

Markku Heikkinen

TTA310-ANTENNA-PIIRIKORTIN REFLOW-JUOTOSPROSESSIN
OPTIMOINTI

Insinööriö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
5.11.2007



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ
TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Markku Heikkinen	
Työn nimi TTA310-ANTENNA-PIIRIKORTIN REFLOW-JUOTOSPROSESSIN OPTIMOINTI	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Elektroniikkatuotanto	Ohjaaja(t) Pekka Juntunen
	Toimeksiantaja Tracker Oy
Aika 5.11.2007	Sivumäärä ja liitteet 54+2
<p>Tämän insinööriyön toimeksiantaja Tracker Oy on yksi maailman merkittävimmistä eläinpaikannuslaitteiden valmistajista. Yritys on toiminut alalla jo kolmekymmentä vuotta. Pääkonttori, suunnittelu ja tuotekehitys sekä valmistus sijaitsevat Oulunsalossa. Myyntikonttoreita ja edustuksia on ympäri maailmaa.</p> <p>Insinööriyössä keskityttiin yhden uuden tuotteen reflow-juotosprosessin ohjelman tekoon ja muokkaamiseen juotoskoneelle. Juotosohjelma oli luotava lyijyttömiä materiaaleja ja juotteita varten. RoHS-direktiivin tultua voimaan 1.7.2006 lyijyä sisältäviä elektroniikkalaitteita ei saa enää tuoda Euroopan markkinoille.</p> <p>Juotosohjelma luotiin aikaisempia juotosohjelmia hyväksi käyttäen. Juotosprofiilin mittauksessa oli käytössä Kajaanin ammattikorkeakoulun profiilimittauslaitteisto SuperMOLE. Juotosjäljen tutkimisessa käytettiin lisäksi koulun tetauslaboratorion Phoenix X-ray -analysointilaitetta. Molemmat laitteet tulivat työn edetessä erittäin tutuiksi työkaluiksi.</p> <p>Ongelmia työssä aiheutti lähinnä työn kohteena olevan piirikortin komponenttivalikoima. Kortilla olevat komponentit olivat kooltaan hyvin erikokoisia, joten niiden juotukseen tarvittava lämpöenergia oli niin erilainen. Lisäksi vaikeuksia tuottivat juotoskoneiden pienet tehot.</p> <p>Tuloksena saatiin toimiva juotosohjelma työn kohteena olevalle piirikortille. Sen lisäksi löytyi aikaisemmin käytössä ollut juotospasta paremman juotostuloksen aikaansaava pasta, jonka toimeksiantajayritys otti ensisijaiseksi juotteeksi tuotantoonsa.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	reflow-juottaminen, profiilointi, RoHS-direktiivi, TTA310-antenna
Säilytyspaikka	X Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta X Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author(s) Markku Heikkinen	
Title Optimization of the Reflow Soldering Process of the TTA310 Antenna PCB	
Optional Professional Studies Electronics Production	Instructor(s) Pekka Juntunen
	Commissioned by Tracker Oy
Date 30 November 2007	Total Number of Pages and Appendices 54+2
<p>This Bachelor's thesis was made for Tracker Oy. The objective of the thesis was to develop an optimal reflow profile for one new PCB. Because of RoHS directive, lead-free technology was taken into use on 1st of July 2006. Therefore, the profile of this process had to be made lead free.</p> <p>Tracker Oy, which was established in 1977, is specialized in tracking and telemetry devices. Tracker's animal tracking solutions are based on three main technologies: radio tracking devices, GPS/GSM positioning devices, and software for these solutions. In this field Tracker Oy is a leading pioneer in the whole world.</p> <p>Previously created leaded soldering programs were used in this process. The temperatures and profile duration had to be changed for lead-free soldering. Lead-free technology caused a lot of problems. For instance, the process temperatures tend to rise considerably and the power of the used soldering machines seemed to be too low.</p> <p>In the profile measurement and inspection, the equipments of Kajaani University of Applied Sciences was used. For example, the thermal profiler Super MOLE and Phoenix X-ray analyzer from the production and testing laboratory were used.</p> <p>As a result of the thesis, an excellent reflow soldering program was made. A new, better solder paste was found, of which Tracker Oy took as their primary Pb-free solder paste.</p>	
Language of Thesis Finnish	
Keywords	reflow-soldering, profiling, RoHS-directive, TTA310-antenna
Deposited at	X Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences X Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	1
2 TYÖN KUVAUS JA TAVOITE	2
3 RADIOPAIKANNUS	4
3.1 Perinteinen radiopaikannus	5
3.2 GPS-paikannus	5
4 REFLOW-JUOTTAMINEN	7
4.1 RoHS- direktiivi	7
4.2 Konvektio- eli kiertoilmajuotoskone	8
4.3 Infrapunajuotoskone	9
4.4 Höyryfaasijuotoskone	10
4.5 Lämpöprofilointi reflow-juotoksessa	11
4.5.1 Painopiirilevyn profilointi	13
4.5.2 Profilointilaitteisto	13
4.5.3 Termoparit	14
4.5.4 SuperM.O.L.E.Gold	15
4.6 Reflow-juotteet	17
4.7 Juotospastat	17
4.7.1 Lyijyllinen juotospasta	19
4.7.2 Lyijytön juotospasta	19
4.7.3 Lyijyllinen ja lyijytön juote juotosprosessissa	21
5 RÖNTGEN ELI X-RAY	22
5.1 Röntgenlaitteiden kehitys	22
5.2 Röntgenputki	23
5.3 Röntgenin teollisuuskäyttö	24
5.4 Röntgen elektroniikkateollisuudessa	24
6 PIIRIKORTTI TTA310-ANTENNA	26

6.1 Piirikortti	26
6.2 Alkuperäinen juotosprofiili	28
6.3 Juotosprofiilin muokkaaminen:	31
6.3.1 Juotosprofiilin testaus	32
6.3.2 SEF 544.60 IR-juotoskone	33
6.3.3 Juotosohjelman testaus	37
6.4 Juottaminen höyryfaasilla	38
6.5 Stensiilin paksuuden vaikutus	38
6.6 Pasta	40
6.7 Röntgentutkimus	41
7 TULOKSET	42
7.1 Juotosprofiili	42
7.2 Juotoskone	42
7.3 Stensiili	43
7.4 Pastat	43
7.5 Röntgentutkimuksen tulokset	44
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	47
8.1 Profilointi	47
8.2 Juotoskone	48
8.3 Stensiili	48
8.4 Juotospasta	49
8.5 X-Ray -tutkimus	49
8.6 Muita havaintoja	49
9 YHTEENVETO	51
LÄHTEET	52
LIITTEET	

1 JOHDANTO

RoHS-direktiivin (RoHS on lyhenne EU:n direktiivistä 2002/95/EC: the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment) tultua voimaan 1.7.2006 on se aiheuttanut monessa yrityksessä uudistustarpeita tuotannon prosesseissa ja raaka-aineiden käytössä. Elektroniikka-alan yrityksissä konkreettisemmin direktiivi on vaikuttanut komponenttien ja juotosmateriaalien valinnassa ja juotosprosessien säätämisessä. [1.]

RoHS-direktiivin vaatima lyijyttömyys on aiheuttanut elektroniikan tuotannossa päänvaivaa eniten lyijyttömän tinan vaatiman korkeamman sulamislämpötilan vuoksi. Lyijytön tinajuote vaatii noin 30 astetta korkeamman juotoslämpötilan kuin lyijyä sisältävä juote. Lisäksi juotosprosessin kesto aika esilämmityksineen joudutaan muokkaamaan uudestaan. [2.]

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli muokata yhdelle uudelle tuotteelle reflow-juotosprosessi lyijytöntä juotetta käyttäen. Työn tilaajayritys Tracker Oy on siirtynyt kaikissa tuotteissaan käyttämään lyijytöntä valmistusprosessia ja lyijyttömiä komponentteja.

Tracker Oy on v. 1977 perustettu oulunsalolainen yritys. Yritys on ollut edelläkävijä jo usean vuosikymmenen ajan eläinten paikannuslaitteiden suunnittelijana, kehittäjänä, valmistajana ja markkinoijana. Tracker Oy valmistaa alan johtavia tuotteita sekä villieläinten että lemmikkieläinten paikannukseen. [3.]

Laitteet perustuvat kahteen teknologiaan: radiopaikannukseen ja GPS/GSM-paikannukseen. Radiopohjaiset paikantimet on suunniteltu pääasiallisesti alueille joilla ei ole GSM-verkkoa, GPS/GSM-pohjaiset ratkaisut taas on suunniteltu alueille joilla GSM-verkko toimii koko ajan tai hetkittäin. Paikkatieto tallentuu automaattisesti halutuun väliajain jatkokäyttöä varten. [3.]

Tässä insinööriyössä käydään aluksi läpi tilaajayrityksen käyttämiä paikannustekniikoita, tutustutaan RoHS-direktiiviin sekä muihin tähän työhön vaikuttaviin tekijöihin, kuten ongelmia aiheuttaviin komponentteihin. Työn suoritusosassa muokataan juotosprofiili optimaaliseksi yhtä juotospastaa käyttäen. Lopuksi muokatulla parhaalla juotosohjelmalla testataan kolme eri juotospastaa ja valitaan niistä parhaan lopputuloksen tuottava juote.

2 TYÖN KUVAUS JA TAVOITE

Tina-lyijy-juotteita käyttävissä yrityksissä RoHS-direktiivin vaatima lyijyttömyys on aiheuttanut muutoksia juotosprosesseissa ja materiaalien valinnoissa. Myös Tracker Oy:n tuotannossa direktiivi on teettänyt lisätöitä. Lyijyttömien materiaalien ja komponenttien saatavuus on jo hyvä, eikä niiden hankinnassa ole ollut suurempia ongelmia. Enemmän töitä on teettänyt lyijyttömien juotteiden vaatima korkeampi sulamislämpötila. Kaikki juotuskoneiden ohjelmat on jouduttu uusimaan. Erivahvuisten piirilevykehysten ja useampikerroksisten piirilevyjen vaatimat erilaiset tehontarpeet ovat aiheuttaneet sen, että on tarvittu myös erilaisia juotosohjelmia. Suuret, metallikuoriset komponentit piirilevyissä, jotka sisältävät paljon myös erittäin pieniä komponentteja, ovat kaikkein ongelmallisimpia. Isokokoiset BGA- ja uudentyyppiset laminointiperiaatteella valmistetut metallikuoriset IC-piirit ovat teettäneet eniten työtä juotosprofiilien muokkauksessa. Pienten komponenttien ylikuumentumisen vuoksi pelkkä juotoslämpötilan nostaminen ei ole mahdollista. Yrityksen käytössä olevien juotuskoneiden suhteellisen pienet lämpökapasiteetit (tehot) ovat osaltaan vaikeuttamassa juotosprosessin toimivuutta.

Tämän insinööritöiden tavoitteena oli saada juotosprosessi toimivaksi ja laadultaan korkeatasoiseksi yhdellä uudella sarjatuotantoon tulevalla tuotteella. Kyseinen piirikortti sisältää joitakin hyvin pieniä komponentteja sekä yhden suuren, metallisella kuorella varustetun piirin. Komponenttien suuren kokoeron vuoksi jouduttiin etsimään kompromisseja, jotta kaikki komponentit juottuisivat laadukkaasti, eikä ylikuumentumisesta tulisi riskitekijää.

Juotosprosessin kehittämistä varten oli käytettävissä kaksi erilaista juotuskonetta. Konvektio- eli kiertoilmajuotuskone, Autotronic BS 3020, on pieni, 7 kW:n tehoinen 4-vyöhykkeinen uuni. Toinen juotuskone on 14 kW:n tehoinen infrapunauuni, SEF544.60, jossa on yhdeksän (9) lämmitysvyöhykettä, joissa on ylä- ja alapuoliset lämpösäteilijät.

Työssä käytettiin apuna myös Kajaanin ammattikorkeakoulun elektroniikkatuotantolaboratorion laitteita, muun muassa Phoenix- X-ray-analysointilaitetta, jolla juotosten laatua tutkittiin juotosten sisäpuolelta, ja SuperM.O.L.E.-juotosprofiilin mittauslaitetta, jolla mitattiin juotosprosessin lämpötilat. Työ suoritettiin siten, että kokeiltiin ensiksi tutkimuksen kohteena olevan piirikortin juottamista valmiilla juotosohjelmalla, joka oli tehty muiden piirikorttien juotukseen. Juotostulosta tarkasteltiin visuaalisesti ja mitattiin kyseiselle piirikortille ensimmäinen

juotosprofiili. Kriittisimmän komponentin ja tinapastan suositusprofiileja hyväksikäyttäen lähdettiin muokkaamaan piirikortille parasta mahdollista juotosprofiilia, jolla juotoksista saatiin laadukkaita lopputulos.

Juotosprofiilin muokkauksessa käytettiin AIM:n valmistamaa NC254 SAC -juotospastaa. Loppuvaiheessa vertailtiin kahta muuta pastaa, jotka olivat Heraeus F640 SA30C5 ja Alpha OM 338. Näiden pastojen suositusprofiilit olivat niin ylimalkaisia, että profilointi tehtiin vain yhtä pastaa käyttäen. Vasta kun oli saatu juotosprofiili toimivaksi AIM:n pastalla, verrattiin kaikilla kolmella pastalla aikaansaatuja juotoksia keskenään. Näistä kolmesta pastasta valittiin työn lopputulosten tarkastelun perusteella käyttöön parhaiten sopiva pasta. Pastan painon parametreihin ei tässä työssä puututtu, koska painojälki oli jo todettu aikaisemmin hyväksi, eikä sen tutkimiseen ja muokkaamiseen ollut tarvetta.

3 RADIOPAIKANNUS

Laitteet, joihin tämä insinööriyö kohdistuu, ovat paikannuslaitteita, joita käytetään halutun kohteen sijainnin selvittämiseen ja seurantaan. Tracker Oy on suunnitellut, valmistanut ja markkinoinut paikannuslaitteita jo kolmenkymmenen vuoden ajan. Aikaisemmin paikannuslaitteet toimivat kaikki perinteisellä radiopaikannusmenetelmällä, mutta muutama vuosi sitten mukaan tulivat GPS-satelliitteja hyväksi käyttävät paikannusmenetelmät ja laitteet. Komponenttelevy, jonka juotosprosessia tässä työssä optimoidaan, on GPS-paikannuslaitteen antenniyksikön piirikortti. Kuvassa 1 nähdään kyseinen paikannuslaite käyttökunnossa. Seuraavissa luvuissa käydään läpi molempien paikannustapojen periaatteet.



Kuva 1. GPS-paikannuslaite koiran pannassa

3.1 Perinteinen radiopaikannus

Radiopaikannuksella tarkoitetaan paikan määrittämistä radioaaltojen avulla. Radiopaikannus voidaan tehdä useammalla tavalla:

- Radiosuuntimisen avulla, jolloin suunta-antennia käyttäen määritetään suunnat kahden radiomajakkaan
- Määrittämällä suunta sekä etäisyys tunnetusta pisteestä, esimerkiksi tutkalla
- Määrittämällä pareittain kolmesta tunnetusta pisteestä luettujen etäisyyksien erotukset
- Tunnistamalla terävästi suunnattu radiosäde, jonka paikka tunnetaan (esim. lentokoneiden ILS). Radiopaikannusjärjestelmä tarvitsee toimiakseen lähettimen ja vastaanottimen. Lähetin lähettää signaalia tietyllä taajuudella, jota vastaanottimella voidaan valvoa..[4, s. 150.]

Tracker Oy:n tunnetuin radiopaikannuslaite on koiratutkan nimellä tunnettu, eläinten sijainnin paikannukseen käytettävä laite. Laite on toteutettu siten, että eläimen, tässä tapauksessa koiran kaulapantaan on sijoitettu radiolähetin, joka yksisuuntaisesti lähettää radiosignaalia ympärilleen. Koiran sijainnin seurantaan oleva vastaanotin on varustettu voimakkaasti suuntaavalla antennilla, jonka muodostaman kapean heijastuskuvion avulla pystytään määrittelemään lähettimen, ja samalla koiran, sijainnin suunta. Signaalin voimakkuuden perusteella myös etäisyyttä voidaan arvioida kokemuseräisesti. Laitteen kantomatka on maksimissaan muutama kymmenen kilometriä.

3.2 GPS-paikannus

GPS (Global Positioning System) on Yhdysvaltain puolustusministeriön hallinnoima maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä. Se oli alun perin tarkoitettu pelkästään Yhdysvaltain armeijan ja puolustusvoimien tarpeisiin. Järjestelmä koostuu 24 satelliitista, jotka on sijoitettu 20200 kilometrin korkeuteen. Satelliitit lähettävät etäisyydenmittaussignaaleja ja dataviestejä käyttäjille. Nykyisin tietyt taajuudet on valjastettu myös siviilikäyttöön ympäri maailmaa. Muita vastaavia järjestelmiä on mm. venäläisten Glonass sekä eurooppalaisten rakenteilla oleva Galileo-järjestelmä. Galileo otettaneen käyttöön vuonna 2008. [4, s. 341.]

GPS-paikannus on menetelmä, jossa kohteen sijainti saadaan selville ottamalla GPS-paikanninlaitteella yhteys taivaalla oleviin satelliitteihin ja laskemalla niiden avulla monipistemitittäuksena kohteen sijainti. Laskennassa käytetään signaalin kulku-aikaa ja signaalin nopeutta, joista saadaan matkan pituus selville. Tarkka paikka saadaan selville, kun saadaan yhteys vähintään kolmeen satelliittiin. On huomattava, että satelliitin ja paikantimen välillä on oltava vähintään teoreettinen näköyhteys.[5.] GPS-signaali läpäisee vaimentuen metallia sisältäviä materiaaleja, kuten muovia ja puuta.

Tracker Oy:ssä koiratutkan pannan RF-lähetin on GPS-laitteissa korvattu GPS-paikantimella ja GSM-moduulilla. Näissä laitteissa käytetään GSM-verkkoa paikkatiedon edelleen siirtämiseen muille laitteille, joiden avulla paikkatietoa voidaan käsitellä. Paikka voidaan tallentaa sen jälkeen vastaanottavaan laitteeseen tai lähettää sen jälkeen edelleen muille laitteille GSM-verkkoa hyväksi käyttäen. Vastaanottimena voidaan käyttää melkein mitä tahansa laitetta, joka tarjoaa GSM-yhteyden (matkapuhelin, PC, Internet). Tieto voi olla tekstiviestinä, datapuheluna tai datapakettina. Vastaanotin voi sen jälkeen tallentaa tiedon, näyttää sen kartalta tai tehdä jonkin muun vastaavan toimenpiteen riippuen vastaanottimen ominaisuuksista. [3.]

4 REFLOW-JUOTTAMINEN

Pintaliitostekniikalla toteutettujen komponenttilevyjen juottamiseen kehitettyä menetelmää kutsutaan yhteisesti nimellä reflow-juottaminen (sulatusjuottaminen). Reflow-juotosmenetelmien valikoima on laaja, koska lämpöenergia voidaan kohdistaa juotettaviin kohtiin monella eri tavalla. Tekniikkaa voidaan jossakin määrin käyttää myös reikiin aseteltävien, niin sanottujen perinteisten komponenttien juottamiseen, mutta käyttö on hyvin vähäistä.

Reflow-juottamisella tarkoitetaan juotosprosesseja, joissa juote sijoitetaan ja annostellaan juotospisteisiin ennen komponenttien asentamista ja liitokset tehdään lämmittämällä piirilevy, juote ja komponentit lopuksi tarkasti laaditun lämmitysohjelman mukaisesti. Reflow-juottamisessa käytettyjä lämmitysmenetelmistä yleisimpiä ovat konvektio- eli kiertoilma, infrapuna ja höyryfaasi. Reflow-juotoskoneissa juotettava komponenttilevy kulkee kuljetinta pitkin koneen läpi. Juotoskone on jaettu useisiin lämmitysvyöhykkeisiin, joilla tarvittava juotosprofiili saadaan aikaiseksi. Lämmitysvyöhykkeet nostavat juotettavien kontaktipintojen ja tinapastan lämpötilaa asteittain, kunnes tinapasta lopulta sulaa ja jähmettyessään jäähdytysvaiheessa liittää kontaktipinnat toisiinsa. Prosessin aikana lämpiävät kuitenkin komponenttilevyn muutkin osat samalla tavalla, mikä on tarpeetonta. Komponenttien lämpiäminen vaatii tarkkaa lämpötilan kontrollointia ylikuumentumisen estämiseksi.

