

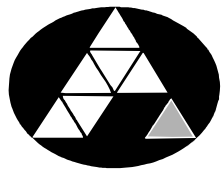
POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Kalle Mononen

**TASASUUNTAAJIEN VIRTAKISKOJEN LIITOSTEN
LÄMPENEMINEN PINTAKÄSITTELYLAITOKSESSA**

Opinnäytetyö

Toukokuu 2011



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2011
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä
Kalle Mononen

Nimeke
Tasasuuntaajien virtakiskojen liitosten lämpeneminen pintakäsittelylaitoksessa

Toimeksiantaja
Abloy Oy

Tiivistelmä

Tässä työssä tutkittiin Abloy Oy Joensuun tehtaan pintakäsittelylaitoksen tasasuuntaajien virtakiskojen lämpenemistä. Kiskot johtavat sähköä tasasuuntaajilta prosessikylpyaltille, joissa pinnoitetaan tuotteita sähkökemiallisesti. Käytetyt virta-arvot ovat suuria, joten pienetkin resistanssit kiskoissa aiheuttavat lämpenemistä.

Mittavälineenä käytettiin lämpökameraa, jolla kuvattiin kiskojen liitoksissa sähkövirran vaikutuksesta lämpeneviä kohtia, jos liitokset ovat päässeet löystymään tai haettumaan. Mittaustuloksiksi saatiin lämpökamerakuvat, joista voidaan todeta, että huono kontakti virtakiskoissa aiheuttaa niiden liitoksien lämpenemistä. Tämä lämpeneminen voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa jopa tulipalon vaaran. Lisäksi työssä käytiin läpi kaikki prosessin virtakiskojen liitokset normaalin tuotannon ohessa ja niiden todettiin olevan kunnossa.

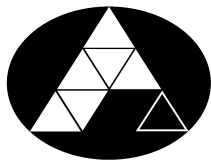
Työtä voidaan käyttää ohjeena tehtäessä tulevia virtakiskojen tarkistusmittauksia ja siinä pohditaan kuinka lämpenemistä voidaan vähentää esimerkiksi käyttämällä virtakiskojen kontaktipintojen välissä lämpöä ja sähköä johtavaa kuparitähdettä, sekä tarkastamalla liitoksien kunto tietyin väliajoin. Jatkotutkimuksena tälle opinnäytetyölle voitaisiin tehdä virtakiskojen lämpötilan seurannan kehittäminen, sekä sen liittäminen nykyiseen linjan ohjausjärjestelmään.

Kieli
suomi

Sivuja	32
Liitteet	6
Liitesivumäärä	8

Asiasanat

lämpeneminen, virtakisko, pintakäsittely



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
May 2011
Degree Programme in Electrical Engineering
Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
Tel. +358-13-260 6800

Author
Kalle Mononen

Title
Temperature Rising of Joints in Busbars of Electroplating Rectifiers

Commissioned by
Abloy Oy

Abstract

The goals of this study were to determine the temperatures of the joints in copper busbars of the rectifiers in the surface treatment plant of Abloy Oy Joensuu. The busbars are designed to conduct electricity from the rectifiers to the process baths, where most of the products of Abloy are plated electrochemically. Current values used in these processes are high, thus any resistance in the busbars generates heat.

A thermal imager was used to analyze the temperatures when an electric current was introduced to the joint, which has got loose or has oxidized over time. Thermal images, which show these hot spots due to the bad contact, were acquired as a result of the study. This can increase the risk of a fire if certain conditions are met. In addition, all the joints of the busbars used in the plant were examined as the plating lines were running and they were found to be in order.

This thesis can be used as a guide for taking any future thermal images of the joints and it also includes ideas of how to prevent the temperature rising in the joints by for example using a heat and electricity conductive copper paste and checking the condition of the joints at certain intervals. Creating a temperature surveillance and integrating it to the control system of the line could be further researched.

Language
Finnish

Pages	32
Appendices	6
Pages of Appendices	8

Keywords

temperature rise, busbar, electroplating

Sisältö

1 Johdanto.....	6
2 Sähkökemiallinen pintakäsittely.....	7
3 Lämpö.....	9
3.1 Lämmön johtuminen.....	10
3.2 Lämpösäteily.....	10
3.3 Emissiivisyys.....	11
4 Pinnoitusprosessia koskevat säädökset.....	12
5 Lämpötilamittaustekniikka.....	13
5.1 Lämpökamerakuvaus.....	14
5.2 Lämpökameran käyttökohteet teollisuudessa.....	15
5.3 Fluke Ti25-lämpökamera.....	16
5.4 Flex Kraft-tasasuuntaajat.....	17
5.5 Lämpökuvien tulkinta ja mittausvirheet.....	18
6 Virtakiskojen tarkistusmittaus.....	19
7 Tarkistusmittaustulosten analysointi.....	21
8 Liitosten väljyyden vaikutus lämpenemiseen.....	22
8.1 Yhden liitoksen löystyminen.....	25
8.2 Liitoksen hapettumisen vaikutus.....	27
8.3 Tulosten analysointi.....	28
9 Pohdinta.....	30
Lähteet.....	32

Liitteet

Liite 1	Mittauksien vertailulämpökuvat
Liite 2	Väljä liitos virtakiskossa
Liite 3	Puhdistettu väljä liitos virtakiskossa
Liite 4	Ilmarako virtakiskon liitoksessa
Liite 5	Hapettunut liitos
Liite 6	Lopputarkistus mittauksien päätyttyä

Keskeisiä käsitteitä

Anodi	Sähköjohtimen positiivinen napa
Katodi	Sähköjohtimen negatiivinen napa
Lämpökuva	Lämpökameralla tallennettu kuva, jossa lämpösäteilyn voimakkuudet erottuvat eri väreinä
Tavarankuljetin	Tähän asennetaan ripustimet pinnoitettavia tuotteita varten tai prosessilinjalla olevat anodi- ja katoditangot. (ks. kuva 2)
Virtahaarukka	Virtakiskolta anodi- tai anoditangolle virtaa johtava kontaktipiste
Virtakisko	Tasasuuntaajalta pinnoitusaltaalle virtaa johtava kuparikisko

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Abloy Oy Joensuun tehtaan pintakäsittelylaitoksen virransiirtoon käytetyissä kuparikiskoissa korkeiden virtojen aiheuttamaa lämpenemistä ja kiskojen liitosten kiristysmomentin ja likaantumisen vaikutusta niiden lämpenemiseen. Työn perusidea on lähtöisin edellisen pintakäsittelylaitoksen tuhouduttua täysin tulipalossa, joka sai alkunsa ilmeisesti yhden virransiirtokiskon ylikuumentumisesta. Palon todennäköisimmäksi syytymissyiksi on TUKESn tekemän onnettomuustutkintaportin mukaan mainittu löysät liitokset kuparisten virransiirtokiskojen välillä, joka aiheutti kiskojen liitoksen ylimenovastuksen kasvamisen ja liitos alkoi kuumentua. Tämä sytytti kiskojen eristeenä käytetyn polypropeenimuovin, josta tulipalo pääsi etenemään pintakäsittelylaitoksen muihin rakenteisiin tuhoten sen täysin.

Mittausvälineenä työssä käytettiin lämpökameraa. Mittaukset suoritettiin kahdessa osassa, ensin kuvaamalla kiskot lämpökameralla mahdollisimman suuren virran ja lämpökuorman alla pintakäsittelyprosessin ollessa normaalissa tuotannossa. Seuraavaksi tutkittiin virtakiskojen liitosten löystymisen vaikutus lämpenemiseen sekä mahdollinen lian pääsy liitosten väliin aiheuttaen resistanssia liitokseen. Näistä mittauksista pyrittiin saamaan vastaus siihen, aiheuttaako löysä liitos kuparisissa virransiirtokiskoissa lämpenemistä, joka voisi sulattaa muovia ja synnyttää tulipalon vaaran. Lisäksi selvitettiin millä toimenpiteillä vastaava onnettomuus voidaan tulevaisuudessa ehkäistä.

Onnettomuustutkintaportissa mainittiin myös liitosten määräaikaisen tarkistuksen ja kiristyksen tärkeys. Tässä opinnäytetyössä pohdittiin myös sen toteuttamista käytännössä ja opinnäytetyön käyttämistä ohjeistuksena tarkistuksia tehtäessä.

