



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# LÄMPÖKUVAUS SÄHKÖ- KUNNOSSAPIDOSSA

TEKIJÄ: Ilkka Hakkarainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Ilkka Hakkarainen	
Työn nimi Lämpökuvaus sähkökunnossapidossa	
Päiväys 27.8.2014	Sivumäärä/Liitteet 82/30
Ohjaaja(t) lehtori Jari Ijäs	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Pyhäsalmi Mine Oy, sähköilytönjohtaja Ari Ruokojärvi	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä käsiteltiin lämpökuvausta sähkökunnossapidossa. Työ toteutettiin Pyhäsalmi Mine Oy:lle ja tarkoituksena oli suunnitella toteutuskelpoiset lämpökuvausreitit tärkeimmille laitteistoille sekä siirtää suunnitellut reitit kaivoksen käyttämään kunnossapidon KaTTi32-tietojärjestelmään.</p> <p>Ensimmäiseksi työssä tutkittiin kirjallisuutta, jotta saataisiin selville kunnossapidon oleelliset asiat kuten kunnossapidon eri osa-alueet ja niihin sisältyvät toimenpiteet. Kunnossapidolla pyritään pitämään laitteistot käyttökunnossa ja minimoidaan laitteistojen odottamattomien vikaantumisien mahdollisuutta. Jotta kunnossapito toimisi käytännössä hyvin, kaikki kunnossapidon osa-alueet pitää olla kunnossa. Lämpökuvausreittien suunnittelu aloitettiin tutkimalla sähkökuvia ja tarvittaessa kysyttiin kunnossapitohenkilöiltä lisätietoja tärkeimmistä sähkölaitteista. Kaivoksen tietokannasta löytyi vanha lämpökuvausreitti, joka toimi pohjana uudelle lämpökuvausreitille.</p> <p>Ennen kuin lämpökuvia suoritetaan käytännössä, oli hyvä ymmärtää lämpöteoriaan liittyviä asioita kuten lämpösäteily ja emissiivisyys. Työssä tutustuttiin lämpökameran tekniikkaan, toimintaan sekä käytännön lämpökuvauksessa esille tuleviin asioihin. Lisäksi perehdyttiin tarkemmin, miten lämpökuvauksella nähtävät viat, kuten löysät liitokset ja epäsymmetrinen kuormitus, näkyvät lämpökuvissa. Lisäksi suoritettiin lämpökuvia kiinteistössä. Lämpökuvia suoritettiin kahdella eri lämpökameralla ja tutustuttiin niiden mukana oleviin Thermal Camera Suite ja Fluke SmartView -analysointiohjelmistoihin. Lopuksi laadittiin toisen lämpökameran käyttöön pikaohjeistus.</p> <p>Lopputuloksena syntyi laaja materiaali säännöllisten lämpökuvausten aloittamisen avuksi. Suunniteltuja lämpökuvausreittejä käytetään tulevaisuudessa kaivoksella. Toimenpiteillä pyritään estämään kaivoksella sähköviasta syntyviä suunnittelemattomia tuotantokatkoja.</p>	
Avainsanat sähkökunnossapito, lämpökamera, lämpökuvaus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Ilkka Hakkarainen			
Title of Thesis Thermal Imaging in Electrical Maintenance			
Date	27 August 2014	Pages/Appendices	82/30
Supervisor(s) Mr. Jari Ijäs, Lecturer			
Client Organisation /Partners Pyhäsalmi Mine Oy, Electrical Superintendent Ari Ruokojärvi			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was made for Pyhäsalmi Mine Oy. The main objective of this thesis was to plan proper thermal imaging routes, which are possible to carry out in practice. The routes were fed into the KaTTi32–system database, used for scheduling and reporting the Pyhäsalmi Mine maintenance.</p> <p>First, literature was studied to find out the main things in maintenance, such as different sectors and what operations are included in them. Maintenance aims at keeping equipment operational and it also aims at minimizing the possibility of unexpected failures. Maintenance runs well in practice when all the sectors of the maintenance are in good condition. Secondly, the planning of the thermal imaging routes was approached by looking at the electrical circuit diagrams and asking maintenance persons for more information about important electrical devices. An old thermal image route was found in the database and it was used as base for the new thermal image route.</p> <p>Before performing thermal imaging it is good to know something about thermal radiation and emissivity. The thesis introduces basic thermal imager technology, how the thermal imager works and what must be considered while performing thermal imaging. The thesis also took a closer look at how faults like loose couplings and asymmetric load show up in the thermal image. In addition, some thermal imaging was performed in the property to work as model for future thermal imaging. Thermal imaging was performed with two different thermal imagers. Both thermal imagers had separate thermal image analysis programs, Thermal Camera Suite and the second was Fluke SmartView. Finally, an operating manual for the more used thermal imager SKF TKT110 was made.</p> <p>As a result of this thesis a comprehensive material was drawn up to start regular thermal imaging in Pyhäsalmi Mine electrical maintenance. Planned thermal imaging routes will be in use in the near future. Doing regular thermal imaging will help Pyhäsalmi Mine to prevent unplanned production stoppages.</p>			
Keywords Electrical maintenance, Thermal imager, Thermal imaging			

## ESIPUHE

Tämän opinnäytetyön päätavoite oli tehdä kattava materiaali säännöllisten lämpökuvauskierrosten aloitukseen Pyhäsalmi Mine Oy:lle. Tein opinnäytetyötä kesän 2014 aikana, jolloin myös kirjoitin raportointiosion. Haluaisin kiittää opinnäytetyön ohjauksesta sähkölityönjohtaja Ari Ruokojärveä, jolta myös sain tämän aiheen, KaTTi32-ohjelmiston käyttöavusta työsuunnittelija Martti Jauhiaista sekä sähköasentaja Pertti Hynnistä käytännön avusta lämpökuvauksia suoritettaessa.

Haluan myös kiittää lehtori Jari Ijästä työnohjaamisesta.

Pyhäsalmissa 27.8.2014

Ilkka Hakkarainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	PYHÄSALMI MINE OY.....	8
3	SÄHKÖLAITTEISTOJEN LUOKITUKSET .....	9
4	SÄHKÖLAITTEISTOJEN KUNNOSSAPITO.....	10
4.1	Kunnossapidon osa-alueet.....	10
4.1.1	Huolto .....	12
4.1.2	Ennakoiva kunnossapito .....	12
4.1.3	Korjaava kunnossapito.....	12
4.1.4	Parantava kunnossapito.....	13
4.2	Sähkölaitteistojen vikakategoriat .....	13
4.3	Sähkölaitteistojen lämpeneminen ja sen riskit.....	14
4.4	Lämpötilarajat.....	14
5	LÄMPÖKUVAUKSEN PERUSTEET .....	16
5.1	Lämpö- ja infrapunasäteily .....	16
5.2	Emissiivisyys.....	17
5.3	Lämpökameran tekniikka.....	18
5.4	Lämpökuvauksen turvallisuus .....	19
5.5	Sähkölaitteiden kuormituksen vaikutus .....	19
6	LÄMPÖKAMERAT JA SÄÄDÖT.....	21
6.1	SKF TKT110 .....	21
6.2	Fluke Ti9.....	22
6.3	Lämpökameran säätöjä.....	23
6.3.1	Kameran kalibrointi .....	23
6.3.2	Lämpötila-alue ja väripaletit .....	23
6.3.3	Tarkkuus ja sitä heikentävät tekijät.....	25
6.3.4	Emissiivisyyden määrittäminen .....	26
7	LÄMPÖKUVIEN ANALYSOINTI.....	27
7.1	SKF TKT1 10 Thermal Camera Suite.....	27
7.1.1	Käyttöliittymä .....	27
7.1.2	Raportointi.....	28
7.2	Fluke SmartView .....	29

7.3	Sähköjärjestelmien yleisimmät viat.....	29
7.3.1	Löysät tai hapettuneet liitokset.....	30
7.3.2	Epäsymmetrinen kuormitus.....	31
7.3.3	Kylmät viat.....	31
8	LÄMPÖKUVAUKSET KAIVOKSELLA.....	32
8.1	Lämpökuvausalueiden jaottelu.....	32
8.2	Lämpökuvattuja kohteita.....	32
8.2.1	ZNV1 ja ZNV2 -sähkökeskukset.....	33
8.2.2	LM2J ja turvakytkin.....	36
8.2.3	Valaistuskeskus.....	37
8.2.4	+1400 muuntamo.....	40
8.2.5	+1010 muuntamo.....	43
9	HUOLTO-OHJELMA.....	47
10	YHTEENVETO.....	49
	LÄHTEET.....	50
	LIITE 1: MALLIRAPORTTI THERMAL CAMERA SUITE-OHJELMISTOSTA.....	52
	LIITE 2: LÄMPÖKUVAUSREITIT.....	53
	LIITE 3: ZNV1-SÄHKÖKESKUKSEN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI.....	54
	LIITE 4: ZNV2-SÄHKÖKESKUKSEN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI.....	56
	LIITE 5: LM2J SÄHKÖMOOTTORIN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI.....	59
	LIITE 6: LM2J TURVAKYTKIMEN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI.....	61
	LIITE 7: VALAISTUSKESKUKSEN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI.....	63
	LIITE 8: +1400 MUUNTAMON LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI.....	67
	LIITE 9: +1010 MUUNTAMON LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI.....	70
	LIITE 10: SKF-LÄMPÖKAMERAN KÄYTTÖOHJE.....	77

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön päätavoite on suunnitella lämpökuvausreitit Pyhäsalmi Mine Oy:n sähkökunnossapidolle sekä koota lämpökuvauksia helpottava materiaali. Työn tavoitteena on myös siirtää suunnitellut lämpökuvausreitit ja aikatauluttaa ne kaivoksen käyttämään KaTTi32-ohjelmistoon, jonne lämpökuvauksen tekijä voi kuitata työn tehdyksi ja kirjata mahdolliset huomionsa. Toimeksiantajana on Pyhäsalmen kaivoksen sähkökunnossapidon esimies.

Työssä suoritetaan lämpökuvauksia erilaisiin kohteisiin ja käsitellään lämpökuvien sisällön analysointia. Pyhäsalmen kaivoksella on käytössä erittäin paljon erilaisia sähkölaitteita ja järjestelmiä. On tärkeää selvittää laitoksen toiminnan kannalta oleelliset sähkölaitteet ja saada ne lämpökuvauksen piiriin.

Nykyisellään lämpökuvausta ei ole säännöllisesti käytössä sähkökunnossapidossa, joten lämpökuvauksen ottamisesta osaksi sähkökunnossapitoa on ollut puhetta. Lämpökuvauksen hyödyt ovat sähkökunnossapidossa merkittävät. Varsinkin, jos lämpökuvauksella löydetään sähkölaitteistovika, joka voisi pysäyttää laitoksen tuotannon.

## 2 PYHÄSALMI MINE OY

Pyhäsalmi Mine Oy on maanalainen First Quantum Mineralsin omistama kaivos Pyhäjärvellä Pohjois-Pohjanmaalla. First Quantum Minerals on kanadalainen kaivosyhtiö, joka omistaa muitakin kaivoksia maailmalla. Yhteensä omistuksessa on seitsemän kaivosta, jotka sijaitsevat Suomessa, Australiassa, Turkissa, Espanjassa, Sambiassa sekä Mauritaniassa. (First Quantum Minerals.)

Pyhäsalmen malmi löydettiin vuonna 1958, ja vuonna 1962 Outokumpu Oy aloitti kaivostoiminnan Pyhäsalrella. Kaivos toimi avolouhostyyppisesti vuoteen 1967, jonka jälkeen alkoi maanalainen toiminta. Pyhäsalmen kaivos työllistää tällä hetkellä noin 210 henkilöä, joiden lisäksi alueella on töissä eri yhtiöiden urakoitsijoita. Malmin tuotanto oli n. 1,4 miljoonaa tonnia vuonna 2013. Tärkeimpiä tuotteita ovat sinkki, kupari ja rikki. Kuperirikaste menee jatkojalostukseen Harjavaltaan, sinkkirikaste Kokkolaan ja rikkirikaste Siilinjärvelle Yaran tehtaalle. Rikkirikastetta myydään myös Saksaan, Amerikkaan ja Kiinaan. Kaivoksen omisti ennen Outokumpu, joka myi sen Inmet Mining Corporationille vuonna 2002. Samana vuonna alueelle rakennettiin uusi kaivostorni sekä uusi 1450 metriä syvä hissikuilu. Tämä tekee Pyhäsalmen kaivoksesta Euroopan syvimmän metallikaivoksen. First Quantum Minerals osti Inmet Mining yhtiön vuonna 2013 ja samalla Pyhäsalmen kaivos siirtyi sen omistukseen. (First Quantum Minerals; Pyhäsalmen Kaivos 2012.)

Kaivoksen malmia louhitaan tällä hetkellä +1050 ja +1350 syvyystasojen välillä. Maan alla malmi kuljetetaan lastauskoneilla ns. toroilla esimurskaukseen ja tämän jälkeen malmi kulkee hihnoilla maan alla olevaan väliaikaiseen säilytys-siiloon. Maan päälle malmi kulkee Timonkuilun kautta hississä olevassa isossa kuljetussiiilossa. Maan päällä malmi kipataan toiseen siiloon, josta kuljetushihnojen avulla malmi kulkee jatkokäsittelyyn tontilla olevalle rikastamolle.

Pyhäsalmen kaivoksen tämänhetkinen ennakoitu sulkemisajankohta on vuonna 2019. Tämän ajan-kohdan jälkeen on suunniteltu LAGUNA-neutriinoilmaisinta ja muitakin projekteja kaavillaan. (First Quantum Minerals; Cupp 2010.)



### 3 SÄHKÖLAITTEISTOJEN LUOKITUKSET

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto on laatinut sähköturvallisuuslain SL (410/1996) 56 §:n mukaisen sähkölaitteistoihin liittyvän ohjeen (S4-2011). Pyhäsalmen kaivoksella on oma sähköasema, joka sisältää 6 kV keskijännitekojeiston. Tämän takia kaivoksella pitää olla käytönjohtaja, jolla on luokan 1 pätevyys. (Tukes 2011.)

Tukesin ohjeessa sähkölaitteistot on ryhmitelty eri laitteistoluokkiin ja kullakin luokalla on erilaiset määräykset, tarkastukset ja näiden suorittamisajankohdat. Sähkölaitteiston luokkaan vaikuttavat sen sähkötekniset ominaisuudet, laitteiston laajuus ja tila sekä ympäristö, jossa laitteisto sijaitsee. Alla on esitelty sähkölaitteistojen luokkajakoja (Tukes 2011.)

*Sähkölaitteistoluokituksessa luokitusperusteina on kolmentyyppisiä asioita:*

- *sähkölaitteisto asuinrakennuksessa (luokka 1a)*
- *sähkölaitteisto erityistilassa (luokat 1d, 2b, 3a, 3b)*
- *sähkölaitteistokokonaisuus (luokat 1b, 2c, 2d, 3c)*

(Tukes 2011.)

Määräaikaistarkastukset suoritetaan sähkölaitteistoille tietyin määräajoin, ja niitä saavat tehdä vain siihen valtuutetut tarkastajat. Taulukossa 1 on Tukesin esittämät laitteistojen määräaikaistarkastuksien välit. Lämpökuvaukset olisi hyvä suorittaa erikseen määräaikaistarkastuksien tapaan tietyin väliajoin.

TAULUKKO 1 Määräaikaistarkastukset (Tukes 2011.)

Laitteistoluokka	Tarkastuksien väli
1	15 vuotta
2	10 vuotta
3	5 vuotta

## 4 SÄHKÖLAITTEISTOJEN KUNNOSSAPITO

Kunnossapito on olennainen osa sähkölaitteistoja. Pitkällä aikavälillä kunnossapidon merkitys korostuu huomattavasti sähkölaitteiston ikääntyessä. Kunnossapidon yksi tärkeimpiä päämääriä on ylläpitää laitteistot siinä kunnossa, että ne toimivat kuten niiden on tarkoitettukin toimia. Sekä sähkölaitteistojen käyttöturvallisuus että laitteistoihin kohdistuvien rahallisten vahinkojen välttäminen ovat myös tärkeitä.

Kunnossapidolla pyritään taloudellisesta näkökulmasta varmistamaan se, että yrityksen tuotanto pysyisi sille määritetyllä tasolla. Usein omistaja haluaa maksimaalisen tuoton sijoittamalleen pääomalle. Kunnossapidolla pyritään myös minimoimaan käyttökustannuksia, niin että kaikki laitteistot huollettaisiin ajallaan ja mahdolliset havaitut viat korjattaisiin ajoissa, ennen kuin varsinaisia suurempia vaurioita sattuisi. Kunnossapito määritellään standardeissa monella tavalla.

Suomessakin käytössä oleva, kansallinen standardi SFS-EN 13306:2010 määrittelee kunnossapidon näin:

*Kunnossapito koostuu kaikista kohteen eliniän aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon.*  
(SFS 2010).

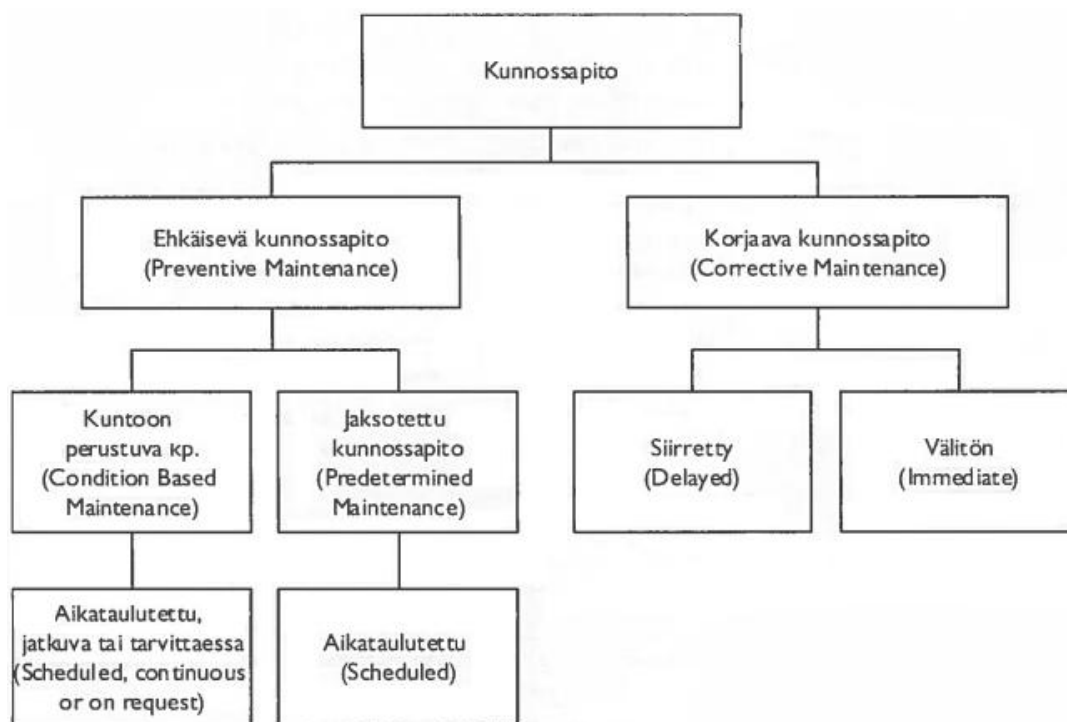
Toinen yleisesti tunnettu kunnossapitoon liittyvä standardi PSK 6201:2011 kuvaa kunnossapidon hieman eri tavalla:

*Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana*  
(PSK 2011).

### 4.1 Kunnossapidon osa-alueet

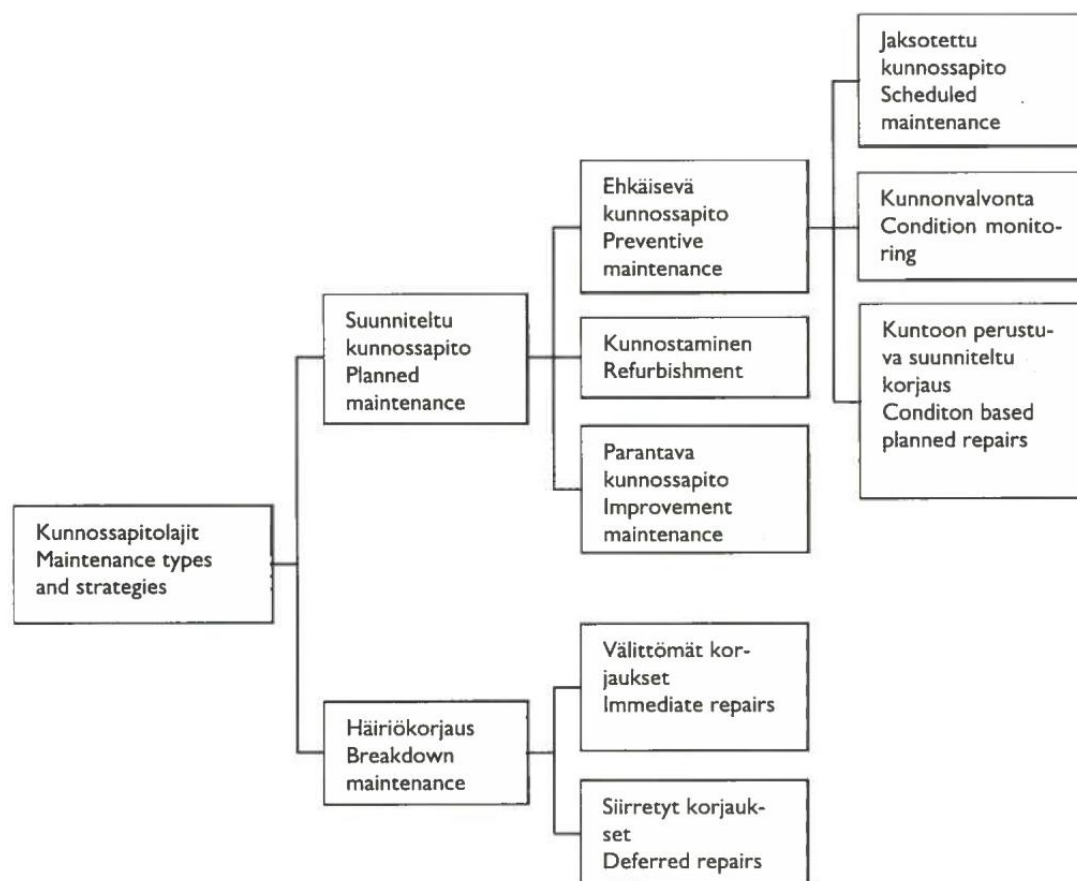
Kunnossapitolajien jaottelussa on käytössä monia eri tapoja. Tässä luvussa käsitellään kolmea erilaista tapaa jakaa kunnossapito. Käytännössä standardien jaottelun perustana toimii kunnossapidossa havaitun laitteistovian vakavuus, kiireellisyys ja laitteiston tarvitsemat huoltotoimenpiteet. (Mikkonen 2009.)

