

# **SÄHKÖKESKUSTEN JA KOMPONENTTIEN TURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN LÄMPÖKAMERALLA**

Teoria, käytännöt ja toimenpiteet



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

HAMK Valkeakoski, Sähkö- ja automaatiotekniikka

Syksy, 2018

Kimmo Penttilä

Sähkö- ja Automaatiotekniikan koulutus  
Valkeakoski HAMK

---

<b>Tekijä</b>	Kimmo Penttilä	<b>Vuosi</b> 2018
<b>Työn nimi</b>	Sähkökeskusten ja komponenttien turvallisuuden varmistaminen lämpökameralla	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Raine Lehto	

---

## TIIVISTELMÄ

Sandvik Mining and Construction Oy tilasi tämän opinnäytetyön ylläpitääkseen korkeaa sähköturvallisuustasoa ja komponenttien kestävyyttä. Turvallisuus ja toimintavarmuus ovat ensisijaisia prioriteetteja koneiden tuottamisessa ja tämä opinnäytetyö pohjautuu lämpökuvauksen tarkasteluun erityisesti liikkuvien laitteiden osalta laitevalmistajan laadunvarmistamisen näkökulmasta.

Lämpökamerakuvaaminen paljastaa keskuksista kuumimpina käyvät komponentit ja toisaalta mahdolliset asennustapojen tai sähkösuunnittelun aikaansaamat tarpeettomat lämpenemiset – tai toisaalta komponenttivalmistajalta tulleet vialliset komponentit. Kuumentuneet komponentit ovat paitsi turvallisuusriski, myös merkittävästi alttiita ennenaikaiselle rikkoontumiselle ja pahimmillaan sarjalle rikkoontumisia ja turvallisuusriskejä.

Työn tavoitteena oli laatia erityisesti tuotannon laatua varmistavat lämpökuvausohjeet. Erilaisille kaivos- ja tunneliporauslaitteille laadittiin testiporausten yhteyteen tarkat ohjeet lämpökuvaukseen. Yksityiskohtaiset ohjeet varmistavat hyvän vertailtavuuden aiempiin laitteisiin ja mahdollistavat pitkäjänteisen työn koneturvallisuuden edistämiseksi.

**Avainsanat** koneturvallisuus, lämpökuvaus, sähköturvallisuus

**Sivut** 46 sivua, joista liitteitä 14 sivua

Degree Programme in Electrotechnology and Automation Engineering  
Häme University of Applied Sciences - Valkeakoski

---

<b>Author</b>	Kimmo Penttilä	<b>Year</b> 2018
<b>Subject</b>	Ensuring Electrical Safety with Thermal Imaging	
<b>Supervisors</b>	Raine Lehto	

---

ABSTRACT

This thesis was ordered by Sandvik Mining and Construction company in order to maintain a high quality electrical safety and the reliability of electrical components. Safety and reliability are the main principals in the drilling machinery production.

Thermal imaging reveals the possible fault sensitive components or hazardous behaviors in the assembly installations. Overheated components are not only a safety issue but a significant reducer of components' lifespan.

The main objective of this thesis was to create a thermal imaging instructions for the quality assurance process. A systematic thermal imaging procedure was designed for all new products to ensure determined and comparable thermal photographing – which, over time – provides an efficient database of thermal images, helping to comprehend when a high temperature induces a risk and when it's between a normal operating range.

