



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# MATRIISIALTAAN TESTAUS KOLMENARVOISELLA KRO- MIPINNOITTEELLA

TEKIJÄ/T: Petri Savolainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Petri Savolainen	
Työn nimi Matriisialtaan testaus kolmiarvoisella kromipinnoitteella	
Päiväys 21.5.2013	Sivumäärä/Liitteet 47/19
Ohjaaja(t) Lehtori Eeva Jauhiainen ja Lehtori Mika Mäkinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli matriisialtaan testaaminen sekä selvittää sen mahdollisia kehityskohteita. Opinnäytetyö on osa Savonia-ammattikorkeakoulun pinnoitushanketta ja se toteutettiin Savonian pinnoituslaboratorion tiloissa. Pinnoitushankkeen yhteydessä on rakennettu pieni ja iso pinnoituslinjasto sekä matriisiallas. Uuteen linjastoon on sisällytetty kaikki pinnoitukseen tarvittavat esikäsitteilyaltaat sekä pinnoitusaltaat yhdessä tiiviissä kokonaisuudessa. Opinnäytetyö on osa Itä-Suomen yliopistolle tehtävää väitöskirjaa. Työssä toteutettiin käytännön testaus, kun taas väitöskirjassa paneudutaan syvemmälle teoreettiseen puoleen ja simulointiin.</p> <p>Opinnäytetyön pääpaino oli matriisialtaan testaamisessa. Suunnittelutyö oli suurella osalla opinnäytetyötä, koska matriisialtaan pinnoitusmenetelmää ei ole aikaisemmin testattu. Matriisialtaassa vanhan tyyppinen yhden virtapiirin pinnoitusmenetelmä on korvattu kolmella samassa elektrolyytissä olevalla virtapiireillä. Tämä mahdollistaa useiden erimuotoisten kappaleiden yhtäaikaisen pinnoittamisen. Työssä keskitytään erityisesti matriisialtaan toiminnan ja virrankarkailun havainnointiin, pinnoituksen visuaaliseen ulkonäköön sekä pinnoitteen tasaisuuden tutkimiseen. Työssä pinnoitettiin koekappaleita kromi(III) -pinnoitetta käyttäen, koska kromi(III):n käyttö on yleistynyt viime aikoina.</p> <p>Työn tuloksina saatiin useita pinnoitettuja näytekappaleita. Näytekappaleista tutkittiin silmämääräisesti visuaalinen ulkonäkö. Mikroskoopilla kuvattiin kappaleiden pinnoitteiden paksuuksia sekä pinnoituksen aikana mitattiin virranjakautumista virtapiirin ja pinnoituspaikkojen välillä. Näytteistä todettiin, että allas toimi kuten se oli suunniteltukin. Testauksen ja analysoinnin aikana huomattiin joitain kehityskohteita, joilla altaan toimintaa pystytään parantamaan sekä saamaan tasalaatuisempia pinnoituksia. Suurin yksittäinen kehityskohde tulee olemaan anodien ja pinnoitettavan kappaleen etäisyyksien saaminen samaksi pinnoituksen aikana. Tulevaisuudessa matriisiallasta ja sen toimintaperiaatetta tullaan hyödyntämään teollisuudessa, sillä se luo joustavuutta tuotantoon sekä mahdollistaa usean erikokoisen ja -muotoisen kappaleen yhtäaikaisen pinnoittamisen.</p>	
Avainsanat Kromi (III), matriisiallas, elektrolyyttinen pinnoitus	
julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Petri Savolainen			
Title of Thesis Testing of Matrix Pool with Trivalent Chromium			
Date	21 May 2013	Pages/Appendices	47/19
Supervisor(s) Ms. Eeva Jauhiainen, Lecturer and Mr. Mika Mäkinen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Science			
<p>Abstract</p> <p>This thesis is part of a coating project of Savonia University of Applied Sciences. The thesis was carried out in Savonia's coating laboratory. During the coating project a small and big coating line and a matrix pool were built. The new coating line includes all the needed pre-coating and coating pools in one compact package. This thesis is part of a doctoral thesis which is done for University of Eastern Finland. Practical testing was carried out in this thesis whereas the doctoral thesis focuses more on theory and simulation.</p> <p>The aim of the thesis was to test the matrix pool. Designing had a big role in the thesis because the matrix pool's coating method had never been tested before. In the matrix tub an old style one electricity circle was replaced by three electricity circles which are in the same electrolyte. This allows the coating of many pieces of different shapes and sizes at the same time. The focus of the thesis was on observing matrix pool operation and electricity shattering, visual appearance of coating and the testing of coating smoothness. In the testing phase the testing pieces were coated with trivalent chromium.</p> <p>The result of this thesis was a large number of coated test pieces. The visual appearance of the coated test pieces was inspected by visual estimates. Microscope was used to analyze the coating thickness of the coated test pieces. During the test coatings the electricity shattering between the electricity circles and coating places was measured. It was possible to observe from test pieces that the matrix pool acted like it was designed. During the testing and analyzing some development targets were noticed. By correcting these targets the matrix pool operation can be improved and that gives homogeneous coating in the future. The biggest target for development is the standardization distance between the anode and the coating piece during the coating process. In the future the matrix pool and its operating principle will be used because it creates flexibility in the manufacturing process allowing the coating of many pieces of different shapes and sizes at the same time.</p>			
Keywords Trivalent chromium, matrix pool, electrolytic coating			
public			

## ALKUSANAT

Työ tehtiin Savonian pinnoitushankkeen aikana Savonia-ammattikorkeakoulun pinnoituslaboration tiloissa. Haluan kiittää ohjaajiani lehtoreita Eeva Jauhiaista ja Mika Mäkistä erinomaisesta ohjaustyöstä sekä pinnoituslaboratorion henkilökuntaa avusta työn aikana.

Kuopiossa 20.5.2013

---

Petri Savolainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	ELEKTROLYTTISEN PINNOITUKSEN TEORIAA.....	8
2.1	Elektrolyttinen pinnoitus .....	8
2.1.1	Kylvyn levitys- ja peittokyky .....	8
2.1.2	Hapettumis-pelkistymisreaktio.....	9
2.2	Kromi ja sen ominaisuuksia .....	9
2.2.1	Kromauksen käyttö .....	9
2.2.2	Kromauksen virheitä.....	10
2.3	Yleistä anodeista.....	11
2.4	Nikkelöinti .....	11
2.5	Virrantiheys ja virran jakautuminen katodilla.....	11
3	KOEJÄRJESTELYT .....	14
3.1	Eletrolytit.....	14
3.1.1	Trichrome plus, kromi (III).....	14
3.1.2	Supreme Plus.....	14
3.2	Esikäsittelet .....	14
3.2.1	Kuumarasvapesu.....	15
3.2.2	Sähköpesu.....	15
3.2.3	Peittäus .....	15
3.3	Pinnoituslinjasto sekä pinnoitusaltaat .....	15
3.3.1	Matriisiallas.....	15
3.3.2	Esikäsitteleyaltaat .....	17
3.4	Ripustin.....	17
3.5	Koekappaleet.....	19
3.6	Hieiden valmistus.....	19
4	TESTAUS JA ANALYSOINTI .....	21
4.1	Vaiheittain testaus .....	21
4.1.1	S1V1 .....	23
4.1.2	S1V2 .....	25
4.1.3	S1V3 .....	27
4.1.4	S1V4 .....	29

4.1.5	S2V4 .....	32
4.1.6	Tapit 8+2 .....	35
4.1.7	Tapit 8+4 .....	37
4.2	Virtapiirien analysointi .....	39
5	TULOKSET JA HAVAINNOT .....	40
5.1	Levyjen visuaalinen tarkastelu .....	40
5.2	Tappien pinnanpaksuuksien tarkastelu .....	40
5.2.1	T82 tappien pinnanpaksuudet ja niiden tarkastelu .....	40
5.2.2	T84 tappien pinnanpaksuudet ja niiden tarkastelu .....	42
5.3	Havainnot.....	44
5.3.1	Levyjen visuaalinen analysointi .....	44
5.3.2	Tappien pinnoitteen paksuuksien analysointi.....	44
6	YHTEENVETO.....	46
	LÄHTEET .....	47
	LIITTEET	
LIITE 1	S1V1 LEVYKUVAT	
LIITE 2	S1V2 LEVYKUVAT	
LIITE 3	S1V3 LEVYKUVAT	
LIITE 4	S1V4 LEVYKUVAT	
LIITE 5	S2V4 LEVYKUVAT	

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on saada testattua matriisiallasta sekä selvittää mahdollisia kehityskohteita. Työn tuloksien pohjalta analysoidaan matriisialtaan ja sen toiminnan kehityskohteita. Tulosten pohjalta matriisiallasta pystytään mahdollisesti modifioimaan, jotta pinnoitusprosessi olisi mahdollisimman kontrolloitu ja tasalaatuinen.

Tämä opinnäytetyö toteutetaan osana Savonia-ammattikorkeakoulun pinnoitushanketta ja se toteutetaan Savonian pinnoituslaboratorion tiloissa. Pinnoitushankkeen aikana on rakennettu pieni ja iso pinnoituslinjasto sekä matriisiallas. Uuteen linjastoon on sisällytetty kaikki pinnoitukseen tarvittavat esikäsitteilyaltaat sekä pinnoitusaltaat yhdessä tiiviissä kokonaisuudessa. Opinnäytetyöni on osa Itä-Suomen yliopistolle tehtävää väitöskirjaa. Työssäni toteutan käytännön testauksen, kun taas väitöskirjassa paneudutaan syvemmälle teoreettiseen puoleen ja simulointiin.

Opinnäytetyössä keskitytään matriisialtaan testaamiseen. Koska matriisialtaan pinnoitusmenetelmää ei ole aikaisemmin testattu, testauksen suunnittelu vie suuren osan ajasta. Matriisialtaassa vanhan tyyppinen yhden virtapiirin pinnoitusmenetelmä on korvattu kolmella samassa elektrolyytissä olevilla virtapiireillä. Tämä mahdollistaa useiden erimuotoisten kappaleiden yhtäaikaisen pinnoittamisen. Työssä keskitytään erityisesti matriisialtaan toiminnan ja virran karkailun havainnointiin, pinnoituksen visuaaliseen ulkonäköön sekä pinnoitteen tasaisuuden tutkimiseen. Työssä pinnoitetaan koe-kappaleita kromi(III) -pinnoitetta käyttäen, koska kromi(III):n käyttö on yleistynyt viime aikoina.

## 2 ELEKTROLYTTISEN PINNOITUKSEN TEORIAA

### 2.1 Elektrolyttinen pinnoitus

Elektrolyttinen pinnoitus perustuu elektrolyysiin. Elektrolyysissä tapahtuu energiaa vaativia hapetus-pelkistymisreaktioita. Elektrolyysiin tarvitaan virtalähde, anodi, katodi ja elektrolyytti. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 2003, 25.)

Faradayn laista pystytään johtamaan sekä laskemaan tarvittaessa käytettävä pinnoitusaika jotta haluttu pinnoitekerros muodostuu. Myös elektrolyysissä saostuvan tai liukenevan metallin määrä pystytään johtamaan Faradayn laista sekä määrittämään tarvittava virrantiheys. (Anttila, Karppinen, Leskelä, Mölsä ja Pohjakallio 2008, 197 - 199.)

Faradayn laki:

$$It = nzF \quad (1)$$

jossa  $I$  on sähkövirta,  $t$  on aika,  $n$  on elektrodireaktiossa hapettuvan tai pelkistyvän aineen ainemäärä,  $z$  on hapettumis- tai pelkistymisosareaktio ja  $F$  on Faradayn vakio (96 487 C/mol). (Anttila ym. 2008, 197.)

Faradayn laista pystytään johtamaan elektrolyysissä saostuvan tai liukenevan metallin määrä, joka on suoraan verrannollinen liuoksen läpi kulkevaan sähkömäärään. Katodille saostuvan metallin määrä  $m$  (g) voidaan laskea Faradayn yhtälöstä:

$$m = c * I * t * \eta \quad (2)$$

jossa  $c$  on sähkökemiallinen ekvivalentti,  $I$  on sähkövirta,  $t$  on aika,  $\eta$  on virtahyötysuhde. Jos halutaan pinnoitteen kasvunopeus  $\mu\text{m/h}$ , tulee edellistä kaavasta saatu metallimäärä jakaa metallipinnoitteen tiheydellä, pinta-alalla ja ajalla. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 2003, 25.)

#### 2.1.1 Kylvyn levitys- ja peittokyky

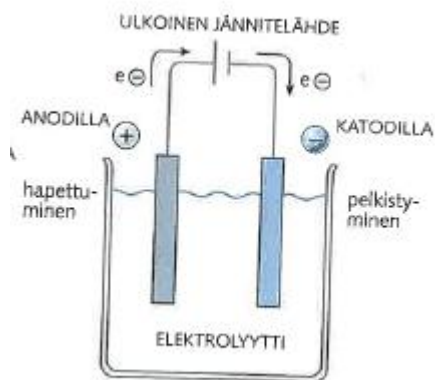
Peittokyvyllä ilmaistaan kuinka hyvin kylpy kykenee peittämään katodin eri alueet. Kylvyn peittokyky on huono, jos pienetkin syvennykset jäävät täysin peittymättä. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 2003, 29.)

Levityskyvyllä ilmaistaan kuinka tasaisesti pinnoite on levittänyt katodilla. Levityskyky arvioidaan katodin eri alueiden välisellä erolla. Mikäli ero ulokkeiden ja syvennyksien välillä on pieni, kyvyllä on hyvä levityskyky. (Komusaari ja Suosalmi 2003, 26.)



## 2.1.2 Hapettumis-pelkistymisreaktio

Elektrolyysissä tapahtuu hapettumis-pelkistymisreaktioita anodin luovuttaessa elektroneja ja katodi vastaanottaessa niitä. Kuvassa 1 on esitetty havaintokuva elektrolyysistä. Sähkövirran positiivinen suunta on sovittu vastakkaiseksi elektronien kulkusuuntaan nähden. Tällöin anodilla tapahtuu hapettumista ja katodilla pelkistymistä (Anttila ym. 2008, 98.)



KUVA 1. Elektrolyysin havaintokuva. (Anttila ym. 2008, 183.)

## 2.2 Kromi ja sen ominaisuuksia

Kromi on valkoinen, kova ja mekaanisesti ja kemiallisesti hyvin kestävä metalli. Kromi lisää metalliseoksiin lisättyinä karkaistavuutta, veto- ja iskulujuutta sekä korroosionkestävyyttä. Kromin pintaan muodostuu ohut oksidikerros ilman tai muiden hapettavien aineiden vaikutuksesta. Kromi kestää hyvin typpihappoa ja laimeaa rikkihappoa. Passivoituna kromipinnoite kestää myös väkevää suolahappoa. Kromattu pinta on kova, sillä on pieni kitkakerroin ja se on hyvin kulutusta ja hankausta kestävä. Toisaalta kromattu pinta on hauras. Vain alle 5  $\mu\text{m}$  paksuiset kromipinnoitteet kestävä taivutusta. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1999, 56; Anttila ym. 2008, 252; Komusaari ja Suosalmi 2003, 8).

Elektrolyttisessä pinnoituksessa katodilla muodostuu vetyä ja kromi (III) pelkistyy metalliseksi kromiksi kromi (II):n kautta. Kromin saostuminen alkaa vasta tietyllä katodipotentiaalilla ja rajavirrantiheydellä. Esimerkiksi 0,5 % sulfaattipitoisuus kromi(III)oksidipitoisuudesta rajavirrantiheys on 1,5 A/dm<sup>2</sup> ja 1,5 % sulfaattipitoisuutta vastaava rajavirrantiheys on 3,5 A/dm<sup>2</sup> (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1999, 60).

### 2.2.1 Kromauksen käyttö

Kromausta käytetään ohuina kerroksina (0,2 - 0,5  $\mu\text{m}$ ) kiiltokromaukseen. Pohjustuksena kiiltokromaukselle käytetään yleisesti nikkelöintiä. Kovakromauksessa pinnoitteen paksuus on yli 10  $\mu\text{m}$ . Kovakromauksen nimitys tulee sen paksummasta pinnoitekerroksesta, jonka johdosta sen kulutuskestävyys on parempi kuin kiiltokromauksen.

Kromausta käytetään myös osien ylimittaan pinnoittamiseen, jonka jälkeen osat hiotaan määrämittäisiksi. Myös pintavaurioiden korjaaminen on yksi kromauksen käyttökohteista. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1999, 58.)

## 2.2.2 Kromauksen virheitä

Kromauksessa tapahtuvia mahdollisia virheitä ja niiden korjaustoimenpiteitä on esitetty taulukossa 1. Työssä todennäköisimmin esiintyviä virheitä ovat mm. harmaa matta pinta sekä nyppyjä kulmissa ja reunoissa.

TAULUKKO 1. Kromauksen virheet. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1999, 90.)

Virhe	Syy	Toimenpide
Harmaa matta hauras pinnoite. Ei parane hionnassa	- Liian matala lämpötila - Liian korkea virrantiheys - Liian suuri Cr <sup>3+</sup> -pitoisuus	- Nosta ohjearvoon - Laske ohjearvoon - Suurena anodipintaa. Puhdista anodit
Kiiltävä, mutta hauras pinnoite	- Liian suuri vetypitoisuus	- Vedynpoisto 180-200 °C
Huntuinen, pehmeä pinnoite	- Liian korkea lämpötila ja liian matala virrantiheys	- Tarkista lämpötila, pinta-ala ja virrantiheys
Karkea pinta, "hiekkainen" kromipinnoite	- Liian alhainen CrO <sub>3</sub> - pitoisuus - Liian alhainen happomäärä - Liian korkea rautapitoisuus - Leijuvia hiukkasia kylvyssä  - Huonosti esikiillotettu teräspinta	- Analysoi ja lisää - Analysoi ja lisää - Uusi kylpy kokonaan tai osittain - Sekoitustapoja muutettava. Anna hiukkasten laskeutua. Paranna esikiillotusta. - Määrittele Ra-arvo
Kromipinnoite irtoaa kylvyssä tai kiillotuksessa	- Lämpötilan vaihteluita elektrolyysin aikana - Virtakatkoksen seurauksena kaksoiskerros kromauksessa. - Huono rasvanpoisto - Kylpyyn lisätty kylmää vettä	- Tarkista termostaatit  - Seoskatalysaattorikylpy sietää virtakatkoksia paremmin - Paranna esikiillotusta - Älä lisää vettä kesken kromauksen
Nyppyjä kulmissa ja reunoilla	- Liian suuri virrantiheys ulkonemissa	- Käytä varjostimia, virtavarkaita
Huokosia kromipinnoitteessa	- Huokosia ja epätasaisuuksia perusmetallissa - Leijuvia hiukkasia kylvyssä  - Pintaan jäänyt kiinnivetykuplia	- Paranna esikiillotusta  - Älä sekoita juuri ennen pinnoitusta. Poista sakka dekantoimalla - Osia on liikuteltava ja ne on sijoitettava niin, että kuplat irtoavat
Halkeamia perusmetallissa kromauksen jälkeen	- Karkaisujännityksiä, jotka aiheuttavat vetyhauraus-halkeamia kasvatuksen aikana	- Jännityksenpoistolämpökäsittely ennen kromausta
Liian alhainen kasvunopeus	- Liian korkea lämpötila ja/tai liian alhainen virrantiheys - Väärä katalysaattoripitoisuus  - Riittämätön virrantiheys joissakin osissa huonojen kosketusten takia. - Metalliepäpuhtauksista tai klorideista johtuva huono virtahyötysuhde	- Korjaa lämpötila ja virta  - Analysoi katalysaattoripitoisuus ja korjaa - Puhdista kosketuskohdat  - Uusi kylpy kokonaan tai osittain - Saosta kloridit hopeaoksidilla Ag <sub>2</sub> O
Kylpyjännite korkea	- Anodeilla eristävä kerrostuma - Korkea Cr <sup>3+</sup> -pitoisuus  - Korkea rautapitoisuus	- Puhdista anodit - Lisää anodipinta-alaa Hapeta Cr <sup>3+</sup> erikoiselektrolyysillä - Uusi kylpy kokonaan tai osittain
Ei kromisaostumaa	- Epäpuhtauksia, suolahappoa, liikaa rikkihappoa peittäuskylvystä	- Korjaa sulfaatti- ja kloridipitoisuudet saostamalla - Paranna huuhtelutekniikkaa

### 2.3 Yleistä anodeista

Anodeja on liukenevia, liukenemattomia tai niiden yhdistelmiä. Elektrolyttisessä pinnoituksessa liukenevat anodit toimivat saostuvan metallin lähteenä ja elektrolyytti on ainoastaan välittäjän prosessissa. Liukenevien anodien käyttö ei vaadi niin tarkkaa kylvyn valvontaa kuin käytettäessä liukenemattomia anodeita, koska liukenevat anodit pitävät kylvyn metallipitoisuuden tasaisena ja näin ollen vähentävät tarvittavaa metallisuolojen lisäystä.

Liukenemattomilla anodeilla on oltava hyvä sähkönjohtokyky eikä kylpy saa vaikuttaa niihin virrallisenä tai virrattomana. Liukenemattomien anodien materiaaleina käytetään yleisesti terästä, lyijyseoksia sekä grafiittia. Liukenemattomia anodeita voidaan myös käyttää elektrolyttisessä puhdistuksessa napaisuutta vaihtamalla.

### 2.4 Nikkelöinti

Nikkeli kestää hyvin ilmassa, mutta tummuu ajan kanssa. Nikkeliä käytetään terästen seosaineina mm. ruostumattomissa ja haponkestävissä teräksissä sekä koristetarkoituksiin. Nikkeli kestää sulaa natriumhydroksidia ja syanidiliuoksia, mutta mineraalihatot syövyttävät sitä. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1999, 167.)

Nikkelöinnissä käytetään anodeina nikkelpaloja, jotka ovat titaanisessa anodikorissa. Koreja täytetään sitä mukaa, kun nikkeliä kuluu. Tällä tavalla nikkelin määrä kylvyssä pystytään pitämään tasaisena. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1985, 14.)

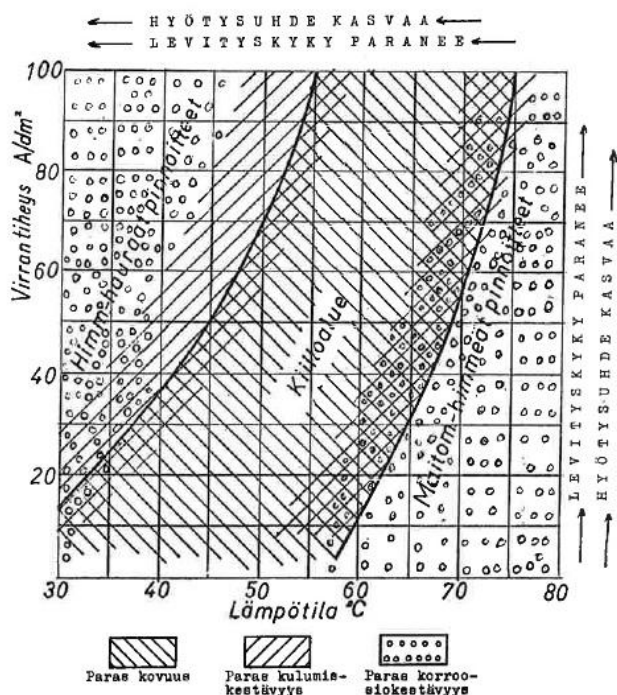
Nykyisin kromaus suoritetaan suoraan kiiltoonikkelin päälle. Nykyiset kiiltoonikkelipinnoitteet ovat hyvin kromattavia. Kiiltoonikkeli on helposti passivoituva, joten kromaus on suoritettava välittömästi nikkelöinnin jälkeen. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1999, 85.)

### 2.5 Virrantiheys ja virran jakautuminen katodilla

Virrantiheydellä tarkoitetaan suuretta, joka kuvaa virran suhdetta sen läpäisemään pinta-alaan.

$$J = \frac{I}{A} \tag{3}$$

jossa J on virrantiheys, I on virta ja A virran läpäisemä pinta-ala.



KUVIO 1. Kylvyn lämpötilan ja virrantiheyden vaikutus kromipinnoitteen ominaisuuksiin (Komusaari ja Suosalmi 2003, 14).