Lyijyttömien materiaalien ja juotospastojen myötä huippulämpötilojen hallinta on tullut entistä tärkeämmäksi. Näin ollen tuotannon koneinvestointien vieläkin tarkempi etukäteisselvitys on pakko tehdä, jotta parhaiten omaa käyttötarkoitusta varten sopiva juotoskone tulee hankittua. Lyijyttömyysvaatimuksen on aikaansaanut EU:n RoHS-direktiivi.

4.1 RoHS-direktiivi

Elektroniikkatuotannon materiaaleihin ja tuotantolaitteinvestointeihin viime aikoina eniten vaikuttanut asia on Euroopan unionin laatima RoHS-direktiivi. RoHS-direktiivi on laadittu rajoittamaan tiettyjen vaarallisten aineiden käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa Euroopan talousalueella. [1.]

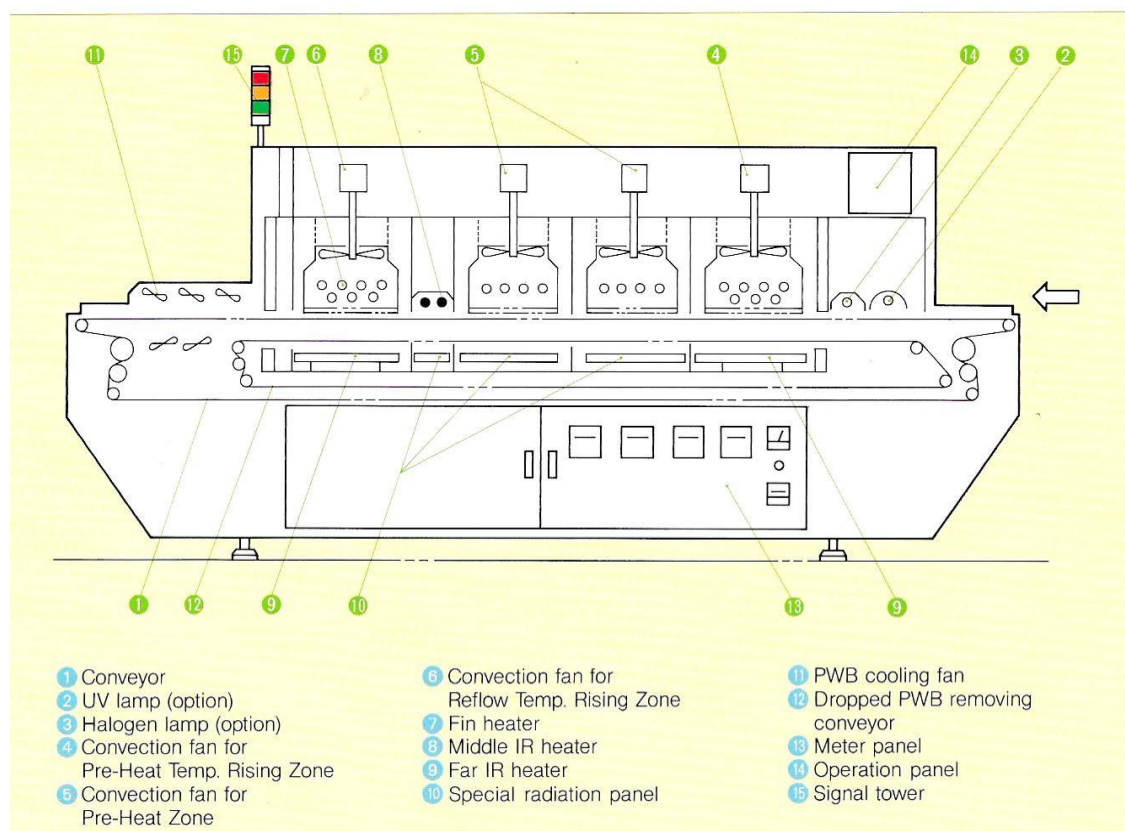
Nämä kielletyt aineet ovat lyijy, elohopea, kuuden arvoinen kromi, polybromibifenyylä, polybromidifenyyleetteri ja kadmium. Euroopan unionin markkinoille 1.7.2006 jälkeen saatavat uudet sähkö- ja elektroniikkalaitteet eivät saa sisältää missään homogeenisessä aineessa enempää kuin 0,1 painoprosenttia näitä aineita. Kadmiumin määrä saa olla maksimissaan ainoastaan 0,01 painoprosenttia. [1.]. RoHS-direktiivin tarkoituksena on sähkö- ja elektroniikkalaitteista peräisin olevien jätteen määrän ja haitallisuuden vähentäminen, ihmisten terveyden suojeleminen ja edistää sähkö- ja elektroniikkaromun hyödyntämistä ja käsittelyä ympäristöä säästävällä tavalla. [2].

Suurimman vaikutuksen elektroniikka- ja sähkötekniikan laitteiden kohdalla tekee lyijyn kieltäminen näissä laitteissa. Euroopan unionin jäsenmaissa ei saa direktiivin voimaantulon jälkeen enää valmistaa, markkinoida tai tuoda maahan laitteita jotka sisältävät lyijyä. Lyijy on ollut tärkeä tina-seosaine juotteissa jo hyvin pitkään. Nyt lyijy on jouduttu korvaamaan muilla, vaarattomimmilla aineilla. Yleisimmin tinalyijy on korvattu seoksella, joka sisältää tinaa, hopeaa ja kuparia (SAC). Yhtä aikaa lyijyttömyysdirektiivin kanssa EU julkaisi myös WEEE-direktiivin (The Waste Electrical and Electronic Equipment Directive), jolla pyritään tehostamaan elektroniikkalaitteiden talteenottoa, purkua ja materiaalien kierrätystä. [3.]

4.2 Konvektio- eli kiertoilmajuotoskone

Yleisimmin käytetty reflow-juotoskone on konvektio- eli kiertoilmajuotoskone (kuva 2). Konvektiojuotoskoneessa lämmön siirtyminen on hyvin tehokasta ja lämpö siirtyy myös komponenttien alle. Kuuma ilmajuotoskoneen toteuttamistapoja on monta, mutta ne perustuvat aina kuuman ilman ja infrapunasäteilyn (IR) kombinaatioon. IR-säteilijöitä käytetään ilman lämmittämiseen, joka puhaltimien avulla siirretään juotettaville pinnoille. Puhaltimien nopeuden lisäyksellä lisätään lämmönsiirtoa. Myös tyyppiä voidaan käyttää lämmön siirtoon. Tyypin käyttö vähentää juotosten hapettumista, jota ilma taas pyrkii lisäämään. Kuuma ilma synnytetään erillisessä kammiossa piirilevyn yläpuolella tai sivuilla, jotta ilmanlämmittäjät eivät säteilisi suoraan komponentteihin. Jokaisen lämmitysvyöhykkeen ilma tai kaasu lämmitetään tiettyyn säädettyyn lämpötilaan ja puhalletaan sitten juotettavan komponenttilevyn kulkureitille. Liikkuvan kuuman ilman tarkka kohdistaminen on vaikeaa, ja tarkkojen vyöhykerajojen pitäminen ei helposti onnistu. Vyöhykkeiden lukumäärällä on suuri merkitys tarkkarajaisen juotosprofiilin saavuttamisessa. Konvektiojuotoskone kierrättää suurimman osan il-

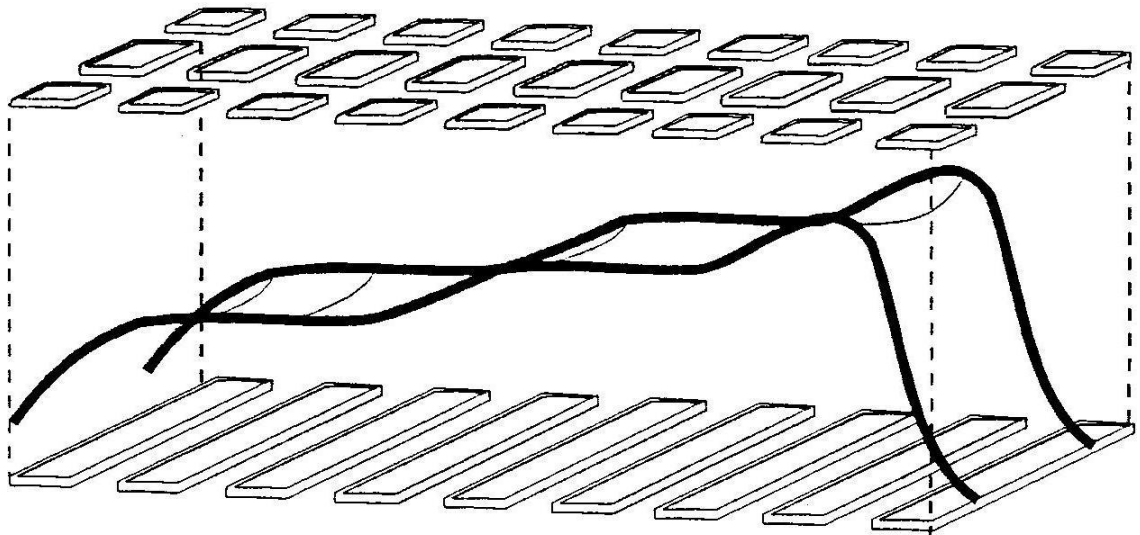
masta takaisin, joten taloudellinen energiankäyttö on myös huomioitu. Haittapuolia ovat esimerkiksi liiallisen puhallusvoiman aiheuttamat komponenttien siirtymiset. [6.], [7.]



Kuva 2. 4-vyöhykkeinen konvektiouuni [8]

4.3 Infrapunasuutuskone

IR-juotoskoneet ovat olleet aikaisemmin kaikista yleisimpiä koneita pintaliitosjuottamisessa. Näissä koneissa lämmönlähteenä ovat infrapunasäteilijät (kuva 3), joista lämpö siirtyy säteilyn kautta juotettaviin piirilevyihin. IR-säteily on erittäin tehokas lämmityskeino, ja IR-juotoskoneilla saadaan aikaiseksi nopea juotosprosessi. Juotosprosessissa ei ole komponenttien siirtymisen vaaraa, koska voimakkaita ilman liikkeitä ei ole. Kuitenkin erilaisten materiaalien erilainen kyky absorboida lämpöä säteilystä tuottaa ongelmia. Juotettavat metallit heijastavat takaisin IR-säteitä ja lämpö siirtyy suoraan vain säteilylähteelle näkyville pinnoille. Komponenttien alla olevien kontaktien juotospinnoille lämpö siirtyy lähes pelkästään johtumalla, ja lämmön kontrollointi on varsin hankalaa. Lämpöä siirtyy jonkin verran myös konvektion avulla. BGA- ja CSP-tyyppisten komponenttien juottamisessa on erittäin suuri riski komponenttien ylikuumentumiseen, koska juotosnastat ovat komponenttikotelon alla.



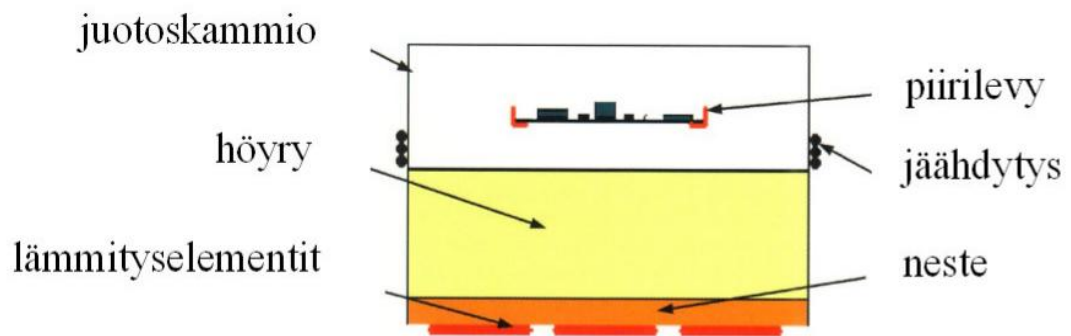
Kuva 3. Infrapun säteilijät [9]

4.4 Höyryfaasisuotuskone

Höyryfaasisuotuskoneen periaate, joka on esitetty kuvassa 4, on jonkin verran erilainen kuin muilla reflow-suotuskoneilla. Suotuslämpö aikaansaadaan lämmittämällä koneen säiliössä oleva neste, joka höyrystyy ja nousee kammioon, jossa suotettava komponenttilevy on. Höyry kondensoituu kylmään piirilevyyn ja luovuttaa lämpöä piirilevyille ja siinä oleville komponenteille. Höyryfaasisuotuskoneen etuja muihin menetelmiin verrattuna ovat erittäin tasainen lämmön jakautuminen ja siirtyminen piirikortilla. Huippulämpötila on tarkalleen nesteen kiehumislämpötila, eikä mikään lämpötila suotusprosessissa voi nousta sitä korkeammaksi. Sen vuoksi komponenttien tuhoutumisvaara liiallisen kuumentamisen vuoksi on olematon. Höyryfaasisuotoksella profilointi on lähes tarpeetonta. Lyijyttömään suotusprosessiin siirtymisessä tarvitaan melkein pelkästään suotusnesteen vaihto. Lyijyllisessä suotoksessa käytetään nestettä jonka kiehumispiste on 200 °C, ja lyijyttömässä suotoksessa kiehumispiste on 230 °C. Väritön neste, perfluoripolyether, jota suotamiseen käytetään, on turvallinen käyttää, sillä se on myrkytön, reagoimaton, se ei syövytä eikä ole tulenarkaa. [7.] Nesteellä, jota kutsutaan ja myydään Galden-nesteenä, sen tanskalaisvalmistajan tavaramerkin mukaan, voidaan määrätä höyrystymispiste väliltä 165... 265 °C. [10].

Höyryfaasisuotus soveltuu korkean laatuksen suotukseen tarkan loppulämpötilan vuoksi, sekä suotusprosessin hapettomuuden vuoksi. Galden-nesteen tuottama höyry syrjäyttää suotuskammioista hapen ja muut kaasut, joten suotukseen muodostuvien kaasukuplien määrä on

olematon. Täysin kaasukuplaton juotos saadaan aikaan höyryfaasikoneen ja vakuuamikamion yhdistelmällä, jossa sulassa tinassa olevasta juotteesta "imetään" alipaineella kaasukuplat pois.



Kuva 4. Höyryfaasijuottamisen periaate [12]

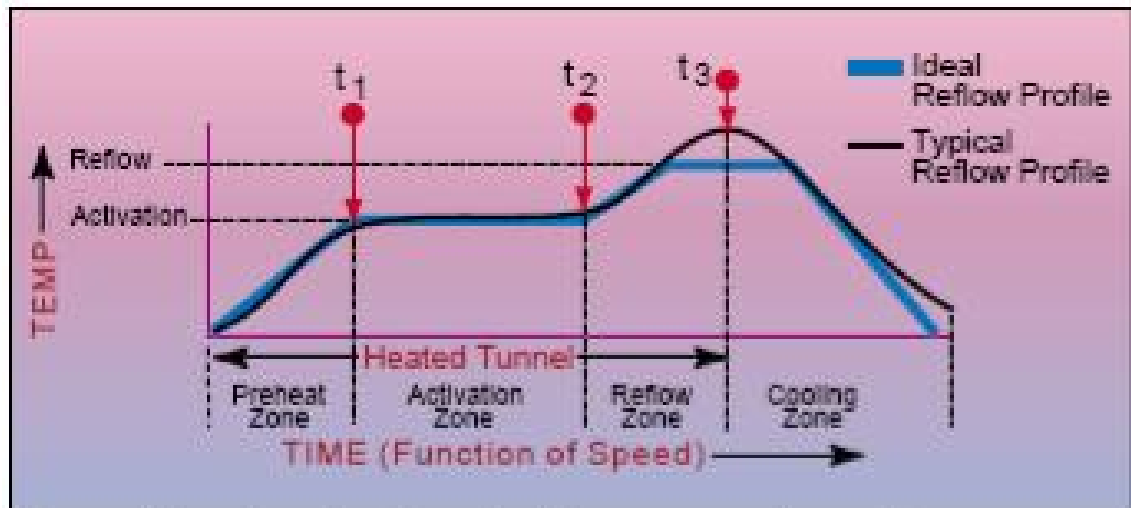
Kun verrataan eri juotosmenetelmien lämmönluovutuskykyä, on se höyryfaasikoneilla ylivoimainen verrattuna konvektio- tai IR-juotoskoneisiin. Höyryn lämmönluovutuskerroin on n. 400 ... 700, kun se konvektio-menetelmällä on n. 30 ... 120. [11, s. 32-45.]

4.5 Lämpöprofilointi reflow-juotoksessa

Mahdollisuus että tuotannossa olevat kaikki tuotteet voitaisiin juottaa samoilla säädöillä, olisi kaikkien toive. Erilaisten komponenttien lämmitettävät massat ovat kuitenkin erisuuret. Jotta saataisiin kaikki komponentit juottumaan luotettavasti ja tasalaatuisesti ilman että komponentteja tai piirilevy rikkoontuu liiallisen kuumuuden vuoksi, joudutaan juotoskoneen lämpötiloja mittaamaan ja säätämään. Tätä operaatiota tai prosessia kutsutaan profiloinniksi. Profilointi on tehtävä erikseen lähes jokaiselle tuotteelle, joita juotoskoneella juotetaan, koska erilaisia komponentteja sisältävät levyt lämpenevät eri tavalla. Isot komponentit vaativat enemmän lämmitystehoa kuin pienemmät. Juotosprofiili tietylle komponenttilevyille on aina jonkinlainen kompromissi käytettävän tinapastan suositusprofiilista ja kaikkien komponenttien suositusprofiileista. On otettava lisäksi huomioon piirilevyn lämmönkesto, joskin sillä ei yleensä ole sanottavaa vaikutusta profilointityössä. Vähiten lämpöä kestävä komponentti

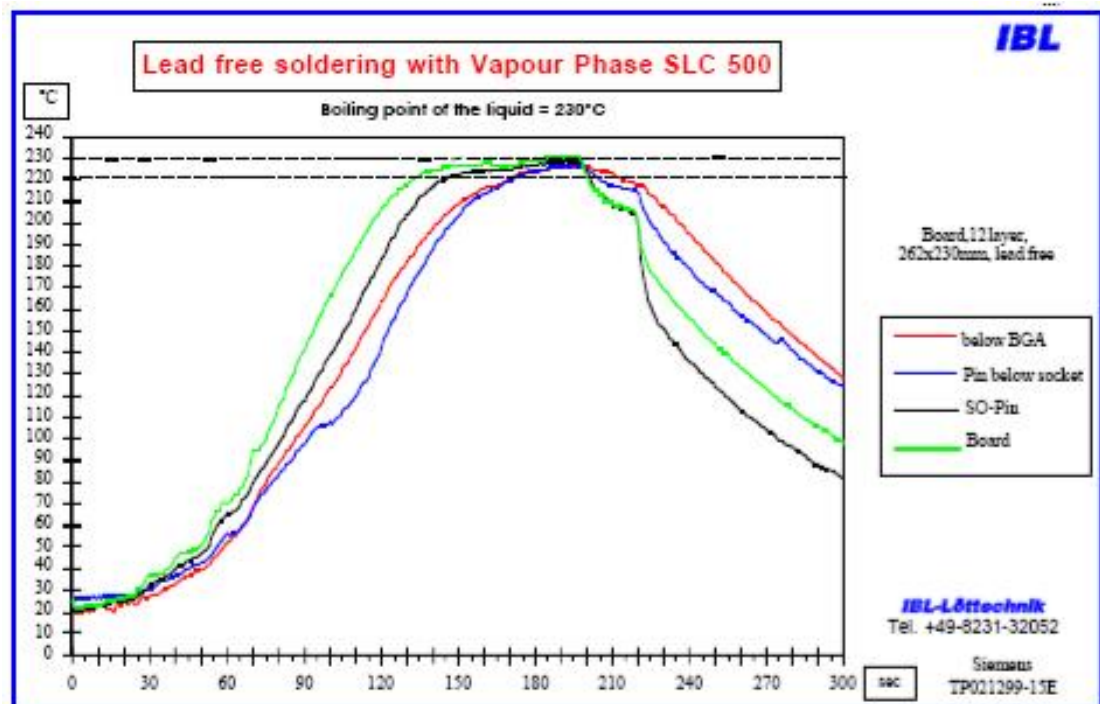
määrää juotosprosessin suurimman lämpötilan. Tinapasta määrää alimman huippulämpötilan. Suuri merkitys on myös käytössä olevalla juotoskoneella. [6.]

