

Teknillinen Korkeakoulu

Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta

Pekka Kurki

MITTAUSELEKTRONIIKAN KOMPONENTTILEVYJEN VALMISTUKSELLE

ASETETTAVAT VAATIMUKSET

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 7.8.2008

Valvoja

Professori Jorma Kivilahti

Työn ohjaajat

DI Pekka Korhonen

TkT Toni Mattila

Tekijä: Pekka Kurki		
Työn nimi: Mittauselektroniikan komponenttilevyjen valmistukselle asetettavat vaatimukset		
Päivämäärä: 7.8.2008	Kieli: suomi	Sivumäärä: 112
Tiedekunta: Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta		
Professuuri: S-113 Elektroniikan laitos		
Työn valvoja: Professori Jorma Kivilahti		
Työn ohjaajat: DI Pekka Korhonen TKT Toni Mattila		
<p>Kun yritykset tilaavat komponenttilevyjen valmistusta alihankkijoilta, eräs merkittävä osa valmistussopimusta on valmistusvaatimusten asettaminen. Tässä työssä käsiteltiin kysymystä siitä, minkälaisia valmistusvaatimuksia mittauselektroniikkalaitteiden komponenttilevyjen valmistukselle kannattaa asettaa, miten vaatimusten asettaminen tulee suorittaa ja miten vaatimusten toteutumista voidaan valvoa.</p> <p>Asiaa tutkittiin perehtymällä komponenttilevyjen valmistuksen vaiheisiin ja niihin liittyviin standardeihin sekä menetelmiin, mihin viittaamalla vaatimuksia voidaan esittää. Vaatimusten toteutumisen valvontaa varten perehdyttiin erilaisiin tarkastus- ja testausmenetelmiin.</p> <p>Työn tuloksena syntyi valmistusvaatimusdokumentti, joka voidaan asettaa liitteeksi tilaussopimukseen. Lisäksi annettiin ohjeita ja esimerkkejä, joiden perusteella komponenttilevyjen suunnittelija voi valita levyille sopivat valmistusvaatimukset.</p> <p>Komponenttilevyjen valmistusvaatimusten asettaminen osoittautui hyvin suoraviivaiseksi tehtäväksi. Se voidaan suorittaa standardeihin viittaamalla ja kirjaamalla ylös muita asioita joita komponenttilevyjä tilaava yritys alihankkijalta haluaa. Puhtausvaatimusten asettaminen osoittautui kuitenkin mutkikkaaksi, koska yhtä oikeaa kaikille levyille riittävää puhtauden tasoa ei ole. Vaatimuksia asetettaessa tulee myös huomioda, että eri levyille asetettavat vaatimukset poikkeavat toisistaan.</p>		
Avainsanat: komponenttilevy, valmistusvaatimukset, komponenttilevyjen puhtaus, mittauselektroniikka		

Author: Pekka Kurki

Name of the Thesis: Requirements for the Manufacturing of Printed Circuit Board  
Assemblies for Measurement Electronics

Date: 7.8.2008

Language: Finnish

Number of pages: 112

Faculty of Electronics, Communications and Automation

Professorship: S-113 Department of Electronics

Supervisor: Professor Jorma Kivilahti

Instructors: Pekka Korhonen, M.Sc. (Tech.)

Toni Mattila, Sc.D. (Tech.)

When companies order their printed circuit board assemblies (PCBAs) from subcontractors, a significant part of the manufacturing contract is the setting of correct requirements for manufacturing. The aim of this study was to define what the suitable requirements are for the manufacturing of PCBAs used in the measurement electronics. Additionally, how contractual requirements are implemented and monitored was also examined.

Process steps, standards and methods which can be referred to while setting the requirements for the manufacturing of PCBAs were studied. Test and inspection methods for monitoring the implementation of the requirements were considered.

A requirement document for PCBA manufacturing was the major result of the thesis. In addition, instructions and examples were given for designers to aid them in choosing the correct requirements for the manufacturing of the PCBAs.

Setting the requirements for the manufacturing of PCBAs proved to be very straightforward. It can be accomplished by referring to certain standards and by including additional information that the prime contractor requires from the subcontractor, such as documentation. However, setting the requirements for cleanliness of the PCBAs proved to be complicated as no general level for adequate cleanliness exists. When setting the requirements, it is important to recall that the requirements for different PCBAs may vary.

Keywords: printed circuit board assembly, requirements for manufacturing,  
cleanliness of the printed circuit board assemblies, measurement electronics

## Alkulause

Syksyllä 2007 minulle tarjottiin diplomityömahdollisuutta Vaisalasta, jossa olin edellisenä kesänä työskennellyt. Työn aihe oli hyvin käytännönläheinen ja myös mielenkiintoinen, joten olin välittömästi valmis tarttumaan tilaisuuteen; olihan opiskelujeni valmistuminen lähes pelkästään diplomityötä vailla. Haluan heti aluksi esittää kiitokseni professori Jorma Kivilahdelle tämän mielenkiintoisen aiheen hyväksymisestä opinnäytetyöksi ja työni valvonnasta.

Kirjoittaessani tätä työtä talvettomana talvena 2008 ja tutustuessani elektroniikka-alaan työympäristönä minulle selvisi monia uusia asioita, joista ehkäpä tärkeimpänä se seikka, että maailma ei vielä ole läheskään niin valmis paikka kuin helposti voisi olettaa. Etenkin elektroniikka-alalla parannettavaa, kehitettävää ja tutkittavaa riittää vielä runsaasti vuosikymmeniä tutkituilla osa-alueillakin. Tieto on rohkaiseva tulevaisuutta ajatellen: tekemistä riittää.

Diplomityön kirjoituksessa sain asiantuntevaa apua ohjaajiltani Pekka Korhoselta ja Toni Mattilalta, sekä Vaisalassa työssä käsiteltävän aiheen piirissä työskenteleviltä henkilöiltä, jotka neuvoillaan opastivat minua oikeiden aiheiden äärelle. Heitä kiitän lämpimästi saamastani opastuksesta, jota ilman olisin usein ollut hakoteillä työni kanssa. Esitän myös kiitokseni Vaisala Oyj:lle mielenkiintoisesta ja tarkoituksellisesta aiheesta, sekä työni taloudellisesta tukemisesta.

Haluan kiittää vanhempiani tuesta ja rakkaudesta, jota olen vuosien varrella saanut osakseni. Sisartani Riikkaa kiitän avusta pitkän tekstin oikoluvun kanssa. Myös ystäväilleni lausun kiitokset, sillä ilman heitä diplomityön teko olisi näytellyt aivan liian suurta osaa elämässäni keväällä 2008.

Espoossa elokuun 7. päivänä 2008

Pekka Kurki

# Sisällysluettelo

ALKULAUSE .....	IV
SISÄLLYSLUETTELO .....	V
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 MITTAUSELEKTRONIIKAN ERITYISOMINAISUUDET .....</b>	<b>10</b>
2.1 KÄYTTÖKOHTEET JA -YMPÄRISTÖT.....	11
2.2 KÄYTTÖYMPÄRISTÖN HAASTEET .....	12
<b>3 MITTAUSELEKTRONIIKAN VALMISTUKSESSA KÄYTETYT PROSESSIT ...</b>	<b>15</b>
3.1 KOMPONENTTILEVYJEN VALMISTUSYMPÄRISTÖ .....	16
3.2 PINTALIITOSPROSESSI.....	16
3.2.1 <i>Pastanpaino</i> .....	17
3.2.2 <i>Komponenttien ladonta</i> .....	18
3.2.3 <i>Reflow-prosessi</i> .....	19
3.2.4 <i>Puhdistaminen</i> .....	22
3.2.5 <i>Kaksipuoliset komponenttilevyt</i> .....	22
3.3 AALTOJUOTOKSEEN PERUSTUVA KOKOONPANOPROSESSI.....	23
3.4 SELEKTIIVIJUOTTAMINEN.....	24
3.5 PROSESSIVAIHEET JUOTOKSEN JÄLKEEN .....	25
3.5.1 <i>Levyjen pesu</i> .....	25
3.5.2 <i>Pinnoitus</i> .....	30
3.5.3 <i>Piirilevyn irrotus aihioista</i> .....	31
3.5.4 <i>Testaus</i> .....	32
3.5.5 <i>Kuljetus ja varastointi</i> .....	32
<b>4 KOMPONENTTILEVYJEN VALMISTUKSEEN LIITTYVÄT STANDARDIT, SERTIFIKAATIT JA DOKUMENTOINTI.....</b>	<b>33</b>
4.1 LAATU- JA YMPÄRISTÖASIOIDEN JOHTAMISEN STANDARDIT.....	33
4.1.1 <i>ISO 9001:2000</i> .....	33
4.1.2 <i>ISO 14001:2004</i> .....	34
4.1.3 <i>ISO 13485:2003</i> .....	34
4.2 VALMISTUKSEN JA HYVÄKSYMISEN STANDARDIT JA OHJEET.....	35
4.2.1 <i>IEC-326 ja IPC-A-600 Piirilevyjen hyväksymisen standardit</i> .....	35
4.2.2 <i>IPC-6012 Piirilevyjen vaatimukset</i> .....	36

4.2.3	<i>IPC-7711/21 Standardit korjauksen ja muutostöiden suorittamiselle</i>	36
4.2.4	<i>IPC-A-610D Elektronikkakokoonpanojen hyväksyminen</i>	37
4.2.5	<i>J-STD-001D Hyväksymisvaatimukset elektronikkakokoonpanoille</i>	38
4.2.6	<i>IPC-A-610 ja J-STD-001 -standardien erot ja yhtenäisyydet</i>	38
4.3	PUHDISTUKSEN STANDARDIT	39
4.4	PINNOITUKSEN STANDARDIT	40
4.5	TESTAUSMENETELMÄSTANDARDIT	41
4.5.1	<i>IPC-TM-650 Testausmenetelmäohjekirja</i>	41
4.6	KULJETUKSIIN JA VARASTOINTIIN LIITTYVÄT MENETELMÄT	42
4.7	VIRANOMAIS- JA YMPÄRISTÖVAATIMUKSET	42
4.7.1	<i>RoHS</i>	42
4.7.2	<i>Sähkömagneettinen yhteensopivuus</i>	44
4.7.3	<i>CE-merkintä</i>	44
4.8	SERTIFIKAATIT	44
4.8.1	<i>Sertifikaatti yritysmaailmassa</i>	44
4.8.2	<i>Sertifikaatin hyödyt yrityksille</i>	45
4.8.3	<i>Tunnettuja sertifikaatteja yrityksissä</i>	46
4.9	DOKUMENTOINTI JA JÄLJITETTÄVYYS	46
<b>5</b>	<b>KOMPONENTTILEVYJEN TARKASTUS JA TESTAUS</b>	<b>48</b>
5.1	MEKAANISET VIRHEET	48
5.1.1	<i>Visuaalinen tarkastus</i>	49
5.1.2	<i>Automaattinen optinen tarkastus</i>	49
5.1.3	<i>Röntgentarkastus</i>	51
5.1.4	<i>Pinnoituksen tarkastus</i>	51
5.2	PUHTAUSVAATIMUSTEN TOTEUTUMISEN TODENTAMINEN	53
5.2.1	<i>Optinen puhtaustarkastus</i>	53
5.2.2	<i>Pintaeristeen vastuksen testaus eli SIR-testi</i>	53
5.2.3	<i>Liuenneiden jäämien aiheuttama vastus (ROSE)</i>	54
5.2.4	<i>Ionikromatografia</i>	55
5.2.5	<i>Optinen puhtaustarkastus IR/UV-valon avulla</i>	56
5.2.6	<i>Elektronimikroskopia</i>	57
5.3	FUNKTIONAALINEN TESTAUS	57
5.3.1	<i>"Boundary Scan" -testi</i>	57
5.3.2	<i>"Bed of Nails" eli piikkimattotarkastus</i>	57
5.3.3	<i>"Flying Probe" -testi</i>	58
<b>6</b>	<b>VALMISTUSVIRHEET JA NIIDEN KORJAUS</b>	<b>60</b>

6.1	KOMPONENTTILEVYJEN LUOTETTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT ASIAT .....	60
6.1.1	<i>Juoteliitos</i> .....	60
6.1.2	<i>Komponenttien laatu ja materiaalit</i> .....	61
6.1.3	<i>Sekalaiset riskitekijät</i> .....	62
6.1.4	<i>Merkittävät epäpuhtaudet</i> .....	62
6.1.5	<i>Pinnoituksen virheet</i> .....	63
<b>7</b>	<b>SOPIMUKSET .....</b>	<b>64</b>
7.1	MITEN YRITYKSET ESITTÄVÄT VALMISTUKSEN LAATUVAATIMUKSIA .....	64
7.2	MITÄ STANDARDEJA VALMISTAJILLA ON YLEISESTI KÄYTÖSSÄÄN .....	65
7.3	MITEN STANDARDEIHIN VIITATAAN .....	65
7.4	SERTIFIKAATTIEN TÄYTTÄMISEN VAATIMUKSET .....	65
7.5	SOPIMUSTEN TAI KILPAILUTTAMISEN LAKINÄKÖKOHDAT .....	65
<b>8</b>	<b>TYÖN TARKOITUS .....</b>	<b>66</b>
<b>9</b>	<b>TYÖN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU .....</b>	<b>67</b>
9.1	TARKASTELTAVAT LAITTEET .....	67
9.1.1	<i>Kannettavat laitteet</i> .....	68
9.1.2	<i>Säähavaintojen tekemiseen käytettävät kiinteästi asennettavat laitteet</i> .....	68
9.2	AIKAISEMPI VAATIMUSTASO .....	69
9.3	TYÖSSÄ SYNTYNEET DOKUMENTIT .....	69
9.3.1	<i>Valmistusvaatimusdokumentti</i> .....	69
9.3.2	<i>Esimerkkejä valmistusvaatimusten asettamisesta</i> .....	78
9.3.3	<i>Sisäisiä ohjeita</i> .....	81
9.3.4	<i>Yleisiä suunnittelusääntöjä</i> .....	86
9.4	TULEVAISUUDEN HAASTEET .....	92
<b>10</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>95</b>
	<b>VIITTEET .....</b>	<b>97</b>
<b>LIITE 1</b>	<b>VALMISTUSVAATIMUSDOKUMENTTI: GENEERINEN OSA.....</b>	<b>105</b>
<b>LIITE 2</b>	<b>VALMISTUSVAATIMUSDOKUMENTTI: TUOTEKOHTAINEN OSA.</b>	<b>108</b>
<b>LIITE 3</b>	<b>STANDARDEJA .....</b>	<b>112</b>

# 1 Johdanto

Mittauselektroniikan kuten muunkin elektroniikan komponenttilevyjen valmistus on monivaiheinen prosessi, jonka eri vaiheissa tehtävät ratkaisut vaikuttavat lopputulokseen omilla tavoillaan. Valmistusprosessi sisältää komponenttien piirilevyille kiinnittämisen lisäksi levyn puhdistuksen, loppukäsittelyn sekä useita testauksia. Etenkin komponenttien piirilevyille kiinnittämiseen liittyvät työvaiheet voidaan suorittaa useilla eri tavoilla. Eri vaiheissa käytettävillä menetelmillä ja asetetuilla laatuvaatimuksilla voidaan vaikuttaa muun muassa komponenttilevyjen luotettavuuteen erilaisissa olosuhteissa, valmistusnopeuteen, saantoon sekä luonnollisesti hintaan.

Eri elektroniikkatuotteet on suunniteltu eri käyttötarkoituksiin ja -ympäristöihin. Osa tuotteista voi toimia koko ikänsä sisätiloissa tasaisessa lämpötilassa kun taas osa tuotteista joutuu kestämaan kolhua, sadetta ja pakkasia. Toisten tuotteiden toimintakuntoisina säilyminen voi myös olla tärkeämpää kuin toisten: esimerkiksi sairaaloissa käytettävien laitteiden toimintahäiriöt saattavat johtaa ihmishenkien menetyksiin kun taas pelikonsolin rikkoutuminen aiheuttaa lähinnä lievää mielipahaa. Laitteiden suunniteltu käyttöikä voi vaihdella suuresti aina muutamasta tunnista kymmeneen vuosiin. Käyttökohteen ymmärtäminen ja huomioon ottaminen onkin ratkaisevan tärkeä osa komponenttilevyn valmistusprosessin ja sille asetettavien laatuvaatimusten suunnittelua. Huolellisella valmistusvaatimusten asettelulla saadaan käyttötarkoitukseensa riittävän kestävä ja luotettava tuote, jonka valmistuskustannukset ovat vaatimustasoon nähden sopivat.

Komponenttilevyjen valmistusvaiheista on olemassa standardeja, joissa pienten valmistusvirheiden hylkäysrajat on jaettu eri tasoihin tuotteen käyttökohteiden mukaan. Mitä korkeampaa vaatimustasoa käytetään, sitä luotettavampia komponenttilevyjä saadaan valmistettua, mutta toisaalta yksittäisen levyn hinta kasvaa, koska korjauksia joudutaan tekemään enemmän.

Tietylle alalle keskittyneen yrityksen tuotteet toimivat usein keskenään samankaltaisissa käyttöympäristöissä, minkä vuoksi on järkevää asettaa tuotteille mahdollisimman yhtenäisiä valmistusvaatimuksia. Aikaa ja vaivaa säästyy, kun jokaisen tuotteen valmistusta ei tarvitse ohjeistaa erikseen, vaan voidaan käyttää yleisiä valmistusvaatimuksia. Valmistusvaatimuk-



set kannattaa kirjata suoraan komponenttilevyjen valmistussopimukseen, jotta komponenttilevyjen laatu on alusta alkaen riittävä ja pelisäännöt kaikille selvät.

Vaisala Oyj on keskittynyt ympäristön olosuhteita mittaavien laitteiden valmistukseen. Yrityksen laitteilla mitataan esimerkiksi tuulen nopeutta ja ilman kaasupitoisuuksia, mutta myös monia muita ympäristömuuttujia. Eri laitteisiin ja sovelluksiin tarkoitettuja komponenttilevyjä on käytössä yhteensä yli 200, joten yrityksessä on havaittu tarve yhtenäisille valmistusvaatimuksille. Tässä työssä selvitetään Vaisalan mittauselektronikan komponenttilevyjen käyttöolosuhteita, valmistusprosesseja ja valmistusprosessiin liittyviä standardeja. Näiden perusteella kirjoitetaan yhtenäinen valmistusvaatimusdokumentti olemassa olevia valmistusstandardeja hyväksi käyttäen. Jotta valmistusvaatimusten esittämisestä olisi hyötyä, on niiden toteutumista myös pystyttävä tarkkailemaan. Tämän vuoksi työssä selvitetään myös tapoja ja testausmenetelmiä, joilla vaatimusten täytyminen pystytään todentamaan sekä komponenttilevyjä valmistavan että niitä tilaavan yrityksen toimesta.

## 2 Mittauselektroniikan erityisominaisuudet

Mittauselektroniikaksi kutsutaan elektroniikkaa, jota käytetään erilaisten suureiden mittaukseen tarkoitetuissa laitteissa. Mittauselektroniikan tulee olla sähköisesti mahdollisimman stabiilia pitkällä aikavälillä, jotta mittaustulokset eivät muutu ajan kuluessa tapahtuvan elektroniikan ominaisuuksien muutoksien vuoksi. Myöskään ulkoiset olosuhteet mitattavaa suuretta lukuun ottamatta eivät saisi vaikuttaa mittaustuloksiin ilman että kyseessä on suunniteltu ominaisuus. Mittauselektroniikan tulee siis käsitellä anturilta saatavaa tietoa vaikuttamatta siihen omilla ominaisuuksillaan. Tällaista elektroniikkaa käytetään monissa soveluksissa kinalokuumemittareista satelliittien lämpökameroihin. Mittalaitteet voivat olla kannettavia tai paikalleen asennettavia. Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen kannettava mitta-laitte. Laitteet voivat lisäksi sijaita ääriämpötiloissa tai -paineissa. Jotta mittauselektroniikan yleinen esittely olisi ylipäättään mielekästä, käsiteltävä mittauselektroniikka rajataan Vaisala Oyj:n tuotteisiin. Tämän kappaleen tarkoituksena on selvittää, miten käsiteltävä mittaus-elektroniikka eroaa "normaalista" elektroniikasta ja mitä erikoisvaatimuksia tästä seuraa.



**Kuva 1: HM70 käsimittari ja eri mittapäitä. [1]**

## 2.1 Käyttökohteet ja -ympäristöt

Ympäristömittaukset, joissa Vaisalan laitteita käytetään, käsittävät lämpötilan, paineen, kaasupitoisuuksien, kosteuden ja tuulen mittaamista. Mittauslaitteita käytetään säähavaintojen tekemisen lisäksi eri alojen tehtaissa prosessiolosuhteiden tarkkailussa ja prosessien ohjaamisessa. Radiosondeja lähetetään säähavaintopallojen mukana tekemään meteorologisia mittauksia yläilmakehään aina 30 kilometrin korkeuteen asti. Pallon lähetys on esitetty kuvassa 2. Lisäksi tarjolla on säätutkia ja pilvenkorkeusmittausta. [2]



**Kuva 2: Radiosondi lähettää säätietoja maanpinnan yläpuolelta jopa 30 km:n korkeudelta. [3]**

Teollisuusmittauksissa ja maanpinnalla tehtävissä säämittauksissa itse fyysisen mittauksen tekee anturi, joka liitetään joko kannettavaan käsimittariin tai seinään tai muuhun alustaan kiinnitettävään teollisuuslähettimeen. Laitteen näytöltä käyttäjä näkee mittauksen tulokset, joskin tieto voidaan siirtää myös laitteelta eteenpäin toiselle laitteelle. Kuvissa 3 ja 4 esitellään eräitä mahdollisia käyttötarkoituksia kannettavalle käsimittarille erilaisissa mittauksissa.



**Kuva 3: Käsimittarin käyttö kylpyhuoneen lattian kosteusmittauksessa[3]**



**Kuva 4: Kastepisteen mittausta sähkölaitoksella DM70-käsimittarin avulla [3]**

Mittauselektronikan suunniteltu käyttöikä on usein huomattavan pitkä: jopa yli kaksikymmentä vuotta. Pitkän käyttöajan vuoksi komponenttilevyt tulee suunnitella ja valmistaa siten, etteivät ympäristöstä johtuvat rasitukset kykene aiheuttamaan ennenaikaista kulumista tai korroosiota komponenttilevyllä.

## **2.2 Käyttöympäristön haasteet**

Ulkona tapahtuvat mittaukset edellyttävät laitteen ja sen sisältämän komponenttilevyn kestävästi kosteutta ja lämpötilanmuutoksia kovista pakkasista hellekeliin. Lämpötilan muutokset aiheuttavat komponenttilevyn ja komponenttien välisiin juoteliitoksiin jännitystä materi-

aalien erilaisista lämpölaajenemiskertoimista johtuen. Nämä jännitykset ja niistä aiheutuva elpyminen muuttavat hiljalleen liitoksen mekaanisia ominaisuuksia. Pahimmassa tapauksessa jännityksistä saattaa aiheutua murtumia juoteliitoksiin ja siten kosketushäiriöitä. [4, sivut 65–66 ja 253–256] Etenkin suurten komponenttien ja levyn väliset juoteliitokset joutuvat usein kestävämmään suuria jännityksiä. Kotelo suojaa elektroniikkaa roiskeilta ja enimmältä liialta, mutta väistämättä osa ulkoilman epäpuhtauksista pääsee kotelon sisälle elektroniikan luokse. Epäpuhtaudet kuten hiekka ja pöly saattavat aiheuttaa kontaktiresistanssien nousua, eristemateriaalien heikkenemistä, staattisen sähkön kerääntymistä ja happojen muodostumista yhdessä kosteuden kanssa. Muodostuneet hapot puolestaan aiheuttavat metallien korroosiota ja siten liitosten heikkenemistä. Piirilevylle päässeet epäpuhtaudet ja kosteus vaikuttavat väistämättä myös levyn dielektrisiin ominaisuuksiin, jotka puolestaan vaikuttavat varsinkin korkeataajuuksien sähköisten signaalien kulkunopeuteen ja muotoon. Levyn puhtaus on mittauselektroniikan kannalta tärkeä tekijä, sillä komponenttilevyn muuttuva dielektrisyyskerroin vaikuttaa mittaustuloksiin hiljalleen. [3, 5 kappale 7, 6]

Komponenttilevyillä oleviin liittimiin saattaa kohdistua äkillisiä vetoja, mikäli niihin kiinnitetyt kaapelit on sijoitettu siten, että jokin voi tarttua niihin ja vedonpoisto ei ole riittävä. [7]

Kannettavat käsimittarit ovat ulkoilman rasitteiden kuten vaihtelevien lämpötilojen, kosteuden ja pölyn lisäksi alttiina kolahduksille ja tärinälle esimerkiksi auton kyydissä ollessaan. Pudotessaan kovalle alustalle laitteeseen saattaa tulla näkyvien lommojen lisäksi vaurioita komponentteihin ja juoteliitoksiin. Juoteliitokset, piirilevy, komponentit, näyttö tai kuori eivät välttämättä murru yhdestä tai muutamasta kovastakaan kolahduksesta, mutta kun murtuma on syntynyt eli ydintynyt, sen eteneminen ei vaadi suuria voimia ja on siksi nopeaa. [3, sivut 194–210] Tämän vuoksi hetki sitten täydellisesti toiminut laite saattaa rikkoutua yllättävän pienestäkin kolhusta, mikäli jossakin liitoksessa on aikaisemmin ydintynyt särö. Särön ydintyminen voi pudotusten ja tärinän lisäksi olla lämpötilojen muuttumisesta johtuneiden jännitysten aikaansaama. Kannettavan laitteen tulee olla ergonomisesti muotoiltu, ja muotoilu saattaa antaa rajat komponenttilevyjen dimensioille. Muotoilulla ja kuoren materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa siihen, miten kolahdukset kulkeutuvat komponenttilevylle. [3, 8, sivut 101–104]

Mittauselektroniikan komponenttilevyjen valmistuksessa pyritään mekaanisesti kestävä, edullisen ja helppokäyttöisen kokoonpanon lisäksi pitämään levy myös erityisen puhtaana.

Puhtailla levyillä käytönaikaista dendriittien kasvua ja korroosiota ei juuri esiinny ja levyn dielektriset ominaisuudet ovat levyille suunnitellulla tasolla. Puhdistetun komponenttilevyn pinnoitus lakkaamalla kannattaa suorittaa, mikäli levyn tulevat käyttöolosuhteet ovat likaiset tai kosteat, sillä pinnoituksella voidaan hidastaa, joskaan ei täysin poistaa, kosteuden ja epäpuhtauksien vaikutusta levyn sähköisiin ominaisuuksiin ajan kuluessa. [4, sivut 155–156, 9, sivut 159–160]

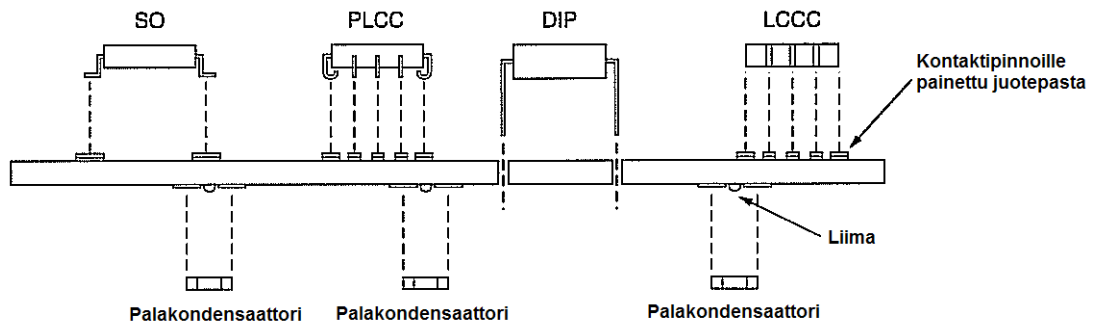
Mittauselektroniikan haasteena on käyttöympäristöjen ja -tarkoitusten moninaisuus. Tämän vuoksi ei voida tarkasti määrätä yksiä oikeita valmistusmenetelmiä ja materiaaleja, joita mittauselektroniikan komponenttilevyjen valmistuksessa tulee käyttää.

### 3 Mittauselektroniikan valmistuksessa käytetyt prosessit

Tässä kappaleessa käsitellään komponenttilevyjen valmistusprosessia ja prosessissa käytettäviä laitteistoja. Vaikka prosessi koostuu useasta osavaiheesta, on juottamismenetelmällä hyvin suuri vaikutus lopputulokseen, ja siksi aiheetta käsitellään hieman laajemmin kuin prosessin muita vaiheita. Useista erilaisista juottamismenetelmistä käsitellään tarkimmin *reflow*- eli pastajuottamismenetelmiin kuuluvaa kuumakaasujuottamista, sillä se on nykyään ylivoimaisesti hallitseva juottamistapa pintaliitoskomponenttien yleistymisen myötä niin yleisesti maailmalla kuin myös Vaisalan komponenttilevyjen valmistuksessa. Aikaisemmin laajasti käytettyä *aaltojuottamista* esitellään reflow-juottamisen ohella. Aaltojuottamista käytetään edelleen silloin, kun komponenttilevyille kiinnitetään piirilevyn läpäiseviä THC (through hole component) -komponentteja. Muutamia muita juottamismenetelmiäkin käsitellään mutta enimmäkseen esittelymielessä. Valmistusprosessin esittelyssä käsitellään myös käytännön aiheita kuten tiloja, joissa levyjä valmistetaan. [2, 10, sivu 5.10]

Komponenttilevyjen automaattiset valmistusprosessit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään. Pintaliitosprosessi perustuu pastajuottamiseen, joka tarkoittaa, että juottamisvaiheessa aikaisemmin annosteltu juotepasta sulatetaan, eikä juotetta sulattamisen aikana lisätä. [4, sivu 6; 8 s. 673] Pintaliitosprosessi esitellään kappaleessa 3.2. Vanhempi prosessityyppi perustuu aaltojuottamiseen, jota käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.3.

Komponenttilevyjen valmistuksessa voidaan käyttää myös sekä reflow- että aaltojuotukseen perustuvaa prosessia, mikäli levyille halutaan komponentteja, joiden kiinnittäminen vain toista tapaa käyttämällä olisi ongelmallista. Näin on usein varsinkin silloin, kun komponenttilevyn komponenteista suurin osa on nykyaikaisia pintaliitoskomponentteja, mutta levyille halutaan myös joitakin läpikortin ladottavia komponentteja, esimerkiksi suuria liittimiä. Tällöin on helpointa kiinnittää pintaliitoskomponentit reflow-prosessia käyttäen ja tämän jälkeen kiinnittää läpikortin komponentit aaltojuottamalla, kuten kuvassa 5 on esitetty. Eri prosessien käyttäminen lisää komponenttilevyn valmistusvaiheita, minkä vuoksi suunnittelussa kannattaa pyrkiä siihen, että kaikki komponentit sopivat yhteen ja samaan juotosprosessiin. [4, sivut 5–6]



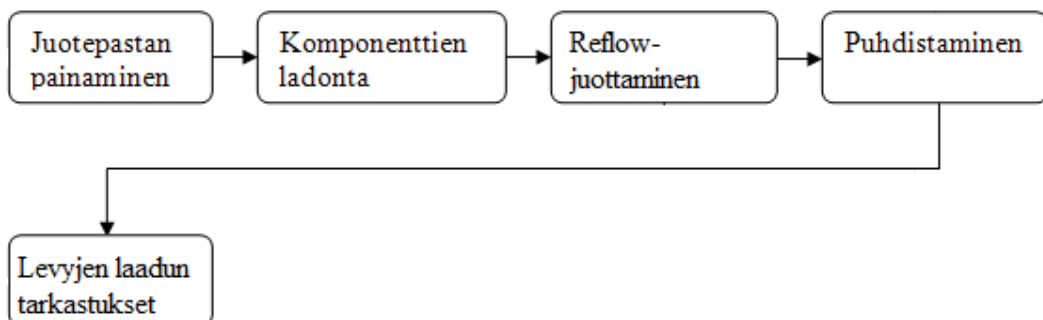
**Kuva 5:** Sekä aalto- että reflow-juottamista hyödyntävä komponenttilevy, jossa levyn yläpuolen komponentit DIP-komponentteja lukuun ottamatta kiinnitetään reflow-juottamalla ja alapinnan komponentit sekä DIP-komponentit aaltojuottamalla. [5 kuva 1.12]

### 3.1 Komponenttilevyjen valmistusympäristö

Komponenttilevyjen luotettavuuteen pitkällä aikavälillä ratkaisevasti vaikuttava tekijä on komponenttien juottamisen onnistuminen. Onnistumiseen vaikuttavat käytettävän juotteen ja juottamistavan lisäksi myös ympäröivän kaasun, useimmiten ilman, ominaisuudet ja sen epäpuhtaudet. Juoteliitos muodostuu metallien välille korkeassa, yli 200 °C:n lämpötilassa [5, taulukko 8.1], jolloin kemialliset reaktiot kuten hapettuminen tapahtuvat nopeasti. Jos juoteliitokselta vaaditaan erityisen hyvää luotettavuutta, juottaminen voidaan suorittaa lähes hapettomissa olosuhteissa typpi- tai muuta inerttiä kaasuatmosfääriä käyttämällä, jolloin metallien oksidoituminen korkeassa lämpötilassa on huomattavasti vähäisempää kuin normaalissa ilmassa juotettaessa. [5, kappale 4.5 ja 7.3.5; 10, kappale 5.4.8]

### 3.2 Pintaliitosprosessi

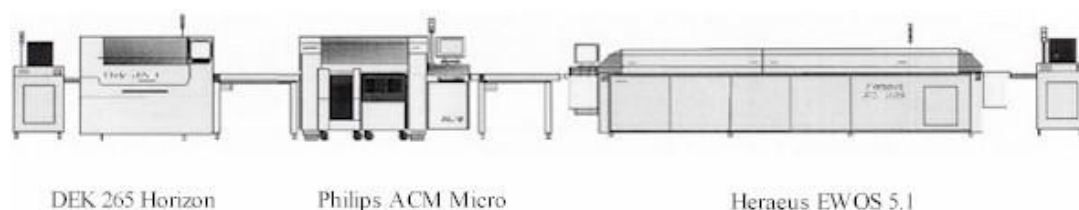
Pintaliitosprosessi komponenttilevyn valmistuksessa voidaan kuvata pääpiirteittäin kuvassa 6 esitetyn kaavion mukaisena. Kaavio esittää komponenttilevyn toisen puolen valmistuksen. Mikäli tehdään sellaisia kaksipuolisia levyjä, joissa levyn molemmat puolet juotetaan reflow-menetelmällä, prosessi toistetaan levyn toiselle puolelle. [5]



**Kuva 6:** Pintaliitosprosessin vuokaavio



Kuten kappaleessa tullaan pian esittämään, pintaliitosprosessista saadaan täysin automaattinen, joskin erityisen hankalia tai suurikokoisia komponentteja voidaan joutua juottamaan käsin. Koska reflow-juottamista käytetään vain pintaliitettäville eli SMD (Surface-mounted Device) -komponenteille, kutsutaan automaattista reflow-juotokseen perustuvaa linjastoa usein SMD- tai SMT (Surface-mounted Technology) -linjastoksi. Tyhjät piirilevyt asetetaan linjaston toiseen päähän kuljettimelle, joka siirtää ne jonossa laitteelta toiselle. Linjaston toiseen päähän saapuvat valmiit komponenttiletvyt eli piirilevyt, joille komponentit on juotettu kiinni. Kuvassa 7 on esitetty eräs mahdollinen pintaliitosprosessissa käytetty laitteistokokonaisuus, jota kuljetinhihna yhdistää. Seuraavaksi linjasto esitellään vaihe vaiheelta.