Virran jakautumiseen katodilla vaikuttavat pinnoitettavan kappaleen ja anodin koko sekä muoto. Vaikuttavia tekijöitä ovat myös kappaleen ja anodin etäisyydet toisistaan, altaan seinästä ja kylvyn pinnasta sekä elektrolyytin, pinnoitettavan kappaleen ja anodien sähköjohtokyky (Suomen Galvanotekninen yhdistys 2003, 28.) Kuviossa 1 on esitetty kylvyn lämpötilan ja virrantiheyden vaikutuksia kromipinnoitteeseen.

Kun elektrodin läpi aletaan johtaa virtaa, elektrodi polarisoituu eli sen tasapainopotentiaali  $E_0$  muuttuu uuteen arvoon  $E_1$ . Elektrodin polarisoituminen nostaa tarvittavaa jännitettä. Jännitettä nostettaessa myös virrantiheys kasvaa. Kun virrantiheys kasvaa maksimiarvoonsa eli rajavirrantiheyteen asti, tällöin metalli-ionipitoisuus katodin pinnalla on nolla. Tämän takia jännitteen nosto ei nosta virrantihyyttä, ennen kuin potentiaali nousee jonkin toisen reaktion tapahtuman vaatimalle tasolle, esimerkiksi vedyn kehitys. Rajavirtaa suurempi virranvoimakkuus voi aiheuttaa pinnoitteen palamista. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 2003, 28.) Jotta kromin saostuminen voi alkaa, pitää ylittää tietty virrantiheydenarvo. Tätä virrantiheydenarvoa kutsutaan minimivirrantiheydeksi. (Komusaari ja Suosalmi 2003, 26.)

Virran jakautuminen katodilla voidaan jakaa primääriseen ja sekundääriseen virran jakautumiseen. Primäärisellä virran jakautumisella tarkoitetaan virranjakautumista, jos polarisaatiota ei olisi. Siihen vaikuttavat pinnoitettavan kappaleen ja anodien koko, muoto ja etäisyys toisistaan, altaan seinästä, kylvyn pinnasta sekä elektrolyytin, osan ja anodien sähköjohtokyky. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 2003, 28)

Sekundäärinen virran jakautuminen toimii tasoittavana tekijänä primääriselle virran jakautumiselle. Sekundäärinen virran jakautuminen riippuu polarisaatiosta. Kohdissa, joissa on suuri virrantiheys, polarisaatio kasvaa ja tasoittaa siten virran jakautumista osan kärkien ja syvennyksen välillä. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 2003, 28.)

### 3 KOEJÄRJESTELYT

Testaus toteutettiin Savonia-ammattikorkeakoulun pinnoituslaboration tiloissa. Tässä luvussa on esitetty pinnoitusprosessissa käytettävät pinnoitteet, pinnoituksessa käytettävät esikäsittelet sekä pinnoituslaitteisto.

#### 3.1 Eleetrolyytit

##### 3.1.1 Trichrome plus, kromi (III)

Työssä käytettiin Atotech Skandinavian AB:n Trichrome Plus kromikylpyä. Seuraavassa on esitetty käytetyn kromikylvyn ominaisuuksia sekä käytettyjä kemikaaleja ja niiden vaikutuksia kylvyn teossa ja ylläpidossa.

Kylpy koostuu seuraavista kemikaaleista:

- TC Additive: Lisää kromipitoisuutta kylvyssä sekä parantaa kylvyn johtokykyä
- TC Adjuster: Lisää kromipitoisuutta kylvyssä
- TC Stabiliser: Tasapainottaa kolmenarvoista kromia
- TC Regrator LR: Ehkäisee pinnoitteen tummumista ja edesauttaa pinnoitteen jakautumista
- TC Corrector: Parantaa pinnoitteen tunkeutumista

Lisäksi kylpy sisältää boorihappoa sekä ionivaihdettua vettä.

Kylvyn pinnoitusnopeus on 0,15 - 0,25  $\mu\text{m}/\text{min}$ , kun virrantiheytenä on 10  $\text{A}/\text{dm}^2$ . Pinnoitepaksuuden tulisi siis olla välillä 1,5 - 2,5  $\mu\text{m}$ , kun koekappaleita pinnoitetaan 10 min.

##### 3.1.2 Supreme Plus

Työssä käytettiin kromipinnoituksen pohjustuksena Atotech Skandinavian AB:n Supreme Plus Kiiltoonikkelikylpyä. Kiiltoonikkelikylpy toimitettiin valmiina kylpynä, eikä jatkuvaa ylläpitoa tarvittu nikkelianodien jatkuvan liukenemisen takia, joka piti kylvyn tasaisena pinnoituksien aikana.

#### 3.2 Esikäsittelet

Esikäsitteleyden tarkoituksena on puhdistaa pinnoitettavien kappaleiden pinta sekä pohjustaa tulevalle kromipinnoitteelle hyvä kiinni pysyvyys. Luvuissa 3.2.1-3.2.3 on esitetty lyhyesti pinnoitusprosessissa käytetyt esikäsittelet.

### 3.2.1 Kuumarasvapesu

Kuumarasva pesun tarkoituksena on poistaa fyysinen lika ja rasva pinnoitettavan kappaleen pinnalta ennen elektrolyyttistä puhdistusta. Työssä käytettiin kuumarasvapesuun Atotech Skandinavian AB:n UniClean 153 kylpyä. Kappaleita pidettiin 5 minuuttia kuumarasvapesussa.

### 3.2.2 Sähköpesu

Kappaleiden puhdistus elektrolyttisessä rasvanpoistossa ei saa kestää muutamaa minuuttia pidempään, jotta pinta ei kyllästyisi vedyllä. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1999, 78) Sähköpesussa pinnoitettavan kappaleen pinnalta poistetaan elektrolyttisesti materiaalia ja samalla kappaleen pinnalta irtoaa myös likaa. Sähköpesu tapahtuu napaisuutta vaihtamalla. Työssä kappaleita pidettiin 5 minuuttia Atotech Skandinavian AB:n UniClean 298 kylvyssä.

### 3.2.3 Peittäus

Peittäuksella tarkoitetaan kappaleiden puhdistamista happokylvyssä. Peittäusta voidaan suorittaa joko elektrolyttisesti rikkihappoa käyttäen tai virrattomasti suolahappoa käyttäen. Virrattomasti suolahappokylpyä käytettäessä peittäusaika on pidempi kuin elektrolyttisessä peittäuksessa. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 2001, 35) Työssä käytettiin virratonta suolahappopeittäus. Suolahappopeittäuksessa käytettiin Atotech Skandinavian AB:n peittäusaineita UniClean 501 ja UniClean 547. Kappaleita pidettiin peittäuksessa 10 minuuttia.

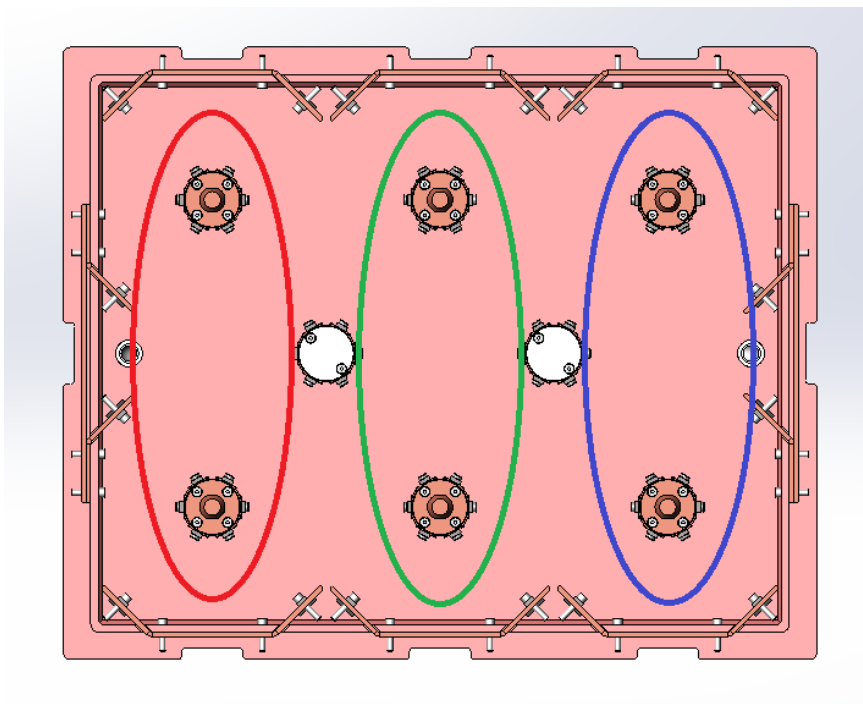
## 3.3 Pinnoituslinjasto sekä pinnoitusaltaat

### 3.3.1 Matriisiallas

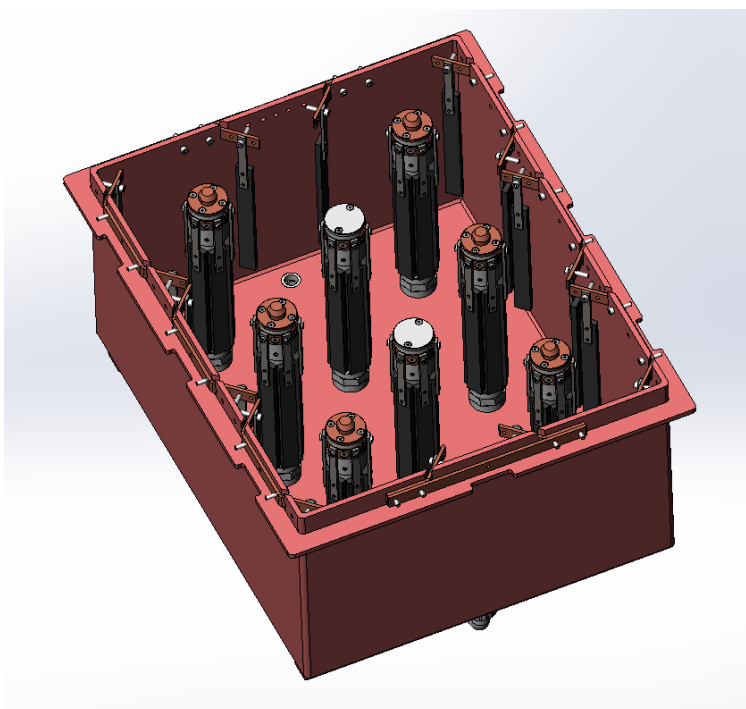
Matriisiallas koostuu kolmesta erillisestä virtapiiristä, joissa kussakin on kaksi pinnoituspaikkaa. Matriisialtaan toiminta perustuu siihen, että altaassa pystytään pinnoittamaan yhtä aikaisesti useita erikokoisia ja -muotoisia kappaleita. Virtapiirien lukumäärä määrää, kuinka monia erilaisia kappaleita voidaan pinnoittaa yhtäaikaisesti. Tässä matriisialtaassa voidaan pinnoittaa kolmea erikokoista kappaletta yhtäaikaan siten, että jokaisessa virtapiirissä on ainoastaan samanlaisia kappaleita. Molemmissa saman virtapiirin ripustimissa tulee olla sama määrä samanlaisia pinnoitettavia kappaleita. Käytettävän virran määrää kappaleiden yhteenlaskettu pinnoitettava pinta-ala. Kuvassa 2 on esitetty matriisialtaan virtapiirit. Virtapiirit on merkitty kuvaan siten, että virtapiiri 1 on merkitty punaisella, virtapiiri 2 vihreällä ja virtapiiri 3 sinisellä.

Matriisiallas on rakennettu polypropeenista. Matriisialtaassa käytettävät anodit ovat grafiittia, joiden tarkoitus on ainoastaan johtaa virta elektrolyttiin. Anodien kiinnitys on toteutettu titaanisilla lattalevyillä ja haponkestävillä ruuveilla. Anodien sijoittelu on suunniteltu siten, että anodipinta-alaa olisi tasaisesti jokaisen pinnoituspaikan ympärillä. Anodeja on sijoitettu altaan reunoille, pinnoituspaikkojen reunoille sekä kahteen anoditorniin altaan keskellä. Kuvassa 3 on esitetty anodien sijoittelua matriisialtaassa.

Matriisialtaan pohjalla kulkee ilmaletku, jonka ilmanpainetta pystytään säätämään manuaalisesti. Ilmaletkun tarkoituksena tasapainottaa ja sekoittaa kylpyä pinnoituksen aikana. Matriisialtaan alla on 2 kW:n lämmitin, jonka imuaukko näkyy kuvan 2 vasemmassa laidassa ja tuloaukko oikeassa laidassa. Jokaiselle virtapiirille on oma virtalähteensä. Virtapiireille 1 ja 2 on kytketty 150 A virtalähteet ja virtapiirille 3 on kytketty 250 A virtalähde.



KUVA 2. Matriisiallas ylhäältäpäin kuvattuna sekä virtapiirit

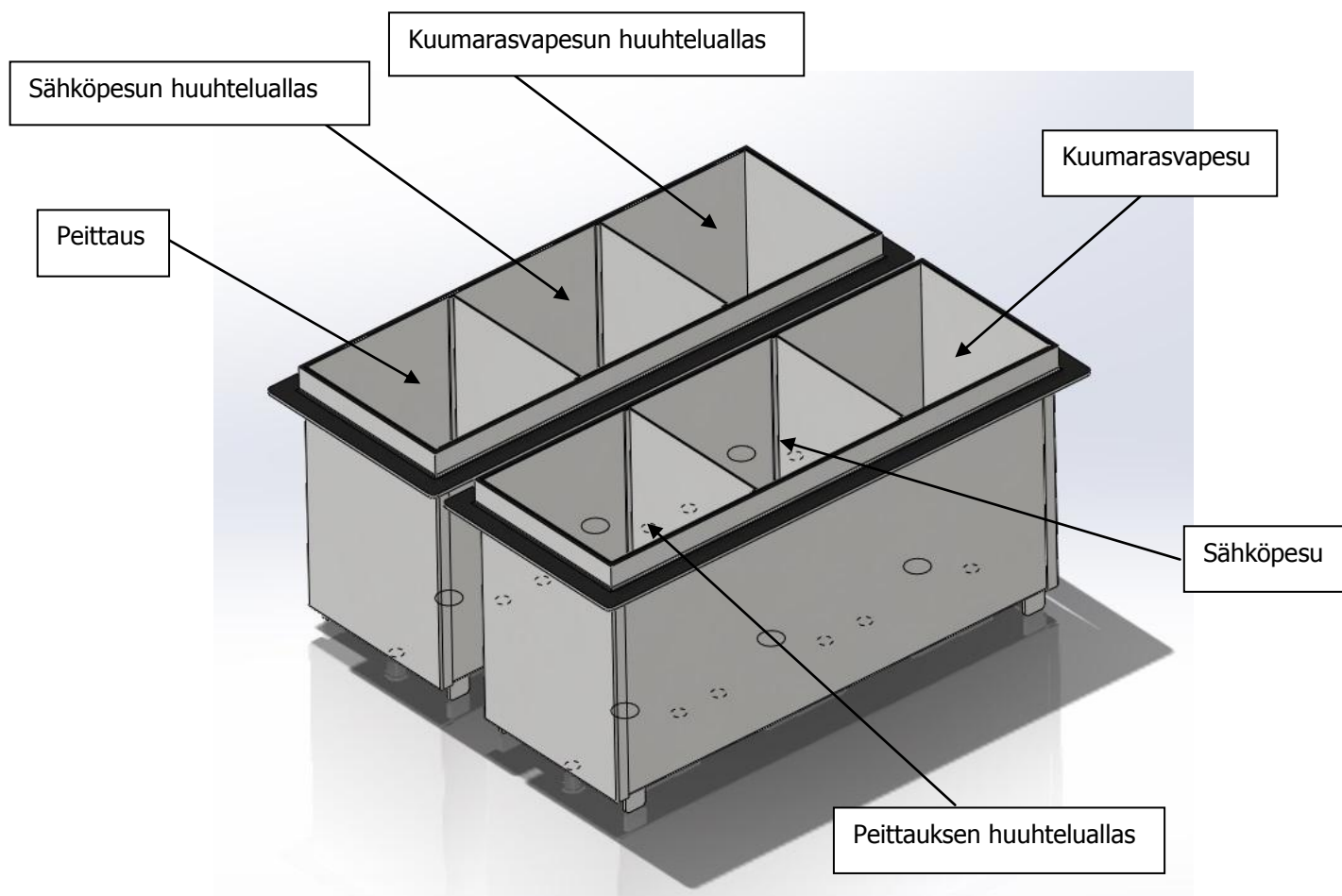


KUVA 3. Matriisiallas yläviistosta kuvattuna



### 3.3.2 Esikäsittelyaltaat

Esikäsittelylinjasto koostuu kompaktista kokonaisuudesta, jossa esikäsittelyallas sekä sen huuhteluallas ovat mahdollisimman lähekkäin toisiaan. Tämä vähentää ylimääräistä liikuttelua sekä nopeuttaa esikäsittelyprosessia. Esikäsittelyaltaat on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Esikäsittelylinjasto

### 3.4 Ripustin

Ripustin on suunniteltu siten, että se lasketaan matriialtaassa olevan pinnoitustolpan päälle. Ripustimeen pystytään asentamaan neljä levyä tai kahdeksan tappia yhtä aikaa. Kiinnitykseen käytetään neljän millimetrin kierretankoa, muttereita sekä aluslevyjä. Kierretanko takaa kiinteän, tukevan sekä helposti purettavan, kasattavan ja säädettävissä olevan kiinnitysmenetelmän. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty ripustusmenetelmät sekä levyille että tapseille.



KUVA 5. Ripustin levyille (Valokuva Petri Savolainen 2013)



KUVA 6. Ripustin tapeille (Valokuva Petri Savolainen 2013)

### 3.5 Koekappaleet

Pinnoitettavat levyt ovat rakenneterästä S235. Levyjen kaikki sivut ovat 10 cm ja yhden levyn pinnoitettava pinta-ala on 2 dm<sup>2</sup>. Levyt on valmistettu plasmaleikkurilla.

Pinnoitettavat tapit ovat koneistettua mangaaniterästä. Tappien halkaija on 30 mm ja korkeus on 10 cm, ja täten ollen yhden pinnoitettavan tappin pinnoitettava pinta-ala on 1,5 dm<sup>2</sup>.

### 3.6 Hieiden valmistus

Hieiden valmistus alkaa näytetappien sahauksella. Sahaus suoritetaan kahdessa vaiheessa: ensin sahataan rautasahalla näyttekappaleet, joiden pinta oikaistaan kuvan 7 tarkkuussahalla. Sahauksen jälkeen näyttekappaleista tehdään hieet kuvan 8 hieiden valmistuslaitteella. Lopuksi hieet hiotaan ja kiillotetaan kuvan 9 laitteella.



KUVA 7. Tarkkuussaha (Valokuva Petri Savolainen)



KUVA 8. Hieiden valmistuslaite (Valokuva Petri Savolainen)



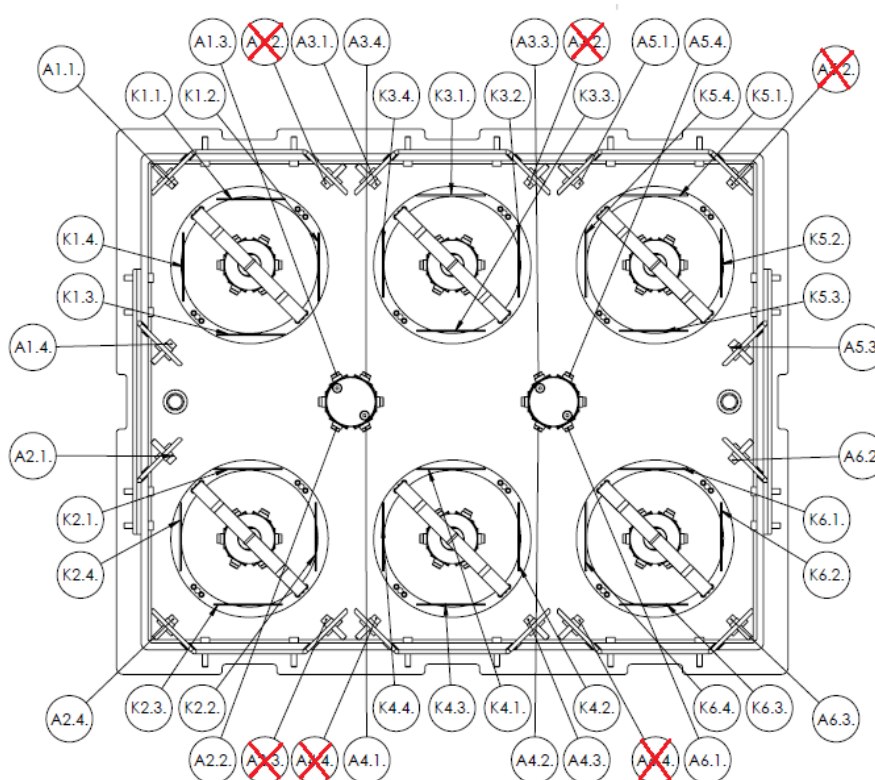
KUVA 9. Hieiden hiontalaite (Valokuva Petri Savolainen)

## 4 TESTAUS JA ANALYSOINTI

### 4.1 Vaiheittain testaus

Matriisialtaan testaus suoritetaan seitsemässä eri vaiheessa, jotta mahdollisimman moni asia tulisi testattua. Aluksi suoritettiin kylvyn käynnistäminen ja testipinnoitukset, joilla varmistettiin kylvyn toimivuus.

Pinnoitusvaiheita on yhteensä seitsemän ja niiden nimeämisessä on käytetty loogista järjestystä. Levypinnoitusvaiheita on viisi ja tappipinnoitusvaiheita kaksi. Levypinnoitusten vaiheet on nimetty seuraavasti. Vaiheiden nimeämisessä on käytetty kirjaimia S ja V; S1 tarkoittaa, että levyt ovat altaan suuntaisesti ja jokaisen ripustimen levy 1 on altaan ylälaidassa ohjauspaneelista katsottuna. S2 tarkoittaa, että levyjä on käännetty 45° vastapäivään, jolloin pinnoitettavat kappaleet ovat kohtisuorassa anodeja vastaan. V1 tarkoittaa vaihetta 1 ja V2 vaihetta 2 ja jne. Kuvassa 10 on esitetty anodioiden ja koekappaleiden nimeäminen. Tappivaiheet on nimetty pinnoitettavien tappien lukumäärän mukaan.