2 Sähkökemiallinen pintakäsittely

Metalleja pinnoitetaan korroosionkestävyyden tai ulkonäön parantamiseksi käyttämällä elektrolyysiä. Tässä sähkökemiallisessa tapahtumassa anodi luovuttaa elektroneja liuokseen, kun anodin ja katodin välillä on potentiaaliero. Samalla anodille muodostuu yleensä metalli-ioneja, jotka kulkevat elektrolyytin läpi katodille ja pelkistyvät metalliksi. (Suomen Galvanotekninen Yhdistys 1996, 25)

Kun pinnoitettavat tuotteet on ripustettu tavarankuljettimiin ja ne lasketaan pinnoituskylpyyn toimivat ne siis katodina ja pinnoittuvat sillä metallilla, mitä kylpy pääasiassa sisältää. Anodina kylvyissä toimii yleensä tuotteiden pinnalle pelkistyvää metallia, joka on pieninä paloina anoditangolla olevissa koreissa jotka ovat upotettuna altaaseen (ks. kuva 1). Kaikissa prosessin kylvyissä ei kuitenkaan pinnoiteta tuotteita, vaan osa toimii esimerkiksi esikäsitteilyvaiheena. Osassa näitä altaita tuotteet ovat kytketty tasasuuntaajien anodiksi, jolloin niistä saadaan poistettua esimerkiksi epäpuhtauksia, joita ei muuten saada poistettua. Tällainen kytkentä on myös myöhemmin esiteltävissä mittauksissa käytetyssä krominpoistoaltaassa.

Virran suuruus kullakin tavarankuljettimella määrätään pinnoitettavien tuotteiden pinta-alan mukaan, joka on prosessikylvystä riippuen 2 - 15 A/dm². Virta syötetään kylvyille tasavirtana.



Kuva 1. Nikkelikylvyn anodikorit kiinnitettynä anoditankoon. (Kuva: Kalle Mononen)

Joensuun pintakäsittelylaitoksella pinnoitetaan valtaosa Abloyn tuotteista, sekä tehdään pieniä määriä alihankintapinnoituksia. Automatisoitu, Profibus-väylää tiedonsiirtoon käyttävä prosessilinja koostuu neljästä erillisestä pinnoitusallasrivistöstä. Pääasiallisia pinnoitusvaihtoehtoja ovat kromi, nikkeli sekä sinkki. Prosessissa käytetään sähkökemiallista pinnoitusta tasavirralla, jota varten on käytössä 83 Flex Kraft-merkkistä tasasuuntaajaa. Suurimmat virrat, joita voidaan teoriassa käyttää ovat noin 5000 ampeerin luokkaa. Näiden virtojen siirtämiseksi tasasuuntaajalta pinnoitusaltaalle käytetään kuparista valmistettuja kiskoja. Näiden poikkipinta-ala vaihtelee tasasuuntaajien tehon mukaan ja ne on mitoitettu valmistajan omien ohjeiden mukaisesti.

Pintakäsittelylaitos on valmistunut 2010 ja se on rakennettu edellisen pintakäsittelylaitoksen tilalle sen tuhouduttua tulipalossa. Laitos suunniteltiin yhteistyössä Abloy Oyn ja saksalaisen Atotech GmbH:n kanssa, joka toimitti ja rakensi laitteiston.



Kuva 2. Tavarankuljetin, jossa neljä kappaletta vihreitä ripustimia. (Kuva: Kalle Mononen)



Kuva 3. Pintakäsittelylaitoksen prosessilinja. (Kuva: Kalle Mononen)

3 Lämpö

Lämpötila on yksi SI-järjestelmän perussuureista ja sen yksikkö SI-järjestelmässä on K, kelvin. Suuressa osassa maailmaa käytetään lämpötilan mitausyksikkönä kuitenkin celsius-astetta C, joka on saman arvoinen yksikkönä kuin kelvin. Kelvinasteikko alkaa absoluuttisesta nollapisteestä 0 K, jossa aineella ei ole kineettistä energiaa eli atomien liike lakkaa kokonaan. Lämpötilan noustessa atomien liike-energia kasvaa. Celsius-asteikon nollapiste on +273,15 astetta absoluuttisen nollapisteen yläpuolella. (Kukkonen 2005, 32)

Lämpö voi siirtyä väliaineesta toiseen kolmella eri lämmönsiirtymismekanismilla; johtumalla, säteilemällä sekä konvektiolla. Tästä opinnäytetyöstä voidaan poissulkea konvektio, eli lämmön kulkeutuminen neste- tai kaasuvirran mukana. Syynä tähän on, että opinnäytetyössä käsitellään kiinteitä aineita. Vaikka metallissa elektronien liikkuminen ja siitä johtuva lämmön siirtyminen on periaatteessa konvektiota, sen on sovittu olevan lämmönjohtumista metalleille. (Hautala & Peltonen 2007, 165-173)

Opinnäytetyön tutkimuskohteena olevat kuparista tehdyt kiskot lämpenevät sähkökemiallisessa pinnoituksessa käytettävän sähkövirran takia. Kiskoissa syntyvät lämpöhäviöt aiheutuvat kaavan $P=I^2 \cdot R$ mukaan. Kaavassa P on kiskossa syntyvä lämpöhäviö, I kiskossa kulkeva virta ja R kiskon resistanssi. (Hautala & Peltonen 2007, 281) Tästä ei pystyttäisi kuitenkaan laskemaan kuinka paljon kiskot todellisuudessa lämpenevät, koska kaava ei ota huomioon lämmönjohtumista tai lämpösäteilyä, jolloin osa lämmöstä poistuu kiskosta. Kiskojen lämpenemistä teoreettisella tasolla on käsitelty tarkemmin Abloy Oy:n Joensuun tehtaan pintakäsittelylaitoksen tulipalon onnettomuustutkintaraportissa liitteessä 1.

3.1 Lämmön johtuminen

Lämmön johtuminen aiheutuu väliaineen sisäisten lämpötilaerojen pyrkiessä tasoittumaan. Atomeilla, molekyyileillä ja elektroneilla on taipumus tasoittaa väliaineen lämpötila, joka aiheutuu niihin varastoituneesta kineettisestä energiasta. (Hautala & Peltonen 2007, 165-166)

Eristeissä, tai muissa kuin metalleissa vierekkäiset atomit ja molekyylit vaihtavat energiaa eli lämpö johtuu. Metalleissa lämmönjohtuminen aiheutuu elektronien kineettisen energian siirtymisestä. Elektronien liike on atomien ja molekyylien värähtelyn avulla tapahtuvaa lämmönjohtumista tehokkaampi tapa siirtää energiaa. Metallit ovatkin tämän takia parempia lämmönjohteita kuin esimerkiksi muovit tai lasi. (Hautala & Peltonen 2007, 165-166)

3.2 Lämpösäteily

Lämpösäteily on sähkömagneettisen säteilyn mukanaan kuljettamaa energiaa. Kaikki absoluuttisen nollapisteen yläpuolella olevat kappaleet lähettävät tätä säteilyä, joka absorboituu toiseen kappaleeseen aiheuttaen lämmön siirtymistä. Kaikki säteily ei kuitenkaan välttämättä aina absorboiduu vaan se voi heijastua tai mennä kappaleen läpi.

Lämpösäteilyn voimakkuuteen vaikuttaa säteilevän kappaleen lämpötila ja pinta-ala. Lämpösäteilyn aallonpituus taas on sidoksissa kappaleen lämpötilaan, ja kasvaa lämpötilan laskiessa. Tähän kappaleiden lähettämän lämpösäteilyn mittaamiseen perustuu lämpökameran toiminta. (Hautala & Peltonen 2007, 174-175)

3.3 Emissiivisyys

Emissiivisyydellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon lämpösäteilyä kappale lähettää verrattuna suurimpaan mahdolliseen lämpösäteilyn määrään. Sen voidaan ajatella olevan eräänlainen tehokerroin, jonka arvo riippuu kappaleesta välillä 0-1. Täysin mustalla kappaleella emissiivisyys $\varepsilon = 1$. Muilla kuin mustilla kappaleilla käytetään emissiivisyydelle arvoa $0 < \varepsilon < 1$ eli sen arvo vaihtelee siis nollan ja yhden välillä riippuen kappaleen pinnanlaadusta ja väristä. Jos kappaleen emissiivisyys on matala, sen lähettämä lämpösäteily on vähäistä ja sen ollessa lähellä yhtä säteilyn määrä kasvaa. (Hautala & Peltonen 2007, 176)

Emissiivisyys pitää siis ottaa huomioon lämpökuvia otettaessa, koska vaikka kaksi samanlämpöistä eri emissiivisyysarvoista kappaletta kuvataan vierekkäin, niiden lämpötila ei ole lämpökuvissa sama. Käytössä ollut Fluke Ti25 lämpökamera tarjoaa esiasetuksia eri emissiivisyyksille, joista valitsin mielestäni parhaan tilanteeseen sopivan eli hapettuneen kuparin emissiivisyytesiasetuksen. Tällöin kamera olettaa pinnan emissiivisyyden olevan noin 0,88, mutta johtuen virtakiskojen epätasaisesta hapettumisesta ja väristä emissiivisyys voi vaihdella tämän arvon ja nollan välillä. (Introduction to Thermography Principles 2009, 25)

4 Pinnoitusprosessia koskevat säädökset

Pintakäsittelylaitoksen pinnoitusprosessia käsitellään yhtenä koneena, jonka suunnittelussa on otettu huomioon EU:n konedirektiivi 2006/42/EY. Suomessa se on saatettu voimaan asetuksella 400/20081(koneasetus). Konedirektiivi sisältää yleisesti muotoillut ja koneiden suunnitteluvaiheessa noudatettavat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Näiden soveltamiseksi on luotu kone-turvallisuuden standardit, joissa kuvataan tarkemmin tekniset ratkaisut turvallisuuden takaamiseksi.