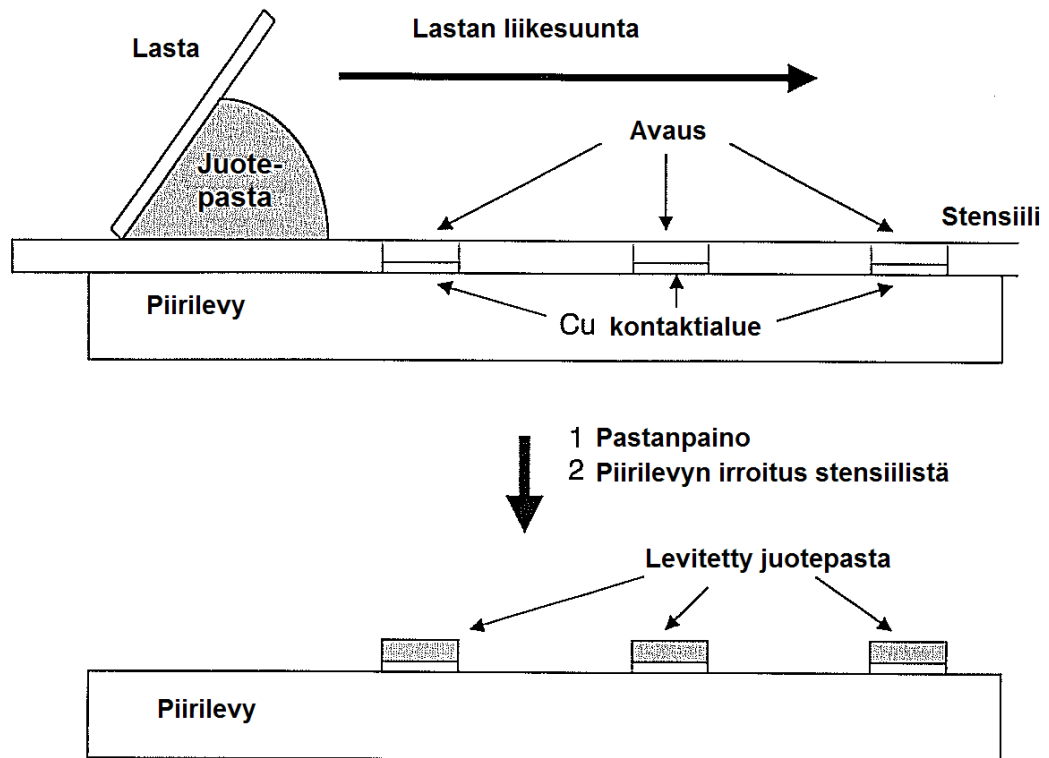
**Kuva 7: Pintaliitosprosessissa käytettävä automaattinen linjasto. [11]**

### 3.2.1 Pastanpaino

Juotepasta on huoneenlämmössä pehmeää ja tahmeaa, sillä se sisältää kiinteiden juotepartikkeleiden lisäksi pastamaisen *fluksin* eli juoksutteen sekä kantoaineen. Kantoaineen perusteella määräytyvät pastan levitysominaisuudet sekä pintajännitys, jonka avulla komponentit pysyvät paikoillaan ennen juottamista. Juoksutetta tarvitaan tuottamaan hyvä kostutus juotettavien pintojen ja juotepastan välille. Juoksute myös aktivoituu kemiallisesti lämpötilan noustessa ja pastan sulaessa liuottaa pois metallien pinnoille syntyvää, juoteliitosta heikentävää oksidikerrosta. [5, kappale 1.1.4.2] Oksidikerros, joka heikentää syntyvän juoteliitoksen mekaanisia ominaisuuksia, muodostuu sekä juotepartikkelien että kontaktimetallien pinnalle ilmassa olevan hapen ja kosteuden vaikutuksesta. [5, sivu 110].

Linjaston ensimmäinen laite kuvan 7 vasemmassa laidassa on juotepastanpainokone. Kun piirilevy tuodaan laitteeseen, se lukitaan paikalleen, ja laite asettaa levyn päälle kuvioidun maskin eli *stensiilin*. Stensiilissä on aukot kohdissa, joihin juotepastaa halutaan saada levitettyä piirilevyllä eli komponenttien kontaktialueilla. Stensiilin kohdistaminen oikeaan kohtaan piirilevyllä tapahtuu laitteessa olevan kameran ja piirilevyllä olevien kohdistusmerkkien (engl. *fiducial*) avulla. Kun stensiili on asetettu ja kiinnitetty tiukasti paikoilleen, pastanpainokone annostelee juotepastan vetämällä juotetta lastalla koko stensiilin ylitse. Lasta puristaa juotepastan stensiiliä vasten ja stensiilin reikien kohdalta piirilevyn pintaan kuvan 8

mukaisesti. Tavoitteena on saada juotepasta jäämään kontaktialueille pinnaltaan tasaisiksi kasoiksi, jotka peittävät 90 % kontaktialueen pinta-alasta. Lopputulokseen vaikuttavat lastan materiaali, kallistuskulma ja liikkeen nopeus, stensiilin paksuus, avauksien laatu ja juotepastan koostumus. [5, 12 kappale 6]



**Kuva 8: Pastanpainoprosessin kaaviokuva [5 kuva 4.3]**

Juotepastan levitykseen on olemassa muitakin menetelmiä: pasta voidaan levittää kontaktialueille myös suihkuttamalla piste kerrallaan kuten mustesuihkutulostimessa. Erityisesti pienten sarjojen valmistus on suihkutusmenetelmällä edullisempaa ja muutosten tekeminen nopeampaa, sillä erillistä stensiiliä ei tarvita. [5, kappale 8.2.2.2; 13] Stensiilin tilaaminen stensiilivalmistajalta jokaista eri levymallia varten saattaa olla hidasta ja kallista. [5, kappale 4.2.1]

### 3.2.2 Komponenttien ladonta

Kun juotepasta on saatu levitettyä, levy jatkaa matkaansa linjaston toiseen laitteeseen, joka kuvan 7 linjastossa on ladontakone. Ladontavaiheessa komponentit asetetaan levyllä siten, että niiden kontaktialueet painetaan aiemmin levitettyyn tahmeaan juotepastaan. Juotepasta toimii väliaikaisena liimana ja pitää komponentit paikoillaan levyllä itse juottamiseen saak-

ka. Myöhemmin uunissa sulavan juotepastan pintajännitys vetää hieman vinoon asetetut komponentit suoraan linjaan. [5, kappaleet 1.1 ja 9.1.2; 14]

Ladontakoneita on olemassa kahta eri nopeusluokkaa: pikaladontakoneita ja tarkkuuslatojia. Pikaladontakoneet pystyvät latomaan esimerkiksi palakondensaattoreita komponenttilevylle riittävällä tarkkuudella ja hyvin suurella nopeudella. Eräs tämän hetken nopeimmista ladontakoneista on Siemensin SIPLACE X4i, joka pystyy jopa 102000 komponentin tuntinopeuteen riippumattomassa IPC-standardin mukaisessa testissä. [15]

Tarkkuusladontakoneilla asetetaan komponentteja, joiden tarkka kohdistus on nopeutta tärkeämpää tai muoto pikalatojien tartuntapäihin sopimaton. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi pienikokoiset  $\mu$ BGA (*micro-Ball-Grid-Array*, suom. mikropallohilamatriisi) -komponentit, erityisen suuret komponentit, joita pikaladontakoneella ei voida latoa, sekä komponentit, joita komponenttilevylle tulee vain vähän. Tarkkuusladontakoneet kohdistavat komponenttien jalat tai juotenystyt kohdalleen tarkemmin kuin pikaladontakoneet, joskin niiden tyypillinen latomanopeus on "vain" muutamia tuhansia komponentteja tunnissa [4, 11]

Suurissa SMD-linjastoissa saattaa olla peräkkäin sekä pika- että tarkkuusladontakone, jolloin työkuormaa saadaan jaettua laitteiden välillä siten, että nopeus ja tarkkuus ovat mahdollisimman hyvässä tasapainossa keskenään. Tästä on hyötyä etenkin suurten komponenttilevyerien valmistuksessa. [8, s. 663]

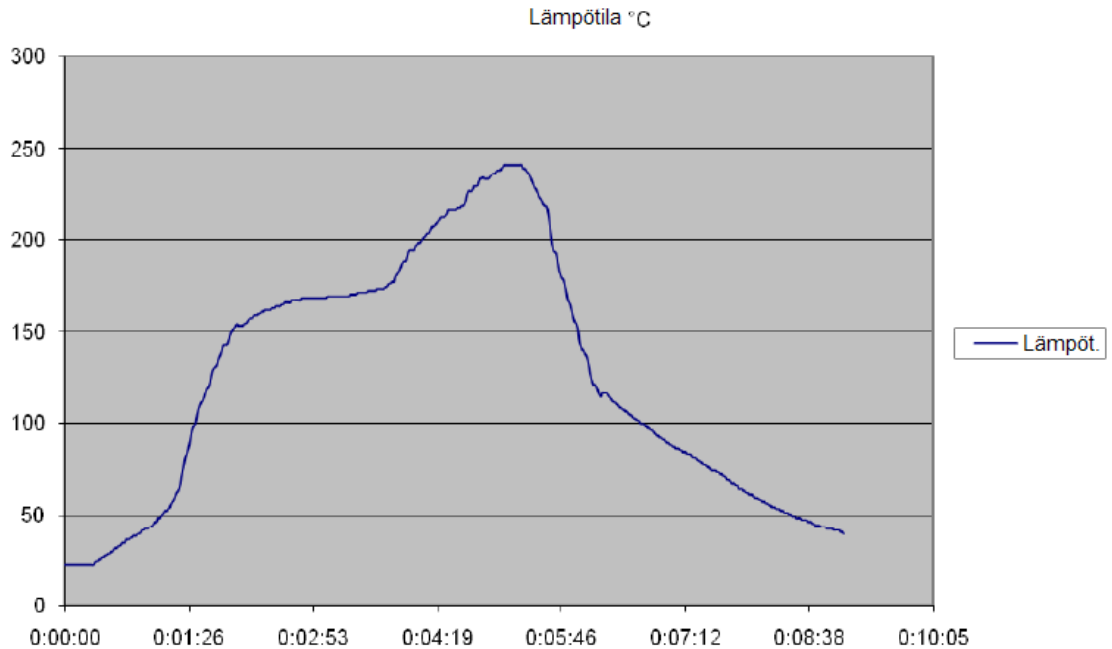
### **3.2.3 Reflow-prosessi**

Kun komponentit ovat levyllä kiinni juotepastassa, on seuraava vaihe itse juottaminen. Tämä voidaan suorittaa useilla tavoilla, joista lähemmin käsitellään kuumakaasujuottamista ja höyryfaasijuottamista. Koska kuvan 7 linjastossa on käytössä kuumakaasujuottamiseen perustuva laite, käsitellään kyseistä tapaa ensimmäiseksi.

#### **1. Kuumakaasujuottaminen**

Kuumakaasujuottaminen suoritetaan pitkässä uunissa (kolmas laite kuvassa 7), joka on jaettu toisistaan erotettuihin osastoihin, joissa vallitsee erilainen lämpötila. Komponenttilevy kulkee uunin läpi kuljettimen mukana vakionopeudella. Uunin osastojen lämpötilojen ja kulkunopeuden perusteella komponenttilevyn lämpötila muuttuu ajan mukaan. Levyn ko-

kemaa lämpötilaa ajan suhteen kutsutaan reflow-profiiliksi, ja sillä on suuri vaikutus juoteliitoksen onnistumiseen. Eräessä Teknillisen korkeakoulun laboratorion kurssin tehtävässä käytetty reflow-profiili on esitetty kuvassa 9, ja se edustaa tyypillistä profiilia normaalissa kuumakaasujuottamisessa. [5, kappale 4.4]

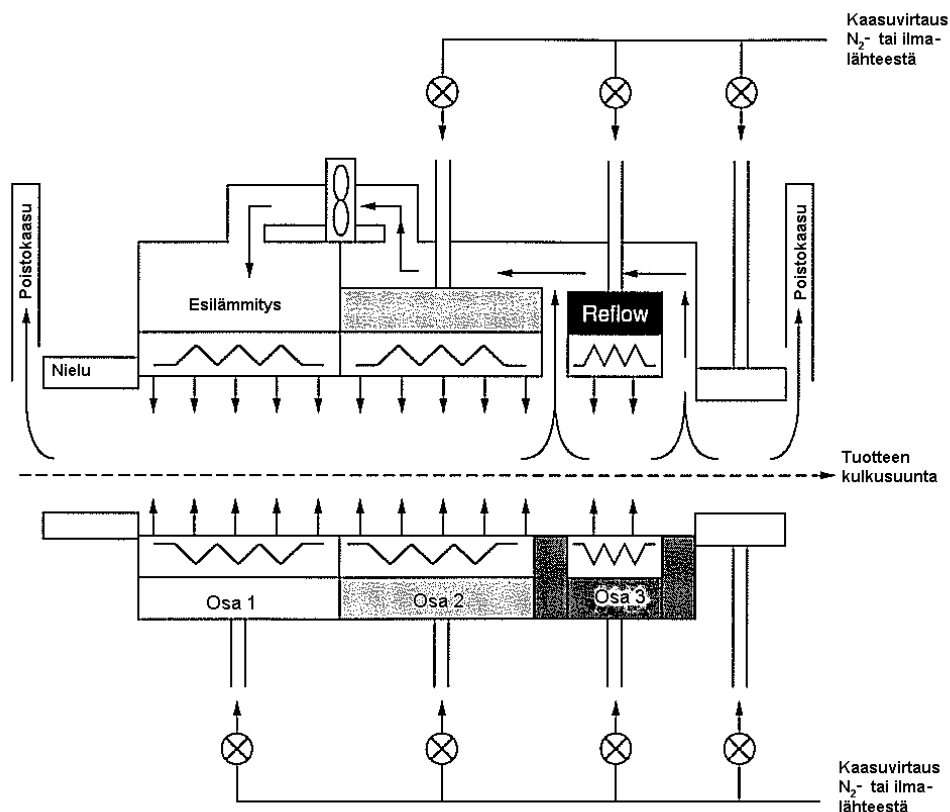


**Kuva 9: Tyypillinen reflow-profiili [16]**

Profiili koostuu neljästä osasta, joista ensimmäinen on esilämmitys lämpötilaan, jossa juotepastan sisältämä juoksute aktivoituu kemiallisesti ja alkaa puhdistaa kontaktimetallien pintoja epäpuhtauksista ja muodostuvasta oksidikerroksesta. Toisessa vaiheessa tätä lämpötilaa kohotetaan hitaasti siten, että juoksute jatkaa toimintaansa puhdistuksessa ja lämpötila ehtii jakautua levyllä tasaisesti. Juoksute kuluu reagoiessaan, ja parasta olisi, että fluksi saataisiin kulumaan mahdollisimman tarkasti loppuun siihen hetkeen mennessä, kun juote kiinteytyy lämpötilan laskiessa. Jäljelle jäänyt juoksute saattaa aiheuttaa ongelmia pitkällä aikavälillä, sillä se sisältää reaktiivisia ja metallien korroosiota aiheuttavia ainesosia. Mikäli juoksute toisaalta kuluu loppuun liian nopeasti, ehtii metallipinnoille muodostua oksidikerros ennen juotteen jähmettymistä, mikä heikentää liitosten mekaanista lujuutta. Nykyisten lyijyttömien juotteiden sulamislämpötilat sijaitsevat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta välillä 200–240 °C [5, taulukko 8.1], joka on komponenttien ja piirilevyn kannalta hyvin korkea lämpötila. Tässä lämpötilassa levyä ei voida pitää kauan vaan vain joitakin sekunteja, etteivät komponentit rikkoudu. Näin ollen kolmas vaihe eli reflow-vaihe on suoritettava nopeasti. Reflow-vaiheen jälkeen viimeisessä vaiheessa lämpötilaa lasketaan sopivalla nopeudella, jolloin sula juote siirtyy kiinteään olomuotoon. Reflow-profiilin eri vaiheiden

lämpötilojen muutosnopeuksilla on suuri vaikutus erilaisten virheiden syntymiseen ja juoteliitoksen metallin raekokoon, joka puolestaan vaikuttaa liitoksen luotettavuuteen. Tämän vuoksi lämpötilanmuutoksen nopeuteen tulee kiinnittää huomiota profiilia suunniteltaessa. Juoteliitosten virheitä käsitellään tarkemmin luvussa 6: Valmistusvirheet ja niiden korjaus. [5, kappale 4.4; 8 kpl 17.1.6; 17]

Kuten edellä mainittiin, Reflow-uunin lämmitystapoja on useita. Hyvin yleinen malli on kuvassa 10 esitetty pakotettuun konvektioon perustuva uuni, jossa kuumaa kaasua puhalletaan kohtisuoraan levyä kohti. Uunissa voi lisäksi olla infrapunälämmittimiä, joilla lämpötilan jakautumista levyllä voidaan tasoittaa. Kaasuna voidaan käyttää joko normaalia ilmaa tai inerttiä suojakaasua kuten typpeä. Typen käyttö uunissa on kuitenkin harvinaista sen käytön kalliin hinnan vuoksi; kaasua tarvitaan runsaasti, jopa  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  (25 cm leveälle komponenttilevyllä), koska uuni on molemmista päistään avoin. [5 kpl 4.4, 11]



**Kuva 10: Reflow-uunin toiminta. [5 kuva 4.49]**

## 2. Höyryfaasijuottaminen

Toinen mielenkiintoinen massatuotantoon soveltuva, joskin infrapuna & konvektio-yhdistelmää vähemmän käytetty reflow-juottamismenetelmä, on höyryfaasijuottaminen.

Höyryfaasiuunissa on inerttiä höyryä, joka on syrjäyttänyt hapen. Hapen vähyys juotosolosuhteissa on suuri etu kuten aiemmin todettu, ja juoksuotteet voivat olla mietoja verrattuna ilmassa tapahtuvaan juottamiseen. [5]

Kun viileä komponenttilevy tuodaan kuumaan höyryyn, osa höyrystä kondensoituu levyn pintaan luovuttaen siihen lämpöä tasaisesti joka puolelle lähes riippumatta erikokoisten komponenttien erilaisista lämpökapasiteeteista; kondensoitumista tapahtuu niin kauan, kunnes komponentti on tarpeeksi viileä. Lämpötilan muutos levyllä on hyvin nopeaa, mistä saattaa aiheutua komponenttien hajoamisia ja muita äkillisestä lämpötilanmuutoksesta aiheutuvia virheitä. Levyn kokema lämpötilan muutosta voidaan pienentää käyttämällä esimerkiksi infrapunasäteillä tehtävää esilämmitystä, jolla komponenttilevyn lämpötilaa kohotetaan ennen höyrykammioon siirtämistä. [18, sivut 212–213]

#### **3.2.4 Puhdistaminen**

Kun levy on tullut uunista ja se on jäähdytetty, puhdistetaan sen pinnalta mahdolliset juotepastaroiskeet ja muut epäpuhtaudet, erityisesti juoksutejämmät. Juotepastoissa käytettävistä flukseista jotkut ovat vahvasti korroosiota aiheuttavia ja vaativat tämän vuoksi tulla aina pestyiksi pois levyiltä. Fluksijäämät saattavat aiheuttaa muitakin ei-toivottuja asioita kuten pintavuotovirtoja johdinten välille. No-clean -tyyppisissä juotteissa olevat juoksuotteet ja hyvin miedot juoksuotteet saavat joissakin tapauksissa jäädä levyille, eivätkä näin ollen välttämättä vaadi erillistä puhdistusvaihetta, jolloin prosessi säilyy hieman yksinkertaisempana ja edullisempana. Puhdistusta käsitellään tarkemmin luvussa 3.5.1. Puhdistuksen jälkeen levy voidaan tarvittaessa pinnoittaa. [10 kpl 5.3, 19]

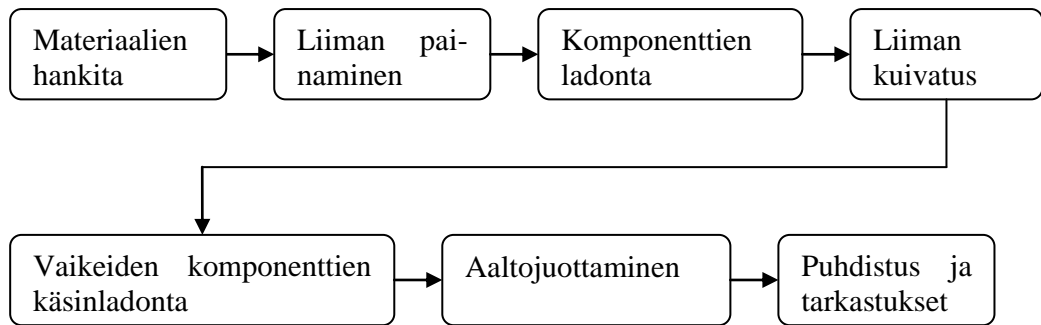
#### **3.2.5 Kaksipuoliset komponenttilevyt**

Jos komponenttilevystä tehdään kaksipuolinen, eli SMD-komponentteja kiinnitetään piirilevyn molemmille puolille, toiselta puoleltaan valmis levy yksinkertaisesti käännetään ja sama prosessi suoritetaan uudestaan alusta. Vaikka myös komponenttilevyn alapuolella oleva juote sulaa toisessa kuumennuksessa, sinne kiinnitetyt komponentit pysyvät piirilevyssä kiinni juotteen pintajännityksen ansiosta, elleivät ne ole erityisen suuria ja painavia. [5]

Prosessin päätteeksi komponenttilevy tarkastetaan valmistusvirheiden varalta ja mahdolliset virheet korjataan mikäli mahdollista.

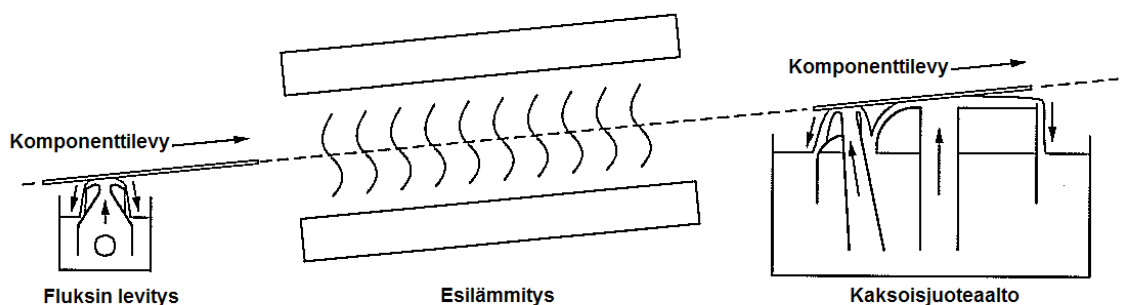
### 3.3 Aaltojuotokseen perustuva kokoonpanoprosessi

Aaltojuottaminen on toinen massatuotantoon soveltuva juottamistapa. Siihen perustuva valmistusprosessi soveltuu etenkin THT- (Through-Hole Technology) eli läpikortin komponenttien juottamiseen mutta myös SMD-komponenteille. Prosessin kulku on esitetty kuvassa 11.



**Kuva 11: Aaltojuottamisprosessin yksinkertaistettu vuokaavio**

Prosessi aloitetaan levittämällä piirilevylle pienet määrät liimaa komponenttien sijoituspaikoille mutta jättämällä kontaktialueet vapaiksi. Tämän jälkeen komponentit ladotaan levyille ladontakoneella tai käsin, ja liima kuivatetaan esimerkiksi kuumentamalla, jolloin myös SMD-komponentit saadaan pysymään ylösalaisin käännettyssä piirilevyssä kiinni juoteaallon huuhdellessa niitä. Tämän jälkeen siirrytään itse juottamisvaiheeseen, joka on esitelty kuvassa 12. Juottamisvaiheessa komponenttilevy käännetään ylösalaisin ja liikutetaan kiskojen avulla ensin fluksiaallon ja sitten sulan juoteaallon yli siten, että molempien aaltojen harjat osuvat juuri ja juuri levyn pintaan. [4, 18]



**Kuva 12: Aaltojuottamisen periaate. [5 kuva 1.16]**

Näin saadaan juote tarttumaan levyn ja komponenttien kontaktialueille, joita piirilevyn pinnassa oleva juotteenestopinnoite ei suojaa. Kun levy kulkee aallosta pois, juote viilenee ja jähmettyy. Aaltojuottamisessa piirilevy jää aina likaiseksi ja vaatii puhdistamista niin fluksi- kuin juotejäämistäkin. Tätä käsitellään hieman tarkemmin luvussa 3.5.1. Aaltojuottami-

sen etuna on sen soveltuvuus kaikenlaisille komponenteille kuten esimerkiksi läpikortinkoteloiduille DIP (*dual in-line package*) -komponenteille ja liittimille.[5, 20]

### 3.4 Selektiivijuottaminen

Selektiivijuottamisella tarkoitetaan vain muutamien komponenttien juottamista ilman että koko levyä tarvitsee ajaa läpi valmistusprosessista. Selektiivijuottamista voidaan tarvita, mikäli SMT-levylle halutaan kiinnittää yksittäinen THT-komponentti tai jokin erityisen hankalan muotoinen komponentti, jonka juottaminen samassa prosessissa muiden komponenttien kanssa ei syystä tai toisesta onnistu. Yksinkertaisin selektiivijuottamisen muoto on käsinjuottaminen, jossa juotos tehdään yhdelle komponentille kerrallaan. Käsinjuottamisessa laatu ei ole yhtä tasaista kuin koneellisessa juottamisessa. Myös koneellisia selektiivijuotosmenetelmiä on olemassa. Niitä on esitelty taulukossa 1 vahvuuksineen ja heikkouksineen. [20, 21, 22]

**Taulukko 1: Automaattisten selektiivijuottamismenetelmien esittely**

Juotosmenetelmä	Toiminta-ajatus	Edut	Haitat
Selektiivinen aalto	Levy suojataan muualta paitsi juotettavalta alueelta ja ajetaan aaltojuotoslinjaston läpi	+Kuten perus aaltojuotos +voidaan käyttää olemassa olevaa aaltojuotoskonetta	-Levyn muiden osien suojaksi tarvitaan maski eli fikstuura jokaiselle prosessoitavalle levylle, kalliita (keskim. 250\$/kpl)
Selektiivinen lähde	Kuten selektiivinen aalto, mutta aallon päälle asetetaan suoja, josta aalto pääsee läpi vain tietyistä kohdista muodostettujen "lähteitä"	+Kuin normaali aaltojuotos +voi käyttää olemassa olevaa aaltojuotoskonetta +jokainen levy ei tarvitse omaa fiksturaansa	-Fikstuura tarvitaan aaltojuotoslaitteeseen ja mahdollisesti levyille.



Ohjelmoitava selektiivijuottaminen	Robotti liikuttaa levyä ohjelman mukaisesti pintalaltaan pienen pyöreän juoteaallon päällä ja kastaa sen tarvittavista kohdista aaltoon	+ei tarvita maskeja levyn muiden alueiden suojaksi	-laiteinvestointi -jokaiselle levymal- lille oma ohjelmointi -vain yksi levy ker- rallaan
Selektiivinen laserjuottaminen	Lankajuotetta vietään ohjelmoidulla robotilla juotettavaan kohtaan ja sulatetaan laserilla	+toimii hankalissa- kin väleissä +ei kuumenna juuri- kaan itse kompo- nenttia tai substraat- tia +tarkkaa	-hidasta, sillä vain yksi piste juotetaan kerrallaan
Selektiivinen kuumakaasu-juottaminen	Kuumaa kaasua tuodaan suuttimesta haluttuun kohtaan. Juote ja juoksute voidaan tuoda myös, elleivät ole valmiiksi paikallaan	+edullinen vaihtoehto selektiiviselle laser-juottamiselle	

[21, 22, 23]

### 3.5 Prosessivaiheet juotoksen jälkeen

Komponenttilevyn saaminen piirilevytehtaalta käyttäjälle sisältää muutakin kuin pelkän asettelun ja juotosprosessin. Seuraavaksi käsitellään juotosprosessin jälkeen tehtäviä komponenttilevyn luotettavuuteen liittyviä prosessivaiheita.

#### 3.5.1 Levyjen pesu

Kuten kappaleessa 2 todettiin, komponenttilevyjen pesulla voidaan vaikuttaa niiden pitkäaikaiseen luotettavuuteen. Tämän vuoksi pesu on tärkeä vaihe valmistusprosessia, ja sitä tulee tarkastella huolella.

Pesu kuuluu juotosprosessin loppuun kun juottaminen on tehty, ja se tulee suorittaa välittömästi juottamisvaiheiden jälkeen, jotta jäät eivät ehdi kuivua. [24] Jotta pesun voi suorittaa, täytyy piirilevyn komponentteineen soveltua pestäväksi käytettävissä pesuaineissa.

Epäpuhtaudet voidaan jakaa haitallisiin ja harmillisiin epäpuhtauksiin. Polaariset epäpuhtaudet ja ionit ovat haitallisia, sillä ne aiheuttavat vuotovirtoja johtimien välillä, levyn dielektristen ominaisuuksien muutosta, metallien korroosiota, dendriittien kasvua ja elektromigraatiota. Harmilliset, sähköisesti neutraalit ei-ioniset ja epäpolaariset epäpuhtaudet kuten rasvat saattavat puolestaan aiheuttaa ongelmia pinnoitteen kiinnittymiselle levyn pintaan sekä testikontaktialueiden ja testikärkien sähköiselle kontaktille testausvaiheessa. Ne voivat myös kerätä itseensä muita epäpuhtauksia, jotka puolestaan voivat olla haitallisempia sähköisesti aktiivisia aineita. [20] Tarkoituksena komponenttilevyn pesussa on siis:

- a) poistaa levytä ioniset ja polaariset fluksijäät, jotka aiheuttavat metallien ja piirilevyn korroosiota ajan kuluessa etenkin silloin, kun kyseessä eivät ole "no-clean"-eli puhdistusta vaatimattomat juoksuotteet.
- b) poistaa juoteroiskeet, jotka saattavat kulkeutua komponenttien jalkojen väliin aiheuttaen oikosulkuja
- c) poistaa ioniset, polaariset ja sähköisesti neutraalit epäpuhtaudet levyn pinnalta, jotta ne eivät aiheuttaisi komponenttilevyn materiaalin dielektristen ominaisuuksien muutoksia kuten vuotovirtoja tai hajakapasitansseja, eivätkä osallistuisi elektromigraation syntymiseen komponenttilevyllä
- d) tarjota puhdas tartuntapinta ja siten hyvä kiinnittyminen piirilevyn päälle mahdollisesti tehtävälle pinnoitukselle
- e) puhdistaa testikontaktialueet sähköisesti johtamattomista epäpuhtauksista, jotta testipiikit saisivat hyvän kontaktin ja testaaminen olisi helposti toistettavissa
- f) saada levy miellyttämään asiakkaan silmää, eli poistaa ylimääräiset roskat ja pöly levytä. [5, 25]

Erityyppisiä epäpuhtauksia komponenttilevyllä on esitetty seuraavalla sivulla taulukossa 2.