**Keywords** electrical safety, product safety, thermal imaging

**Pages** 46 pages including appendices 14 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	LÄMMÖN SIIRTYMINEN JA LÄMPÖSÄTEILY .....	2
2.1	Lämmön siirtyminen .....	2
2.1.1	Lämpösäteily.....	2
2.1.2	Konduktio – johtuminen.....	2
2.1.3	Konvektio – kulkeutuminen.....	3
2.1.4	Emissiivisyys, läpäisy ja heijastuma .....	3
2.2	Sähkömagneettinen spektri ja näkyvä valo .....	5
2.3	Lämpökuvauksen perusperiaatteet .....	8
2.3.1	Lämpökuvauslaitteistot .....	8
2.3.2	Fluke TI400.....	9
3	SÄHKÖKOMPONENTIT JA LÄMPÖTILA .....	10
3.1	Sähkön aiheuttamat tulipalot .....	10
3.2	Kolmivaihe-epäsymmetria .....	10
3.3	Yliaallot.....	11
3.4	Jännitteenvaihtelut .....	12
3.5	Kuormitustyyppit ja komponenttien lämpötila.....	12
3.6	Liitosongelmat ja resistiivisyys .....	13
4	SÄHKÖLAITTEIDEN LÄMPÖKUVAAMINEN.....	14
4.1	Hallittavat asiat .....	15
4.1.1	Säkölaitteiston sallitut lämpötilat .....	16
4.1.2	Virran mitta.....	17
4.1.3	Kannet ja suojat lämpösäteilyn esteenä .....	18
4.2	Mitä kuvataan ja miten tulkitaan .....	19
4.3	Raportointi ja reagointi .....	20
4.4	Lämpökuvaajan sertifiointi.....	20
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	21
5.1	Työn tavoitteet ja tulokset .....	21
5.2	Suosituks.....	21
5.3	Lämpökuvaus osana vianetsintää ja kunnossapitoa .....	23
5.4	Tulevaisuuden mahdollisuudet .....	24
5.5	Loppusanat.....	24
	LÄHTEET .....	25

## Liitteet

Liite 1	Ohje sähkökeskusten lämpökuvauksesta – yleistä
Liite 2	Thermal imaging instructions for the electric devices
Liite 3	Ohje porauslaitteiden sähköjen lämpökuvauksesta – Sandvik tuotanto
Liite 4	Instructions for drilling equipment thermal imaging – Sandvik customer

Liite 5	Porauslaitteiden lämpökuvausraportti
Liite 6	The report of drilling machine thermal imaging
Liite 7	Sandvik 1st Generation Underground Equipment Thermal Imaging
Liite 8	Sandvik 2nd Generation UG Equipment MQ Enclosure Thermal Imaging
Liite 9	Sandvik 2nd Generation UG Equipment DQ Enclosure and Transformers Thermal Imaging
Liite 10	Sandvik 1st Generation UG 1 door enclosures Thermal Imaging
Liite 11	Sandvik settings for Fluke SmartView report with Fluke Ti400

## 1 JOHDANTO

Sähköviat ovat yksi merkittävimmistä palovahinkojen aiheuttajista. Vakavimmillaan vikojen seuraukset vaarantavat asiakkaiden ja työntekijöiden hengen ja aiheuttavat lähes aina omaisuusvahinkoja. Viat saattavat olla seurausta pölystä, liasta ja kulumisesta tai asennusvirheistä, kuten löysistä liitoksista, vääristä kaapeleista tai jo suunnitteluvaiheen virheratkaisuista, kuten vino- tai ylikuormista.

Laitteita toimittaville yrityksille sähkövikojen aiheuttamat vauriot, onnettomuudet ja tuotantokatkokset aiheuttavat merkittäviä imagollisia ja taloudellisia tappioita, minkä vuoksi onkin äärimmäisen tärkeää minimoida sähkövikojen aiheuttamat ongelmat. Turvallisuus ja toimintavarmuus ovat kaikki kaikessa, joten jo etukäteen on pyrittävä varmistamaan, että ongelmakohdat poistetaan ja parantavia muutoksia tehdään tarvittaessa.

Sähköjärjestelmille tehdään standardien mukaisia määräaika- ja käyttöönottotarkastuksia, mutta näiden lisäksi lämpökamerakuvaaminen on vuosien saatossa kehittynyt merkittävästi siten, että se on enemmän kuin varteenotettava ja suositeltava lisä osaksi sähkö tarkastuksia.

Tässä työssä käydään ensin läpi termodynamiikan ja säteilyn fysiikkaa, jonka jälkeen tarkastellaan lämmön merkitystä sähkökomponenteille. Lämpökuvauksessa hallittavia asioita tarkastellaan erityisesti sähköjärjestelmien ja näiden lämpökuvaamisen toimintatapojen ja raportoinnin osalta.

Tehtyjen havaintojen ja oppien perusteella laaditaan lämpökuvauskäytäntö osaksi laadunvarmistamisjärjestelmää, joka varmistaa laitteiden laatua osaltaan. Tavoitteena on varmistaa, että kaikki lämpökameralla havaittavissa olevat viat havaittaisiin jo tuotannon laadunvarmistuksessa. Nykyaikaisessa tutkivassa työskentelyssä on lisäksi tärkeää mukautua ja vastata dynaamisesti projektin nostattamiin kysymyksiin ja haasteisiin ennalta-asetettujen tavoitteiden täyttämisen lisäksi.