Laitoksen valmistaja Atotech on antanut EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laitoksen laitteistolle. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksella tarkoitetaan julkista koneen mukana toimitettavaa ja säilytettävää asiakirjaa, jossa valmistaja vakuuttaa noudattaneensa konedirektiiviä 2006/42/EY ja mahdollisia muita säädöksiä sekä standardeja. (Viljanen 2009, 2) Virtakiskojen lämpeneminen on otettu huomioon uutta laitosta suunniteltaessa ja rakennettaessa. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen annettuaan valmistaja on vakuuttanut, että virtakiskot toimivat tavalla, jolla niiden on suunniteltu toimivan.

Virtakiskojen lämpötilaan vaikuttaa virran aiheuttaman lämpöhäviön lisäksi ympäristön lämpötila, jonka on määritelty sähkölaitteille olevan +5 °C...+40 °C. Tämä on normaalikäyttölämpötila, jossa koneen sähkölaitteet oletettavasti toimivat oikein. (SFS-EN60204-1 2006, 44). Edellä mainittu standardi sisältää koneiden sähkölaitteiden yleiset vaatimukset. Normaalisissa käytössä ympäristön lämpötila voi nousta lähelle tätä normaalikäyttölämpötilan ylärajaa, joten olisi huomioitava mittauksia tehtäessä, koska virtakiskojen lämpötila muuttuu ympäröivän ilman mukana.

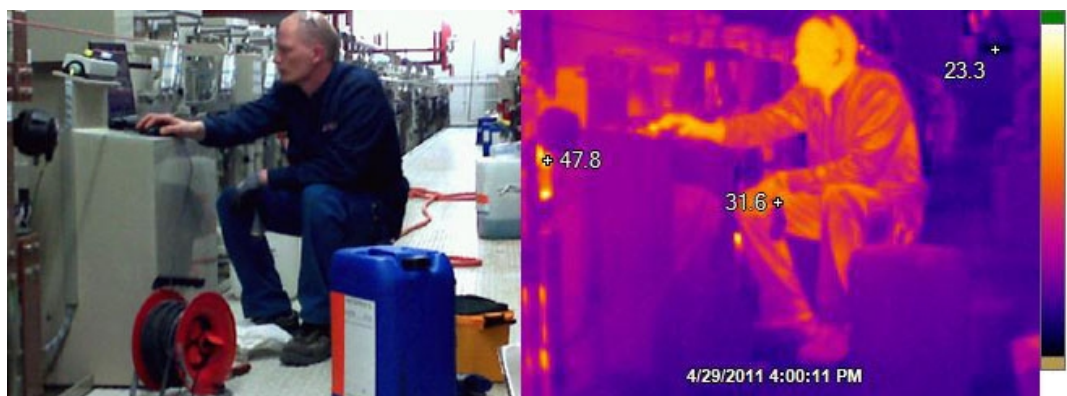
5 Lämpötilamittaustekniikka

Lämpötila voidaan mitata käyttäen hyödyksi aineiden fysikaalisia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi nesteen tai kaasun lämpölaajeneminen, aineiden sähkönjohdavuuden muutokset tai aineen lähettämä lämpösäteily. Lämpötilan mittaaminen on yksi tärkeimmistä mitattavista suureista teollisuudessa. Sen lisäksi, että lämpötilalla on merkitys itse laitteiden ja prosessien toimintaan, voidaan sen mittaamista käyttää apuvälineenä suoritettaessa vianetsintää tai ennakoivaa huoltoa. (Kukkonen 2005, 32-35)

Abloy oy:n pintakäsittelylaitoksella lämpötiloja seurataan esimerkiksi pinnoitusaltaista, kuivaimista, sähkökaapeista, sekä raitisilman sisäänotosta. Lisäksi lämpötilaa seurataan kromikylpyjen virransiirtohaarukoista niiden suuren virran takia. Lämpötilan mittaus on toteutettu PT-100-antureilla, jotka ovat kytkettynä pinnoitusprosessin ohjauslogiikkaan. Kaikille virransiirtokiskoille ja niiden liitoksille ei ole rakennettu jäähdytystä tai lämpötilanseurantaa, koska se olisi käytännössä mahdotonta toteuttaa kiskojen suuren lukumäärän ja tästä johtuvan seurannan kohteena olevan ison kokonaispinta-alan takia.

5.1 Lämpökamerakuvaus

Tässä opinnäytetyössä käytettiin virransiirtokiskojen lämpenemien kuvaamiseen lämpökameraa, jolla varmistettiin kiskojen liitosten olevan kunnossa. Myös liitosten kiristysmomentin vaikutusta selvitettiin lämpökameraa hyväksi käyttäen. Lämpökameran toiminta perustuu kuvattavan kappaleen lähettämän säteilyn mittaamiseen ja sen korreloimiseen kappaleen pintalämpötilaksi. Lämpökamerat toimivat yleensä aallonpituusalueella 2,5 - 15 μm , mutta ne eivät mittaa suoraan kohteen säteilemää aallonpituutta vaan sen lähettämän infrapunasäteilyn voimakkuutta, joka käännetään paremmin tulkittavaan muotoon ilmaisemalla kappaleen pintalämpötiloja eri väreillä (ks. kuva 4). Kamerassa on kenno, joka koostuu infrapunasäteilyä mittaavista detektoreista. Kun kuvattavan kohteen lähettämä infrapunasäteily kohdistetaan linssin läpi kennolle sen detektorien jännitteessä tai resistanssissa tapahtuu muutos ja kameran elektroniikka tunnistaa tämän. Tämän perusteella kamera luo lämpökuvan, josta voidaan tulkita kohteen lämpötiloja. (Introduction... 2009, 1-4)



Kuva 4. Valokuva ja saman kohteen lämpökuva (Kuva: Kalle Mononen)

5.2 Lämpökameran käyttökohteet teollisuudessa

Lämpökameran käyttö on yleistynyt vianetsinnässä sen käytön helppouden ansiosta. Käyttökohteita teollisuudessa voi olla esimerkiksi sähkömoottorien eri viikkojen etsintä, viallisten laitteiden paikannus tai laitteiden viallisen toiminnan selvittäminen. Toinen käyttökohde lämpökameralle teollisuudessa on ennakoiva huolto. Tämä tarkoittaa laitteiden kuvaamista aikataulutetusti, jolloin mahdolliset viat löydetään ennen niiden ilmettyä laiterikkona tai vastaavana. Lämpökameralla otetaan kuvia laitteista tai koneista niiden ollessa uusia ja kun niiden tiedetään toimivan oikealla tavalla. Näitä kuvia verrataan huoltojen yhteydessä otettaviin kuviin ja niistä voidaan analysoida mahdolliset ongelmatapaukset. Näin voidaan vähentää mahdollisen vian tuottamaa seisokkia ja esimerkiksi tehostaa laitteiden käytön turvallisuutta. Lisäksi koneiden ja laitteiden käyttöikä voi kasvaa kun niiden kuluvat osat vaihdetaan uusiin ennen niiden hajoamista. Lämpökameralla voidaan myös varmistaa koneiden ja laitteiden oikeaoppinen asennus ja korjata mahdolliset virheet ennen varsinaista normaalia käyttöä. (Introduction...2009, 45-49)

5.3 Fluke Ti25-lämpökamera

Opinnäytetyötä varten käytettävissä oli Fluken valmistama Ti25-mallinen lämpökamera. Se on kompakti, yhdellä kädellä operoitava ja helppokäyttöinen lämpökamera. Kameran jäähdyttämättömän kennon tarkkuus on 160x120 pikseliä ja sillä pystytään mittamaan pintalämpötiloja 0,1 celsiusasteen tarkkuudella, jos kohteen emissiivisyys tiedetään. Kameran ottamat kuvat käsitellään tietokoneelle siirtämisen jälkeen Fluken tuottamalla ohjelmistolla, jossa kuvista voidaan erotella lämpökuvaa ja valokuva, joka on tallennettu kohteesta samalla hetkellä.



