



Janne Nurminen

**KORJAUSASEMAN SÄÄTÖPARAMETRIEN VAIKUTUS
ELEKTRONIIKKAKOMPONENTTIEN JUOTOSPROFIILIN LÄMPÖTILAAN**

**KORJAUSASEMAN SÄÄTÖPARAMETRIEN VAIKUTUS
ELEKTRONIIKKAKOMPONENTTIEN JUOTOSPROFIILIN LÄMPÖTILAAN**

Janne Nurminen
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Tietotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Janne Nurminen

Opinnäytetyön nimi: Korjausaseman säätöparametrien vaikutus
elektroniikkakomponenttien juotosprofiilin lämpötilaan

Työn ohjaaja: Tapani Kokkomäki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012

Sivumäärä: 44

Tässä työssä tutkittiin Martin Expert 09.6 -korjausaseman juotoslämpötiloja mikropiirien vaihdon tai juottamisen yhteydessä sekä korjausaseman säätöparametrien ja komponenttien fyysisen koon vaikutuksia juotoslämpötiloihin.

Martin Expert 09.6 -laitteiston toiminta perustuu piirilevyn alapuolisen infrapuna-lämmittimen lämpösäteilyyn sekä piirilevyn yläpuolisen kuumen ilmavirtauksen yhteistoimintaan, jolla komponentin juotosprofiili muodostetaan.

Työssä tutkittiin juotosprofiilin säätöparametrien vaikutusta komponentin lämpötilaan juotosprosessin aikana. Profiilin säätöön on useita mahdollisuuksia, kuten lämmityssuuttimen etäisyys ja koko, lämmitysilmän lämpötila ja ilmamäärä, pohjalämpö sekä lämmitysvyöhykkeiden juotoslämpötilan aika.

Lämpötila-anturina työssä käytettiin JEDEC-standardin mukaista puolijohde-diodia, joka oli integroitu testikomponentin sisään piipalalle. Komponentin sisäisen diodin myötäsuuntaisen jännitteen muutokset seuraavat pienen etäisyyden johdosta komponentin pohjassa olevien juotepallojen lämpötilaa. Lisäksi lämpötestikomponentti huomioi myös komponentin ja piirilevyn termisen massan vaikutukset lämpötilan nousuun.

Työn tuloksena todettiin korjausaseman juotosprofiilin hyvä toistettavuus sekä saatiin hyvä tuntuma säätöparametrien käyttöön juotosprofiilin optimoinnissa. Lisäksi luotiin tarkempi ohjeistus termoparien kiinnitykseen nykyiseen lämpötilan mittauskäytäntöön verrattuna.

Asiasanat: Korjausasema, juotosprofiili, juotosprosessi, säätöparametri, lämpötestikomponentti, piirilevyt

ABSTRACT

Oulu University of Applied Science
Degree Programme in Information Technology

Author: Janne Nurminen

Title of thesis: The effect of rework station's tuning parameters to electronics component soldering profile temperatures

Supervisor: Tapani Kokkomäki

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2012

Pages: 44

The purpose of this work was to study the effect of Martin rework station's soldering profile tuning parameters and the effect of the component package size for the soldering temperatures.

Operation of the Martin Expert 09.6 system is based on underneath infrared heating of printed circuit board and hot-air-flow control on the component top side. The final solder profile is formed with interaction of these two heating directions.

Martin rework station has a number of possibilities for controlling the soldering process such the distance and size of the heating nozzle, the temperature and volume of the hot air flow, the bottom side IR power as well as the heating time effect of the solder temperature zones. In addition, in this work the current practice thermo couple temperature measurement and measurement problem issues with repair station was studied.

As a temperature sensor the semiconductor diode was used. The diode was integrated inside of the thermal test component die. The die temperature measurement was based on diode's forward biasing voltage change according to temperature change. As the sensor diode is located inside of the component and the distance from diode to solder joint is small the temperature of the diode will follow the solder joint temperature closely. The component integrated sensor will also take care of the thermal mass effect of the component and printed wiring board combination.

As an outcome of this work a good repeatability and accurate control of the profile was proven for tested component types. Also wider knowledge of the tuning parameter effects was achieved to control soldering profiles. Also better thermo couple mounting guide was created to help temperature measurements during the rework process.

Keywords: Rework, repair station, soldering profile, soldering process, tuning parameter, thermal test component, printed circuit board

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 ELEKTRONIIKAN LÄMPÖTILAN MITTAUS.....	9
2.1 Termopari.....	9
2.2 Puolijohdesensori.....	11
2.3 Lämpötestikomponentti	14
3 MITTAUSJÄRJESTELMÄ.....	15
3.1 Mittalaitteet.....	15
3.2 Testilevyt	15
3.3 Lämpötestikomponentti	16
3.4 Mittauksen johdotus	17
4 MARTIN-KORJAUSASEMA	18
4.1 Martin-korjausaseman toimintaperiaate	19
4.2 Martin EasySolder -ohjelmisto.....	21
5 MITTAUSTULOKSET JA TARKASTELU.....	22
5.1 Puolijohdeanturin kalibrointi	22
5.2 Profiilin toistettavuus	24
5.3 Termoparin kiinnitys komponenttiin.....	26
5.4 Alalämmön vaikutus	29
5.5 Komponenttia lämmittävän ylälämmön muutoksen vaikutus	30
5.6 Komponenttia lämmittävän ilman virtausmäärän vaikutus.....	31
5.7 Suuttimen koon vaikutus	32
5.8 Suuttimen etäisyyden vaikutus.....	33
5.9 Juotosalueen lämmitysvyöhykkeen pitoajan vaikutus	34

6	PROFIILIOPTIMOINNIN TESTAUS.....	36
6.1	Profiilioptimoinnin tavoite.....	36
6.2	Profiilioptimoinnin tulokset sekä tarkastelu.....	36
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	40
8	POHDINTA	42
	LÄHTEET	43

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin korjausasemalla tuotettuja juotoslämpötiloja mikropiirien vaihdon tai juottamisen yhteydessä sekä korjausaseman säätöparametrien ja komponenttien fyysisen koon vaikutuksia juotosprofiileihin. Lisäksi suoritettiin profiilin optimointi korjausaseman säätöparametrejä käyttäen.

Työn tuloksena on tarkoitus saada hyvä ohjeistus Oulun seudun ammattikorkeakoululla käytössä olevan Martin-korjausaseman juotosprofiilin lämpötilan säätöihin siten, että komponenttivalmistajan määrittämiä suurimpia sallittuja juotoslämpötiloja ei ylitetä tai että alilämmöstä johtuvat kylmäjuotokset saadaan poistettua. Juotosprofiilin oikea säätö varmistaa osaltaan komponentin pitkän ajan luotettavuuden säilymisen mahdollisimman hyvänä. Korjausaseman nykyinen lämpötilan säätö perustuu pitkälle korjausaseman käyttäjän subjektiiviseen kokemukseen sekä vanhojen juotosprofiileiden käyttöön.

Erityisesti haastavaksi lämpötilan ja profiilin säätö tulee silloin, kun komponentteja juotetaan ensimmäistä kertaa uudentyyppiselle piirilevyille, kuten esimerkiksi pienille prototyyppisarjoille. Koska pääsääntöisesti kaikilla piirilevyillä ja komponenteilla on fyysisen kokonsa ja rakenteensa puolesta erilainen terminen massa, myös komponentin juotosten lämmittämiseen vaadittava lämpöenergia vaihtelee piirilevy- ja komponenttikohtaisesti. Samalla vaihtelee myös juotosprofiilin säätötarve luotettavan juotoksen aikaansaamiseksi.

Komponenttien juottamiseen korjausaseman valmistaja Martin on toimittanut komponenttien lämmityssuuttimet erikokoisille ja -tyyppisille komponenteille. Näille suuttimille on valmiiksi määritelty juotosprofiilit helpottamaan luotettavan juotoksen tekemistä. Kuitenkin olemassa olevat profiilit toimivat ainoastaan suuntaa-antavina, sillä komponentin lisäksi myös kulloinkin käytössä oleva piirilevy vaikuttaa oikean profiilin parametreihin ja tapauskohtainen profiilin hienosäätö on tehtävä komponentin ja piirilevyn yhdistelmälle. Työn yksi keskeisimmistä tavoitteista on juuri tämän esisäädetyin juotosprofiilin

tapauskohtaisen lämpötilan ohjaaminen ja hienosäätö sekä eri säätöparametrien vaikutus komponentin juotosprofiiliin tyypillisessä korjausaseman käyttötilanteessa Oulun seudun ammattikorkeakoululla.

Tyypillisesti komponenttien juotoksenaikainen lämpötila mitataan komponentin alta, vierestä tai pinnalta joko termopareilla, vastuslämpötila-antureilla tai mahdollisuuksien mukaan lämpökameralla. Kuitenkin termoparien tai vastuslämpötila-antureiden käyttö lämpötilanmittauksessa on haastavaa johtuen lämpötila-anturin ja sen kiinnityksen vaikeudesta komponenttiin tai juotokseen. Myös lämpökameran käyttö korjausaseman lämpötilan mittauksessa on hankalaa, koska lämpökamera vaatii suoran näköyhteyden mitattavaan pintaan, joka korjausasemassa on tyypillisesti peitetty juotosprofiilin tuottavalla lämmityssuuttimella.

Tässä työssä komponenttien juotosprofiili mitattiin suoraan komponentin sisältä JEDEC-standardin 51-4 mukaisella lämpötestipiisirulla, joka on integroitu komponenttikotelon sisälle toiminnallisen piisirun tilalle. Lämpötestipiisiru sisältää piille integroidun puolijohdediodin, jonka lämpötilariippuvaisen myötäsuuntaisen jännitteen muutoksen funktiona komponentin lämpötila voidaan määrittää. Komponentin sisältä mitattua lämpötilaa voidaan pitää hyvin samansuuruksena kuin komponentin juotosten lämpötila, sillä komponentin juotokset ovat hyvin kytkettyinä termisesti sisällä olevaan piisiruun komponenttibusstratin metalloinnin ja läpivientien kautta. Lisäksi piisirun yläpuolella oleva epoksikerros toimii eristeenä kuumaa ilmavirtaa vastaan ja samalla epoksi tasaa suurimmat lämpötilaerot pinnan ja juotteen välillä.

Lämpötestikomponentti huomioi lämpötilan mittauksessa myös komponentin fyysisen koon sekä termisen massan vaikutukset lämpötilan nousukäyrään. Vastaavasti termoparimittauksessa termoparin luotettava kiinnitys mitattavaan pintaan voi olla hankalaa, sillä esimerkiksi termoparin ja mitattavan pinnan väliin mahdollisesti jäävät ilmakuplat vääristävät massaltaan pienen termoparin antamaa mittaustulosta. Pahimmillaan epäonnistunut termoparin kiinnitys mittaa virtaavan ilman lämpötilaa todellisen mittaustuloksen lämpötilan sijaan.

2 ELEKTRONIIKAN LÄMPÖTILAN MITTAUS

Lämpötilan mittaukseen on olemassa useita menetelmiä, joista sopivan menetelmän valintaan vaikuttavat mm. haluttu mitta-alue, tarkkuusvaatimus, mittaustulosten jälkikäsittelymahdollisuudet. Lisäksi mittausten menetelmän valintaan vaikuttavat myös anturin kiinnitysmenetelmät mittaustulosten kuten esimerkiksi suora mekaaninen kiinnitys tai kosketukseton lämpötilanmittaus.

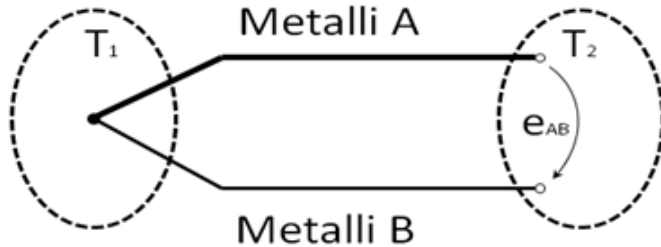
Yleisesti käytetyissä mittausten menetelmissä mittausta suoritetaan määrittämällä suure, jonka arvo muuttuu lämpötilan funktiona. Tästä suuresta käytetään nimitystä Temperature Sensing Parameter (TSP). Muuttuvaa suuretta mitataan siihen soveltuvalla mittarilla, ja mittarin tulos muutetaan lämpötilaksi. Tavallisimmin lämpötilan mittaukseen käytettyjä mittalaitteita ovat mm. termopari, erilaiset vastuslämpötila-anturit, infrapunalämpötila-anturit sekä nesteen laajenemiseen perustuvat laitteet. Tässä työssä keskitytään kahteen elektroniikassa yleisesti käytettyyn lämpötilanmittausmenetelmään: termopariin sekä puolijohdesensoriin.

2.1 Termopari

Termopariin perustuva mittausta on yksi yleisimmin lämpötilan mittaukseen käytetty menetelmä juotosprofiiliin sekä elektroniikkakomponenttien lämpötilanmittauksessa. Termopariin käyttö vaativissa olosuhteissa on myös hyvin perusteltua, sillä termopari on yksinkertainen, kestävä ja halpa.

Termopariin toiminta perustuu Seebeckin ilmiöön, jossa termopari muodostetaan kahdesta eri materiaalia olevasta termolangasta, joiden toinen pää on liitetty yhteen kuvan 1 mukaisesti joko kiertämällä, juottamalla tai hitsaamalla. Termopari muuntaa mitattavasta kohteesta ottamaansa lämpöenergiaa sähköjännitteeksi (1). Kun termopariin liitoskohta on lämpötilassa T_1 ja avoin pää lämpötilassa T_2 , niiden välille syntyy termojännite e_{AB} . Termopariin

päiden välinen jännite e_{AB} riippuu käytettyjen termolankojen A ja B materiaaleista sekä T_1 :n ja T_2 :n välisestä lämpötilaerosta.



KUVA 1. Termoparin toimintaperiaate: Seebeckin ilmiö

Koska termoparista saatavan signaalin jännitetaso on matala n. 1 mV ja sen herkkyys on vain $60 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, se asettaa jännitemittarille kohtuullisen tarkkuusvaatimuksen. Kuitenkin termopareille soveltuvia jännitemittareita sekä mittalaitteistoja on saatavana kaupallisesti useita eri merkkejä ja malleja.

