



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

EE40LT

Selektiivse jootemasina JADE S-200 jootmisprotsessi  
efektiivsuse tõstmine

BAKALAUREUSETÖÖ  
MEHHATROONIKA ÕPPEKAVA

Üliõpilane: Denis Tsepikov

Üliõpilaskood: 134816 MAHB

Juhendaja: Andrei Pokatilov

2017

# AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Lõputöös kasutatud kõik teiste autorite tööd ja seisukohad ning materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Andrei Pokatilovi juhendamisel

“...”.....2017. a.

Töö autor: ..... /allkiri/

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele

“...”.....2017. a.

Juhendaja: ..... /allkiri/

Lubatud kaitsmisele

“...”.....2017. a.

MAHB õppekava lõputööde kaitsmiskomisjoni esimees: ..... /allkiri/

# **BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE**

2017 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Denis Tsepikov, 134816 MAHB

Õppekava: MAHB02/13

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: teadur, Andrei Pokatilov

Konsultandid: Heiko Eimann - Spare Parts Engineer (Eolane AS), Pavel Jurussov – Process Engineer (Eolane AS)

## **LÕPUTÖÖ TEEMA:**

(eesti keeles) **Selektiivse jootemasina JADE S-200 jootmisprotsessi efektiivsuse tõstmine**

(inglise keeles) **Selective soldering process efficiency improvement for JADE S-200 machine**

**Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:**

| <b>Nr</b> | <b>Ülesande kirjeldus</b>  | <b>Täitmise tähtaeg</b> |
|-----------|--|-------------------------|
| 1.        | Teema püstitamine. Jooteraamide rakenduse uurimine selektiivse jootmisprotsessil | (20.03.2017)            |
| 2.        | Jooteraami projekteerimine   | (03.04.2017)            |
| 3.        | Programmi koostamine jootemasina JADE S-200 juhtimiseks                          | (17.04.2017)            |
| 4.        | Jootmisprotsessi kvaliteedi valideerimine  | (01.05.2017)            |
| 5.        | Tehtud töö lõplik vormistamine, köitmine ja hindamisele esitamine                | (15.05.2017)            |

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:** Jooteraamide rakenduse uurimine selektiivse jootmisprotsessil, jooteraami projekteerimine, programmi koostamine jootemasina JADE S-200 juhtimiseks, jootmisprotsessi kvaliteedi valideerimine.

**Täiendavad märkused ja nõuded:** Jooteraam – kerge, kuumuskindel, ESD, komponentide kaitsega ning mugav kasutamisel.

**Töö keel:** Eesti

**Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 15.05.2017. Töö esitamise tähtaeg 25.05.2017.**

**Üliõpilane** Denis Tsepikov

/allkiri/ .....

kuupäev 10.03.2017

**Juhendaja** Andrei Pokatilov

/allkiri/ .....

kuupäev 10.03.2017

# SISUKORD

|   |    |
|---|----|
| <b>EESSÕNA</b> .....  | 5  |
| <b>LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU</b> .....                         | 6  |
| <b>SISSEJUHATUS</b> .....   | 7  |
| <b>PÕHIOSA</b> .....  | 8  |
| <b>1. Teadaoleva teave protsessi, toode ja masina kohta</b> ..... | 8  |
| <b>1.1 Masina info</b> .....                                      | 9  |
| <b>1.2 Toode info</b> .....                                       | 15 |
| <b>1.3 Jootmisprotsess</b> .....                                  | 16 |
| <b>2. Probleemi analüüs ja tehnilise lahenduse otsing</b> .....   | 33 |
| <b>2.1 Tehnilised probleemid analüüs</b> .....                    | 33 |
| <b>2.2 Probleemi lahendused</b> .....                             | 35 |
| <b>2.3 Jooteraam</b> .....  | 36 |
| <b>3. Väljapakutud tehnilise lahenduse valideerimine</b> .....    | 44 |
| <b>3.1 Jootmisprotsessi kvaliteedi valideerimine</b> .....        | 44 |
| <b>3.2 Kvaliteedi ja efektiivsuse võrdlemine</b> .....            | 47 |
| <b>Kokkuvõtte</b> .....   | 51 |
| <b>Summary</b> .....  | 52 |
| <b>Kasutatud kirjanduse loetelu</b> .....                         | 53 |
| <b>LISAD</b> .....  | 54 |
| <b>Lisa 1. Tehnilised kirjeldused</b> .....                       | 54 |
| <b>Lisa 2. CDM ESD 68940 (Klaaskiud vaigusüsteemiga)</b> .....    | 55 |
| <b>Lisa 3. RC-9 PCB moodsud</b> .....                             | 56 |
| <b>Lisa 4. RC-9 PCB skeem</b> .....                               | 57 |
| <b>Lisa 5. Jooteraami moodsud</b> .....                           | 58 |

## **EESSÕNA**

Käesoleva lõputöö teema anti autorile Eolane AS poolt. Teema on oluline jootemasina JADE S-200 tootlikkuse ning kvaliteedi tõstmiseks. Samuti on vajalik jootemasina JADE S-200 lämmastiku tarbimise vähendamine. Teema on oluline elektroonikatööstuses, kus eesmärgiks on toodete kvaliteedi kontroll ja tootmiskulude vähendamine. Selle lõputöö on rakenduslik, raske ja huvitav. Autorile oli meeldiv võtta osa Eolane AS projektist.

# LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

**Printed Circuit Board (PCB)** - Trükkplaat

**Through-hole Technology (THT)** – Läbiaugumontaaž

**Flux** – Rübusti

**Fluxer** – Rübusti etteandeseadme

**Surface Mount Technology (SMT)** – Pindmontaaž

**Nozzle** - Otsik

**Lead** - Plii

**Lead-Free** - Pliivaba

**Wetting** – Märguvus

**Mass-production** - Masstootmine

**Fixture** – Jooteraam

**ESD (Electrostatic discharge)** – Elektrostaatiline laeng

**CDM (Charged Device Model)** – ESD-test tüüp

**Dot** – Rübustamise sagedus

**Dip** – Sügavuse jootmine

## SISSEJUHATUS

Tugev konkurents maailmaturul, sageli kutsub kaasaegse tööstuselektroonika ettevõtted otsima iga päev uusi lahendusi, et parandada oma sisemiste protsesside. Aastast aastasse tekkivad uued kliendid erinõuetega nende toodete jaoks. See sunnib ettevõtteid tihti kulutama suuri summasid, et osta eraldi seadmeid, kasutama lisapersonali, suurte tellimuste puhul - vaadata üle kogu tootmisprotsessi ja uuesti panna paika prioriteedid. Enamikul juhtudel kannatavad keskmise suurusega ettevõtteid, kus projekti võitu tähistatakse - alguses suuremate kuludega. Enamik ettevõtteid ei kasuta täielikult kõiki masina võimalusi, olgu see on konvektsioonahi, SMT-masin, selektiivse jootemasin või lainejootmise masin. Mittetäielik kasutamine masinaid suure võimsusega on ressursside, raha ja kõige kallim aja raiskamine. Väga oluline on võtta eelnevaid masina töökogemusi ja suutma rakendada neid teadmisi praktikas. Sageli on õige vastus kusagil läheduses.

Selle töö autor töötab üle ühe aasta ettevõttes, ja õnnestus osaleda ühes projektis, kus eesmärgiks oli leida lahendusi jootmisprotsessi kvaliteedi parandamiseks ja efektiivsuse tõstmiseks selektiivse jootemasinale JADE S-200 MKII.

Problemi lahendus, mis edasipidi aitaks tõsta tootmisprotsessi uuele tasemele ja samal ajal vähendada nii raha kui aja kulusid.

# PÕHIOSA

## 1. Teadaoleva teave protsessi, toode ja masina kohta

Info oli pakutud **Pillarhouse’l International** (*Joonis 1.0*) inglise gruppina. Kõik masina andmed ja mõned pildid olid võetud JADE S200 manuaalist ja kodulehest [1].

**Pillarhouse International** on inglise selektiivne-jootete ettevõtte, kes iga päev leiab uued meetodid, kuidas arendada ning tõsta jooteprotsessi tehnoloogiat. Ettevõttes on suur töökogemus elektroonikatööstuses. Nad toetavad oma toodet rohkem kui 50 riikides. Need tooted on populaarsed ja pakutakse erinevaid jootemasinaid, mille abiga tõstakse ning jõuakse jooteprotsessi ja toode kvaliteedi, näiteks PCB. Tänapäevaks **Pillarhouse International** on maailma liider selektiivse-jootete keskkonnas.



Joonis 1.0 Pillarhouse International logotüüp



## 1.1 Masina info

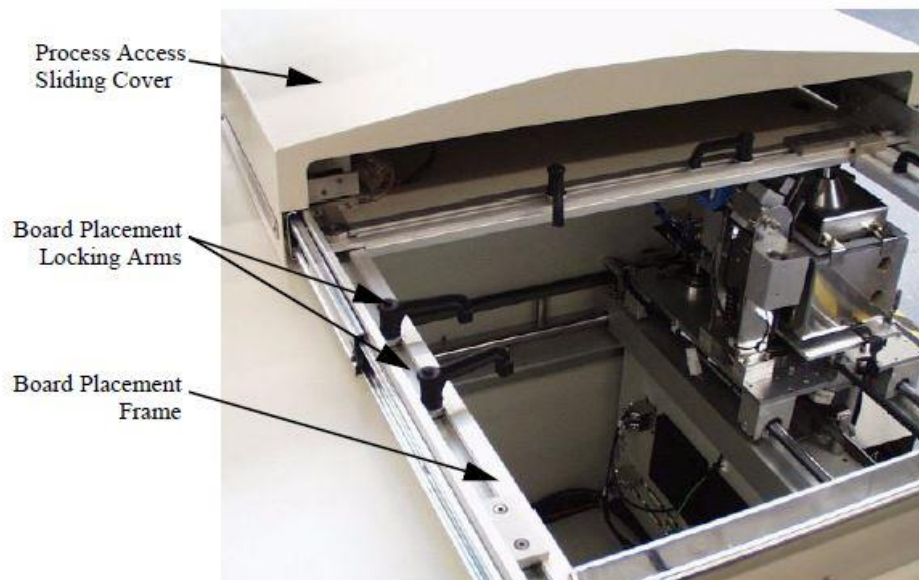
Jade S200 MK II (Joonis 1.1) on käsitsi-paigaldus masina. Masin kasutatakse elektroonikatööstuses, kus perspektiivis kasutatakse THT ehk läbiaugumontaaži - komponendi montaaži-tehnoloogia trükkplaadi augu sisse. Projekteeritud nagu üksik-masina 'stand-alone' kasutamiseks. Masin toetab PCB'i mõõdega 102mm x 102mm (4 x 4-inch) ja 508mm x 457mm (20 x 18-inch) suurusega (Joonis 1.2, Joonis 1.3) [2]. Jade S200 MK II sisaldab oma arvuti (Joonis 1.4), jootetina toitesüsteem (Joonis 1.5), PillarCOMM tarkvara (Joonis 1.6), räbusti toitesüsteem (Joonis 1.7), mõned kontrollid ja servod (Joonis 1.8, Joonis 2.0). Masina peale on integreeritud masinukse ehk ohutuslukk, kui masina ukse on avatud, siis kõik masina liikumised katkestavad ning ei saa midagi teha. Ohutusvõti (Joonis 1.9) võimaldab teha hooldus-režiimi, juhul kui ta asub „1“ seisukohas. Hooldus-režiim vähendab masina liikumiskiirust kuni 20% ja avab ligipääse kõikidel tegevustel ning avatud uksele ka. Tehniline kirjeldus (Lisa 1.).



Joonis 1.1 Selektiivse jootemasina eestvaade JADE S-200 MKII



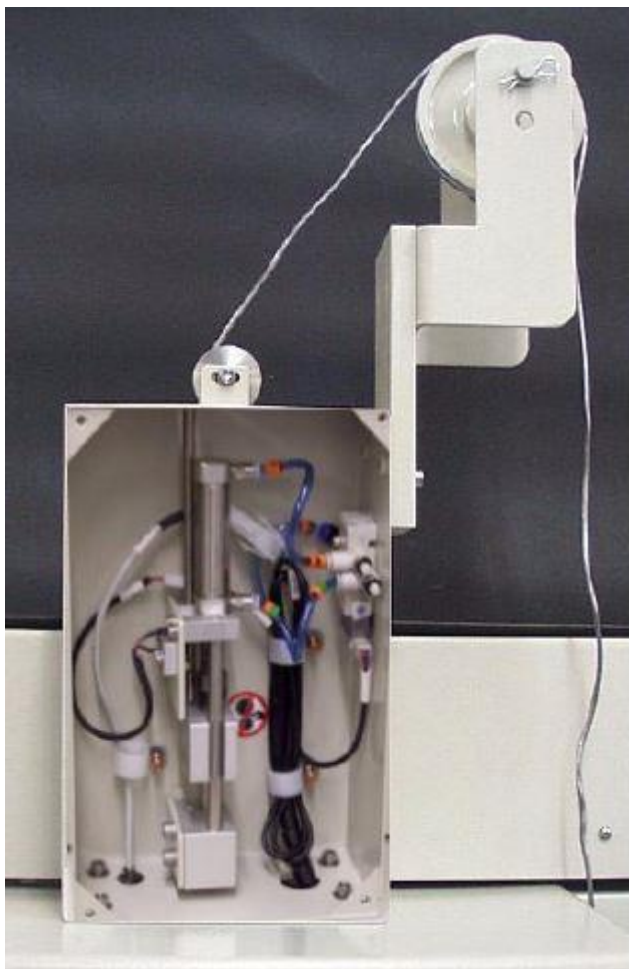
Joonis 1.2 PCB laadimissüsteem



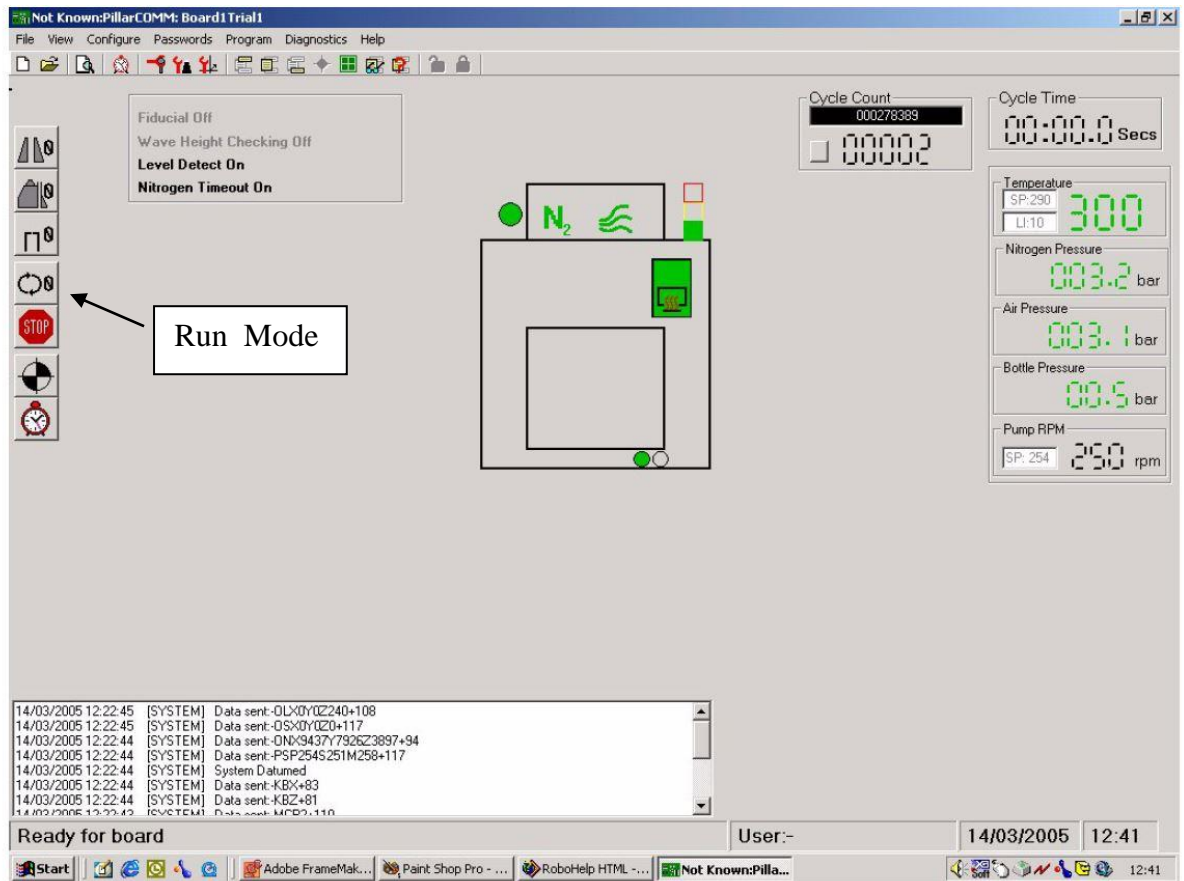
Joonis 1.3 Sissetõmmatav ukse, PCB hoidjad, masina raam