Kuva 5. Fluke Ti25-lämpökamera
(Kuva: Kalle Mononen)

5.4 Flex Kraft-tasasuuntaajat

Abloyn pintakäsittelyosaston pinnoitusprosessiin on valittu ruotsalaisen Kraftelektronik AB:n valmistamat Flex Kraft tasasuuntaajat, joita on käytössä 83 kappaletta. Tasasuuntaajissa voidaan käyttää syöttöjännitteenä 380-440VAC ja toisiopuolella jännite on tasasuuntaajan kytkentätavasta riippuen maksimissaan 24VDC. Tasasuuntaajia voidaan käyttää joko jännite- tai virtaohjattuna.

Flex Kraft-tasasuuntaajat koostuvat ohjausyksiköstä, sekä enintään kymmenestä virtayksiköistä joita lisäämällä saadaan kasvatettua virran määrää. Virtayksiköiden ollessa identtisiä voidaan yksiköt vaihtaa keskenään, jos jokin niistä vioittuu. Tasasuuntaajat on suunniteltu käytettäväksi erityisesti sähkökemiallista pinnoitusta varten, joten ne ovat hyvin suojattuja ympäristötekijöiltä kuten, lämpötila ja kosteus, sekä niiden kytkentä muihin automaatiolaitteisiin on helppoa. Tasasuuntaajat on suojattu sulakkeilla, jotka on esimerkiksi 10 virtayksikön tasasuuntaajassa 160 A kestoiset. Lisäksi ne on suojattu esimerkiksi ensiöpuolen epäsymmetriseltä kytkennältä ja väärältä syöttöjännitteeltä. Toisiopuolella tasasuuntaaja valvoo muun muassa virran kulkusuuntaa ja syöttökiskojen (ks. kuva 8) ja tasasuuntaajan rungon välistä jännitettä ja sammuttaa itsensä vikatilanteissa antaen siitä hälytyksen.



Kuva 6. Flex Kraft tasasuuntaaja. (Kuva: Kalle Mononen)

5.5 Lämpökuvien tulkinta ja mittausvirheet

Lämpökuvia tulkittaessa pitäisi tietää kuvattavan kohteen normaalikäyttöä vastaava lämpeneminen. Ilman tätä tietoa kuvista voidaan tulkita virheellisiä tuloksia ja se voi johtaa turhiin investointeihin huollossa.

Lämpökuvia otettaessa pitää ottaa huomioon kohteen emissiivisyyden lisäksi kuvauskulma, jonka pitäisi olla alle 30 astetta kuvattavan kohteen pinnan normaalista. Mittaustilanteessa kuvia ei pystytty aina ottamaan aivan kohtisuoraan kiskojen edestä, koska kuvissa olisi näkynyt kuvaajan itsensä lähettämä kiskosta heijastunut lämpösäteily (ks. kuva 7) Kuvauskulman vaikutus mitattuihin lämpötiloihin ei kuitenkaan ole suuri. (Fluke 2009, 11) Lämpökamerakuvissa saattaa myös näkyä ympäristön lämpösäteilyn aiheuttamia heijastumia, jotka näkyvät kuvissa muita lämpimämpinä pisteinä. Ennen kuvien tallentamista kiskot on tarkastettu kameralla, mutta johtuen taustalla olevien lämpimien kohteiden suuresta lukumäärästä kaikkia heijastumia ei saatu poistettua kuvista tallennushetkellä.

Lämpökuvia tulkittaessa pitää ottaa huomioon kuvassa käytetty lämpötila-asteikko, joka näkyy kuvan oikeassa laidassa. Tämä johtuu kuvien ottohetkellä käytetyn lämpötilaskaalan eri arvoista, joka vaihteli eri mittauksien välillä. Kuvia tarkasteltaessa on huomioitava, että koska kiskojen emissiivisyyttä ei tiedetty tarkkaan, mitatut lämpötilat eivät ole täysin absoluuttisia.



Kuva 7. Lämpösäteilyn heijastuminen kuparista. (Kuva: Kalle Mononen)

6 Virtakiskojen tarkistusmittaus

Virtakiskojen lämpenemistä varten pintakäsittelylaitoksella oli tehty alustava lämpökuvaussuunnitelma, jossa virtakiskot kuvataan lämpökameralla laitoksen ollessa normaalisti tuotannossa. Kuvauksissa otetaan huomioon kiskoissa kulkeva virta ja mahdolliset poikkeamat, ja niistä aiheutuvat toimenpiteet merkitään ylös. Tämä lämpökuvaussuunnitelma sisällytettiin opinnäytetyöhöni ja sen tuloksia voidaan käyttää vertailuna tulevia tarkistusmittauksia varten. Mittaukset suoritettiin 8.-10.12.2010 välisenä aikana. Kaikki virtakiskojen, altaiden ja tasasuuntaajien liitokset tarkastettiin lämpökameralla etsien mahdollisia lämpeneviä kohtia. Kuvassa 8 on esitetty esimerkki tasasuuntaajan virtakiskojen liitoksesta ja kuvassa 10 liitos altaan puolelta. Pinnoitusaltaiden ja virtakiskojen suuren määrän takia jokaisesta liitoskohdasta ei otettu kattavaa kuvasarjaa, vaan ne tarkastettiin ensin lämpökameralla yksi liitos kerrallaan. Tämän jälkeen tallennettiin lämpökuva, jossa tarkastettavat liitokset näkyvät samassa tallenteessa. Kuvat otettiin tasasuuntaajien ollessa käynnissä ja kiskojen annettiin lämmitä mahdollisimman pitkään tankojen ollessa altaissa. Kiskoista otettiin ylös kameran mittauskeskipisteen osoittamat lämpötilat, jotka on merkitty taulukoihin 1 ja 2. Taulukot on jaettu kahteen osaa prosessilinjojen mukaan. Lisäksi taulukoissa on ilmoitettu kuvaushetkellä kiskoissa kulkeva virta sekä mittauspäivämäärä.



Kuva 8. Tasasuuntaajan 317 takapuoli (Kuva: Kalle Mononen)

Taulukko 1. 1-linjan virtakiskojen mittaustulokset

Allaspositio	Virta (A)	Lämpötila mittaus- keskipiste/ tasasuuntaa- jan liitos (°C)	Lämpötila mittaus- keskipiste/ altaan liitos (°C)	Päivämäärä
314	300	24,6	26,0	9.12.2010
315	200	24,5	27,2	9.12.2010
317	-	-	-	-
329	200	25,2	25,9	9.12.2010
330	200	-		9.12.2010
331	300	26,2	26,8	10.12.2010
337	150	22,9	23,1	10.12.2010
338	-	-	-	-
342	300	25,9	24,8	8.12.2010
346	400	23,5	27,0	9.12.2010
347	350	23,7	26,8	9.12.2010
353	950	26,3	23,6	9.12.2010
354	550	24,9	22,7	10.12.2010
418	700	25,7	24,3	9.12.2010
419	750	26,8	25,1	9.12.2010
420	750	25,6	24,4	8.12.2010
421	750	25,5	26,7	8.12.2010
422	600	25,2	23,9	9.12.2010
423	1100	23,6	25,4	8.12.2010
425	700	25,3	22,4	8.12.2010
426	500	26,9	24,6	9.12.2010
427	1100	26,1	25,0	8.12.2010
428	550	25,9	24,0	9.12.2010
429	-	-	-	-
432	-	-	-	-
436	-	-	26,7	-
445	2900	27,6	22,7	10.12.2010
439	-	-	-	-
443	-	-	-	-

Taulukko 2. 2-linjan virtakiskojen mittaustulokset

Allaspositio	Virta (A)	Lämpötila Mittaus- keskipiste/ tasasuuntaa- jan liitos (°C)	Lämpötila Mittaus- keskipiste/ altaan liitos (°C)	Päivämäärä
519	-	-	-	-
542	-	-	-	-
531	-	-	-	-
532	400	25,5	25,4	9.12.2010
538	400	23,8	21,5	10.12.2010
547	-	-	-	-
546	-	-	-	-
617	200	24,4	24,6	14.12.2010
618	400	24,6	30,9	14.12.2010
623	800	26,9	39,1	8.12.2010
624	500	27,3	43,8	8.12.2010
625	500	27,0	36,7	8.12.2010
626	600	26,2	25,8	9.12.2010
627	800	26,0	27,3	9.12.2010
628	200	24,3	23,6	9.12.2010

7 Tarkistusmittaustulosten analysointi

Kiskoissa ei havaittu lämpenemiä altaan, eikä tasasuuntaajien liitosten välillä. Huomionarvoista kuvissa kuitenkin on allaspositioissa 623, 624, sekä 625 esiintyvä katodivirtahaarukan lämpeneminen (ks. kuva 13) joka johtuu haarukkaan kertyneistä kemikaaleista. Nämä aiheuttavat resistanssia tangon ja virtahaarukan kontaktikohtaan. Kuvauksia tehtäessä kaikki tasasuuntaajat eivät olleet käytössä johtuen siitä, ettei niitä tarvittu pinnoitusprosessissa kuvaushetkellä. Näiden tasasuuntaajien liitokset oli määrä tarkistaa myöhempanä ajankohtana, mutta niitä ei ole käytetty kuvausten jälkeen.