Termoparianturit on valmistettu standardimateriaalipareista, joiden tuottama jännitearvo on tunnettu 0°C :n lämpötilassa. Näistä standardimateriaaleista K-tyypin termopari (nikkelikromi- ja nikkelialumiinitermolangat) on yleisin laajan toiminta-alueensa -270 – 1370°C :n vuoksi (2).

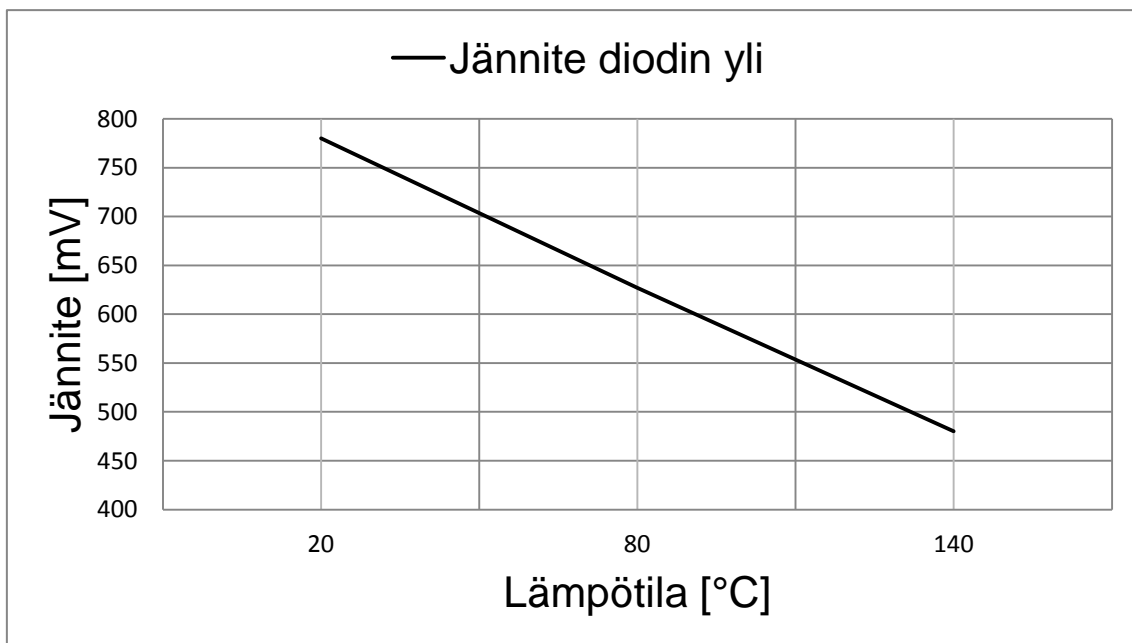
Termoparien käytön yhteydessä huomioitavia seikkoja ovat sopivantyyppisen anturin sekä mittalaitteen valinnan lisäksi itse mitta-anturin kiinnitys. JEDEC-julkaisu JEP140 (3) termoparien käytöstä komponenttien lämpötilamittaukseen ohjeistaa huomioimaan tärkeimmät seikat termoparimittauksissa:

1. Termopari tulee valmistaa riittävän ohuista langoista, jotta termoparin massa ei vaikuta mittaustulokseen.
2. Termolankojen liitos on tehtävä mahdollisimman pieneksi.
3. Termoparin liitoksen ja mitattavan pinnan välissä tulee olla hyvä terminen kontakti.
4. Termoparin kiinnitysmateriaalin paksuus mitattavaan pintaa vasten on tehtävä mahdollisimman ohueksi.
5. Termoparin kiinnitysmateriaalin emissiivisyyden tulee olla lähellä mitattavan pinnan emissiivisyyttä.

6. Termoparin liitoksen pitäisi olla kontaktissa mitattavaan pintaan vähintään 20-kertaisesti termojohdtimeen halkaisijan verran.

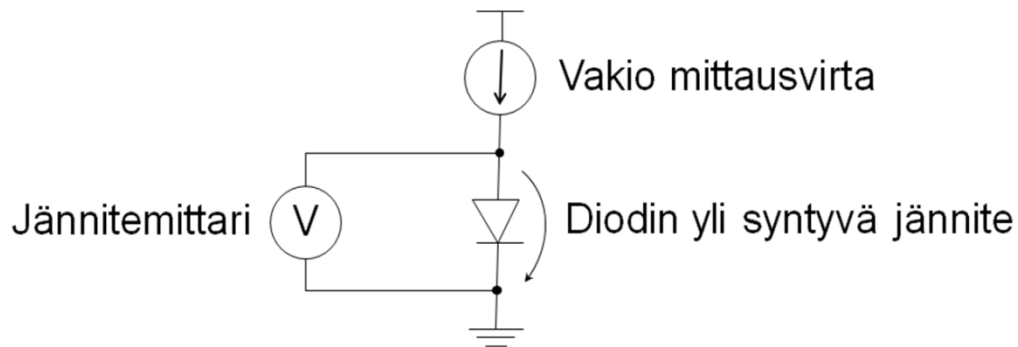
2.2 Puolijohdesensori

Puolijohdesensorina käytetään tyypillisesti piisirulle integroitua diodia, jonka myötäsuuntaan biasoitu jännite muuttuu lämpötilan funktiona. Yleisesti puolijohdediodin lämpötilariippuvuutta, noin $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$, voidaan pitää hyvin lineaarisena juotoksen suorituksen aikaisella lämpötila-alueella. Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen diodin lämpötila-jännitekäyrä.



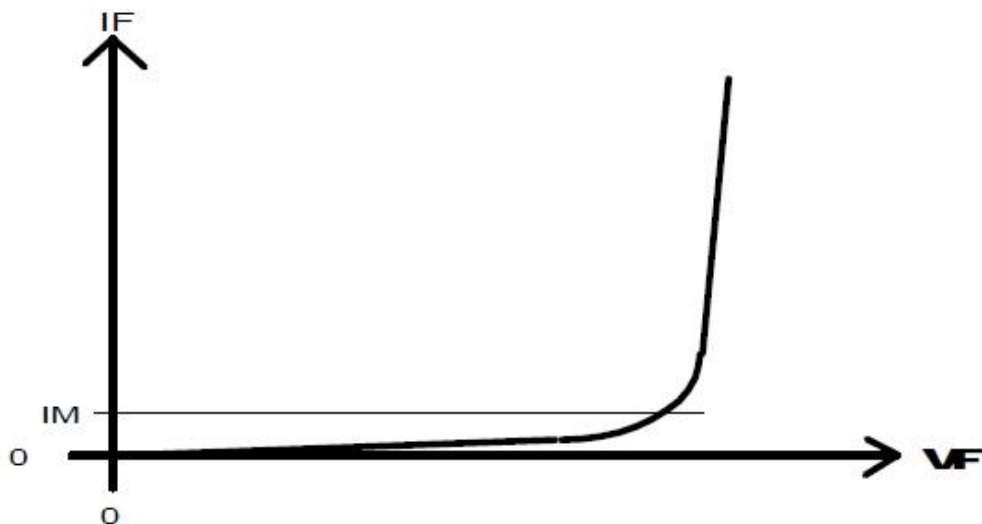
KUVA 3. Tyypillinen diodin lämpötila-jännitekäyrä

Diodin myötäsuuntaisen jännitteen lämpötilariippuvuuteen perustuvassa lämpötilan mittauksessa diodin läpi syötetään myötäsuuntainen vakiovirta, joka aiheuttaa lämpötilasta riippuvan jännitteen diodin yli. Kun diodin lämpökäyttäytyminen tiedetään, voidaan diodin ylimenevästä jännitteestä määrittää diodin lämpötila (kuva 4).



KUVA 4. Diodin lämpötilamittauksen periaate

Diodille syötettävä vakio mittausvirta valitaan standardin JESD51-1 (4) mukaisesti tyypilliseltä virta-alueelta $100 \mu\text{A} - 5 \text{ mA}$. Virran suuruuteen vaikuttavat mm. diodin koko ja rakenne, mutta tyypillisesti virta on luokkaa 1 mA , jolloin diodin kanava on täysin auki. Alle $100 \mu\text{A}$:n mittausvirta saattaa aiheuttaa diodin pintavuotoefektin tai vastaavasti liian suurella virralla saatetaan aiheuttaa diodin itselämpeäminen, joka aiheuttaa mahdollisia mittausvirheitä. Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen mittausvirran (I_m) valinta virta-jännitekäyrän taitekohdasta. Kuvassa 5 I_F on diodin myötäsuuntainen biasointivirta ja V_F on diodin myötäsuuntainen jännite.



KUVA 5. Diodin mittausvirran valinta virta-jännitekäyrältä (4)

Diodin vakio mittausvirran määrittelyn jälkeen diodille määritellään K-tekijä eli kulmakerroin, jolla diodin lämpötila seuraa lämpötilan havaitsevan jännitteen muutosta standardin JESD51-1 kaavan 1 mukaisesti:

KAAVA 1. Piirin liitoslämpötilan muutos

$$\Delta T_J = K * \Delta V_F$$

missä

ΔT_J on piirin liitoslämpötilan muutos [°C]

ΔV_F on diodin myötäsuuntaisen jännitteen muutos [mV]

K on vakio, joka määrittelee T_J :n ja V_F :n muutoksen välisen suhteen [°C/mV].

Koska K-tekijä on riippuvainen mm. diodin valmistusprosessista sekä rakenteesta, tulee diodin K-tekijän arvo varmistaa kalibroimalla diodin K-tekijä vähintään kahdessa tunnetussa lämpötilassa standardin mukaisesti (4). Mikäli kalibrointi suoritetaan vain kahdessa lämpötilapisteessä, tulee lämpötilojen eron olla vähintään 50 °C. Tällä varmistetaan riittävän suuri jännite-ero K-tekijän määrittämiseksi, joskin tarkan tuloksen saamiseksi kalibrointi olisi hyvä suorittaa useammassa eri lämpötilassa. Kahden mittauspisteen arvoista lasketaan K-tekijän arvo kaavan 2 mukaan:

KAAVA 2. Kahden pisteen K-tekijän arvo

$$K = \left| \frac{(T_{Hi} - T_{Lo})}{(V_{Hi} - V_{Lo})} \right|$$

missä

T_{Hi} on korkeampi mittauslämpötila [°C]

T_{Lo} on matalampi mittauslämpötila [°C]

V_{Hi} on jännite korkeammassa mittauslämpötilassa [mV] ja

V_{Lo} on jännite matalammassa mittauslämpötilassa [mV].

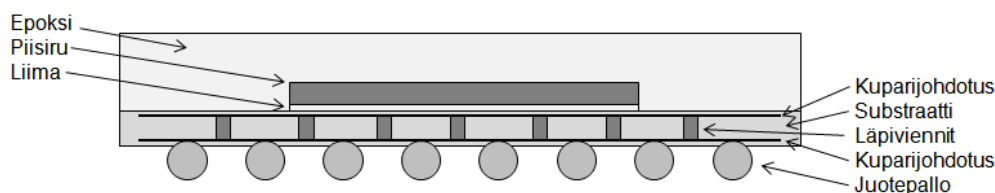
2.3 Lämpötestikomponentti

Lämpötestikomponentin käyttö juotoksen aikaisen lämpötilan mittaukseen on osoitettu toimivaksi menetelmäksi Jouni Nevalaisen 2003 tekemässä diplomityössä (5), josta saatuihin tuloksiin tämän opinnäytetyön tekeminen lämpötestikomponentteja hyödyntäen pitkälle perustuu.

Lämpötestikomponentti koostuu normaalista komponenttikotelosta sekä piipalasta, jonka toiminnallinen piipala on korvattu lämpötestipiipalalla. Tyypillisesti lämpötestikomponentteja käytetään komponenttikotelon lämpökäyttäytymisen tutkimiseen sekä luotettavan vertailudatan määrittämiseen eri komponenttikoteloidelle.

Komponenttikoteloon integroitava lämpötestipiipala sisältää lämmityselementin sekä lämpötila-anturin, joka on yleensä diodi. Lämmityselementin tarkoitus on tuottaa kontrolloitu teho kotelon sisälle, ja lämpötila-anturilla määritetään tehon aiheuttama lämpötilan nousu piipalalla. Tätä piipalan liittolämpötilaa sekä tunnettua häviötehoa P hyväksikäyttäen voidaan määrittää mm. komponenttipaketin lämpöresistanssit kontrolloiduissa ympäristöissä (4).

Juotoslämpötilan diodimittausta tukevana seikkana lämpötestikomponenttiin integroitu puolijohdediodi toimii hyvin komponentin sekä piirilevyn lämpötilan mittauksessa, sillä komponentin sisälle integroidulla diodilla voidaan huomioida myös komponentin sekä piirilevyn termien massa. Esimerkiksi BGA-koteloidissa juotospallojen ja piisirun välissä on vain ohut substraatti kuparijohtimiseen ja läpivienteineen sekä ohut liimakerros piisirun kiinnitykseen substraatille (kuva 6). Tämän hyvin lämpöä johtavan rakenteen ansiosta piisirun lämpötila seuraa hyvin läheisesti juotoksen lämpötila.