Suomessa kansainvälisesti käytössä olevan standardin SFS-EN 13306 mukaan kunnossapidon tyypit jaetaan kahteen osaan: ehkäisevään ja korjaavaan kunnossapitoon. Kuviossa 1 on esitetty SFS-standardin mukainen kunnossapitolajikaavio. (Mikkonen 2009.)



KUVIO 1 Kunnossapitolajikaavio (Mikkonen 2009.)

Toinen yleisesti tunnettu kunnossapitostandardi PSK 6201:2011 ryhmittelee kunnossapidon osa-alueet viankorjaukseen sekä etukäteen suunniteltuihin toimenpiteisiin. Kuviossa 2 on PSK 6201:2011:n mukainen ryhmittely.



KUVIO 2 Ryhmittelykaavio (Mikkonen 2009.)

Kolmatta tapaa, jolla kunnossapito jaotellaan, kutsutaan kuntoon perustuvaksi kunnossapidoksi. Kuntoon perustuva kunnossapito perustuu laitteen senhetkiseen kuntoon ja toimenpiteet suoritetaan sen perusteella. Tästä syystä kunnonvalvonta ja säännölliset laitteistotarkastukset ovat erittäin oleellisia, jotta kuntoon perustuva kunnossapito toimii hyvin käytännössä. (Mikkonen 2009.)

#### 4.1.1 Huolto

Huollon päätarkoitus on ylläpitää laitteen ominaisuuksia uudenkaltaisina. Laitehuollolla tarkoitetaan sitä, että laitteen osia uusitaan, ennen kuin laite vaurioituu merkittävästi. Huolto ja ennakoiva kunnossapito kuuluvat samaan kategoriaan ja toimivat osittain päällekkäin. Määräaikaishuoltojen välit perustuvat laitevalmistajan testauksiin, kokemuksiin ja mittaustuloksiin. Määräaikaishuoltojen välit voivat muuttua laitteen käyttötavan mukaan, jos laite on jatkuvassa rasituksessa. Tällöin on hyvä huoltaa laite hieman aiemmin kuin laitevalmistajan ohjeessa neuvotaan. Määräaikaishuoltoihin kuuluu yleensä laitteen puhdistusta, toiminnan testausta, kuluvien osien vaihtamista, kalibrointia yms. (Mikkonen 2009; Järviö ja Lehtiö 2012.)

#### 4.1.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito on iso osa kunnossapitoa. Ennakoiva kunnossapito tarkoittaa sitä, että pyritään ennalta ehkäisemään erilaiset laitteen käyttökatkokset, huolletaan laitteen osat ajoissa ennen kuin merkittäviä vaurioita syntyy. Sekä ylläpidetään laitteen ominaisuuksia, jotta se suoriutuu sille suunnitellusta tehtävästä. Ennakoivaa kunnossapitoa voidaan toteuttaa aikataulutettuna, jatkuvana tai tilanteen sitä vaatiessa. Ennakoivan kunnossapidon tärkeimmät alueet ovat erilaiset ajoitetut huoltotoimenpiteet, kunnonvalvonta, määräysten mukaisuuden testaus, erilaisten vikaantumistapah- tumien datan analysointi sekä kuntoon perustuvat, ennakkoon suunnitellut korjaukset. (Mikkonen 2009; Järviö ja Lehtiö 2012.)

#### 4.1.3 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito tarkoittaa jo tapahtuneiden vikojen korjaus- ja kunnostamistoimenpiteitä. Vikaantunut laite tai järjestelmä korjataan taas kuntoon, jotta se suoriutuu sille tarkoitettusta tehtävästä. Korjaava kunnossapito jaetaan kahteen osaan, siirrettyihin korjauksiin ja välittömästi tapahtuviin toimenpiteisiin. Tähän osioon sisältyy myös erilaiset vian määritykset, vian etsintä ja vikatyypin tunnistaminen sekä laitteen korjauksen avulla ominaisuuksien takaisin saaminen. (Mikkonen 2009; Järviö ja Lehtiö 2012.)

#### 4.1.4 Parantava kunnossapito

Parantavan kunnossapidon päätarkoitus on parantaa laitteen tai järjestelmän luotettavuutta, tehokkuutta ja käytettävyyttä. Parantava kunnossapito jaetaan kolmeen ryhmään. Ensimmäinen toimenpide on, että laitteen käyttöominaisuudet ovat huonontuneet ajan myötä ja laitteeseen vaihdetaan uudempiä komponentteja, jotta laitteen ominaisuudet palaisivat entiselle tasolle. Laitteen suorituskykyä ei varsinaisesti paranneta. (Mikkonen 2009; Järviö ja Lehtiö 2012.)

Laitteen luotettavuutta voidaan parantaa erilaisilla korjauksilla tai suunnittelemalla erilainen laitejärjestelmä, joka toimisi paremmin. Yksi tapa voi olla muuttaa kytkentää käyttötarkoitukseen sopivammaksi. Tämänkään ryhmän tarkoitus ei ole parantaa suorituskykyä vaan luotettavuutta. (Mikkonen 2009; Järviö ja Lehtiö 2012.)

Laitteen tehokkuuden parantaminen on viimeinen toimenpide parantavassa kunnossapidossa. Tähän osioon kuuluu vanhan järjestelmän tekninen modernisointi ja mahdollisesti samalla muutetaan itse valmistus- tai käyttöprosessia tehokkaammaksi. Esimerkiksi ydinvoimaloissa usein uudistetaan ohjaus- ja valvontajärjestelmiä, mutta ydinreaktoria ei vaihdeta uudempaan malliin. Tämä johtuu siitä, että on usein järkevämpää käyttää vanha ydinreaktori loppuun kuin ostaa kallis uusi malli. Ydinreaktorilla on huomattavasti pitempi elinjakso kuin sen tuottamalla sähköllä. Ydinreaktorin tehokkuuden parantaminen tulee ajankohtaiseksi, kun sillä ei pystytä tuottamaan sähköä sitä määrää, jota sähköverkko ja ydinreaktorin omistama yhtiö vaativat. (Mikkonen 2009; Järviö ja Lehtiö 2012.)

## 4.2 Sähkölaitteistojen vikakategoriat

Sähkölaitteistoista löytyvät mahdolliset viat on luokiteltu erilaisiin kategorioihin. Vika voi aiheuttaa monenlaisia vaaroja sähkölaitteiston huoltohenkilöille ja tarkastajille. Yleisiä vaaratilanteita ovat erilaiset sähköiskut, valokaaret, mahdolliset tulipalot yms. Esiintyvät sähkölaitteistoviat luokitellaan Tukesin toimesta taulukon 2 mukaisesti. (Tukes 2011.)

TAULUKKO 2 Vikakategoriat (Tukes 2011.)

Kategoria	Vian luonne
0	Välitön vaara
1	Vakava vaara
2	Lievä vaara
3	Säännösten mukainen

Vian aiheuttamaa vaaraa arvioidaan sen aiheuttamien mahdollisten vammojen ja terveyshaittojen näkökulmasta. Sähköiskun aiheuttama vaara itsessään riippuu monista asioista. Virran suuruudesta ja kulkutiestä, toimivatko sähköjärjestelmän suojaukset sekä ympäristöstä missä vika sijaitsee. (Tukes 2011.)

#### 4.3 Sähkölaitteistojen lämpeneminen ja sen riskit

Sähkölaitteistojen lämpeneminen voi varsinkin teollisuudessa osoittautua välillä ongelmaksi. Sähkölaitteiden sekä sähkötilojen jäähdytykseen ja sen suunnitteluun pitää panostaa. Yksinkertaisesti selitettynä sähköjärjestelmien aiheuttama lämpö syntyy, kun johtimessa kulkee virta. Johtimen oman resistanssin aiheuttama tehohäviö muuntuu lämmöksi ja johdin lämpenee. Yhtälöstä 1 nähdään, miten virran kasvaessa häviöteho ja lämpenemä nousevat neliöllisesti.

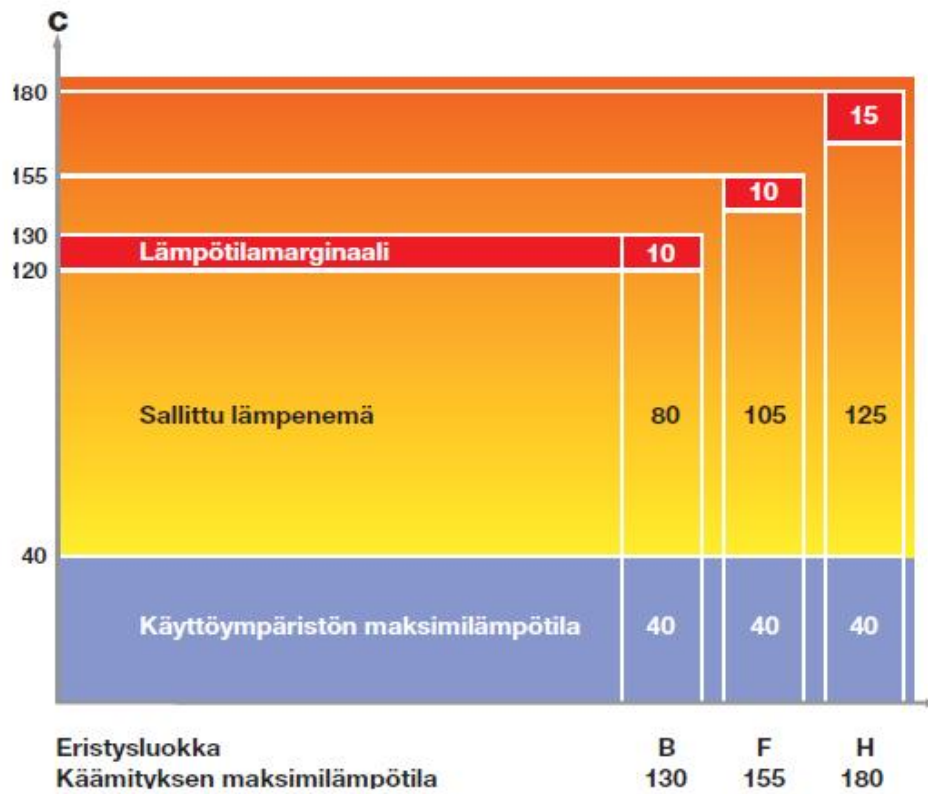
$$P = I^2 * R \tag{1}$$

Sähkölaitteistojen yllälämpenemisestä voi aiheutua vakaviakin seurauksia. Erilaiset sähköpalot ovat yksi näistä. Sähköpalo tarvitsee kuitenkin tietyt edellytykset syttyäkseen, siihen tarvitaan happea, palavaa ainetta sekä kipinä tai jokin muu vastaava alkulämmön lähde. Yleensä sähköpalon tapahtumaketju alkaa kuitenkin jonkin laitteen sähköteknisestä viasta. Vika voi olla seurausta suunnittelu- tai asennusvirheestä, huolimattomasta käytöstä tai sähkölaitteen määräaikaishuoltojen huonosta toteutuksesta. Yleisiä sähköpalon syntyyn liittyviä sähköilmiöitä ovat valokaaret, sähköpurkaukset, yliaaltojännitteet ja –virrat sekä vuoto-, oikosulku- ja ylikuormitusvirrat. (Säty 2002.)

#### 4.4 Lämpötilarajat

Sähkölaitteistoja lämpökuvattaessa olisi hyvä tietää ja arvioida, mihin mittaustuloksen lämpötilaa olisi hyvä verrata. Yleensä lämpökuvatun kohteen lämpötilaa voidaan verrata ympäristön lämpötilaan. Toinen tapa on verrata, johonkin samankaltaisen lähellä olevan komponentin lämpötilaan, jolla on samansuuruinen kuormitus. Jos kaksi samanlaista laitetta on samoissa lämpötilaoloissa ja niiden välillä on esim. 20 °C lämpötilaero. Olisi syytä tutkia tapausta lähemmin. On olemassa joitakin standardeja, jotka määrittelevät karkeasti lämpötilarajoja. Yleisesti sähkölaitteissa, kuten sähkömoottoreissa käytetyt eristeet ovat tärkeässä osassa määritettäessä maksimikäyttölämpötilaa.

Kuvassa 1 on esitetty sähkömoottoreiden käyttölämpötilaan liittyvä kaavio. Kuvasta huomaamme, että moottorin eristysluokka sanelee kuormituksessa sallitun lämpötilan nousun, eli lämpenemän. Jos ympäristön lämpötila kasvaa yli 40 °C, niin kuormituksesta tulevaa lämpenemää pitää rajoittaa saman verran.



KUVA 1 Sähkömoottoreiden lämpenemä (ABB Oy 2003.)

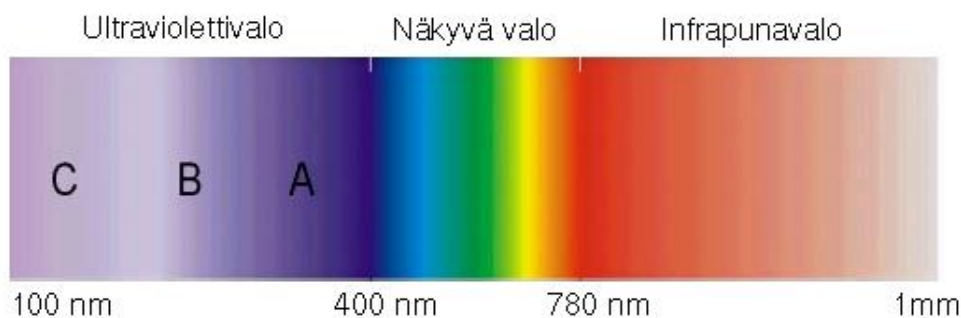
## 5 LÄMPÖKUVAUKSEN PERUSTEET

Lämpökuvauksella on monia käyttösovelluksia. Sitä käytetään pääasiassa kunnossapidon apuvälineenä, mutta myös sotilaskäytössä ja erilaisissa pelastustehtävissä. Kunnossapitoon sisältyy sovelluksia kuten rakennusten kuntotarkastukset, sähkökomponenttien kuntotarkastukset ja erilaiset mekaanisten laitteiden kuntotarkastukset. Rakennusten kuntotarkastuksissa voidaan nähdä erilaiset rakenteiden sisällä olevat ongelmat: kosteusvauriot, lämpövuodot, ilmavuodot yms. Sähkökomponenttien kuntotarkastuksissa on mahdollista nähdä vaiheiden kuormituserot, löysät liitoskohdat ja ylikuumentumiset. Mekaanisten laitteiden kuntotarkastuksissa, esim. laakereiden sen hetkinen kunto on hyvin nähtävissä. (Opetushallitus.)

Lämpökuvaus on osa ns. NDT -testausmenetelmää (nondestructive testing), tämän ominaisuuden takia lämpökuvaus on saanut suuren suosion. Voidaan tutkia laitteita niitä rikkomatta, eikä yleensä lämpökuvattavaa kohdetta tarvitse purkaa pienempiin osiin. Ennen kuvaukseen käytettävät lämpökamerat koettiin hankaliksi, suuren koon ja painavuuden takia. Tekniikan kehittyessä lämpökuvaus on koettu helpompikäyttöisemmäksi laitteiden pienentyessä ja käytettävyyden parantuessa, sekä lämpökameran sisäiset ominaisuudet ovat muuttuneet monipuolisemmiksi. Myös lämpökameran hintojen lasku on vaikuttanut niiden suosioon. (Opetushallitus.)

### 5.1 Lämpö- ja infrapunasaäteily

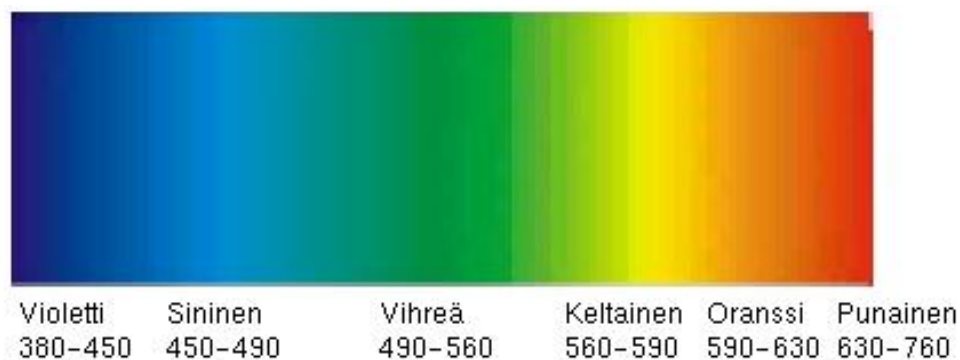
Lämpösaäteily on sähkömagneettista säteilyä, ihmisen silmät näkevät vain pienen osan sähkömagneettisen säteilyn spektristä. Lämpökuvaus hyödyntää pääasiassa sähkömagneettisen spektrin infrapunakaistaa, jota ihmisen silmät eivät kykene näkemään johtuen sen aallonpituudesta. Kuvassa 2 on esitelty sähkömagneettinen spektri. Ihminen pystyy kuitenkin havaitsemaan lämpösaateilyn vaikutukset lämmön tunteena ihollaan. Lämpösaateilyä lähettävät kaikki olemassa olevat kappaleet, joiden lämpötila ylittää absoluuttisen nollapisteen (-273 °C). Musta kappale on poikkeustapaus tästä. Se on teoreettisesti olemassa oleva kappale, joka on täydellinen säteilijä. Se siis ei lähetä itse lämpösaateilyä, tai heijasta muista lähteistä tulevaa säteilyä. Lämpösaäteily liikkuu valonnopeudella, kuten kaikki sähkömagneettiset säteet. (Infradex.)



KUVA 2 Sähkömagneettinen spektri (Ava.)



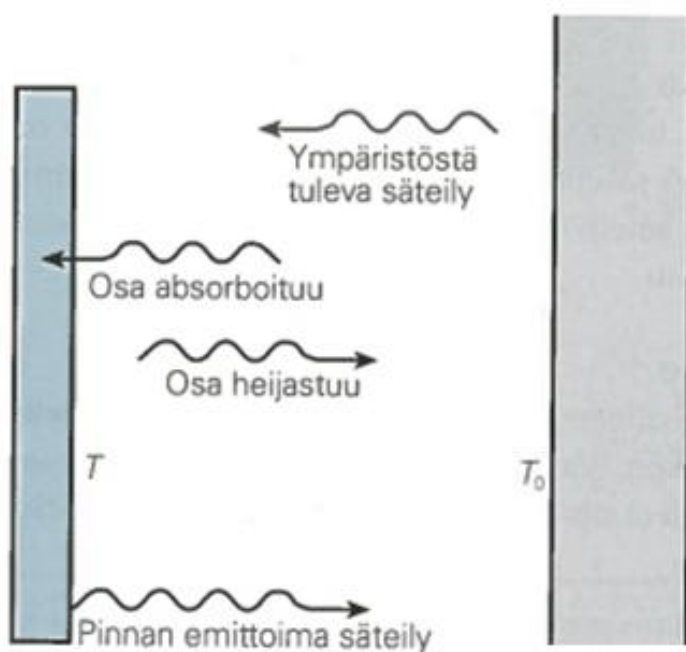
Ihmisen silmät pystyvät näkemään vain aallonpituudella 400 - 700 nm olevat värit. Kuvassa 3 on esitelty kunkin värin aallonpituus.



KUVA 3 Värit aallonpituuden mukaan (Ava.)

## 5.2 Emissiivisyys

Lämpökamera näyttää mitattavasta kappaleesta heijastuvan ja kappaleen itsensä lähettämän lämpösäteilyn määrän. Kuvassa 4 on esitetty kahden kappaleen välinen lämpösäteilyn vaihto. Emissiivisyys kuvaa kappaleen itsensä lähettämää lämpösäteilyä ns. emittoimaa säteilyä. Se ilmaistaan desimaalilukuna nollan ja yhden välillä, kullakin materiaalilla on erilainen emissiivisyysluku. Mitä suurempi emissiivisyysluku on, sitä vähäisempi on kappaleen itsensä lähettämä lämpösäteily ja sitä vähäisempi on kappaleen muualta tulevan lämpösäteilyn heijastuminen. Teoreettisesti olemassa olevan mustan kappaleen emissiivisyysluku on 1. (Infradex; Suvanto 2003.)



KUVA 4 Kappaleen lämpösäteilyt (Suvanto 2003.)

Emissiivisyyden huomioon ottaminen on lämpökuvattaessa tärkeää. Lämpökameran mittaama lämpötila-arvo voi poiketa paljonkin todellisuudesta, jos asetettu emissiivisyysarvo kamerassa on vääränlainen kuvattavaan materiaaliin nähden. Taulukossa 3 on yleisimpien materiaalien emissiivisyysarvot. Taulukosta on nähtävissä, että kiiltävillä ja kiillotetuilla materiaalinpinnoilla on pieni emissiivisyysarvo. Emissiivisyysarvon ollessa lähellä nollaa suurin osa kappaleen lämpösäteilystä on muualta heijastunutta. (Suvanto 2003.)

TAULUKKO 3 Materiaalien emissiivisyysarvoja (Fluke 2009a.)

Materiaali	Emissiivisyys
Alumiini, kiillotettu	0,05
Alumiini, hapettunut	0,25
Alumiini, karhea pinta	0,07
Kupari, kiillotettu	0,01
Kupari, hapettunut	0,65
Kupari, hapettunut mustaksi	0,88
Lakka	0,93
Lasi	0,92
Kumi	0,93
Sähköteippi	0,95
Paperi, valkoinen	0,90
Teräs, sinkitty	0,28
Teräs, hapettunut	0,88
Rauta, kiillotettu	0,28
Rauta, hapettunut	0,74
Pronssi, kiillotettu	0,10
Pronssi, rosainen	0,55
Betoni	0,92
Lyijy, kiiltävä	0,08
Lyijy, hapettunut	0,63
Messinki, kiillotettu	0,03
Messinki, tummunut	0,22
Tina, kiiltävä	0,05
Nikkeli, kiillotettu	0,05
Jäätynyt maaperä	0,93

### 5.3 Lämpökameran tekniikka

Lämpökamera on laite, jolla voidaan nähdä ihmisen silmille näkymätöntä lämpösäteilyä. Se mittaa kappaleesta tulevan lämpösäteilyn ja näyttää sen reaaliaikaisesti kameran näytöllä. Lämpökameran pääkomponentit ovat kameran linssi ns. optiikka, matriisi-ilmaisin, kuvan vahvistin, näyttöruutu ja toimintojen ohjausnäppäimet.

Tärkein komponentti lämpökameran toiminnassa on ilmaisim. Lämpökameran sisälle rakennettuja matriisi-ilmaisintyyppisiä on kahdenlaisia, jäähdytettyjä ja jäähdyttämättömiä. Näiden kahden ero on se, että jäähdytettyllä on huomattavasti pienempi vasteaika ja sillä pystytään havaitsemaan no-

peita lämpötilamuutoksia sekä kuvanlaatu on parempi. Jäähdytettyjen matriisien käyttölämpötila on -200 °C, joten jäähdytys näissä lämpökameroissa on tehty heliumkäyttöisellä kiertopumpulla. (Infradex.)