8 Liitosten väljyyden vaikutus lämpenemiseen

Opinnäytetyön varsinaisena tutkimuskohteena oli liitosten kiristysmomentin vaikutus liitosten lämpenemiseen. Tätä tutkittiin pinnoitusprosessin ollessa pysäytettynä eli pintakäsittelylinjasto oli seis-tilassa. Mittausta varten pintakäsittelyosastolta sammutettiin kaikki kovaa ääntä päästävät laitteet, jotka eivät olleet välttämättömiä linjan toiminnan kannalta testausta tehdessä. Tämä tehtiin, jotta kuultaisiin jos linjastolla tapahtuu jotain odottamatonta. Mittauspaikaksi valittiin allaspositio 317 eli kromin poistoon tarkoitettu kylpy. Valinta kohdistui tähän altaaseen sen suuren tasasuuntaajakapasiteetin ja kuparikiskojen hyvän sijainnin vuoksi. Lisäksi allas ei ole niin kriittinen linjan normaalin tuotannon kannalta, koska normaalisti sitä käytetään vain, jos tuotteista halutaan poistaa kromipinnoite. Jos mittauksia tehdessä altaan kemikaaleille olisi tapahtunut jotakin, se ei olisi vaikuttanut tuotantoon merkittävästi. Krominpoistoaltaan suurin mahdollinen virta on 4000 A, joka aiheuttaisi erittäin suuria lämpenemiä, jos virta kulkisi pienenkin resistanssin läpi. Lisäksi suuri virta voi hitsata virtakiskojen liitoksen yhteen, jos niiden kontakti on huono.

Mittauksissa valittiin tasasuuntaajan päälläoloajaksi kolme minuuttia. Tämän oletettiin olevan tarpeeksi pitkä aika lämpenemien havaitsemiseksi. Pidentämällä aikaa olisi osassa mittauksia voinut näkyä lämpötilanmuutoksia, joita ei havaittu kolmen minuutin mittausajalla, mutta tätä ei katsottu tarpeelliseksi. Mittausten välillä kiskojen annettiin jäähtyä noin kymmenen minuuttia ennen seuraavan mittauksen aloittamista.

Virran määrää pystyttäisiin ohjaamaan tasasuuntaajalta jopa yhden ampeerin tarkkuudella, mutta mittausten nopeuttamiseksi sitä nostettiin kahdessa 500 A portaassa. Mittauksista saadut lämpökamerakuvat on esitetty liitteenä. Kuten jo aikaisemmin todettiin, mitatut lämpötilat eivät ole absoluuttisia, vaan suuntaa antavia. Lämpökuvissa nähdään kohteen minimi- ja maksimilämpötilat, sekä kuvan keskipisteen lämpötila. Liitoksista otettiin kuvia useista eri kuvakulmista, mutta liitteeksi valittiin vain kuvat, joista lämpenemät selvimmin näkyvät. Vertailukuvat ovat myös samasta kuvakulmasta.

Allaspositiolla 317 on viety tasasuuntaajalta asti omat virtakiskot anodi- ja katodivirtahaarukoille molemmille puolille allasta. Kyseisen altaan kiskot ovat leveydeltään 12 cm ja ne ovat 1 cm paksuiset.

Mittaukset suoritettiin altaan katodikiskoista ja anodivirtahaarukan vesijäähdytys (kuvassa 9 näkyvät jäähdytysletkut) kytkettiin pois käytöstä mittausten ajaksi. Mittauksia varten linjaan ajettiin ensin käsiohjauksella ohut 200 dm² teräslevy, joka toimii pinnoitusaltaassa anodina. Katodina tässä altaassa käytetään teräslevyjä. Virtakiskot on kytketty eri tavalla kuin pinnoitusaltaissa, joissa anoditangot ovat altaiden reunalla ja pinnoitettava tavara toimii katodina. Kuvassa 9 on esitetty allas 317, joissa näkyy anodina käytetyn levyn tavarankuljetin numero 104. Kuvan reunoilla näkyy kolmionmuotoiset katodivirtahaarukat, sekä niiden ja virtakiskojen välinen liitos. Altaan takapuoli on samanlainen kuin kuvassa oleva etupuoli.



Kuva 9. Allas 317 (Kuva: Kalle Mononen)

Mittaukset suoritettiin kolmessa osassa virtaa kasvattaen ja liitoksen kiristysmomenttia laskien kohta kerrallaan. Yhteensä varsinaisia mittauksia tehtiin 18 kappaletta. Aluksi todettiin altaan toimivan normaalisti käyttämällä sitä ensin 1000 A:n virralla kolme minuuttia ja sen jälkeen vielä 1600 A kolme minuuttia (ks. liite 1 kuva 1 ja 2). Tämän korkeampaa virtaa ei aluksi pystytty käyttämään anodilevyn pienen pinta-alan takia. Mittausten loppuvaiheessa linjaan ajettiin tavarakuljetin, jolla oli tuotteita, joiden kromipinta oli määrä poistaa. Näin saatiin kasvatettua anodipinta-alaa, jolloin virtaa pystyttiin nostamaan noin 3000 A asti, mutta tätä ei voitu käyttää kaikissa mittauksissa, koska tuotteet olisivat voineet mennä pilalle niitä kuormitettaessa pidempiä aikoja. Virtaa olisi voitu kasvattaa tätäkin suuremmaksi, mutta sitä ei koettu tarpeelliseksi mittausten edetessä.

Mittauksista kirjattiin myös ylös tasasuuntaajan syöttämä jännite jokaiselle mittaukselle erikseen. Tarkoituksena oli tutkia, vaikuttaako liitoksen kireys tai mahdollinen liitoksen hapettuminen syöttöjännitteeseen. Erillistä mittalaitetta ei päätetty käyttää, vaan jännite kirjattiin ylös prosessia ohjaavalta tietokoneelta. Vaikka tietokoneelta saadaan jännitelukemat sadasosavoltin tarkkuudella, se ei kuitenkaan riittänyt asian todentamiseen, joten jännitelukemiin päätettiin olla kiinnittämättä huomiota mittauksia tehdessä.

8.1 Yhden liitoksen löystyminen

Kun altaan ja sen tasasuuntaajan toiminta oli todettu normaaliksi, suoritettiin mittausta, jossa altaan etupuolen katodivirtahaarukan liitos löysytettiin ja kiristettiin uudelleen käsin ilman työkaluja niin tiukalle kuin mahdollista. Tekstissä ja liitteissä esiintyvällä väljällä liitoksella tarkoitetaan juuri edellä mainittua. Altaan takapuolen liitos oli tätä mittausta varten kiristetty normaalisti. Tällä mittauksella simuloitiin tilannetta, jossa virtakiskon liitos on päässyt löystymään vain toiselta puolen allasta. Mittauksessa käytettiin ensin 500 A ja sitten 1000 A virtaa. Tämän jälkeen väljän liitoksen väli puhdistettiin kuparitahnasta, jota oli laitettu liitokseen lämmönjohteeksi ja mittausta toistettiin tällä asetuksella.

Kiskoja ei ole asemalla 317 asennettu täysin suoraan toisiinsa nähden, jolloin liitosta edelleen löysyttämällä liitokseen syntyy ilmarako (ks. kuva 10). Liitos on tällöin kiinni vain toisesta laidasta ja sen kosketuspinta-ala pienenee. Tämän vaikutus lämpenemiseen mitattiin seuraavana samoilla 500 A ja 1000 A virroilla altaan kiskon toisen puolen ollessa edelleen kiristettynä normaalisti.