KUVA 6. Tyypillisen BGA-lämpötestikomponentin poikkileikkaus

3 MITTAUSJÄRJESTELMÄ

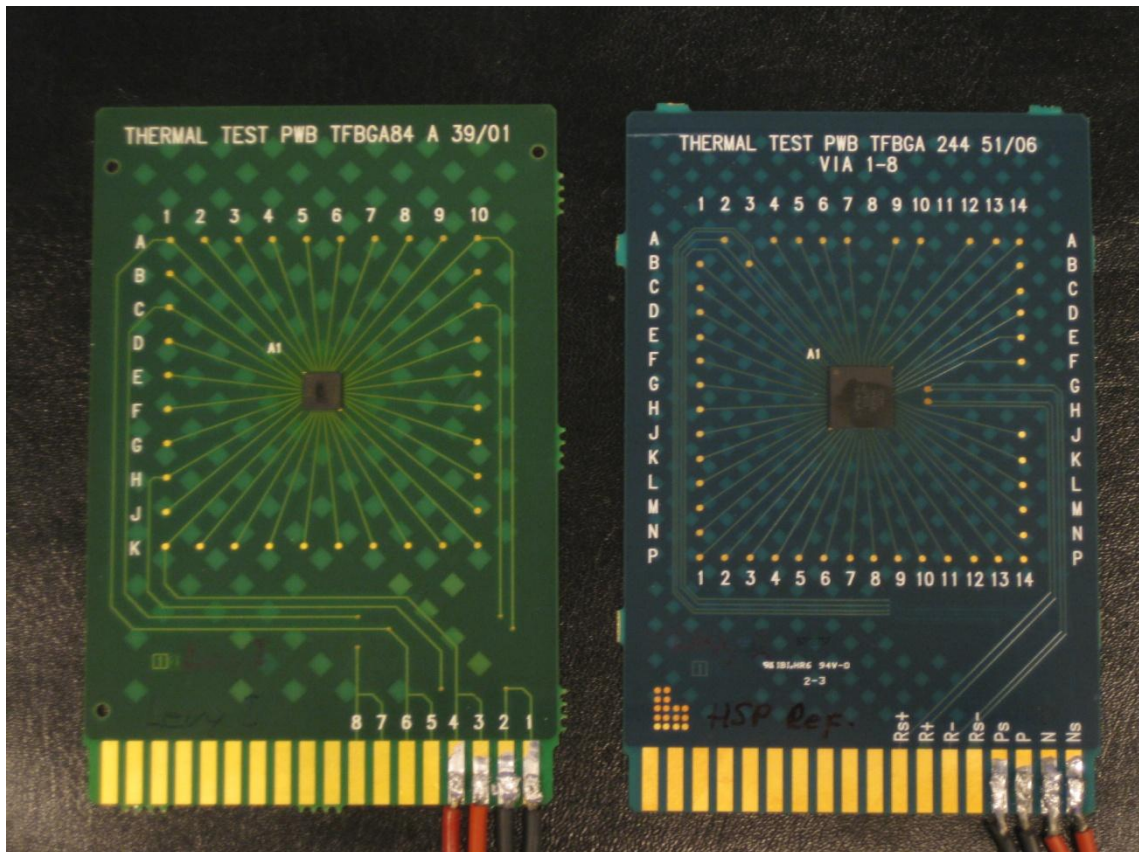
3.1 Mittalaitteet

Työssä käytetyn puolijohdediodin myötäsuuntaisen jännitteen mittauksessa käytettiin Agilentin U1604A -tyyppistä kannettavaa digitaalista oskilloskooppia, johon oli mahdollista kytkeä tiedonkeruohjelmisto tallennetun tiedon jälkikäsittelyyn. Ohjelmistona käytettiin Agilentin PC-link V2.48 -ohjelmaa, jonka avulla kerätty data voidaan tallentaa tietokoneelle csv-formaatissa.

Jännitelähteenä käytettiin Mascot 719 -jännitelähdettä, jolla syötettiin käyttöjännite vakiovirtalähteelle, jonka 1 mA:n mittausvirta säädettiin jännitelähdettä ja Fluke 179 -yleismittaria hyväksikäyttäen oikealle tasolle.

3.2 Testilevyt

Työssä käytettiin kahta JEDEC-standardin JESD51-7 (6) mukaista testilevyä, joiden paksuutta sekä piirilevyrakennetta oli muutettu vastaamaan nykyaikaisen mobiililaitteen piirilevyrakennetta. Standardilevyyn tehdyt muutokset olivat levyn kokonaispaksuuden muutos 1,6 mm:stä 1 mm:iin, kuparikerrosmäärän nosto 4:stä 8:aan, kuparikerrospaksuuden lasku 70/35 μm :stä 17 μm :iin sekä FR4-materiaalin vaihto paremmin mobiililaitteisiin soveltuvaksi. Lisäksi TFBGA244-komponentin alapuolella oli käytössä läpivientejä komponentin jäähdytykseen. Kuvassa 7 ovat käytetyt testilevyt komponentteineen.



KUVA 7. Käytetyt testilevyt komponentteineen

3.3 Lämpötestikomponentti

Lämpötestikomponentteina työssä käytettiin ST Microelectronicsin valmistamia TFBGA84- ja TFBGA244-koteloihin pakattuja lämpötestipiisuruja. Komponentit on valmistettu JEDEC-standardin (4) vaatimusten mukaisesti. Kahta erikoteloista komponenttia käytettiin selvittämään erikokoisten termisten massojen sekä koteloiden vaikutukset komponentin lämpötilaan.

TFBGA84-paketti on 6 x 6 mm:n kokoinen sekä 84 juotepalloa sisältävä komponenttipaketti. Samaa sarjaa oleva suurempi TFBGA244-paketti on 10 x 10 mm:n kokoinen ja juotepallomäärä on 244 kpl.

JEDEC-standardin JESD51-4 (7) mukaisesti piisirulle on integroitu diodi lämpötilan mittausta varten sekä lämmityselementti kotelon lämmitystä varten. Tyypillisesti lämpötestikomponentteja käytetään komponenttien lämpö-karakterisointiin siten, että piillä olevaa vastusta lämmitetään halutulla teholla

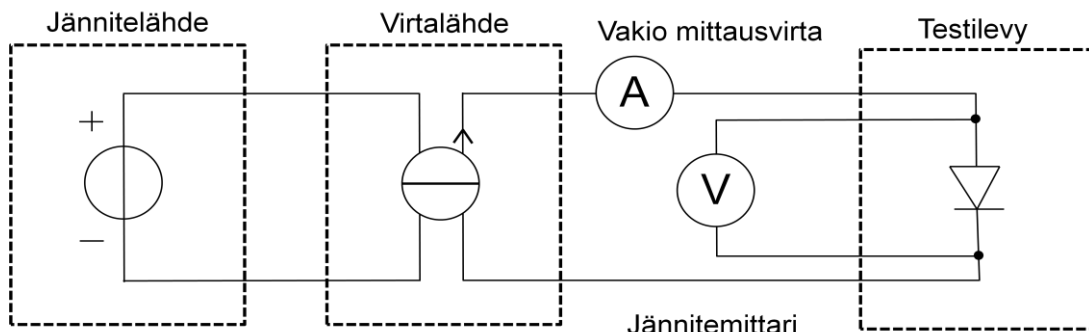
vakio-olosuhteessa ja diodin avulla määritellään piisirun todellinen lämpötila. Piisirun lämpötilaa sekä haluttua referenssilämpötilaa hyväksikäyttäen voidaan määrittellä komponentille esimerkiksi lämpöresistanssit kotelon pintaan, piirilevylle tai ilmaan. Tässä työssä lämpötestikomponentista käytettiin vain lämpötilan mittaukseen tarkoitettua diodia, jonka yli olevaa myötasuuntaista jännitettä seurattiin lämpötilan muutoksien funktiona.

3.4 Mittauksen johdotus

Mittauksessa käytetty kytkentä oli kuvan 8 mukainen. Jännitelähteellä tuotettiin käyttöjännite virtalähteelle, jonka antama vakio mittausvirta säädettiin 1 mA:n suuruiseksi virtamittaria hyödyntäen, standardin JESD51-1 mukaisesti.

Testilevy oli valmistettu tukemaan 4-johdinmittausta, jolloin virtalähteeltä mittausturille menevä mittausvirta sekä sen paluuvirta voitiin erottaa jännitemittaukseen käytetyistä johtimista. 4-johdinmittausta käyttäen mittausvirta sekä sen paluuvirta eivät aiheuta jännitehäviötä jännitemittauksen johtimiin, ja tällöin jännitemittarin havaitsemaa jännitettä voidaan pitää samana kuin sensorin yli olevaa jännitettä.

Mittalaitteiden lisäksi mittauksessa käytetty jännitemittari oli kytketty tietokoneeseen USB-väylää hyödyntäen. Tietokonetta käytettiin korjausaseman ohjaukseen, tiedonkeruuseen sekä csv-muotoisen datan jälkikäsitteilyyn.



KUVA 8. Mittausjärjestelmän johdotus

4 MARTIN-KORJAUSASEMA

Oulun seudun ammattikorkeakoulussa puolijohdekomponenttien juottamiseen ja korjaukseen käytetään Martinin valmistamaa Expert 09.6 -laitteistoa sekä siihen kuuluvaa ohjausyksikköä (kuva 9). Ohjausyksikön lisäksi laitteistoa voidaan ohjata tietokoneen graafiselta käyttöliittymältä.

Korjaus- ja juotostoimintojen lisäksi laitteistolla voidaan suorittaa komponenttien uudelleenpallotusta sekä juoksevien materiaalien annostelua dispenserillä, kuten juotteen juoksutinta, liimoja tai kapselointiaineita. Tässä työssä keskityttiin laitteiston juotostoimintoihin sekä lämmönsäätöparametreihin, opinnäytetyön tavoitteiden mukaisesti.

Laitteistoon kuuluu myös kamera komponenttien kohdistukseen ja töiden dokumentointiin. Lisäksi laitteistoon kuuluu erikokoisia lämmityssuuttimia komponenttien irrotukseen ja juottamiseen.

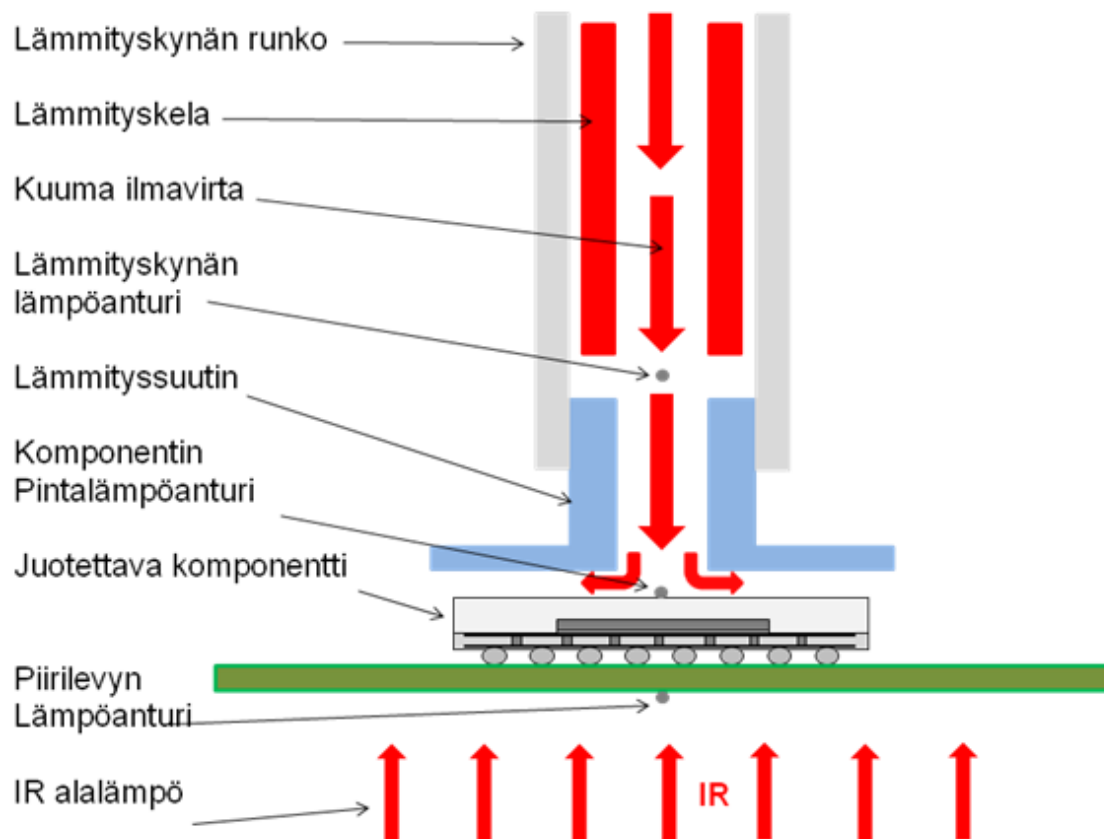


KUVA 9. Martin Expert 09.6 -laitteisto (8)

4.1 Martin-korjausaseman toimintaperiaate

Martin Expert 09.6 -laitteiston toiminta perustuu piirilevyn alapuolisen infrapunälämmittimen (IR) lämpösäteilyyn sekä piirilevyn yläpuolisen kuuman ilmavirtauksen yhteistoiminnan säätöön, jolla komponentin juotosprofiili muodostetaan (9). Yläpuolisen lämpötilan ja alapuolisen lämmittimen tehonsäädön lisäksi juotoslämpötilaa ohjataan automaattisesti myös tuulettimilla, joiden avulla jäähdytystä voidaan tehostaa.

Laitteiston ainoa kiinteä lämpötila-anturi sijaitsee ohjausvarressa sijaitsevassa lämmityskynässä, jonka läpi virtaava ilma lämmitetään ja sieltä kuuma ilma ohjataan lämmityssuuttimen läpi komponentille ja piirilevylle (kuva 10). Lämmityssuuttimen valinta tapahtuu komponenttikoon sekä -tyypin mukaan.



KUVA 10. Martin-korjausaseman toimintaperiaate

Martinin korjausaseman yksittäisen komponentin juotosprofiilin säätö tapahtuu etukäteen ohjelmoitujen tehdasasetusten mukaan siten, että komponentin todellinen juotoslämpötila on Martinin testeihin ja kokemukseen perustuva arvio juotteen lämpötilasta tyypillisille komponentti-piirilevykombinaatioille. Ohjelmisto hyödyntää profiilin muodostuksessa laitteiston lämmityskynässä olevaa kiinteää lämpötila-anturia.

Laitteiston tehdasasetukset ovat määritelty jokaiselle lämmityssuuttimelle erikseen valmiiksi, mutta näihin asetuksiin on mahdollista tehdä muutoksia tai profiilin voi tarvittaessa määrittellä kokonaan itse.