Jäähdyttämättömiä matriisi-ilmaisimia käytetään lämpökameroissa, jotka on tarkoitettu ympärivuorokautiseen lämpötilamuutosseurantaan. Jäähdyttämättömillä matriisi-ilmaisimilla olevat lämpökamerat ovat yleensä edullisempia ja kooltaan kompaktimpia kuin jäähdytetyt. Tästäkin syystä kannettavat lämpökamerat käyttävät pääasiassa jäähdyttämätöntä matriisi-ilmaisinta. (Infradex.)

Lämpökameran optiikalla eli kameran linssillä määrätään näytöstä näkyvä näkymäalue. Linssin materiaalina käytetään hiilipinnoitettua germaniumia, koska lasi ei optiikan materiaalina läpäise ja taita lämpösäteilyä. Optiikkaa muuttamalla voidaan vaikuttaa kameran erotuskykyyn eli alueeseen, jonka pinta-alan lämpökamera pystyy pienimmillään näyttämään. (Infradex.)

#### 5.4 Lämpökuvauksen turvallisuus

Lämpökuvattaessa sähkölaitteistoja pitää noudattaa tiettyjä säännöksiä ja olla tietoinen mahdollisista vaaroista. Sähkölaitteistojen lämpökuvauksessa pitää toteuttaa siten, että laitteistoissa on normaali kuormitus tilanne. Sähkölaitteissa on jännitteet lämpökuvattaessa, joten vain ammattitaitoinen henkilö saa avata esimerkiksi sähkökeskuksen luukut lämpökuvauksista varten. Sähköiskun riski on aina olemassa, kun lämpökuvataan kosketussuojamattomia sähkökomponentteja kuten kahvasulakkeiden metallikiinnityksiä tai kaapelien liitospaikoja. Kuvaukset on siis suoritettava riittävän turvaetäisyyden päästä, jolloin minimoidaan valokaarien ja sähköiskujen todennäköisyys.

Lämpökuvaukseen on olemassa koulutuskursseja ja pätevyksiä. LK 2-pätevyys on henkilöille, joilla ei ole sähköalan koulutusta. Tällainen henkilö tarvitsee sähköalan ammattilaisen valvojaksi kuvattaessa sähkölaitteistoja. Hän ei itse saa avata esim. keskuksen ovia, joiden takana on kosketussuojamattomia jännitteisiä osia. Toista lämpökuvaukseen olemassa olevaa pätevyyttä sanotaan LK1-pätevyudeksi. Kurssi on suunniteltu sähköalan ammattihenkilöille, jotka saavat tehdä lämpökuvauksia sähköjärjestelmissä itsenäisesti. (Seti 2013.)

Pätevyksiä ei ole pakko olla suorittaessa lämpökuvauksia, mutta on hyvä, että lämpökuvauksia suorittavat yritykset todistavat pätevyytensä koulutuksien avulla. Kurssien päätarkoitus on, että lämpökuvauksia osaa suorittaa lämpökuvaukset asianmukaisesti.

#### 5.5 Sähkölaitteiden kuormituksen vaikutus

Kuormitus on oleellinen tekijä lämpökuvauksen onnistumisessa. Ideaalinen tilanne lämpökuvauksen kannalta on, että laite olisi korkeimmassa normaalisti tapahtuvassa kuormituksessa. Suositus sanoo,

että laitteen tulisi olla vähintään 40 % kuormituksessa nimellisestä. Tietenkin sähkölaitteen pitää käydä kyseisillä kuormilla jonkin aikaa, että laitteen lämpö nousee kuormitusta vastaavaan lämpötilaan. Jos kuormitukset ovat liian alhaisia, mahdolliset vikakohdat eivät välttämättä lämpene tarpeeksi niin, että ne huomattaisiin lämpökuvista. (Fluke 2009b.)

## 6 LÄMPÖKAMERAT JA SÄÄDÖT

Seuraavissa luvuissa esitellään läpi lämpökuvauksissa käytetyt kamerat, asetukset sekä lämpökuvaukseen itsessään liittyviä asioita. Käytettiin kahta eri lämpökameraa, SKF TKT110 sekä Fluke Ti9, joiden tarkkuudessa ja ominaisuuksissa oli muutamia eroja. Liitteessä 10 on SKF-lämpökameran käyttöohje. Pääsääntöisesti työssä on käytetty SKF:n lämpökameraa, koska Fluke oli pääasiallisesti muussa käytössä. Myös Fluken lämpökameralla suoritettiin lämpökuvauksia, koska sitäkin käytetään jonkin verran kaivoksen sähkökunnossapidossa.

### 6.1 SKF TKT110

Lämpökuvauksissa käytettiin vertailun vuoksi kahta eri lämpökameraa SKF TKT110:tä ja Fluke Ti9:ää. SKF TKT110 on suhteellisen halpa perusmalli. Kuvassa 5 on lämpökameran tekniset tiedot ja kuvassa 6 on itse lämpökamera.

#### SKF TKT110 Tekniset tiedot:

<b>Lämpötila-alue:</b>	- 10... + 350 °C
<b>Lämpötilan mittaustarkkuus:</b>	± 2 °C tai 2 %, kumpi suurempi
<b>Näkökenttä (FOV):</b>	20° x 20°
<b>Spektrialue:</b>	8... 14 µm
<b>Herkkyys:</b>	0,3 °C @ 30 °C
<b>Ilmaisintyyppi:</b>	47x 47 Ilmaisinmatriisi
<b>Kuvataajuus:</b>	8 Hz
<b>Tarkennus:</b>	0,5 m äärettömään
<b>Säädettävä emissiivisyyskerroin:</b>	0,1.. 1,0 (0,01 välein)
<b>Näyttö:</b>	2" LCD näyttö, 8 väripalettia
<b>Käyttölämpötila:</b>	-5... +45 °C

KUVA 5 SKF-lämpökameratiedot (SKF.)



KUVA 6 SFK-lämpökamera (Hakkarainen 2014.)

## 6.2 Fluke Ti9

Toinen käytössä ollut lämpökamera oli Fluken valmiste, malli Ti9. Kuvassa 7 on lämpökameran tekniset tiedot ja kuvassa 8 on esitelty itse kamera. Teknisistä tiedoista huomataan, että Fluken lämpökamerassa ei pysty säätämään emissiivisyyskerrointa. Se on lukittu arvoon 0,95, joka käy lähinnä maalattujen pintojen ja muovien kertoimeksi. Kiiltäviä metalleja lämpökuvattaessa ei saada tarkkaa lämpötila-arvoa selville heti, koska niillä on poikkeuksetta alhaisempi emissiivisyyskerroin. Onneksi kuitenkin Fluken analysointiohjelmalla pystyy jälkikäteen muuttamaan emissiivisyyskerroimen haluksi.

### Fluke Ti9 Tekniset tiedot:

<b>Lämpötila-alue:</b>	- 20... + 250 °C
<b>Lämpötilan mittaustarkkuus:</b>	± 5 °C tai 5 %, kumpi suurempi
<b>Näkökenttä (FOV):</b>	23° x 17°
<b>Spektrialue:</b>	7,5... 14 μm
<b>Herkkyys:</b>	≤0,2 °C @ 30 °C
<b>Ilmaisintyyppi:</b>	160x120 ilmaisinmatriisi, jäähdyttämätön mikrobolometri
<b>Kuvataajuus:</b>	9 Hz
<b>Tarkennus:</b>	Manuaalinen
<b>Säädettävä emissiivisyyskerroin:</b>	Ei käytössä
<b>Näyttö:</b>	2"x 3" LCD näyttö
<b>Käyttölämpötila:</b>	-10... +50 °C

KUVA 7 Fluke-lämpökameran tiedot (Fluke 2014.)



KUVA 8 Fluke-lämpökamera (Hakkarainen 2014.)

### 6.3 Lämpökameran säätöjä

Lämpökameroissa on monia erilaisia säätöjä lämpökuvaukseen. Seuraavissa luvuissa on käsitelty lämpökameroista löytyviä asetuksia ja niiden merkitystä käytännössä.

#### 6.3.1 Kameran kalibrointi

Lämpökamera saattaa ajan ja käytön myötä alkaa näyttämään vääriä mittaustuloksia, jolloin lämpökuvien analysoinnissa voidaan tehdä virheitä. Varsinkin silloin, jos lämpökameraa käytetään monenlaisissa kuvausolosuhteissa.

Kalibroinnilla tarkoitetaan lämpökameran mittaustuloksen korjaamista todelliseen lämpötila-arvoon. Lämpökameran mittaustulosta verrataan johonkin tiettyyn pisteeseen tai komponenttiin (referenssiin), jonka oikea lämpötila tiedetään, ja säädetään lämpökamera näyttämään samaa arvoa. Jokaiselle kameralle on määritelty tietty mittaustarkkuus, jonka rajojen sisälle lämpökameran pitää pystyä mittaamaan todellisesta lämpötila-arvosta. Tämä mittatarkkuus selviää lämpökameran teknisistä tiedoista. Lämpökamera kalibroidaan tietyin määräajoin, yleensä yhden tai kahden vuoden välein.

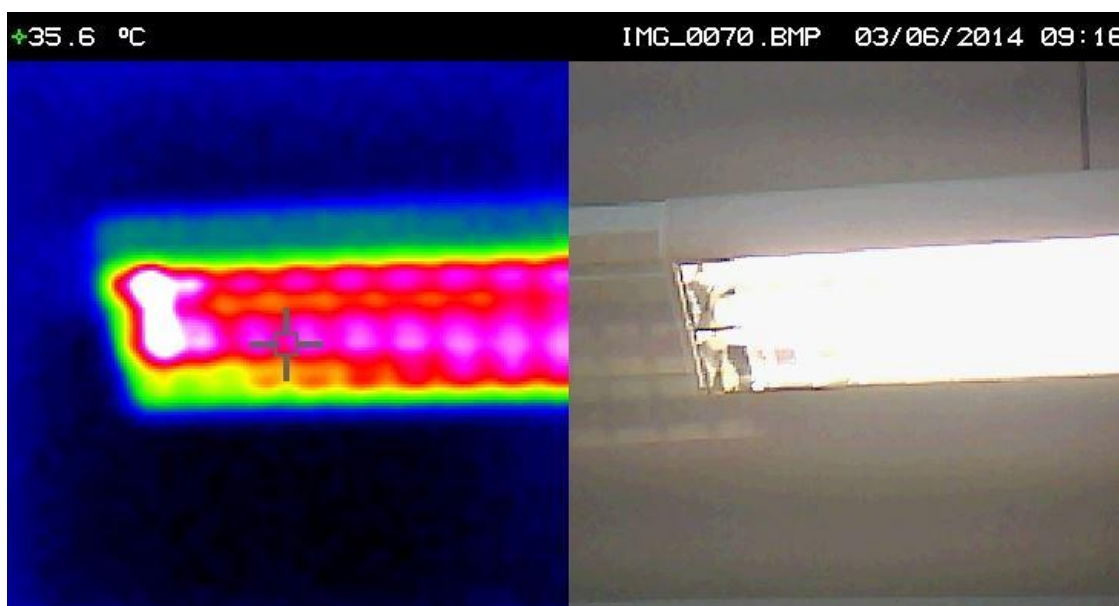
#### 6.3.2 Lämpötila-alue ja väripaletit

Teollisuus- ja rakennustarkastuksiin pääsääntöisesti suunniteltujen kameroiden lämpömittausskaala on n.  $-20\text{ °C}$ ... $400\text{ °C}$ , joka riittää useimpiin lämpökuvaukkohteisiin. On tosin olemassa suuremmillekin lämpötiloille tarkoitettuja lämpökameroita, joita käytetään erikoisemmissä tapauksissa. Oikeanlaisen lämpötila-alueen käyttö kuvattaessa on tärkeää. Yleensä lämpökamera osaa itse asetella läm-

pötila-alueen suhteellisen oikein, mutta joissain tapauksissa näin ei välttämättä tapahdu. Lämpökuvattavan kohteen ollessa toista ääripäätä voi käydä kuvan 9 kaltaisesti. Vertailemalla tätä kuvaan 10 huomaamme merkittävän eron oikeanlaisen ja väärän lämpötila-alueen välillä.



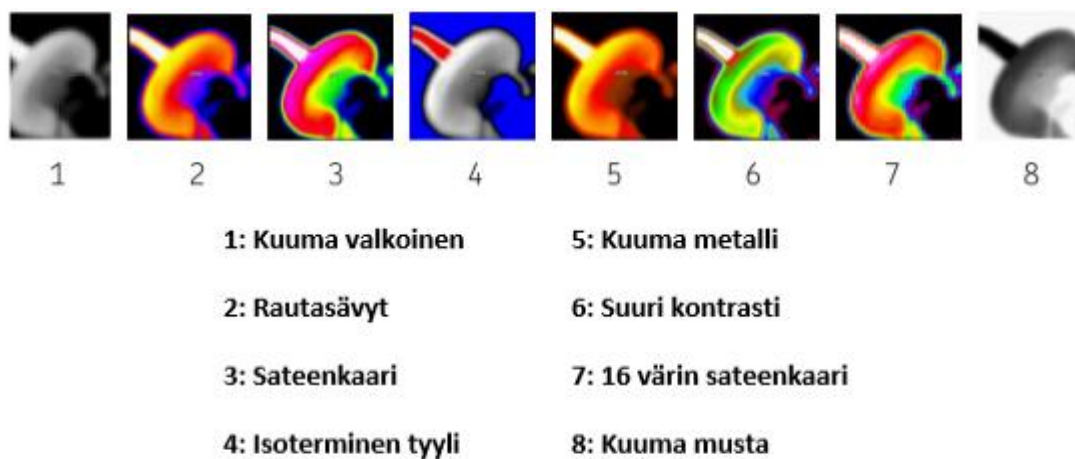
KUVA 9 Liian laaja lämpötila-alue (Hakkarainen 2014.)



KUVA 10 Lähellä oikeaa lämpötila-alueetta (Hakkarainen 2014.)

Väripaaleilla voidaan selkeämmin osoittaa mitattavan kohteen eri lämpötilat. Lämpökuvien analysoinnissa eri väripalettien hyödyntäminen tilanteeseen sopivaksi helpottaa analysointityötä, koska voidaan helpommin nähdä ja selittää lämpökuvan sisältöä. Lämpökameran erilaiset väripaletit voivat olla kuvan 11 kaltaisia.

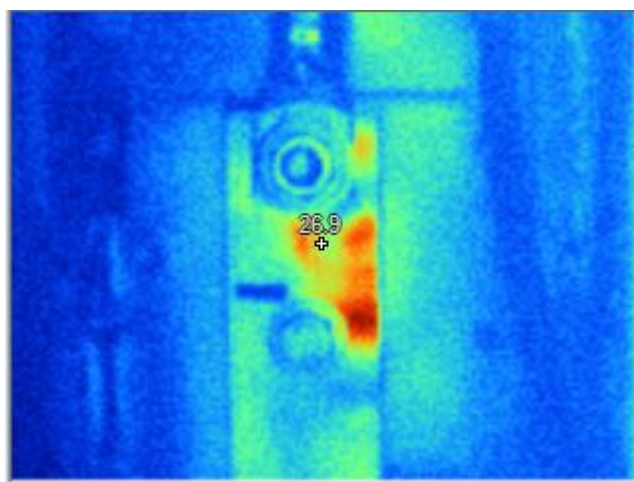




KUVA 11 SKF TKT110:n väripaletit (SKF.)

### 6.3.3 Tarkkuus ja sitä heikentävät tekijät

Lämpökuvauksen yleiseen tarkkuuteen vaikuttavat muutamat tekijät. Lämpökameroiden valmistajat ilmoittavat tarkkuuden teknisissä tiedoissa lämpötilamääränä tai prosentteina, joka on yleensä maksimissaan luokkaa  $\pm 5\%$ . Lämpötilamittaus lämpökamerassa perustuu infrapunasäteilyyn, minkä vuoksi on olemassa joitakin tekijöitä, jotka vaikuttavat mittaustarkkuuteen. Kaksi päätekijää ovat lämpötilanvaihtelut ja tutkittavan kappaleen emissiivisyys. Lämpötilavaihteluiden ollessa esimerkiksi  $\pm 30\text{ °C}$  ja kuvattavan kohteen emissiivisyyden ollessa alhainen ( $\epsilon < 0,6$ ) lämpökuvan analysoinnissa voidaan tehdä virheitä. Alhainen emissiivisyys voi aiheuttaa sen, että lämpökamera näyttää myös muualta tulevat heijastumat, ja tästä syystä kuvattavan kohteen lämpötila voi nousta todellista suuremmaksi. Heijastumat voidaan yleensä erottaa lämpökuvasta muodon perusteella. Kuvassa 12 on kiiltävässä kuparissa heijastuma. Lämpökameraa vähän liikuttamalla kyseinen lämpöheijastuma liikui ja vaihtoi muotoon. Suuret lämpötilanvaihtelut voivat aiheuttaa lämpökameraan mittausvirhettä ja lämpökuvan analysoinnissa voi tapahtua inhimillinen tulkintavirhe. (Fluke 2009b.)



KUVA 12 Heijastuma (Hakkarainen 2014.)

Todellisuudessa mittaustarkkuus vaihtelee lämpökuvattavan kohteen, käytetyn lämpökameran, käytetyn emissiivisyysarvon ja ympäristön tekijöiden mukaan. Joissakin tapauksissa mitattava kohde voi olla paikassa, missä ei pääse tarpeeksi lähelle lämpökuvaamaan. Tämä aiheuttaa sen, että kameran ilmaisimen erottelukyky ei välttämättä riitä ja kuvista voi tulla epätarkkoja. Lämpökameroissa näytön tarkennusta (focus) voidaan säätää manuaalisesti linssissä olevalla säätöpyörällä, jotta kuva tulisi mahdollisimman tarkaksi. Säätöpyörällä siis säädetään kuvausetaisyys kuvattavan kohteen mukaan.

#### 6.3.4 Emissiivisyyden määrittäminen

Kaikille materiaaleille ei välttämättä löydy emissiivisyysarvoa. Tässä tapauksessa se pitää selvittää itse, jos halutaan varmuudella oikea lämpötila mitattavasta kappaleesta. Emissiivisyyskertoimen määrittäminen voidaan tehdä monella tavalla.

Ensimmäinen tapa on laittaa tutkittavan kappaleen pinnalle jotain materiaalia tai ainetta, jonka emissiivisyysarvo varmasti tiedetään. Tämä voi olla esimerkiksi sähköteippiä. Kiinnitetään sähköteippi tutkittavaan kappaleeseen ja odotetaan hetki, että sen lämpötila muuttuu samaksi kuin tutkittavan kappaleen. Tämän jälkeen mitataan sähköteipin lämpötila sen omalla emissiivisyysarvolla (0,95) ja verrataan sähköteipin lämpötilaa tutkittavan kappaleen lämpötilaan. Sopiva emissiivisyysarvo löytyy tutkittavalle kappaleelle, kun se saadaan näyttämään samaa lämpötilaa kuin sähköteipin lämpötila.

Toinen tapa on mitata kappaleen lämpötila, jollakin toisella lämpötilamittauslaitteella kuten kosketuslämpötilamittarilla. Kohdistetaan lämpökamera tutkittavaan kappaleeseen ja muutetaan emissiivisyysarvoa, kunnes se näyttää samaa arvoa kuin vertailussa käytetty lämpömittari.

Kolmas tapa on lämmitellä tutkittava kappale johonkin tiedettyyn lämpötilaan ja mitata kappaleen lämpötila. Emissiokerrointa muutetaan, kunnes lämpökameralla kuvatun kappaleen lämpötila täsmää tiedettyyn lämpötilaan. Tällöin tiedetään emissiokerroin tutkittavalle kappaleelle ja muille samanlaisille materiaaleille.

## 7 LÄMPÖKUVIEN ANALYSOINTI

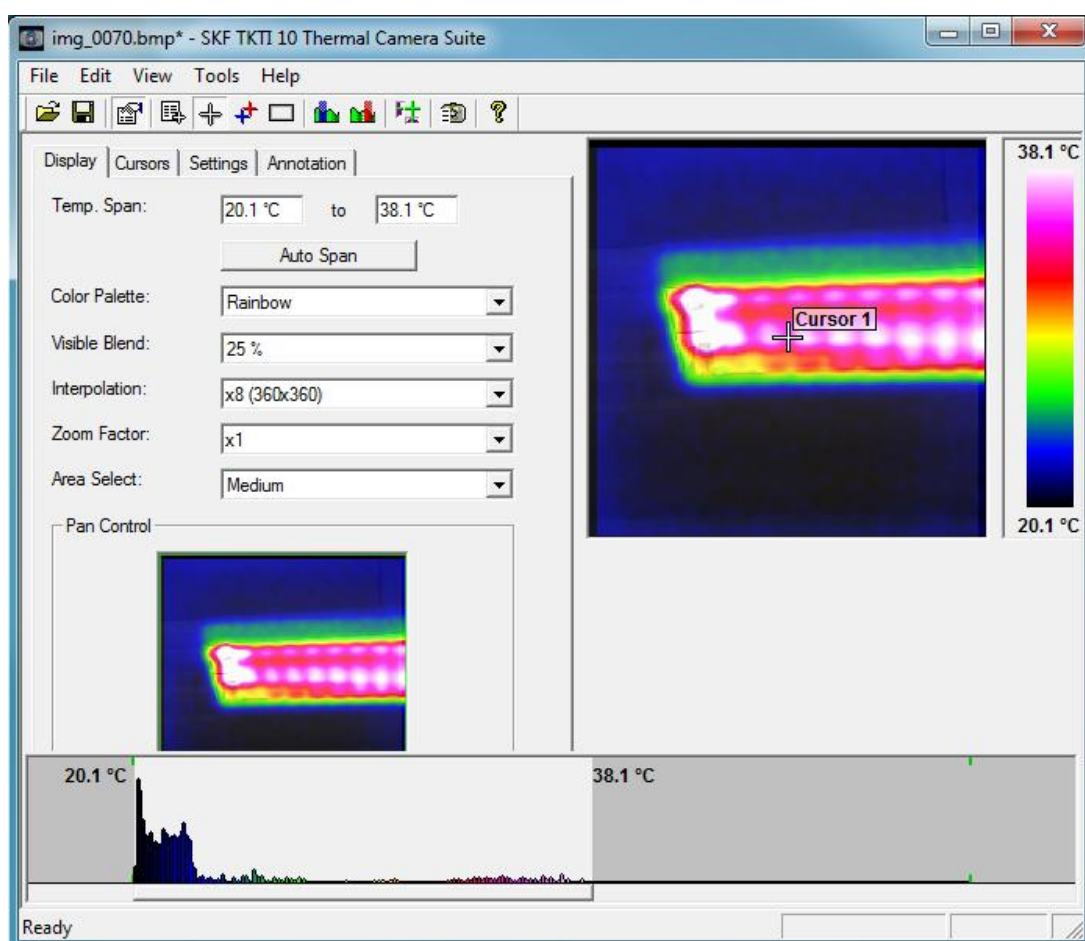
Lämpökuvien analysointiohjelmia on markkinoilla monenlaisia, mutta tässä opinnäytetyössä käytettiin lämpökameroiden mukana olevia ohjelmistoja. Seuraavaksi on esitelty analysointiohjelmien sisältöä ja niiden käyttöä.