Kuva 10. Ilmarako liitoksessa (Kuva: Kalle Mononen)

Seuraavaksi altaan takapuolen liitos kytkettiin kokonaan irti, jolloin kaikki virta kulki kuvattavana olevan liitoksen kautta. Tämä toteutettiin eristämällä kisko kuvan 11 osoittamalla tavalla polypropeenilevyllä. Tällä menettelyllä toisen puolen liitoksen lämpenemistä haettiin edelleen samoilla virta-arvoilla ensin liitoksen ollessa kiristetty käsin ja seuraavaksi edelleen liitosta löysyttämällä, kunnes siinä oli taas havaittavissa ilmarako liitoksen toisessa laidassa. Tämä oli ensimmäinen mittaus, jossa havaittiin selvä lämpeneminen ja koetta jatkettiin nostamalla virtaa edelleen arvoon 1250 A. Lopuksi virtaa kokeiltiin nostaa vielä arvoon 1500 A, jossa lämpeneminen oli jo havaittavissa pitämällä kättä liitoksen läheisyydessä. Tämän korkeampaa virtaa ei koettu tarpeelliseksi käyttää.

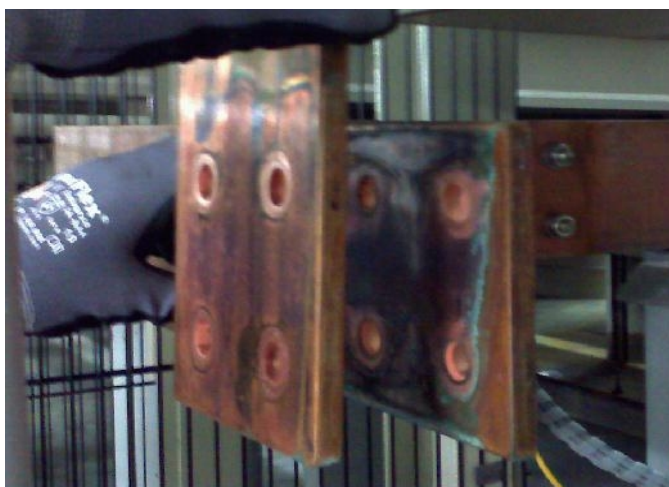


Kuva 11. Liitoksen eristys PP-levyllä
(Kuva: Kalle Mononen)

8.2 Liitoksen hapettumisen vaikutus

Mittauksen kolmannessa osassa simuloitiin tilannetta, jossa kiskon liitos on ollut löysällä pidemmän aikaa jolloin sen väliin on voinut joutua prosessissa käytettyjä kemikaaleja. Kemikaalien vaikutuksesta liitokset voi hapettua, jolloin niiden pintaresistanssi voi kasvaa. Tämä kasvanut resistanssi lämmittää kiskoja virran kulkiessa liitoksen läpi. Normaalisti virtakiskot on hiottu kirkkaaksi liitoksen kohdalta, jotta se johtaisi mahdollisimman hyvin sähköä.

Krominpoistoaltaan kiskon toista puolta irrotettaessa paljastui, että liitos on jo noin vuoden käytön jälkeen hapettunut kuten kuvassa 12 nähdään. Liitoksesta on todennäköisesti unohtunut asennusvaiheessa kuparitähna. Tämä helpotti mittausta, koska alun perin liitos oli tarkoitus hapettaa ammoniakilla. Nyt mittaus voitiin tehdä oikeasti käytössä hapettuneella liitoksella. Ensin hapettuneen liitoksen vaikutusta lämpenemiseen tutkittiin 1000 A virralla toisen puolen liitoksen ollessa kytkettynä irti ja kuvattavan liitoksen ollessa kiristettynä käsin ilman työkaluja. Tämä koe jouduttiin keskeyttämään pian, koska yksi liitoksen pulteista lämpeni erittäin nopeasti (ks. liite 6 kuva 2). Liitosta kiristettiin hieman ja koe toistettiin. Viimeisenä mittauksena altaan kaikki liitokset puhdistettiin, käsiteltiin kuparitähnällä ja kiristettiin ja virta nostettiin 3000 A jotta nähtäisiin, että kaikki on kunnossa (ks. liite 6 kuva 1).



Kuva 12. Hapettunut liitos (Kuva: Kalle Mononen)

8.3 Tulosten analysointi

Mittauksia tehdessä selvää lämpenemistä ei havaittu, ennen kuin virtaa kasvatettiin 1000 A asti. Tämä tilanne saavutettiin vasta, kun altaan takapuolen katodivirtahaarukka oli kytketty irti ja kaikki virta kulki kuvauksen kohteena olevan liitoksen läpi. Normaalisti tämänkaltainen tilanne, jossa altaan toisen puolen kisko olisi täysin irti, on erittäin epätodennäköinen. Tämä tilanne järjestettiin mittauksia varten vain, jotta tiedettäisiin liitoksen läpi kulkeva virta. Lisäksi mittauksissa voitiin käyttää pienempää virtaa kuin katoditangon molempien päiden ollessa kytkettynä. Tämä 1000 A havaittu lämpeneminen vastaa normaalissa käytössä 2000 A virtaa olettaen, että molemmat katoditangot päät ovat resistanssiltaan samansuuruiset ja kytketty samalla tavalla. Tämä johtuu siis siitä, että virran oletetaan jakautuvat tasaisesti molemmiin puoliin altaan liitoksia, jos katoditanko on yhdistetty molemmista päistä tasasuuntaajan miinusnapaan.

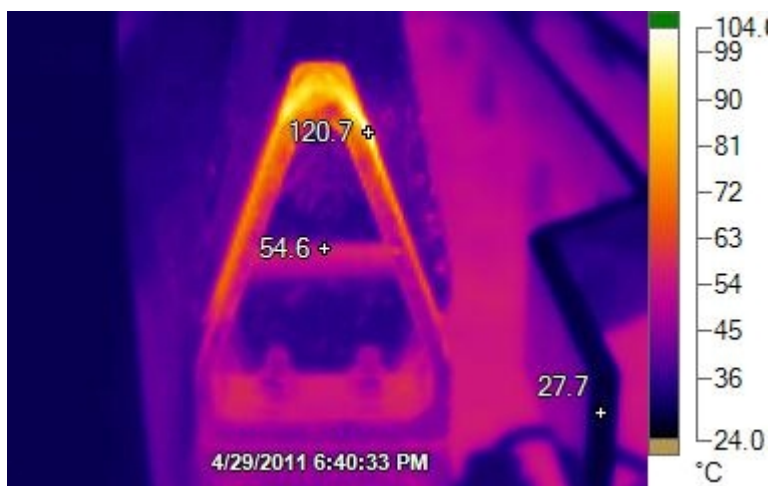
Liitteessä 2 on esitetty lämpökamerakuvat mittauksesta, jossa altaan kiskon toinen puoli oli kytketty normaalisti. Kuvista nähdään, ettei kuvattavassa liitoksessa havaittu lämpenemiä. On todennäköistä, että virtaa kasvatettaessa suuremmaksi kuin 1000 A, olisi tälläkin menettelyllä havaittu jonkinasteista lämpenemistä liitoksessa. Tarkoituksena oli kuitenkin tehdä mittaukset turvallisesti ja liian suurien virtojen käyttöä haluttiin välttää. Lisäksi virran määrää rajoitti käytössä ollut anodilevy.

Saaduista lämpökamerakuvista voidaan päätellä, että jos väljän liitoksen yli kulkee tarpeeksi suuri virta, voi syntyvä lämpöhäviö olla tarpeeksi sulattamaan altaiden läheisyydessä yleisesti käytetyn polypropeenin, jonka sulamislämpötila on noin 160 celsiusastetta. (TUKES 2009, 12) Polypropeenin käytetään esimerkiksi kuvassa 9 näkyvässä asemassa 317 poistoilman imusuutinkoteloissa, jotka näkyvät kuvan reunalla. Tällä hetkellä prosessilinjan joutuessa häiriötilaan, jossa esimerkiksi tavarankuljettimia siirtävät nostimet eivät pysty nostamaan tankoja kylvyistä, tasasuuntaajien virransyöttö ei katkea käsittelyajan päätyttyä. Tällöin kiskoissa voi kulkea suuri virta pitkiäkin aikoja ja ne voivat lämmitä erittäin paljon jos niiden liitoksen ovat väljiä.

Mittausten kolmantena osana oli hapettuneen liitoksen vaikutus lämpenemiseen. Tätä mittausta tehdessä havaittiin yllättävä tilanne. Katodivirtahaarukan ja sen päällä olevan tangon välinen liitos lämpeni erittäin rajusti. Tämä nähdään kuvassa 13. Kuva on otettu mittausten päätteeksi, kun kaikki liitokset oli käsitelty kuparitahnalla ja kiristetty kunnolla. Kuvaushetkellä virta oli asetettu arvoon 2800 A, joka jakaantuu 4 pisteeseen molemmin puolin altaan katodivirtahaarukoita. Tämä liitoskohta on pinta-alaltaan pieni verrattuna varsinaisiin virtakiskojen liitoksiin, joten sen voi olettaa lämpenevän enemmän suuren virran alla. Aiemmin mainitut imusuutinkotelot ovat asennettu vain muutaman senttimetrin päähän katodivirtahaarukoista, jolloin vaarana on niiden sulaminen jos lämpötila niiden läheisyydessä nousee liian korkeaksi.