Haluan kiittää Sandvik Mining and Construction Oy:n Tampereen toimipistettä, sähkösuunnitteluosastoa ja tehtaan tuotantoa tämän opinnäytetyön mahdollistamisesta. Erityiskiitokset UG-kaivoslaitteiden sähkösuunnittelun esimies Pekka Hoseukselle ja UG-pääsähkösuunnittelija Jukka Osaralle avusta ja näkemyksistä, kuin myös Tampereen UG-tuotannon sähkö tarkastajille käytännön avusta ja ohjeistuksesta.

Kiitokset myös Hämeen ammattikorkeakoululle ja erityiskiitokset ohjaavalle yliopettaja Raine Lehdolle useista huomioista ja ohjauksesta työhön liittyen.

## 2 LÄMMÖN SIIRTYMINEN JA LÄMPÖSÄTEILY

### 2.1 Lämmön siirtyminen

Lämpökuvaamista ymmärtääkseen on tunnettava myös siihen vaikuttavia fysikaalisia ilmiöitä. Lämmön siirtymisen perusedellytyksiä on lämpötila-erot: lämpö siirtyy kuumemmasta kylmempään. Lämmön siirtymistapoja ovat säteily (esimerkiksi tyhjiössä), johtuminen (esimerkiksi kiinteässä aineessa) ja kulkeutuminen (esimerkiksi nesteen mukana).

#### 2.1.1 Lämpösäteily

Kaikkialla ympärillämme on jatkuvaa sähkömagneettista säteilyä, kun kaikki absoluuttista nollapistettä  $-273,15\text{ °C}$  lämpimämmät kappaleet säteilevät lämpösäteilyä lämpötilasta riippuen vaihtelevalla aallonpituudella. Lämpösäteily ei vaadi väliainetta siirtymiseen. (Infradex 2018; Fagerholm N.E. 1986, 258) Lämpösäteet osuvat kuumimpien kappaleiden osalta näkyvän valon alueelle, noin  $400\text{ nm} - 700\text{ nm}$ , mistä tutuna esimerkkinä kuumana hehkuva rauta. Lämpösäteily siirtyy parhaiten tyhjiössä, koska muut pinnat aiheuttavat lämmön heijastumista, absorptiota tai hidastavaa läpäisyä. (Hietanen 2017, 12.) Kaikkiaan infrapuna- eli lämpösäteilyn alue ulottuu noin alueelle  $700\text{ nm} - 1\text{ mm}$ . (Vollmer & Möllman 2010, 10.)

Infrapunakaista on mielivaltaisesti jaettu kapeampiin kaistoihin. Lähi-infrapunakaistaa hyödynnetään esimerkiksi kaukosäätimissä. Keski-infrapunakaistan hyödyntäminen lämpökuvauksessa on ongelmallista, koska sillä alueella emissiivisyyskertoimet vaihtelevat vaikeammin ennustettavasti kuin pitkäaaltokaistalla. Pitkäaaltokaistan lämpökuvaus tuottaa yleensä luotettavimmat tulokset, koska säteilyä on sillä kaikkein eniten varsinkin matalammissa lämpötiloissa. (Hietanen 2017, 13)

- Lähi-infrapunakaista  $1 - 2\text{ }\mu\text{m}$
- Keski-infrapunakaista  $2 - 6\text{ }\mu\text{m}$
- Pitkäaaltokaista  $8 - 15\text{ }\mu\text{m}$

#### 2.1.2 Konduktio – johtuminen

Konduktiossa lämpö johtuu aineen läpi molekyylien vuorovaikutuksen välityksellä ilman erillistä aineensiirtoa, korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Materiaalien lämmönjohtavuus  $\lambda$  (Taulukko 1.) ilmaisee lämmön johtumiskyvyn aineen lävitse. (Fagerholm 1986, 255.)

Taulukko 1. Lämmönjohtavuuksia [ $\lambda$ ] = W/(Km), 25 °C asteessa (The Engineering Toolbox, 2003).

