

Antti Oja

LYIJYTÖN PCMOVEN OHJAUSYKSIKÖN PIIRIKORTTI

Insinööriyö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Syksy 2005

|   |   |
|---|---|
| Osasto<br>Tekniikka   | Koulutusohjelma<br>Kone- ja Tuotantotekniikka |
| Tekijä(t)<br>Antti Oja  |   |
| Työn nimi<br>Lyijytön PCMoven ohjausyksikön piirikortti   |   |
| Vaihtoehtoiset ammattiopinnot<br>Elektroniikan tuotantotekniikka  | Ohjaaja(t)<br>Pekka Juntunen<br>Hannu Impiö   |
| Aika<br>27.12.2005  | Sivumäärä<br>53                               |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän työn tavoitteena oli löytää uudet, RoHS-direktiivin mukaiset lyijyttömät valmistusmateriaalit PCMoven ohjausyksikön piirikorttiin. Lisätavoitteena tarkasteltiin piirikortin valmistuslaitteiden soveltuvuutta sen valmistukseen Kajaanin ammattikorkeakoulun elektroniikan tuotantotekniikan laitteistoilla.</p> <p>Työn ensimmäisessä vaiheessa muokattiin jo olemassa oleva piirikorttiedostoa Pads-piirikortin suunnitteluohjelmistolla pintaliitoskomponenteille. Uuden, muokatun piirikortin jrsintätiedot ajettiin IsoCam-ohjelmiston avulla jrsintälaitteistolle, jolla piirikortti jrsittiin. Toisena valmistusvaihtoehtona kokeiltiin syövytysmenetelmän kelpoisuutta piirikortille. Uusien lyijyttömien juotospastojen ominaisuuksia arvioitiin ja tarkasteltiin pienen tuotantoyrityksen näkökulmasta.</p> <p>Tutkimusten tuloksena saatiin selvitettyä edullinen ja tarkka piirikortin valmistusvaihtoehtomenetelmä. Tulosten perusteella PCMoven ohjausyksikön piirikortille saatiin valittua RoHS-direktiivin edellyttämät lyijyttömät liitos- ja tuotantomateriaalit.</p> |   |
| Luottamuksellinen<br>Ei   |   |
| Hakusanat<br>RoHS -direktiivi, PADS -suunnitteluohjelma   |   |
| Säilytyspaikka<br>Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto   |   |



**Kajaanin  
ammattikorkeakoulu**

ABSTRACT

THESIS

|   |  |
|---|--|
| Faculty<br>Faculty of Engineering   | Degree programme<br>Production Engineering                     |
| Author(s)<br>Antti Oja  |  |
| Title<br>A Lead-Free Printed Circuit Board of a PCMove's Control Unit   |  |
| Optional professional studies<br>Electronics Production Engineering   | Instructor(s) / Supervisor(s)<br>Pekka Juntunen<br>Hannu Impiö |
| Date<br>27 December 2005  | Total number of pages<br>53                                    |
| Abstract<br><p>The purpose of this Bachelor's thesis was to find new lead-free production materials which can be used to produce a PCMove device. In addition, the purpose was to observe if this printed circuit board (PCB) can be produced by using the electronics production devices of Kajaani Polytechnic.</p> <p>In the first stage of the thesis the original PCMove PCB was redesigned with a program called PADS. The new redesigned PCB was driven with the IsoCam milling program. The second production process was the corrosive method. The estimation and inspection of the features of the lead-free solder pastes were done from a small company's point of view.</p> <p>The results of the study showed that a precise and cost-efficient production alternative was found for the PCMove's PCB. For the PCMove's PCB the best lead-free solder paste and lead-free components were chosen.</p> |  |
| Confidential<br>No  |  |
| Keywords<br>RoHS-directive, PADS-design program   |  |
| Deposited at<br>Kajaani Polytechnic   |  |

## ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty Movetron Oy:lle Kajaanissa vuonna 2005. Insinöörityössä tutkittiin kuinka 1.7.2006 kaikissa EU:n jäsenmaissa voimaan astuvan RoHS-direktiivin vaikutukset muuttavat PCMoven ohjausyksikön piirikorttia.

Työn tavoitteina oli löytää piirikortin valmistukseen korvaavat valmistusmateriaalit ja uudet lyijyttömät komponentit. Lisäksi työssä tutkittiin sitä, voidaanko Kajaanin ammattikorkeakoulun elektroniikan tuotantotekniikan piirikortin valmistusmenetelmiä hyödyntää tässä projektissa.

Kiitän Movetron Oy:n toimitusjohtajaa Hannu Impiötä mielenkiintoisesta ja ajankohtaisesta insinöörityön aiheesta sekä työn teknisistä ja asiantuntevista ohjeista sekä Vesa Aholaa SMC Pneumatics Finlands Oy:stä teknisestä tuesta ja laiteinformaatiosta.

Lisäksi haluan osoittaa kiitokseni Kajaanin ammattikorkeakoulun elektroniikan tuotantotekniikan opettajalle Pekka Juntuselle insinöörityön ohjeistuksista ja neuvoista sekä kehitysinsinööri Markku Karppiselle PADS-suunnitteluohjelmaan liittyneistä neuvoista. Haluan kiittää heitä kaikkia kallisarvoisista neuvoista ja avuista työn edistymisessä.

Kajaanissa marraskuussa 2005

Antti Oja

# SISÄLLYSLUETTELO

|   |    |
|---|----|
| KÄYTETYT TERMIT                           | 7  |
| 1 JOHDANTO                                | 9  |
| 2 TYÖN TAUSTATIEDOT                       | 10 |
| 2.1 Työn kuvaus ja tavoite                | 10 |
| 2.2 Movetron Oy                           | 10 |
| 2.3 PCMove ja ohjausyksikön piirikortti   | 11 |
| 2.4 RoHS-direktiivi                       | 12 |
| 2.4.1 Lyijy ja sen yhdisteet              | 13 |
| 2.4.2 Kadmium ja sen yhdisteet            | 14 |
| 2.4.3 Elohopea ja sen yhdisteet           | 14 |
| 2.4.4 Kuudenarvoinen kromi                | 15 |
| 2.4.5 Bromatut palonestoaineet            | 15 |
| 3 LYIJYTTÖMÄT MATERIAALIT                 | 16 |
| 3.1 Lyijyllinen juotospasta               | 17 |
| 3.2 Lyijytön pasta                        | 18 |
| 3.3 Tina-hopea-kupariseoksen tunnusmerkit | 20 |
| 3.4 Juotospastojen tekniset tiedot        | 21 |
| 3.4.1 Multicore LF-318                    | 21 |
| 3.4.2 AIM SAC305                          | 22 |
| 3.4.3 Koki S3X58-M405                     | 22 |
| 3.5 Piirikortin komponentit               | 23 |

|  |    |
|--|----|
| 4 TYÖSSÄ KÄYTETYT MENETELMÄT JA VÄLINEET               | 24 |
| 4.1 PADS -piirilevyn suunnitteluohjelma                | 24 |
| 4.1.1 Piirikaavion luominen                            | 24 |
| 4.1.2 Komponenttien luominen                           | 25 |
| 4.1.3 Johdinpolkujen reititys                          | 27 |
| 4.1.4 Piirilevyn Gerber-tiedostot                      | 30 |
| 4.2 Piirikortin jysintä                                | 32 |
| 4.3 Piirikortin syövytys ja laitteistot                | 33 |
| 4.3.1 Piirikortin valmistus valolitografiamenetelmällä | 33 |
| 4.3.2 Isel-valotuslaitteisto                           | 36 |
| 4.3.3 E300-syövytyslaitteisto                          | 37 |
| 5 TULOKSET   | 38 |
| 5.1 PADS -suunnitteluohjelma ja sen käyttö             | 38 |
| 5.1.1 Komponenttien mallintaminen                      | 38 |
| 5.1.2 Komponenttien sähköiset liitokset                | 39 |
| 5.1.3 Johdinpolkujen reititys                          | 39 |
| 5.2 Piirikortin valmistus                              | 40 |
| 5.2.1 Piirikortin jysintä                              | 40 |
| 5.2.2 Piirikortin syövyttäminen                        | 42 |
| 5.3 Lyijyttömän juotospastan pistearvostelu            | 44 |
| 5.3.1 Arvostelukriteerit                               | 44 |
| 5.3.2 Painoarvot                                       | 47 |
| 5.4 Lyijyttömän juotospastan valinta                   | 48 |
| 5.5 PCMoven lyijyttömät komponentit                    | 49 |
| 6 YHTEENVETO   | 51 |
| LÄHTEET  | 52 |
| LIITTEET   |    |

## KÄYTETYT TERMIT

|                 |   |
|-----------------|---|
| 1206            | Tarkoitetaan komponentin kokoa, joka on 12 x 6 milsiä. Millimetreinä komponentti on 2 x 1 mm:ä  |
| CAD             | Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu  |
| CAM             | Computer Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus   |
| Eutektinen seos | Sulamislämpötila 183 °C (Sn 63 % / Pb 37 %)   |
| Fluksi          | Pastan seassa oleva ainesosa, joka mm. puhdistaa juotosalustat  |
| Gerber-tiedosto | Piirilevyn jyrshintään yleisesti käytettävä/tarvittava jyrshintäinformaatiota sisältävä tiedosto  |
| IC-piiri        | Integrated circuit, johon integroitu suuri määrä aktiivisia (transistori) ja passiivisia (diodi, vastus, kondensaattori) elektronisia komponentteja |
| Kostuminen      | Juotospastan nousukyky juotosalustan ja komponentin jalkojen välissä  |
| Litografia      | Menetelmä, jolla voidaan siirtää haluttu piirijohdinkuvio esimerkiksi syövytettävälle piirikortille   |
| Läpivienti      | Kahden piirilevykerroksen välinen reikä, jotka liitetään toisiinsa  |
| Mils            | Tuuman tuhannesosayksikkö, milleinä yksi milssi vastaa 0,0245mm   |

|               |   |
|---------------|---|
| NC-tekniikka  | (Numerical control) Tarkoittaa numeerisesti ohjattua työstökoneetta, joissa on tietokone ja ohjelmamuisti |
| PADS          | Piirilevyn suunnitteluohjelma   |
| PADS Logic    | PADS-ohjelmiston piirikaavio-ohjelma  |
| PADS Router   | PADS-ohjelmiston reititysohjelma  |
| Raakkeli      | Pastanpainossa käytettävä lasta, jolla pasta levitetään stensiilille                                      |
| Reflow-uuni   | Konvektio eli kiertoilmauuni, jossa tapahtuu pastan juottuminen   |
| Resisti       | Säteilyherkkä materiaali, jolle voidaan siirtää haluttu johdinkuviointi                                   |
| RoHS          | Restriction of Hazardous Substances   |
| Stensiili     | Piirilevyn juotosalustojen kohdilta poistettu materiaali eli "reikälevy"                                  |
| Syövytyskalvo | Kalvo, jolta siirretään litografian avulla johdinkuvio piirikortille                                      |
| Viskositeetti | Nesteen virtauksen kitkan mittayksikkö  |



## 1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tilaajana on Movetron Oy, jonka toimipaikkana on Oulu. Yrityksen toimiala on kone- ja prosessisuunnittelut. Yrityksen eräs tuote on PCMove, joka tuo käyttäjälleen nopeutta ja joustavuutta automaattisten laitteiden ohjauksiin, esimerkiksi kaiverrettaessa puuhun tai metalliin 2D-kuvioita.

Tässä työssä käsitellään PCMove ohjausyksikön piirikortin valmistusmenetelmien ja lyijyttömien liitosmateriaalien ja komponenttien RoHS-direktiivin mukaisia tuotteita. Heinäkuun ensimmäisenä päivänä vuonna 2006 otetaan käyttöön kaikissa EU-jäsenmaissa RoHS-direktiivi (Restriction of Hazardous Substances), joka rajoittaa tiettyjen terveydelle ja ympäristölle haitallisten aineiden käyttöä sähkö- ja elektroniikkatuotteissa sekä niiden valmistuksessa.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia Kajaanin ammattikorkeakoulun elektroniikan tuotantotekniikan piirikortin valmistusmenetelmiä sekä valita edullisin ja tarkin valmistusmenetelmä PCMove ohjausyksikön piirikortin valmistukseen. Lisäksi tarkoituksena on valita PCMove ohjausyksikön piirikortille lyijytön juotospasta ja komponentit.

## 2 TYÖN TAUSTATIEDOT

### 2.1 Työn kuvaus ja tavoite

Työn alkuvaiheessa PCMove:n ohjausyksikön piirikortti oli valmistettu syövytys-tekniikalla ja piirikortissa olevat komponentit ovat kaikki läpiladottavia komponentteja. Läpiladottavat komponentit on juotettu käsin juottamalla piirilevyn juotosalustoille lyijyllistä juotoslankaa käyttäen.

Insinööriyön tavoitteena on saada aikaan uudistettu piirikortti, joka voidaan valmistaa Kajaanin ammattikorkeakoulun elektroniikan tuotantotekniikan piirikortin valmistusmenetelmiä käyttäen. Lisäksi PCMove:n ohjausyksikön uusittuun piirikorttiin valitaan suuresta joukosta lyijyttömiä pastoja, kolme mielivaltaisesti valittua juotospastamerkkiä. Lisäksi joko osa tai kaikki komponentit vaihdetaan läpiladontakomponenteista pintaliitoskomponentteihin.

### 2.2 Movetron Oy

Movetron Oy on oululainen vuonna 2000 perustettu yhtiö, jonka toiminta on suuntautunut PC-pohjaisiin sovelluksiin. Movetron Oy suunnittelee erilaisia sovelluksia kone- ja prosessitekniikan eri yrityksille.

Eräs näistä sovelluksista on tuotteistettu PCMove -ohjelmisto, joka tuo käyttäjälleen nopeutta ja joustavuutta automaattisten laitteiden ohjauksiin. Perinteiset hihna- ja ruuvikäyttöiset servo- ja askelmoottoriohjauksien ohjelmointi on vaikeaa ja työlästä opetella ja muutosten teko vaatii aikaa. Tämä PCMove-ohjausjärjestelmä ratkaisee molemmat ongelmat.

Movetron Oy on käyttänyt eräänä markkinointikanavanaan SMC Pneumatics Finland Oy:tä.