Mittauksissa todettiin myös liitoksen lämpenevän, jos sen välissä on epäpuhtauksia, mutta vain jos liitoksen pultteja ei ole kiristetty tarpeeksi tiukalle. Kun liitos kiristettiin normaaliin tiukkuuteen, ei liitoksessa havaittu selvää lämpenemää (ks. liite 5). Kuitenkin hapettuneen liitoksen vaikutus korostuu, jos se on samalla kiristetty huonosti.

Liitteessä 3 on lämpökamerakuvat, joissa kaikki virta kulki yhden liitoksen läpi ja liite 4 sisältää lämpökuvat liitoksista, joissa oli mittausten aikana ilmarako.



Kuva 13. Katodivirtahaarukan lämpeneminen (Kuva: Kalle Mononen)

9 Pohdinta

Ensimmäisessä tarkistusmittauksessa, jossa pyrittiin kuvamaan kaikki tasasuuntaajien ja pinnoitusaltaiden välillä olevat liitokset, ei siis havaittu lämpeneviä kohtia liitoksissa. Kuitenkin osassa pinnoitusaltaita katodivirtahaarukan ja tavarakuljettimen kontaktikohdassa oli havaittavissa selvästi lämmennyt alue. Tämä lämpeneminen johtuu virtahaarukoiden likaantumisesta esimerkiksi kemikaaliroskeista prosessin ollessa käynnissä. Katodivirtahaarukat pyritään puhdistamaan tietyin väliajoin, mutta ne likaantuvat nopeasti ja niiden puhdistaminen on hidasta suuresta pinnoitusallasmäärästä johtuen. Tämä olisi kuitenkin hyvä suorittaa vähintään kaksi kertaa vuodessa.

Abloy on ohjeistanut liitosten lämpökamerakuvausten suorittamisen kolme kertaa vuodessa. Nämä kuvaukset vievät kuitenkin erittäin paljon aikaa ja kuten jälkimmäisten mittausten perusteella todettiin, lämpenemät näkyvät vasta suuremmilla virroilla kuin mitä prosessissa käytetään normaalin ajon aikana. Poikkeuksena kuitenkin esimerkiksi kromikylpyjen tasasuuntaajat ja mittauksissa käytetty krominpoiston tasasuuntaaja, jotka syöttävät virtaa maksimissaan 4000-5000 A. Muut tasasuuntaajat ovat 1000-2000 A kokoisia, eikä tämän suuruisella virtamäärällä havaittu suuria lämpenemiä liitoksissa, mikäli vain yksi liitos virtakiskossa on löystynyt. Kuitenkin TUKESn onnettomuustutkintaraportin mukaan virtakiskojen liitosten löystymisen takia alkanut pintakäsittelylaitoksen tulipalo 30.1.2009 on opinnäytetyössä saatujen tutkimustulosten mukaan mahdollista, jos prosessialtaan kummankin päädyn virtakiskojen liitokset ovat olleet erittäin väljiä.

Opinnäytetyön tuloksia pystytään hyödyntämään Abloyn pintakäsittelylaitoksen huolto-ohjelman toteuttamisessa. Kuitenkin vastoin nykyisiä virtakiskojen liitoksien tarkistamista varten annettuja ohjeita, ehdottaisin liitosten läpikäymistä käsin kokeilemalla liitosten pultit kiintolenkkiavaimella tai vastaavalla työkalulla. Tarkoituksena ei ole kiristää pultteja, vaan testata niiden kireys käyttämällä vain vähän voimaa. Tämä olisi nopeampaa kuin yrittää kuvata jokainen liitos mahdollisimman suuren virtakuorman alla. Tähän voitaisiin yhdistää lämpökamerakuvaukset virtakiskoista edellä mainituissa isompivirtaisissa tasasuuntaajissa.

Lämpökameramittaukset kaikista pinnoitusprosessin liitoksista voitaisiin tarkistaa vuoden välein prosessin ollessa normaalissa tuotannossa siltä osin kuin on mahdollista. Jokaisen allasposition kuvaaminen yksitellen käyttämällä tasasuuntaajan maksimivirtaa olisi myös mahdollista, mutta tämä veisi vielä enemmän aikaa kuin suorittamalla mittaukset tuotannon ohella.

Mittauksissa tuli myös todettua esimerkiksi krominpoistokylvyn katoditangon ja kiskon virtahaarukan välisen kontaktipinnan lämpeneminen. Tämä olisi mahdollisesti estettävissä käsittelemällä virtahaarukat samalla kuparitahnalla, mitä liitosten välissä on asennusvaiheessa käytetty. Kuparitahnaa voidaan käyttää altaiden reunoilla olevissa anodi- ja katoditangoissa, koska ne ovat paikallaan prosessin käydessä. Altaiden keskellä olevia virtahaarukoita ei välttämättä pysyttävä käsittelemään samalla tavalla, koska linja nostaa ja laskee niille tavarankuljettimia ja tahna kuluu pois. Lisäksi se voi reagoida prosessissa käytettyjen kemikaalien kanssa ja menettää samalla sähkön- ja lämmönjohtavuutensa, josta seuraisi virtahaarukan lämpeneminen, jota tällä tahnalla juuri halutaan vähentää. Nämä altaiden reunoilla olevat virtahaarukoiden ja virtakiskojen väliset kontaktipinnat voitaisiin kuvata samalla kuin liitoksetkin, eli vuoden välein.

Virtakiskoissa ei ole tällä hetkellä muuta lämpötilanvalvontaan, kuin kromikylvyn katodivirtahaarukoissa. Jatkotutkimuksena tällä opinnäytetyölle olisikin tutkia, kuinka virtakiskoille voitaisiin järjestää toimiva lämpötilan seuranta ja voitaisiinko se liittää osaksi nykyistä ohjausjärjestelmää. Tämä on kuitenkin todennäköisesti erittäin vaikea toteuttaa, koska liitoksia on paljon ja järjestelmä olisi kallias.

Opinnäytetyössä yhdistyi ammattikoulusta saamani kemiantuntemus, sekä ammattikorkeakoulussa saatu oppi sähkön käyttäytymisestä. Mittauksia tehtäessä oli hienoa todeta käytännössä suurien virtojen vaikutus, kun se johdetaan resistanssin yli. Lisäksi opin ymmärtämään paremmin lämpökameran toimintaa ja sen oikeaoppista käyttöä.

Lopuksi haluaisin kiittää Tomi Tolvasta avustamisesta mittauksia tehtäessä, sekä pintakäsittelyn esimies Tommi Haatasta, jonka ansiosta opinnäytetyön toteuttaminen oli mahdollista.

Lähteet

- American Technical Publishers, Inc Fluke Corporation, and The Snell Group
2009. Introduction to Thermography Principles. Orland Park, Illinois: ATP.
1. painos. ISBN 978-0-8269-1535-1.
- Hautala & Peltonen 2007. Insinöörin (AMK) Fysiikka Osa 1. Saarijärvi: Lahden
Teho-opetus Oy. 8. painos. ISBN 978-952-5191-18-9.
- Konedirektiivi 2006/42/EY.
- Kukkonen A. 2005. Kunnossapito-lehti 3/2005. Helsinki: KP-Media Oy.
ISSN 0784-1787.
- SFS-EN60204-1 2006. Koneturvallisuus: Koneiden sähkölaitteisto Osa 1:
Yleiset turvallisuusvaatimukset.
- Sintrol Oy 2003. Kosketuksettoman lämpötilamittauksenperusteet.
<http://www.sintrol.com/files/sintrol/productfiled/561file1Upload.pdf>.
24.4.2011.
- Suomen Galvanotekninen Yhdistys 1996. Kemiallinen ja sähkökemiallinen
pintakäsittely osa 1. Vantaa: TummaVuoren Kirjapaino Oy. 1. painos
ISBN 951-966913-0-8.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2010. Koneturvallisuuden stardardit.
<http://www.metsta.fi/adds/esite/kone.pdf>. 24.4.2011.
- TUKES 2009. Onnettomuustutkintaraportti Dnro 434/06/2009 Abloy Oy:n
Joensuun tehtaan pintakäsittelylaitoksen tulipalo 30.1.2009.
[http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit_kaasu/Abloy_
Onnettomuustutkintaraportti.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit_kaasu/Abloy_Onnettomuustutkintaraportti.pdf). 24.4.2011.
- Viljanen A. 2009. Koneen EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus - miten sisältö ja
toimitustapa muuttuu.
http://www.metsta.fi/ipubs/docs/machinery/articles/2009_nro_005.pdf.
24.4.2011.