**Taulukko 2: Komponenttilevyn kokoonpanoprosessin jämiä tyypeittäin [26]**

<b>Partikkelit</b>	<b>Ioniset epäpuhtaudet</b>	<b>Sähköisesti neutraalit epäpuhtaudet</b>
Juoteroiskepallot	Ioniset fluksijäämät (lähinnä fluksin aktivaattorista)	Sähköisesti neutraalit fluksijäämät
Lasikuitu- ja hartsijäämät piirilevyn työstämisestä	Sormenjäljet (Na & K -suolat)	vahat ja rasvat (esim. sormenjäljistä)
Piirilevynmuotoilun metalliset jäämät (esim. Cu-hiukkaset)	Pinta-aktiiviset ioniset ainejäämät	Pinta-aktiiviset epäioniset ainejäämät
Nukka ja pöly		Metallioksidijäämät juotosprosessista
Hiukset		Piirilevyn synteettiset polymeerit

#### **Puhdistusta vaatimattomien "no-clean" -fluksien pesutarve**

Kuten reflow-prosessin esittelyssä kerrottiin, puhdistus voidaan myös jättää kokonaan tekemättä jos juottamisessa käytetään mietoja tai puhdistusta vaatimattomia, niin kutsuttuja "no-clean" -flukseja. Pesun välttäminen alentaa komponenttilevyn valmistuskustannuksia, mutta etenkin kappaleessa 4 käsiteltävien laatutasojen mukaista korkean laadun (luokka 3) elektroniikkaa valmistettaessa pesu joudutaan tekemään, vaikka käytettävä fluksi olisikin no-clean -tyyppistä. Pesu saatetaan myös joutua tekemään, mikäli puhtauden tasosta ei muuten saada riittävästi tietoa. [17, 20, 27]

Pesua vaatimattoman juokсутteen toimintaperiaatteena on, että juottamisen aikana juokсутteen korroosiota aiheuttavat sähköisesti aktiiviset aineet joko höyrystyvät pois levyiltä tai kovettuvat pinnastaan kuumuuden vaikutuksesta ja koteloituvat tullen näin vaarattomiksi. [20]

Mikäli pesu päätetään jättää tekemättä no-clean -flukseja käytettäessä, riski sille, että levyille on jäänyt aktiivisia juokсутejäämiä, voidaan jakaa kolmeen eri tasoon juottamistavasta riippuen:

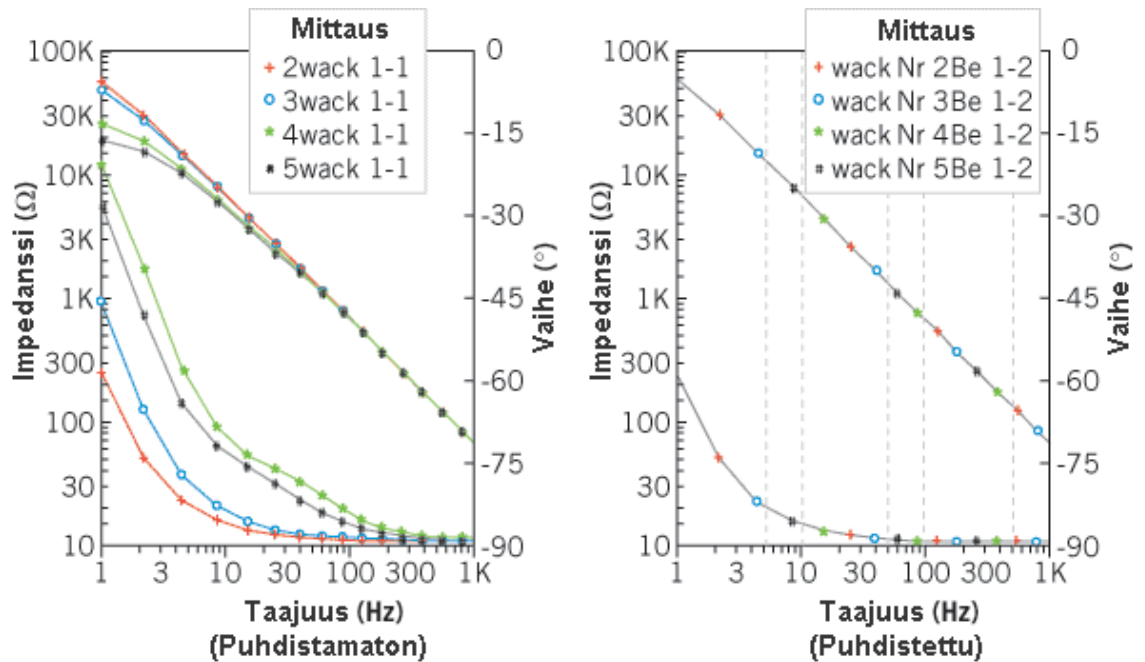
- vähäisin riski no-clean -fluksien aktiivisille jäämille saavutetaan reflow-juottamisessa, sillä reflow-uunissa koko levy saavuttaa juottamiseen tarkoitetun korkean lämpötilan, jossa myös juokсутteen toiminta, haihtuminen ja kovettuminen on suunnitellun kaltaista. Tämä tietysti olettaen, että reflow-profiili on oikea.
- korkeampi riski otetaan aaltojuottamisessa, sillä kun juokсутetta ruiskutetaan levyn alapinnalle, osa siitä saattaa päästä avoimista rei'istä levyn yläpinnalle, jota sula juoteaalto ei kuumenna neutraloitumiseen vaadittavaan lämpötilaan kuten alapintaa. Koska selektiivijuottamismenetelmistä useat perustuvat aaltojuotokseen, myös niissä riski aktiiviseksi jääneille flukseille on suuri tai erittäin suuri.
- Suurin riski aktiivisille juokсутejäämille seuraa käsinjuottamisesta, sillä useimmiten juokсутetta levitellään kontaktialueille pensselillä, jolloin suuria määriä ainetta leviää myös kontaktialueen ympäristöön. Juotettaessa komponenttia paikalleen kolvin kärki lämmitää kuitenkin vain kontaktialuetta, jolloin ympärillä oleva fluksi jää aktiiviseksi. Käsinjuottamisen jälkeen puhdistus tulisi siis tehdä myös no-clean -fluksia käytettäessä ainakin kyseiselle alueelle. [20]

Selektiivijuottamisessa riskitaso riippuu fluksin annostelumenetelmästä, ja siihen tulee kiinnittää huomiota. [20]

No-clean -fluksien koteloitumisen kestävyydestä on tehty tutkimuksia, joiden mukaan kovettunut pinta saattaa ajan ja olosuhteiden muutosten vaikutuksesta halkeilla ja päästää kapselin sisälle jäänyttä aktiivista materiaalia ulos. Tämä tapahtuu sitä nopeammin, mitä rämpää ja nopeampaa olosuhteiden muuttuminen on. Juotejäämien koteloitumisen laatu riippuu juottamisvaiheessa tapahtuvasta kovettumisesta, johon lämpötilaprofiililla on suuri vaikutus. [17]

### **Dielektriset vaikutukset**

Kuten aikaisemmin kerrottu, juokсутejäämät ja muualta tulleet sähköisesti aktiiviset epäpuhtaudet muuttavat komponenttilevyn dielektrisiä ominaisuuksia, ja levyllä syntyy hajakapasitansseja ja impedanssia. Jäämät parantavat sähkönjohtavuutta levyn pinnassa aiheuttaen vuotovirtoja. Kuvassa 13 on esitetty, miten pesua vaatimattomien no-clean -fluksien jäämät aiheuttavat impedanssia levyllä. Kuvasta ilmenee, että pesu on perusteltua tehdä myös silloin, kun käytettävä fluksi on no-clean -tyyppistä. [17]



**Kuva 13: Pesun vaikutus eri no-clean -fluksien jäämien aiheuttamiin sähköisten ominaisuuksien muutoksiin [17]**

### Pesussa käytettävät aineet

Pesussa käytetään pesuaineita. Yksinkertaisimmillaan pesuaine voi olla pelkkää ionivaihdettua vettä tai etyylialkoholia, mutta monia kaupallisia pesuaineitakin on tarjolla. Pesuaineen valinta tehdään sen mukaan, minkälaisia epäpuhtauksia komponenttilevyiltä halutaan poistaa ja kuinka tehokkaasti; vesi pesee hyvin suoloja, mutta rasvat irtoavat paremmin alkoholilla pestäessä. Varsinaiset pesuaineet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: vesiliukoiset pesuaineet, vedellä huuhdeltavat orgaaniset ja liuotinhenteiset liuottimella huuhdeltavat pesuaineet. Mikäli pesuainetta käytetään, se tulee myös huuhdella pois, ja syntyneet jätteet tulee hävittää ympäristövaatimuksia noudattaen. [26, 28, 29]

### Kuivaus

Pesun ja huuhtelun jälkeen suoritetaan kuivaus, joka on pesuprosessin vaativin ja kalleimman laitteiston vaativa osa. Vettä tai muita huuhteluaineita ei haluta jäävän hankalienkaan komponenttien alle, sillä liuotettuaan itseensä ioneja liuos aiheuttaa korroosiota ja johtaa sähköä. Kuivaus voidaan suorittaa pitämällä levyä uunissa yli 90 °C:n lämpötilassa vähintään neljän tunnin ajan, jolloin kosteus ehtii haihtua levyiltä myös laajojen ja matalien komponenttien alta. [5, 30]

### **Saavutettava puhtaus**

Pesua ei välttämättä kannata pitää riittävän puhtauden takeena tai ainoana tapana saavuttaa se. Mikäli juottamisessa käytetyt materiaalit saataisiin tuottamaan riittävän vähän jäämiä, voisi pesuprosessista olla jopa kannattavaa luopua, sillä valmiiksi riittävän puhtaan komponenttilevyn peseminen saattaa jopa lisätä epäpuhtauksien määrää etenkin, jos käytettyyn pesunesteeseen on liennut epäpuhtauksia aiemmin pestyistä levyistä. [31]

Kysymys siitä, mikä on riittävä puhtaus, on valitettavan hankala. Vaikka nopeita ja yksinkertaisia testausmenetelmiä on olemassa, läheskään kaikilla ei ole niitä käytössään. [32] Levylle voidaan suorittaa luvussa 5.2 esiteltyjä puhtaustestejä, joille kuitenkin ei ole annettu selkeitä raja-arvoja siitä, mikä epäpuhtausmäärä/cm<sup>2</sup> on puhdas ja mikä ei. Puhtausvaatimukset jollekin levylle voitaisiin selvittää kattavilla ja riittävän suuren otannan testeillä (kpl 5.2), mutta tällöinkin selvitetäisiin vasta tämän yhden levymallin riittävä puhtaus. Riittävän puhtauden arviointi olisi tärkeää, mutta se on erittäin vaikeaa. [5, 17, 20, 24, 25, 30, 31, 32]

### **3.5.2 Pinnoitus**

Komponenttilevyä voidaan suojata ympäristön vaikutuksilta lakkaamalla, eli pinnoittamalla se. Pinnoite on polymeerimateriaalia, joka levitetään komponenttilevyn pinnalle valmistusprosessin päätteeksi. Se tarjoaa suojaa nesteitä, likaa ja kaasuja vastaan, ja hidastaa huomattavasti esimerkiksi kosteuden pääsemistä levylle, muttei pysty täysin estämään sitä. Eri-tyyppisiä pinnoitteita on tarjolla, ja valinta tulee suorittaa komponenttilevyn käyttötarkoituksen ja siinä käytettyjen materiaalien yhteensopivuuden mukaan. Pinnoitelajit voidaan jakaa viiteen ryhmään. Ryhmiä ja niiden ominaisuuksia on esitelty seuraavalla sivulla taulukossa 3:

**Taulukko 3: Pinnoitusmateriaalien ominaisuuksia [30]**

	Akryylihartsit	Epoksihartsit	Silikonihartsit	Polyuretaanihartsit	Paryleeni
<b>Pinta</b>	-suhteellisen kova -kiiltävä -sileä	-kova -sileä	-kumimainen	-kiiltävä -sileä -erittäin kovasta melko pehmeään	-ohut -yhtenäinen
<b>Suojaavuus (erityisesti)</b>	-heikko hankauksenkestävyys	-kosteus -kemikaalit	-kosteus -UV	-kosteus -kemikaalit	-kosteus -roiskeet -liuottimet -suolat
<b>Sähköiset ominaisuudet</b>		-matala dielektrisyys	-erinomaiset dielektriset ominaisuudet -korkea läpilyöntikestävyys	-hyvät dielektrisyysominaisuudet	-korkea dielektrisyys
<b>Kiinnittyminen</b>	-lohkeilee	-erittäin luja	-lujasta heikkoon	-lohkeilee suurina paloina	
<b>Komp.levyn huollon helppous</b>	-liukenee liuotimiin -helppo	-poltetaan kolvilla -vaikeaa	-vaatii erityisliuotinta -haastavaa	-voidaan juottaa pinnoitteen läpi, helppo	
<b>Pinnoitteen levitys</b>	-harja -spray -upotus	-harja -spray -upotus	-harja -spray -upotus	-harja -spray -upotus	-vakuumi

Pinnoittaminen tulee suorittaa mahdollisimman puhtaalle komponenttilevyille mieluiten pian pesun jälkeen, jotta kiinnittyminen onnistuisi parhaalla mahdollisella tavalla eikä epäpuhtauksia pääse jäämään komponenttilevyille pinnoitteen alle. Ennen pinnoitteen levittämistä puhdas levy tulee kuivata huolellisesti. [5, 30] Pinnoituksen onnistumisen tarkastuksia käsitellään kappaleessa 5.1.4

### 3.5.3 Piirilevyn irrotus aihioista

Varsinkin pienikokoiset piirilevyt valmistetaan aihioittain siten, että yhdessä aihiossa on reunoistaan kiinnitettynä useita piirilevyjä. Tämä helpottaa kuljetusta ja varastointia, sillä jokaista pientä levyä ei tarvitse käsitellä erikseen, mutta juottamisen jälkeen piirilevyt on irrotettava aihioista. Jos levyt murretaan huolimattomasti irti aihioista, levyjen reunoilla sijaitseviin komponentteihin tai ohuisiin kuparijohtimiin voi syntyä katkoksia ja murtumia. Särkyminen voi olla mahdotonta huomata visuaalisissa tarkastuksissa etenkin jos johdin on murtunut jossakin piirilevyn sisäisessä kerroksessa tai murtuma on komponentin sisällä. Katkos muutamassa piirilevyssä saattaa kuitenkin pilata koko komponenttilevyerän, mikäli

murtumasta aiheutunut sähköinen vika havaitaan vasta sähköisessä lopputestauksessa tai pahimmassa tapauksessa asiakkaan käytössä.

#### **3.5.4 Testaus**

Komponenttilevyille ja niissä käytettäville materiaaleille on suoritettava vastaanottotarkastuksia kuten myös välitarkastuksia eri prosessivaiheiden välillä ja lopputarkastus, jonka perusteella voidaan todeta valmiin komponenttilevyn lähteneen tuotannosta moitteettomassa kunnossa. Testeillä tutkitaan levyjen sähköisiä ja mekaanisia ominaisuuksia. Riittävällä määrällä oikeanlaisia tarkastuksia voidaan määritellä, missä prosessin vaiheessa mahdolliset vikaantumiset ovat tapahtuneet, ja näiden syihin voidaan puuttua. Testaamiseen liittyy myös huomattava määrä dokumentointia. Kun testaaminen ja dokumentointi on jatkuvaa, saadaan kerättyä tilastollista dataa, jonka valossa voidaan arvioida, miten prosessi toimii ja miten siihen tehdyt muutokset ovat vaikuttaneet. Erilaisia tarkastusmenetelmiä ja niihin liittyviä standardeja käsitellään lähemmin luvuissa 4 ja 5.

#### **3.5.5 Kuljetus ja varastointi**

Sekä piirilevyt että komponentit kuljetetaan komponenttilevytehtaalle, ja niitä varastoidaan määrittelemätön aika ennen juottamista sekä mahdollisesti sen jälkeen. Asiakas, jolle komponenttilevyt kuljetetaan, saattaa sijaita samassa rakennuksessa kuin tehdaskin, mutta todennäköisemmin jossakin kauempana. Kuljetuksen aikana komponenttilevyihin kohdistuu tärinää ja kolahduksia. Sekä kuljetusten että varastoinnin aikana levyille saattaa myös päästä niille kuulumattomia aineita tai kaasuja, ja lämpötila sekä ilmankosteus saattavat vaihdella ja aiheuttaa levyjen sekä komponenttien kulumista. Jotta levyt saadaan pysymään ehjinä ja puhtaina, niiden pakkaukseen tulee suorittaa kappaleessa 4.6 esitetyllä tavalla. [6 kpl 3.3]



## **4 Komponenttilevyjen valmistukseen liittyvät standardit, sertifikaatit ja dokumentointi**

Tässä luvussa esitellään standardeja, jotka liittyvät komponenttilevyjen valmistukseen, testaamiseen ja hyväksymiseen. Lisäksi tutustutaan komponenttilevyihin ja muihin tuotteisiin liittyviin viranomaisvaatimuksiin. Luvussa käsitellyt standardit on koottu taulukkoon liitteessä 3.

### **4.1 Laatu- ja ympäristöasioiden johtamisen standardit**

Eräät yleisimmin käytetyistä prosessien hallintaan liittyvistä standardeista maailman organisaatioissa ovat laadunhallintajärjestelmien vaatimukset esittävä standardi ISO 9001:2000 ja ympäristöasioiden hallinnan standardin ISO 14001 versiot 1996 ja 2004. Niitä käytetään noin 887 770 organisaatiossa 161 maassa. Laatujohtamisen standardille on tarjolla omat versionsa lääketieteen (ISO 13485:2003) ja autonvalmistuksen alalle. Nämä kulkevat omilla nimillään, mutta sisältävät samat asiat kuin ISO 9001:2000 täsmennettynä alojensa erityisvaatimuksilla. [33, 34,35]

Tässä kappaleessa esitellään muutamia yleisimpiä ja tunnettuja prosessien hallintaan liittyviä standardeja.

#### **4.1.1 ISO 9001:2000**

Seuraava määritelmä kertoo, mistä standardissa on kyse:

"ISO 9001:2000 määrittelee laadunhallintajärjestelmien vaatimukset mille tahansa organisaatiolle, jolle on tarpeen osoittaa organisaation kyky toimittaa jatkuvasti asiakasvaatimukset ja lakisääteiset vaatimukset täyttävä tuote ja jonka tavoitteena on parantaa asiakastyytyväisyyttä." [34]

Standardin vaatimukset koostuvat viidestä aihealueesta:

1. Tuotteen toteuttaminen
2. Laadunhallintajärjestelmät
3. Johdon vastuu
4. Resurssienhallinta
5. Mittaaminen, analyysi ja parantaminen

Aihealueista muita paitsi ensimmäistä voidaan soveltaa sellaisinaan jokaisessa organisaatiossa alasta riippumatta. "Tuotteen toteuttaminen" -kohtaa tulkitaan siten, että siitä jätetään huomioimatta asiat, jotka eivät liity organisaation toimintaan. Kyseisessä osassa määritellään, mitä organisaatiossa tulee tehdä jotta tuote, oli se sitten palvelu tai fyysinen tavara, täyttäisi standardin määritelmässä mainitut asiat. [34]

Tällä hetkellä uusin versio standardista on julkaistu vuonna 2000, ja päivitystä odotetaan syksyn 2008 aikana, joskaan suuria muutoksia ei ennakkotietojen mukaan ole odotettavissa. [33, 35]

#### **4.1.2 ISO 14001:2004**

Tämä ympäristöasioiden hallintaa käsittelevä standardi antaa vaatimukset ympäristöasioiden hoidosta ja neuvoo, mitä toimenpiteitä organisaatiossa tulee tehdä, jotta se voi kehittää toimintaansa ympäristön kannalta mahdollisimman hyvin. Raja-arvoja ei anneta vaan keinoja, joilla organisaation toimintaa voidaan kehittää ympäristöystävällisempään suuntaan. Tämän johdosta ympäristöjärjestelmä ei riipu organisaation koosta, sijainnista tai toimialasta, vaan on geneerinen eli kaikille sopiva. Se tarjoaa tuloksellisuutta ympäristöasioiden hallintaan. [33, 36, 37]

Standardi koostuu seuraavista päävaatimuksista:

- ympäristöpolitiikka
- suunnittelu
- järjestelmän toteuttaminen ja toiminnot
- tarkastukset ja korjaavat toimenpiteet
- johdon katselmus

Niissä vaaditaan yritystä selvittämään omat ympäristövaikutuksensa ja parantamaan niitä jatkuvalla seurannalla ja sen perusteella tehtävillä toimenpiteillä. [33, 38]

#### **4.1.3 ISO 13485:2003**

Lääketieteellisten laitteiden valmistukseen ja suunnitteluun keskittyneiden organisaatioiden laatujärjestelmän hallintaan vaatimuksia esittävä standardi on ISO 13485:2003. Standardi on sisällöltään hyvin samankaltainen kuin aiemmin esitelty ISO 9001:2000, mutta ero standardien välillä on siinä, että kun 9001 -standardi vaatii organisaatiolta jatkuvaa laadun ke-

hittämistä, riittää 13485 -standardia käytettäessä näyttö siitä, että laatu järjestelmää on ylläpidetty ja käytetty tuotteen valmistuksessa. [33, 35]

## **4.2 Valmistuksen ja hyväksymisen standardit ja ohjeet**

Komponenttilevyjen valmistukselle on olemassa standardeja, joiden avulla voidaan esittää valmistus- ja laatuvaatimuksia. Standardeissa on usein määritelty eri laatutasoja, joihin viittaamalla vaatimusten esittäminen on helppoa. Parempi laatutaso valmistuksessa antaa komponenttilevyille paremman luotettavuuden. Standardit voidaan jakaa jälkitarkastuksen perusteella tehtävän *hyväksymisen* standardeihin ja itse *valmistuksen* standardeihin, joissa käsitellään materiaaleja tai valmistusmenetelmiä. Eräs suuri standardien ja työohjeiden laatija komponenttilevyjen valmistuksen alalla on amerikkalainen IPC (lyhenne organisaation entisestä nimestä Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits, joka on nykyään Association Connecting Electronics Industries), joka on elektroniikkateollisuuden toimijoiden yhdistys. Yhdistyksen alakomiteat ovat laatineet muun muassa Amerikan standardointijärjestön ANSI:n (American National Standards Institute) elektroniikasta vastaavan osaston EIA:n (Electronic Industries Alliance) puolijohdeteollisuudesta vastaavan osan JEDEC:in (entinen Joint Electron Device Engineering Council, nykyään Solid State Technology Association) hyväksymän ja komponenttilevyjen valmistusalalla hyvin tunnetun komponenttilevyjen hyväksymisstandardin IPC-A-610D, joka on eräs keskeisimmistä valmistusvaatimusten esittämis- ja todentamisstandardeista. Toinen hyvin tunnettu valmiiden komponenttilevyjen hyväksymisrajoja antava standardi on myös IPC:n alakomiteoiden tekemä J-STD-001 -standardi. Molempia hyväksymisstandardeja voidaan käyttää määriteltäessä komponenttilevyjen valmistuslaatua tilaussopimuksissa. Tässä kappaleessa esitellään näitä komponenttilevyjen valmistukseen liittyviä standardeja ja esitellään niiden välisiä eroavaisuuksia. Myös paljaiden piirilevyjen valmistuksen standardeja esitellään. [39, 40, 27, 41, 42]

### **4.2.1 IEC-326 ja IPC-A-600 Piirilevyjen hyväksymisen standardit**

IPC-A-600 ja IEC-62-326 (entinen IEC-326) -standardit tarjoavat hyväksymisrajoja ja vaatimuksia tyhjille piirilevyille. Ehjä piirilevy on edellytys ehjän komponenttilevyn pohjaksi, joten komponenttilevyjen valmistajan kanssa kannattaa neuvotella siitä, minkä taseisia piirilevyjä se vaatii omilta piirilevyjen sopimusvalmistajiltaan. IPC-A-600 -standardi on kuvitettu ja kolmeen vaativuustasoon jaettu hyväksymisrajoja ja hylkäysperusteita esittelevä opas, kun taas IEC-62-326 antaa vaatimukset kirjoitettuna ilman kuvitusta. [31, 43, 44] Piirilevy-

jen materiaalivalinnoissa tulee huomioida RoHS (Restriction of Hazardous Substances Directive) -yhteensopivuus, eli lyijyllistä prosessia korkeampien lämpötilojen kesto (T<sub>g</sub>, lasitumislämpötila). [31]

#### 4.2.2 IPC-6012 Piirilevyjen vaatimukset

Piirilevyn puhtaudesta ja muista vaatimuksesta säädetään IPC:n standardissa IPC-6012B, jossa käsitellään muun muassa puhtausvaatimuksia. Tämän standardin avulla komponenttilevyjen valmistaja voi vaatia omaa alihankkijaansa tuottamaan tietynlaisia ja -puhtauksisia levyjä. [45]

Puhtausvaatimukseen liittyvien standardien sisältöä on esitelty taulukossa 4.

**Taulukko 4: Yhteenveto IPC:n standardeissa annetuista puhtausvaatimuksista [46]**

Standardi	Jäämätyyppi	Sovellusala	Puhtauden kriteeri
IPC-6012	Ioninen	Levyt ennen juottamista kaikki luokat	< 1.56 mg/cm <sup>3</sup> NaCl vastaavuus
IPC-6012	Orgaaninen*	Levyt ennen juottamista kaikki luokat	Ei irronneita jäämiä
J-STD-001	Kaikki jäämätyypit	Elektroniikka ennen juottamista kaikki luokat	Riittävä puhtaus juotettavuuden varmistamiseksi
J-STD-001	Partikkelit	Juotetut kokoonpanot kaikki luokat	Ei irrallisia partikkeleita Eivät alita sähköisiä min. etäisyyksiä
J-STD-001	Hartsit	Juotetut kokoonpanot, luokka 1 Juotetut kokoonpanot, luokka 2 Juotetut kokoonpanot, luokka 3	< 200 mg/cm <sup>3</sup> < 100 mg/cm <sup>3</sup> < 40 mg/cm <sup>3</sup>
J-STD-001	Ioninen*	Juotetut kokoonpanot kaikki luokat	< 1.56 mg/cm <sup>3</sup> NaCl vastaavuus
IPC-A-610	Näkyvät jäämät	Juotetut kokoonpanot kaikelle elektroniikalle	Visuaalinen hyväksyminen

\* Kun testi vaaditaan

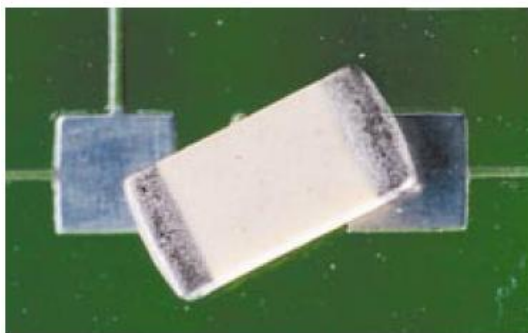
#### 4.2.3 IPC-7711/21 Standardit korjauksen ja muutostöiden suorittamiselle

Kun komponenttilevyn valmistuksessa tapahtuu virhe, jonka korjaaminen todetaan kannattavaksi, tulee korjaus suorittaa sellaisella tavalla, joka ei heikennä levyn luotettavuutta tulevaisuudessa. Yhtenä kokonaisuutena saatavilla oleva IPC-7711/21 sisältää standardit 7711 ja 7721. IPC-7711 on standardi komponenttilevyn muutosten suorittamiseen, ja siinä käsitellään prosessit, käytettävät työkalut, materiaalit ja menetelmät, joita käyttäen muokkauk-

set onnistuvat. IPC-7721 puolestaan opastaa mekaanisten korjauksien ja pienten muutosten tekemisessä komponenttilevyillä ja tyhjillä piirilevyillä. [47, 48]

#### 4.2.4 IPC-A-610D Elektroniikkakokoonpanojen hyväksyminen

IPC:n standardi A-610D on yleisesti tunnettu ja käytössä oleva kokoelma valmistusvirheiden hyväksymis- tai hylkäysrajoista lopputarkastuksessa. Vaativuustasot on jaettu kolmeen luokkaan tiukentuvassa järjestyksessä. Luokista alin on tarkoitettu edullisen kulutuselektronikan komponenttilevyjen riittävän valmistuslaadun varmistukseen, toinen taso antaa hyväksymisraajat teollisuuselektronikan levyjen valmistukselle, joiden käyttökätkökset aiheuttaisivat harmia, ja kolmas ja vaativin taso kertoo virherajat sellaisen elektronikan komponenttilevyille, jolta vaaditaan suurta luotettavuutta. Tällaisia suurta luotettavuutta vaativia sovelluksia ovat esimerkiksi lääketieteelliset ja sotilassovellusten elektroniikkalaitteet, joiden rikkoutuminen voi johtaa jopa ihmishenkien menetykseen tai suuriin aineellisiin tappioihin. Korkeamman vaatimustason mukainen komponenttilevyjen valmistaminen on kalliimpaa, sillä tarkastuksessa hylättyjen levyjen määrä kasvaa eli saanto heikkenee. Erään haastattelemani komponenttilevyjä valmistavan yrityksen edustajan mukaan hintaero tasojen 2 ja 3 välillä on noin 30 %, mutta tasojen 1 ja 2 välillä ero on merkityksetön. Toisessa yrityksessä arviot ovat epätarkempia, ja hinnat saattavat eri tasojen välillä vaihdella huomattavan paljon riippuen täysin siitä, miten monimutkaisesta ja tarkkuutta vaativasta levystä on kysymys. Standardi käsittelee kaikenlaisia kuviteltavissa olevia virheitä komponenttilevyssä, juotemäärissä ja liitoksissa. Suurin osa tarkastuksen kohteista on tarkastettavissa silmämääräisesti, ja nämä kohteet on esitetty standardissa kuvin, kuten kuvassa 14. [41]



##### Defect - Class 1,2

- Side overhang (A) is greater than 50% component termination width (W) or 50% land width (P), whichever is less.

##### Defect - Class 3

- Side overhang (A) is greater than 25% component termination width (W) or 25% land width (P), whichever is less.

**Kuva 14: IPC-A-610D Hyväksymisstandardin kuvitettu esitystapa [41 (Kuva IPC:n omaisuutta, julkaistu IPC:n luvalla)]**

Valmistajan tulee tarkastaa myös, onko komponenttilevyllä olevien virheiden yhteisvaikutuksella vaikutusta levyn toimintaan ja luotettavuuteen: jos esimerkiksi komponentti on

kiertynyt kuvan 10 mukaisesti juuri hyväksymisen rajalla olevan määrän, ja lisäksi havaitaan, että juotetta on vain minimimäärä, voi levy olla aiheellista hylätä, sillä riski komponentin irtoamiselle kasvaa pikkuvirheiden yhteisvaikutuksesta yksittäisen virheen vaikutusta suuremmaksi. [41 kappale 1.4.2.5]

Standardi on diplomityön kannalta hyvin oleellinen, sillä se on yleisesti komponenttilevyjen sopimusvalmistajien käytössä ja lähes perusteos määriteltäessä komponenttilevyjen valmistukselle asetettavia vaatimuksia.

#### **4.2.5 J-STD-001D Hyväksymisvaatimukset elektroniikkakokoonpanoille**

J-STD-001D on IPC:n toinen loppuhyväksymisen hyväksymis-, virhe- ja hylkäysperusteita esittävä standardi IPC-A-610D:n tavoin. J-STD-001D -standardissa on myös sama kolmiportainen laatutasojärjestelmä kuin IPC-A-610D -standardissa, joista luokka 1 on alhaisin ja luokka 3 vaativin laatutaso. Standardi on hyvin samankaltainen IPC-A-610D -standardin kanssa, joskin J-STD-001 määrittelee tarkemmin, millä materiaaleilla ja menetelmillä valmistus tulee suorittaa. [27, 41, 42]

Tarkastuskohteet, joita ei pystytä havaitsemaan paljain silmin, vaativat tiettyjä testejä. Standardi määrää testausmenetelmät viittaamalla yleensä muissa standardeissa kuten IPC-TM-650 -standarditestikokoelmassa esitettyihin testausmenetelmiin. Myös testauksen otantakoko ja -tapa määrätään standardissa. J-STD-001D -standardissa kaikkia virhetyyppejä ei ole yhtä tarkasti kuvitettu kuin IPC-standardissa, joten useampia hylkäys/hyväksymisperusteita esittävä kokoelma on vain 72-sivuinen. [27, 41]

IPC-A-610:n lisäksi J-STD-001 on toinen mahdollinen standardi, jonka avulla valmistuksen laatuvaatimukset voidaan määritellä.

#### **4.2.6 IPC-A-610 ja J-STD-001 -standardien erot ja yhtenäisyydet**

Kahdella IPC:ssa kehitetyllä standardilla on nopeasti katsottuna hyvin paljon yhteistä, ja havainto vahvistuu entisestään tarkasteltaessa standardeja lähemmin. Molemmat vaativat tuekseen muita IPC:n standardeja, joihin testaus- ja valmistusmenetelmien vaatimuksissa viitataan. Käsiteltävät aiheet ovat lähes samoja, ja molempia standardeja voidaankin käyttää määriteltäessä vaatimustasoa, jolla yritys haluaa komponenttilevynsä valmistettavan. Standardeilla on kuitenkin muutamia merkittäviä eroja sekä sisällöllisesti että tarkastuksen teki-

jän koulutuksen kannalta. Kun J-STD-001 -standardissa vaaditaan, että suunnittelu tai tuottaminen on suoritettu annettujen standardien mukaisesti (esimerkiksi piirilevy standardien IPC-2221 ja IPC-6011 mukaan tai puhtaustestaus IPC-TM-650:n menetelmän 2.3.25 mukaan), riittää IPC-A-610 -standardissa, että valmistuslaatu vastaa samoilla annetuilla standardeilla suoritettua valmistusta. Voidaan siis sanoa, että J-STD-001 -standardia on laajennettu siinä annetuilla standardeilla, ja niiden käyttöä vaaditaan, kun taas IPC-A-610 -standardissa muut standardit on annettu viitteiksi, ja mikäli toisin ei mainita, juuri niiden noudattaminen ei ole pakollista, kunhan laatu on riittävä. [42] Lisäksi IPC-A-610 -standardissa pääpaino on vahvasti visuaalisella tarkastelulla, kun taas J-STD-001:ssä käytetään enemmän erilaisia määrättyjä testejä, joilla etenkin puhtauden selvittämisessä saadaan silmämääräistä tarkempia tuloksia. [27, 41, 42]

Jotta tarkastuksen tekijä voi hyväksytysti suorittaa tarkastuksia, hänen tulee käydä koulutus käytettävän standardin mukaisen hyväksymistarkastuksen suorittamiseen. IPC-A-610 -standardin tarkastuksen peruskoulutuksen kesto on noin 24 tuntia, ja se suoritetaan pelkästään luokkaopetuksena. Koulutuksessa opetetaan, mikä lopputuotteessa on hyväksyttävää ja mikä ei. Mitään kädentaitoja kuten juottamista koulutus ei sisällä. [42]

J-STD-001 -standardin mukaisen tarkastuksen koulutus on modulaarinen ja koostuu viidestä kahdeksan tunnin mittaisesta kokonaisuudesta. Tarkastajan tulee opiskella ensimmäinen moduuli, minkä jälkeen hän voi opiskella muita tarvitsemiaan moduuleita. Ensimmäisessä moduulissa hyväksymis- ja hylkäysrajoihin tutustutaan luokkaopetuksena. Muissa moduuleissa luokkahuoneopiskelun lisäksi koulutusta annetaan käytännön asioista kuten juottamisesta, vikojen tunnistamisesta ja prosessin vaatimusten tuntemuksesta. [42]

### **4.3 Puhdistuksen standardit**

Komponenttilevyn puhdistusta käsittelevät muutamat pesuaineita koskevat standardit ja pesuohjeet. Myös puhtauden testausmenetelmät liittyvät läheisesti levyjen puhdistukseen.

#### **Puhdistusohjekirjat IPC-AC-62A, -SC-60A ja -SA-61A**

Komponenttilevyjen puhdistusstandardit IPC-AC-62A, IPC-SC-60A ja IPC-SA-61A eivät ole pelkästään standardeja vaan myös ohjekirjoja, joiden mukaan suoritettua pesua voidaan vaatia muissa standardeissa. IPC:lla on kolme puhdistusmenetelmästandardia, jotka opasta-

vat pesun suorittamisessa ja eroavat toisistaan käytetyn pesuaineen sekä eri pesuaineiden käytön vaatimusten osalta:

- IPC-AC-62A kertoo vesiliukoisilla pesuaineilla tehtävästä pesusta
- IPC-SC-60A käsittelee pesua ei-vesiliukoisia pesuaineita käyttäen
- IPC-SA-61A neuvoo pesussa, jossa käytetään orgaanisia mutta vedellä huuhdeltavia pesuaineita.

Kukin ohjekirja opastaa pesun suorittamisen turvallisuus- ja ympäristönäkökulmat huomiioon ottaen. Oppaat esittelevät tarvittavia laitteita ja pesuaineiden ominaisuuksia. [26, 28, 29]

### **IPC-9201A Pintaeristyksen resistanssi**

IPC-9201A -standardi on käsikirja, jossa neuvotaan kappaleessa 5.2.2 käsitellyn SIR (Surface Insulation Resistance) -puhtaustestin suorittamisessa. Standardissa esitellään, miten mittaustuloksia tulee ottaa ja käsitellä sekä minkälaisissa olosuhteissa ja minkälaisilla laitteilla testi tulee suorittaa. [49]

## **4.4 Pinnoituksen standardit**

Komponenttilevyjen pinnoitukselle ja pinnoituksessa käytettäville materiaaleille on olemassa muutamia standardeja, joita esitellään seuraavaksi pintapuolisesti.

### **IPC-HDBK-830 – Ohjeita pinnoitteiden suunnitteluun, valintaan ja sovelluksiin**

IPC-HDBK-830 avustaa pinnoitteen valinnassa kertomalla useiden eri pinnoitetyyppien tyypillisistä ominaisuuksista ja niiden vaikutuksista sovelluksessa, jossa pinnoitetta käytetään. Myös pinnoituksen laatuun otetaan kantaa yhteistyössä IPC-CC-830B -standardin kanssa. [30, 48]

### **IPC-CC-830B – Komponenttilevyille tarkoitettujen sähköisesti eristävien yhdisteiden kvalifointi ja suorituskyky**

IPC-CC-830B on aiemmin yleisesti käytössä olleesta MIL-I-46058 -standardista johdettu teollisuusstandardi, joka esittää, kuinka pinnoitteesta saadaan suurin mahdollinen määrä tietoa vähimmillä testeillä. Standardi sisältää vaatimukset materiaalien ominaisuuksille sekä ominaisuuksien arviointimenetelmät standardoituja koekappaleita käyttäen. [48]



**MIL-I-46058 – Sähköisesti eristävät yhdisteet komponenttilevyjen pinnoittamiseen**  
MIL-I-46058 on vanhempi Yhdysvaltain armeijan spesifikaatio, jossa listataan pinnoitteiden ominaisuuksien teknisiä vaatimuksia. MIL-I-46058 listataan myös pinnoitteiden laadunvarmistustestejä ja niiden suorittamistapoja. [30]

## **4.5 Testausmenetelmästandardit**

Komponenttilevyjen valmistuksessa useisiin prosessivaiheisiin liittyy testejä. Testien avulla paitsi tarkastetaan tuotteiden toimivuus, myös seurataan valmistusprosessin sujumista ja siinä tapahtuvia virheitä. Havaittujen ongelmien perusteella prosessia voidaan parantaa. Jotta valmistusprosessit ympäri maailman olisivat vertailtavissa keskenään, tarvitaan yhteisiä testausmenetelmiä. Näin voidaan myös varmistua komponenttilevyjä valmistavan ja niitä tilaavan yrityksen kesken siitä, että tilattu ja valmistettu tuote vastaavat toisiaan.

### **4.5.1 IPC-TM-650 Testausmenetelmäohjekirja**

Useissa standardeissa, kuten komponenttilevyjen hyväksymistä käsittelevässä J-STD-001D:ssä, komponenttilevyiltä halutaan tutkia jotakin visuaaliselle tarkastukselle mahdotonta kohdetta. Tällöin tarvitaan jokin testaustapa kuitenkin siten, että sama menetelmä on käytössä kaikkialla. IPC-TM-650 -testausmenetelmäohjekirja sisältää suuren joukon, yli 150, teollisuudessa ja IPC:n muissa standardeissa käytettyjä kemiallisia, mekaanisia, sähköisiä ja ympäristötestausmenetelmiä kaikenlaisille piiri- ja komponenttilevyille sekä liittimille. Kirjassa olevat testausmenetelmät eivät ole itsessään standardeja, vaan kyseessä on vain ohjekirja tietyn testin suorittamiseksi tietyllä toistettavalla tavalla. Tämän vuoksi IPC-TM-650 -kirjassa ei myöskään anneta tuloksille raja-arvoja, joiden perusteella hyväksymis- tai hylkäämispäätös voidaan tehdä, vaan ne jätetään testaajan tai testiä vaativan standardin määriteltäväksi. [50]

Testausohjekirja on tärkeä teos, mikäli vaatimuksia aiotaan esittää IPC-A-610 tai J-STD-001D -standardien mukaisesti, sillä kyseiset hyväksymisstandardit vaativat TM-650:ssä esitettyjä testausmenetelmiä.