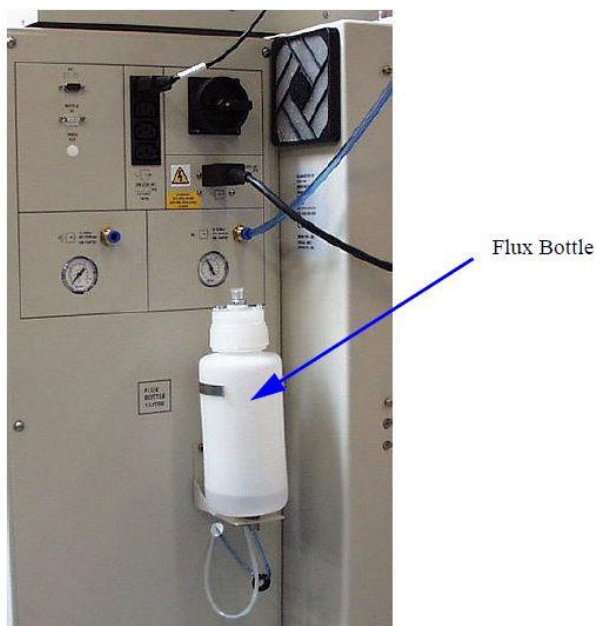
Joonis 1.4 PC asukoht



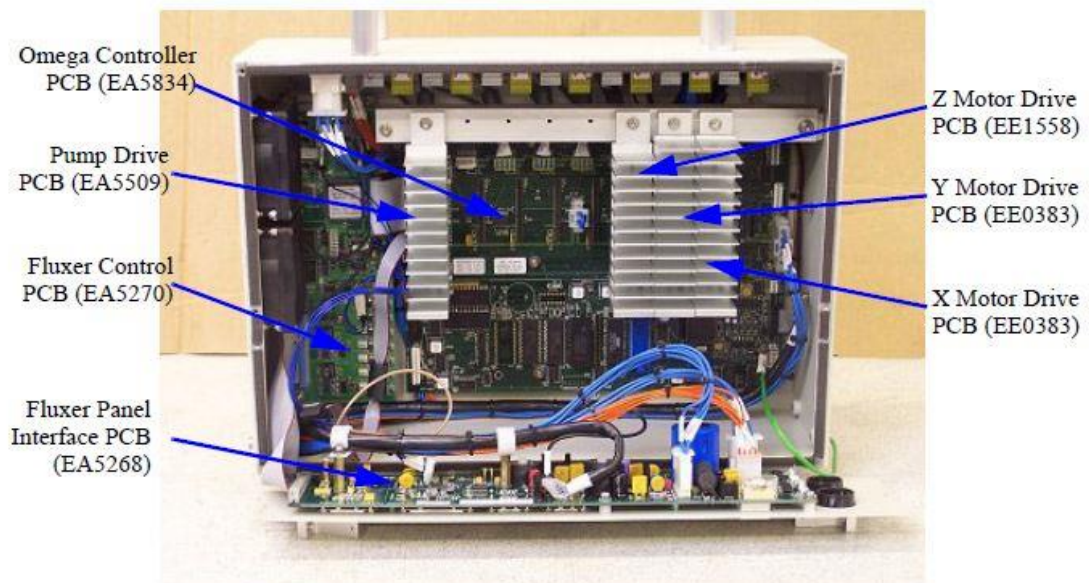
Joonis 1.5 Jootetina toitesüsteem



Joonis 1.6 PillarCOMM tarkvara



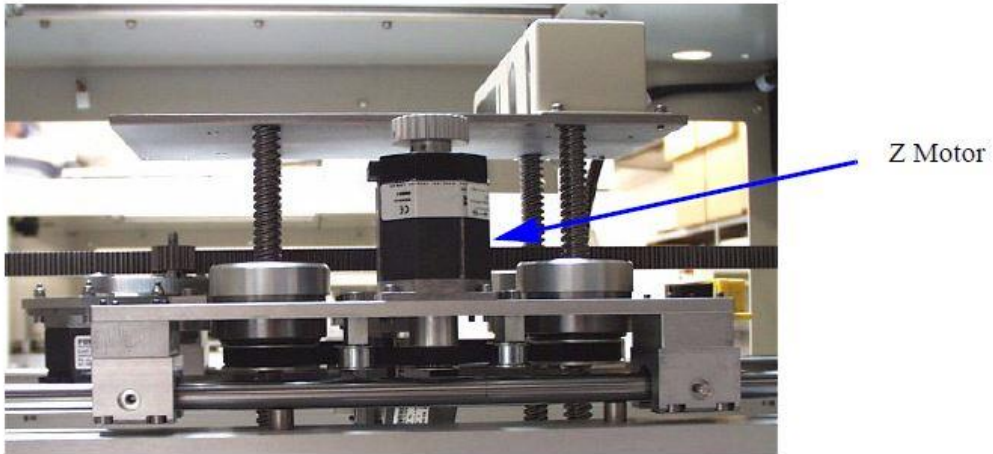
Joonis 1.7 Räbusti toitesüsteem. (Räbusti pudel)



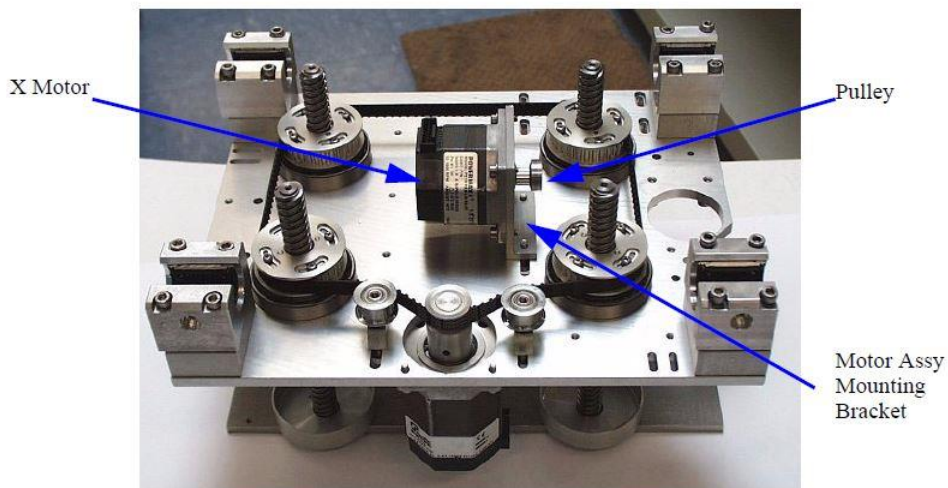
Joonis 1.8 JADE S-200 PBC-kontrollerid (Fluxer, Pump, Omega, X/Y/Z motorid)



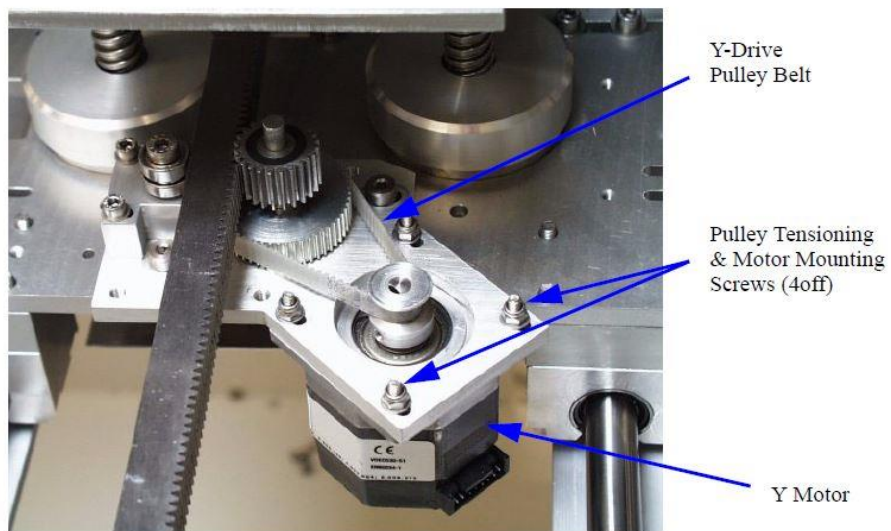
Joonis 1.9 Ohutus/Hooldus režiim



Joonis 2.0 (a) X/Y/Z motorid asukohad (Plokkid, rihtm, kinnituspoldid, kronsteinid)



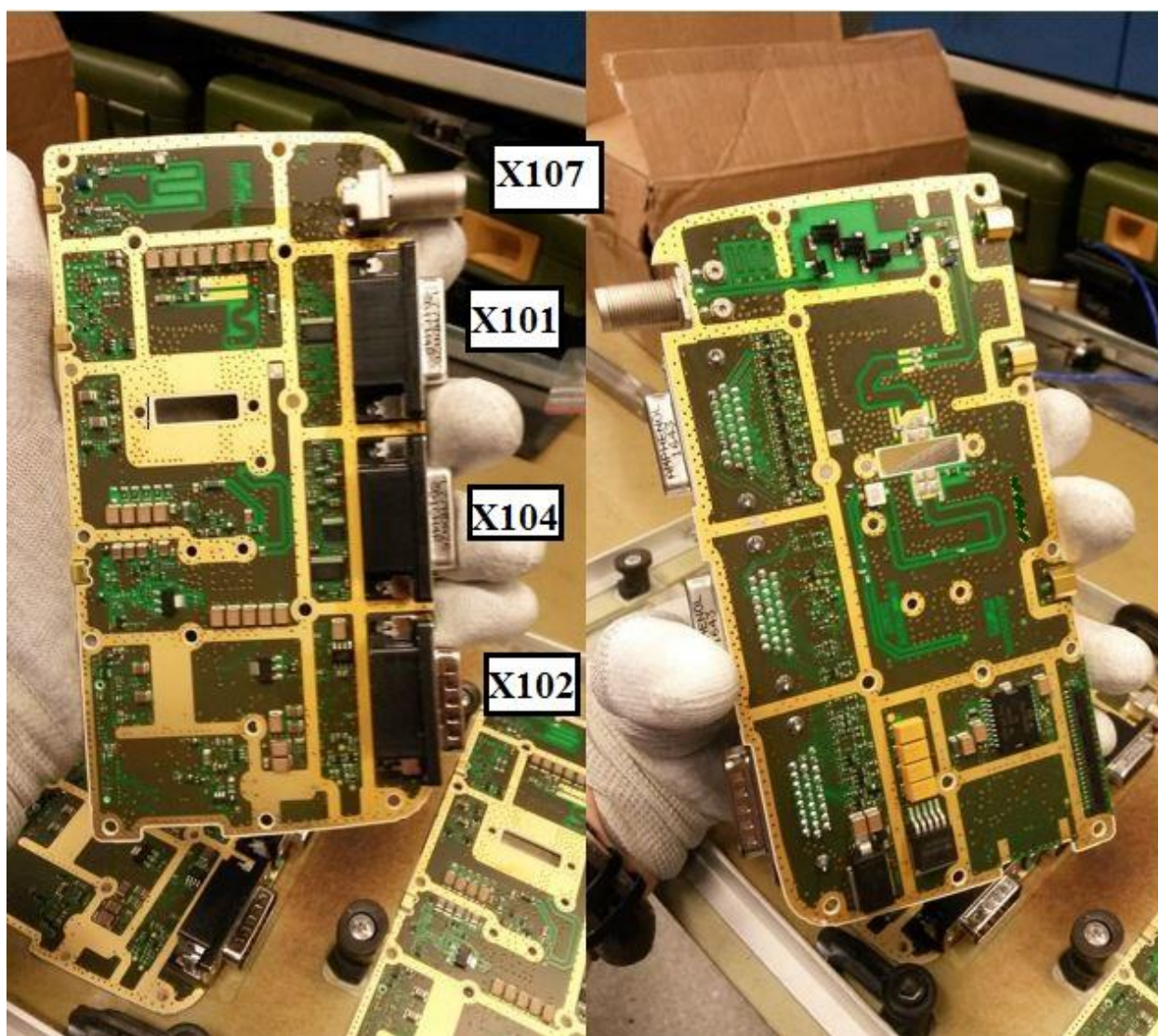
Joonis 2.0 (b) X/Y/Z motorid asukohad (Plokkid, rihtm, kinnituspoldid, kronsteinid)



Joonis 2.0 (c) X/Y/Z motorid asukohad (Plokkid, rihtm, kinnituspoldid, kronsteinid)

## 1.2 Toode info

Kõik toode ning tarnija info on konfidentsiaalne. Tarnija ning toote autoriõiguse järelikult, osa andmed ei kuuluta. Need tooted kasutatakse kosmoselendude valdkonnas. Tarnija on meie oluline ja pikaajaline partner. Töös on võetud todet, mille tarnekood on RC-9 (*Joonis 2.1*) ja erinevad muudatused: RC-16 ja RC-39. Mõõdud on samad aga erinevus on komponentides ja PCB'i paneelides. PCB'i peale on kondensaatorid, kiibid, takistid ja montaaži-konnektorid. Toode kasutab SMT- pindmontaaži ning THT- tehnoloogiat. THT- komponentid nagu D-Sub konnektorid X101, X104, X102 ja antenni konnektor X107 (*Joonis 1.3, Lisa 4.*) paigaldatakse PCB'i sisse ja pärast SMT- protsessi edaspidi lähevad jootemasinale JADE S-200 MK II.



Joonis 2.1 RC-9 ülemine ja alumine osa

### 1.3 Jootmisprotsess

Jootmisprotsess võtab olulise osa elektroonika valdkonnast. Jootmine on metallide ühendamine erisulami joodise abil [3]. Protsessis kasutatakse üldiselt spetsiaalset jootetina, näiteks jootemasina JADE S-200 MKII kasutab tina märgiga SAC387 (*Joonis 2.2, Joonis 2.5*) (sisaldab 95.5%-Sn/3.8%-Ag/0.7%-Cu). Rohkem kasutatakse plii sisaldav jootetina ja pliivaba hõbeda sisaldav jootetina. **RoHS-direktiiv** (*Restriction of Hazardous Substances ehk ohtlike ainete piirang*) on Euroopa Liidus vastu võetud eeskiri, mis sätestab ohtlike ainete kasutamist elektroonikas. Selle eesmärk on kaitsta loodust ja inimesi ohtlike ainete eest [4]. Kui kasutatakse pliivaba jootetina, mis vajab kõrgemat temperatuuri jootmisel, kui plii sisaldav jootetina (*Joonis 2.4*). Seetõttu trükkplaadid peavad olema natuke soojendatud termolööki vältimiseks. Eelnev soojendamine kasutatakse JADE S-200 MKII masinas ka (*Joonis 3.5*) [5]. Samuti tuleb kasutada vastavalt räubustit. Räubusti on aine, mis aitab puhastada joodetavad kontaktid pinnad oksiididest ja teistest keemilistest ühenditest, mis takistavad jootmisel korralikku ühenduse tekkimist. Tihti räubusti juba sisaldab jootetina sees, SAC387 sisaldab tahke-räubusti. Räubusti leidub nii tahkel kui vedelal kujul ning ka geelina. Ettevõtte valis jootemasinale vedeliku fluxi IF 2005C mudeli, sest see flux sobib ning soovitatakse selektiivse jootmise kasutamisel (*Joonis 2.3 ja Joonis 2.6*) [6]



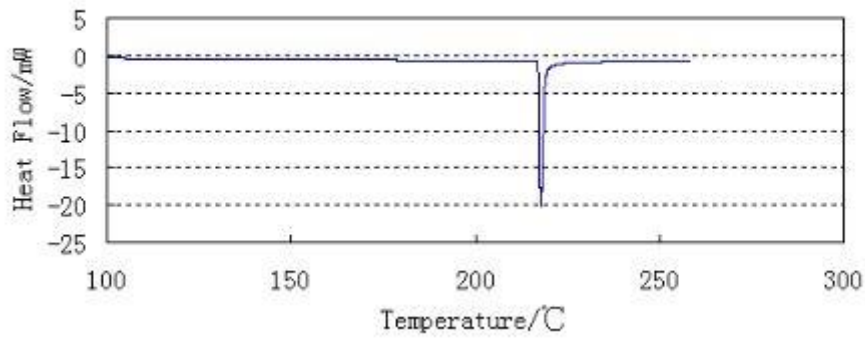
Joonis 2.2 Jootetina SAC387



Joonis 2.3 Flux IF 2005C



Melting Point Test Result of SAC 387



Joonis 2.4 SAC387 jootetina sulamistemperatuur

### Solder Form Availability

| LOCTITE MULTICORE CODE | ALLOY                        | MELTING POINT °C | RoHS | SOLDER PASTE | CORED WIRE | SOLID WIRE | BAR SOLDER |
|------------------------|------------------------------|------------------|------|--------------|------------|------------|------------|
| 96SC                   | SAC387 or Sn95.5/Ag3.8/Cu0.7 | 217              | YES  | YES          | YES        | YES        | NO         |
| 97SC                   | SAC305 or Sn96.5/Ag3.0/Cu0.5 | 217              | YES  | YES          | YES        | YES        | YES        |
| SAC0307*               | SAC0307                      | 217 - 226        | YES  | YES          | YES        | NO         | YES        |
| 90ISC                  | SAC387Bi3Sb1.5Ni0.02         | 205 - 218        | YES  | YES          | NO         | NO         | NO         |
| 96S                    | Sn96.5/Ag3.5                 | 221              | YES  | YES          | YES        | NO         | NO         |
| 99C *                  | Sn99.3/Cu0.7                 | 227              | YES  | NO           | YES        | YES        | YES        |
| 95A                    | Sn95/Sb5                     | 236 - 240        | YES  | YES          | YES        | NO         | NO         |
| 92A                    | Sn91.5/Sb8.5                 | 238 - 246        | YES  | YES          | NO         | NO         | NO         |
| Bi58                   | Sn42/Bi58                    | 138              | YES  | YES          | NO         | NO         | NO         |
| Sn63                   | Sn63/Pb37                    | 183              | NO   | YES          | YES        | YES        | YES        |
| Sn62                   | Sn62/Pb36/Ag2                | 179              | NO   | YES          | YES        | YES        | YES        |
| Sn60                   | Sn60/Pb40                    | 183 - 188        | NO   | NO           | YES        | YES        | YES        |
| 63S4                   | Sn62.8/Pb36.8/Ag0.4          | 179 - 183        | NO   | YES          | NO         | NO         | NO         |
| HMP                    | Sn5Pb93.5/Ag1.5              | 296 - 301        | NO   | YES          | YES        | NO         | NO         |
| SAV1                   | Sn50.0/Pb48.5/Cu1.5          | 183 - 215        | NO   | NO           | YES        | NO         | NO         |

Joonis 2.5 Ettevõttes kasutatakse RoHS SAC387 jootetina tehke-räbustiga



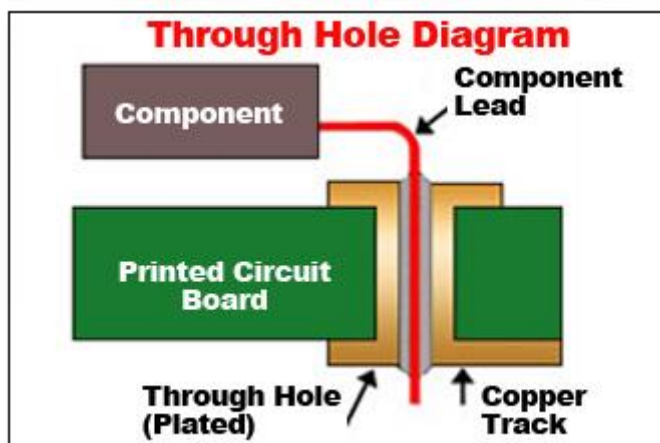
Joonis 2.6 Flux IF 2005C omadused (alkoholi baasil, selektiivse jootmiseks, tinutamiseks, halogeenvaba, deoksüdeerimine, stabiilne eelsoojedamine)

### Läbiaugumontaaž

Tänaseks on populaarne ja odav läbiaugumontaaži meetod, trükkplaadi koostamisel. Komponentid paigaldatakse augu sisse. Komponentid paiknevad plaadile nii, et nende jalad läksid läbi plaadis olevate aukude, kõik jooted teisele poolele. Sellised plaadid võisid olla ühepoolsed ja kahepoolsed, kus komponendid olid plaadi ühel pool ja rajad teisel pool või mõlemad. Mitme või kahe jalaga komponentide paigaldamine käib nii, et jalad painutatakse 90 kraadi samale poole (*Joonis 2.8*), pistetakse plaadis olevatest aukudest läbi. Seejärel joodetakse jalad plaadi külge kinni ja pikaks jäänud jalad lõigatakse parajaks [11]. Eelised on lihtne disain, sest THT- komponendid (*Joonis 2.7*) paigaldatakse tihti käsitsi ja samuti suurem kui SMT- komponendid ning odav protsessi hinne. Puudused: mikroprotsessorid ei kasuta THT- tehnoloogias ja nõuakse komponentide ettevalmistus.



