

Johannes Gebhard

# Pogopinnien testauslaitteen automatisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

5.5.2017

Tekijä(t) Otsikko	Johannes Gebhard Pogopinien testauslaitteen automatisointi
Sivumäärä Aika	41 sivua + 14 liitettä 4.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Manager Antti Heikkinen Lehtori Markku Inkinen
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli kehittää testauslaitetta kiihtyvyyssanturien kalibroinnissa käytetyille pogopinneille ja perehtyä vikaantuneille pinneille tehtyihin tutkimuksiin.</p> <p>Murata Electronics Oy valmistaa MEMS-teknologiaan perustuvia moniakselisia kiihtyvyyssantureita. Kiihtyvyyssanturien vaativien käyttöolosuhteiden takia niiden kalibrointi tehdään eri lämpötiloissa. Kalibroinnin aikana mitattaviin antureihin muodostetaan sähköinen kontakti jousikuormitteisilla liittimillä eli pogopinneillä.</p> <p>Jos kalibroitavaan tuotteeseen ei saada kontaktia, tuote hylätään. Vika kontaktissa voi johtua viallisesta tuotteesta tai vikaantuneista pinneistä. Pinnien vikaantuessa kaikki saman mittapaikan tuotteet hylätään. Vika korjataan vaihtamalla vikaantuneet pinnit. Pinnien vikaantuminen aiheuttaa saantohukkaa ja menetettyä laiteaikaa.</p> <p>Pinnien vikaantumisien syy on vaikea selvittää vikaantumisien epäsäännöllisen esiintymisen vuoksi. Vikaantumisten määrä vaihtelee käytettyjen laitteiden ja olosuhteiden mukaan.</p> <p>Käytettyjen pinnien analysointia varten oli kehitetty testilaitetta jolla mitattiin niiden jousivoimaa ja kontaktiresistanssia. Testilaitteen avulla voitiin tehdä tilastollisia analyyseja pinnien vikaantumisiin vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi. Testaamisen helpottamiseksi laite päätettiin automatisoida. Työssä toteutettiin laitteen mekaaninen-, toiminnallinen- ja ohjelmistosuunnittelu.</p>	
Avainsanat	Kiihtyvyyssanturi, kalibrointi, pogopinni, testausautomaatio

Author(s) Title	Johannes Gebhard Designing of Contact Probe Testing Machine Automatization
Number of Pages Date	41 pages + 14 appendices 4 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Antti Heikkinen, Manager Markku Inkinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this study was to develop a testing machine for contact probes and explore the studies concerning probe faults. The study was commissioned by Murata Electronics Oy.</p> <p>Murata Electronics Oy manufactures accelerometers and gyrosensors based on MEMS-technology. Contact probes, or pogo pins are used to achieve electrical connection to the sensors during calibration. If an electrical connection cannot be achieved, the calibrated product will be rejected. The fault may be a result of a faulty product or a faulty contact probe. If probes are faulty, they need to be replaced. Faulty probes cause yield loss and loss of equipment time. The cause of probe faults is difficult to retrace because of irregular appearance of the probe faults. The amount of faults varies along the device being studied and the calibration temperature.</p> <p>A testing device for measuring used probes was developed. The device measured spring force and contact resistance. With large amounts of tested failed probes, a statistical analysis can be made to solve the cause of the rapid wearing. To make testing large amounts possible, it was decided to automatize the device. The mechanical, functional and programming designing was performed in this study.</p> <p>During the project, a completely new device was decided to be made, instead of developing the old one. After suitable actuators and a force sensor were selected, mechanical designing was made. Actuators were chosen based on the physical and electrical features of the probes. Mechanical parts were designed in a way that they form a chassis for the device. Ease of use, ability to test different kind of probes and fault tolerance were taken into account in the functional and programming designing. Software development, assembling and commissioning will be executed after the study.</p>	
Keywords	Accelerometer, calibration, pogo pin, testing automation

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Murata Electronics ja kiihtyvyyssanturit	3
2.1	Muratan kiihtyvyyssanturit	3
2.2	SC2000-tuoteperhe	6
3	Kiihtyvyyssanturien kalibrointi	7
3.1	Muratan kiihtyvyyssanturien kalibrointi	7
3.2	Apollon-kalibraattorit	7
4	Pinnit ja kontaktiviatiat	9
4.1	Metallipintojen välisen sähköisen kontaktin ongelmat	9
4.2	Pinnoitteet	10
4.3	Pogopinnien rakenne	11
4.4	Kontaktiviatiat	12
5	Pinnitesteri	13
5.1	Pinnitesteri	13
5.2	Mittaustuloksien analysointia	14
6	Kontaktivikojen aiheuttajien selvittäminen	17
6.1	Pinnin kulumisprosessi	17
6.2	Lisätutkimukset	17
7	Pogopinnitesterin automatisoinnin suunnittelu	19
7.1	Tavoitteet ja vaatimukset	19
7.2	Suunnittelun eteneminen	19
7.3	XY-lineaaripöytä	20
7.4	Z-lineaaripöytä	22
7.5	Voima-anturi	24
7.6	Resistanssin mittaaminen	26
8	Mekaniikkasuunnittelu	28
8.1	XY-pöytä	28

8.2	Z-pöytä	30
8.3	Runko	32
9	Ohjelmistototeutus	34
9.1	Resepti	34
9.2	Mittausprosessi	35
9.3	Muut ominaisuudet	37
9.4	Toteutus	38
10	Lopuksi	41
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1. YPW-5TT05-207 PLAN1 –probe	
	Liite 2. 1.OP -16PINx2 VTI SSOP SOCKET	
	Liite 3. Combo 2,5 Socket	
	Liite 4. Pakankiinnityslevy_08	
	Liite 5. Välilevy_08	
	Liite 6. Alustalevy_08	
	Liite 7. 108AA_Mittapää_03	
	Liite 8. 108AA_MFA-PPD_Kiinnityslevy_04_a	
	Liite 9. 108AA_MFA-PPD_Kiinnityslevy_04_b	
	Liite 10. MFA-PPD_alustalevy_7	
	Liite 11. Runkolevy_4	
	Liite 12. RunkoTakaseinä	
	Liite 13. Kylki	
	Liite 14. Katto	

## Lyhenteet

ASIC	Application Specific Integrated Circuit. Integroitu mikropiiri.
DI	Deionisoitu.
Dps	Degrees Per Second. Astetta sekunnissa.
GATS	General Active Test System. Muratan suunnittelema mittauselektronikka.
I/O	Input/output. Laitteen kommunikaatorajapinta.
MEMS	Micro Electro Mechanical System. Mikroelektromekaaninen rakenne.
RS-232	Recommended Standard. Sarjaportti.

## 1 Johdanto

Murata Electronics Oy on suomalainen yritys, joka kehittää, valmistaa ja markkinoi kiihtyvyyss- ja kulmanopeusantureita. Anturien valmistuksessa käytetään ainutlaatuista 3D MEMS (mikroelektromekaaninen rakenne) -teknologiaa. Antureita käytetään teollisuuden aloilla muun muassa kiihtyvyyden, kallistuksen, törmäyksen, värinän, kulmanopeuden ja paineen mittauksessa. [1.]

Murata Electronics Oy perustettiin 1991, jolloin se toimi nimellä Vaisala Technologies, Inc., Oy. Vuodesta 1995 lähtien yritys toimi nimellä VTI Technologies, kunnes se siirtyi vuonna 2012 osaksi japanilaista Murata-konsernia ja muutti nimensä Murata Electronics Oy:ksi. Yrityksen toimipiste sijaitsee Vantaan Martinlaaksossa. Vuonna 2016 Henkilökuntaa oli 850. [1.]

Kiihtyvyyssantureiden valmistusprosessin testausvaiheessa anturit kalibroidaan kääntelemällä niitä eri asentoihin. Kalibroinnin aikana antureiden ja mittalaitteiden välille muodostetaan sähköinen kontakti. Kontakti tehdään jousikuormitteisillä liittimillä eli pogopinneillä. Pinnien vikaantuessa kontaktia ei saada ja kalibroivat tuotteet hylätään. Pinnien vikaantuminen aiheuttaa merkittävästi saantohukkaa ja laiteajan menetystä. Vikaantuneita pinnejä on analysoitu testauslaitteella, jolla mitataan pinnin jousivoimaa ja kontaktiresistanssia. Testauslaitteen huono käytettävyys on esteenä isojen pinnimäärien analysointiin. Tämän insinööriyön tarkoituksena on kehittää pinnien testauslaitetta ja perehtyä pinnien vikaantumisista tehtyihin tutkimuksiin.

Työ alkaa perehdyttävällä osalla. Perehdyttävässä osassa tarkastellaan aluksi lyhyesti kiihtyvyyssanturien toimintaa ja rakennetta, kalibrointia ja kalibrointiin käytettäviä Apollon-laitteita. Seuraavaksi perehdytään pinnien rakenteeseen, kontaktointiin ongelmiin, kalibroinnissa tapahtuviin kontaktivikoihin ja vikaantuneille pinneille tehtyihin tutkimuksiin. Myös pinnien testauslaitetta ja sillä tehtyjä mittauksia käsitellään.

Työ jatkuu suunnittelu-osalla, jossa suunnitellaan automatisoitu versio pinnien testauslaitteesta. Tavoitteena on että automatisoidulla testerillä voidaan mitata useita pinnejä yhdellä laitteen käyttäjän antamalla komennolla. Suunnittelu koostuu sopivien toimilaitteiden ja muiden osien valinnasta, mekaniikkasuunnittelusta, toiminnallisesta suunnittelusta ja ohjelmistosuunnittelusta.

Automatisoidulla pöytäpinnitesterillä voidaan tehdä tilastollista tutkimusta pinnien vikaantumisen syistä. Tutkimalla käytettyjä pinnejä pyritään saamaan selville, mitkä olosuhteet vaikuttavat pinnien vikaantumiseen ja millaisilla toimenpiteillä vikaantumisien määrää voidaan vähentää.



## 2 Murata Electronics ja kiihtyvyyssanturit

Tässä luvussa käsitellään yleisesti Muratan Electronicsin valmistamia kiihtyvyyss- ja gyroantureita.

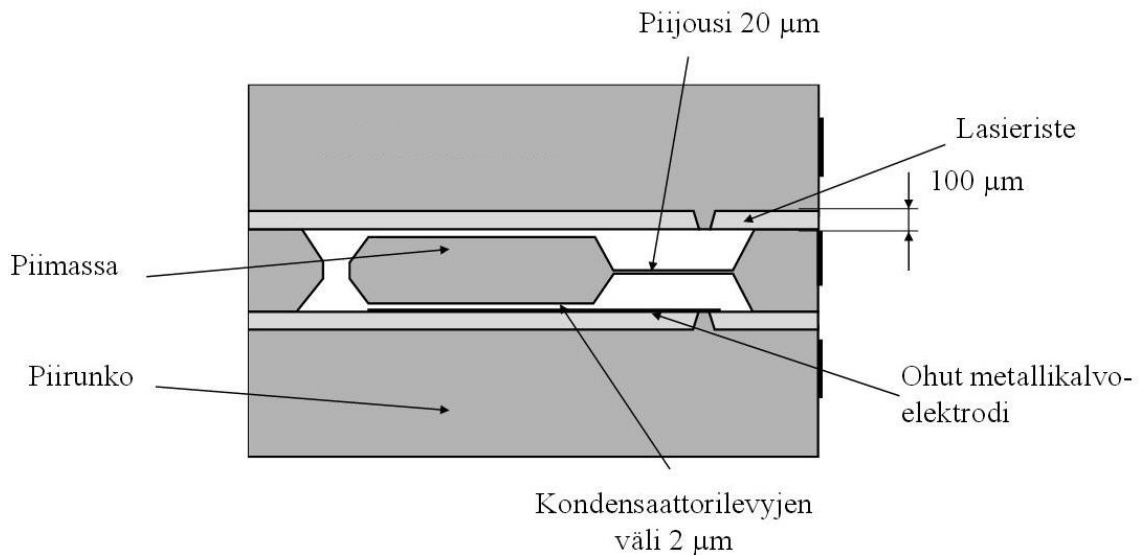
### 2.1 Muratan kiihtyvyyssanturit

Murata Electronicsin kiihtyvyyssanturit perustuvat MEMS-teknologiaan. MEMS (micro Electro Mechanical System) on laite, jonka osat ovat kooltaan mikro- tai nanometrinen luokkaa [3, s. 1.]. Muratan anturien toiminta perustuu kapasitanssin muutokseen. Kapasitanssi on rakenteen kyky varastoida sähkövarausta. Teoreettinen kapasitanssi voidaan laskea kaavalla 1. [4, s. 9.]

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (1)$$

jossa  $C$  on kapasitanssi,  $\epsilon$  on väliaineen permittiivisyys,  
 $A$  on pinta – ala ja  $d$  on etäisyys

Yksinkertainen yksiakselinen kiihtyvyyssanturielementti koostuu kolmesta päällekkäisestä piikiekosta (kuva 1). Keskimäinen kiekko eli rakennekiekko on muotoiltu siten, että sen keskellä on liikkuva osa, massa. Massan ja kiekon rungon välillä on ohut ja joustava osa, ”jousi”. Massa on suljettu ilmatiiviisti lasieristeellä, ja kansi- ja pohjakiekolla. Lasieristeeseen kiinnitetyn metallielektrodikalvon ja massan välille muodostuu kapasitanssi. Ulkoinen kiihtyvyys, esimerkiksi maan painovoima, saa massan siirtymään pois tasapainoasemastaan, mikä voidaan havaita kapasitanssin muutoksena massan ja metallielektrodikalvon välillä. Elektrodit on kytketty elementin pinnalla oleviin kontaktipadeihin. Elementin valmistukseen käytetään piitä sen sopivien sähköisten ominaisuuksien ja lämpötilaominaisuuksien vuoksi. Piikiekkojen rakenteet saadaan aikaan syövyttämällä. [3, s. 3–4; 4, s. 9.]



Kuva 1. MEMS-anturin perusrakenne [2, s. 7].

Kulmanopeus- eli gyroanturielementti perustuu samaan teknologiaan kuin kiihtyvyyssanturi. Rakennekiekossa on liikkuva kampamainen rakenne, jota liikutetaan sähköisellä voimalla resonanssitaajuudella, samalla kun ulkopuolinen kulmanopeus liikuttaa rakennetta. [2, s. 11–12.]