Laitteiston IR-lämpöpöydän tuottaman alalämmön säätö tapahtuu säteilytehoa muuttamalla. Korjausaseman alalämmön maksimiteho on 2400 W, jolla yksistään päästään tyypillisesti noin 160 °C:n piirilevylämpötilaan. IR-alalämpöä voidaan pitää peruslämpönä, jonka lisäksi komponenttia lämmitetään yläpuolelta paikallisesti kuuman ilmavirtauksen avulla asetusten mukaisesti. Komponentin juotosprofiilille on olemassa mm. valmistaja- ja komponenttikohtaisia sekä standardoituja suosituksia, kuten JEDEC-standardi J-STD-020C (10).

Juotosprofiili voidaan myös opettaa laitteistolle, mikäli valmis kalustettu piirilevy on jo olemassa, kuten komponentin vaihdon yhteydessä tai korjaustilanteessa. Komponenttien korjauskäytössä korjausaseman juotosprofiilin opetus toimii kaksivaiheisesti jokaiselle komponentti-piirilevykombinaatiolle erikseen. Alapuolen tehon opettaminen tapahtuu termoparin avulla siten, että kalustettu levy laitetaan paikoilleen asemaan ja juotettavalle piirilevyille määrittämään haluttu lämpötila, esimerkiksi 160 °C. Kun piirilevy saavuttaa määritellyn lämpötilan, ohjelmisto laskee automaattisesti alapuolen tarvitseman lämmitystehon juotosprosessin aikana.

Ylälämmön opettaminen tapahtuu komponentin irrotusvaiheessa määrittämällä opetusprofiiliin referenssilämpötila, jossa komponentin juote sulaa. Sulamispisteen perusteella ohjelmisto laskee sopivan ylälämpöprofiilin komponentille (9).

4.2 Martin EasySolder -ohjelmisto

Juotosprofiilin ohjaukseen Martin-korjausasemassa voidaan käyttää manuaalista ohjausyksikköä tai tietokoneeseen asennettua EasySolder-ohjelmistoa, jossa profiilien säätö tapahtuu graafisen käyttöliittymän kautta. Ohjelman kautta profiilin perussäätöinä voidaan asettaa arvot esilämmitykselle, juotosalueelle sekä jäähtytykselle kuvan 11 mukaisesti. Kaikilla profiilin lämpötila-alueilla voidaan ohjata ilmanvirtausta, ilmaa lämmittävän kynän lämpötilaa, lämmitysvyöhykkeen aikaa sekä IR-lämmittimen lämmitystehoa. Lisäksi profiilin kokonaisaika voidaan säätää erikseen.

Käyttöliittymän kautta säädettävät kolme lämmitysvyöhykettä on vielä jaettu ohjelmallisesti tarkempiin vyöhykkeisiin, joista ohjelmisto laskee komponentin lämpötilan maksiminousu- ja laskuaikoja sekä juotosalueen pitoajan juotteen sulamispisteen yläpuolella.



KUVA 11. EasySolderin profiilinohjauksen käyttöliittymä vasemmalla. Oikealla puolella on Agilent U1604A -digitaalioskilloskoopin käyttöliittymä

5 MITTAUSTULOKSET JA TARKASTELU

Mittauksissa suoritettiin testejä korjausaseman profiilinsäätöparametreille, jotta niiden vaikutus komponentin juotoslämpötilaan saatiin selville. Säätöparametrien testit tehtiin kahdelle erikokoiselle komponentille TFBGA84 sekä TFBGA244, joilla selvitettiin komponentin ja piirilevyn termisen massan yhteisvaikutus juotosprofiiliin.

Juotosprofiilin säätöön Martin-korjausasemassa on useita mahdollisuuksia, joiden vaikutusta komponentin juotosprosessin aikaisiin lämpötiloihin tutkittiin:

- suuttimen etäisyyden vaikutus komponentin pinnasta
- komponenttia lämmittävän ilman virtausmäärän vaikutus
- komponenttia lämmittävän ilman lämpötilan vaikutus
- suuttimen koon vaikutus lämpötilaan
- pohjalämmön vaikutus (infrapunalämmitin)
- juotosalueen lämmitysvyöhykkeen pitoajan vaikutus.

Säätöparametritestien lisäksi suoritettiin testikomponenttien kalibrointi sekä selvitettiin Martin-korjausaseman juotosprofiilin ja lämpötilansäädön tarkkuutta ja toistettavuutta. Lisähuomio kiinnitettiin myös termoparin kiinnitysmenetelmien vaikutukseen mittaustuloksissa.

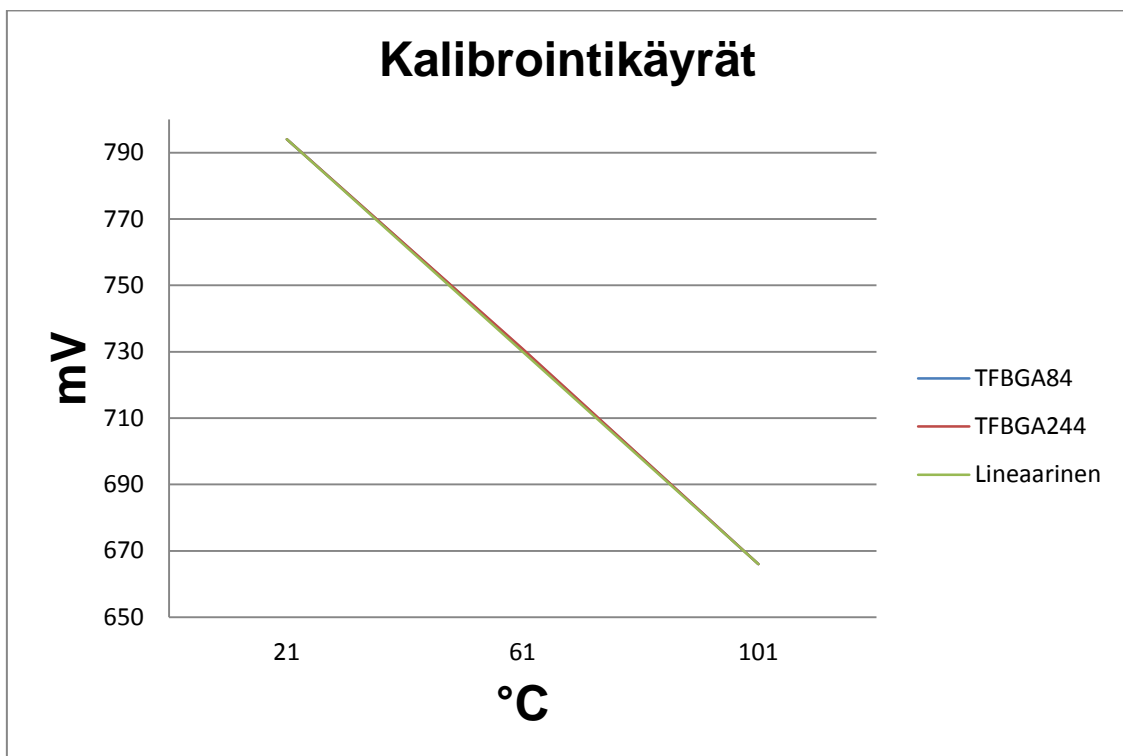
5.1 Puolijohdeanturin kalibrointi

Komponenttien sisäinen puolijohdediodi kalibroitiin käyttämällä ammatti-korkeakoulun laboratoriossa olevaa uunia, jonka lämpötilaa voitiin säätää portaattomasti. Kalibroinnin tarkoitus on selvittää diodin K-tekijä, joka määritetään diodin myötäsuuntaisen jännitteen ja lämpötilan suhteen. Kalibroinnissa diodi biasoitiin matalalla 1 mA:n virralla, jotta virta ei lämmittäisi halutussa vakiolämpötilassa olevaa komponenttia.

Molemmat testeissä käytetyt komponentit kalibroitiin erikseen kahdessa eri lämpötilassa siten, että uuni lämmitettiin ensin noin 120 °C:n lämpötilaan, jonka

jälkeen uuni sammutettiin ja komponenttien lämpötilat sekä diodin jännitteet mitattiin uunin laskiessa lämpöä tasaisesti. Uunin lämpötilamittauksessa referenssinä käytettiin K-tyyppin termoparia, joka oli kiinnitetty levyille Kapton-teipillä.

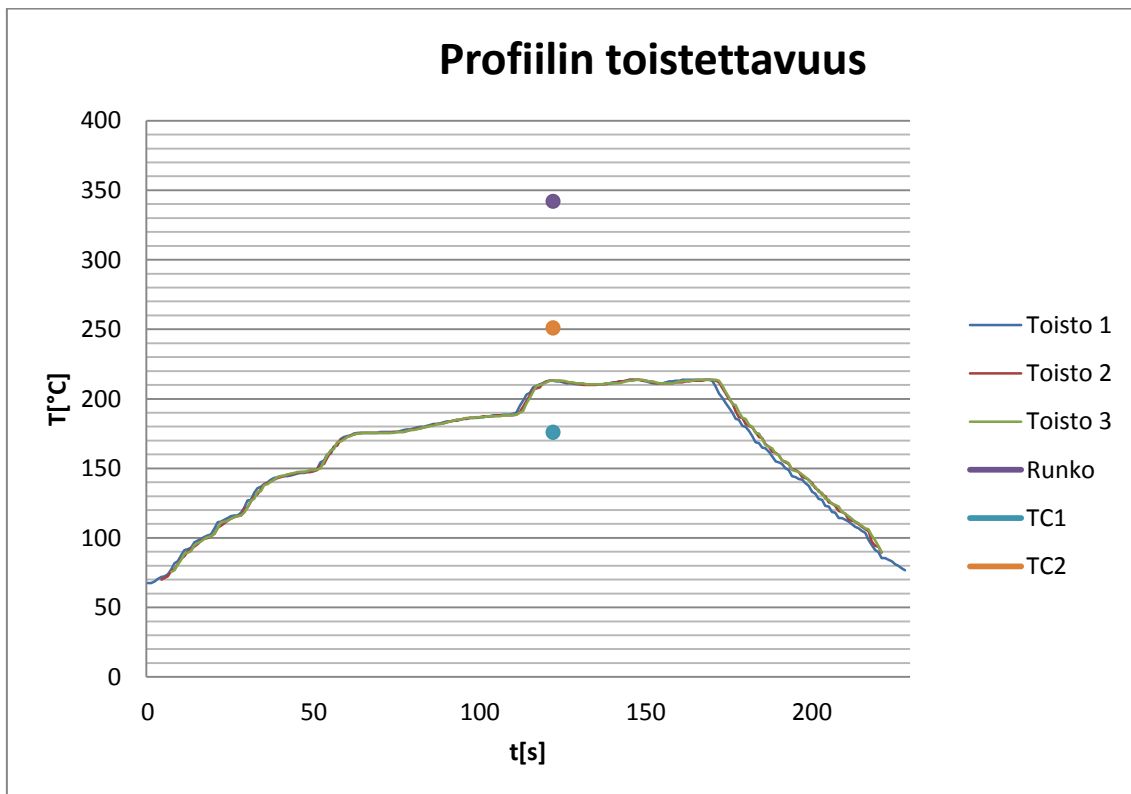
JEDEC-standardin (4) mukaisella kahden pisteen kalibroinnilla ($T = 21,2 \text{ °C}$ ja $101,2 \text{ °C}$) määriteltiin molemmille komponenteille K-tekijäksi $-1,600 \text{ mV/°C}$ (kuva 12), jota käytettiin testin muissa mittauksissa diodin lämpötilan laskemiseen. Kalibrointi sekä diodin jännitemuutoksen lineaarisuus tarkistettiin vielä kolmannella lämpötilalla ($T = 61,2 \text{ °C}$), jonka tuloksena kulmakertoimiksi saatiin TFBGA84-komponentille $-1,583 \text{ mV/°C}$ ja TFBGA244-komponentille $-1,579 \text{ mV/°C}$. Tulosten perusteella mittalaitteiden sekä järjestelmän tarkkuus huomioonottaen diodin jännitekäyttäytyminen sekä lämpötilariippuvuus oletettiin näissä testeissä lineaarisiksi.



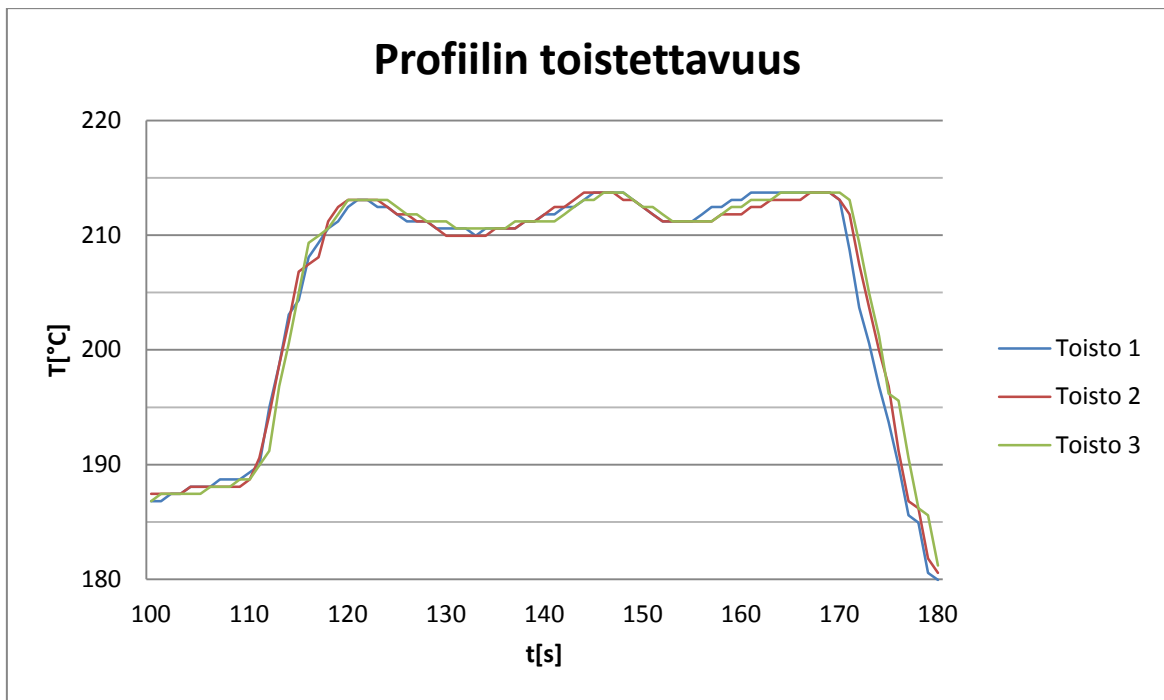
KUVA 12. Käytettyjen komponenttien kolmen pisteen PN-diodin K-tekijän mukaiset käyrät sekä lineaarinen kahden pisteen suora

5.2 Profiilin toistettavuus

Testillä selvitettiin mittausjärjestelmän sekä korjausaseman profiilin toistettavuutta ja suhteellista tarkkuutta. Mittaukset suoritettiin kolmeen kertaan samalla esisäädetyllä juotosprofiililla TFBGA84-komponentille. Kuten kuvasta 13 voidaan todeta, korjausasema kykenee toistamaan säädetyin juotosprofiilin hyvin. Myös mittausjärjestelmä voidaan todeta riittävän tarkaksi suhteellisten mittausten suorittamiseen, sillä juotosalueen lämpötilaerot eri toistokerroilla olivat suurimmillaan alle 2 °C (kuva 13). Kuvassa 13 näkyy myös lämmityskynän rungon kiinteän lämpötila-anturin (Runko) maksimilämpötilapiste sekä komponentin pinnan (TC2) ja piirilevyn pohjapuolen (TC1) maksimilämpötilat. Kuvassa 14 on lähikuva kolmen toiston lämpökäyristä juotosalueelta.