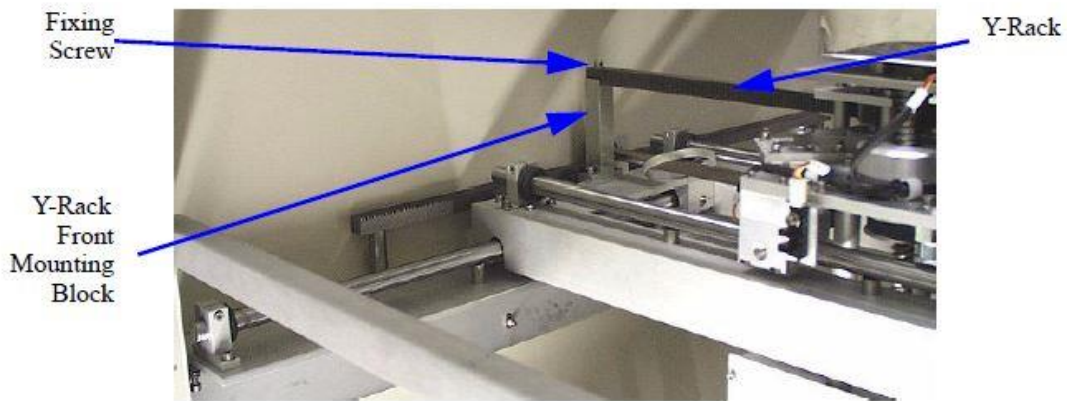
Joonis 2.7 THT- komponendid näide (DIP kiibid, kondensaatorid, takistid)



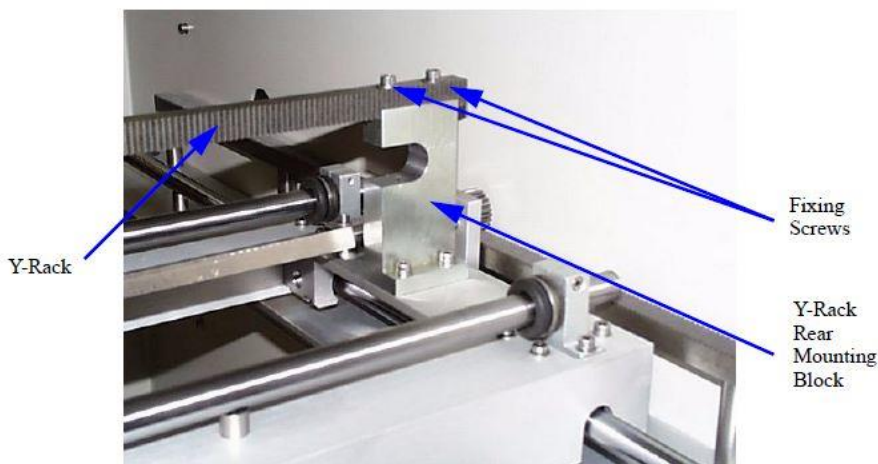
Joonis 2.8 THT- diagramm (komponent, komponendi jalg, PCB auk, vasktee)

## Jootemasina JADE-S200 MK II tööprintsip

Masin töötab kolmes teljes X/Y/Z ja liigub X/Y juhtvõllidel ning hammaslatti peal, kuid Z juhtkruidide abil (Joonis 2.9, Joonis 3.0). Masinas on jootevann tinaga, kus asuvad jootevannimotor, pump ja kütteseade (Joonis 3.1). Fluxer on täielikult reguleeritav X, Y ja Z teljes, on võimalik reguleerida vastavalt PCB'i. Fluxer-pea sisaldab pihustusotsikut ja programmeeritavat kaamerat (Joonis 3.2). Jootmisprotsess toimub pumpi ja impelleri koostoime ja edaspidi vedeliku tina voolab välja otsiku läbi (Joonis 3.3). Trükkplaat on käsitsi pannakse raami peale. Masinas kasutatakse lämmastikku ja eelsoojendamist (Joonis 3.5). Ettevõttes kasutatakse märgita lugemist režiimi - **Non-märgi «Non-fiducial» süsteem**. RC-9 kasutab otsiku 8 mm läbimõõdega (Joonis 3.4). Masina plokk skeem kirjeldab masina tööd (Joonis 3.6) [7].



Joonis 2.9 (a) X / Y hammaslatti ja juhtvõllid (paigaldusplokk, kinnituskruvid)



Joonis 2.9 (b) X / Y hammaslatti ja juhtvõllid (paigaldusplokk, kinnituskruvid)

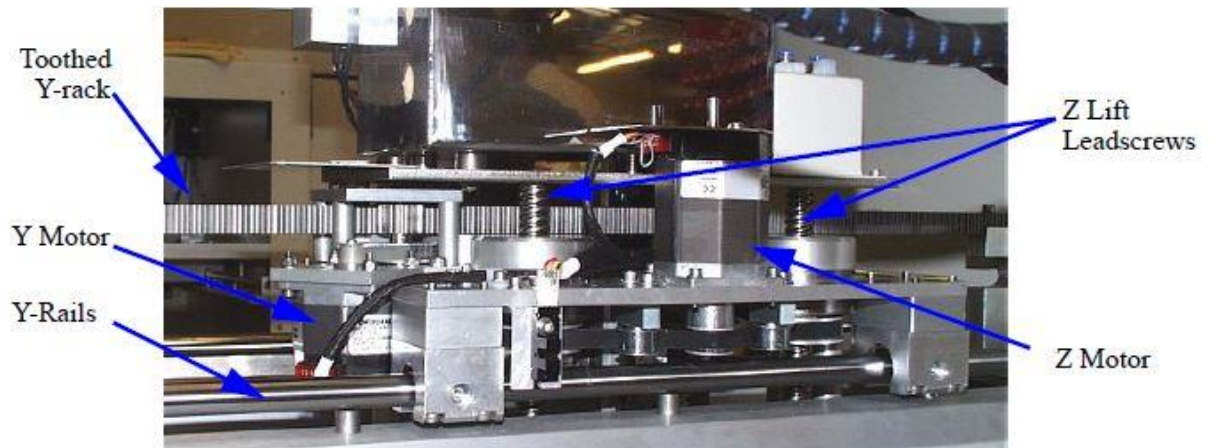


Rear X Rack

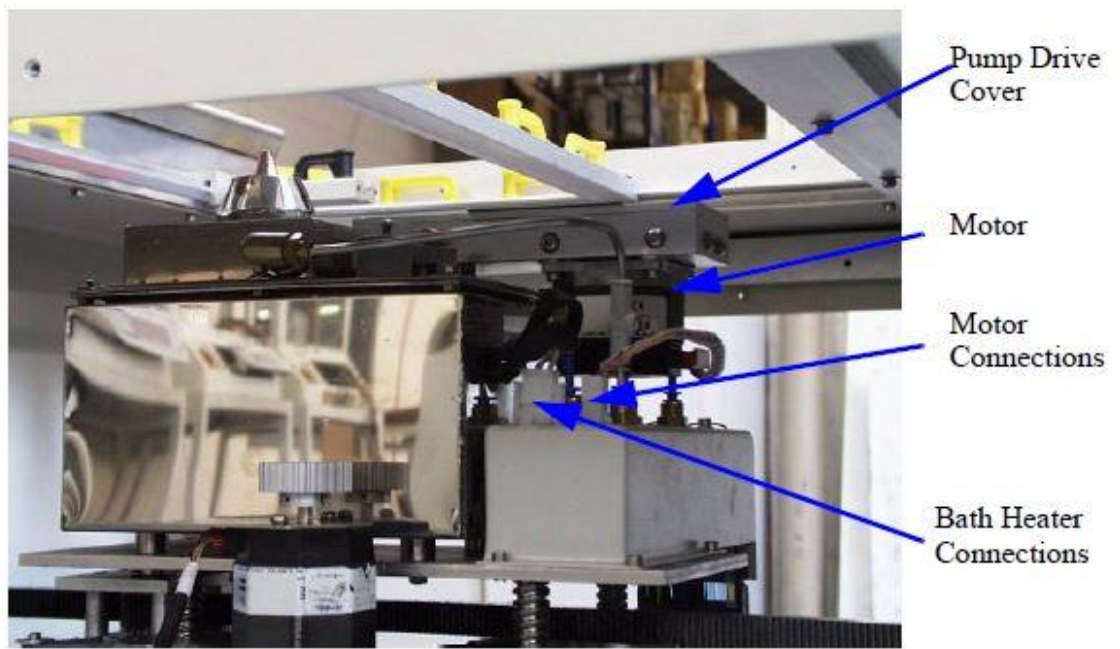


Front X Rack

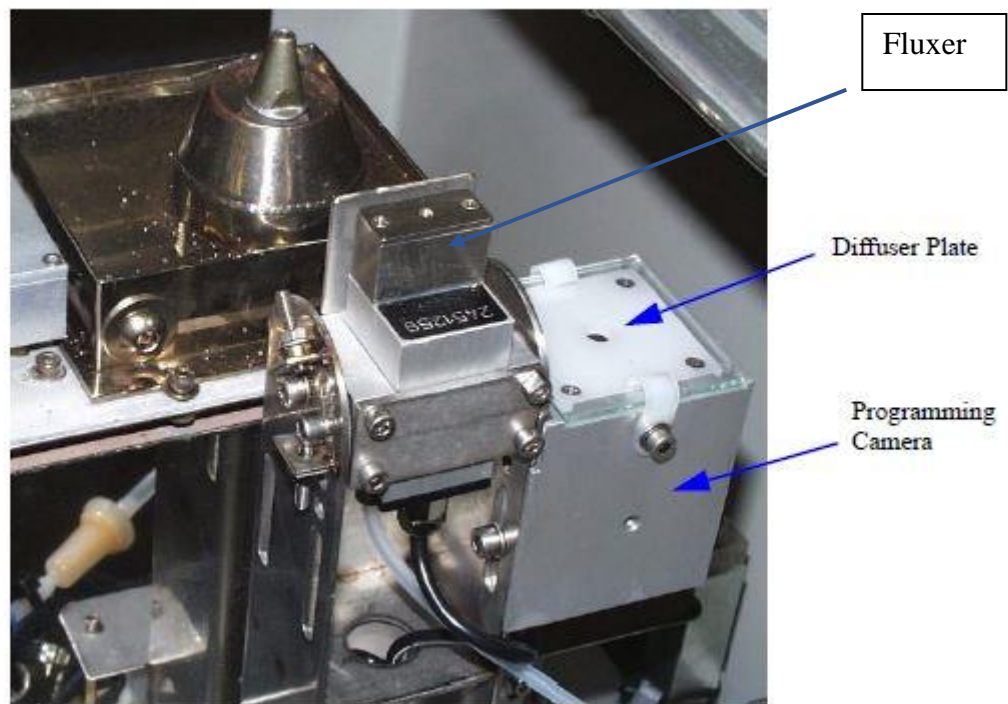
Joonis 2.9 (c) X / Y hammaslatt ja juhtvõllid (paigaldusplokk, kinnituskravid)



Joonis 3.0 Z- juhtkruvid, motor ning Y-juhtvõll ja hammaslatt



Joonis 3.1 Vedeliku tina vann, motor, kütteseade ja motori ühendus.



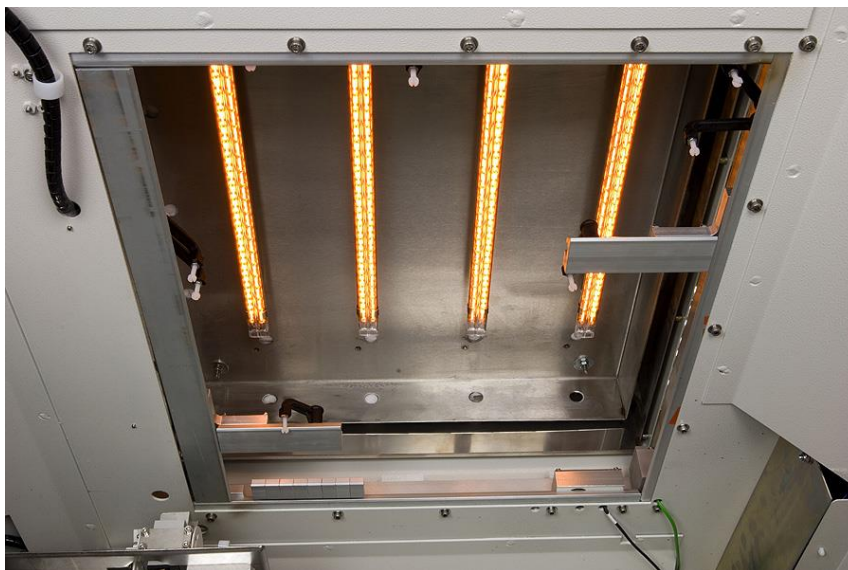
Joonis 3.2 Fluxer, programmeeritav kaamera ja difuusori plaat