### 7.1 SKF TKT1 10 Thermal Camera Suite

Thermal Camera Suite -ohjelmisto on ensisijaisesti kuvien analysointiin tarkoitettu. Se tulee SKF:n lämpökameroiden mukana. Seuraavaksi käsitellään ohjelman käyttöliittymää.

#### 7.1.1 Käyttöliittymä

Kuvassa 13 on nähtävissä Thermal Camera Suite -ohjelmiston käyttöliittymä. Aloitusikkunan ylä-laidassa on nähtävillä ohjelmistoon kuuluvia osioita, kuten kuvien avaus ja tallennuspainikkeet, lämpökuvasta löytyvien kylmimmän ja kuumimman pisteiden merkintä sekä isotermissiä säätöjä. Isotermissellä toiminnolla ohjelma rajaa kuvasta joko kuumat tai kylmät alueet käyttäjän valinnan mukaan.



KUVA 13 Thermal Camera Suite:n aloitusikkuna (Hakkarainen 2014.)

Ohjelmistossa on itsessään paljon muitakin ominaisuuksia. Display-välilehdessä voidaan muuttaa käytettyä väripalettia, lämpökuvan suodatusta, zoomia, alueen rajausta ja näkyvää kuvayhdistelmää toisin sanoen otetun normikuvan ja lämpökuvan suhdetta. Settings-valikossa voidaan muuttaa emissiivisyyttä, käytettyä lämpötilayksikköä ja reflektoitua lämpötilaa. Tämä tarkoittaa sitä lämpötilaa, jota alhaisemmat lämpötilat lämpökamera suodattaa kuvasta pois.

Lämpökuvausohjelmisto on erittäin kätevä jos huomaa, että on käyttänyt lämpökuvattaessa väärää emissiivisyysarvoa tai vaikka väärää lämpöaluetta. Ohjelmassa voi jälkikäteen vaihtaa arvon oikeanlaiseksi ja ohjelma näyttää sitten asetetuilla arvoilla lämpökuvan.

### 7.1.2 Raportointi

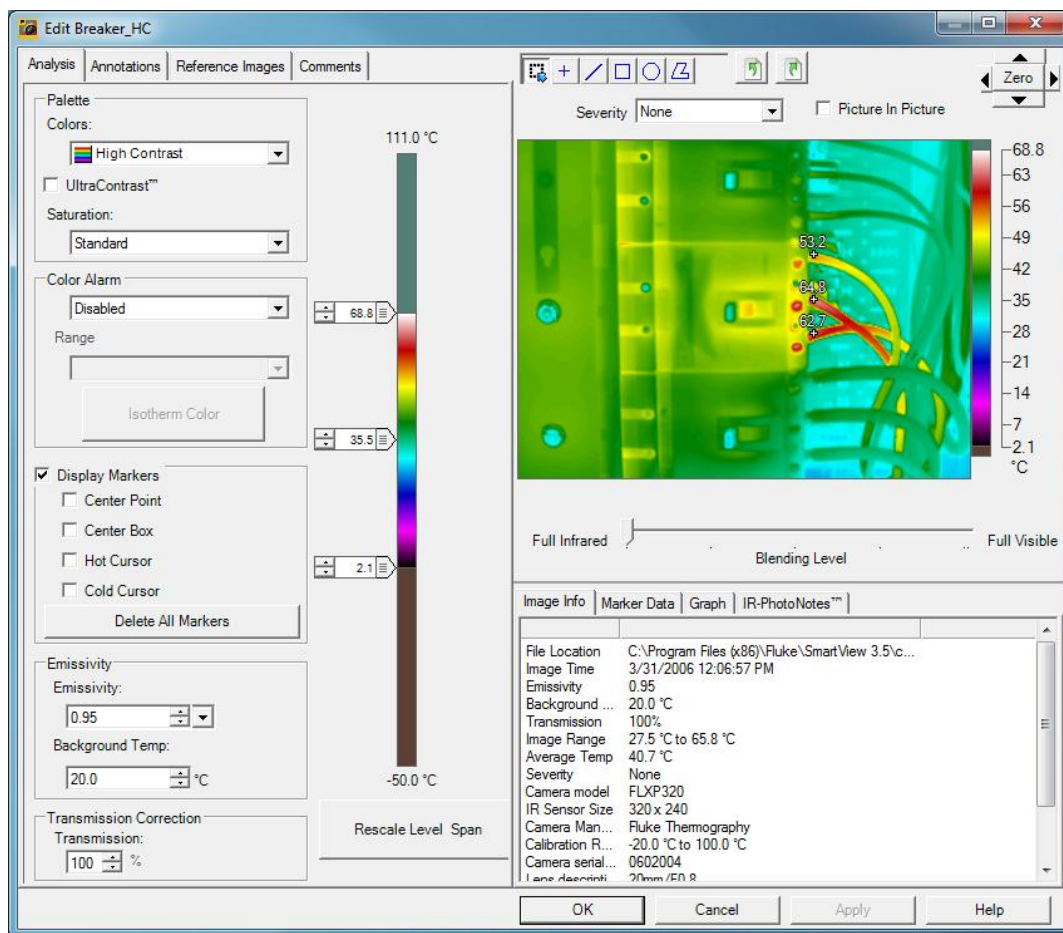
Thermal Camera Suite -ohjelmistossa on myös erikseen erillinen raportointiosa, joka voidaan tulostaa lämpökuvan liitteeksi. Kuvassa 14 on nähtävillä raporttiosio. Lämpökuvareporttiin kirjoitetaan perustiedot kuvatusta laitteesta tai järjestelmästä, käytetyt emissiivisyysarvot, mahdolliset nimelliset ja mitatut kuormat jne. Jos lämpökuvan perusteella laitteessa on havaittu jotain vikaa, kirjoitetaan vikaosioon selitys viasta ja suositellut toimenpiteet. Raporttiin voidaan myös laittaa korjausprioriteetti-luokka (1 - 5).

Kun kaikki tarvittavat tiedot on laitettu, raportti voidaan muuttaa PDF-esittelymuotoon. Liitteessä 1 on malliraportti ohjelmasta.

KUVA 14 Raportin kirjoitus (Hakkarainen 2014.)

## 7.2 Fluke SmartView

SmartView-ohjelmisto on Fluken tekemä kuvien analysointiohjelmisto, joka tulee myös lämpökameran mukana. SmartView-käyttöliittymä ei ominaisuuksiltaan eroa paljoa Thermal Camera Suitesta, mutta on ulkoasultaan vähän erinäköinen. Lämpökuvan saa lisättyä lähes samat asiat, jotka ovat SKF:n lämpökameran ohjelmistossa. Muokattavissa ovat emissiivisyydet, paletit jne. Kuvassa 15 on SmartView-käyttöliittymä.



KUVA 15 SmartView (Hakkarainen 2014.)

## 7.3 Sähköjärjestelmien yleisimmät viat

Tässä luvussa käsitellään yleisimpiä vikoja, joita löydetään sähkölaitteistoista lämpökuvauksen avulla. Amerikkalainen vakuutusyhtiö Hartford Steam Boiler on julkaissut taulukon yleisimmistä vikojen aiheuttajista sähköjärjestelmissä (Taulukko 4.)

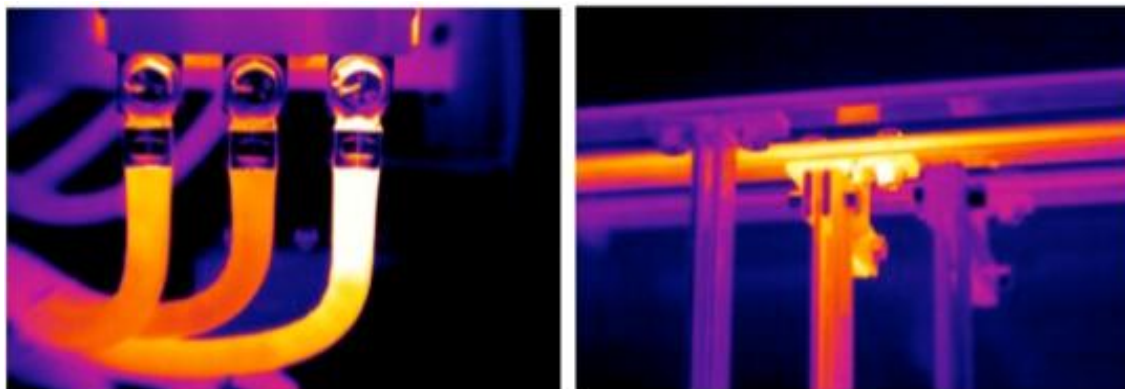
TAULUKKO 4 Sähköjärjestelmien vikojen aiheuttajat (Cawfield 2003.)

Raportoitujen vikojen lukumäärä	Syy	Prosentteina kokonaisuudesta (%)
70	Kytkenäliitos huono	55,12
15	Osien löystyminen	11,81
14	Materiaalien rasisuusmuutokset	11,02
8	Ylikuormitus	6,30
5	Jäähdytys huono	3,94
4	Pulttien kireys väärä	3,15
4	Väärä jännite	3,15
3	Käytetty johdin riittämätön	2,36
1	Kapasiteetti riittämätön	0,79
1	Ulkoisen korroosio	0,79
1	Virheellinen viritys	0,79
1	Kova tärinä	0,79

Taulukosta ilmenee, että raportoiduista vioista suurin osa on löydettävissä lämpökuvauksen avulla. Sähkölaitteiston ylikuormitus ja huono jäähdytys ovat todettavissa lämpökameran avulla. Sähköliitoksista ja erilaisista kytkentäpisteistä pääasiassa havaitut viat ovat löysiä liitoksia tai liitoskohdan kontakti on muusta syystä huono. Hapettumat ja korroosiosta johtuvat kontaktiviat ovat yleisiä kaivosympäristössä. 3-vaihejärjestelmän vaiheiden lämpötiloja vertailemalla voidaan nähdä niiden kuormituserot. Jos vaiheiden välillä on havaittavissa suuria lämpötilaeroja, se voi kertoa järjestelmän epätasaisesta kuormituksesta. Yleensä lämpökuvattaessa ei tarvita tietoa kohteen tarkasta lämpötilasta, vaan etsitään kuumia kohtia. Emissiivisyyden määrittäminen täsmälleen lämpökuvattavan kohteen mukaan tulee kyseeseen, kun tutkitaan laitoksen toiminnan kannalta kriittisiä sähkölaitteita. Sellaisia kriittisiä sähkölaitteita, joissa suuri lämpötilan muutos voi aiheuttaa riskejä tuotannon ja turvallisuuden kannalta. Tähän kategoriaan kuuluva kohde voisi olla kaivoksen päämuuntaja.

### 7.3.1 Löysät tai hapettuneet liitokset

Erilaiset liitosviat ovat erittäin yleisiä sähköjärjestelmissä. Löysät tai hapettuneet liitokset aiheuttavat sen, että liitoskohdan resistanssi kasvaa suureksi, ja tämän takia liitos lämpenee poikkeuksellisen paljon. Liiallinen lämpenemä johdinliitoksissa voi aiheuttaa monenlaisia vikoja. Liiallinen lämpenemä aiheuttaa sen, että kaapelien käyttöikä lyhenee ja voi ilmetä erilaisia jälkiseurauksia. Näitä ovat esimerkiksi liitoksen hajoaminen, sähkölaitteen vikaantuminen ja pahimmassa tapauksessa sähköpalo. Yleensä tämän tyyppisten vikojen korjaustoimenpiteenä käytetään liitoksien puhdistusta ja ruuvien sekä pulttien kiristystä. Kuvassa 16 on tyypillisiä löysiä liitoksia. Verrattaessa eri vaiheiden liitoksia molemmissa kuvissa yhdessä liitoksessa on huomattavasti korkeampi lämpötila. Tämä viittaa yleensä huonoon kytkentäliitokseen. Jos kyseessä olisi vinokuorma, itse vaihejohtimissakin olisi lämpötilaeroja, ei vain liitoksen kohdalla.



KUVA 16 Liitoskuvat (Cawfield 2003.)

### 7.3.2 Epäsymmetrinen kuormitus

Kuormituksen epäsymmetria voi aiheutua eri syistä. Epäsymmetrian yleinen syy on, että yksivaiheisia kuormia ei ole jaoteltu kaikille kolmelle vaiheelle tasaisesti vaan kuormat on laitettu yhdelle vaiheelle. Epäsymmetria voi johtua myös yhden vaiheen liian alhaisesta jännitteestä tai muusta sähkönsyötön ongelmasta. Pienikin jännite-ero vaiheiden välillä voi aiheuttaa ongelmia. Esimerkiksi rikkoutuneen sähkömoottorin vauriot voivat olla seurausta epätasaisesta jännitteestä, joka on aiheuttanut liiallista lämpenemää ja sen myötä sähkömoottorin eristeet ovat rikkoutuneet. Kuvassa 17 on yksi esimerkki, josta voidaan havaita epäsymmetriaa. Yksi vaihejohdin on huomattavasti lämpimämpi verrattuna kahteen muuhun vaiheeseen. (Fluke 2008.)



KUVA 17 Epäsymmetrinen kuormitus (Cawfield 2003.)

### 7.3.3 Kylmät viat

Lämpökuvauksella havaitut viat eivät aina ole kuumia. Sähkötekniisten vikojen merkinä voi olla myös sähkökomponentin kylmyys lämpökuvissa. Tähän kategoriaan kuuluvia vian oireita ovat esimerkiksi sähköjärjestelmän palanut sulake tai kylmä johdin, joka pitäisi olla lämmin virran vaikutuksesta.

## 8 LÄMPÖKUVAUKSET KAIVOKSELLA

Säännöllisiä lämpökuvauskierroksia oli 90-luvulla tehty kaivoksella. Työssä piti selvittää ensin, mitä kohteita on lämpökuvattu ennen. Ovatko niistä kaikki tarpeellisia ja onko niissä puutteita. Tältä pohjalta suoritettiin lämpökuvauksia kohteissa, jotka ovat tärkeitä kaivoksen toiminnalle, ja suunniteltiin lämpökuvauskierrokset, joita voitaisiin jatkossa toteuttaa. Lämpökuvattaessa tutkittavan kappaleen emissiivisyyden tarkalla tietämisellä ei ole merkitystä, jos tarkkaa lämpötilaa ei tarvitse tietää heti. Emissiivisyyden voi jälkikäteen analysointiohjelmalla säätää oikeaksi, jos katsoo sen tarpeelliseksi.

Sähkölaitteistot jaoteltiin eri alueisiin, ja tarkoituksena on tulevaisuudessa, että kahden kuukauden välein lämpökuvattaisiin yksi alue. Lämpökuvausalueita on neljä, joten yhden alueen kuvausväli on 8 kuukautta. Lämpökuvauksella havaitut viat yleensä kehittyvät hitaasti ja työmäärä olisi suhteellisen iso, jos kaikki alueet lämpökuvattaisiin yhdellä kertaa.

### 8.1 Lämpökuvausalueiden jaottelu

KaTTi32-tietojärjestelmästä löytyi vanha reitti lämpökuvauksille, josta puuttui monia tärkeitä laitteistoja. Vanha reitti oli pohjana sähkölaitteistojen alkukartoituksessa. Tärkeimmät sähkölaitteistot selvisivät kaivoksen sähköpiirustuksia tutkimalla ja kysymällä kunnossapitohenkilöiltä. Alkuperäistä lämpökuvausreittiä piti täydentää ja jaotella toteutuskelpoisempiin pienempiin osiin. Ei ole järkevää tehdä kerralla pitkää lämpökuvauslistaa, koska se voisi jäädä toteuttamatta suuren työmäärän takia. Jaottelussa päädyttiin neljään eri alueeseen laitteiden määrän ja kuvauskierroksen laajuuden perusteella. Alustavasti tarkoitus on lämpökuvata joka toinen kuukausi yksi alue. Liitteessä 2 on esitetty suunnitellut lämpökuvausreitit.

### 8.2 Lämpökuvattuja kohteita

Keskusten ja sähkölaitteiden suuren määrän vuoksi ei ole järkeä lämpökuvata reittien kaikkia kohteita tähän opinnäytetyöhön. Kaivoksella suoritetaan pistokokeina lämpökuvauksia erilaisiin kohteisiin. Tarkoitus oli etsiä monenlaisia kuvauskohteita, jotta saataisiin mahdollisimman monipuolisesti lämpökuvia erityyppisistä sähkölaitteistoista. Lämpökuvauksia suoritettaessa keskuksien luukut pitää avata, jotta lämpökameralla pystyy kuvaamaan keskuksen sähkökomponentit. Kuvassa 18 on sähkötilan yksi sähkökeskus, havainnollistamaan laitteistomäärää. Seuraavaksi on käsitelty lämpökuvauskohteet ja analysoitu otettujen lämpökuvien sisältöä.





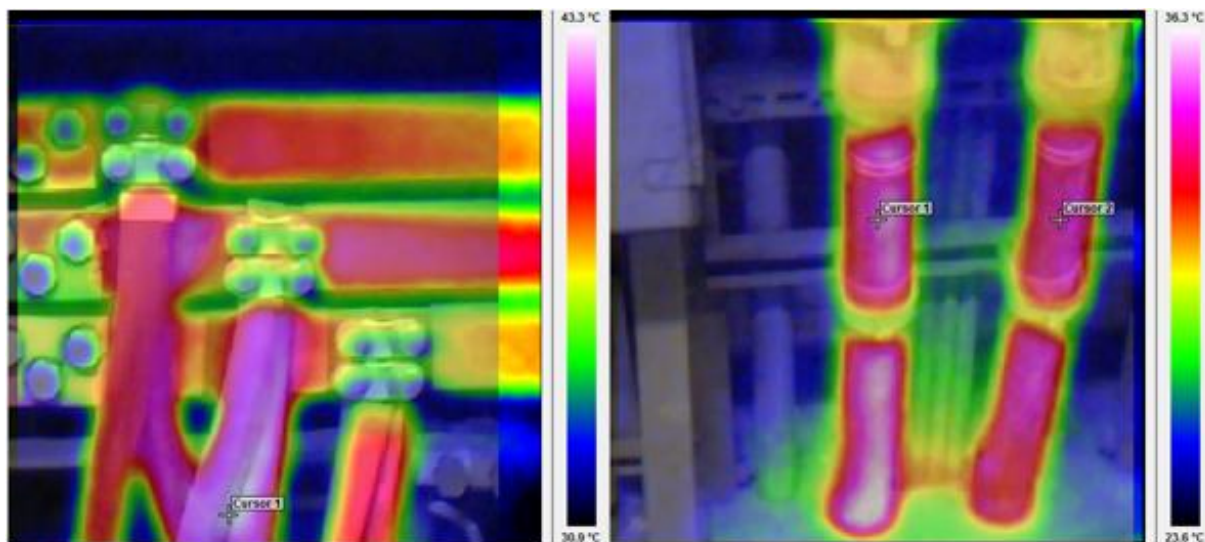
KUVA 18 Sähkökeskuksen seinämä (Hakkarainen 2014.)

### 8.2.1 ZNV1 ja ZNV2 -sähkökeskukset

ZNV-sähkökeskukset ovat olennainen osa rikastamon toimintaa. Näistä keskuksista menevät syötöt sinkkivaahdotukseen kuuluville sähkölaitteille. Molemmista keskuksista syöttökaapelit liittimeen, sekä muita tarvittavia osia lämpökuvattiin. Nopeutettiin lämpökuvauksen suorittamista muilta osin siten, että lämpökuvattiin keskusten metallikansien lämpötila. Näin siksi, että kuumien lähtöjen paikallistaminen nopeutuisi. Jos lähdön kannen lämpötila osoittautui lämpimäksi esim. 30 °C, niin avattiin keskuksen kansi ja lämpökuvattiin komponentit. Tämä oli mahdollista, koska keskuksien kannet olivat pääasiassa metallisia ja sähkökomponentit heijastavat lämpösäteilyä kanteen. Yksittäinen löysä liitos ei lämmitä keskuksen kantta läheskään niin paljoa, että se huomattaisiin näin. Jos haluttaisiin selvittää tarkasti jokaisen liitoksen kunto, pitäisi avata kaikki kannet ja irroittaa kosketussuojaukset.

#### 8.2.1.1 ZNV1

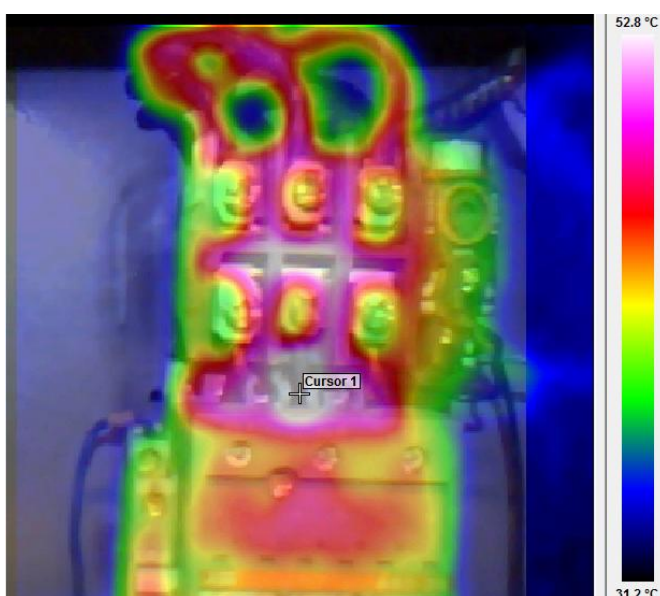
Sähkökeskuksesta ei löytynyt normaalista poikkeavia lämpötilaeroja ja lämpötilat yleensäkin olivat melko kohtuullisia. Kuvassa 19 on lämpökuvat ZNV1-sähkökeskuksesta. Sähkönsyöttö tähän keskukseseen oli tehty kahdella eri kaapelilla. Lämpökuvassa on havaittavissa lievää epäsymmetriaa vaiheiden välillä. Lämpötilaerot vaiheissa olivat muutaman asteen luokkaa, kuumin kohta oli 43,1 °C kaksovaiheessa. Tämä lämpötilalukema on saatu kaapelille sopivalla emissiivisyysarvolla 0,95. Kyseisen kuumen kohdan ongelma johtuu siitäkin, että johtimet ovat niin lähekkäin toisistaan. Liitteessä 3 on lämpökuvausraportti.



KUVA 19 ZNV1 sähkönsyötön lämpökuvat (Hakkarainen 2014.)