### 2.3 PCMove ja ohjausyksikön piirikortti

PCMove on Movetron Oy:n suunnittelema, rakentama ja markkinoima ohjelmisto, jolla voidaan ohjata erilaisiin tarkoituksiin suunniteltuja sähköisiä, askel- tai servomootoreilla varustettuja lineaariakseleita. CAD-ohjelmistolla mallinnetaan tarvittavat liikeradat esimerkiksi kaiverrettaessa puuhun kohokuvioita. Kun mallintaminen on valmis, tallennetaan se \*.DXF-tiedostomuotoon ja näin voidaan aloittaa ohjelman tekeminen PCMovellet.

PCMoven käyttöliittymän ohjelma on suomenkielinen, jossa määritellään ohjelman tarvitsemat asetukset ja parametrit liikeratojen suorittamiseksi. Ohjelman edullisuuden ja monipuolisuuden vuoksi markkinoilla ohjelmisto on otettu hyvin vastaan, kertoo Hannu Impiö Movetron Oy:stä.

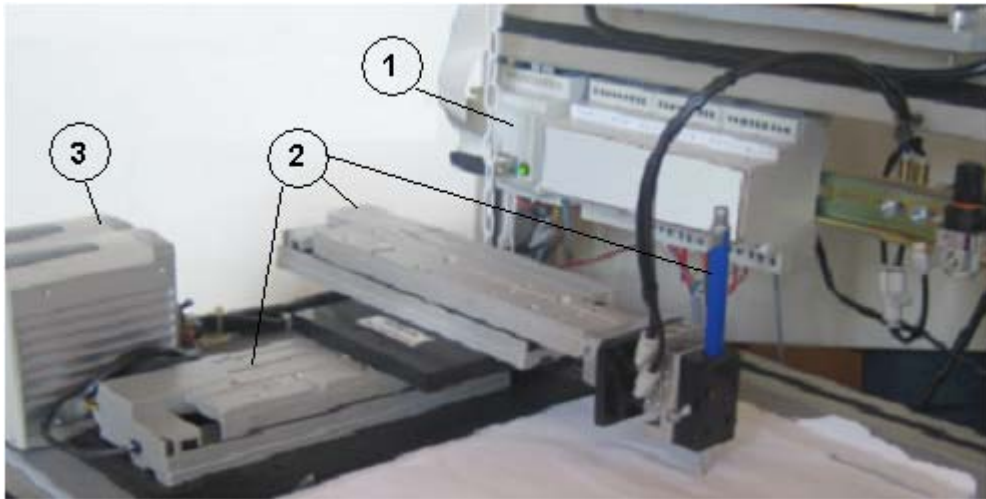
Ohjelmalle annetaan \*.DXF- tiedosto, jonka ohjelma kääntää \*.JOB tiedostoksi. Käännettyä JOB-tiedostoa ohjelma käyttää akselien pulssittamiseen rinnakkaisportin kautta. Kun rinnakkaisportista tulee yksi pulssi, niin moottori pyörähtää yhden astekulman verran, joko eteen tai taaksepäin. Ohjelma kääntää ajo-tiedostoksi (JOB) CAD-ohjelmalla piirretyt viivat, kaaret, pisteet, polylinet sekä ympyrät.

PCMoven käyttöliittymä on helppokäyttöinen ja sille on kehitetty oma laitteenohjausohjelmisto. Kuvassa 1 on esitelty PCMove-laitteisto, joka koostuu seuraavista osakokonaisuuksista: 1.) Ohjausyksikkö, 2.) lineaariyksiköt ja piirturi sekä 3.) langaton tekstiviestimodeemi.

PCMoven ohjelmiston erilaisia laitetoimintoja ovat esimerkiksi askel- ja servomootorit, venttiilit ja anturit. Näin ohjelmistoa voidaan soveltaa eri käyttökohteisiin ja erilaisten laitteiden liikeratojen ohjaukseen. PCMoven käyttökohteita voivat olla esimerkiksi polttoleikkaus, piirilevyn pastaus ja liimaus, taidepuun kaiverrus, kaiverrus ja prototuotanto.

Nykyinen ohjausyksikön piirikortti on valmistettu syövyttämällä, ja läpiladottavia komponentteja varten on porattu reiät. Piirikortin koko on 64 mm x 82 mm:ä ja piirikortti on sijoitettu standardikoteloon. Kotelon mukana tulevat kaksi liitinkiskoa, joihin kiinnitetään input- ja output -tietojohdot.

Piirikortti sisältää neljä integroitua piiriä, joilla kullakin on oma toimintatehtävänsä servomoottoreiden ohjauksessa. Lisäksi piirikortissa on kaksi liitinkiskoa, joista ensimmäiseen tulee sisääntulotietoja antureilta ja vastaanottoyksiköltä. Toinen liitinkiskoista antaa ulostuloja servomoottoreiden ohjaukseen. Piirikortti sisältää lisäksi rinnakkaisportin, jolla ajetaan käytettävä ohjelma piireille ja samalla voidaan tarkastella piirikortin toimintaa. Piirikortin toimintaa voidaan visuaalisesti valvoa kotelon pinnalla olevan ledin avulla.



*Kuva 1. PCMove:n osat.*

## 2.4 RoHS-direktiivi

Heinäkuun ensimmäisenä päivänä vuonna 2006 otetaan kaikissa EU:n jäsenmaissa käyttöön RoHS -direktiivi. Tämä direktiivi kieltää käyttämästä sähkö- ja elektroniikkateollisuuden tuotteissa lyijyä, kadmiumia, kuudenarvoista kromia,

elohopeaa ja muita ympäristölle vaarallisia aineita tuotteissa, jotka tulevat markkinoille 1.7.2006 jälkeen. [1.]

Direktiivi koskee muun muassa kodinkoneita, IT- ja telekommunikaatiolaitteita, sähkökäyttöisiä työkaluja, leluja, vapaa-ajan- ja urheilulaitteita tai -välineitä sekä edellä mainituissa laitteissa tai koneissa käytettyjä komponentteja, että juotospastoja. [1.]

Direktiivin voimaan astumisen jälkeen tulee markkinoille tulevien sähköisten ja elektronisten laitteiden ja koneiden piirilevyjen komponenttien ja juotospastojen täyttää edellä mainittu direktiivi. Uusia juotospastaseoksia on pidemmän aikaa kehitelty ja testattu muun muassa Japanissa, EU:n alueella ja Yhdysvalloissa. [1.]

Uudella direktiivillä pyritään vähentämään ympäristölle haitallisten aineiden vaikutusta luonnolle ja ihmisille. Samalla tuotteiden ja laitteiden kierrätettävyyttä sekä ympäristöystävällisyyttä paranevat. [1.]

#### 2.4.1 Lyijy ja sen yhdisteet

*Lyijy (Pb) on metalli, jota luonnossa esiintyy pieninä pitoisuuksina maankuoressa. Suurin osa lyijystä on peräisin fossiilisten polttoaineiden polttamisesta, kaivosteollisuudesta ja valmistusteollisuudesta. Lyijyä käytetään maalien ja pigmenttien valmistuksessa sekä paristojen, ammusten ja metallituotteiden (juotteiden ja putkien) valmistuksessa. Maaperään päästessään lyijy tavallisesti tarttuu maaperän hiukkasiin. Lyijy on maaperässä pitkäaikainen altistuslähde, koska se ei haihdu, hajoa biologisesti tai rappeudu. [2.]*

#### 2.4.2 Kadmium ja sen yhdisteet

Kadmium (Cd) on pehmeä, valkoinen, luonnossa esiintyvä metallinen alku-aine, jota on kalliassa, maaperässä ja sedimenteissä. Lisäksi luonnossa kadmiumia esiintyy yleensä oksidi-, sulfidi- ja karbonaattikomplekseina sinkki-, lyijy- tai kuparimalmeissa. Eri teollisuuden alat käyttävät yleisimmin muun muassa seuraavia kadmium-yhdisteitä: kadmiumoksidi, kadmium-kloridi, kadmiumsulfidi ja -sulfaatti, kadmiumlauraatti, kadmiumstearaatti, kadmiumsinkkisulfidi ja kadmium-elohopeaselenidi. [2.]

Kadmiumin pääasiallinen käyttökohde on paristot, väriaineet, metallipäällysteet, eräät metalliseokset ja muovit. Lisäksi kadmiumia käytetään stabilisaattorina PVC:n ja muiden polymeerien valmistuksessa. Stabilisaattoreita käytetään myös vähentämään UV-valon tai ilman aiheuttamaa tuotteen rappeutumista. [2.]

#### 2.4.3 Elohopea ja sen yhdisteet

Luonnossa esiintyvän elohopean eri esiintymismuodot ovat orgaaninen, epäorgaaninen ja metallinen elohopea. Elohopean höyryt ovat hajuttomia ja värittömiä. Lähes kaikki epäorgaaniset elohopeayhdisteet ovat valkoisia punaista elohopeasulfidia lukuun ottamatta. Ympäristössä yleisin esiintyvä orgaaninen elohopeayhdiste on valkoinen ja kiteinen metyylielohopea. [2.]

Nestemäistä ja metallista elohopeaa käytetään moneen eri tarkoitukseen. Näitä käytetään muun muassa kloorikaasun ja natriumhydroksidin valmistuksessa, lämpömittareissa, barometreissa, paristoissa, sähkökytkimissä ja hopeanvärisissä hammaspaikoissa. Epäorgaanisia elohopeayhdisteitä käytetään muun muassa sienen estoaineina, antiseptisinä tai desinfioivina aineina. [2.]

#### 2.4.4 Kuudenarvoinen kromi

Yleensä kuudenarvoista kromia syntyy erinäisissä teollisuuden prosesseissa. Kuudenarvoista kromia voidaan käyttää kromaukseen, väriaineiden valmistukseen, nahan parkitsemiseen ja puunsuojauskemikaaleihin. Pienempiä pitoisuuksia käytetään kairausliejuissa, ruosteen ja korroosion estossa, tekstiileissä ja kopiokoneiden väriaineissa. Kuudenarvoista kromia voidaan myös käyttää eri pigmentteinä lattian päällystysaineissa, paperissa, bitumikatemateriaalissa ja värjättyssä lasissa. [2.]

#### 2.4.5 Bromatut palonestoaineet

*Bromattuja palonestoaineita käytetään useissa eri tuotteissa, kuten autoissa, tietokoneissa, tekstiileissä ja televisioissa. Polybromatut bifenyylit (PBB) ja polybromatut bifenyylieetterit / polybromatut difenyylieetterit (PBDE/PBDE) ovat samalla tavalla myrkyllisiä kuin PCB:t ja DDT:t.*

*Niiden käyttö on kiellettyä, koska niitä epäillään karsinogeenisiksi yhdisteiksi ja ne jäljittelevät estrogeenihormonia. Yhdisteiden stabiilisuutensa ja lämmönkestävyytensä takia niitä käytetään teollisuudessa paljon. Nämä ominaisuudet tekevät niistä kuitenkin myös luonnolle vaarallisia yhdisteitä, sillä ne säilyvät ympäristössä ja ravintoketjussa pitkään ja kerääntyvät biologisiin kudoksiin. [2.]*

### 3 LYIJYTTÖMÄT MATERIAALIT

Maailman elektroniikkateollisuus käyttää alle yhden prosentin maailmalla tuotetusta lyijystä, samalla on ryhdytty vähentämään lyijyn osuutta elektroniikkateollisuudessa. Kun lyijyllinen tuote on päätenyt elinkaarensa loppuun, se yleensä päätyy kaatopaikalle, josta lyijy voi liueta paikallisten ihmisten ja eläinten juomaveteen. [3.]

Suuret japanilaiset elektroniikka-alan yritykset ovat ottaneet käyttöön lyijyn rajoitusmenetelmät. Muun muassa Matsushita on poistanut lyijyn kokonaan kaikista kulutuselektroniikan tuotteistaan vuoteen 2001 mennessä, NEC pudottaa lyijyn käytön vuoteen 2002 mennessä puoleen siitä mitä se oli vuonna 1997. [3.]

Euroopassa ja Suomessa elektroniikka-alan yritykset ovat aloittaneet kehittämään vaihtoehtoista kokoonpanomenetelmään lyijyttömille tuotteille. Tämän projektin tarkoituksena on ollut selvittää ja hankkia uutta tietoa lyijyttömästä kokoonpanoprosessista ja tutkia, miten pintaliitosprosessissa lyijyttömät juotteet käyttäytyvät. Suurin haaste tässä projektissa on ollut se, kuinka lyijyttömien juotteiden sulamislämpötilat muuttuvat lyijyllisten juotteiden sulamislämpötiloista. [3.]

Pelkkää tinaa ei voida käyttää juotosaineena, koska sen mikrorakenteet ovat epästabiileja ja aiheuttavat tinaviiksiä. Tämän johdosta tinan sekaan on lisättävä jotain muuta alkuainetta tai niiden sekoituksia, jolloin tinan lujuus- ja luotettavuusominaisuudet parantuvat. Indium, hopea ja kulta ovat arvokkaita alkuaineita ja tämän johdosta niiden suurempi käyttö nostaisi juotospastan hintaa korkeammaksi. Joten lisäraaka-aineiksi hinnan puolesta soveltuvat sinkki ja kupari, koska näiden alkuaineiden ympäristövaikutukset ovat matalat sekä niiden saatavuus on hyvä. [3.]



### 3.1 Lyijyllinen juotospasta

Ennen RoHS-direktiivin voimaan astumista voidaan käyttää pääosin lyijystä ja tinasta koostuvaa lyijyllistä juotospastaa. Pääasiallinen seossuhde niin sanotussa eutektisessä tina-lyijyseoksessa on 63 % tinaa (Sn) ja 37 % lyijyä (Pb), jonka sulamispiste on 183 °C:ta. Lisäksi tällä seoksella on hyvä kostumus kaikille pinnoitemateriaaleille ja juotospastan hyvän pintajännityksen johdosta komponentti hakeutuu paikoilleensa juotoksen ollessa sulana. [4.]

Lisäaineina tina-lyijy-seoksessa voi olla käytetty lisäseosaineena muun muassa hopeaa (Ag), kadmiumia (Cd) ja kromia (Cr). Eniten käytössä ollut lisäaine on hopea, tällöin seossuhde voi esimerkiksi olla 62 % tinaa, 36 % lyijyä ja 2 % hopeaa. Jos seoksessa käytetään hopeaa, sen sulamislämpötila on hieman matalampi (179 °C), kuin ilman hopeaa olevat seokset. Yleisin käytössä oleva juotospastaseos on niin kutsuttu 63/37-seos, jossa seoksen massasta on 63 % tinaa ja 37 % lyijyä. Tämän seoksen eutektinen lämpötila on 183 °C-astetta. [4.]