Timantti	1000
Hopea	429
Kupari	401
Kulta	310
Alumiini	205
Rauta	55 - 80
Tina	67
Teräs	16-43
Lasi	1,05
Vesi	0,606
Voiteluöljy	0,15
Puu	0,1 - 0,15
Kumi	0,045 – 0,13
Ilma (kaasu)	0,0262

### 2.1.3 Konvektio – kulkeutuminen

*Vapaassa konvektiossa* esimerkiksi lämmin ilma nousee kylmemmän ilman yläpuolelle, koska on kevyempää. Tämä on seurausta ilmaan syntyneistä tiheyseroista, jotka ovat muodostuneet ilman epätasaisessa lämpenemisessä tai jäähtymisessä. Lämmin ilma kohoaa aina ylöspäin, mikä on siis konvektiota. *Pakotettu konvektio* on vastaava ilmiö ulkoisen tekijän aiheuttamana, kuten pumpun tai puhaltimen, jolloin konvektio on usein huomattavasti tehostetumpaa. (Fagerholm 1986, 256.)

Laminaarisessa eli yhdensuuntaisessa virtauksessa, ei tapahdu merkittävää sekoittumista, jolloin lämmönsiirto viereisiin materiaaleihin kuten vesiputkeen, tapahtuu pääosin johtumalla. Mikäli virtauksessa on pyörteitä, on kyse turbulenttisesta virtauksesta, jolloin virtaus on hetkittäin myös kohtisuoraista viereisen pinnan seinämiin. (Fagerholm 1986, 257.)

### 2.1.4 Emissiivisyys, läpäisy ja heijastuma

Absorptio:

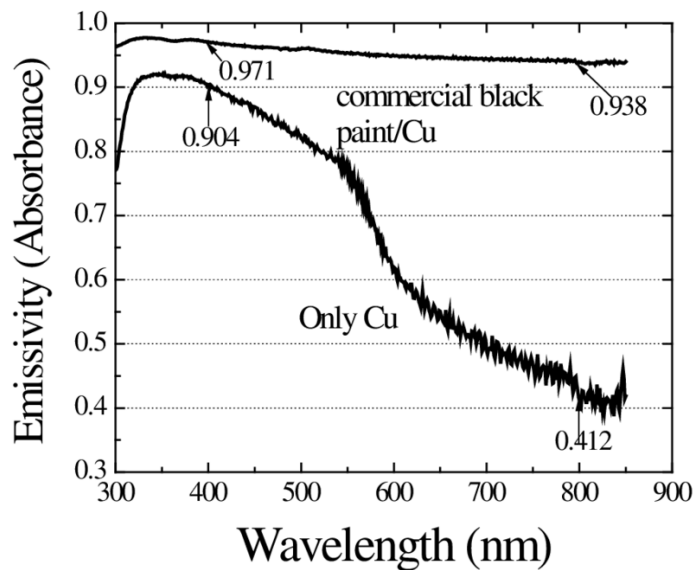
”Aineen tai energian sitoutuminen. Kun aine ottaa vastaan eli absorboi energiaa, sen elektroni tai elektronit voivat virittyä korkeammille energiatiloille” (Opetushallitus 2018).



Emissio:

”Viritystilan purkautuessa aine voi lähettää eli emittoida energiaa sähkömagneettisena säteilynä” (Opetushallitus 2018).

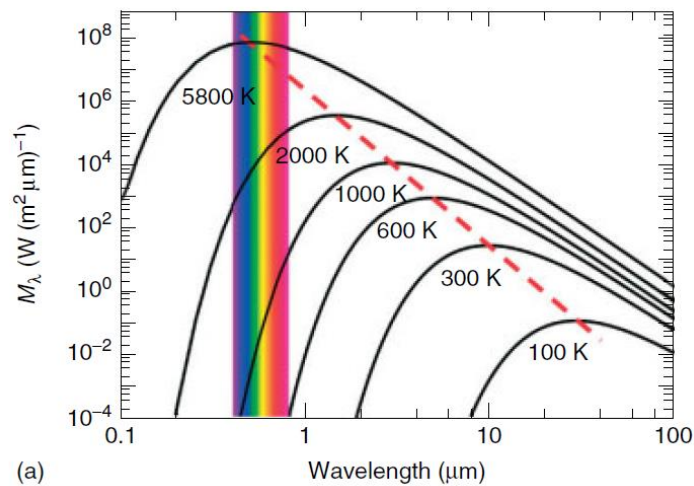
Emissiokerroin kuvaa, kuinka suuri osa lämpösäteilyä on kappaleesta itsestään sen sijaan, että olisi vain kappaleen läpäissyttä tai siitä heijastunutta säteilyä. Täydellisen musta kappale ei heijasta lainkaan säteilyä vaan imee eli absorboi kaiken säteilyn itseensä. Näin ollen esimerkiksi lämpökuvauksessa vaikuttaa merkittävästi, onko metallin pinta maalattua vai maalamatonta (Kuva 1).



