. Työn tavoitteena oli laitteiden nykyisten juotosprosessien ja -profiilien selvittäminen sekä juotosprofiilien optimointi juotoslaadun parantamiseksi.</p> <p>Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin juotosprosesseissa käytettyjä tinoja, juotospastoja, fluksiaineen ominaisuuksia, juotosprofiileja ja kohdelaitteiden toimintaperiaatteita. Lähdemateriaaleina käytettiin pääasiassa aikaisempia tieteellisiä tutkimuksia ja laitteiden manuaaleja. Kirjallisuuskatsauksen teon jälkeen laitteista ajettiin läpi profiloitkortti, jolle tallennettiin senhetkiset juotosprofiilit. Samassa yhteydessä ajettiin myös testikorttisarja juotoslaadun selvittämiseksi. Tämän jälkeen juotosprofiileja tarkasteltiin ja niitä muokattiin mahdollisuuksien mukaan kirjallisuuskatsauksessa havaittujen suositusten mukaisesti. Juotosprofiilimuutokset tarkastettiin vielä profiloitkortilla ennen uuden testikorttisarjan ajamista. Juotoslaadun erojen havaitsemiseksi testikorttisarjat kuvannettiin Savonia-ammattikorkeakoulussa.</p> <p>Opinnäytetyössä saatujen tulosten avulla saatiin parannettua reflow-uunin juotoslaatua uuden juotosprofiilin myötä. Opinnäytetyö varmisti, että höyryfaasin parametrit oli säädetty alun perin hyvin. Ainoa keino höyryfaasin juotoslaadun parantamiseksi olisi hankkia uusi höyryfaasi, jossa olisi useampia säätöparametrejä juotosprofiiliin. Aaltojuotoskoneen juotoslaatuun voitaisiin vaikuttaa positiivisesti hankkimalla erinäisiä lisäosia, kuten pidempi esilämmitysosio ja toinen tina-aalto. Tutkimuksen avulla saatiin optimoitua nykyisiä juotosprosesseja ja selvitettyä jatkoa varten lisähankintoja juotoslaadun parantamiseksi.</p>			
Avainsanat juotosprofiilit, reflow-uuni, höyryfaasi, aaltojuotoskone, juotosprosessit			
julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electronic Engineering			
Author Jani Ollikainen			
Title of Thesis Optimization of Soldering Processes			
Date	28 April 2013	Pages/Appendices	44/0
Supervisor Mr Ari Suopelto, Principal Lecturer, Savonia University of Applied Sciences			
Client Organisation Elektropoint Ltd.			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study soldering processes for reflow oven, vapour phase machine and wave soldering machine and to optimize their soldering profiles to improve solder quality. The client for this thesis was Elektropoint Oy.</p> <p>First, a literature survey was made to study solder tins, solder paste, properties of flux materials, solder profiles and basic working principles for machines. Source literature was mostly previous researches and machine manuals. After making the literature survey, a profiling card and series of test printed circuit boards went through the machines to find out the initial situation of soldering profiles and solder quality. Then, the soldering profiles were modified according to the guidelines given in the literature. New soldering profiles were made with a profile card before a new test series of printed circuit boards went through the machines. To inspect differences in the quality, test boards went through imaging.</p> <p>As a result if this project solder quality for the reflow oven was improved. The project confirmed that the initial soldering profile of the vapor phase was optimal. The only way to improve the solder quality of the vapor phase machine is to acquire a new machine with more solder profile options. Improvement of solder quality for wave soldering machine is to acquire more upgrades for example a longer pre-heat segment and another tin wave for it. As a result of this project the solder profiles were optimized and new upgrades were mentioned for future.</p>			
Keywords soldering profiles, reflow oven, vapor phase machine, wave soldering machine, soldering processes			
public			

## ESIPUHE

Tämä opinnäyteytö on tehty nykyiselle työnantajalleni Elektropoint Oy:lle. Haluan kiittää Elektropoint Oy:n Kuopion paikallispäällikkö Rainer Mustosta opinnäyteytöaiheesta, SMD-operaattori Ville Heikkistä juotoslaitteiden käytön opastuksesta ja Savonia-ammattikorkeakoulun opinnäyteytöohjaajaa, yliopettaja Ari Suopeltoa järjestelmällisestä ohjauksesta.

Kuopiossa 14.5.2013

Jani Ollikainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	JUOTESEOKSET .....	8
3	FLUKSIAINE .....	10
3.1	Fluksiaine juotosprosessissa .....	10
3.2	Fluksiaineen ominaisuudet.....	10
4	JUOTOSPASTA .....	12
5	HÖYRYFAASI.....	14
5.1	Lämmönsiirtoväliaine .....	15
5.2	Hautakivi-ilmiö .....	15
5.3	Kaksipuoleiset piirilevyt.....	16
5.4	Juotospastan valinta.....	16
6	REFLOW-UUNI .....	17
7	AALTOJUOTOSKONE.....	19
7.1	Fluksaus.....	20
7.2	Esilämmitys .....	20
7.3	Juotosmoduuli .....	20
8	LÄMPÖTILAPROFILOIJA .....	22
9	JUOTOSPROFIILIT.....	23
9.1	Reflow-uuni .....	23
9.2	Reflow-uunin uusi juotosprofiili .....	27
9.3	Höyryfaasi .....	30
9.4	Höyryfaasin uudet juotosprofiilit.....	33
9.5	Aaltojuotuskone .....	36
10	TESTIKORTTIEN KUVANTAMINEN.....	38
10.1	Kaasukuplat juotoksessa .....	39
10.2	Röntgentulokset.....	40
11	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	42

## LÄHTEET

## LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

SMD = Surface Mount Device

THT = Through Hole Technology

RoHS = Restriction of Hazardous Substances

## 1 JOHDANTO

RoHS (Restriction of Hazardous Substances) -direktiivi rajoittaa vaarallisten aineiden määrää sähkö- ja elektroniikkalaitteiden valmistuksessa. Direktiivin mukaan 1.7.2006 alkaen markkinoille saatetut laitteet eivät saa sisältää missään homogeenisessa aineessa enempää kuin 0,1 painoprosenttia lyijyä, elohopeaa, kuudenarvoista kromia, polybromibifenyyliä ja polybromidifenyylietteriä eivätkä kadmiumia enempää kuin 0,01 painoprosenttia. Direktiivi on pantu täytäntöön Suomessa valtioneuvoston asetuksella vuonna 2004. (Tukes 2012.)

Elektroniikan tuotantoprosessissa on otettava huomioon, että lyijyllisen tinan sulamispiste on matalampi kuin lyijyttömän tinan. Lyijyllisen tinan sulamispiste on noin 183 °C, kun taas lyijyttömän noin 217 °C. Käytännössä tämä tarkoittaa juottimen lämpötilan nostoa noin 40–50 °C. Korkeamman lämpötilan käyttö edellyttää pidemmät esilämmitysajat joko pidentämällä lämmityslinjastoa tai hidastamalla kuljetinta. Riskinä voi olla se, että komponentteja lämmitetään liian kauan tai yli niiden lämmönsietokyvyn, jolloin ne voivat vaurioitua. Korkean lämpötilan käyttö valmistusprosessissa lisää myös huomattavasti sähkönkulutusta ja laitteiden käyttökustannuksia.

Siirryttäessä RoHS-direktiivin mukaisesti lyijyttömään juottamiseen on juotosprosessien optimoinnin merkitys korostunut.

Opinnäytetyössä keskitytään reflow-uunin, höyryfaasin ja aaltojuotoskoneen juotosprosessien optimoimiseen. Nämä kolme laitetta ovat opinnäytetyön toimeksiantajan, Elektropoint Oy:n, käytössä. Elektropoint Oy on elektroniikan sopimusvalmistaja ja toimii kahdella paikkakunnalla, Kuopiossa ja Hollolassa. Yritys on perustettu vuonna 1997.

Reflow-uuni ja höyryfaasi soveltuvat pintaliitosladontaan, ja aaltojuotoskonetta käytetään puolestaan läpiladottavien komponenttien juottamiseen. Juotosprosessiin vaikuttavia olennaisia asioita ovat muun muassa juotospasta tai tinaseos, fluksiaine, piirilevyn koko ja haastavuus, komponentit ja käytetyt juotosprofiilit.

Työn tavoitteena on tutkia kirjallisuuden pohjalta, miten reflow-uuni, höyryfaasi ja aaltojuotoskone kannattaa optimoida mahdollisimman hyvien juotostulosten saamiseksi. Kirjallisuuskatsauksen jälkeen tarkoituksena on tutkia nykyiset juotosprofiilit profiilointilaitteella ja testikorteilla. Juotosprofiileja muokataan kirjallisuuskatsauksen pohjalta ja testikortit ajetaan uudestaan. Juotoslaadun todentamista varten testikorteista otetaan röntgenkuvat.

## 2 JUOTESEOKSET

RoHS-direktiivin myötä lyijylliset tinaseokset on korvattu lyijyttömällä tinaseoksilla, joista suosituin on tina-hopea-kupariseos (Sn-Ag-Cu, SAC). Kalliimpien aineiden kuten hopean osuus kasvattaa tinaseoksen hintaa huomattavasti. Tämän vuoksi teollisuus suosii seoksia, joissa hopean osuus on mahdollisimman vähäinen. (Havia, Mononen, Bernhardt, ja Alatalo 2005, 1–2.) Juoteseoksen hinta korostuu varsinkin aaltojuottamisessa, jossa useamman litran tinapotti joudutaan täyttämään tinalla kokonaan.

### SAC- ja SnCuNi-metalliseokset

Tina-hopea-kuparijuotteissa tyypillinen hopeapitoisuus on 3–4 painoprosenttia ja kuparin osuus 0,5–0,9 painoprosenttia. Erilaiset SAC-metalliseokset voidaan erotella toisistaan huomautusmerkinnällä seostunnisteen loppuosassa. Seostunnisteessa ensimmäiset kaksi merkkiä kertovat hopean määrän ja kolmas merkki kuparin määrän kymmenkertaisena. Esimerkiksi SAC387 tarkoittaa SAC-metalliseosta, jossa on 3,8 painoprosenttia hopeaa ja 0,7 painoprosenttia kuparia. Loput seoksesta on tinaa. SAC-metalliseosten sulamispiste on 217 °C. (Havia ym. 2005, 1–2.)

Tina-kupari-nikkelijuoteseos (SnCuNi) on hintansa takia houkutteleva vaihtoehto SAC-juoteseokselle. Kuparin osuus SnCuNi:ssä on 0,7 painoprosenttia ja loppuosa on kokonaan tinaa. SnCuNi:lla on myös pienempi taipumus huuhtoa kuparia pois juotosprosessissa juotosalueelta. Tämän vuoksi se ei kuluta kuparia pois johtavilta tartuntapinnoilta. Nikkelittömän SnCu:n juoteseoksen huono puoli on sen huono juoksevuus juotoslämpötiloissa, mikä aiheuttaa puutteellisia juotoksia ja synnyttää juotossiltoja. Tämän vuoksi seokseen on lisätty nikkeliä (Ni) parantamaan juoksevuutta. SnCuNi:n jäädytysprosessin täytyy olla hitaampi kuin SAC-metalliseoksilla hyvän laadun aikansaamiseksi. Myös juotoslämpötilan täytyy olla 10 °C korkeampi kuin SAC-metalliseosten. SnCuNi-juotteiden juotosjälki on kirkas ja tasainen ja muistuttaa lyijyllisen tinan jälkeä. (Havia ym. 2005, 2–3.)

### Juoteseosten vertailu

Kaikki korkeatinapitoiset lyijyttömät juoteseokset ovat huomattavasti enemmän korrosoivia ruostumatonta terästä vastaan. Kun aaltojuotoskoneen tinapotti kaadetaan täyteen tinaa, on huomattu, että SnCuNi-metalliseokset eivät ole niin syövyttäviä kuin SAC-metalliseokset. SnCuNi-juoteseoksen käyttö on yleistynyt aaltojuottamisessa vuoden 2004 jälkeen, jolloin sen osuus oli noin 28 % Euroopan alueella (taulukko 1). (Havia ym. 2005, 3.)

TAULUKKO 1. Lyijyttömien metalliseosten käyttö aaltojuottamisessa Euroopan alueella (Havia ym. 2005, 3.)

Vuosi	SAC [%]	SnCu [%]	SnCuNi [%]
2002	45	45	-
2003	42	17	-
2004	28	24	28



SnCuNi- ja SAC-metalliseoksia on saatavilla juotospastana reflow-prosesseja varten. SAC-metalliseokset juotospastoina ovat silti enemmän käytettyjä reflow-prosesseissa matalamman sulamispisteen vuoksi. Erilaisten metalliseosten vaihtaminen juotosprosessissa satunnaisesti ei kannata, koska on olemassa riski, että eri seosten jäänteet tuotannon laitteissa saastuttavat toisiaan ja aiheuttavat jälkikomplikaatioita tuotantoprosessiin. (Havia ym. 2005, 13.)

Seuraavaksi käydään läpi alkuvuoden 2013 raaka-aineiden kilohintoja (taulukko 2). Vertailussa täytyy ottaa huomioon, että lopullinen hinta on kuitenkin kalliimpi seoksien patenttien omistajille kertyvien lisenssimaksujen ja jälleenmyyjien katteiden takia. Taulukossa 3 tarkastellaan yleisimpien tinaseosten kuten SAC305, SnCu ja SnCuNi kilohintoja.

TAULUKKO 2. Tinaseosten raaka-ainehinnat alkuvuonna 2013 (Taloussanommat 15.2.2013.)

	Tina (Sn)	Hopea (Ag)	Kupari (Cu)	Nikkeli (Ni)
Kilohinta [€/kg]	17,68	702,62	5,94	12,71

TAULUKKO 3. Tinaseosten kilohinnat laskettuna

	SAC305	Sn0,7Cu	Sn0,7Cu(Ni)
Tinan osuus [%]	96,50	99,30	99,25
Hopean osuus [%]	3,00		
Kuparin osuus [%]	0,50	0,70	0,70
Nikkelin osuus [%]			0,05
Kilohinta [€/kg]	38,20	17,60	17,60

Hinnoista voidaan suoraan huomata, miksi hopeaton metalliseos on saavuttanut suuren suosion elektroniikkateollisuudessa. Varsinkin hopean hinta on noussut vuosien 1986–1998 keskihinnoista (Havia ym. 2005, 3) nelinkertaiseksi, mikä näkyy SAC305-metalliseoksen kilohinnassa.