Kuvassa 5 on eräs teoreettinen esimerkki valmiista juotosprofiilista. Sininen käyrä esittää teoreettista profiilia, jollaiseksi todellinen juotosprofiili on pyritty muokkaamaan. Musta käyrä esittää todellista, saavutettua juotosprofiilia



Kuva 5. Esimerkki juotosprofiilista [14]

Kuvassa 6 on tyypillinen höyryfaasijuotoskoneen juotosprofiili, joka poikkeaa huomattavasti IR- ja konvektiojuotoskoneen profiileista.



Kuva 6. Esimerkki höyryfaasijuotoskoneen profiilista [15]

4.5.1 Painopiirilevyn profilointi

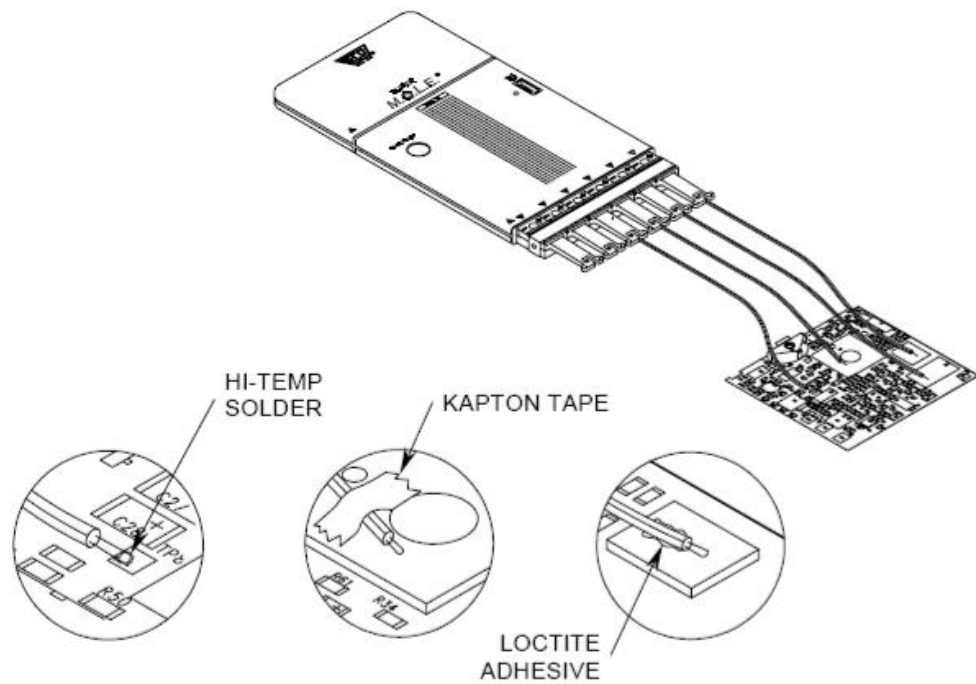
Erityisesti uusilla lyijyttömällä juotteilla oikea lämpötilaprofiili on tärkeämpi kuin koskaan. Jotta saataisiin aikaan laadukkaat juotokset piirilevyillä käytettäessä pintaliitostekniikkaa, on optimaalinen reflow-profiili yksi kriittisimmistä tekijöistä. Profiililla kuvataan lämpötilaa piirilevyllä sen kulkiessa juotokoneen läpi. Käyrästä nähdään etukäteen tarkasti valittujen pisteiden lämpötilat piirilevyllä koko reflow-prosessin ajan. [16.]

Useat parametrit vaikuttavat käyrän muotoon. Kriittisimmät näistä ovat kuljettimen nopeus ja vyöhykkeiden lämpötila-asetukset. Jokaisen vyöhykkeen lämpötila voidaan asettaa erikseen. Kuljetinhihnan (voi olla ketju, hihna tai verkko) nopeus määrittää ajan minkä piirilevy viipyy kussakin erikseen säädetyssä vyöhykkeessä. Mitä enemmän aikaa piirilevy viipyy kussakin vyöhykkeessä, sitä enemmän sillä on aikaa saavuttaa asetettu lämpötila. Koko prosessin kesto määräytyy kaikkien vyöhykkeissä vietetyn ajan summasta. [16.]

Vyöhykkeiden lämpötila-asetukset määräävät piirilevyn lämpötilan nousunopeuden. Korkeammalla lämpötilalla saadaan piirikortin lämpötila nousemaan nopeammin. Korkeampi vyöhykelämpötila aiheuttaa suuremman lämpötilaeron piirikortin ja asetetun vyöhykelämpötilan välillä. Reflow-prosessin profiilin kuvaaja on muodostettava siten että siitä nähdään piirilevyn lämpötilat käyrän muodossa juotosprosessissa käytetyn ajan funktiona. [16.]

4.5.2 Profilointilaitteisto

Juotosprosessin profilointiin tarvitaan profilointilaitte, termopareja ja niiden kiinnittämiseen välineet, tinapastaspeksi sekä komponenttien speksejä. Monissa juotokoneissa on itsessään profilointia varten laitteisto ja ohjelma. Markkinoilla on olemassa paljon eri valmistajien profilointilaitteistoja, jotka yleensä on varustettu hyvin monipuolisilla analysointiohjelmilla. Nämä profilointilaitteet kuuluvat kahteen kategoriaan: reaaliaikaprofilointilaitteet, jotka mittavat profiilin ja luovat grafiikan välittömästi sekä profilointilaitteet, jotka varastoivat datan omaan muistiinsa, josta se voidaan ladata tietokoneelle ja analysoida sitä jälkikäteen. Kuvassa 7 esitellään eräs profilointilaitte sekä anturien (termoparit) kiinnitystapoja. [17.]



Kuva 7. Profilointilaite

4.5.3 Termoparit

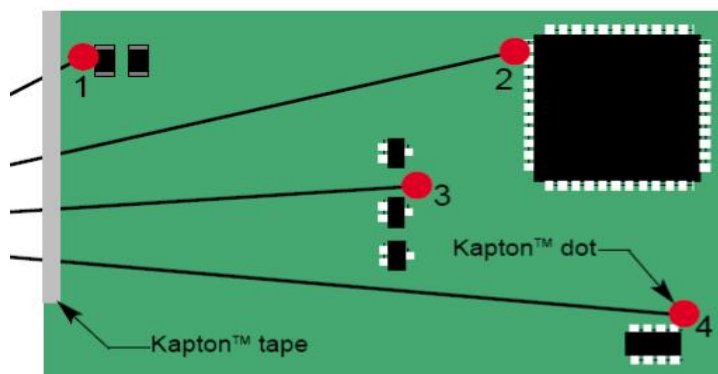
Termoparit ovat antureita, joilla mitataan lämpötiloja. Termoelementin toiminta perustuu Seebeckin ilmiöön (virolainen fyysikko Thomas Seebeck keksi ilmiön vuonna 1822), jossa kahden eri metallin liitoksessa syntyy jännite, joka on riippuvainen lämpötilasta. Tämä pätee miltei kaikille metalleille, mutta vain muutamia standardityyppejä käytetään, koska niiden jännitteet ovat stabiileja ja ne antavat suhteellisen suuria jännitteitä lämpötilan funktiona. [17.]

Lämpötilaa mittaava kohta on johtojen liitoskohta, joka on yleensä punottu tai hitsattu yhteen. Tavallisesti ne on sekä punottu että hitsattu. Yleisimmin juotosprofiilin mittauksissa käytetään niin sanottuja K-tyyppin termopareja. K-tyyppin termoparin plus-johdin on nikkeli-kromi-seosta ja miinus-johdin nikkeli-alumiini-seosta. K-tyyppin termopari on suhteellisen edullinen, ja antureita on saatavilla laaja valikoima lämpötila-alueelle $-200... +1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. K-tyyppin termoparien herkkyys on noin $40\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. [17.]

Piirilevyn profiloinnissa käytettävien termoparien tulee olla sopivan mittaisia, ja niiden on kestävä tyypilliset juotosuunin lämpötilat. Yleensä ohuempia termopareja suositellaan käy-

tettäväksi, sillä ne tuottavat tarkemman tuloksen, ja pienempi lämpömassa saa aikaan herkemmän reagoinnin. Heiveröisemmät johtimet vaativat varovaista käsittelyä, sillä rikkoutumisvaara on suuri. [17.]

Termoparien kiinnittämiseen on olemassa useita eri menetelmiä. Parhaaksi menetelmäksi mainitaan korkealämpötilainen juote, jollainen on esimerkiksi hopea-tina-seos. Käytettävän juotteen sulamislämpötilan on oltava selvästi korkeampi kuin profiilin huippulämpötilan. Juotetta on käytettävä niin vähän kuin mahdollista. Toinen suositeltava menetelmä on nopea, helppo ja sopiva useimpiin käyttökohteisiin. Pieni määrä lämpöä johtavaa tahnaa sivellään termoparin liitospisteeseen, joka sitten kiinnitetään lämmönkestävällä teipillä, esimerkiksi Kapton-teipillä (kuva 8). Termoparien kiinnitykseen voidaan käyttää myös lämmönkestävää liimaa, joista kaksikomponenttiset liimat ovat parhaita. On olemassa myös cyanoakrylaattipohjaisia niin sanottuja pikaliimoja, jotka kestävät korkeita lämpötiloja. Liimakiinnitys ei ole kuitenkaan niin luotettava kiinnitysmenetelmä kuin edellä mainitut, ja lisäksi liimat johtavat huonosti lämpöä.



Kuva 8. Termoparien kiinnitysesimerkki [16]

Parhaan mahdollisen tuloksen termopareilla saa silloin, kun minkäänlaista kiinnityssainetta ei mitauskohteeseen laiteta, vaan kontaktikohta jännitetään mitattavaan kohtaan mekaanisesti, esimerkiksi puristetaan komponentin kontaktipinnan ja piirilevyn padin väliin. [17.]

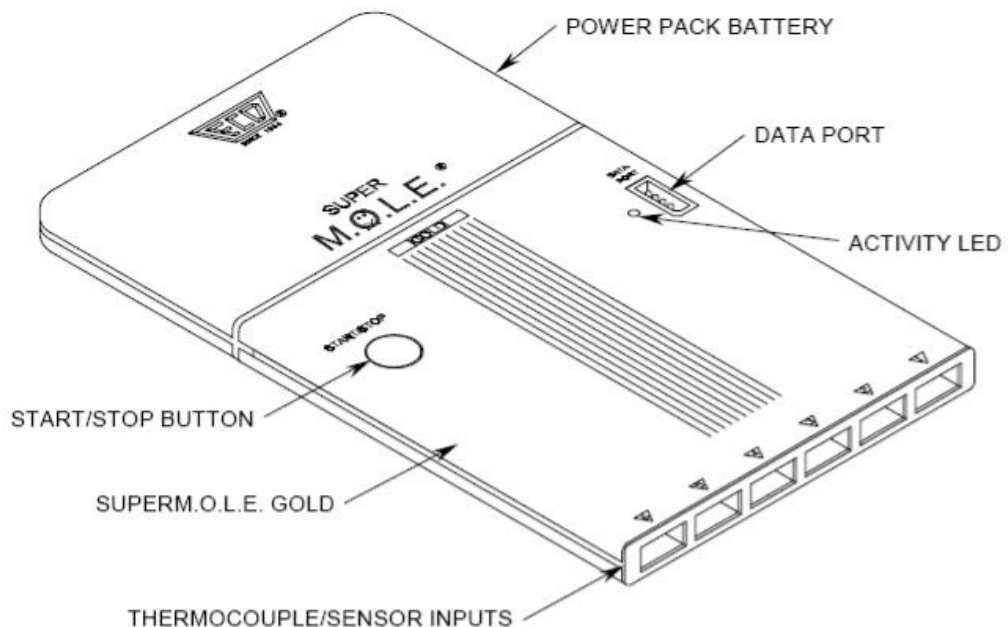
4.5.4 SuperM.O.L.E.Gold

Tässä insinööriyössä oli käytettävissä Kajaanin ammattikorkeakoulun profiilimittauslaitteisto, amerikkalaisen ECD-yhtiön tuote, SuperM.O.L.E.Gold. Mittauslaitteisto käsittää metallisen salkun, joka sisältää mittarin, jossa on kuusi liitintä termopareille. Mittari on akkukäyt-

töinen, ja mukana on yksi vara-akku ja latauslaite. Pakettiin kuuluu termoparien liittämiseen tarvittavia liittimiä, termopareja ja tietokoneohjelma, jolla profiileja voidaan analysoida.

Testattaessa yksi tai useampi termopari kiinnitetään testattaviin piirilevyihin tai komponentteihin. Mittalaite tallentaa jokaisen lähettämän lämpöprofiilin omalle kanavalleen. Mittauksen jälkeen kytketään mittalaite tietokoneeseen ja mitatut tiedot luetaan valitsemalla M.O.L.E.-valikosta Read M.O.L.E. Data. Ohjelma tunnistaa automaattisesti portin, johon mittalaite on kytketty. [18.]

Kun data on luettu mittalaitteesta tietokoneelle, saadaan profiili näkyviin valitsemalla Profile-välilehti ikkunan alalaidasta. Muilta välilehdiltä avautuvat eri analysointivälineet. Esimerkiksi Time To Ref -välilehdeltä voidaan nähdä aika, joka on kulunut asetetun referenssilämpötilan saavuttamiseen, ja Time Above Ref näyttää ajan, jonka anturi on ollut asetetun referenssilämpötilan yläpuolella. Erilaisia minimi- ja maksimilämpötiloja sekä aikoja voidaan seurata Statistics- välilehdeltä. Yhteenvedoa varten on oma Summary Stats -välilehtensä. Tools-valikossa käytetyin työkalu on Slope, jolla voidaan määrittää lämpötilojen nousu- ja laskunopeudet. [16.] Kuvassa 9 nähdään, kuinka selkeän yksinkertainen on SuperM.O.L.E.-mittalaitteen rakenne. [18.]



Kuva 9. SuperM.O.L.E. [18]

4.6 Reflow-juotteet

Elektroniikan komponenttien liittäminen piirilevyyn tapahtuu juottamalla. Juottaminen on tietynlaisen metalliseoksen sulattamista, joka jäähmettyessään uudelleen liittää komponenttien liitospinnat ja piirilevyn padit toisiinsa jolloin muodostuu sähköä johtava kytkentä. Juottamisessa käytettyä metalliseosta kutsutaan juotteeksi, joka yleensä koostuu suurimmaksi osaksi tinasta. Juotteesta käytetäänkin yleisesti nimitystä juotostina, vaikka tinan lisäksi se sisältää myös muita aineita.

Osa näistä aineista kuuluu RoHS-direktiivin määrittelemiin, rajoitettaviin aineisiin, ja ne ovat jäämässä pois. Lyijylliset Sn/Pb -juotteet ovat jääneet muutamia erikoiskäyttökohteita lukuun ottamatta pois käytöstä EU:n alueella, ja tilalle ovat tulleet lyijyttömät juotteet. [19.]

4.7 Juotospastat

Reflow-juottamisessa käytetty juote on notkeaa, silkkipainomenetelmällä tai dispenserillä annosteltavaa pastaa. Juotospasta sisältää metallien lisäksi myös tarvittavan juoksutteen eli fluksin. Fluksin tärkeimpiä tehtäviä on muodostaa juotteen hyvä kostutus (wetting), mikä tarkoittaa sitä, kuinka hyvin juote leviää sulaessaan juotettaville pinnoille. Hyvässä kostumisessa on juote virrannut komponentin reunoihin asti, mistä nähdään esimerkki kuvassa 10. Juotteen pinta on kirkas. Juotoksen muoto on kaunis kovera lasku komponentin reunalta piirilevyn pintaan. Juotos saa nousta enintään komponentin reunan puoleen väliin. Hyvän kostumisen edellytyksenä on tietysti myös sopiva juotospastan annoskoko.



Kuva 10. Hyvä kostuminen

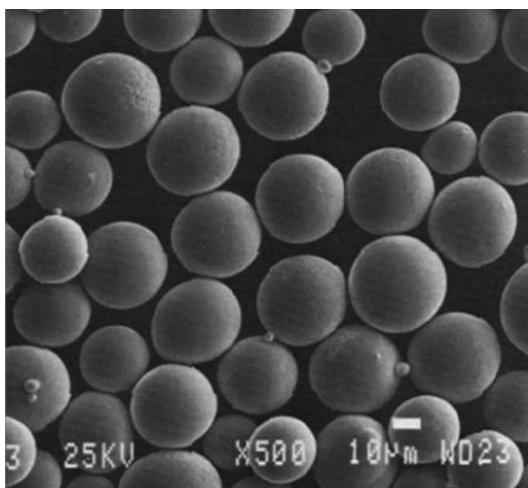
Toimiessaan hyvin fluksi poistaa oksidikalvon piirilevyn ja juotteen pinnalta, pienentää juotteen pintajännitystä ja estää uudelleen oksidoitumisen lämmitysprosessin aikana. [20.]

Juotospastassa olevan fluksin osuus on noin 50 % koko pastan tilavuudesta ja 10 % painosta. Pastassa oleva metalliseos on jauheena, joka muodostuu enimmillään 75 µm halkaisijaltaan olevista palloista. Kuvassa 11 nähdään hyvä esimerkki juotospastan rakenteesta.

Pallokoolla on tietty merkityksensä pastanpainossa. Mitä hienojakoisempaa pasta on, sitä helpompi sitä on painaa piirilevylle ja sitä parempi on painojälki. Lisääntynyt komponenttien pakkaustiheys, joka merkitsee pienempiä padeja ja komponenttien jalkavälejä, vaatii luonnollisesti pienemmän pastan partikkelikoon. Yksi suuntaa antava mitta pastan partikkelikoolle pastaa valittaessa on, että maksimipartikkelikoko tulisi olla noin 1/4 ... 1/5 stensiilin avauksen leveydestä. [20.]

Pienellä partikkelikoolla on myös huonot puolensa. Pienemmät pallot saavat aikaan enemmän hapettumista, johtuen metallin yhteisen pinta-alan kasvusta. Myös juotteen palloutuminen lisääntyy pienemmällä partikkelikoolla.

Pastojen erilaisen koostumuksen vuoksi sulamispisteet ovat erilaiset. Nimenomaan tämä tekijä on johtanut tämän lopputyön aiheeseen. Juotteen koostumus vaikuttaa hyvin voimakkaasti komponenttilevyjen juottamisessa käytettävään juotoslämpötilaan. [21].



Kuva 11. Juotepastan partikkeleita [22]

4.7.1 Lyijyllinen juotospasta

Juotteen sulamislämpötilan tulisi olla varsin alhainen, mutta samalla juotoksen mekaanisen kestävyuden pitäisi olla hyvä. Sen vuoksi juotteeksi on jo pitkän aikaa ollut vakiintuneena tinan ja lyijyn seos, suhteella 60/40. Tuo seossuhde on hyvin lähellä näiden metallien eutektista seossuhdetta joka on 63/37. Eutektinen piste on se piste, jossa seoksen sulamislämpötila on alhaisin. Eutektisen tina-lyijy-seoksen sulamispiste on noin 183 °C. [23.] . Seoksen sulamispiste on siis huomattavan paljon alhaisempi kuin kummankaan metallin sulamispiste puhtaana metallina. Tinan sulamispiste on 232 °C ja lyijyn 327 °C . Seos sisältää tinan ja lyijyn lisäksi antimonia, vismuttia, kadmiumia, sinkkiä, kuparia ja hopeaa. Näillä aineilla vaikutetaan juotteen fysikaalisiin ominaisuuksiin kuten lujuuteen ja sulamispisteeseen. [23.]

Tinalyijyn SnPb sulamispiste on 183 °C, ja hopean lisäyksen (SnPbAg) jälkeen se on 179 °C. Kun reflow-juotoksessa tarvitaan lämpötiloja, joiden huippu on lyijyllisellä juotteella 30 ... 40 °C korkeampi kuin juotteen sulamislämpötila on, niin lyijyllisen juotteen maksimilämpötilat ovat noin 210 °C:n tienoilla, mikä juotuskoneiden kannalta on helppo saavuttaa. Lisäksi komponenttien kestot ovat noin 250 ... 260 °C , joten liikkumavaraa on runsaasti. [23.]