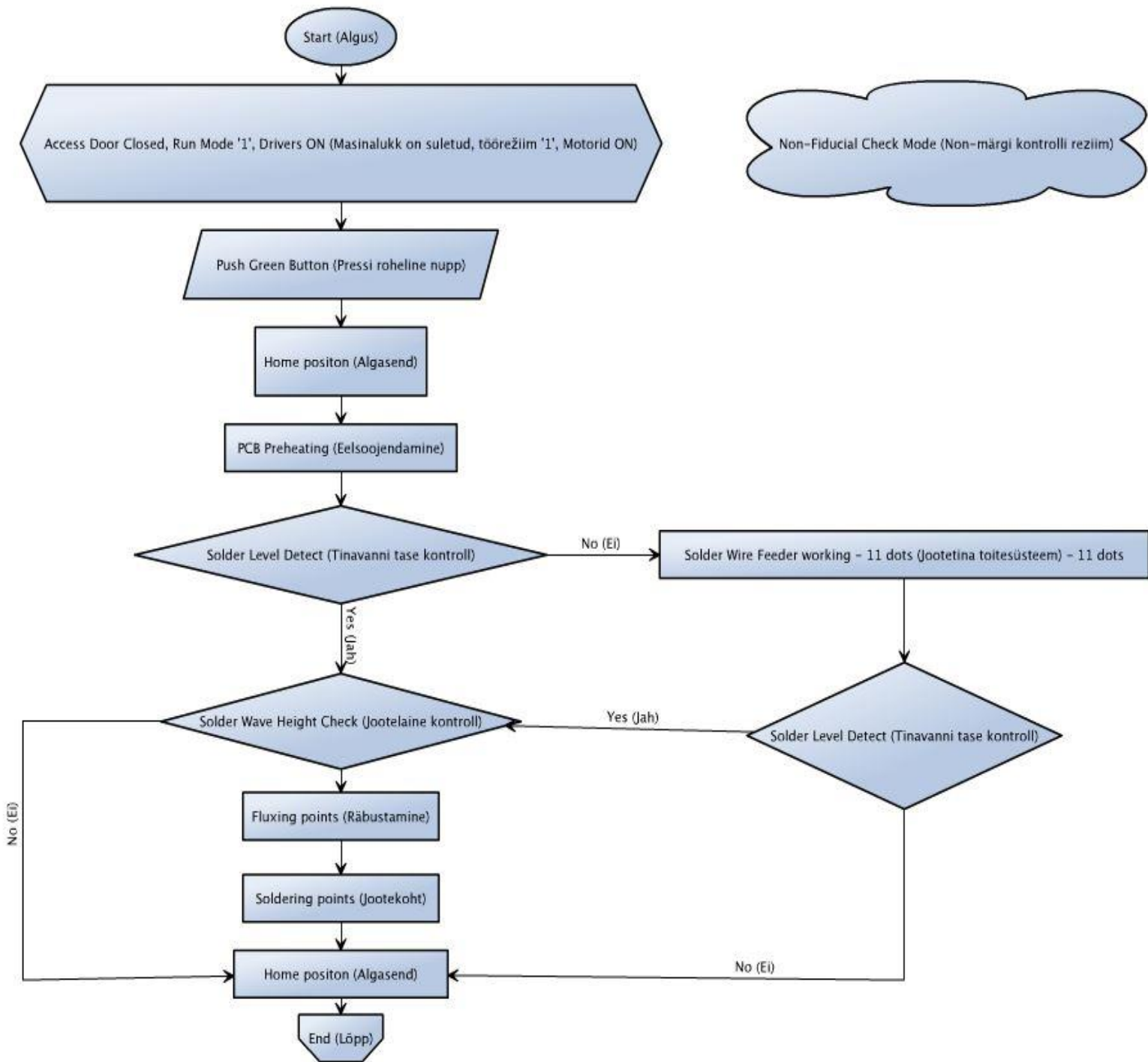
Joonis 3.3 Otsik töörežiimis 1.5 mm



Joonis 3.4 Otsiku tüübid erinevatega läbimõõduga



Joonis 3.5 Eelsoojendamine ehk Pre-heating

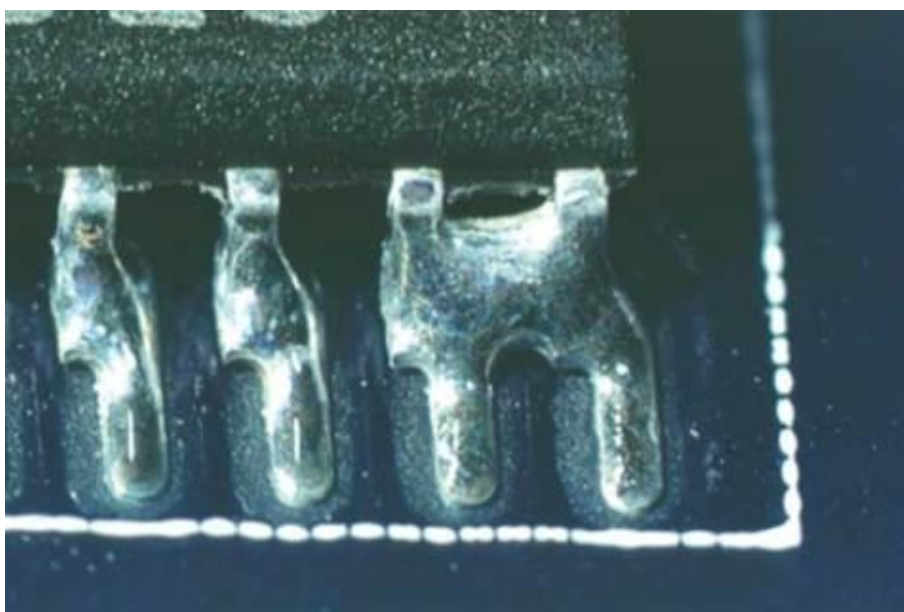


Joonis 3.6 Masina plokk skeem

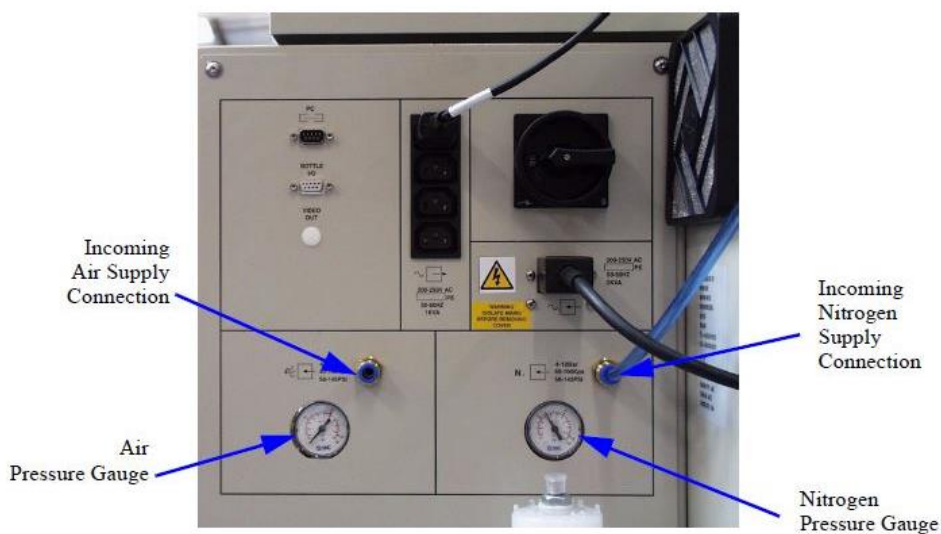


## Lämmastiku tarbimine

Kvaliteedi ja paremaks jootmisprotsessi jõudmiseks on oluline tagada sobivat keskkonda masinas. Eriti oluline, kui ettevõtte kasutab pliivaba joodis, selleks on vaja vähendada hapniku protsessi jooksul. Selleks kasutatakse lämmastiku, mille abil vähendatakse oksüdatsiooni riiski ja parendatakse eeliseid nagu parema räbastiku märguvus, vähendatakse „sildade“ moodustumist (Joonis 3.7), ja märguvus inertses keskkonnas jõuakse vähema ajaga, see võimaldab vähendada jootmisprotsessi aega ja suurendada tootlikkust [8]. Samuti lämmastik ja eelsoojendamine vähendavad termolöõgi komponentidel. Jade S-200 MK II masina tarbib umbes 20-30 liitrit gaasi-lämmastikku minutis (Lisa 1.). Lämmastikurõhk 4 bar ning õhurõhk 5 bar (Lisa 1.). Rõhk on võimalik reguleerida ka. (Joonis 3.8, Joonis 3.9)



Joonis 3.7 Jootesillad (Solder bridges)



Joonis 3.8 Manomeetrid ja õhu-, lämmastiku- ühendid



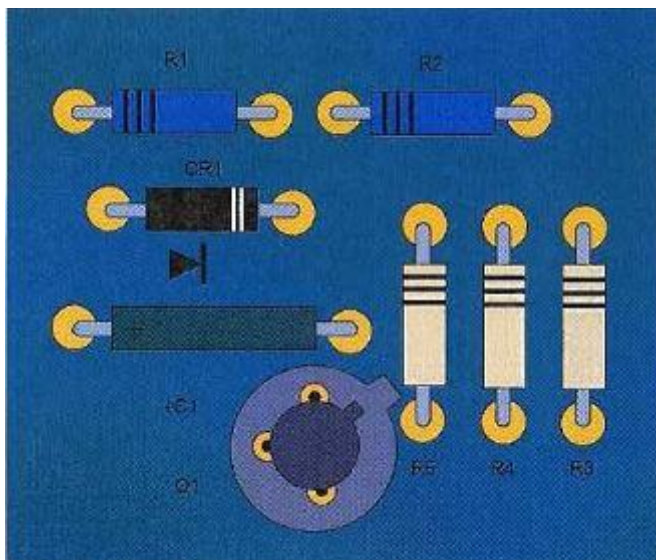
Joonis 3.9 Pneumaatika regulaatorid (õhu ning lämmastiku jaoks)

### Kvaliteedikriteeriumid

Nõuded THT montaaži ja jootmisprotsessi jaoks on kirjeldatud **IPC-A-610D** (*Association Connecting Electronics Industries*) standardis. [9]

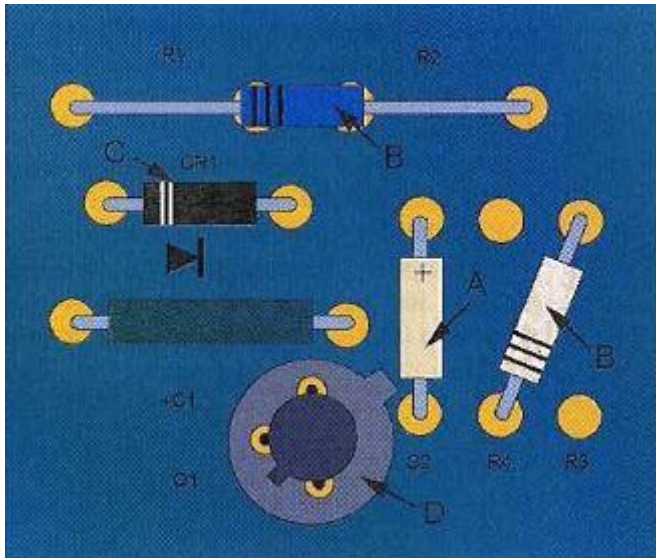
### Moontäži nõuded:

**Komponentide montaaž – orientatsioon – horisontaalne paigaldus** (*Joonis 4.0 ja Joonis 4.1*)



- Komponentid on keskendunud seoses nende kontaktpinnadega.
- Märgistus on selgelt nähtav.

Joonis 4.0 Paigalduse korrektse näide



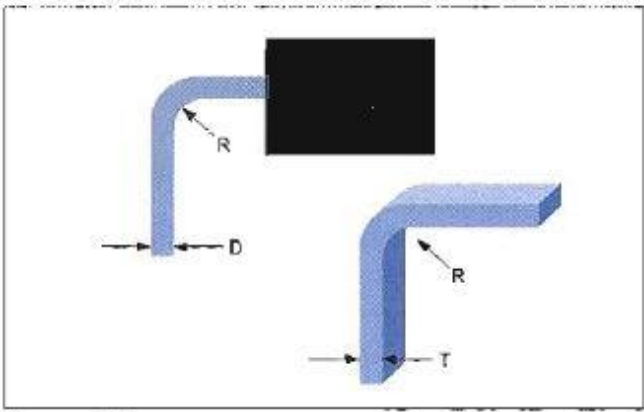
- Vale komponent. (A)
- Komponentid on paigaldatud valesti (B)
- Polar-komponendid on paigaldatud vastupidi. (C,D)

Joonis 4.1 Defekti näide

**Komponentide montaaž – vormimine** (Joonis 4.2 ja Tabel 1.3.1)

Tabel 1.3.1 Minimaalne sise-käänderaadius

| Läbimõõt ( <i>D</i> ) või paksus ( <i>T</i> ) | Minimaalne sise-käänderaadius ( <i>R</i> ) |
|---|--|
| Vähem kui 0,8 mm                              | 1 Läbimõõt/paksus                          |
| 0,8 kuni 1,2 mm                               | 1,5 Läbimõõtu/paksust                      |
| Rohkem kui 1,2 mm                             | 2 Läbimõõtu/paksust                        |

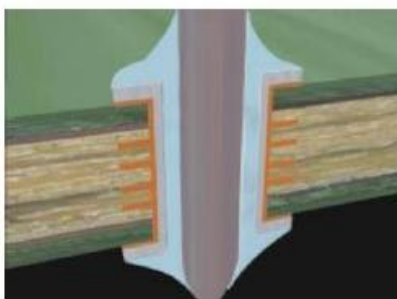


Joonis 4.2 Vormimine

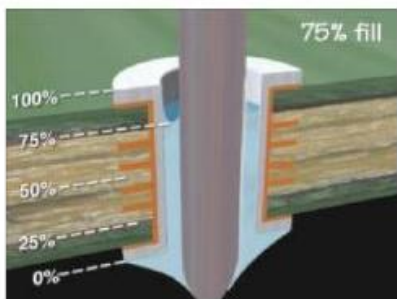
## Jootmisprotsessi nõuded:

Tabel 1.3.2 Põhilised jootmisprotsessi tolerantsid

|  |  |
|--|--|
| Vertikaalset täitmist tinaga (Joonis 4.3)            | Min 75% - Max 100%   |
| Esimine pool märguvus (jalg ehk barrel) (Joonis 4.4) | Min 180° - Max 360°  |
| Tinakate piirkond (Joonis 4.5)                       | Min 75% - Max 100%   |
| Teine pool märguvus (jalg ehk barrel) (Joonis 4.6)   | Min 270° – Max 360°  |
| Jootmise tingimused (Joonis 4.7)                     | Non-contact (ainult täitnud piirkond), semi-contact (natuke tina käänakul, komponenti keha ei puudutanud), full-contact (Rohkem tina käänakul ja puudutab komponenti keha) |

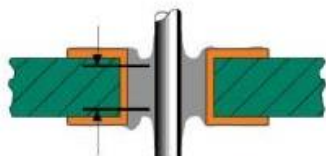


100% täitmine

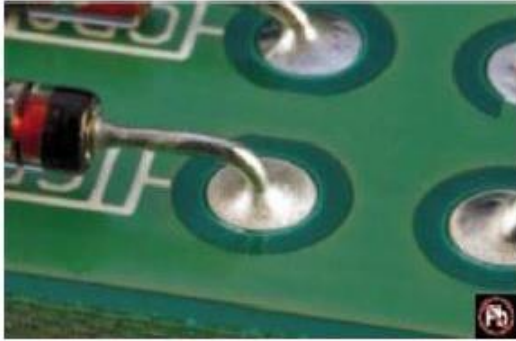


75% täitmine

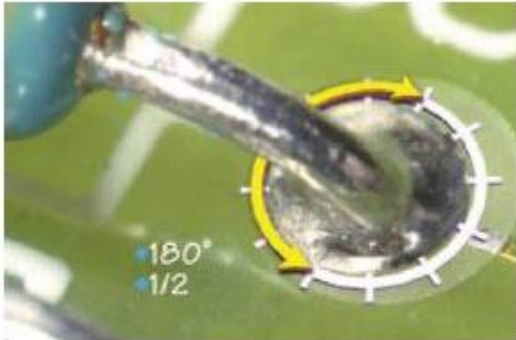
Vähem kui 75% (ei soobi)



Joonis 4.3 Vertikaalset täitmist nõuded (Tabel 1.3.2)



360° märguvus

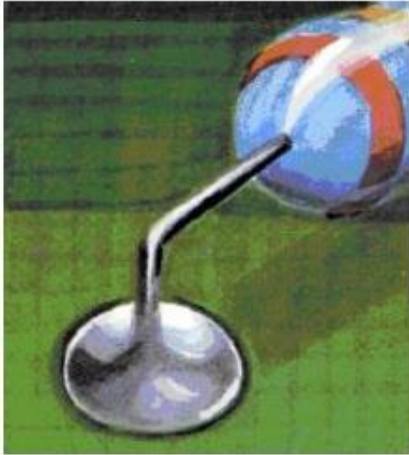


180° märguvus ning 1/2 täitmine

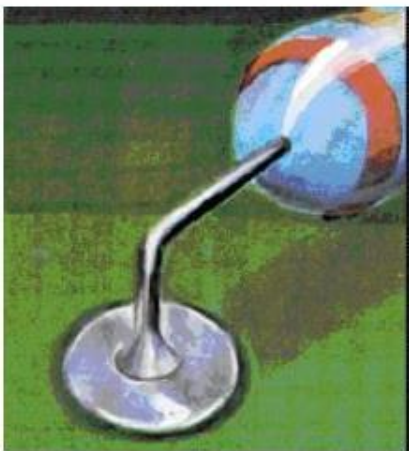


Vähem kui 180° (ei sobi)

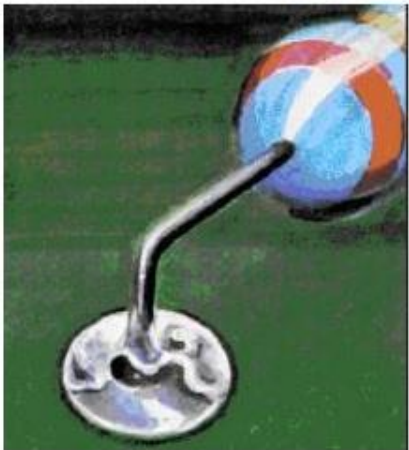
Joonis 4.4 Märguvuse nõuded (jalg või barrel märguvus) (Tabel 1.3.2)



100% tinakate



75% tinakate

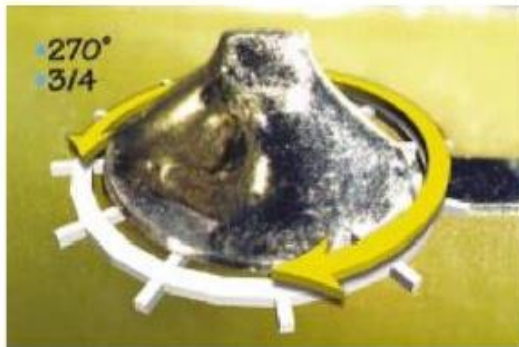


Vähem kui 75% (ei sobi)

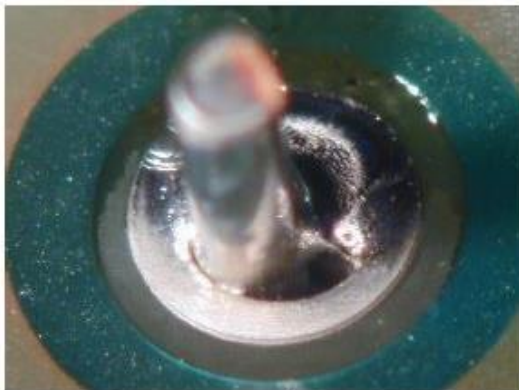
Joonis 4.5 Tinakate piirkond ehk täitmine (Esimene pool) (Tabel 1.3.2)



360° märguvus

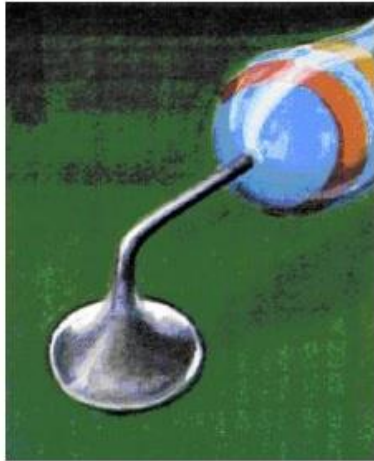


270° märguvus ning 3/4 täitmine



Vähem kui 270° (ei sobi)

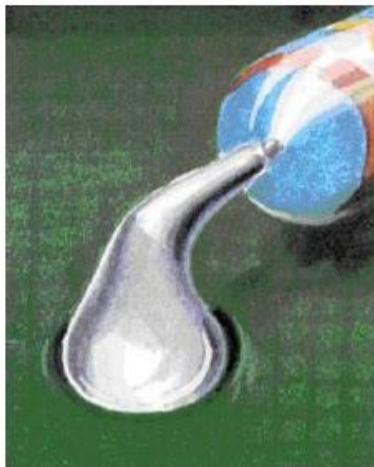
Joonis 4.6 Tinakate piirkond ehk märguvus (Teine pool) (Tabel 1.3.2)



Non-contact (ainult täitnud piirkond)



Semi-contact (natuke tina käänakul, komponenti keha ei puudutanud)



Full-contact (Rohkem tina käänakul ja puudutab komponenti keha) (ei sobi)

Joonis 4.7 Jala jootmise tingimused (Tabel 1.3.2)



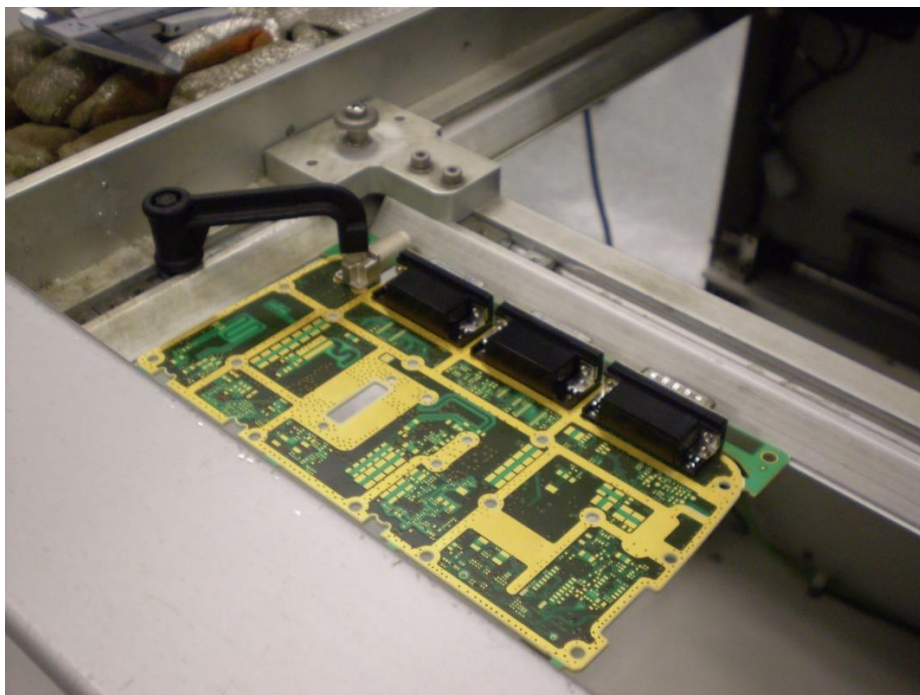
## 2. Probleemi analüüs ja tehnilise lahenduse otsing

Masina protsessi parameetrid oli paigaldatud koos Ungari kolleegidega ja tuleb optimeerida protsessi parameetrid, sest Eolane AS tootmine nõuab kasutada mõistlikult masina massitoodangu „**mass-production**“ tingimustes.