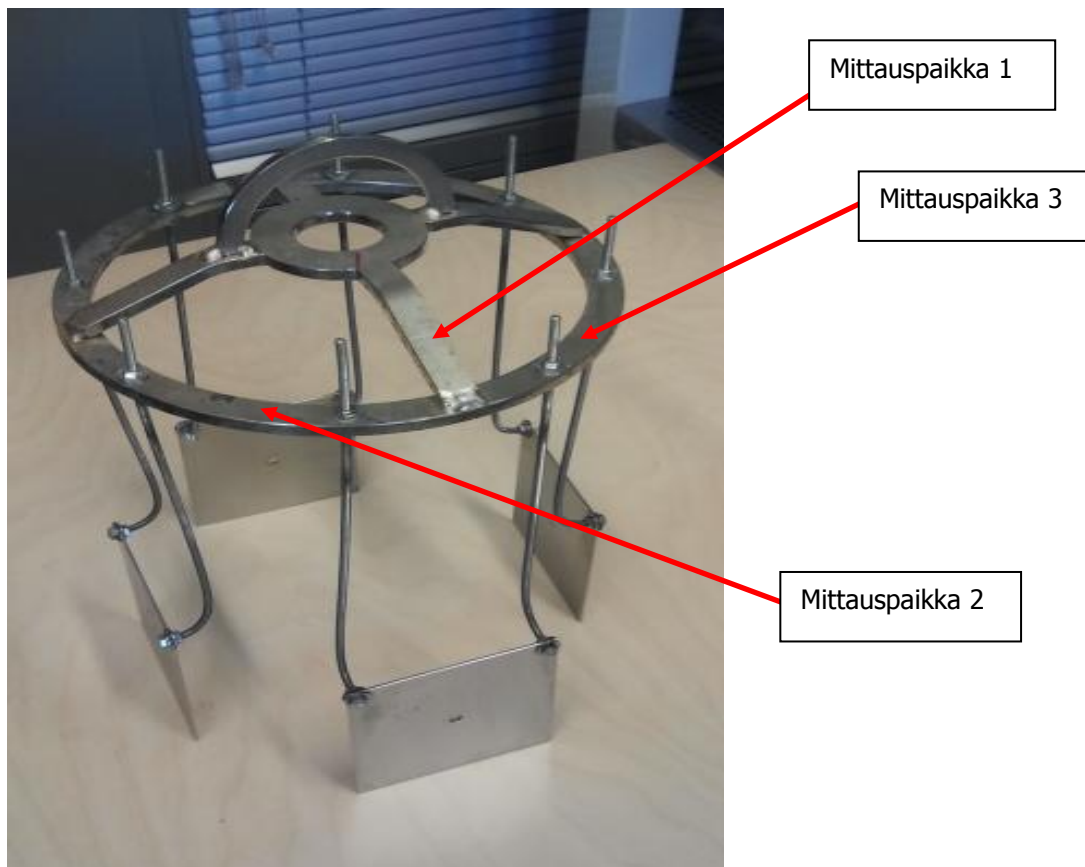


KUVA 10. Levyjen ja anodioiden nimeäminen

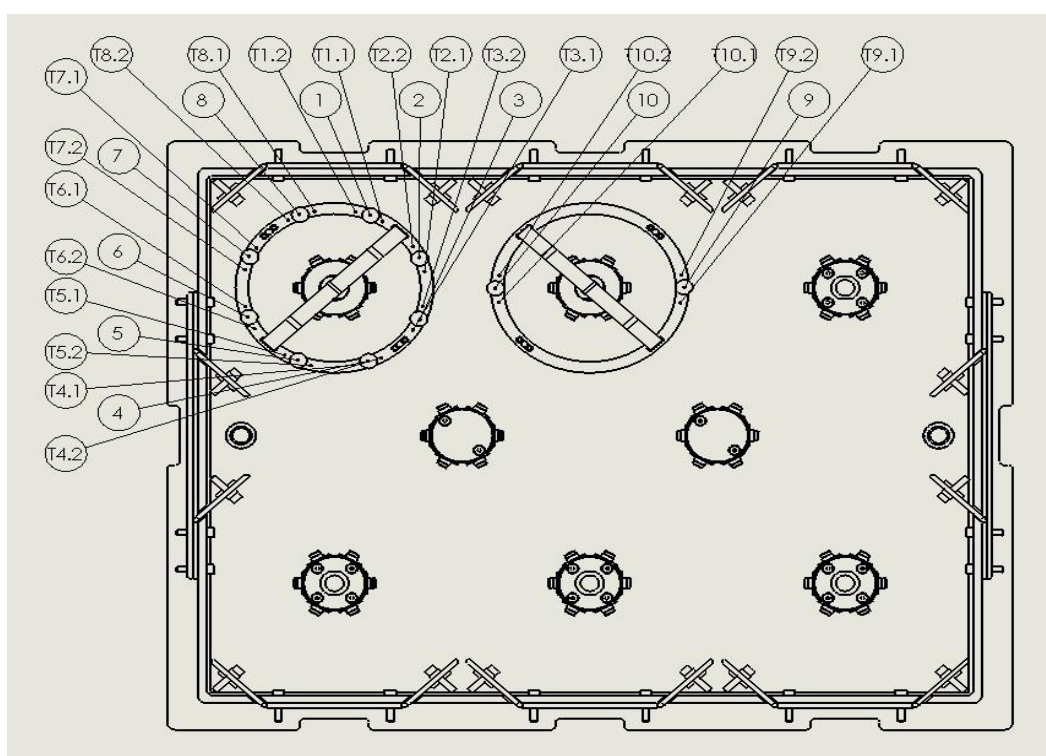
Paikat A1.2, A2.3, A3.2, A4.4, A5.2 ja A6.4 on merkitty punaisella rastilla, koska ne ovat yhteydessä paikkoihin A1.1, A2.4, A3.1, A4.3, A5.1 ja A6.3.

Virran arvot mitattiin jokaisesta anodista sekä levyistä kuvassa 11 esitetyllä tavalla. Mittauksista laskettiin virran jakauma jokaiselle koekappaleelle erikseen. Levyistä tehtiin virtapiirikuvioihin (2, 4,

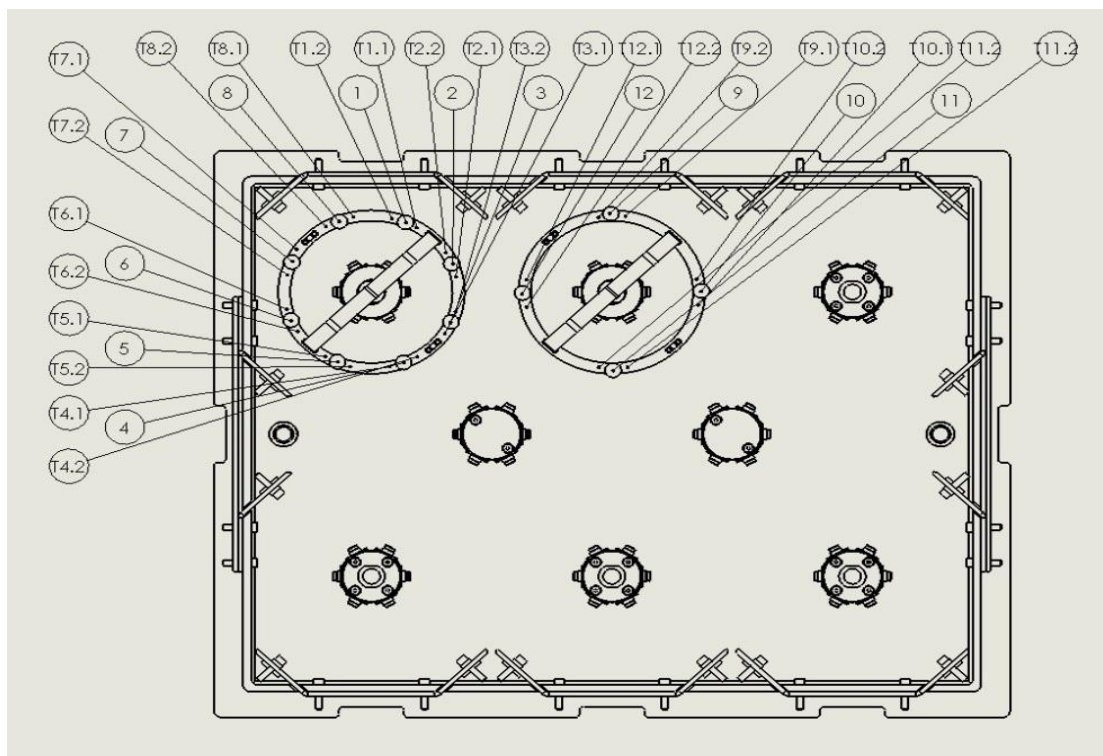
6, 7, 10-12 ja 16-18) on merkitty punaisella viivalla 18,75 A. Punainen viiva kuvaa tilannetta, jossa virta olisi jakaantunut tasan kaikkien kappaleiden välille. Tapeista mittaukset suoritettiin molemmin puolin tappia ja mittauksista laskettiin virranjakauma jokaista tappia kohden. Kuvassa 12 ja 13 on nimetty ja esitetty tapit sekä niiden mittauspaikat.



KUVA 11. Levyn mittauspaikat (Valokuva: Savolainen 2013)



KUVA 12. T82 -vaiheen tappien ja mittauspaikkojen nimeäminen



KUVA 13. T84 -vaiheen tappien ja mittauspaikkojen nimeäminen

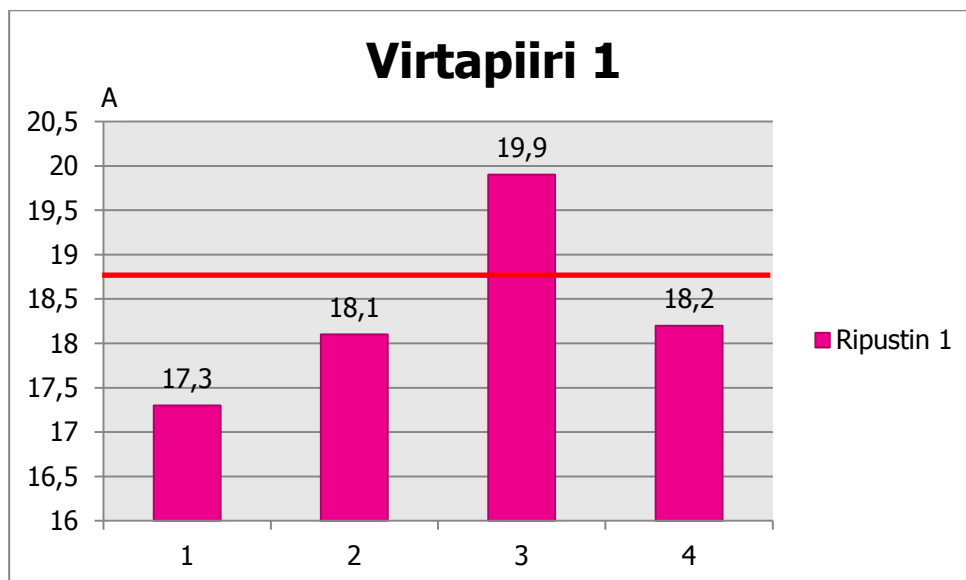
Kylvyä ylläpidettiin jokaisen pinnoitusvaiheen jälkeen, jotta jokaisen vaiheen lähtötilanne olisi mahdollisimman samanlainen ja testitulokset vertailukelpoisia. Kylvyn ylläpidolla tarkoitetaan lisäaineiden lisäystä, joilla säädellään kylvyn koostumusta. Ylläpidossa noudatettiin Atotechin antamia suosituksia.

Levyjen pinnoituksella selvitetään pinnoituksen visuaalista ulkonäköä. Tappien pinnoituksella tutkitaan, kuinka tasainen pinnoite matriisialtaalla saadaan. Levyjä tarkastellaan silmämääräisesti ja ne kuvataan. Tapeista tehdään poikkileikkeet, joista tutkitaan pinnanpaksuudet mikroskoopilla.

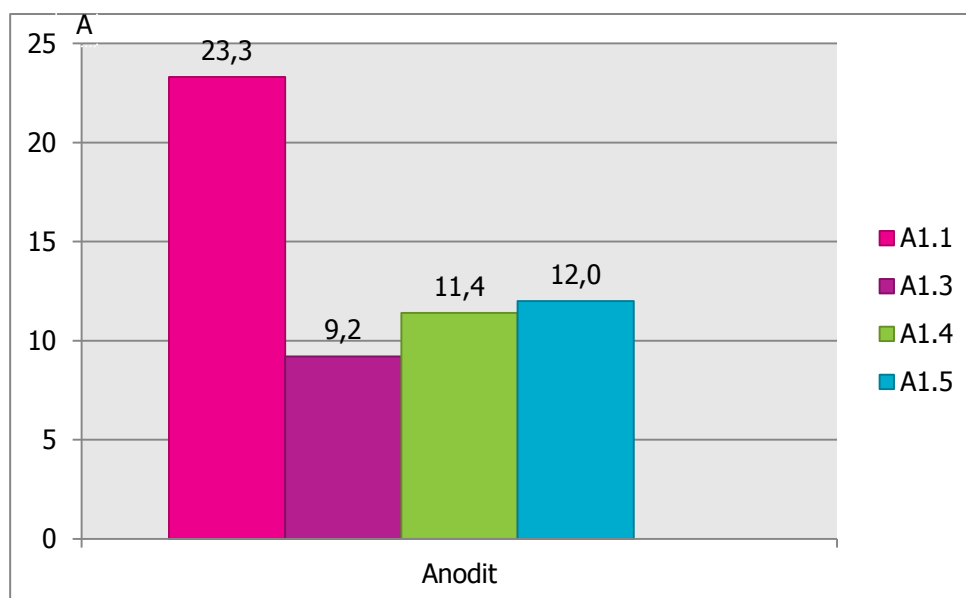
Pinnoituksissa jouduttiin käyttämään hieman optimaalista virrantiheyttä ( $10 \text{ A/dm}^2$ ) pienempää virrantiheyttä ( $9,4 \text{ A/dm}^2$ ) virtalähteiden vuoksi. Käytetty virrantiheys oli kuitenkin raja-arvojen rajoissa ( $8 - 25 \text{ A/dm}^2$ ).

#### 4.1.1 S1V1

Vaiheessa S1V1 allasta testattiin perinteisellä yhden virtapiirin pinnoitustavalla. Vaiheessa S1V1 käytettiin yhtä ripustinta, johon oli ripustettu neljä pinnoitettavaa levyä. Katodivirta vaiheessa 1 oli  $75,7 \text{ A}$ , jonka jakaantuminen koekappaleiden välillä on esitetty kuviossa 2. Kuviossa 3 on esitetty virranjakaantuminen anodien välillä. Kuvasta 14 on esitetty simulaatiomalli virtojen jakaantuminen altaassa sekä levyjen asento.

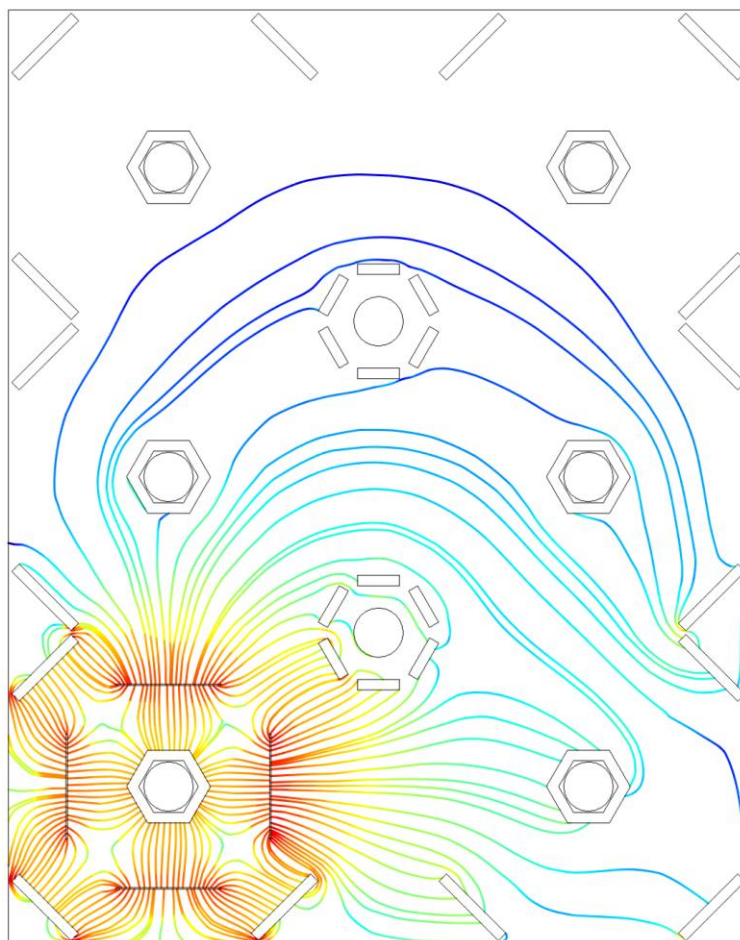


KUVIO 2. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa S1V1



KUVIO 3. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa S1V1



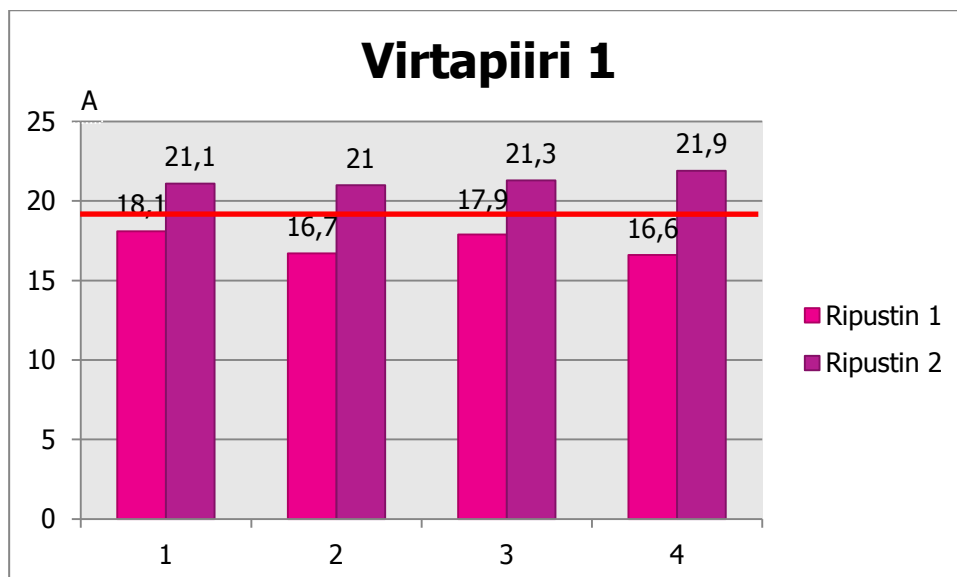


KUVA 14. Vaiheen S1V1 sähkökenttäkuva (Laitinen 2013).

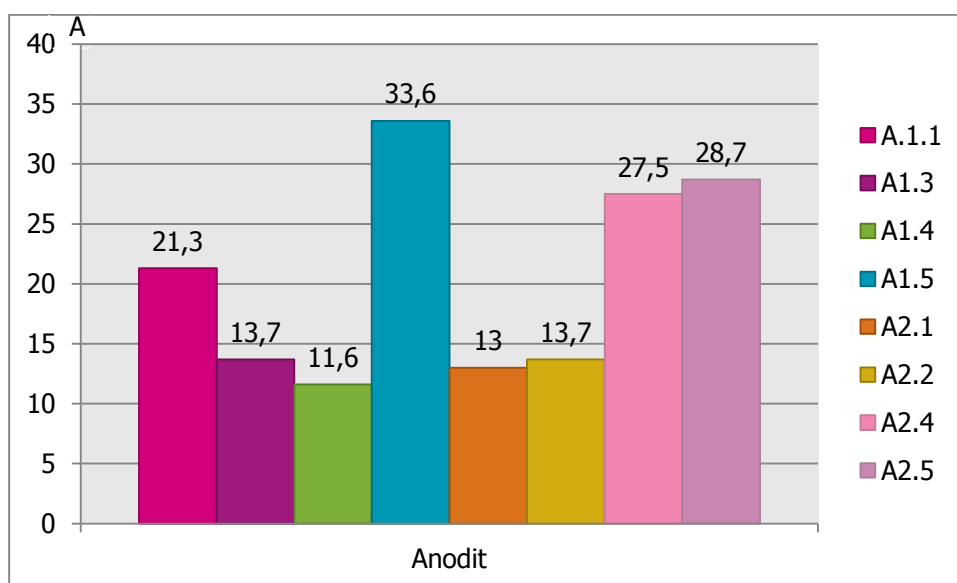
#### 4.1.2 S1V2

Vaiheessa S1V2 testattiin virran jakaantumista ripustimien välillä saman virtapiiriin sisällä.

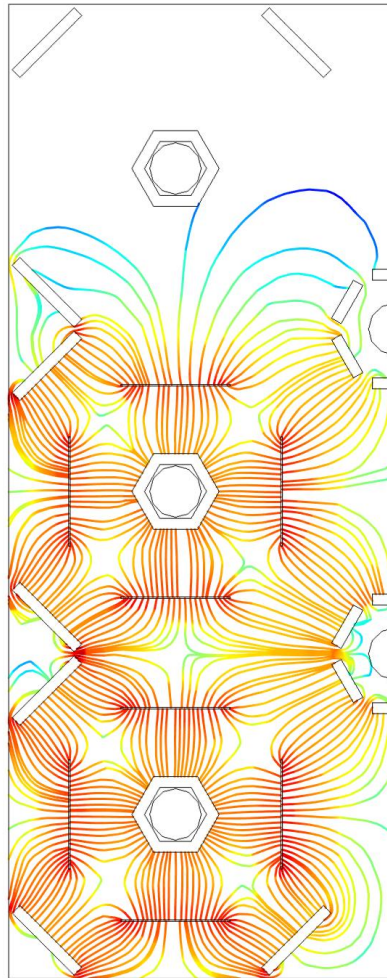
Vaiheessa S1V2 käytettiin kahta ripustinta, joihin oli ripustettu kahdeksan pinnoitettavaa levyä. Katodivirta vaiheessa 2 oli yhteensä 153,7 A, joka jakaantui ripustimien 1 ja 2 välillä siten että ripustimelle 1 meni 69,2 A ja ripustimelle 2 84,5 A. Katodivirran jakaantuminen koekappeleiden välillä on esitetty kuviossa 4. Kuviossa 5 on esitetty virran jakaantuminen anodioiden välillä. Kuvasta 15 on esitetty simulaatiomalli virtojen jakaantuminen altaassa sekä levyjen asento.



KUVIO 4. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa S1V2



KUVIO 5. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa S1V2

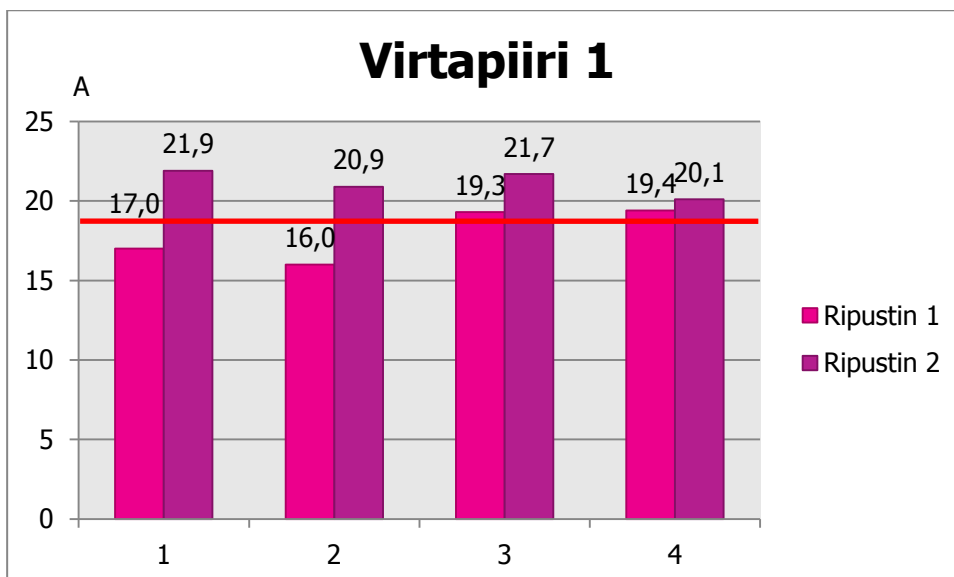


KUVA 15. Vaiheen S1V2 sähkökenttäkuva (Laitinen 2013).

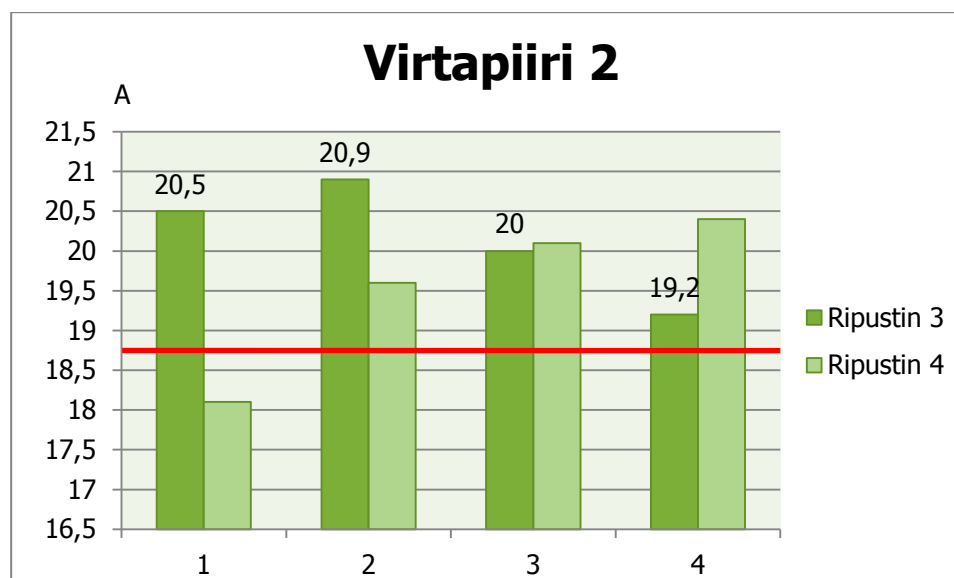
#### 4.1.3 S1V3

Vaiheessa S1V3 testattiin kuinka virta jakaantuu, kun pinnoitetaan kahdella eri virtapiirillä yhtä aikaa. Virtapiiriin 1 kuuluvat ripustimet 1 ja 2, virtapiiriin 2 kuuluvat ripustimet 3 ja 4.