KUVA 13. Korjausaseman juotosprofiilin toistettavuus TFBGA84-komponentilla



KUVA 14. Korjausaseman juotosprofiilin toistettavuus juotosalueelta

5.3 Termoparin kiinnitys komponenttiin






Martin-korjausasemaan liitetyn termoparin kiinnitysmenetelmiä ja niiden vaikutusta komponentin pintalämpötilan määrittelyyn testattiin muutamalla yleisesti käytössä olevalla menetelmällä. Testi tehtiin kiinnityksen herkkyyttä sekä kiinnitysmenetelmän valintaa ohjaavassa merkityksessä. Termopareina käytettiin hyvin ohuita ja taipuisia Martinin toimittamia K-tyyppin antureita.

Termoparin kiinnitysmenetelmiksi valittiin muutama ammattikorkeakoululla käytännön syistä käytetty tapa sekä niiden variaatioita termoparin asennukseen:

1. Kapton-teippi komponentin päällä ja termoparin mittapää teipin alla. Menetelmässä yläpuoleinen lämmitysilmavirta pääsee vaikuttamaan termoparin mittapähän ja teipin alla olevaan ilmaan vain välillisesti Kapton-teipin ollessa mittapään suojana. Tämä menetelmä kuvaa parhaiten ammattikorkeakoululla nykyisin käytössä olevaa menetelmää.
2. Kapton-teipillä kiinnitetty termoparin vapaa lanka, jossa mittapää nojaa vapaasti komponentin pintaan. Menetelmässä yläpuoleinen lämmitysilmavirta pääsee kohtuullisen vapaasti vaikuttamaan termoparin mittapähän, mutta mittapään tuenta on tehty mahdollisimman lähelle sitä.
3. Vapaasti komponentin pinnalla nojaava termoparin mittapää, jonka tuenta on tehty komponentin ulkopuolelta piirilevyiltä. Tässä menetelmässä yläpuoleinen lämmitysilmavirta pääsee vapaasti vaikuttamaan termoparin mittapähän sekä termojohtimiin.
4. Termopari kiinnitettynä suoraan komponentin pintaan lämpöä johtavalla pastalla, jonka ansiosta komponentin pinnan ja termoparin mittapään väliin ei muodostu eristäviä ilmakerroksia. Tässä menetelmässä yläpuoleinen lämmitysilmavirta ei pääse suoraan kosketuksiin mittapähän, koska pasta on mittapään suojana.

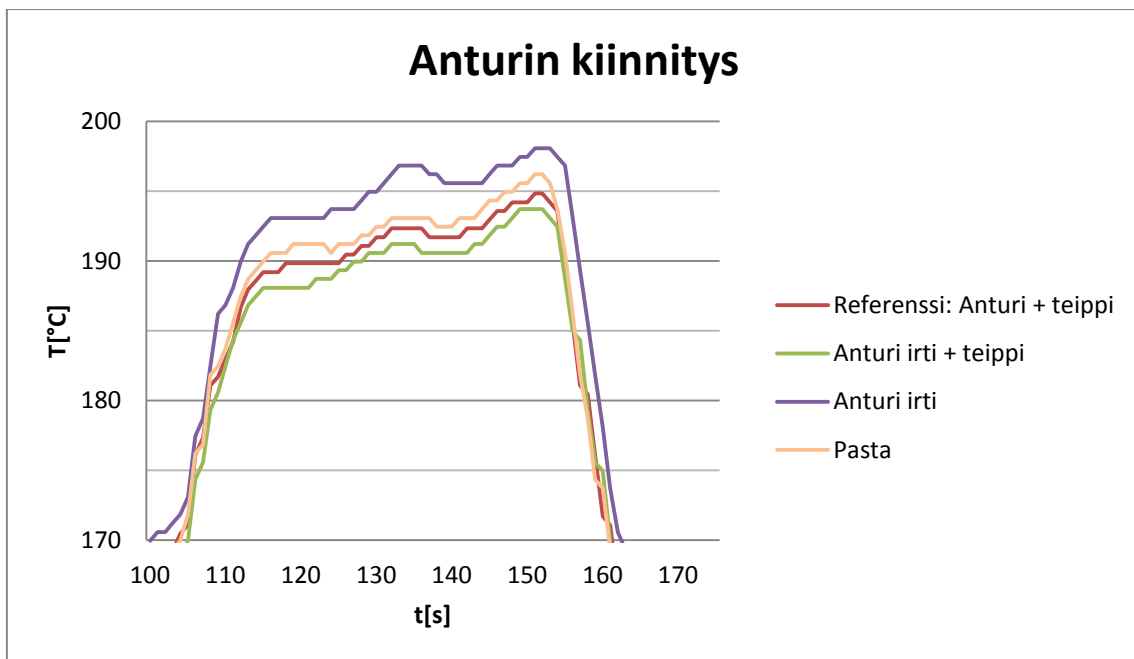
Martin-korjausaseman termopareilla mitatut maksimilämpötilat eri kiinnitysmenetelmille on esitetty taulukossa 1. Kuten tuloksista voidaan nähdä, termoparin kiinnitysmenetelmä vaikuttaa hyvin paljon termoparilla saatuihin tuloksiin. Kiinnitysmenetelmän terminen kontakti komponentin pintaan sekä suoran ja epäsuoran kuumen ilmavirtauksen vaikutus pienimassaiseen termopariin on huomioitava kyseisissä menetelmissä. Lisäksi taulukossa 1 on esitetty piisirun maksimilämpötilavaihtelu testien 1–4 aikana. Termopareja käytettäessä on huomioitava myös kiinnityksen toistettavuus, mikäli termoparin mittatulosta käytetään hyödyksi esimerkiksi profiilin säädössä. Tässä termoparin kiinnitysmenetelmätestissä testikomponenttina käytettiin TFBGA244-komponenttia. Termoparin kiinnityksessä paras mittatulos saatiin aikaiseksi pastan avulla, sillä se sitoo termoparin mittapään tiiviisti kiinni komponentin pintaan.

TAULUKKO 1. Termoparin kiinnitysmenetelmien maksimilämpötilat sekä diodin lämpötilavaihteluväli eri kiinnitysmenetelmissä

Menetelmä	Max. lämpötila [°C]	Kuvaus
1. Anturi + teippi	250	
2. Anturi vapaana + teippi	265	
3. Anturi vapaana	280	
4. Anturi + pasta	217	
5. Diodi komponentin sisällä	193-198	

Termoparin kiinnitysmenetelmien aiheuttamat erot diodin PN-rajapinnan lämpötilaan tallennettiin samanaikaisesti (kuva 15). Tuloksista voidaan havaita diodin huomattavasti stabiilimpi lämpökäyttäytyminen verrattuna termoparimittaukseen, sillä ilmavirta ei missään tapauksessa pääse suoraan

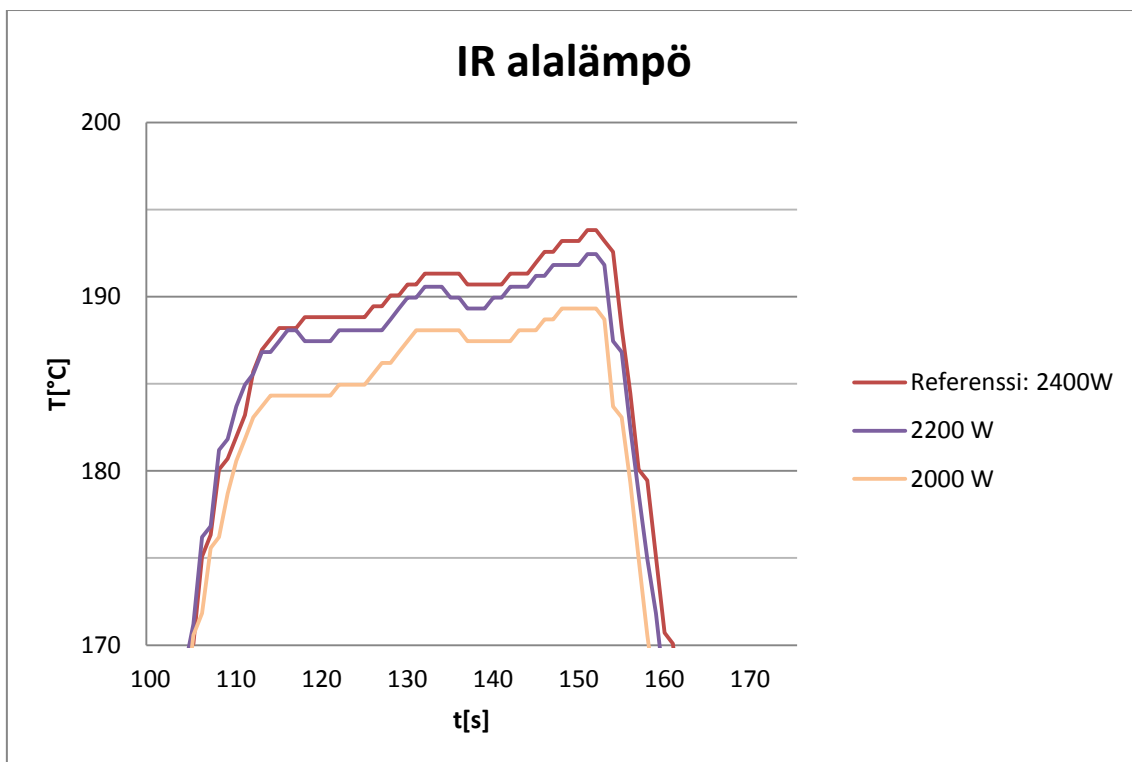
vaikuttamaan komponentin sisällä olevan diodin lämpötilaan. Diodin lämpötilavaihtelun syyksi voidaan olettaa kiinnityksen aiheuttaman termisen kokonaisuuden muutokset sekä Kapton-teipin alla olevan lämpöä eristävän ilmakerroksen esiintyminen kiinnityksissä, jolloin kuumen ilmavirran kulku suoraan komponentin pintaan on estetty osasta komponentin kokonaispinta-alaa. Diodin lämpötila on korkeimmillaan silloin, kun anturin mittapää on pistemäisesti kiinni komponentin pinnassa, ilman mitään kiinnitettä, eristettä tai ylimääräistä kiinnityksestä aiheutuvaa termistä massaa.



KUVA 15. Termoparin kiinnityksen vaikutus TFBGA244-komponentin piisirun lämpötilaan

5.4 Alalämmön vaikutus

Korjausaseman alalämmön säätö ja sen vaikutuksen taso tutkittiin muuttamalla vertailuprofiilin maksimitehoa 2400 W portaittain alaspäin ja suorittamalla uusi ajo sitä vastaavalla tehotasolla. TFBGA244-komponentin tulokset on esitetty kuvassa 16. Maksimilämpötilan vaihtelu testatulla vaihteluvälillä 2400–2000 W on ainoastaan 4,5 °C. TFBGA84-komponentilla tehty koesarja antoi lämpötilan vaihteluväliksi 4,4 °C, joten laitteiston mittatarkkuus huomioiden alalämmön tehosäätö ei ole kovinkaan merkittävää profiilin optimoinnin kannalta. Mittaustulokset tukevat ajatusta toissijaisesta säätöparametrasta, sillä alalämmöllä säädetään ainoastaan säteilytehoa eikä piirilevyn tai komponentin todellista lämpötilaa, ja näin ollen sen vaikutus todelliseen juotoslämpötilaan on huonosti määritettävissä. Tästä johtuen alalämmön säätöä voidaan pitää toissijaisena säätötoimenpiteenä profiilin optimoinnin kannalta. Myös Intel suosittelee alalämmön suoraa maksimointia omissa rework-prosessi-suosituksissaan (11).