## **4.6 Kuljetuksiin ja varastointiin liittyvät menetelmät**

Standardoituja menetelmiä erityisesti elektroniikkatuotteiden pakkaukseen ja varastointiin ei etsinnöistä huolimatta löytynyt ainakaan yleisesti tunnetuilta standardoijilta, joten pakkausratkaisut on sovittava valmistajan ja tilaajan välillä, mikäli niihin halutaan kiinnittää erityistä huomiota.

Komponenttilevyjä, kuten komponenttejakin tulee käsitellä siten, etteivät sähköstaattiset kipinäpurkaukset (ESD, electrostatic discharge) pääse vaurioittamaan niitä. Suojauksen saavuttamiseksi voidaan käyttää ESD-suojattuja vaatteita ja rannekkeita, joilla kehossa oleva varaus maadoitetaan. Myös rakennuksen tiloja ja kalusteita voidaan maadoittaa ESD-suojauksen aikaansaamiseksi. [51]

Komponenttilevyt tulee pakata huolellisesti kuljetuksen ja varastoinnin ajaksi, jotta ne eivät vaurioidu mahdollisista pienistä kolahduksista. Pakkaamalla levyt toisistaan erotettuina pehmustettuihin ESD-suojattuihin laatikoihin levyt kestävät käsittelystä aiheutuvat lievät tärähdykset riittävän hyvin. Usein levyjen kuljetuksissa käytettävät laatikot on jaettu väliseinillä osioihin, joissa kussakin on vain yksi levy. Tällöin levyt eivät pääse hankaamaan toisiaan. Tällainen laatikko on esitetty kuvassa 26 sivulla 80. Kosteuden ja lämpötilojen vaihtelun vaikutuksia voidaan huomioida varastoimalla levyt sopiviin kuiviin ja tasaisiin olosuhteisiin. Epäpuhtauksien pääseminen levyille voidaan estää pakkaamalla levyt suljettuihin muovipusseihin. [41]

## **4.7 Viranomais- ja ympäristövaatimukset**

Kuten muitakin tuotteita, myös elektroniikan komponenttilevyjä koskee joukko viranomaisvaatimuksia. Vaatimukset liittyvät tuotteiden turvallisuuteen ja ympäristöasioihin. Eri valtiot saattavat vaatia tuotteilta eri asioita, jotka komponenttilevyjen valmistajien ja käyttäjien tulee ottaa huomioon.

### **4.7.1 RoHS**

Haitallisten aineiden käyttöä elektroniikkatuotteissa rajoittava RoHS (Restrictions of Hazardous Substances) -direktiivi on ollut voimassa Euroopan Unionin (EU) jäsenmaissa vuoden 2006 heinäkuusta lähtien. Vaikka usein käsitetään sen kieltävän pelkästään lyijyn käytön, se rajoittaa kuuden haitallisen materiaalin käyttöä elektroniikkatuotteiden valmistukses-

sa. Direktiivillä pyritään vähentämään elektroniikkalaitteista peräisin olevan jätteen määrää ja haitallisuutta, suojelemaan ihmisten terveyttä ja edistämään sähkö- ja elektroniikkaromun hyödyntämistä ja käsittelyä ympäristöä säästävällä tavalla. Direktiivin mukaan mikään 1.7.2006 jälkeen markkinoille saatettu elektroniikkatuote ei saa sisältää missään homogeenisessa aineessa yli 0,1 painoprosenttia

- lyijyä
- elohopeaa
- kadmiumia (enintään 0,01 paino%)
- kuudenarvoista kromia
- polybromibifenyylä (PBB)
- polybromidifenyyleetteriä (PBDE)

joista PBB ja PBDE ovat useissa muoveissa käytettyjä palonestoaineita.

RoHS-direktiivin vaikutuksesta elektroniikan juotemateriaaleista on poistettu lyijy, ja entisen tina-lyijyjuotteen sijasta käytetään useita eri juotteita. Nykyisistä suosituin on tina-hopea-kuparijuote, mutta myös muita tinapohjaisia juotteita käytetään. [52]

Euroopan Unionin lisäksi myös muualla maailmassa on rajoitettu haitallisten aineiden käyttöä elektroniikkateollisuudessa. Kiinassa ja Koreassa on käytössä omat haitallisten aineiden käyttöä rajoittavat RoHS-sopimuksensa, jotka poikkeavat EU:n direktiivistä. Kiinan RoHS-säädöksissä vaarallisten aineiden käyttö itsessään ei ole kiellettyä, mutta kaikki tuotteessa käytetyt vaaralliset aineet tulee ilmoittaa, ja niiden sijainti kokoonpanossa tulee merkitä näkyviin. Kiinan RoHS-säädösten piirissä on erityyppisiä tuotteita kuin EU:n RoHS-direktiivin piirissä, vaikkakin suurelta osin säädökset koskevat myös samoja tuotetyyppejä. Etelä-Koreassa käytetään säädöksiä, joissa on osia EU:n RoHS-direktiivistä ja sähkö- ja elektroniikkaromujen käsittelydirektiivistä, mutta myös omia ominaisuuksiaan. Japanissa ei ole varsinaista lakia laitteiden valmistuksessa käytettävien materiaalien ympäristövaatimuksesta, mutta maan kierrätys säännösten vuoksi monet elektroniikkavalmistajat ovat siirtyneet lyijyttömiin juotteisiin EU:n RoHS-direktiivin suuntaviivojen mukaan. Yhdysvalloissa kukin osavaltio määrää omista säädöksistään, eikä yhteisen RoHS-direktiivin käyttöönotto siellä näytä tapahtuvan lähitulevaisuudessa. [53]

Kuluttajat osaavat vaatia ympäristöystävällisiä tuotteita, minkä vuoksi RoHS-yhteensopivuutta pidetään myös myyntivalttina.

#### **4.7.2 Sähkömagneettinen yhteensopivuus**

Laitteiden tulee toimia moitteettomasti ja häiriöttömästi toimintaympäristönsä muiden laitteiden kanssa. Häiriöttömään toimintaan päästään, kun laitteiden lähettämät sähkömagneettiset häiriöt pysyvät sovitun häiriötehotason alapuolella, ja jokaisen laitteen tulee sietää tietty määrä ympäristöstä tulevia häiriöitä. Näitä häiriötasoja säädellään EU:n sähkömagneettisen yhteensopivuuden EMC (Electromagnetic Compatibility) -direktiivillä. [54, 55]

#### **4.7.3 CE-merkintä**

CE-merkintä vaaditaan Euroopan Unioniin tuotavilta ja siellä valmistettavilta laitteilta. Merkinällä valmistaja tai maahantuoja vakuuttaa tuotteen täyttävän sitä koskevien direktiivien vaatimukset ja että tuotteelle on tehty vaadittavat tarkastukset. Komponentilevyt ovat yleensä kuitenkin vain osia laitteesta, joten niitä ei tarvitse erikseen CE-merkitä. [55 liite VI, 56]

### **4.8 Sertifikaatit**

Monet yritykset esittelevät Internet-sivuillaan yritykselle myönnettyjä sertifikaatteja. Sertifikaateista puhuttaessa tarkoitetaan virallista todistusta jonkin kurssin tai testin hyväksytystä suorittamisesta. Yritykset voivat saamallaan sertifikaatilla todistaa soveltavansa standardoitua menetelmää toimintatavoissaan esimerkiksi laatu- tai ympäristöasioissa. Yksityishenkilö voi saada sertifikaatin suorittuaan jonkin tutkinnon tai kurssin, jonka sisältö ja läpäisyvaatimukset on esitetty sertifikaatissa. Sertifikaatilla voidaan siis osoittaa jonkin aiheen todistettua riittävää osaamista, eikä tämä osaaminen ole mitenkään sidoksissa ympäristöön tai yritykseen, jossa sitä käytetään. [57]

#### **4.8.1 Sertifikaatti yritysmaailmassa**

Yritysmaailmassa sertifikaatti on virallinen todistus siitä, että sen haltijalla on sisäisessä käytössään todistuksessa mainittu laatujärjestelmä tai muu standardoitu toimintatapa. Sertifikaatin saaminen edellyttää usein hyväksytysti suorittettua auditointia, jossa akkreditoitu eli sertifikaatin luovuttajan hyväksymä yrityksen ulkopuolinen ja riippumaton henkilö tai ryhmä kiertää yrityksessä tarkastamassa, täyttääkö yrityksen toiminta standardin vaatimukset ja tavat. Yleensä sertifikaatti myönnetään vain muutaman vuoden määräajaksi, jonka jälkeen

auditointi tulee suorittaa hyväksytysti uudelleen. Näin voidaan luottaa siihen, ettei toiminnan taso ole päässyt rapistumaan merkittävästi standardissa määritetystä tasosta. Eri toimialan yritysten ISO-sertifikaatteja on esitetty kuvassa 15.



**Kuva 15: ISO-sertifikaatteja eri toimialan yrityksissä.**

#### 4.8.2 Sertifikaatin hyödyt yrityksille

Sertifikaatin todistama standardoidun menetelmän käyttäminen tarjoaa yrityksen johtamiseen työvälineitä toiminnan laadun kehittämisessä. Se asettaa vaatimukset, joiden perusteella toimintaa tarkkaillaan, dokumentoidaan ja kehitetään dokumentaation pohjalta. Usein standardi vaatii *jatkuvaa* oman toiminnan tarkastelua ja dokumentointia sekä niiden pohjalta tehtävää kehittämistyötä. Tämän johdosta sertifikaatin saavuttamisesta on hyötyä yritykselle itselleen. [35, 36, 38, 57]

Sertifikaattia voidaan käyttää eräänlaisena mainoksena, sillä se kertoo yrityksen olevan sitoutunut sertifikaatissa mainittuun asiaan, kuten ympäristönsuojelun tai työvoiman osaamisen kehittämiseen standardoidulla tavalla. Asiakas voi siis sertifikaatin perusteella saada käsityksen yrityksessä vallitsevasta hyvästä ja jopa jatkuvasti paranevasta osaamisesta tai ainakin pyrkimyksestä siihen. Yleisimmät yritysten sertifikaatit takaavat kuitenkin vain seurannan ja kehittämistapojen hallinnan, eivätkä välttämättä niinkään osaamista tai laatua. [35, 58]

Koska sertifioidut standardit ovat samat yrityksille ympäri maailman, yritysten välinen viestintä helpottuu yhteisten käytössä olevien standardien ansiosta.

Markkinat saattavat vaatia sertifikaattia. Näin voi olla tilanteessa, jossa asiakkaan soveltamat standardit vaativat, että myös heidän *alihankintana tilaamansa ja käyttämänsä* tuotteet tai palvelut on tuotettu standardin mukaisesti. Seuraavassa esimerkissä perustellaan asiaa. [59]

Esimerkki:

Jos asiakasyritys haluaa saada sertifikaatin ympäristöstandardin ISO 14000:1996 täyttämistä, täytyy yrityksen valmistamissa tuotteissa käytettyjen alihankkijalta ostettujen osien täyttää kyseisen ympäristöstandardin vaatimukset. Alihankkijankin on siis valmistettava tuotteensa ympäristöstandardia noudattaen. Tällöin epäselvyyksien välttämiseksi alihankintaa käyttävän yrityksen kannattaa valita kumppanikseen sellaisia alihankkijayrityksiä, jotka pystyvät esittämään vaadittavat sertifikaatit. Tämän vuoksi sertifikaatit kuten ISO 14001:2004 ovat markkinointimielessä tärkeitä todistuksia yrityksen toiminnasta.[59]

#### **4.8.3 Tunnettuja sertifikaatteja yrityksissä**

Ehdottomasti tunnetuimmat sertifikaatit, joita yritykset pitävät esillä, ovat laatujohtamisen standardin ISO 9001:2001 käyttämisestä ja ympäristöjohtamisen standardin ISO 14001:2004 vaatimusten täyttämisestä saatavat todistukset. Kyseiset sertifikaatit eivät ole ominaisia pelkästään tietylle teollisuuden alalle, vaan niitä käyttävät kaikentyyppiset ja -kokoiset yritykset. Mikäli yritys valmistaa laitteita lääketieteellisiin sovelluksiin, se voi käyttää laatujohtamisen ISO 9001:2001 -standardin lisäksi standardia ISO 13485:2003. Standardien sisältöä esiteltiin kappaleessa 4.1.

#### **4.9 Dokumentointi ja jäljitettävyys**

Yleinen tiedon kerääminen valmistusprosessista on tärkeää, sillä olemassa olevan tiedon avulla voidaan seurata prosessin mahdollisten muutosten vaikutusta lopputulokseen. Myös laatupoikkeamien syyn selvittäminen jälkeenpäin on helpompaa, kun käytettävissä on tietoja prosessin kulusta. [63]

Jäljitettävyydellä tarkoitetaan dokumentointia, jonka perusteella komponenttilevyllä käytetyt materiaalit ja työtavat voidaan selvittää jälkikäteen. Mitä parempi jäljitettävyys on, sitä

tarkemmin voidaan selvittää levyllä käytettyjen komponenttien tiedot. Paremmalla jäljitettävyydellä päästään myös pidemmälle taaksepäin tuotantoketjussa. [63, 64]

Jäljitettävyyden merkitys korostuu ongelmatilanteissa. Jos esimerkiksi jokin komponentti-valmistaja ilmoittaa jonkin komponentin tietyn valmistuserän aiheuttavan tulipalovaaran, hyvän dokumentoinnin avulla voidaan paikallistaa juuri ne komponenttilevyt, joilla vaarallisia komponentteja on käytetty ja ne voidaan korjata tai hävittää. Mikäli laitteet, joissa levyjä käytetään, ovat ehtineet jo asiakkaille, osataan oikeat tuotteet kutsua takaisin korjauksia varten eikä toimivia levyjä sisältäviä laitteita tarvitse ottaa tarkistettavaksi viallisten komponenttien varalta. Mikäli levyjen jäljitettävyys on huono, levyerän valmistuksessa käytettyjen komponenttien valmistuseriä tai edes valmistajia ei välttämättä ole dokumentoitu, eikä niitä siten saada selville jälkeenpäin kuin tarkistamalla. Tällöin voidaan joutua tarkastamaan varmuuden vuoksi esimerkiksi kaikki tietyllä viikolla valmistetut levyt, joista mahdollisesti vain yksi erä on viallinen jos sekään. [60]

## 5 Komponenttilevyjen tarkastus ja testaus

Mikäli komponenttilevyjen valmistukselle asetetaan vaatimuksia, tulee vaatimusten toteutuminen pystyä todentamaan. Tilaava yritys voi joko suorittaa itse kaiken tarkistamisen ja testauksen tai jättää sen kokonaan valmistavan yrityksen huoleksi, mutta järkevin tapa on suorittaa testausta sekä valmistajan että tilaajan toimesta, sillä tällöin myös kuljetuksen aikana tapahtuneet rikkoutumiset voidaan havaita ajoissa. Tarkastus- ja testimenetelmien ei välttämättä tarvitse olla samoja komponenttilevyjä tilaavalla ja niitä valmistavalla yrityksellä, kunhan testattava asia saadaan selvitettyksi ja vaadittavien ominaisuuksien raja-arvot ovat molemmissa päissä samat. Tarkastuksista puhuttaessa tarkoitetaan levyn mekaanisen kunnon selvittämistä sopivilla menetelmillä, kun taas testauksessa kohteena on komponenttilevyn sähköinen toimivuus. Tarkastuksessa voidaan selvittää silmämääräisesti havaittavissa olevia mekaanisia ja puhtauteen liittyviä asioita, mutta silmin havaitsemattomien virheiden etsintään tarvitaan sopivia laitteita kuten röntgeniä. Huolellinen tarkastaminen ja testaaminen säästää rahaa, sillä tällöin viallisista tuotteista ei aiheudu niiden omaa hintaa suurempia kuluja. Tarkastamaton rikkinäinen komponenttilevy tuottaa ongelmia myöhemmissä valmistus- tai käyttövaiheissa, jolloin koko siihen asti käytetty aika ja valmistusmateriaali menevät hukkaan. Mikäli viallisia levyjä havaitaan tilaajan toimesta, voidaan valmistajan huomiota kiinnittää havaittuihin vikoihin, jolloin valmistusprosessia voidaan parantaa entisestään. Havaittujen vikojen perusteella tehtäviä mahdollisia valmistusprosessin parannuksia käsitellään kappaleessa 6. [5, 27, 41]

Tässä kappaleessa käsitellään testauksessa käytettäviä, standardoituja ja standardoimattomia tarkastus- ja testausmenetelmiä sekä niissä tarvittavia laitteistoja.

### 5.1 Mekaaniset virheet

Mekaanisilla virheillä tarkoitetaan tässä yhteydessä juoteliitoksissa, komponenteissa tai piirilevyissä olevia fyysisiä vikoja, muttei pesuainejäämiä tai likaa. Virheiden visuaalisessa tarkastuksessa neuvovat IPC:n standardit A-610 D ja J-STD-001 D komponenttilevyn ja juoteliitosten osalta, sekä IPC-A-600 G piirilevyn osalta. Syvällisemmässä tarkastuksessa kuten röntgeniä käytettäessä voidaan viitata J-STD-001 D -standardiin, jossa käsitellään myös pinnan alla olevia vikoja, kuten juoteliitoksen sisällä olevia ilmakuplia eli voideja.



Mikäli kaikki on levyllä päällisin puolin kunnossa, ei hyväksymisen standardikirjoille, kuten IPC-A-610:lle, ole juurikaan käyttöä. Ne ohjaavat levyn tarkastajan huomion oikeisiin kohteisiin. Kirjoja tarvitaan kuitenkin neuvomaan niissä tilanteissa, kun jokin virhe levyllä havaitaan. Tällöin tarkistaja voi tehdä päätöksen levyn hyväksymisestä tai hylkäämisestä standardien esimerkkien perusteella. [41]

### **5.1.1 Visuaalinen tarkastus**

Visuaalista tarkastusta tehtäessä komponenttilevyjen laadun valvonnassa työskentelevä työntekijä tarkastaa silmämääräisesti valmistettavia komponenttilevyjä. Tarkastajalla on ohjeenaan hyväksymisstandardi, joko IPC-A-610, J-STD-001 tai muu tarkastusohje, johon hän vertaa levyjä.

### **5.1.2 Automaattinen optinen tarkastus**

Mikäli valmistajalla on käytössään laitteisto automaattisen optisen tarkastuksen (AOI, automated optical inspection) suorittamiseksi, sitä käytetään yhdessä tai useammassa vaiheessa komponenttilevyn valmistuslinjastolla. AOI suoritetaan laitteella, jossa kamerat kuvaavat komponenttilevyn joko kaksi- tai kolmiulotteisesti ja vertaavat kuvia komponenttilevyn suunnittelutiedostoihin tai käyttäjän ohjelmoimiin vertauskohteisiin. Laitteen voi ohjelmoida tarkastamaan periaatteessa kaikkea, minkä kamera pystyy havaitsemaan. Tarkastuksen kohteena voivat olla esimerkiksi juotepastan levinneisyys, komponenttien ladonnan onnistuminen tai lopputarkastus juottamisen jälkeen, jolloin nähdään esimerkiksi juotosten onnistuminen pintapuolisesti sekä komponenttien mahdolliset reflow'n aikana tapahtuneet liikkumiset. Prosessilinjastossa sijaitsevalla automaattisella optisella tarkastuksella tarkastetaan jokaiselta komponenttilevyiltä kaikki määritellyt kohteet. [61]

Laite saattaa sijaita missä vaiheessa prosessilinjastoa tahansa riippuen siitä, mitä valmistaja haluaa tarkastuksessa painottaa. Varsinkin jos linjastolla suoritetaan nk. high-volume -tuotantoa eli samanlaisia komponenttilevyjä valmistetaan suuria määriä, sijaitsee AOI-laite useimmiten linjastossa pastanpainokoneen jälkeen, sillä pastanpainovaiheessa komponenttilevyn lopullisesta hinnasta on koossa vasta 10 %, mutta jopa 60 % [62] eli suurin osa epäonnistuneisiin levyihin johtaneista virheistä on jo tapahtunut. Laite varmistaa, että levitetty pastakakut ovat virheettömiä tai ainakin hyväksymisrajojen sisällä ennen komponenttien ladontaa. Kun laite havaitsee virheitä, voidaan ongelman syy hoitaa kuntoon ennen kuin useita komponenttilevyjä ehtii mennä hukkaan. Kun tarkastuslaite sijaitsee prosessin aikai-

sessä vaiheessa, myöhemmissä prosessivaiheissa tapahtuvat virheet jäävät havaitsematta, ellei loppu- tai välitarkastusta suoriteta. [62]

Komponenttilevyjä valmistavan yrityksen johdolle hyvin merkittävä etu automaattisesta optisesta tarkastuksesta on reaaliaikainen ja automaattinen datan kerääminen prosessista. Useat AOI-laitteet tuottavat automaattisesti Excel-taulukoita suoritetuista tarkastuksista, joiden avulla asiakkaan ja laatustandardien kuten ISO 9001 -standardin vaatimukset prosessin jäljitettävyydestä ja seuraamisesta voidaan toteuttaa. [63]

Mikäli laite sijoitetaan vasta aivan viimeiseksi reflow-uunin jälkeen, AOI:lla saadaan tehtyä kaikkien komponenttilevyjen lopputarkastus. Tällöin laite voi tarkastaa komponenttilevyiltä mahdollisimman monta erilaista asiaa. Etenkin valmistajat, joiden tuotanto koostuu nk. high-mix (low-volume) -tuotteista eli useista erilaisista levyistä, joita kutakin valmistetaan vain pieniä määriä, käyttävät AOI-laitetta lopputarkastuksien suorittamiseen. Vaikka tällöin epäonnistuneet levyt eivät ole enää pelastettavissa ja prosessin korjaus on myöhäistä, voidaan laitteella havaita koko prosessin aikana syntyneet virheet kuten juotosuunissa ilmavirran vaikutuksesta tapahtuneet komponenttien kiertymiset, jolloin viallisia komponenttilevyjä ei pääse tarkastuksesta eteenpäin. [61]

Laite voi sijaita linjastossa myös komponenttien ladonnan jälkeen tai kahden ladontakoneen välillä. Tällöin saadaan tarkastettua komponenttien ladonnan onnistuminen, tai mikäli laite sijaitsee ladontakoneiden välissä ennen tarkkuusladontakonetta pikalatojan jälkeen, myös tarkkuutta vaativien komponenttien pastakakkujen levityksen onnistuminen. Tutkimusten mukaan valmistajan on kannattavinta sijoittaa AOI-laite linjastolla heti eniten virheitä tuottavan prosessivaiheen jälkeen. [61]

Vaikka alan kirjallisuudessa ei oteta kantaa siihen, olisiko komponenttilevyjen valmistajien järkevää hankkia useampia AOI-laitteita, tällä voitaisiin saavuttaa hyötyä. Mikäli heti pastanpainokoneen jälkeen tehtäisiin yksi AOI-tarkastus ja lopputarkastuksessa toinen, suurin osa virheistä havaittaisiin jo ennen kuin ne aiheuttavat suurempia kustannuksia turhien ladontojen vuoksi, silmämääräisten tarkistusten tekemisen tarve vähenisi, eikä viallisia tuotteita pääsisi juottamisvaiheen jälkeen eteenpäin 100-prosenttisen tarkastuksen ansiosta.

### 5.1.3 Röntgentarkastus

Kun elektroniikan valmistuksessa käytetään yhä enemmän BGA (ball grid array, suomeksi pallohilamatriisi) -tyyppisiä komponentteja, joiden kontaktialueet ovat silmän havaitsemattomissa komponentin alla, tarvitaan juotosten onnistumisen tarkastukseen menetelmä, jolla nähdään komponentin läpi. Tähän soveltuu röntgensäteiden käyttäminen ja läpivalaisuun perustuva tarkastus. Röntgentarkastus voidaan tehdä joko prosessin yhteydessä automaattisesti (Automatic X-Ray Inspection, AXI) tai erillisenä testinä. Tarkastuksissa havaittavien virheiden perusteella voidaan tehdä korjauksia prosessin vaiheisiin. Röntgentarkastuksessa tiheämpää materiaalia olevat kohdat näkyvät tummempina alueina kuin harvemmat. Näin ollen tiheä juotepasta nähdään tummana möykkynä vaaleaa piirilevyä tai komponenttia vasten. Piirilevyn metalloinnit ovat itse levyä tiheämpää ainetta, joten nekin erottuvat röntgenkuvassa. Röntgenkuvauksella voidaan havaita seuraavia virheitä:

- Oikosulut piirilevyllä
- Juotteen sisällä olevat ilmataskut eli voidit
- Juoteliitosten kohdistusvirheet kontaktialueisiin nähden
- Juoteliitosten yhdistyminen toisiinsa, eli silloittuminen
- Puuttuvat juotepallot komponenttien alta
- Avoin piiri juotteen irtoamisen vuoksi (Solder open)
- Sähköisten minimietäisyyksien virheet
- Ilmataskujen pinta-ala suhteessa kontaktialueen alaan
- Juotenystyn kokoon liittyvät virheet
- Riittämättömän sulatuksen vuoksi juotteen reunoilla ilmenevä epämääräisyys

[64]

### 5.1.4 Pinnoituksen tarkastus

Mikäli komponenttilevy on pinnoitettu tai halutaan selvittää yrityksen levyille sopivinta pinnoitusmateriaalia, voidaan sen laatua ja pinnoituksen onnistumista tutkia esimerkiksi alla esitettävällä menetelmällä. Kyseinen menetelmä kuvastaa hyvin, kuinka yksityiskohtaisia testausohjeiden tulee olla. Kun kaikki testattavat kohteet ja testaustavat on esitetty standardeihin nojaten, ei tarkastuksessa voida tehdä soveltavia ratkaisuja, jotka saattavat johtaa erilaisiin lopputuloksiin.

Muun muassa ”EMPFasis”-Internet-julkaisua tuottavassa Empfasis-organisaatiossa käytettävä pinnoitteen sopivuuden ja onnistuneisuuden tutkimusmenetelmä:

-Pinnoitteen ulkonäkö tarkastetaan visuaalisesti käyttämällä vähintään 1,75-kertaista suurennusta. Tarkastettavat näytteet valmistellaan IPC-CC-830B -standardin kappaleen 4.7 mukaisesti. Pinnoitteen tulee olla sileä, yhtenäinen ja läpinäkyvä, eikä siinä saa olla kuplia, rakkuloita, halkeamia tai merkkejä vetäytymisestä. Kuivatuissa pinnoitetuissa komponenttilevyissä ei saa olla niihin kuulumattomia materiaaleja, kuten juotepalloja tai ulkonäön muutoksia, eikä pinnoite saa olla irrallaan piirilevystä tai komponenteista.

-Pinnoitemateriaalin tulee olla säilytetty valmistajan suosittlemassa lämpötilassa. Kun pinnoitteen käyttöikä päättyy, se tulee hävittää, ellei materiaalia voida hyväksyä uudelleenkäyttäväksi.

-Pinnoitteen paksuus tulee tarkistaa ASTM-D-1005 -menetelmän mukaisesti mikrometrillä (jonka tarkkuus on  $1,27 \pm 0,25 \mu\text{m}$ ).

-Kosteudenesto ja eristys testataan korotetussa lämpötilassa ja kosteudessa IPC-TM-650 -testausohjekirjan menetelmän 2.6.3.1 mukaisesti. Mikäli tulos on matala, pinnoite ei sovi käytettäväksi korkeassa kosteudessa toimivassa sovelluksessa.

-Eristeen kestäjän jännitteen DWV (Dielectric Withstanding Voltage) -testillä mitataan, kuinka hyvin pinnoite vastustaa korkeaa jännitettä tietyn ajan. Testi suoritetaan kosteudeneston ja eristyksen testauksen jälkeen IPC-TM-650 -testiohjekirjan menetelmällä 2.5.7, jossa jännitteet ovat 500 V ja 1000 V (tasajännite) 30 s ajan.

-Pinnoitetulle näytteelle tuotetaan lämpöshokki, jolla tutkitaan, kuinka pinnoite reagoi lämpötilan äkilliseen muutokseen. Lämpöshokin avulla nähdään, aiheuttaako nopea lämpötilanmuutos pinnoitteeseen halkeamia tai irtoamista komponenttilevyn pinnasta. Testauksessa käytetään IPC-TM-650:n menetelmää 2.6.7.1, jossa lämpötilaa vaihdellaan äkillisesti kuumaa ja kylmää välillä. Lämpöshokkitestin jälkeen pinnoitteen ulkonäkö tarkastetaan ja sille suoritetaan DWV-testi.

-Pinnoitteen kiinnittyminen levyn pintaan tarkastetaan teippitestillä IPC-TM-650:n menetelmän 2.4.26 mukaan.

Yllä esitelty testisarja on peräisin Yhdysvaltain laivaston alaisen ”Empfasis – National Electronics Manufacturing Center of Excellence” – organisaation julkaisusta, jossa käsitellään sen käytössä olevia pinnoitusmenetelmiä. [30]

## **5.2 Puhtausvaatimusten toteutumisen todentaminen**

Komponenttilevyn dielektristen ja muiden ominaisuuksien sekä luotettavuuden kannalta on tärkeää, että levyille ei ole jäänyt juottamisprosessissa liikaa epäpuhtauksia. Tämän vuoksi levyjen valmistajan ja tilaajan tulee pystyä määrittämään komponenttilevyn puhtauden taso, ja että se on hyväksyttävien raja-arvojen sisällä. Erityyppisiä jäämiä ja niiden mahdollisesti aiheuttamia ongelmia käsiteltiin luvussa 3.5.1. [65]

Puhtaustarkastuksen suorittamiseen on olemassa useita erilaisia menetelmiä. Menetelmistä käytetyimpiä käsitellään seuraavaksi.

### **5.2.1 Optinen puhtaustarkastus**

Silmämääräisesti tai koneella tehtävä optinen puhtaustarkastus on yksinkertaisin mutta samalla tehottomin tapa tarkastaa komponenttilevyn puhtaus, sillä vaikka suurennus olisi kuinka hyvä tahansa, ei visuaalisesti pystytä havaitsemaan kuin murto-osa haitallisista epäpuhtauksista. Hiukkaset, juoteroiskeet ja sormenjäljet havaitaan, mutta esimerkiksi fluksin jättämiä värittömiä ionijäämiä ei silmällä juurikaan nähdä, vaan tarvitaan muunlaisia testejä. [66]

### **5.2.2 Pintaeristeen vastuksen testaus eli SIR-testi**

Pintaeristykseen vastuksen testillä eli SIR-testillä (*Surface Insulation Resistance*) voidaan selvittää piirilevylle pesun jälkeen jääneiden, lähinnä ionisten epäpuhtauksien määrä. Testissä tutkitaan resistanssia kahden erillisen toisiaan lähellä kulkevan johtimen välillä. Mitä suurempi vastus on, sitä parempi on piirilevyn eristemateriaalin kunto. Pintaeristykseen resistanssia pienentävät levyn pinnalla olevat ioniset epäpuhtaudet kuten fluksi- ja pesuainejäämät sekä kosteuden ja epäpuhtauksien vaikutuksesta kasvaneet dendriitit. Komponenttilevyn korkea puhtaustaso tuottaa näin ollen korkeamman vastuksen piirilevyn pintaan johtimien välille kuin matala. Myös jotkin ei-ioniset prosessijäämät kuten flukseissa käyte-

tyt pinta-aktiiviset glykoli ja pii kohottavat pinnan johtavuutta. SIR-testejä voidaan tehdä eri tavoilla eri tarpeita varten. Kiihdytettyä lämpö- ja kosteussyklausta käytetään eräissä IPC-TM-650 -ohjekirjan esittämässä SIR-testeissä, joissa tutkitaan, kuinka olosuhteiden muuttuminen vaikuttaa eristykseen ajan kuluessa. Jotkut testit puolestaan suoritetaan staattisissa olosuhteissa, joissa kosteus ja lämpötila ovat korkeita. Testeissä pintaeristystä seurataan resistanssin suuruuden, piirilevyn yleisen ulkonäön sekä dendriittien kasvun, korroosion ja elektromigraation osalta. [49]

Pintaeristyksen vastusta testataan aitoa komponenttilevyä emuloivalla testipiirilevyllä, jossa on käytetty samoja prosessimateriaaleja kuin aidossa komponenttilevyssä [66]. SIR-testiä käytetään esimerkiksi IPC-TM-650 -testimenetelmässä 2.6.3.3, jossa tutkitaan fluksien ominaisuuksia. SIR-testillä pystytään tutkimaan eri materiaalien käyttäytymistä ja soveltuvuutta erilaisiin olosuhteisiin pitkän ajan kuluessa, ja siksi testi sopii materiaalivaihtoehtojen tutkimuskäyttöön. [50, 65]

### **5.2.3 Liuenneiden jäämien aiheuttama vastus (ROSE)**

Ionisten epäpuhtauksien määrä komponenttilevyn pinta-alaa kohti voidaan selvittää testamalla komponenttilevyltä liuenneiden epäpuhtauksien aiheuttaman vastuksen muutosta. Testiä kutsutaan ROSE (*Resistivity of Solder Extract*) -testiksi, ja se tunnetaan myös nimellä SEC (*Solvent Extract Conductivity*). Tässä testissä komponenttilevy upotetaan isopropanolin ja tislattun veden seokseen, ja seurataan seoksen johtavuuden muuttumista. Liuoksen johtavuus muuttuu levyllä nesteeseen liuenneiden ionisten epäpuhtauksien johdosta. Epäpuhtauden määrä pinta-alaa kohti voidaan selvittää saaduista johtavuuden muutoksista laskennallisesti. Yleensä tulos ilmoitetaan johtavuuden muutosta vastaavan natriumkloridin määränä pinta-alayksikköä kohti. Eri standardeissa kuten IPC-6012:ssa ja J-STD-001:ssä (standardin kohta 8.3.6.2) annetaan raja-arvot, joiden sisällä testitulosten tulee tietyllä tavalla suoritettussa IPC-TM-650 -mukaisessa testissä pysyä, joskin tilaaja voi korvata annetut raja-arvot omilla rajoillaan. [46, 65, 66]

Testi on helposti automatisoitavissa. Laite voi tarkkailla johtavuutta ja suorittaa laskennan, joten käyttäjän ei tarvitse ymmärtää testiä syvällisemmin. Eräs tällainen puhtaudenmittaukseen tarkoitettu laite, niin kutsuttu "kontaminometri", on esitetty kuvassa 12. Kuvan laitteella havaitaan jopa alle 0,005mS/cm johtavuuden muutoksia. Kun tämä muutetaan laskennal-

lisesti NaCl-vastaavuudeksi pinta-alaa kohden, tarkkuus on sitä parempi, mitä suurempi tarkasteltava komponenttilevy on. [32]



**Kuva 16: Gen3 systemsin puhtaudenmittauslaite, eli kontaminometri [32]**

Komponenttilevyjen valmistajilla voi olla laadunvarmistuksessa ja prosessinvalvonnassa käytössään ROSE-testilaitteita, joista tunnettuja merkkejä ovat ainakin The Omega Meter, Ionograph, ZeroIon ja Gen3 systemsin CM-laitteet. Eri laitteilla saadut natriumkloridivastaavuudet eivät valitettavasti suoraan vastaa toisiaan, mutta niitä voidaan vertailla keskenään käyttämällä muunnoksessa apuna MILP-551100 -standardia. [65]

ROSE-testi ilmaisee, kuinka paljon ionijäämiä levyltä on liennut, mutta se ei kerro tarkemmin, mistä ioneista on kysymys. Epäionisia jäämiä ei havaita. Testissä ei myöskään selviä levyille jääneiden ionien määrä. Eri ionityyppien osuuksien selvittämiseen voidaan tarvittaessa käyttää seuraavaksi esiteltävää ionikromatografiaa, jonka tulosten perusteella voidaan esimerkiksi valita parhaiten soveltuva pesuaine. ROSE-testin suorittaminen tietyllä tavalla manuaalisesti tai laitteita käyttäen on esitetty tarkasti standardin IPC-TM-650 testeissä 2.3.25 ja 2.3.25.1. [46, 65, 66]

#### **5.2.4 Ionikromatografia**

Mikäli ROSE-testiä tarkempaa tietoa ionisten epäpuhtauksien laadusta ja määristä tarvitaan, voidaan käyttää ionikromatografiaa, eli IC (Ion Chromatography) -testiä. Kuten ROSE-testissä, myös ionikromatografiassa tutkitaan alkoholin ja veden seokseen liuenneita ioneja. Yleisin ionikromatografiaa käyttävä testimenetelmä on IPC-TM-650 -testausmenetelmäoh-

jekirjan kohdan 2.3.28 mukainen testi, jossa tutkittavalta levyltä liuotetaan epäpuhtauksia tunnin ajan 80 °C:n lämpöiseen, 75 % alkoholia ja 25 % vettä sisältävään seokseen. Seokselle tehtävässä ionikromatografiassa eri alkuaineiden ja orgaanisten happojen ionit erotellaan toisistaan, ja niiden määrä selvitetään. Testin perusteella voidaan päätellä, mistä prosessin vaiheesta jäämät ovat peräisin, kun nähdään, mitä materiaalia jäämissä on eniten. Tämän jälkeen voidaan tarvittaessa tehdä muutoksia prosessiin tai käytettäviin materiaaleihin, jotta epäpuhtauksien synnyn syistä päästään eroon. [65]

Koska ionikromatografiaan tarvittava laitteisto ei ole yksinkertainen eikä halpa, testaus teetetään yleensä jossakin laboratoriossa. IC-testauksen ongelmana on testauksen kallis hinta, sillä yksittäisestä testistä laboratoriot laskuttavat jopa 2000 \$ – 3000 \$. Tämä voi kuitenkin olla siedettävä hinta, kun komponenttilevyjen valmistusprosessia halutaan hioa kohdalleen. [66]

Markkinoille ilmestyneet uudet ionitesterilaitteistot yhdistävät ROSE- ja IC-testauksen parhaita puolia tarjoamalla komponenttilevyjä valmistaville tehtaille mahdollisuuden ottaa itse liuotusnäyte haluamaltaan alueelta komponenttilevyiltä, josta nähdään nopeasti ROSE-testin tavoin, onko tutkittu alue puhdas ioneista vai ei. Mikäli ioneja löytyy enemmän kuin puhtausvaatimukset sallivat, voidaan otettu näyte lähettää laboratorioon IC-testillä tutkittavaksi, jolloin saadaan selville myös ionien laatu. Koska näytteenotto voidaan tehdä jo valmistajan toimesta laboratorion sijasta, tulee IC-testaus huomattavasti halvemmaksi, ja näyte voidaan ottaa vain puhtauden kannalta ongelmalliseksi koetulta alueelta komponenttilevyiltä, esimerkiksi BGA (ball grid array, pallohilamatriisi) -komponentin alta. [66]

### **5.2.5 Optinen puhtaustarkastus IR/UV-valon avulla**

Edellä esitetyillä testausmenetelmillä, optista tarkastusta lukuun ottamatta, pystytään havaitsemaan vain ionisia epäpuhtauksia. Ei-ionisten/-polaaristen jäämien tutkimiseen ei valitettavasti ole tarjolla yksinkertaisia automatisoitavissa olevia menetelmiä optisen puhtaustarkastuksen lisäksi. Yleisin analyttinen, joskaan ei varsinaiseen tuotantokäyttöön sopiva menetelmä, on nimeltään FTIR (*Fourier Transform InfraRed*) eli Fourier-muunnos infrapunaspektroskopia, jossa infrapunasäteilyä lähetetään tutkittavalle alueelle komponenttilevyllä, ja sironnutta spektriä verrataan kaupalliseen tietokantaan, jonka perusteella levyn pinnalla olevat epäpuhtaudet tunnistetaan. Orgaanisten epäpuhtauksien selvittämiseen tarkoitettu FTIR-testimenetelmä on esitetty IPC-TM-650 -testiohjekirjan kohdassa 2.3.39. [65]



Hartsijäämien etsimiseen voidaan spektroskopiassa käyttää infrapunaa lisäksi ultraviolettisäteilyä, kuten IPC-TM-650:n kohdassa 2.3.27 on esitetty. [50, 65]

### **5.2.6 Elektronimikroskopia**

Elektronimikroskoopilla (SEM, *scanning electron microscopy*) voidaan etsiä suuren atomimassan epäpuhtausmateriaaleja komponenttilevyltä käyttämällä EDX (*energy dispersive x-ray*) -analyysiä ja kevyen atomimassan jäämiä käyttämällä Auger-analyysiä. Näitä menetelmiä ei käsitellä tässä työssä tarkemmin. [65]

Elektronimikroskooppeja on käytössä lähinnä laboratorioissa, joten tuotannolliseen testaamiseen menetelmä ei sovellu.