Itse juotospasta koostuu erikokoisista metallirakeista, joiden koko vaihtelee 0-70 µm:n välillä. Lisäksi pastan seassa on muita ainesosia kuin pelkästään tinaa ja lyijyä, kuten muun muassa fluksia, rosiinia, liuottimia, side- ja lisäaineita. Kaikilla näillä edellä mainituilla aineosilla on kullakin tärkeä tehtävä seoksessa ja juottumisessa. [4.]

Fluksin tehtäviä pastassa ovat muun muassa puhdistaa oksidoituneet juotosalustat ja suojata niitä uudelta oksidoitumiselta, pitää pastan koostumus koossa sekä aikaan saada hyvä leviäminen juotosalustan ja komponentin välille. Rosiinit notkistavat juotospastan. Liuottimilla saadaan liukoisuutta ja pastan ladonta-/tartunta-aikaa pidennettyä. Sideaineiden avulla muodostetaan viskositeetti ja tartunta-aikaa voidaan muokata fluksin. Lisäksi fluksi voi sisältää 5-20 erilaista ainetta. [4.]

### 3.2 Lyijytön pasta

Lyijyn poistuessa nykyisistä juotospastoista, lyijyä korvaavina aineina voidaan käyttää muun muassa vismuttia (Bi), kuparia (Cu), kultaa (Ag), indiumia (In) ja antimonia (Sb). Huonoin korvausaine olisi näistä vismutti, koska se on lyijyn valmistuksen sivutuote. Samoin antimonin käyttöä korvaavana aineena on rajoittanut huoli sen myrkyllisyydestä. Hintansa, saatavuutensa ja ympäristövaikutustensa puolesta kupari ja sinkki soveltuisivat paremmin korvaaviksi aineiksi kuin vismutti ja antimoni. [3.]

*Taulukko. 1. Lyijyllisten ja lyijyttömien aineiden sulamislämpötiloja.[5.]*

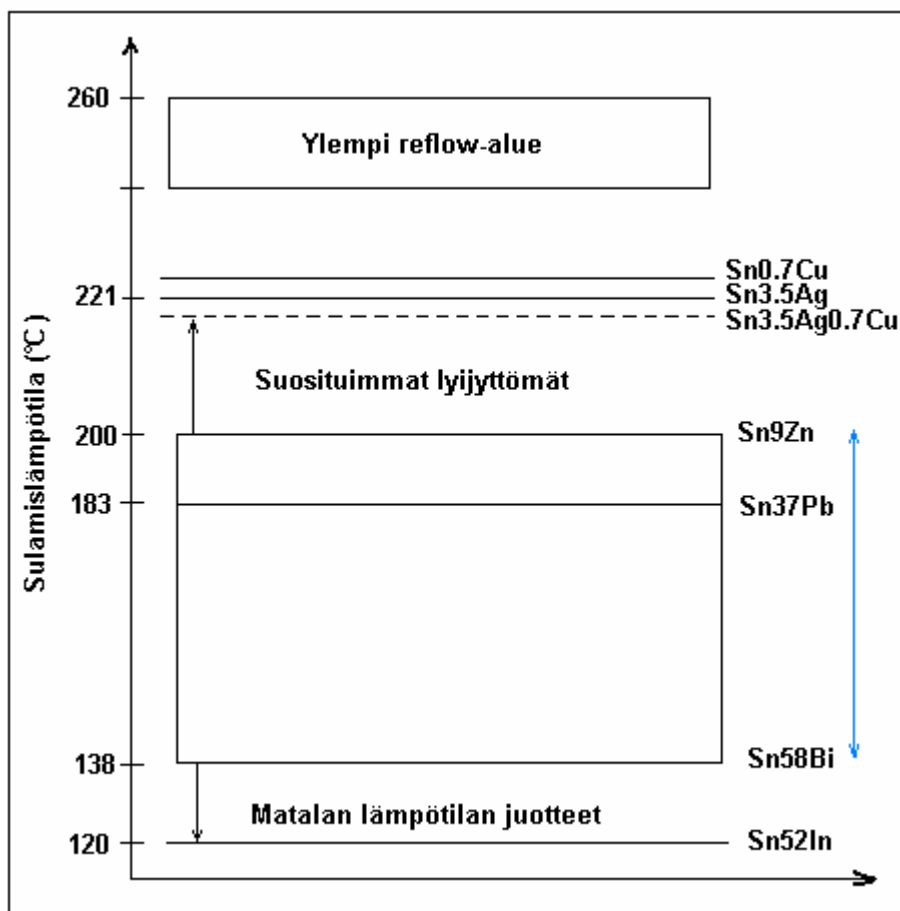
|                      | Lyijyttömät seosaineet | Lyijylliset seosaineet |
|----------------------|------------------------|------------------------|
| Aine                 | Sulamislämpötila (°C)  | Sulamislämpötila (°C)  |
| Antimoni (Sb)        | 630,5                  |                        |
| Indium (In)          | 156                    |                        |
| Kulta (Au)           | 1063                   |                        |
| Kupari (Cu)          | 1083                   |                        |
| Vismutti (Bi)        | 271                    |                        |
| Elohopea, neste (Hg) |                        | -39                    |
| Kadmium (Cd)         |                        | 321                    |
| Kromi (Cr)           |                        | 1800                   |
| Tina (Sn)            | 231,91                 | 231,91                 |
| Lyijy, valettu (Pb)  |                        | 327,4                  |

Kuten taulukosta 1 voimme havaita, ovat eri kemiallisten ainesosien sulamislämpötilat varsin erilaisia. Kuitenkin näitä aineita sekoittamalla saadaan aikaiseksi varsin hyviä sekä lyijyllisiä että lyijyttömiä seoksia elektroniikkateollisuuden eri tarpeisiin.

Kaikki lyijyttömät seokset sulavat korkeammassa lämpötiloissa kuin lyijylliset seokset. Korkeammat lämpötilat asettavat myös fluksille kovemmat vaatimukset. Jos juotosvaiheesta tulee vaikea käytettäessä lyijyttömiä materiaaleja, täl-

löin voi olla tarpeen, että fluksin kiinteyttä lisätään tai valitaan aktiivisempi fluksi. [3, s. 117.]

Kuvassa 2 on esitelty erilaisten lyijyttömien juotteiden sulamispisteet. Lyijyttömät juotteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään niiden sulamislämpötilojen perusteella. Nämä kolme ryhmää ovat: korkean lämpötilan juotteet, joiden sulaminen alkaa vasta yli 260 °C yläpuolella, välialueen juotteet (200°C-227°C) ja matalan lämpötilan juotteet (120°C-200°C). [6, s. 62.]



Kuva 2. Lyijyttömien juotteiden sulamispistealueet. [6, s. 62.]

Välialueen juotteisiin kuuluvat kaksikomponenttiset juoteseokset Sn3.5Ag (221°C) ja Sn0.7Cu (227°C) sekä lisäksi kolmikomponenttiset juoteseokset,

joista yleisin on SnAgCu-seos (217°C). Näillä juoteseoksilla on suunniteltu korvattavaksi aiemmin käytössä ollut eutektinen tinalyijyseos. Jotta edellä mainitut kaksi- ja kolmikomponenttiset juoteseokset toimisivat hyvin, on fluksikemian ja käytössä oleva juotosprosessi säädettävä korkeammille lämpötiloille. [6, s. 62.]

Taulukossa 2 on esitelty sekä kaksi- että kolmikomponenttisten juoteseosten ominaisuuksia. Sulamispisteessään kukin lyijytön juotosseos muuttuu kiinteästä juotteesta sulaan muotoon, kun niiden sulamispisteen lämpötila ylitetään. Samoin tapahtuu jäähtymisessä, kun juotospastan sulamispiste alitetaan, juote muuttuu sulasta juotteesta kiinteäksi juotteeksi ja juote jähmettyy komponenttiin ja juotosalustaansa. [6, s. 62.]

*Taulukko 2. Lyijyttömien juotteiden ominaisuuksia. [6, s. 65.]*

| Lämpötila-alue                    | Sulamispiste | Koostumus      | Ominaisuuksista  |
|-----------------------------------|--------------|----------------|--|
| Korkean lämpötilan juotteet       | 227°C        | SnCu0,7        | Halpa, melko korkea sulamispiste, aaltojuottoon        |
|                                   | 221°C        | SnAg3,5        | Riittävä kostutus, hyvä väsymisensietokyky             |
|                                   | 217°C        | SnAg3,43Cu0,83 | Hyvät termomekaaniset ominaisuudet                     |
| Välialueen juotteet               | 200-216°C    | SnAg3,5Bi3,0   | Bi lujittaa liitosta, luotettavuusriskit Pb:n kanssa   |
|                                   | 199°C        | SnZn10         | Zn:n oksidoituminen, korrosio, huono kostutus          |
| Matalan lämpötila-alueen juotteet | 138°C        | SnBi58         | Luotettavuus riskit Pb:n läsnäollessa, luja materiaali |
|                                   | 120°C        | SnIn52         | Rajalliset In-resurssit, herkkä korroosiolle           |

### 3.3 Tina-hopea-kupariseoksen tunnusmerkit

Lyijyttömän tina-hopea-kupariseoksen tunnusmerkkejä ovat muun muassa alkuaineiden riittävä tarjonta, täyttää kostutuksen tunnusmerkit, matalampi sulamispiste kuin tina-hopea- tai tina-kupariseoksella, hyvä uupumuksen vastustuskyky ja hyvä kokonaisvaltainen liitoslujuus. [8.]

Näyttää siltä, että monet komponenttivalmistajat ovat hyväksyneet tämän tina-hopea-kupariseoksen. Tinalla on suhteellisen matala sulamispiste, kupari on tinaan liukeneva ja sitä on runsaasti saatavilla hopean ohella. [3.]

### 3.4 Juotospastojen tekniset tiedot

Juotospastojen markkinoilla on useita hyviä pastoja, joten pistearvosteluun on valittu markkinoilta kolme mielivaltaisesti valittua juotospastamerkkiä. Lyijyttömän juotospastan valinnassa käytän pistearvostelua, jolla vertaillaan eri juotospastojen muun muassa ominaisuuksia, maksimi lämpötiloja juotosprosessissa, juotospastan koostumusta ja hintaa.

Näille kolmelle lyijyttömälle juotospastalle suoritetaan viskositeettimittaus, jolla pyritään vahvistamaan juotospastojen valmistajien määrittelemät viskositeettiarvot. Valintataulukossa esiintyviä juotospastoja ovat Multicore LF-318 [9], KOKI Lead-Free S3X58-M405 [10] ja AIM SAC305 [11].

#### 3.4.1 Multicore LF-318

Tämän juotospastan valmistaja määrittelee LF-318:lle seuraavia etuja, joita ovat muun muassa pitkä pastanpaino aika, pitkä tarttumisaika (tack time), vastustaa palloontumista, sopii monelle erityyppiselle juotospinnalle ja juotosalustoja ei tarvitse puhdistaa ennen pastausta. Taulukossa 3 on esitelty Multicore LF-318 lyijyttömän pastaseoksen ainesosat. [9.]

*Taulukko 3. Multicore LF-318 koostumus. [9]*

| Ainesosa    | Painoprosentti-<br>määrä |
|-------------|--------------------------|
| Tina (Sn)   | 95.5 %                   |
| Hopea (Ag)  | 3.5 %                    |
| Kupari (Cu) | 0.7 %                    |

Lisäksi tämän pastaseoksen metallipitoisuus on 88 %, ja sen partikkelikoko vaihtelee 20 - 45 µm välillä. [9.]

#### 3.4.2 AIM SAC305

Valmistajan määrittelemiä avainetuisuuksia AIM SAC305-juotospastalle ovat muun muassa laajentuva hyvä kostuminen, 12 - 24 tunnin tarttumisaika ja hyvä pastausjälki tarttumisajan jälkeen. Valmistajan spesifikaatioiden mukaan tämä lyijytön juotospasta on tinaa 96,5 %, hopeaa 3,0 % ja kuparin 0,5 % sekoitus. [10.]

#### 3.4.3 Koki S3X58-M405

Koki S3X58-M405 -pasta on koostumukseltaan 96,5 % tinaa (Sn), 3,0 % hopeaa (Au) ja 0,5 % kuparia (Cu). Tämän juotospastan sulamispiste on 217 - 218 °C:ssa ja sen partikkelikoko vaihtelee 20 - 38 µm välillä. Lisäksi tämän juotospastan valmistaja mainitsee ko. pastan spesifikaatiossa, että tällä pastalla voidaan saavuttaa täydellinen sulaminen sekä hyvä kostuminen erittäin pienellä jalkovälillä. [11.]

### 3.5 Piirikortin komponentit

Tällä hetkellä markkinoilla olevia komponentteja saa sekä lyijyllisinä, että RoHS-direktiivin täyttävänä lyijyttöminä komponentteja. Komponenttivalmistajat ovat sitoutuneet noudattamaan RoHS-direktiiviä samoin kuin juotospasta- ja piirilevyvalmistajat. [1.]

PCMoven piirilevy sisältää muun muassa 22 kpl 1206 -palavastuksia, 2 kpl 1206 -paladiodia, 2 kpl 1206 -palakondensaattoria, 2 kpl transistoria ja 5 kpl integroitua piiriä sekä yhden verkkovastuksen. Lisäksi ohjauspiirikortilla on LPT-liitinrima, jonka kautta voidaan syöttää ajettava ohjelma piirikortin muistiin.

Ohjauspiirikortissa on lisäksi kaksi kytkentäkiskoa, joiden kautta syötetään ohjauspiirikortin vaatima 24V ohjausjännite sekä saadaan lineaariyksiköiden ja muiden toimielinten vaatimat ohjaustoiminnot ulos output-liitäntäkiskolta. Lisäksi LPT -porttiin tarvitaan kotelon ja piirikortin välille kommunikointikaapeli, jossa on 25 -napaiset liittimet ja 26 -napainen rinnakkaiskaapeli. Merkinantoledi on kiinnitetty piirikorttiin kahdella erivärisellä langalla.