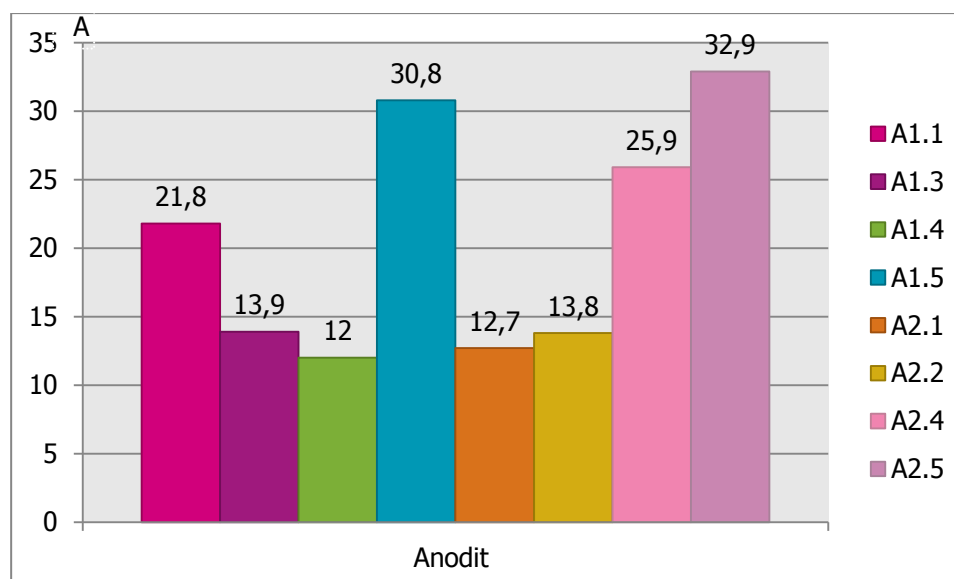
Vaiheessa S1V3 käytettiin neljää ripustinta, joihin oli ripustettu kuusitoista pinnoitettavaa levyä. Virtapiiriin 1 katodivirta oli 152,3 A, joka jakaantui ripustimien 1 ja 2 välillä siten, että ripustimelle 1 meni 71,3 A ja ripustimelle 2 81,0 A. Virtapiiriin 2 katodivirta oli 152,5 A, joka jakaantui ripustimen 3 ja 4 välillä siten, että ripustimelle 3 meni 77,1 A ja ripustimelle 4 75,4 A. Katodivirran jakaantuminen koekappeleiden välillä on esitetty kuvioissa 6 ja 7. Kuvioissa 8 ja 9 on esitetty virran jakaantuminen anodien välillä. S1V3 vaiheen simulointimalli on muuten samanlainen kuin S1V2, mutta ripustimia on neljä kappaletta. Kuva 15 on puolet vaiheen S1V3 mallista.



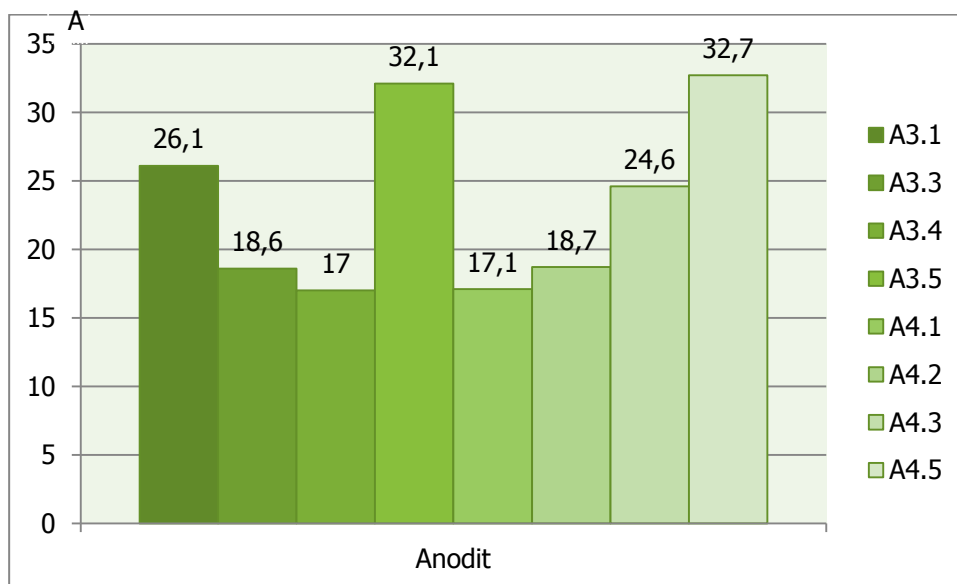
KUVIO 6. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa S1V3



KUVIO 7. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa S1V3



KUVIO 8. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa S1V3

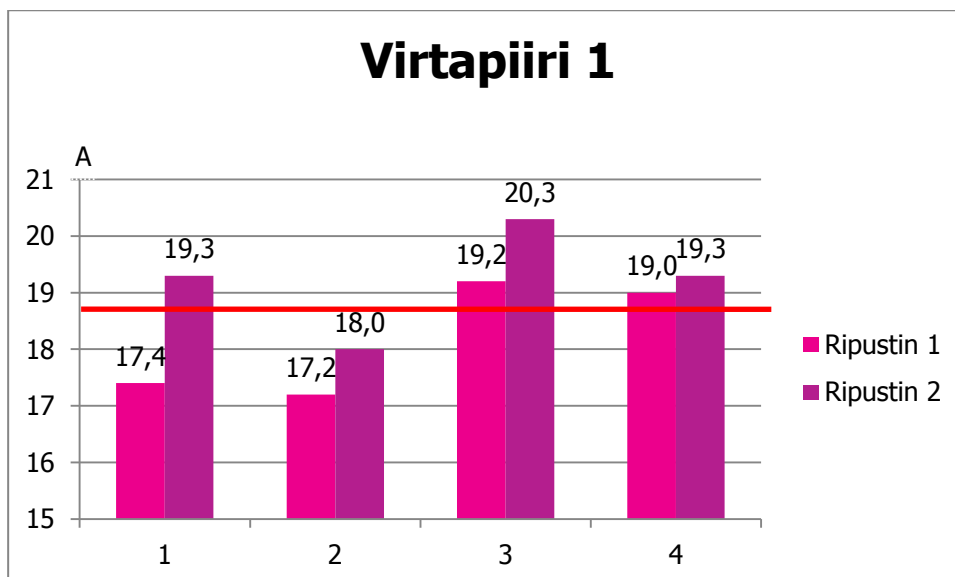


KUVIO 9. Virran jakaantuminen anodioiden välillä vaiheessa S1V3

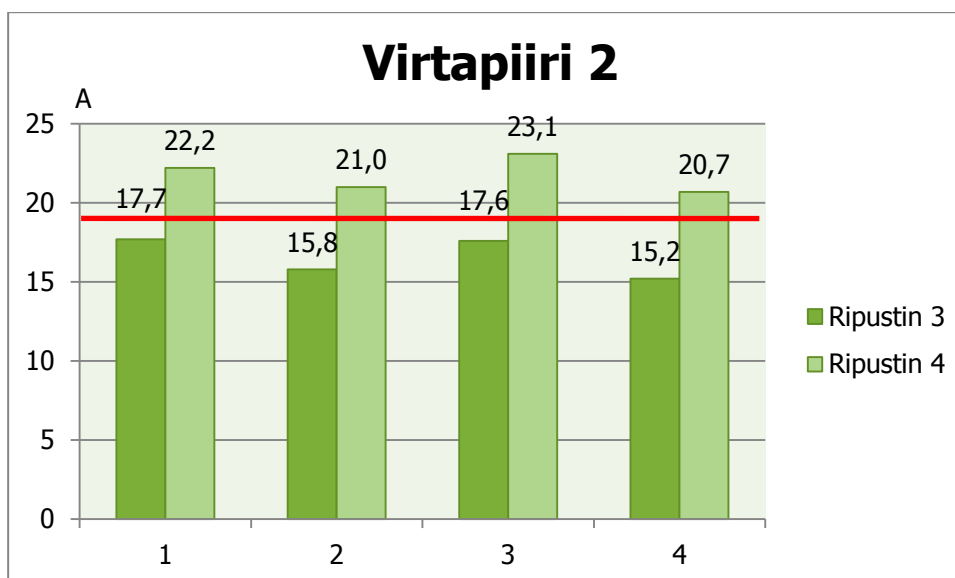
#### 4.1.4 S1V4

Vaiheessa S1V4 testattiin kuinka virta jakaantuu, kun pinnoitetaan kolmella eri virtapiirillä yhtä aikaa. Virtapiiriin 1 kuuluvat ripustimet 1 ja 2, virtapiiriin 2 kuuluvat ripustimet 3 ja 4 sekä virtapiiriin 3 kuuluvat ripustimet 5 ja 6.

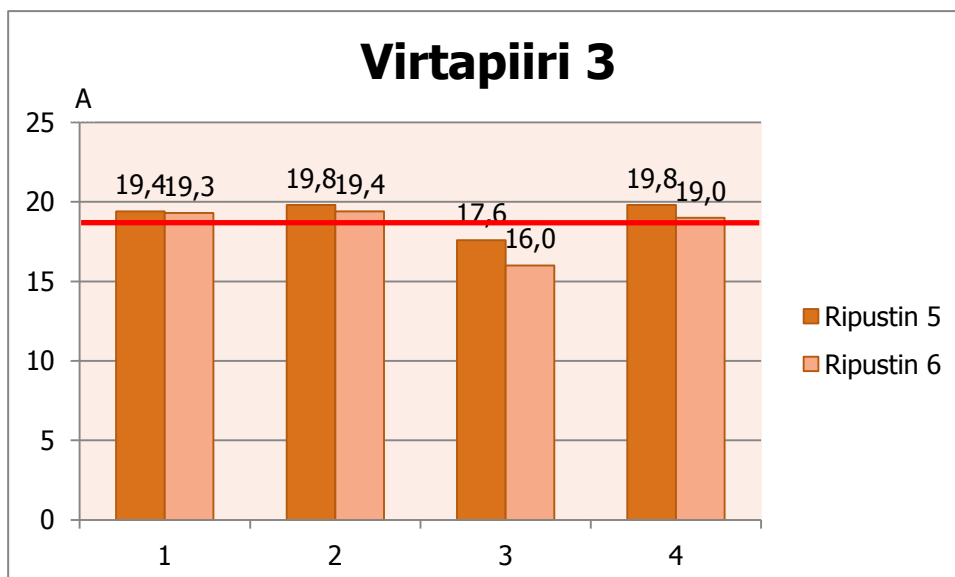
Vaiheessa S1V4 käytettiin kuutta ripustinta, johon oli ripustettu kaksikymmentäneljä pinnoitettavaa levyä. Virtapiiriin 1 katodivirta oli 151,8 A, joka jakaantui ripustimien 1 ja 2 välillä siten, että ripustimelle 1 meni 73,8 A ja ripustimelle 2 78,0 A. Virtapiiriin 2 katodivirta oli 150,5 A, joka jakaantui ripustimien 3 ja 4 välillä siten, että ripustimelle 3 meni 72,2 A ja ripustimelle 4 78,3 A. Virtapiiriin 4 katodivirta oli 152,0 A, joka jakaantui ripustimien 5 ja 6 välillä siten, että ripustimelle 5 meni 76,3 A ja ripustimelle 6 meni 75,7 A. Katodivirran jakaantuminen koekappeleiden välillä on esitetty kuvioissa 10, 11 ja 12. Kuvioissa 13, 14 ja 15 on esitetty virran jakaantuminen anodioiden välillä. Kuvassa 16 on esitetty vaiheen S1V4 simulointimallin puolikas simuloinnin hankaluuden vuoksi.



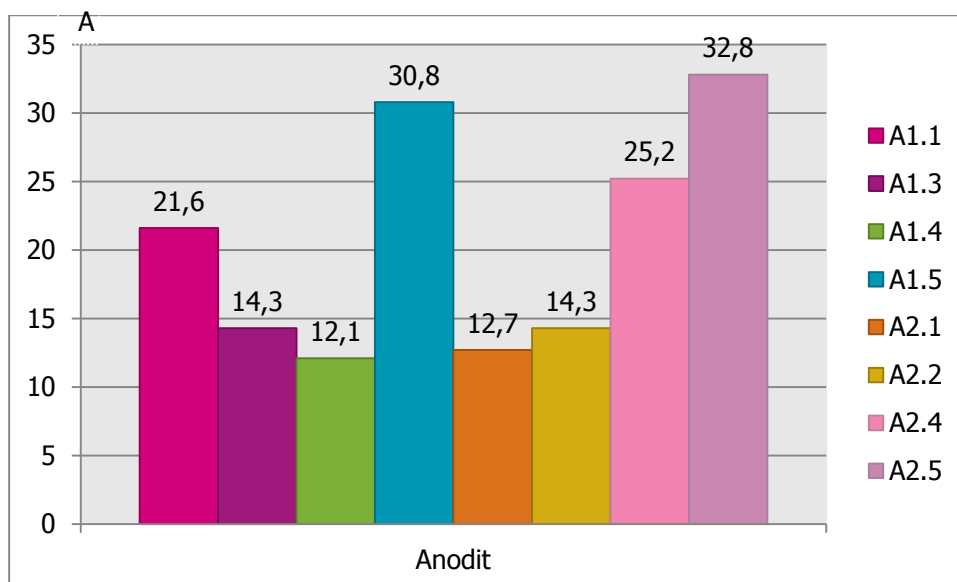
KUVIO 10. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa S1V4



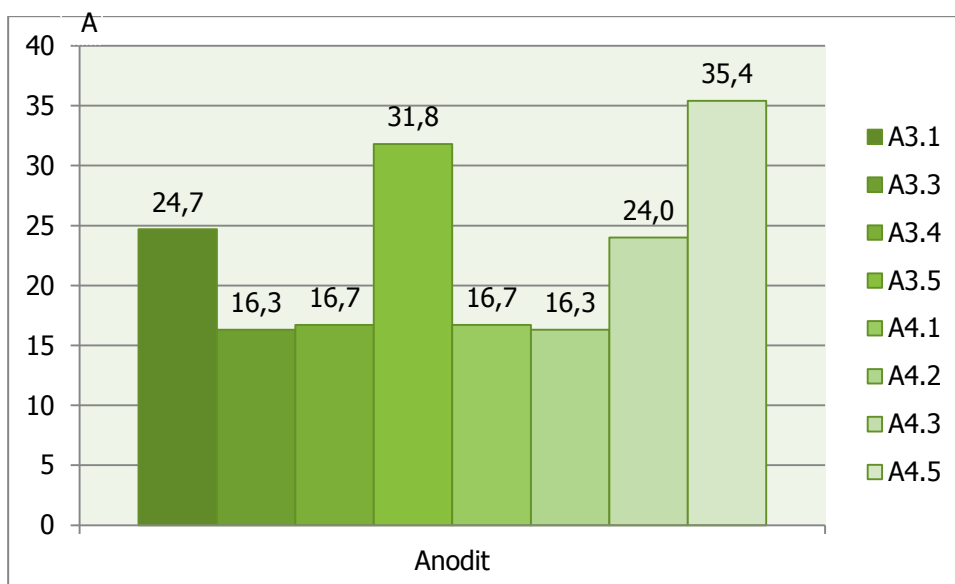
KUVIO 11. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa S1V4



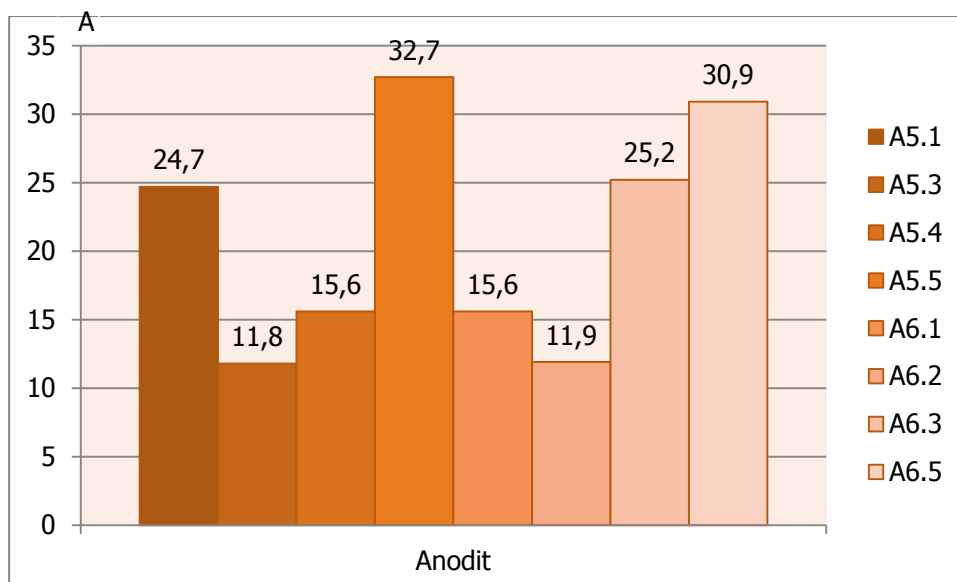
KUVIO 12. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa S1V4



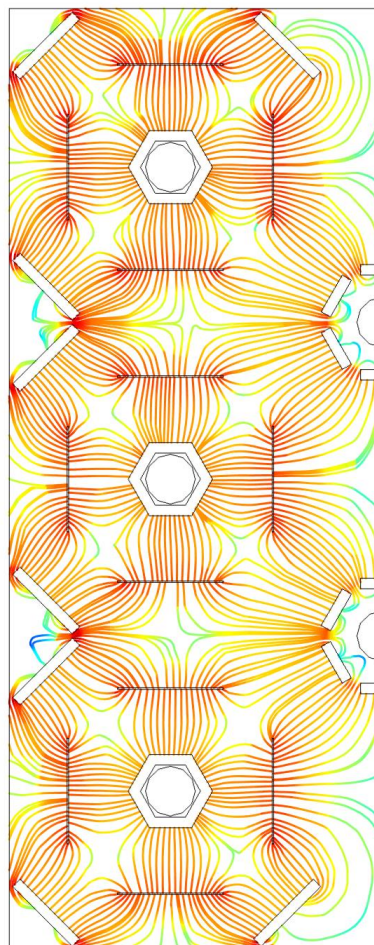
KUVIO 13. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa S1V4



KUVIO 14. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa S1V4



KUVIO 15. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa S1V4



KUVA 16. Vaiheen S1V4 sähkökenttäkuva (Laitinen 2013).

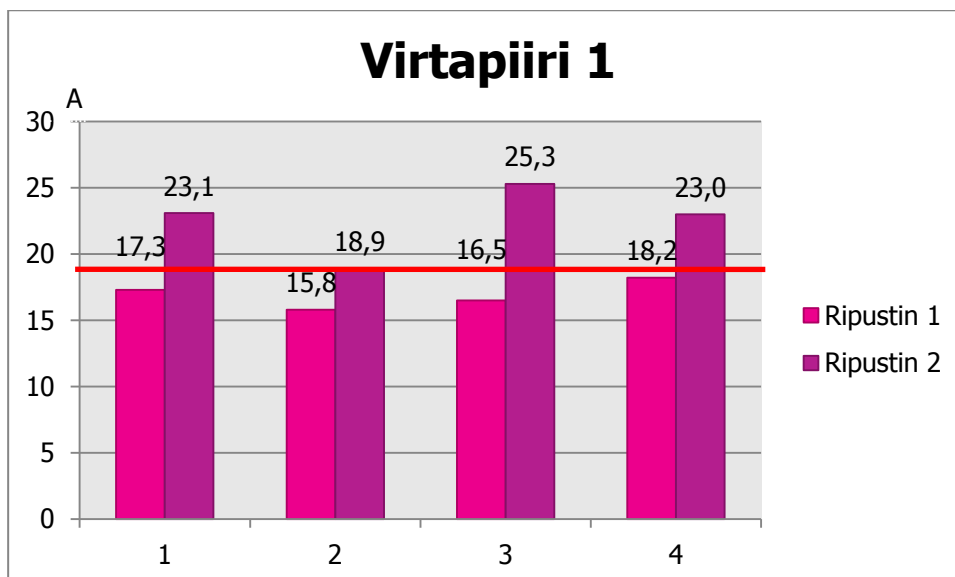
#### 4.1.5 S2V4

Vaiheessa S2V4 testattiin kuinka virta jakaantuu, kun pinnoitetaan kolmella eri virtapiirillä yhtä aikaa. Virtapiiriin 1 kuuluvat ripustimet 1 ja 2, virtapiiriin 2 kuuluvat ripustimet 3 ja 4 sekä virtapiiriin 3 kuuluvat ripustimet 5 ja 6. Vaiheessa S2V4 levyjä käännettiin  $45^\circ$  vastapäivään, jolloin pinnoitettavat kappaleet olivat kohtisuorassa anodeita vastaan.

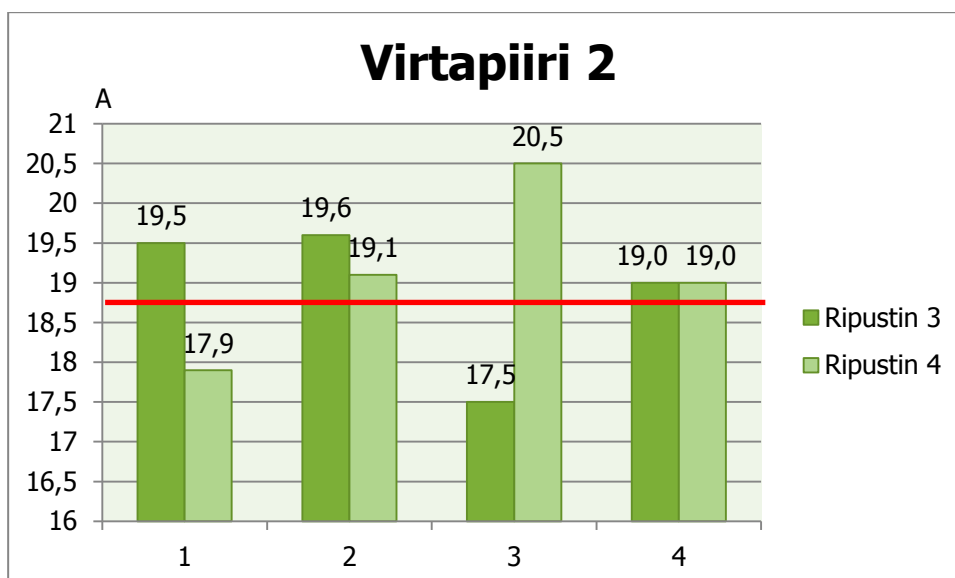
Vaiheessa S2V4 käytettiin kuutta ripustinta, johon oli ripustettu kaksikymmentäneljä pinnoitettavaa levyä. Virtapiirin 1 katodivirta oli 150,6 A, joka jakaantui ripustimien 1 ja 2 välillä siten, että ripustimelle 1 meni 67,4 A ja ripustimelle 2 83,2 A. Virtapiirin 2 katodivirta oli 151,0 A, joka jakaantui ripustimien 3 ja 4 välillä siten, että ripustimelle 3 meni 75,5 A ja ripustimelle 4 75,5 A. Virtapiirin 4 katodivirta oli 152,0 A, joka jakaantui ripustimien 5 ja 6 välillä siten, että ripustimelle 5 meni 77,2 A ja ripustimelle 6 meni 74,8 A.

Katodivirran jakaantuminen koekappaleiden välillä on esitetty kuvioissa 16, 17 ja 18. Kuvioissa 19, 20 ja 21 on esitetty virran jakaantuminen anodiin välillä. Kuvassa 17 on esitetty vaiheen S2V4 simuloitumalla puolikas simuloinnin hankaluuden vuoksi.