Kuva 1. Mustaksi maalatun ja maalamattoman kuparin emissiivisyys aallonpituuden funktiona. (Oliva & Maldonado & Díaz & Montalvo 2013).

Nokikin tyypistä riippuen heijastaa n. 5 % lämpösäteilyä, sen emissiokerroin ollessa tällöin 0,95. Alumiinin emissiivisyys on vain 0,2 – 0,3. Käytännössä emissiokerroin ilmaisee kykyä vastaanottaa lämpöä sen sijaan, että se olisi läpikulkumatkalla tai heijastuisi muualle. Toisaalta kappaleen pinta vaikuttaa merkittävästi sen kykyyn absorboida ja emittoida säteilyä, sileän pinnan tarkoittaessa matalampaa emissiokerrointa kuin karkealle pinnalla. (Fagerholm 1986, 258.)

Lisäksi taulukoiden emissiivisyysarvot saattavat ohjata harhaan, sillä vaikka esimerkiksi valkoisen paperin emissiokerroin on huoneenlämpötilassa korkea – noin 0,93 – absorboiden erinomaisesti tätä alhaisen lämpötilan pitkäaaltoista säteilyä, suorassa korkealämpöisessä (6000 K) auringonsäteilyssä absorptio onkin heikko heijastavan värin ja lyhytaaltoisen säteilyn vuoksi (Kuva 2). (Fagerholm 1986, 277.)



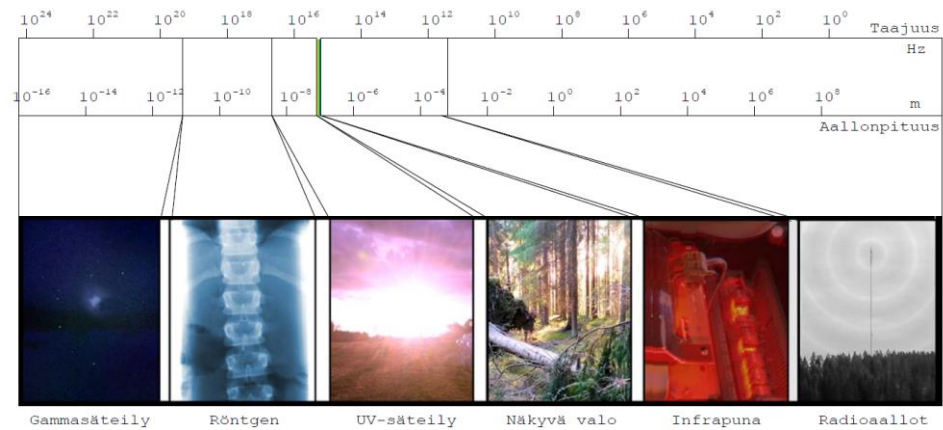
Kuva 2. Mustan kappaleen emissiospektri eri lämpötiloissa ja näkyvän valon alue (Vollmer & Möllman 2010, 24).

Kappaleen kokonaislämpösäteily muodostuu kolmesta eri säteilystä: kappaleesta heijastuneesta lämpösäteilystä, sen läpäisseestä tai läpikulkeutuneesta lämpösäteilystä ja viimeiseksi kappaleen omasta eli siihen emittoituneesta lämpöenergiasta. Näiden suhdelukujen yhteenlaskettu arvo on 1, mikä tarkoittaa tällöin kokonaislämpösäteilyä. (Lienhard 2017, 29.)

## 2.2 Sähkömagneettinen spektri ja näkyvä valo

Sähkömagneettinen säteily luokitellaan usein sen aallonpituuden mukaan ja sähkömagneettinen spektri kuvaa sen koko kirjoa (kuva 3) vajaan 10 kilohertsin radioaalloista gammasäteilyyn, joka voi olla taajuudeltaan yli  $10^{24}$  Hz. Aallonpituudet vastaavasti lyhenevät taajuuden kasvaessa. (Hietanen 2017, 10.) Ruoankin lämmitykseen käytetyt mikroaallot ovat korkeataajuisia radioaaltoja. (Vollmer & Möllman 2010, 10.)