### 3 FLUKSIAINE

Fluksi on piirilevyn esikäsitteilyaine ennen varsinaista juotostapahtumaa ja sillä on useita funktioita juotosprosessissa. Oikeanlaisen fluksin valitseminen on tärkeää laadukkaan juotostuloksen aikaansaamiseksi. Toisin sanoen fluksiaine täytyy valita olosuhteiden mukaan mahdollisimman optimaalisesti. Oikeanlaisen fluksiaineen valinta varmistaa virheettömät juotosliitokset ja mahdollisimman pitkäikäisen toimivuuden juotteille. Fluksiaineen käyttäminen voidaan jakaa kolmeen funktionaaliseen toimintaan: kemikaaliseen, lämpö- ja fyysiseen toimintaan. (Minges 1989, 643.)

#### 3.1 Fluksiaine juotosprosessissa

Kemiallisesti fluksilla pitää olla reaktiokyky hapettumiskalvoihin, joita syntyy oksidien ja sulfidien reaktioista juotosalueella juotosprosessin aikana. Fluksiaine siirtää juotospinnalta hapettumista aiheuttavat liat pois sulaa juoteseosmetallia pitkin, joten tina pääsee juottumaan suoraan fluksiaineen kostuttamalle ja puhdistamalle juotospinnalle. Fluksiaine toimii niin sanottuna suojana juotoksen päällä estäen juoteseoksen uudelleenhapettumisen juotosprosessin lämmityksen aikana. (Minges 1989, 643.)

Piirilevyn lämmityksessä fluksiaineen tarkoitus on avustaa lämmönjohtamisesta sulalta juotteelta juotosalueen metallipinnoille, jotta lämpötila juotosalueella nousisi riittävästi kostuakseen riittävästi juoteaineen tarttumista varten. Fyysisesti fluksiaineen tarkoitus on vähentää faasien välisiä pintajännitteitä juotteen ja piirilevyn perusmetallien välillä ja mahdollistaa näin juotteen parempi juoksuminen ja kostuminen. (Minges 1989, 643.)

#### 3.2 Fluksiaineen ominaisuudet

Fluksiaineen aktiivisuus kuvataan hyötysuhteella, joka tarkoittaa fluksin vettymisominaisuuksia sulassa juotteessa. Mitä heikompia metallipinnan juotospinnat ovat, sitä enemmän fluksiaineelta vaaditaan korkeampaa aktiivisuutta, jotta hyvät juotosliitokset olisivat mahdollisia. Fluksiaineen syövyttävyyden kertoo aineen kemikaalisesta reaktion vahvuudesta tai fluksiainejäämien syövyttävästä vaikutuksesta perusmetalleihin. (Minges 1989, 644.)

Vaikka visuaalisesti syöpymistä ei olisi piirilevyssä havaittavissa, voivat fluksiainejäämät heikentää piirilevyn pinnan eristysresistanssia (SIR). Syövyttävyyden täytyy ottaa huomioon varsinkin silloin, kun fluksiaineen jäämiä ei päästä puhdistamaan. Syövyttävyyden menee rinnan fluksiaineen aktiivisuuden kanssa: mitä paremmin fluksiaine kostuttaa ja juoksee, sitä syövyttävämpi se yleensä myös on. Fluksiaineen ja piirilevyn esilämmitystä varten on tärkeää tietää fluksiaineen haihtumisnopeus. Esilämmittimien täytyy saada haihdutettua fluksiaineen liuotinneste täysin pois ennen juotoslämpötilaa, muuten juotos roiskuu. Liuotinnesteen haihtumista voidaan parantaa käyttämällä alkoholipohjaisia liuotinnesteitä. (Minges 1989, 644.)

## Fluksiaineen osat

Aktivaattoriainesosia lisätään fluksiaineeseen pieninä määrinä, jotta saataisiin mahdollistettua fluksiaineelle mahdollisimman hyvä kyky poistaa oksideja metallipinnoilta ennen juotosta. Jotta aktivaattori pystyy tekemään oksidien poistamisen juotospinnalta, täytyy sen olla jokseenkin syövyttävä. Erittäin tehokkaat aktivaattorit saattavat olla syövyttäviä jo huonelämpötiloissa. Normaalisti aktivaattorista tulee syövyttävä vasta lähellä oikeaa juotoslämpötilaa. (Minges 1989, 644.)

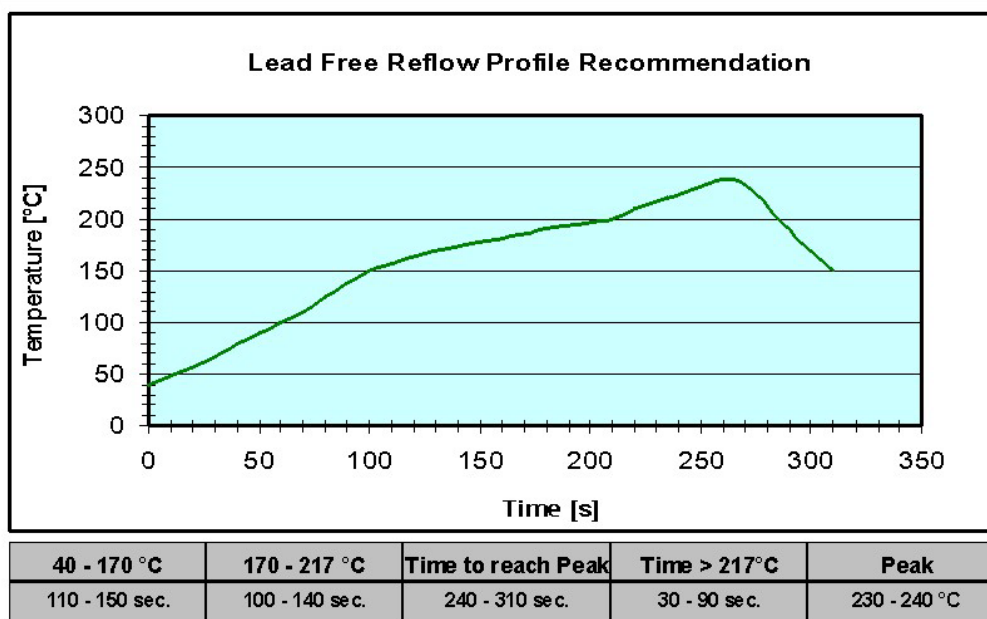
Aktivaattorit muodostuvat tyypillisesti happoyhdisteistä, halidiyhdisteistä tai kummankin sekoituksista. Vahvimmissa sekoituksissa käytetään kloorivetyhappoa, bromivetyhappoa tai fosforihappoa. Kuljetinaine muodostuu kiinteistä tai haihtumattomista tai molempien yhdistelmänesteistä. Kuljetinaineella on kolme funktiota kuljettaessaan muita osatekijöitä fluksiaineessa. Ensimmäiseksi se toimii liuottimena korkeissa lämpötiloissa juotosvaiheessa, kun aktivaattoriaine poistaa oksideja juotospinnalta. Toiseksi se toimii suoja-aineena aktivaattorin puhdistamalle juotospinnalle. Kolmanneksi kuljetinaine toimii lämmönsiirron apuvälineenä ja johdattaa lämpöä paremmin juotosalueille. (Minges 1989, 644.)

Luonnonhartsiflukseissa ja synteettisissä hartsipohjaisissa flukseissa kuljetinaine muodostuu yleensä luonnonpohjaisista materiaaleista, kuten pihkasta tai kemikaalisesti muokatusta kaksikomponentti-pihkasta. Vesiliukenevissa orgaanisissa flukseissa kuljetinaine on yleensä tehty erilaisista glykoleiden, polyglykoleiden tai glyserolien yhdistelmistä. Liutinaineiden tehtävä fluksissa on levittää aktivaattoriaineet ja kuljetinaineet tasaisesti ympäriinsä juotosalueille, ennen kuin liuotin haihtuu pois esilämmitysvaiheessa. Tyypillisiä liutinaineita ovat alkoholi, glykooli, alifaattihiihivedyt, terpeenihiihivedyt ja vesi. (Minges 1989, 644.)

## 4 JUOTOSPASTA

Juotospastoja käytetään reflow-juotosprosesseissa. Juotospastat sisältävät jo itsessään fluksin valmiina. Juotospastan levitys piirilevyn juotospinnoille tapahtuu yleensä stensiilin avulla. Stensiili on metallinen levy, joka asetetaan piirilevyn päälle ja siinä on reiät juotosalustoja varten. Juotospasta levitetään tämän jälkeen lastalla ja juotospastan paksuus määräytyy stensiililevyn paksuuden mukaan. Koko juotospastapainoprosessi tehdään yleensä koneellisesti luotettavuuden ja pastan tasaisen painumisen takaamiseksi.

Toisinkuin aaltojuotosprosessissa reflow-prosessissa suosituin pasta-aine on SAC-metallijauheseos. Toimeksiantajani tuotannossa käytetään Herauksen valmistamaa F640 SAC305-seosta. Tämä seos sisältää 11 painoprosenttia fluksia komponentin vettymistä varten (Heraeus Application Recommendation, 4). Fluksi varmistaa tinaseoksen tasaisen leviämisen juotosalueelle ja komponentille. Juotospastan rakenne on rakeinen ja riippuen juotettavan komponentin koosta täytyy pastakin valita siten, että raekoko ei ole liian suuri. Inerttikaasun käyttö on suositeltavaa juotospastaa käytettäessä, koska sillä estetään juotoksen liika hapettuminen, joka aiheuttaa esimerkiksi voideja juotosjälkeen. Kaasukuplat näkyvät röntgenkuvissa pieninä haaleina pilkkuina. Seuraavaksi alla kuvio 1 juotospastan suositusprofiilista lämmitykseen.



KUVIO 1. Heraeus F640 SAC305 -juotospastan suositusprofiili (Heraeus Application Recommendation, 13.)

Kuvion 1 perusteella suositellaan, että juotospastaa lämmitetään noin 250 s ennen kovinta lämpöpiikkiä, jotta välttäisiin liian nopeilta lämpötilamuutoksilta. Suositusprofiilissa ei ole otettu huomioon piirilevyjen eri pinnoitteista johtuvia lämpömassan vaihteluita. Myös komponenttien lämmönkestävyyttä ei ole vielä tässä vaiheessa otettu huomioon, vaan suositus on kokonaan tehty vain juotospastan optimaalisinta juottumista varten. (Heraeus Application Recommendation, 14.)

Esilämmitysvaiheen, joka kuvion mukaisesti näkyy välillä 40–170 °C pitäisi haihduttaa juotospastan mukana tulevat liuotinaineet. Seuraavaa ramp-vaihetta esilämmityksen jälkeen voidaan pitää aikavälinä, jolloin piirilevy saavuttaa tinan sulamislämpötilan. Aikavälillä 140–310 sekuntia fluksi reagoi oksidien kanssa ja parantaa tinan juottumista kostuttamalla juotosaluetta. Lämpötilapiikki saavutetaan sulamispisteestä 20–30 °C korkeammassa lämpötilassa ja tällöin tina juottuu fluksin kostuttamille alueille. Viimeinen vaihe on jäähtytysvaihe, joka pyritään tekemään nopeasti. (Yang Rao ja Lin 2001, 113.)

## 5 HÖYRYFAASI

Kondensoimisaineen juottamisprosessi tunnetaan paremmin nimellä höyryfaasijuottaminen. Höyryfaasijuottamisessa käytetään inerttiä sähköisesti ei-johtavaa nestettä, jonka lämpötila nostetaan kiehumispisteeseen. Nesteen höyrystyessä laitteen sisuksen yläpuolelle syntyy kemiallisesti tyydyttynyt inertti höyryalue, jonka lämpötila on identtinen lämmönsiirtoväliaineen kanssa. Kun pintaliitoskomponenteilla kalustettu piirilevy tuodaan kyllästyneeseen höyryvyöhykkeeseen, höyry kondensoituu piirilevyn pinnalle kunnes se saavuttaa saman lämpötilan kuin höyry. (Asscon 2006, 4.) Alla kuva 1 Asscon VP800-höyryfaasista, joka on käytössä Elektropoint Oy:ssä.



KUVA 1. Höyryfaasi Asscon VP800 (valokuva Jani Ollikainen.)

Höyryfaasin hyödyt:

- Lämmitysprosessi inertissä höyry alueessa estää hapettumisen ilman typen käyttöä.
- Ei komponenttien ylikuumentumisriskiä.
- Homogeeninen lämmitys estää varjostusefektin syntymistä.
- Väri tai muoto ei vaikuta komponentin lämmitykseen.
- Höyryn alhaisesta pintajännityksestä johtuen höyry etenee pienimpiinkin rakoihin. Tämä mahdollistaa vaikeampien piirien juottamisen kuten BGA-piirit.
- Toistettavissa ole juotosprofiili erilaisille juotettaville levyille, koska lämmitysprosessi on itsestään säätelevä fysikaalisten ominaisuuksien takia.
- Lämmitysprofileita ei tarvitse valmistella.
- Lyhyt esilämmitysaika.
- Mikroprosessoriohjaus.
- Voidaan myös irroittaa komponentteja irroitustyökalun avulla. (Asscon 2006, 4.)



Piirilevyjen juotostyynyalueista ei pitäisi tehdä liian suuria. Liian suuret juotostyynyalueet voivat aiheuttaa pintajännitystä juotteeseen, mikä vetää komponentteja puoleensa ja irrottaa komponenttien toisen pään juotostyynyltä. Juotostyynyalueet pitäisi mitoittaa siten, että ne ulottuvat komponenttien alle niiden juotospäiden sallimissa fyysisten mittojen rajoissa. Myös visuaalinen tarkastus vaikeutuu huomattavasti, jos juotosalue menee liian pitkälle komponentin alle. (Asscon 2006, 29.)