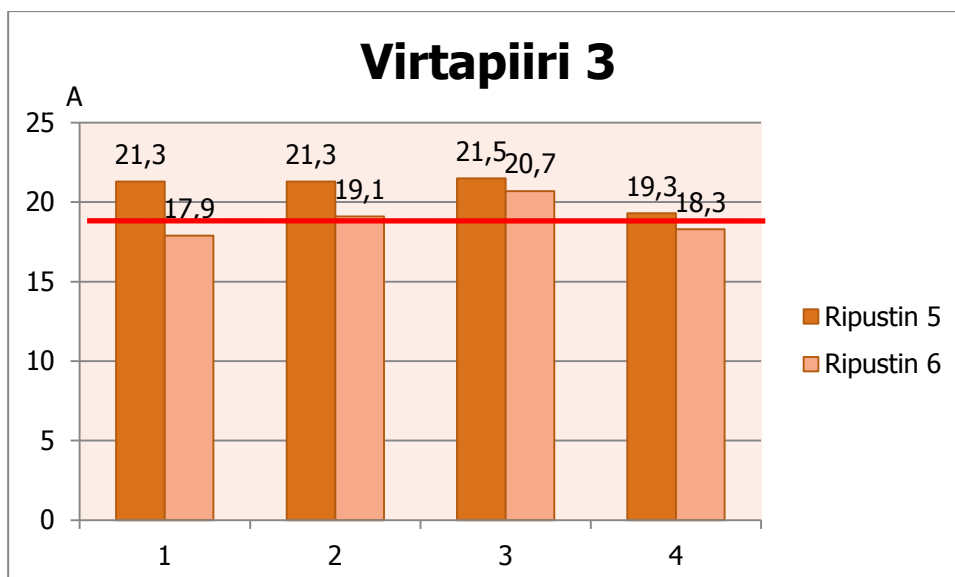




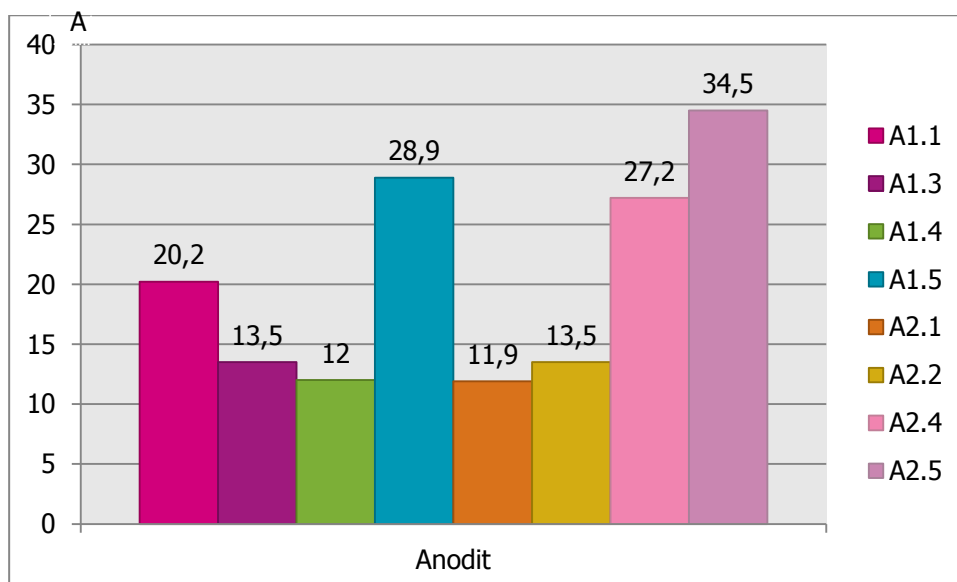
KUVIO 16. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa S1V4



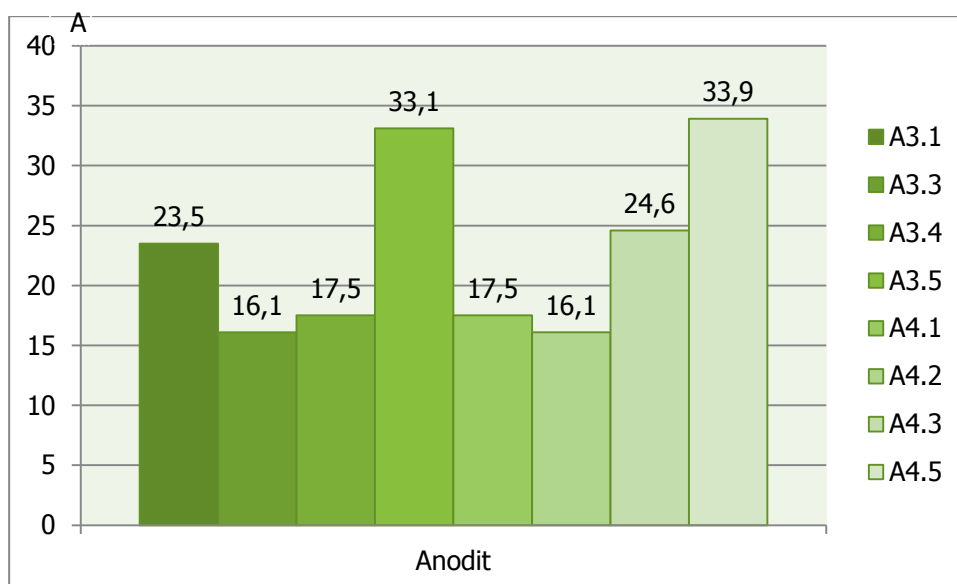
KUVIO 17. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa S1V4



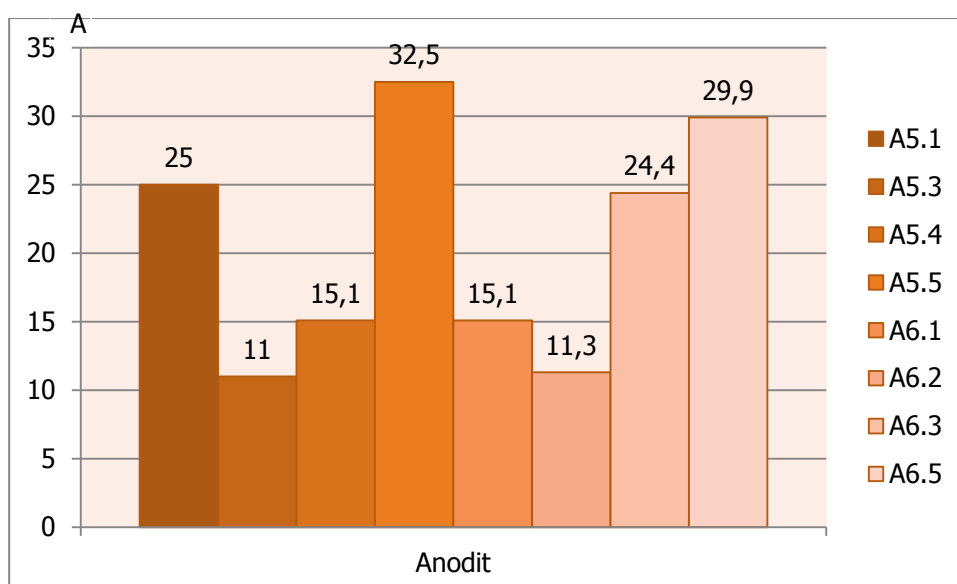
KUVIO 18. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa S1V4



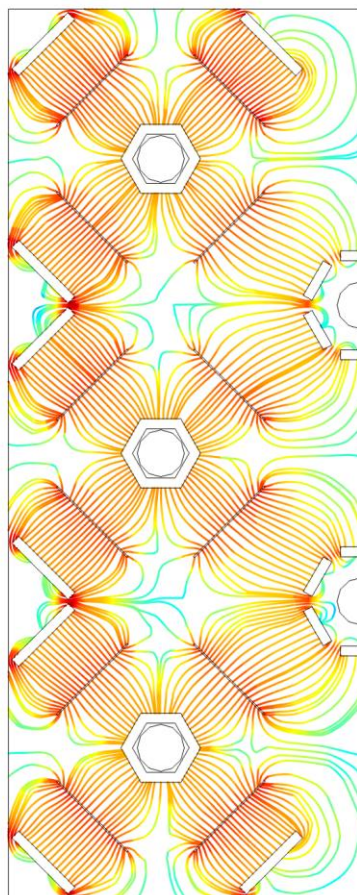
KUVIO 19. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa S1V4



KUVIO 20. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa S1V4



KUVIO 21. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa S1V4



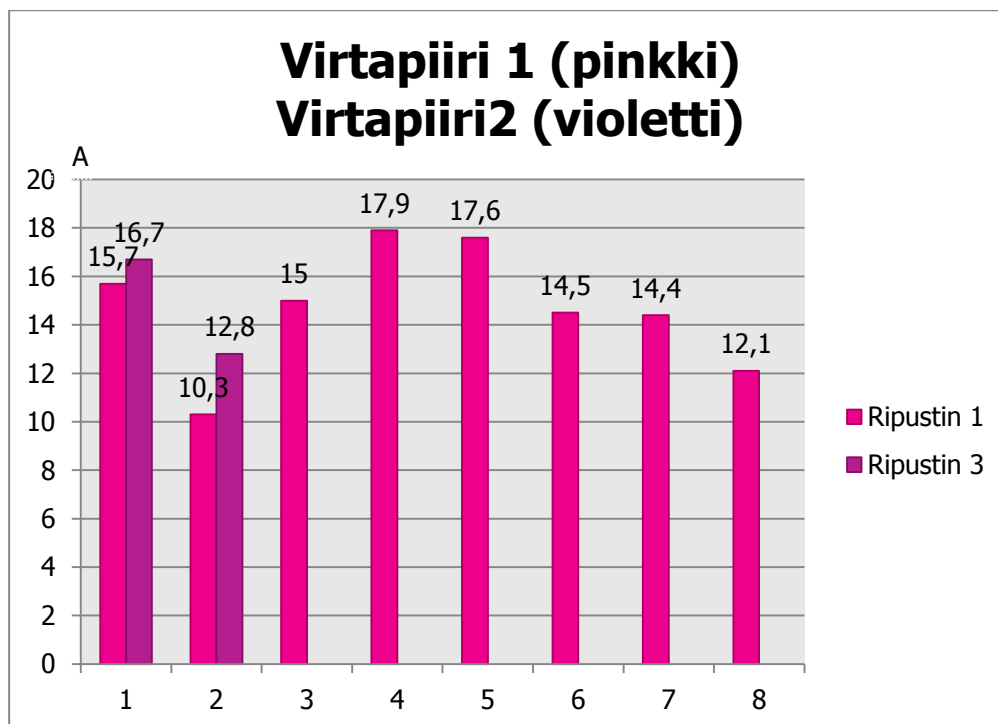
KUVA 17. Vaiheen S2V4 sähkökenttäkuva (Laitinen 2013).

#### 4.1.6 Tapit 8+2

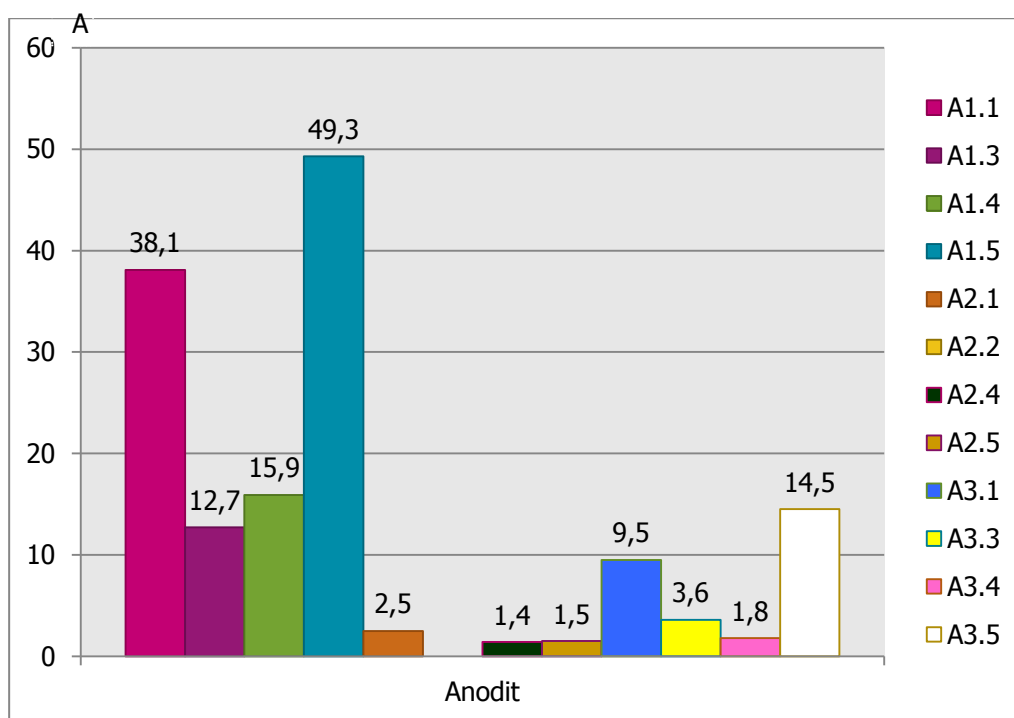
Vaiheessa T82 testattiin, kuinka virta jakaantuu, kun pinnoitetaan kahdella eri virtapiirillä yhtä aikaa ja ripustimien välillä on suuri virtaero. Pinnoitettavien kappaleiden määrä ja pinta-ala määräävät pinnoituksessa käytettävän virran. Tappipinnoitukset suoritetaan pinnoituspaikoilla 1 ja 3.

Vaiheessa T82 käytettiin kahta ripustinta, johon oli ripustettu kymmenen pinnoitettavaa tappia. Ripustimeen 1 oli ripustettu kahdeksan tappia ja ripustimeen 3 oli ripustettu kaksi tappia. Kuvassa 18 on esitetty vaiheen T82 simulointimalli. Kuvasta 18 on myös esitetty tappien sijainti pinnoituksessa.

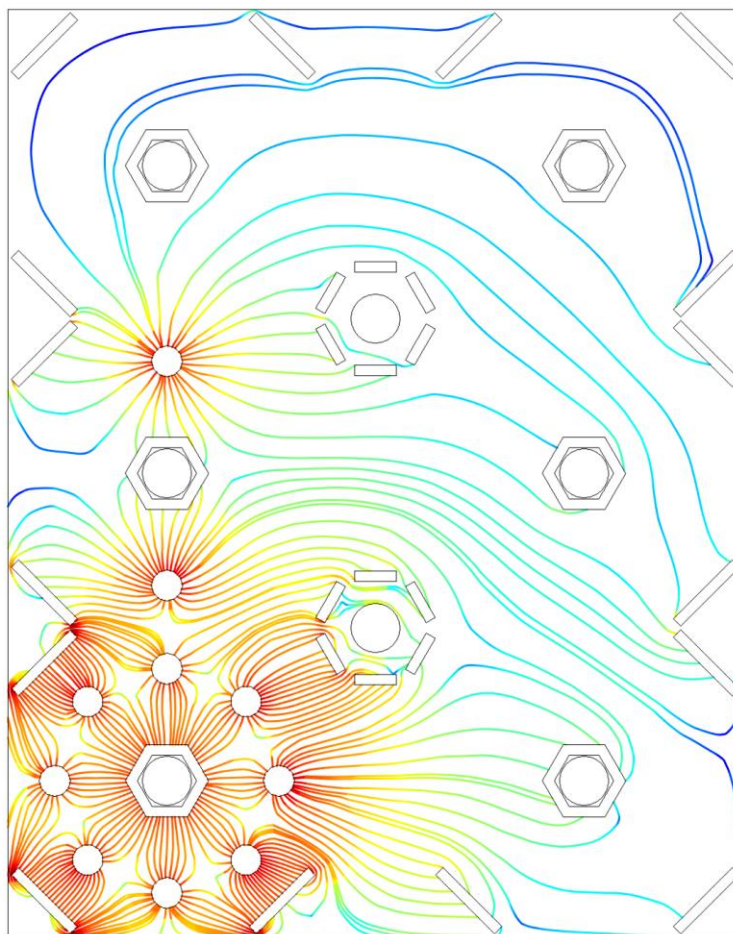
Virtapiirin 1 katodivirta oli yhteensä 122,1 A. Virtapiirin 2 katodivirta oli 30,8 A. Katodivirran jakaantuminen koekappaleiden välillä on esitetty kuviossa 22 ja kuviossa 23 on esitetty virranjakaantuminen anodien välillä.



KUVIO 22. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa T82



KUVIO 23. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa T82



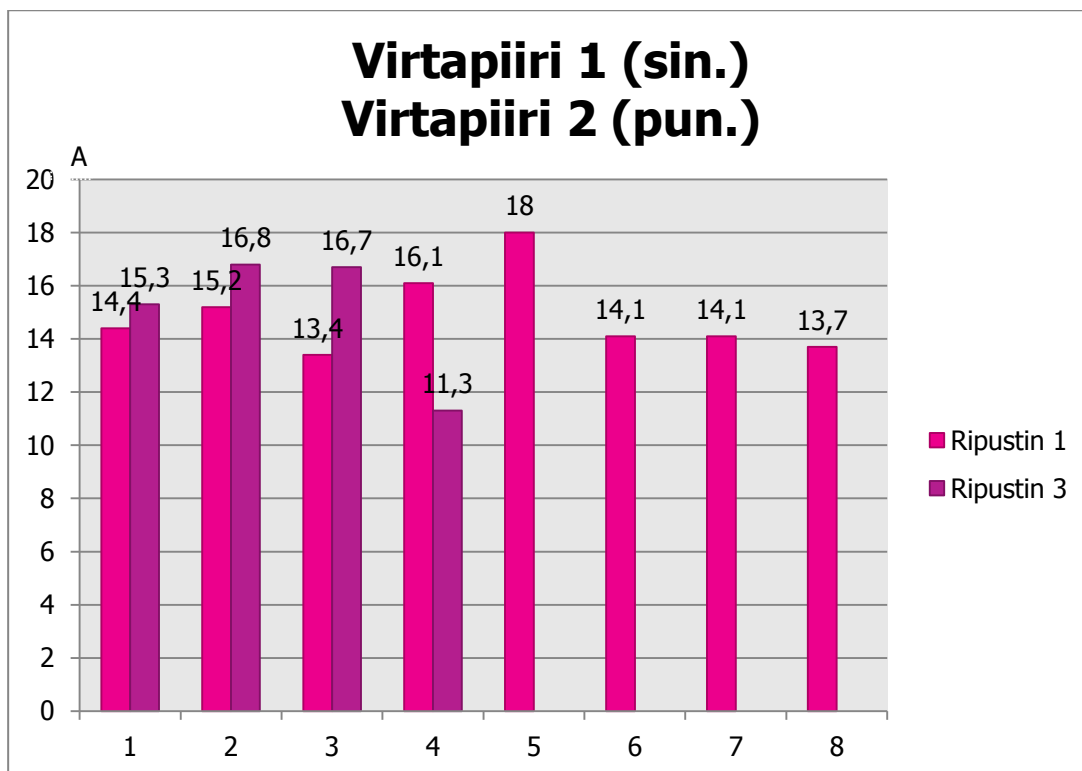
KUVA 18. Vaiheen T82 sähkökenttäkuva (Laitinen 2013).

#### 4.1.7 Tapit 8+4

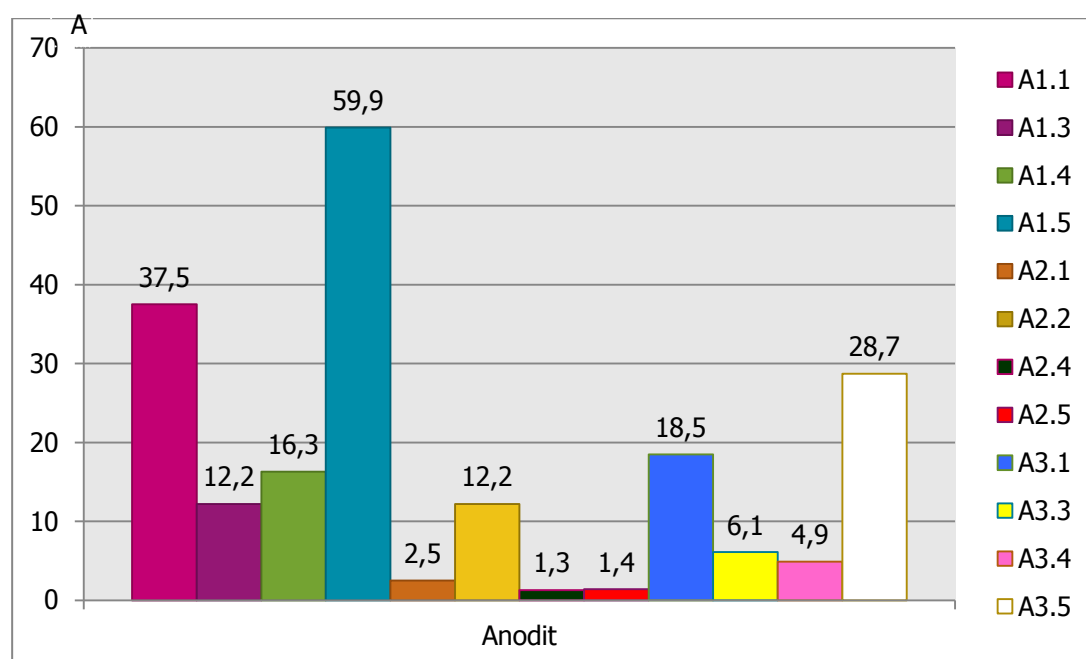
Vaiheessa T84 testattiin kuinka virta jakaantuu, kun pinnoitetaan kahdella eri virtapiirillä yhtä aikaa ja ripustimeen 3 syötetään puolet pienempi virta kuin ripustimeen 1. Pinnoitettavien kappaleiden määrä ja pinta-ala määräävät pinnoituksessa käytettävän virran. Tappipinnoitukset suoritetaan pinnoituspaikoilla 1 ja 3.

Vaiheessa T84 käytettiin kahta ripustinta, johon oli ripustettu kaksitoista pinnoitettavaa tappia. Ripustimeen 1 oli ripustettu kahdeksan tappia ja ripustimeen 3 oli ripustettu neljä tappia. Kuvassa 19 on esitetty vaiheen T82 simulointimalli. Kuvasta 19 on myös esitetty tappien sijainti pinnoituksessa.

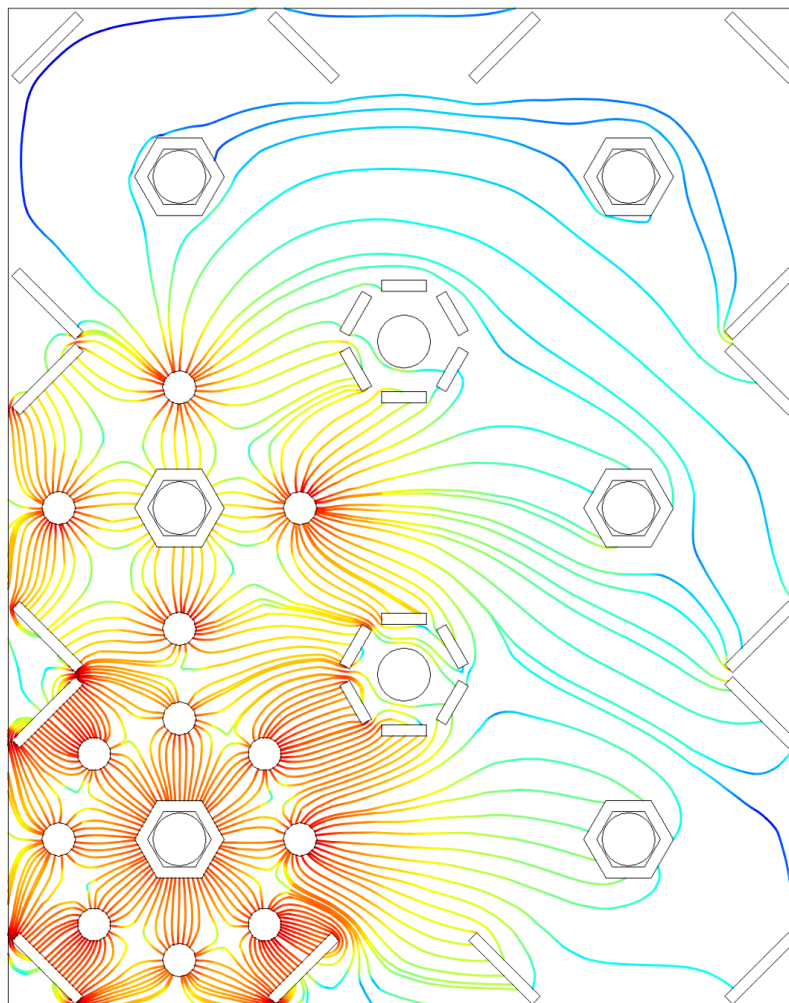
Virtapiirin 1 katodivirta oli yhteensä 121,7 A. Virtapiirin 2 katodivirta oli 60,9 A. Katodivirran jakaantuminen koekappaleiden välillä on esitetty kuviossa 24 ja kuviossa 25 on esitetty virran jakaantuminen anodioiden välillä.