- Radioaallot  $\lambda = 300 \text{ mm} \dots 30 \text{ km}$
  - Mikroaallot  $\lambda = 1 \text{ mm} \dots 300 \text{ mm}$
  - Infrapunasäteily  $\lambda = 700 \text{ nm} \dots 1 \text{ mm}$
  - Näkyvä valo  $\lambda = 400 \text{ nm} \dots 700 \text{ nm}$
  - Ultraviolettisäteily  $\lambda = 400 \text{ nm} \dots 3 \text{ nm}$
  - Röntgensäteily  $\lambda = 30 \text{ nm} \dots 10^{-2} \text{ nm}$
  - Gammasäteily  $\lambda = \text{pienempi kuin } 10^{-2} \text{ nm}$
- (Lienhard 2017, 28.)



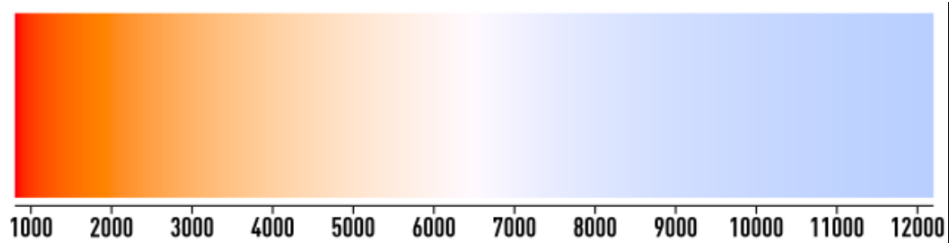
Kuva 3. Spektri havainnointikuvana. Kuvat antavat mielleyhtymiä teollisen näkemyksen tueksi.

Elolliset olennot kykenevät erottamaan vain näkyvää valoa, joten kaikki muut sähkömagneettisen spektrin aallonpituuksien havainnointi on riippuvaista toissijaisista havainnointimenetelmistä. Esimerkiksi ultraviolettisäteily ruskistaa ihoa ja infrapunasäteilyn tunnistaa lämpönä. Värit voidaan erottaa näkyvästä valosta seuraavasti

- Violetti 380 – 450 nm
  - Sininen 450 – 490 nm
  - Vihreä 490 – 560 nm
  - Keltainen 560 – 590 nm
  - Oranssi 590 – 630 nm
  - Punainen 630 – 760 nm
- (Hietanen 2017, 11.)

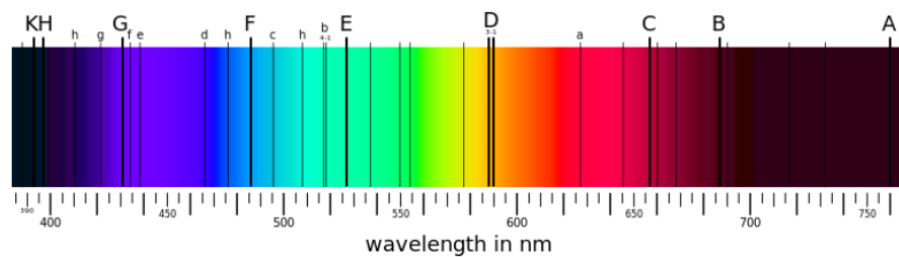
Aurinko lähettää kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia, jolloin ihmisen näkemät värit muodostuvat siitä, että esimerkiksi vihertävä nurmikko heijastaa vihreitä aallonpituuksia muttei juuri muita. Sateenkaudessa aurion valo osuu sopivassa kulmassa sadepisaroihin, jakautuen spektrin eri väreihin. Toisaalta hehkulampun valkoisen valon näkyminen katsojalle riippuu sen säteilytyypistä: suurienerginen eli lyhytaaltainen säde taittuu lampun prismassa enemmän kuin matalaenerginen pitkäaaltainen, vaikuttaen suoraan valon väriin. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, Pohjakallio 2018, 15.)

Esimerkiksi auton valoissa värin tyyppi määritellään kelvineinä (K), koska säteilyn energia vaikuttaa valon väriin ja sitä kautta valaistustehoon (kuva 4). Päivänvaloa mukaileva 6500 K valaisin valaisee paremmin kuin tavallisen hehkulampun 2700 K ja toisaalta paremmin kuin sinertävän valon 9000 K.