Kun juotostyynyjen geometriaa suunnitellaan, on tärkeää myös komponenttien juotosalueiden metallisointi. Pintaliitoskondensaattoreissa on yleensä metallisointia päissä ja päiden sivuilla. Päiden sivujen metallisointi vähentää komponentin päästä aiheutuvaa kapillaarivoimaa ja näin ollen estää komponentin kampeutumista. Pintaliitosvastuksissa metallisointi on päinvastaista eli metallisointi on komponenttien päissä sekä niiden ylä- ja alapuolella. Tästä syystä pintaliitoskondensaattorit eivät ole yleensä niin herkkiä hautakivi-ilmioille kuin pintaliitosvastukset. (Asscon 2006, 29.)

### 5.3 Kaksipuoleiset piirilevyt

Kaksipuoleiset piirilevyt voidaan juottaa höyryfaasilla samalla periaatteella kuin säteily- ja kaasukonvektiolaitteilla. Myös höyryfaasijuottamisessa painavimmat komponentit täytyy liimata piirilevyn pohjapuolelle. Piirilevysuunnittelussa on suositeltavaa, että suuremmat komponentit sijoitetaan piirilevyn pintapuolelle, jotta sideaineiden käyttöä voitaisiin välttää. Komponentteja liimattaessa täytyy käyttää sideaineita, jotka kestävät höyryfaasin käytön. (Asscon 2006, 30.)

### 5.4 Juotospastan valinta

Juotospastan sulamispisteen täytyy olla matalampi kuin lämmönsiirtoaineen kiehumispiste höyryfaasissa. Juotospastaa valittaessa voidaan käyttää lievästi reagoivaa (mildest activation) tai no-clean-juotospastaa, kun juotosprosessi on ideaalinen (hapeton). Yleisesti ottaen kaikki julkisessa myynnissä olevat juotospastat kelpaavat höyryfaasiin. Kun juotospastana käytetään lievästi reagoivia tai no-clean-juotospastoja, piirilevyjen puhdistus juotosprosessin jälkeen voidaan jättää väliin. Puhdistus on usein helpompaa, jos likajäänteitä ei ole jäänyt höyryfaasiprosessin aikana piirilevyn pintaan. Höyryfaasiprosessissa piirilevy altistuu vain hyvin lyhyeksi aikaa saastumiselle toisin kuin kaasukonvektiolaitteiden prosesseissa, joissa satunnaiset osat fluksista ja liuotteesta ovat voimakkaan virtaavan kaasun vuoksi levinneet ympäri piirilevyä. (Asscon 2006, 31.)



## 6 REFLOW-UUNI

Reflow-juottamisessa piirilevyn asetetaan ensin stensiilin avulla juotospasta. Kun komponentit on sijoitettu piirilevylle ja ne ovat liimantuneet juotospastaan, voidaan piirilevy päästää seuraavaan vaiheeseen eli reflow-uuniin lämmitysprosessiin. Komponentit juottuvat kiinni piirilevyn juotosalueille kuuman ilman lämmittäessä juotospastaa. Uunissa on viisi vyöhykettä ylhäältä ja alhaalta tulevalle kuumalle ilmalle. Vyöhykkeiden tehoa ja ilmavirtauden nopeutta voidaan säätää erikseen. Lämmönlähteinä toimivat yleensä keraamiset infrapunasäteilijät. Alla kuva 2 toimeksiantajan reflow-uunista.



KUVA 2. Reflow-uuni: ERSA Hotflow 7 (valokuva Jani Ollikainen.)

ERSA Hotflow 7 on korkealuokkainen pastajuotoslaitteisto, johon on suunniteltu vakiona pasta-juotosprofiileita liimaamiselle, alatatäytölle (underfill) ja kaksipuoliselle lämmitykselle. Hotflow 7 käyttää lämmitykseen hyväkseen laitteen elektroniikasta muodostuvan hukkatehon tuottaman lämmön. Yläpuolella sijaitsevat lämpökasetit ovat vapaasti käytettävissä kaksoissaranoidun hupun myötä. Alapuolen teleskooppikiskoille asennetut lämpökasetit voidaan vetää esille esimerkiksi huoltoa varten. Kondensaation hallintalaitteisto koostuu kahdesta aktiivisesta alueesta, jossa adiabaattinen jäähditys tapahtuu. Adiabaattiset jäähdytysalueet ovat hihnaston alku- ja loppupäässä. Adiabaattinen jäähditys ehkäisee kondensoitumisilmiön. Taajuusohjatut puhallinmoottorit mahdollistavat juotosprofiilien tarkan hienosäädön. Hotflow 7 –järjestelmää voidaan käyttää myös lyijyttömään juotosprosessiin, jossa vaaditaan korkeita lämpötiloja. (Hotflow 7 datalehti, 1.)

## Inerttikaasujärjestelmä

Inerttikaasua käytetään suojaamaan saumakohtia hapettumisilta, ja se on kemiallisesti reaktiokyvyttöön muiden aineiden kanssa. Jalokaasut ovat inerttejä, koska niiden uloimmalla elektronikuorella on täysi määrä elektroneja. Kun uloin elektronikuori on täynnä, atomi ei pysty vastaanottamaan tai luovuttamaan elektroneja, joten se on kyvyttöön muodostamaan kemiallisia reaktioita. ERSA 7 Hotflow:ssä on inerttikaasun ruiskutus. Laitteistossa käytetään inerttikaasuna typpeä, joka on kaksiatominen molekyyli  $N_2$ . Typen käyttö perustuu siihen, että siinä on todella voimakas kolmikertainen kovalenttinen sidos. (Hotflow 7 datalehti, 2.)

## 7 AALTOJUOTOSKONE

Aaltojuotoskoneessa juotetaan läpiladottavat komponentit piirilevyyn pintaliitoskomponenttien esilämmityksen tai juottamisen jälkeen. Näin ollen aaltojuotoskoneen tarkoitus on täydentää piirilevyn juotosprosessia. Aaltojuotoskoneella on myös mahdollista juottaa pintaliitoskomponentteja, jos ne ovat ensiksi liimattu kiinni piirilevyyn. Toiminnassa periaatteena on, että piirilevyt kulkevat hihnalla esilämmityksen läpi ja komponentit juottuvat kulkiessaan sulan juotosaallon yli. Lopputulos riippuu fluksista ja sen levityksestä, tinapadan juoteseoksesta, esilämmityksestä, kuljettimen nopeudesta ja kulmasta, juotospadan lämpötilasta ja tina-aallon tasaisuudesta. Alla kuva 3 aaltojuotoskoneesta.



KUVA 3. Aaltojuotoskone (valokuva Jani Ollikainen.)

Toimeksiantajan tiloissa käytetään aaltojuotoskoneena Seho System 8000-PCS -aaltojuotoslaitetta. Sehon kone on modulaarinen, joten se on muokattavissa vielä jälkeenpäin. Vakiona laitteessa on vaahtoflukseri, mutta se on vaihdettu suljetun tilan ruiskuflukseriin jälkeenpäin. Aaltojuotoskoneeseen on mahdollista lisätä toinen tina-aalto, lämpöpuhallinmoduuli ja ylälämmitykseen IR-lämmittimiä. Esilämmityslinjasto on tällä hetkellä 70 cm pitkä kolmella esilämmittimellä. Pitempiä linjastoja on saatavilla, kuten 140 cm pitkiä kuudella esilämmittimellä ja 220 cm pitkiä seitsemällä esilämmittimellä. (Seho 2010, kappale 2.)

## 7.1 Fluksaus

Ensimmäinen vaihe aaltojuotoksessa on piirilevyn fluksaus ennen esilämmitys- ja aaltovaihetta. Tällä hetkellä toimeksiantajan käyttämässä koneessa on käytössä suljettu ruiskuflukseri. Se yhdistää kaksoisuuttimen avulla kuljetinkaasun ja fluksin. Eri virtausnopeuksien ansiosta syntyvät paineaallot aiheuttavat fluksin hajoamisen suuttimessa erittäin hienojakoisiksi pisaroiksi. Eri virtausnopeudet mahdollistavat fluksin hienojakoisen leviämisen matalassa paineessa. (Seho 2010, kappale 8.)

Ruiskuflukserin suutin on suunniteltu siten, että saadaan aikaan mahdollisimman tasainen ruiskutus-tulos. Suuttimen pää on suunnattu piirilevyn kohtisuorasti alhaalta ylöspäin. Ruiskuflukserin nopeutta ja voluumia voidaan säätää, koska fluksin määrällä piirilevyn juotospinnoilla on suuri merkitys juotostulokseen. Mitä vähemmän fluksia käytetään, sitä puhtaampi piirilevy tulee olemaan. Toisaalta taas liian vähäinen fluksiaineen käyttö aiheuttaa puutteellisen juotostuloksen. (Seho 2010, kappale 8.)

## 7.2 Esilämmitys

Esilämmitys on toinen vaihe aaltojuotosprosessissa. Esilämmityksellä on kolme funktiota aaltojuotosprosessissa:

- Haihduttaa pois fluksin liuotinaineet.
- Aktivoi fluksin kemikaaliset ominaisuudet ennen aaltojuotosta.
- Estää äkillisen lämpöshokin piirilevylle ennen aaltojuotosta.

Lämmitysvastukset lämmittävät piirilevyn pohjaa tasaisesti alapuolelta. Piirilevyjä voidaan myös lämmittää päältäpäin infrapunasäteilijöillä, joita ei ole tällä hetkellä laitteistossa ollenkaan. Esilämmityslinjaston lämmitysmoduulien määrä riippuu linjaston pituudesta. Nyt laitteistossa on 70 cm:n pitkä esilämmitys, joten se sisältää kolme lämmitysmoduulia. Lämmitysmoduulien lämpötiloja voidaan säätää erikseen laitteen omasta ohjauspaneelista. (Seho 2010, kappale 4.)

## 7.3 Juotosmoduuli

Juotosmoduuli muodostuu isosta juotospadasta, pumppukanavista ja aaltosuuttimista. Aaltosuuttimia on kahdenlaisia:

- Ensimmäisenä aaltosuuttimena toimii turbulenti aaltosuutin, "Chip Wave", joka nostattaa korkean tina-aallon.
- Toisena aaltosuuttimena "Delta Wave" uudelleenjuottaa lopullisesti ensimmäisen aallon jälkeen ja korjaa tinasillat.

Aaltosuuttimien asetusta voidaan säätää muuttamalla aaltosuuttimen ja piirilevyn pohjan etäisyyttä toisistaan. Seuraavalla sivulla taulukko 4 eri aaltosuuttimista ja niiden suositelluista etäisyyksistä piirilevyn pohjaan.

TAULUKKO 4. Aaltosuuttimien suositukset (Seho 2010, kappale 5.)

Chip-suutin	13 – 15 mm piirilevyn reunasta mitattuna.
Delta-suutin	7 mm reunasta mitattuna. Varmista, että juote valuu suuttimen takapuolelle, kun piirilevy osuu aaltoon.
LW-suutin (3 riviä)	Yleensä 6 mm mitattuna ensimmäiseltä riviltä. Vaativissa pintaliitoskokoontiloissa etäisyyttä voidaan kasvattaa 9 mm:in.
LW-suutin (5 riviä)	8 mm mitattuna ensimmäiseltä riviltä. Vaativissa pintaliitoskokoontiloissa etäisyyttä voidaan kasvattaa 10 mm:in.
EnergyWave	7 mm läpivientireikien keskeltä pystytasosta mitattuna.

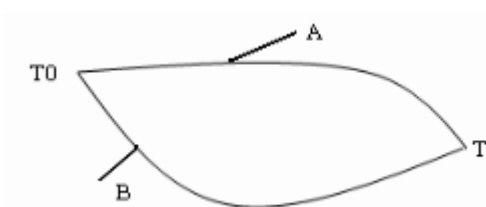
Ensimmäinen aaltosuutin on lisävaruste ja tällä hetkellä sitä ei ole käytössä ollenkaan aaltojuotoskooneissa. Juotosmoduuli koostuu seuraavista osista:

- Tasalämmittimet
  - Tasalämmittimet ovat asennettu juotospadan molemminpuolin.
- Termopari
  - Juotospadan lämpötila säädetään mikrotietokoneen kautta. Tina-aallon kärjessä on termopari, joka ui tina-aallossa ja mittaa lämpötilaa.
- Kuljetin
  - Tina-aallon nostaminen ja laskeminen tapahtuu joko nostamalla tai madaltamalla kuljetinta manuaalisesti tai tasavirtamoottorin avulla ketjukäyttöisesti.
- Juotetason kontrollointi
  - Juotetasoa seurataan kellukkeen avulla, joka on kiinnitetty keinujaan. Jos juotetaso menee liian alas, lähettää anturi hälytyksen ohjauspaneelille. (Seho 2010, kappale 5.)

## 8 LÄMPÖTILAPROFILOIJA

Toimeksiantajan juotoslaitteiden profiloinnin todentamiseen käytettiin TWS RT-03-lämpötilaprofiloijaa. Lämpötilaprofiloija tallentaa omaan muistiinsa lämpötilat termoparien avulla. Laitteessa on paikat kaiken kaikkiaan neljälle termoparille, joten termopareja voi sijoitella piirilevyn erikohtiin, jotta tasainen lämmitysprosessi voidaan todeta ja huomata mahdolliset liian kuumat tai viileät kohdat.

Termoparilla on yksinkertainen rakenne ja riittävä mittaustarkkuus juotosprosessien tutkimiseen. Termopari muodostuu kahdesta eri metallista, jotka nimetään A ja B. Metallit muodostavat keskenään suljetun kehän. Termoparien lämpötilan mittausta perustuu eri lämpötiloihin metalleissa, mitkä aiheuttavat jännitteen. (Zhang 2010, 1.) Termopari on yksinkertaisimmillaan vain kuorittu suoja- muovista mittauspäästä ja kierretty, hitsattu tai juotettu yhteen. (Pietikko 2009, 2.) Seuraavaksi havainnollistava kuvio 3 termopariiliitoksesta.



Kuvio 3. Termopariiliitos solmukohtineen ja kaksi eri metallia, A ja B (Zhang 2010, 1.)