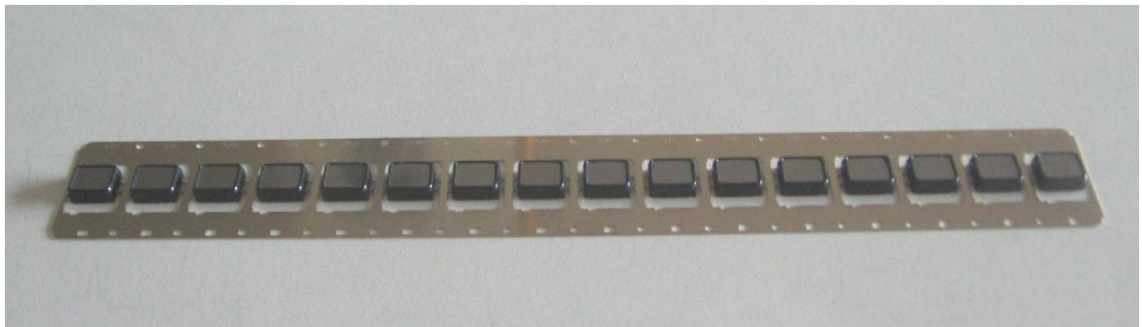
ASIC (Application Specific Integrated Circuit) käsittelee anturielementin kapasitanssin muutoksen. Kapasitanssi muutetaan jännitteeksi, jonka jälkeen signaali digitalisoidaan ja tehdään koordinaatistomuunnos. Kiihtyvyys voidaan lukea digitaalisen ulostulon kautta. ASIC-piirissä voi olla lisäominaisuutena myös liikkeentunnistin, vapaapudotuksen ilmaisin ja lämpötilasensori. ASIC-piiriin tallennetaan anturielementtien kalibrointikertoimet ja piirin sisäisiä referenssejä esimerkiksi lämpötila-anturille. [5, s. 16,29.]

Anturielementti ja ASIC liimataan koteloon (kuva 2), joka suojaa niitä mekaanisilta ja kemiallisilta haitoilta. Anturielementin, ASIC:in ja kotelon välille muodostetaan sähköiset kontaktit mekaanisen paineen ja ultraäänen avulla tehtävillä lankaliitoksilla. Kotelo täytetään silikonigeelillä, joka suojaa elementtiä ja ASIC:ia kosteudelta ja kemikaalien vaikutukselta. Kotelossa on jalat, joiden kautta kotelon ulkopuolelta saadaan sähköinen kontakti sisällä oleviin padeihin. [5, s. 24, 27–28.]



Kuva 2. Avonaisessa kotelossa gyroanturielementti, ASIC-piiri ja kiihtyvyyssanturielementti [6].

Kokoonpanon ja testauksen aikana kotelot ovat leadframe-kehyksessä (kuva 3). Leadframe helpottaa tuotteiden käsittelyä, parantaa kohdistuksen tarkkuutta ja kasvattaa rinnakkaisuutta. [5, s. 24.]



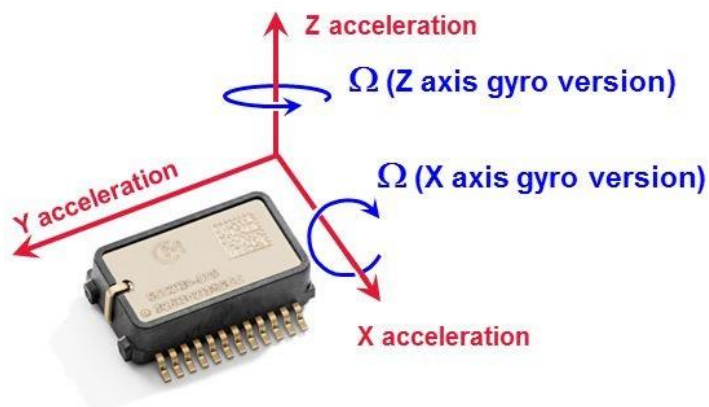
Kuva 3. Koteloidut tuotteet leadframe-kehyksessä. [4, s. 14].

## 2.2 SC2000-tuoteperhe

Tässä työssä keskitytään SCC2000-sarjan (kuva 4) ja SCC1300-sarjan tuotteiden kalibrointiin liittyviin asioihin.

SCC2000 sisältää yksiakselisen gyroanturin ja kolmeakselisen kiihtyvyyssanturin. Gyroanturi on joko Z- tai X-akselilla. Kiihtyvyyssanturin mittausalue on  $\pm 2-6$  g, ja gyroanturin mittausalue on  $\pm 125$  dps (degrees per second). Lämpötilatoiminta-alue on  $-40-125$  °C. Anturielementin lämpötilariippuvuus on  $\pm 6-12$  mg ääriämpötiloissa. Käyttöjännite on 3,0–3,6 V ja virrankulutus 23–25 mA. [6]

SCC2000 on suunniteltu haastaviin olosuhteisiin. Käyttökohteina ovat esimerkiksi autoteollisuus, rakennus- ja maatalouskoneet. Autoissa antureita käytetään muun muassa ajonvakautusjärjestelmissä ja mäkilähdön avustuksessa. [6]



Kuva 4. SCC2000-sarjan anturi [6].

### 3 Kiihtyvyyssanturien kalibrointi

Luvussa käsitellään SCC2000-sarjan ja vastaavien tuotteiden kalibrointiä ja siihen käytettäviä laitteita. Kalibrointi tarkoittaa toimenpiteitä, joilla saadaan mittalaitteen ulostulon ja vastaavien standardeille toteutettujen arvojen välille yhteys [7].

#### 3.1 Muratan kiihtyvyyssanturien kalibrointi

Kiihtyvyyssanturit kalibroidaan kääntelemällä niitä eri asennoissa maan painovoimakentässä ja mittaamalla niiden ulostulo. Anturin ASIC-piiriin tallennetaan kalibrointikertoimet joilla korjataan anturin ulostulo näyttämään oikeaa lukemaa. Kolmiakselisen kiihtyvyyssanturin kalibrointiin tarvitaan kaksiakselinen kalibrointilaite. [5, s. 29.]

Anturit kalibroidaan useassa eri lämpötilassa. Tätä kutsutaan lämpötilakalibroinniksi. Lämpötilakalibroinnissa kompensoidaan lämpötilan vaikutus anturielementtien ulostuloon. Ulostulo mitataan eri lämpötiloissa ja lämpötilakompensointia varten lasketaan sopivat kertoimet, jotka tallennetaan ASIC-piiriin. Lämpötilakalibrointi toteutetaan usealla eri laitteella, jotka ovat eri lämpötiloissa. Kalibroitavien tuotteiden asennon tarkkuus eri mittapisteiden välillä on merkittävä tekijä lämpötilakalibroinnissa. [5, s. 29, 43.]

Testauslinjalla tehdään ensin kalibrointi ja sen jälkeen lämpötilatestaus. Kalibroinnin aikana varmistetaan tuotteiden toimivuus. Tuotteet joihin ei saada kontaktia tai joiden toiminta poikkeaa muuten sallitusta, hylätään. Tuotteiden hylkääntyminen voi johtua viallisen tuotteen lisäksi viallisesta kalibrointilaitteesta. Viallisen laitteen takia hylätty tuote merkitsee rahallista menetystä. [5, s. 32–34.]

#### 3.2 Apollon-kalibraattorit

Apollon on Afore Oy:n valmistama SCC1300- tai vastaavien tuotteiden kalibrointiin tarkoitettu laite. Apollon muodostuu kalibraattorista ja lataus/purkulaitteistosta. Kalibraattoriin kuuluu kaksiakselinen kääntelijä, jossa ovat kiinni mittapesä ja gats-elektroniikka. Gats käsittelee antureiden ulostulon. Lataus- ja purkulaitteisto koostuu

latauslaitteistosta, makasiinien latausasemasta ja lämpökaapista (chamber, kammio). Kalibraattorin kääntelijä, mittapesä ja gats-elektroniikka ovat sisällä kammiossa [8, s. 8–9].

Kompressorilla, lämpövastuksilla ja puhaltimella pidetään yllä kammion lämpötilaa. Kammion lämpötila voidaan asettaa alueelle -50–150 celsiusastetta. Kosteuden poistamiseksi jäädytyksen aikana lämpökaappiin puhalletaan ilmaa, jossa on erittäin alhainen kastepiste. [9.]

Makasiineissa olevat leadframet kuljetetaan kammiossa olevalle soak trackille. Jos testaus tapahtuu muussa lämpötilassa kuin 25 asteessa, makasiinien annetaan tasaantua testauslämpötilaan. Kun leadframeissa olevat tuotteet ovat tasaantuneet, ne kuljetetaan kalibraattorin mittapesään. Mittapesässä tuotteiden ja gats-elektroniikan välille muodostetaan sähköinen kontakti pogopinnien välityksellä. Mittauksen aikana kalibraattori kääntelee mittapesää ohjelmalta saatujen komentojen mukaan. Mittauksen päätyttyä leadframet kuljetetaan ulos kammioista ja lastataan takaisin makasiineihin. [8, s. 13–17; 9.]

## 4 Pinnit ja kontaktiviat

Luvussa käsitellään kahden liittimen väliseen kontaktiin liittyviä ongelmia, pöngöpiinien rakennetta ja ominaisuuksia ja Apolloneissa tapahtuvia kontaktivikoja.

### 4.1 Metallipintojen välisen sähköisen kontaktin ongelmat

Kahden liitinpinnan koskettaessa toisiaan niiden välille muodostuu kontakti. Liitinpinnat eivät kuitenkaan ole ikinä täysin tasaisia, vaan pinnassa on korkeampia ja matalampia kohtia. Pintojen koskettaessa toisiaan niiden välinen kontakti muodostuu vain pintojen korkeimpien kohtien välille. Jos liitinpintoja puristetaan toisiaan vasten, pintojen korkeimmille kohdille tapahtuu plastinen muodonmuutos, ne painuvat kasaan, ja liitinpinnan alemmat osat koskevat toisiaan kunnes kosketuspinta-ala on riittävän suuri kantamaan puristusvoiman muokkautumatta. Teoreettinen kosketuspinta-ala voidaan laskea kaavalla 2. [11, s. 16.]

Teoreettinen kosketuspinta – ala

$$A = \frac{F}{p} \quad (2)$$

jossa  $A$  on kontaktipisteiden yhteinen kosketuspinta – ala,  
 $F$  on puristusvoima ja  $p$  on pinnoitteen muokkauslujuus.

Liittimen kontaktivastus koostuu liittimien pintojen vastuksesta, liittimien osien sisäisistä vastuksista ja liittimien osien välisien pintojen vastuksesta. Pienin kontaktivastus saavutetaan juotetulla liittimellä jossa on vähän liikkuvia osia. [11, s. 18.]

Teoreettinen lämpökuorma

$$P = \frac{I^2}{R_c} \quad (3)$$

Jossa  $P$  on lämpökuorma,  $I$  on liittimen läpi menevä virta ja  $R_c$  on liittimien välinen kontaktiresistanssi.

Kun kahden liittimen välille muodostuneen kontaktin läpi kulkee sähkövirta, liitin lämpenee sähkövirran vaikutuksesta. Sähkövirran aiheuttama lämpökuorma voidaan laskea kaavalla 3. Korkea kontaktiresistanssi aiheuttaa liitoksen lämpenemistä. Materiaalin lämpötilan noustessa se lämpölaajenee ja materiaalin vastus nousee. Liitoksen lämmitessä kontaktialue alkaa pehmentyä ja painuu kasaan, jolloin kontaktipinta-ala lisääntyy. Kontaktipinta-alan lisääntyessä kontaktiresistanssi pienenee ja liitospinta jäähtyy. Jos virtaa kasvatetaan, saavutetaan sulamisjännite,

”melting voltage”, jolloin liitin alkaa sulaa ja kontaktit hitsautuvat yhteen. Liittimen teoreettinen maksimikuorma voidaan laskea kaavalla 4. Normaalin käytön aikana liittimen pinnoite kuluu pois ja alta paljastuu aluspinnoite ja lopulta perusaine. Aluspinnoitteella on huonompi sähkönjohtavuus, ja se on altis kemialliselle korroosiolle. Kemiallisessa korroosiossa materiaali reagoi ympäristön aineiden, kuten ilma ja vesi, kanssa. Korroosio aiheuttaa kontaktivastuksen nousua. [11, s. 18–20.]

Teoreettinen maksimikuorma

$$I = V_m R_c \quad (4)$$

Jossa  $I$  on virta,  $V_m$  on sulamisjännite ja  $R_c$  on kontaktiresistanssi

Liitinpinnat eivät ole koskaan täysin puhtaita. Pinnalle muodostuu ohut eristävä kalvo ilmakehän epäpuhtauksista. Liitinpinnan epäpuhtaudet tulee läpäistä puristusvoimalla jotta saadaan kontakti aikaiseksi [11, s. 16]. Liittimen jousen ollessa pitkän aikaa jännittyneenä, sen jousivoima vähenee plastisen muodonmuutoksen takia [12]. Tätä kutsutaan jousen relaksaatioksi. Kun liittimen jousessa tapahtuu relaksaatiota, jousivoima heikkenee ja kontaktivastus nousee. Lämpölaajeneminen saattaa yhdessä jousivoiman heikkenemisen kanssa aiheuttaa hiertymäkorroosiota. Hiertymäkorroosio on kemiallisesta korroosioista poiketen riippumaton ympäristön olosuhteista, ja syntyy kontaktipintojen hieroutuessa toisiaan vasten. [11, s. 24.]

Liittimen kulumisen aiheuttaa korroosiota, joka aiheuttaa kontaktivastuksen lisääntymistä. Vastuksen lisääntyminen aiheuttaa lämpötilan nousua, joka aiheuttaa lämpölaajenemista. Lämpölaajeneminen aiheuttaa liikettä, joka aiheuttaa hiertymäkorroosiota. Hiertymäkorroosio aiheuttaa taas liittimen kulumista. Liittimen kulumisen on prosessi, joka ruokkii itse itseään. [11, s. 24.]