Kuva 4. Mustan kappaleen emittoiman näkyvän valon värit 800 kelviniä 12200 kelviniin - n. 1000 °C – 12000 °C (Bhutajata 2015).

Auringon säteily tulee paitsi maapallon ilmakehän lävitse, myös aurinkoa ympäröivän kaasukehän halki, jolloin osa aallonpituuksista on imeytynyt matkan varrelle osuneisiin kaasuihin. Tilannetta voidaan kuvata absorbtiospektrillä (kuva 5). Esimerkiksi D-viivan osoittamat aallonpituudet ovat hävinneet, koska osa säteilystä on imeytynyt natriumiin. Maapallon ilmakehässä ei ole natriumia, jolloin sitä voidaan päätellä olevan auringossa. (Letonsaari & Tallikka.)



Kuva 5. Auringonvalon absorbtiospektri ja Fraunhoferin viivat (Wikipedia Commons, 2005).

Wienin siirtymälaki kuvastaa mustan kappaleen lämpötilan olevan kääntäen verrannollinen sen huippua vastaavaan aallonpituuteen. Esimerkiksi auringon pintalämpötila on suunnilleen 5780 K, huipultaan aallonpituudella 500 nm, joka osuu näkyvän valon alueelle (Kuva 2). Korkeissa lämpötiloissa näkyy tasaisesti kaikkia spektrin värejä valon näkyessä ihmissilmälle valkoisena. Valonlähteet perustuvatkin usein aineen kuumenemiseen, jolloin lämpötilan noustessa valo muuttuu pitkäaaltoisesta punaisesta lyhytaaltoiseksi siniseksi valoksi. Lämpökuvaukselle ilmiöllä ei sinänsä ole merkitystä, koska haluamme tietää kappaleen kokonaislämpösäteilyn tarkastellulla aallonpituudella emmekä niinkään näkyvän valon ilmiöinä. (Vollmer & Möllman 2010, 24.)

## 2.3 Lämpökuvauksen peruseriaatteen

Lämpökuvauksen perustuu sähkömagneettisen spektrin infrapuna-alueelle. Kamera ottaa kuitenkin vastaan myös muista kuin kohteesta peräisin olevaa säteilyä, esimerkiksi kohteen heijastamaa säteilyä. Häviävän pienet kuvaukseen vaikuttavat seikat, kuten auringonvalon sironta ilmassa tai hajasäteily, tulee lämpökuvasta toteuttavan huomioida nämä muuttamalla kuvaustilannetta häiriötekijät eliminoiden. (Letonsaari & Tallikka; Rousku 2017, 87.)

Toisaalta matkalla on myös ainakin ilmaa eli kuvausta häiritsevää kaasukerrosta. Vesihöyry ja hiilidioksidi absorboivat osan lämpösäteilyä siten, että lämpökuvaukselle käyttökelpoisimmat infrapunaa aallonpituusalueet ovat käytännössä keskiaaltoalueen 3 – 5  $\mu\text{m}$  ja pitkäaaltoalueen 7 – 14  $\mu\text{m}$ . (Vollmer & Möllman 2010, 9.)

Lämpökamerakuvaus ei poissulje perinteisempiä lämmönseurantamenetelmiä, kuten termistoreita, termoelementtejä ja vastuslämpötila-antureita. Lämpökuvauksen on tärkeä lisä varmistamaan kytkentöjen ja järjestelmän turvallisuutta. Sähköturvallisuutta ei tulisi koskaan jättää yhden suojausmekanismin varaan. (National Instruments 2016.)

### 2.3.1 Lämpökuvaukselaitteistot

Fotonien aikaansaaman puolijohteiden resistiivisyyden - tai pn-liitoksen virran - muutokseen perustuissa jäähdytetyissä ilmaisimissa on merkittävästi laadukkaampi kuvanlaatu, mutta jäähdyttämätön ilmaisimissa on yksinkertaisempi ja pienempikokoinen. Jäähdyttämättömät kamerat perustuvat mikrobolometrin käyttöön, jossa on lukuisia lämpötila-antureita, joiden resistanssia lämpö muuttaa. Jäähdyttämättömät kamerat reagoivat muutoksiin hitaammin ja ovat alttiita ympäristön lämpötilan vaikutuksille. Käyttäjälle näkyvä, infrapunasäteilyn sopivin aallonpituus saadaan tuotettua optiikan suodatuksen avustuksella. Laadukkaammissa jäähdytetyissä ilmaisimissa voidaan käyttää paremman syväterävyyden tarjoavia optiikoita, mutta jäähdytys on välttämättömyys välttääkseen laitteen omasta säteilystä johtuvaa lämpökohinaa. Jäähdyttämättömien kameroiden suosio on korkea pienemmän koon ja kehitystyöstä tarkentuneen mittauskyvyn ansiosta. (Hamamatsu 2011, 8.)