Suljetussa termopariiliitoskehässä on kaksi erilaista solmukohtaa, T0 ja T, jotka yhdessä aiheuttavat sähköisen potentiaalieron. Kuumen pään solmukohta T0 on käytetyssä termoparissa juotettu yhteen. Kylmän pään solmukohta T on ruuvattu lämpötilaprofiloijan mukana tulleeeseen kupariliittimeen. Ilmiötä, jota termopareissa käytetään, kutsutaan lämpövaikutukseksi. Opinnäytetyössä käytettiin profiloinnissa K-tyyppin termopareja, joissa käytetään johdemateriaalina kromia ja alumiinia. K-tyyppin termopari on yleisin termoparityyppi, jonka mittausalue on  $-200-1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja herkkyys noin  $40\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ . (Pietikko 2009, 2.) Alla kuva 4 profilointilaitteesta ja siihen kiinnitetystä termoparista.

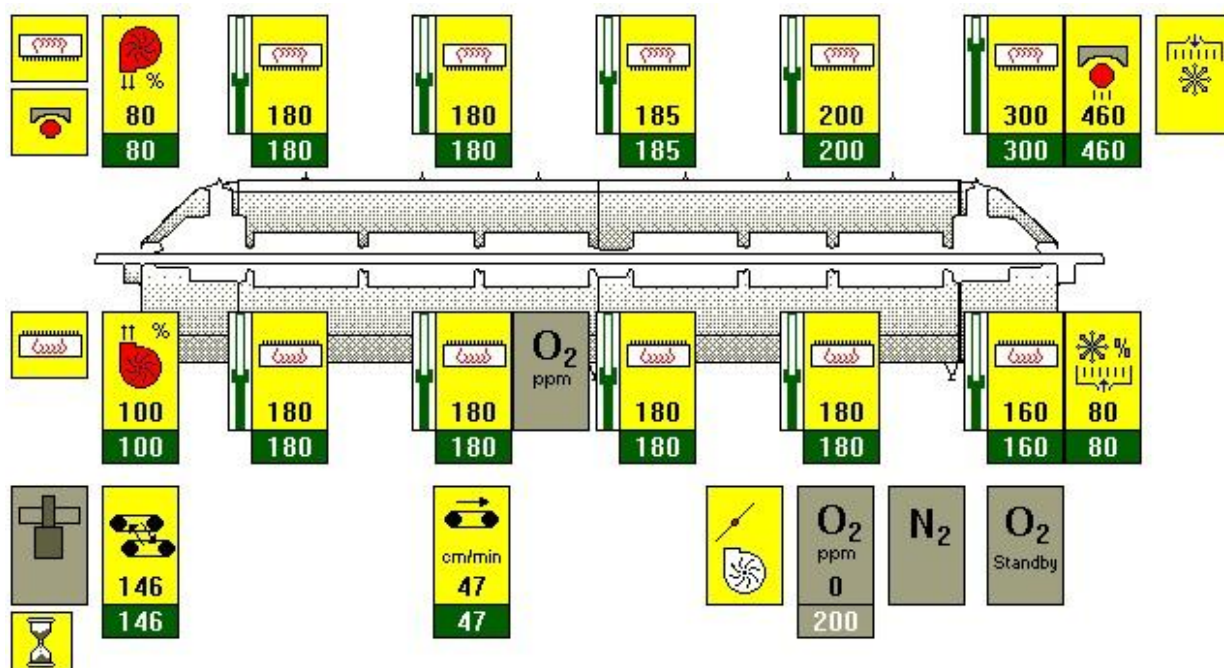


KUVA 4. Profilointilaitte ja siihen liitetyt termoparit ovat kiinni testikortissa (valokuva Jani Ollikainen.)

## 9 JUOTOSPROFIILIT

## 9.1 Reflow-uuni

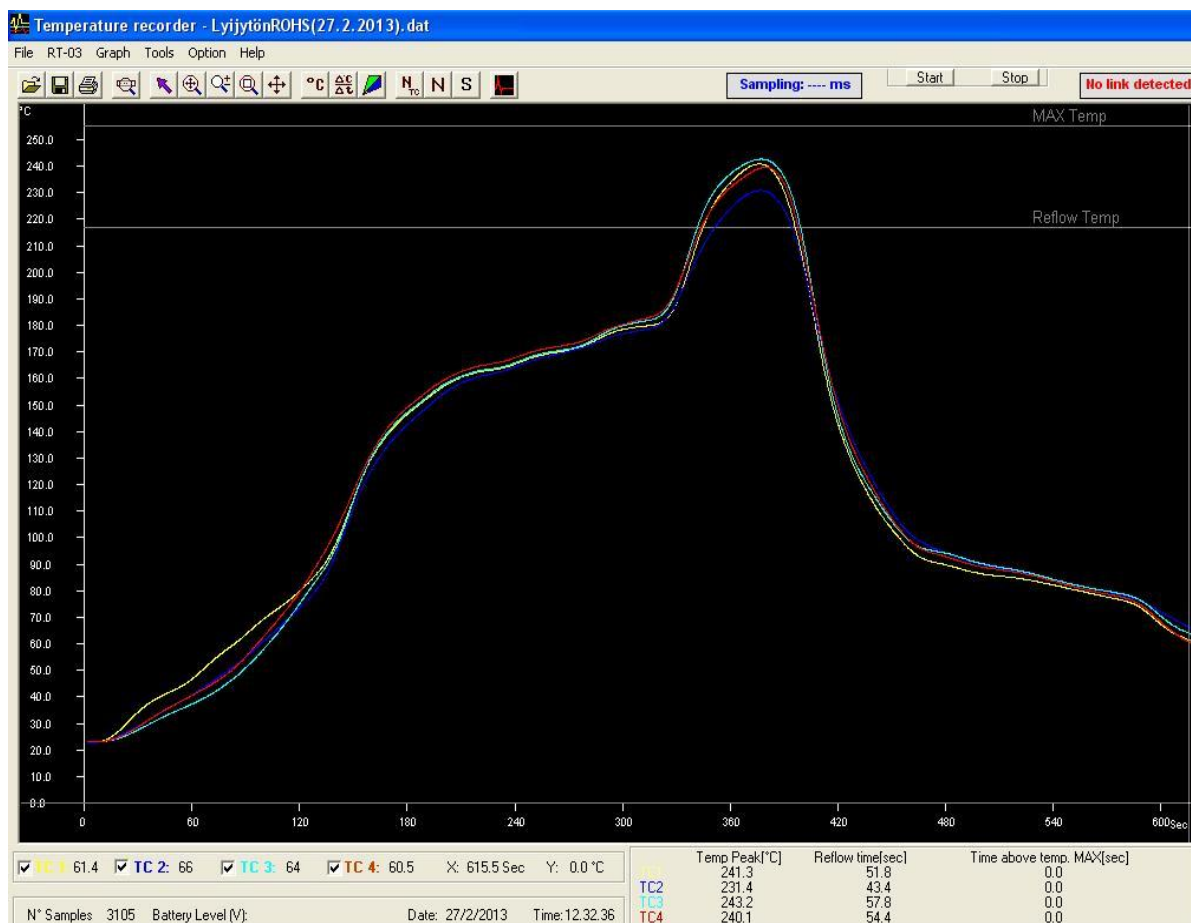
Alla kuvio 4 tämänhetkisistä lämpötilasäädöistä ja asetuksista, joita toimeksiantajan reflow-uunissa käytetään. Kuvasta erottuu keltaisella pohjalla tällä hetkellä käytössä olevat lämmitykset ja toiminta- vaihtoehdot. Esimerkiksi typen käyttö erottuu harmaalla ikonilla  $N_2$ , koska se ei ole käytössä. Hihnan nopeus on 47 cm minuutissa, eli neljän ja puolen metrin linjaston läpimenemiseen menee noin 10 minuuttia.



KUVIO 4. Reflow-uunin asetukset (Ollikainen 15.2.2013.)

Pitkä linjasto ja hidas kuljetinnopeus mahdollistavat tasaisen lämmityksen ja ehkäisevät äkillisten lämpöpiikkien syntymisen. Esilämmitys alkaa puhalttaa päältä 80 %:n teholla ja alhaalta 100 %:n teholla. Lämpötilat kuvaavat vastusten lämpötiloja. Esilämmitys jatkuu 180 °C:n lämmöllä, kunnes nousee 200 °C:seen juuri ennen lopullista 300 °C:n juotoslämpötilaa. Linjaston lopussa jäähdytys tapahtuu 80 %:n puhallintehoilla. Jäähdytys ei saa tapahtua liian radikaalisti, jotta äkillisten lämpötilamuutosten haittavaikutuksilta vältyttäisiin. Kuvio 4 voidaan huomata, että lämmitys tapahtuu kaksipuoleisesti tasaisilla lämmöllä juotosalueelle saakka, minkä jälkeen juottumiseen vaadittava kuuma ilma tulee ylhäältä käsin. Lämpötilaprofiloijakortti asetettiin hihnastolle kolmen termoparin kera, jotka oli sijoitettu eri piirilevyn eri kohtiin, jotta huomattaisiin, miten lämpötilan jakautuu piirilevyn pinnalla. Alla kuvio 5, josta nämä lämpötilamuutokset piirilevyn pinnalla näkyvät ajan suhteen.





KUVIO 5. Reflow-uunin juotosprofiili (Ollikainen 27.3.2013.)

Juotosprofiilin ajan ja lämpötilan suhteen oleellisinta kuviossa 5 on, kuinka hyvin lämpötilakäyrä sopii yhteen tällä hetkellä käytetyn juotospastan profiilisuositukseen. Kuvioista nähdään, että esilämmitys ennen lopullista lämpötilapiikkiä juotoslämpötilaan kestää 320 s, jolloin keskimääräiseksi esilämmitysnopeudeksi tulee  $1,77 \text{ }^\circ\text{C/s}$ . Yli  $217 \text{ }^\circ\text{C}$  ylitysaika on antureilla keskimääräisesti 41 s.

Taulukossa 5 verrataan juotospastan suosituksia tämänhetkiseen reflow-uunin juotosprofiiliin. Taulukossa 6 kuvataan, missä ajassa eri lämmitysvaiheiden lämpötilat juotosprosessissa tulee saavuttaa. Sekä juotospastan suositusprofiiliin että reflow-uunin juotosprofiiliin aikataarkastelu on aloitettu  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  kohdalta, jotta ajat olisivat vertailukelpoisia. Tämä tehdään siksi, koska täytyy ottaa huomioon aika, joka kuluu testikortin lukijan käynnistämisen ja testikortin linjastolle asettamisen välillä. Aloittamalla tulkitseminen  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ :n kohdalta poistetaan mittaaajasta johtuvat aikavirheet, jotka aiheutuvat siitä, että kortti asetellaan kuljettimelle ja se päästetään etenemään.



TAULUKKO 5. Suositusprofiilin ja reflow-uunin juotosprofiilin vertailu (mukaan Heraeus Application Recommendation, 13.)

Profiilit	170 °C	217 °C	Huippuun lämmityksen kesto	Reflow aika
Pastan suositusprofiili	110–150 s	100–140 s	n. 35 s	30–90 s
Tällä hetkellä käytössä oleva profiili	204 s	291 s	29 s	41 s

Juotospastan suositusprofiilissa koko juotosprosessin kesto-aika on reilut 5 min (Heraeus Application Recommendation, 13), ja tällä hetkellä nykyisellä juotosprofiililla kesto-aika on tuplasti suositusta pitempi eli noin 10 minuuttia. Profiileita vertaamalla voidaan huomata, että nykyisessä juotosprofiilissa esilämmitys 217 °C:seen tapahtuu lämmityksen alkupuolella erittäin hitaasti ja loppuosa lämmityksestä ennen juotoslämpötilaa tapahtuu nopeasti. Riskinä on, että fluksiaine ei ehdi aktivoitua eikä kostuttaa juotosalueita kunnolla. Huippupisteeseenlämmitys tapahtuu suositellussa ajassa, mutta itse reflow-aika voisi olla hieman pitempi. Todella pitkissä esilämmitysajoissa riskinä voi olla juotospastan liika kuivuminen, kun taas nopea loppulämmitys ennen juotoslämpötilaa saattaa aiheuttaa liian voimakkaan liuotinaiden haihtumisen. Kuviosta 6 näkyvät reflow-uunin lämmitysnopeudet eri ajanhetkillä.



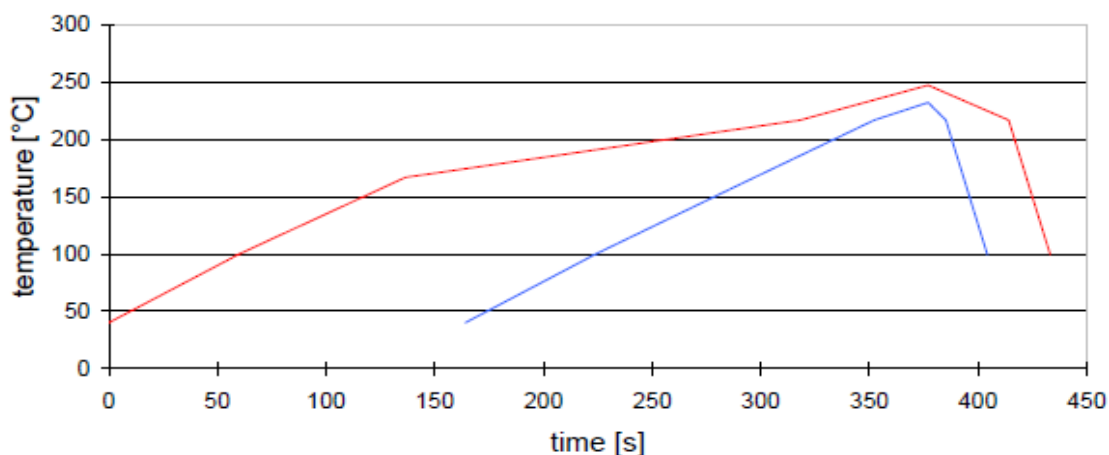
KUVIO 6. Reflow-uunin lämmitysnopeudet ajan suhteen (Ollikainen 27.2.2013.)

Kuviosta 6 nähdään kaksi lämpötilapiikkiä ajanhetkillä 30 s ja 150 s ennen reflow-lämpötilapiikkiä. Nämä kaksi lämpötilapiikkiä ennen reflow-lämpötilapiikkiä pyritään saamaan jaettua tasaisemmin niin, että lämpötilannousunopeus juuri ennen juotospiikkiä olisi pienempi kuin alkupään lämmitysnopeus. Alla taulukossa 6 verrataan lämmitysnopeutta juotospastan suosituksen kanssa.