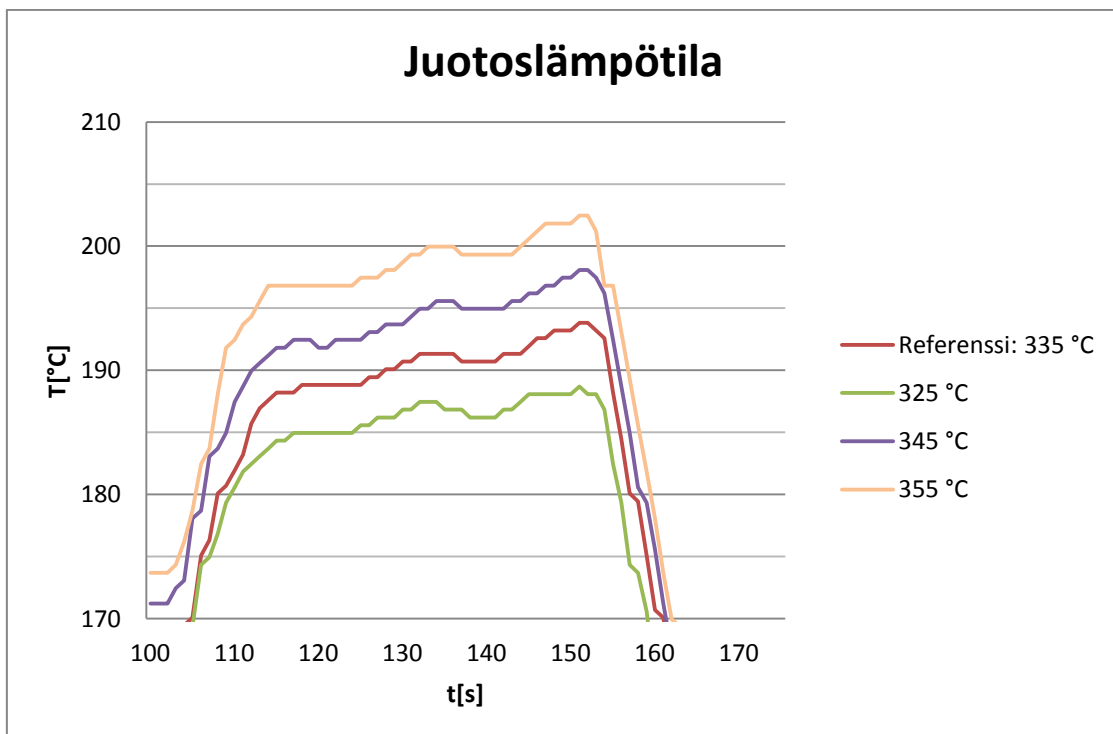


KUVA 16. Korjausaseman alalämmön säädön vaikutus juotosalueen lämpötilaan TFBGA244-komponentilla

5.5 Komponenttia lämmittävän ylälämmön muutoksen vaikutus

Korjausaseman ylälämmön säätö ja sen vaikutuksen taso tutkittiin muuttamalla lämmityskynän lämpötilaa vertailuprofiiliin 335 °C:n molemmin puolin alueella 325–355 °C. Tulokset TFBGA244-komponentille osoittivat keskimäärin 4,6 °C:n lämmön nousun lämmityskynän lämpötilan noustessa 10 °C (kuva 17). TFBGA84-komponentilla vastaavat lämpötilan nousuarvot ovat 5,6 °C lämmityskynän kymmentä astetta kohden.

Ylälämmön säätöä voidaan testien perusteella pitää hyvänä vaihtoehtona profiilin säätöön, sillä sen lämpötila perustuu todelliseen lämpötilalukemaan, vaikka lämmityskynän lämpötilan muutos ei olekaan suorassa suhteessa juotoslämpötilan muutokseen. Testissä käytettyjen kahden komponentin ja kahden eri piirilevykombinaation perusteella yläpuolisen ilman lämmityskynän lämpötilan 10 °C:n muutoksella saadaan aikaiseksi noin 5 °C:n muutos juotoslämpötilaan.

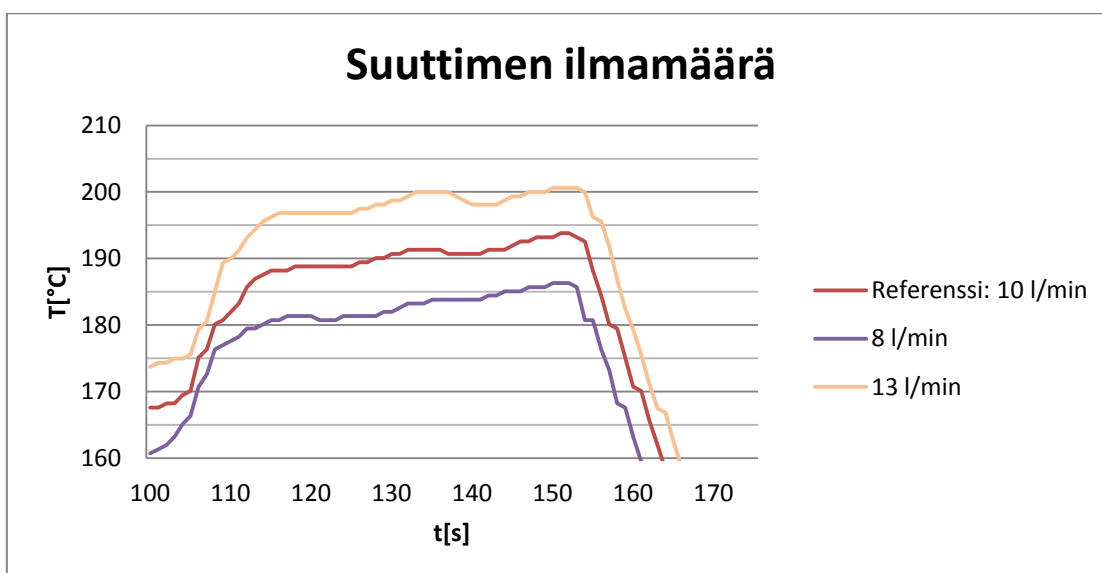


KUVA17. Ylälämpötilan säädön vaikutus TFBGA244-komponentin juotosprofiiliin lämpötilaan juotosalueella

5.6 Komponenttia lämmittävän ilman virtausmäärän vaikutus

Korjausaseman ilmanvirtausmäärän säätö ja sen vaikutuksen taso tutkittiin muuttamalla vertailuprofiilin 10 litraa minuutissa ilmamäärää molempiin suuntiin 8 litraan ja 13 litraan sekä suorittamalla uusi ajo niitä vastaavilla ilmamäärillä. Tulokset TFBGA244-komponentille osoittivat keskimäärin 2,8 °C:n lämmön nousun ilmamäärän noustessa 1 litran minuutissa (kuva 18). TFBGA84-komponentilla vastaava lämpötilan nousuarvo on 2,6 °C litraa kohden.

Ilman virtausmäärän vaikutus komponentin juotoslämpötilaan voidaan testien perusteella pitää kohtuullisen stabiilina. Testien perusteella virtausmäärän 2 litran muutoksella saadaan aikaan noin 5 °C:n muutos näillä testikomponenteilla. Kuitenkin ilman virtausmäärän muuttaminen juotoslämpötilan muutokseksi on hankala hahmottaa, joten tämänkin parametrin käyttö profiilioptimointiin voi olla hankalaa ilman kokemusta. Ilmamäärän huomattavilla muutoksilla esisäädetyihin arvoihin verrattuna, varsinkin pienillä komponenteilla on huomioitava ilmanpaineen ja -virtauksen vaikutus komponentin itsekohdistukseen, komponentin paikkaan tai tavoiteltuun juotoskorkeuteen.



KUVA 18. Ylälämmön ilmavirtauksen vaikutus TFBGA244-komponentin juotosalueen lämpötilaan

5.7 Suuttimen koon vaikutus

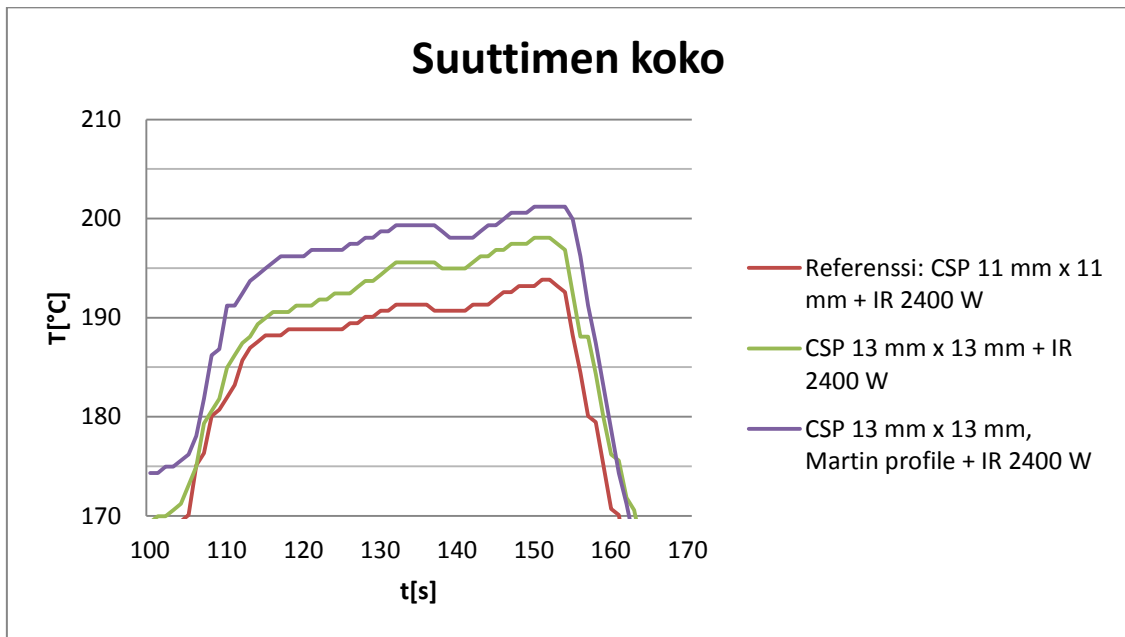
Korjausaseman suuttimen koko ja sen vaikutus tutkittiin käyttämällä kahta erikokoista suutinta. TFBGA244-komponentille mittauksissa oli mukana kotelokoolle tarkoitettu CSP 11 x 11 mm:n suutin sekä lähin suurempi suutin CSP 13 x 13 mm. Ensin testattiin suuttimet siten, että molemmille suuttimille käytettiin samaa CSP 11 x 11 mm:n esisäädettyä profiilia. Tämän lisäksi testattiin CSP 13 x 13 mm:n suutinta sen omalla tehdasprofiililla. Kaikissa testeissä alalämpö oli säädetty maksimiin 2400 W:iin.

TFBGA244-tuloksista nähdään suuttimen lämmittävä vaikutus, joka pelkästään suutinta vaihtamalla oli maksimilämpötilassa 4,3 °C. Suuttimen suurentaminen sekä uuden tehdasprofiilin säädetty ilmamäärän lisäys tuotti 7,4 °C:n muutoksen (kuva 19).

Suuttimen koon vaikutusta testattiin myös TFBGA84-komponentilla siten, että samaa profiilia käytettiin kahdelle eri komponenttityypille tarkoitettuja suuttimia CSP 9 x 9 mm ja SO 9 x 9 mm. Tällä testillä selvitettiin komponentin ilmanvirtauskanaviston vaikutusta lämpötilaan, vaikka suuttimen koko pysyy samana. Lisäksi TFBGA84-komponentti testattiin samaa profiilia käyttäen seuraavaksi suuremmalla suuttimella CSP 11 x 11mm.

TFBGA84-tulos suuttimen kokoa muuttamalla nosti profiilin maksimilämpötilaa 6,5 °C. Pelkän suutintyyppin muutos CSP-suuttimesta SO-suuttimeen tuotti yllättäen saman 6,5 °C:n muutoksen referenssilämpötilaan verrattuna.

Lämpötilamuutos suuttimen koon lisäyksellä on selitettävissä suurentuneella lämmityspinta-alalla ja suurentuneella lämmönsiirrolla ilman virtausmäärän lisääntyessä. TFBGA84-komponentin suutintyyppin vaihdon yllättävä lämpötilannousu voidaan selittää suuttimen virtauskanaviston muutoksilla, joten eri kotelotyypeille tarkoitettuja suutinvaihtoehtoja tulisi noudattaa käytettävää suutinta valittaessa.



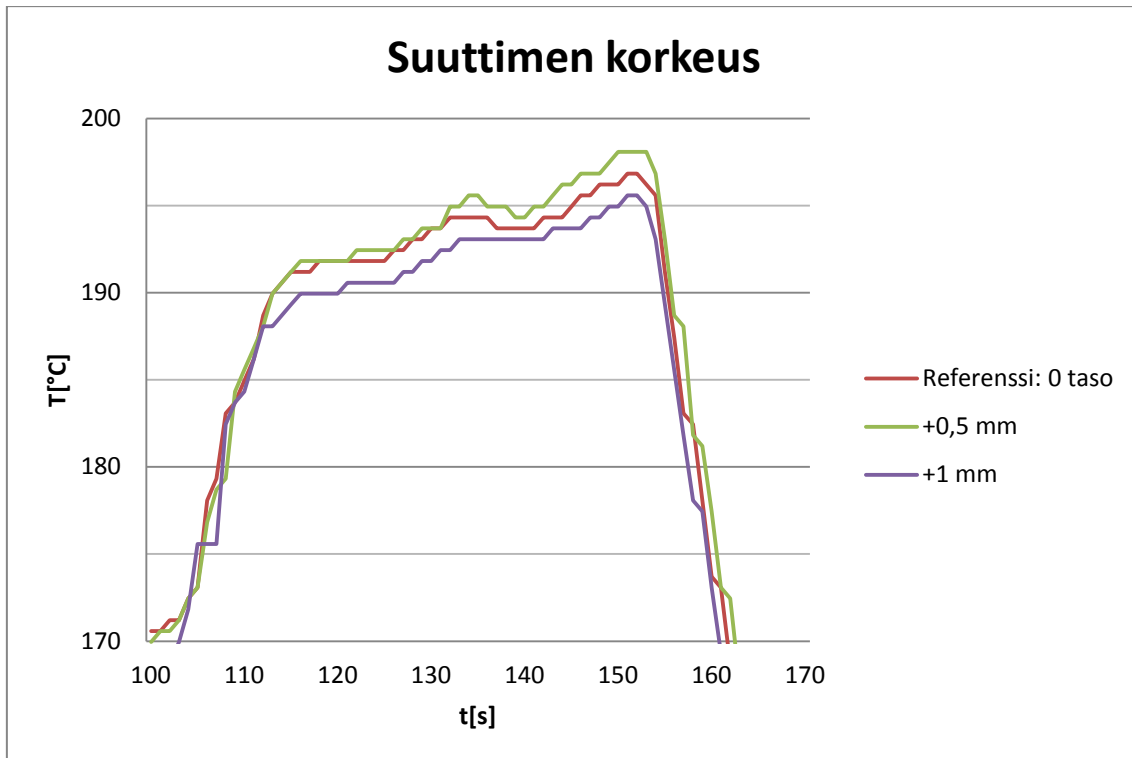
KUVA 19. Suuttimen koon vaikutus juotosalueen lämpötilaan TFBGA244-komponentilla

5.8 Suuttimen etäisyyden vaikutus

Suuttimen etäisyyttä komponentin pintaan nähden säädetään ruuvilla, jonka nousu on 0,5 mm. Vertailukorkeutena käytettiin suuttimen ala-asentoa, josta suuttimen korkeutta nostettiin yksi kierros kerrallaan.