Tinalyijyseosten käytöstä on pitkäaikaista ja monipuolista kokemusta, mikä on osoittanut niillä valmistettujen tuotteiden luotettavuuden useimmissa käyttösovelluksissa.

4.7.2 Lyijytön juotospasta

Lyijy katsotaan ympäristöä vaarantavaksi aineeksi, niin sanotuksi ympäristörasitteeksi. On tullut lain määräämä tarve kehittää juotteita, joista lyijy on jätetty pois. Lyijyttömien juotteiden tutkimus- ja kehitystyön lähtökohtana on ollut säilyttää eutektiseen tinalyijyjuotteeseen (63Sn37Pb) ja sen muunnelmiin (60Sn40Pb ja 62Sn36Pb2Ag) perustuva valmistusprosessi niin pitkälle kuin mahdollista.

Tavoitteena on ollut juotteen sulamispisteen säätäminen mahdollisimman lähelle tinalyijy-seoksen sulamispistettä (183 °C). Muita vaatimuksia ovat hyvä juotettavuus ja luotettavuuden kannalta riittävät mekaaniset ominaisuudet. Tavoitteiden saavuttamiseksi on tutkittu sa-

toja lyijyttömiä juoteseoksia, mutta näistä vain muutamat täyttävät kohtuullisesti edellä mainitut vaatimukset.

Lyijyttömistä juotteista seoksen, joka sisältää tinaa, hopeaa ja kuparia (SnAg_{3,9}Cu_{0,6}-seos, josta on yleistynyt lyhenne SAC) on huomattu täyttävän parhaiten vaadittavat kriteerit. Seossuhteet ovat luettavissa lyhenteestä, eli tina on perusaineena, hopeaa on 3,9 % ja loput 0,6 % on kuparia. Seoksen sulamislämpötila on huomattavasti korkeampi kuin SnPb - juotteilla. Sen sulamislämpötila on 217 °C.

Kun reflow-juotosprosessi vaatii n. 30 °C sulamislämpötilaa korkeamman lämpötilan onnistuakseen kunnolla, on helppo havaita, että lyijyttömän juotteen vaatimat huippulämpötilat nousevat lähelle komponenttien lämpötilakeston rajoja. Samalla lämpötila-alue, jossa juotos voi tapahtua, pienenee lyijyttömässä juotosprosessissa. Toisin sanoen niin sanottu prosessi-ikkuna on huomattavasti pienempi käytettäessä lyijyttömiä juotteita. Komponenttien lämpötilan keston ylärajat ovat niin lähellä, että se vaikeuttaa laadukkaana juotosprosessin muodostamista. [22.]

Taulukossa 1 on muitakin lyijyttömiä metalliseoksia, mutta laadukkaaseen juotosliitokseen niistä eivät kaikki pysty.

Taulukko 1. Lyijyttömien metalliseosten sulamispisteitä [11, s. 12]

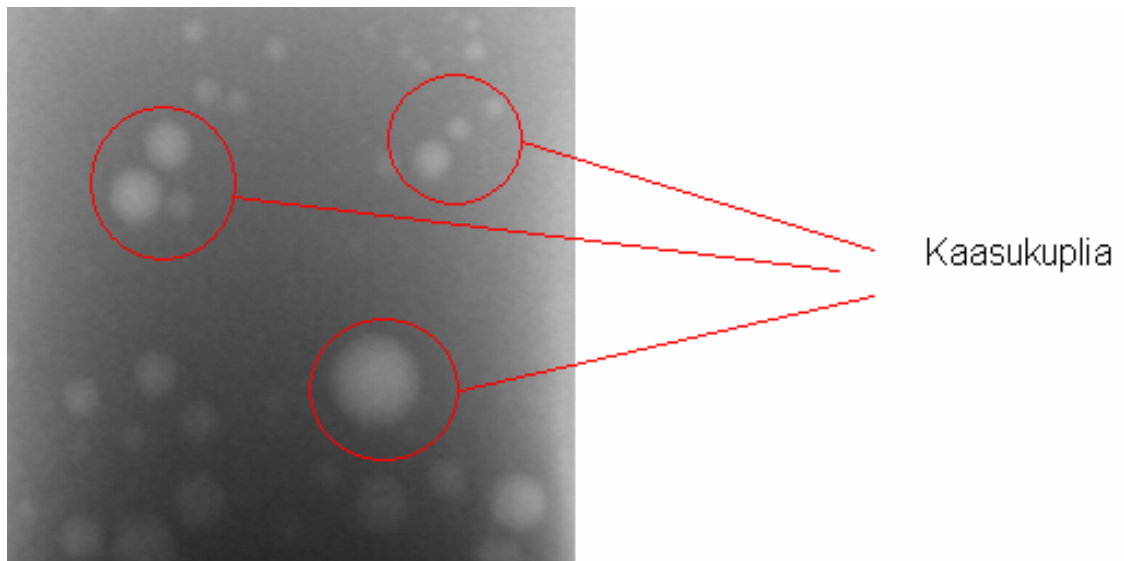
Metalliseos	Sulamispiste (tai alue)
SnAg	221-226
SnAgBi	206-213
SnAgBiX	206-213
SnAgCu	217
SnBi	138
SnCu	227
SnZn	198.5

4.7.3 Lyijyllinen ja lyijytön juote juotosprosessissa

Lyijyllisen ja lyijyttömän juotteen suurin ero näkyy nimenomaan juotosprosessissa. Juotteiden sulamispisteet ovat niin paljon erilaiset, että se vaatii aivan erilaiset juotosprofiilit juotuskoneissa, ja lyijyttömiä juotteita käytettäessä juotuskoneiden ominaisuuksilta vaaditaan huomattavasti enemmän. Juotosprofiili on lyijyllistä juotetta käytettäessä lyhyempi ja lämpötilat ovat alhaisempia kuin lyijyttömällä juotteilla. SnPb-juotteilla juotosprofiilin esilämmityslämpötilat ovat noin 130... 170 °C ja SAC-juotteilla noin 150... 190 °C. Huippulämpötilat nousevat SnPb-juotteiden 205... 225 °C:sta SAC:lla 235... 255 °C:seen. [23.]

Erot eivät ole pelkästään lämpötilaeroja. Muitakin eroja on. Lyijytöntä juotetta käytettäessä komponenttien itsekeskittyminen on huonompaa kuin lyijyllisellä juotteella. Itsekeskittyksellä tarkoitetaan sulan juotteen kykyä vetää komponenttien ja piirilevyn juotospinnat kohdalleen pintajännityksen avulla. [21.]

Myös valmiissa juotoksessa ilmenevät kaasu- tai ilmakuplat, voidit ovat lyijyttömällä juotteella hyvin paljon yleisempiä. Kuvassa 12 näkyy useita kaasukuplia (vaaleat pallot). Lyijyttömällä juotteella tehty juotos näyttää usein myös rumemmalta kuin lyijyllisellä. Sillä on himmeä pinta, joka voi olla hieman rosainenkin ja näyttää kylmäjuotokselta. [21.]



Kuva 12. Juotoksessa olevia kaasukuplia (voideja)

5 RÖNTGEN ELI X-RAY

5.1 Röntgenlaitteiden kehitys

Tutkiessaan katodisäteitä marraskuussa 1895 huomasi Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) uudenlaisen säteilyn aiheuttaman fluoresenssi-ilmiön ultraviolettisäteilyn havaitsemiseen tarkoitetussa loisteaineessa. Julkaistaessaan keksintönsä joulukuun lopulla hän kutsui keksintöään X-säteiksi. Keksijänsä kunniaksi X-säteitä alettiin kutsua yleisesti röntgensäteiksi.

Jo seuraavana vuonna ihmisistä ja eläimistä otettiin röntgenkuvia. Röntgensäteilyn valtavan suuri lääketieteellinen merkitys oivallettiin heti ympäri maailman. Wilhelm Conrad Röntgenin luovuttua asian edistämiseksi keksintöönsä koskevasta patenttioikeudesta tutkijat ympäri maailmaa pystyivät panostamaan voimakkaasti uuden tutkimusmenetelmän kehitystyöhön. Jo vuonna 1900 otettiin Helsingin yleisen sairaalan kirurgisella klinikalla käyttöön ensimmäinen röntgenlaite. [24, s. 15.]

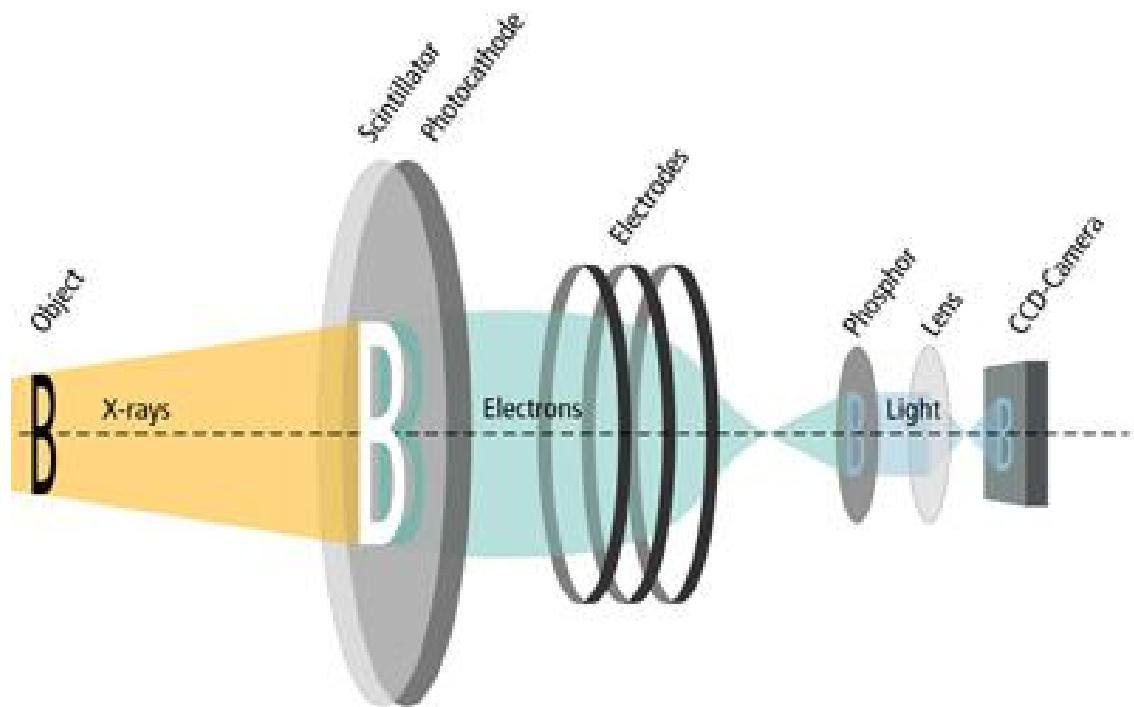
Jo 1800-luvun päättyessä monissa teollistuneissa maissa röntgensäteilyä oli alettu käyttää diagnostisiin ja terapeuttisiin tarkoituksiin. Sotilaslääkärit käyttivät röntgenlaitteita sirpaleiden ja vierasesineiden poistoon ensimmäisen kerran vuonna 1896. [24, s. 16]

Röntgenkoneet olivat alkuaikoina nykyaikaisiin laitteisiin verrattuna varsin pienitehoisia ja epäherkkiä. Valotusajat olivat alkuaikoina erittäin pitkiä. Esimerkiksi vuonna 1896 Prahassa paikannettiin potilaan nielaisema naula röntgenkuvasta, jonka valotusaika oli 90 minuuttia. Alkuaikojen röntgenkuvauksissa kuvauskohteina olleiden henkilöiden säteilyaltistus on nykyajan vastaavien kuvausten aiheuttamaan altistukseen verrattuna ollut huomattavan suuri – jopa yli tuhatkertainen.[24, s. 16.]

Röntgenlaitteiden kehitys oli heti alusta asti valtavan nopeaa. Jo vuonna 1896 oli Saksassa kaksi röntgenlaitteiden kaupallista valmistajaa. Suurjännitteen tasasuuntaajat ja röntgenputket olivat kaupallisessa valmistuksessa jo ennen vuotta 1910. [24, s. 16.]

5.2 Röntgenputki

Röntgensäteily on elektromagneettista säteilyä, joka tuotetaan röntgenputkessa. Röntgenputki on tyhjiöputki, jossa on hehkukatodi ja hyvin lämpöä kestävästä aineesta valmistettu anodi. Katodin ja anodin välille kytketään jännite, joka voi olla 5... 400 kV. Jännite saa katodilta irtoavat elektronit törmäämään suurella nopeudella anodiin. Törmätessään elektronien vauhti pienenee, jolloin osa elektronien liike-energiasta muuttuu sähkömagneettiseksi säteilyksi, jota sanotaan röntgensäteilyksi.[24, s. 32.] Esimerkki röntgenputken rakenteesta nähdään kuvassa 13. Esimerkki on Phoenix-X-ray-analysaattorista, jossa kuvaa voidaan tutkia reaaliaikaisesti, ja se voidaan tallettaa digitaaliseen muotoon välittömästi.



Kuva 13 . Röntgenputken rakenne [25]

Kun röntgensäteet läpäisevät kohteen (B vasemmalla) ja osuvat katodiin, niin katodilla muodostunut kuva muutetaan elektroneiksi. Elektrodit kiihdyttävät ja kohdistavat elektronit fluoroisovalle pinnalle, johon muodostuu näkyvä, pieni X-ray-kuva. CCD-kamera vastaanottaa tuon kuvan, ja näin se on välittömästi nähtävissä esimerkiksi tietokoneen kuvaruudulta. CCD-kameran kuva voidaan tallettaa tietokoneen muistiin ja analysoida sitä jälkepäin. Tekniikka on niin sanottua läpivalaisutekniikkaa.

5.3 Röntgenin teollisuuskäyttö

Jo vuonna 1896 W.C. Röntgen valmisti pyssyn piipusta kuvan, joka paljasti syöpymiä metallissa. Jo tuolloin oivallettiin, että röntgensäteillä voidaan tutkia materiaalien ominaisuuksia. Teollisuuskäyttöön tarkoitetut röntgenkuvauslaitteet kokivat voimakkaimman kehitysvaiheen toisen maailmansodan aikana lähinnä laivanrakennusteollisuudessa. [26, s. 256.]

Metallirakenteiden valmistuksen ja käytön aikana on usein välttämätöntä tarkastaa materiaalin ja hitsausliitosten laatua paineastioissa, laivoissa, siltarakenteissa, lentokoneissa ja niin edelleen. Tällöin pyritään löytämään erilaiset hitsausvirheet, huokokset tai halkeamat, jotka voivat huonontaa tuotteen lujuutta. Näitä vikoja tutkitaan pääasiassa ultraäänitarkastuksella, magneettijauhe- ja tunkeumanestetarkastuksella sekä radiografisesti. Teollisuuden radiografiassa säteilylähteenä on joko röntgenlaite tai pieneen kapseliin pakattu radioaktiivinen aine. Radiograafinen tarkastus on tärkeimpiä ainetta rikkomattomia laadunvalvontamenetelmiä. [26, S. 256.]

Radiografialaitteet ovat nykyään pääasiassa röntgenlaitteita, lineaarikiihdyttimiä tai gammakuvauslaitteita. Iridium-192 ja koboltti-60 ovat yleisimmät gammalähteet. Kuvauslaitteen valintaan vaikuttavat eniten kuvattavan aineen alkuainekoostumus ja paksuus, jotka määräävät tarvittavan läpäisykyvyn. Kuvattavan kohteen hankala sijainti voi myös aiheuttaa rajoituksia joidenkin laitteiden käytölle. Röntgenlaitteiden käyttöä puoltaa niiden tehokkuus ja hyvä kuvanlaatu, koska säteilyn energiaa voidaan säätää. Haittapuolena on kalleus ja varsinkin suurten röntgenlaitteiden hankala liikuteltavuus. [26, s. 257.]

Vikojen tutkimisessa periaate on sellainen, että läpäistessään tutkittavan kohteen säteily valottaa kohteen taakse asetetun röntgenfilmin. Viat näkyvät kehitetyssä filmissä tummenemina.

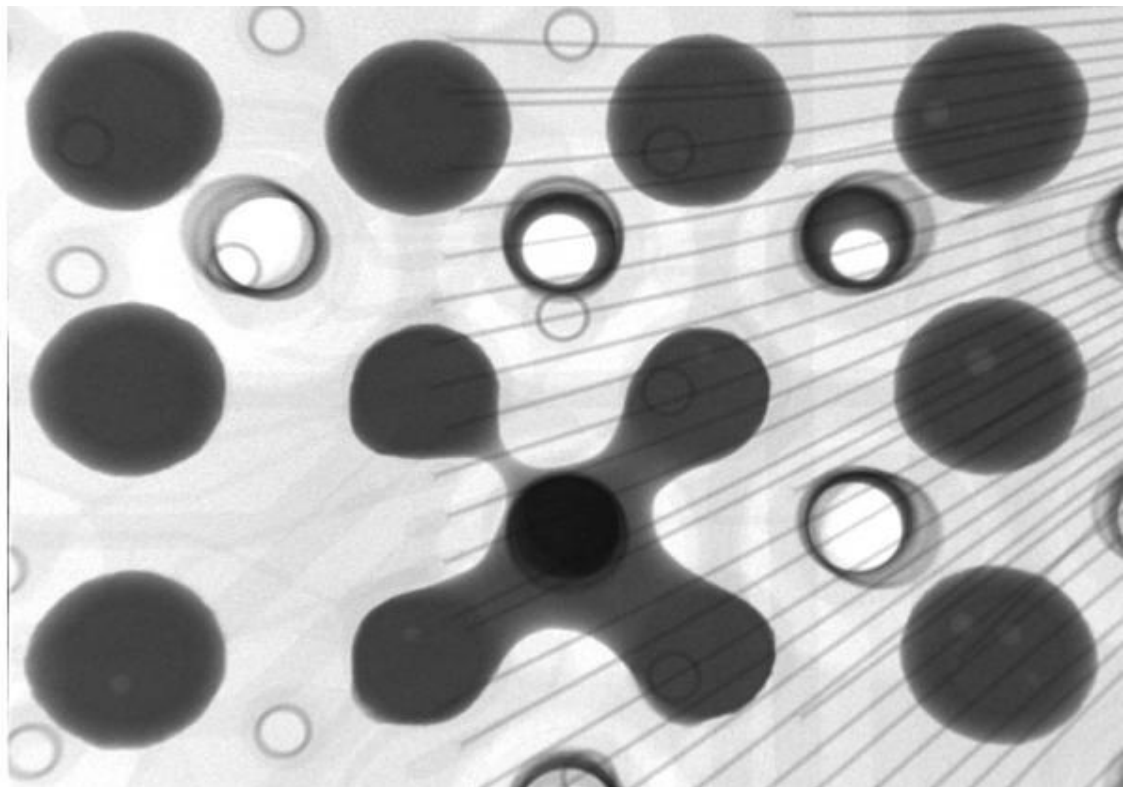
5.4 Röntgen elektroniikkateollisuudessa

Röntgensäteisiin perustuva automaattinen tarkastus elektroniikkateollisuudessa on nykyisin nopeimmin kasvava tarkastustekniikka. Röntgenlaitteilla voidaan tutkia koteloitujen komponenttien sisäliitoksia ja materiaalikerrosten yhtenäisyyttä, flip-chip-liitosrakenteita sekä

monikerrospiirilevyjen läpivientejä. Röntgensäteillä voidaan nähdä esimerkiksi RF-suojapellin alle, tai BGA-komponenttien alla olevat liitosnastat ja niiden juotosten laatu. Röntgensäde- eli X-ray-tekniikka on tällä hetkellä ainoa juotosten laatua analysoiva tekniikka. Sillä voidaan mitata juotteen paksuutta ja tilavuutta, sekä sillä voidaan nähdä juotoksen sisällä olevat onkalot, ilma- tai kaasukuplat (voidit), jotka ovat omiaan heikentämässä juotosta. [27.]

Menetelmä perustuu röntgensäteiden absorptioon juotteen raskasmetalleista, mutta tekniikka on sovellettavissa erinomaisesti myös lyijyttömiin juotemateriaaleihin. [27.]