### 2.1 Tehnilised probleemid analüüs

Praegune olukord (*Joonis 4.8*):

- Ebamõistlik lämmastiku tarbimine – umbes 20-30 liitrit minutis ja see on ainult ühe PCB'i jaoks.
- Ebaratsionaalne masina kasutamine – suured aja kulud, sest kasutatakse ainult üks PCB tsükliks.
- Komponentid ja PCB ei ole kaitstud – komponendid ei saa ülekuumeneda ning PCB on liiga avatud mehaanilise tegevuseks (võib olla kraahi „crash'i“ ja PCB läheb katki).
- Ebamugav PCB paigaldus – komponendid võivad tõusta augudest ning on vaja võtta PCB kättega.
- Individuaalse programmi koostamine igaks jootmistooteks (RC-9 (*Joonis 2.1*) ja nende erinevad muudatused: RC-16 ja RC-39. Mõõdud on samad aga erinevus on komponentides ja PCB'i paneelides), sest paneelide mõõdud on natuke erinevad.



Joonis 4.8 PCB standardne paigaldamine

**5W&2H (Who? What? Why? When? Where? How? How much?) (Kes? Mis? Miks? Millal? Kuidas? Mitu?) (Tabel 2.1.1)**

Tabel 2.1.1 5W&2H analüüs

|  |   |
|--|---|
| <b>Why do you say it is a problem? (Miks see on probleem?)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selektiivne jootmisprotsess ei ole optimaalne</li> </ul>   | <b>When does the problem occur? (Millal probleem tekib?)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pidevalt</li> </ul>   |
| <b>Where does the problem occur? (Kus see probleem tekkida?)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ümbrus JADE S-200 masina</li> </ul>  | <b>How do you know it is a problem? (Kuidas sa tead, et see on probleem?)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lämmastiku tellimise raport</li> </ul>   |
| <b>Who gets affected by the problem? (Kes saab mõjutada probleem?)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• JADE S-200 hoolduspersonal</li> </ul>  | <b>How big is the problem, in numbers? (Kui suur on probleem, numbrid?)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tootmiskaht kasvas märtsis - kahekordselt ning lämmastiku tarbimine - kolmekordselt</li> </ul> |
| <b>What happens when the problem occur? (Mis juhtub, kui probleem tekkida?)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Klient ei saa tooteid õigeaegselt</li> <li>• Masina lõpetab töö, kui lämmastik lõpeb</li> </ul> |   |

**SIPOC (Supplier, input, process, output, customer) (Tarnija, sisend, protsess, väljund, klient) (Tabel 2.1.2)**

Tabel 2.1.2 SIPOC analüüs

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>Process name (protsessi nimi):</b> Selektiivse jootmisprotsessi JADE S-200 peale  |   |  |
| <b>The Process starts (protsess alustab):</b> PCB paigaldus  |   | <b>The Process ends (protsess lõpetab):</b> PCB maha võtmine   |
| <b>Suppliers (pakkujad):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SMA department</li> <li>• Elme Messer Gaas</li> </ul>    | <b>Process description (protsessi kirjeldus):</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lämmastikutarbimise andur</li> <li>2. Sisselülitamine ja soojendamise (JADE S-200)</li> <li>3. Konveieri reguleerimine</li> <li>4. PCB paigaldus</li> <li>5. Programmi valik</li> <li>6. PCB jootmisprotsess</li> <li>7. PCB võetakse maha</li> <li>8. Jootmisprotsessi kvaliteedi valideerimine</li> </ol> | <b>Customers (kliendid):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assembly and Packing department</li> </ul> |
| <b>Input (sisend):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lämmastik</li> <li>• Tootmise kava</li> <li>• PBC's</li> </ul> |   | <b>Output (väljund):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valmistatud PCBs</li> </ul>                    |

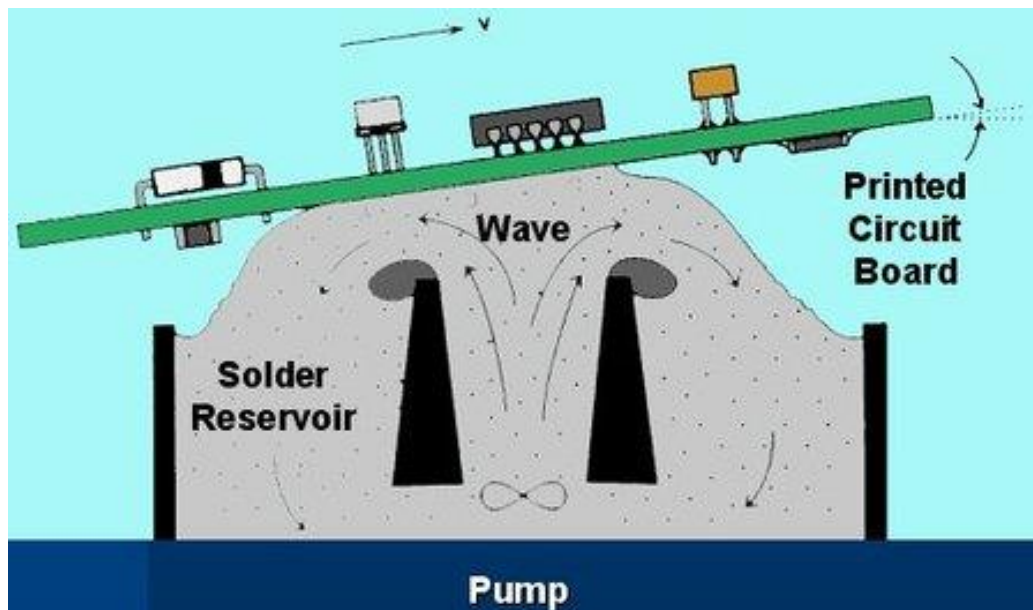
## 2.2 Probleemi lahendused

### Probleemi odavama lahendusi ootsing

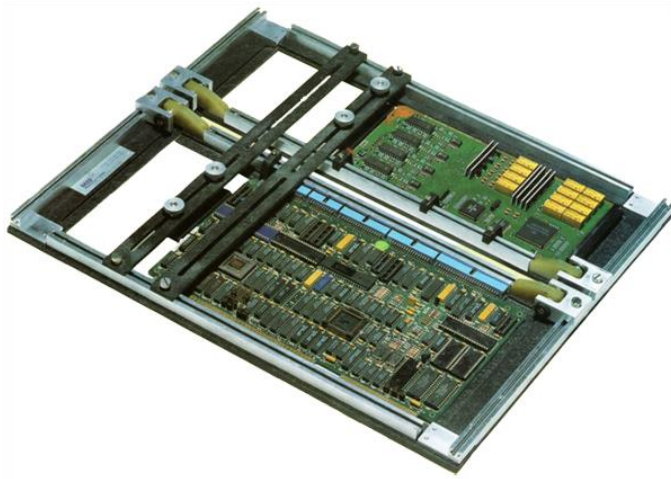
Võimalikud lahendused:

- Uue selektiivne masina ostmise - umbes 100 000 eurot , kus on võimalik paigaldada rohkem PCB ja pannakse jooteraami peale nagu lainejootmise protsessis.
- Jootmisprotsess käsitsi – umbes 1 000 eurot kuus, pikka aega protsess ning mõjub tervisele halvasti
- Arendada oma universaalse jooteraami – 700 euro üks tükk.

Eolane AS kasutab ühte veel jootmisprotsessi ehk meetod nagu lainejootmine, kus kasutatakse jooteraamid [10]. See meetod andis idee, kuidas on võimalik lahendada kõik eespool nimetatud probleemid (Joonis 4.9, Joonis 5.0).



Joonis 4.9 Lainejootmise protsess (jootetina vann, laine, pump, PCB)



Joonis 5.0 Jooteraam lainejootmise protsessi jaoks

## 2.3 Jooteraam

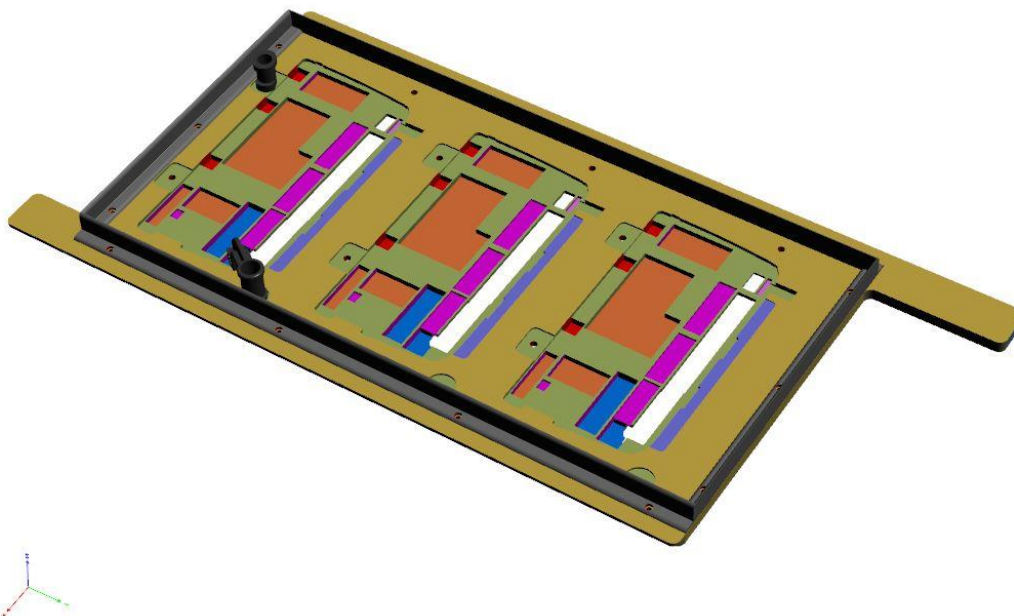
Jooteraam (*Joonis 5.1*) peaks olema universaalne, sisaldab materjaali, mis on kerge ning kummuskindel. Samuti, Eolane AS – elektroonikatööstuse ettevõtte ja peaks olema ESD-kaitse ka.



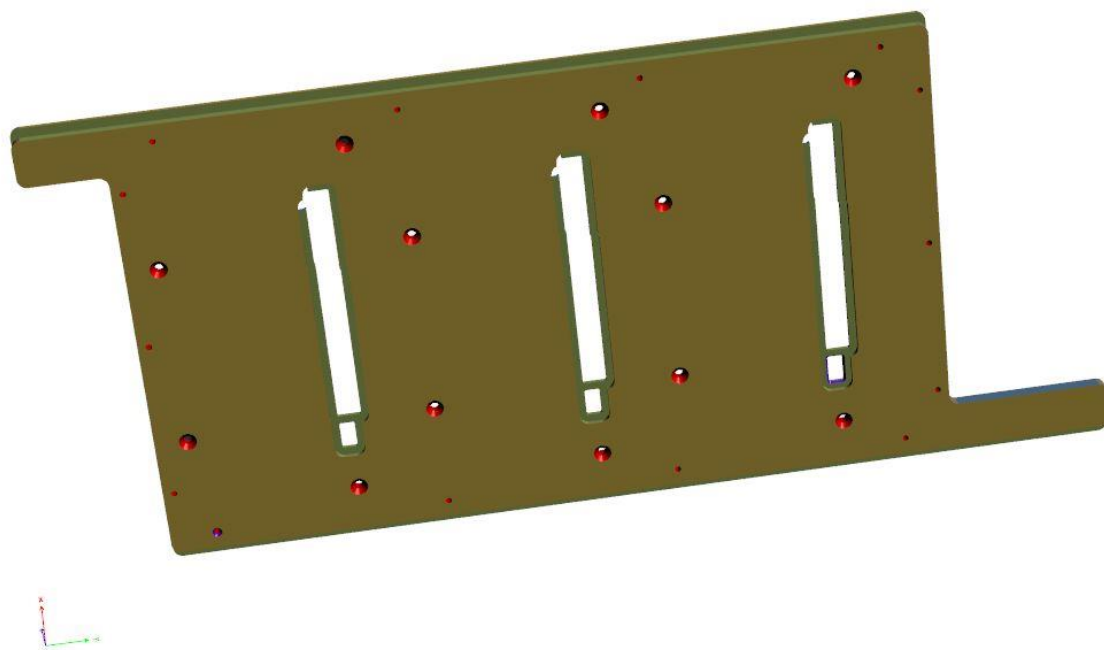
Joonis 5.1 Jooteraami näided

## Jooteraami projekteerimine

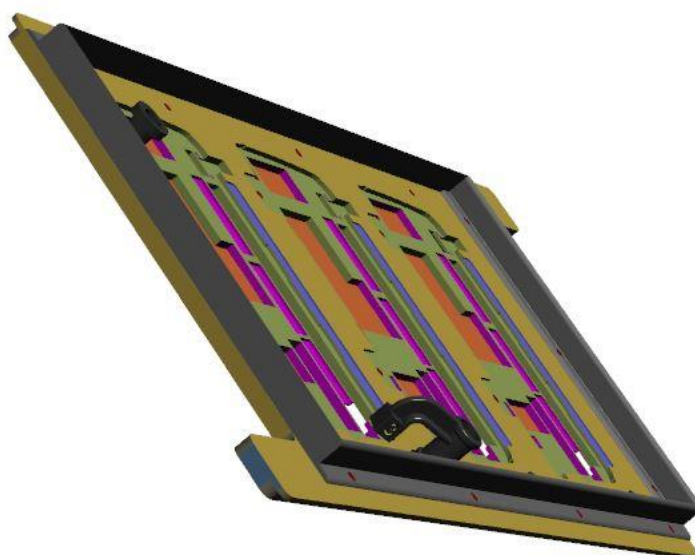
Ettevõtte töötab koos Von Roll ettevõttega, nad aitasid valida õiget materjali. Diplomi autor ja Von Roll firma valisid materjali märgiga CDM ESD 68940 (*Lisa 2.*). See komposiitmaterjal, mis on valmistatud klaasmatistega ja suure mehaanilise tugevusega vaigusüsteemist. Materjal on piisavalt kerge ja kummuskindel. Värv – hall. Jooteraami peal on samuti alumiiniumi talad, mis tarbivad üleliigse soojust. Kõige raskem osa oli ühendada 2D PCB skeemi ja 2D-jooteraami mudeli koos. Projekt oli konfidentsiaalne, nimed ja tarnijad skeemides on peidetud (*Lisa 3, Lisa 4, Lisa 5*). Ettevõtte poolel oli tehtud jooteraami 3D mudeli SolidWork'i tarkvaraga ja hiljem natuke modifitseeritud käepidemed (*Joonis 5.2*). Nüüd on võimalus paigaldada kolm tükki PCB, rohkem ei saa teha, sest jootemasinal standardi raami mõõdud ei võimalda seda teha. Teamaster firma aitas freeserida neljakandiliseid auku komponentide kaitsmiseks jooteraamil. (*Joonis 5.5*). On lisatud lühikest modifikatsiooni nagu käepidemed. See on mugav, kui operatoor, kes töötab masinaga JADE S-200 MK II, paneb raami masina peale õigesti – poka-yoke (mistake-proofing) meetodiga (*Joonis 5.3, Joonis 5.4*). Jooteraami peal on kruvitud PCB hoidjad-käed, mille abiga komponendid tihedalt jäävad kohale. Nüüd pole vaja kasutada PCB paneeli, siis on võimalik depaneeleserida neid ja kasutada RC-9, RC-16 ja RC-39 ühel programmil. (*Joonis 5.3, Joonis 5.5*).



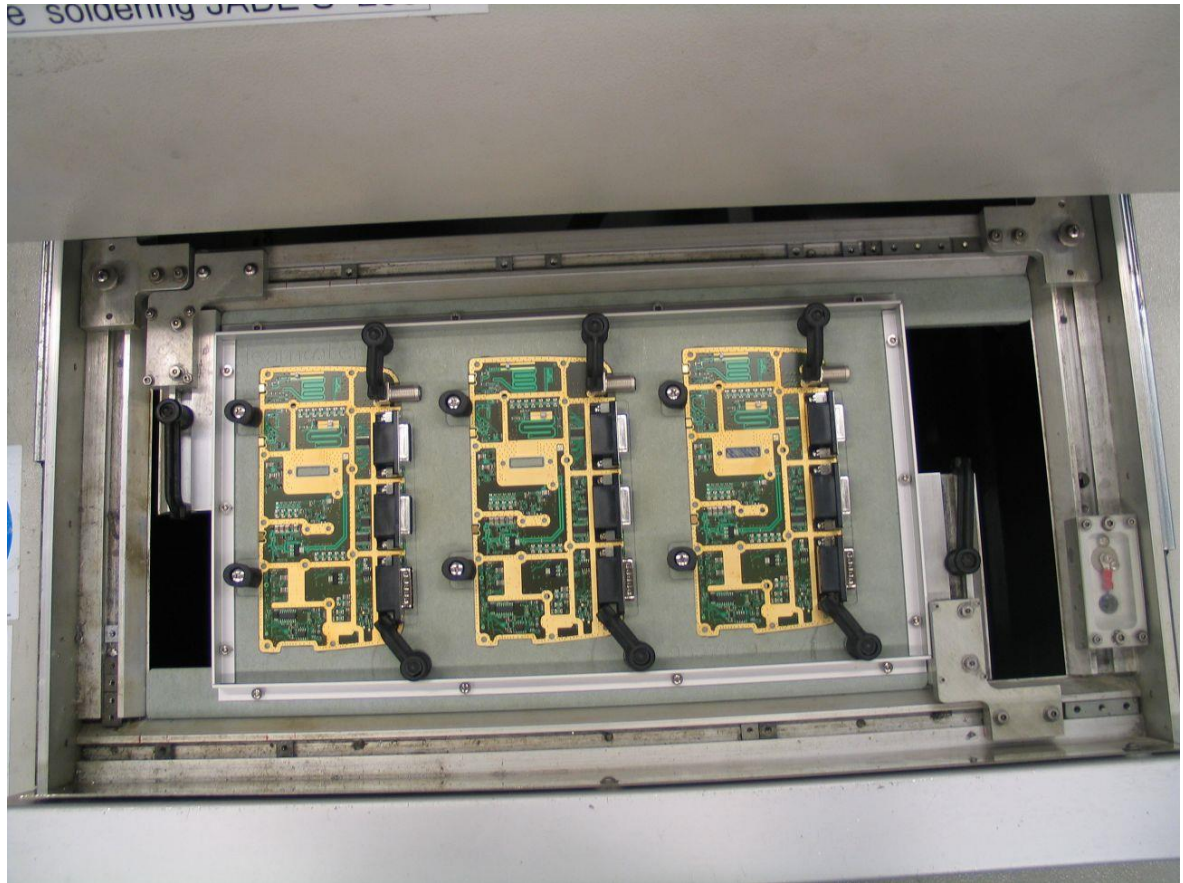
Joonis 5.2 (a) Jooteraami 3D mudel (erinevad sügavused komponentideks on määratud värvidega, sest RC-9 on kahepoolne PCB)