## 4.2 Pinnoitteet

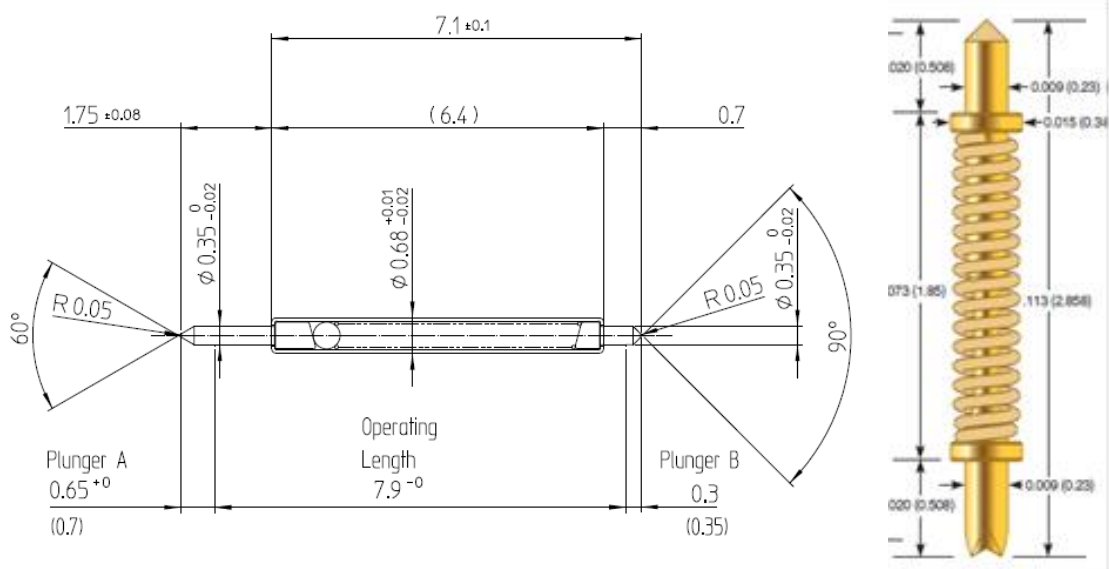
Pinnoittamalla liitin saavutetaan pienempi kontaktiresistanssi ja parempi korroosionkestävyys. Pinnoitteessa on reikiä, jotka ulottuvat pinnoitteen läpi alla olevaan materiaaliin saakka. Reiät heikentävät pinnoitteen korroosionkestävyyttä. Paksummassa pinnoitteessa on vähemmän reikiä. Liitin, jossa on käytetty kovaa pinnoitemateriaalia, kestää paremmin mekaanista kulumista, kuin liitin jossa on käytetty



pehmeämpää pinnoitetta. Yleisin liittimissä käytetty pinnoitemateriaali on kulta. Kullalla on erinomainen korroosionkestävyys. [11, s. 12.]

#### 4.3 Pogopinnien rakenne

Pogopinni (kuva 5) eli probe on jousikuormitteinen liitin (Pogo pin). Pinni koostuu kahdesta plungerista, plunger A ja plunger B, runkoputkesta (barrel) ja jousesta (spring). Runkoputken sisällä oleva jousi painaa kumpaakin plungeria ulospäin runkoputkesta. Plungerien kosketuspinta on viistotettu jouseen nähden, jolloin osa jousivoimasta kohdistuu sivusuuntaan, ja plungerin ja runkoputken välille muodostuu jatkuva kontakti. Sähkövirta kulkee plungerista runkoputken ja jousen kautta toiseen plungeriin. Plungerien päät ovat terävät hyvän kontaktin aikaansaamiseksi. Plunger B on yleensä kiinni piirilevyssä tai muussa kiinteässä rakenteessa, ja on liikkeessä vain pinnan asennuksen aikana. Plunger A muodostaa kontaktin mitattavaan tuotteeseen ja se on liikkeessä aina kun tuote vaihtuu. Pinneissä joissa ei ole viistotettuja plungerien päätyjä, sähkövirta kulkee pääasiassa jousen kautta. Tällaisessa rakenteessa plungerien kontakti runkoputkeen on vaihtelevaa, mikä aiheuttaa epätasaisen kontaktiresistanssin. [11, s. 2, 3.]



Kuva 5: Erityyppisiä probe-rakenteita, proben sisäinen rakenne [11, s. 2].

Pinnan jousen jousivoiman tulee olla riittävän suuri rikkomaan kontaktoituvien pintojen epäpuhtauksista syntynyt eristekerros. Liian voimakas jousi saattaa tehdä mekaanista vahinkoa kontaktipinnoille. [11, s. 2, 3.]

Probe-tyylisissä liittimissä liitinpintojen kulumisen lisäksi plungerien ja runkoputken väliset pinnoitteet kuluvat pois jolloin aluspinnointe on altis korroosiolle ja kontaktivastus nousee. [11, s. 24.]

Pinnin kontaktiresistanssi koostuu plungerien, runkoputken, jousen ja liityttävien pintojen välisistä kontaktiresistansseista ja osien sisäisistä resistansseista [17]. Liittimen käytön aikana plunger B:n kärjet kuluvat niiden ollessa kosketuksessa tuotteiden jalkoihin. Myös plunger B:n ja runkoputken väliset pinnoitteet kuluvat plungerin hangatessa runkoputken sisäpintaa vasten. Jousen painuessa kasaan plungerin ja liittimen välinen resistanssi pienenee jousivoiman kasvaessa. Huono kontakti plungerin päässä näkyy tasaisena huonona kontaktiresistanssina. Jousen painuessa kasaan myös plungerin ja runkoputken välinen resistanssi vähenee jousivoiman kasvaessa. Plunger ja runkoputki myös liikkuvat toisiinsa nähden. Koska pinnin sisäiset liitinpinnat hankaavat toisiaan plungerin liikkeessa, kontaktiresistanssi muuttuu liikkeen aikana. Pintojen likaantuminen tai kulumisen aiheuttaa kontaktiresistanssin vaihtelua plungerin liikkeen aikana. Pinnin kontaktiresistanssi voidaan siis jakaa karkeasti kahteen komponenttiin: jousen voimasta riippuvaan osaan ja plungerin paikasta riippuvaan osaan. Jousen voimasta riippuva osa pienenee jousen painuessa kasaan. Plungerin paikasta riippuva osa vaihtelee riippuen plungerin ja runkoputken välisistä pintojen muotojen yhteensopivuudesta.

#### 4.4 Kontaktiviat

Pinnien vikaantuminen johtaa kontaktivikaan. Testauksen aikana kontaktivika ilmenee jatkuvana vikana yhdellä mittapesän tuotepaikalla. Mittapesän vikaantunut tuotepaikka hylkää toimivia tuotteita, koska sähköisessä kontaktoinnissa on vikaa. Useimmin vika on yhdessä tai useammassa pinnissä. Vikaantuneet pinnit voidaan vaihtaa tai puhdistaa. Puhdistaminen voidaan toteuttaa erilaisin menetelmin. Jos Apollon on kylmässä tai kuumassa kontaktivian tapahtuessa, laite joudutaan ajamaan huoneenlämpöön pinnien vaihdon ajaksi. Tämän jälkeen tuotteiden pitää jälleen tasaantua kammiossa. [9; 10.]

Kontaktivikojen merkittävyyttä oli selvitetty vuosina 2014 ja 2015 tehdyillä tutkimuksilla. Tutkimuksilla. Tutkimuksien perusteella kontaktivikojen aiheuttama haitta oli siinä määrin merkittävä, että oli syytä ryhtyä jatkotutkimuksiin. [10, 13.]

## 5 Pinnitesteri

Pinnien vikaantuminen ilmenee jatkuvasti hylkääntyvinä tuotteina. Hylkääntyneistä tuotteista ei voida kuitenkaan päätellä pinnien kuntoa. On mahdollista että pinnit ovat lähes uusia, mutta yhden pinnin päähän on joutunut likapartikkeli. On myös mahdollista että kaikki pinnit ovat loppuunkuluneet. Jotta pinnien vikaantumisiin vaikuttavia tekijöitä voidaan selvittää, pitää myös tietää vikaantuneiden pinnien kunto. Pinnien kuntoa voidaan tutkia visuaalisesti mikroskoopilla, tai mittaamalla vikaantuneen pinnin jousivoimaa ja kontaktiresistanssia. Pinnien mittausta varten oli kehitetty pinnitesteriä. Testerillä painetaan pinnin plungeria alas ja takaisin ylös. Liikkeen aikana pinneistä mitataan dynaamisesti jousivoimaa ja kontaktiresistanssia. [11, s. 26.]

### 5.1 Pinnitesteri

Testerin ensimmäinen prototyyppi (kuva 6) oli rakennettu Mecmesinin valmistaman Multitest 2,5-i -voimanmittausjärjestelmän ympärille. Testeriin oli kytketty Hiokin valmistama RM-3542 Resistance HiTester, jolla mitattiin pinnin resistanssi, ja PC, jolla suoritettiin ohjaus ja mittaustulosten tallennus. [11, s. 26.]



Kuva 6. Pinnitesterin ensimmäinen prototyyppi.

Mecmesin Multitest 2,5-i on automaattinen voimanmittausjärjestelmä, joka koostuu jalustasta ja siinä kiinni olevasta voima-anturista. Anturi liikkuu kuularuuvien avulla pystysuunnassa. Jalustan ja voima-anturin väliin voidaan asettaa mitattavia kappaleita. Laitte voidaan ohjelmoida tekemään mittaussarja, jossa haetaan kosketus mitattavaan kappaleeseen ja mitataan sen antama tukivoima voiman alla. [15.]

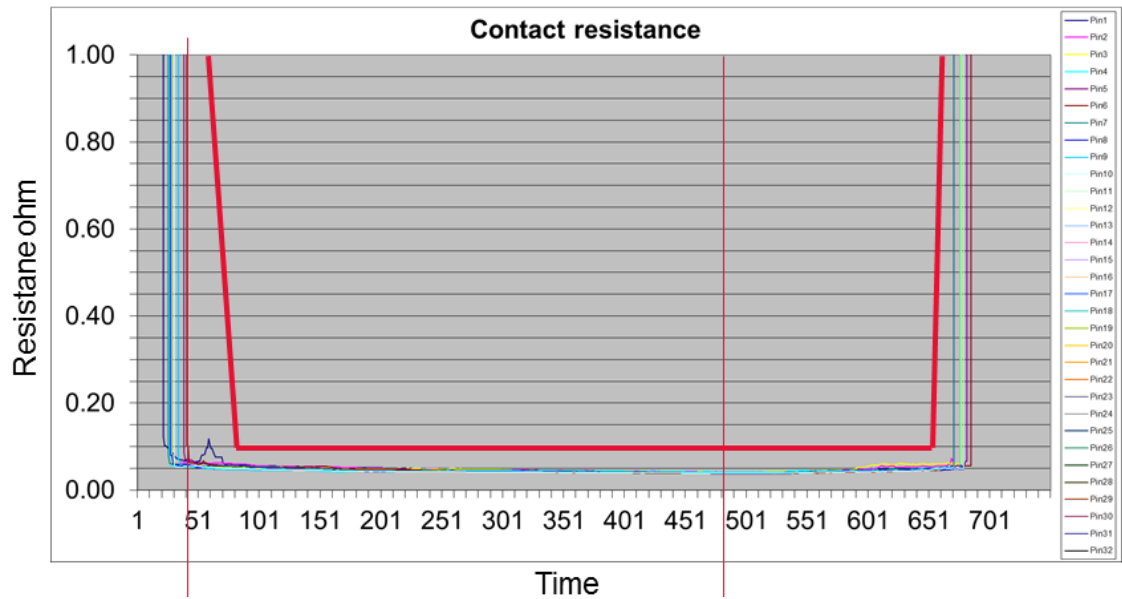
Multitesteriä ohjattiin Pc:ltä Mecmesinin omasta Emperor-ohjelmistosta. Mittaussekvenssi käynnistettiin ohjelmasta käsin ja mittadata vietiin Excel- taulukkoon mittauksen päätyttyä. HiTesterä ohjattiin sen omasta RM3542 Data Capture - ohjelmasta.

Mittaustulokset tallennettiin Excel- tai scv- asiakirjoihin ja niitä käsiteltiin Excel-makroilla.

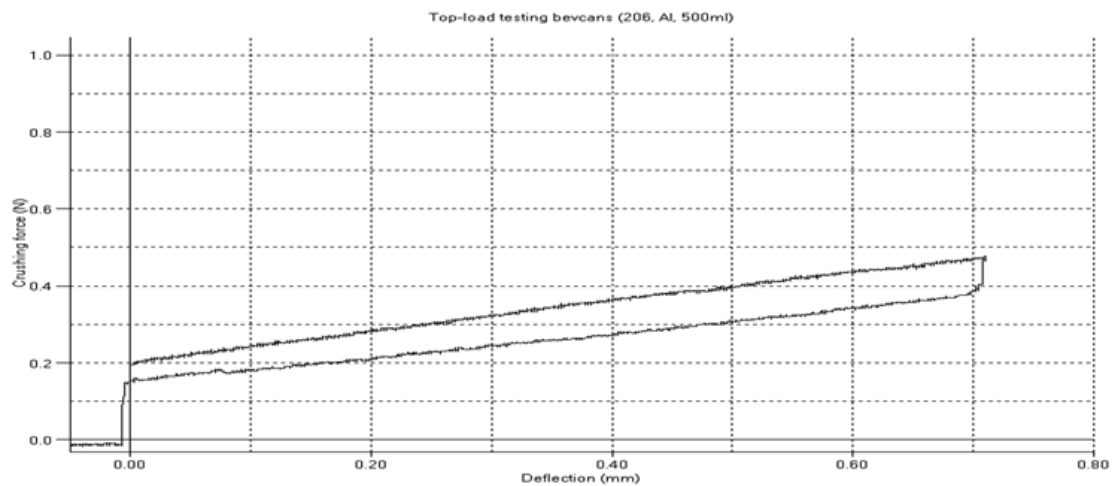
## 5.2 Mittaustuloksien analysointia

Testerillä oli mitattu kontaktivian takia laitteista poistettuja pinnejä ja vertailun vuoksi käyttämättömiä pinnejä.

Käyttämättömien pinnien kontaktiresistanssia mitattaessa (kuva 7) kaikkien pinnien resistanssi oli heti mittapään kontaktoituessa plungeriin alle 100 mOhm, ja laskee alle 50 mOhm pinnin plungerin ollessa ala-asennossa. Kontaktiresistanssi ei juurikaan vaihdellut plungerin liikkeen aikana. Jousivoimaa mitattaessa (kuva 8) voima nousee tasaisesti 0,2 N:sta ääriasennon 0,45 N:iin plungerin painuessa pohjaan. Plungerin liikesuunnan muuttuessa jousivoima laskee noin 0,05 N. Plungerin palautuessa takaisin ylös jousivoima laskee tasaisesti. Runkoputken ja plungerin välisen kitkan takia jousivoima on erisuuruinen eri suuntaan liikuttaessa.