TFBGA244-komponentin tulokset on esitetty kuvassa 20. Komponentin sisälämpötilan vaihtelu nollatasosta +1 mm:n tasoon oli 2,50 °C. Vastaavasti TFBGA84-komponentilla lämpötilan vaihteluväli oli 8,75 °C.

Suuttimen etäisyyden vaikutukselle ei näissä testeissä löytynyt hyvää korrelaatiota testatuille komponenteille. Kahden kierroksen eli 1 mm:n suuttimen korkeuden muutoksen aiheuttama lämpötilan muutos oli peräti yli kolminkertainen TFBGA84-komponentilla. Syy suureen lämpötilaeroon saattaa olla komponenttien pinta-alan suuressa suhteellisessa muutoksessa, joka testatuilla komponenteilla oli 36 mm² ja 100 mm².



KUVA 20. Suuttimen etäisyyden vaikutus juotosalueen lämpötilaan TFBGA244-komponentilla

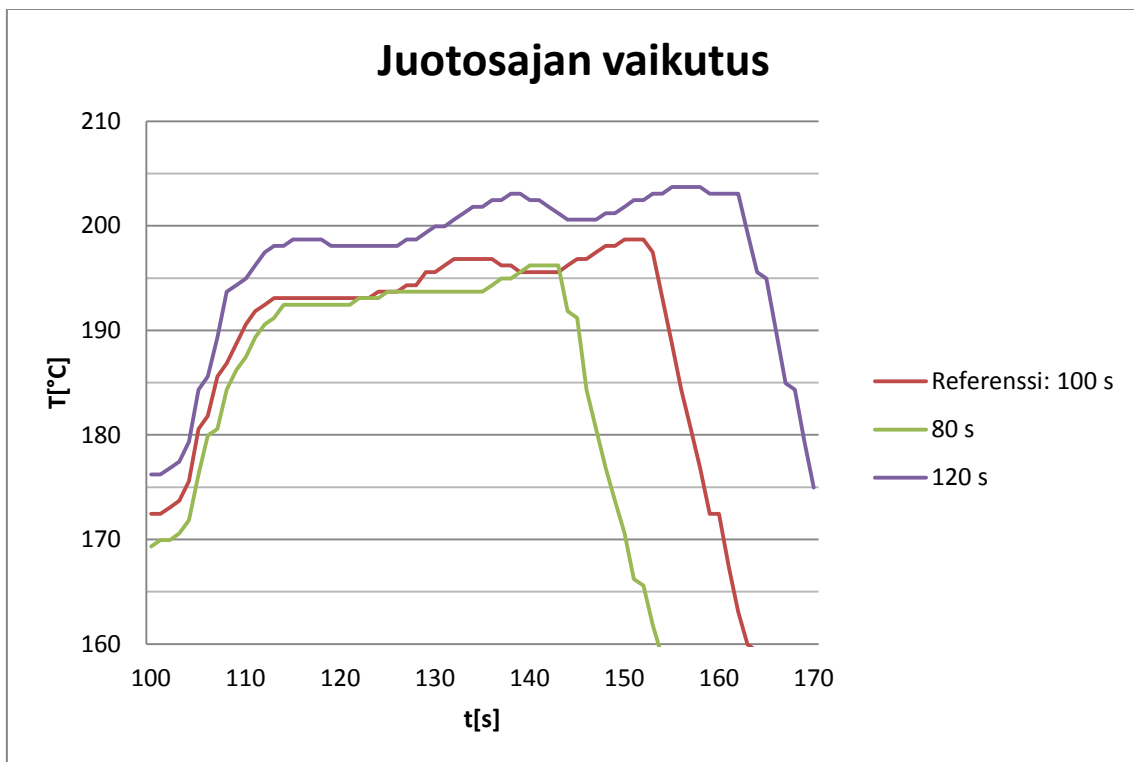
5.9 Juotosalueen lämmitysvyöhykkeen pitoajan vaikutus

Juotosalueen lämmitysvyöhykkeen pitoajan vaikutus testattiin muuttamalla juotosalueen pitoaikaa esisyötetyn ajan molemmin puolin. Lähtökohdaksi oli 100 s. Huomioitavaa testissä on se, että juotosalueen kokonaispitoaika on jaettu ohjelmallisesti kahteen osaan siten, että asetettu aika on jaettu juoksutteen aktivointivyöhykkeeseen ja juotosvyöhykkeeseen 50 %:n osuuksilla. Toisin sanoen 100 s:n asetusajasta vain 50 s on käytössä juotosvyöhykkeellä.

TFBGA244-komponentille testi suoritettiin 80 s:n, 100 s:n ja 120 s:n asetuksilla, ja niitä vastaavat tulokset on esitetty kuvassa 21. Komponentin sisälämpötilan maksimilämpötilan vaihtelu juotosalueella oli 7,5 °C. Juotosvyöhykkeen 50 %:n todelliset pitoajat olivat testeissä 41 s, 51 s ja 61 s, joten pitoaika poikkesi vain 1 s:n asetusajasta.

Vastaava testi TFBGA84-komponentilla suoritettiin arvoilla 100 s, 120 s ja 140 s ja niitä vastaavaksi sisälämpötilojen maksimilämpötilan nousuksi saatiin 4,4 °C. 50 %:n juotosvyöhykkeen pitoaika oli vastaavasti 51 s, 60 s ja 71 s.

Molemmilla komponenteilla juotosajan säätö toimii erittäin tarkasti asetettuun aikaan verrattuna, ja näin ollen se soveltuu erinomaisesti juotosalueen kestoajan säätöön. Komponenttien lämpötilaan juotosajan pidennys vaikuttaa lämpötilaa nostavasti, koska korjausasemassa ei ole profiilin suorituksen aikaista aktiivista lämpötilan säätöä komponenttilämpötilan mukaan tai lämmitysajan muutoksen kompensointia. Lämpötilan nousun lisäksi ei löydy selkeää korrelaatiota komponenttien välillä, joten sen käyttö lämpötilan säätöön ei ole paras mahdollinen.



KUVA 21. Juotosajan vaikutus TFBGA244 komponentin lämpötilaan juotosalueella

6 PROFIILOPTIMOINNIN TESTAUS

6.1 Profiilioptimoinnin tavoite

Optimoinnin tavoite oli tuottaa juotosprofiili, joka täyttää nykyaikaiset lyijyttömille juotteille asetetut lämpötilavaatimukset siten, että juotosprofiilin säädössä käytetään testattuja säätöparametrejä sekä hyödynnetään testeistä saatuja tuloksia.

1.7.2006 EU-maissa voimaantullut RoHS-direktiivi on rajoittanut sähkö- ja elektroniikkalaitteissa käytettävien haitallisten aineiden määrää kulutus- elektroniikkalaitteissa. Tämän seurauksena tina-lyijyjuotomateriaali on jouduttu korvaamaan lyijyttömällä materiaaleilla, joista yleisin on SAC-juote SAC305 (96,5 % Sn / 3 % Ag / 0,5 % Cu) (11).

Suurin muutos nykyaikaisen lyijyttömän juotteen käytössä on juotteen sulamispisteen tyypillinen nousu 217 °C:seen lyijyllisen juotteen 183 °C:n lämpötilasta. Tämä lämpötilan nousu aiheuttaa kiristyneet vaatimukset juotosprosessin säädölle, sillä komponenttien maksimilämpötilat eivät ole nousseet samassa suhteessa juotteen sulamispisteen nousun kanssa. Koska komponenttivalmistajat sallivat edelleen vain noin 250 °C:n maksimilämpötilan komponentille, tulee juotoksen aikaisen säätöikkunan suuruudeksi lyijyttömälle juotteelle ainoastaan 33 °C, kun lyijyllisen juotteen säätöalue on jopa 67 °C.

Juotosprofiilin säätöaluetta voidaan myös pienentää lämpötilaherkkien tai suurten komponenttien kohdalla alle 250 °C:n lämpötilarajan. Lisäksi esimerkiksi Intel (11) määrittelee lyijyttömän juotoksen suosituslämpötilaksi 230 °C, jolloin säätövara komponentin maksimilämpötilaan on vain 20 °C.

6.2 Profiilioptimoinnin tulokset sekä tarkastelu

Testatuille komponenteille tehtiin profiilin optimointi, jonka tarkoituksena oli saavuttaa 230 °C:n juotoslämpötila testeissä saatujen säätömahdollisuuksien

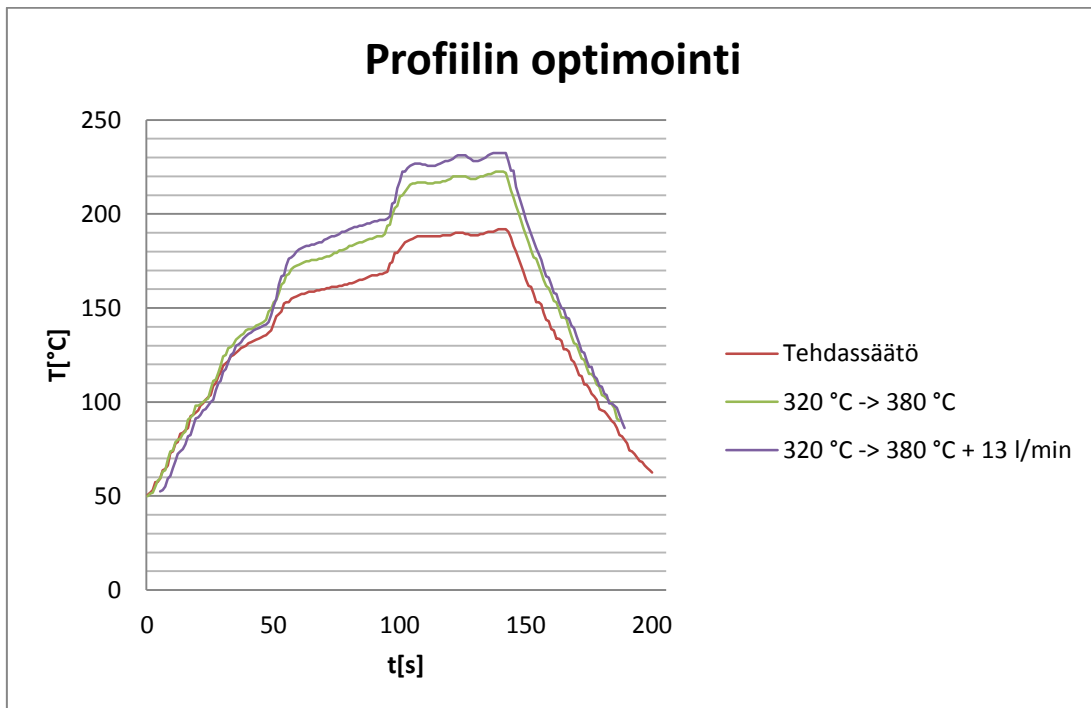
rajoissa ja mahdollisimman vähillä lämmityskerroilla. Optimoinnin lähtökohtana oli suuttimille asetetut tehdasarvot, joita muuttamalla haluttu juotoslämpötila ja profiili saavutettaisiin. Optimoinnin toisena lähtökohtana oli Intelin ohjeistus alalämmön maksimoinnissa, joten se asetettiin suoraan 2400 W:iin.

Optimointia helpottavana tekijänä työssä käytettiin ainoastaan komponentin sisäisen diodin maksimilämpötila-arvoa, jonka perusteella muutokset tehdasasetuksiin tehtiin. Todellisessa tilanteessa lämpötilan mittaus ja säätötoimenpiteet olisi suoritettava esimerkiksi termopareja käyttämällä (11) tai käyttämällä visuaalista tai mekaanista havainnointia juotteen faasimuutoksen tapahtumahetkeen eli n. 217 °C:n lämpötilaan, jossa juote sulaa.

Ensimmäinen profiili TFBGA244-komponentille ajettiin tehtaan asettamilla lähtöarvoilla. Tehdasasetuksilla diodi saavutti maksimilämpötilan 192 °C, joten haluttuun 230 °C:n juotoslämpötilaan maksimilämpötilaa olisi nostettava peräti 38 °C. Syynä kohtalaisen suureen alilämpöön voidaan pitää TFBGA244-komponentin alapuolella olevia piirilevyn läpivientejä, joiden tarkoituksena on jäähdyttää toiminnallista komponenttia todellisessa käyttötilanteessa. Luvun 5.5 tulosten mukaan yläpuolisen ilman lämmityskynän 10 °C:n lämpötilan nosto vaikutti keskimäärin 4,6 °C komponentin lämpötilaan. Koska komponenttia ei haluttu yllämmittää, lämmityskynän lämpötilaa nostettiin 60 °C:seen ja sen aikaansaama komponenttilämpötilan laskennallinen nousu olisi 27,6 °C. Toisen ajon tuloksena maksimilämpötilaksi saatiin 222 °C, lämpötilan nousun ollessa 30 °C.