Mittauksien vertailulämpökuvat



Kuva 1. Altaan 317 etupuolen katodikiskon liitos vertailukuva 1 1600 A (Kuva: Kalle Mononen)

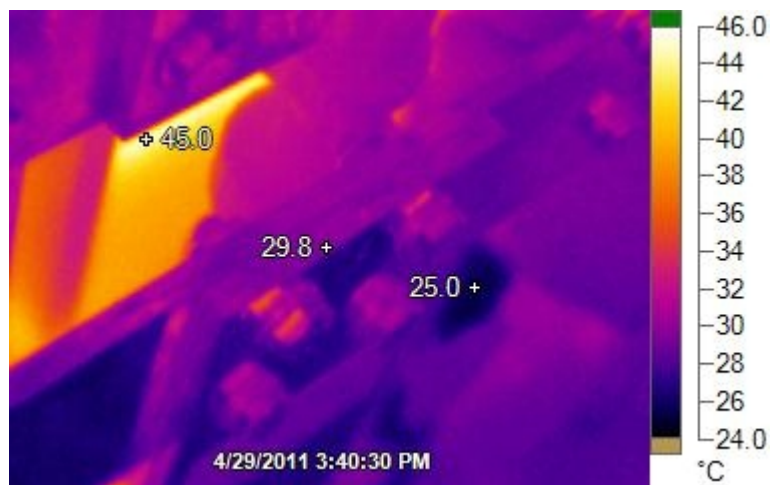


Kuva 2. Altaan 317 etupuolen katodikiskon liitos vertailukuva 2. 1600 A (Kuva: Kalle Mononen)

Väljä liitos virtakiskossa



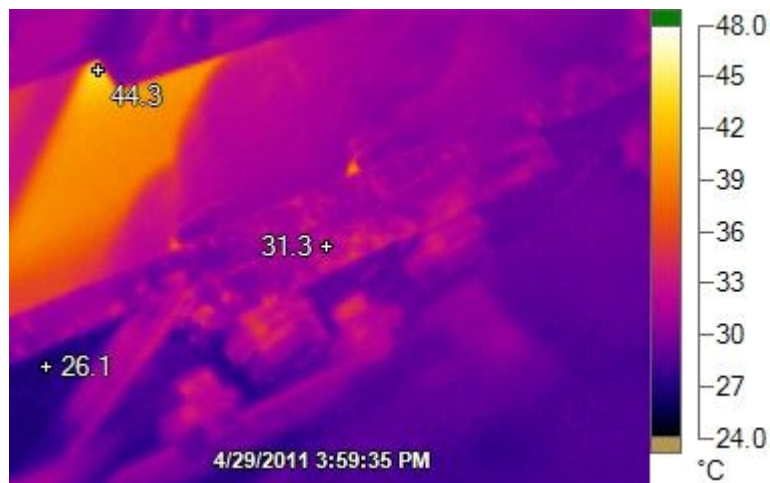
Kuva 1. Altaan 317 etupuolen katodikiskon väljä liitos. Altaan toinen puoli on kiristetty normaalisti. 500 A (Kuva: Kalle Mononen)



Kuva 2. Altaan 317 etupuolen katodikiskon väljä liitos. Altaan toinen puoli on kiristetty normaalisti. 1000 A (Kuva: Kalle Mononen)



Kuva 3. Altaan 317 etupuolen kuparitahnasta puhdistettu katodikiskon väljä liitos. Altaan toinen puoli on kiristetty normaalisti. 500 A (Kuva: Kalle Mononen)



Kuva 4. Altaan 317 etupuolen kuparitahnasta puhdistettu katodikiskon väljä liitos. Altaan toinen puoli on kiristetty normaalisti. 1000 A (Kuva: Kalle Mononen)

Puhdistettu väljä liitos virtakiskossa

Kuva 1. Altaan 317 etupuolen puhdistettu katodikiskon väljä liitos. Altaan toinen puoli on kytketty irti. 500 A (Kuva: Kalle Mononen)



Kuva 2. Altaan 317 etupuolen puhdistettu katodikiskon väljä liitos 1000 A. Altaan toinen puoli on kytketty irti. 1000 A (Kuva: Kalle Mononen)

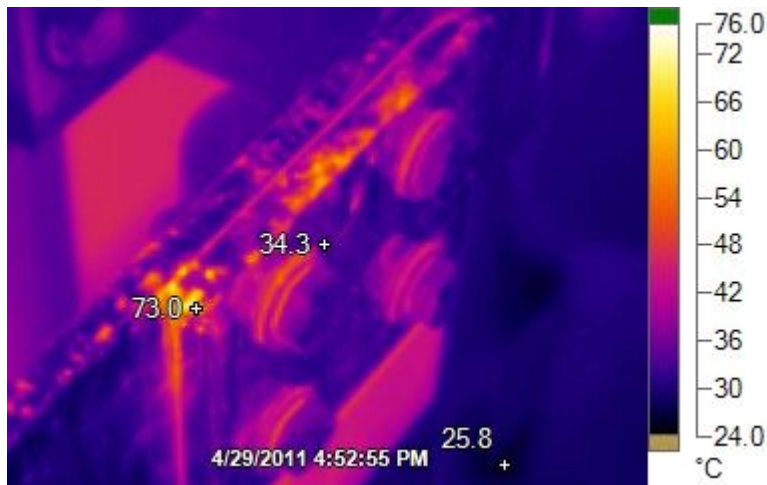
Ilmarako virtakiskon liitoksessa



Kuva 1. Altaan 317 etupuolen puhdistettu katodikiskon liitos, jossa on selvä ilmarako toisessa laidassa. Altaan toinen puoli on kytketty irti. 500 A (Kuva: Kalle Mononen)



Kuva 2. Altaan 317 etupuolen puhdistettu katodikiskon liitos, jossa on selvä ilmarako toisessa laidassa. Altaan toinen puoli on kytketty irti. 1000 A (Kuva: Kalle Mononen)

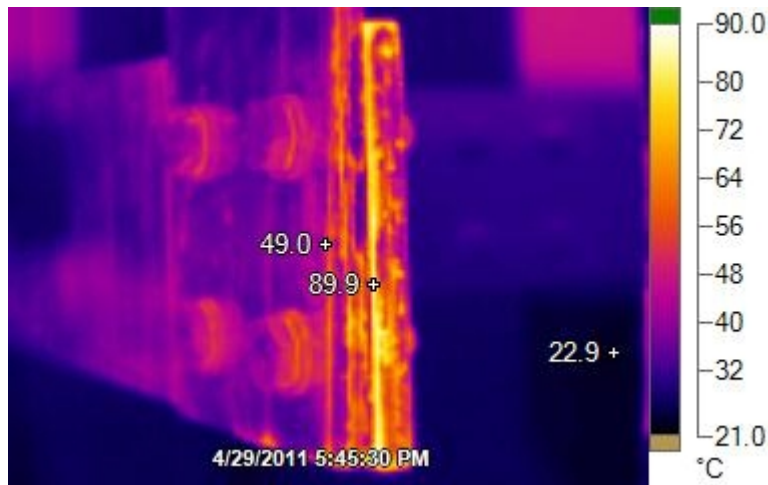


Kuva 3. Altaan 317 etupuolen puhdistettu katodikiskon liitos, jossa on selvä ilmarako toisessa laidassa. Altaan toinen puoli on kytketty irti. 1250 A (Kuva: Kalle Mononen)



Kuva 4. Altaan 317 etupuolen puhdistettu katodikiskon liitos, jossa on selvä ilmarako toisessa laidassa. Altaan toinen puoli on kytketty irti. 1500 A (Kuva: Kalle Mononen)

Hapettunut liitos



Kuva 1. Hapettunut väljä liitos. Altaan toisen puolen liitos on kytketty irti. 1000 A (Kuva: Kalle Mononen)



Kuva 2. Hapettunut liitos kiristettynä normaalisti. Altaan toisen puolen liitos on kytketty irti. 1600 A (Kuva: Kalle Mononen)

Lopputarkistus mittauksien päätyttyä



Kuva 1. Hapettunut liitos puhdistettuna ja kuparitahnalla käsiteltynä. Altaan kaikki virtakiskojen liitokset ovat kiristetty normaalisti. 3000 A (Kuva: Kalle Mononen)



Kuva 2. Väljä liitos, jossa on yksi lämmennyt pultti. 1000 A (Kuva: Kalle Mononen)