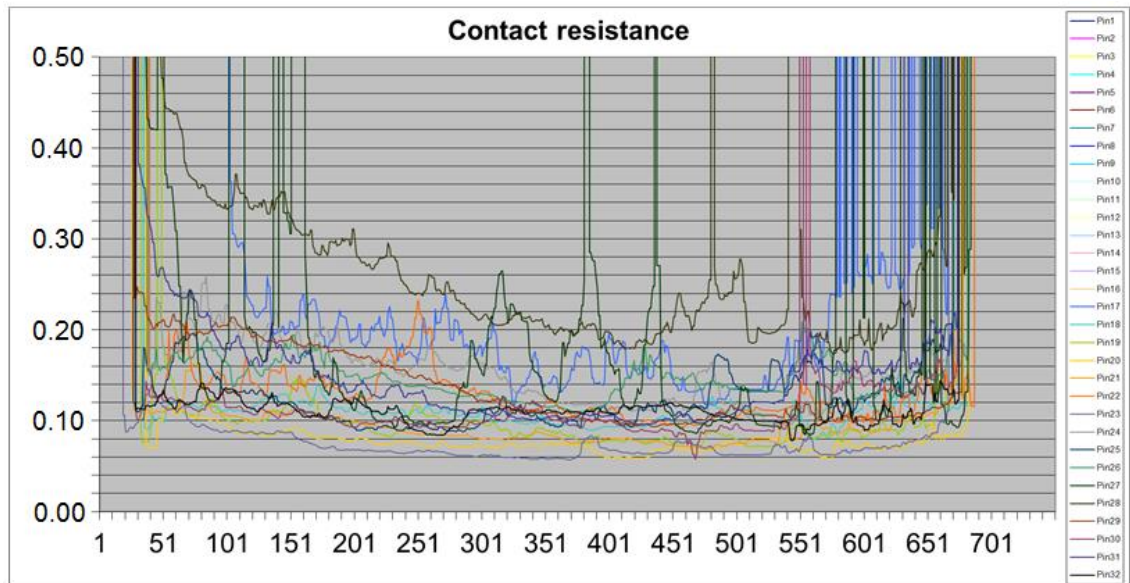


Kuva 7. Kymmenen käyttämättömän pinnin kontaktiresistanssi [14].

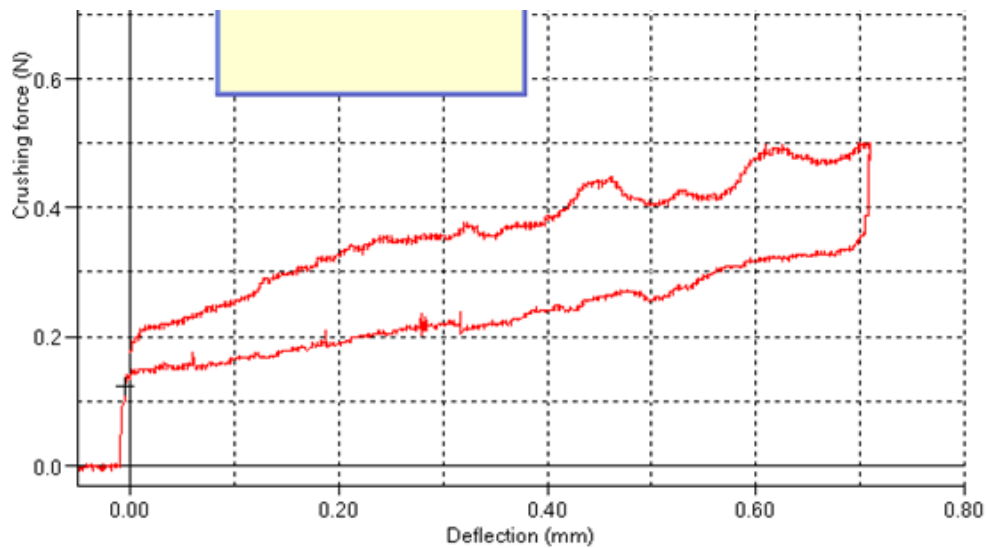


Kuva 8. Käyttämättömän pinnin jousivoima [14].

Kuluneiden pinnien kontaktiresistanssi (kuva 9) on selvästi heikentynyt uusiin pinneihin verrattaessa. Kuvaajassa on havaittavissa tasaisesti huonontunutta kontaktiresistanssia ja suuria hetkellisiä muutoksia. Tasaisesti kasvanut resistanssi merkitsee kuluneita tai likaisia pinnin kärkiä. Suuret hetkelliset muutokset viittaavat huonoon kontaktiin plungerin ja runkoputken välillä. Kuluneiden pinnien jousivoima (kuva 10) ei ole merkittävästi heikentynyt, joten kasvanut kontaktiresistanssi ei johdu jousen relaksaatiosta. Liikkeen aikana jousivoimassa näkyi selviä vaihteluita. Vaihtelut viittaavat plungerin liikkeen takerteluun. Takertelu voi johtua kuluneista pinnoista tai pintojen väliin kertyneestä liasta. [14.]



Kuva 9. Käytettyjen pinnien kontaktiresistanssi [14].



Kuva 10. Käytetyn pinnan jousivoima [14].

## 6 Kontaktivikojen aiheuttajien selvittäminen

Vuosina 2015–2017 oli tehty kokeita, joilla yritettiin etsiä syitä Apollonien kontaktivikoihin. Kokeissa oli tehty yksityiskohtaisia tutkimuksia hajonneille pinneille joilla oli ilmennyt kontaktivikaa. Tutkimuksissa oli käytetty myös pogopinnitesteriä.

### 6.1 Pinnin kulumisprosessi

Pinnin kuluessa plungerien terävät kärjet kuluvat tasaisiksi. Pinnoitteen alta paljastuu aluspinnite, joka on alttiimpi korroosiolle. Hapettuneella kärjellä on selvästi huonompi sähkönjohtavuus. Tasaiseksi kuluneella pinnalla on isompi pinta-ala kuin vähän käytetyn pinnin kärjellä. Pinnin jousivoima ei välttämättä riitä painamaan plungerin kasvanutta kärkeä kontaktoitavaan pintaan ilmakehän epäpuhtauksien muodostaman kalvon läpi.

Kontaktiresistanssimittauksissa näkyvät piikit viittaavat erityisesti plungerin ja runkoputken väliseen huonoon kontaktiin. Voidaan olettaa että pinnin käytön aikana myös runkoputken ja plungerin välinen pinnoite kuluu pois plungerin hangatessa putkeen. Pinnat hapettuvat ja pinnin sisäinen resistanssi kasvaa. Myös väliin joutunut liika huonontaa kontaktia ja kuluttaa pinnoitetta.

Laitteille tehdyissä pinnien vikaantumistesteissä vikaantuneita pinnejä oli tutkittu mikroskoopilla ja pinnitesterillä. Pinnien vikaantuminen oli tapauskohtaista, vikaantumisille selvisi useita toisistaan riippumattomia aiheuttajia. [9]

### 6.2 Lisätutkimukset

Tutkimusten perusteella kontaktivikojen aiheuttajiksi selvisi erilaisia syitä. Tutkimusten tulokset ovat osittain ristiriitaisia keskenään. Syiden tarkempi tutkiminen vaatisi laajempia jatkotutkimuksia.

Kontaktivikojen syiden perusteellista selvittämistä varten pinnien käyttöolosuhteita pitää tarkastella tilastollisesti. Pinnien kunto pitää selvittää visuaalisella tarkastuksella ja kontaktiresistanssi- ja jousivoimamittauksilla. Tuloksista saadaan jokaiselle

analysoidulle pinnille yksittäiset tulokset joista nähdään käyttöolosuhteet ja kunto käytön jälkeen. Analyysillä voidaan selvittää lämpösykliä, lämpötilakalibrointiaikojen, eri laitteiden ja huoltotoimenpiteiden vaikutus pinnien kulumiseen.



## 7 Pogopinnitesterin automatisoinnin suunnittelu

Pinnien mekaanisen kulumisen syyn selvittäminen vaatii tilastollista tutkimusta. Tutkimukseen voidaan käyttää pinnitesteriä. Olemassaoleva testeri todettiin liian hitaaksi ja vaikeakäyttöiseksi riittävän suuren tutkimuksen tekemiseen. Tutkimuksen mahdollistamiseksi testeri päätettiin automatisoida.

### 7.1 Tavoitteet ja vaatimukset

Automatisoitua pogopinnitesteriä lähdettiin kehittämään vanhan testerin päälle. Kehittämisessä käytettiin apuna vanhasta testeristä opittuja asioita.

Testerillä pitää pystyä mittaamaan erilaisia pinnejä. Pinnit kiinnitetään käsin koneeseen, mitattavien pinnien tiedot syötetään käyttöliittymään ja mittaus käynnistetään. Mittaustulokset näytetään käyttöliittymässä, ja tallennetaan tietokantaan. Tuloksia voidaan vertailla keskenään jälkepäin.

Pinnien mittausta varten koneen toimilaitteilta tarvitaan kolme liikesuuntaa. Liike voidaan tehdä liikuttamalla pinnejä tai mittapäätä kolmessa suunnassa. Toimilaitteet voidaan myös jakaa pinnejä liikuttaviin ja mittapäätä liikuttaviin toimilaitteisiin. Toimilaitteiden tarkkuuksien tulee olla riittävä pinnien mittaamiseen.

Osien tulee olla mahdollisimman halpoja ja yksinkertaisia mutta kuitenkin riittävän hyviä kestäviä ja laadukkaita toimivan laitteen kehittämiseen.

### 7.2 Suunnittelun eteneminen

Suunnittelun alkuvaiheessa testeri oli tarkoitus rakentaa Mecmesinin Multitest 2,5-i:n ympärille. Mecmesinin maahantuoja ja teknisen tuen kanssa tehdyissä keskusteluissa selvisi kuitenkin että hankittu Multitest 2,5-i ei sovellu automatisoituun testeriin ominaisuuksiensa puolesta. Multitestissä ei ole minkäänlaista I/O:ta, vaan ainoa tapa käynnistää mittaus on sen oman Emperor-ohjelmiston kautta. Uudemmissa malleissa on mahdollisuus käynnistää mittaus I/O:n kautta, mutta mittadatan keräys tapahtuu siitä huolimatta Emperor-ohjelmiston kautta.

Koska Emperor-ohjelmistossa ei ole rajapintaa muihin ohjelmiin, tutkittiin suoran rajapinnan rakentamista toisesta ohjelmasta Multitesteriin. Mecmesinin ja Emperor-ohjelman välillä liikkuvaa dataa analysoitiin sarjaporttimonitorilla, mutta data osoittautui hyvin vaikeasti tulkittavaksi.

Uusi testeri päädyttiin suunnittelemaan kokonaan uusista osista, käyttämättä ollenkaan Mecmesinin laitetta.

Suunnittelu aloitettiin harkitsemalla erilaisia toimilaittevaihtoehtoja liikkeiden aikaansaamiseksi. Pinnejä liikutetaan vaakatasossa kahdessa suunnassa. Pinnien yläpuolella olevaa voima-anturia liikutetaan pystysuunnassa. Liike tapahtuu lineaaripöydillä, jossa servomoottorin pyörivä liike muutetaan lineaariseksi ruuvien avulla. Pinnien pienien mittojen ja mittauksen suurien tarkkuuksien vuoksi toimilaitteiden tarkkuuksien tulee olla riittävän suuri.

Osista kasattu lineaaripöytä koostuisi servomoottorista, servo-ohjaimesta, alennusvaihteesta, kuularuuvista, lineaarijohteesta ja kiinnitysmekaniikasta. Tällaisen kokoonpanon rakentaminen voi kuitenkin tulla hyvin kalliiksi erillisten osien ja yksilöllisesti työstettävien mekaniikkaosien takia. Pienille voimilla ja suurille tarkkuuksille soveltuvia osia on myös vaikea löytää. Osista kasatun lineaaripöydän sijasta päädyttiin tutkimaan eri valmistajien tarjoamia valmiita suurille tarkkuuksille ja pienille mitoille soveltuvia yksiakselisia lineaaripöytiä.

Toimilaitteiden valinnan jälkeen etsittiin sopiva voima-anturi voiman mittausta varten, ja testerin mekaniikka-osat suunniteltiin. Ohjelmistoa alettiin kehittämään. Osien saavuttua testeriä alettiin kasaamaan ja toimilaitteita testaamaan.

### 7.3 XY-lineaaripöytä

XY-pöydän toistotarkkuus mitoitetaan pinnien fyysisten mittojen perusteella. Mittapään kärjen leveydeksi määritellään sama kuin kahden pinnin välinen etäisyys. Pinnien tulee aina olla koko pinta-alaltaan mittapään kärjen pinta-alan sisällä. Pinnien kiinnityksen tarkkuus tulee myös ottaa huomioon. Toistotarkkuuden tulee olla pienempi kuin (mittapään leveys – plungerin leveys – pinnien kiinnityksen tarkkuus). Liian suuri

tarkkuus voi johtaa mittapään pinnoitteen nopeaan kulumiseen plungerin koskettaessa sitä aina samasta kohtaa.

Lineaaripöydän liikematkojen tulee olla riittävästi isompia kuin mitattavien pinnien muodostama kuvio, jolloin pöydän mekaaninen kohdistus on helpompaa. Virhe kohdistuksessa voidaan korjata muuttamalla pinnien sijaintia ohjelmasta käsin.

Lineaaripöydän nopeudella ja kiihdytys- tai hidastusnopeuksilla ei ole suurta merkitystä laitteen toimintaan.

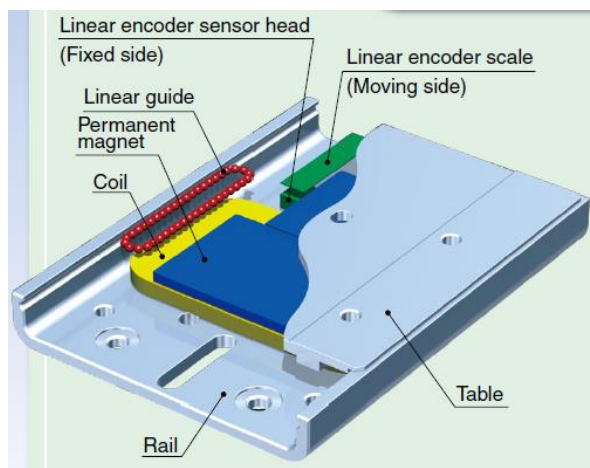
XY-suunnan lineaaripöydäksi valittiin kahdesta SMC Pneumaticsin valmistamasta LAT3-korttimoottorista tehty toimilaite. Korttimoottorit sovitetaan päällekkäin ristikkäin toisiinsa nähden, jolloin saadaan kaksi liikesuuntaa aikaiseksi.

LAT3-Korttimoottorit (kuva 11) ovat pienikokoisia ja kevyitä lineaariyksiköjä. Yksikköjä on saatavilla neljällä eri liikematkalla, 10–50 mm. Korttimoottorien toistotarkkuus on  $\pm 5$   $\mu\text{m}$ , hetkellinen työntövoima 2,5–6 N ja jatkuva työntövoima 1,5–3 N. Korttimoottorien liikematkoiksi valittiin 20 ja 30 mm. [16.]



Kuva 11. LAT3-korttimoottori [16].

Korttimoottorien voimanlähteenä toimivat magneettimoottorit (kuva 12). Pöytä on kiinni toimiyksikön rungossa lineaarijohteilla. Pöydässä on kestmagneetti, ja rungossa sähkömagneetti. Pöytää liikutetaan sähkömagneetin tuottaman magneettikentän avulla. Pöydän asemaa tarkkaillaan lineaarienkooderilla. [16.]