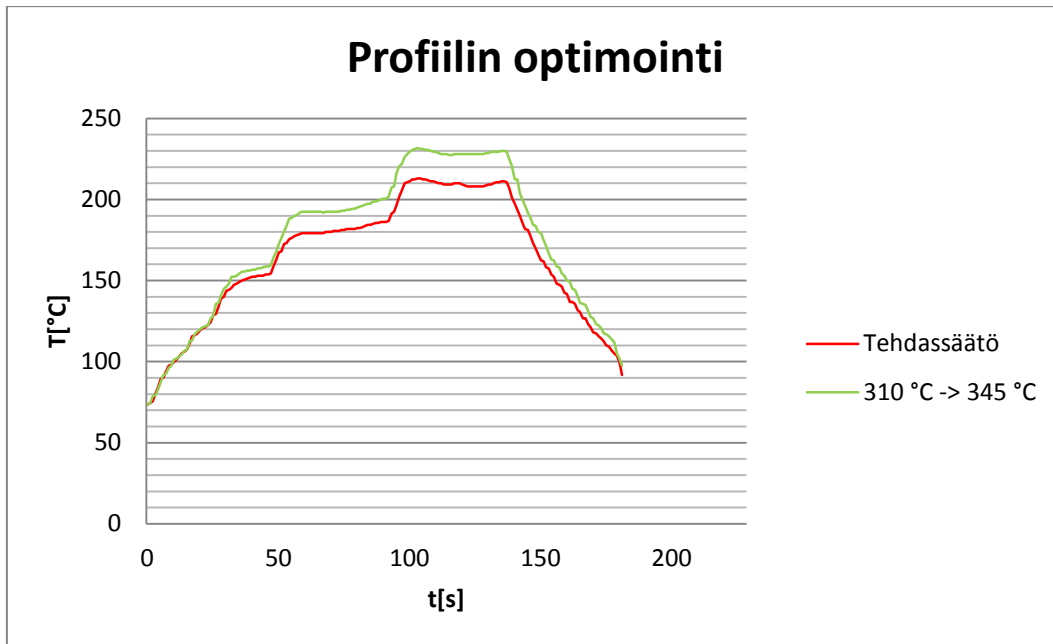
Profiilin lopullinen 2. säätö puuttuvan 8 °C:n lisäämiseksi tehtiin kolmannella ajolla, jossa ilmavirran tehdasasetusta 10 litraa minuutissa muutettiin 13 litraan. Ilmavirtaustestin luvun 5.6 mukaan 3 litran ilmamäärän lisäys tuottaisi 7,6 °C:n lämmön nousun komponentille, joten tällä asetuksella oletuslämpötila olisi 229,6 °C. Tämä ilmamääräasetus tuotti komponenttilämpötilaksi 232 °C, joka on riittävän lähellä tavoiteltua 230 °C:n lämpötilaa ja kuitenkin lämpötilassa oli vielä riittävä marginaali komponentin sallittuun maksimilämpötilaan 250 °C. Profiilin

optimoinnin tuottamat lämpökäyrät on esitetty kuvassa 22. Komponentin tehdasasetukset sekä säätöparametrien muutokset on esitetty taulukossa 2.



KUVA 22. Profiilin lämpötilaoptimointi TFBGA244 komponentille

Vastaavasti ensimmäinen profiili TFBGA84-komponentille ajettiin tehtaan asettamalla lähtöarvoilla. Tehdasasetuksilla diodi saavutti maksimilämpötilan 213,1 °C, joten haluttuun 230 °C:n lämpötilaan maksimilämpötilaa olisi nostettava 16,9 °C. Luvun 5.5 tulosten mukaan yläpuolisen ilman lämmityskynän 10 °C:n lämpötilan nosto vaikutti keskimäärin 5,6 °C komponentin lämpötilaan. Tämän perusteella lämmityskynän lämpötilaa nostettiin 35 °C ja sen aikaansaama komponenttilämpötilan laskennallinen nousu olisi 19,6 °C. Toisen ajon tuloksena maksimilämpötilaksi saatiin 231,8 °C, kun lämpötilan nousu oli 18,7 °C. TFBGA84-komponentille ei optimointia jatkettu eteenpäin, koska toinen säätö tuotti tuloksen, joka oli riittävän lähellä tavoiteltua 230 °C:n lämpötilaa ja samalla siinä oli riittävä marginaali komponentin sallittuun maksimilämpötilaan 250 °C. Profiilin optimoinnin tuottamat lämpökäyrät on esitetty kuvassa 23. Komponentin tehdasasetukset sekä säätöparametrien muutokset on esitetty taulukossa 2.



KUVA 23. Profiilin lämpötilaoptimointi TFBGA84-komponentille

TAULUKKO 2. TFBGA244- ja TFBGA84-komponenttien tehdasparametrit sekä säätöparametreihin tehdyt muutokset

	Preheat	Soldering	Cooling
Air [l/min]	10	10	10
Temp [°C]	210	320	
Time [s]	45	95	30
IR lämmitin [W]	2400	2400	2400

TFBGA244 tehdasasetukset

	Preheat	Soldering	Cooling
Air [l/min]	8	8	8
Temp [°C]	200	310	
Time [s]	45	90	30
IR lämmitin [W]	2400	2400	2400

TFBGA84 tehdasasetukset

	Preheat	Soldering	Cooling
Air [l/min]	10	10	10
Temp [°C]	210	380	
Time [s]	45	95	30
IR lämmitin [W]	2400	2400	2400

TFBGA244 1. säätö

	Preheat	Soldering	Cooling
Air [l/min]	8	8	8
Temp [°C]	200	345	
Time [s]	45	90	30
IR lämmitin [W]	2400	2400	2400

TFBGA84 1. säätö

	Preheat	Soldering	Cooling
Air [l/min]	10	13	10
Temp [°C]	210	380	
Time [s]	45	95	30
IR lämmitin [W]	2400	2400	2400

TFBGA244 2. säätö

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Juotoslämpötilaan vaikuttavien seikkojen kuten piirilevyn, käytetyn juotteen, komponenttivalmistajan ohjeiden tai yleisohjeiden kirjaimellinen noudattaminen voi olla vaikeaa, sillä ohjeissa on osittain päällekkäisyyksiä. Koska myös lämpötilan mittausrjestelmät sekä korjausasemien suorituskyky vaikuttavat profiililämpötilaan, voi kaikkien juotosprofiilille asetettujen reunaehtojen täyttäminen olla haasteellista ilman kompromisseja.

Esimerkiksi Intel (11) asettaa omissa suosituksissaan lyijyttömille juotteille SAC305 ja SAC405 juotoksen aikaisen kylmimmän juotepallon minimilämpötilaksi 228 °C, joka on 11 °C juotteen sulamispisteen 217 °C:n yläpuolella. Intelin suosituslämpötila on 230 °C. Vastaavasti piirilevyn korkein tapauskohtainen juotepallolämpötila voi olla esimerkiksi 250 °C komponentin mukaan, jolloin säätöalue juotosprofiilin minimistä maksimilämpötilaan on vain 22 °C. Oman vaikeuden profiilin luontiin tuo esimerkiksi piirilevyn materiaalivalinta sekä sen ominaisuuksien sopivuus prosessiin. Yhtenä lämpötilaa rajoittavana tekijänä voidaan pitää piirilevyn lasisiiirtymäpisteen maksimilämpötilaa (T_g), joka FR4-materiaalille on vain 130 °C. Pahimmillaan piirilevyn liika lämmitys voi johtaa jopa piirilevyn delaminoitumiseen tai taipumiseen.

Työssä tutkittujen säätöparametrien avulla on kuitenkin mahdollista saada aikaan komponenttivalmistajan suositusten mukainen juotosprofiili, kuten juotosprofiilin optimointiharjoitukset osoittivat. Säätöparametrit Martin-korjausasemassa ovat suhteellisen helposti hallittavissa, ja niillä aikaansaatuisten profiilien toistettavuus on hyvä.

Korjausaseman käytön yhteydessä yksittäisen komponentin juottamisessa on kiinnitettävä huomio profiilin lämpötilamittausmenetelmän valintaan sekä mittauksen toimivuuden varmentamiseen, sillä yksittäiskomponentin juotoksen aikaansaaminen on pitkälti kiinni suuttimen tehdasasetusten käytöstä. Näissä tapauksissa, joissa mitattava komponentti on vielä irrallaan ja juotospastan

varassa kalustamattomassa piirilevyssä, termoparin asettelu esimerkiksi hyvin pienen komponentin pintaan voi olla jopa mahdotonta. Suurimmat ongelmat ilmenevät todennäköisesti komponentin kohdistuksen epätarkkuutena ja juottumisen aikaisen itsekeskittyvyyden häiriöinä, sillä termopari saattaa haitata omalla painollaan ja termojohdissa olevilla jännityksillä komponentin kohdistusta tai itse juottumistapahtumaa.

Apuna juottamattoman komponentin lämpötilanmääritykseen voidaan käyttää juotteen sulamispisteen visuaalista havainnointia tai termopareja, jolloin termoparin kiinnittämiseen voidaan hyödyntää lämpöä johtavaa pastaa. Joustavana materiaalina pasta todennäköisesti sallii komponentin luonnollisen elämisen juotosprosessin aikana. Lisäksi pastan avulla komponentin pintaan asetettu termopari antaa kohtuullisen tarkan lämpötilalukeman komponentin pinnan lämpötilaksi sekä arvioksi juotteen lämpötilasta, kuten työn tuloksissa todettiin.

Tilanteissa, joissa juotettavia komponentteja ja piirilevyjä on useampi kuin yksi, tilanne helpottuu huomattavasti, sillä ensimmäistä valmista kalustettua piirilevyä voidaan käyttää profiilin optimointiin seuraavia juotoksia varten. Kuitenkin myös tässä tapauksessa ensimmäisen juotoksen aikaansaamiseksi lähtöparametreinä on hyvä käyttää suuttimelle asetettuja tehdasasetuksia, jotta välttyttäisiin rikkomasta komponenttia tai piirilevyä.

Visuaaliseen juotteen sulamispisteen määritykseen voidaan käyttää menetelmää, jossa sulamispiste synkronoidaan manuaalisesti vastaavaan lämmityskynän lämpötilaan ja tarvittavat profiilin säätötoimet suoritetaan sen mukaisesti, joko laskemalla tai nostamalla profiilin lämpötilaa. Mikäli juote ei sula juotosprosessin aikana, voidaan profiililämpötilaa nostaa juotteen sulamispisteen ja halutun juotoslämpötilan erotuksen verran pykälittäin ylöspäin, kunnes juotteen sulamispiste saavutetaan. Tämän jälkeen voidaan suorittaa mahdollinen profiilin hienosäätö hyödyntämällä edelleen sulamispisteen ja lämmityskynän synkronointia. Lämpötilan säädön apuna voidaan käyttää työn tuloksena saatuja tietoja säätöparametrien vaikutuksista.

8 POHDINTA

Työn alkuperäinen tavoite oli selkeyttää juotosprofiilin säätömahdollisuuksia sekä niiden vaikutuksia juotoksen lämpötilaan juotosprosessin aikana. Aikaansaadut tulokset antavatkin hyvän kuvan parametrien vaikutuksesta pienille komponenttikoteloille ja ovat sellaisenaan hyvä apu profiilin säätöön. Varsinkin korjausaseman juotuskäytössä ensimmäisen ”sokkona” tehtävän juotoksen ja tehdasasetusprofiilin käyttö tässä yhteydessä sai tukea tuloksista, joten tehdasasetuksen hienosäätöön saatiin uusia työkaluja pelkän kokeilun ja tuntuman lisäksi.

Vaikka työssä saatujen tulosten perusteella Martin-korjausasema toimiikin hyvin ja säädöillä aikaansaatu profiili on luotettavasti toistettava, voidaan työssä käytettyä komponenttivalikoimaa pitää suppeana markkinoilla oleviin vaihtoehtoihin verrattuna. Myös laitteistovalmistajan Martinin toimittamien lämmityssuuttimien testaus jäi pintapuoliseksi, sillä testikomponenttien pieni fyysinen koko rajoitti testattujen suuttimien sekä testattujen tehdasasetusten määrää. Vaikka piirilevyt sekä komponentit olivat tyypillisiä mobiililaitteissa käytettyjä osia, myös suuremmille komponenteille tarkoitetut suuttimet sekä niiden tehdasasetukset olisi ollut mielenkiintoista testata. Tämän työn tuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää tulevaisuudessa, mikäli uusien komponenttityyppien säätöparametrien vaikutuksia halutaan selvittää esimerkiksi suurempien komponenttien juottamisessa.

Työssä tehdyissä profiilin optimointiharjoituksissa käytettiin suoraan Intelin ohjeistuksen mukaista maksimitehoa IR-lämmittimelle. Kuitenkin korjausasemassa olevan profiilin opetustoiminnon käyttö tarvittavan pohjalämmön määrittämiseksi voisi olla huomattavasti tarkempi vaihtoehto, varsinkin hieman erikokoisille piirilevytyypeille tai -rakenteille. Koska IR-lämmittimen opetus tehdään erillään yläpuolen säädöistä, sitä voitaisiin käyttää myös juotuskäytössä kalustamattomien piirilevyjen lämpöenergiatarpeen määrittämiseen, sillä yhden komponentin termien massa on lähes merkityksetön kokonaisuuden kannalta.

LÄHTEET

1. Aumala, O. 2002. Mittaustekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto Oy.
2. Termopari lämpötila-anturina. 2009. Pietiko Oy. Viitattu 8.1.2012.
<http://www.pietiko.fi/pietiko/sovellus/Termopari.pdf>.
3. JEP140. 2006. Beaded Thermocouple Temperature Measurement of Semiconductor Packages. JEDEC-julkaisu.
4. EIA/JESD51-1. 1995. Integrated Circuits Thermal Measurement Method – Electrical Test Method (Single Semiconductor Device). EIA/JEDEC-standardi.
5. Nevalainen, J. 2003. Komponentin juotoslämpötilan mittaus reflow- ja rework-prosessissa. Oulun yliopisto. Sähkö- ja tietotekniikan osasto. Diplomityö.
6. EIA/JESD51-9. 2000. Test Boards for Area Array Surface Mount Package Thermal Measurements, EIA/JEDEC-standardi.
7. EIA/JESD51-4. 1997. Thermal Test Chip Guideline, EIA/JEDEC- standardi.
8. Martin expert 09.6 esite. 2007. Martin GmbH. Viitattu 1.2.2012.
<http://www.linkhamson.com/pdf/new09/brochure-expert-09.6-e.pdf>.
9. Martin GmbH. 2005. Rework PC – Hardware Operating Instructions. Käyttöohjemanuaali.
10. J-STD-020C. 2008. Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices, IPC/JEDEC- standardi.

11. SMT Board Assembly Process Recommendations. 2007. Intel Packaging Data book. Viitattu 10.1.2012.
<http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/packaging-databooks/packaging-chapter-09-databook.pdf>.