## 4 TYÖSSÄ KÄYTETYT MENETELMÄT JA VÄLINEET

### 4.1 PADS-piirilevyn suunnitteluohjelma

PCMovessa käytettävän piirikortin suunnittelu toteutettiin PADS-piirilevyn suunnitteluohjelmalla. Piirilevyn suunnitteleminen aloitettiin mallintamalla komponentit niiden valmistajien määrittämällä spesifikaatioista. Jokainen komponentti luotiin omana komponenttina PADS:n komponenttikirjastoon.

Kun piirilevyllä olevat komponentit olivat mallinnettu ja piirilevyn kytkennän oikeellisuus tarkastettu, aloitettiin komponenttien välisten johdinpolkujen reititys. Tässä vaiheessa oli jo selvillä se, että piirilevyllä täytyi tehdä läpivientejä. Jos käytössä olisi ollut yksipuolinen piirilevy, olisi johdinpolkuja jouduttu hyppylangoittamaan piirilevyn ”selkäpuolelta”. Protopiirilevyssä käytettiin läpivienteinä yksisäikeistä kytkentälankaa, jolla yhdistettiin piirilevyn niin sanotut primääri- ja sekundääripuolet yhtenäiseksi johdinpoluksi. Lisäksi PADS:llä tehtiin piirilevyn valmistukseen tarvittavat poraustiedostot sekä syövytyskalvot.

#### 4.1.1 Piirikaavion luominen

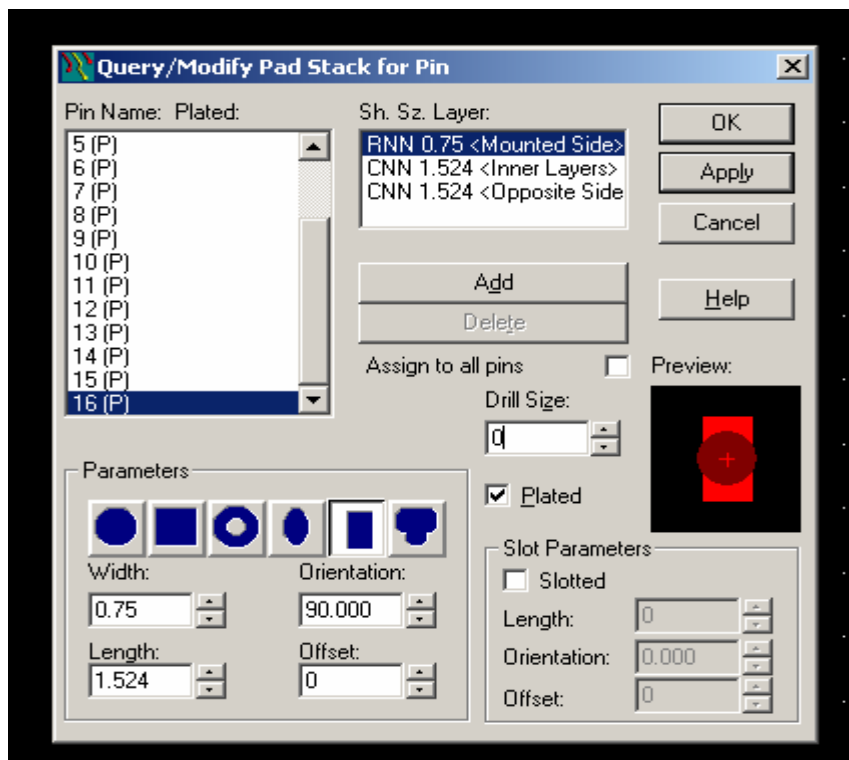
Piirikaavion eli scheman rakentaminen aloitetaan valitsemalla piirilevyllä tarvittavat komponentit PADS -ohjelman komponenttikirjastoista. Näihin komponenttikirjastoihin on tallennettu yleisimmät komponentit suurimmilta komponenttivalmistajilta.

Halutut komponentit noudetaan kirjastoista ja asetellaan mielivaltaiseen paikkaan PADS PowerLocigin sijoitusikkunassa tai siihen loogiseen paikkaan, jossa se kuvaa parhaiten itseään piirilevyllä. Jos tarvittavaa komponenttia ei löydy komponenttikirjastosta, komponentti voidaan tarvittaessa luoda sinne itse. Näin saadaan esimerkiksi monet pintaliitoskomponentit päivitettyä komponenttikirjastoihin, kun tällä hetkellä useat komponenteista ovat läpiladottavina malleina.



#### 4.1.2 Komponenttien luominen

Komponenttikirjastosta puuttuva komponentti voidaan mallintaa sen ulkomittoja ja juotosalustoja vastaavaksi komponentiksi komponenttikirjastoon. Komponentin mallintaminen aloitetaan luomalla juotosalustoja vastaavat padit PADS - Routerissa. Tällä toimenpiteellä määrätään se, kuinka kaukana toisistaan komponentin juotosalustat toisistaan sijaitsevat. Kuvassa 3 annetaan komponentin jalkojen leveyden, pituuden ja kulman mitat sekä määritellään minkä muotoinen jalka on kyseessä. Näillä asetuksilla voidaan muokata komponentin kaikkien jalkojen muotomittoja.



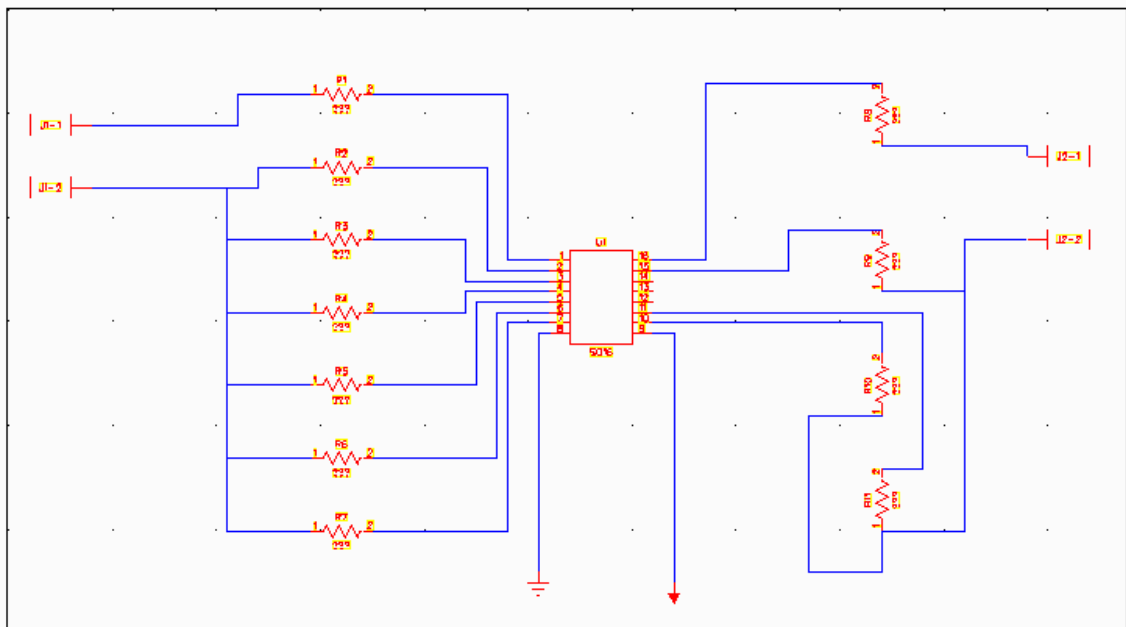
Kuva 3. Komponentin jalkojen mitoitus.

Kun komponentti on mallinnettu komponenttivalmistajan speksien mukaisten mittojen perusteella, tallennetaan mallinnettu komponentti komponenttikirjastoon täydentämään puutteellista komponenttikirjastoa. Tämän jälkeen kom-

ponentille täytyy mallintaa sähköisiä liittimiä vastaavat liitospisteet PADS PowerLocig:ssa.

Näiden liitospisteiden avulla luodaan PADS PowerLocig:ssa sähköinen schema-kaavio, joka vastaa piirilevyllä olevien komponenttien sähköistä toimintakuva. Vian esiintyessä voidaan tästä schema-kaaviosta paikantaa vian aiheuttaja ja tarkastella kytkentää.

Kun sähköiset liitospisteet ovat valmiina, tulee ne tallentaa komponenttikirjastoon samoin kuin edellä mainittiin, jotta sähköisiä reitityksiä luotaessa saadaan komponentti kytkettyä piirikaavioon oikeaan paikkaan oikeiden komponenttien väliin. Kun kaikki piirikorttiin tarvittavat komponentit ovat tarvittaessa mallinnettu komponenttikirjastoon ja haettu sieltä esille, täytyy komponenttien piirrosmerkien välille rakentaa sähköinen yhteys. Tällä tavoin saadaan piirikortin komponentit kytkettyä toisiinsa ja piirikortti saadaan toimivaksi. Kuvan 4 kytkentäpiirros ei liity millään tavalla PCMoven ohjausyksikön piirikortin kytkentään, mutta se toimii tässä kohdassa havainnollistavana kuvana.

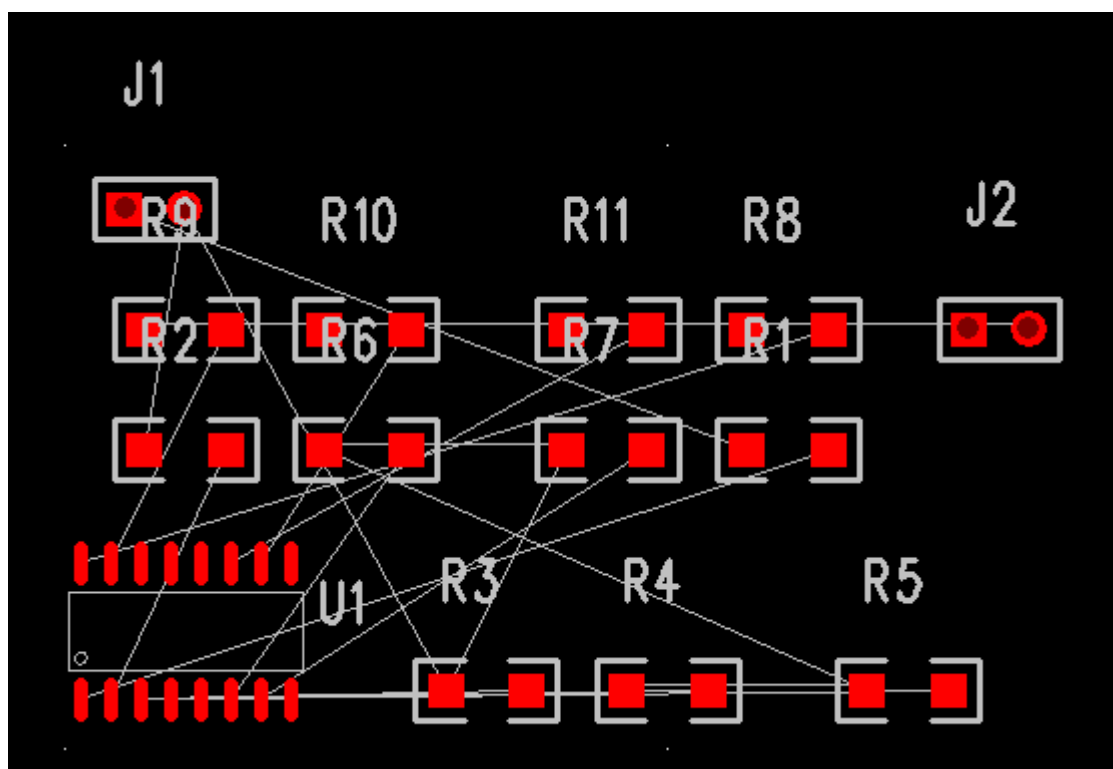


Kuva 4. Piirilevyllä tulevien komponenttien sähköiset liitokset.

#### 4.1.3 Johdinpolkujen reititys

Ennen reitityksen muodostamista PADS -Routerissa, on piirilevyn koko määriteltävä ja rajattava oikean kokoiseksi. Piirilevyn koko voi olla joko standardikokoinen piirilevy tai suunnittelijan itse määrittelemä. Standardikokoisia piirilevyjä ovat esimerkiksi 100 mm x 160 mm, 160 mm x 233 mm ja niin edelleen.

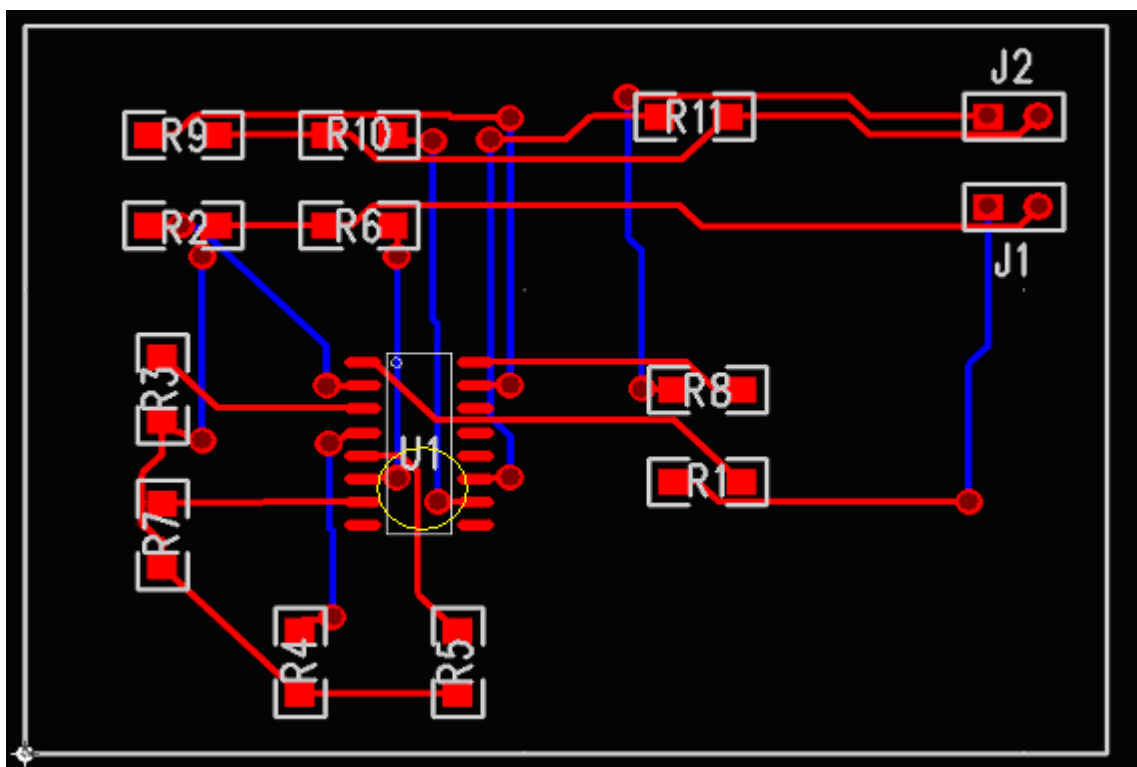
Kuvassa 5 on komponentit siirretty PADS-Logicista PADS-Routeriin, jossa rakennetaan kontaktipisteiden välille varsinaiset johdinreititykset. On olemassa kaksi tapaa rakentaa piirikorttiin tulevat johdinreititykset. Ensimmäinen tapa on käyttää PADS -ohjelmiston BlazeRouter:n automaattista reititystoimintaa. Tällä tavalla saadaan nopeasti ja vaivattomasti rakennettua johdinpolut. Jos piirilevyn koko on pieni ja piirilevylle tulee molemmin puolin komponentteja saattaa läpivientien määrä kasvaa suureksi ja ne saattavat sijaita komponenttien alla, mikä ei ole suotavaa.