KUVIO 24. Virran jakaantuminen koekappaleiden välillä vaiheessa T84



KUVIO 25. Virran jakaantuminen anodien välillä vaiheessa T84



KUVA 19. Vaiheen T84 sähkökenttäkuva (Laitinen 2013).

#### 4.2 Virtapiirien analysointi

Mittaustuloksia tarkasteltaessa pystytään huomaamaan, että virtapiirien ja virtapiirien sisällä pinnoituspaikkojen välillä on huomattaviakin eroja. Tähän vaikuttavia asioita voivat olla mm. kontaktipinnan puhtaus, kontakti ripustimen ja pinnoituspaikan välillä ja anodiin etäisyydet toisistaan.

Virtapiiriin 1 sisällä pinnoituspaikkojen väliset virtaerot ovat huomattavat. Virtapiirissä 1 on havaittavissa virrankarkailua ripustimelta toiselle. Tästä voidaan päätellä, että pinnoituspaikassa 1 on jonkinlaista ongelmaa, joka johtuu edellä mainituista asioista. Virran jakauma virtapiirissä 1 on  $19 \text{ A} \pm 2,5 \text{ A}$ . Virtapiirissä 2 virranjakauma ei ole aivan yhtä suuri kuin virtapiirissä 1. Myös virtapiirissä 2 oli havaittavissa virrankarkailua ripustimelta toiselle. Virran jakauma virtapiirissä 2 on  $19 \text{ A} \pm 1,5 \text{ A}$ . Virtapiirien 1 ja 2 sisällä ripustimien välillä on jonkin verran virrankarkailua. Kaikesta huolimatta matriisialtaan voidaan todeta toimivan halutulla tavalla.

Virtapiirissä 3 virta jakaantuu tasaisimmin kappaleiden välillä. Siinä virran jakauma on  $19 \text{ A} \pm 1,0 \text{ A}$ . Virtapiiriin 3 voidaan todeta toimineen, kuten oli suunniteltu.

## 5 TULOKSET JA HAVAINNOT

Työssä levyjen pinnoittamisella tutkittiin pinnoitteen visuaalista ulkonäköä. Pinnoittamisen jälkeen levyt kuvattiin etu- ja takapuolelta ja niille tehtiin silmämääräinen tarkastelu. Ennen kuvausta levyt puhdistettiin alkoholilla. Levyjen nimeämisessä on käytetty seuraava periaatetta. Levyn sisäpuoli on pinnoitustornin anodeiden puolella ja levyn ulkopuoli on matriisialtaan laitojen puolella.

Tapeista otetut pinnanpaksuusnäytteet on nimetty seuraavan periaatteen mukaan. Jokaisesta tapista otettiin kaksi näytettä. Näytteet otettiin tapin alalaidasta, joka on merkitty näytteisiin kirjaimella A. Toinen näyte otettiin tapin keskivaiheilta, joka on merkitty näytteisiin kirjaimella Y. T82 tarkoittaa tappipinnoitus, jossa oli toisessa ripustimessa oli kahdeksan tappia ja toisessa kaksi tappia. T84 tarkoittaa tappipinnoitusta, jossa oli toisessa ripustimessa oli kahdeksan tappia ja toisessa neljä tappia. Numero A:n tai Y:n edessä kuvaa tappia, josta näyte on otettu.

### 5.1 Levyjen visuaalinen tarkastelu

S1V1 vaiheen levyt ovat visuaalisesti hyvän näköisiä ja pinnoite on saostunut tasaisesti molemmille puolin levyä. Tästä voidaankin päätellä, että matriisiallas toimii ns. normaalissa pinnoituksessa vähintään yhtä hyvin kuin vanhantyyppinen pinnoitusallas. Kuvat levyistä on esitetty liitteessä 1.

Vaiheiden S1V2 ja S1V3 levyt ovat visuaalisesti hyvän näköisiä kummaltakin puolen levyä. Vaiheen S1V3 muutamista levyistä on havaittavissa reunoilla pientä harmautta. Vaiheen S1V2 kuvat levyistä on esitetty liitteessä 2 ja vaiheen S1V3 levyjen kuvat liitteessä 3.

Suurin osa S1V4 -vaiheen levyistä on visuaalisesti hyvän näköisiä. Jokaisen ripustimen levyssä 2 on havaittavissa tummia pisteitä ja läikkiä. Varsinkin ripustimen 4 levyissä 3 ja 4 on paljon tummia jälkiä levyn sisäpuolella. Ulkopuolelta kaikki levyt ovat visuaalisesti hyvän näköisiä. Levyjen kuvat on esitetty liitteessä 4.

S2V4 -vaiheen levyissä oli jokaisessa ripustimessa levyn sisäpuolella havaittavissa tummia jälkiä. Eri-tyisesti ripustimen 5 levyissä oli paljon tummia pisaran muotoisia jälkiä sisäpuolella, mutta ripustimen 5 levy 4 oli visuaalisesti erittäin hyvän näköinen molemmiin puolin. Ripustimen 6 levyistä on havaittavissa tummia jälkiä kummaltakin puolelta levyä. Levyjen kuvat on esitetty liitteessä 5.

### 5.2 Tappien pinnanpaksuuksien tarkastelu

#### 5.2.1 T82 tappien pinnanpaksuudet ja niiden tarkastelu

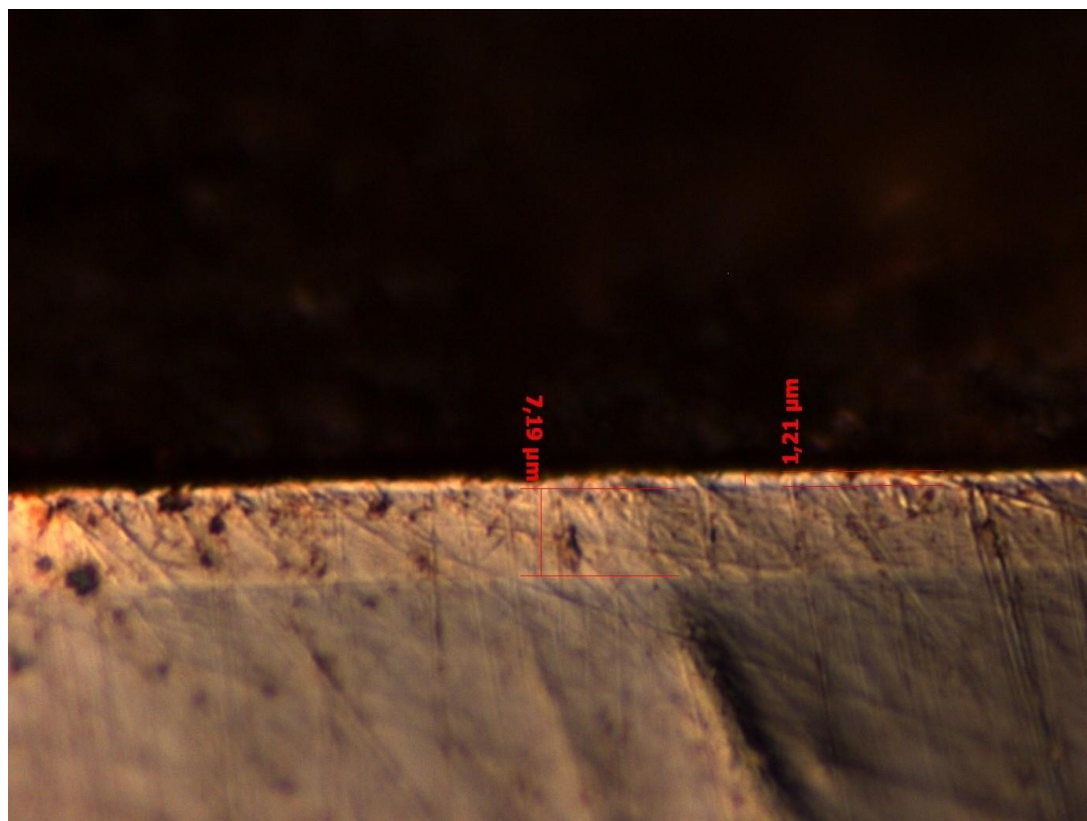
Tappipinnoituksessa T82 kromipinnoitteen paksuus vaihteli välillä 0,8 - 2,0  $\mu\text{m}$ . Atotechin mukaan laskennallisesti pinnoitepaksuuden tulisi olla välillä 1,5 - 2,5  $\mu\text{m}$ . Tapeista saadut pinnoitepaksuudet ovat joissain tapauksissa laskennallista arvoa pienemmät, mutta hieiden valmistusvaiheessa syntyneet laiteongelmat ovat voineet murtaa kromipinnoitetta. Kuvissa 20, 21 ja 22 on esitetty T82 -vaiheessa otettuja pinnoitepaksuusnäytteitä. Tapeista otetuista näytteistä on kuitenkin havaittavissa,



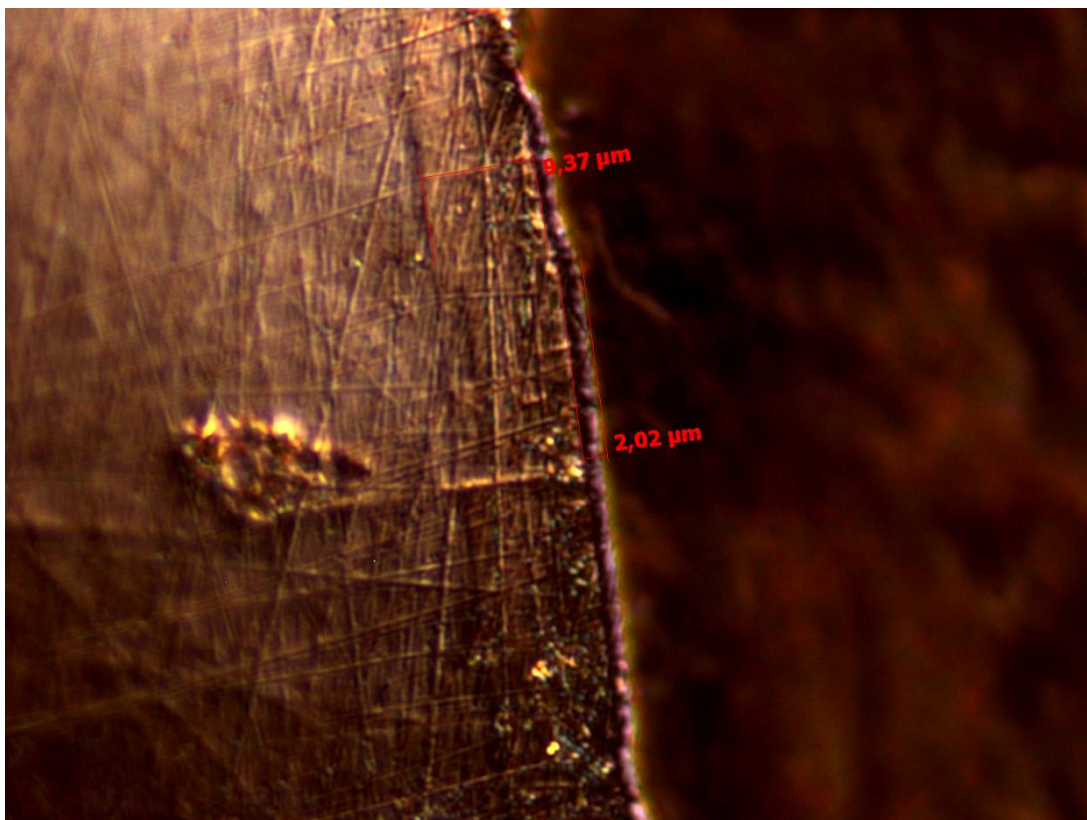
että pinnoittaminen on onnistunut ja kromi on saostunut nikkeli-kerroksen päälle tasaisesti, vaikka virtaero ripustimien välillä oli 90 A.



KUVA 20. T82 5Y pinnoitepaksuusnäyte



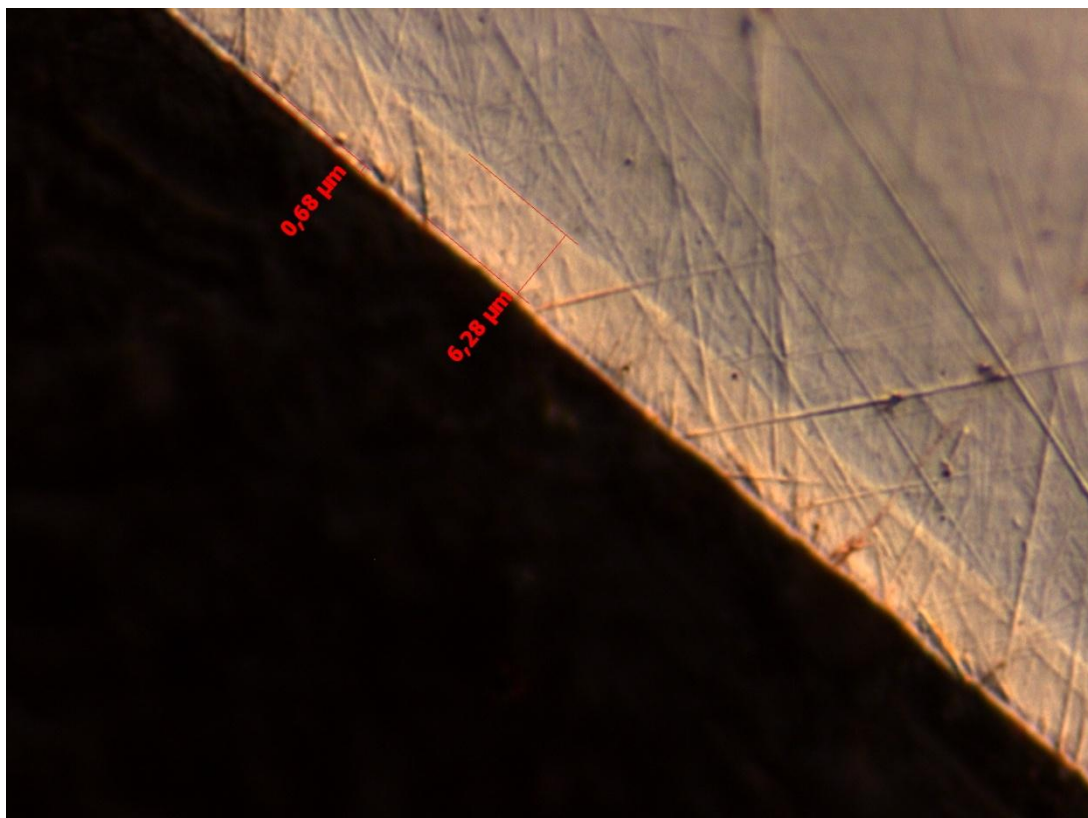
KUVA 21. T82 9A pinnoitepaksuusnäyte



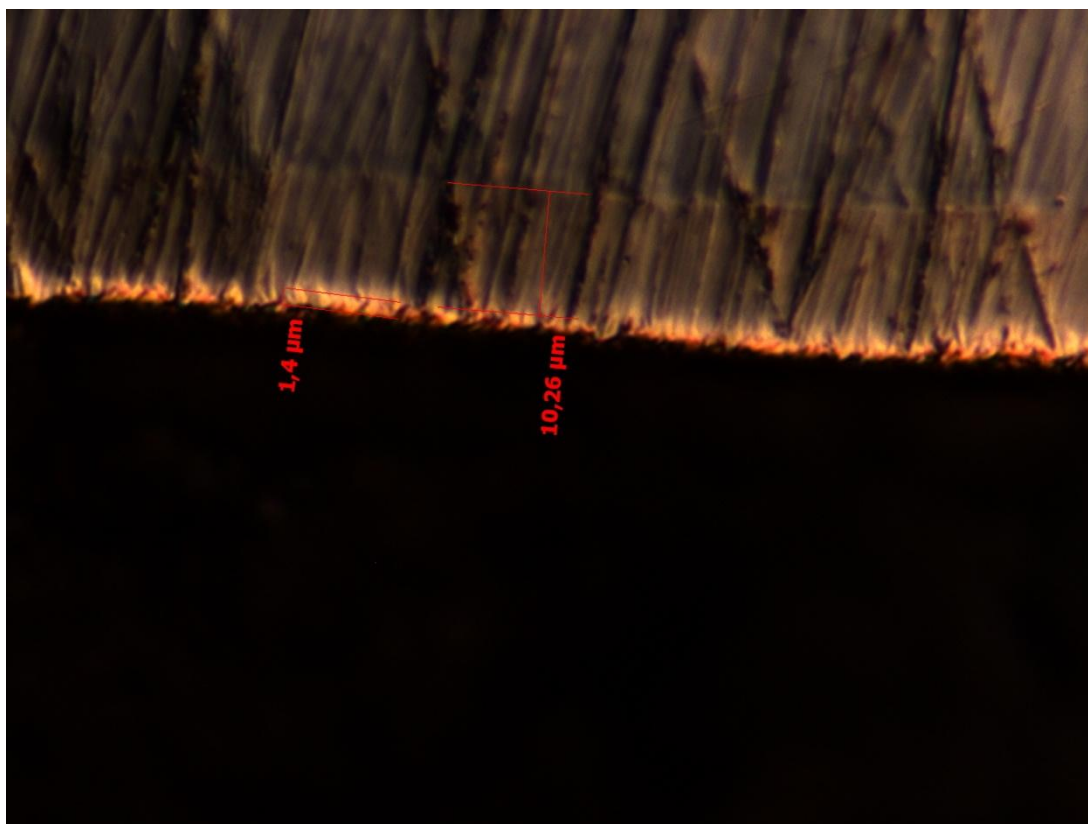
KUVA 22. T82 10Y pinnoitepaksuusnäyte

#### 5.2.2 T84 tappien pinnoitepaksuudet ja niiden tarkastelu

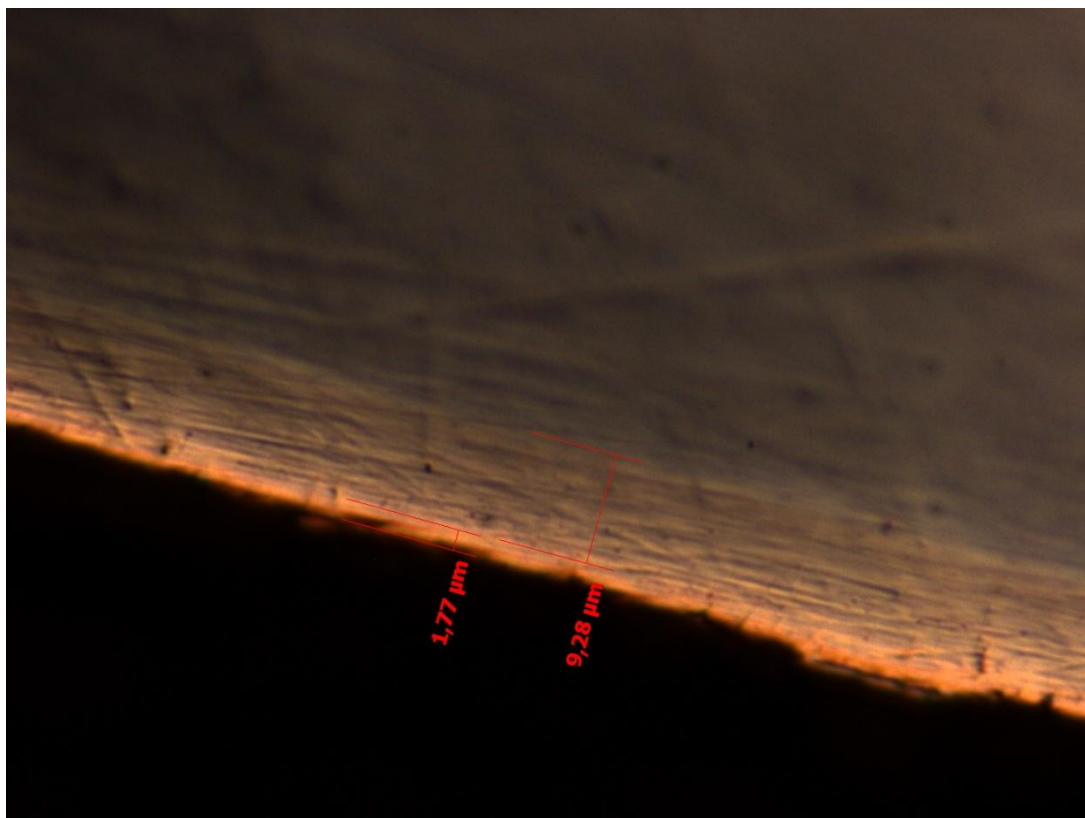
Tappipinnoituksessa T84 kromipinnoitteen paksuus vaihteli välillä 0,7 - 3,1  $\mu\text{m}$ . Atotechin mukaan laskennallisesti pinnoitepaksuuden tulisi olla välillä 1,5 - 2,5  $\mu\text{m}$ . Tapeista saadut pinnoitepaksuudet ovat jossain tapauksissa laskennallista arvoa pienemmät, mutta hieden valmistusvaiheessa syntyneet laiteongelmat ovat voineet murtaa kromipinnoitetta. Kuvissa 23, 24 ja 25 on esitetty T84 -vaiheessa otettuja pinnoitepaksuusnäytteitä. Tapeista otetuista näytteistä on kuitenkin havaittavissa, että pinnoittaminen on onnistunut ja kromi on saostunut nikkelikerroksen päälle tasaisesti, vaikka virtaero ripsutimien välillä oli 60 A.



KUVA 23. T84 1Y pinnoitepaksuusnäyte



KUVA 24. T84 10A pinnoitepaksuusnäyte



KUVA 25. T84 12A pinnoitepaksuusnäyte

### 5.3 Havainnot

#### 5.3.1 Levyjen visuaalinen analysointi

Pinnoitetut levyt olivat visuaalisesti hyvännäköisiä. Pinnoite levyissä oli tasalaatuinen muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Viimeisten S1V4 ja S2V4 pinnoitusten levyistä on huomattavissa sisäpuolella mustia täpliä, jotka johtuvat kylvystä ja sen pienestä epätasapainosta tai levyjen liian pienestä etäisyydestä anodeihin.

Pinnoitteen ulkonäköön vaikutti mm. kylvyn koostumus, virranjakautuma levyllä sekä anodien etäisyys levystä. Suurin yksittäinen syy pinnoitteen ulkonäköeroihin on anodien etäisyys pinnoitettavaan kappaleeseen.

#### 5.3.2 Tappien pinnoitteen paksuuksien analysointi

Tappien pinnanpaksuuksien tutkimisessa suurin yksittäinen virhe syntyy heiden tekovaiheessa laitteistosta. Sahauksen jälkeen havaittiin, että tarkkuussahan terä oli sahannut pinnan hieman vinoksi, minkä vuoksi näytteitä jouduttiin oikaisemaan hiomakoneella. Hiomakoneen vuoksi joidenkin heiden pinnoite oli reunoista hieman murtunut.

Tapeista saatiin kuitenkin tutkittua pinnanpaksuudet ja näytteistä pystyttiin havaitsemaan selkeästi nikkelikerros ja kromikerros. Laskennallisesti kromipinnoitteen paksuuden tulisi olla 1,5 – 2,5 μm.