Kuva 12. Magneettimoottorin toimintaperiaate [16].

Pinnien paino on lähes olematon, joten liikuteltava massa on hyvin pieni. Lineaarimoottori joutuu kuitenkin liikuttamaan pinnien kiinnitysmekaniikkaa ja resistanssitesterin mittajohtoja. Kaapelit asennetaan loiville kaarille pöydän liikkuvuuden helpottamiseksi. Lisäksi alempi korttimoottori joutuu liikuttamaan ylempää moottoria, sen ohjauskaapelia ja kiinnitysmekaniikkaa.

Korttimoottoreita ohjataan mukana tulevilla LATCA-ohjaimilla. Molemmat ohjaimet kytketään PC:hen RS-485-sovittimella. Ohjaimien kanssa kommunikoidaan modbus-protokollalla. Moottoreita ohjataan yksinkertaisilla komennoilla, paikoitusta varten annetaan sijainti ja nopeus.

#### 7.4 Z-lineaaripöytä

Z-pöydän toistotarkkuus mitoitetaan pinnan plungerin tekemän matkan mukaan. Mittapisteiden minimimääräksi määritellään 100 kpl. Toistotarkkuuden tulee olla pienempi kuin (plungerin liikematka / 100) jotta saavutetaan hyvä mittaustarkkuus.

Lineaaripöytään kiinnitetään voima-anturi, sen sovitekappale ja mittapää. Näiden yhteenlaskettu massa on 276 g. Pinnan jousivoima keventää massaa plungerin ollessa pohjassa. Lisäksi lineaaripöytä liikuttaa mittapäässä kiinni olevia resistanssitesterin johtoja ja voima-anturin johtoa. Lineaaripöydän maksimityöntövoiman tulee olla selvästi suurempi kuin siinä kiinni oleva massa.

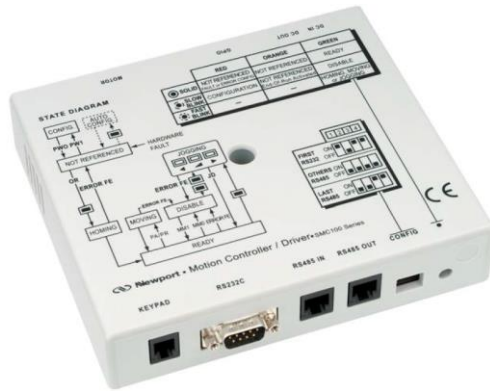
Lineaarimoottorin liikematkan tulee olla selvästi enemmän kuin pinnan liikematka. Isompi liikematka mahdollistaa erilaisten pinnien ja pinnipakkojen mittauksen ilman mekaanisia muutoksia. Pöydän nopeuksien tulee olla riittävän pieniä tarkkojen mittauksen tekemiseen.

Z-suunnan lineaarimoottoriksi valittiin Newportin valmistama MFA-CCP -linear stage (kuva 13). MFA-CCP on pieniin sovelluksiin suunniteltu korkeatarkkuuksinen yksiakselinen lineaariyksikkö. Voimanlähteenä toimii askelmoottori. Moottorin akselin pyörivä liike muutetaan pöydän lineaariseksi liikkeeksi kuularuuvien ja 1:14 alennusvaihteen välityksellä. Pöydän liikematkan päissä on optiset rajakytkimet joilla estetään liikealueen ylittyminen. Moottorin resoluutio on  $0.00757 \mu\text{m}$ , pöydän toistotarkkuus on  $\pm 0,75 \mu\text{m}$  ja akselilta saatava tarkkuus  $\pm 3 \mu\text{m}$ . Liikematka on 20 mm ja akselin suuntainen maksimivoima on 10 N. Pöydän maksiminopeus on 1 mm/s. [17.]

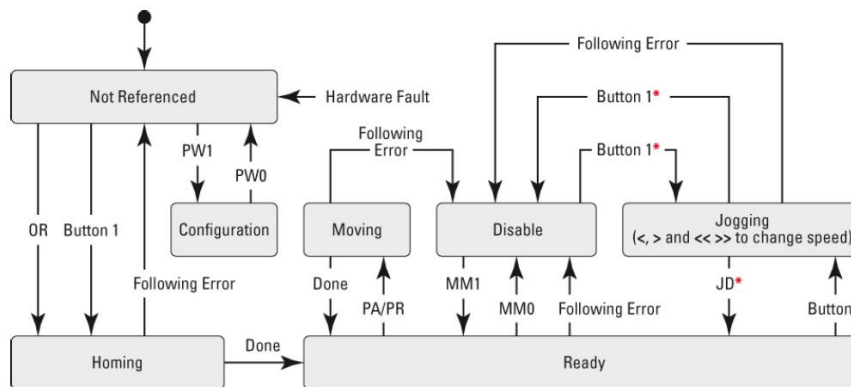


Kuva 13. MFA-CCP–lineaariyksikkö [17].

Lineaarimoottoria ohjataan Newportin SMC100PP –yksiakselisella ohjaimella (kuva 14). Ohjaus tehdään RS-232C–sarjaportin kautta Windows-pohjaisella ohjausjärjestelmällä. Ohjaimia voidaan kytkeä useita peräkkäin. Ohjain tunnistaa automaattisesti siihen kiinnitetyn saman valmistajan ohjaimen. Systeemiä ohjataan yksinkertaisilla komennoilla ohjelmasta käsin. Ohjaimessa on seitsemän eri tilaa, joiden välillä vaihtamalla lineaaripöytää ohjataan (kuva 15). [18.]



Kuva 14. SCM100PP-ohjain [18].



Kuva 15. SMC100PP-ohjaimen tilakaavio [18].

Komennoilla moottori käsketään esimerkiksi hakemaan kotiasema, paikoittumaan tai pysähtymään. Komennoilla luetaan myös ohjaimen ja moottorin vikakoodeja, ja ohjaimen parametreja, kuten nopeus. Paikoittaminen tapahtuu sisäänrakennetulla PID-säätimellä. Kirjoittamalla esimerkiksi komento "1PA2.2" sarjaporttiin annetaan käsky ohjaimelle paikoittaa toimilaite absoluuttiseen sijaintiin 2,2 mm. [18.]

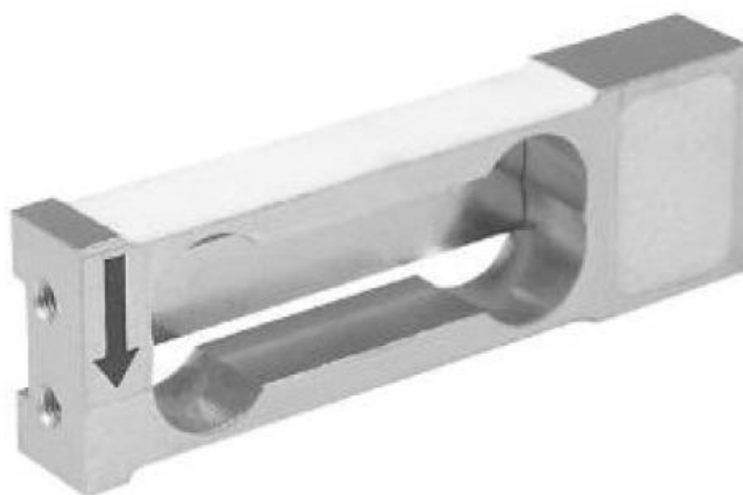
Lineaarimoottorin yhteydessä hankittiin myös virtalähde ohjaimelle sekä usb-sarjaporttisovitin ohjelmointia varten.

## 7.5 Voima-anturi

Voima-anturin kapasiteetti ja toistotarkkuus mitoitetaan pinnan jousivoiman perusteella. Määritellään taas mittapisteiden minimimääräksi 100 kpl. Toistotarkkuuden tulee olla selvästi pienempi kuin (plungerin jousivoiman vaihtelu / 100). Maksimikapasiteetin tulee olla selvästi enemmän kuin pinnan maksimijousivoima.

Sopivaa voima-anturia etsiessä todettiin että sylinterinmuotoiset anturi ovat yleisesti kapasiteetiltaan liian isoja ja liian kalliita sovellukseen. Suorakaiteen muotoiset anturit todettiin sopivimmaksi vaihtoehdoksi.

Voima-anturiksi valittiin Vetek Oy:n valmistama 108AA-loadcell (kuva 16). Antureita on saatavilla 0,1–5 kg kapasiteeteilla. Kapasiteetiksi valittiin 0,3 kg. Toistotarkkuus on 0,023 %, eli noin 0,68 N. Anturin toiminta perustuu muodonmuutokseen ulkopuolisen voiman vaikutuksesta, joka havaitaan venymäliuska-anturilla. Anturi on mekaanisesti suojattu ylikuormalta. 108AA-Anturin hinta on vain 68 €, joten sitä voidaan pitää koneen varaosissa. [19.]

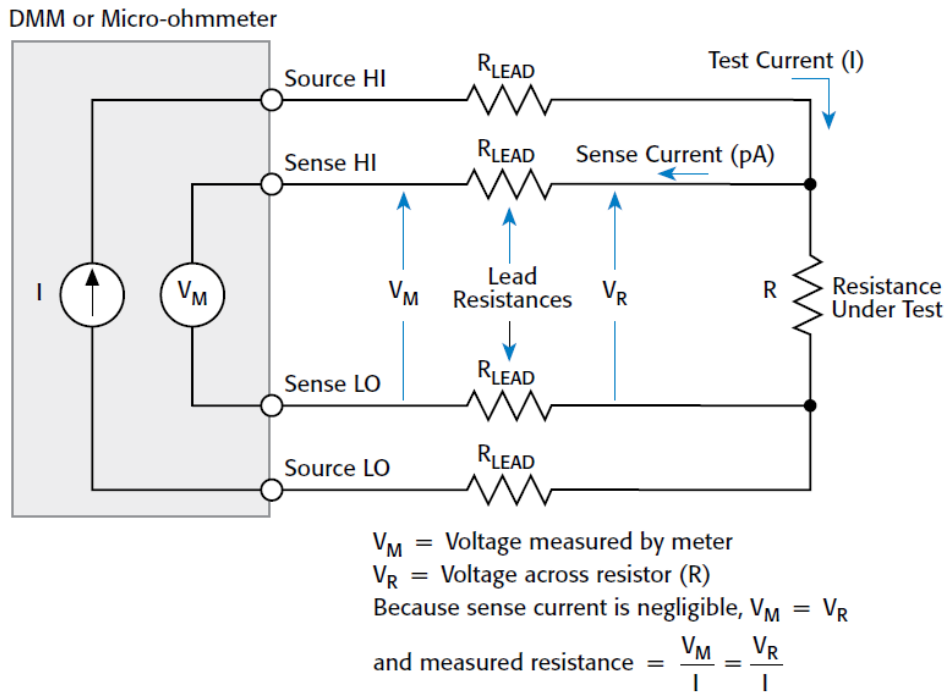


Kuva 16. Vetek 108AA-loadcell [19].

Voima-anturille hankittiin sopiva instrumenttivahvistin, Vetekin valmistama DGT1SAN (kuva 17). Vahvistin kytketään RS-232C-sarjaporttiliitännällä tietokoneeseen [20].







Kuva 18. Nelijohdinmittauksen periaate [11, s. 27].

Resistanssin mittaukseen valittiin jo vanhassa testerissä käytetty Hiokin valmistamaa Resistance Hitester RM3542 (kuva 19). HiTesterissä on erittäin suuri mittaustarkkuus ja vahva suojaus ulkoisilta häiriöiltä, joiden ansiosta se soveltuu automatisoiduille tuotantolinjoille. Mittausalue on 10 mΩ –1000 Ω. [21.]



Kuva 19. Hioki Resistance Hitester RM3542 [21].

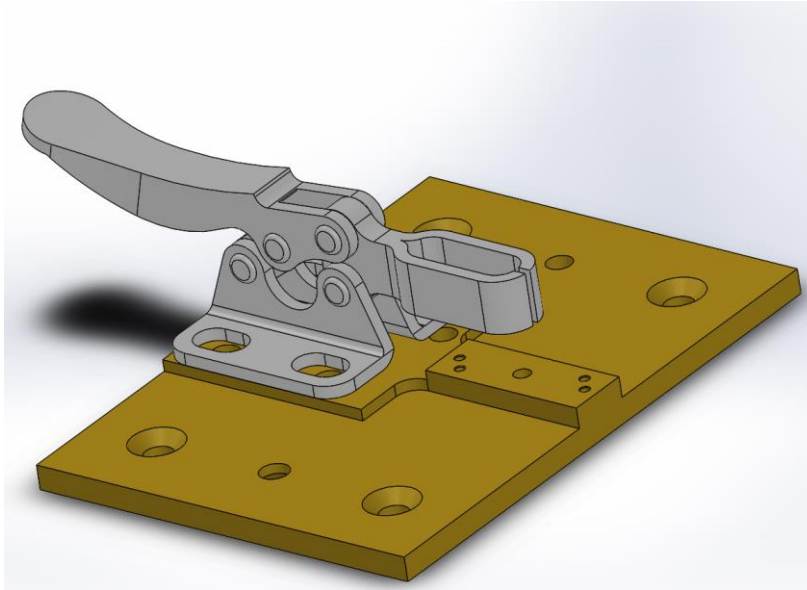
Hitester kytketään tietokoneeseen RS-232C–sarjaportilla. Testerin dataa luetaan yksinkertaisilla komennoilla sarjaportin kautta. Valmistajan toimittamasta manuaalista löydettiin valmis Visual Basic –kielinen esimerkkikoodi.

## 8 Mekaniikkasuunnittelu

Lineaaripöytiä, pinnejä ja voima-anturia varten suunniteltiin mekaniikka-osat joilla eri osat kiinnitetään toisiinsa sopivalla tavalla. Osien kiinnityksessä on säätövaraa jolloin osien paikkaa voidaan säätää mekaanisesti. Mekaniikka-osat muodostavat myös laitteen rungon. Runko muodostaa suljetun kotelon, joka suojaa käyttäjää laitteelta, ja laitetta käyttäjältä. Mekaniikkasuunnittelu tehtiin solidworksilla. Osien materiaalina käytettiin pääasiassa alumiinia. Suunnittelu aloitettiin XY-pöydästä.