Kuva 5. Komponentit ennen piirilevyn rajausta.

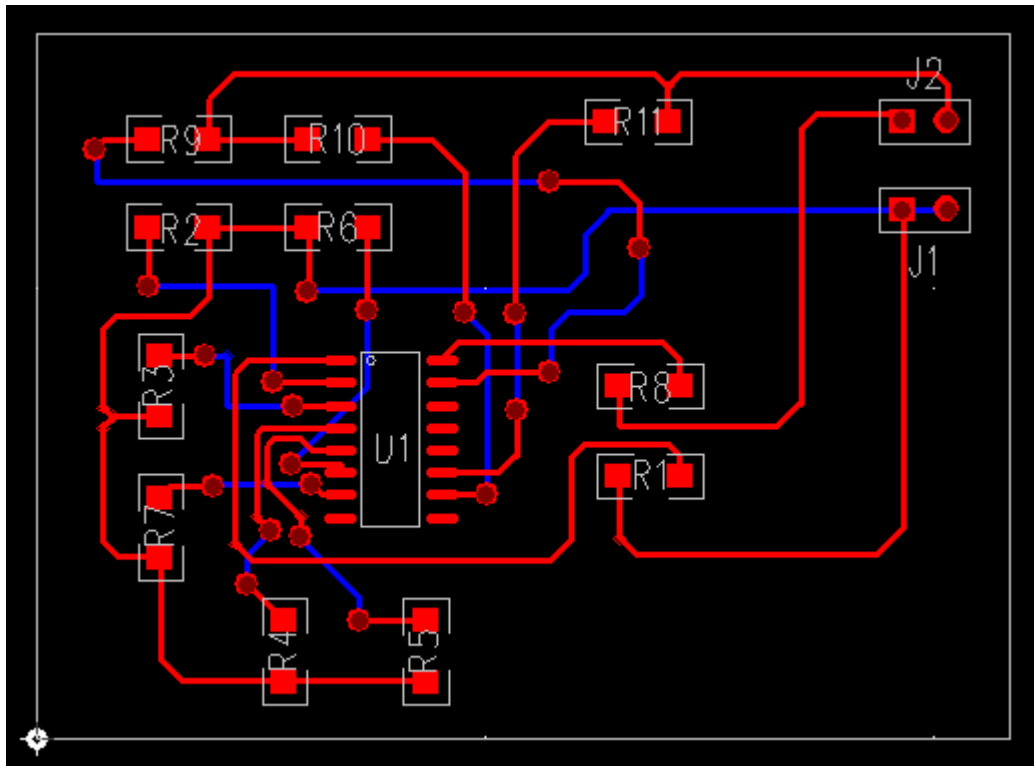
Toinen tapa on rakentaa johdinpolut itse käsin määrittelemällä johdinpolkujen ja läpivientien paikat. Tällöin saadaan supistettua läpivientien määrää ja samalla saadaan läpiviennit määriteltyä mielivaltaiseen paikkaan. Tämä tapa on, riippuen käyttäjän taidoista, enemmän aikaa vievä, mutta käyttäjäystävällisempi.

Kuten kuvasta 6 voidaan havaita, on automaattinen reititys reitittänyt osan läpivienneistä komponenttien alle (keltainen ympyrä). Jotta tällainen ongelma saataisiin poistettua, tulee läpiviennit siirtää manuaalisesti pois komponenttien alta. Jos komponentit olisivat tiheämmässä, voi läpivienneistä koitua ongelmia oikosulkujen muodossa. Tästä johtuen PCMove:n piirikortin johdinpolut ovat suunniteltu manuaalisesti.



*Kuva 6. Automaattisen reitityksen tulos.*

Kuvassa 7 on esitelty käyttäjän luoma piirikortti. Verrattaessa kuvia 6 ja 7, on selvästi havaittavissa reitityksien erot.



*Kuva 7. Käyttäjän määrittelemä reititystulos.*

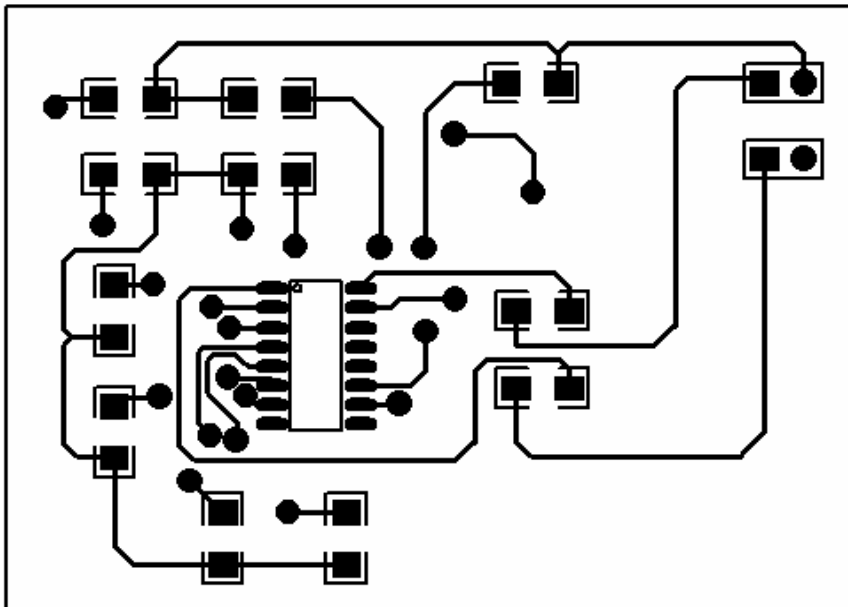
Hyviin suunnittelutapoihin kuuluvat muun muassa seuraavat tekijät, jotka tulee huomioida piirikorttia suunniteltaessa. Komponenttitunnukset tulee olla selvästi näkyvillä ja riittävän isolla fontilla. Komponentit ovat sijoitettu piirilevylle riittävän väljästi, johdinpolkujen kulmat tulee olla pyöristettyinä 45° kulmaan ja läpiviennit tulee olla selvästi erillään sekä johtimista, että toisistaan. Huomioitava on myös se, että maa- ja virtajohtimet eivät saa kulkea samalla puolella piirilevyn reunaan. Näiden toimenpiteiden jälkeen oli piirilevyn PADS-kuville suoritettava Gerber-tiedostojen luonti.

#### 4.1.4 Piirilevyn Gerber-tiedostot

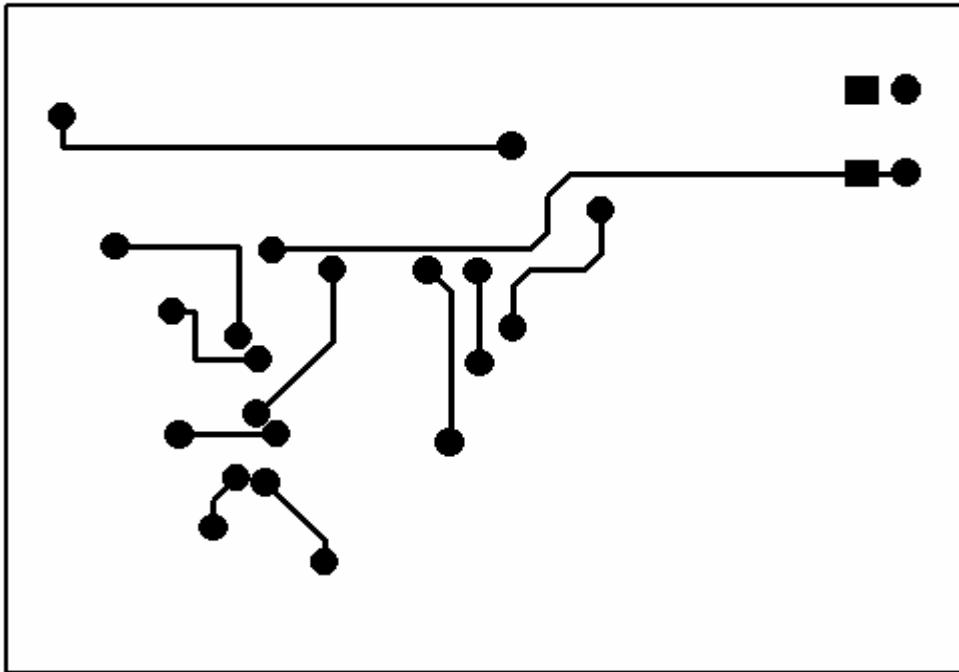
Gerber-tiedostot ovat yleisesti käytetty tiedostomuoto piirilevysuunnittelussa, jota voidaan käyttää eri sovellusten välisenä valmistustiedostona. Tällaisia sovelluksia ovat esimerkiksi PADS ja IsoCam-jyrsintäohjelmat. Gerber-tiedostoja ovat syövytyskuva-, poraus- ja jyrsintätiedostot.

PADS-piirilevyn mallinnusohjelman CAM-komennolla voidaan valmiista piirilevystä luoda niin sanotut gerber-tiedostot. Edellä mainittujen tiedostojen avulla saadaan tehtyä piirilevylle läpiladottavien komponenttien ja läpivientien reiät, kun poraustiedostot siirretään jyrsintälaitteelle. Kuvassa 8 on esitelty kuvan 7 mukainen syövytyskalvo piirilevyn primääripuolelta ja kuvassa 9 on piirilevyn sekundääripuolen syövytyskalvo.

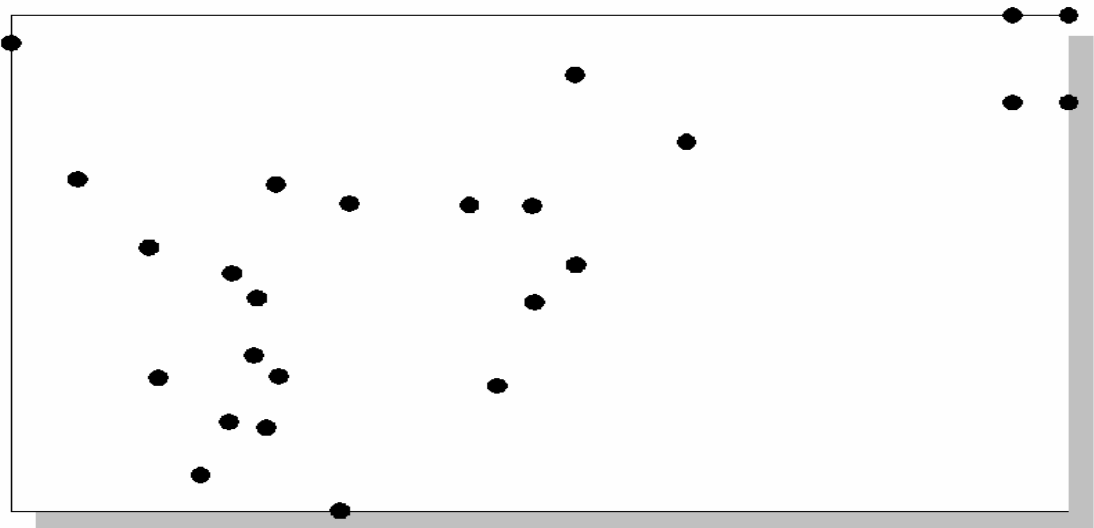
Kuvassa 10 on esitelty piirikortin valmistuksen reikien poraustiedosto. Ohut musta laiteviiva kuvastaa laitimmaisten porauspaikkojen ääriiviivaa ja mustat pisteet kuvastavat porauspaikkoja.



*Kuva 8. Piirilevyn syövytyskalvo primääripuolelta.*



*Kuva 9. Piirilevyn syövytyskalvo sekundääripuolelta.*



*Kuva 10. Piirilevyn reikien poraustiedoston mukainen lopputulos.*

## 4.2 Piirikortin jysintä

Jysintämenetelmä perustuu NC-tekniikkaan, jossa X-, Y- ja Z-suuntaan liikkuvan poran-/jysinterää siirretään koordinaattien osoittamiin paikkoihin. PADS-ohjelmassa käännettyt poraus- ja jysintätiedostot tuodaan \*.pho, \*.drl ja \*.rep-formaateina IsoCam-ohjelmistoon, jossa luodaan varsinainen poraus- (\*.drl), työkalu- (\*.rep) ja jysintäloki (\*.pho).

Porattava piirikortti asetetaan puisen työskentelyalustan päälle ja kiinnitetään tyhjä piirilevy teippauksen avulla alustaan. Piirikortin kiinnitysmenetelmä on vielä varsin alkeellinen, koska vielä ei ole hankittu kunnollista piirilevyn kiinnityskehikkoa piirilevyjysintälaitteistolle. Kun piirilevy on kiinnitetty mahdollisimman hyvin työskentelyalustalle, voidaan aloittaa piirilevyn poraus tai jysintä.