## **5.3 Funktionaalinen testaus**

Ennen komponenttilevyn päästämistä eteenpäin tuotannossa tulee vielä mekaanisten ja puhtausominaisuuksien lisäksi selvittää, toimiiko levy sähköisesti. Ulkoisesti kaikin puolin ehjän näköisellä komponenttilevyllä saattaa olla toimimattomia komponentteja tai visuaalisissa tarkastuksissa havaitsematta jääneitä vikoja kuten dendriittien kasvun aiheuttamia oikosulkuja. Tässä kappaleessa käsitellään kolmea yleistä elektroniikan sähköisen toimivuuden testaamiseen käytettyä menetelmää.

### **5.3.1 ”Boundary Scan” -testi**

”Boundary scan” on JTAG:in (Joint Test Action Group) vuonna 1990 IEEE-1149.1-nimellä standardoima menetelmä. Menetelmässä ohitetaan tutkittavasta laitteesta jokin johdin ja korvataan se testilaitteesta tulevalla johtimella. Tällä johtimella laitteeseen voidaan ajaa signaali tai jännitetaso, johon testattava piiri tai piirilevy reagoi jollakin tavalla. Tutkittavan kohteen ulostuloja seurataan ja varmistetaan, että tulos on halutunlainen. Menetelmää käytetään laajalti logiikkapiirien testaamiseen, joskin sillä voidaan tarkistaa myös suurempia kokonaisuuksia. [67]

### **5.3.2 ”Bed of Nails” eli piikkimattotarkastus**

Piikkimattotarkastuksessa (*engl.* joko ”Bed of Nails” tai ”In-Circuit Test”) tutkitaan valmiin komponenttilevyn sähköisiä ominaisuuksia. Komponenttilevylle tehtyihin testijuotosalustoihin eli testipadeihin puristetaan vastinlevy, jossa on piikit testipadeja vastaavilla kohdilla.

Testipiikkien kohdistus suoritetaan kameroiden ja komponenttilevyillä olevien kohdistusmerkkien avulla. Yhtä komponenttilevyä kohden saattaa olla runsaasti testipadeja, jolloin testauslaitteessa olevassa vastinkappaleessa kiinni olevat piikit saavat vastinkappaleen muistuttamaan piikkimattoa. Kun testissä puristetaan kaikki piikit kontaktipadehin, voidaan tutkittavalle komponenttilevyille tehdä useita ”boundary scan” -tyyppisiä kokeita valmiiksi ohjelmoidulla tavalla. Sähköinen testaaminen piikkimaton avulla on tämän ansiosta nopeaa, sillä tietokone hoitaa kokeiden tekemisen ja tulosten analysoinnin. Koska laitteessa tarvitaan kohdistuskameroita, ovat jotkut valmistajat lisänneet samaan tarkastuslaitteeseen myös automaattisen optisen tarkastuksen tai osia siitä. Vastinkappaleen valmistus ja testauslaitteiston ohjelmointi yhtä komponenttilevyä varten on suuritöinen operaatio, ja se kestää normaalisti jopa 4–6 viikkoa. Tämän vuoksi menetelmä ei sovellu pienten valmistuserien tai nopeasti muuttuvan prototyypin testaamiseen. Laitteiden hinnat liikkuvat halvasta 10 000 \$:sta aina yli 200 000 \$:n tasoon. [ 68]

Toisinaan tarkastukseen tulee laite, jonka valmistuksen onnistuminen ei läpäise määrättyjä rajoja. Tämä saattaa johtua jonkin valmistusvaiheen epäonnistumisesta tai vikaantuneesta komponentista. Tällöin testattava laite tulee luonnollisesti hylätä. Joskus raja-arvot jäävät kuitenkin määrätystä hyvin vähän, esimerkiksi joitakin voltin sadasosia. Tällöin on ilmennyt, että vaikka laite tulisikin hylätä, jotkut testaajat ajavat testin uudestaan samalle levyille, jolloin tulos saattaa olla hyväksyttävän puolella. Näin saadaan enemmän toimivia levyjä. Testi on saatettu uusia useammankin kerran, mikä ei ole hyväksyttävää, sillä kun piikkejä puristetaan kontaktipadeihin useampaan kertaan, padin johtavuusominaisuudet muuttuvat kuoppien kasvaessa, eikä tulos ole enää oikea. Testin uusiminen tulisikin kieltää tai ainakin rajoittaa vain muutamaaan yritykseen. Mikäli useissa levyissä liikutaan aivan hyväksyttävyyden rajamailla, kyseisten levyjen suunnittelussa tai komponenttivalinnoissa on mitä todennäköisimmin ongelmia, ja testaajan tulisi ilmoittaa asiasta eteenpäin, jotta ongelma voidaan korjata.

### **5.3.3 ”Flying Probe” -testi**

”Flying probe” -testissä komponenttilevyiltä ei välttämättä vaadita kaikkien pisteiden tarkastamista varten omaa testijuotospistettä. Testijuotospisteet ovat nykyaikaisessa tiukkaan pakatussa elektroniikassa ongelmallisia, sillä niille ei usein ole tilaa levyn pinnalla. ”Flying probe” -laitteessa on useita mielellään mahdollisimman vapaasti liikuteltavia antureita, jotka viedään tehdyn ohjelman mukaan tietyille kohdille, suoritetaan mittaus boundary scan-

menetelmän mukaisesti, ja siirrytään seuraavalle mitattavalle kohdalle. Anturin kärkiä varten levyllä ei välttämättä tarvitse olla tarkastusjuotepisteitä, vaan kärjet voidaan ohjata koskettamaan komponentin juotealustaa (eli padia) tai jopa komponentin jalkaa. Ohjelmassa on määritelty, mitä komponenttia tai toimintoa antureilla testataan ja missä järjestyksessä tämä kannattaa suorittaa, jotta testaaminen olisi mahdollisimman nopeaa. Piikkimattotestin nopeustasoon ”Flying probe” -testillä ei päästä, mutta menetelmä sopii vapaan ja nopean ohjelmoitavuutensa ansiosta hyvin pienten erien ja prototyypisarjojen sähköisten ominaisuuksien tarkastukseen. Valmistusprosessilinjastoon sijoitetulla ”Flying probe” -testerillä voidaan tarkastaa myös eniten ongelmia aiheuttaneet osat suurista tuotantoeristä, joskin suurten levyjen täydellinen tarkastaminen on huomattavasti hitaampaa kuin piikkimattotestiä käyttämällä. [69, 70]

## 6 Valmistusvirheet ja niiden korjaus

Valmistusvirheet saattavat olla heti valmistusprosessin aikaisissa tarkastuksissa havaittavia, tai ne voivat olla piileviä, ja ilmenevät vasta käytössä. Tässä kappaleessa käsitellään valmistusvirheitä, jotka johtavat komponenttilevyn luotettavuuden heikkenemiseen, sekä asioihin, joihin puuttumalla komponenttilevyn lopullista käyttöikää saadaan parannettua.

C.-H. Mangin tekemän tutkimuksen mukaan SMT-komponenttilevyjen valmistusvirheiden syyt jakautuvat prosentuaalisesti seuraavalla tavalla: juotepastanpainoprosessi 63,8 %, komponenttien asettelu 15,2 %, reflow-juottaminen ja pesu 15,2 % ja komponenttien viat 5,7 %. Pastanlevityksen heikon laadun havaitsee liian matalista ja pienistä pastakakuista ja niiden koon vaihtelusta levyllä. Liian vähäinen juotepastan määrä saattaa aiheuttaa sen, etteivät komponentit tartu juotteeseen kunnolla ladontavaiheessa tai valmis juotos ei mene läpi laatutarkastuksesta. [62]

Komponenttilevyn huolellisella suunnittelulla pystytään vaikuttamaan paitsi valmistuksen onnistumiseen (Design for Manufacturing, DfM), myös pidemmän tähtäimen luotettavuuteen, joka aiheutuu valmiin komponenttilevyn käyttöympäristöstä, -kohteesta ja itse käyttäjästä. Vaikka tämän työn aihealueeseen kuuluu lähinnä valmistusprosessin tarkastelu ja valmiin komponenttilevyn puhtaus-, pinnoitus- ja dokumentointiasioiden pohdinta, käsitellään näitä suunnitteluseikkojakin hieman.

### 6.1 Komponenttilevyjen luotettavuuteen vaikuttavat asiat

Jos komponenttilevyn valmistus on sujunut näennäisesti ongelmitta, ja toimiva levy on toimitettu tilaajalle hyväksytysti, saattaa siinä ajan kuluessa silti ilmetä ongelmia. Näiden ongelmien korjaus tulevilta levyiltä voi vaatia suunnittelun muutosta ja yhteistyötä komponenttilevyn valmistajan kanssa. Valmistuslaatua koskevien hyväksymisstandardien vaatavuustason lisäksi materiaali- ja komponenttivalinnat vaikuttavat komponenttilevyn pitkän ajan luotettavuuteen.

#### 6.1.1 Juoteliitos

Kuten aikaisemmissa kappaleissa on todettu, käytetyllä juotepastalla tai aaltojuotosprosessissa juotteella ja juoksutteella on suuri merkityksensä komponenttilevyn luotettavuuteen.

Juoteliitoksen ulkoista onnistumista tarkkaillaan valmistuksen hyväksymistarkastuksissa kattavasti, mutta ongelmia saattaa olla myös juoteliitoksen sisällä ja siten heikosti havaittavissa. Eri juotemateriaalien taipumukset murtumiin vaihtelevat aineen kovuuden ja kemiallisten ominaisuuksien mukaan. Kun laite, jossa komponenttilevy on, sijaitsee vaihtelevassa lämpötilassa, aiheutuu etenkin pintaliitoskomponenttien juoteliitoksiin venyttäviä voimia levyn ja komponentin lämpölaajenemiskertoimien erojen vuoksi. Suurempien komponenttien reunoilla olevat liitokset kokevat suurimmat voimat, sillä taipuminen on niiden alueella suurinta. Pitkän ajan kuluessa venymät saattavat aiheuttaa halkeamia liitokseen ja lopulta liitoksen peittämisen. Suunnitteluvaiheessa luotettavuutta voidaan parantaa valitsemalla ja asettamalla käytettävät komponentit siten, että niihin kohdistuvat voimat ovat mahdollisimman pieniä. Käytännössä tämä tarkoittaa pieniä jalallisia komponentteja, joissa jalkojen taipuminen auttaa absorboimaan lämpölaajenemisesta aiheutuvaa voimaa. [5]

Suurten komponenttien kuten liittimien kiinnitykseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Usein ne kiinnitetään läpikortintekniikalla, koska tällöin liitoksesta saadaan paremmin kestävä. Myös laitteen putoaminen tai asennusalustan värinä aiheuttavat luonnollisesti murtumia liitoksiin ja siten niiden luotettavuuden heikkenemistä. Etenkin painavilla komponenteilla juoteliitoksiin aiheutuvat voimat ovat putoamisen yhteydessä suuria. Ajan kuluessa tapahtuva juotemetallin korroosio heikentää sen mekaanista kestävyyttä, jolloin vauriot tapahtuvat helpommin. Korroosion estämiseksi epäpuhtauksien, etenkin fluksijäämien, poistaminen on tärkeää. Levyn pinnoituksella voidaan hidastaa ympäristön kosteuden vaikutuksia korroosion kehittymistä. [4, 5, 6]

### **6.1.2 Komponenttien laatu ja materiaalit**

Juoteliitoksen ongelmien lisäksi yllätyksiä komponenttilevyn laadussa saattavat aiheuttaa siinä käytetyt komponentit. Automaattisessa linjastossa ladontakone ja automaattinen optinen tarkastuslaite tarkastavat, ettei väärän muotoisia vääriä komponentteja pääse levyille. On kuitenkin olemassa riski, että laitteen käyttäjä asentaa ladontakoneeseen rullan vääriä komponentteja, jotka ovat ulkomitoiltaan samoja kuin oikeat komponentit, mutta sähköisiltä ominaisuuksiltaan jotakin muuta. Tämä ilmenee vasta sähköisen toiminnan tarkastuksessa jos silloinkaan, sillä usein esimerkiksi kondensaattorit ovat levyllä vain varmistamassa siltä varalta, että kaikki levyllä ei toimi kuten pitää jonkin häiriön kuten ylijännitepiikin vuoksi. Tällöin väärästä komponentista saattaa seurata komponenttilevyn jonkin muiden komponenttien rikkoutuminen silloin, kun varmistusta tarvittaisiin.

Itse komponenttien laatu voi myös aiheuttaa ongelmia. Komponentit tulee valita vaadittavien käyttöolosuhteiden mukaisesti, eikä esimerkiksi ulkotiloissa kannata käyttää komponentteja, joiden valmistaja lupaa toimintalämpötilaksi vain yli 0 °C.

Metallit reagoivat ilmasta tulevan kosteuden ja epäpuhtauksien kanssa, jolloin korroosiota tapahtuu. Kuparipinnalla korroosiosta seuraa oksidikerros, jonka sähkönjohtavuus on huomattavasti heikompi kuin puhtaan kuparin ja josta seuraa kosketushäiriöitä. Esimerkiksi liittimissä käytettävät metallit tulee pinnoittaa tai muuten suojata siten, että ne soveltuvat käytettäväksi tarkoitettussa ympäristössä. Pinnoittamalla korroosiolle herkkä metalli kuten tina jalometallilla, esimerkiksi kullalla, saadaan korrosio estetyksi tai ainakin sen alkamista viivytettyä. Liittimen toiminta perustuu siihen, että metallipinnat puristetaan toisiaan vasten. Aikojen saatossa ja useiden kytkentäkertojen vuoksi liittimien puristavat pinnat saattavat löystyä tai oksidoitua pinnoitteen poishankautumisen vuoksi, jolloin syntyy kosketushäiriöitä. [7]

### **6.1.3 Sekalaiset riskitekijät**

Komponenttilevyn vikaantumiseriskiä saattavat kasvattaa monet yksinkertaiset tekijät, kuten merkintöjen heikko selkeys ja näkyvyys, kokoonpanotyöntekijän puutteellinen ohjeistus levyn käsittelyyn sekä loppukokoonpanossa ilmenevät ongelmat, kuten levyn huono sopivuus sille suunniteltuun koteloon tai ruuvireikien väärät paikat. Komponenttilevyn valmistukselle asetettaviin vaatimuksiin näistä kuuluvat lähinnä levyn merkinnät muiden seikkojen ollessa suunnittelijoiden ja työnjohtajien vastuulla.

Koska hyväkään komponenttilevy ei toimi, jos levyn käyttäjä kytkee puuttuvien merkintöjen johdosta + ja - navat väärinpäin, tulee merkinnät painaa komponenttilevylle siten, että ne ovat riittävän hyvin luettavissa ja ymmärrettävissä. Merkinnät voidaan suunnitella piiri-levyn pinnan kuparointiin tai painaa jälkikäteen silkkipainotekniikalla valkoisella värillä. [5]

### **6.1.4 Merkittävät epäpuhtaudet**

Levy, joka valmistetaan reflow-prosessilla, on nykyisin melko suurella varmuudella hyvin puhdas nykyisten no-clean -fluksien ansiosta. Jos kuitenkin syystä tai toisesta lämpötila jossakin liitoksessa jää liian alhaiseksi, tai on tarpeeksi korkea liian lyhyen aikaa, saattaa

reaktiivinen juoksute jää aktiiviseksi. Aktiivinen juoksute aiheuttaa kappaleessa 3.5.1 esiteltyjä luotettavuusongelmia. Mikäli lisääntynyttä epäpuhtautta havaitaan reflow-prosessilla valmistetussa komponenttilevyissä, voidaan uunin lämpötilaprofiilia tarkastella ja tutkia, saataisiinko sitä muuttamalla aktiiviset juoksutejäämät hävitettyä levyiltä. Aalto- ja selektiivijuottamisella valmistetut levyt tulee aina pestä käytetyistä juoksuteista huolimatta, sillä niissä juoksutetta jää mitä todennäköisimmin aktiiviseksi jonnekin. [20,71]

### **6.1.5 Pinnoituksen virheet**

Pinnoituksen epäonnistuminen havaitaan helpoiten repeilevästä tai lohkeilevasta pinnoitteesta tai ilmakuplista pinnoitteen alla. Eri pinnoitteilla on toisistaan poikkeavat ominaisuudet sen suhteen, kuinka pinnoite tarttuu piirilevyyn ja miten hyvin se kestää kulutusta, mutta yhteisenä kiinnittymiseen vaikuttavana tekijänä kaikille pinnoitteille on alustan puhtaus. Jos siis pinnoitus epäonnistuu useiden levyjen kohdalla, voidaan epäillä levyille jääneen epäpuhtauksia, joita visuaalisessa tarkastuksessa ei voida nähdä, kuten kappaleessa 3.5.1 on todettu. Ensiapuna pinnoitteen tarttumisen parantamiseksi tulee kiinnittää huomio pesuprosessiin: onko pesuliuos päässyt likaantumaan liiaksi tai onko pesussa muuta ongelmaa? Mikäli pesu on ongelmaton, on pinnoitteessa itsessään vikaa, ja sen viimeinen käyttöpäivä ja säilytystapa tulee tarkastaa. Jos kaikesta huolimatta pinnoituksen onnistuminen ei tyydytä, kannattaa pinnoitetta vaihtaa käyttämällä apuna taulukkoa 3 kappaleessa 3.5.2. [72]

## 7 Sopimukset

Tässä kappaleessa käsitellään vaatimusten asettamista sopimuksen ohella. Kappaleessa selvitetään mikä on standardeihin viittaamisen merkitys valmistussopimuksessa, johon kuuluu myös komponenttilevyjen piirustusten noudattaminen. Tärkeysjärjestys sille, mikä dokumentti on valmistuksen kannalta tärkein ristiriitatilanteessa, on tärkeä. Lisäksi kappaleessa tutustutaan hieman yleisemmin lakinäkökohtiin, sopimukseen ja tilanteisiin, jossa sopimusvalmistaja pyritään valitsemaan kilpailuttamalla.

### 7.1 Miten yritykset esittävät valmistuksen laatuvaatimuksia

Asiakkaan vastuulla on määrittää valmistuksen hyväksymiskriteerit. Kriteerit voidaan esittää viittaamalla sopimuksessa hyväksymisstandardeihin, mutta myös omia vaatimuksia voidaan esittää. Mikäli tilaaja ei esitä kriteereitä tai viittaa mihinkään tiettyyn standardiin, valmistaja voi noudattaa omasta mielestään parasta valmistuskäytäntöä. [41 kappale 1.4.2]

Eri tavoin annettujen vaatimusten noudattamisjärjestyksen tulee olla seuraava:

1. Erikseen valmistajan ja tilaajan välillä sovitut ja kirjatut vaatimukset
2. Tilaaajan toimittamat piiri- ja levykaaviot
3. Hyväksymisstandardit, mikäli niiden käytöstä on sovittu
4. Muut asiakkaan hyväksymät dokumentit

[41 kappale 1.4.2]

Asiakas voi vaatia käytettäväksi useita eri standardeja eri valmistusvaiheisiin, omia rajojaan esimerkiksi puhtauden määrittelyssä ja tiettyjä pakkausmenetelmiä, mutta myös muita valmistukseen liittyviä asioita, kuten testaamista ja datan keräämistä prosessista esimerkiksi jäljitettävyyden vuoksi.

Mikäli vaaditaan asioita, joita ei ole määritelty standardeissa valmiiksi, tilaajan tulee kyetä esittämään riittävä ohjeistus vaatimusten täyttämiseksi. Tällaisia ohjeita tarvitaan esimerkiksi sähköisen testauksen ja oikeanlaisen prosessidatan keräämiseksi.



## **7.2 Mitä standardeja valmistajilla on yleisesti käytössään**

Yleisesti tunnettuja hyväksymisstandardeja komponenttilevyjä valmistavissa yrityksissä ovat etenkin IPC:n valmistavat hyväksymisstandardit piiri- sekä komponenttilevyille, sekä näissä standardeissa vaadittuja testejä sisältävä IPC-TM-650 -testimenetelmäohjekirja. Tunnettuja hyväksymisstandardeja komponenttilevyjen osalta ovat IPC-A-610 ja J-STD-001, joita on käsitelty luvuissa 4.2.4 ja 4.2.5. Paljaiden piirilevyjen hyväksymisessä yleisesti tunnettu standardi on IPC-A-600, jota on käsitelty luvussa 4.2.1.

## **7.3 Miten standardeihin viitataan**

Mikäli tilaaja vaatii sopimuksessa valmistajalta jonkin eri tasoihin jaetun hyväksymisstandardin käyttöä, tulee sopimukseen kirjata myös taso, jota kyseisestä standardista sovelletaan. [41 kappale 1.4.2, 59] Standardeihin viitattaessa tulee ottaa huomioon, että kuten yllä mainittu, erikseen sovitut asiat ohittavat tärkeysjärjestyksessä standardissa vaaditut asiat.

## **7.4 Sertifikaattien täyttämisen vaatimukset**

Jotta yritys voi saada sertifikaatin standardin vaatimusten täyttämistä, täytyy sen tuotteiden olla standardin vaatimusten mukaisia. Kappaleessa 4.8.2 käsiteltiin johtamisen ja ympäristönsuojelun standardien noudattamisesta annettavien sertifikaattien hyötyjä yrityksille. Kappaleessa pohdittiin tilannetta, jossa tuotteeseen alihankintana tilattujen osien tulee myös olla valmistettu ympäristöstandardin vaatimusten mukaan, jotta valmis tuote täyttäisi vaatimukset. Jotta epäselvyyksiltä vältytään, kannattaa sopimukseen kirjata, että tilattavan osan valmistus tulee suorittaa standardien vaatimusten mukaisesti. Näin tuote täyttää standardien vaatimukset kaikilta osiltaan, eikä epäselvyyksiä standardinmukaisuudesta tule. [59]

## **7.5 Sopimusten tai kilpailuttamisen lakinäkökohdat**

Jos yrityksessä tehdään tarjouskilpailutusta jonkin tuotteen alihankinnasta, täytyy laatuvaatimusasioiden kanssa olla tarkka: on paljon ennakkotapauksia, joissa joku aliurakoitsija on voittanut tarjoamalla parempaa laatua kuin on vaadittu. Tällöin muut kilpailijat ovat nostaneet kanteita, koska tarjouspyynnössä ei ole esitetty, että sijoitustaan voi parantaa tarjoamalla vaadittua parempaa laatua. Myös kaikkia laveita ilmaisia tulee välttää kilpailutuksen arvosteluperusteissa, sillä useita oikeusjuttuja on käyty sen vuoksi, että vaatimukset on voitu ymmärtää ja on ymmärretty eri tavoin. Yleisesti, jos joku kilpailevista palveluntarjoajista tarjoaa jotakin, mitä ei ole vaadittu erikseen, se ei saa vaikuttaa arvosteluun. [73]

## 8 Työn tarkoitus

Vaisala Oyj:ssä valmistetaan ympäristön olosuhteita mittaavia laitteita. Laitteissa käytettäviä komponenttilevyjä tilataan sopimusvalmistajilta ja levyjä on yli 200 erilaista. Yrityksessä on havaittu tarve yhtenäistää ja koota yhteen näiden levyjen valmistukselle asetettavia valmistusvaatimuksia. Aiheesta päätettiin teettää tämä diplomityö. Työn tärkeimpänä tavoitteena on luoda valmistusvaatimusdokumentti, joka voidaan liittää komponenttilevyn valmistussopimukseen. Valmiiksi suunnitelluista vaatimuksista katsotaan olevan hyötyä tilattaessa sopimusvalmistajilta uuden komponenttilevyn valmistuspalvelua, sillä ne helpottavat ja selkeyttävät tilaussopimuksen laadintaa, koska vaatimuksia ei tarvitse selvittää jokaiselle levyille erikseen. Yhtenäinen valmistusvaatimusdokumentti antaa myös komponenttilevyjä tilaavan yrityksen sisäiseen käyttöön kaksi selkeää etua: kaikki työntekijät löytävät tarvittaessa tiedon komponenttilevyjen valmistusvaatimuksista helposti, jolloin tiedetään mitä sopimusvalmistajilta on tilattu. Tämä yksinkertainen asia ei välttämättä ole selvä tilanteessa, jossa kukin komponenttilevy on tilattu omilla valmistusvaatimuksillaan tai jopa täysin ilman erillisiä vaatimuksia. Toinen mahdollinen etu yhtenäisestä valmistusvaatimusdokumentista on, että kun dokumenttiin kirjataan parannus jollekin valmistuksen osalle, myös kaikki tulevat komponenttilevyt saavat osakseen havaitun parannuksen automaattisesti.

Diplomityön toisena tavoitteena on tutkia, mitä testejä komponenttilevyn tilaajan tulee pystyä tekemään seuratakseen valmistuksen laatua. Sekä levyjen valmistajien että tilaajan on suoritettava levyille tarkastuksia yhteisesti sovitulla hyväksymisrajoilla, jotta annettujen vaatimusten toteutumista pystytään valvomaan.

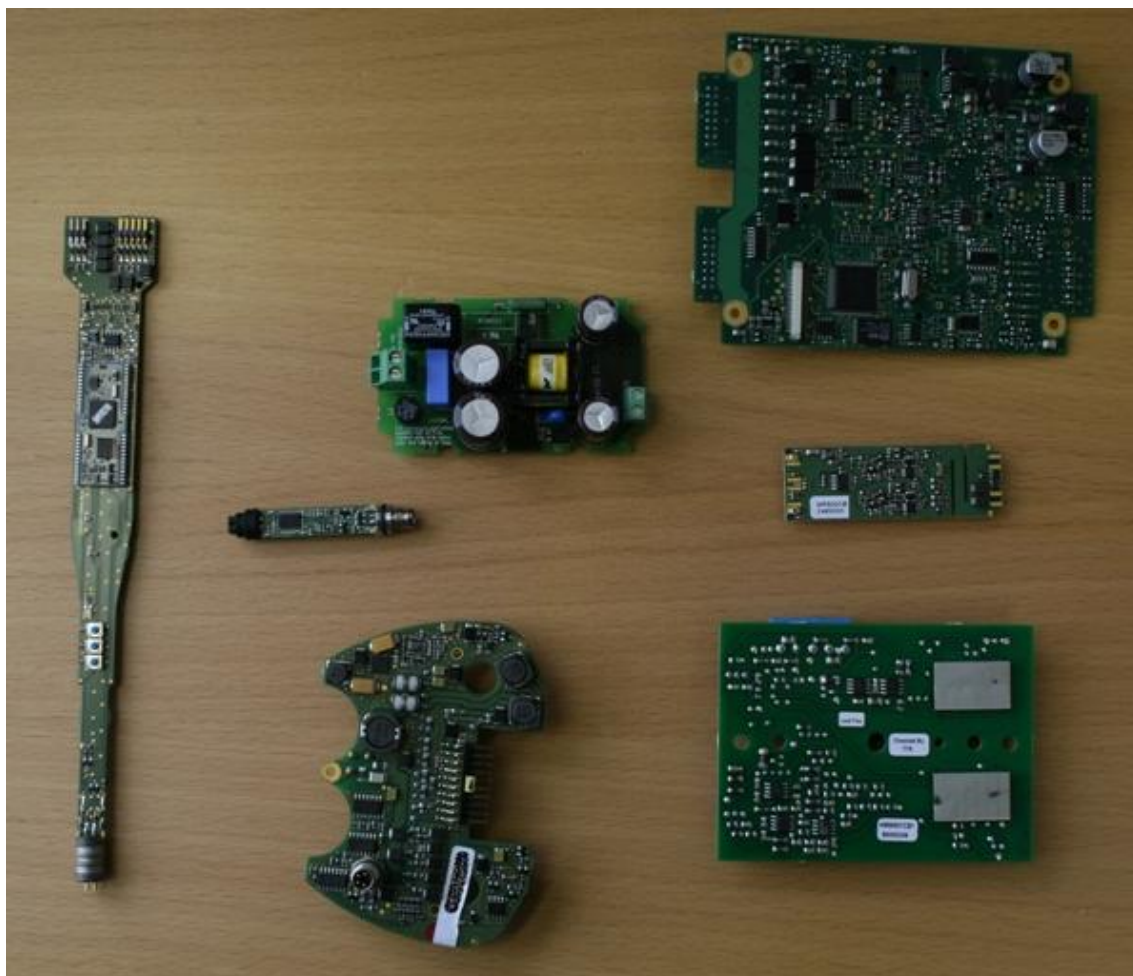
Työn kolmantena tavoitteena on tarjota suunnittelijoille ohjeita, joiden mukaan nämä voivat itse päättää, tarvitseeko valmistusvaatimuksia levyn osalta muuttaa, ja jos tarvitsee niin miten. Tämä on tarpeen, sillä komponenttilevyjen laatuvaatimukset saattavat vaihdella riippuen levyn fyysisistä mitoista, käytetyistä komponenteista ja levyn käyttökohteesta, eivätkä kaikki levyt tule sopimaan samojen valmistusvaatimusten piiriin. Joillakin levyillä joudutaan poikkeamaan yleisistä valmistusvaatimuksista ja levyn suunnittelijan on tarpeellista ymmärtää, mitkä tekijät vaikuttavat levyn valmistuksen vaativuuteen ja mahdollisiin erityisvaatimuksiin.

## 9 Työn tulokset ja niiden tarkastelu

Edellisissä kappaleissa esitettyjen teoreettisten tietojen pohjalta ryhdyttiin pohtimaan ratkaisuja kappaleessa 8 esitettyihin ongelmiin. Asioita lähestytään esittelemällä Vaisalassa valmistettuja laitteita sekä niiden toimintaympäristöjä. Tämän jälkeen tutustutaan nykyiseen tilanteeseen sopimusten sekä vaatimusten osalta, joiden perusteella syntyneitä dokumentteja ja ratkaisuja esitellään kappaleessa 9.3.

### 9.1 Tarkasteltavat laitteet

Vaisalalan laitteissa käytettävät komponenttilevyt vaihtelevat käyttöympäristönsä, kokonsa ja käytettävien komponenttinsa osalta huomattavasti, mikä tulee ottaa huomioon vaativuuksia määriteltäessä. Erityyisiä levyjä on esitelty kuvassa 17. Seuraavissa kappaleissa on esitelty muutamien Vaisalalan laitteiden käyttöympäristöjä.



Kuva 17: Esimerkkejä muutamista Vaisalalan laitteissa käytettävistä komponenttilevyistä

### 9.1.1 Kannettavat laitteet

Vaisalan kannettavia mittalaitteita edustavat käsimittarit ja niihin kytkettävät mittapääät. (Kuva 1). Käsimittareita käytetään hyvin erityyppisiin tarkoituksiin ja erilaisissa ympäristöissä. Koska näitä laitteita käytetään kenttäolosuhteissa, niiltä vaaditaan mekaanista kestävyyttä sekä hyvää kosteuden ja lämpötilamuutosten sietokykyä. Tähän voidaan pyrkiä vaatimalla komponenttilevyltä edellä mainittuja ominaisuuksia sekä tekemällä kotelosta vankka ja elektroniikkaa hyvin suojaava. Kannettavissa laitteissa tiiviillä koteloinnilla voidaan vähentää kosteuden ja pölyn pääsyä laitteen sisälle, mutta täysin sitä ei voida estää.