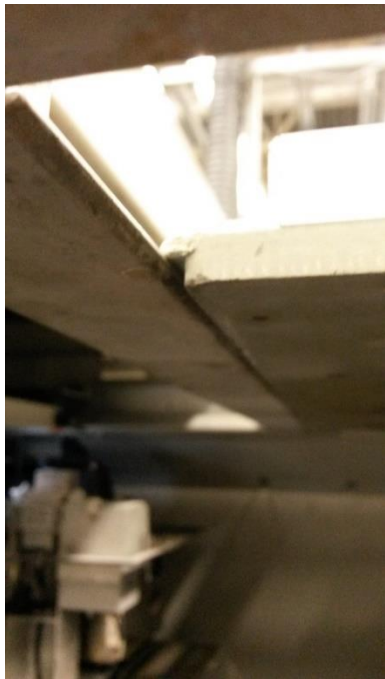
Joonis 5.2 (b) Jooteraami 3D mudel (erinevad sügavused komponentideks on määratud värvidega, sest RC-9 on kahepoolne PCB)



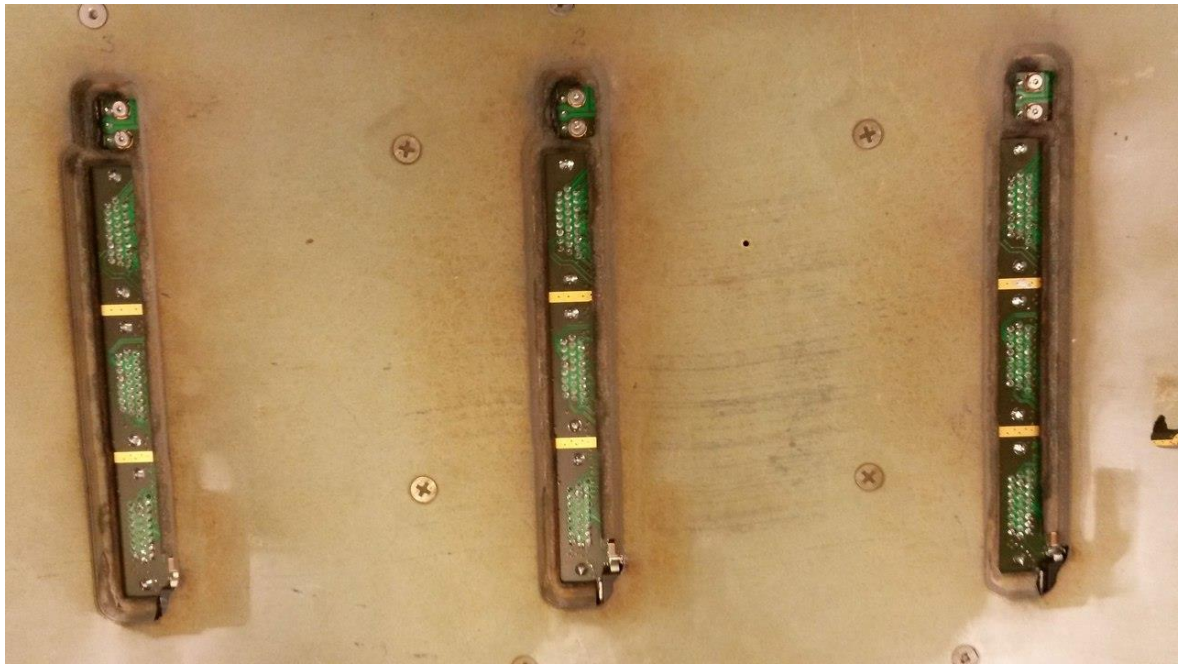
Joonis 5.2 (c) Jooteraami 3D mudel (erinevad sügavused komponentideks on määratud värvidega, sest RC-9 on kahepoolne PCB)



Joonis 5.3 Poka-yoke meetod ning viimane etapp enne jootmisprotsessi



Joonis 5.4 Jooteraami paigaldamine (alumine vaade)



Joonis 5.5 Kulunud näide (pärast crash'i ning on luitunud)

#### **Programmi koostamine jootemasina JADE S-200 juhtimiseks PillarCOMM abiga.**

Programmi on koostatud PillarCOMM tarkvara abil ja programmitava kaameraga (Joonis 1.6, Joonis 3.2). Programm saab testida „Try Action“ funktsiooni läbi ning igaks käiku testida. (Joonis 5.6). Koostatakse programmi on suhteliselt lihtne protsess, sest tarkvara on arusaadav kasutamisel. Õppeprotsessis valitakse vajaduslikku funktsiooni, näiteks esimene „flux“ (Joonis 5.7), määratakse dot'i sagedusi ja fluxer vektori liikumist, on võimalik reguleerida Z-telje ka. Jootmiseks on natuke sarnane meetod aga erinevus ainult töörežiimis, näiteks jootmisprotsessis kasutatakse otsiku, mille jaoks nõuab valida õigesti läbimõõde, RC-9 programmis kasutatakse otsiku 8 mm läbimõõdega, samuti on oluline valida töörežiimi – „dip“ või vektori liikumine (Joonis 5.8). See on väike osa, mis edastab PillarCOMM. Lisaks on võimalik reguleerida – otsiku kiirust, fluxer dot kiirust, jootmise aega, dip-jootmise aega, võimalus kalibreerida otsiku kõrgust, pumba pöörlemiskiirust, ja nii edasi. Tarkvara edastab rikka võimalusi jootmisprotsessi reguleerimiseks. Programmi tööprintsip on sarnane nagu freesmasinal, kus programmeeritav kaamera mäletab punktide koordinaate.



Click on start and end nodes to select action

|    | Path: | Node: | Type   | JointName | Vector Action | Joint Lib. ID | X Coordinate | Y Coordinate |
|----|-------|-------|--------|-----------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 1  | 1     | 1     | Flux   |           | Start         | 26            | 147.3        | 54.900002    |
| 2  |       | 2     | Flux   |           | Continue      | 26            | 149.89999    | 61.700001    |
| 3  |       | 3     | Flux   |           | Continue      | 26            | 150.39999    | 173.10001    |
| 4  |       | 4     | Flux   |           | Continue      | 26            | 148.3        | 178.2        |
| 5  |       | 5     | Flux   |           | Continue      | 26            | 147          | 53.599998    |
| 6  |       | 6     | Flux   |           | Continue      | 26            | 144.5        | 62.099998    |
| 7  |       | 7     | Flux   |           | Continue      | 26            | 145.2        | 173          |
| 8  |       | 8     | Flux   |           | End           | 26            | 147.89999    | 177.60001    |
| 9  | 2     | 1     | Flux   |           | Start         | 26            | 148.10001    | 185.10001    |
| 10 |       | 2     | Flux   |           | Continue      | 26            | 148.3        | 197          |
| 11 | 3     | Flux  |        | End       | 26            | 148.10001     | 185.8        |              |
| 12 | 4     | 1     | Solder |           | Dip           | 53            | 147.8        | 196.3        |
| 13 | 5     | 1     | Solder |           | Dip           | 52            | 146.3        | 188.3        |
| 14 | 6     | 1     | Solder |           | Dip           | 51            | 148.3        | 175.7        |
| 15 | 7     | 1     | Solder |           | Start         | 76            | 148          | 169.5        |
| 16 |       | 2     | Solder |           | Continue      | 77            | 146.89999    | 144.2        |
| 17 |       | 3     | Solder |           | End           | 77            | 150.5        | 144.60001    |
| 18 | 8     | 1     | Solder |           | Dip           | 51            | 147.8        | 132.7        |
| 19 | 9     | 1     | Solder |           | Start         | 76            | 147.8        | 124.6        |
| 20 |       | 2     | Solder |           | Continue      | 77            | 147.3        | 100.8        |
| 21 |       | 3     | Solder |           | End           | 77            | 150          | 100.7        |
| 22 | 10    | 1     | Solder |           | Dip           | 51            | 148          | 57.700001    |
| 23 | 11    | 1     | Solder |           | Start         | 76            | 147.39999    | 62.5         |
| 24 |       | 2     | Solder |           | End           | 76            | 148.3        | 89.599998    |
| 25 | 12    | 1     | Flux   |           | Start         | 26            | 277.5        | 56.700001    |
| 26 |       | 2     | Flux   |           | Continue      | 26            | 280          | 62.599998    |

Help Try Action Clear selection Close

Joonis 5.6 (a) RC-9 programmi näide

Click on start and end nodes to select action

|    | Path: | Node: | Type   | JointName | Vector Action | Joint Lib. ID | X Coordinate | Y Coordinate |           |
|----|-------|-------|--------|-----------|---------------|---------------|--------------|--------------|-----------|
| 27 | 11    | 3     | Flux   |           | Continue      | 26            | 281.20001    | 172.89999    |           |
| 28 |       | 4     | Flux   |           | Continue      | 26            | 277.89999    | 178.3        |           |
| 29 |       | 5     | Flux   |           | Continue      | 26            | 277.20001    | 54.5         |           |
| 30 |       | 6     | Flux   |           | Continue      | 26            | 274.79999    | 62.400002    |           |
| 31 |       | 7     | Flux   |           | Continue      | 26            | 275.39999    | 173.10001    |           |
| 32 |       | 8     | Flux   |           | End           | 26            | 277.79999    | 178.2        |           |
| 33 |       | 12    | 1      | Flux      |               | Start         | 26           | 278.39999    | 186.10001 |
| 34 |       |       | 2      | Flux      |               | Continue      | 26           | 278.70001    | 196.8     |
| 35 | 3     |       | Flux   |           | End           | 26            | 278.5        | 186          |           |
| 36 | 13    | 1     | Solder |           | Dip           | 53            | 276.60001    | 195.2        |           |
| 37 | 14    | 1     | Solder |           | Dip           | 52            | 276.70001    | 188.39999    |           |
| 38 | 15    | 1     | Solder |           | Dip           | 51            | 278.79999    | 175.89999    |           |
| 39 | 16    | 1     | Solder |           | Start         | 76            | 278.5        | 168.2        |           |
| 40 |       | 2     | Solder |           | Continue      | 77            | 277.79999    | 144.60001    |           |
| 41 |       | 3     | Solder |           | End           | 77            | 280.10001    | 144.60001    |           |
| 42 | 17    | 1     | Solder |           | Dip           | 51            | 278.20001    | 132.2        |           |
| 43 | 18    | 1     | Solder |           | Start         | 76            | 278.70001    | 124.9        |           |
| 44 |       | 2     | Solder |           | Continue      | 77            | 278          | 100.8        |           |
| 45 |       | 3     | Solder |           | End           | 77            | 280.20001    | 100.9        |           |
| 46 | 19    | 1     | Solder |           | Dip           | 51            | 277.60001    | 57.5         |           |
| 47 | 20    | 1     | Solder |           | Start         | 76            | 277.70001    | 63.200001    |           |
| 48 |       | 2     | Solder |           | End           | 76            | 279.89999    | 89.400002    |           |
| 49 | 21    | 1     | Flux   |           | Start         | 26            | 407.29999    | 57           |           |
| 50 |       | 2     | Flux   |           | Continue      | 26            | 409.79999    | 63.400002    |           |
| 51 |       | 3     | Flux   |           | Continue      | 26            | 410.79999    | 172.7        |           |
| 52 |       | 4     | Flux   |           | Continue      | 26            | 407.79999    | 178.60001    |           |

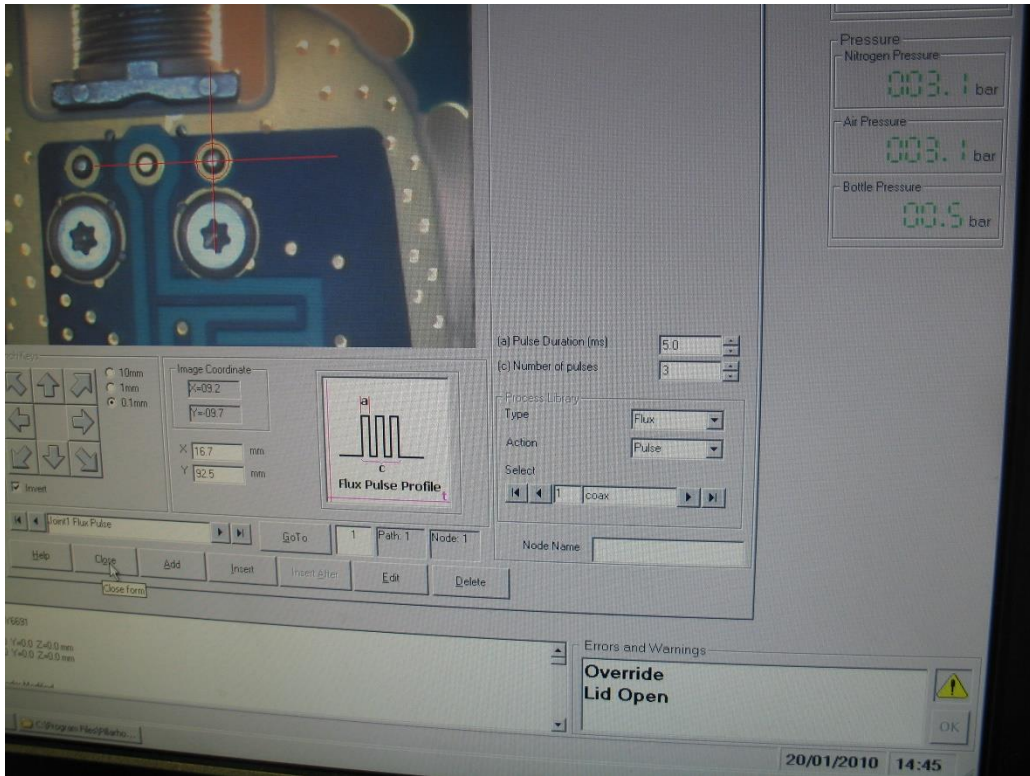
Help Try Action Clear selection Close

Joonis 5.6 (b) RC-9 programmi näide

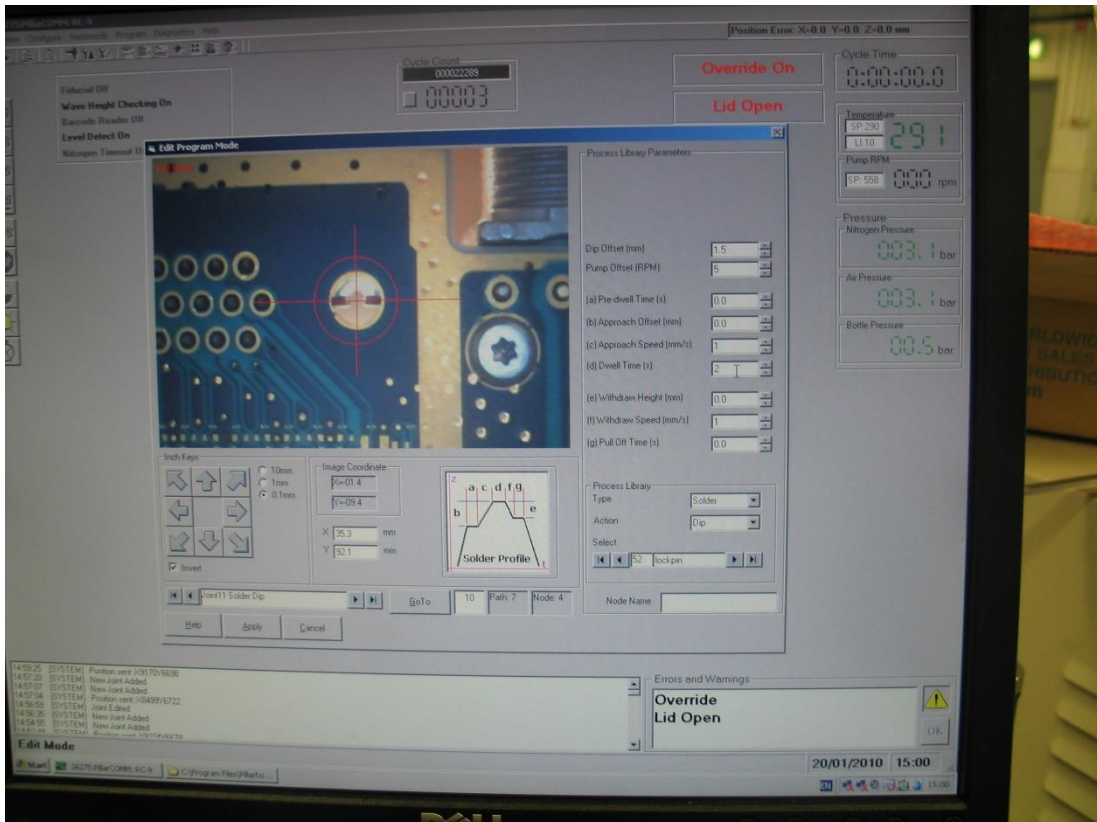
|   |       | <input checked="" type="checkbox"/> Flux |        |           |               |               |              | <input checked="" type="checkbox"/> Solder |
|---|-------|--|--------|-----------|---------------|---------------|--------------|--|
| Click on start and end nodes to select action |       |  |        |           |               |               |              |  |
|   | Path: | Node:                                    | Type   | JointName | Vector Action | Joint Lib. ID | X Coordinate | Y Coordinate                               |
| 48  | 20    | 2  | Solder |           | End           | 76            | 279.89999    | 89.400002                                  |
| 49  | 21    | 1  | Flux   |           | Start         | 26            | 407.29999    | 57   |
| 50  |       | 2  | Flux   |           | Continue      | 26            | 409.79999    | 63.400002                                  |
| 51  |       | 3  | Flux   |           | Continue      | 26            | 410.79999    | 172.7                                      |
| 52  |       | 4  | Flux   |           | Continue      | 26            | 407.79999    | 178.60001                                  |
| 53  |       | 5  | Flux   |           | Continue      | 26            | 406.89999    | 55.299999                                  |
| 54  |       | 6  | Flux   |           | Continue      | 26            | 404.5        | 63.299999                                  |
| 55  |       | 7  | Flux   |           | Continue      | 26            | 405          | 172.5                                      |
| 56  |       | 8  | Flux   |           | End           | 26            | 407.70001    | 178.3                                      |
| 57  | 22    | 1  | Flux   |           | Start         | 26            | 409          | 186.3                                      |
| 58  |       | 2  | Flux   |           | Continue      | 26            | 409.10001    | 196.8                                      |
| 59  |       | 3  | Flux   |           | End           | 26            | 408.70001    | 186.2                                      |
| 60  | 23    | 1  | Solder |           | Dip           | 52            | 406.60001    | 195.10001                                  |
| 61  | 24    | 1  | Solder |           | Dip           | 52            | 406.5        | 188.3                                      |
| 62  | 25    | 1  | Solder |           | Dip           | 51            | 408.10001    | 176.10001                                  |
| 63  | 26    | 1  | Solder |           | Start         | 76            | 408.70001    | 168.2                                      |
| 64  |       | 2  | Solder |           | Continue      | 76            | 408          | 144.7                                      |
| 65  |       | 3  | Solder |           | End           | 76            | 410          | 144.89999                                  |
| 66  | 27    | 1  | Solder |           | Dip           | 51            | 408.20001    | 132.5                                      |
| 67  | 28    | 1  | Solder |           | Start         | 76            | 407.89999    | 125.8                                      |
| 68  |       | 2  | Solder |           | Continue      | 77            | 407.60001    | 100.9                                      |
| 69  |       | 3  | Solder |           | End           | 77            | 409.89999    | 101  |
| 70  | 29    | 1  | Solder |           | Dip           | 51            | 408          | 57.400002                                  |
| 71  | 30    | 1  | Solder |           | Start         | 76            | 407.39999    | 63   |
| 72  |       | 2  | Solder |           | End           | 76            | 409.79999    | 89.599998                                  |