Kun piirilevyn porausta ja jysintää varten saatu reikä tiedosto on ladattu Iso-Cam-ohjelmistoon, asetetaan tarvittavat asetukset ja parametrit ohjelmistoon sekä asetetaan piirilevyn ja terän origo samaan pisteeseen. Tästä pisteestä aloitetaan reikien poraus, tällöin terä kulkee kaikkien määrättyjen pisteiden kautta ja lopettaa poraukset viimeiseen reikään, jonka jälkeen poranterä palaa origoon.

Kuvassa 11 on esitelty jysintälaitteisto, joka koostuu ohjaus- ja tietojenkäsittelyyksiköstä, lineaariyksiköistä, jysintä- ja porakoneesta sekä tietokoneesta, jossa on jysintään ja poraukseen tarvittavat ohjelmistot.



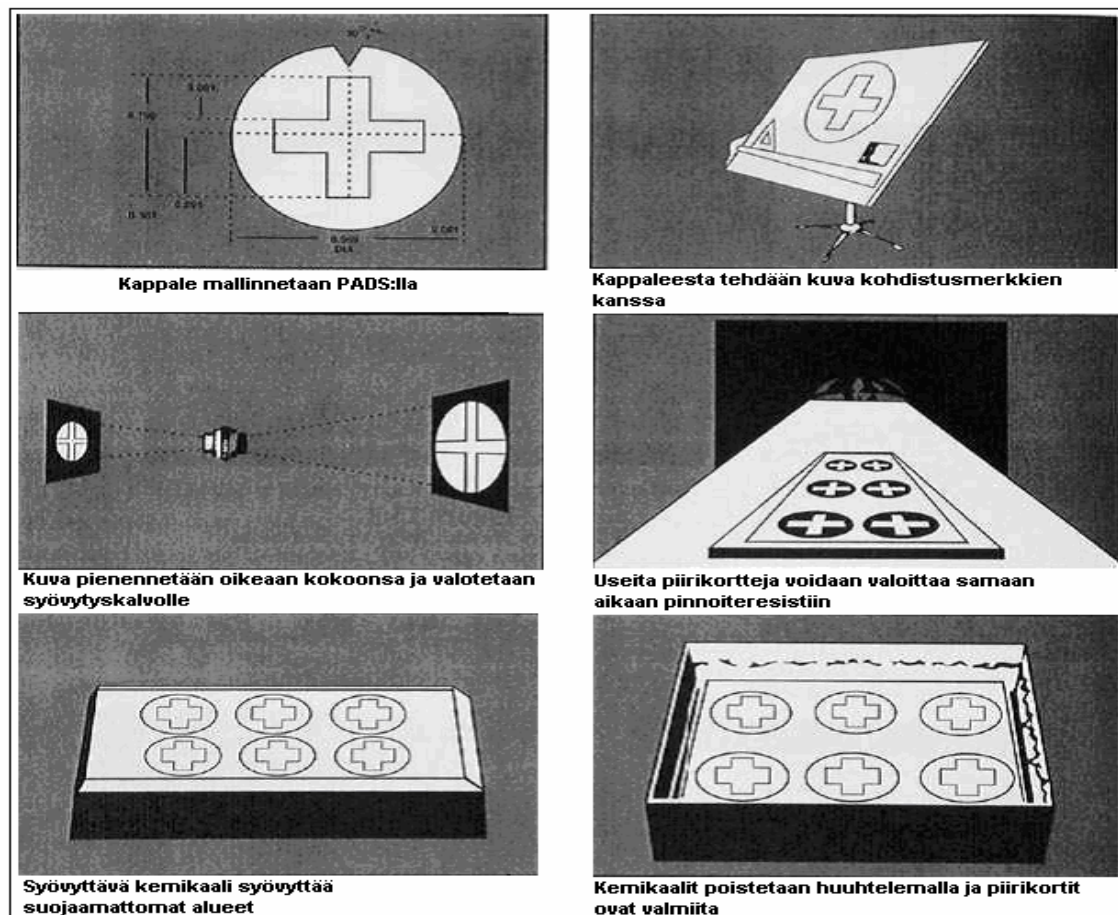


*Kuva 11. Piirikortin jyrsinlaitteisto.*

### 4.3 Piirikortin syövytys ja laitteistot

#### 4.3.1 Piirikortin valmistus valolitografiamenetelmällä

Piirikortin johdinreitityksen siirtämisessä syövytyskalvolta piirikortille käytetään menetelmänä valolitografiaa, jonka avulla piirikortin kuvat siirretään syövytyskalvolta itse piirikortin kuparipinnalle. Tätä menetelmää käytetään hyvin yleisesti yksittäisten protopiirikorttien valmistuksessa. Piirikortin valotuksessa käytettävänä valotuskalvona voidaan käyttää mustesuihkutuloksessa käytettäviä piirtoheitin kalvoja. Kalvolle tulostetaan halutun piirikortin johdinreititys, läpiviennit, komponenttien juotosalustat ja kohdistusmerkit. Kuvassa 12 on esitelty eräs esimerkki fotolitografiamenetelmästä. [12, s. 25 - 27]

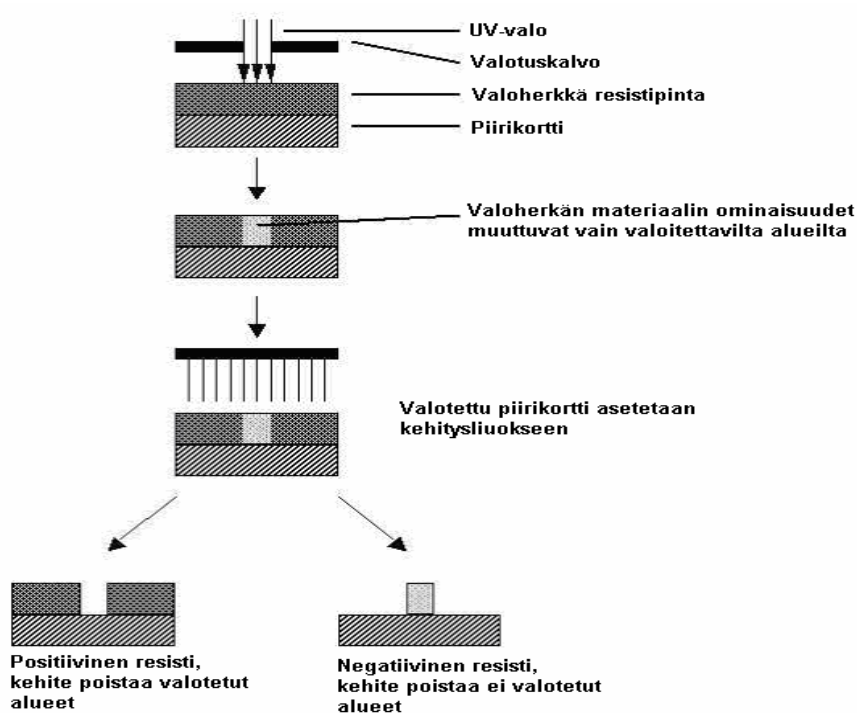


*Kuva 12. Esimerkki litografiaprosessista.[12.]*

Jotta halutun piirikortin kuviointi saadaan kuparipintaiselle piirikortille, on kuparipinnalle piirikortin valmistajan toimesta levitetty valoherkkä resisti. Valotettavan piirikortin pinnalta poistetaan musta kontaktimuovi, joka estää valoherkkää resistipintaa valottumasta ennen varsinaista UV-valotusta. [12.]

Kun valoherkän resistipinnan omaava piirikortti ja sille haluttava johdinpolkukuviointikalvo asetetaan UV-valotuslaitteeseen ja kytketään UV-valoituslaitteisto päälle, niin tietyn ajan kuluttua piirikortin johdinkuviointi näkyy himmeästi piirikortin kuparipinnalla. Kuvassa 13 on esitelty litografian periaate ja resistityyppien erot. Resistin tyypistä riippuen voidaan liuotusvaiheessa poistaa, joko valo-

tettu alue, jolloin kyseessä on positiivinen resisti, tai valottamaton alue, jolloin kyseessä on negatiivinen resisti.



Kuva 13. Litografian periaate ja resistityyppien erot.[12, s. 30.]

Tämän jälkeen valotettu piirikortti asetetaan piirikorttikehyksessä kehitysluokseen, joka on 1 % vahvuista laimennettua natriumhydroksidiliuosta. Kehitysprosessin aikana kehitysneste pitäisi saada liikkeeseen, jotta valotuslakan huuhtelu olisi nopeampaa. Kehitys on valmis, kun piirikortissa olevien johdinreitit ja muut tarvittavat pinnat näkyvät kirkkaina ja kuparinhohtoisina. Tämän jälkeen kehitetty piirikortti huuhdellaan vedellä ja kuivataan huolellisesti, jotta vesi ei pääsisi laimentamaan syövytysnestettä.

Syövytysvaiheessa piirikorttikehys upotetaan 25 % vahvuiseen natriumpersulfaattiliuokseen. Piirikortti on syöpynyt 7 - 12 minuutin kuluessa siitä hetkestä, kun piirikortti on upotettu syövytysaltaaseen. Syöpymisaika riippuu siitä, miten

paljon piirikortilla on syövytettävää kuparia. Syöpymisen jälkeen piirikortti huuhdellaan huuhtelualtaissa ja lopuksi piirikortin johdinreititykset hangataan kotitalousuunien puhdistukseen tarkoitetulla karhuvillalla, jonka jälkeen piirikortti on valmis seuraavaan vaiheeseen.

#### 4.3.2 Isel-valotuslaitteisto

Valotuslaitteistolla valotetaan syövytyskalvon läpi valoherkälle resistipintaiselle piirikortille haluttu johdinkuvio. Syövytyskalvot tulee asettaa piirikortin pinnalle siten, että molemmin puolin piirilevyä olevat kohdistusmerkit ovat toisiaan vastakkain ja samalla kohtaa. Valonlähteenä on UV-lamppu, jonka aallonpituus 254 nm.

Kuvassa 14 on Kajaanin ammattikorkeakoulun UV-valotuslaitteisto, merkiltään Isel-Vakuum-UV-Belichtungsgerät 2, josta jatkossa käytetään lyhennettyä nimeä Isel. Tällä valotuslaitteistolla voidaan valottaa yksi- ja kaksipuolisia piirilevyjä. Laitteessa on valittavissa kummalle puolelle vai molemmille puolille piirilevyä valotus tapahtuu. Kun valotuskalvot ja valotettava piirikortti asetetaan ilmatiiviin levyn alle, voidaan tila alipaineistaa imemällä ilma pois. Valotusaika säädetään kiertokytkimen avulla.



*Kuva 14. Isel-valotuslaitteisto.*

#### 4.3.3 E300-syövytyslaitteisto

Piirilevyn syövytysvaihe suoritetaan E300-syövytyslaitteistolla. Syövytysmenetelmänä käytetään hyväksi kohdassa 4.3.1 esiteltyä valolitografiaa. Itse syövytyslaitteisto koostuu viidestä altaasta, joista ensimmäisessä altaassa on kehitysneeste. Tämä kehitysneeste on 1 %:n vahvuista laimennettua natriumhydroksidia.

Toisessa altaassa on puhdasta vettä, jossa voidaan piirilevy puhdistaa kehityksen jälkeen. Kolmannessa ja neljännessä altaassa puhdistetaan piirikortti syövytyksen jälkeen, jotta verkostoveteen ei pääsisi kovin voimakasta natriumpersulfaattiliuosta. Tämä liuos on syövyttävää ja suurina määrinä verkostovedessä se voi aiheuttaa ongelmia veden puhtauteen.

## 5 TULOKSET

### 5.1 PADS -suunnitteluohjelma ja sen käyttö

Viimeisinä asioina piirilevyn suunnittelussa on tehty johdinreititysten kulmat kantattiin esteettisemmän näköiseksi. Yleiset suunnittelusäännöt periaatteessa määräävät, että johdinpolkujen kulmat eivät saa olla yli eivätkä alle  $45^\circ$  kulman. Lisäksi tämä helpottaa jyrkintää tai syövytystä. Komponentit ovat aseteltu siten, että jokaiselle johdinreititykselle jää riittävästi tilaa komponentin ympärillä ja että mahdollisten läpivientien holkit eivät aiheuta oikosulkuja johdinreitityksissä.

#### 5.1.1 Komponenttien mallintaminen

Ennen komponenttien mallintamista etsittiin internetistä komponenttivalmistajien komponenttikohtaiset datasivut. Näiden avulla käytettävät komponentit saatiin mallinnettua samankokoiseksi kuin oikeat komponentitkin olivat. Lisäksi komponenttien mallintamista hankaloitti se, että osa datasivuista oli yhdysvaltalaisella mitta-asteikolla tuuman tuhannesosina. Silloin joko mittayksikön muutos suoritettiin ohjelmasta mittayksikköä muuttamalla tai niin sanotut milssit laskettiin valmiiksi millimetriarvoiksi.

Yleensä kun saatiin komponentti mallinnettua, niin havaittiin jälkepäin, että komponentin mallintamisessa oli tapahtunut mittasuhdevirhe. Tämän jälkeen komponentti täytyi mallintaa joko uudestaan tai muokata jo olemassa olevaa komponenttimallia. Komponentin ääri viivoituksen suhteen ei ollut muuta vaikeutta kuin saada ääri viivasta riittävän näkyvä (viivan paksuus).

### 5.1.2 Komponenttien sähköiset liitokset

Komponenttien mallintamisen yhteydessä, täytyi komponenttien jalkoihin liittää sähköinen piste, jotta PADS-PowerLocigissa voitiin tehdä kokonaiskytkentä kaikkien komponenttien sähköisten kytkentäpisteiden välille. Tämän pisteen kautta komponenttien jalat kytketään toisiin komponentteihin vanhojen kytkentäkuvien mukaisesti. Komponenttien sähköisten liitoskuvien ei tarvitse mallintaa minkäänlaiseen mittakaavaan, mutta oli järkevää käyttää kuitenkin riittävän suurta rasteria. Tällä tavalla komponentit eivät näyttäisi ilman suurennosta liian pieniltä ja kytkentäkuvasta saisivat muutkin selvyuden kuin itse suunnittelija.

### 5.1.3 Johdinpolkujen reititys

Ohjausyksikön piirikortin johdinreitityksen manuaalinen reitittäminen oli aikaa vievin osuus PADS-suunnitteluohjelman käytössä, koska piirilevyn primääripuolelta sekundääripuolelle (top→bottom) kulkevia läpivientien määrä tuli olla mahdollisimman vähäinen. Näiden läpivientien kautta kulkeva sähkö saattaa katketa jossakin vaiheessa ja näin ollen vian paikantaminen saattaa kestää liian kauan tai mahdollista vikaa ei löydetä koskaan.