Kuvista 20-25 nähdään, että kromipinnoitteen paksuus on näytteestä riippuen 0,7 - 2,0  $\mu\text{m}$ . Tästä pystytään toteamaan, että matriisiallas ja pinnoitusprosessi toimivat kuten on tarkoitettukin.

## 6 YHTEENVETO

Matriisialtaan testauksen voidaan sanoa onnistuneen, sillä testauksen aikana saatiin hyviä tuloksia, joiden pohjalta matriisiallasta voidaan kehittää. Opinnäytetyössä saadut tulokset edesauttavat Itä-Suomen yliopistolle tehtävää väitöskirjaa.

Opinnäytetyön tavoitteisiin kuuluivat matriisialtaan testauksen suunnittelu ja sen toteutus. Testauksessa mitattiin virran jakaantumista koekappaleiden ja ripustimien välillä. Levyistä tutkittiin visuaalisesti kromi(III) pinnoitteen ulkonäkö ja tapeista kuvattiin pinnoitepaksuudet.

Työn tuloksina saatiin useita näytteitä matriisialtaan toiminnasta. Levyistä havaittiin, että pinnoitteen ulkonäkö on hyvä. Kuvatuista tapeista nähtiin, että pinnoittekerros on tasainen ja pinnoittekerroksen paksuus on laskennallisten arvojen rajoissa. Näytteistä pystyttiin toteamaan, että matriisiallas toimi suunnitellusti. Testauksen ja analysoinnin aikana huomattiin joitain kehityskohteita, joilla altaan toimintaa pystytään parantamaan sekä saamaan tasalaatuisempia pinnoituksia. Merkittävin kehityskohde tulee olemaan pinnoitettavien kappaleiden ja anodien etäisyyksien vakioiminen pinnoituksen aikana.

Opinnäytetyössä kappaleet pinnoitettiin elektrolyyttisesti kromi(III) -pinnoitetta tasavirtaa käyttäen. Olisi mielenkiintoista tutkia, kuinka pulssivirralla pinnoittaminen onnistuu matriisialtaassa, sillä pulssivirran sovellutuksia on hyödynnetty jo elektrolyyttisessä pinnoittamisessa. Kromi(III) -pinnoitteen sijasta voisi tutkia matriisialtaan soveltuvuutta muillekin pinnoitteille, kuten esimerkiksi nikkelille.

Matriisiallasta ja sen toimintaperiaatetta voidaan mahdollisesti hyödyntää teollisuudessa. Matriisiallas luo joustavuutta pinnotusprosessiin mahdollistaen usean erikokoisen ja -muotoisen kappaleen yhtäaikaisen pinnoittamisen.

## LÄHTEET

ANTTILA, Anna-Maija, KARPPINEN, Maarit, LESKELÄ, Markku, MÖLSÄ, Heini ja POHJAKALLIO, Maija 2008. Tekniikan kemia. Helsinki: Edita.

KOMUSAARI, Harry ja SUOSALMI, Tapio 2003. Kromaus. Saarijärvi: Gummerus kirjapaino Oy.

LAITINEN, Kimmo 2013. Simulointimallien kuvat. Kuopio.

SAVOLAINEN, Petri 2013. Valokuva. Kuopio.

SUOMEN GALVANOTEKNINEN YHDISTYS 1985, Nikkelöinti. Helsinki: Suomen galvanotekninen yhdistys.

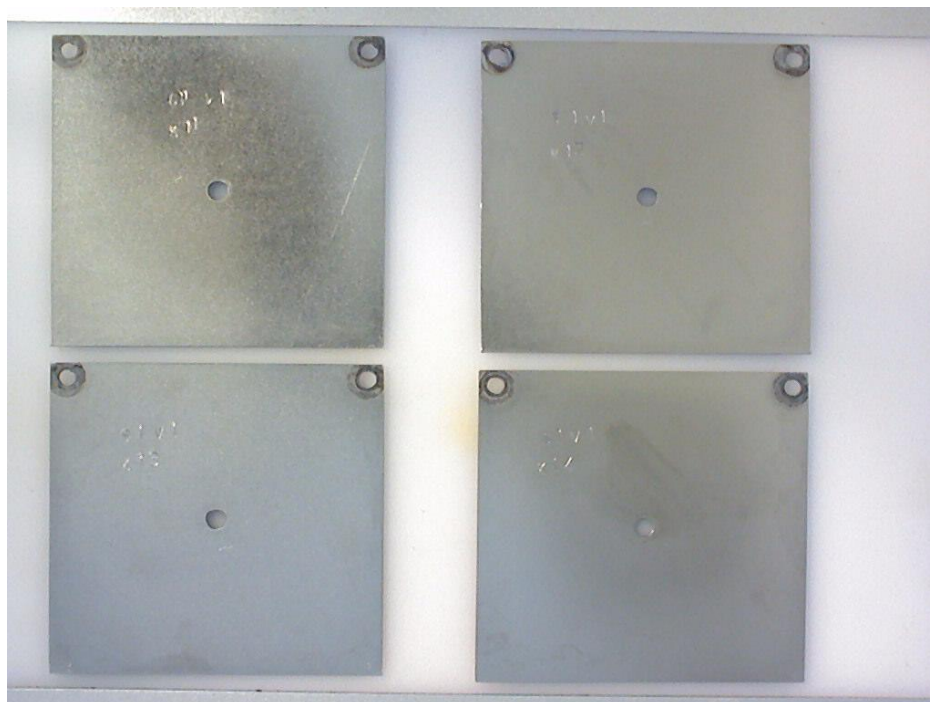
SUOMEN GALVANOTEKNINEN YHDISTYS 1999, Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely osa II. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

SUOMEN GALVANOTEKNINEN YHDISTYS 2001, Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely osa III. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

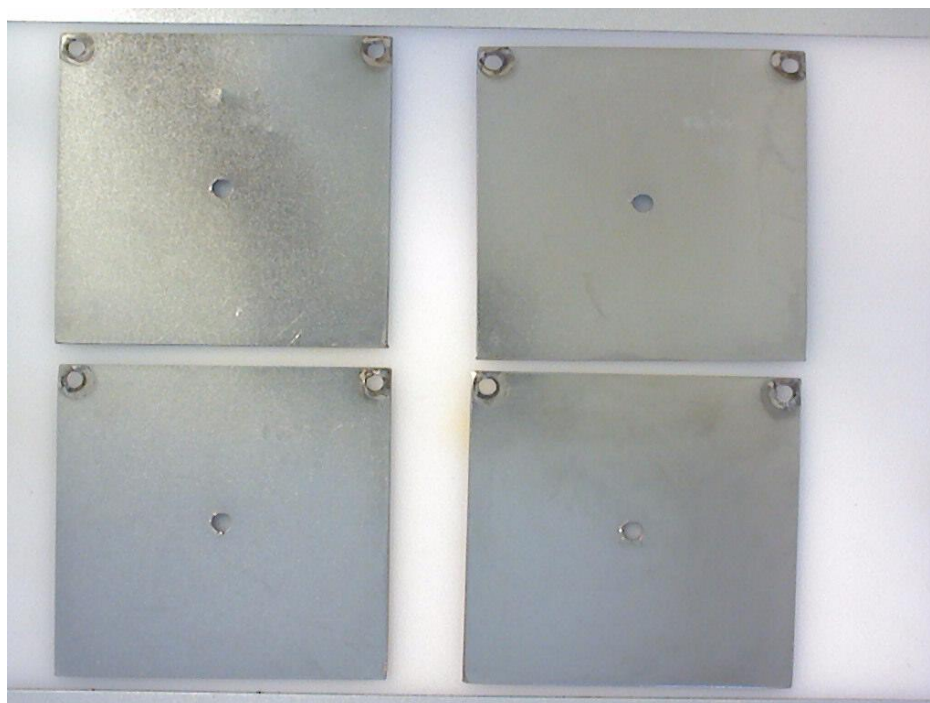
SUOMEN GALVANOTEKNINEN YHDISTYS 2003, Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely osa I. Saarijärvi: Gummerus kirjapaino Oy.

## LIITE 1

## S1V1 LEVYKUVAT



KUVA 1. S1V1, Ripustin 1, ulkopuoli.



KUVA 2. S1V1, Ripustin 1, sisäpuoli.



## LIITE 2

## S1V2 LEVYKUVAT



KUVA 1. S1V2 Ripustin 1, ulkopuoli.



KUVA 2. S1V2 Ripustin 1, sisäpuoli.



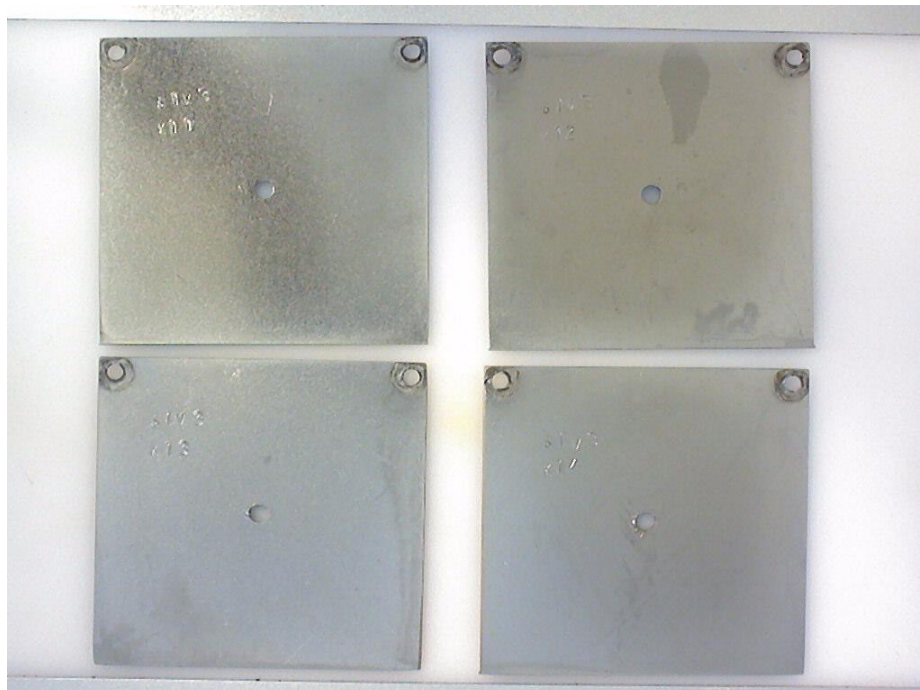
KUVA 3. S1V2, Ripustin 2, ulkopuoli.



KUVA 4. S1V2, Ripustin 2, sisäpuoli.

## LIITE 3

## S1V3 LEVYKUVAT



KUVA 1. S1V3, Ripustin 1, ulkopuoli.



KUVA 2. S1V3, Ripustin 1, sisäpuoli.



KUVA 3. S1V3, Ripustin 2, ulkopuoli.



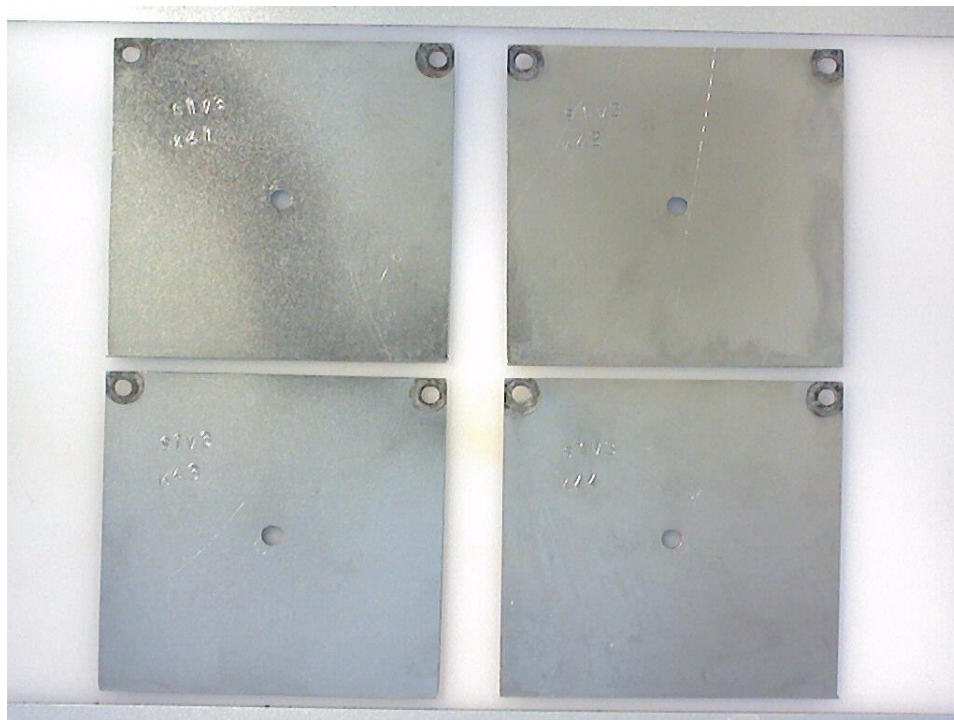
KUVA 4. S1V3, Ripustin 2, sisäpuoli.



KUVA 5. S1V3, Ripustin 3, ulkopuoli.



KUVA 6. S1V3, Ripustin 3, sisäpuoli.



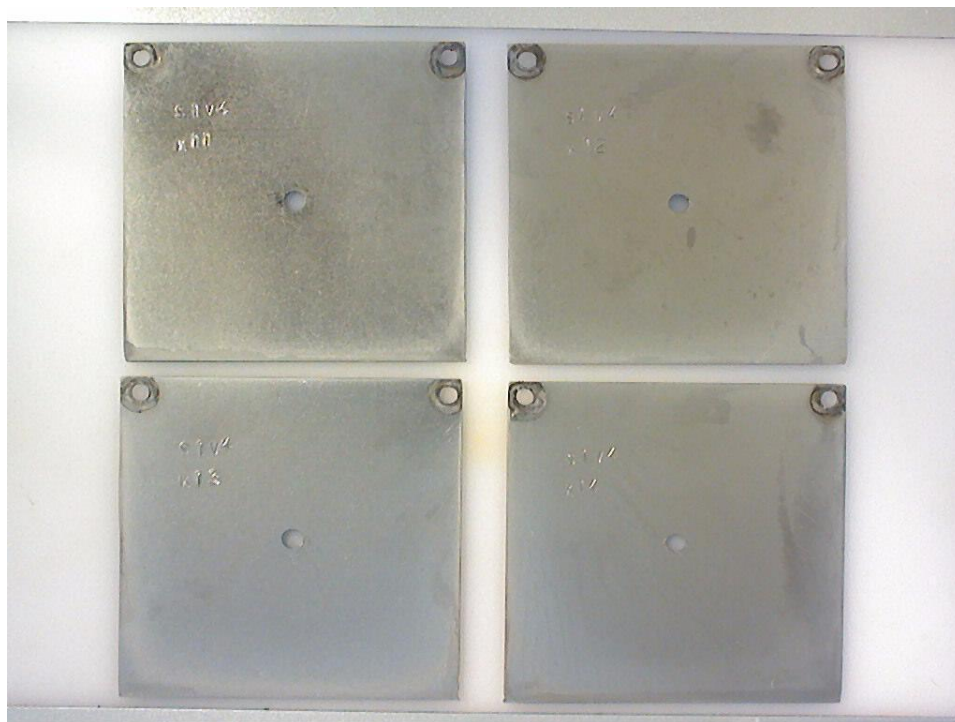
KUVA 7. S1V3, Ripustin 4, ulkopuoli.



KUVA 8. S1V3, Ripustin 4, sisäpuoli.

## LIITE 4

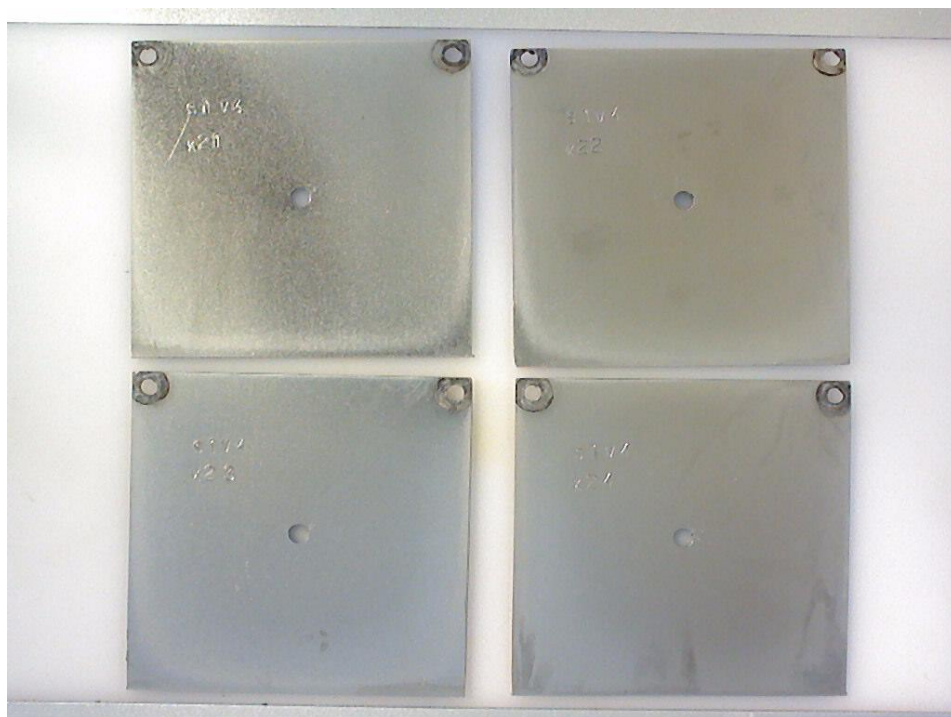
## S1V4 LEVYKUVAT



KUVA 1. S1V4, Ripustin 1, ulkopuoli.



KUVA 2. S1V4, Ripustin 1, sisäpuoli.

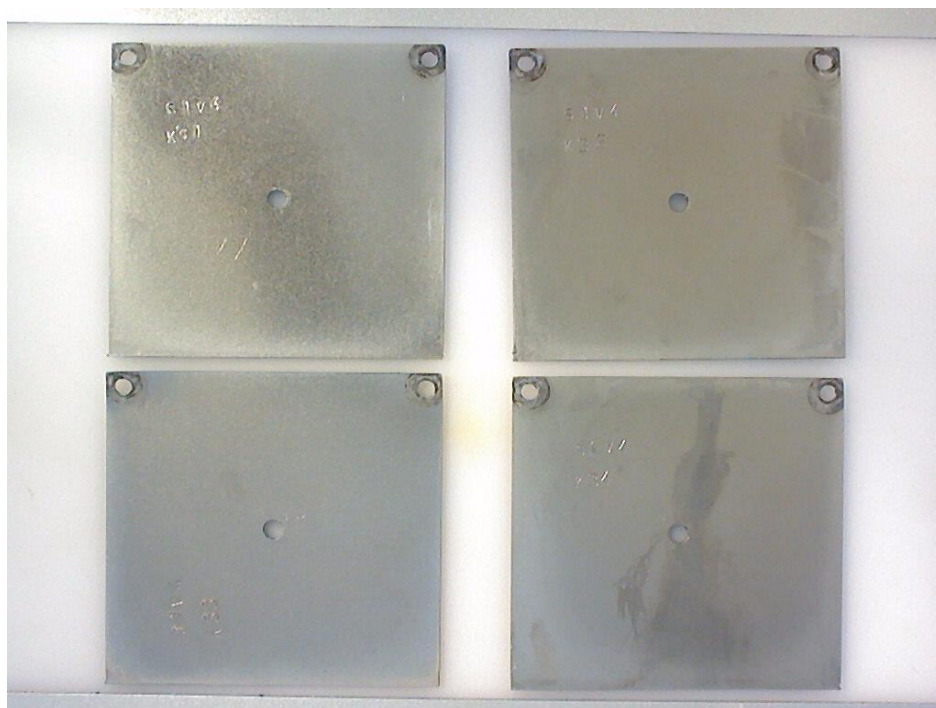


KUVA 3. S1V4, Ripustin 2, ulkopuoli.

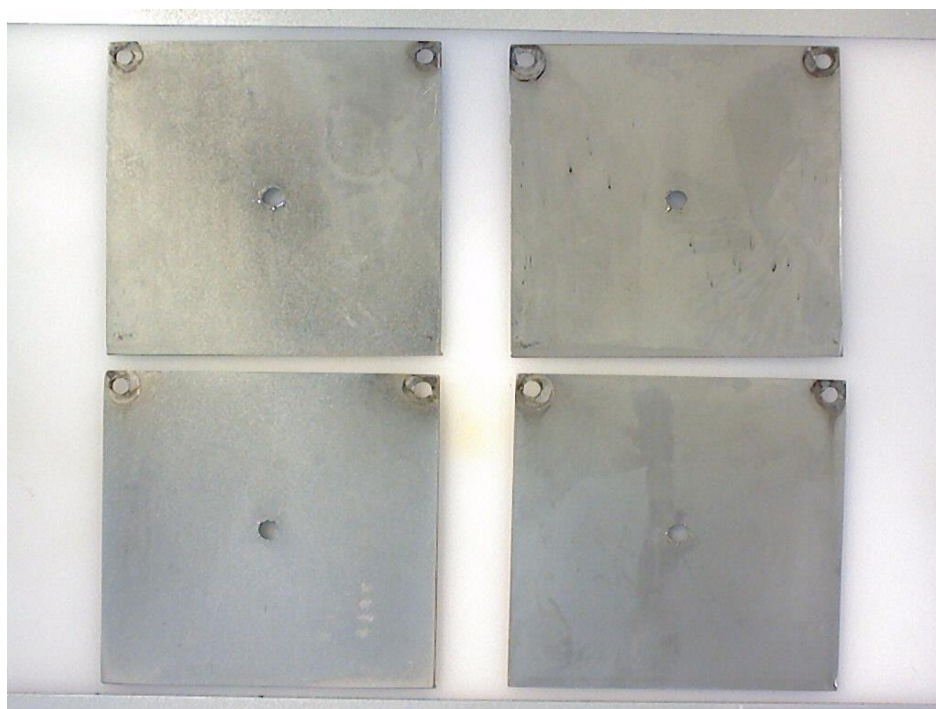


KUVA 4. S1V4, Ripustin 2, sisäpuoli.

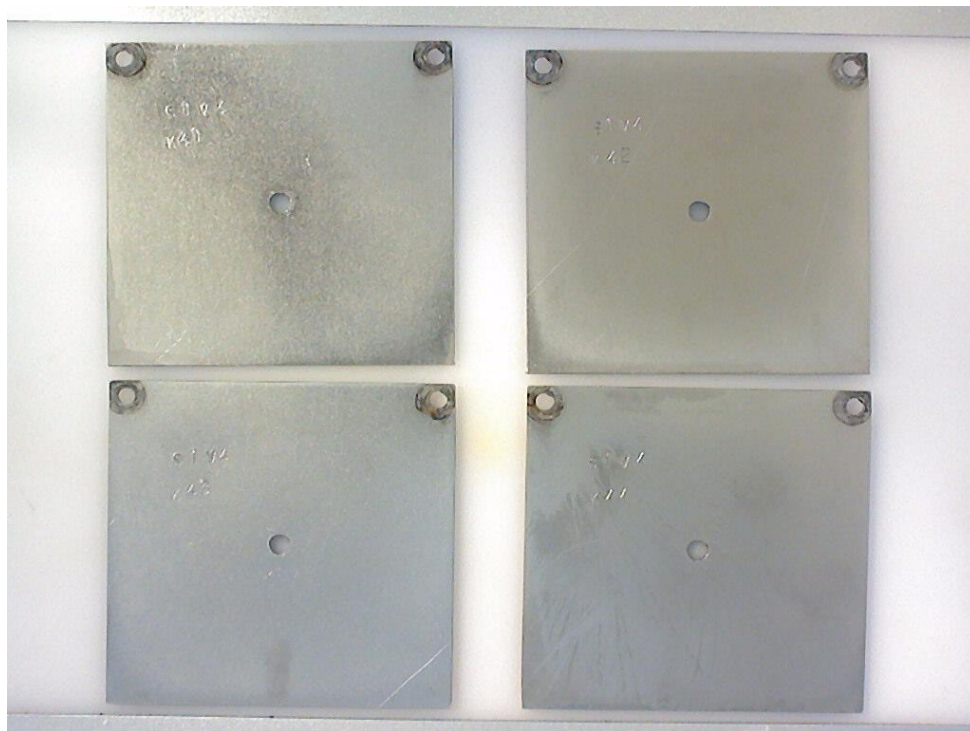




KUVA 5. S1V4, Ripustin 3, ulkopuoli.