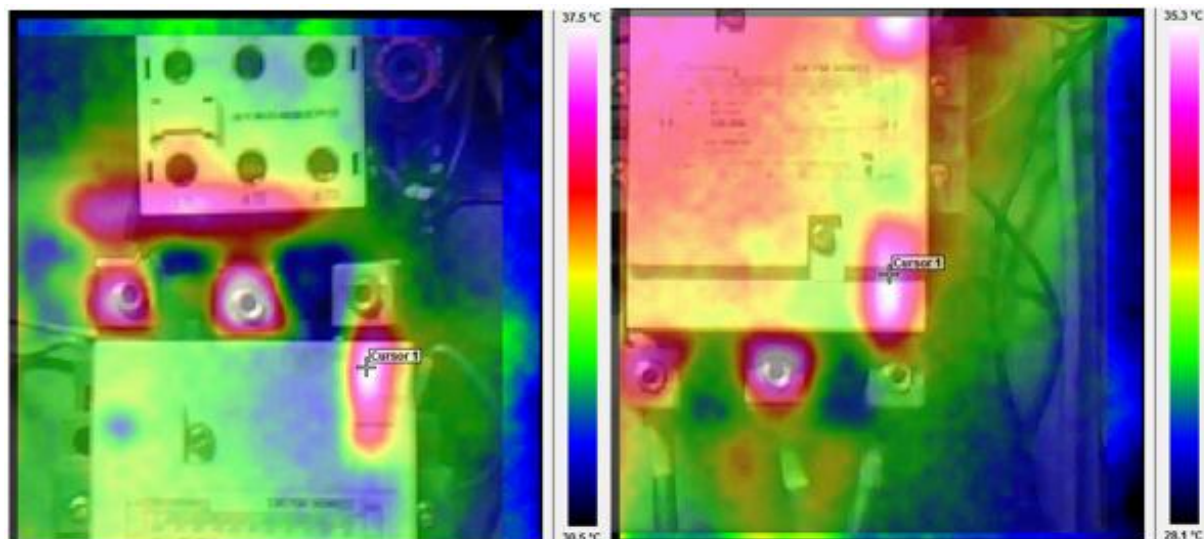
#### 8.2.1.2 ZNV2

ZNV2-sähkökeskuksesta löytyi muutamia huomioon otettavia asioita. Keskukseen syöttökaapelit olivat ihan kunnossa, mutta keskuksen VK62 ja VK63 kontaktorilähdöistä löytyi vikaa. Kuvassa 20 on nähtävillä VK63 kontaktorilähdön lämpökuva. Vaiheen kaksi kontaktorin ja lämpöreleen välinen liitospaikka on yli 6 °C lämpimämpi kuin muiden vaiheiden. Lämpöreleen kohdalta muutenkin kakkosvaihe näyttää huomattavasti kuumemmalta. Lämpöreleen jälkeen vaihejohtimien lämpötilat ovat liki identtiset, joten kyseessä on todennäköisesti löysä liitospaikka tai lämpöreleessä on vikaa. Alustavana korjaustoimenpiteenä voisi olla liitoksen kiristäminen ja sen jälkeen lämpökuvauksen uudelleen suorittaminen.



KUVA 20 VK63 kontaktorilähtö (Hakkarainen 2014.)

Toinen huomioon otettava asia löytyi VK62 kontaktorilähdöstä. Kyseisellä lähdöllä oli poikkeuksellisen lämmin keskuksen kansi, minkä takia se lämpökuvattiin. Kuvassa 21 on lämpökuvat kontaktorisista. Kuvista voimme havaita, että kontaktorin kolmannen vaiheen koskettimet ovat erittäin lämpimät. Todennäköisesti koskettimet ovat vähän hitsautuneet kiinni, koska kontaktori piti myös ylimääräistä ääntä. Vaiheen yksi ja kaksi liittimet olivat n. 38 °C astetta ja vaihe kolme 29 °C.



KUVA 21 VK62 kontaktori (Hakkarainen 2014.)

VK62:n kontaktori on vanhan mallinen kontaktori, kuten kuvasta 22 voi nähdä. Tämän havaitun vian korjaustoimenpiteenä on kontaktorin vaihto, sekä moottorin kuntotarkastus. Liitteessä 4 on lämpökuvausraportti.

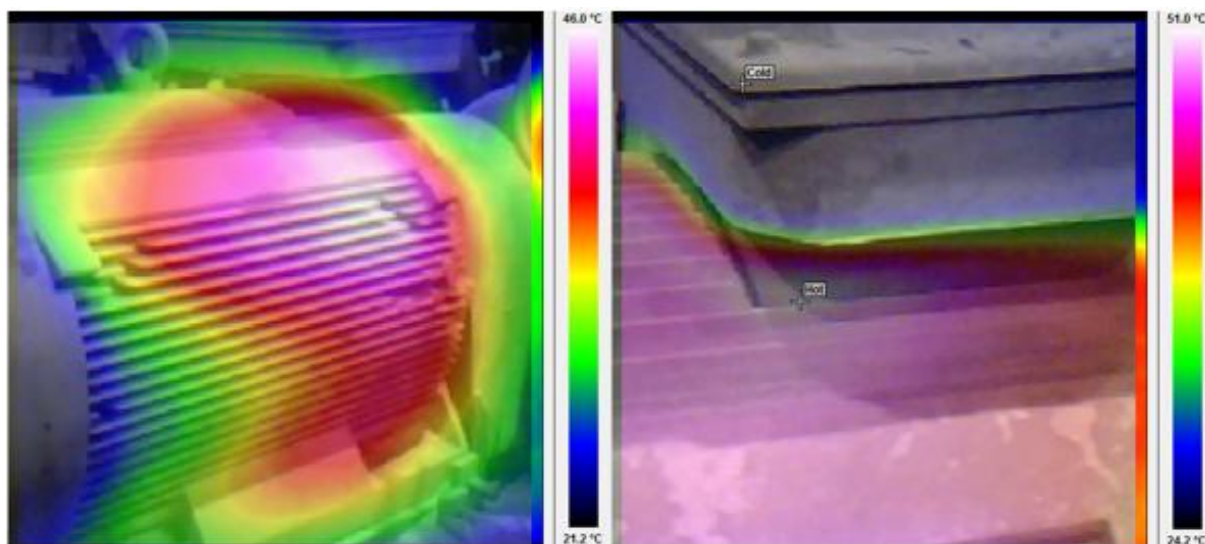


KUVA 22 VK62 kontaktori malli (Hakkarainen 2014.)

## 8.2.2 LM2J ja turvakytkin

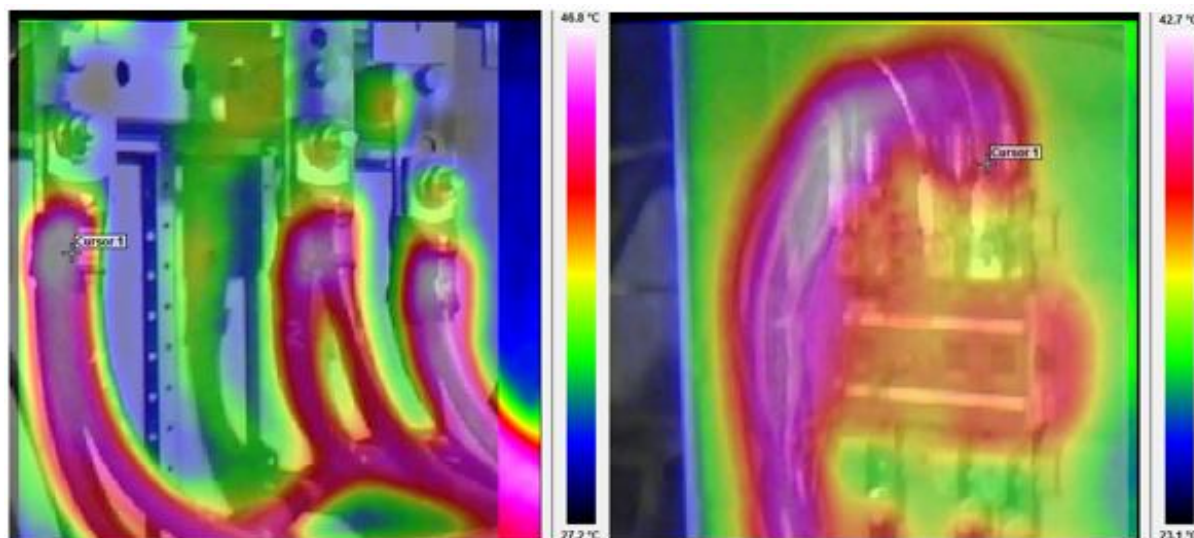
Lohkaremylly on tärkeä palanen malmin jauhatusta. Rikastamolla on kuusi myllyä, jotka jauhavat malmia pienempiin paloihin. LM2J:n sähkömoottorista ei kytkentäkopan liitoksia pysty lämpökuvamaan, johtuen kytkentäkopan ahtaasta kytkentätilasta. Jännitteelliset osat ahtaassa kytkentätilassa aiheuttavat merkittävän oikosulku- ja sähköiskun vaaran. Turvakytkimenä on KATKO:n valmistama 1250 A turvakytkin, myllyssä käytetty sähkömoottori on kokoluokkaa 800 kW.

Sähkömoottorin suuresta koosta johtuen, se piti kuvata osissa. Kuvassa 23 on lämpökuvat sähkömoottorista. Lämpökuvien perusteella kuumin kohta on kytkentäkopan alla (51,3 °C), muuten lämpötilat olivat alle 46 °C. Tästä voimme päätellä, että lohkaremylly ei välttämättä ole ollut isossa kuormituksessa ennen lämpökuvaukshetkeä tai se ei muutenkaan lämpene paljoa kuormituksessa käyttötavasta ja mitoituksesta johtuen. Liitteessä 5 on lämpökuvausraportti.



KUVA 23 LM2J:n sähkömoottori (Hakkarainen 2014.)

Seuraavaksi oli vuorossa turvakytkimen lämpökuvaus. Kuvassa 24 on lämpökuvat turvakytkimestä. Liittimet vaikuttivat päältäpäin olevan ihan kunnossa, eikä lämpökuvauksella havaitut lämpötilaerot vaiheiden välillä olleet kuin muutama aste. Turvakytkimen sisällä kaapelit olivat ihan kunnossa, vaikka ne lämpenevätkin vähän enemmän johtuen niiden lähekkäisestä asennustavasta. Turvakytkimet yleensäkin ovat melko ahtaanlaiset kaapeleille ja kytkentätilat liian pienet. Liitteessä 6 on turvakytkimen lämpökuvausraportti.



KUVA 24 Sähkömoottorin turvakytkin (Hakkarainen 2014.)

### 8.2.3 Valaistuskeskus

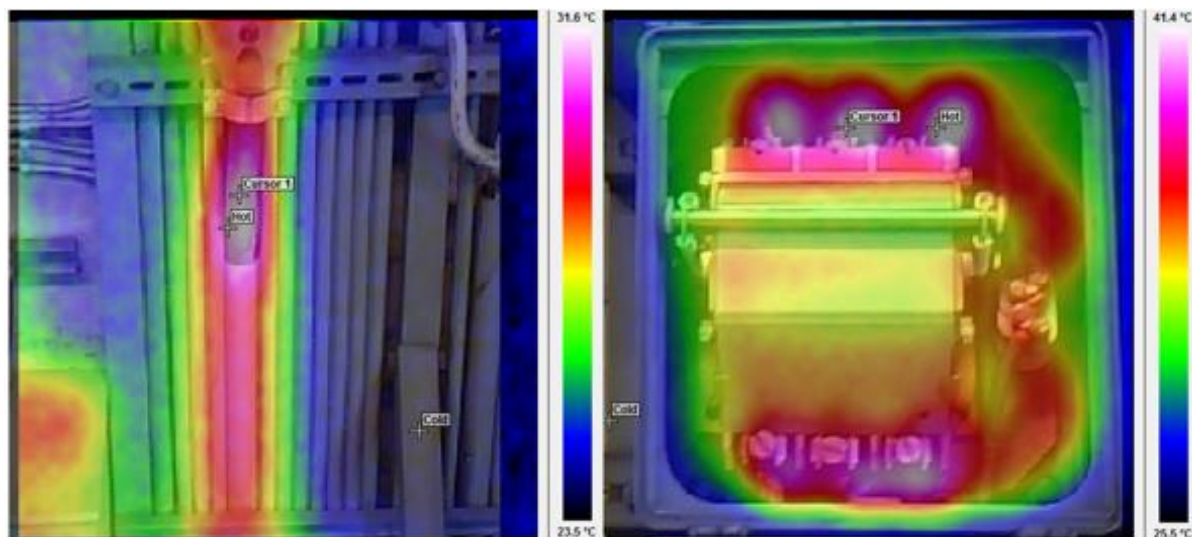
Rikastamon valaistuskeskuksen lämpökuvauksessa piti toimia samoin kuin ZNV-sähkökeskusten. Keskukseen syöttökaapelit liittimeen sekä muita tarvittavia osia lämpökuvattiin. Lisäksi nopeutettiin lämpökuvauksen suorittamista muilta osin siten, että lämpökuvattiin keskusten metallikansien lämpötila. Jos kannen lämpötila osoittautui lämpimäksi, niin avattiin keskuksen kansi ja lämpökuvattiin sisällä olevat komponentit. Tämä oli mahdollista, koska keskuksien kannet olivat pääasiassa metallisia, kuten ZNV-keskuksissa ja sähkökomponentit heijastavat lämpösäteilyä kanteen melko paljon. Kuvassa 25 on rikastamon valaistuskeskus.



KUVA 25 Keskus (Hakkarainen 2014.)

## 8.2.3.1 Syöttökaapeli ja pääkytkin

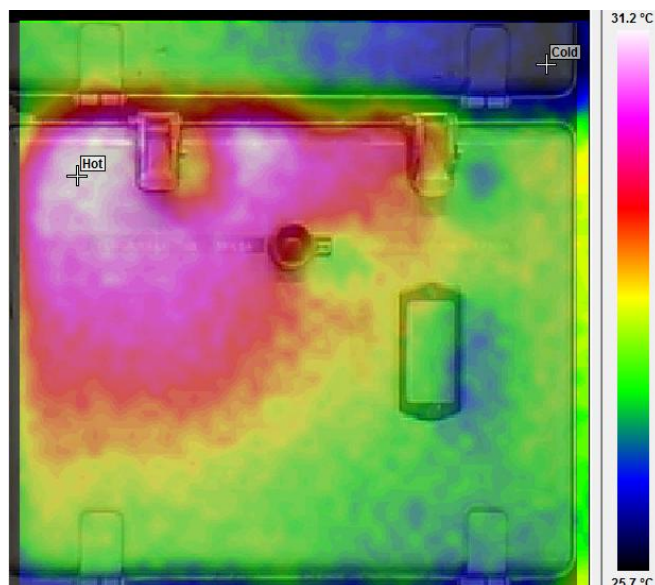
Valaistuskeskuksen syöttökaapelissa, sen liitoksissa ja pääkytkimessä ei sinällään ollut mitään havaittavaa vikaa, vaikka kyseessä oli aika vanha pääkytkin. Syöttökaapelin liitokset ovat kuumat, mutta lämpötilat eivät olleet hälyttävän korkeita. Näissä liitoksissa ei havaittu merkittäviä lämpötilaeroja eli pääkytkimessä ei siis ollut löysiä liitoksia. Syötön vaiheiden välillä lämpötilaeroja oli muutama aste. Kuvassa 26 nähdään hyvin, miten syöttökaapeli virrallisena lämmittää sen ympärillä olevia kohteita.



KUVA 26 Lämpökuvat pääkytkimestä ja syöttökaapelista (Hakkarainen 2014.)

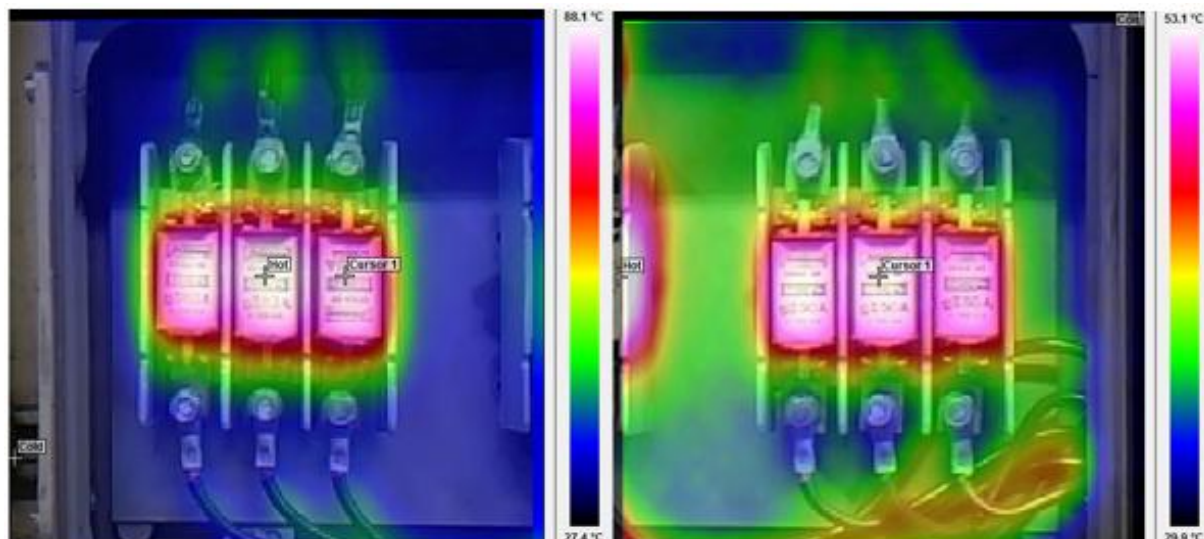
## 8.2.3.2 Lämpimät lähdöt

Tutkittaessa lämpökameralla valaistuskeskusta löytyi yksi lämmin keskuksen kansi (ko. kuva 29). Se erottui selvästi muista. Kannen lämpötila oli suuntaa antavasti 31,2 °C yhdessä kohtaa ja lämpöä säteili myös ylempänä olevasta keskuspakista. Muiden lähtöjen keskuskannet olivat n. 22 - 24 °C.



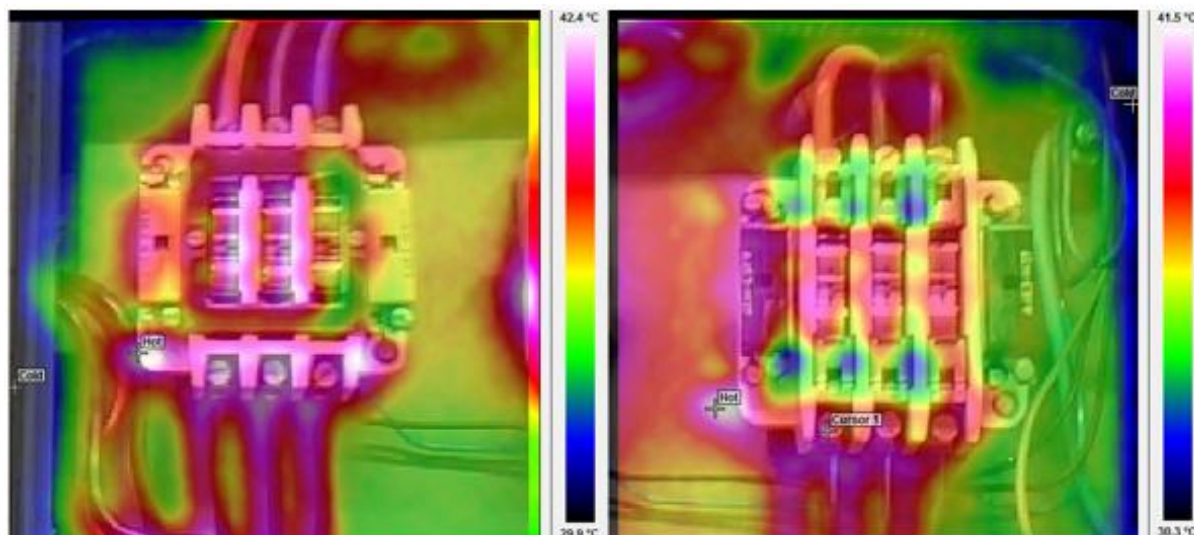
KUVA 27 Lämmin keskuskansi (Hakkarainen 2014.)

Sähkökeskuksen kansien takaa lämmönlähteeksi osoittautui erittäin lämpimänä käyneet kahvasulakkeet. Kyseisessä keskuspakissa on kaksi kolmevaiheista sulakelähtöä (kuva 28). Kuvassa vasemmalla olevat kahvasulakkeet ovat erittäin lämpöiset, jopa 88,1 °C. Viereisen sulakelähdön kahvat ovat lämpötilaltaan maksimissaan 53,1 °C. Vasemman puoleisten kahvasulakkeiden takana on oletettavasti paljon kuormaa. Jatkotoimenpiteenä on kuormitusvirtojen mittaaminen, vertaaminen nimellisvirtaan ja toimiminen tulosten mukaan. Keskuspakin jäähdytystä voisi myös parantaa.



KUVA 28 Lämpimät sulakelähdöt (Hakkarainen 2014.)

Keskuksessa sulakelähdöistä ylempänä olevasta keskuspakista löytyi samojen lähtöjen kontaktorit, jotka on sijoitettu samalla tavoin kuin kahvasulakelähdöt. Kuvassa 29 on nähtävillä lämpökuvat, joista ei kuitenkaan erotu mitään vikaa. Vaiheiden lämpötilaerot ovat erittäin pieniä ja niiden liitoksissa ei ole havaittavaa eroavaisuutta. Tässä tapauksessa lämpö pääasiassa johtuu kuormituksesta ja jäähdytyksen vähäisyydestä. Osatekijänä ovat vanhanmalliset kontaktorit, jotka alkavat kohta olemaan elinkaarensa päässä. Kontaktorien sisäisten komponenttien kulumisen voi aiheuttaa lisälämpöä, jos esimerkiksi kytkemiseen tarvittavat vaihekoskettimien pinnat ovat huonot. Liitteessä 7 on lämpökuvauraportti.



KUVA 29 Kontaktorit (Hakkarainen 2014.)

#### 8.2.4 +1400 muuntamo

Kaivoksen tasolla +1400 sijaitsevassa muuntamossa on muuntaja, kompensointilaitteistoja, lähtöjä ja pehmökäynnistin leukamurskaimelle. Lämpökuvaukset suoritettiin käyttämällä Fluken lämpökameraa ja kuvien analysoinnissa Fluke Smartview –ohjelmistoa.