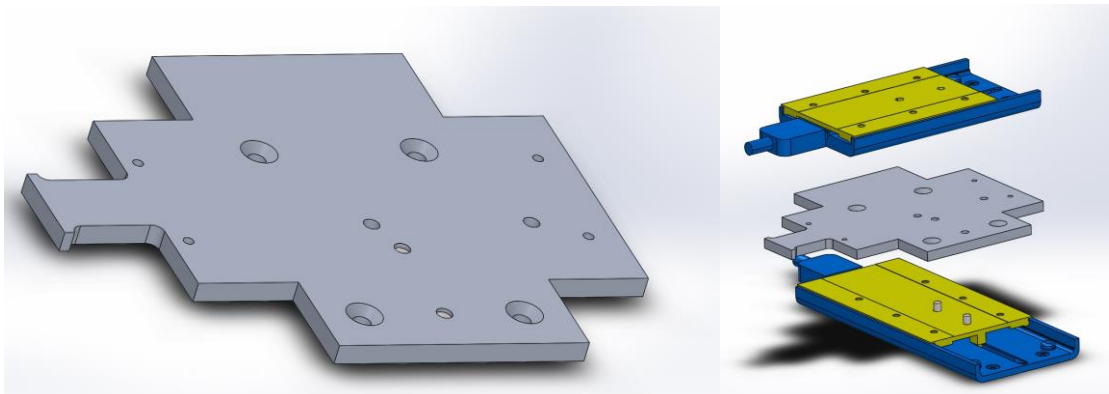
### 8.1 XY-pöytä

Pinnit kiinnitetään pakankiinnityslevyyn (kuva 20, liite 4). Levyssä on pinnien kiinnitysosalle sopiva kohouma. Kiinnityksen välys on 50 µm. Levyssä on myös kierteet kiinnitysosien kiinnitysruuville. Levyyn kiinnitetään Destaco 205-USS -painin, jolla puristetaan kiinnitysosa kiinni levyyn. Resistanssin mittauksen johdoille on kiinnitysreikä. Pakankiinnityslevy on valmistettu kullatusta messingistä. Pakankiinnityslevy kiinnitetään ylempään LAT3-korttimoottoriin. Kiinnitys tehdään uppokantaruuveilla, jotka kohdistavat osan kiristyessään. Levyn ja moottorin väliin sekä ruuvinkantojen alle tulee eristävä kalvo, jolla estetään osien välinen sähköinen kontakti. Kontakti lineaaripöytään voi häiritä resistanssin mittausta.



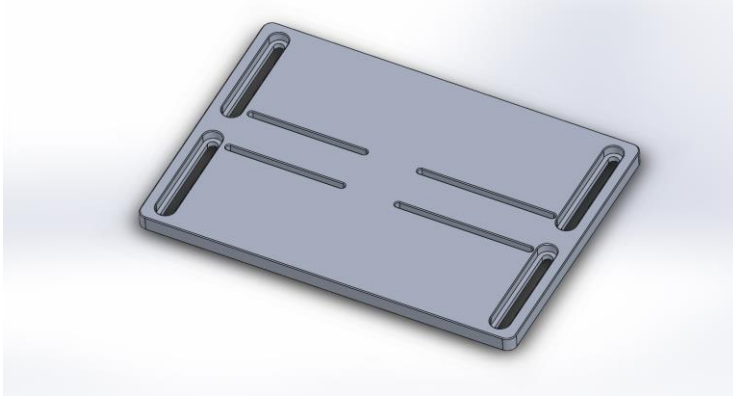
Kuva 20. Pakankiinnityslevy ja painin.

Ylempi korttimoottori kiinnitetään alempaan välilevyllä (kuva 21). Välilevy (liite 5) on ristin muotoinen jolloin ylempi korttimoottori on 90 asteen kulmassa alempaan. Välilevy kiinnitetään alempaan korttimoottoriin uppokantaruuveilla. Välilevyssä on kiinnitysväkänen ylempään moottorin ohjainkaapelia varten, ja reikä kaapelin kiinnitystä varten. Ylempi moottori liikkuu käytön aikana joten sen ohjauskaapeli saattaa irrota liittimestään ilman kunnollista kiinnitystä.



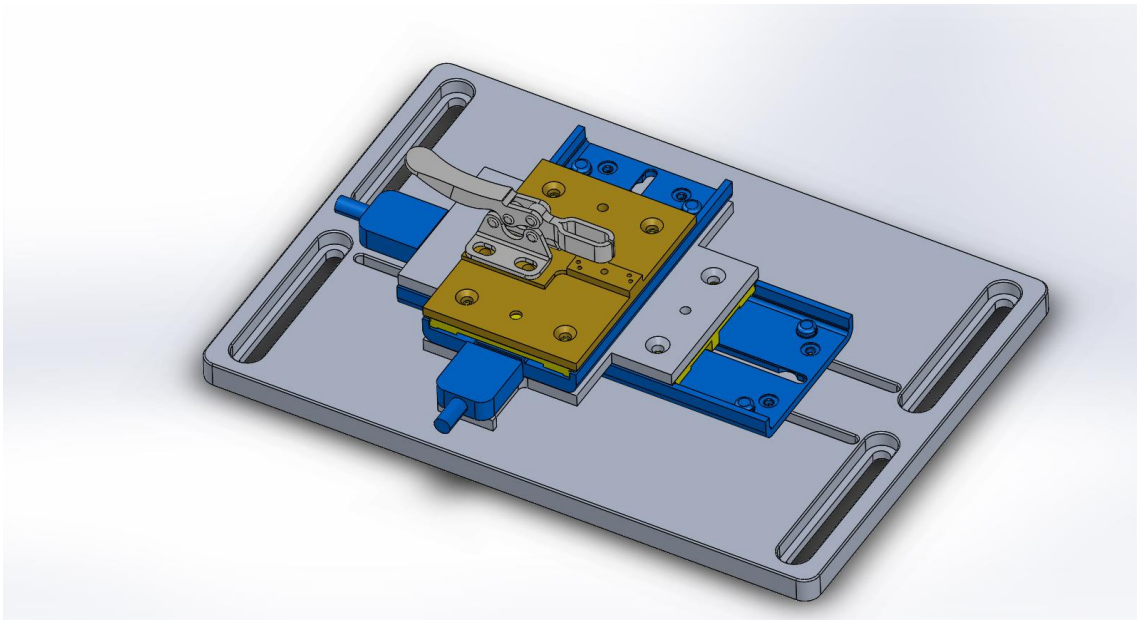
Kuva 21. Välilevy ja LAT3-korttimoottorit

Alempi korttimoottori kiinnitetään alustalevyyn (kuva 22). Alustalevyssä (liite 6) on 60 mm pitkät lovet joihin korttimoottori kiinnitetään. Moottorin paikkaa voidaan säätää avaamalla kiinnitysruuvit ja kiristämällä ne eri kohtaan. Alustalevyssä on myös 50 mm pitkät lovet ruuveille, joilla se kiinnitetään runkoon.



Kuva 22. Alustalevy.

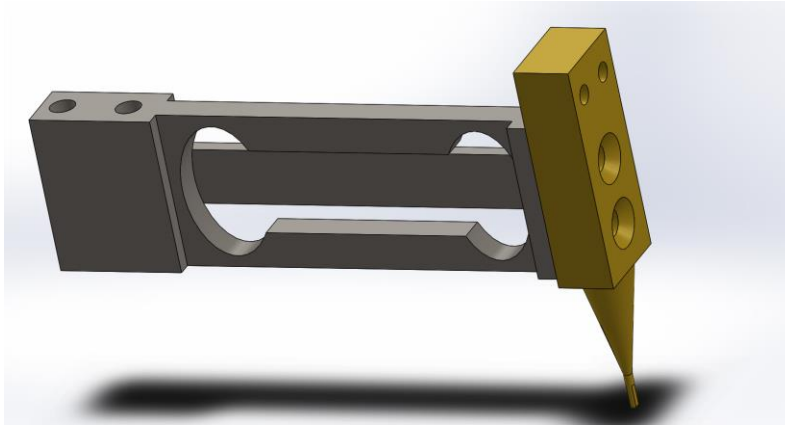
Korttimootorit, pakankiinnityslevy, välilevy ja alustalevy muodostavat yhdessä XY-pöydän (kuva 23).



Kuva 23. XY-pöytä kasattuna.

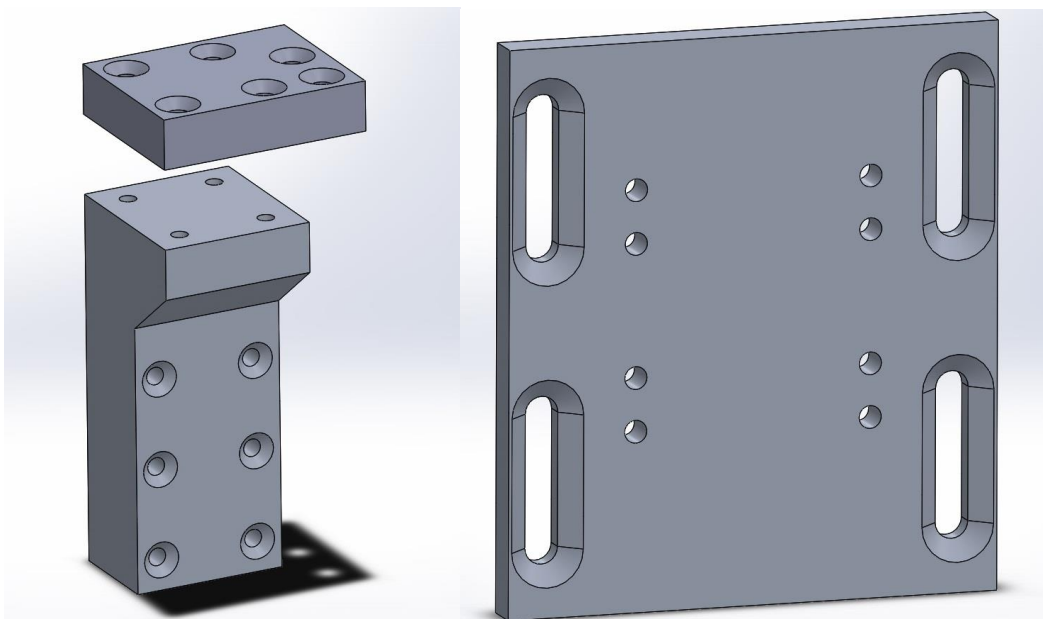
## 8.2 Z-pöytä

Pinnejä mitataan mittapäällä (kuva 24). Mittapäässä (liite 7) on ohut kärki, jolla muodostetaan kontakti pinneihin, ja kiinnitysreiät resistanssin mittauksen johtoja ja mittapään kiinnitystä varten. Mittapään kärki on mitoitettu pinnien koon ja etäisyyden mukaan. Mittapää valmistetaan kullatusta messingistä. Mittapää kiinnitetään voimaanturiin uppokantaruuveilla. Pintojen väliin tulee eristävä kalvo estämään häiriöitä resistanssin mittauksessa.



Kuva 24. Mittapää ja voima-anturi.

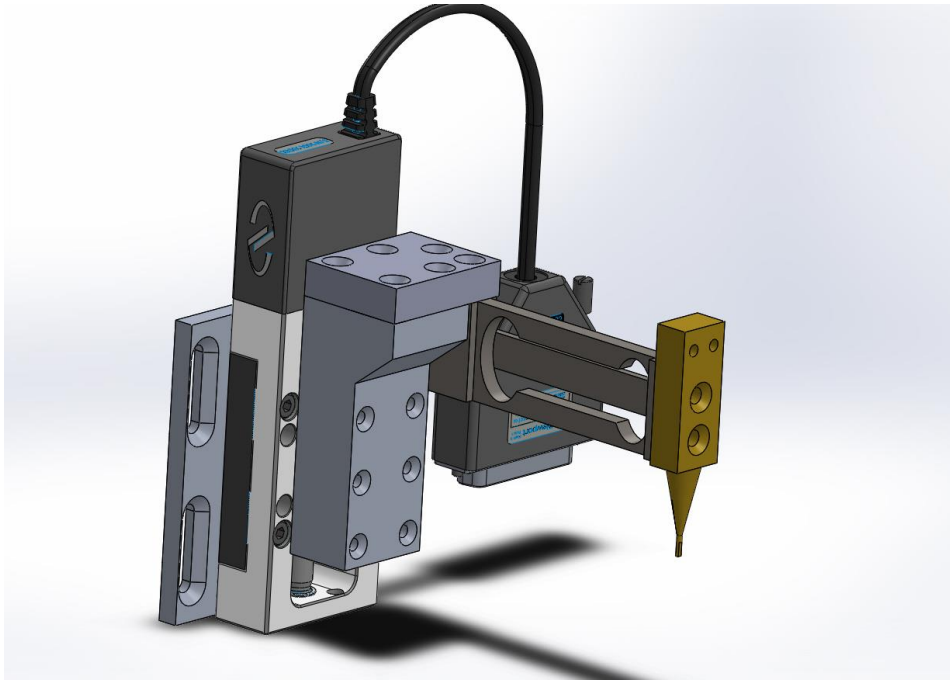
Voima-anturi kiinnitetään kaksiosaisella 108AA\_MFA-PPD\_Kiinnityslevyllä (kuva 25, liite 8, 9) MFA-CPP–lineaarimoottoriin. Voima-anturin suorakaiteen muotoisella rakenteella saadaan lineaarimoottori kauemmaksi pinnien yläpuolelta.



Kuva 25. Kaksiosainen 108AA\_MFA-PPD\_Kiinnityslevy ja MFA-PPD\_alustalevy.

MFA-PPD –lineaarimoottori asennetaan MFA-PPD\_alustalevyyn (kuva 26, liite 10). Alustalevy asennetaan laitteen takaseinään. Alustalevyssä on 20 mm pitkät lovet kiinnitysruuveille, joiden avulla lineaarimoottorin korkeutta voidaan säätää.

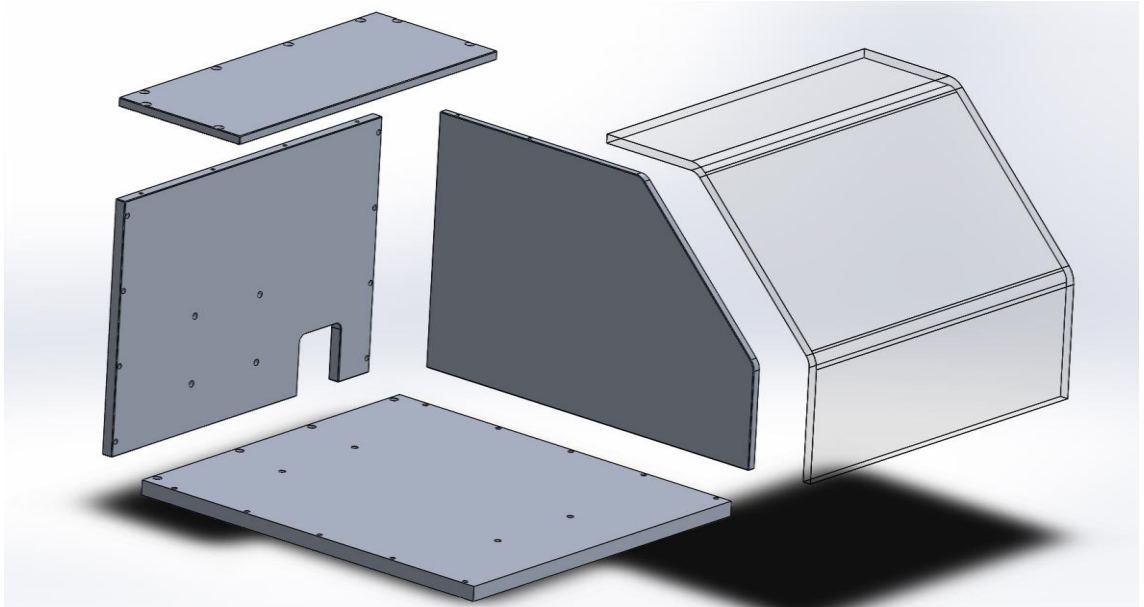
Lineaarimoottori, kiinnityslevy, voima-anturi ja mittapää muodostavat yhdessä Z-suunnan mekaniikan (kuva 26).