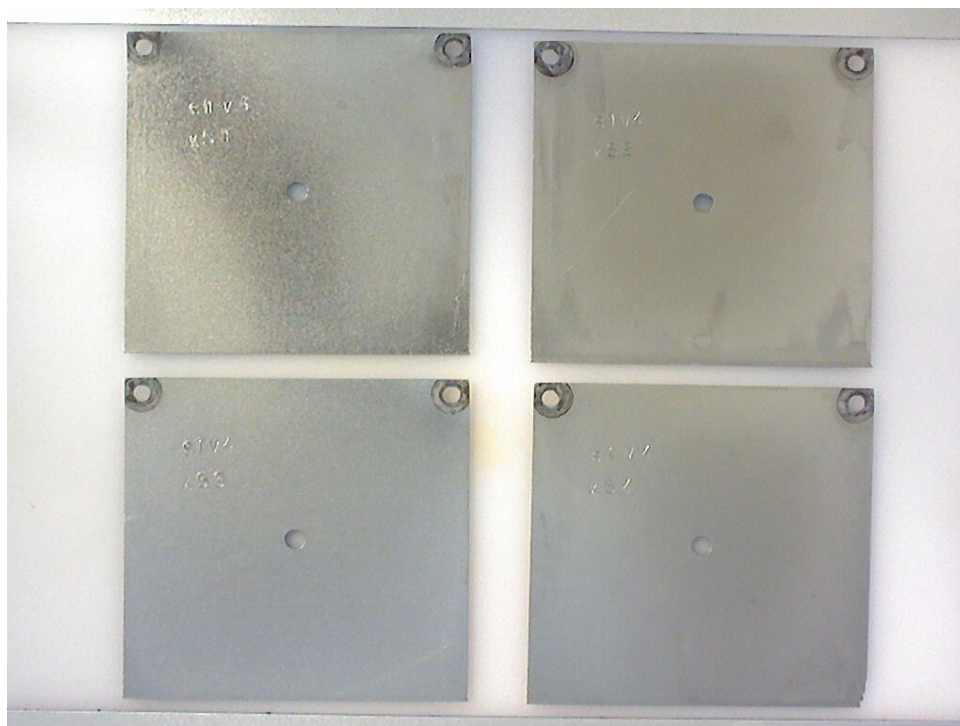
KUVA 6. S1V4, Ripustin 3, sisäpuoli.



KUVA 7. S1V4, Ripustin 4, ulkopuoli.



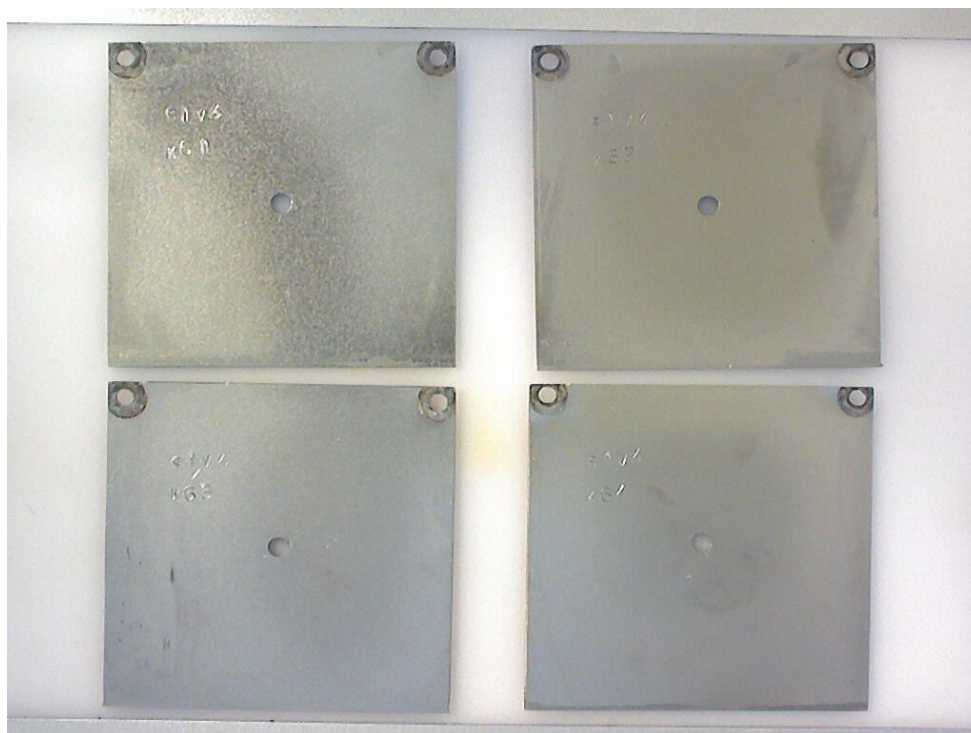
KUVA 8. S1V4, Ripustin 4, sisäpuoli.



KUVA 9. S1V4, Ripustin 5, ulkopuoli.



KUVA 10. S1V4, Ripustin 5, sisäpuoli.



KUVA 11. S1V4, Ripustin 6, ulkopuoli.



KUVA 12. S1V4, Ripustin 6, sisäpuoli.

## LIITE 5

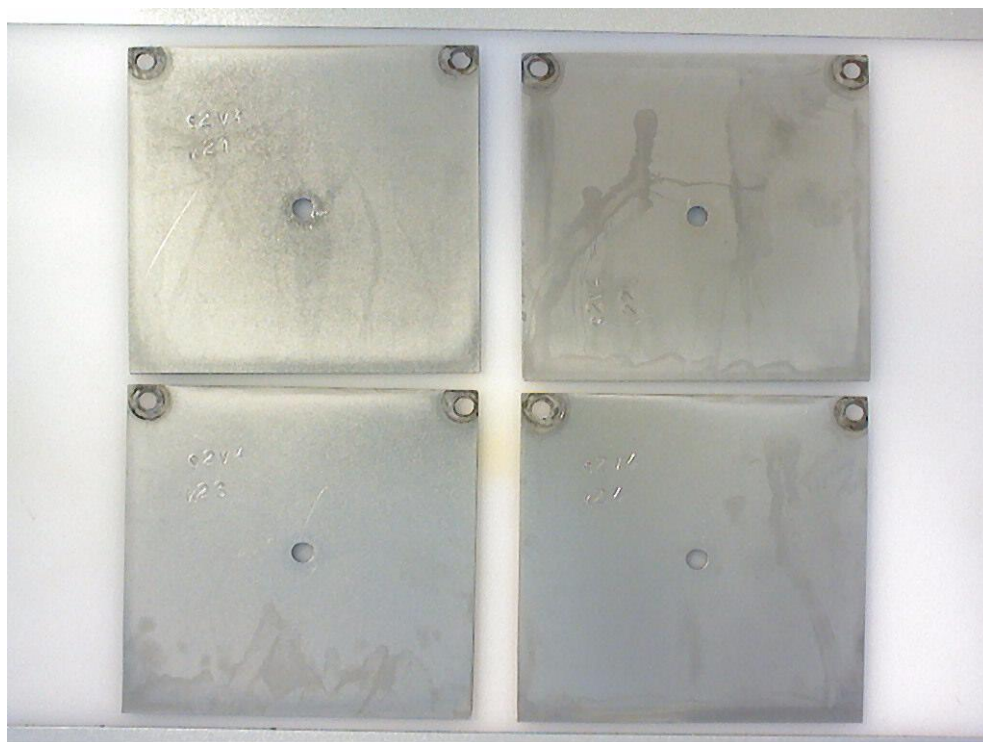
## S2V4 LEVYKUVAT



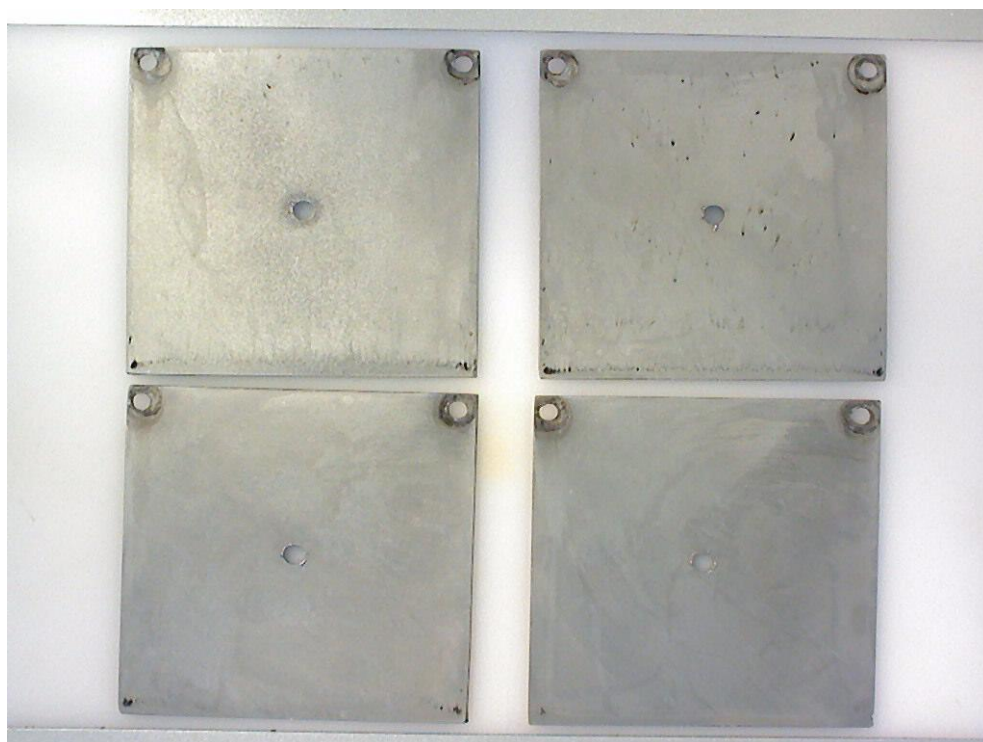
KUVA 1. S2V4, Ripustin 1, ulkopuoli.



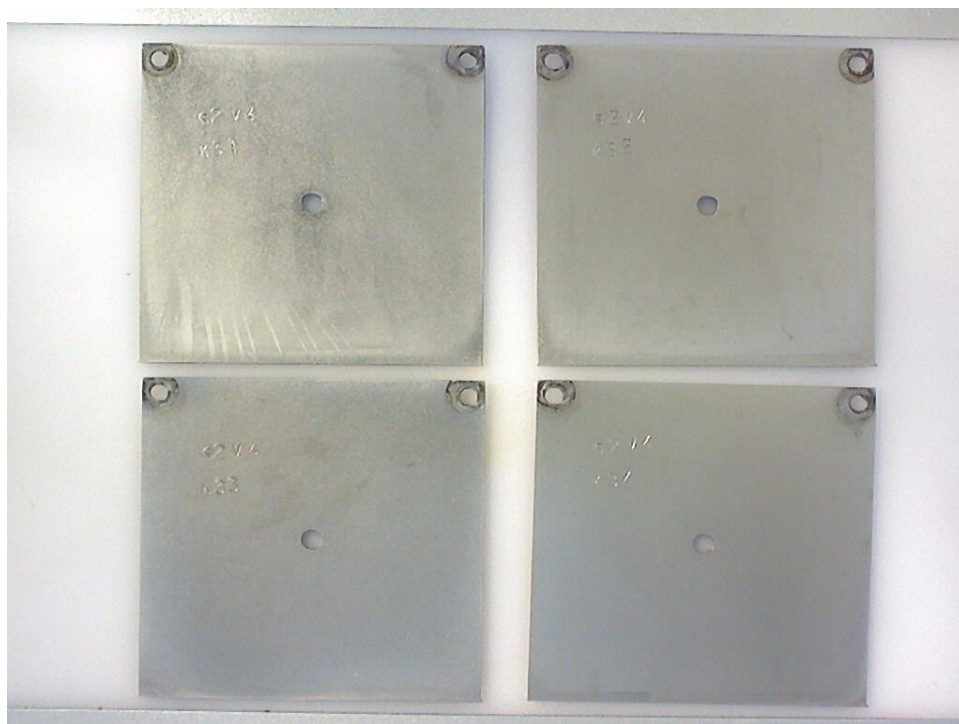
KUVA 2. S2V4, Ripustin 1, sisäpuoli.



KUVA 3. S2V4, Ripustin 2, ulkopuoli.



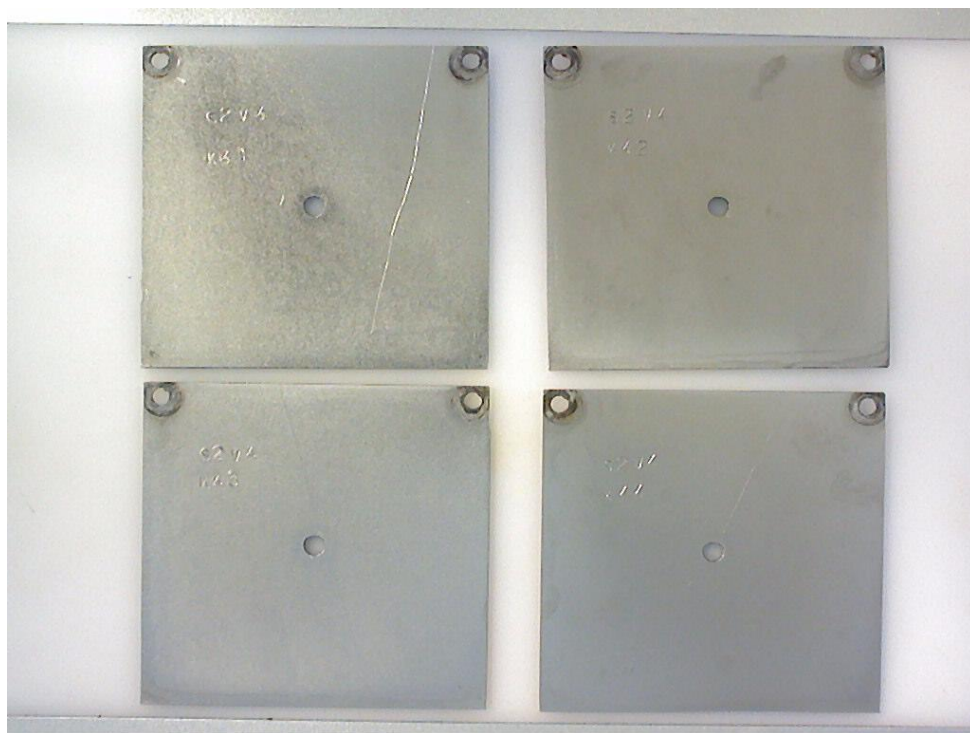
KUVA 4. S2V4, Ripustin 2, sisäpuoli.



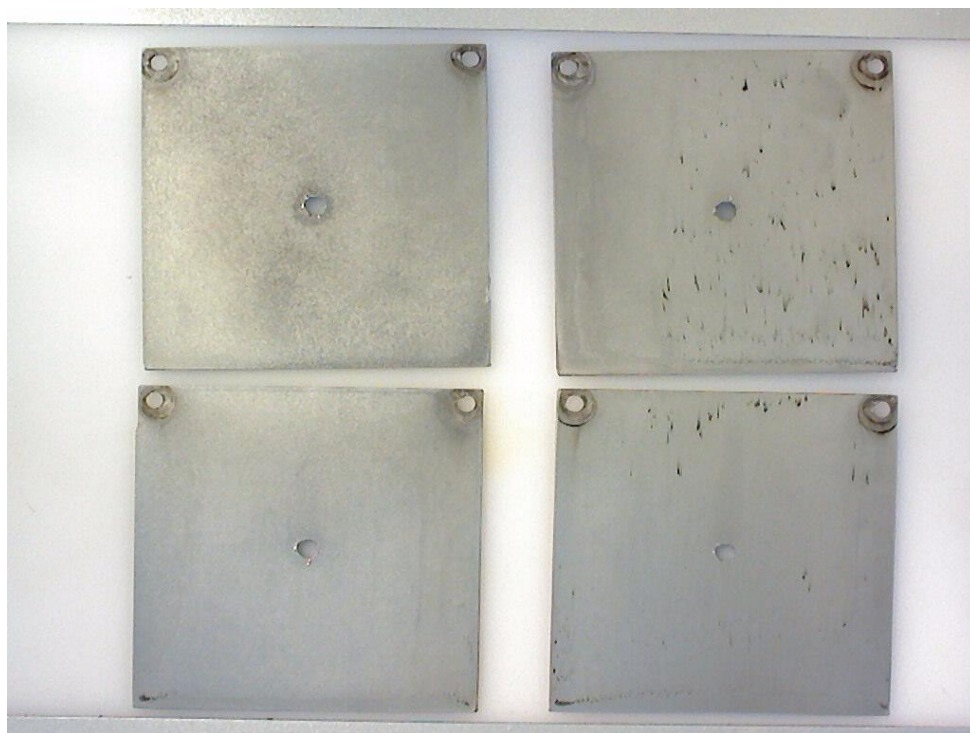
KUVA 5. S2V4 Ripustin 3, ulkopuoli.



KUVA 6. S2V4, Ripustin 3, sisäpuoli.



KUVA 7. S2V4, Ripustin 4, ulkopuoli.

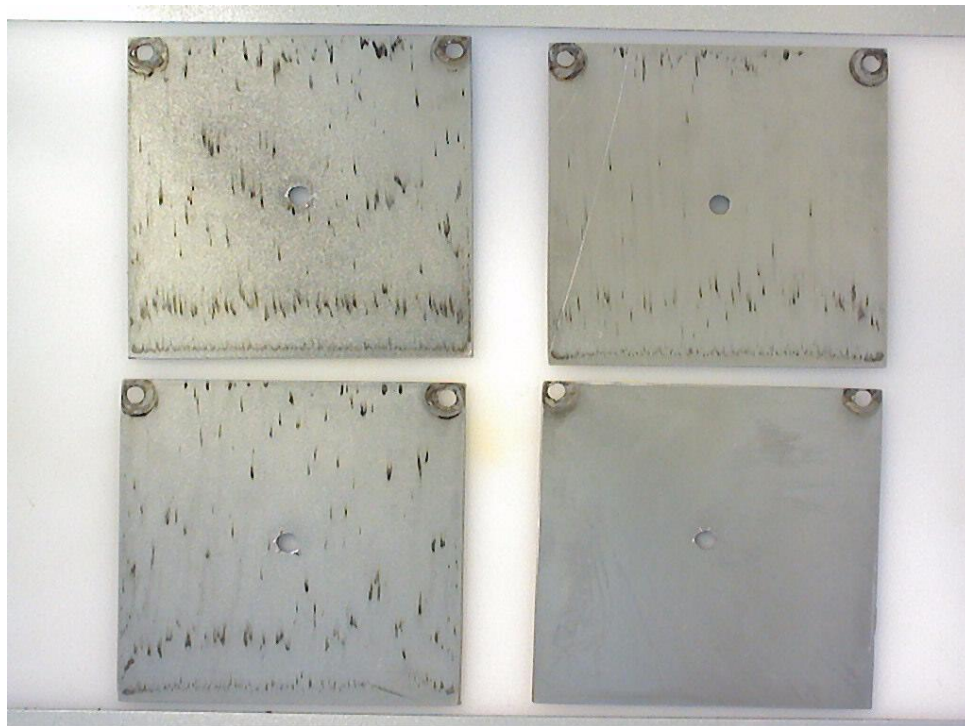


KUVA 8. S2V4, Ripustin 4, sisäpuoli.

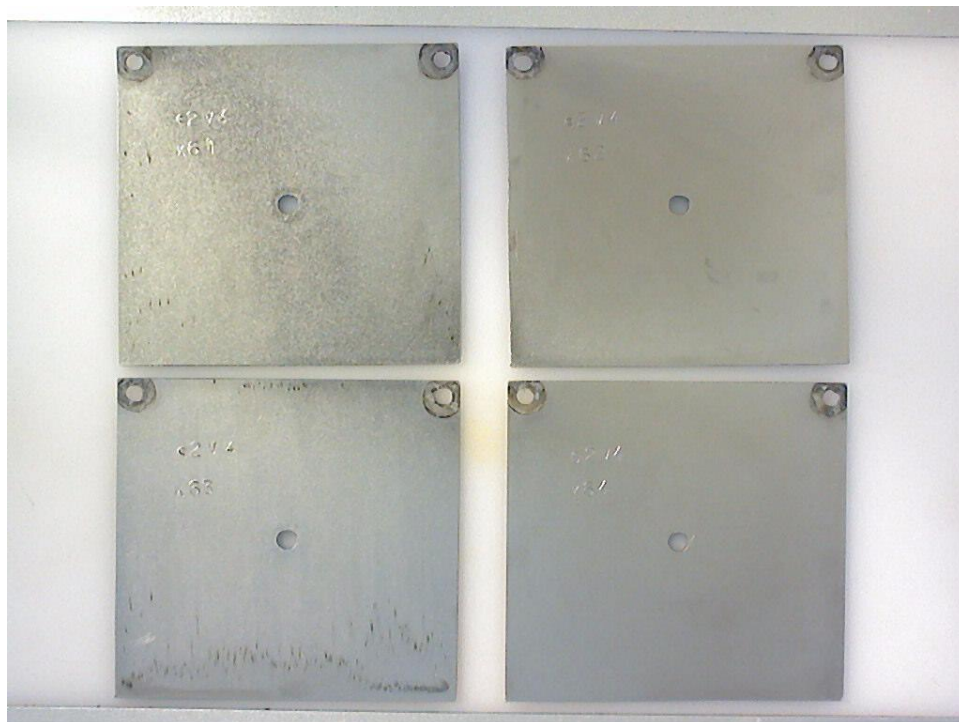




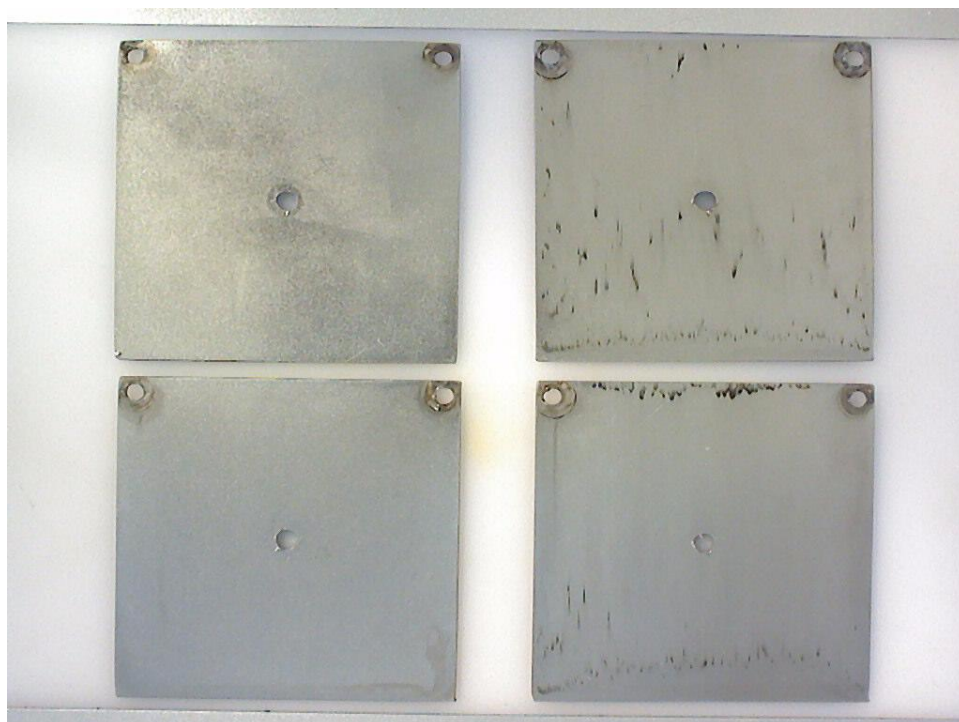
KUVA 9. S2V4, Ripustin 5, ulkopuoli.



KUVA 10. S2V4, Ripustin 5, sisäpuoli.



KUVA 11. S2V4, Ripustin 6, ulkopuoli.



KUVA 12. S2V4, Ripustin 6, sisäpuoli.