##### 8.2.4.1 Kompensoinnit

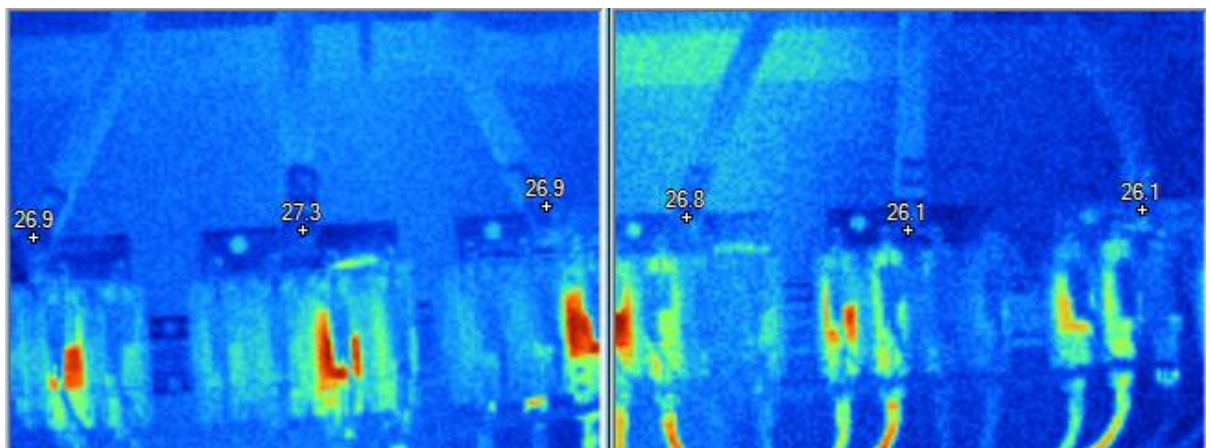
Kaivoksella pitää tehdä kompensointia, koska useimmat kaivoksen sähkölaitteista tarvitsevat pätehon lisäksi loistehoa. Edullisempaa ja järkevämpää on tuottaa tarvittava loisteho kiinteistössä, kuin ottaa se verkosta. Kuvassa 30 on muuntamossa sijaitsevat kaksi kompensointipatteristoa. Kuvassa ylhäällä ja alhaalla näkyvät suojaritilät pitää poistaa ennen lämpökuvausta. Molemmat kompensointipatteristot ovat kokoa 400 kVar.





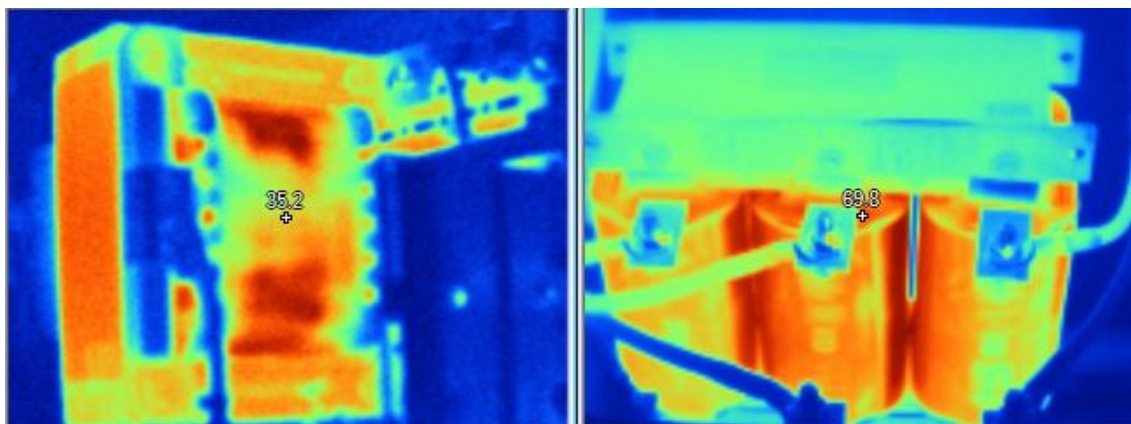
KUVA 30 Kompensointilaitteet (Hakkarainen 2014.)

Kuvassa 31 on lämpökuvat molempien kompensointien syötöistä. Lämpökuvauksen suoritusajankoh-  
tana kompensointilaitteistoissa oli kytkettynä kaksi kompensointiporrasta käytössä olevista neljästä.  
Lämpökuvissa vaiheiden välillä ei ole suuria lämpötilaeroja ja liitokset näyttävät olevan myös kun-  
nossa. Liitteessä 8 on lämpökuvausraportti.



KUVA 31 Kompensointien syötöt (Hakkarainen 2014.)

Kompensointilaitteistoissa käytössä olleet kondensaattorit, estokelat ja elektroniikkaa syöttävä jännitemuuntaja olivat lämpimät, mutta niissäkään ei havaittu vikaa. Kuvassa 32 on toisen kompensointipatteriston jännitemuuntaja, sekä käytössä ollut yksi estokelaparisto.



KUVA 32 Kompensointipatteriston jännitemuuntaja ja estokelaparisto (Hakkarainen 2014.)

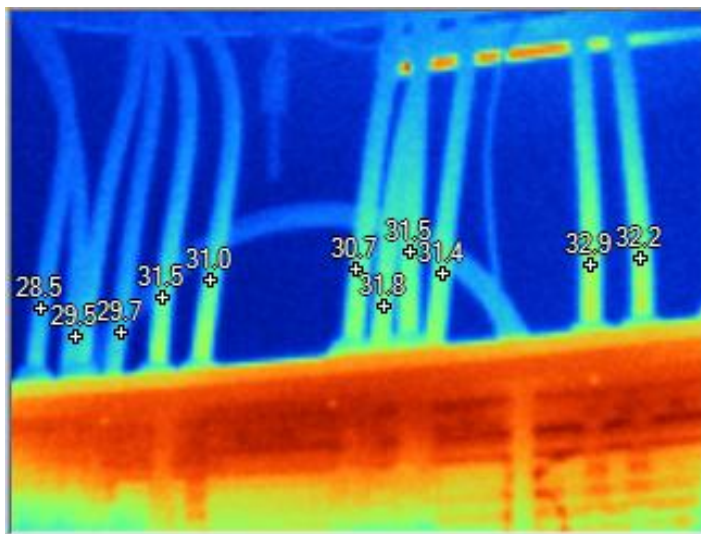
#### 8.2.4.2 Muuntaja

Muuntajan lämpökuvauksen kohdalla ongelmaksi osoittautui sen kotelointi. Liitoksien ja sisäisten komponenttien kuvaus osoittautui hankalaksi tämän takia. Muuntajalla ei ole helposti avattavia sivuja, eikä pelkkien lähtevien kaapeleiden lämpökuvauksella tässä tapauksessa paljoa ole hyötyä. Kuvassa 33 on +1400 tason muuntaja, jossa mustat kosketussuojat häiritsevät lämpökuvausta.



KUVA 33 +1400 tason muuntaja (Hakkarainen 2014.)

Kuvassa 34 on kuitenkin lämpökuvaa muuntajasta lähteneistä kaapeleista. Mikään kaapeleista ei ollut kovin lämmin, verrattaessa muuntamohuoneen lämpötilaan. Liitteessä 8 on myös lämpökuvausraportti.



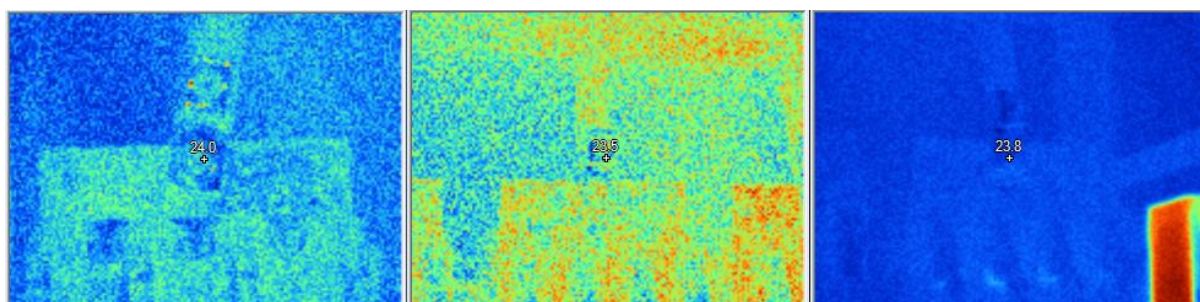
KUVA 34 Muuntajan lähtevät kaapelit (Hakkarainen 2014.)

## 8.2.5 +1010 muuntamo

Tasolla olevassa muuntamossa tarkoitus oli lämpökuvata kompensointilaitteet, muuntaja ja erotin. Tämänkin muuntamon lämpökuvaukset suoritettiin käyttämällä Fluke:n Ti9 lämpökameraa.

### 8.2.5.1 Kompensoinnit

Kompensointilaitteiden rakenne oli samanlainen ja niitäkin oli kaksi kappaletta kuten +1400 tason muuntamolla (kuva 30). Paikanpäällä lämpökuvattaessa hankaluudeksi osoittautui jäähtytyspuhaltimien ilmavirta kompensointilaitteiden sijainnin kohdalla tai jokin muu häiritsevä tekijä. Tästä aiheutui se, että lämpökuvista tuli rakeisia (kuva 35). Samasta kuvasta voidaan todeta, että lämpötila-alueen automaattiskaalaus lämpökamerassa on välillä huono vaihtoehto. Se määrittelee lämpötila-alueen suurimman lämpötilan mukaan ja kuva voi jäädä epäselväksi halutun kappaleen kohdalta.



KUVA 35 Epäselvät lämpökuvat kompensointilaitteen syötön liitoksista (Hakkarainen 2014.)

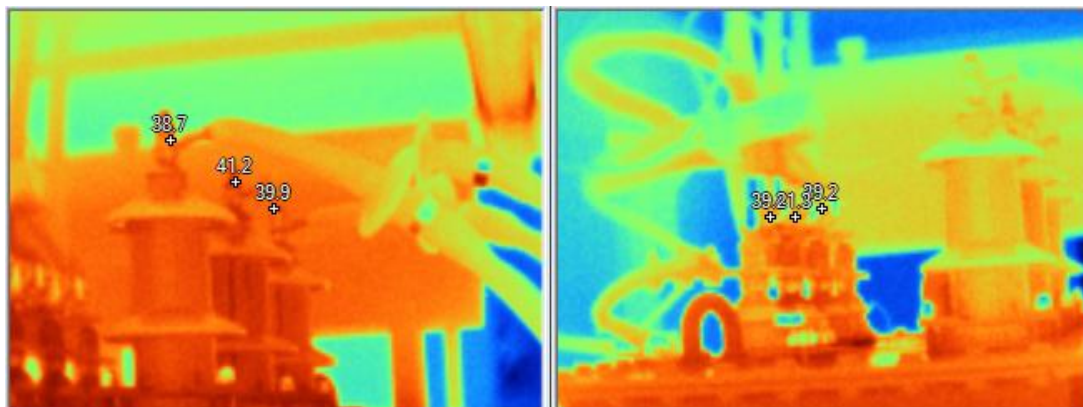
## 8.2.5.2 Muuntaja

Tasolla +1010 oleva muuntaja sijaitsee liikuteltavassa muuntajatilassa. Siinä oli avattavat päätyovet, joten muuntajan lämpökuvaus sujui ongelmitta. Vieläkin ideaalisempi tilanne olisi, jos muuntajatilan sivut aukeaisivat mutta näin ei tässä tapauksessa ollut. Kuvassa 36 on +1010 tason muuntaja.



KUVA 36 +1010 Muuntaja (Hakkarainen 2014.)

Kuvassa 37 on lämpökuvat muuntajan ylä- ja alajännitepuolen liittimistä. Muuntajan kakkosvaihetta kuormitetaan lämpökuvaushetkellä eniten. Kuvasta on havaittavissa lievää vaihe-epäsymmetriaa vaiheiden välillä. Liitteessä 9 on lämpökuvausraportti.



KUVA 37 +1010 Muuntajan ylä- ja alajännitepuolen liittokset (Hakkarainen 2014.)

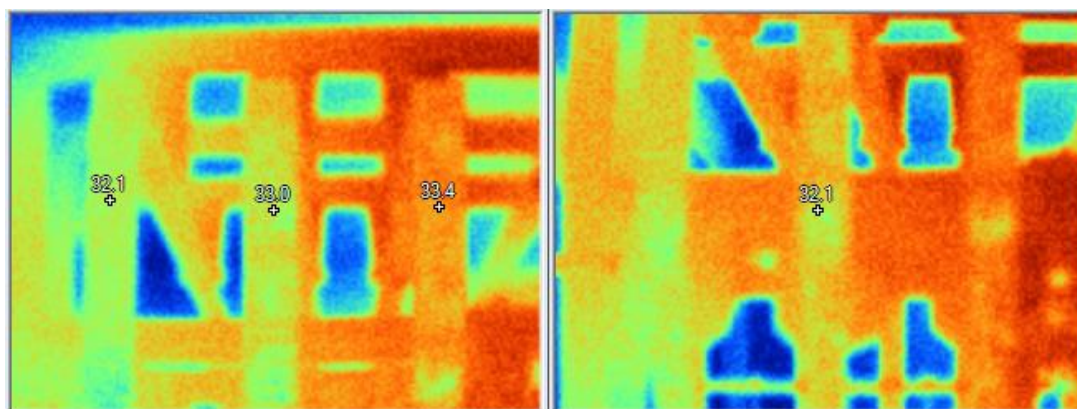
## 8.2.5.3 Erotin

Muuntajatalaan oli myös sijoitettu muuntajan yhteyteen erotin, kuvassa 38 on kyseinen +1010 tason erotin.

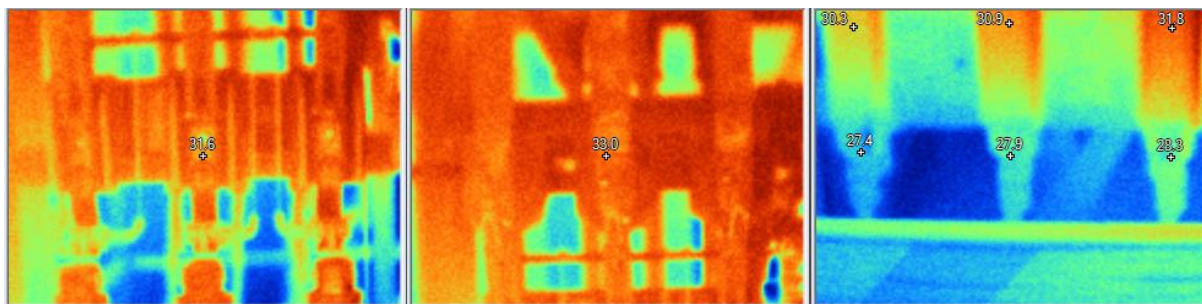


KUVA 38 +1010 Erotin (Hakkarainen 2014.)

Erottimen lämpökuvaus piti tehdä osissa, jotta saisi mahdollisimman hyvin sen käytyä läpi. Lämpökuvat kiskoista, erottimesta ja kaapeloinneista ovat kuvissa 39 ja 40.



KUVA 39 Kiskot (Hakkarainen 2014.)

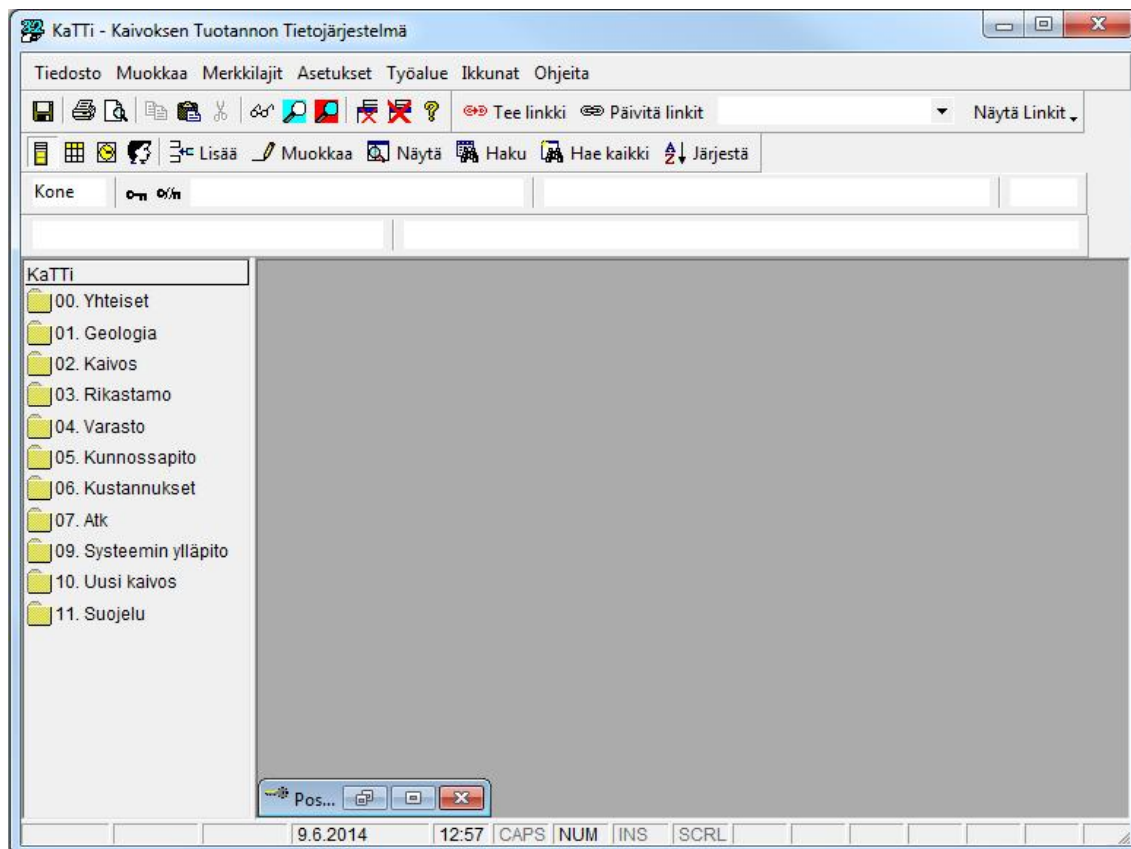


KUVA 40 Erotin ja kaapelointiliitokset (Hakkarainen 2014.)

Lämpökuivissa ei ole havaittavaa vikaa. Vaihekiskoissa on vähän lämpötilaeroja ja ovat kuumia, mutta kiskoliitokset näyttäisivät olevan kunnossa. Erottimessa sekä kaapeliliitoksien lämpökuivissa on lieviä lämpötilaeroja. Liitteessä 9 on lämpökuivausraportit.

## 9 HUOLTO-OHJELMA

Kaivoksella on käytössä KaTTi32–ohjelmisto. Se on tietojärjestelmä, jossa on melkeinpä kaikki kaivokseen liittyvät tärkeimmät asiat: suunnittelukuvat, erilaiset tilaukset, luvat, kustannukset, kunnossapitoon liittyvät asiat jne. Tarkoituksena oli lisätä ohjelmaan suunnitellut lämpökuvareitit. Säännöllisin väliajoin suoritettaisiin lämpökuvauksia, ja työn suorittaja voisi sitten kuitata työn tehdyksi ohjelmaan sekä merkata siihen havaintonsa ja mahdolliset laitteistosta löytyneet viat. Kuvassa 41 on ohjelman avausikkuna.



KUVA 41 KaTTi32:n aloitusikkuna (Hakkarainen 2014.)

KaTTi32–ohjelmistoon lämpökuvareittien ja kohteiden laittaminen onnistui kaiken kaikkiaan suhteellisen helposti, kun oli ensin käyttöoikeudet muuttaa ja tallentaa tiedostoja tietokantaan.

Ensimmäisenä piti lisätä tarvittavat valikot ohjelmistoon. Kiintolevyllä olevan KaTTi32-ohjelmiston kansiossa. Sinne tehtiin kansio, jonka nimeksi laitettiin lämpökuvareitit ja tallennettiin yhden lämpökuvattavan kohteen tiedosto halutulla lämpökuvareittitunnuksella. Näin tehtiin jokaiselle reitille erikseen, jotta ne saatiin näkymään ohjelmistossa.

Kohteet lisättiin siten, että menttiin kuvassa 41 vasemmalla näkyvästä valikosta haluttuun alaosiioon ja painettiin ylhäällä olevaa lisää-nappia, josta aukesi kuvan 42 kaltainen ikkuna, johon merkattiin kohteen positiot yms. tiedossa olevat tiedot.

Lisää		
<b>Positio</b> PY-RI-JAU-PM01-02	<b>Prosessi nro</b> PM1J	<b>Laitenimi</b> PM1J MYLLYN MOOTTORI
<b>Työn nimi</b> LÄMPÖKUVAUSREITTI	<b>Työ alkaa</b>	<b>Huomautus</b>
<b>Työnkuvaus tiedosto</b>	<b>Tehtävä- lista</b> 28600	<b>Jakso</b>
<b>Tila</b> SU	<b>Kust. paikka</b> 68230	<b>Työ numero</b>
<b>Historia lk</b> 05	<b>Historia nimitys</b> Kunnonvalvonta mittaus	<b>Vastuu Tja</b> ARU
<b>Kust. laji</b> 31	<b>Työ- määrä no</b>	<b>Laitte reitillä</b>
<b>Autom ajoitus K/E</b> E	<b>Reittinro</b> 506B	<b>Pää- ryhmä</b> SÄ
<b>Ala- ryhmä</b> 02	<b>Ryhmänimi</b> OIKOSULKU 31-1000 KW	<b>Vaihe no</b>
<b>Tehdyt toimenpiteet</b>	<b>Suun- nittelija</b>	<b>Kuittaaja</b> ARU
<b>Vastuu alue</b> ARu	<b>Työnjoht.</b>	<b>Ajoitus- tapa</b> VA
<b>Lukema</b>	<b>Kertymä</b>	<b>Tunnit kirj.</b>
<b>Pysäytys K/E</b> E	<b>Seisakki</b>	<b>Muutos pvm</b> 13.6.2014
<b>Toto. lop.pvm</b>	<b>Korjaus seisokki</b>	

KUVA 42 Tietojen lisäys (Hakkarainen 2014.)

Kuvassa 43 on lisätty lämpökuvausreitit ja kohteet ohjelmaan. Rullattaessa oikealle ohjelmassa on kohteisiin lisättyjä tietoja lisää, kuten havaitut huomiot, työn kuittaus jne.

Positio	Prosessi nro	Laitenimi	Työn nimi
PY-RI-SJV-K110	RISJVKE110	JAUHATUSKESKUS	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI-SJV-KE50	RISJVKE50	CUV-KESKUS	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI-SJV-KE70	RISJVKE70	ZNV-KESKUS 1 JA 2	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI-SJV-KE60	RISJVKE60	SV-KESKUS 1 JA 2	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI-SJV-KE62	RISJVKE62	SKV-KESKUS 1	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI-SJV-KE52	RISJVKE52	CUK-KESKUS	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI-SJV-KE74	RISJVKE74	ZNK-KESKUS	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI-SJV-KE66	RISJVKE66	SK-KESKUS 1 2 3	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI-SJV-VAKE	RISJVVAKE	VALAISTUSKESKUS	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI	RI	SPV- KESKUKSET	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI	RISJVKE68	M8 JA KESKUS	LÄMPÖKUVAUSREITTI
PY-RI	RISJVKE71	M9 JA KESKUS	LÄMPÖKUVAUSREITTI

KUVA 43 Lämpökuvausreitit ohjelmassa (Hakkarainen 2014.)