TAULUKKO 6. Lämmitysnopeudet eri lämmitysvaiheissa (mukaillen Heraeus Application Recommendation, 13.)

Profiili	40-150 °C [°C /t]	150-217 °C [°C /t]	217-240 °C [°C /t]
Pastan suositusprofiili	1,1	0,61	0,46
Tällä hetkellä käytössä oleva profiili	0,84	0,42	0,88

Kuvion 6 ja taulukon 6 perusteella lämmitysnopeuksia olisi hyvin varaa tasata enemmän suositusten mukaan. Kuvion 5 mukaisesti esilämmitysvaiheessa (40–150 °C) näkyy, että suositukset eivät toteudu. Reflow-aikaa pitäisi pidentää tasaamalla lämmitysvaiheen (217–240 °C) lämpötilan nousua. Alla kuvio 7, jossa näkyvät toimeksiantajalla käytetyn juotospastan suositusprofiilin minimi- ja maksimiarvot.

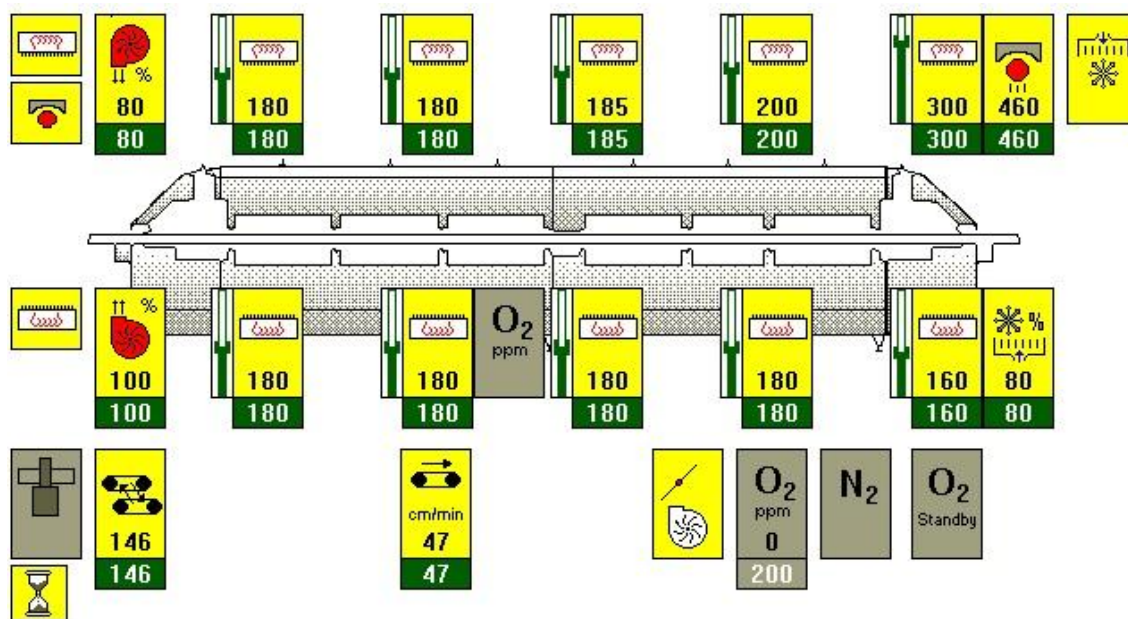


KUVIO 7. Juotosprofiilin minimi- ja maksimiprofiilit (Heraeus Application Recommendation, 15.)

Nykyinen juotosprofiili pysyy Heraeus Application Recommendation -datalehden (15) perusteella kuvion 7 mukaisten raja-arvojen sisällä. Esitellyistä kuvioista (3–6) ja taulukoista (5–6) voidaan todeta nykyisen juotosprofiilin toimivuus, mutta hienosäätövaraa on esilämmityksessä ja reflow-ajan pidentämisessä. Lämpötilannousu koko reflow-uunin juotosprosessissa pitäisi saada selvemmin jaettua kolmeen lämmityssegmenttiin. Esilämmitys pitäisi jakaa kahteen osaan, josta alkulämmitys 150 °C:seen pitäisi saada nopeammalla lämpötilannousulla. Toisen vaiheen alkulämmityksessä (150–217 °C) lämpötilannousua pitäisi tasata ja lämmitysaikaa pidentää. Nousua 217 °C:sta juotoslämpötilaan 230 °C tulisi hieman tasata ja pidentää näin ollen lämmitysaikaa. (Yang ym. 2001, 113.)

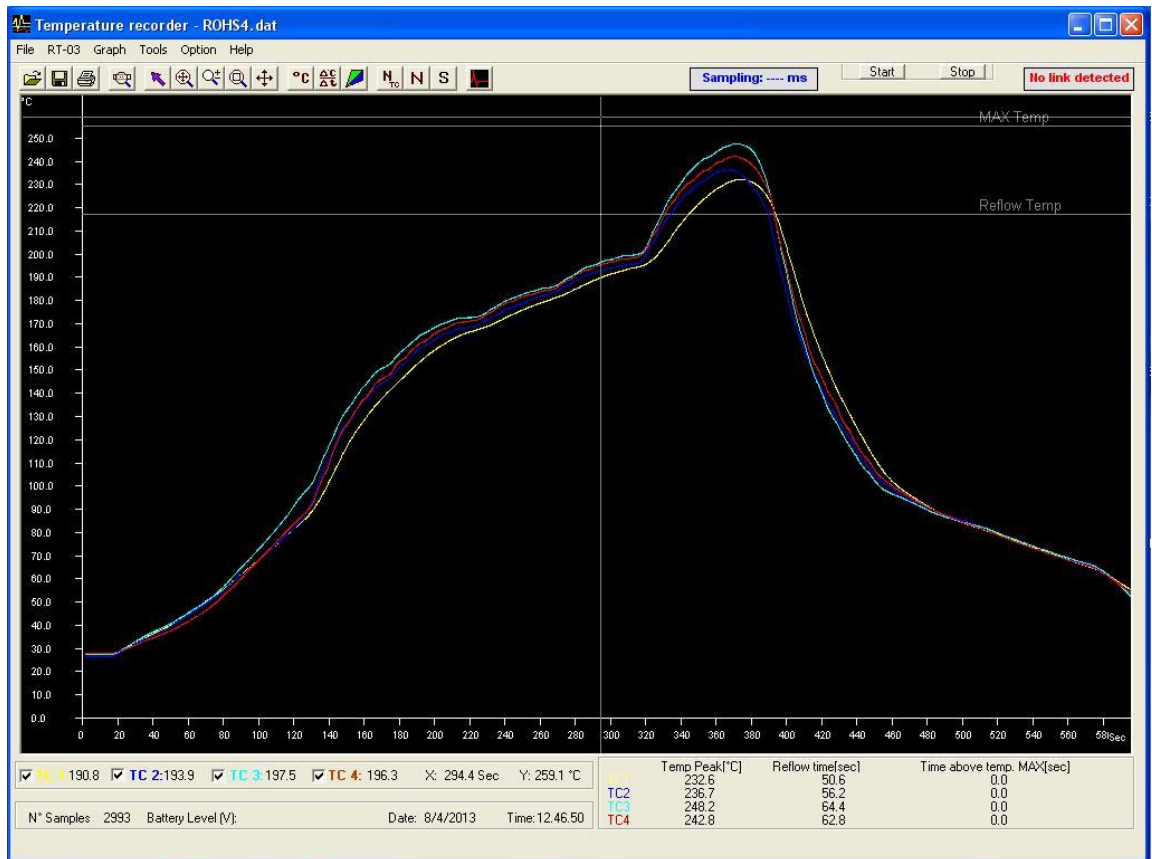
## 9.2 Reflow-uunin uusi juotosprofiili

Uuden reflow-uunin juotosprofiilin säätäminen aloitettiin muuttamalla uunin parametrejä. Varsinkin linjaston alkupään lämpötiloja pyrittiin nostamaan, jotta juotospastan fluksiaineen aktivoitumisaikaa saataisiin pidennettyä ja samalla myös hillittyä lämpötilan nousunopeutta ennen juotoslämpötilaa. Alla kuvio 8 reflow-uunin uusista parametreista. Käytännössä lämpötilaa nostettiin parametrien avulla 5–20 °C väliltä.



KUVIO 8. Reflow-uunin uudet parametrit (Ollikainen 15.2.2013.)

Parametrien säädön jälkeen lämpötilaprofilointikortti asetettiin uudestaan linjastolle, jotta juotosprofiilin haluttu muuttuminen saatiin todennettua ja varmistettua, etteivät lämpötilat nouse liian korkealle linjastolla. Lämpötilojen nostot täytyy tehdä maltillisesti, jotta komponentit eivät kärsisi juotosprosessin aikana. Seuraavalla sivulla kuvio 9 uudesta juotosprofiilista. Kuviossa 9 alkupään esilämmityksessä lämpötilatavoitteisiin päästiin nopeammin kuin vanhassa juotosprofiilissa, joten fluksiaineen aktivoitumisaika piteni ja myös lämmitysnopeutta saatiin hitaammaksi juuri ennen juotosaluetta. Kuviossa 9 juotosalue näkyy nimellä "reflow temp".



KUVIO 9. Reflow-uunin uusi juotosprofiili (Ollikainen 15.2.2013.)

Alla kuvio 10 uuden juotosprofiilin lämmitysnopeuksista.



KUVIO 10. Reflow-uunin uudet lämmitysnopeudet (Ollikainen 15.2.2013.)

Lämmitysnopeuksien tasaaminen oli kaikista haastavinta, sillä reflow-uunin viidellä lämmitysalueella lämpötilojen tasainen nousu on todella vaikea toteuttaa. Jos lämmitysalueita olisi enemmän, lämmitysnopeuksia saisi tasattua paremmin, jolloin lämpötilannousua voitaisiin jakaa selkeämmin kolmeen osaan. Kuviossa (9) lämpötilapiikit 140 s ja 330 s kohdalla eivät ole lyhyen keston takia liian haitallisia toimeksiantajan palveluksessa työskentelevän SMD-operaattorin mukaan.

## 9.3 Höyryfaasi

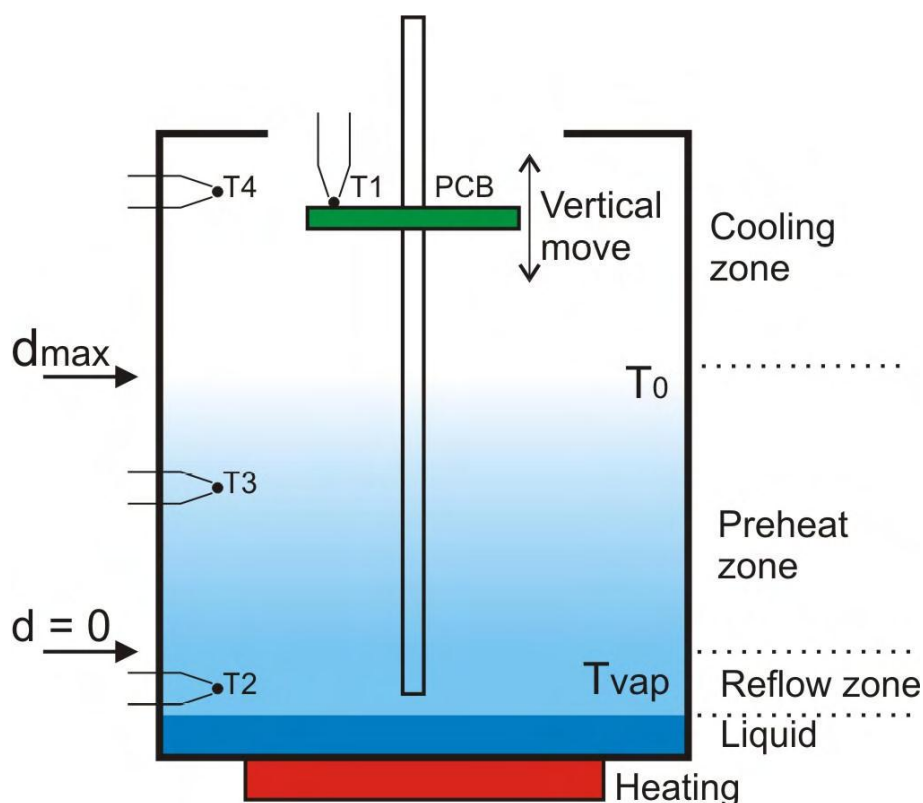
Höyryfaasi on puoliautomaattisesti toimiva laite, joten on lähinnä muistettava vain yksi nyrkkisääntö: juotospastan sulamispisteen täytyy olla matalampi kuin lämmönsiirtoaineen kiehumispiste höyryfaasissa. Tämä johtuu siitä, että lämmönsiirtoväliaineen kiehuessa höyry on oleellisin juotospastan lämmittäjä sulamispisteeseen saakka. Ilmakehän paineessa lämmönsiirtoväliaineen höyry nousee saman lämpöiseksi kuin lämmönsiirtoaineen kiehumispiste. Lämmönsiirtoväliaineena on tällä hetkellä käytössä Galdenin LS230, jona kiehumispiste on 230 °C. Tällöin myös maksimilämpötila höyryfaasissa on 230 °C. Lämmönsiirtoväliaineella tärkeimpiä ominaisuuksia on viskositeettikyky, jotta se pääsee kunnolla kostuttamaan esimerkiksi BGA-komponenttien jalat. Galdenin lämmönsiirtoväliaineessa on sama ominaisuus: mitä korkeamman kiehumispisteen aine omaa, sitä suurempi myös sen viskositeetti on. Alla taulukko 7 lämmönsiirtoväliaineen ominaisuuksista. (Solvay, 2.)

TAULUKKO 7. Lämmönsiirtoväliaineen ominaisuudet (Solvay, 2.)

Ominaisuus	LS/230
Kiehumispiste	230 °C
Tiheys 25 °C	1,82 g/cm <sup>3</sup>
Kinemaattinen viskositeetti 25 °C	4,4 cSt
Höyrynpaine 25 °C	<10 <sup>-1</sup> Torr
Höyrystymislämpö kiehumispisteessä	15 cal/g
Pintajännitys 25 °C	20 dynes/cm
Keskimääräinen molekyylipaino	1085 a.m.u.