Kuvassa 14 on esitetty hyvä esimerkki X-raylla kuvatusta BGA-piirin juotoksista. Kuvasta nähdään, miten piirilevyn läpivientireikä on "imaissut" juotetta neljästä liitosnastasta ja aiheuttanut niiden välille oikosulun.



Kuva 14. BGA-piirin juotoksia [28]

6 PIIRIKORTTI TTA310-ANTENNA

Juotosprosessin optimointityö tehtiin Tracker Oy:n SMT-tuotantotiloissa kevään 2007 aikana. Tuotantolaitteet olivat yrityksen jokapäiväisessä käytössä olevia koneita. Lämpöprofiilin mittaukseen ja juotosten syvempään tutkimiseen käytettiin lisäksi Kajaanin ammattikorkeakoulun tuotanto- ja testauslaboratorion laitteita.

6.1 Piirikortti

Profiloinnin kohteena oleva piirikortti on parannettu versio aikaisemmasta, joka oli integroitu muuhun elektroniikkaan ja toteutettu BGA-tyyppisellä GSM-moduulilla. Uusi tuotantoversio GSM/GPS-yksiköstä on suunniteltu siten, että GPS-moduuli on sijoitettu omalle piirilevyllään. Samalla piirilevyllä on GPS-antenni, joitakin yksittäiskomponentteja sekä välikaa-pelin liitin. Kuvassa 15 on esitetty kyseinen piirikortti.



Kuva 15 . GPS-moduuli

Piirilevy on 1 mm:n vahvuinen, ja siinä on suuret metalloidut maapotentiaalit molemmilla puolilla levyä. Yksikkö, jonka tyyppimerkintä on TTA310-antenna, on reflow-juotoksen kannalta haastava, sillä komponenttien kokoero on suuri ja siitä johtuva juotoksen tehontarve on niin erilainen. Aikaisempaan versioon nähden juotosten laadun seuranta on nyt huomattavasti helpompaa, sillä kaikki juotokset on mahdollista tarkastaa visuaalisesti. Aikaisempi

versio oli toteutettu BGA-tyyppisillä kontakteilla, ja juotosalueet olivat moduulin alla näkymättömissä.

GPS-moduuli Antaris 4

Uuden TTA310-antenna-yksikön juotosteknisesti haastavin komponentti oli GPS-moduuli Antaris 4 (kuva 16). Siinä käytettävä rakenne on eräänlaista hybriditekniikkaa. Pienelle piirilevylle on rakennettu komponenteista tarvittava elektroniikka, ja se on suljettu yksi- tai kaksiosaisella metallikotelolla. Kontaktit ulos moduulista on sijoitettu piirilevyn sivuille siten että ne muistuttavat halkaistuja läpivientireikiä. Kontaktit jatkuvat vielä piirilevyn alapuolelle pintaliitospadien muodossa.



Kuva16. Antaris 4 GPS-moduuli [30]

Kotelotyyppi on vielä hieman harvinainen, vaikkakin se on yleistymässä hyvää vauhtia. Valmistajan mukaan Antaris 4 -GPS-moduulin kotelo on tyypiltään LEA. National Semiconductorilla ovat vastaavalla tekniikalla valmistetut moduulit laminate-etuliitteellä varustettuja, esimerkiksi Lamine CSP- ja Lamine FBGA- moduulit.

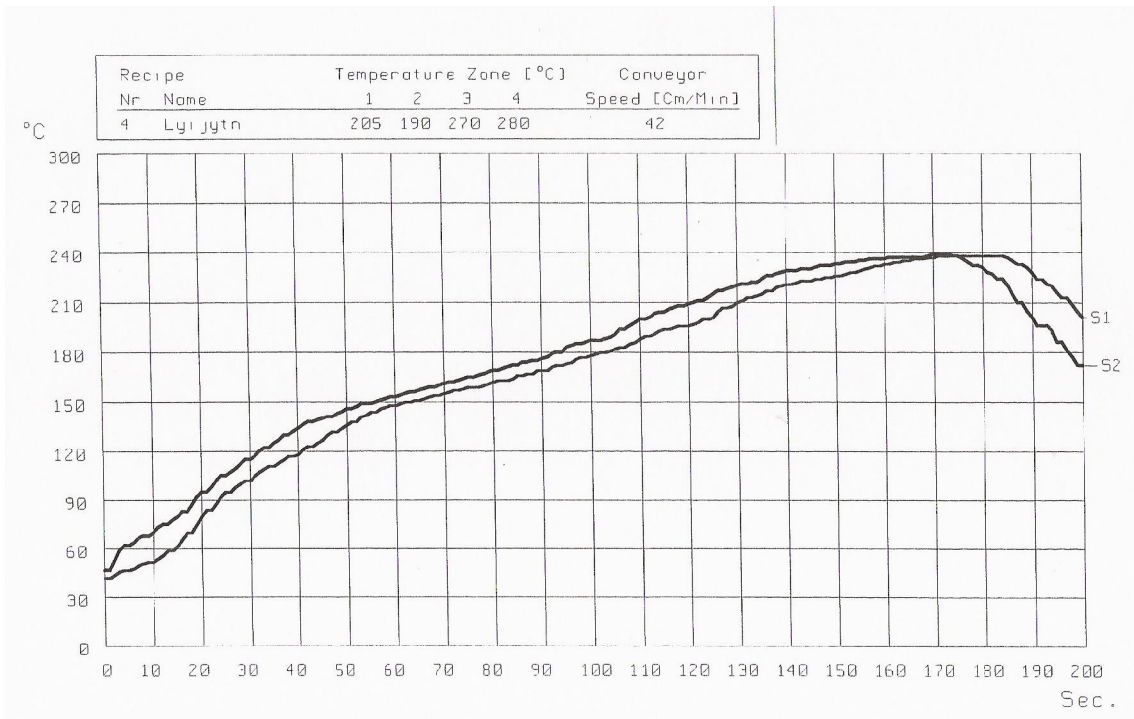
6.2 Alkuperäinen juotosprofiili

Yrityksen normaalissa tuotannossa oleva juotoskone on 4-vyöhykkeinen, 7 kW tehoinen Autotronic BS 3020 -konvektiuuni. Uuni on varustettu omalla profiilinmittausjärjestelmällä, jolla voidaan mitata kahta mittauspistettä samanaikaisesti. Mittausjärjestelmän erottelukyky ei kuitenkaan ole kovin hyvä, eikä lämpötilaa voida kovin tarkasti lukea näytöltä tai paperitulosteesta. Yksi juotoskoneen huonoista puolista oli vielä se, että Kajaanin ammattikorkeakoulun SuperM.O.L.E.-mittalaitteistoa ei voitu käyttää juotosohjelman profiloinnissa. SuperM.O.L.E.-mittalaitteen metallinen suojakotelo ei mahtunut kulkemaan juotoskoneen läpi. Lämmitysvyöhykkeiden väliseinässä oleva aukko oli vain noin 20 millimetriä korkea, ja 25 millimetriä korkea kotelo juuttui ensimmäiseen väliseinään kiinni. On huomattava, että korkeampia komponenttejakaan ei kyseisellä koneella voi juottaa.

Työn kohteena olevan piirikortin ensimmäisessä juotoksessa käytettiin ohjelmaa, jolla on juotettu muut valmistuksessa olevat piirikortit lyijyttömässä prosessissa. Radiosuuntimalaitteiden piirilevyjen juotoksissa ei ole ollut ongelmia. Näissä laitteissa piirilevypohja on kuitenkin ohuempi ja komponentit pienempiä, joten tehontarve ei ole niin suuri kuin isoilla ja raskailla komponenteilla ja paksulla piirilevypohjalla. Juotosohjelma, jota käytettiin, oli luotu lyijytöntä juotosprosessia varten koneen toimittajan toimesta. Ohjelma oli luotu jo 7.4.2005 lyijyttömiä juotteita testattaessa.

Yksi aihioellinen TTA310-antenna-kortteja juotettiin tuota juotosohjelmaa käyttäen. Tuloksena oli vajaasti juottuneita kortteja. Antaris 4 GPS-moduulin maapotentiaalissa olevat kontaktit olivat jääneet juottumatta. Pienemmät komponentit olivat juottuneet normaalisti.

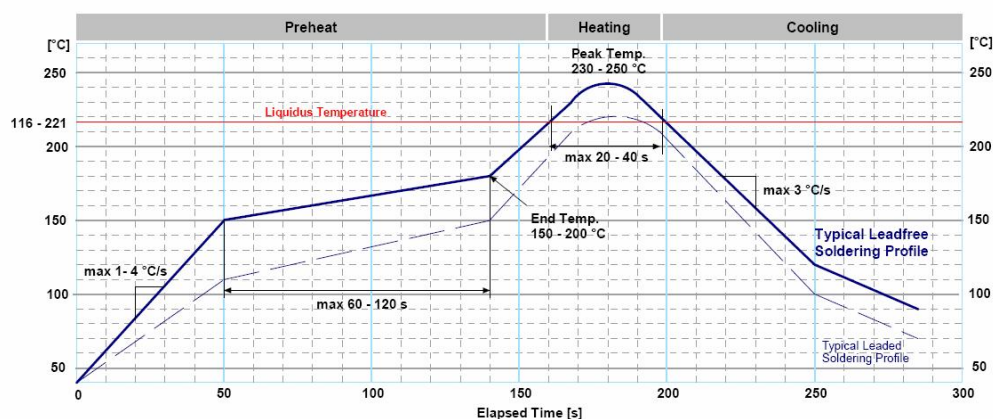
Seuraavaksi tuohon juotettuun korttiin kiinnitettiin kaksi kappaletta termopareja. Termoparit kiinnitettiin siten, että toinen termopari asennettiin juottumattomaan pisteeseen ja toinen hyvin juottuneeseen palakondensaattorin toiseen päähän. Profiili mitattiin juotoskoneen omalla mittausjärjestelmällä. Kuvassa 17 näkyy mitattu juotosprofiili.



Kuva17. Alkuperäinen juotosprofiili

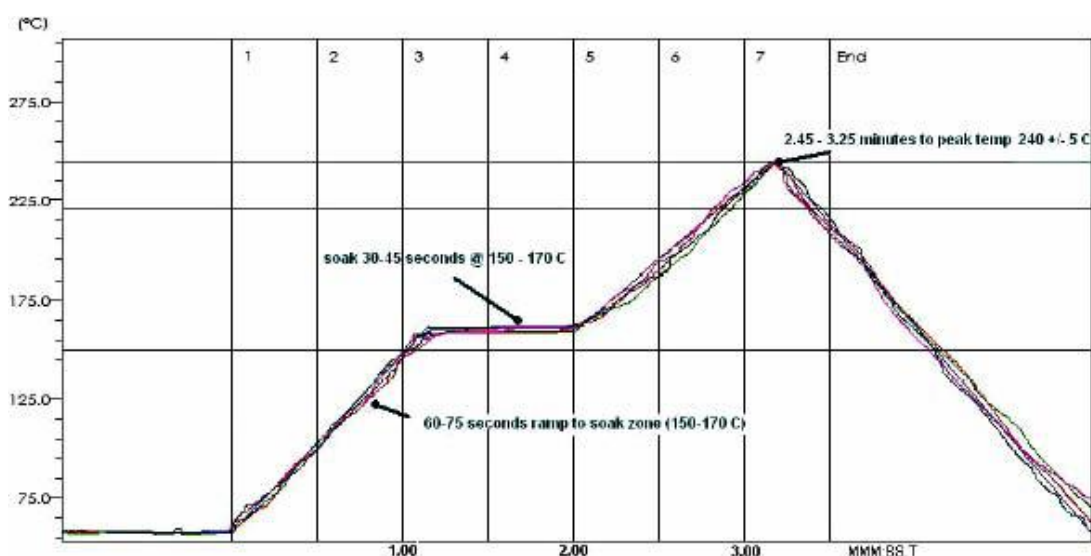
Profiilin perusteella ei voi päätellä mitään komponenttien juottuvuudesta. Käyrät ovat täsmälleen samanlaiset lämpötilojen osalta. Kondensaattorin juotos on lämmennyt myöhemmin, koska se tulee lämmitysvyöhykkeisiin hetkeä myöhemmin kuin Antaris 4 GPS -moduulin etureunassa oleva mittauspiste. Profiilit näyttivät olevan ristiriidassa juotoksen tulokseen nähden, sillä kuvaajien perusteella juotoksien olisi pitänyt onnistua. Seuraavaksi verrattiin juotosprofiilia Antaris 4 -GPS-moduulin suositusprofiiliin.

Vertailtaessa profiileja keskenään huomattiin, että lämpötilojen osalta tilanne oli kunnossa, mutta esilämmitys tasausaikoineen oli liian lyhyt. Sula-aika oli jotakuinkin suositusprofiilin mukainen. Kuvassa 18 on esitetty valmistajan antama ohjeprofiili.



Kuva 18. Antaris 4 GPS-moduulin suositusprofiili [30, s.130]

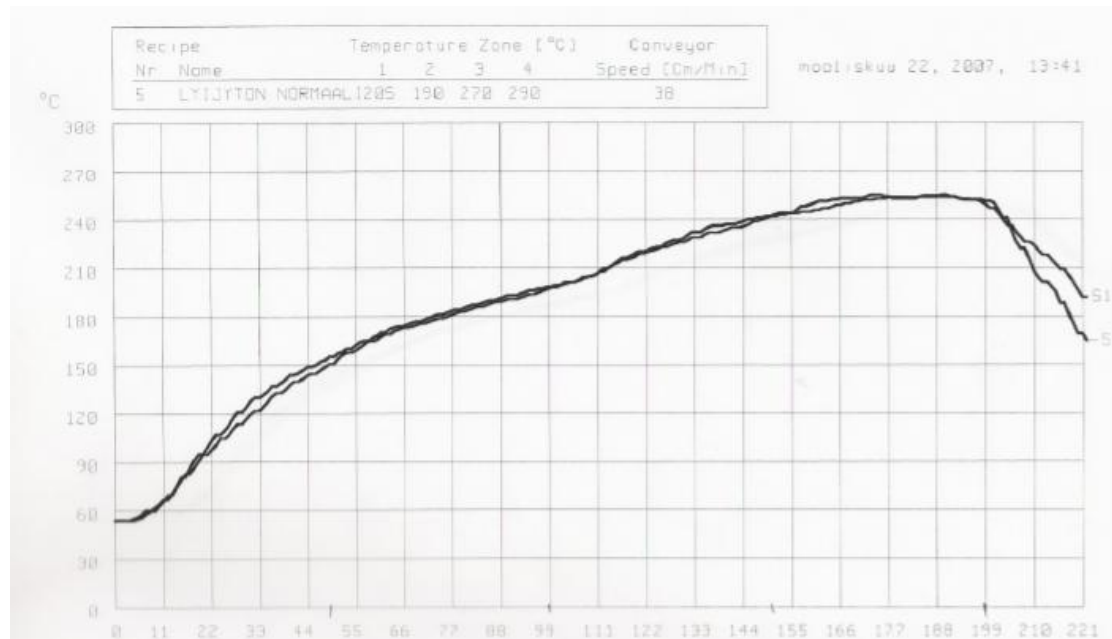
Juotosprofiilin muokkaukseen otettiin mukaan käytössä olevan tinapastan ohjeprofiili (kuva 19). Tuotantokäytössä oli AIM:n valmistama NC 254/SAC305 -tinapasta. GPS-moduulin ja tinapastan suositusprofiileja tarkasteltaessa näytti, että ne eivät ole lähelläkään toisiaan, mutta syvempi tarkastelu osoitti, että profiilien kuvaustapa oli vähän erilainen ja kompromissi on mahdollista muodostaa.



Kuva 19. Tinapastan suositusprofiili

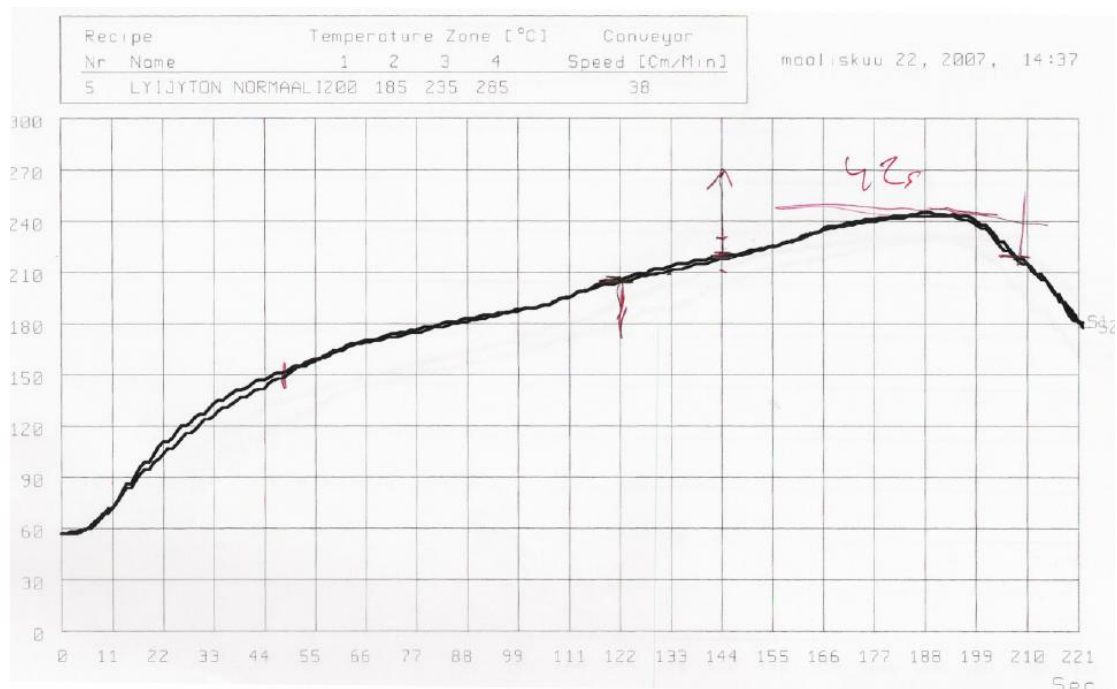
6.3 Juotosprofiilin muokkaaminen:

Ensimmäiseksi pienennettiin kuljettimen nopeutta 42:sta 38:aan cm/min. Lisäksi nostettiin viimeisen eli neljännen vyöhykkeen lämpötilaa 10 astetta. Kun juotoskone oli saavuttanut asetetut lämpötilat, ajettiin piirilevyaihio koneen läpi. Tuloksena oli kuvan 20 esittämä profiili.



Kuva 20. Alustavasti muokattu profiili

Hitaammalla kuljettimen nopeudella lämpötilat levyllä nousivat koko profiilin mitalla liian korkeiksi, ja sula-ajan pituus oli jopa yli minuutin. Huippulämpötilat nousivat yli 255 asteen, joten komponenttien ja pastan maksimilämpötila ylittyi. Juotosprofiilia muokattiin muuttamalla lisäajon avustuksella, siten että saatiin lämpötilat komponenttien sallimiin rajoihin. Kolmannen ja neljännen vyöhykkeen lämpötiloja pienennettiin hieman, mutta pidettiin kuljettimen nopeus samana. Näin saatiin aikaan kuvan 21 esittämä juotosprofiili. Profiilin satulamuodon saavuttaminen tuli koko ajan vaikeammaksi, mitä pitempi esilämmitys aika oli ja mitä korkeampi oli esilämmityslämpötila. Nelivyöhykkeisellä kiertoilmaunilla vyöhykkeiden keskinäinen lämpötilavaikutus oli hyvin suuri. Profiilin kuvaajista on lisäksi huomattava, että ΔT :ä ei juuri ole havaittavissa, joten iso ja pieni komponentti näyttäisi lämpenevän yhtä hyvin, mikä ei juotostuloksen perusteella ollut totta.



Kuva 21. Lopullinen juotosprofiili Autotronic -uunilla

6.3.1 Juotosprofiilin testaus

Kuvassa 21 oleva, muokattu juotosprofiili testattiin juottamalla aihioillinen TTA310-kortteja kyseistä ohjelmaa käyttäen. Tuloksena oli, että juotokset olivat suurin piirtein samanlaiset kuin alkuperäisessä juotosohjelmassa. Vaikka lämpötilojen ja vyöhykeaikojen osalta juotosohjelman olisi pitänyt toimia, juotokset jäivät vajaiksi. Asiallisen näköinen juotosprofiili ei toiminutkaan käytännössä toivotulla tavalla.