## 10 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Pyhäsalmi Mine Oy:lle toteutuskelpoiset lämpökuvareitit tärkeimmille laitteistoille ja siirtää suunnitellut reitit kaivoksen käyttämään kunnossapidon tietojärjestelmään. Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet täyttyivät. Työssä suunnitellut lämpökuvareitit ovat toteutuskelpoisia ja alustavasti määrätyt lämpökuvauksien aikataulutukset ovat sopivin aikavälein. Lämpökuvareittien siirto KaTTi32-huolto-ohjelmaan onnistui suunnitellusti. Lisäksi työssä suoritetuissa mallilämpökuvauksissa löytyi jo joitakin sähkölaitteistovikoja, minkä vuoksi uskon, että laajempien lämpökuvauksien säännöllisestä suorittamisesta olisi kaivoksella hyötyä. Käytetyissä lämpökameroissa oli jonkin verran eroja: molemmissa oli hyviä ja huonoja ominaisuuksia. Opinnäytetyön teko kaiken kaikkiaan sujui suhteellisen hyvin ilman erityisiä ongelmia ja työn aihe oli mielenkiintoinen.

Ennen lämpökuvauksien suorittamista tärkeintä on, että sähkölaitteet ovat olleet virrallisina ja käytössä jonkin aikaa ennen lämpökuvauksien suorittamista. Lämpökuvauksien aikataulutusta voi joutua muuttamaan sen mukaan, onko sillä hetkellä kiireellisiä kunnossapitotehtäviä. Jos lämpökuvauksilla sattuu löytymään kriittinen vika laitteistosta, vian löytyminen ajoissa maksaa kuvauksista aiheutuvan vaivan takaisin. Kaivoksella on vuodessa neljä huoltoseisakkaa, joiden aikana tehdas seisoo kolmen päivän ajan ja laitteistot huolletaan. Näiden ajankohtien ulkopuolella tulevat viasta johtuvat suunnitelmattomat keskeytykset laskevat kaivoksen tuotantoa.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi Pyhäsalmi Mine Oy:lle laaja materiaali säännöllisten lämpökuvauksien aloitukseen. Tämä opinnäytetyö korostaa sähkökunnossapidon tärkeyttä yleisen kunnossapidon osana. Teollisuudessa sähkölaitteita ja järjestelmiä uusitaan usein, minkä vuoksi tulevaisuudessa lämpökuvareittejä pitää tarvittaessa päivittää, jotta ne pysyvät ajan tasalla.

## LÄHTEET

- ABB OY 2003. Moottoreiden laatuopas. Yrityksen www-sivusto. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-06-05.] Saatavissa:  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot259.nsf/veritydisplay/49d50c78179dab40c2256d28002bfd63/\\$file/moottoreiden%20laatuopas%2003-2003.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot259.nsf/veritydisplay/49d50c78179dab40c2256d28002bfd63/$file/moottoreiden%20laatuopas%2003-2003.pdf)
- AVA. Valo ja spektri. Oppimateriaali [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-05-30.] Saatavissa:  
<http://www.ava.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html>
- CAWLFIELD, Scott. 2003. Infrared inspection data article. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-06-04.] Saatavissa: [http://www.irinfo.org/articles/article\\_1\\_1\\_04\\_cawfield.html](http://www.irinfo.org/articles/article_1_1_04_cawfield.html)
- CUPP 2010. Pyhäsalmen maanalaisen fysiikan tutkimuskeskus. [www-sivusto]. [Viitattu 2014-05-25.] Saatavissa: <http://www.cupp.fi/>.
- FIRST QUANTUM MINERALS. Yrityksen www-sivusto. [Viitattu 2014-05-25.] Saatavissa:  
<http://www.first-quantum.com/Home/default.aspx>.
- FLUKE 2014. Fluke Ti9 lämpökamera. Yrityksen www-sivusto. [verkkoaineisto] [Viitattu 2014-06-01.] Saatavissa: <http://www.fluke.com/fluke/fifi/lampokamerat/fluke-ti9.htm?PID=56189>
- FLUKE 2009a. Emissivity values of common materials. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-06-02.] Saatavissa:  
<http://www.emlab.com/m/store/Fluke%20Thermal%20Camera%20Emissivity%20Values.pdf>
- FLUKE 2009b. Introduction to Thermography Principles. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-06-02.] Saatavissa: [http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/9032790\\_ENG\\_A\\_W.PDF](http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/9032790_ENG_A_W.PDF)
- FLUKE 2008. Detecting electrical unbalance and overloads. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-06-04.] Saatavissa: [http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/2518873\\_6251\\_ENG\\_B\\_W.PDF](http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/2518873_6251_ENG_B_W.PDF)
- INFRADEX. Lämpösäteily ja infrapuna. Yrityksen www-sivusto. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-05-30.] Saatavissa: <http://infradex.com/teoria.html>
- INFRADEX. Lämpökameran toiminta. Yrityksen www-sivusto. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-05-30.] Saatavissa: <http://www.infradex.com/kuinka.html>
- JÄRVIÖ, Jorma ja LEHTIÖ, Taina 2012. Kunnossapito tuotanto-omaisuuden hoitaminen. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 10, 5. Painos. Helsinki: KP-media.

MIKKONEN, Henry 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 13, 1. Painos. Helsinki: KP-media.

OPETUSHALLITUS. Kunnossapitotekniikan opetusmateriaali. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-05-28.] Saatavissa: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/index.html>

PSK. PSK 6201:2011 Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. [standardi]. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.

PYHÄSALMEN KAIIVOS 2012. Pyhäsalmen kaivos 1962- 2012. Pyhäsalmen kaivoksen historia [kokoelma]. Saarijärvi 5/2012 Saarijärven Offset Oy, julkaisija Pyhäsalmi Mine Oy.

SETI 2013. Sähkölaitteistojen lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen rekisteröinti. Yrityksen www-sivusto. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-06-03.] Saatavissa: [http://www.seti.fi/doc/lampokuvaus/LK-Patevyys\\_SETI\\_171213.pdf](http://www.seti.fi/doc/lampokuvaus/LK-Patevyys_SETI_171213.pdf)

SFS. SFS-EN 13306:2010 Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. [standardi]. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS ry.

SKF. TKTI 10 Instruction for use. Yrityksen www-sivusto. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-06-01.] Saatavissa: [http://www.skf.com/binary/12-35608/MP5357EN\\_tcm\\_12-35608.pdf](http://www.skf.com/binary/12-35608/MP5357EN_tcm_12-35608.pdf)

SUVANTO, Kari. 2003. Tekniikan Fysiikka 1. Helsinki: Edita.

SÄTY 2002. Sähköiset paloriskit ja niiden hallinta. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-05-25.] Saatavissa: [http://www.tukes.fi/tiedostot/sahko\\_ja\\_hissit/sahkopeto/s%C3%A4hkiset%20paloriskit%20ja%20niiden%20hallinta.pdf](http://www.tukes.fi/tiedostot/sahko_ja_hissit/sahkopeto/s%C3%A4hkiset%20paloriskit%20ja%20niiden%20hallinta.pdf)

TUKES 2011. OHJE S4-2011. Sähkölaitteistot ja käytönjohtajat. Tukesin www-sivusto. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2014-05-25.] Saatavissa: [http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/Tukes\\_ohjeS42011.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/Tukes_ohjeS42011.pdf)

## LIITE 1: MALLIRAPORTTI THERMAL CAMERA SUITE-OHJELMISTOSTA

## Inspection 1 - Loisteputkivalaisin

Operator	
Location	
Equipment	SKF SKT110

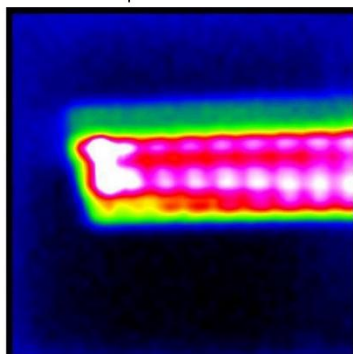
## Snapshot

Date	3rd June 2014
Time	9.16AM

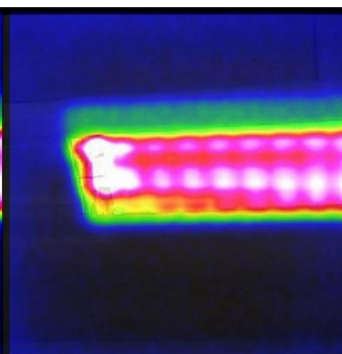
## Comment

Ei havaittuja vikoja

Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	
Reflected Temp:	22.0 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected		
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--

## LIITE 2: LÄMPÖKUVAUSREITIT

Alue A
Jauhatuskeskus
CUV-keskus
ZNV-keskus 1/2
SV-keskus 1/2
SKV-keskus 1
CUK-keskus
ZNK-keskus
SK-keskus 1/2/3
Valaistuskeskus
SPV-keskukset
M8 ja keskus
M9 ja keskus
Alue B
PM1J ja TK
PM2J ja TK
PM3J ja TK
LM2J ja TK
KM1J ja TK
KM2J ja TK
Jauhatuspumput LP1J/LP2J/LP3J/LP4J
Jätepumput LP1JÄ/LP2JÄ/LP3JÄ/LP4JÄ
Valmennin VN1ZNV/VN2ZNV/VN3ZNV
Vaahdotuskennojen moottorit
Alue C
110kV:n ulkokytkinkenttä, muuntajat ja kompensoinnit
Voima-asema 6kV:n kojeisto
Voima-asema 0,4kV:n kojeisto
Jävä:n muuntaja ja keskukset
Rantapumppaamo muuntaja, 0,4kV:n lähdöt ja keskus
Rikastamo 6kV:n kojeisto ja muuntajat
Rikastamo 0,4kV:n pääkeskus M5/M6/M7
Ilmastointiasema 3 muuntamo, keskus ja puhaltimen TK
Ilmastointiasema 2 muuntamo, keskus ja kuonajauhimon kompressorin TK
Timonkuilun tornin 6kV muuntaja
Apukuilun muuntamo ja katukaappi
Alue D
+365 muuntamon kojeisto ja keskus
+400 muuntamon kojeisto ja keskus
+640 muuntamon kojeisto ja keskus
+645 muuntamo kojeisto/keskus/pumppujen turvakytkimet
+702 muuntamo ja kojeisto
+750 muuntamo
+810 muuntamo ja keskukset
+840 muuntamo
+1010 muuntamo ja kojeisto
+1095 muuntamo
+1225 kojeisto
+1200 muuntamo ja keskukset
+1250 konttimuuntamo
+1300 muuntamo ja keskukset
+1390 muuntamo ja keskukset
+1400 muuntaja/kojeisto ja keskukset

## LIITE 3: ZNV1-SÄHKÖKESKUKSEN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

## Inspection 1 - ZNV1 Syöttökaapelit

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

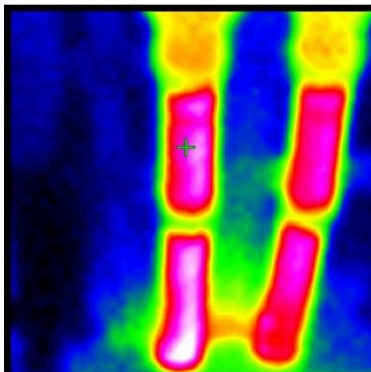
## Snapshot

Date	16th June 2014
Time	6.04 AM

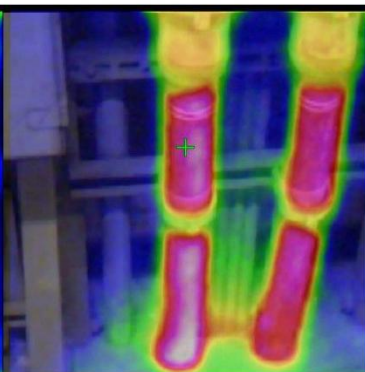
## Comment

Ei havaittuja vikoja, lämpökuvat normaalit.

Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Cursor 1	35.3 °C
Cursor 2	34.0 °C
Difference	1.3 °C

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.95
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected		
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--

## Inspection 2 - ZNV1 Syöttökaapelin kiskoliitokset

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

## Snapshot

Date	16th June 2014
Time	6.07 AM

## Comment

Lievää vaihe-epäsymmetriaa, kolmosvaihe pari astetta viileämpi kuin muut. Kakkosvaiheessa lämpimin kohta, lämpökuvassa ei sinänsä mitään kummempaa.

Thermal Snapshot

Thermal and Visible Blend

Visible Image



## Temperature Measurements

Cursor 1	44.2 °C
Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.95
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected		
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--

## LIITE 4: ZNV2-SÄHKÖKESKUKSEN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

## Inspection 1 - ZNV2 VK63 lähdön kontaktori

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

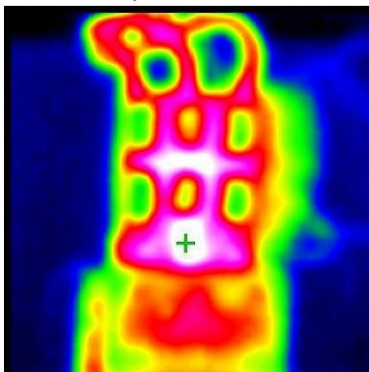
## Snapshot

Date	16th June 2014
Time	6.25AM

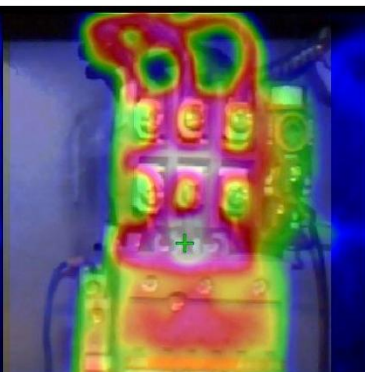
## Comment

Kakkosvaiheen liitospaikka lämmin (yli 6c muihin verrattuna) lämpöreleen ja kontaktorin välistä.

Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Cursor 1	56.7 °C
Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.95
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

Löysä liitos/ Liitoksen kiristys
----------------------------------

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected	16th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

2
---



## Inspection 2 - ZNV2 VK62 kontaktorilähtö

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

## Snapshot

Date	16th June 2014
Time	6.36AM

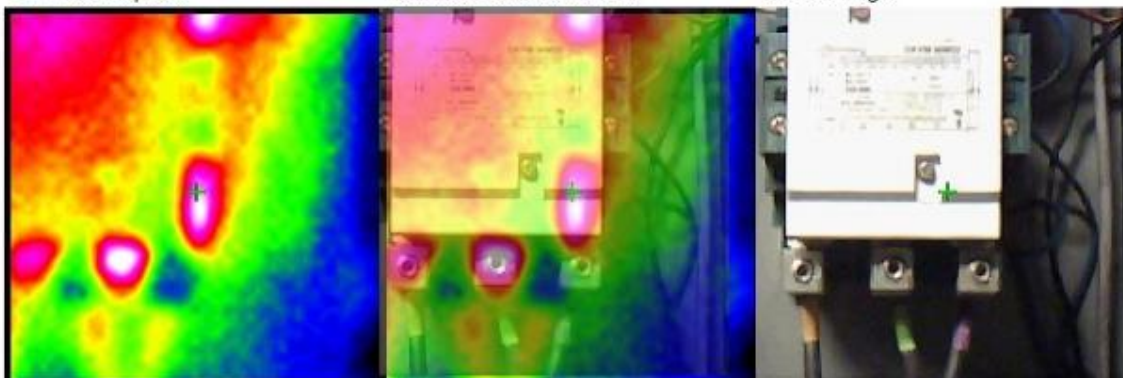
## Comment

Kontaktorin kolmannen vaiheen koskettimet erittäin lämpimät muihin verrattuna. Kontaktori pitää ylimääräistä ääntä. Olisi hyvä tarkistaa lähdön takana olevan moottorin kunto

Thermal Snapshot

Thermal and Visible Blend

Visible Image



## Temperature Measurements

Cursor 1	35.2 °C
Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.95
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

Kontaktorin kolmannen vaiheen koskettimet todennäköisesti sulaneet kiinni / kontaktorin vaihto. Moottorin tarkastus

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected	16th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

4
---

## Inspection 3 - ZNV2 Syöttökaapelin liitokset

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

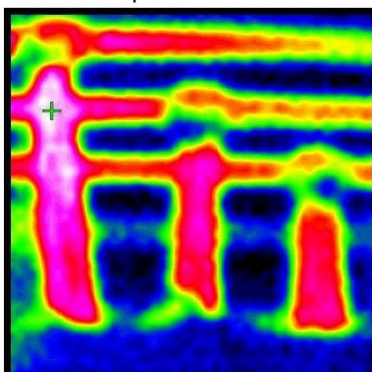
## Snapshot

Date	16th June 2014
Time	6.18AM

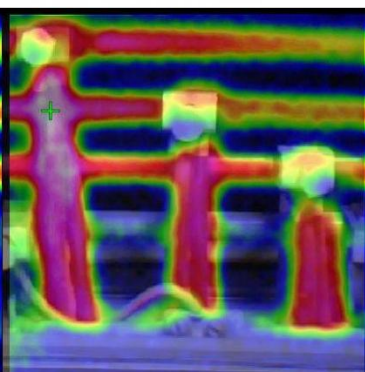
## Comment

Ei havaittuja vikoja, vaiheiden lämpötilaerot alle asteen ja liitokset ok.

Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Cursor 1	30.8 °C
Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.93
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected	16th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--

## LIITE 5: LM2J SÄHKÖMOOTTORIN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

## Inspection 1 - LM2J Sähkömoottori

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

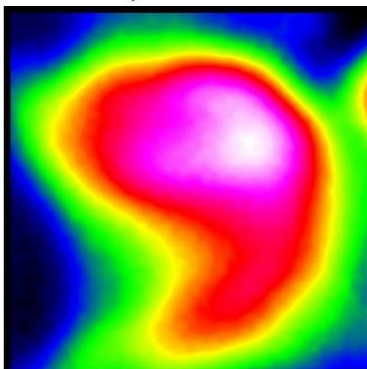
## Snapshot

Date	17th June 2014
Time	4.56AM

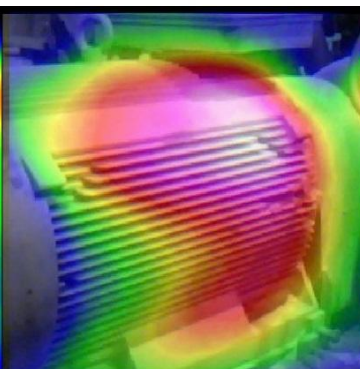
## Comment

Ei havaittu liian isoja lämpötiloja. Käämitykset ja eristeet ok.

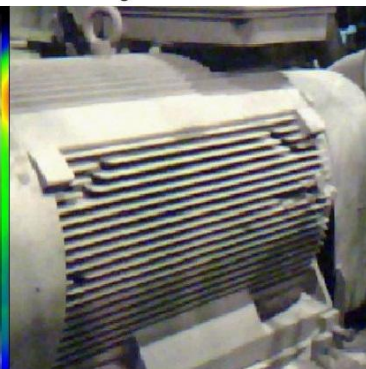
Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.93
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected	17th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--

## Inspection 2 - LM2J Sähkömoottori koppa

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

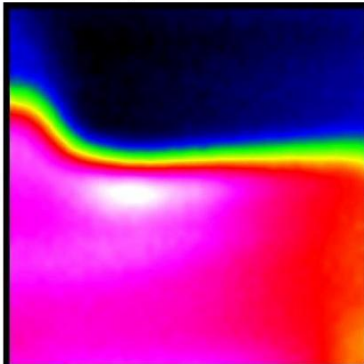
## Snapshot

Date	17th June 2014
Time	4.56AM

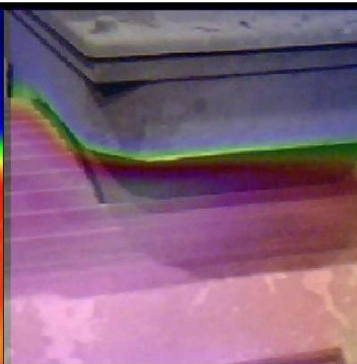
## Comment

Sähkömoottorin lämpimin kohta oli kytkentäkopan alla (51.3C). Tönnäköisesti jonkin käämityksen liitoskohta, tai lämpimiä johtimia lähekkäin.

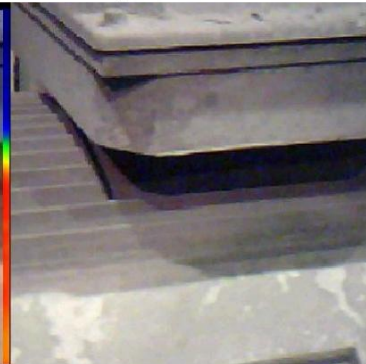
Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.93
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected	17th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--

## LIITE 6: LM2J TURVAKYTKIMEN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

## Inspection 1 - LM2J Turvakytkin kaapeliitokset

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

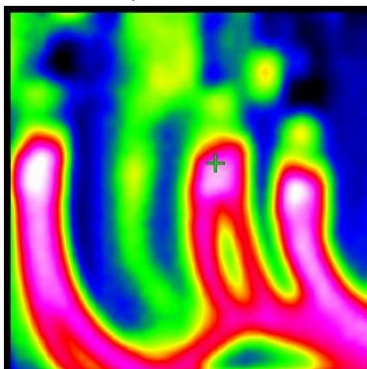
## Snapshot

Date	17th June 2014
Time	4.49AM

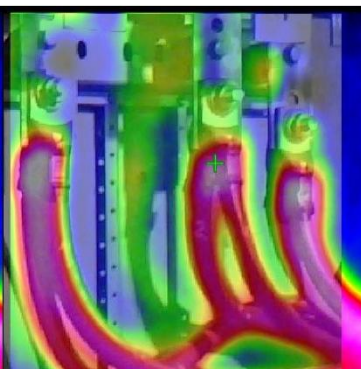
## Comment

Liittimet päällisin puolin kunnossa. Lämpötilaerot vaiheiden välillä muutama aste. Ei havaittuja vikoja.

Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Cursor 1	44.9 °C
Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.93
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected	17th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--

## Inspection 2 - LM2J Turvakytkin

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

## Snapshot

Date	17th June 2014
Time	4.50AM

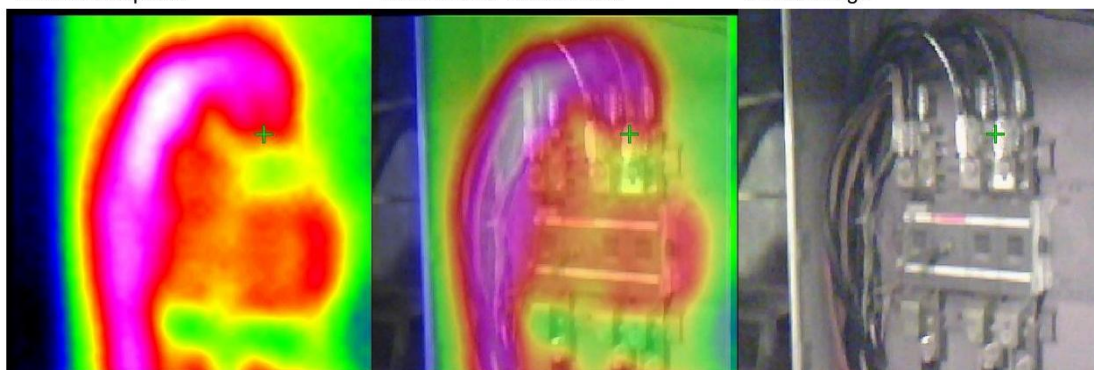
## Comment

Ei suuria lämpötilaeroja vaiheiden välillä. Turvakytkimen sisällä kaapelit käyvät lämpöisinä, mutta ei mitään hälyttävää. Lisälämpöä syntyy, kun kaapelit ovat melko kasassa.

Thermal Snapshot

Thermal and Visible Blend

Visible Image



## Temperature Measurements

Cursor 1	35.3 °C
Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.93
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected	17th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--

## LIITE 7: VALAISTUSKESKUKSEN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

## Inspection 1 - Kahvasulakelähtö 1

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

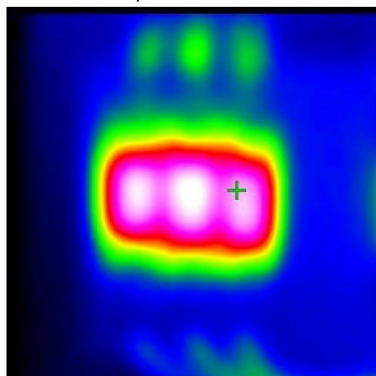
## Snapshot

Date	17th June 2014
Time	5.08AM

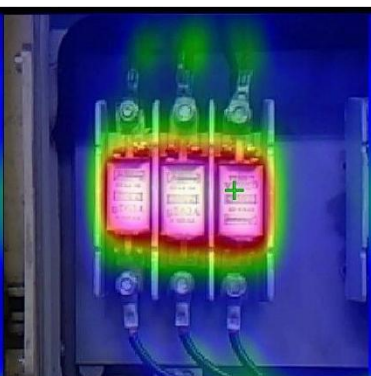
## Comment

Kahvasulakkeiden lämpötila korkea. Lämpimin kohta kakkosvaiheen sulakkeen keskikohta 88,1C. Johtimissa ja liitoksissa ei havaittavaa.

Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Cursor 1	84.6 °C
Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.93
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

Kuormituksen tarkastaminen, jäähtytyksen parantaminen

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected	17th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

## Inspection 2 - Kahvasulakelähtö 2

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

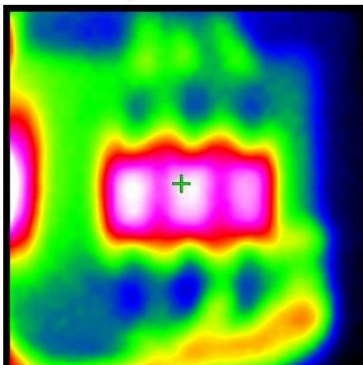
## Snapshot

Date	17th June 2014
Time	5.08AM

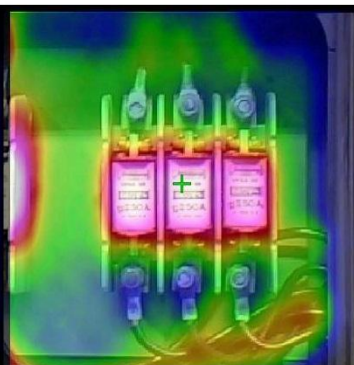
## Comment

Samassa keskuksessa toisen kahvasulakelähdön vieressä. Tämän kahvasulakelähdön lämpötilat olivat jopa yli 30C vähemmän. Ei havaittuja vikoja.

Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Cursor 1	53.0 °C
Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.93
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected	17th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--



## Inspection 3 - Kontaktorilähtö 1

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

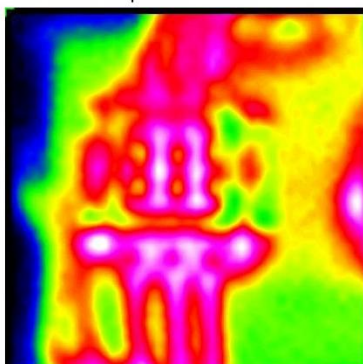
## Snapshot

Date	17th June 2014
Time	5.11 AM

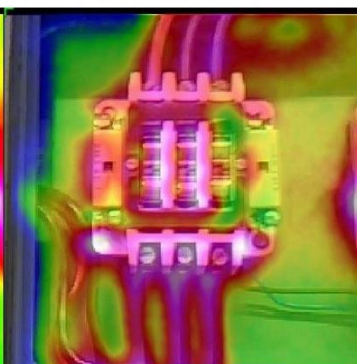
## Comment

Vaiheiden lämpötilaerot pienet ja liitoksien lämpötiloissa ei havaittavia eroavaisuuksia. Lämpö tulee pääasiassa kuormituksesta ja vanhanmallinen kontaktori lämpeää vähän enemmän kun uudet mallit.

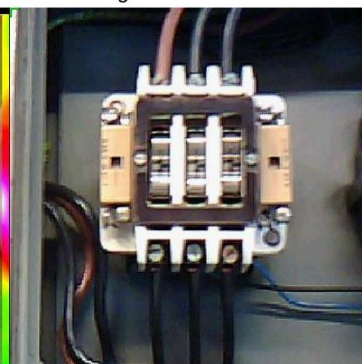
Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.93
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

Action	Date	Initials
Inspected	17th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--

## Inspection 4 - Kontaktorilähtö 2

Operator	IOH
Location	Pyhäsalmi Mine Oy
Equipment	SKF TKT110

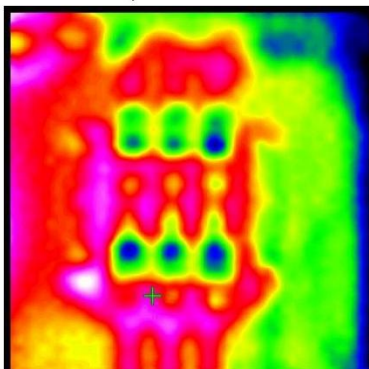
## Snapshot

Date	17th June 2014
Time	5.09AM

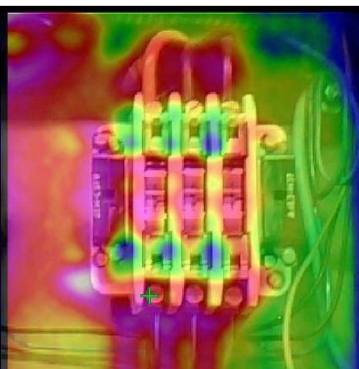
## Comment

Vaiheiden lämpötilaerot pienet ja liitoksien lämpötiloissa ei havaittavia eroavaisuuksia. Lämpö tulee pääasiassa kuormituksesta ja vanhanmallinen kontaktori lämpeää vähän enemmän kun uudet mallit.

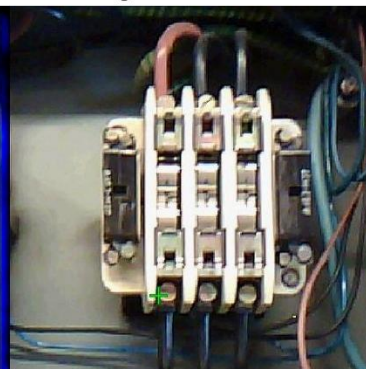
Thermal Snapshot



Thermal and Visible Blend



Visible Image



## Temperature Measurements

Cursor 1	38.0 °C
Difference	

## Measurement Parameters

Emissivity:	0.93
Reflected Temp:	21.9 °C
Measured Load	
Rated Load	
Load %	

## Fault / Recommended Action

--

## Repair Action

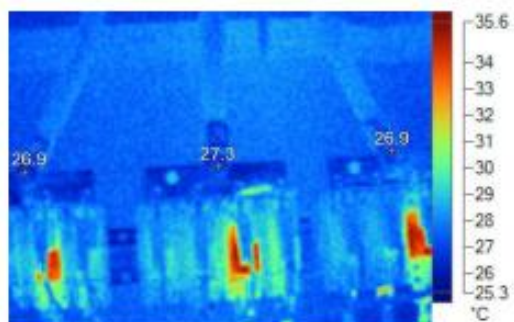
Action	Date	Initials
Inspected	17th Jun 14	
Repaired		
Reinspected		

Repair Priority  
1 Low to 5 High

--

## LIITE 8: +1400 MUUNTAMON LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

## KOMPENSOINNIT



Kompensointi1.IS2

7/29/2014 7:18:00 AM

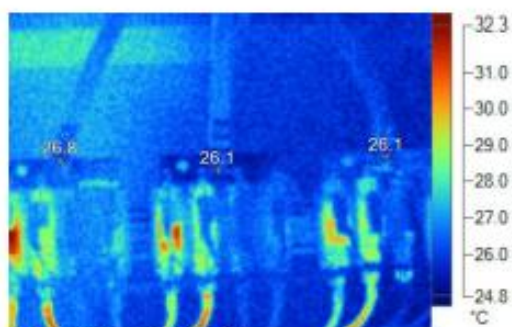
## Image Info

Background temperature	22.0°C
Emissivity	0.95
Transmission	1.00
Average Temperature	27.9°C
Image Range	25.4°C to 35.5°C
Camera Model	Ti9
IR Sensor Size	160 x 120
Camera Manufacturer	Fluke Thermography
Lens description	20mm
Image Time	7/29/2014 7:18:00 AM

## Main Image Markers

Name	Temperature	Emissivity	Background
Centerpoint	27.3°C	0.95	22.0°C
P0	26.9°C		
P1	26.9°C	0.95	22.0°C

## KOMPENSOINNIT



**Kompensointi2.IS2**

7/29/2014 7:28:16 AM

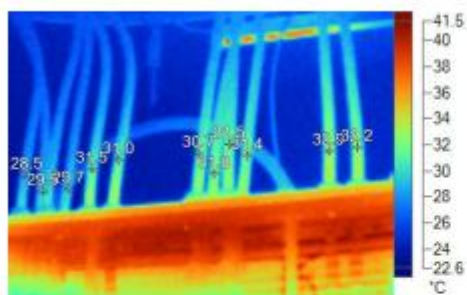
### Image Info

Background temperature	22.0°C
Emissivity	0.95
Transmission	1.00
Average Temperature	26.6°C
Image Range	24.8°C to 32.3°C
Camera Model	Ti9
IR Sensor Size	160 x 120
Camera Manufacturer	Fluke Thermography
Lens description	20mm
Image Time	7/29/2014 7:28:16 AM

### Main Image Markers

Name	Temperature	Emissivity	Background
Centerpoint	26.1°C	0.95	22.0°C
P0	26.8°C		
P1	26.1°C	0.95	22.0°C

## MUUNTAJA



Muuntajakaapelit.IS2

7/29/2014 7:33:48 AM

## Image Info

Background temperature	22.0°C
Emissivity	0.95
Transmission	1.00
Average Temperature	30.1°C
Image Range	22.8°C to 41.4°C
Camera Model	Ti9
IR Sensor Size	160 x 120
Camera Manufacturer	Fluke Thermography
Lens description	20mm
Image Time	7/29/2014 7:33:48 AM

## Main Image Markers

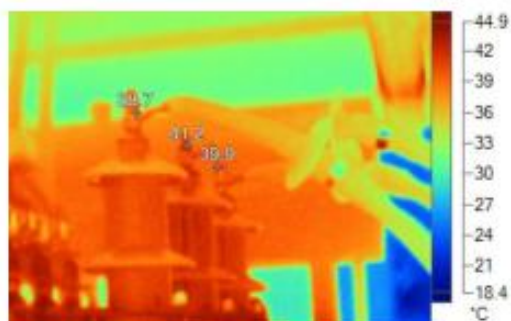
Name	Temperature	Emissivity
Centerpoint	30.7°C	0.95
P0	31.8°C	
P1	31.5°C	0.95
P2	31.4°C	0.95
P3	32.9°C	0.95
P4	32.2°C	0.95
P5	31.0°C	0.95
P6	31.5°C	0.95
P7	29.7°C	0.95
P8	28.5°C	0.95
P9	29.5°C	0.95

## LIITE 9: +1010 MUUNTAMON LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

---

**MUUNTAJA**


---

**Muuntaja\_liitännät1.IS2**

7/29/2014 9:03:37 AM

**Image Info**

Background temperature	22.0°C
Emissivity	0.95
Transmission	1.00
Average Temperature	36.2°C
Image Range	18.4°C to 44.9°C
Camera Model	Ti9
IR Sensor Size	160 x 120
Camera Manufacturer	Fluke Thermography
Lens description	20mm
Image Time	7/29/2014 9:03:37 AM

**Main Image Markers**

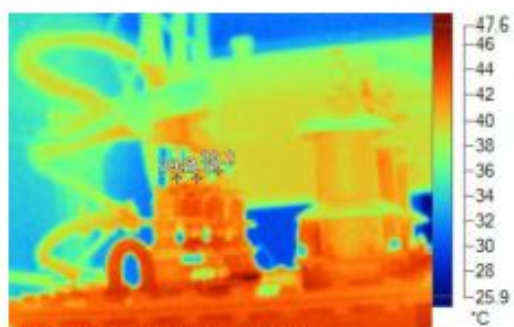
Name	Temperature	Emissivity
Centerpoint	39.9°C	0.95
P0	41.2°C	
P1	38.7°C	0.95

---

---



---

**MUUNTAJA**

**Muuntaja\_liitännät2.IS2**

7/29/2014 9:03:58 AM

**Image Info**

Background temperature	22.0°C
Emissivity	0.95
Transmission	1.00
Average Temperature	38.6°C
Image Range	25.9°C to 47.6°C
Camera Model	Ti9
IR Sensor Size	160 x 120
Camera Manufacturer	Fluke Thermography
Lens description	20mm
Image Time	7/29/2014 9:03:58 AM

**Main Image Markers**

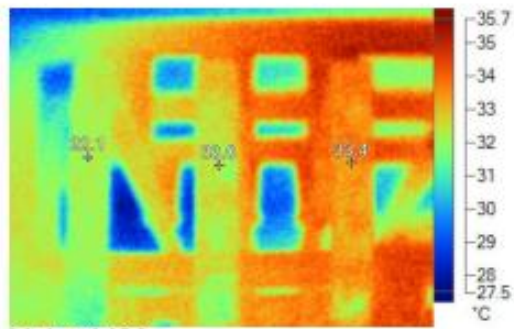
Name	Temperature	Emissivity
Centerpoint	39.2°C	0.95
P0	41.3°C	
P1	39.2°C	0.95

---



---

## EROTIN

**kiskot1.IS2**

7/29/2014 8:58:38 AM

**Image Info**

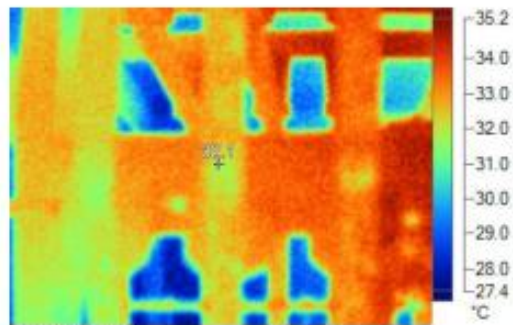
Background temperature	22.0°C
Emissivity	0.95
Transmission	1.00
Average Temperature	32.6°C
Image Range	27.6°C to 35.7°C
Camera Model	Ti9
IR Sensor Size	160 x 120
Camera Manufacturer	Fluke Thermography
Lens description	20mm
Image Time	7/29/2014 8:58:38 AM

**Main Image Markers**

Name	Temperature	Emissivity
Centerpoint	33.0°C	0.95
P0	32.1°C	
P1	33.4°C	0.95



## EROTIN



kiskot2.IS2

7/29/2014 8:58:01 AM

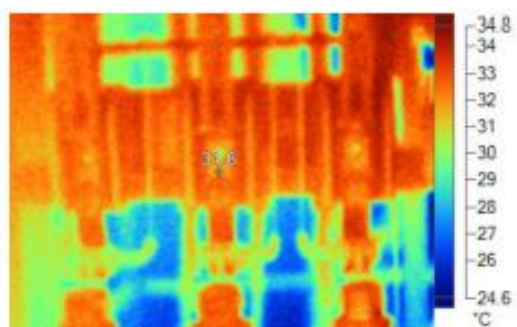
**Image Info**

Background temperature	22.0°C
Emissivity	0.95
Transmission	1.00
Average Temperature	32.4°C
Image Range	27.4°C to 35.2°C
Camera Model	Ti9
IR Sensor Size	160 x 120
Camera Manufacturer	Fluke Thermography
Lens description	20mm
Image Time	7/29/2014 8:58:01 AM

**Main Image Markers**

Name	Temperature	Emissivity
Centerpoint	32.1°C	0.95

## EROTIN



erotin1.IS2

7/29/2014 8:59:21 AM

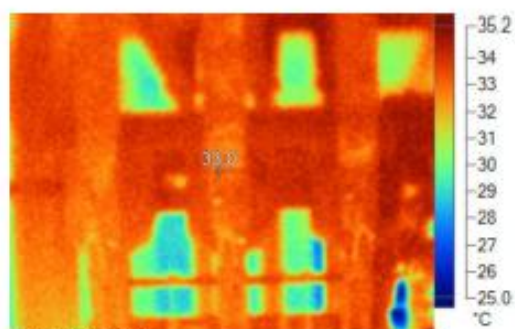
**Image Info**

Background temperature	22.0°C
Emissivity	0.95
Transmission	1.00
Average Temperature	31.3°C
Image Range	24.6°C to 34.8°C
Camera Model	Ti9
IR Sensor Size	160 x 120
Camera Manufacturer	Fluke Thermography
Lens description	20mm
Image Time	7/29/2014 8:59:21 AM

**Main Image Markers**

Name	Temperature	Emissivity
Centerpoint	31.6°C	0.95

## EROTIN



erotin2.IS2

7/29/2014 8:59:32 AM

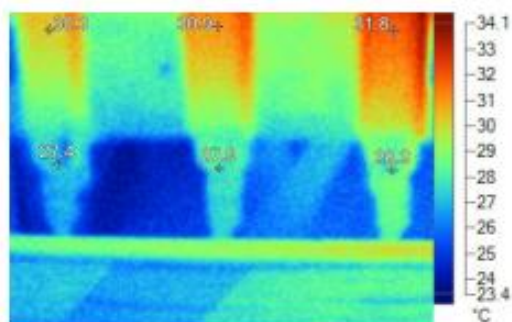
**Image Info**

Background temperature	22.0°C
Emissivity	0.95
Transmission	1.00
Average Temperature	33.0°C
Image Range	25.0°C to 35.2°C
Camera Model	Ti9
IR Sensor Size	160 x 120
Camera Manufacturer	Fluke Thermography
Lens description	20mm
Image Time	7/29/2014 8:59:32 AM

**Main Image Markers**

Name	Temperature	Emissivity
Centerpoint	33.0°C	0.95

## EROTIN



**kaapeloinnit.IS2**  
7/29/2014 8:58:21 AM

**Image Info**

Background temperature	22.0°C
Emissivity	0.95
Transmission	1.00
Average Temperature	27.8°C
Image Range	23.4°C to 34.1°C
Camera Model	Ti9
IR Sensor Size	160 x 120
Camera Manufacturer	Fluke Thermography
Lens description	20mm
Image Time	7/29/2014 8:58:21 AM

**Main Image Markers**

Name	Temperature	Emissivity
Centerpoint	27.9°C	0.95
P0	27.4°C	
P1	28.3°C	0.95
P2	30.3°C	0.95
P3	30.9°C	0.95
P4	31.8°C	0.95

## LIITE 10: SKF-LÄMPÖKAMERAN KÄYTTÖOHJE



## SKFI TKTI10 Lämpökamera

## Käyttöohje



5.6.2014

IOH

## Aloitus

- Kameran virta kytketään kuvassa näkyvästä painikkeesta



## Aloitus

- Seuraavaksi poistetaan linssisuojaus



## Näyttö

- 1: Kursorin liikutus ja lämpökuvan/normikuvan kohdistus
- 2: Taustavalo/ lämpötilaskaala
- 3: Kuvan pysäytyspainike
- 4: Valikon aukaisu
- 5: Ohjausnäppäimet ja OK painike
- 6: Infrapunakoehdistin



## Kuvan tarkennus

- Kuvan tarkennus tapahtuu linssipyörällä. Tarkennus pitää tehdä jokaiselle kuvattavalle kohteelle erikseen.



## Valikon tärkeimmät asetukset

- Valikko avataan napista 4
- Infrared/measurement valikot ovat oleellisia.



## Valikon tärkeimmät asetukset

- Infrared valikosta voidaan säätää emissiivisyys, väripaletti ja lämpökuvasta pois suodatettu lämpötila tilanteeseen sopivaksi.



## Valikon tärkeimmät asetukset

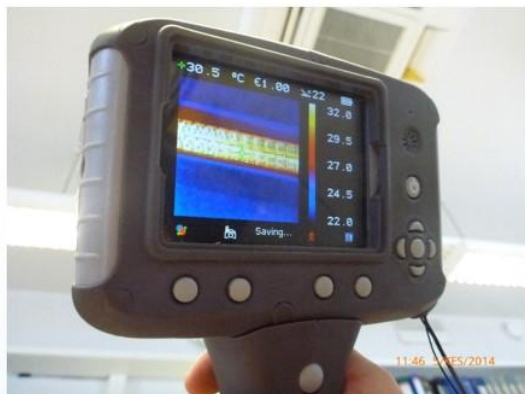
- Measurement valikosta lämpökuvasta voidaan rajata kylmät/kuumat alueet ja valikosta voidaan laittaa kuumimpien ja kylmimpien pisteiden näyttö toiminto päälle.





## Kuvan kaappaus ja tallennus

- Kuva napataan kahvassa olevasta napista ja lämpökuvaa tallentuu automaattisesti kameran muistikortille.



## Kuvien siirto tietokoneelle

- Siirto onnistuu kameran mukana tulleen kaapelin avulla USB- portin kautta tai irrottamalla kameran muistikortti ja käyttämällä sitä.



## Käytön jälkeen

- Laita linssisuojaus takaisin.
- Sulje kamera, pitämällä käynnistysnappia pohjassa n. 3 sekuntia

## Lisätietoja

- Tarkempia ohjeita kameralle, on saatavissa SKF:n sivuilta:
- <http://www.skf.com/binary/12-35608/index.html>