### 9.1.2 Säähavaintojen tekemiseen käytettävät kiinteästi asennettavat laitteet

Suuri osa Vaisalan laitteista toimii ulkotiloissa vaihtelevissa olosuhteissa esimerkiksi säätilan mittauksessa (kuva 18). Näiden laitteiden kosteuden ja lämpötilojen sietokyvyn tulee olla hyvää tasoa, ja tarvittavien huoltotoimenpiteiden määrä tulee pyrkiä pitämään mahdollisimman vähäisenä. Laitteiden toiminnan tulee olla mahdollisimman stabiilia siten, että niiden antamat mittaustulokset eivät vaella eli "drifttaa" muiden kuin mitattavien suureiden suhteen. Mittaustulosten vaeltelua aiheuttavat etenkin komponenttilevyn sähköisten ominaisuuksien muutokset, jotka johtuvat kosteuden imeytymisestä levyyn. Kosteuden vaikutus korostuu, mikäli levyllä on ionisia eli sähkönjohtavia prosessijäämiä tai muualta tulleita epäpuhtauksia, sillä tällöin sähkönjohtavuuden muutokset kosteuden ja ajan myötä ovat entistä suurempia. Laitteen tiiviin koteloinnin lisäksi ajan, kosteuden ja epäpuhtauksien vaikutuksia pyritään vähentämään komponenttilevyn huolellisella pinnoituksella, jolla voidaan hidastaa kosteuden ja epäpuhtauksien pääsemistä levyille. Mikään pinnoite ei kuitenkaan suojaa levyä kosteudelta ikuisesti, joten on tärkeää, että pinnoitteen alla oleva levy on mahdollisimman puhdas ionisista prosessijäämistä.



**Kuva 18:** Talvisen säätilan mittausta ajoradan varressa [3]

## 9.2 Aikaisempi vaatimustaso

Aikaisemmissa sopimuksissa Vaisalassa on luotettu valmistajien ammattitaitoon, eikä valmistuksen tasoon ole juurikaan puututtu. Mahdollisia muutosvaatimuksia valmistusprosessiin on tehty jälkikäteen sähköpostin välityksellä. Vaikka näin onkin saatu tyydyttävää valmistuslaatua, menetelmä on ongelmallinen, eikä kaikkia komponenttilevyn valmistusta koskevien vaatimusten hienosäätöjä ole helppo löytää jälkeenpäin eri ihmisten sähköposteista.

## 9.3 Työssä syntyneet dokumentit

Työn tuloksena syntyi valmistusvaatimusdokumentti, joka sai tuekseen myös ohjeita ja malleja valmistusvaatimusten asetteluun. Tässä luvussa käsitellään itse valmistusvaatimusdokumenttia ja selvitetään, mitä varten mikäkin vaatimus on annettu ja missä tilanteessa vaatimukseen saattaa olla aiheellista tehdä muutoksia. Lisäksi luvussa on esitetty sisäisiä ohjeita ja esimerkkejä, joiden perusteella komponenttilevyn suunnittelija voi päättää, mitä vaatimuksia millekin levyille kannattaa asettaa. Myös muutamia yleisiä ohjeita komponenttilevyn suunnitteluun annetaan, jotta levyn valmistaminen voisi ylipäättään onnistua.

### 9.3.1 Valmistusvaatimusdokumentti

Koska komponenttilevyjen valmistus ei ole kaikille levyille täysin samanlainen prosessi niiden erityisvaatimuksista johtuen, on käytännössä mahdotonta asettaa kaikkien levyjen valmistukselle yhtä hyvin sopivat vaatimukset yksillä ja samoilla sanoilla. Levyjen käyttöympäristöt ja -tarkoitukset poikkeavat toisistaan siinä määrin, että kaikille levyille yhteisissä valmistusvaatimuksissa täytyisi tehdä runsaasti kompromisseja. Kuitenkin valmistusvaatimukset tulee pitää mahdollisimman yhtenäisinä yksinkertaisuuden ja helppokäyttöisyyden vuoksi.

Ratkaisimme ongelman jakamalla valmistusvaatimukset kahteen osaan. Toinen osa on kaikille levyille yhteinen *geneerinen* osa, jossa annetaan yleiset vaatimukset levyjen valmistukselle siten, että mahdollisimman monet levyt voidaan valmistaa suoraan näiden vaatimusten perusteella. Yhteisessä osassa annettuihin vaatimuksiin voidaan tehdä lisäyksiä tai poikkeuksia komponenttilevyn *tuotekohtaisessa* osassa. Parhaassa tapauksessa komponenttilevy ei tarvitse lainkaan erillistä tuotekohtaista osaa, mutta erityisvaatimuksien huomioon ottaminen käy sen avulla helposti. Tuotekohtaista valmistusvaatimusten osaa voidaan kutsua myös tuotteen PI (production instruction) -ohjeeksi. Tämä ohittaa tärkeysjärjestyksessä

geneerisen osan, mikäli näiden välillä esiintyy ristiriitoja. Muita PI-ohjeita annetaan erikseen myös esimerkiksi levyjen sähköiseen testaamiseen käytettävistä kytkennöistä. Listan jako kahteen osaan pitää vaatimukset mahdollisimman yksinkertaisena, sillä kaikkien tuotteiden tietoja ei tarvitse näyttää yksittäisen tuotteen vaatimuslistalla.

Koska sekä geneerinen että tuotekohtainen osa valmistusvaatimusdokumentista ovat tallessa sähköisessä muodossa, niitä voidaan muokata sitä mukaa kun tarvetta ilmenee. Tämän ansiosta tulevaisuudessa, kun levyjen valmistuksen mahdollisista ongelmakohdista nykyistä useammat ovat selvinneet, valmistusvaatimusdokumentti esittää vielä nykyistäkin tarkemmin pohdittuja vaatimuksia riittävän tasokkaiden komponenttilevyjen saavuttamiseksi kohtuullisimmalla työpanostuksella ja hinnalla.

Muutokset, joita työn tuloksena saatuun valmistusvaatimusdokumenttiin ennemmin tai myöhemmin tullaan tekemään, koskevat ennen kaikkea puhtausvaatimuksia ja sitä kautta myös pesuun liittyviä asioita. Nämä osa-alueet ovat puutteellisen tiedon takia vielä hieman keskeneräisiä; ne vaativat puhtautason vaikutuksen selvittämistä kunkinlaisen komponenttilevyn toimintaan ja luotettavuuteen. Toinen mahdollisesti muutettava seikka koskee levyjen lakkausta, jonka yleistyminen olisi hyvin suotavaa kaikille niille komponenttilevyille, joita käytetään ulkotiloissa. Nykyisin käytössä oleva sivellinlakkausmenetelmä on todettu hyötyynsä nähden turhan kalliiksi edullisempien komponenttilevyjen kohdalla, joskin automaattiset spray-lakkauslaitteet saattavat tulevaisuudessa madaltaa kynnystä lakkaukselle.

Seuraavaksi esitellään valmistusvaatimusdokumentin molempien osien sisältö kohta kohdalta samalla perustellen, miksi mikäkin vaatimus on tehty. Valmistusvaatimusdokumentin geneerinen osa on annettu liitteessä 1 ja tuotekohtainen osa liitteessä 2. Järjestys vaatimusten perusteluissa noudattaa vaatimusten esittämisjärjestystä itse dokumenteissa.

### **Osa 1: Geneerinen osa**

Kaikille valmistettaville komponenttilevyille yhteinen sopimuksen osa jakautuu aihepiireihin, joissa annetut vaatimukset on tarkoitettu olemaan riittäviä suurimmalle osalle Vaisalassa valmistettavista komponenttilevyistä. Yhteiset vaatimukset eivät siis sellaisinaan sovi tai riitä kaikille levyille. Seuraavassa esitellään perustellen, mitä asioita valmistusvaatimusdokumentin geneerisessä osassa on esitetty.

### **-ISO 9001**

Levyjen valmistajalta voidaan odottaa omien toimintatapojensa seuraamista ja kehittämistä. Tämä onnistuu vaatimalla valmistajalta ISO 9001 -standardin vaatimusten mukaista toimintaa.

### **-ISO 14001**

Jotta Vaisalan tuotteet täyttävät ympäristöstandardin ISO 14001 vaatimukset, vaaditaan, että laitteissa käytetyt osat kuten komponenttilevyt on valmistettu ympäristöstandardin vaatimusten mukaisesti. Mikäli valmistajalla ei ole sertifikaattia kyseisestä standardista, sen suorittaminen voidaan vaatia tai jossakin tilanteessa jopa kustantaa.

### **-IPC-A-600 tyhjän piirilevyn hyväksymisstandardi**

Onnistuneen komponenttilevyn perusta on hyvälaatuinen piirilevy. Piirilevylle käytännössä yleisin hyväksymisstandardi IPC-A-600 on jaettu kolmeen laatuluokkaan kuten komponenttilevyjen hyväksymisstandardi IPC-A-610:kin. Dokumentissa vaaditaan keskimmäistä vaatimustasoa, joka on tarkoitettu tyydyttämään teollisuudessa käytettävien piirilevyjen tarpeet.

### **-IPC-A-610 tai J-STD-001 -standardeihin viittaaminen**

Komponenttilevyjen valmistajat tuntevat hyvin valmistuslaadun kolmitasoiset hyväksymisen standardit IPC-A-610 ja J-STD-001. Näistä IPC-A-610:n taso 2 on usealla valmistajalla oletuslaatuna, ja sen pitäisi riittää useimmille Vaisalassa käytettäville komponenttilevyille. Kyseinen taso on tarkoitettu riittäväksi teollisuuselektronikan valmistukseen.

### **-Korjaukset ja levyille tehtävät muutokset**

Mikäli levyä täytyy korjata valmistusprosessin yhteydessä tai sen jälkeen, on tämä syytä suorittaa tunnetuin menetelmin. Korjausta ja muutosten tekoa käsittelee IPC:n standardipari IPC-7711/7721, jonka noudattamista vaaditaan valmistusvaatimusdokumentin geneerisessä osassa. Vaatimalla standardoituja korjausmenetelmiä varmistutaan siitä, ettei korjauksissa ole tehty tuotteen luotettavuutta heikentäviä "purkkaratkaisuja". Komponenttilevyt, joihin on valmistajan toimesta suoritettu korjauksia, tulee erotella niistä komponenttilevyistä, joihin ei ole tehty korjauksia. Näin korjauksen läpikäyneet levyt löytyvät helposti, ja korjaustyön laatu on helpompi tarkastaa.

### **-Puhtaus ja puhtauden testaus**

Levyjä käsiteltäessä on aina käytettävä tarkoitukseen sopivia ESD-käsineitä, ja käsineitä tulee vaihtaa uusiin tiheästi. Vaikka käsineet näyttävät puhtailta, se ei riitä takaamaan, että ne myös ovat puhtaat.

Natriumkloridivastaavuutena määrätty puhtaustaso on peräisin vanhasta amerikkalaisesta armeijan MIL-standardista. Kyseisessä standardissa puhtauden rajaksi oli määritelty 1,56 µg/cm<sup>2</sup>:n NaCl-vastaavuus. Tätä käytetään vaatimusdokumentin geneerisen osan puhtausvaatimuksena. Vaikka nykyään arvoa pidetään melko korkeana herkälle elektroniikalle, sitä voidaan käyttää "normaaleille" ulkona käytettäville levyille tarkoitettuna perustasona.

Geneerisessä valmistusvaatimusdokumentissa vaadittavan natriumkloridivastaavuuden (1,56 µg/cm<sup>2</sup>) selvittämiseksi käytetään IPC-TM-650 -standardissa kohdassa 2.3.25 esitettyä ROSE-testiä, joka esiteltiin kappaleessa 5.2.3. Valmistaja, jolla on laitteisto tai muu ROSE-testiin sopiva menetelmä käytössään, voi testata puhtaustason helposti. Mikäli valmistajalla ei ole sopivaa menetelmää käytössään, natriumkloridivastaavuuden todentamista ei voi suorittaa. Tällöin natriumkloridivastaavuutta koskeva vaatimus jätetään huomioimatta, ja puhtaudesta tulee varmistua muilla tavoin kuten pesemällä kaikkia levyjä määrätty aika.

Puhtaustestaus tulee suorittaa 1–2:lle komponenttilevyille jokaisesta valmistuserästä, ja ajan valmistusprosessista/pesusta puhtaustestaukseen tulee pysyä muuttumattomana. Näin voidaan varmistua tulosten vertailukelpoisuudesta valmistuserien välillä, koska epäpuhtaudet eivät ehdi kiinnittyä toisiin levyihin pidempää aikaa kuin toisiin.

Puhtaustestien tulokset tulee yksilöidä valmistuserittäin ja dokumentoida, ja ne tulee saattaa myös Vaisalan tietoon.

### **-Komponenttilevyjen pesu**

Koska luotettavia mittaustuloksia levyjen puhtaudesta ei tällä hetkellä ole saatavilla ja mitauselektroniikan komponenttilevyjen tulee oletusarvoisesti olla puhtaita, vaaditaan pesu suoritettavaksi kaikille levyille.



Komponenttilevyn mahdollinen pesu tulee suorittaa nopeasti levyn valmistuksen jälkeen, jotta siihen jääneet epäpuhtaudet eivät ehdi kuivua. Kuivuttuaan jäät eivät irtoa levyltä enää yhtä helposti. Sopivaa aikaa prosessista pesuun ei ole tarkemmin tutkittu, mutta käytännössä vaatimukseksi annetaan 15 minuuttia.

Pesu on suoritettava levyille sopivalla menetelmällä. Ultraäänen käyttö pesussa on oletusarvoisesti kielletty geneerisessä valmistusvaatimusdokumentissa, sillä se vaurioittaa osaa komponenteista. Pesussa käytettävän liuottimen (yleensä vesi-alkoholiseos) tulee olla puhdasta, ja se täytyy vaihtaa tai puhdistaa usein. Veden on oltava tislattua, jottei se vain tuo lisää epäpuhtauksia levyille.

Prosessista pesuun -ajan lisäksi myös itse pesun kestolla on merkittävä vaikutus saavutettavaan puhtauteen. Riittävä pesun kesto-aika on levykohtainen ja vaatii lisää tutkimusta puhtauden tasoista, mutta historian valossa 10–15 minuuttia todettiin riittäväksi pesuajaksi useimmissa tapauksissa. Vaatimuksissa minimipesuajaksi on annettu 10 minuuttia, tai niin kauan kuin sovitun puhtaustason saavuttamiseksi tarvitaan.

Geneerisissä vaatimuksissa valmistaja veloitetaan kehittämään seuranta- ja dokumentointimenetelmä, jolla tarkkaillaan juotosprosessista pesuvaiheeseen kulunutta aikaa tarvittaessa. Seuranta ja dokumentointia ei tarvitse suorittaa jatkuvasti, mutta menetelmän tulee olla käytettävissä heti kun tietoa ajoista halutaan saada.

Kuten kappaleessa 3.5.1 todettiin, itse tarkoitus ei ole pesu vaan sillä saavutettava puhtaus. Mikäli puhtaustaso voidaan määrätä yksiselitteisesti, tulee pesun kesto-aikaa ja aikaa prosessista pesuun sovittaa siten, että määrätty puhtaus saavutetaan. Pesu voidaan jättää kokonaan suorittamatta, kunhan vain puhtaus on riittävä ilman sitä. Tämä olisi valmistuskustannusten alentamisen kannalta hyvin toivottavaa, mutta vaatii tietoa siitä, riittääkö puhtaus ilman pesua.

### **-Tilastollinen prosessin hallinta eli SPC (Statistical Process Control)**

Valmistaja veloitetaan keräämään dataa levyjen valmistusprosessista ja jakamaan sitä tilaajan kanssa. Prosessissa ilmenneiden virheiden syyt, saanto, eri laitteissa ilmenneet ongelmat ja levyjen puhtaus ovat kaikki kiinnostavaa raakadataa. Kerätyn tiedon avulla prosessia voidaan tarkkailla tilastollisesti, sen ongelmakohtiin voidaan puuttua, ja sitä voidaan

parantaa. Tilastoja tarkkailemalla voidaan nähdä muutosten vaikutus prosessiin. Esimerkiksi juotepastan vaihtaminen voi vaikuttaa saavutettavaan puhtauteen, tai pastanpainokoneen lastan kuluminen voi vaikuttaa pastanpainon onnistumiseen. Havaitsemalla poikkeamia tilastoissa sekä tilaaja, jolle valmistaja lähettää tietoja, että valmistaja voivat tehdä johtopäätöksiä siitä, mitä prosessin kehittämiseksi voitaisiin mahdollisesti tehdä.

Olisi toivottavaa, että tilaaja ja valmistaja havainnoitsisivat tietoja, joita prosessista saadaan, ja toimisivat yhteistyössä pyrkiessään valmistamaan laadultaan parhaita mahdollisia komponenttilevyjä. Tämän vuoksi vaaditaan molempien osapuolten itsenäistä prosessin tarkkailua sekä havaitsemiensa poikkeamien analysointia ja raportointia toiselle osapuolelle.

### **-Pakkaus ja kuljetus**

Levyjen pakkaukselta odotetaan, että levyt eivät pääse kuljetuksen aikana kolhimaan toisiinsa. Ylimääräiset kolhut ja mahdollisesti terävien kulmien osuminen pieniin komponentteihin saattaisivat irrottaa niitä. Tämän vuoksi vaaditaan, että levyt pakataan kuplamuovilla pehmustettuihin ESD-suojattuihin laatikoihin, joissa kukin levy on omassa osastossaan. Osastojen tulee olla niin pieniä, etteivät levyt mahdu liikkumaan niissä ylen määrin.

### **-Jäljitettävyys**

Komponenttilevyjen jäljitettävyttä pyritään kehittämään vaatimalla entistä parempaa dokumentointia levyjen valmistuksessa käytettyjen materiaalien ja komponenttien tiedoista ja valmistuseristä. Valmistajan ei tarvitse lähettää tietoa tilaajalle jatkuvasti, mutta tiedot kunkin komponenttilevyerän valmistuksessa käytettyjen komponenttien ja materiaalien valmistajista ja valmistuseristä tulee olla saatavilla myöhemmin, mikäli niille ilmenee tarvetta. Jäljitettävyttä käsiteltiin tarkemmin kappaleessa 4.9.

### **-Sähköinen testaus**

Koska kappaleessa 5.3.2 esitetty keinottelu piikkimattotarkastuksen läpäisemiseksi testiä toistamalla halutaan estää, rajoitetaan sallittu piikkimattotestien määrä viiteen testaukseen, ja mikäli tarkastaja havaitsee, että useat levyt ovat erityisen lähellä raja-arvoja, hänen tulee ilmoittaa asiasta eteenpäin. Kyseessä saattaa olla valmistuksessa tapahtunut virhe tai komponenttien tai suunnittelun ongelma, joka tulee selvittää.

### **-Tieto tuotekohtaisen osan ensisijaisuudesta**

Epäselvyyksien välttämiseksi geneerisessä osassa todetaan, että valmistusvaatimusdokumentin tuotekohtaisessa osassa mahdollisesti esitetyt vaatimukset ohittavat tärkeysjärjestyksessä geneerisen osan vaatimukset samasta aiheesta.

### **Osa 2: Tuotekohtainen osa**

Tuotekohtainen osa sopimuksessa esitettävistä valmistusvaatimuksista päätettiin pitää mahdollisimman vähän muokkausta vaativana, jotta jokaiselle erillisvaatimuksia kaipaavalle levyille ei tarvitse kirjoittaa täysin omaa erillisvaatimuspaperiaan. Asiaa lähestytään tarjoamalla useimmiten tarvittavat poikkeamat geneerisestä vaatimusdokumentista esitetyinä. Suunnittelija tai jokin muu taho, joka päättää jonkin tietyn levyn valmistusvaatimuksista, voi valita valmiiksi esitetyistä poikkeusvaihtoehdoista tarvitsemansa yksinkertaisesti rukoamalla kyseisen kohdan. Jos aiheesta ei tehdä yhtään valintaa, määrää geneerinen osa kyseisen aiheen vaatimuksen.

Mikäli valmistukselle annetaan erillisvaatimuksia, joita ei ole dokumentissa ennalta tarjottu, nämä voidaan kirjata perinteisesti kirjoittamalla. Jos uusi erillisvaatimus vaikuttaa sellaiselta, että sitä kannattaa käyttää useamman levyn kohdalla, kyseiselle vaatimukselle voidaan tehdä esitetyt kohta valmistusvaatimusdokumentin tuotekohtaiseen osaan tai se voidaan kirjata jopa kaikille levyille yhteiseen geneeriseen osaan. Tällöin tulevia sopimuksia tehtäessä kyseistä vaatimusta ei aina tarvitse kirjoittaa uudestaan käsin, eikä se pääse unohtumaan.

Valmistusvaatimusdokumentin tuotekohtaisessa osassa seurataan samaa järjestystä vaatimusten aiheissa kuin geneerisessä osassakin. Näin geneeriseen osaan tehtävät poikkeukset on helppo havaita, ja tuotekohtaisen osan lukeminen on helppoa. Tarjolla on geneerisestä osasta poikkeavia puhtaustasoja ja vaihtoehtoisia standardeja, joiden perusteella jokin osa valmistuksesta tulee hoitaa. Tuotekohtaisessa osassa on poikkeusten lisäksi esitetyinä myös muutamia lisäyksiä geneerisiin vaatimuksiin. Tällaisia ovat esimerkiksi komponenttilevyjen lakkaus ja lisäpehmusteiden käyttö levyjen pakkaamisessa. Kun esitetyt lisävaatimukset koskevat alle puolta levyistä, niiden kirjaaminen geneerisiin vaatimuksiin ei ole aiheellista.

Seuraavassa esitellään valmistusvaatimuskirjeen tuotekohtaisen osan rakenne ja kerrotaan, missä tilanteissa mikäkin erityisvaatimus kannattaa tehdä.

#### **-Visuaalisen hyväksymisen standardi piirilevyille**

Kun valmistusvaatimuskirjeen geneerisessä osassa vaaditaan IPC-A-600 -hyväksymisstandardin tasoa 2, annetaan tuotekohtaisessa osassa vaihtoehtoisiksi tasot 1 ja 3. Näitä voidaan käyttää, mikäli levyn käyttökohde tai siltä vaadittava elinikä eroaa huomattavasti "normaaleista" Vaisalan laitteista. Lisäksi historiallisista syistä tarjotaan vaihtoehtoisiksi Vaisalassa pitkään käytössä ollut standardi IEC-62-326 piirilevyjen valmistukselle. Myös muille mahdollisille standardeille on varattu tilaa, mikäli suunnittelijalla on jokin muu hyväksymisstandardi tai -menetelmä mielessään.

#### **-Visuaalisen hyväksymisen standardi komponenttilevyille**

Geneerisessä osassa vaaditun IPC-A-610 -hyväksymisstandardin toisen tason vaihtoehtoisiksi tarjotaan tuotekohtaisessa osassa samaisen standardin tasot 1 ja 3 sekä J-STD-001 -hyväksymisstandardia kaikkine kolmine laatutasoineen. Vaihtoehtoja voidaan käyttää, mikäli levyn käyttökohde tai vaadittava luotettavuus poikkeaa Vaisalan "normaaleista" komponenttilevyistä, samoin kuin piirilevyn hyväksymisstandardin kanssa oli. J-STD-001 -standardin vaatiminen voi olla aiheellista, mikäli valmistajalla ei syystä tai toisesta ole IPC-A-610 -standardia käytössään, tai mikäli halutaan ottaa tarkemmin kantaa valmistuksessa käytettyihin materiaaleihin ja menetelmiin suoraan hyväksymisstandardissa.

#### **-Levyjen puhtaus**

Kun geneerisessä osassa tyydytään vaatimaan kaikilta levyiltä  $1,56 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ :n NaCl-vastaavuutta puhtauden osalta, rajoitetaan siinä pelkän ROSE-testimenetelmän käyttöön. Tuotekohtaisessa osassa annetaan vaihtoehtoiset raja-arvot ROSE-testillä suoritettavalle puhtaustarkastukselle. Kyseistä  $1,56 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  pidetään nykyisin melko epäpuhtaana, joten vaihtoehtoisiksi annetaan erittäin suurta puhtautta vaativille komponenttilevyille  $0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ :n puhtaustaso sekä vaihtoehto, jossa puhtaudella ei ole merkitystä.

Tuotekohtaisessa osassa on mahdollista vaatia SIR-testin käyttöä puhtauden määrittämiseen. SIR-testin raja-arvoksi annetaan pienin sallittu vastusarvo, joka testissä tulee saavuttaa riittävän puhtauden varmistamiseksi. Tätä aihepiiriä on kuitenkin toistaiseksi tutkittu yrityksen sisällä niin vähän, että mitään raja-arvoja ei toistaiseksi ole osattu antaa.

### **-Levyjen pesu**

Geneerisessä osassa vaaditaan pesuajaksi vähintään 10 minuuttia, ja aikaa prosessista pesuun saa kulua korkeintaan 15 minuuttia, jottei lika pääse jähmettymään levyille. Mikäli levyllä on elektroniikkaa, joka on herkkää levyn dielektristen ominaisuuksien muutoksille, voi olla tarpeen kiristää aikoja prosessista pesuun entisestään. Tämä voidaan tehdä tuotekohtaisten vaatimusten avulla.

Erityistä puhtautta vaativat kaksipuoliset levyt voidaan vaatia pestäväksi ensimmäistä kertaa jo kun niiden ensimmäisen puolen komponentit on kiinnitetty, jolloin levyn valmiilla puolella olevat epäpuhtaudet eivät ehdi jähmettyä kiinni levyn toisen puolen prosessoinnin aikana. Toisen puolen prosessoinnin jälkeen pesu suoritetaan uudestaan. Tällä menetelmällä pyritään takaamaan korkea puhtauden taso levyille, joille se on erityisen tärkeää.

Vaihtoehtona mainitaan myös pesemättä jättäminen. Tämä sopii levyille, joiden kustannukset halutaan pitää matalana tai joiden puhtaudella ei ole juuri mitään merkitystä.

### **-Levyjen pinnoitus/lakkaus**

Komponenttilevyt, joita käytetään kosteissa olosuhteissa, tulee lakata, mikäli se vain on taloudellisesti järkevää. Lakkaus määrätään aina erikseen, mikäli sitä tarvitaan, sillä vaikka levyjen luotettavuuden kannalta lakkaus olisi muillekin korteille suotavaa, se on kallista suorittaa tarvittavien suojausten ja työmäärän vuoksi. (Suojuuksia tarvitaan alueille, joihin ei haluta lakkaa. Tällaisia alueita ovat muun muassa liittimet.) Lakkaustapa määritellään erikseen, joskin se määräytyy myös valmistavan yrityksen mahdollisuuksien mukaan. Perinteisesti lakka levitetään siveltimellä, mutta mustesuihkutulostimen tavoin toimivat automaattiset lakkauslaitteet saattavat tulevaisuudessa yleistyä madaltaen lakkauksen kustannuksia ja rima sen teettämiseksi.

Mikäli valmistajalla on käytössään tarkka laitteisto spray-lakkaukseen, ei kalliita suojuuksia tarvita levyille, ja lakkaus voidaan määrätä myös levyille, joille normaali lakkaus on taloudellisesti kannattamatonta.

Ohjeet lakkauksesta toimitetaan erikseen. Niissä esitetään lakattavat ja suojattavat alueet levyiltä.

### **-Komponenttilevyjen pakkaaminen**

Tuotekohtaisessa osassa voidaan vaatia lisäsuojauksia levyille normaalin paketoinnin lisäksi käärimällä jokainen levy omaan kuplamuovipussiinsa.

### **-Muut asiat**

Mikäli suunnittelija tai tilaaja keksii lisävaatimuksia levyilleen, niitä voidaan kirjata tuotekohtaiseen osaan erikseen.

## **9.3.2 Esimerkkejä valmistusvaatimusten asettamisesta**

Tässä kappaleessa esitellään kolme toisistaan huomattavasti poikkeavaa komponenttilevyä, joiden valmistusvaatimusten asettamista tarkastellaan ja valintojen syitä perustellaan. Näiden esimerkkien valossa suunnittelija voi tehdä perusteltuja valintoja omien levyjensä valmistusvaatimuksiksi.

### **Tapaus 1: HMT-330**

Kuvassa 19 esitelty levy on käytössä Vaisalan HMT-330 -teollisuuslähettimessä. Teollisuuslähetin ottaa vastaan mittaustietoja anturilta ja jakaa niitä erilaisilla lähdöillä eteenpäin. Teollisuuslähettimen käyttöikä on tarkoitettu pitkäksi, ja sen toiminnan keskeytyminen huoltotarpeiden vuoksi ei ole suotavaa. Lähetin saattaa tarkkailla ja ohjata muiden teollisuuden laitteiden toimintaa, joten sen toiminnan häiriöt saattavat olla taloudellisilta vaikutuksiltaan merkittäviä. Tämä viittaa komponenttilevyn hyväksymisessä joko IPC-A-610 tai J-STD-001 -standardin keskimmäiseen vaatimustasoon (taso 2) samoin kuin tyhjän piirilevyn hyväksymisstandardissa IPC-A-600.

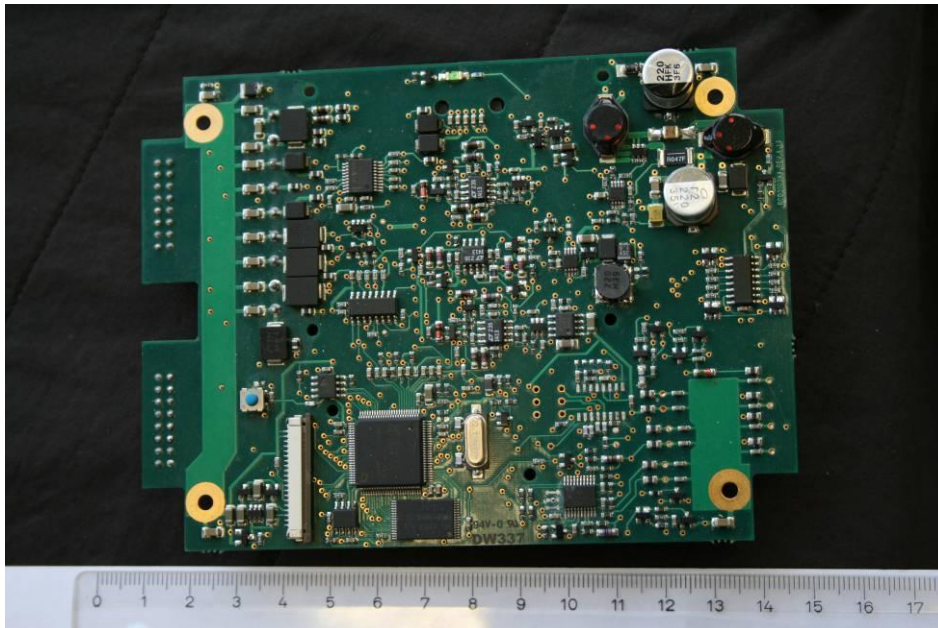
Laite asennetaan paikoilleen joko sisä- tai ulkotiloihin, joten se saattaa joutua toimimaan hyvin vaihtelevissa olosuhteissa. Koska tämän lisäksi laitteen käyttöikä tulee olla pitkä ja teollisuuslähettimet eivät ole erityisen halpoja tuotteita, on levyn lakkaus erittäin hyvin perusteltua.

Jotta komponenttilevyllä ei ajan kuluessa esiintyisi sähköisiä häiriöitä aiheuttavien dendriittien kasvua, levyn tulee olla puhdas. Myös lakkaus onnistuu paremmin puhtaalle pinnalle. Koska levyllä käsitellään mittaustietoja levyn sähköisille ominaisuuksille herkässä muodossa, puhtauden tulee olla korkealla tasolla. Näin ollen valmistusvaatimusedokumentin generisessä osassa esitettyä  $1,56 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ :n NaCl-vastaavuutta voidaan pitää puhtauden vähim-

mäisvaatimuksena. Mikäli puhtauden tasoa ei pystytä tarkistamaan, levy tulee edes jonkinlaisen puhtaustason saavuttamiseksi pestä normaalilla menettelyllä.

Levyllä ei ole kuljetuksen tärsähtelylle erityisen herkkiä komponentteja, joten yksilöllistä kuplamuovipakkausta ei tarvita.

Valmistusvaatimusdokumenttiin viitaten levyn vaatimukset poikkeaisivat geneerisistä ainoastaan pinnoituksen osalta. Pelkästään levyn lakkaus tulee siis vaatia erikseen.



**Kuva 19: HMT-330:n komponenttilevy**

## **Tapaus 2: Barometrmoduuli PMB100**

Vaisala tarjoaa muiden laitevalmistajien käyttöön barometrmoduuli PMB100:n (kuva 20), joka voidaan asentaa vapaasti mihin elektroniikkakokoonpanoon tahansa. Moduuli on koteloinaton komponenttilevy, joka tarjoaa ilmanpaine-tiedon. Se yhdistetään painetietoa tarvitsevaan komponenttilevyyn tai laitteeseen sellaisenaan. Mittauksen luonteen johdosta puhtaudesta riippuva komponenttilevyn dielektrisyys vaikuttaa mittaustulokseen. Tämän vuoksi levyn on syytä olla mahdollisimman puhdas, ja on aiheellista esittää poikkeusvaatimus  $0,2\mu\text{g}/\text{cm}^2$ :n NaCl-vastaavuudesta. Mikäli puhtaustestilaitteistoa NaCl-vastaavuuden selvittämiseen ei ole käytettävissä, vaaditaan levyllä normaalia perusteellisempi pesuprosessi, jossa pesu suoritetaan komponenttilevyn eri puolien valmistuksen välillä sekä jälkimmäisen puolen valmistuksen jälkeen. Koska levyä voidaan käyttää hyvin vaihtelevissa olosuhteissa ja kovalla työllä saavutettua korkeaa puhtaustasoa tulee vaalia, vaaditaan levyn lakkausta.

Juoteliitosten ja komponenttien asettelun onnistumisen osalta levyllä riittää hyvin teollisuuselektronikan tarpeet kattava IPC-A-610 -hyväksymisen standardin toinen taso, eikä poikkeuksia tarvitse sen osalta tehdä. Sama pätee piirilevyllä.

Valmistusvaatimuskirjeen generisen osan lisäksi tämän levyn kohdalla on esitettävä tuotekohtaisina vaatimuksina korkeampi  $0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ :n puhtaustaso, perusteellisempi pesuprosessi ja lakkaus.



**Kuva 20: Barometrimoduuli PMB100 [74]**

### **Tapaus 3: Kosteus ja lämpötilamittapää HMP50**

Mittapää kuten kuvassa 21 esitetty kosteus- ja lämpötilamittapää HMP50 kytetään laitteeseen, joka käsittelee mittaustietoja. Tällaisia ovat muun muassa teollisuuslähettimet ja kannettavat käsimittarit. Mittapää ovat yksinkertaisuutensa ansiosta edullisia suhteessa laitteisiin, joihin ne kiinnitetään. Niitä käytetään hyvin vaihtelevissa olosuhteissa, ja niihin voi kohdistua mekaanisia rasituksia. HMP50-mittapää koostuu anturista ja siihen kytkettävästä elektroniikasta. Mittapään anturi voidaan tarvittaessa vaihtaa uuteen joutumatta vaihtamaan laitteen muita osia.