Seuraavalla sivulla kuvio 11 höyryfaasin toiminnasta. Piirilevy on merkitty kuvaan vihreänä PCB (Printed Circuit Board) -nimellä. Piirilevy liikkuu höyryfaasin sisällä pystysuorin liikkein ja mitä lähemmäs piirilevy tuodaan pohjalla kiehuva lämmönsiirtoväliainetta, sitä kuumemmaksi höyry myös muuttuu. Käytännössä höyryfaasin juotosprofiilia voi muokata vaikuttamalla aikoihin, joiden mukaan piirilevy viiipyy eri etäisyyksillä ja kuinka nopeasti se lähenee reflow-aluetta. Ideaalisessa höyryfaasikammiossa voidaan laskea lämpötila eri etäisyyksillä kaavan 1 mukaan. (Livovsky, Pietrikova ja Durisin 2008, 1.)

$$T(d) = T_{VAP} * \exp(-d * k) \quad (1)$$



KUVIO 11. Höyryfaasiprosessi (Livovsky ym. 2008, 2.)

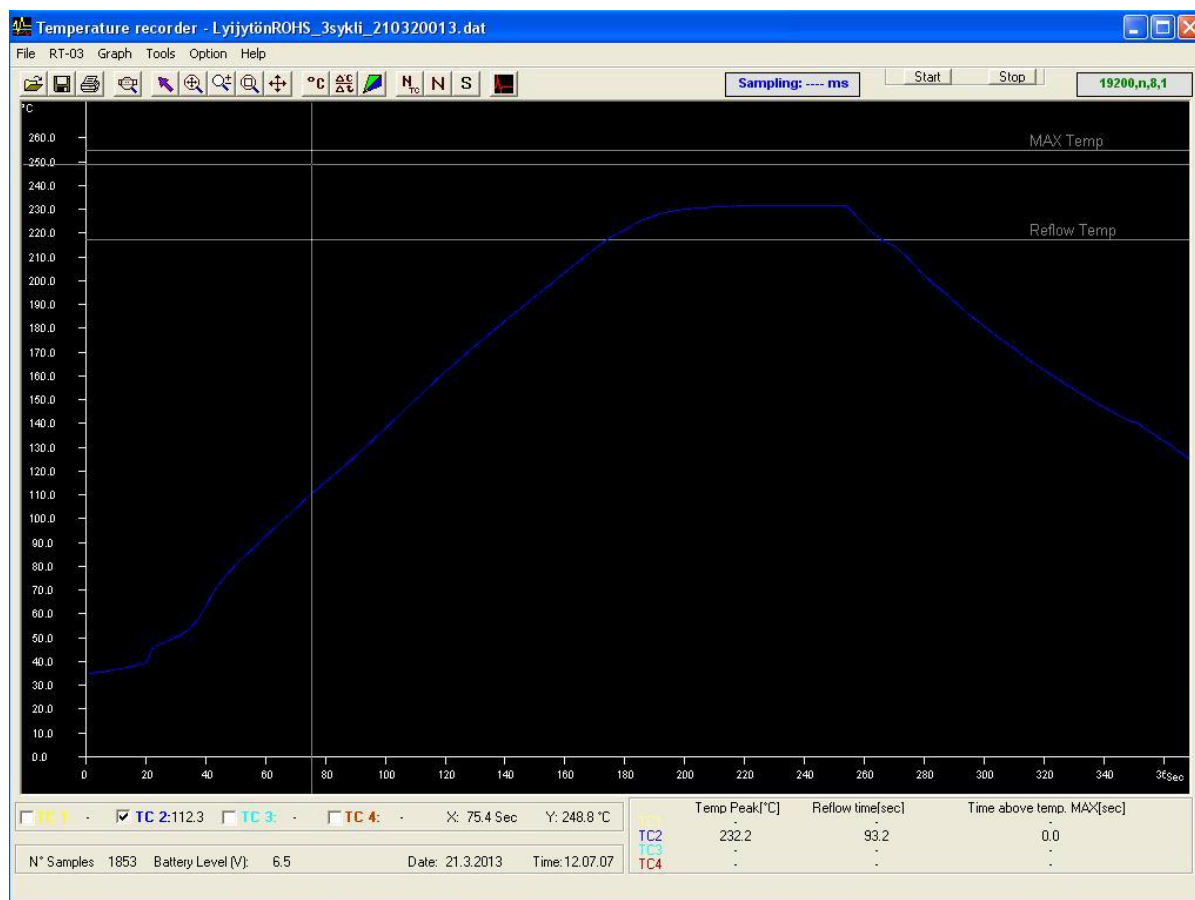
Kaavassa 1  $d$  on etäisyys höyryfaasikammion pohjasta,  $T_{VAP}$  on höyryn lämpötila ja  $k$  vakio, joka riippuu pohjalla olevien vastusten syöttötehosta (Livovsky ym. 2008, 2). Tällä hetkellä käytössä olevan VP800-höyryfaasin muutamia parametreja voidaan säätää, joilla voidaan vaikuttaa juotosprofiiliin. Koneen asetuksissa höyrykammio on jaettu esilämmitysosioon (level 1), reflow-osioon (level 2) ja jäähtyykseen. Höyryfaasissa on käytetty tähän asti enimmäkseen automaattista juotosohjelmaa, joka pyrkii liikuttamaan piirilevyä höyryssä esiohjelmoitusti. Alla taulukko 8 säädettävistä parametreista.

TAULUKKO 8. VP800-höyryfaasin parametrit

Level 1 teho	Vastusten lämmitysteho	%
Level 1 syvyys	Piirilevyn etäisyys nolapisteestä alkuviveen aikana	20 mm
Level 1 aika	Aika, jonka kone käyttää piirilevyn esilämmitykseen ennen lopulliseen syvyyteen laskemista.	10 s
Level 2 teho	Vastusten lämmitysteho	52 %
Level 2 auto	Manuaalinen tai automaattinen aikaviive juotamisessa	päällä tai pois päältä
Level 2 aika	Maksimikokonaisaika juotosprosessissa	360 s
Lämmityksen viive	Koneen omaan juotoslämpötila-aikaan voidaan lisätä vielä oma aikaviive	0 s
Haihtumisaika	Aika, jonka kone antaa noston jälkeen piirilevyn haihduttaa vapaasti lämpöä ennen koneellista jäähtytystä	5 s
Jäähtytysaika	Piirilevyn jäähtyttämiseen käytettävä aika	75 s

Kuviossa 12 esitetään lämpötilaprofiloijakortin tulokset. Lämpötilaprofilointikortti käytettiin nykyisillä asetuksilla höyryfaasissa ja anturin tulokset siirrettiin tietokoneelle. Aikaisemmin toimeksiantajalla

höyryfaasin juotosprofiilia ei ollut tallennettu, joten juotosprofiilitiedot tulivat uutena myös toimek-siantajalle.



KUVIO 12. Höyryfaasin juotosprofiili (Ollikainen 21.3.2013.)

Kuviosta 12 nähdään huomattava ero verrattuna reflow-uuniin juotosprofiiliin. Lämpötila nousee to-della tasaisesti, ja reflow temp -alueella se pysyy erittäin tarkasti 230 °C:ssa, joka on sama kuin lämmönsiirtoväliaineen kiehumispiste. 10 s viive lämpötilaprofilointikortin ollessa höyryyn ylimmässä osassa näkyy pienenä notkona käyrän alkupäässä. Reflow-lämpötila-aika kestää 93 s, mikä ylittää juotospastaan suositukset kolme sekuntia. Reflow-ajan pidennykselle ei näin ollen ole tarvetta. Höyry-faasin viivettä ennen piirilevyn laskemista höyrykammion pohjalle olisi varaa pidentää, jotta juotos-pasta ei joutuisi olemaan niin pitkään korkeissa lämpötiloissa. (Yang ym. 2001, 113.) Seuraavalla si-vulla kuvio 13 höyryfaasin lämmitysnopeuksista.





KUVIO 13. Höyryfaasin lämmitysnopeudet (Ollikainen 2013-03-21.)

Kuviossa 13 ajanhetkellä noin 25 s piirilevy on asetettu höyryfaasin telineeseen ja siitä johtava lämpö on aiheuttanut lämpötilapiikin todella pienellä ajanjaksolla. Näin lyhytaikaiseen piikkiin, jota ei pystytä välttämään piirilevyn asettelussa, ei ole tarvetta puuttua, sillä sen vaikutusaika on niin lyhyt. Ajanhetkellä noin 50 s oleva lämpötilapiikki aiheutuu 10 s:n viiveestä, jonka piirilevy odottaa höyrytason yläosassa ennen laskua lähelle höyryfaasin nolapistettä. Äkilliset lämpötilamuutokset ovat erittäin vähäisiä, mikä on yleistä kondensoitumisilmiön tuottamasta lämmityksestä höyryfaasissa. Kuvion 12 perusteella reflow-juotoslämpötila-aikaa pyritään lyhentämään.

#### 9.4 Höyryfaasin uudet juotosprofiilit

Toimeksiantajan SMD-operaattorin kanssa keskusteltiin höyryfaasin säätömahdollisuuksista ja todettiin, että höyryfaasin parametreista lämmitystehon muuttaminen olisi ainoa vaihtoehto reflow-juotoslämpötila-ajan lyhentämiseen. Päätettiin kokeilla tehon lisäämistä ja vähentämistä 15–20 %, jotta muutosta voitaisiin arvioida. Seuraavalla sivulla kuvioista 14 ja 15 näkyvät eri lämmitystehoilla saadut uudet juotosprofiilit.



KUVIO 14. Höyryfaasin uusi profiili. Teho 35 % (Ollikainen 21.3.2013.)

Kuviosta 14 huomataan, että vähentämällä lämmitystehoa reflow-juotoslämpötila-aika piteni 93 s:ta 468 s:iin. Kyseinen juotosprofiili ei sovellu laisinkaan juotosprosessiin (Yang ym. 2001, 113).



KUVIO 15. Höyryfaasin uusi profiili. Teho 70 % (Ollikainen 21.3.2012.)

Kuviossa 15 lämmitysteho asetettiin 70 %:iin ja huomattiin, että reflow-juotoslämpötila-aika lyheni halutusti. Ongelmaksi syntyi liian nopea esilämmitysjakso, joka tippui alkuperäisestä 140 s lämmityksestä yli puolella eli noin 60 s. Näin nopeassa esilämmityksessä juotospastan fluksiaineet eivät ehdi aktivoitua ja hautakivi-ilmiön todennäköisyys kasvaa huomattavasti, koska piirilevy ei välttämättä ehdi lämmitä tasaisesti joka puolelta (Asscon 2006, 5). Juotospastan suosituksissa aktivointiin suositellaan 110–150 sekunnin esilämmitysaikaa (Heraeus Application Recommendation, 13), joten todettiin, että koneen oma automatiikka 52 %:n lämmitystehoasetuksilla on riittävä. Testikortti kuvattiin kuitenkin nykyisellä juotosprofiililla, mutta koska SMD-operaattorin mukaan juotosprofiilia ei nykyisillä parametrimäärillä pystytä enempää parantamaan, jouduttiin toinen kuvantamiskerta jättämään kustannussyistä pois.

## 9.5 Aaltojuotoskone

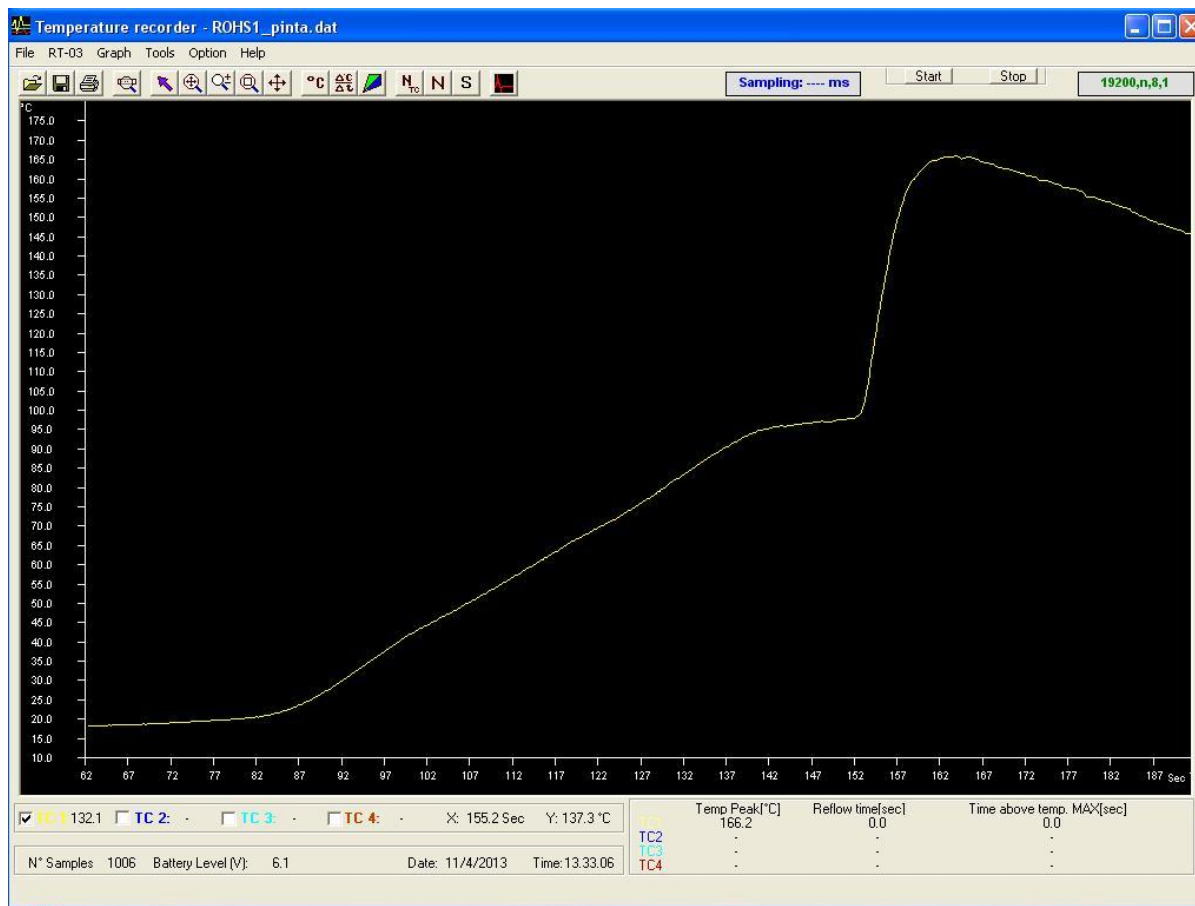
Toimeksiantajan aaltojuotoskoneessa käytetään tällä hetkellä fluksiaineena lyijyttömään ympäristöön yhteensopivaa Alpha EF-6000 -fluksiainetta. Alpha EF-6000 on alkoholipohjainen ja hartsiton (Alpha EF-6000, 3). Tinasekoituksena on käytössä SnCu0,7Ni. Tina valmistaja, Balver Zinn suosittelee, että piirilevyn pintalämpötila ennen tina-aaltoa olisi 110–135 °C ja tina-aallon juotoslämpötila 260–270 °C. Tämän tinasekoituksen sulamislämpötila on 227 °C. Fluksiaineen valmistajalla ei ole suositusta tällä hetkellä toimeksiantajalla käytössä olevaan Balver Zinn SN100C -tinasekoitukseen (Alpha EF-6000, 1–29). Lyijyttömään juottamiseen valmistaja kuitenkin esittää seuraavanvalaisia suosituksia, jotka esitellään taulukossa 9. (Balver Zinn, 1.)