Jos läpivientejä tuli manuaalisessa reitityksessä liikaa, kasautuivat läpiviennit lähestulkoon aina kahden IC-piirin väliin tai muuhun ahtaaseen väliin. Jolloin jo ennestään ahtaat ja pieniväliset IC-piirien jalkojen lähialueet olivat todella tukossa reitityksestä ja läpivienneistä. Nämä aiheuttaisivat takuuvarmasti hankaluuksia jyrksinnässä ja syövytyksessä. Lisäksi tällä tavalla johdinpolut saadaan esteettisempään muotoon kuin automaattisella reitityksellä.

Automaattisella reititysvaihtoehdolla johdinten suunta oli poikkeuksetta alhaalta ylös tai oikealta vasemmalle, riippuen siitä kummalta puolelta piirikorttia katsoi. Automaattisen reitityksen etuna voidaan pitää sen nopeutta verrattuna manuaaliseen reititykseen. Mutta reitityksen heikkoutena on ehdottomasti läpivientien

suuri määrä sekä yleisesti käytössä olevien suunnittelusääntöjen laiminlyönti. Eli läpivienti saattaa tulla jonkin komponentin tai riviliittimen alle tai liian lähelle sitä. Tämä saattaa johtua ehkäpä myös siitä, että PADS-suunnitteluohjelmisto ei tunnista minkä muotoinen komponentti on kyseessä, kun se sijoittaa läpivientejä piirikortille.

#### 5.1.4 Piirikortin suunnittelun viimeistely

Mallintamisen ja suunnittelun jälkeen tehtiin piirikorttiin vielä viimeistelyt. Näillä tarkoitan niitä virheitä, joita ammattisuunnittelija havaitsee opiskelijan tehtyä mielestään oikean ratkaisun asiassa. Samalla tarkastettiin kaikkien komponenttien juotosalustojen kohdistukset, muokattiin automaattisen reitityksen virallisten reititys- ja läpivientijohdinten paikoituksia, johdinreitityksiä tiivistettiin mahdollisimman lähelle toisiaan ja niin edelleen.

Viimeistelyn jälkeen suoritettiin jysintä- ja syövytystiedostojen luonti. Jysintätiedostot onnistuivat osaksi PADS-suunnitteluohjelmilla, mutta apuna käytin lisäksi Eagle Layout Editor v.4.2r -suunnitteluohjelmaa. Tässä ohjelmistossa oli laajempi NC-tukiohjelmisto kuin Padsissä, joita tarvittiin jysimen ohjausohjelmistoon tuotavien tiedostojen avauksessa.

## 5.2 Piirikortin valmistus

### 5.2.1 Piirikortin jysintä

Kun PADS-suunnitteluohjelmalla saatiin PCMoven ohjausyksikön piirikortin kuvat suunniteltua, kokeiltiin Kajaanin ammattikorkeakoulun Bungard-jysintälaitteiston soveltuvuutta tämän piirikortin valmistuksessa. Kokeilussa suoritettiin jysintä neljälle kuparipintaiselle piirikorttipohjalle. Jo aiemmin suun-



nitellut niin sanotut PADS-kuvat, käännettiin kohdassa 4.2 esitettyihin formaatteihin, jota Bungard-jyrsintäohjelmisto ymmärtää.

Jyrsimen poranterää valittaessa huomioon tuli ottaa muun muassa se, että kuinka syväälle jyrsintävaiheessa terä upotettiin. Liian suurella poranterän halkaisijalla saatettaisiin tahattomasti poistaa seuraavia johdinreittejä tai komponentin juotosalustoja. Lisäksi jyrsimen ohjausohjelmassa tuli asettaa kaikille jyrsintäpinnoille sama jyrsintäsyvyys, jotta jyrsintäterä ei uppoaisi edellä mainitulla tavalla liian syväälle ja aiheuttaisi näin lisäkustannuksia pilalle menneen piirikortin vuoksi.

Kokeilussa käytettiin 160 mm x 100 mm olevaa piirikorttipohjaa. Täten, jos origon asettaminen on väärin sijoitettu, voidaan jo teipattu piirikortti käyttää uuteen jyrsintäyrytykseen ja siirtää origo oikealle paikalle. Kun läpivientien ja läpiladottavien komponenttien reiät oli saatu porattua, jysrittiin johdinreitit.

PCMoven ohjausyksikön piirikortteja jysrittiin neljä kappaletta, mutta tästä kokeilusta ei tehty virallisia mittauspöytäkirjoja. Näin haluttiin vain tarkastella sitä, että onko ylipäättään mahdollista jyrä näitä piirikortteja ja millaisiin tuloksiin tällä laitteistolla päästäisiin. Vain yksi neljästä piirikortista onnistui todella hyvin. On vaikea arvioida sitä, miksi jyrsintä ei onnistunut muille kolmelle piirikorttipohjalle. Osasyynä on varmasti se, että piirikorttipohja tulee kiinnittää kunnolla puualustaan. Pelkällä teippauksella ei saada riittävää resonoinnin poistoa aikaiseksi ja osaksi tästä syystä piirikortin pinta jäi hirvittävän epätasaiseksi ja komponenttien asentaminen olisi ollut todella vaikeata.

Lisäksi huonoon lopputulokseen vaikuttaa ehkä kaikista eniten se, kuinka hyvässä kunnossa jyrsimen terä on. Jos piirikorttia tehdään tylsällä jyrsimen terällä, se nostaa kuparia johdinreitityksen viereen tai seuraavan päälle jää rosouutta seuraavalle johdinreitille niin paljon, että pahimmassa tapauksessa seuraava johdinreitti saattaa irrota kokonaan paikaltansa ja pintaliitoskomponenttien asentaminen olisi vaikeata.

Lisäksi jos johdinpolut olivat kovin tiheässä, tällöin terä saattoi pyyhkäistä edellisen johdinpolun kokonaan pois piirilevystä. Epätasaiseksi jäänyt, jyrstetty piirilevy täytyi hioa hienorakeisella hiomapaperilla, jotta mahdolliset epätasaisuudet saataisiin pois ja komponentit asettuisivat tasaisesti piirilevyn pinnalle. Tällöin hiomisen aikana piirilevyn kuparipinta oheni ja esteettisesti piirilevyn pinta jäi huonoksi ja lisäksi komponenttien juotosalustojen reunat jäivät hionnasta huolimatta epätasaiseksi.

Toinen kokeilu piirikortin jyrstinnässä antoi yllättävän hyvän tuloksen, koska piirikortin kupari ei noussut johdinpolun tai komponentin jalkojen päälle ja jälkikäsitelyä ei tarvittu. Jyrstimen poranterän kierrokset olivat jokaisella koelevyllä samat, 40 000 rpm. Hiljaisempaa poranterän kiertonopeutta ei kokeiltu, koska tällä nopeudella saatiin aikaan parhain tulos.

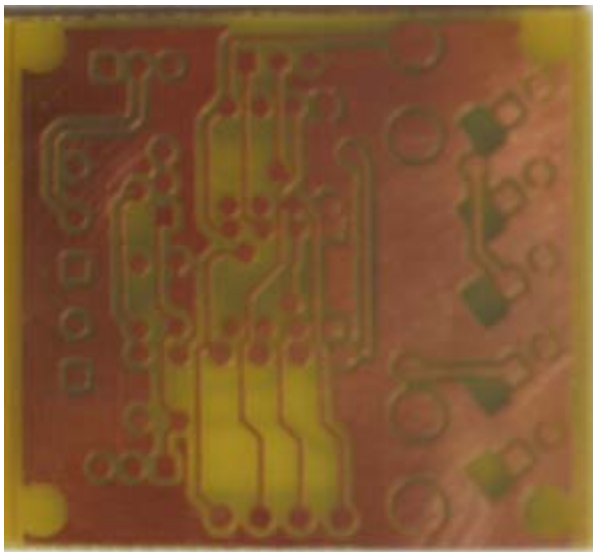
Tosin kaikista neljästä piirikortista ei saatu samanlaisia lopputuloksia aikaiseksi kuin mitä tästä yhdestä piirikortista saatiin. Koska piirikorttien jyrstinnän lopputulokset jäivät kohtalaisiksi, päätettiin piirikortin läpivientien ja läpiladottavien komponenttien reiät porata tällä Bungard-jyrstintälaitteistolla ja syövyttää varsinaiset johdinpolut.

### 5.2.2 Piirikortin syövyttäminen

Edellä mainittujen päätelmien johdosta, halusimme lisäksi kokeilla millaiseen lopputulokseen päästäisiin syövytysmenetelmällä. Syövyttämisellä saavutetaan seuraavanlaisia etuja, kuten esimerkiksi tiheiden johdinpolkujen läheisyys ei haittaa ja päästään tarkempaan ja johdinpolkujen säilyvyyden kannalta parempaan lopputulokseen, syövyttäminen on nopeampaa kuin piirilevyn jyrstintä ja piirilevyn pinta jälkikäsitellään ainoastaan kotitalousuunien puhdistukseen käytettävällä karhunvillalla. Tämän jälkeen piirilevy on valmis pastanpainoon ja komponenttien asennukseen.

Syövytystulokseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa piirilevyn säilytys, valotusajan pituus sekä kehitys- ja syövytysnesteiden puhtaus. Jos edellä mainittujen nesteiden puhtaudessa oli havaittavissa puutteita, tuli piirilevyn kehitys- ja syövytysaltaat puhdistaa paremman lopputuloksen aikaan saamiseksi. Itse prosessina syövytys on tehokas, nopea ja yksinkertainen menetelmä. Syövytyksessä lopputulos on lähes joka kerta moitteeton.

Valotusaikana käytettiin 120 sekuntia, jolla saavutettiin paras tulos syövytyksessä. Kuvassa 15 on kuvattu lähekkäin olevien johdinreititysten syövytyksen lopputulosta. Kuten kuvasta on havaittavissa, lähekkäin olevien johdinreittien ja läpivientien tai läpiladottavien komponenttien läheisyys ei ole este syövytykselle. Tosin, kahdessa piirikortissa oli havaittavissa kuparijämien jäämistä piirikortille kahden tai useamman johdinreitin väliin. Tällöin osasyynä tähän saattoi vaikuttaa valotusajan lyhyys tai kehitysnesteen huono laatu.



*Kuva 15. Syövytetty piirikortti.*

Piirilevy syövytetään syövytyslaitteistolla, jossa syövytysaltaassa on natriumpersulfaattia. Syövytysaltaan pohjalla on ilmaputki, josta virtaa laitteiston päällä

ollessa ilmaa ja täten nopeuttaa valottuneen kuparin irtoamista piirilevystä. Itse syövytystapahtuma kestää syövytyksessä poistettavan kuparin koosta ja liuoksen puhtaudesta riippuen noin 10 minuuttia. Näiden johtopäätelmien johdosta päädyin sellaiseen tulokseen, että piirilevyn jyrsinlaitteistolla tehdään ainoastaan komponenttien ja läpivientien reiät. Syövyttämällä poistetaan tarpeeton kuparipinta piirilevystä. Jolloin jäljelle jää ainoastaan PADS -ohjelmistolla suunnitellut johdinpolut.

Jokaisen läpiviennin kohdalle asetetaan joko valmis läpivientiholkki tai yksi säikeisestä kytkentälangasta taivutetaan holkin tapainen yhdystie. Läpiviennit juotetaan piirilevyn käsin juottamalla. Läpivientiholkki on mielestäni parempi, koska tällöin vältetään turhalta taivutustyöltä kytkentälangan kanssa.

### 5.3 Lyijyttömän juotospastan pistearvostelu

Taulukossa 5 on arvosteltu kunkin lyijyttömien juotospastamerkkien ominaisuuksia. Kaikkia kolmea juotospastaa vertaillaan keskenään. Kun jokin näistä kolmesta juotospastasta on parhaimmassa asemassa muihin juotospastoihin nähden, saa tämä juotospastamerkki yhden pisteen. Eniten pisteitä kerännyt juotospastamerkki valitaan käytettäväksi lyijyttömäksi juotospastaksi PCMoven ohjausyksikön piirikortille. Kussakin kohdassa annetaan vain yksi piste, täten vältetään ”irtopisteiden” syntyminen ja arvostelu pysyy yksinkertaisena.

#### 5.3.1 Arvostelukriteerit

##### 1. Juotospastan huippulämpötila

Huippulämpötilan ollessa korkea, asettaa se juottamisen prosessi-ikkunan vieläkin korkeammalle. Mikä taas nostaa konvektiounin vyöhykelämpörajon ja vieläkin korkeammalle. Jos juotoslämpötila on yli 250 °C, kohdistuu muo-

vikoteloiden komponentin pinnalle hirvittävä lämpö, joka voi pahimmassa tapauksessa vahingoittaa komponentteja.

## 2. Juoteseoksen koostumus:

Suurimmaksi osaksi lyijyttömässä juotospastaseoksissa on tinaa, hopeaa ja kuparia. Lisäksi näillä kolmella valitulla juotospastalla on lähes samanlaiset koostumukset, joten kovin suuria eroja ei pääse syntymään.

*- Kuinka paljon kokonaismassasta on kuparia*

Kuparin tehtävänä lyijyttömässä juotospastassa on estää tinaviiksin syntyminen. Mitä enempi kuparia on seoksessa, sen parempi.

*- Kuinka paljon kokonaismassasta on hopeaa*

Hopean tehtävänä lyijyttömässä juotospastassa on vahvistaa juotosliitosta ja vähentää hopeapintojen liuottumista.

## 3. Juotosseoksessa olevin partikkeleiden koko

Partikkeleiden koko tulee ratkaisevan asemaan, kun juotospasta asetetaan pastanpainoon. Mitä pienempiä partikkeleita pastassa on, sitä paremmin pasta rullaa stensiilin ja raakkelin välissä. Pienimmät partikkeliosaset omaava juotospasta saa pisteen.

## 4. Fluksipitoisuus

Mitä suurempi pitoisuusprosentti fluksia juotospastassa on, sitä paremmin fluksin antama tahmeus on ja sitä kauemmin komponentit pysyvät paikoillaan ennen komponenttien ladontaa ja juotoslämpötilaa. Suurimman pitoisuusprosentin omaava juotospasta saa pisteen.