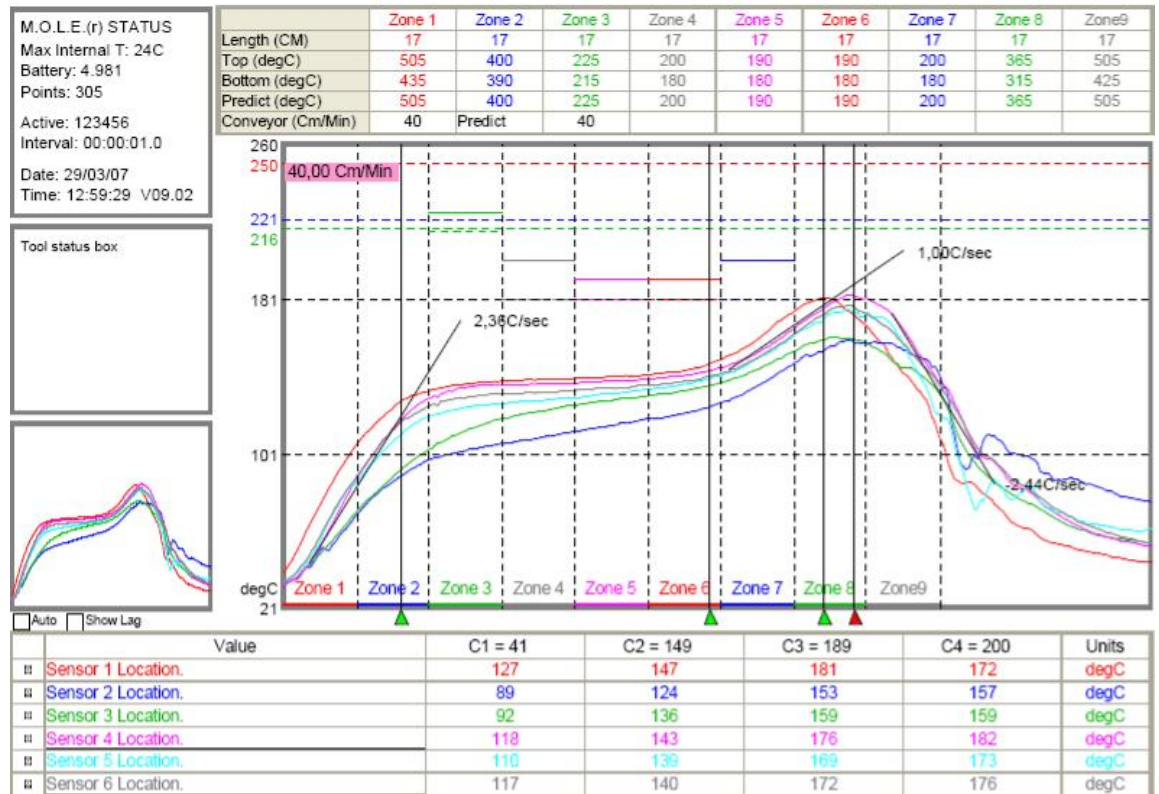
Tuntemattomaksi jääneestä syystä juotoskoneen oman mittausjärjestelmän esittämä informaatio poikkeaa todellisesta tilanteesta. Koneen lämpötilanmittausjärjestelmän tarkkuus jäi epäselväksi. Juotoskoneen lämmönsiirtokyky ei ehkä ole riittävä noinkin kookkaille, metallikuorisille komponenteille. Profiilia muokattiin ja testattiin useilla testiajoilla, mutta tilanne ei muuttunut paremmaksi, joten päätettiin kokeilla toista juotoskonetta.

6.3.2 SEF 544.60 IR-juotoskone

Käytettävissä oli jo jokapäiväisestä käytöstä poistettu, mutta hyväkuntoinen IR-tyyppinen reflow-juotoskone, merkiltään SEF544.60. IR-juotoskone ei välttämättä ole kovinkaan hyvä valinta lyijyttömälle juotteelle, varsinkin jos piirilevyt sisältävät BGA-tyyppisiä komponentteja. IR-juotoskoneen lämmityskyky perustuu lähinnä siihen, että juotettavat pisteet ovat IR-elementin suoran säteilyn ulottuvissa. Tässä tapauksessa piirikortin kaikki juotokset olivat päältäpäin nähtävissä ja heti saatavilla kokeiltavaksi, joten sitä myös päätettiin käyttää.

Juottaminen SEF 544.60 IR-uunilla

Juotoskoneessa ei ollut valmiita lyijyttömälle juotteelle tehtyjä ohjelmia. Sen vuoksi otettiin pohjaksi lyijyllisillä juotteilla käytössä ollut juotosohjelma, jonka profiili mitattiin käyttäen aikaisemminkin käytettyä testilevyä. Profiilin kuvaaja näkyy kuvassa 22. Tässä koneessa mahduti myös SuperM.O.L.E. kulkemaan läpi, joten päästiin tutkimaan tarkemmin myös lämpötiloja juotosprosessin eri vaiheissa. Termopareja kiinnitettiin korkean sulamispisteen omaavaa juotetta käyttäen viisi (5) kappaletta erikokoisten komponenttien juotospisteisiin, ja yksi termopari kiinnitettiin Antaris 4 -GPS-moduulin etiketin alle sen sisältämää liimaa hyväksi käyttäen. Kaikki termoparit kiinnitettiin tässä vaiheessa samaan komponenttilevyyn, jotta nähtäisiin eri komponenttien lämpötilaeroja.

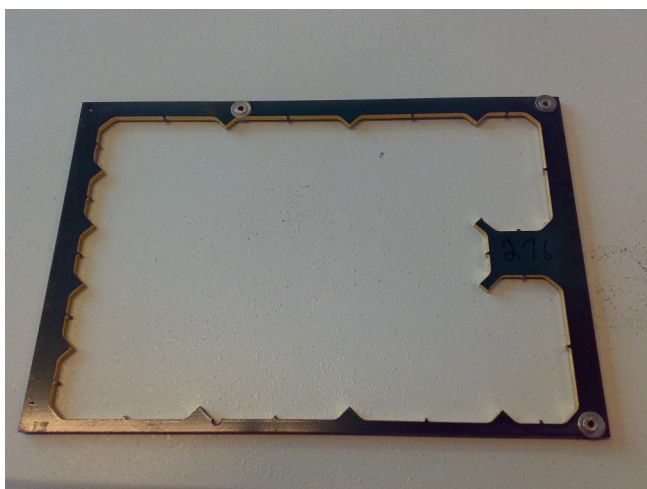


Kuva 22. Lyijyllisen juotteen ohjelmalla mitattu profiili

Korkeimmat lämpötilat mitattiin pienien komponenttien juotospinnoilta, ja alin lämpötila Antaris 4 GPS-moduulin pinnalta metallikuoresta.

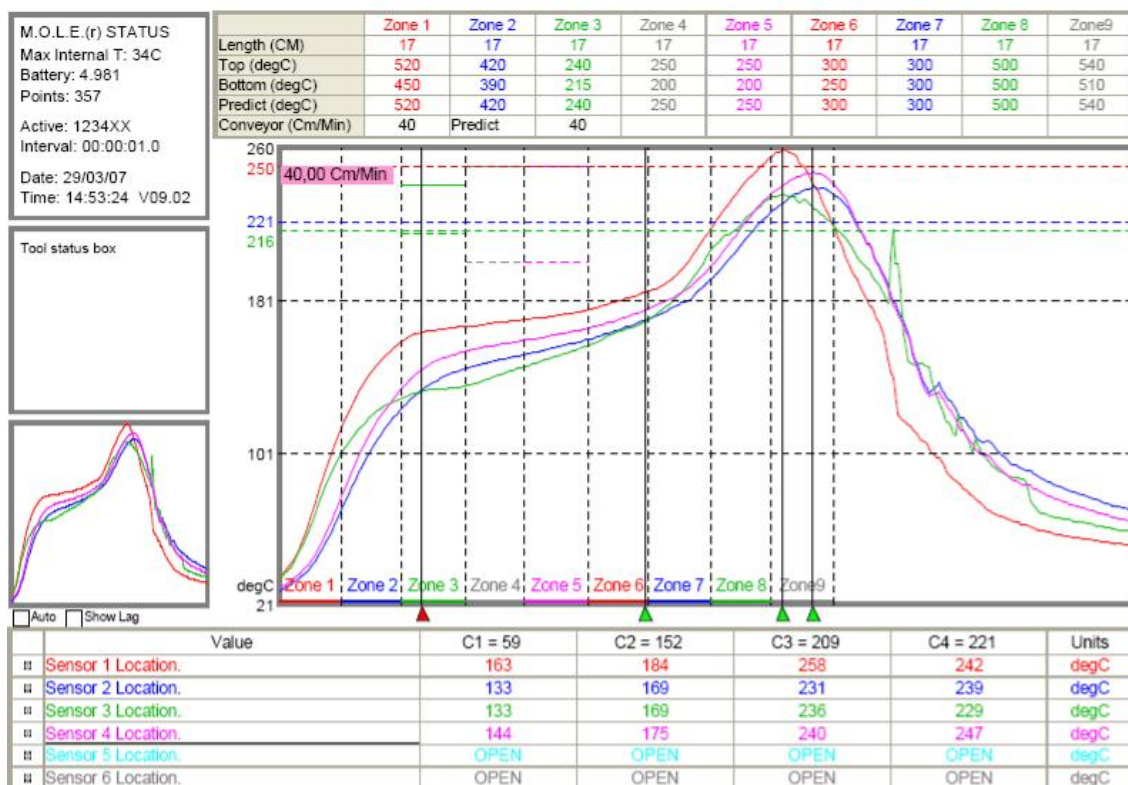
Mittauksessa saatiin hyvänmuotoinen juotosprofiilin kuvaaja. Lämpötilat olivat, kuten olettaa saattoi, liian alhaiset ja Antaris 4 GPS- moduulin suositusprofiiliin nähden profiilin pituus oli hieman liian pitkä. Lämpötilaerot eri pisteissä olivat suuria. Ennen seuraavaa testiajtoa vyöhykkeiden lämpötiloja nostettiin kokemusperäisen arvioinnin perusteella 20 °C... 50 °C ja lisättiin nopeutta 38:sta 40:een cm/minuutti.

Testausajossa huomattiin, että aihio taipuu voimakkaasti juotosprosessin aikana, joten seuraavaa testiä varten otettiin käyttöön tukikehikot, joita oli varastossa valmiina (kuva 23). Tukikehikkojen varsinainen käyttötarkoitus oli pitää kaksipuolisia piirikortteja valmistettaessa alapuoliset komponentit koholla kuljetinverkosta, kun käytettiin Autotronik-juotoskoneetta.



Kuva 23. Piirikortin tukikehikko

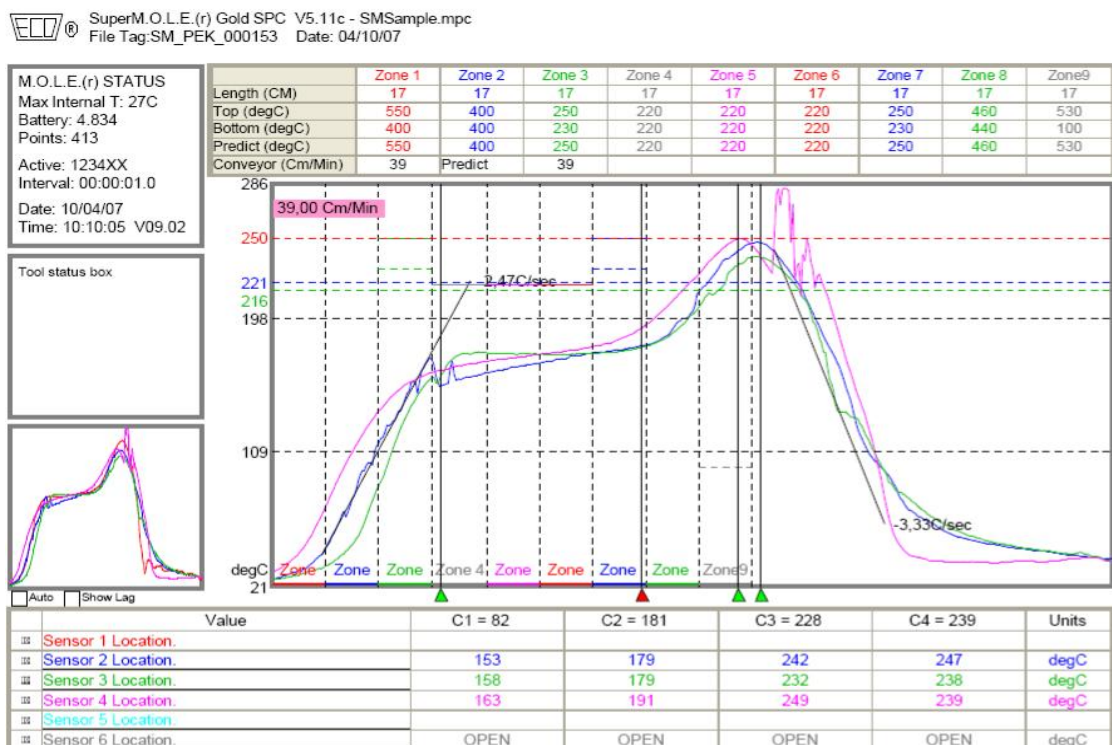
Kuvassa 24 on esitettyä mittausajo ensimmäisen profiilinmuokkauksen jälkeen. Lämpötilat nousivat jo lähemmäksi lyijyttömän juotteen vaatimia lämpötiloja. Jo ensimmäisessä mittauksessa saatiin aivan kelvollista profiilia aikaiseksi, joskin kuumin huippulämpötila nousi 260 °C:seen. Lyhyemmällä profiililla lämpötilaerot nousivat selvästi ja ΔT oli jopa yli 20 °C.



Kuva 24. Alustavasti muokattu profiili

Toisella juotuskoneella juotettavat tuotteet vaativat käytössä olevan sähköliitännän ja profilointioperaatio keskeytettiin. Vajaan kahden viikon kuluttua profilointiin palattiin. Ensimmäiset tuotantosarjat TTA310-yksikköä olivat tulossa jo valmistukseen, joten profilointi oli saatava valmiiksi. Kuvan 24 esittämästä juotosohjelmasta lähdettiin liikkeelle.

Ennen seuraavaa mittausta alennettiin tasaus- ja sulatusvaiheen lämpötiloja hieman sekä pidennettiin profiilin kestoaikaa pienentämällä kuljettimen nopeus 40 m/s:sta 39 m/s:iin. Tarkoituksena oli pienentää lämpötilaeroja eli ΔT :ä. Usean muokkauksen ja mittausajon tuloksena saatiin kuvan 25 esittämä kuvaaja. Termoparien kiinnitykset alkoivat tuottaa ongelmia. Juotoskiinnitykset pyrkivät irtoamaan useamman mittausajon yhteisvaikutuksesta, mikä näkyy lämpökäyrästä häiriöinä. Termoparien valmistaja oli hitsannut johtojen päät yhteen, ja hitsattun liitoksen tarttuvuus huomattiin erittäin huonoksi. Hitsaus oli aiheuttanut paksun oksidikerroksen johtojen pinnalle, ja juote ei tahtonut tarttua niihin. Tarpeellinen informaatio saatiin kuitenkin näkyviin. Komponenttien juotoksien lämpötilat ovat kutakuinkin yhtäsuuret, eikä Antaris 4 GPS-moduulin pintalämpötila nouse liian korkeaksi (vihreä käyrä). Juotosohjelma talletettiin noilla arvoilla, ja päätettiin testata seuraavan valmistussarjan aikana.



Kuva 25. TTA310-kortin lopullinen juotosohjelma.

6.3.3 Juotosohjelman testaus

Ensimmäinen ahiollinen TTA310-kortteja juotettiin kuvan 25 esittämällä juotosohjelmalla välittömästi. Juotokset sulivat hyvin lukuun ottamatta yhtä korttia, joka ei ollut juottunut lainkaan. Syy oli heti nähtävissä, kun aihio nostettiin irti tukikehikosta. Kehikossa oleva uloke esti alapuolen säteilijöitä lämmittämästä yhden kortin alapuolta, ja juotospuolen lämpötilaan ei enää noussut tarpeeksi. Ongelma oli helposti poistettavissa leikkaamalla tukikehikoista ulokkeet pois. Tukikehikot oli valmistettu piirilevyaihion reunuksesta ja uloke oli vain jäänyt siihen, eikä sillä ollut mitään käytännön tarkoitusta.

Juotoksen tulosta tarkasteltaessa korteissa oli säännöllisesti toistuva vika. Lähes kaikissa korteissa Antaris 4 -GPS-modulin yhden nurkan kontaktit olivat irti piirilevyn padeista. Juote oli sulanut hyvin, mutta se ei ollut liittänyt pintoja yhteen, vaan levinnyt ohueksi kerrokseksi piirilevyn padille. Myös moduulin muiden kontaktien juotemäärä näytti liian pieneltä. Koska vika oli sellainen, että se pystyttiin korjaamaan käsinjuotoksella, juotettiin vielä muutama ahiollinen lisää. Vika toistui samanlaisena kaikissa levyissä. Juotokset olivat hyvin kostuneita ja pienten komponenttien juotemäärä oli sopiva. Antaris 4 -GPS-moduulin juotospisteissä juotetta näytti olevan liian vähän. Edelleen lähes kaikkien moduulien yksi nurkka oli juottumatta kokonaan (kuva 26).



Kuva 26. Ongelmakohta

6.4 Juottaminen höyryfaasilla

Vian aiheuttaja jäi epäilyttämään, joten päätettiin kokeilla vielä eri juottamismenetelmää. Koska oli mahdollisuus käyttää Kajaanin ammattikorkeakoulun tuotantotekniikan laboratorion laitteita, niin päätettiin käyttää höyryfaasimenetelmää. Höyryfaasimenetelmä tiedettiin niin yksinkertaiseksi ja varmaksi menetelmäksi, että katsottiin sillä suljettavan pois juotosprofiilissa olevat virheellisyudet.

Kaksi aihioollista pastattuja ja ladottuja Antaris 4 -GPS-kortteja kuljetettiin juottamattomina Kajaanin ammattikorkeakoululle, jossa ne juotettiin Quicky 450 -höyryfaasijuotuskoneella. Juotostulos oli täsmälleen samanlainen kuin SEF544.60 -IR-uunilla viimeisissä kokeiluissa.

Höyryfaasitestissä selvisi, että SEF 544.60-koneen juotosohjelman parametrit olivat kohdallaan, mutta juotospastan määrä ei riittänyt Antaris 4 GPS-moduulin kontaktien juottamiseen. Havaittiin myös, että kokonaan juottumatta jäävä nurkka oli juotetuissa levyissä taipunut hieman. Taipuminen sulavaiheessa aiheutti sen, että sula juote ehti levitä padille silloin, kun nurkka oli ylhäällä. Taipuma oli todella pieni, mutta se riitti jättämään juotokset auki, liian pienen juotteen määrän vuoksi. Tämä ilmiö esiintyi sekä IR- että höyryfaasijuotoksessa.

Seuraavaan aihioon annosteltiin juotospastaa käsiannostelijalla siten, että osa kortteista jätettiin ennalleen. Tulos selvitti sen, että vian aiheutti liian vähäinen pastan määrä. Kortit, joihin oli lisätty pastaa, olivat juottuneet täydellisesti, mutta kortit joihin pastaa ei lisätty, olivat samanlaisia kuin aiemmin. Irti olevat juotokset johtuvat liian vähäisestä juotteen määrästä sekä levyn taipumisesta.

6.5 Stensiilin paksuuden vaikutus

Tinapastan määrä piirilevyllä määräytyy stensiilin paksuuden mukaan. Stensiilin paksuuden mitoitusohjeet ovat yleisesti sellaiset, että stensiili on valittava pienimmän pitch-levyden mukaisesti. TTA310-kortin stensiilin paksuus oli myös valittu pienimpien komponenttien perusteella. Stensiili oli 0,127 mm paksu, mutta se ei selvästikään riittänyt Antaris 4 -GPS-moduulin juottamiseen. Antaris 4 -GPS-moduulin tuotespekistä nähtiin, että suositus sten-

siilin minimipaksuudeksi oli 0,150 mm. [30, s. 128]. Suositeltavia stensiilin paksuuksia taulukossa 1.