Toimeksiantajan mukaan haastavimpia piirilevyjä aaltojuotoskoneelle ovat piirilevyt, joissa on esiliimattuna pohjapuolelle enemmän kuin 100 SMD-komponenttia ja päältäpäin lisättyjä läpiladottava komponentteja. Piirilevyn SMD-komponentteja ei voida juottaa kiinni ennen läpiladottavien komponentteja, jos SMD-komponentit ovat samalla puolella kuin läpiladottavien komponenttien juotettavat jalat, koska silloin SMD-komponentit tippuisivat irti lämmityksen ja tina-aallon aikana. Toimeksiantajan mukaan pienimpien komponenttien siltaantuminen on suurin ongelma. Valitettavasti testikortiksi ei ollut mahdollista saada vastaavanlaista haastavaa piirilevyä, joten jouduttiin lähestymään juotosprosessin optimointia teorian kautta.

TAULUKKO 9. SN100C-tinasekoituksen suositukset aaltojuottamiseen (Balver Zinn, 2.)

Parametri	Lyijytön juottaminen
Fluksin määrä	Yksi aalto: 500-800 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ (78-124 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ kiintoaineita) Kaksi aaltoa: 850-1400 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ (132-217 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ kiintoaineita)
Yläpuolen esilämmitys	105–120 °C
Alapuolen esilämmitys	140-155 °C
Maksimilämmitysnopeus	2 °C/s
Kuljetinhihnan kulma	4-7°
Kuljetinhihnan nopeus	90-180 cm minuutissa
Aallotusaika	1,5-3,5 sekuntia (2,5-3 sekuntia yleisin)
Tinapadan lämpötila	255–265 °C

Toimeksiantajan aaltojuotoskoneessa ei ole yläpuolelta tulevaa lämmitystä, vaan kaikki lämmitys tapahtuu 70 cm:n alueelta alhaalta päin. Lämmitysalue on jaettu kolmeen osaan siten, että ensimmäinen osa lämmittää 320 °C, toinen 340 °C ja kolmas 380 °C ja hihnannopeus on 80 cm/min. Tinapadan lämpötila on asetettu 270 °C:seen. Haasteellisinta oli arvioida fluksin käyttömäärä, koska sitä säädellään nuppisäätimellä, joka on asetettu 20  $\text{cm}^3$  minuutissa -kohdalle. Esimerkiksi 80 cm minuutissa hihnannopeudella 12 cm pituinen piirilevy kerää silloin noin 3  $\text{cm}^3$  fluksia. Seuraavalla sivulla kuvio 16 aaltojuotoskoneen alkuperäisestä juotosprofiilista.



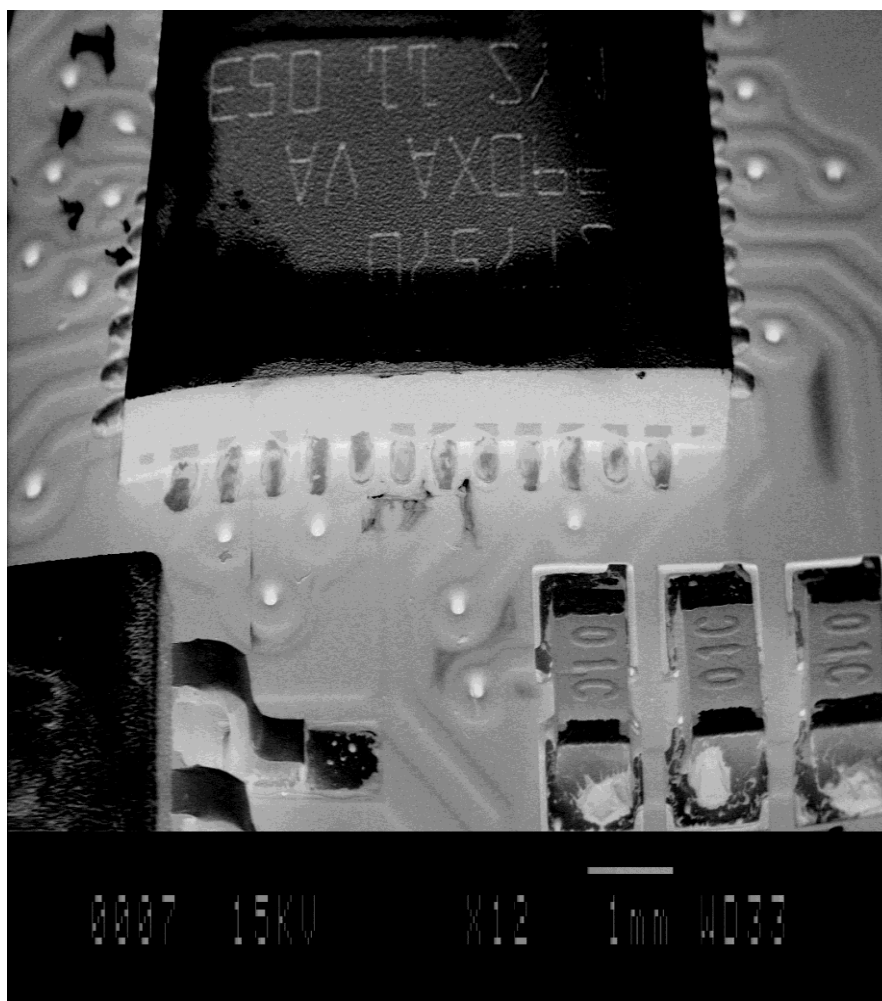
KUVIO 16. Aaltojuotoskoneen alkuperäinen juotosprofiili (Ollikainen, 21.3.2013.)

Kuviossa 16 lämpötila näkyy lämpötilaprofiilikortin tallentamana huomattavasti matalampana kuin reflow-uunin ja höyryfaasin juotosprofiileissa. Tämä johtuu siitä, että termopari on asennettu piirilevyn päälle, jossa lämpötila ei ole yhtä korkea luonnollisesti, koska lämmitys tapahtuu ainoastaan alhaalta päin. Termoparia ei voi sijoittaa piirilevyn alapuolelle, koska termopari ei pysyisi kiinni piirilevyssä tahnan avulla koko juotosprosessin ajan. Kuviossa 16 nähdään, milloin esilämmitys ajallisesti alkaa ja missä kohdassa piirilevy osuu tina-aalto. Esilämmitys alkaa noin 80 s kohdalla ja päättyy noin 140 s kohdalla. Näin ollen fluksiaineen aktivoitumisajaksi jää 60 s. Fluksiaineen valmistaja ei ilmoita datalehdessään, mikä on fluksiaineen esilämmitysaajan suositus, jotta liutainaineet ehtisivät aktivoitua ja juotosalueet vettyä ennen varsinaista juotosta (Alpha EF-6000, 1 - 29).

Aaltojuotoskoneeseen on mahdollista lisätä toinen tina-aalto, joka haastavissa piirilevyissä poistaisi tinan siltautumista SMD-komponenteissa. Kahden tina-aallon idea perustuu siihen, että ensimmäinen chip-aalto esitinaa komponentit ja täyttää osittain piirilevyn läpivientireiät, minkä jälkeen varsinainen delta-aalto siivoaa chip-aallosta jääneet siltaukset ja täyttää läpiviennit loppuun asti (Martin Tarr 2008). Opinnäytetyötä varten kuvannettiin piirilevy, johon oli aseteltu piikkirimoja, jotta aaltojuotoskoneen jäljen tason voitiin havaita. Opinnäyteyöhön ei saatu haastavampaa testikorttia, joten siltaantumisen vähentymistä mahdollisilla juotosprofiilin muutoksilla ei päästy tarkastelemaan.

## 10 TESTIKORTTIEN KUVANTAMINEN

Opinnäyteytössä kuvannettiin testikortit, jotka olivat käyneet läpi juotosprosessin alkuperäisillä juotosprofiileilla. Jälkeenpäin myös kuvannettiin uudet testikortit, kun juotosprofiileihin oli tehty ehostuksia opinnäyteytön pohjalta. Kustannussyistä testattiin, miten kuvantaminen olisi onnistunut SEM:n eli pyyhkäiselektronimikroskoopin avulla. Pyyhkäiselektronimikroskoopissa kuva muodostuu fokusoidusta elektronisuihkusta, jota pommitetaan näytteen pintaan. Laite tunnistaa pinnasta irtoavat sekundääriset elektronit ja muodostaa niistä kuvan. Kuvauksen aikana näytettä pidetään aina tyhjiökammiossa. (Savonia-ammattikorkeakoulu.) Seuraavaksi pyyhkäiselektronimikroskoopilla piirilevystä otetusta kuvasta 5.



Kuva 5. SEM:n avulla otettu testikuva (Halvari 2013-04-10.)

Koska SEM:llä ei ole läpivalaisukykyä ja päältäpäin se ei anna riittävästi informaatiota juotoslaadusta (Savonia-ammattikorkeakoulu), päätettiin kuvantaa testikortit röntgenillä. Halvarin kanssa käydyn keskustelun (19.4.2013) mukaan SEM näyttää vaaleana alueet, jotka johtavat hyvin sähköä ja tummina huonosti sähköä johtavat alueet, mutta juotoksen sisällä olevat kaasukuplat eli tyhjiötaskut tai mahdolliset hiusmurtumat eivät paljastu. Reflow-uunin testikorteista otettiin röntgenkuvat ennen juotosprofiilin optimointia ja sen jälkeen. Höyryfaasin ja aaltojuotuskoneen testikorteista otettiin vain röntgenkuvat alkuperäisillä juotosprofiileilla.

Röntgenkuvauksissa käytettiin Savonia-ammattikorkeakoulun Skyscan 1172 CT-analysaattoria. Röntgensäteilyssä kiinteiden aineiden kiderakenne aiheuttaa diffraktoilmiötä, kun röntgenaallot osuvat näytteeseen. Röntgensäteilyn aallonpituus on atomien läpimitan kanssa samaa luokkaa, joten läpäisykyky on huomattavasti parempi kuin elektronipyyhkäisimikroskoopilla. Röntgensäteilyn aaltoalue on 3–0,03 nm. (Nasa). Röntgenlaitteen kuvausparametreinä olivat 100 kV ja 100  $\mu$ A.

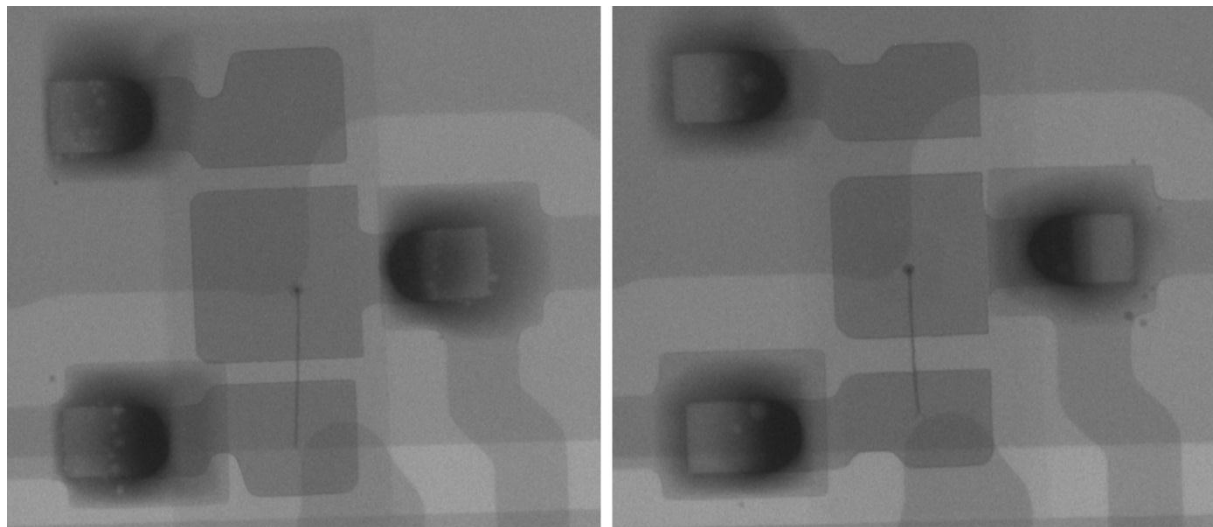
### 10.1 Kaasukuplat juotoksessa

Kaasukuplat eli voidit ovat yksi suurimpia vikojen aiheuttajia juotoksessa. Niiden tunnistaminen ja ehkäiseminen jo tuotantovaiheessa voivat edesauttaa vähentämään takuuhuoltoja ja jo heti alkuvaiheessa viallisten loppukokoonpanojen määrää. Voideja on mahdotonta huomata paljaalla silmällä visuaalisessa tarkastuksessa, joten kaksiulotteiset röntgenkuvat ovat yleisin tapa etsiä niitä. (Said, Bennet, Karam, Siah, Goodman ja Pettinato, 2012.)