help   Try Action   Clear selection   Close

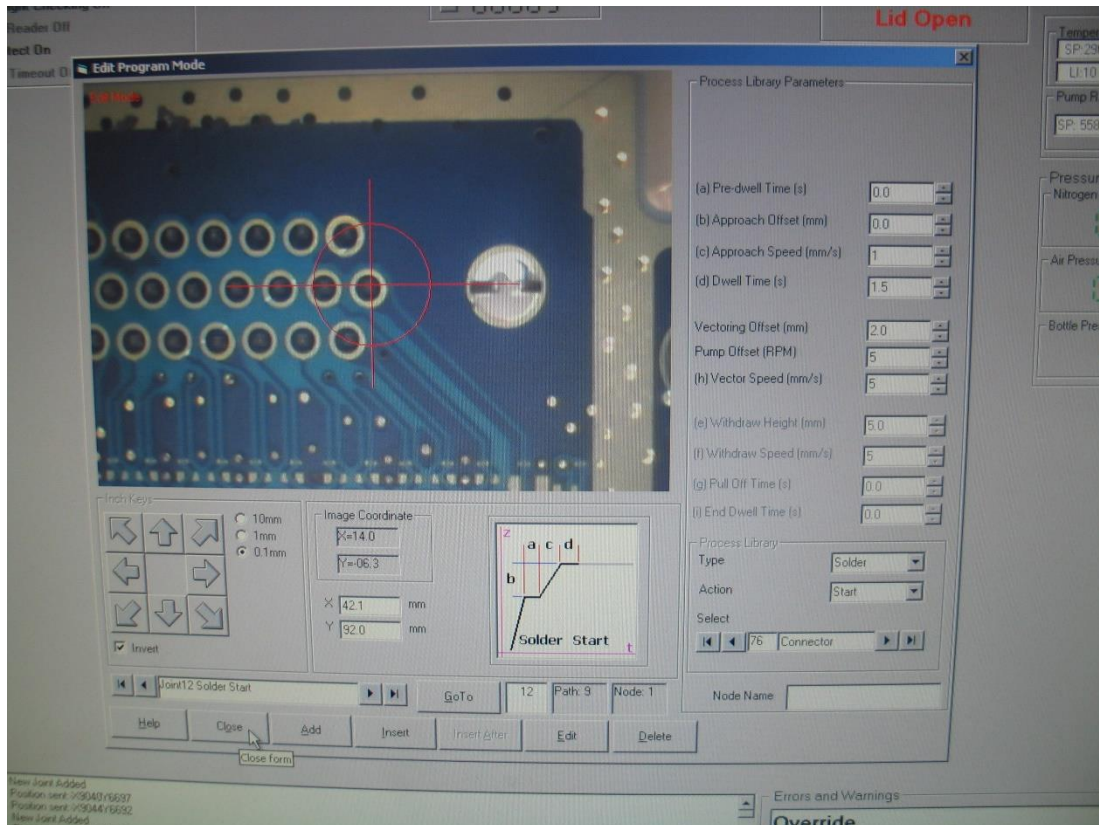
Joonis 5.6 (c) RC-9 programmi näide



Joonis 5.7 Rübustamise õpperežiim



Joonis 5.8 (a) Nozzle õpperežiim ja jootmiseprotsessi parameetrid



Joonis 5.8 (b) Nozzle õpperežiim ja jootmiseprotsessi parameetrid

### 3. Väljapakutud tehnilise lahenduse valideerimine

#### 3.1 Jootmisprotsessi kvaliteedi valideerimine.

Pärast jootmisprotsessist on oluline valideerida toode kvaliteedi. Kasutatakse visuaalne-analüüsi ja edaspidi võiks vaata mikroskoopile. PCB peab olema – puhas, ilma jootesillata, natuke soe ja vastab IPC-A-610D standardile (*Kvaliteedikriteeriumid*) (Joonis 5.9, Joonis 6.0). Märtsis oli 5000 PCB tellimust, kus iga vahetus kontrollis toode kvaliteedi ja tulemused olid ainult 2 PCB veaga – jootesillad. Veebruaris oli 1000 PCB tellimust, kus kontrollitakse ainult 1000 PCB ja leiatakse, et 30 tükki olid – jootesilladega. Tootenimi – RC-9, valmistatud – 1000 (veebruaris) ja 5000 (märtsis), kontrollitud 500 (veebruaris) ja 1750 (märtsis), veakood – jootesillad, komponent – X104 (D-Sub konnektor) ja nende arvu – 30 (veebruaris) ning 2 (märtsis). Tootmispraak – 6% (veebruaris) ja 0,1% (märtsis).

| 02.02.2017     |              |          |           |             |               |           |     |                  |               |
|----------------|--------------|----------|-----------|-------------|---------------|-----------|-----|------------------|---------------|
| Product family | Product name | Produced | Inspected | Sample size | Fault code    | Component | Qty | Description (EN) | FA Yield Drop |
| HUMMER         | RC-9         | 1000     | 500       | 50%         | solder bridge | X104      | 30  | No faults        | 6,0%          |
|                |              |          |           |             |               |           |     |                  |               |
|                |              |          |           |             |               |           |     |                  |               |
| 03.03.2017     |              |          |           |             |               |           |     |                  |               |
| Product family | Product name | Produced | Inspected | Sample size | Fault code    | Component | Qty | Description (EN) | FA Yield Drop |
| HUMMER         | RC-9         | 1250     | 125       | 10%         |               |           | 0   | No faults        | 0,1%          |
|                | RC-9         | 1250     | 125       | 10%         |               |           | 0   | No faults        |               |
|                | RC-9         | 1250     | 1250      | 100%        | solder bridge | X104      | 2   | No faults        |               |
|                | RC-9         | 1250     | 250       | 20%         |               |           | 0   | No faults        |               |

Joonis 5.9 Kvaliteedi võrdlemine (Jooteraamiga märtsis ning jooteraamita veebruaris)



Joonis 6.0 Kvaliteedi näide

### 3.2 Kvaliteedi ja efektiivsuse võrdlemine.

Lämmastiku maksumus - 0,00125 euro / L (Mai 2017)

L - liiter

Märtsis oli tehtud testid, kus võrreldakse kahte töörežiimi tüüpi (Tabel 3.2.1, Tabel 3.2.2). Kontrollitakse 20 tsüklilist jooteraamiga ja ilma. On välja arvatud eelnevalt 5000 PCB'i jaoks. Võrdlemine analüüs näitas, et sama PCB arvuga (5000 tükki), kus kasutatakse jooteraam – aega ning lämmastikutarbimine kulud on väiksemad, kui meetodi ilma jooteraamita. (Tabel 3.2.3). Diagrammid (Diagramm 3.2.1 / 3.2.2 / 3.2.3) näitavad olulist erinevust jooteraami ja jooteraamita kasutamisel.

Tabel 3.2.1 Jootmisprotsessi efektiivsuse test jooteraamiga

| <b>Jooteraam</b>                |  |                              |   |                       |
|---------------------------------|--|------------------------------|---|-----------------------|
| <b>Möötepiirkond</b>            | <b>Eelsoojendamine igaks tsükliks + fluxer (min)</b> | <b>Jootmisprotsess (min)</b> | <b>PCB laadimine ja mahalaadimine (min)</b> | <b>Kogu aeg (min)</b> |
| 1                               | 1,3  | 5,05                         | 0,42  | 6,77                  |
| 2                               | 1,3  | 5,06                         | 0,44  | 6,8                   |
| 3                               | 1,3  | 5,02                         | 0,42  | 6,74                  |
| 4                               | 1,3  | 5,04                         | 0,45  | 6,79                  |
| 5                               | 1,3  | 5,03                         | 0,44  | 6,77                  |
| 6                               | 1,3  | 5,02                         | 0,46  | 6,78                  |
| 7                               | 1,3  | 5,06                         | 0,43  | 6,79                  |
| 8                               | 1,3  | 5,04                         | 0,44  | 6,78                  |
| 9                               | 1,3  | 5,03                         | 0,44  | 6,77                  |
| 10                              | 1,3  | 5,05                         | 0,42  | 6,77                  |
| 11                              | 1,3  | 5,03                         | 0,42  | 6,75                  |
| 12                              | 1,3  | 5,06                         | 0,43  | 6,79                  |
| 13                              | 1,3  | 5,04                         | 0,43  | 6,77                  |
| 14                              | 1,3  | 5,03                         | 0,43  | 6,76                  |
| 15                              | 1,3  | 5,03                         | 0,42  | 6,75                  |
| 16                              | 1,3  | 5,05                         | 0,43  | 6,78                  |
| 17                              | 1,3  | 5,04                         | 0,43  | 6,77                  |
| 18                              | 1,3  | 5,05                         | 0,42  | 6,77                  |
| 19                              | 1,3  | 5,02                         | 0,44  | 6,76                  |
| 20                              | 1,3  | 5,03                         | 0,46  | 6,79                  |
| <b>Keskmine väärtus (3 PCB)</b> |  |                              |   | <b>6,7725</b>         |
| <b>Keskmine väärtus (1 PCB)</b> |  |                              |   | <b>2,2575</b>         |
| <b>Kogu aeg (5000 PCB)</b>      |  |                              |   | <b>188,125 (t)</b>    |

Tabel 3.2.2 Jootmisprotsessi efektiivsuse test jooteraamita

| <b>Jooteraamita</b>             |  |                              |   |                       |
|---------------------------------|--|------------------------------|---|-----------------------|
| <b>Möötepiirkond</b>            | <b>Eelsoojendamine igaks tsükliks + fluxer (min)</b> | <b>Jootmisprotsess (min)</b> | <b>PCB laadimine ja mahalaadimine (min)</b> | <b>Kogu aeg (min)</b> |
| 1                               | 1,3  | 1,3                          | 0,68  | 3,28                  |
| 2                               | 1,3  | 1,25                         | 0,67  | 3,22                  |
| 3                               | 1,3  | 1,31                         | 0,69  | 3,3                   |
| 4                               | 1,3  | 1,3                          | 0,7   | 3,3                   |
| 5                               | 1,3  | 1,28                         | 0,71  | 3,29                  |
| 6                               | 1,3  | 1,31                         | 0,68  | 3,29                  |
| 7                               | 1,3  | 1,32                         | 0,69  | 3,31                  |
| 8                               | 1,3  | 1,29                         | 0,68  | 3,27                  |
| 9                               | 1,3  | 1,29                         | 0,69  | 3,28                  |
| 10                              | 1,3  | 1,31                         | 0,67  | 3,28                  |
| 11                              | 1,3  | 1,32                         | 0,67  | 3,29                  |
| 12                              | 1,3  | 1,31                         | 0,68  | 3,29                  |
| 13                              | 1,3  | 1,3                          | 0,69  | 3,29                  |
| 14                              | 1,3  | 1,29                         | 0,7   | 3,29                  |
| 15                              | 1,3  | 1,29                         | 0,68  | 3,27                  |
| 16                              | 1,3  | 1,3                          | 0,68  | 3,28                  |
| 17                              | 1,3  | 1,3                          | 0,69  | 3,29                  |
| 18                              | 1,3  | 1,29                         | 0,7   | 3,29                  |
| 19                              | 1,3  | 1,28                         | 0,67  | 3,25                  |
| 20                              | 1,3  | 1,3                          | 0,68  | 3,28                  |
| <b>Keskmine väärtus (1 PCB)</b> |  |                              |   | <b>3,282</b>          |
| <b>Kogu aeg (5000 PCB)</b>      |  |                              |   | <b>273,5(t)</b>       |



Tabel 3.2.3 Võrdlemine analüüs (Märts)

|  | Jooteraam | Jooteraamita | Võrdlemine    |
|--|-----------|--------------|---------------|
| <b>Märts (toodete arv)</b>                     | 5000      | 5000         |               |
| <b>Lämmastikutarbimine (stand-alone) (L/t)</b> | 1800      | 1800         |               |
| <b>Kogu aeg (t)</b>                            | 188,125   | 273,5        | <b>85,375</b> |
| <b>Töörežiim (L)</b>                           | 338625    | 492300       | <b>153675</b> |
| <b>Lämmastiku maksumus (euro)</b>              | 423,3     | 615,4        | <b>192,1</b>  |

Diagramm 3.2.1 Lämmastikutarbimine töörežiimis (Jooteraamiga ja ilma)

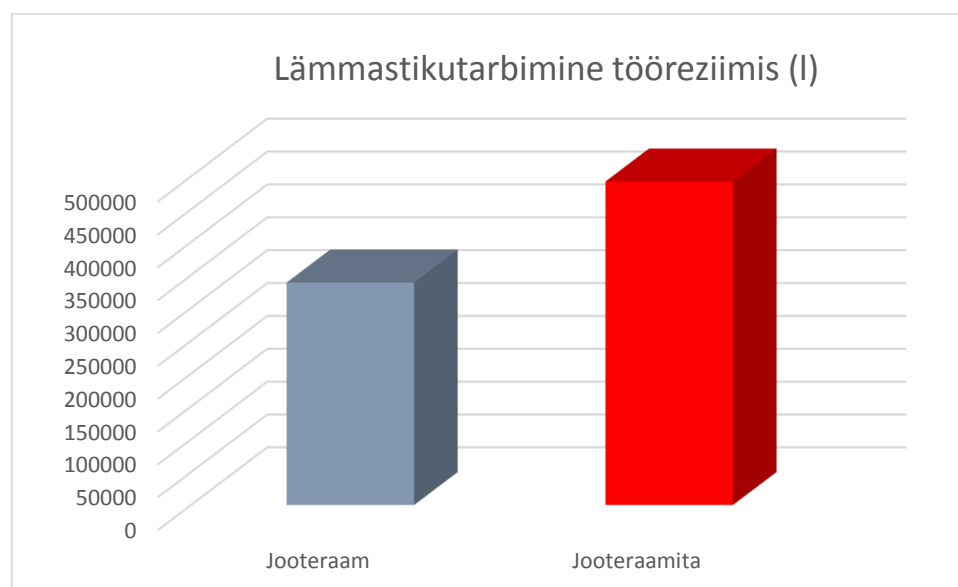


Diagramm 3.2.2 Kogu aeg (Jooteraamiga ja ilma)

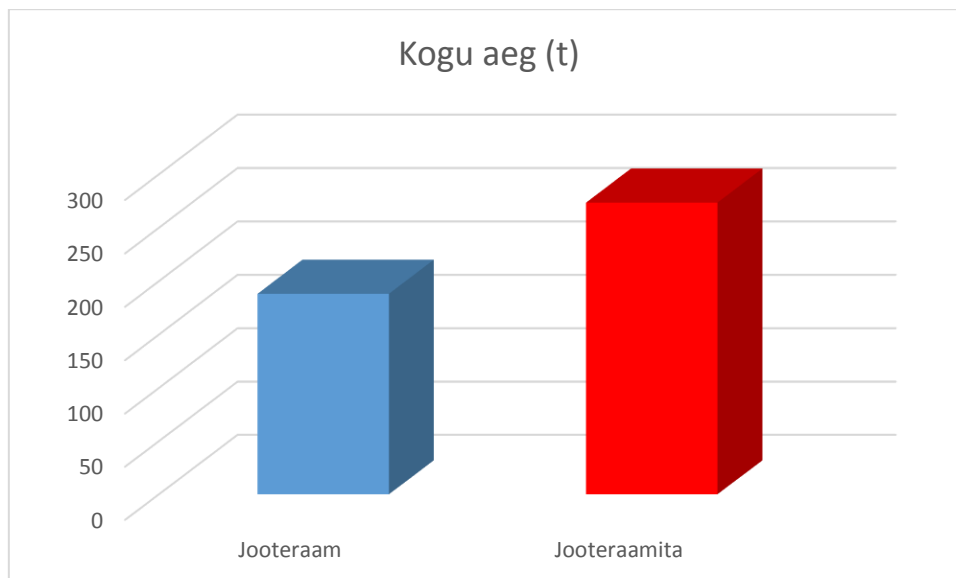
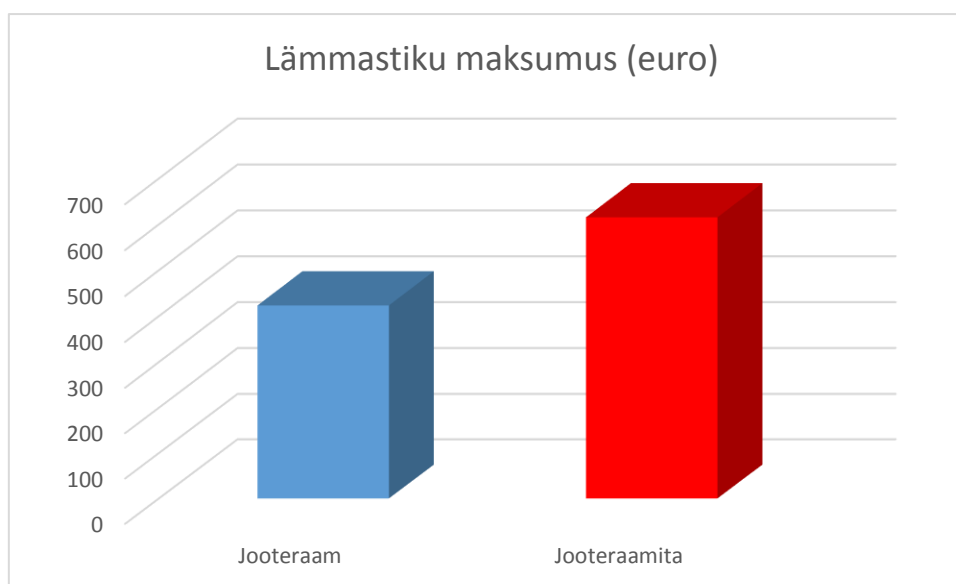


Diagramm 3.2.3 Lämmastikutarbimine maksumus (Jooteraamiga ja ilma)



## Kokkuvõtte

Bakalaureusetöö oli pakutud Eolane AS poolt ja oli tehtud Eolane inseneride juhendamisel, töö oli konfidentsiaalne.