Kuva 26. Z-suunnan mekaniikka.

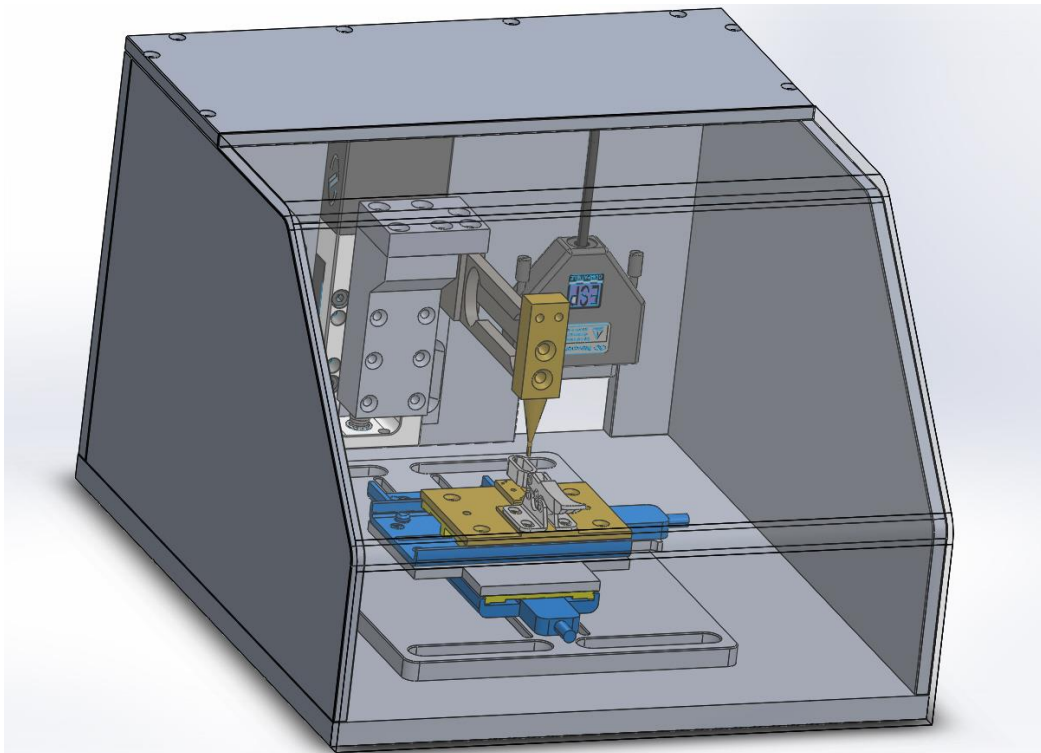
### 8.3 Runko

Runkolevy (liite 11) toimii laitteen pohjalevynä. Se on 10 mm paksu, jolloin se painaa 1,84 kg pitääkseen laitteen vakaana. Alustalevy kiinnitetään keskelle runkolevyä. Runkolevyyn kiinnitetään myös kumitassut, takaseinä (liite 12) ja kaksi kylkeä (liite 13). Takaseinässä on kierteet MFA-PPD\_alustalevyn kiinnitystä varten, ja reikä johtojen läpivientiä varten. Takaseinään ja kylkiin kiinnitetään Katto (liite 14). Polykarbonaatista tehty kansi kiinnitetään kattoon saranoilla. Laitteen kotelo suunniteltiin riittävän isoksi 50 mm liikematkalla olevilla LAT3-korttimoottoreille. Rungon osien (kuva 27) materiaalina on alumiini. Osat on pintakäsitelty lasikuulapuhaltamalla ja anodisoimalla. Anodisointi tekee alumiiniin kovan keraamisen pinnoitteen. Lopputuloksena runko on viimeistellyn näköinen. Koottu laite on mitoiltaan 250x186x274 mm (LxKxS) (kuva 28).



Kuva 27. Runkolevy, takaseinä, toinen kylki ja kansi.

Laitteen takaseinään kiinnitetään sähkökotelo, jonne asennetaan lineaarimoottorien ohjaimet, virtalähteet ja voima-anturin instrumenttivahvistin. Keskuksen kanteen asennetaan päävirtakytkin ja hätäseis-painike. Keskuksen suunnittelu tehdään myöhemmässä suunnitteluvaiheessa.



Kuva 28. Laite kasattuna.

## 9 Ohjelmistototeutus

Laitteen ohjaus toteutetaan yhdellä ohjelmalla. Ohjelman pitää siis toimia käyttöliittymänä, ohjata laitetta ja käsitellä tuloksia. Käyttöliittymän pitää kertoa koneen tila sekä vikatilanteet selkeästi käyttäjälle.

### 9.1 Resepti

Erilaisia pinnejä varten tehdään erilaiset reseptit, jotka sisältävät tiedot pinnien koordinaateista, moottorien ajonopeuksista, pinnien liikematkoista ja mitattavasta voimasta. Valmiustilassa voidaan valita resepti jota lähdetään ajamaan. Reseptiä ladattaessa tarkistetaan että se on oikeassa muodossa. Jos reseptissä on vääriä merkkejä, annetaan vikailmoitus. Reseptin arvojen ollessa vääriä laite saattaa kolaroida, joten reseptin kirjoittaminen täytyy hoitaa huolella. Uutta reseptiä on hyvä testata ennen käyttöä.

Lineaarimoottoreita ohjattaessa ne ajetaan ensin kotiasemaan. Kotiasemaan ajettaessa moottori ajaa lineaaripöydän negatiiviselle rajalle, nolla-asemaan. Nolla-asema tallennetaan referenssiarvoksi jonka avulla tähdätään muihin sijainteihin. Kotiasema-ajon tarkkuus vaikuttaa lineaaripöydän toistotarkkuuteen.

Jokaisella pinnillä on oma koordinaattinsa. XY-koordinaatit kertovat, mihin kohtaan pinni pitää siirtää, että mittapää osuu pinniin. Pinnien XY-koordinaatit muuttuvat pinnien tyyppin muuttuessa. Myös lineaarimoottorien mekaanisia paikkoja siirrettäessä pinnien koordinaatit muuttuvat. Reseptissä pinnien koordinaatit ovat suhteessa ensimmäiseen pinniin, joka on lähimpänä mittapäättä lineaarimoottorien ollessa kotiasemissa. Ensimmäisen pinnin koordinaatit ovat siis (0, 0). Reseptissä on lisäksi kaksi offset-arvoa joilla määritetään pinnien ensimmäisen pinnin etäisyys kiinnitysosan kiinnitysruuviin. Eri pinneille nämä offset-arvot ovat erisuuruisia koska kiinnitysosat ovat erikokoisia. Lisäksi ohjelman asetuksissa on mekaaninen offset-parametri, jolla määritetään kiinnitysosan kiinnitysruuvin etäisyys mittapähän X- ja Y-suunnissa, XY-pöydän ollessa kotiasemassa. Jos lineaaripöydän mekaanista paikkaa muutetaan, mekaaniset offset-parametrit pitää määrittää uudelleen. Pinnien tyyppin muuttuessa myös pakankiinnityslevy saatetaan vaihtaa erilaiseen. Uudenmalliseen



pakankiinnityslevyyn tulee merkitä kohdistuspiste samaan kohtaan kuin nykyisen levyn kiinnitysosan keskipiste.

Pinnien Z-koordinaatit voivat myös muuttua pinnien tyyppin muuttuessa. Z-koordinaattien offset-arvolla määritetään pinnin plungerin kärjen etäisyys päällimmäisen lineaarimoottorin pintaan. Z-koordinaattien mekaanisella offset-arvolla määritetään päällimmäisen lineaarimoottorin pinnan etäisyys mittapään lineaarimoottorin ollessa kotiasemassa. Z-koordinaatin mekaanista offset-arvoa joudutaan muuttamaan, jos Z-suunnan lineaarimoottorin paikkaa muutetaan.

## 9.2 Mittausprosessi

Pinnin mittaus tapahtuu ajamalla ensin XY-lineaaripöydällä pinni mittapään alle. Mittapää ajetaan lähelle plungerin kärkeä. Voima-anturin lukema asetetaan nolaksi, kun mittapää ei vielä kosketa pinniä. Plungerin kärkeä lähestytään hitaasti, tarkkailemalla voima-anturin lukemaa. Voimalukeman alkaessa nousta, tiedetään että saatiin kosketus pinniin, ja voidaan siirtyä seuraavaan vaiheeseen. Plunger painetaan hitaasti alas ja ylös, samalla kun voima-anturin ja resistanssitesterin mittadataa tallennetaan. Mittaus lopetetaan samalle korkeudelle jolta se aloitettiin. Mittauksen jälkeen mittapää ajetaan ylös, XY-pöytä ajetaan seuraavan pinnin kohdalle ja prosessi toistetaan kunnes kaikki pinnit on mitattu. Pinnien vaihdon helpottamiseksi kaikki lineaarimoottorit ovat aina kotiasemissaan, paitsi mittauksen aikana.

Joskus kuluneet pinnit ovat jumiutuneet alas. Jos pinni on jumiutunut alas, kosketusta kärkeen ei saada oikeassa kohdassa. Pinniä pitää silti painaa alas vain maksimipainumaan asti, ettei pinni vaurioidu. Jos pinni on kokonaan painunut alas tai puuttuu, kosketusta ei saada ollenkaan. Tällöin on mahdollista että resepti on valittu väärin, tai koneen toiminnassa on vikaa. Käyttäjän pitää varmistaa että vikatilanne johtuu puuttuvasta pinnistä.

Reseptiä kirjoittaessa kaikki koordinaatit ovat suhteessa pinnien sijaintiin. Z-suunnassa arvo 0 tarkoittaa kosketusta pinniin, ei lineaaripöydän kotiasemaa. Lineaaripöytää on mahdoton ajaa kotiasemaansa koordinaattien avulla, koska kotiaseman etäisyys pinneihin saattaa muuttua mitattavan tuotteen vaihdon tai mekaanisten muutosten yhteydessä. Koska kotiaseman koordinaatteja ei voida tietää, lineaarimoottoreille

annetaan erikseen käsky palata kotiasemaansa. Reseptiä luettaessa tarvitaan myös käsky, jolla tietty moottori ei tee mitään. Käskyt ovat reseptiin kohdesijainnin paikalle laitettavia suuria tai pieniä selvästi liikealueen ulkopuolella olevia lukuja.

Reseptistä (kuva 29) luetaan koordinaatit sekvenssinomaisesti rivi kerrallaan. Yksi rivi kertoo aina jokaisen moottorin koordinaatit, Z-suunnan nopeuden prosentteina, voima-anturin kosketusvoiman, sekä tiedon ollaanko koskettamassa tai mittaamassa pinniä. Koordinaattien tilalla saattaa myös olla käsky ajaa kotiasemaan, tai olla tekemättä mitään. Sekvenssissä siirytään eteenpäin kun jokainen moottori on saavuttanut tavoitekoordinaattinsa. Kosketus-toiminnon ollessa aktiivinen siirytään eteenpäin, kun mitattu voima ylittää reseptissä määritellyn kosketusvoiman. Jos kosketus on aktiivinen, ja Z-suunnan moottori saavuttaa tavoitteensa, kontaktia pinniin ei ole saatu, ja laite siirtyy vikatilaan. Yksittäisen pinnin puuttuessa käyttäjän pitää pystyä käskemään laitetta siirtymään seuraavaan pinniin. Mittauksen ollessa aktiivinen mittadataa tallennetaan.

```
//Xtarget, Ytarget, Ztarget, Zspeed, Touchforce, Touching, Measuring|
-50,0 -50,0 -50,0 100,0 100 0 0
0,000 -49,0 -49,0 100,0 100 0 0
-49,0 0,000 -49,0 100,0 100 0 0
-49,0 -49,0 -3,00 100,0 100 0 0
-49,0 -49,0 0,500 30,00 100 1 0
-49,0 -49,0 0,300 10,00 100 0 1
-49,0 -49,0 -0,10 10,00 100 0 1
-49,0 -49,0 -3,00 30,00 100 0 0
1,000 -49,0 -49,0 100,0 100 0 0
```

Kuva 29. Luonnos reseptin muodosta.

Mittaus aloitettaessa ohjelma pyytää käyttäjää syöttämään pinnien tiedot. Tiedot kertovat milloin pinnit on poistettu käytöstä, miltä laitteelta ja miltä paikalta mittapesässä. Mittauksen aikana, reseptin measuring-arvon ollessa aktiivinen, mittaustuloksia tallennetaan. Yksi tallennettu rivi sisältää kellonajan, pinnin numeron, Z-suunnan siirtymän suhteessa pinnin kosketussijaintiin, voima-anturin suhteutetun lukeman ja resistanssitesterin lukeman. Pinnien mittauksen päätyttyä tulokset tallennetaan tietokantaan yhdessä pinnien tietojen kanssa. Mittauksen aikana tuloksista piirretään graafinen esitys laitteen käyttöliittymästä. Mittaustuloksille voidaan myös asettaa raja-arvot, joiden avulla päätetään onko pinni ehjä vai vikaantunut. Tulokset voidaan näyttää käyttöliittymässä.

### 9.3 Muut ominaisuudet

Mittapään ollessa alhaalla, X- tai Y-suunnan moottorien liikuttaminen voi aiheuttaa mittapään ja pinnien törmäyksen. Z-suunnalle määritellään turvasijainti pinnien yläpuolelle. Ohjelmassa on estetty X- tai Y-suunnan liikkeet, mittapään Z-suunnan ylittäessä turvasijainnin.