Taulukko 2. Stensiilin valintaohje [20]

Minimi pitch (mm)	Stencil paksuus (μm)
>0,65	150~200
0,5	150
0,4 (0,3 mm dia. MBGA)	120~150

Uusi, 0,150 mm paksu stensiili saatiin jo seuraavaksi päiväksi. Testauksen lopputuloksena olivat huomattavasti paremmat juotokset kuin ohuemmalla stensiilillä, mutta vieläkin osa juotoksista jäi vajaiksi. Etenkin levyn kulma, josta aiemmin juotokset lähes poikkeuksetta puuttuivat, oli vajaasti juottunut. Nyt juotos oli suurimmassa osassa levyjä olemassa, joskin juotteen määrä ei vielä riittänyt kunnon juotokseen.

Piirikortin taipuminen aiheutui todennäköisesti sekä kortin layoutista että piirikortin jyrsinän jälkeen jätetyistä kiinnikekohdista. Koska uusi layout olisi aiheuttanut paljon monimutkaisemmat operaatiot, päätettiin kokeilla vielä paksumpaa stensiiliä.

Kokeiltavana 0,180 mm paksu stensiili

Kun paksumman stensiilin hankintaa pohdittiin, käytiin läpi myös mahdolliset haittavaikutukset, jotka voisivat aiheutua suuremmasta juotemäärästä. Kyseisellä komponenttilevyllä oli yksi ainoa komponentti, jonka jalkatiheys oli 0,4 mm (super fine pitch). Tuo komponentti oli mikrokokoa oleva nauhakaapeliliitin. Nauhakaapeliliittimen jalkatiheyden perusteella oli alkuperäinen stensiilin vahvuus valittu 0,127 mm paksuksi. Oli mahdollista, että 0,180 mm paksu stensiili aiheuttaisi liiallisen juotemäärän tuolle komponentille.

Uusi 0,180 mm paksu stensiili saatiin kahdessa päivässä. Sitä päästiin kokeilemaan heti saapumispäivänä. Ensimmäisten kokeilujen jälkeen huomattiin, että pelko oli ollut aivan turhaa. Yhtään oikosulkua ei ensimmäisessä sarjassa ollut, ja piirilevyjen kaikki juotokset olivat onnistuneet (kuva 27). Mikroskooppitarkastuksessa juotoksien jälki näytti erinomaiselta.

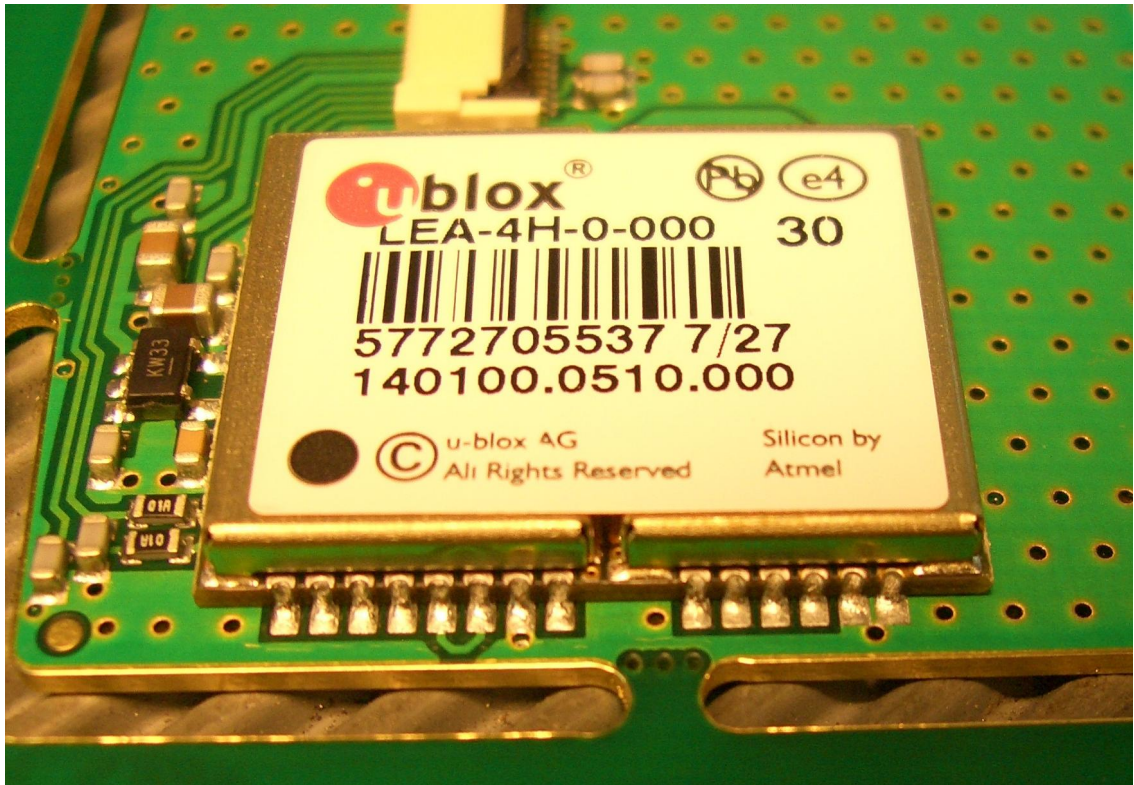
6.6 Pasta

Juotosprosessin optimoinnin yhteydessä oli tarkoitus etsiä myös juotospasta, joka antaisi parhaan jäljen kehitellyllä juotosprofiililla. Pastoja vertailtaessa niiden suositus- tai ohjeprofiilit olivat niin laajoja tai ylimalkaisia, että katsottiin parhaaksi tehdä profilointi yhtä pastaa käyttäen ja vertailla sitten juotosjälkeä käyttäen tuota samaa ohjelmaa kaikilla pastoilla. Juotokset tutkittiin mikroskoopilla sekä röntgenillä.

Loppujen lopuksi tutkittavaksi saatiin vain kolme käyttökelpoista pastatyyppeä, jotka kaikki olivat eri valmistajilta. Profiloinnissa käytetyn AIM NC254 -pastan lisäksi testattiin Heraeus F640 SA30C5 -pasta sekä Alpha OM 338 -pasta. Liitteessä 2 nähdään pastojen tarkemmat suositusprofiilit.

Alphan pasta ei joutunut ensimmäiseen vertailutestiin, joten verrattiin vain kahta pastaa, eli AIM ja Heraeus. Mikroskooppitarkastuksessa ei juotoksissa näkynyt eroja, mutta yksi aihiolinen molemmilla pastoilla juotetuista tarkastettiin vielä X-ray-analysaattorilla. Tuloksia röntgentutkimuksista nähdään tämän lopputyön tulokset-osiossa.

Seuraavassa tutkimuksessa mukana oli myös Alpha OM 338 -pasta. Edellisen tutkimuksen perusteella jätettiin Heraeus -pasta pois tästä tutkimuksesta ja vertailtiin jälleen vain kahta pastaa. Alkuperäinen AIM oli nyt vertailussa Alphan pastan kanssa. Tutkimustuloksia esitellään tulokset-osiossa sekä liitteissä 2/1 ja 2/2.



Kuva 27. Juotosjälkeä

6.7 Röntgentutkimus

Koska mikroskooppitutkimuksessa kaikki juotokset näyttivät yhtä hyviltä, ei juotospastojen paremmuutta voitu selvittää. Jotta saataisiin selville juotosten todellinen laatu, tutkittiin juotoksia röntgenlaitteella. Röntgentutkimuksessa haluttiin tutkia juotoksissa mahdollisesti esiintyvät kaasukuplat. Kaasukuplien kokoa ja niiden esiintymistiheyttä verrattiin eri juotospastoilla.

Kuvaukset tehtiin Kajaanin AMK:n testauslaboratorion Phoenix X-ray-analysaattorilla. Ensimmäisessä tutkimuksessa mukana olleiden komponenttilevyjen juotokset oli tehty profiloinnissa käytetyllä AIM NC254 -pastalla sekä näytteeksi saadulla Heraeus F640 SA30C5 -pastalla. Toinen vertailu tehtiin AIM NC254 - ja Alpha OM 338 -pastrojen välillä.

Röntgentutkimus paljasti selvästi eron, miten yhtä hyvännäköinen juotos voikaan olla erilainen, kun päästään katsomaan juotoksen sisälle.

7 TULOKSET

7.1 Juotosprofiili

Tässä työssä päästiin haluttuun lopputulokseen. TTA310-Antenna-piirikortille saatiin muokattua laadukas juotosohjelma. Vaadittuun lopputulokseen pääsemiseksi jouduttiin tekemään enemmän valintoja ja yllättäviäkin ratkaisuja, joita alun perin ei osattu odottaakaan. Alkusetelmassa oli olemassa konvektio-juotoskone Autotronik BS 3020, jota käyttäen oli luotava juotosohjelma uudelle piirikortille TTA310-antenna. Toimiva juotosohjelma saatiin aikaan vasta juotoskoneen vaihdon jälkeen infrapunauunilla (SEF 544.60). Kuvassa 25 esitetty lopullinen juotosprofiili on vertailtavana Antaris 4 -GPS -moduulin vastaavaan suositusprofiilin arvoihin taulukossa 2. Taulukosta nähdään, että luodun juotosprofiilin arvot ovat hyvin paljon komponentin suositusprofiilin kaltaiset. Taulukossa on esitetty myös Alpha OM 338 -suositusprofiilin arvot. [31].

Taulukko 3. Juotosprofiilien numeroarvoja

	Alpha OM 338	Antaris 4 GPS	Luotu juotosohjelma
Ramp 1	0,8-1,70 ° C/s.	1-4 ° C/s.	2,50 ° C/s.
Tdwell 1	130	150 ° C	145 ° C
Tdwell 2	130-170	150-200 ° C	185 ° C
Dwell time	80-170	60-120	100
Ramp 2	-	-	-
T max	232-250 ° C	230-250 ° C	249 ° C
Ramp Down	3-7 C/s	3 ° C/s.	3,30 ° C/s.
Liquid Time	30-90 s	20-40 s	45 s

7.2 Juotoskone

Kahden suhteellisen pienitehoisen juotoskoneen käyttö juotosprosessin optimoinnissa aiheutti enemmän työtä ja vaivaa kuin jos käytössä olisi ollut yksi isotehoinen kone. Työn kohteena olevan piirikortin juottamiseen pystyi kunnolla vain infrapunajuotoskone SEF 544.60,

joten se tulee olemaan tämän tutkimuksen tulosten vuoksi käytössä myös päivittäisessä tuotannossa. Konvektiojuotoskone ei siis aina ole parempi kuin infrapunajuotoskone.

7.3 Stensiili

Stensiilin paksuus valitaan yleisesti pienimpien komponenttien ja tiheimpien komponenttien jalkavälien mukaan. Niin myös ohjeistetaan suunnittelijoita ja myös juotevalmistajien datasivuilla sanotaan. Tässä kehitystyössä jouduttiin rikkomaan noita ohjeita, vieläpä siten että stensiilin paksuus hyppäsi kaksi pykälää yli suositusten. Lopullinen käyttöön otettu stensiili oli 0,180 mm paksu 0,127 mm:n sijasta. Tuo ylipaksu stensiili toimii kiitettävästi, eikä juotoksissa ole ollut sen käyttöönoton jälkeen enempää oikosulkuja kuin vajaita juotoksiakaan. Ehkä kaasukuplien määrään suuremmalla juotemäärällä on lisäävä vaikutus.

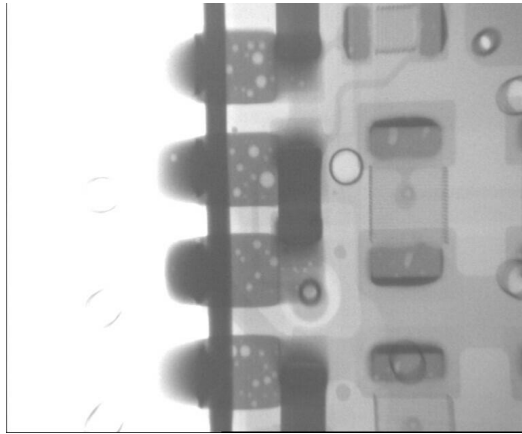
7.4 Pastat

Sopivinta juotospastaa valittaessa tehtiin vertailuja kolmen juotevalmistajan pastoilla. Pastat oli valittu testiin perusteilla, jotka ovat vain insinööriyön tilaajayrityksen edustajan tiedossa. Vaikka testattavia pastoja oli vain kolme, saavutettu lopputulos oli hyvä. Yksi pastoista näytti sopivan täydellisesti kehitettyyn juotosprofiiliin. Mikroskooppitutkimuksissa ei pastojen eroja voitu havaita, mutta X-ray-analysoitsija näytti selkeästi sen, että Alpha OM 338 -pasta oli ylivoimaisesti parhaiten soveltuva ainakin tämän työn kohteena olevalle piirikortille ja juotosprofiilille.

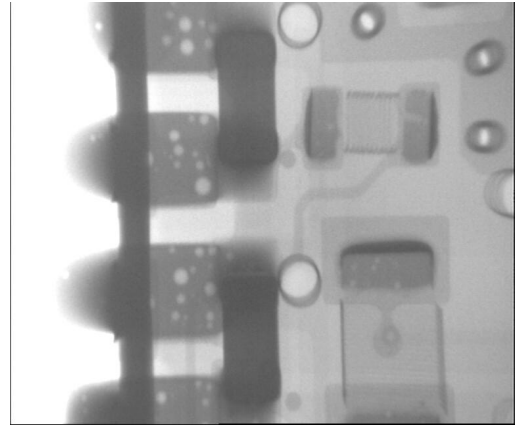
Kuvausten perusteella Heraeus- ja AIM-pastojen juotoksien kaasukuplien lukumäärä, ja koko olivat aivan samanlaiset. Alphan pastassa ei kaasukuplia ollut juuri ollenkaan, joten perusteilla, jotka oli valintaa varten annettu työn tilaajan puolesta, jatkossa käytettävän pastan valinta oli helppoa. Kuvaustuloksia voidaan nähdä liitteissä 2/1 ja 2/2.

7.5 Röntgentutkimuksen tulokset

X-ray-analysaattorilla kuvatut juotokset sisälsivät ennakoitua enemmän kaasukuplia. Mikrooppitarkastuksessa hyvältä näyttävät juotokset näyttivät röntgenillä kuvattuina huonoilta. Kaasukuplien esiintyminen oli kaikissa levyissä erittäin runsasta. Molempien tinapastojen osalta tulokset olivat samanlaiset. Kaasukuplien määrän ja koon perusteella molemmat tutkitut pastat olivat yhtä huonoja (kuva 28 a ja b). IPC A 610 C-standardin mukaan esim. BGA:n juotosnystyn pinta-alasta saa olla voideja enintään 10 %, joten sen mukaan juotokset olisivat hyväksyttävissä.



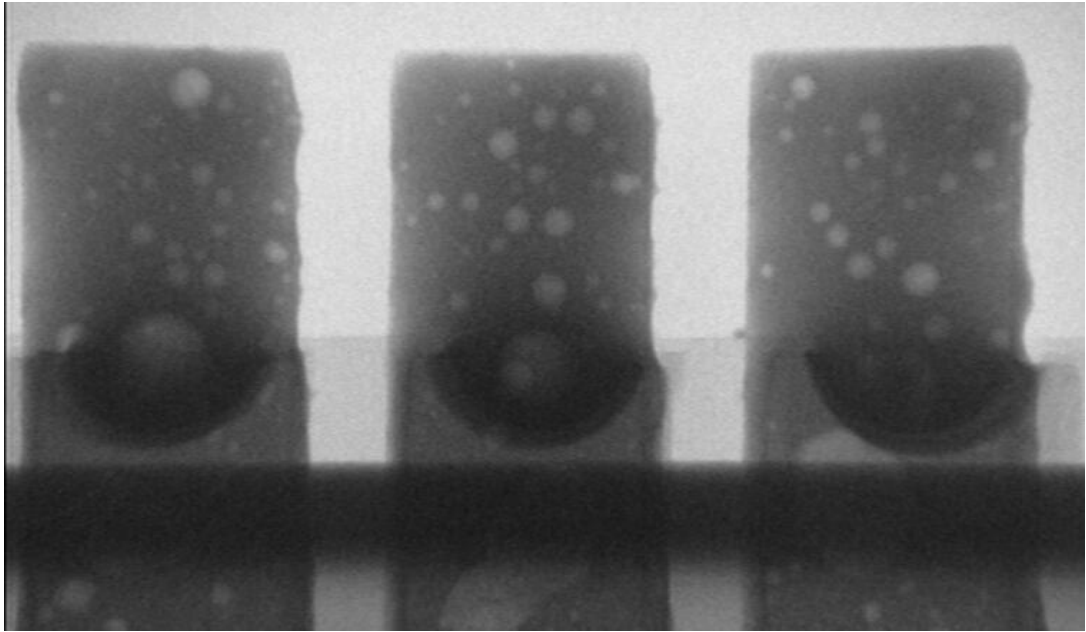
Kuva 28 a. AIM NC 254



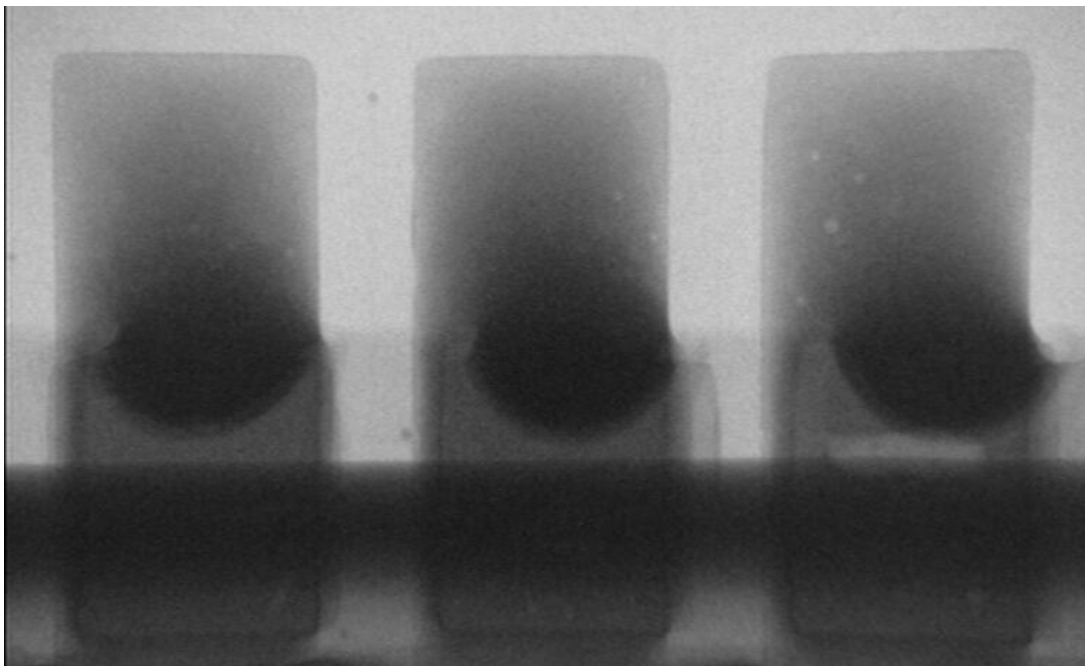
Kuva 28 b. Heraeus F640

Tutkimuksessa haluttiin saada selville pasta, joka muodostaisi vähiten juotosta heikentäviä kaasukuplia, joten tutkimuksia jatkettiin.

Seuraavaan tutkimukseen saatiin testattavaksi Alphan OM 338 -pasta. Heraeus F640 -pasta jätettiin pois, koska se oli jo vertailtu AIM:n pastan kanssa, ja ainakaan parempi se ei ollut. Näin päädyttiin vertailemaan AIM NC 254- ja Alpha OM 338 -pastoja. Kuvaukset tehtiin samalla tavalla kuin aikaisemmin. Nyt tuloksissa oli selvät erot. Kuvassa 29 a nähdään yksi esimerkki AIM NC 254 -pastan juotoksista, ja kuvassa 29 b on Alpha OM 338 -pastan juotoksia.