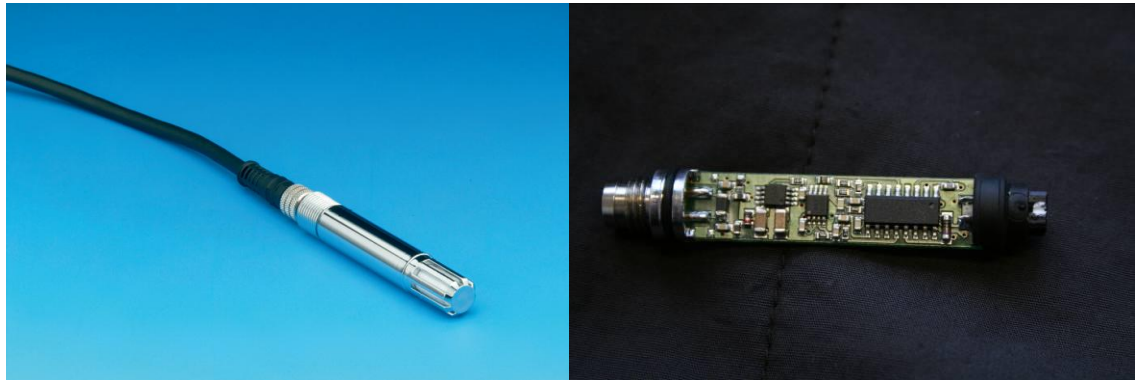
Komponenttilevyn alhaisen hinnan takia voidaan pohtia jopa alimman hyväksymistason käyttämistä IPC-A-610 -standardissa. Tämä ei kuitenkaan tuottaisi merkittäviä hintaetuja ja



voisi heikentää mittapään käytönkestävyyttä ja elinikää siinä määrin, että riskinotto ei kannata. Näin ollen yleisesti käytettävän hyväksymistason käyttöä vaaditaan tällekin levyille. Jotta levy olisi luotettava pidemmän aikaa, komponenttilevyn dendriittien kasvu tulee pyrkiä estämään vaatimalla kohtuullista puhtautta. Kohtuullisena voidaan pitää valmistusvaatimusdokumentin geneerisessä osassa käytettävää  $1,56 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ :n NaCl-vastaavuutta tai normaalia pesuprosessia, mikäli tarkempia puhtaustietoja ei ole tarjolla.

Vaikka mittapään komponenttilevyä käytetään hyvin paljon toisistaan poikkeavissa ja vaikeissa olosuhteissa, hintapaineet ovat kovat eikä levyn lakkaus nykyisellään ole taloudellisesti kannattavaa. Mikäli pinnoituksessa käytettävä automaatio lisääntyy tulevaisuudessa ja lakkauksen hinta putoaa sen johdosta merkittävästi, lakkaus olisi ehdottomasti suotavaa myös tälle levyille. Komponenttilevyllä ei ole osia, joita taipuminen tai kevyt koskettaminen voisi vaurioittaa, joten normaalista poikkeavaa varovaisuutta ei tarvita edes tuotteen pakauksessa.

Nykyisellään tämä komponenttilevy ei vaadi mitään tuotekohtaisia lisäyksiä valmistusvaatimusdokumentin geneerisen osan ohelle.



**Kuva 21: Kosteus- ja lämpötilamittapää HMP50 [vasen kuva: 75]**

### 9.3.3 Sisäisiä ohjeita

Komponenttilevyn suunnitellut elektroniikkasuunnittelija tuntee levyn käyttökohteen hyvin. Tässä luvussa esitetään ohjeita, joista saattaa olla apua suunnittelijan tai muun levyjen valmistusvaatimuksista päättävän henkilön määrittellessä levyjen valmistusvaatimuksista. Tarkoituksena on, ettei suunnittelijan tarvitse itse ottaa millään tavalla kantaa valmistusmenetelmiin, joita käyttämällä hänen asettamansa vaatimukset täytetään. Suunnittelijan täytyy

vain tietää, missä tilanteessa mikäkin vaatimus on aiheellinen. Luvussa esitetään yleisiä asioita, joita levyä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, jotta valmistusvaatimuksista saataisiin mahdollisimman yksinkertaiset ja niiden mukainen valmistaminen olisi edullista.

### **Ohje 1: IPC-A-610 tai J-STD-001 -standardien tason valinta**

Päätettäessä valmistuksen hyväksymisstandardin vaatimustasosta tulee ensisijaisesti ottaa huomioon komponenttilevyn käyttökohde. Elektroniikkasuunnittelu sinällään ei vaikuta juurikaan hyväksymisstandardien tasovaatimuksiin, sillä näissä standardeissa tarkistellaan lähinnä sitä, kuinka hyvin komponenttilevyn valmistus juotoksineen on onnistunut prosessin *jälkeen*. Suunnittelulla voidaan kuitenkin vaikuttaa siihen, kuinka helppoa levyn valmistus on. Tätä niin kutsuttua valmistettavuussuunnittelua (Design for Manufacturing) ei käsitellä tässä työssä muuten kuin valmistusvaatimusten asettamiseen liittyviltä osin.

Kuten todettua, komponenttilevyn valmistuksen hyväksymisen standardit on jaettu kolmeen vaativuustasoon, jotka on esitelty luvussa 4.2.4. Taso on useimmilla valmistajalla oletuksen mukaisesti taso 2 joko IPC-A-610 tai J-STD-001 -standardin mukaan. Tämä taso on tarkoitettu elektroniikalle, jonka tulee olla luotettavaa mutta jonka hajoaminen ei aiheuta kenellekään hengenvaaraa. Vaisalan tyyliselle elektroniikalle ja mittauselektroniikalle tasoa 2 voidaan pitää yleensä riittävänä, mutta mikäli komponenttilevyä suunnitellaan erityisen kovaan käyttöön, voidaan harkita tasoa kolme. Korkeampi vaatimustaso nostaa luonnollisesti valmistuksen hintaa, ja hintaero voi vaihdella levystä riippuen noin 30 %:sta ylöspäin.

### **Ohje 2: Levyn puhtausvaatimusten valinta**

Levyn puhtausvaatimusten asettamiseen vaikuttavat levyllä oleva elektroniikka ja levyn käyttöympäristö. Epäpuhtauksien vaikutuksia on käsitelty luvussa 3.5.1. Puhtauden vaikutukset ovat levykohtaisia, ja kullekin levyllä oikeat puhtauden raja-arvot tulisi määrittää joko yläkanttiin tai tutkimuksen pohjalta. Myös puhtauden testaustapa vaikuttaa, sillä eri testimenetelmillä ja laitteistoilla saadut epäpuhtausmäärät eivät välttämättä vastaa toisiaan, kuten kappaleessa 5.2 on kerrottu. ROSE-testiä käytettäessä voidaan kohtuullisen puhtauden arvona pitää 1,56 µg tai matalampaa NaCl/cm<sup>2</sup>:n vastaavuutta, ja tätä voidaan käyttää alkuvaatimuksena levyillä, joiden tulee olla puhtaita. Mikäli levyjen dielektristen ominaisuuksien erot eivät vaikuta merkittävästi niiden toimintaan, puhtauden tasosta voidaan joustaa. Vastaavasti jos elektroniikka on erityisen herkkää komponenttilevyn dielektrisyiden muutoksille, levyn puhtausvaatimusta tulee kiristää 0,2 µg/cm<sup>2</sup>:n NaCl-vastaavuuteen,

jota pidetään hyvän puhtauden tasona. Alla on esitelty muutamia erityyppisiä levyjä ja niille esitettyjä vaatimuksia puhtauden suhteen.

***Mittauselektroniikkaa tai herkkää analogielektroniikkaa sisältävä levy:***

Levyn tulee olla mahdollisimman puhdas, ja sille sallitaan enintään 0,2 µg/cm<sup>2</sup>:n NaCl-vastaavuus IPC-TM-650:n mukaisessa ROSE-testauksessa (kappale 5.2.3), ellei tarkempaa tutkimustietoa ole saatavilla. Arvo voidaan sopia valmistajan kanssa myös muuksi käytössä olevan testauslaitteiston mukaan. Tavoitteena näillä levyillä on erittäin suuri puhtaus.

***Vaihtelevissa ulkotiloissa toimiva levy, jossa levyn dielektriset ominaisuudet eivät vaikuta juurikaan levyn toimintaan:***

Puhtaampi on aina parempi, mutta puhtauden ei tarvitse olla yhtä korkea kuin edellisessä tapauksessa. Alle 1,56 µg/cm<sup>2</sup>:n NaCl-vastaavuus tulee saavuttaa, jotta epäpuhtaudet eivät alentaisi levyn pitkäaikaista luotettavuutta elektronimigraation, dendriitin kasvun tai muiden kappaleessa 3.5.1 mainittujen ongelmien myötä.

***Tasaisissa olosuhteissa toimivat levyt, joilla ei ole vaikutusta mittauksiin:***

Alle 1,56 µg/cm<sup>2</sup>:n NaCl-vastaavuus, jotta levyn elinikä olisi pitkä.

**Ohje 3: Missä tilanteissa levy tulee pestä?**

Komponenttilevy joudutaan pesemään, mikäli on aiheellista epäillä, että levyn puhtaus ei ole riittävä ilman pesua. Mikäli levy on riittävän puhdas ilman pesua, se kannattaa jättää väliin. Tässä kappaleessa on esitelty tilanteita, jolloin pesu kannattaa tehdä tai jättää tekemättä.

Vaikka komponenttilevyn pesussa pääasiana on usein ionisten epäpuhtauksien vähentäminen eli NaCl-vastaavuuden pienentäminen sähköisten ongelmien minimoimiseksi, pesulla saavutetaan muitakin kappaleessa 3.5.1 esiteltyjä hyötyjä.

Koska aaltojuotosprosessissa levyille pääsee ylimääräistä juoksutetta, levy pestään aina tämän prosessin jälkeen. Jotta pesua ei tarvita, levy on valmistettava reflow-prosessilla, joka puolestaan vaatii pintaliitoskomponenttien käyttöä. Mikäli pesu halutaan välttää, on käytettävä pelkästään pintaliitoskomponentteja ja vaadittava valmistajalta no-clean -juotteiden

käyttöä. Seuraavaksi listataan tilanteita, joissa levyn pesu kannattaa suorittaa tai jättää suorittamatta.

### ***Levy tulee pestä***

- aina jos prosessiin kuuluu aaltojuottamista (fluksijäämien poisto, kappale 3.5.1)
- aina käsinjuottamisen tai selektiivijuotosvaiheita sisältävän prosessin jälkeen
- jos juottamiseen käytetään muita kuin no-clean -flukseja
- mikäli levy ei no-clean -fluksista ja reflow-juottamisesta huolimatta täytä puhtausvaatimuksia
- jos puhtausvaatimuksia ei voida todentaa ja levyllä vaaditaan suurta puhtautta
- jos levy pinnoitetaan (lakka tarttuu paremmin puhtaaseen levyyn)

### ***Pesu ei välttämättä ole tarpeen***

- jos koko levy on valmistettu reflow-prosessilla no-clean -flukseja käyttäen
- puhtauden riittävyys voidaan todentaa
- puhtaudella ei ole väliä, kunhan levy toimii (ei siis pitkäikäisiksi tarkoitetuille levyille)

Höyryfaasijuottamisessa pesutarve määräytyy höyryn koostumuksesta ja käytettävästä juotepastasta, jonka tulee olla no-clean -tyyppistä.

### **Ohje 4: Milloin levy kannattaa lakata?**

Mikäli laite, jossa komponenttilevyä käytetään, aiotaan sijoittaa ulkotiloihin, joissa kosteus ja lika saattavat päästä kotelon sisälle komponenttilevylle, levyn lakkauksella voidaan hidastaa näiden vaikutusta. Suurta puhtautta vaativat levyt tulee aina lakata, jotta niiden ominaisuudet pysyvät mahdollisimman stabiileina ajan kuluessa, eivätkä uudet epäpuhtaudet pääse levyille.

Pinnoitus vaatii maskin suojaamaan liittimien aukkoja, sillä pinnoite aiheuttaa kosketushäiriöitä. Maskien valmistus ja käyttö puolestaan on hidasta ja maksaa. Tämän vuoksi levyjä, jotka eivät ole erityisen arvokkaita tai eivät joudu alttiiksi kaikkein vaativimmille olosuhteille, voidaan jättää lakkaamatta. Mikäli lakkauksen hinta ja hankaluus vähenevät uusien ohjelmoitavien ja maskeja tarvitsemattomien laitteistojen myötä, kynnys pinnoitukselle madaltuu huomattavasti entisestä. Seuraavassa esitetään tiivistetysti, millaisissa tilanteissa lakkaus kannattaa ja millaisissa ei.

***Kannattaa ehdottomasti lakata:***

- suurta puhtautta vaativat komponenttilevyt, joissa on herkkää mittaus- tai analogielektronikkaa
- levyt, joiden arvo on korkea ja oletettu käyttöikä pitkä
- levyt, joiden pitkäaikainen stabiilius on tärkeää

***Mielellään lakattavia, harkinnan mukaan:***

- kaikki levyt, joita käytetään ulkona sijaitsevilla laitteilla

***Lakkaus ei ole kovinkaan kannattavaa:***

- erityisen halvat levyt
- levyt, joiden puhtaudella ei ole paljoakaan väliä/vaikutusta
- "kertakäyttö-" tai lyhyen käyttöikäisten laitteiden levyt
- puhtaissa sisätiloissa olevien laitteiden levyt

**Ohje 5: Levyn pakkauksen vaihtoehdot**

Normaalisti levyt pakataan osastoihin jaettuihin ESD-suojattuihin laatikoihin siten, että yhdessä osastossa on yksi levy. Tällöin levyä suojaavat kuplamuovipehmusteet pohjassa ja kannessa sekä pahvi- tai muoviseinämät reunoilla, kuten kuvan 22 laatikossa. Levyjen pakkaamista samaan osastoon tulee välttää, vaikka se olisikin mahdollista. Mikäli levyjä kuitenkin esimerkiksi niiden hyvin pienestä koosta johtuen halutaan pakata useampia samaan osastoon, jokainen levy tulee kääriä erikseen kuplamuoviin, jotta ne eivät liikkuessaan pääsisi törmäilemään ja vaurioittamaan toisiaan. Lisäpehmusteita voidaan vaatia käytettäväksi myös silloin, kun jokin levyllä oleva osa on syystä tai toisesta erityisen herkkä kolhuille.



**Kuva 22: ESD-suojattu pakkauslaatikko välilokeroituna, pohjalla kuplamuovipehmuste. Levyjä käsitellään puhtailla ESD-hansikkailla.**

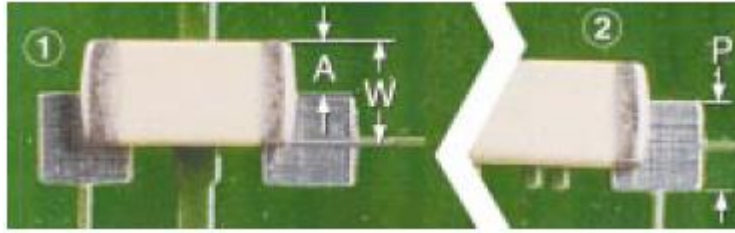
#### **9.3.4 Yleisiä suunnittelusääntöjä**

Tässä kappaleessa käsitellään yksittäisiä suunnitteluasioita, jotka vaikuttavat komponenttilevyjen valmistuksen onnistumiseen. Nämä yleiset asiat ovat hyvin tunnettuja elektroniikka-alan henkilöiden keskuudessa, mutta niiden esittely ja kertaus saattaa silti olla hyödyksi aina silloin tällöin.

##### **Sääntö 1: Komponenttien välinen etäisyys**

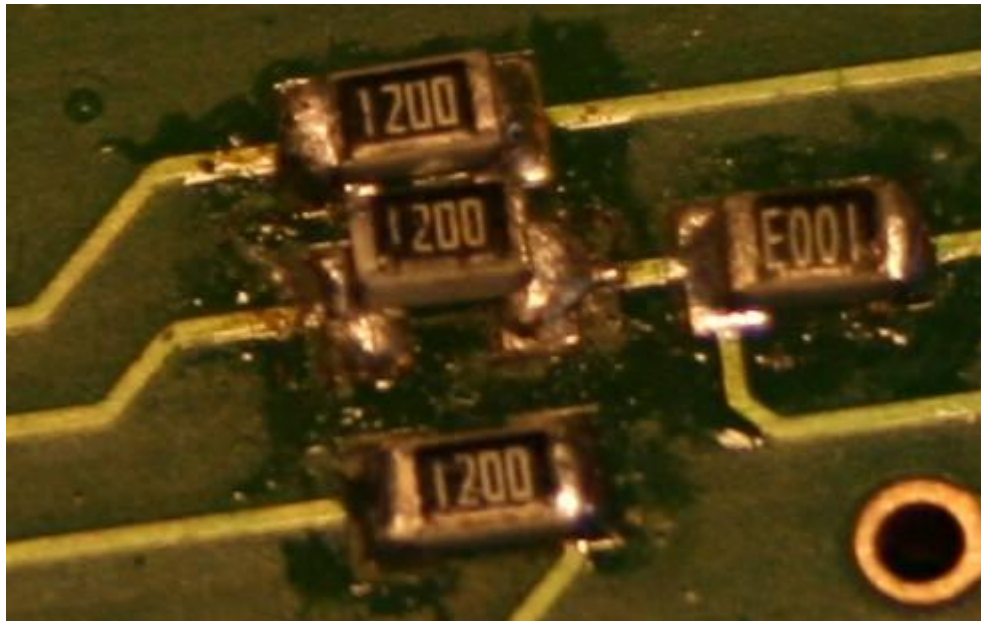
Koska piirilevyn piirustusten mukaisuus tulee tärkeysjärjestyksessä ennen hyväksymisstandardeja, erityisen tiheään ladotuilla komponenttilevyillä voi käydä niin, että vaikka levyn valmistussopimuksessa laaduksi olisi sovittu IPC-A-610 -standardin taso 2, täytyy ladonnan olla standardissa esitettyä tarkempaa, jotta komponentit eivät olisi liian lähellä toisiaan. Tällöin valmistuksen hinta saattaa nousta IPC-A-610 -standardin tason 2 hintaa korkeammaksi. Komponenttien asettamista liian lähekkäin tuleekin välttää mikäli mahdollista. Asiaa selvennetään seuraavaksi.

IPC-A-610 -standardin tasot 1 ja 2 sallivat pintaliitoskomponenteille ladontavirheen, jossa 50 % komponentin kontaktialueesta on sivussa juotealustalta (kuva 23 osa 1), kun taas taso 3 sallii vain 25 %:n sivuttaisyliityksen (Kuva 23 osa 2). [41 kappale 8.2.2.1]



**Kuva 23: IPC-A-610D kuva komponenttien ladonnan suurimmista sallituista sivuttais-poikkeamista eri vaatimustasoilla. Kuvan ensimmäisessä osassa vaatimustasot 1 ja 2, toisessa osassa taso 3. [41 kappale 8.2.2.1, kuva 8-12 (IPC:n omaisuutta, julkaistu IPC:n luvalla)]**

Vierekkäiset komponentit saattavat joutua liian lähelle toisiaan ladonnassa tapahtuneen virheen vuoksi. Jos levyn piirustuksissa määritelty komponenttien välinen minimietäisyys alittuu, levy hylätään piirustusten vastaisena, vaikka hyväksymisstandardin osalta sivuttais-poikkeama olisi hyväksyttävissä. Alla olevassa lavastetussa kuvassa 24 on esitetty, minkälaisen vaaran liian lähekkäin sijoitellut komponentit aiheuttavat: sähköisen kontaktin syntyminen vastusten välille on hyvin lähellä, jos jokin kolmesta komponentista siirtyy sivusuunnassa noin 50 % leveydestään.



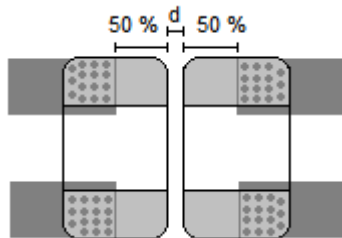
**Kuva 24: Tässä lavastetussa ladontavirheessä vastus on siirtynyt sivuttaissuunnassa noin 50 % leveydestään ja on vaarallisen lähellä viereistä komponenttia. Samassa kuvassa näkyy myös fluksijäämiä (kiiltävä läpinäkyvä aines) sekä huonosti tapahtunut juotteen kostutus (keskimmäisessä komponentissa)**

Mikäli komponenttilevyä suunnitellaan IPC-A-610D tai J-STD-001D -standardien luokkaan 2, tulee eri solmuissa sijaitsevien komponenttien sivuttaisetäisyyden toisistaan olla vähin-

tään puolet komponentin leveydestä, ja piirustustenmukainen sähköisen eristyksen minimietäisyys täytyy lisätä tähän etäisyyteen.

Jos komponenttilevy on tarkoitettu kolmanteen vaatimusluokkaan, sivuttaisetäisyyden juotealustojen välillä tulee olla vähintään 25 % komponentin leveydestä piirustustenmukaisen minimietäisyyden lisäksi.

On mahdollista, joskin hyvin epätodennäköistä, että kaksi vierekkäistä komponenttia siirtyvät vastakkaisiin suuntiin eli toisiaan kohti. Mikäli ladonnassa tapahtuu kohdennusvirhe esimerkiksi väärin asetetun kohdistusmerkin vuoksi, kaikki komponentit liikkuvat saman matkan samaan suuntaan. Jos levyllä on tilaa, suunnittelija voi kuitenkin ottaa huomioon myös epätodennäköisen "kaksoisladontavirheen" mahdollisuuden asettamalla komponentit etäämmälle toisistaan siten, että vaadittaessa tason 1 tai 2 valmistusta komponenttien juotealustojen välimatka on 100 % komponentin jalan leveydestä. Tämän lisäksi etäisyyteen tulee lisätä minimieristeväli kuvan 25 mukaisesti. Kolmannen tason mukaisessa valmistuksessa etäisyydeksi voidaan asettaa 50 % jalan leveydestä pienimmän mahdollisen eristevälin lisäksi. Tällöin levyjä ei tarvitse hylätä edes sellaisessa tapauksessa, jossa vierekkäiset komponentit ovat liikkuneet toisiaan kohti suurimman hyväksymisstandardin salliman matkan.



**Kuva 25: Komponenttien suurimman sallitun sivuttaispoikkeaman (tasot 1 ja 2) huomioon ottaminen, mikäli komponentit siirtyvät toisiaan kohti. Kuvassa d on pienimmän eristevälin pituus.**

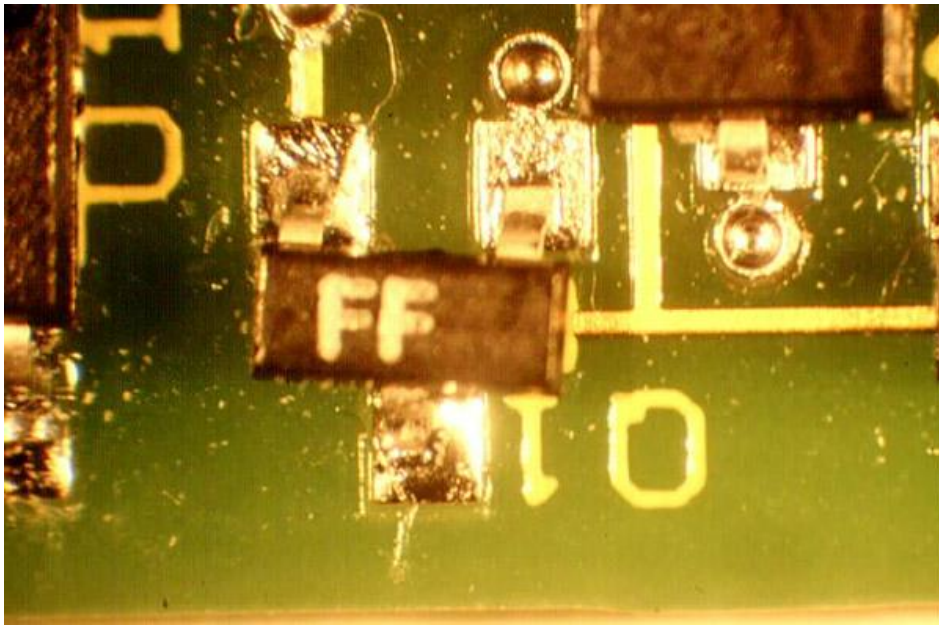
## Sääntö 2: Läpiviennit

Reflow-prosessissa valmistettavien levyjen läpiviennit tulee asettaa riittävän kauas juotealustoista, jotta juotepasta ei sulaessaan pääsisi leviämään alustalta läpivientiin, kuten kuvassa 26. Vähimmäisetäisyys läpiviennin reunan ja juotealustan välillä on onnistuneen juotoksen saavuttamiseksi 0,5 mm eli 0,02 tuumaa. [76] Vaikka tämä suunnitteluvirhe on



tunnettu jo kauan, se on vielä näinä päivinäkin hyvin yleinen etenkin kokemattomilla suunnittelijoilla.

Aaltojuottamista käytettäessä läpivientien etäisyydellä juotealustasta ei ole väliä, sillä vaikka juotetta menee läpivientiin, sitä riittää myös juotealustalle.



**Kuva 26: Läpivienti on liian lähellä juotealustaa, jolloin sulaa juote on päässyt valumaan juotealustalta läpivientiin jättäen komponentin jalan liian vähälle juotteelle. [77]**

### **Sääntö 3: Aaltojuottamista käytävissä valmistusprosesseissa huomioitavia asioita**

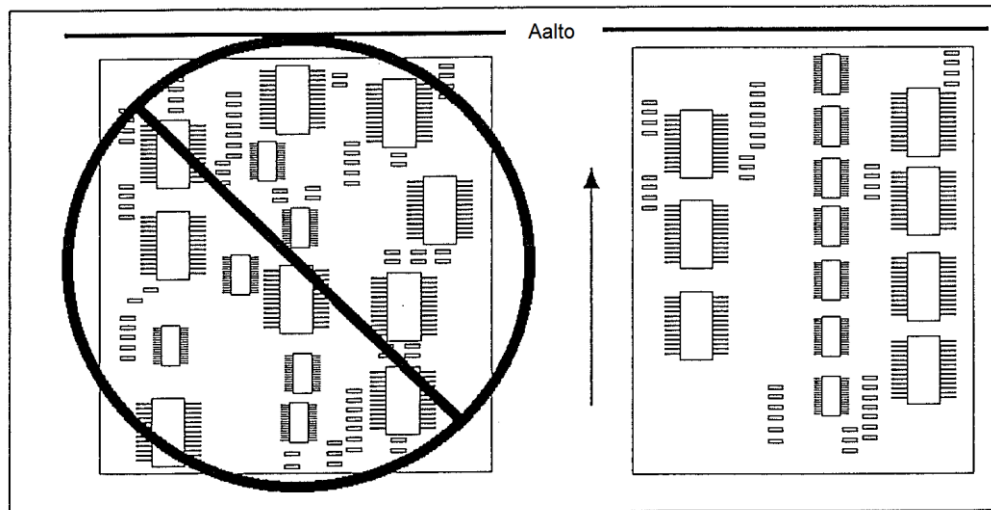
Vaikka aaltojuottamista vähennetään jatkuvasti, sitä käytetään vielä useissa tilanteissa. Seuraavien suunnitteluohjeiden mukaisella valmistuksella saavutetaan parhaat mahdolliset juoteliitokset komponenttilevyillä tai levyjen puolilla, jotka valmistetaan aaltojuotosprosessilla.

#### **-Varjostuksen huomiointi komponenttien asettelussa**

Aallon kohdatessa suuren komponentin, sen taakse jää "ilmatasku". Tällöin sanotaan, että komponentti *varjostaa* kyseistä aluetta. Mikäli komponentin varjossa on jokin toinen komponentti, on olemassa suuri riski sille, ettei varjostettu komponentti saa osakseen riittävästi juotetta. Tämän vuoksi levyt tai ne levyjen puolet, jotka on suunniteltu aaltojuotettaviksi, tulee suunnitella siten, että ensimmäisenä aaltoa koskettavat pienet komponentit, ja koko kasvaa levyn loppupäätä kohden. Tällöin komponentit eivät varjosta toisiaan ainakaan täysin pimentoon, ja juote pääsee leviämään helpommin kaikille komponenteille. Reflowjuottamisessa varjostus ei yleisesti ole ongelma. Mikäli kuitenkin reflow-uunin lämmitys

perustuu pelkkään infrapunasäteilyyn, varjostuminen estää säteitä lämmittämästä varjossa olevaa pintaa.

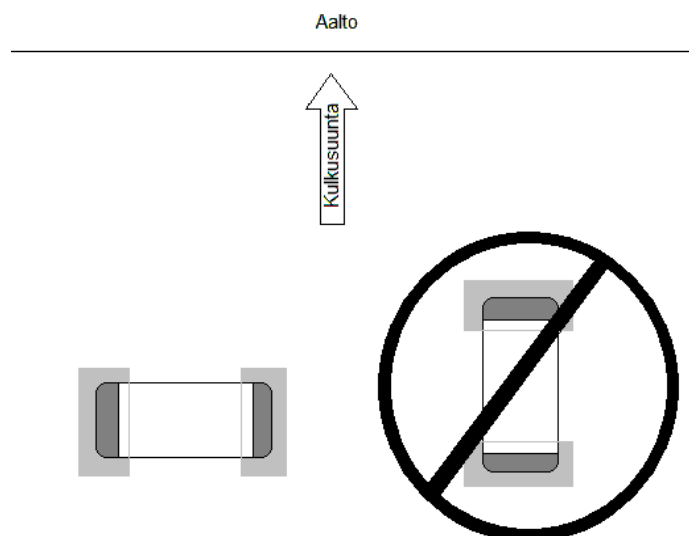
Aaltojuottamisessa juotoksen onnistumistodennäköisyys paranee myös, mikäli komponentit pystytään asettelemaan järjestykseen kuvan 27 mukaisesti. Tällöin komponentit eivät pääse varjostamaan toisiaan. [76]



**Kuva 27: Aaltojuotettavan levyn komponenttien oikeaoppinen asettelu parhaan juotostuloksen saavuttamiseksi [76]**

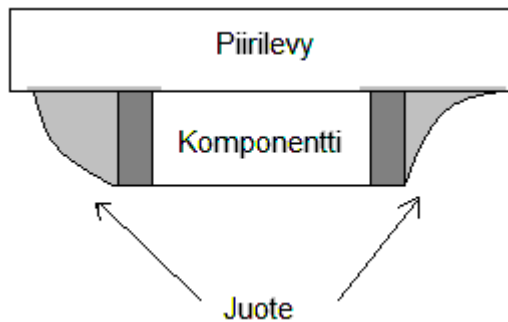
#### **-Komponenttien asento aaltojuotoksessa**

Mikäli komponenttilevyn valmistuksessa käytetään aaltojuotosta, tulee aallon puolelle sijoitettavat komponentit asettaa levyllä kuvien 27 ja 28 mukaisesti siten, että palakomponentit ja jalallisten komponenttien jalat ovat sivuttain aaltoon nähden.



**Kuva 28: Komponenttien asettelu aaltojuotosprosessia käytettäessä**

Kun komponentit tai jalat ovat sivuttain aaltoon nähden, komponentin molempiin päihin saadaan sama määrä juotetta, eikä kuvassa 29 esitettyä niin kutsuttua epätasaista täyttymistä (uneven fillet) tapahdu, koska komponentti itse ei ole varjostamassa omaa liitostaan. Reflow-juottamisessa komponentin asennolla ei ole juottamisen kannalta merkitystä. Samanmuotoiset komponentit kannattaisi kuitenkin asettaa samansuuntaisiksi keskenään, sillä tämä helpottaa ja nopeuttaa ladontaa.



**Kuva 29: Epätasainen täyttäminen aaltojuotoksen jäljiltä. Komponentti on varjostanut itseään, jolloin aallosta ei ole päässyt yhtä paljon juotetta komponentin taakse kuin sen eteen.**

#### **Sääntö 4: Reflow-juottamista käytävissä valmistusprosesseissa huomioitavia asioita**

Toisin kuin aaltojuottamiseen perustuvassa valmistusprosessissa, reflow-juottamisessa yleiset komponenttilevyjen suunnitteluohjeet koskevat pelkästään suoja-alueita, joille komponentteja ei sovi sijoittaa. Mikäli komponenttilevyt valmistetaan aihioissa tai levyt ovat itsessään niin suuria, ettei aihiota käytetä, tulee levyn suunnittelussa ottaa huomioon alueet, joihin komponentteja ei voi sijoittaa. Levyt, jotka valmistetaan ilman aihiota, kiinnitetään reflow-linjaston kuljettimeen reunoistaan. Tämän vuoksi levyn reunoille tulee jättää vähintään 5 mm tarttumatilaa, jossa ei ole komponentteja. Mikäli levyt valmistetaan aihioittain, aihion reunoilla on automaattisesti riittävästi tarttumatilaa, eikä yksittäisen levyn reunoille tarvitse välttämättä jättää yhtä runsaasti vapaata tilaa. Tilan jättämiselle voi kuitenkin olla muita perusteluita kuten komponenttilevyn ahdas asennuspaikka tai levyn käsittelyn helpottaminen. Aivan levyn reunalla olevat komponentit ovat alttiimpia ylimääräisille kosketuksille.

Mikäli levy tai aihio on niin suuri ja painava, että reflow-linjastolla tarvitaan erillistä tukea levyn keskivaiheille, tulee tuen alue jättää vapaaksi komponenteista. Tuen vaatima tila on useimmissa laitteissa 10 mm:n luokkaa.

## 9.4 Tulevaisuuden haasteet

Tulevaisuudessa tehtävät, tätä työtä koskevat toimenpiteet Vaisalassa liittyvät ennen kaikkea komponenttilevyjen puhtaustestaukseen. Puhtaustason vaikutuksia komponenttilevyjen toimintaan ja luotettavuuteen ei ole Vaisala Oyj:ssä tosimitieellä tutkittu, joskin on havaittu, että huonosti puhdistettujen levyjen normaalista poikkeavat sähköiset ominaisuudet ovat vaikuttaneet myös mittaustuloksiin.

Parhaassa tapauksessa pintaliitostekniikalla valmistettujen komponenttilevyjen pesusta voitaisiin tutkimusten tulosten perusteella luopua, mikäli puhtaus olisi riittävä ilman pesuakin. Tämä luonnollisesti alentaisi levyjen valmistuskustannuksia, joskaan tarkkaa tietoa alennusten määrästä ei annettu. Myös tieto siitä, onko nykyinen pesuprosessi liian lyhyt tai turhan pitkä riittävän puhtaustason saavuttamiseksi, olisi taloudellisesti merkittävä. Silmämääräinen tarkastus ei valitettavasti anna riittävän tarkkaa tietoa levyjen todellisesta puhtaudesta, sillä puhtauden kannalta oleellimmat sähköisesti varautuneet epäpuhtaushiukkaset ovat silmän havaitsemattomissa.

Puhtaustason ja sen vaikutusten testauksen suorittamiseen on tarjolla muutamia tapoja, joita käsitellään seuraavaksi. Keskusteluissa kolme tutkimustapaa oli ylitse muiden:

### **ROSE-testilaitteiston hankinta ja kiihdytetty testaus**

ROSE-testiin on joitakin kaupallisesti saatavilla olevia laitteistoja, joiden hinnat liikkuvat 15 000 €:n tietämällä. Tällaisen laitteiston hankinta voisi olla järkevää komponenttilevyjen sopimusvalmistajalle, joka voisi suorittaa levyjen puhtauden tarkkailua heti valmistusprosessin jälkeen, jolloin lika ei vielä ole ehtinyt kovettua levyn pintaan. Levyjen valmistaja saisi puhtaustestauksen avulla myös itselleen arvokasta tietoa oman valmistusprosessinsa ominaisuuksista.

Sähköistä testausta sekä kiihdytettyä testausta voitaisiin suorittaa komponenttilevyjä tilaavan yrityksen toimesta, sillä tällöin levyillä olevan lian kovettumisella ei ole testauksen kannalta merkittäviä vaikutuksia. Jotta kiihdytetty testaus suoritettaisiin juuri ROSE-testillä tutkitun puhtaustason omaaville levyille, testauksia tulisi suorittaa samassa erässä valmistetuille levyille kuin ROSE-testilaitteessa olleet levyt, muttei kuitenkaan juuri liuotuslaittees-

sa käyneille levyille, sillä nämä ovat puhdistuneet erän muita levyjä paremmin eivätkä siten ole vertailukelpoisia.