Esimeses osas, autor uuris põhjalikult masina ressursid ning mehhanismid. Tutvus toodega RC-9. Uuris jootmisprotsessi, üldisest ideest: jootmine, jootetina, räubusti, läbiaugumontaaž, lämmastiku keskkond ja kuni IPC-A-610D standardi.

Teises osas, autor määratleb jootmisprotsessi suuri probleeme ja annab mitmeid lahendusi, kus ratsionaalselt ja odavalt näeks lahendust – jooteraam selektiivse jootmisprotsessi jaoks. Lõputöös on projekteeritud jooteraam selektiivse jootemasina JADE S-200 MKII jaoks. Autor võttis osa jooteraami projekteerimisest ja tegi 3D-mudeli ning osales 2D-mudeli modifitseerimises Teamaster ettevõttega. Jooteraam kaitseb alumised komponendid ülekuumenemisest ja mehaanilisest mõjust. Jooteraamiga on lihtsam kasutada ja kiirendada tootmise protsess, sest nüüd kasutatakse 3 trükkplaati korraga, sest ettevõttes oli koostatud programm, autor pidi muutma programmi parameetrid: koordinaadid ja tööetapid.

Viimases osas, autor katsetab jooteraami töös. Enne jooteraami kasutamist, ettevõttes oli valmistatud RC-9 jooteraamita. Siis tekkis võimalus kasutada jooteraami ja pärast seda võrrelda jootmisprotsessi kvaliteet. Tulemused näitasid olulise erinevuse jooteraami kasutamisel. Ratsionaalne lämmastiku tarbimine vähendas kulud. Lihtne idee säästab igal tunnil tuhandeid eurosid ja tõstab efektiivsust ning kvaliteeti. Jooteraam aitab vältida vigu tulevikus.

Töö käigus tutvuti selektiivse masinaga tööprintsibiiga, jootmisprotsessiga ja IPC-kvaliteediga. Autor oli tutvunud masina töökeskkonna tingimustega ja nende ressursidega. Projekteeritud jooteraam vastab kõigile Eolane jootmisprotsessi kriteeriumitele. Töö käigus kasutati SolidWorks'i, PillarCOMM tarkvara ja Adobe Acrobat.

Kokkuvõttes tahaks öelda, et antud projekt oli kasulik ja oluline rakenduslik tehase jaoks.

## Summary

Bachelor thesis was offered by Eolane AS and has been done under the guidance of Eolane engineers, this work was confidential.

First of all, the author explored the machine working parts and acquainted with product RC-9 also. Explored things like, soldering, solder wire, flux, THT, nitrogen environment and IPC-A-610 standards.

In the second stage, the author showed the soldering problems and offered some solutions. Where more rational and cheaper decision was a solder frame for selective soldering. In this work was designed a specific solder fixture for JADE S-200 MK II selective soldering machine. The author took part in the design of 3D-module for soldering frame and participated in 2D-module modification with 'Teamaster' company. Fixture protects RC-9 bottom components from overheating and mechanical nozzle impact. Fixture is easy to use and speeds up the production process, as well as now it possible use more PCBs - three pieces of PCB in a fixture. Eolane AS company has already composed RC-9 programm, but this programm needed a modification, because the programm was used without a soldering fixture. The author changed programm steps and coordinates also.

The final stage, the author uses RC-9 fixture in practice. There was a chance to compare both products and their quality, where the first one used the fixture and the another one used just a simple JADE S-200 frame. The results showed a significant difference between JADE S-200 simple frame and the soldering fixture. Rational nitrogen consumption reduced process cost. Simple concept saves thousands of euros per one hour and improved efficiency and production quality. This fixture helps to avoid faults in the future.

During this work, the author has acquainted with the principle of the machine operation, soldering and IPC quality also. The fixture meets all the company criteria for the soldering process. During the work SolidWork, PillarCOMM software and Adobe Acrobat were used.

In conclusion, would like to say that this project was a useful and important, because this practise was implemented by the factory.

## Kasutatud kirjanduse loetelu

1. Pillarhouse International kodulehekülg [WWW] <http://www.pillarhouse.co.uk/products/selective-soldering-handload/jade-mk-ii> (Märts 2017)
2. JADE MK II brošüür [WWW] <http://www.amtech.cz/pdf/Pillarhouse-UK-Jade-MKII.pdf> (Märts 2017)
3. Tallinna Ülikool esitlus 'Jootmine', Lektor Andry Kikkull [WWW] <http://heidisild.weebly.com/uploads/6/0/9/2/6092105/jootmine.pdf> (Märts 2017)
4. CertForum.Ru Европейская Сертификация [WWW] <http://certforum.ru/ce-marking/67-eu-cert/rohs-directive-2002-95-ec.html> (Märts 2017)
5. Characterization and Comparison of Five SAC-based Solder Pastes for Pb-free Reflow Soldering, Catherine H. Chen, Wallace Wong, Jeffery C. C. Lo, Fubin Song, S. W. Ricky Lee [WWW] <http://ihome.ust.hk/~epack/member%20download%20area/HDP2007-pp.10-17.pdf> (Aprill 2017)
6. Interflux Electronics kodulehekülg [WWW] <http://www.interflux.com/en/soldering-fluxes> (Aprill 2017)
7. yWorks the diagramming company [WWW] <http://live.yworks.com/graphity/> (Aprill 2017)
8. Технологии в электронной промышленности №2'2006 [WWW] [http://www.tech-e.ru/2006\\_2\\_61.php](http://www.tech-e.ru/2006_2_61.php) (Mai 2017)
9. PCBDEGINER.RU, IPC-A-610D manual [WWW] [http://pcbdesigner.ru/downloads/IPC\\_rus/IPC-A-610D.pdf](http://pcbdesigner.ru/downloads/IPC_rus/IPC-A-610D.pdf) (Mai 2017)
10. PCB Assembly 101, By A Random Lab Assistant, October 17, 2012 [WWW] <https://hax.co/2012/10/17/pcb-assembly-101/> (Mai 2017)
11. Jootetehnoloogiad ja jootematerjalid e-kursus, Mikhail Shenkin, [WWW] [http://opiobjektid.tptlive.ee/Jootmine\(vene\)/index.html](http://opiobjektid.tptlive.ee/Jootmine(vene)/index.html) (Mai 2017)

# LISAD

## Lisa 1. Tehnilised kirjeldused



## Chapter 2 Introduction

### TECHNICAL SPECIFICATIONS

|   |  |                                      |
|---|--|--------------------------------------|
| <b>Machine Size:</b>                      | Height<br>(approx. Including Optional Fittings): | 1500mm (60-inch)                     |
|   | Width:   | 1000mm (40-inch)                     |
|   | Width (Including CRT Mounting):                  | 1474mm (58-inch)                     |
|   | Width (Including Flat Screen Mounting):          | 1286mm (51-inch)                     |
|   | Depth:   | 1406mm (55-inch)                     |
| <b>Weight:</b>                            | Depth (for Maintenance Access):                  | 1851mm (73-inch)                     |
|   | Unpacked:  | 275kg (606lb)                        |
|   | Packed:  | 380kg (838lb)                        |
| <b>Nominal Loading Height:</b>            |  | 900-920mm (35-37-inch)               |
| <b>Maximum Board Size:</b>                |  | 510 x 460mm (20 x 18-inch)           |
| <b>Minimum Board Size:</b>                |  | 102 x 102mm (4 x 4-inch)             |
| <b>Height Clearance:</b>                  | Below  | 40.0mm (1.6-inch)                    |
| <b>Edge Clearance:</b>                    | Below:   | 3.0mm (0.12-inch)                    |
| <b>Extraction:</b>                        | Fan:   | 120mm (4.7-inch) Dia.                |
|   | Rating:  | 159m <sup>3</sup> /hr.               |
| <b>Solder Pot Capacity:</b>               |  | 15kg/33lb (63/37 or 60/40)<br>solder |
| <b>Flux Tank Capacity:</b>                | 1 bottle   | 1 Litre                              |
| <b>Flux Spray Formulation:</b>            | Approximately:                                   | 4.0 - 6.0mm (0.16-0.24-<br>inch)     |
| <b>Fluxer Speed</b>                       |  | 50 dots/second                       |
| <b>X &amp; Y Axes:</b>                    | Resolution Accuracy:                             | 0.2                                  |
|   | Repeatability:                                   | 0.2                                  |
| <b>Z-Axis:</b>                            | Resolution Accuracy:                             | 0.1                                  |
|   | Repeatability:                                   | 0.1                                  |
| <b>Nitrogen Supply Pressure:</b>          |  | 4 bar (56psi)                        |
| <b>Nitrogen Usage:</b>                    |  | 20-100 Litres/min. (42-212<br>CFH)   |
| <b>Nitrogen Purity:</b>                   | At Least   | 99.998%                              |
| <b>Air Supply Pressure:</b>               |  | 5 bar (70psi)                        |
| <b>Air Consumption:</b>                   |  | 20-30 Litres/min. (42-68<br>CFH)     |
| <b>Flux Bottle Nitrogen<br/>Pressure:</b> |  | 0.5 bar (7.5psi ±0.5psi)             |

## Lisa 2. CDM ESD 68940 (Klaaskiud vaigusüsteemiga)

**VonRoll**

# laminates

CDM ESD 68940

- ▶ Good performances with lead free soldering process.
- ▶ Increased temperature resistance : good performances at temperatures higher than 300°C.
- ▶ Excellent flux resistance.
- ▶ Dissipative material. Surface resistivity 10E5 to 10E9 Ohm/Square.
- ▶ Optical sensitiveness : grey color enables an easy and improved detection by infra-red cells.
- ▶ Low deformation.
- ▶ Excellent dimensional stability.
- ▶ Improved machinability.

#### General description

The CDM range of products exhibits higher mechanical and resistance properties as standard composite materials. The random glass mat substrate present in the CDM ESD 68940 minimizes delaminations problems during machining or pallet use. The relative low thermal conductivity in the CDM materials allows a rapid pallet turnaround eliminating most of the time both the necessity to provide a cooling station and the process heat sink effect experienced in the metallic pallets. CDM materials can substitute metallic solder frames (or other materials) with great advantages.

Flux resistance is depending on composition and pH level. Highly acid as well as basic fluxes often require a regular cleaning of remaining powders in order to preserve the stability of CDM material.

Due to the high fiberglass content, machining is recommended with carbide or diamond toolings. Precise machining with very accurate tolerances can be achieved by experts in the conception and machining of pallets.

#### RoHS Directive

Hazardous products listed in the EU-directive 2002/95/CE (ROHS-directive), §4 section 1, are

|   |                   | Value               | Test norm           |
|---|-------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Mechanical properties</b>                        |                   |                     |                     |
| Flexural strength at 23°C, flatwise                 | MPa               | 350                 | ISO 178             |
| Flexural strength at 150°C, flatwise                | MPa               | 200                 | ISO 178             |
| Modulus of elasticity in flexure at 23°C, flatwise  | MPa               | 18000               | ISO 178             |
| Modulus of elasticity in flexure at 150°C, flatwise | MPa               | 12000               | ISO 178             |
| <b>Electrical properties</b>                        |                   |                     |                     |
| Surface resistivity                                 | Ohm/square        | 10E5 to 10E9        | IEC 60093           |
| <b>Physical properties</b>                          |                   |                     |                     |
| Density   | g/cm <sup>3</sup> | 1.9 ±0.1            | ISO 1183 (method A) |
| Water absorption 24h 23°C                           | %                 | <0.10               | ISO 62 (method 1)   |
| Linear coefficient of thermal expansion, parallel   | K <sup>-1</sup>   | 10.10 <sup>-6</sup> | VSM 77110           |
| <b>Thermal properties</b>                           |                   |                     |                     |
| Thermal conductivity                                | W/m.K             | 0.3                 | DIN 52612           |

not used as ingredients in this material.

#### Application

Can be used in lead free process  
Full process solder wave, SMT and selective soldering process  
Components insertion  
SMT placement  
Reflow soldering  
Components protection  
Testing of PCBs  
Cleaning of PCB boards

#### Availability

Standard sheet size : 2350 +/-10mm x 1335 +/-10mm or 2000 x 1250 mm  
Surface grinded (both sides)  
Standard thicknesses available :  
3mm, 4mm, 5mm, 6mm, 8mm, 10mm, 12mm

#### Description

CDM ESD 68940 is a composite material made of glass mat, combined with a high mechanical resistance resin system.  
Color : Grey

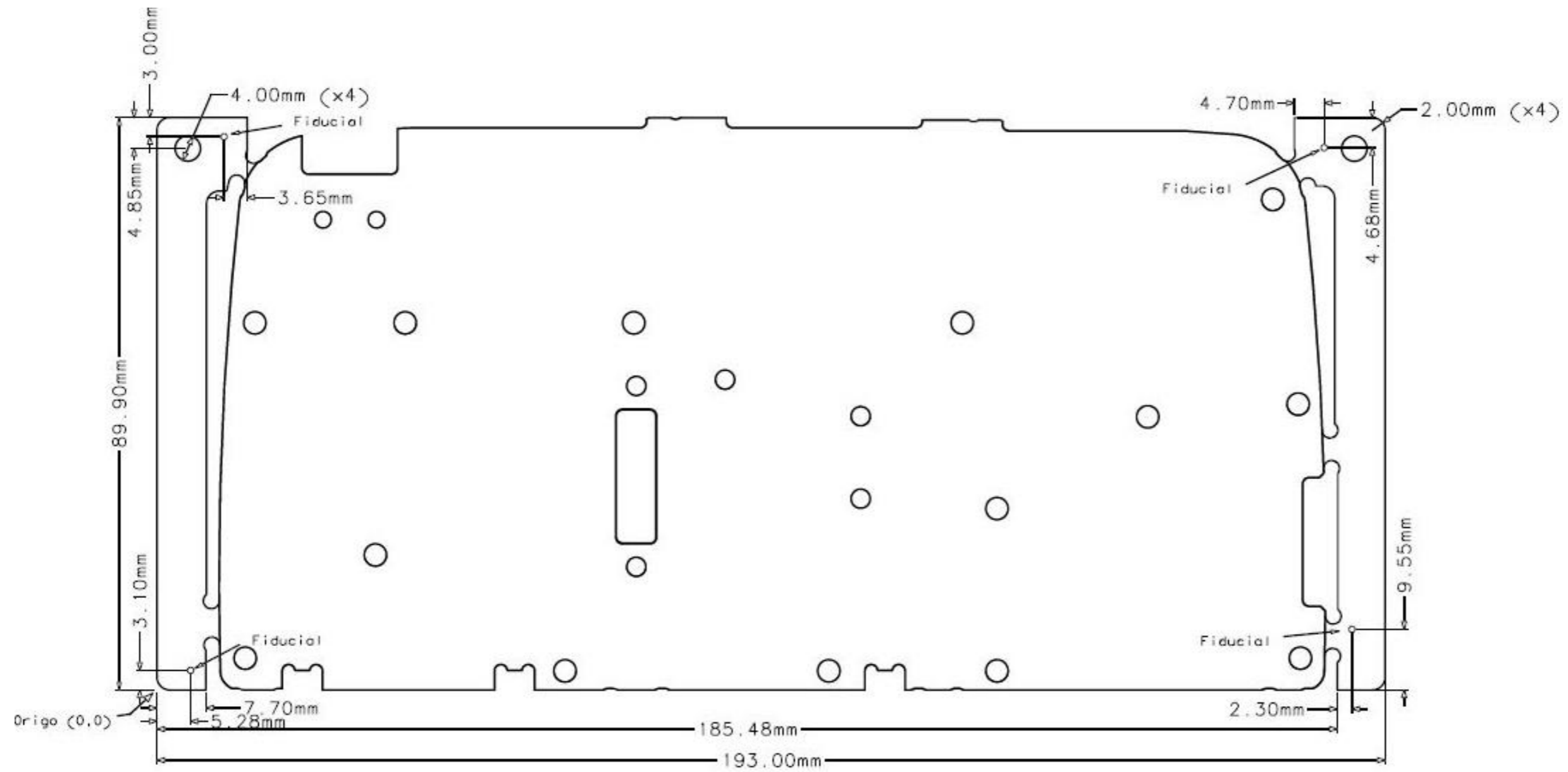
The product properties set forth in this data sheet are based on the results of testing of typical material produced by the affiliated companies of Von Roll Holding Ltd. (underneath referred as Von Roll). Some variation in product properties is typical. Comments or suggestions relating to any subject other than product properties are offered only to call the end-user's or other person's attention to considerations which may be relevant in the independent determination of the use and/or manner of use of product. Von Roll does not claim or warrant that the use of its product will have the results described in this data sheet or that the information provided is complete, accurate or useful. The user should test the product to determine its properties and its suitability.

Von Roll Isola France SA  
F - 90100 Delle  
www.vonroll.com

**CDM ESD 68940**

CA\_U224 17-10-2006

Lisa 3. RC-9 PCB m õõdud



|  |           |                         |          |        |
|--|-----------|-------------------------|----------|--------|
|  | Product   | RC-9                    | Name     | 2AF_10 |
|  | Mat. Code | CN3954AA01              | Doc Code |        |
|  | Document  | Panel dimension drawing |          |        |
|  | Assoc.    | PCB Specification File  |          |        |
|  | Archived  | -                       |          |        |
|  | Approved  | -                       |          |        |
| Unauthorized reproduction of this drawing is not permitted |           |                         |          |        |



Lisa 4. RC-9 PCB skeem



|  |           |                        |          |        |
|--|-----------|------------------------|----------|--------|
| Unauthorized reproduction of this drawing is not permitted | Product   | RC-9                   | Name     | 2AF_10 |
|  | Mat. Code | HJ4967AAA02            | Doc Code |        |
|  | Document  | Component assembly TOP |          |        |
|  | Assoc.    | PWB Specification File |          |        |
|  | Archived  |                        |          |        |
|  | Approved  | See Approval Form      |          |        |

Lisa 5. Jooteraami mõõdud