Kuva 29 a. AIM 254



Kuva 29 b. Alpha OM 338

Kuvista on nähtävissä selvä ero. Kaasukuplien määrä Alphan pastalla juotetuissa liitoksissa on lähes nolla. AIM:lla juotetut ovat samanlaisia kuin aikaisemmassa tutkimuksessa. Alphan pastalla juotetut juotokset olivat kaikki kuvan 28 b kaltaisia. Liitteessä 2/1 on kuvattuna AIM:n tuloksia ja liitteessä 2/2 on kuvattuna Alphan kuvaustuloksia tästä tutkimuksesta.

X-ray-kuvien perusteella on helppo päätellä, mikä juotospasta on noista kolmesta tutkitusta paras. Alpha OM 338 -pasta on vähiten kaasukuplia muodostava juote tässä juotosprosessissa. Lisäksi kun mikroskooppitutkimuksissa ei pastojen välisiä eroavaisuuksia löytynyt, niin Alpha OM 338 -juotospastaa oli helppo suositella työn tilaajalle. Vetolujuustestejä tai vastavia ei tässä työssä tehty.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Profilointi

Lyijytön juotosprofiili ei onnistunut käytössä olevalla konvektio-juotoskoneella. Ensimmäiset murheet tulivat vastaan heti ensimmäisessä profiilinmittausyrityksessä. SuperM.O.L.E.-mittalaitteen liiallisen kuumenemisen suojana oleva metallikotelo ei mahtunut menemään juotoskoneen läpi. Kajaanin ammattikorkeakoulun mittalaite on varustettu 25 mm paksulla kotelolla, ja juotoskoneen läpi ei mahtunut kuin 20 mm korkea esine. SuperM.O.L.E.:n varustevalikoimaan kuuluu myös alle 20 mm paksu kotelo, mutta valitettavasti tämä laite oli varustettu paksummalla versiolla.

Työssä kokeiltiin SuperM.O.L.E.:ssa myös yli 3 metriä pitkiä termoparijohtoja, mutta niillä ei saatu oikeita mittaustuloksia. Lämpötila-arvot olivat noin 70 astetta matalampia kuin juotoskoneen omalla mittauslaitteella mitatut arvot. Toisaalta tiedetään, että kaapelin ominaisvastus vaikuttaa tulokseen, jos mittalaite vähänkään kuormittaa termoparia. Mittalaitteen sisäisen vastuksen tulisi olla $> 100 \text{ M}\Omega$. Jatkossa olisi tutkimuksen arvoinen asia selvittää, vaikuttaako termoparijohtojen pituus noin paljon lämpötila-arvoihin.

Toimiva juotosprofiili saatiin muokatuksi infrapuna-juotoskoneelle. Profilointi tehtiin yritä-ja-erehdy menetelmällä, eli kokeilemalla. Tehtiin pieni muutos ja mitattiin muutoksen vaikutus. Menetelmä on varma, mutta hitaampi kuin matemaattiset menetelmät. Myös valmiita simulointiohjelmia on markkinoilla, mutta ne ovat suhteellisen kalliita, koska eri määrä lämmitysvyöhykkeitä vaatii erilaisen simulointiohjelman ja ohjelma on tehtävä konekohtaisesti. Simulointiohjelman olisi voinut tehdä itsekin, mutta sen tarpeellisuutta epäiltiin, ja se jätettiin tekemättä.

Profiilin tekeminen kokeiluperiaatteella oli yllättävän helppoa. Vaikka infrapuna-juotoskoneessa lämmityselementtien lämpötilat ovat erittäin paljon suuremmat kuin lämmitettävän kohteen saavuttamat lämpötilat, saatiin toimiva juotosprofiili alle kymmenellä testi- ja mittausajolla.

8.2 Juotoskone

Huomionarvoinen seikka oli se, että konvektiuunilla ei saatu kunnollista juotosohjelmaa työn kohteena olevalle piirikortille. Yksi syy oli Autotronik BS 3020 -juotoskoneen pieni nimellisteho. Toinen merkittävä tekijä oli se, että lyhyt, vain vähän toista metriä pitkä juotostunneli ei pystynyt muodostamaan juuri minkäänlaista satulaprofiilia. Neljällä vyöhykkeellä olisi pitänyt saada aikaan valtavat lämpötilaerot esilämmityksen ja reflow'n välillä, mikä vyöhykkeiden keskinäisen lämpövaikutuksen vuoksi oli tuomittu epäonnistumaan. Mahdollisesti lineaariprofiililla olisi päästy parempaan tulokseen, mutta sitä vaihtoehtoa ei käytetty.

On muistettava, että infrapunajuotoskoneen käyttö ei ole mahdollista, jos komponenttilevyillä on isoja BGA- tai CSP-piirejä. Näissä komponenteissa juotettavat kontaktit ovat piirien alla, ja ne hyvin epätodennäköisesti juottuisivat infrapunajuotoskoneella. Tämän työn kohteena olevassa komponenttilevyssä ei näkymättömissä olevia juotospisteitä ollut, ja se mahdollisti IR-juotoskoneen käytön.

Tuotannon sujumisen ja laadun varmistamisen kannalta jatkossa tehokkaamman konvektiuunin investointi voisi olla paikallaan. Noin 20 kW:n tehoisen konvektiuunin hankinta varmistaisi juotosprosessien onnistumisen tuotteen komponenttivalikoimasta riippumatta. Myös höyryfaasiuuni voisi olla hyvä vaihtoehto, varsinkin kun tuotannossa olevien tuotteiden sarjakoot ovat suhteellisen pieniä.

8.3 Stensiili

Pelkästään juotosprofiilista ei tämän kehitystyön lopputulos ollut kiinni. Piirikortin taipumisen vuoksi tarvittiin juotetta enemmän, joten stensiilin paksuus oli erittäin merkittävästi vaikuttamassa juotostulokseen. Tässä yhteydessä opittiin se, että stensiiliä ei voida valita pelkästään tiheimmän jalkavälin omaavan komponentin perusteella. On pyrittävä täyttämään kaikkien komponenttien asettamat ehdot. Jonkinlainen kompromissi on saatava aikaan, kuten juotosprofiilia luotaessa.

Pelko siitä, että paksumpaa stensiiliä käyttäen alkaisi esiintyä oikosulkuja pienellä jalkavälillä olevassa mikroiitissä, osoittautui turhaksi. TTA 310 -piirikortilla ei ole ilmennyt oikosul-

kuja eikä myöskään vajaita juotoksia sen jälkeen, kun juotosprosessin osaset saatiin kohdalleen.

8.4 Juotospasta

Insinööriyön tuloksena löydettiin myös uusi juotospasta, jonka juotosjälki on aivan toista luokkaa kuin yrityksessä aiemmin käytössä olleella juotteella. Vaikka kokeiltavana oli vain kolme eri juotospastaa, niin ehkä hyvää tuuriakin oli mukana, kun yksi niistä näytti toimivan kehitetyllä juotosprofiililla parhaalla mahdollisella tavalla. Tutkimuksessa nähtiin selkeästi, kuinka paljon kaasukuplien esiintyminen juotoksissa johtuu pastan ominaisuuksista.

8.5 X-ray -tutkimus

X-ray- eli röntgen-tutkimus on yleistymässä teollisuuden laaduntarkastuksessa. Tämän tutkimuksen jälkeen ja tutkimustulosten perusteella voidaan tehdä myös johtopäätös, että se ei ole mikään ihme. Juotoslaadun tutkimisessa se osoittautui ratkaisevaksi tutkimusmenetelmäksi. Kajaanin ammattikorkeakoulun Phoenix PCBA X-Ray-analysointilaitteisto osoittautui helppokäyttöiseksi laitteeksi, jota kannattaa hyödyntää enemmänkin asiakastöissä.

Kaasukuplien ja juotosten sisäisten poikkeavuuksien tutkiminen on mahdotonta tuotetta rikkomatta, jos röntgen-laitetta ei olisi käytettävissä. Vastaava juotospastojen vertailu, joka tässä tutkimustyössä tehtiin, ei olisi mahdollista.

8.6 Muita havaintoja

Sillä, miten piirilevyn irtijyrsintä on suunniteltu aihioista, on myös oma merkityksensä piirilevyn juottuvuuteen. Tässä työssä huomattiin, että jyrsimättä jätettävät kiinnityskohdatkin olisi valittava oikein. Tärkeää olisi, että kiinnityskohtia piirilevyn ja aihiorungon välille jäisi tarpeeksi paljon, että piirilevyn taipuminen olisi mahdotonta. Kuvasta 30 nähdään, että kiinnikkeitä on vain piirilevyn keskikohdilla, ja kuten juotosprosessin kanssa painittaessa huomatiin,

tiin, juuri piirilevyn kulman kohdalta se taipui juotoksessa. Jos kulmassa olisi kiinnityskoh-
ta, se ei pääsisi taipumaan.



Kuva 30. Jyrsintä ja layout

Todennäköisesti edellä mainittuun taipumaan vaikuttaa myös komponenttilevyn layout eli komponenttien sijoittelu levyllä, sekä myös kyseisen levyn suuri kuparoitu maapotentiaali, joka peitti yhtenäisenä kaikki tyhjät alueet molemmin puolin piirilevyä. Jyrsinnän ja layoutin muutoksilla saataisiin piirilevyn taipuma varmasti kokonaan pois.

Toisaalta piirilevyn layoutin perusteena on maksimoida laitteen sähköinen suorituskyky ja häiriönsieto. Lisäksi komponenttien sijoittelua rajoittaa koko laitteen rakenne. Kiinnityskoh-
tien määrä taas pyritään minimoimaan käsityön vähentämiseksi tuotannossa. Kiinnityskohdat joudutaan siistimään käsityönä kokoonpanon yhteydessä.

9 YHTEENVETO

Tämä insinöörityö tehtiin oulunsalolaiselle Tracker Oy:lle. Tuote, jonka juotosprosessia työssä kehitettiin ja optimoitiin, kuuluu kategoriaan huippunykyaikaiset tuotteet. Sen lisäksi että tuote, koira-GPS:n antenni- ja GPS-yksikkö, oli herkkää nykYTEKNIikkaa, se oli saatava markkinoille tiettyyn päivämäärään mennessä. Tästä johtuen juotosohjelman profilointi tehtiin keväällä 2007 lyhyessä ajassa, toimivaksi juotosohjelmaksi. Juotospastojen vertailu tehtiin tämän jälkeen, vasta myöhemmin keväällä, ja viimeiset testaukset tehtiin vasta syyskuussa. Tuote oli tuotannossa koko ajan juotosohjelman valmistumisesta lähtien.

Insinöörityössä oli tavoitteena saada lyijytön juotosprosessi toimivaksi ja laadultaan korkeatasoiseksi kyseisellä yksiköllä, joka poikkesi rakenneosiltaan tuotannossa olevista muista tuotteista. Lukuisista vastoinkäymisistä huolimatta työssä saavutettiin haluttu lopputulos. Tuotteelle saatiin muokattua toimiva juotosohjelma, ja lopuksi löydettiin myös parametreihin sopiva juotospasta, jonka juotokset kestivät myös röntgensäteillä tehdyn tarkastelun.

Työssä käytettiin apuna Kajaanin ammattikorkeakoulun laitteita, kuten profiilinmittauslaitteistoa ja X-ray-analysointilaitteita. Nämä laitteet mahdollistivat tämän insinöörityön lopputulokset. Mielenkiintoisten tutkimusvälineiden käytön oppiminen oli tämän työn parasta antia.

Kokonaisuutena tämä insinöörityö oli erittäin mielenkiintoinen, opettavainen ja monilta osin jopa haastava. Vaikeuksien kautta voittoon tuntuu aina paremmalta, kuin että lopputulokseen päästäisiin suorinta tietä. Tutkittua tietoa näytti olevan välillä liian paljon, ja toisaalta jotakin haluttua tietoa ei löytynyt mistään. Pienistä palasista kertyi kuitenkin kokonaisuus, josta tämä insinöörityö muodostui.

Kustannuksiltaan juotosprosessin optimointi tuli tilaajalle edulliseksi eikä ylittänyt alussa laadittua kustannusarviota.

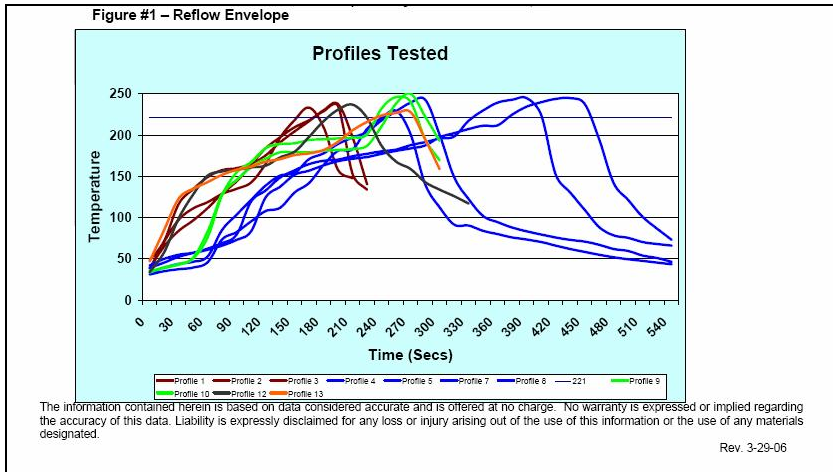
LÄHTEET

- 1 Euroopan unionin virallinen lehti L37/19 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/95/EY
- 2 Turvatekniikan keskus (tukes) www-sivut, http://212.54.2.142/sahko_ja_hissit/ohjeet/RoHS_direktiivi.html (luettu 8.8.2007)
- 3 Tracker Oy:n kotisivut. www.tracker.fi
- 4 Weiling+Göös/Factum tietosanakirja 2005/6
- 5 GPS-Laitteen käyttö+karttatietoaineistot.Gis-Seminaarit.[www-aineistoa]. <http://trc.pori.tut.fi/seminaarit/GIS.pdf> (luettu 10.8.2007)
- 6 Elektroniikan juotosmenetelmät/reflow-juotto 2007/Kajaanin AMK/Pekka J
- 7 Juotos- ja pintaliitostekniikka. Osa12. [WWW-aineistoa] <http://elektronikka.turkuamk.fi/7050030/osa12/smd12.html#kuumailma> (luettu 1.9.2007)
- 8 Koki Company Limited/Autosolder ARC-250 esite
- 9 SEF 544.60. Käyttöohje, saksankielinen. SEF 544.60 IR-Reflow Lötsystem/querprofileinstell 4.19
- 10 Solvay solexis [www-materiaalia] <http://www.solvaysolexis.com/products/bybrand/brand/0,,16049-2-0,00.htm> / (luettu 5.9.2007)
- 11 Aulis Tuominen, Kari Määttänen, Heidi Näykki/New EXploratory Technologies/TUCS National Publication No 5, October 2004
- 12 Uuden sukupolven höyryfaasijuottaminen. Perel Oy :n www-materiaalia. <http://www.perel.fi/pdf/Uuden%20sukupolven%20H%C3%B6ryfaasijuottaminen%20ratkaisu%20tulevaisuuden%20haasteisiin.pdf> (luettu 5.9.2007)
- 13 Julkaisusarja A- Tampereen teknillinen yliopisto, Porin yksikkö Nro A5/2004
- 14 APS Novastar Inc. kotisivut, <http://www.novastarinc.com/reflow.htm> (luettu 7.9.2007)
- 15 IBL Löttechnik kotisivut, <http://www.ibl-loettechnik.de/english/index.html> (luettu 10.9.2007)
- 16 APS Novastar Inc. kotisivut http://www.novastarinc.com/brochures/Pak_Man.pdf (luettu 10.9.2007)

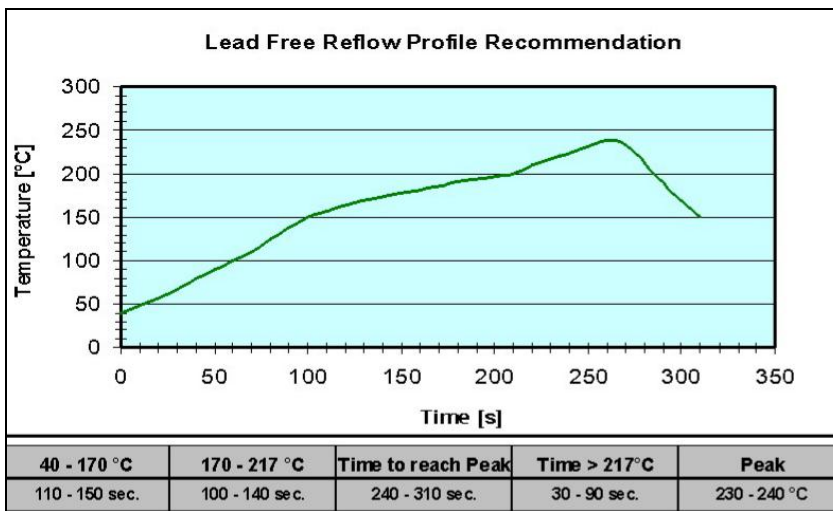
- 17 Pietiko Oy, Termopari lämpötila-anturina [www-materiaali]
<http://208.56.121.241/pietiko/sovellus/Termopari.pdf/> (luettu 10.9.2007)
- 18 SuperM.O.L.E. käyttöohje, SuperM.O.L.E Gold Hardware User's Guide
- 19 Prosessori/ marraskuu 2002 s. 67
- 20 Mercasystems OY, No Clean juotospastat, koulutusjulkaisu
- 21 Luentomoniste/Komponenttien käsittely/Juotospastat 2006/Kajaanin AMK/Pekka Juntunen
- 22 Turun yliopisto, luentomateriaalia,7.11.2005
http://users.utu.fi/tppack/xerox/Elektronikan_komponentit_ja_materiaalit/Materiaalit8.pdf (luettu10.9.2007)
- 23 Lyijyttömät juotteet elektroniikassa/Kajaanin ammattikorkeakoulu/Harri Honkainen/http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honhar/ma/PCBS_LYIJYT-TOMAT_JUOTTEET.pdf (luettu 10.9.2007)
- 24 STUK/Säteily ja ydinturvallisuus/Röntgenlaitteiden ja niiden käytön kehitys/ julk. Säteilyturvakeskus, ISBN 951-712-498-8 (sid.)
- 25 Phoenix X-ray PCB-analysaattori, käyttöohje
- 26 STUK/Säteilyn käyttö teollisuudessa ja tutkimuksessa/ julk. Säteilyturvakeskus, ISBN 951-712-498-8 (sid.)
- 27 Prosessori 3/2000 s. 54.
- 28 <http://www.phoenixxray.com/viewDetails.php?bildnummer=4120> (luettu 29.9.07)
- 29 Dima SMT systems, www-sivut. <http://dimasmt.nl/cmpage/news.asp?id=25/> (luettu 30.9.07)
- 30 U-blox Ag:n tuotemerkin Antaris 4:n käsikirja, Antaris 4 GPS Modules System Integration Manual (SIM)
- 31 Cookson electronics, [www-materiaalia]
<http://www.alphametals.com/products/paste/>(luettu 30.9).

LIITTEIDEN LUETTELO

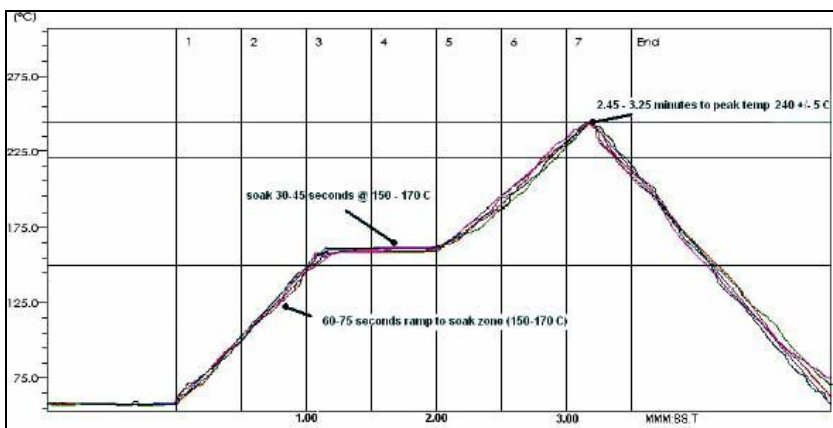
- 1 JUOTOSPASTOJEN SUOSITUSPROFIILIT
- 2 X-RAY-KUVAUKSIEN TULOKSIA



Alpha OM 338 suositusprofiili



Heraeus F 640 SAC suositusprofiili



AIM NC 254/SAC305 tinapastan suositusprofiili