Sähköisten ominaisuuksien tutkiminen onnistuisi nykyisin käytössä olevilla neulapeti- ja ”Flying probe” -testereillä siinä missä muillekin levyille, mutta epäpuhtauksien vaikutuksen tutkiminen ajan kuluessa vaatisi olosuhdekaapin, jossa voitaisiin suorittaa levyille kiihdytettyä testausta syklaamalla kaapin lämpötilaa ja kosteutta jonkin standardoidun menetelmän mukaisesti. Mahdollisesti pitkäkestoisten kiihdytettyjen testien suorittamiseen tarvitaan luonnollisesti myös työvoimaa. ROSE-testin etuna on se, että kyseinen testi on yksinkertainen suorittaa ja se ottaa huomioon koko levyllä olevat epäpuhtaudet.

### **Levyjen puhtaustutkimuksen tilaaminen alan yritykseltä**

Mahdollisesti helpoin, joskaan ei edullisin ratkaisu eri levytyypeille riittävien puhtaustasojen selvittämiseksi olisi tilata levyjen puhtaustarkastus joltakin alalla toimivista laboratorioista. Tällöin on luonnollista, että kaikkia eri levymalleja ei lähetetä testattavaksi, ja olisi tärkeää pystyä valitsemaan testiin sellaiset levyt, jotka edustaisivat yrityksessä käytettäviä levyjä mahdollisimman laajasti. Testattavaksi tulisi lähettää ainakin muutamia komponenttilevyn sähköisille ominaisuuksille erityisen herkkiä levyjä, joitakin kalliita, suuria ja monimutkaisia levyjä sekä levyjä, joiden hinta ja monimutkaisuusaste on matala. Menetelmän voisi uskoa olevan muita nopeampi ja melko luotettava, joskin kallis.

Kiihdytettyä testausta tarvittaisiin myös tässä tapauksessa, jotta levyerän selvitetyn puhtaustason pitkäaikaisvaikutuksista saataisiin tietoa. Tämä olisi viisainta suorittaa levyjä käyttävän yrityksen toimesta kuten ROSE-testimenetelmässäänkin.

### **SIR-testiä soveltavan puhtaudenmittaustavan kehittäminen**

Keskustellessamme puhtaustestauksesta esiin nousi ehdotus, jonka mukaan kaikkien aihioitain valmistettavien levyjen aihion reunaan tehtäisiin metallinen kampakuvio, jonka avulla voitaisiin suorittaa komponenttilevyn pintaresistiivisyyden mittausta (SIR-testi, surface insulation resistance). Tämä kampakuvio olisi helposti tehtävissä kaikkien aihioiden reunalle, ja se kulkisi luonnollisesti mukana samoissa prosessivaiheissa kuin itse komponenttilevytkin. Prosessin jälkeen muutamista aihioista mitattaisiin vastus kampakuvion ylitse, ja kyseisissä aihioissa olleet levyt eroteltaisiin muiden levyjen joukosta ja merkittäisiin. Tämän jälkeen levyille voitaisiin suorittaa samankaltaisia kiihdytettyjä olosuhdetestejä sekä

sähköisiä testejä kuin aiemmin esitellyn ROSE-testilaitteiston kanssa. SIR-testiin perustuvan koejärjestelyn etuna olisi nopea toteutettavuus ja edullinen hinta, sillä merkittäviä investointeja ei olosuhdekaapin ja työvoiman lisäksi tarvittaisi. Mahdollisena haittapuolena voidaan pitää sitä, kuinka hyvin komponenttilevyjen aihion reunalla eli levyn komponenteista etäällä oleva kampakuvio edustaa koko levyn puhtautta. Menetelmää voisi testata pienellä koe-erällä, jossa kokeiltaisiin tarkoituksellisesti liattujen levyjen pintaan tehtyjen kampakuvioiden ylitse olevia vastuksia ja niiden eroja eri likaisuuden asteilla ja komponenttiasemoinneilla.

Mikäli levyjen puhtaustasojen vaikutusten selvittäminen todetaan tärkeäksi yrityksessä, olisi testausjärjestelyt syytä aloittaa niin pian kuin mahdollista, sillä tulosten saaminen saattaa kestää huomattavan kauan tilastollisesti riittävän datamäärän keräämiseen kuluvan ajan vuoksi.

## 10 Johtopäätökset

Vaikka komponenttilevyjen valmistuksessa onkin siirrytty yhä enemmän pintaliitostekniikkaan ja reflow-prosessiin myös aaltojuotosprosessi ja läpikortinladottavat TH-komponentit pitävät pintansa. Erityisesti suuret komponentit ja liittimet kiinnitetään Vaisalan laitteissa yhä läpikortin juottamistekniikalla. Teollisuudessa käytettävien laitteiden tulee olla kestäviä, minkä vuoksi pintaliitettäviä liittimiä ei ole pystytty käyttämään levyillä kuin erikoistapauksissa. Kun läpikortinladottavat komponentit joudutaan juottamaan käsin tai aallossa, komponenttilevyjen pesutarve kasvaa, vaikka juottamisessa käytettäisiin niin kutsuttuja no-clean -juoksuotteita. Pesun ja puhtausvaatimusten perusteita on käsitelty kappaleessa 3.5.1. Puhtausvaatimusten järkevä asettaminen Vaisalan komponenttilevyille vaatii vielä lisää selvitystyötä, jota pohdittiin tulevaisuudennäkymiä käsittelevässä kappaleessa 9.4.

Komponenttilevyjen valmistusprosessissa käytettävät laitteet jatkavat kehittymistään. Niiden viemä lattiapinta-ala pienenee ja laitteisiin tulee lisää nopeutta ja tarkkuutta (juotepastan paino ja ladonta) sekä uusia ominaisuuksia kuten automaattinen optinen tarkastus pastanpainokoneen ja ladontakoneen yhteydessä. Suuri nopeus hyödyttää eniten tuotteita, joiden valmistusmäärät ovat suuria, mutta parantuva tarkkuus edistää kaikkien levyjen luotettavuutta ja saantoa. Lisäksi automaattisen optisen tarkastuksen lisääminen useampaan kohtaan linjastolla nostaa prosessista saatavan tiedon määrää ja auttaa vähentämään prosessissa tapahtuvia virheitä. Aivan linjaston lopussa suoritettava automaattinen optinen tarkastus estää tehokkaasti ja silmämääräistä tarkastusta nopeammin virheellisten levyjen pääsemisen eteenpäin.

Erityisen mielenkiintoisia laitteita, joita ei vielä ole kaikkialla yleisesti käytössä, ovat ainakin erilaisiin selektiivijuotoksiin käytettävät laitteet ja levyjen pinnoitukseen käytettävät sumutusperiaatteella toimivat laitteet. Etenkin tietokoneohjattu nopea levyjen pinnoitukseen käytettävä laite avaisi uusia mahdollisuuksia, kun edullistenkin komponenttilevyjen pinnoitus tulisi taloudellisesti nykyistä järkevämmäksi. Mittauselektronikan saralla lakkaus kannattaisi suorittaa nykyistä useammille levyille, jotta mittaustulosten luotettavuus säilyisi hyvänä nykyistä pidemmän ajan. Sopivan selektiivijuottamismenetelmän löytäminen voi puolestaan tarjota hyvän ratkaisun komponenttilevyjen yksittäisten THT-komponenttien kiinnittämiseen ilman aaltojuotosta. Laitetarjonta riippuu täysin yhteistyökumppaniksi vali-

tusta komponenttilevyjen valmistajasta, mikä tulee ottaa huomioon yhteistyökumppania haettaessa.

Komponenttilevyjen testaus ja etenkin puhtauden testaus ovat nousseet esille tämän työn kuluessa. Komponenttilevyjen puhtaus vaikuttaa levyjen elinikään ja mittaustulosten luotettavuuteen, sillä ioniset epäpuhtaudet levyllä aiheuttavat sähkönjohtavuutensa johdosta pintavuotovirtoja levyllä sekä pitemmällä aikavälillä dendriittien kasvusta johtuvia oikosulkuja ja toimintahäiriöitä. Suurin ongelma riittävän puhtauden määrittämisessä ja sen vaatimisessa on, että "riittävä" puhtaus on täysin levykohtainen, ja eri testimenetelmien antamat tulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Lisäksi standardeissa annetut rajat epäpuhtauksien määrälle ovat nykymittapuun mukaan liian korkeita ja jo rajojen mukaiset epäpuhtaudet saattavat aiheuttaa epätarkkuutta elektroniikan toimintaan ja siten mittaustuloksiin herkkää mittauselektroniikkaa käyttävissä laitteissa. Puhtauden testauksessa käytettävistä menetelmistä yksinkertaisimmat ja teolliseen käyttöön sopivimmat ovat kappaleessa 5.3 esitellyt ROSE- ja SIR-testit, joiden suorittamiseen on olemassa hyviä laitteita ja menetelmiä. Edellä mainittu "riittävä puhtaus" tulisi kuitenkin selvittää jokaiselle levymallille erikseen mahdollisesti pitkällä ja kalliilla koejärjestelyllä, jossa epäpuhtauksien määrän vaikutusta levyn käyttöikään eri olosuhteissa tutkittaisiin kiihdytetyllä testauksella. Puhtaustestausvaihtoehdoista kerrottiin tarkemmin kappaleessa 9.4.

Komponenttilevyjen valmistukseen liittyvistä standardeista on koottu taulukko, joka on liitteenä 3. Valmistusvaatimusten asettamisen kannalta tärkeimpiä standardeja ovat komponenttilevyjen hyväksymisen standardit IPC-A-610 ja J-STD-001, joiden perusteella valmistettujen levyjen laatu arvioidaan ja levyt joko hyväksytään tai hylätään. Testausstandardit kuten IPC-TM-650, jonka testeihin viittaamalla voidaan vaatia oikeanlaisia tarkastuksia, ovat myös hyvin tärkeitä. Johtamisen standardit ISO 9001 ja ISO 14001 ovat merkittäviä valmistusvaatimuksia asetettaessa ja toimittajia valittaessa.

Standardit, jotka käsittelevät levyillä käytettäviä materiaaleja ja esimerkiksi komponenttilevyjen pesuissa käytettävien pesuaineiden ominaisuuksia, liittyvät kyllä komponenttilevyjen valmistukseen, mutta eivät ole kovin merkittäviä valmistusvaatimusten kannalta. Valmistusvaatimuksia asettavaa taho kiinnostaa nimittäin enemmän valmistuksen lopputulos kuin valmistusmenetelmä itsessään. Onkin valmistajan asia valita oikeat materiaalit ja menetelmät, joilla asetettuihin vaatimuksiin päästään.



## Viitteet

- [1] Vaisala Oyj, *HM70 Hand-Held Humidity and Temperature Meter for Spot-Checking Applications*, Vaisala Instruments Catalog 2008, 2008, Vaisala Oyj, 34–35 ss.
- [2] Vaisalan pörssitiedote, julkaistu 8.1.2008, viitattu 16.1.2008.  
[http://www.vaisala.fi/uutiset/jamateriaalit/porssitiedotteet?url=http://cws.huginonline.com/V/3120/PR/200801/1180205\\_2460.html](http://www.vaisala.fi/uutiset/jamateriaalit/porssitiedotteet?url=http://cws.huginonline.com/V/3120/PR/200801/1180205_2460.html)
- [3] Vaisala Material Bank, Materiaalipankki Vaisala Oyj:n sisäisessä verkossa. (Kuvia ja tietoja tuotteista sekä niihin liittyvistä aiheista)
- [4] P. Viswanadham ja P. Singh, *Failure Models and Mechanisms in Electronic Packages*, New York, 1998, Chapman & Hall, International Thomson Publishing, 369 s.
- [5] N. C. Lee, *Reflow Soldering Process and Troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies*, Woburn, 2002, Butterworth-Heinemann, 270 s.
- [6] C. J. Tautscher, *Contamination Effects on Electronic Products*, New York, 1991, Marcel Dekker, Inc. 600 s.
- [7] R. S. Mroczkowski, *Electronic Connector Handbook*, New York, 1998, McGraw-Hill, 480 s.
- [8] R. R. Tummala, *Fundamentals of Microsystems Packaging*, New York, 2001, McGraw-Hill, 968 s.
- [9] J. E. Traister, *Design Guidelines for Surface Mount Technology*, San Diego, 1990, Academic Press, Inc. 311 s.
- [10] C. A. Harper, *Electronic Materials and Processes Handbook*, 3. painos, New York, 2004, McGraw-Hill, 710 s.

- [11] Teknillisen korkeakoulun Elektroniikan tuotantotekniikan osaston SMT -linjaston esitely, viitattu 18.1.2008. <http://www.ept.tkk.fi/Facilities/SMTAssembly.htm>
- [12] H. Danielsson, *Surface Mount Technology with Fine Pitch Components*, 1. painos, Lontoo, 1995, Chapman & Hall, 242 s.
- [13] *MY500 Jet Printin Experience new levels of printing freedom*, (MY500 \_brochure.pdf), MYDATA automation AB, viitattu 18.1.2008  
[http://www.mydata.com/MYWEB/Corp.nsf/pages/media.html?OpenDocument&media=MY500\\_brochure.pdf&desc=Download%20the%20MY500%20brochure](http://www.mydata.com/MYWEB/Corp.nsf/pages/media.html?OpenDocument&media=MY500_brochure.pdf&desc=Download%20the%20MY500%20brochure)
- [14] B. Toleno, *Case Study 2 - Implementation of Pb-free solder paste in a real manufacturing environment*, EMSNow News, julkaistu 15.11.2005, viitattu 3.2.2008.  
<http://www.emsnow.com/npps/story.cfm?id=15499>
- [15] Siemens AG, SIPLACE X4i -pikalatomakoneen esitesivu, viitattu 3.2.2008.  
<http://ea.automation.siemens.com/doc/standard.asp?id=10240&domid=10&sp=E&addlastid=&m1=5573&m2=5587&m3=5600&m4=8358&m5=10240>
- [16] P. Kurki, M. Maksimow ja L. Sorvari, *S-113.3130 Tuotantotekniikan laboratoriotyöt kevät 2007*, Espoo, 2007, Teknillinen korkeakoulu, 17 s.
- [17] U. Tosun ja H. Wack, ”Analyzing the Debate of Clean vs. No-clean”, *SMT Magazine*, vol. 20, nro 3, maaliskuu 2006, ss. 20–23, saatavissa myös:  
[http://smt.pennnet.com/display\\_article/249818/35/ARTCL/none/none/1/Analyzing-the-Debate-of-Clean-vs-No-clean/](http://smt.pennnet.com/display_article/249818/35/ARTCL/none/none/1/Analyzing-the-Debate-of-Clean-vs-No-clean/)
- [18] J. W. Dally, *Packaging of Electronic Systems: a Mechanical Engineering Approach*, New York, 1990, McGraw-Hill, 441 s.
- [19] IPC J-STD-004A, 2004, *Requirements for Soldering Fluxes*, Northbrook, IPC, 20 s.

[20] R. Rowland, "Should No-clean Be Cleaned?", *SMT Magazine*, vol. 17, nro.11, marraskuuta 2003, ss 18–18, saatavissa myös:

[http://smt.pennnet.com/display\\_article/191287/35/ARTCL/none/none/1/Should-No-clean-Be-Cleaned?/](http://smt.pennnet.com/display_article/191287/35/ARTCL/none/none/1/Should-No-clean-Be-Cleaned?/)

[21] P. Bratt, *Selective Soldering Process*, EMPFasis, (online -julkaisu), julkaistu joulukuussa 2007, viitattu 20.2.2008. <http://www.empf.org/empfasis/2007/Dec07/ssp.html>

[22] R. Rowland, "Selective Soldering", *SMT Magazine*, vol. 16, nro. 3, maaliskuu 2002, saatavissa:

[http://smt.pennnet.com/display\\_article/137777/35/ARTCL/none/none/1/-Selective-Soldering/](http://smt.pennnet.com/display_article/137777/35/ARTCL/none/none/1/-Selective-Soldering/)

[23] H. Schlessmann, *Automated Selective Soldering of Mixed Technology*, Surface Mount Technology Online Article, julkaistu toukokuussa 2002, viitattu 20.2.2008.

[http://smt.pennnet.com/articles/article\\_display.cfm?ARTICLE\\_ID=143114&p=35&section=ARCHI&subsection=none&c=INDUS&page=1](http://smt.pennnet.com/articles/article_display.cfm?ARTICLE_ID=143114&p=35&section=ARCHI&subsection=none&c=INDUS&page=1)

[24] Empfasis, *Catastrophic Failure*, EMPFasis, (online -julkaisu), julkaistu maaliskuussa 2005, viitattu 23.2.2008. <http://www.empf.org/empfasis/mar05/catafailure305.htm>

[25] L. Hymes (ed.), *Cleaning Printed Wiring Assemblies in Today's Environment*, New York, 1991, Van Norstrand Reinhold

[26] IPC-SC-60A, 1999, *Post Solder Solvent Cleaning Handbook*, Bannockburn, IPC, 34 s.

[27] IPC J-STD-001D, 2005, *Requirements for Soldered Electrical and Electronic Assemblies*, Northbrook, IPC, 60 s.

[28] IPC-AC-62A, 1996, *Aqueous Post Solder Cleaning Handbook*, Bannockburn, IPC, 37 s.

[29] IPC-SA-61A, 2002, *Post Solder Semi-Aqueous Cleaning Handbook*, Bannockburn, IPC, 28 s.

- [30] D. Poulin, *Characteristics of Conformal Coatings*, EMPFasis, (online -julkaisu), julkaistu toukokuussa 2007, viitattu 3.3.2008.  
[http://www.empf.org/empfasis/2007/May07/conf\\_coat.html](http://www.empf.org/empfasis/2007/May07/conf_coat.html)
- [31] Palaveri Vaisalassa 5.3.2008, jossa koolla Vaisala Instrumentsin tuotekehityksen elektroniikkainsinöörejä
- [32] G. Naisbitt, ”Cleanliness Testing on the Shop Floor”, *SMT Magazine*, vol. 22, nro. 3, maaliskuu 2008, ss. 36–38, saatavissa myös:  
[http://smt.pennnet.com/articles/article\\_display.cfm?ARTICLE\\_ID=323446&p=35&section=ARTCL&subsection=none&c=none&page=1](http://smt.pennnet.com/articles/article_display.cfm?ARTICLE_ID=323446&p=35&section=ARTCL&subsection=none&c=none&page=1)
- [33] ISO (International Organization for Standardization) –standardointiorganisaation Internetsivut, viitattu 12.3.2008. <http://www.iso.org>
- [34] Suomen Standardoimisliitto SFS ry:n Internetsivut, ISO 9000 standardisarjan esittely, viitattu 12.3.2008. <http://www.sfs.fi/iso9000/>
- [35] Wikipedia contributors, *ISO 9000*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, viitattu 12.3.2008. [http://fi.wikipedia.org/wiki/ISO\\_9000](http://fi.wikipedia.org/wiki/ISO_9000)
- [36] Suomen Standardoimisliitto SFS ry:n Internet-sivut, ISO 14000 standardisarjan esittely, viitattu 12.3.2008. <http://www.sfs.fi/iso14000/>
- [37] Suomen standardoimisliitto SFS ry, *Ympäristöasioiden hallinta: Kansainvälinen ISO 14000 –standardisarja*, 2006, Helsinki, SFS-Standardisointi, 12 s.
- [38] Wikipedia contributors, *ISO 14000*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, viitattu 12.3.2008. [http://en.wikipedia.org/wiki/ISO\\_14001](http://en.wikipedia.org/wiki/ISO_14001)
- [39] Wikipedia contributors, *ANSI, JEDEC ja Electronic Industries Alliance*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, viitattu 12.3.2008.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_Industries\\_Alliance](http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_Industries_Alliance)

<http://en.wikipedia.org/wiki/ANSI>

<http://en.wikipedia.org/wiki/JEDEC>

[40] IPC Association Connecting Electronics Industries –organisaation Internet-sivut, viitattu 12.3.2008. <http://www.ipc.org/>

[41] IPC-A-610D, 2005, *Acceptability of Electronic Assemblies*, Bannockburn, IPC, 400 s.

[42] Empfasis, *J-STD-001 and IPC-A-610 Compared*, EMPFasis, (online -julkaisu), julkaistu maaliskuussa 2003, viitattu 25.3.2008.

<http://www.empf.org/empfasis/mar-apr03/jstd001-3403.htm>

[43] IPC-A-600G, 2004, *Acceptability of Printed Boards*, Bannockburn, IPC, 126 s.

[44] IEC-326, 1980, Osat 1–6, Geneve, International Electrotechnical Commission

[45] IPC-6012B, 2004, *Qualification and Performance Specification for Rigid Printed Boards*, Bannockburn, IPC, 43 s.

[46] J. Koh, How Clean is Clean Enough, *SMT Magazine*, vol. 14, nro. 10, lokakuu 2000, saatavissa:

[http://smt.pennnet.com/display\\_article/84848/35/ARTCL/none/none/1/How-Clean-Is-Clean-Enough?/](http://smt.pennnet.com/display_article/84848/35/ARTCL/none/none/1/How-Clean-Is-Clean-Enough?/)

[47] IPC-7711/21A, 2003, *Rework and Repair Guide*, Bannockburn, IPC, 344 s. (sisältää standardit IPC-7711A *Rework of Electronic Assemblies* ja IPC-7721A *Repair and Modification of Printed Boards and Electronic Assemblies*)

[48] IPC Association Connecting Electronics Industries, *Publications Catalog 2007–2008*, 2007, Bannockburn, IPC, 43 s.

[49] IPC-9201A, 2007, *Surface Insulation Resistance Handbook*, Bannockburn, IPC, 85 s.

- [50] IPC-TM-650, 2007 (päivittyy jatkuvasti), *Test Methods Manual*, viitattu ensimmäistä kertaa 15.3.2008, Northbrook, IPC, (saatavilla testeittäin myös IPC:n Internet-sivuilta: <http://www.ipc.org/ContentPage.aspx?PageID=4.1.0.1.1>)
- [51] Wikipedia contributors, *ESD*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, viitattu 16.2.2008. <http://fi.wikipedia.org/wiki/ESD>
- [52] Turvatekniikan keskuksen (TUKES) Internet-sivut, *RoHS direktiivi*, viitattu 12.2.2008. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/ROHS-direktiivi/>
- [53] Wikipedia contributors, *Restriction of Hazardous Substances Directive*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, viitattu 12.2.2008. [http://en.wikipedia.org/wiki/Restriction\\_of\\_Hazardous\\_Substances\\_Directive](http://en.wikipedia.org/wiki/Restriction_of_Hazardous_Substances_Directive)
- [54] Turvatekniikan keskuksen (TUKES) Internet-sivut, viitattu 12.2.2008. <http://www.tukes.fi/sahkotuoteopas/emc.htm>
- [55] J.B. Fontelles (Euroopan parlamentin puolesta) ja A. Nicolai (Neuvoston puolesta), *direktiivi sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä ja direktiivin 89/336/ETY kumoamisesta*, 2004, Strasbourg, Eur-lex, viitattu 14.2.2008, saatavissa: [http://europa.eu.int/eurlex/lex/LexUriServ/site/fi/oj/2004/l\\_390/l\\_39020041231fi00240037.pdf](http://europa.eu.int/eurlex/lex/LexUriServ/site/fi/oj/2004/l_390/l_39020041231fi00240037.pdf)
- [56] Wikipedia contributors, *CE mark*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, viitattu 14.2.2008. [http://en.wikipedia.org/wiki/Ce\\_mark](http://en.wikipedia.org/wiki/Ce_mark)
- [57] Inspecta Sertifiointi Oy Internet-sivut, Sertifiointipalvelut, viitattu 14.2.2008. [http://www.inspecta.fi/sfs/sertifiointipalvelut/toiminnan\\_varmentaminen/index.php?m=m3](http://www.inspecta.fi/sfs/sertifiointipalvelut/toiminnan_varmentaminen/index.php?m=m3)
- [58] Suomen Standardoimisliiton (SFS) julkaisu, *ISO 9000 –sarjan standardien valinta ja käyttö*, 2008, Helsinki, SFS-standardisointi, 8 s. (Saatavilla myös pdf –tiedostona: <http://www.sfs.fi/files/iso9000esite.pdf>)

- [59] DI Timo Aholaisen ja Matti Pilviön (Vaisala Oyj) kanssa 10.1.2008 käyty keskustelu
- [60] Wikipedia contributors, *Traceability*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, viitattu 5.5.2008. <http://en.wikipedia.org/wiki/Traceability>
- [61] J. Strong, *Manufacturer's Corner AOI*, EMPFasis, (online -julkaisu), julkaistu maaliskuussa 2004, viitattu 25.1.2008.  
<http://www.empf.org/empfasis/mar04/aoi.htm>
- [62] C.-H. Mangin, "Where Quality is Lost on SMT Boards", *Circuits Assembly Magazine*, vol. 2, nro 2, helmikuu 1991, ss. 66
- [63] R. Berta, *Manufacturer's Corner AOI Equipment*, EMPFasis, (online -julkaisu), julkaistu lokakuussa 2006, viitattu 26.1.2008.  
[http://www.empf.org/empfasis/2006/Oct06/manf\\_corner-1006.html](http://www.empf.org/empfasis/2006/Oct06/manf_corner-1006.html)
- [64] E. Myers, *X-Ray Analysis*, EMPFasis, (online -julkaisu), julkaistu syyskuussa 2004, viitattu 27.1.2008. <http://www.empf.org/empfasis/sept04/xray.htm>
- [65] Empfasiss, *Cleanliness testing*, EMPFasis, (online -julkaisu), julkaistu kesäkuussa 2003, viitattu 27.1.2008. <http://www.empf.org/empfasis/oct03/603clean.htm>
- [66] M. Konrad, "How clean is clean", *SMTMagazine*, vol. 21, nro. 1, tammikuu 2007, ss. 8–8, saatavissa myös:  
[http://smt.pennnet.com/display\\_article/280948/35/ARTCL/none/none/1/How-Clean-Is-Clean?/](http://smt.pennnet.com/display_article/280948/35/ARTCL/none/none/1/How-Clean-Is-Clean?/)
- [67] Wikipedia contributors, *Boundary Scan*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, viitattu 5.3.2008. [http://en.wikipedia.org/wiki/Boundary\\_scan](http://en.wikipedia.org/wiki/Boundary_scan)
- [68] Wikipedia contributors, *In-circuit test*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, viitattu 5.3.2008. [http://en.wikipedia.org/wiki/Bed\\_of\\_nails\\_tester](http://en.wikipedia.org/wiki/Bed_of_nails_tester)

- [69] Wikipedia contributors, *Flying Probe*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, viitattu 5.3.2008. [http://en.wikipedia.org/wiki/Flying\\_probe](http://en.wikipedia.org/wiki/Flying_probe)
- [70] J. Ferguson, *Flying Probe Test Systems Capabilities for Effective Testing*, Proceedings of the Proceedings International Test Conference 1998 (ITC'98), Washington, DC, loka-kuun 19.–21, 1998, IEEE, ss. 1163
- [71] G. Ramsey, *Tech tips: No-Clean Process Optimization*, EMPFasis, (online -julkaisu), julkaistu joulukuussa 2006, viitattu 20.3.2008.  
<http://www.empf.org/empfasis/feb04/noclean.htm>
- [72] R. Berta, *Manufacturer's Corner: Cleaning Before Conformal Coatings*, EMPFasis, (online -julkaisu), julkaistu tammikuussa 2007, viitattu 20.3.2008.  
[http://www.empf.org/empfasis/2007/Jan07/manf\\_corner-107.html](http://www.empf.org/empfasis/2007/Jan07/manf_corner-107.html)
- [73] FINLEX ®, Valtion säädöstietopankki Internet-sivusto, useita tapauksia, viitattu 25.3.2008. <http://www.finlex.fi/fi/>
- [74] Vaisala Oyj, *PMB100 Barometer Module*, Vaisala Instruments Catalog 2005, 2005, Vaisala Oyj, ss. 114–115
- [75] Vaisala Oyj, *HMP50 Miniature Humidity and Temperature Probe for OEM Applications*, Vaisala Instruments Catalog 2008, 2008, Vaisala Oyj, ss. 48–49
- [76] T. Mattila, *Design for Manufacturability - Development of a Design Guideline Set and a Management System*, Espoo, 2000, Teknillinen korkeakoulu, 201 s.
- [77] B. Willis, *Defect Troubleshooting*, Global SMT&packaging Magazine, 2007, Trafalgar Publications



# LIITE 1: VALMISTUSVAATIMUSDOKUMENTTI GENEERINEN OSA

## Requirements for Manufacturing of Printed Circuit Board Assemblies -GENERIC PART-

### 1. Quality control

The quality control system shall be consistent with international quality standard ISO9001 and environmental standard ISO14001.

### 2. Visual Acceptance Standard for Printed circuit boards

IPC-A-600 level 2, unless otherwise informed/agreed.

### 3. Visual Acceptance Standard for Printed circuit board assemblies

IPC-A-610 level 2, unless otherwise informed/agreed.

### 4. Repairing/Rework

Repairing and rework of PCBA shall be carried out in compliance with IPC-7711/7721A standard.

All the repaired boards shall be separated from the other boards and marked.

### 5. Cleanliness of the Printed Circuit Board Assemblies

5.1 Clean gloves shall be used when handling components, printed circuit boards and assemblies and gloves shall be replaced often.

The next requirements are valid only if the contractor has equipment for cleanliness testing using Resistivity of Solder Extract (ROSE) method (also known as Solvent Extract Conductivity, SEC). If the contractor has no such equipment, these steps can be ignored.

5.2 Maximum of 1,56  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  NaCl equivalent ionic contaminant is accepted.

5.3 Measuring of cleanliness shall be made for 1-2 printed circuit boards (samples) in a batch according to method described in IPC-TM-650 section 2.3.25.

5.4 The time from manufacturing process/washing to the cleanliness test shall be kept unchanged in order to obtain comparable results. Possible variations in that time shall be documented.

5.5 The results of cleanliness tests for each batch shall be individualized and documented, and the documents shall be shared with Vaisala.

## 6. Washing

6.1 All the PCBAs shall be washed unless otherwise informed.

6.2 Washing of the component board shall be started in 15 min after the soldering process.

6.3 The contractor shall develop a method for monitoring and documenting the times between the soldering process and washing. Vaisala may ask the contractor to use this method when found reasonable.

6.3 Washing should last at least 10 minutes or as long as it takes to reach the required cleanliness level.

6.4 The cleanliness of the solvents used in washing shall be monitored and the solvents shall be cleaned / changed often enough for good washing results.

6.5 The use of ultrasound in washing is forbidden

## 7. Statistical Process Control (SPC)

The Contractor shall collect information and statistics on manufacturing process for internal use and share this information with Vaisala.

In addition to sending information to Vaisala, the contractor shall monitor the process parameters independently and notice Vaisala if significant parameter changes are detected, although the parameter still is in the permitted range.

All additional information about the possible reasons for the changes is highly appreciated.

#### 8. Delivery and packaging

8.1 ESD boxes with compartments shall be used for packing. Only one component board may be placed in one compartment.

8.2 If however, for some good reason, more than one board is put into same compartment each board shall be bubble wrapped individually.

#### 9. Traceability

For each PCBA lot, upon request the contractor must be able to provide all relevant information pertaining to the materials, manufacturer and production run(s) used in the PCBA production.

#### 10. Electrical testing

One board shall not be tested in the bed of nails for more than 5 times.

If many assemblies in a batch fail the test narrowly, the reason for the failure should be determined and corrected.

Instructions for electrical testing will be provided separately.

#### 11. Product specified requirements

These requirements are superseded by Product specified requirements if provided.

## **LIITE 2: VALMISTUSVAATIMUSDOKUMENTTI TUOTEKOHTAINEN OSA**

### **Requirements for Manufacturing of Printed Circuit Board Assemblies -PRODUCT SPECIFIC PART FOR PCBA NUMBER: type here-**

Requirements in this document supersede the requirements given in the generic part.

If the requirements for the PCBA (printed circuit board assembly) deviate from the generic requirements, the superceding requirement's box is checked. Otherwise boxes are left blank.

#### 1. Visual Acceptance Standard for Printed circuit board (PCB)

Generic requirement is IPC-A-600G level 2.

- IPC-A-600G level 1
- IPC-A-600G level 3

Also other standards may be required for acceptance of printed circuit boards *instead* of IPC-A-600G:

- IEC-62326 specifications for printed boards
- Other specifications, what: \_\_\_\_\_

## 2. Acceptance Standard for Printed circuit board assemblies (PCBA)

Generic requirement is IPC-A-610D level 2.

- IPC-A-610D Visual Acceptance of PCBAs, level 1
- IPC-A-610D Visual Acceptance of PCBAs, level 3

Also J-STD-001D or other acceptance standard may be required *instead* of IPC-A-610D:

- J-STD-001D level 1,
- J-STD-001D level 2
- J-STD-001D level 3
- Other, what: \_\_\_\_\_

## 3. Cleanliness of the PCBA

Using ROSE -test (Resistivity of Solder Extract). The generic requirement is  $1,56 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Other NaCl equivalent requirement:

- not important
- $0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  (very clean)
- other cleanliness level, what: \_\_\_\_\_

Other possible test method for cleanliness testing is SIR (Surface Insulation Resistance). Minimum resistance over the comb pattern:

- N/A (needs more research)
- N/A (needs more research)
- Other, what: \_\_\_\_\_

#### 4. Washing

The need for washing of the PCBA depends on the required cleanliness level. Generic requirements say that every board shall be washed for 10 minutes or as long as the required cleanliness level is achieved. Different washing requirements:

- no washing
- washing shall be done separately after processing of each side of the PCBA (very clean)
- different washing time, what: \_\_\_\_\_

#### 5. Conformal coating

Conformal coating increases the lifetime of the PCBA especially if used in harsh conditions. Generic requirements don't contain conformal coating.

- conformal coating shall be done, separate instructions provided
- additional information, what: \_\_\_\_\_

#### 6. Packaging

Especially fragile PCBAs may need extra protection during the transportation:

- Each board shall be individually bubble wrapped

Other requirements on the next page.

7. Other requirements

type here

# STANDARDEJA

# LIITE 3

Aihepiiri	Aihe	Standardi	Kuvaus
Johtaminen	Laadunhallinta	ISO 9001:2000	Määrittelee laadunhallintajärjestelmien vaikutukset organisaatiolle
	Ympäristöasioiden hallinta	ISO14001:2004	Antaa vaatimukset ympäristöasioiden hoidosta
Valmistus ja materiaalit	Piirilevyn valmistus ja materiaalit	IPC-6012	Vaatimuksia piirilevyn valmistukselle
	Komponenttilevyillä käytettävät materiaalit	IPC J-STD-004	Vaatimuksia flukseille
		IPC/EIA J-STD-005	Vaatimuksia juotepastoille
		IPC-HDBK-005	Ohjeita juotepastan soveltuvuuden arviointiin tietyssä SMT prosesseissa
	Pinnoituksen standardit	IPC-HDBK-830	Ohjeita pinnoitemateriaalin valintaan
		IPC-CC-830B	Ohjeita pinnoitteiden tehokkaaseen tutkimiseen
Korjaukset ja muutokset	IPC-7711/7721A	Standardit piiri- ja komponenttilevyjen korjauksien ja muutostöiden suorittamiselle	
Puhdistus	Puhdistusohjeet	IPC-CH-65A	Ohjeita levyjen puhdistuksen suorittamiseen
		IPC-SC-60A, -SA-61A ja -AC-62A	Käytännön ohjeita pesuun erityyppisiä pesuaineita käyttäen
		IPC-9201A	Puhtaustestaus SIR-menetelmällä
		IPC-TR-583	Esimerkkejä ROSE-puhtaustestauksen tuloksista ja niihin vaikuttavista seikoista
Hyväksyminen ja valmistuslaatu	Piirilevyjen hyväksyminen	IPC-A-600G	Piirilevyjen 3-vaativuustasoinen hyväksymisstandardi
		IEC-62-326	Piirilevyjen kattava hyväksymisstandardi
	Komponenttilevyjen hyväksyminen	IPC-A-610D	Komponenttilevyjen 3-vaativuustasoinen hyväksymisstandardi visuaalisen tarkastuksen painotuksella
		IPC J-STD-001D	Kuin edellä, eroja esitelty diplomityön kappaleesa 4.2.6
Testaus	Testausmenetelmät	IPC-TM-650	Laaja kokoelma useista eri testeistä ja niiden suorittamiseen käytettävissä olevista menetelmistä