Voidit ovat erittäin pieniä onteloita, joita on muodostunut juotosprosessin aikana juotokseen. Syitä tähän voi olla liian vähäinen juotospastan lämmitysaika, jolloin osa fluksiaineen kaasuista jää jumiin juotokseen. Myös piirilevyn epäpuhtaudet vaikuttavat voidien syntyyn. Voidit ilmenevät röntgenkuvisa vaaleina alueina, joita on satunnaisesti juotosalueilla. Voidien tarkastelussa kriteereinä käytetään niiden kokoa, esiintymismäärää ja niiden sijoittumista juotosten sisällä. (Said ym. 2012.)

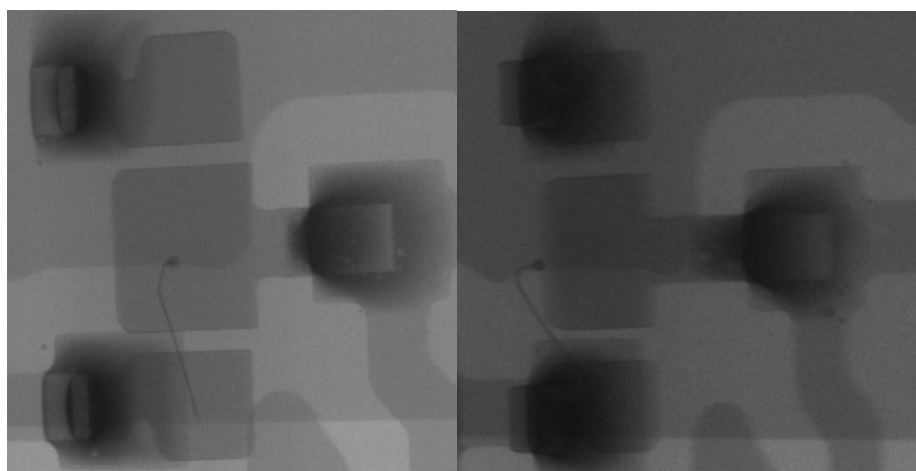
## 10.2 Röntgentulokset

Reflow-uunin juotosprofiilin optimoinnin avulla päästiin odotettuihin lopputuloksiin eli juotosjälkeä saatiin ehostettua. Voidien määrän vähentymisen näkee jo aistinvaraisesti. Alla kuva 6 ennen ja jälkeen reflow-uunin juotosprofiilin optimointia.



KUVA 6. Reflow-uunin testikorttien röntgenkuvat. Vasemmalla kuva ennen juotosprofiilin optimointia ja oikealla optimoinnin jälkeen (Halvari 19.4.2013.)

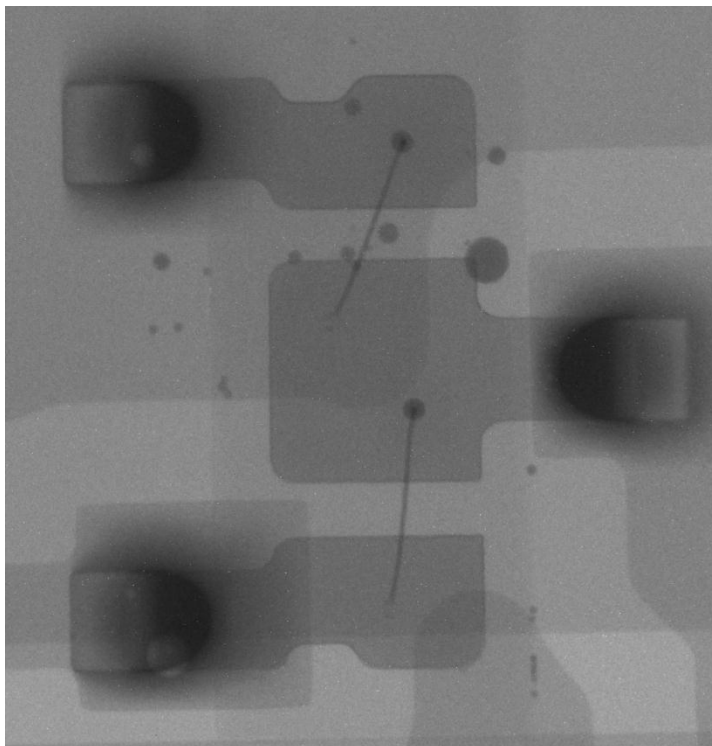
Kuvassa 7 on reflow-uunin testikorttien voidien sijainnit 65 asteen kulmassa. Näiden kuvien tarkoitus on havainnollistaa voidien tarkempi sijainti juotoksessa. Kuvasta 7 nähdään, että voidit olivat sijoittuneet myös juotosten juureen ennen juotosprofiilin optimointia. Juotosten juuressa esiintyvät voidit vaikuttavat juotoksen kestävyysvakavuuteen enemmän kuin voidit, jotka ovat keskellä juotosta. (Said ym. 2012.)



KUVA 7. Reflow-uunin testikorttien röntgenkuvat sivuttain kuvannettuna. Vasemmalle alkuperäinen juotosprofiili ja oikealla ehostettu juotosprofiili (Halvari 19.4.2013.)

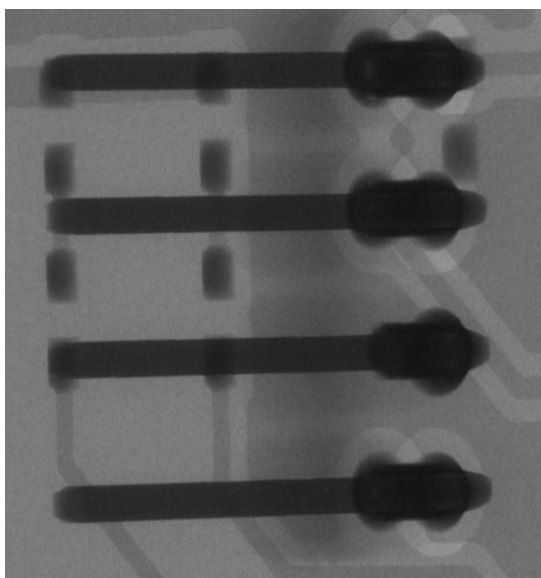


Höyryfaasiin ei otettu käyttöön uutta juotosprofilia, joten vain nykyisen juotosprofiilin testikortti kuvannettiin. Alla höyryfaasin testikortin röntgenkuva 8. Kuvassa tummat läikät ovat fluksin jäänteitä, joita on jäänyt komponentin alle (Said ym. 2012).



KUVA 8. Höyryfaasin testikortin röntgenkuva (Halvari 19.4.2013.)

Seuraavaksi aaltojuotoskoneen testikortin röntgenkuva (9).



KUVA 9. Aaltojuotoskoneen testikortin röntgenkuva (Halvari 19.4.2013.)

## 11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäyteytössä oli tavoitteena optimoida toimeksiantajan Elektropoint Oy:n tuotannossa käytettyjen juotoslaitteiden juotosprofiileita ja juotosprosesseja, joissa käytetään lyijytömiä tinaseoksia ja juotospastoja. Kohdelaitteet olivat reflow-uuni, höyryfaasi ja aaltojuotoskone. Juotosprosessien optimointi toteutettiin kirjallisuuskatsauksessa esitellyn teoretiedon avulla.

Toimeksiantajan mielestä reflow-uunin uudelleenprofilointi oli onnistunut vähentyneiden voidien ansiosta ja uusi juotosprofiili otetaan todennäköisesti käyttöön aluksi pienemmissä ladontasarjoissa. Juotosprofiilia muokattiin aiempaa tarkemmin juotosprosessissa käytetyn juotospastan suositusten mukaisesti. Juotoslaadun parantuminen voi vähentää elektroniikkalaitteissa kentällä syntyvien kylmäjuotosten määrää.

Höyryfaasin juotosprofiilin optimointia estivät loppuen lopuksi vähäiset parametrien syöttömahdollisuudet. Höyryfaasin toimintaan ei valmistajan antamilla parametrivaihtoehdoilla pystytty liiemmin vaikuttamaan, sillä ainoa parametri, jolla reflow-juotosalueaikaa pystyttiin lyhentämään, oli lämmitystehon nostaminen. Se lyhensi esilämmitysaikaa liian paljon, joten sitä ei voitu hyväksyä juotosprofiilin parannuskeinoksi.

Aaltojuotoskoneen suurimmat haasteet liittyivät SMD-komponenttien siltaantumiseen. Aaltojuotoskoneeseen olisi suositeltavaa hankkia pienempi chip-aalto varsinaisen delta-aallon lisäksi, jotta siltausta saataisiin jatkossa vähennettyä SMD-komponenttien aallottamisen yhteydessä. Myös tinavalmistajan Balver Zinin oman fluksiaineen käyttö voisi parantaa tinan ja fluksiaineen yhteensopivuutta aallotusprosessissa. Kaikki siltaantumiseen vaikuttavat tekijät liittyivät aaltojuotoskoneen kokoonpanoon, eli pelkästään aaltojuotoskoneen nykyisiä parametrejä muuttamalla ei olisi voitu ehkäistä siltaantumista. Opinnäytetyötä varten ei saatu tarpeeksi haastavaa, SMD-komponenteilla varustettua testikorttia, jolla olisi voitu tutkia siltaantumista myös käytännössä.

Opinnäyteytössä päästiin haluttuun lopputulokseen ja saatiin selvitettyä nykyiset juotosprosessit ja -profiilit sekä optimoitua ne mahdollisuuksien mukaan. Opinnäytetyön ansiosta höyryfaasin juotosprofiili ja aaltojuotoskoneeseen liittyvät mahdolliset lisähankinnat ovat nyt toimeksiantajan tiedossa.

## LÄHTEET

- ALPHA EF-6000, product guide. [verkkoaineisto]. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: <http://alpha.alent.com/~/media/Files/CooksonElectronics/PG-EF6000-WSF-WWE-SM000%20%2005-02-14.pdf>
- ASSCON 2006. Vapour-Phase Soldering System Application Manual. [valmistajan manuaali].
- BALVER Zinn, Electronic Technical Data Sheet Balver Zinn solder SN100C. [verkkoaineisto]. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: [http://www.balverzinn.com/solderSN100C.html?file=tl\\_files/balverzinn/downloads/datenblaetter\\_en/Solder%20SN100C%20\\_Ce\\_.pdf](http://www.balverzinn.com/solderSN100C.html?file=tl_files/balverzinn/downloads/datenblaetter_en/Solder%20SN100C%20_Ce_.pdf).
- ERSA Hotflow 7 DATA. [verkkoaineisto]. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: <http://www.inter-company.com/Hotflow-7.pdf>
- ERSA 2000. Operational Instructions Hotflow 7. [valmistajan manuaali].
- HAVIA, E., MONONEN, H., BERNHARDT, E., ja ALATALO, M. 2010. Comparing SAC and SnCuNi Solders in Lead-Free Wave Soldering Process. Electronics 3K Factory 2005. [verkkoaineisto]. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: [http://www.3ktehdas.com/uutiset/Next\\_05.pdf](http://www.3ktehdas.com/uutiset/Next_05.pdf)
- HERAUS Technische Infromation / Application Recommendation. Solder Paste Series F 640. [verkkoaineisto]. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: <http://www.drihm.com/pdf/F640.pdf>
- LI LI, Yang Rao ja JONG-KAI, Lin 2001. Pb-Free Solder Paste Reflow Window Study for Flip Chip Wafer Bumping. 2001 International Symposium on Advanced Packaging Materials [digilehti] 112 - 118. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=916559&queryText%3DPb-Free+Solder+Paste+Reflow+Window+Study+for+Flip+Chip+Wafer+Bumping>
- LIVOVSKY, L., PIETRIKOVA, A. ja DURISIN, J 2008. Monitoring of the Temperature Profile of Vapour Phase Reflow Soldering. Electronics Technology [digilehti] 667 - 669. [viitattu 2013-03-26]. <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5276585>
- MARTIN, Tarr, What You Always Wanted to Know About Wave Soldering But Were Afraid To Ask. [verkkoaineisto]. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: <http://www.scribd.com/doc/3972241/What-You-Always-Wanted-to-Know-About-Wave-Soldering-but-Were-Afraid-to-Ask>
- MING, Zhan 2010. Research and Implement of Thermocouple Sensor and Microcontroller Interface. Multimedia Technology [digilehti] 1 - 3. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5630931>
- MINGES, Merrill, L. 1989. Electronic Materials Handbook. Volume 1 Packaging, ASM International. [verkkoaineisto]. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: [http://books.google.fi/books?id=c2YxCCaM9RIC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.fi/books?id=c2YxCCaM9RIC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- NASA, National Aeronautics and space administration, X-rays.[verkkoaineisto]. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: <http://science.hq.nasa.gov/kids/imagers/ems/xrays.html>
- PIETIKKO Oy 2009. Termopareista. [verkkoaineisto] [viitattu 2013-03-26]. Saatavilla: [www.pietiko.fi/pietiko/sovellus/Termopari.pdf](http://www.pietiko.fi/pietiko/sovellus/Termopari.pdf)
- SAID Asaad, BENNET Bonnie, KARAM Lina, SIAH Alvin, GOODMAN Kyle ja PETTINATO Jeffrey 2012. Automated Void Detection in Solder Balls in the Presence of Vias and Other Artifacts. Components, Packaging and Manufacturing Technology [digilehti] 2, 11, 1890 - 1901. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.savoniaamk.fi:2048/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6317150>
- SAVONIA AMMATTIKORKEAKOULU, JEOL JSM-840 Pyyhkäisyelektronimikroskoopin käyttö.
- SEHO 2010, Seho System 8000-PCS Manual.

SOLVAY Solexis Galden PFPE Vapor Phase Fluids. [verkkoaineisto]. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: <http://www.bt-electronics.com/wp-content/uploads/2012/01/Galden-VP-LS.pdf>

TALOUSSANOMAT. Raaka-aineet: Teollisuusmetallit. Pörssijulkaisu [verkkajulkaisu]. Raaka-ainehinnat tarkistettu 15.2.2013. [viitattu 2013-03-26]

TUKES 2012. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. RoHS – Vaarallisten aineiden käytön rajoittaminen. Direktiivi 2011/65/EU [verkkajulkaisu]. [viitattu 2013-03-26]. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/RoHS---Vaarallisten-aineiden-kayton-rajoittaminen/>