Moottoreita, voima-anturia ja resistanssitesteriä varten ohjelmassa tulee olla osio, josta nähdään jokaisen laitteen ulostulo tai sijainti. Moottoreiden absoluuttista sijaintia pystytään tarkkailemaan ajon aikana. Laitteet pitää myös pystyä resetoimaan vikatilanteessa yksitellen. Lineaarimoottorin resetointi johtaa sen ajamaan kotiasemaansa. Osioista nähdään myös tila, kohdesijainti, onko toimilaitteeseen muodostettu yhteys ja onko kotiasema-ajo onnistunut. Z-suunnan moottorille nähdään myös nopeus ja onko moottori turvallisessa asemassa. Osioista nähdään myös reseptin menossa oleva vaihe.

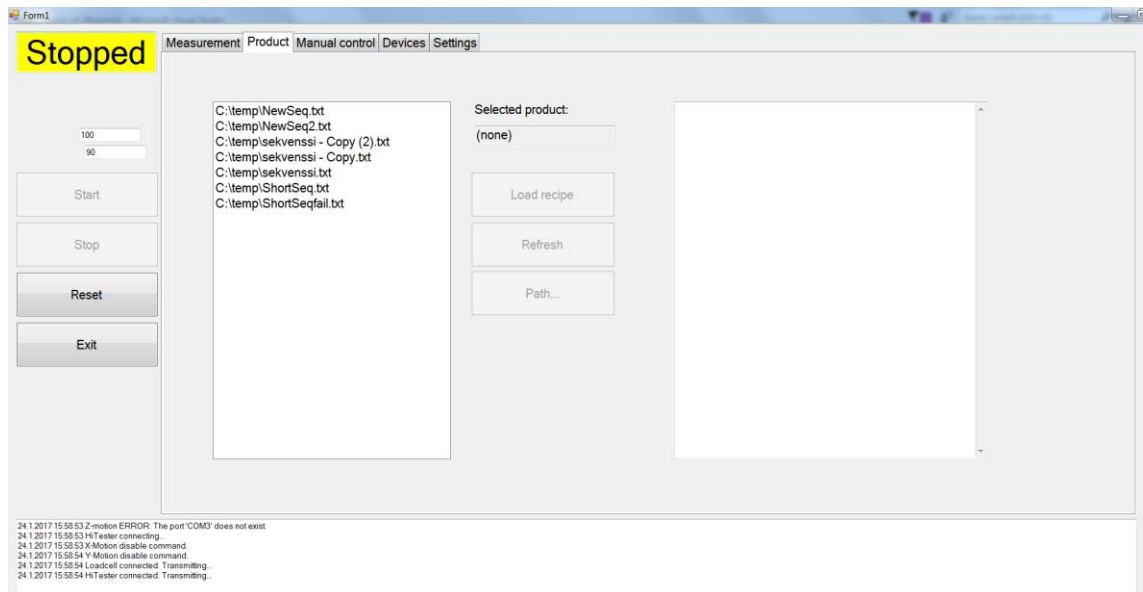
Offset-arvojen asettamista varten toimilaitteita pitää pystyä ajamaan manuaalisesti. Manuaali-ajo voidaan aktivoida silloin kun mittaus ei ole aktiivinen. Moottoreille kerrotaan kohdesijainti, ja Z-suunnalle myös nopeus. Manuaaliajo voi auttaa myös vikatilanteissa.

Ohjelmassa tapahtuva toiminta raportoidaan käyttöliittymässä olevaan lokiin. Vikatilanteen sattuessa lokista nähdään mitä on tapahtunut ennen vikatilannetta. Käyttöliittymästä voidaan valita mitkä tapahtumat tulostetaan lokiin.

Koska toimilaitteita ohjataan sarjaporttien kautta, ohjaus on käytännössä sarjaporttiliikennettä. Kirjoittaminen ja lukeminen saattaa kestää, joten eri laitteiden ohjaus (kuva 30) täytyy tehdä asynkronisesti eli ns. monilankaisesti (multi-threading), eri aliohjelmassa kuin pääohjelma. Pääohjelma antaa toimilaitteiden aliohjelmille käskyjä jotka kertovat mihin tilaan niiden pitää siirtyä. Käsky saattaa sisältää myös koordinaatteja moottoreille. Aliohjelmat raportoivat jatkuvasti tilaansa ja sijaintiaan tai mittalukemaansa pääohjelmaan. Aliohjelman siirtyessä vikatilassa se raportoi mittadatan sijasta vikailmoituksen.



Käyttöliittymä (kuva 31) koostuu päänäköymästä jossa on Start-, Stop-, Reset-, ja Exit-painikkeet. Ikkunan alareunassa on loki josta nähdään kaikki ohjelman tapahtumat. Vasemmassa yläreunassa on ikkuna joka kertoo koneen tilan. Keskeltä voidaan valita viisi välilehteä jolta nähdään eri ominaisuuksia. Measuring-välilehdeltä syötetään pinnien tiedot, hallitaan mittausta ja nähdään graafinen esitys mittaustuloksista. Product-lehdeltä nähdään valittavat reseptit ja voidaan ladata valittu resepti.



Kuva 31. Ohjelman käyttöliittymä. Reseptinvalinta-välilehti auki.

Manual control -välilehdeltä (kuva 32) nähdään eri laitteiden tilat ja sekvenssin tila. Enable manual control -painikkeesta voidaan aktivoida manuaalijajo. Manuaalitulosta poistetaan Reset-painikkeella.

Devices-lehdeltä voidaan muuttaa laitteiden sarjaporttien asetuksia ja muita parametreja. Settings-lehdeltä voidaan muuttaa mekaanisia offset-parametreja ja lokiin tulostettavia tapahtumia.

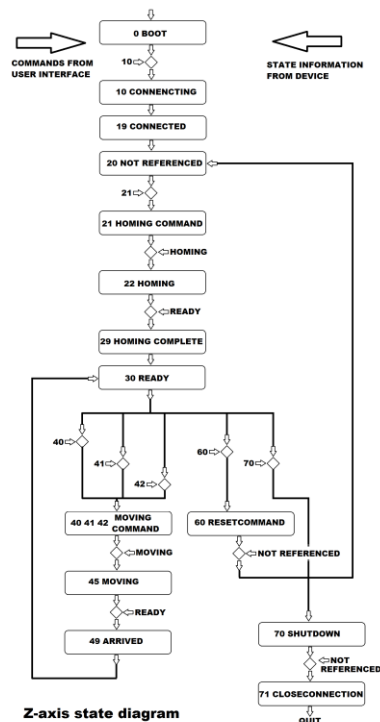
	Position	State	Connected	Ref.	SafePos.	Target	
X-axis	0	90 <b>DISABLED</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="text"/>	X Go to target
Y-axis	0	90 <b>DISABLED</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="text"/>	Y Go to target
Z-axis	0	50 <b>ERROR</b>	False	False	False	<input type="text"/>	Z Go to target
	Value	State					Speed %
Loadcell	90	15 <b>ONLINE</b>	<input type="checkbox"/>				
Hittester	100	15 <b>ONLINE</b>	<input type="checkbox"/>				

Enable manual control

Kuva 32. Manual control –välilehti.

Ohjelma käynnistettäessä ollaan käynnistystilassa. Reset-käskystä muodostetaan yhteys lineaarimoottoreihin, Hittesteriin ja voima-anturin instrumenttivahvistimeen. Kun yhteys kaikkiin laitteisiin on muodostettu onnistuneesti, lineaarimoottorit ajetaan yksi kerrallaan kotiasemiin, Z-akseli ensin. Kun kotiasema-ajo on valmis, laite siirtyy valmiustilaan. Valmiustilassa voidaan valita resepti, asettaa parametreja, aktivoida manuaali-ajo tai aloittaa mittaus. Mittaus voidaan aloittaa Start-painikkeella kun resepti on ladattu ja pinnien tiedot syötetty. Mittaus voidaan keskeyttää Stop-painikkeella, ja pysäyttää kokonaan Reset-painikkeella jolloin ohjelma resetoituu ja palaa valmiustilaan. Mittausta voidaan myös jatkaa Start-painikkeella keskeytyksen jälkeen. Vikatilanteen tapahtuessa voidaan yrittää jatkaa, siirtyä seuraavaan pinniin tai resetoida ohjelma.

Laitteita ohjaavissa aliohjelmissa on omat tilakoneensa, joiden avulla tietoa välitetään pääohjelman ja toimilaitteen välillä. Z-akselin tilakaaviossa (kuva 33) pääohjelmalta tulevat käskyt kuvataan vasemmalta tulevina nuolina ja sarjaportista luettavat tilatiedot tulevat oikealta tulevina nuolina. Tilasta toiseen siirrytään pääohjelman käskyn, laitteen tilan muutoksen tai virhetilan seurauksena. Annettaessa käsky toimilaitteelle, odotetaan että toimilaitte vaihtaa tilaansa merkiksi siitä että käsky on mennyt perille asti. Tilakaaviosta puuttuu ominaisuuksia, tärkeimpänä virheiden käsittely.



Kuva 33. Z-akselin aliohjelman tilakaavio.

## 10 Lopuksi

Tämä insinööriytyö liittyi projektiin, jonka päätavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa automatisoitu pinnitesteri. Insinööriytyössä tehty suunnittelu piti sisällään mekaniikkasuunnittelun, sopivien laitteiden hankinnan ja ohjelmistosuunnittelun. Lisäksi perehdyttiin pinnien vikaantumisista tehtyihin tutkimuksiin. Projekti jatkuu ohjelmiston kehityksellä ja laitteen kasauksella tämän insinööriytyön valmistumisen jälkeen.

Kiihtyvyyssantureita kalibroidaan Apollon-laitteilla eri lämpötiloissa. Kalibrointi tehdään suljetussa kammiossa. Sähköinen kontakti tuotteisiin muodostetaan pogopinnien avulla. Kontaktivian tapahtuessa vika voi olla yhdessä tai useammassa pinnissä. Kontaktivika aiheuttaa saantohukkaa ja menetettyä laiteaikaa.

Työssä perehdyttiin käytetyille pinneille tehtyihin tutkimuksiin. Pinnejä oli tutkittu mikroskoopilla ja lisäksi pinnien testauslaitteella oli mitattu pinnien jousivoimaa ja kontaktiresistanssia. Laajempien tutkimuksien mahdollistamiseksi pinnitesteri päätettiin automatisoida. Vanhan testauslaitteen automatisoinnin sijasta päädyttiin suunnittelemaan kokonaan uusi laite. Tavoitteena oli että laite pystyy mittaamaan

useita pinnejä yhdellä komennolla. Mekaniikkasuunnittelu perustui erilaisten pinnien fyysisiin mittoihin, jousivoimaan ja kontaktiresistanssiin. Ohjelmistosuunnittelussa pyrittiin helppokäyttöiseen ja selkeään käyttöliittymään, ja samalla monipuoliseen toiminnallisuuteen. Pinnien mittausprosessissa tapahtuvat vikatilanteet pyrittiin ennakoimaan.

Automatisoidulla pinnitesterillä voidaan tehdä mittauksia suurelle määrälle käytettyjä pinnejä. Pinnien mittaustulosten kanssa raporttiin voidaan liittää tiedot pinnien käyttöolosuhteista, huoltotoimenpiteistä ja muista tekijöistä jotka voivat vaikuttaa pinnan kulumiseen. Tilastollisen tutkimuksen avulla pyritään selvittämään mitkä tekijät vaikuttavat eniten pinnien käyttöikäen.



## Lähteet

- 1 Murata Electronics. Yrityksen sisäinen verkkosivu. <http://intra.murata.fivti\Pages\default.aspx>. Luettu 7.2.2017.
- 2 Hirvi, Kristian. 2015. Piirilevyn suunnitteleminen vika-analyysikäyttöön ja piirilevyn toiminnan testaa-minen sekä MSA-mittausten suorittaminen. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 3 Malinen, Niilo. 2016. Optimization of evaporated gold contact metallizations in microelectromechanical systems. Master's thesis. Aalto university.
- 4 Laurén, Janne. 2008. Kolmiakselisen kiihtyvyyssanturin tuotantotestauksen optiointi. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- 5 Roininen, Ville. 2007. Kolmiakselisen kiihtyvyyssanturin kalibrointi- ja testausjärjestelmä. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- 6 Murata Electronics. 2014. SCC2000 series press kit. Dokumentti. Luettu 20.2.2017.
- 7 Kalibrointi. Verkkodokumentti. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kalibrointi>. Luettu 20.2.2017
- 8 Apollon Käyttöohjeet. VTI Technologies. 2008. Laitteen käyttöohje.
- 9 Tukkimies, Tommi. 2017. Murata Electronics. Keskustelu. 2.3.2017.
- 10 Tukkimies, Tommi. 2013. Murata Electronics. Apollon contact failures (cobra). Yrityksen sisäinen powepoint-esitys. Luettu 21.2.2017.
- 11 Toivanen, Seppo. 2012. Murata Electronics. Kontaktoinnin suunnittelu. Yrityksen sisäinen dokumentti. Luettu 21.2.2017.
- 12 Stress relaxation. Verkkodokumentti. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Stress\\_relaxation](https://en.wikipedia.org/wiki/Stress_relaxation). Luettu 22.2.2017.
- 13 Tukkimies, Tommi. 2015. Murata Electronics. Contact study Apollon 6. Yrityksen sisäinen tutkimus. Luettu 25.2.2017.
- 14 Aittola, Mika. 2016. Murata Electronics. Cobra/Combo2 Contacting. Yrityksen sisäinen dokumentti. Luettu 26.2.2017.
- 15 Mecmesin. Multitest-I Technical Datasheet. Laitteen datalehti. Luettu 1.10.2016.

- 16 SMC Pneumatics. Series LAT3 Card Motor. Datalehti. Luettu 10.2.2017.
- 17 Newport. MFA Series Miniature Linear Stages. Käyttöohje. Luettu 10.2.2017.
- 18 Newport. SMC100PP Single Axis Motion Controller. Käyttöohje. Luettu 10.2.2017.
- 19 Vetek. Lastcell type single point. Datalehti. Luettu 10.2.2017.
- 20 Vetek. Weigh Indicators DGT. Datalehti. Luettu 10.2.2017.
- 21 Hioki. Resistance Meter RM3542. Datalehti. Luettu 10.2.2017.

**YPW-5TT05-207 PLAN1 –probe**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

## **1.OP -16PINx2 VTI SSOP SOCKET**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

## **Combo 2,5 Socket**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

**Pakankiinnityslevy\_08**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

**Välilevy\_08**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

## **Alustalevy\_08**

Yrityksen sisäinen dokumentti.



**108AA\_Mittapää\_03**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

**108AA\_MFA-PPD\_Kiinnityslevy\_04\_a**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

**108AA\_MFA-PPD\_Kiinnityslevy\_04\_b**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

**MFA-PPD\_alustalevy\_7**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

## **Runkolevy\_4**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

## **RunkoTakaisinä**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

## **Kylki**

Yrityksen sisäinen dokumentti.

## **Katto**

Yrityksen sisäinen dokumentti.