## 5. Tarttumisaika

Tarttumisajalla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka sisällä tulee tapahtua komponenttien ladonta ja juotoksien lämmitys. Kun tarttumisaika tulee täyteen, vaihdetaan yleensä uudet juotospastat vanhojen tilalle.

## 6. Säilyvyysaika

Tarkoitetaan sitä aikaa, minkä jälkeen lyijytön juotospasta on käyttökelvotonta varsinaiseen tuotantoon.

## 7. Hinta ja saatavuus

Tämä on ehkä toiseksi tärkein kriteeri tässä arvostelussa. Koska kyseessä on yhden miehen yritys, on luonnollista että valittava lyijytön juotospasta on myös hinta-laatu-suhteeltaan hyvä. Saatavuudella tarkoitetaan sitä, minkä kokoisissa purkeissa kyseistä juotospastaa on saatavilla.

Lyijyttömän juotospastan suomalaiset toimittajat määrittelevät juotospastan hinnan sen mukaan kuinka paljon on vuosikulutus. Mitä enemmän käytät, sen halvemmalla sitä saat.

## 8. Korjauslangan saatavuus ja hinta

Korjauslangan avulla voidaan suorittaa korjauksia varsinaisen juotostapah-tuman jälkeen piirikortin komponenttien kiinnitykseen. Lisäksi ”häätätapauksissa” kaikki piirikortin komponentit voidaan käsin juottaa piirikortille.

Taulukko 5. Lyijyttömien juotospatojen pistearvostelu.

|   |                  |                  |                  |   |
|---|------------------|------------------|------------------|---|
|   | AIM SAC 305      | Koki S3X58-M405  | Multicore LF 318 |   |
| Huippulämpötila (°C)                          | 235-240°C        | 235-240°C        | 230-235°C        | 1 |
| Koostumus (%)                                 | Sn96,5Ag3,0Cu0,5 | Sn96,5Ag3,0Cu0,5 | Sn95,5Ag3,8Cu0,7 | 1 |
| Partikkelikoko (µm)                           | ei tiedossa      | 20-38µm          | 20-45µm          | 1 |
| Fluksipitoisuus (%)                           | ei tiedossa      | 11,50 %          | n. 12 %          | 1 |
| Tarttumisaika (h)                             | ei tiedossa      | >24h             | >24h             |   |
| Säilyvyysaika (kk)                            | ei tiedossa      | 6 kk             | 6kk              |   |
| Hinta & saatavuus (€)                         | 250g / 45 €      | 500g / 80€       | 500g / 57,15€    | 1 |
| Korjauslanka & saatavuus<br>(1mm lankakela/€) | 500g / 18,50€    | 500g / 17,45€    | 250g/ 26€        |   |
| <b>Yhteensä</b>                               | <b>0</b>         | <b>2</b>         | <b>4</b>         |   |

### 5.3.2 Painoarvot

1. Suurin tärkeys on sulamislämpötilalla, koska mitä matalampi lämpötila on, sitä matalampi on reflow-uunin vyöhykkeiden juotoslämpötilat. Mikä puolestaan madaltaa laitteistovaatimuksia.
2. Toiseksi tärkein kriteeri tässä arvostelussa on hinta. Koska kyseessä on pieni yritys, on luonnollista että valittava lyijytön juotospasta tulee olla myös hintasuhteeltaan hyvä. Saatavuudella tarkoitetaan sitä, minkä kokoisissa purkeissa kyseistä juotospastaa on saatavilla, esimerkiksi saako juotospastaa muissa pakkauksissa kuin 500g:n purkeissa. Jos juotospastaa ei saa muussa kuin 500 gramman purkissa on sen pastan kohdalle merkitty asteriskilla (\*).
3. Kolmanneksi tärkein arvostelun kohde on korjauslanka ja sen saatavuus. Tämä siksi, että työn tilaajalla ei ole käytössä ”täysiveristä” tuotantotehdasta. Eli piirikorttien kokoaminen tapahtuu hyvin pitkälti käsin kolvaamalla komponentit piirikorttiin.
4. Neljäntenä kohtana ovat kaikki muut jäljelle jäävät kohdat, joiden jäännöspisteet lasketaan yhteen kultakin juotospastalta.

## 5.4 Lyijyttömän juotospastan valinta

### 1. Sulamislämpötila

Matalin lämpötila-arvo on Kokin lyijyttömällä pastalla, 217-218°C. Tämä antaa juotosprosessi-ikkunassa liikkumatilaa heikompi tasoiselle konvektiouunille tai höyryfaasiuunille. Yksi piste Kokin S2X58-M405:lle.

### 2. Hinta ja juotospastan saatavuus

Kaikkien juotospastojen hinnat ovat kalliita, varsinkin Kokin lyijytön juotospasta on todella kallis. Lisäksi kaikkia lyijyttömiä juotospastamerkkejä oli saatavissa muunkin kokoisissa purkeissa kuin 500 gramman purkit olivat. Mutta Multicore LF318 juotospastalle yksi piste, edullisimman hinnan ja saatavuuden näkökulmasta (57,15€/500g).

### 3. Korjauslanka ja sen saatavuus

Koki S3X58-M405 ja AIM SAC 305 lyijyttömille juotospastoille on saatavissa useita eri paksuisia korjauslankoja. Tarkastelussa ovat olleet ainoastaan 1mm:n paksuiset langat.

### 4. Muut arvosteltava kohdat

Tarttumis- ja säilyvyysaika olivat kaikilla kolmella pastalla lähes samat, joten näiden perusteella on vaikea määrittää parasta juotospastaa. Fluksipitoisuudessa ja partikkelikoossa oli pienoinen ero havaittavissa. Kokille pienestä partikkelikoosta piste (20-38µm) ja fluksipitoisuudesta (12 %) Multicorelle piste.

PCMoven ohjausyksikön lyijyttömäksi juotospastaksi valitaan **Multicore LF320**.



### 5.5 PCMoven lyijyttömät komponentit

Alkuperäinen tarkoitus oli, että piirilevyllä olevat komponentit olisivat olleet pintaliitoskomponentteja. Ainakin integroitujen piirien saatavuuteen on osaksi vaikuttanut se, että komponenttivalmistajat eivät ole saaneet markkinoille riittävän luotettavuuden omaavia pintaliitoskomponentteja.

Näiden saatavuusongelmien johdosta keväällä 2005 päädyttiin sellaiseen ratkaisuun, että kaikki niin sanotut palakomponentit ovat pintaliitoskomponentteja ja integroidut piirit ovat läpiladontakomponentteja. Jos kaikki komponentit olisivat olleet pintaliitoskomponentteja, voitaisiin piirikortti valmistaa esimerkiksi reflow- tai höyryfaasi-menetelmillä.

PCMoven ohjausyksikön piirikortin komponentit asennetaan tulevaisuudessa käsin. Tämä siksi, että PCMoven komponenttien määrä on suhteellisen pieni ja ladontakoneen käyttämiseksi tarvitaan kuitenkin jonkinlainen käsittely- ja käyttötaito. Täten joku ammattikorkeakoulun elektroniikan tuotantotekniikan opiskelija voi komponenttikartan avulla latoa tarvittavat komponentit käsin ja niiden asentamiseen ei tarvita kuin elektroniikan perustaitoja.

Tällä hetkellä on komponenttimarkkinoilla saatavilla runsaasti eri vaihtoehtoja niin sanottujen 1206-palakomponenttien osalta. Näiden 1206-palakomponenttien osalta voidaan yleisesti sanoa, että niiden laatu on hyvä ja saatavuus ei ole ongelma. Näitä komponentteja voi tilata lähes jokaisesta suomalaisesta tai ulkomaisesta elektroniikkaliikkeestä, kunhan komponentit täyttävät RoHS-direktiivin.

Integroitujen piirien kohdalla esiintyy vielä saatavuusongelmaa. Kesän 2005 jälkeen PCMoven ohjausyksikön piirikortin yhtä IC-piiriä ei ole saatu lyijyttömänä. Kaikki muut komponentit ovat RoHS-direktiivin mukaisesti valmistettuja, mutta yhden kahdeksan kanavaisen piirin saatavuus on todella heikko. Kompo-

nenttiedusteluja on suoritettu useita ja useille komponenttitoimittajille, mutta tuloksetta.

Nyt tulisi pohtia joko pienempikanavaista IC-piirtä, joita sijoitetaan kaksi IC-piirtä piirilevylle yhden suurempikanavaisen sijaan. Tämä vaatii tietysti muutoksia tämän hetkiseen piirikorttiin, mutta jos PCMovea aiotaan markkinoilla edelleen pitää, on tämä välttämätöntä. Mielestäni paras vaihtoehto olisi se, että kaikki piirikortille tulevat komponentit muutettaisiin pintaliitoskomponenteiksi. Tämä siksi, että pintaliitoskomponenttien saatavuus on jo huomattavasti parempi kuin esimerkiksi viime keväänä 2005. Lisäksi tällä tavoin taataan tulevaisuudessa valmistettävien piirikorttien samankaltaisuus.

## 6 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä on tutkittu Kajaanin ammattikorkeakoulun elektroniikan tuotantotekniikan piirikortin valmistuslaitteistojen soveltuvuutta PCMoven ohjausyksikön piirikortin valmistamiseen. Työssä lähdettiin liikkeelle jo olemassa olevan piirikortin uudelleen muokkauksella PADS-suunnitteluohjelmalla.

Muokatessani uutta PCMoven ohjausyksikön piirikorttia vaikein asia oli se, että niin sanotusta schemasta en ymmärtänyt mitään, koska tuotantotekniikan koulutusohjelmassa ei käsitellä komponenttien elektronista toimintaa lähes ollenkaan. Näin oli sähköisen kuva perusteella vaikea hahmottaa millaisesta laitteesta oli kyse.

Piirilevyn valmistusmenetelmäksi valittiin sekä poraus- että syövytysmenetelmä. Bungard -jyrsintälaitteistolla saadaan aikaiseksi tarkempaa jälkeä reikien porauksessa kuin pylväsporakoneella. Lisäksi komponenttien läpivientireiät ovat tällöin keskellä sen juotosalustaa kuin käsiporauksessa. Kun suoritetaan poraus jyrsinlaitteistolla käyttämättömälle piirilevylle, tällöin saadaan aikaan porausterällä tarkempi, hyvä ja tasainen jälki. Syövytyksellä saadaan edullisesti ja nopeasti aikaan, hyvä laatuista piirikortteja.

Lisäksi PCMoven ohjausyksikön piirikortille valittiin suuresta joukosta lyijyttömiä juotospastoja, tulevaisuudessa käytettävä lyijytön pasta. Myös piirikortilla olevat lyijylliset komponentit korvataan jatkossa lyijyttömillä komponenteilla.

Jos PCMoven ohjausyksikön piirikorttien kokoonpanoa ryhdytään valmistamaan Kajaanin ammattikorkeakoululla, on valmistaminen yksinkertaisinta ja halvinta suorittaa niin sanotulla käsin korjausasemalla. Tässä laitteessa on alipainetartujalla toteutettu komponenttien nouto, paineohjattu pastanannostelija ja kuuma ilma puhallin juottamista varten.

## LÄHTEET

- 1 Euroopan unionin virallinen lehti. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2002/95/EY. Päivitetty 13.2.2003. [WWW - dokumentti] [http://europa.eu.int/eur-lex/pri/fi/oj/dat/2003/l\\_037/l\\_03720030213fi00190023.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/fi/oj/dat/2003/l_037/l_03720030213fi00190023.pdf)
- 2 SGS Fimko Oy. Sähkö- ja elektroniikkatuotteiden haitta-aineet ja niiden analyysit. Luettu 17.1.2005. [WWW-dokumentti] [http://www.fimko.fi/ajankohtaista/haitta\\_aineet.html](http://www.fimko.fi/ajankohtaista/haitta_aineet.html)
- 3 Lyijytön tuote. Petteri Lavikko, Sami Nurmi, Tapani Alander, Juha Nykänen, Prof. Seppo Pienimaa, Prof. Eero Ristolainen. Luettu 17.3.2005. [WWW-dokumentti] <http://www.proessori.fi/es99/Unleaded.htm>
- 4 Juntunen, P. Elektroniikan komponentit ja materiaalit. Kajaanin ammatti- korkeakoulu, 2003. Opetusmateriaali.
- 5 Valtanen, E. Konerakentajan taulukkokirja. 9. painos. Jyväskylä: Gummerus, 1997. Kemia 535 – 544 s. ISBN 952-5159-14-0
- 6 Lyijy poistuu liitoksista. Professori Kivilahti, J. ja DI Mattila, T. Luettu 27.12.2005. [WWW-dokumentti]. <http://www.proessori.fi/arkisto/artikkelit/2003-11B/PDF/LYIJY.PDF>
- 7 Farnell Oy. Solders-What are the important issues relating to lead-free solder? Luettu 17.3.2005. [WWW-dokumentti] <http://fi.farnell.com/static/en/rohs/highlights/rohs-faq-page.htm>
- 8 Farnell Oy. Solders-What are the attributes of tin-silver-copper alloys?. Luettu 20.9.2005. [WWW-dokumentti]. <http://fi.farnell.com/static/en/rohs/highlights/rohs-faq-page.htm>
- 9 AIM SAC305. Technical Data Sheet. Luettu 13.9.2005. [WWW-dokumentti]. <http://www.aimsolder.com/tds/NC%20254%20SAC%20Solder%20Paste.pdf>
- 10 Hi-performance Lead Free Solder Paste S3X58-M405 series. Koki Company Limited. Luettu 16.9.2005. [WWW-dokumentti]. [http://www.topline.tv/drawings/pdf/Solder\\_Paste/S3X58-M405\\_data\\_Sheet.pdf](http://www.topline.tv/drawings/pdf/Solder_Paste/S3X58-M405_data_Sheet.pdf)

- 11 Multicore LF-318-tekkinen tiedote. Loctite LF-318 Technical Data Sheet – LF3318 Solder Paste. April 2005. <http://65.213.72.112/tds5/docs/M-LF318-EN.PDF>
- 12 Heino, H. Mikrotyöstötekniikat ja pienten yksityiskohtien suurnopeuskoneistus. Espoo 2003. Otamedia Oy. 25 - 30 s. ISBN 951-22-6499-4. <http://www.tkk.fi/Units/Production/Publications/tkk-kpt-2-03.pdf>