Näkyvän valon kameraan – kuten digitaalikameraan tai älypuhelimeen – on asennettu suodatin, joka suodattaa infrapunasäteilyn pois. Puhelimiin on kuitenkin saatavilla lämpökamerayksiköitä, kuten suoraan puhelimen jatkoksi liitettävä Flir One Pro -lämpökamera (kuva 6). Nämä pienikokoiset lämpökamerat tarjoavat erinomaisen mahdollisuuden ongelmien ensitarkasteluun, pistotarkastuksiin ja jopa määrääkaistarkastuksiin. Eittämättä tekniikka kehittyy jatkuvasti vaatien vähemmän tilaa ja parantaen laatua. (Flir 2018.)



Kuva 6. Flir One Pro liitetään älypuhelimien Micro-USB liitäntään. Kyseisessä mallissa on 160 x 200 resoluutio eli 19 200 pikselin erottelukyky (Flir 2018).

### 2.3.2 Fluke TI400

Tässä työssä keskityn erityisesti jo hankittuun Fluke TI400-lämpökameraan (kuva 7). Useiden kameroiden vertailu sopii paremmin tekniikan alan aikakauslehtiin, sillä opinnäytetyö vanhenisi nopeasti keskittymällä aikakautensa tuotteisiin. TI400-kameran optiikka perustuu jäähdyttämättömään mikrobolometriin. Kameran mittausalue on välillä  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mittaustarkkuuden ollessa  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  tai 2 % suuremman mukaan. Laser-tarkennus kohteeseen varmistaa, että mitatun kohteen lämpötila tulee mitattua mahdollisimman tarkasti. Ilman laser-tarkennusta, eri etäisyyksillä mitattujen lämpötilojen tarkentaminen on haastavaa ja saattaa aiheuttaa jopa vääriä tuloksia. Ilmaisimen erottelukyky  $320 \times 240$  kertoo, että lämpökamera kykenee mittaamaan lämpötila-arvon yhdessä kuvassa yhteensä 76 800 pisteestä. (Fluke 2018.)



Kuva 7. Fluke TI400 -lämpökamera (Fluke 2018).

### 3 SÄHKÖKOMPONENTIT JA LÄMPÖTILA

“Suojaus poikkeuksellisilta lämpötiloilta: vastuslämmitys tai muut virtapiirit, jotka pystyvät saavuttamaan tai aiheuttamaan poikkeuksellisen lämpötilan (esimerkiksi mitoitukselta lyhytaikaiseen käyttöön tai jäähdytysaineen häviämisestä johtuen) ja sen seurauksena vaaratilanteen, on varustettava tarkoituksenmukaisen ohjaustoimenpiteen aiheuttavalla ilmaisulla.” (SFS 60204-1/2010, 72.)

#### 3.1 Sähkön aiheuttamat tulipalot

Sähkö aiheuttaa merkittävän määrän kaikista tulipaloista, miksi onkin ehdottoman tärkeää pyrkiä minimoimaan sähkön aiheuttamat suorat ja epäsuorat paloturvallisuusriskit. Tyypillisiä vikoja ovat löysät liitokset ja asennusvirheet, vino- ja ylikuormat sekä harmonisten yliaaltojen aiheuttamat virrat nollajohtimessa. Suunnitteluvaiheessa saatetaan tehdä mitoitus- ja materiaalivalintavirheitä ja asennusvaiheessa johdotus toteuttaa ongelmia taaten, esimerkiksi liian jyrkillä asennuskulmilla ja liian kiireillä tai yllilöysillä johdotuksilla. Johdotukset eivät saa myöskään tukeutua hankaaviin tai teräviin pintoihin. (Rousku 2017, 90-97.)

Toisaalta usein paloon johtaneiden teknisten vikojen taustalla voidaan havaita myös puutteellista huoltoa ja laiminlyötyä kunnossapitoa. Pöly, lika, kosteus ja toisaalta kuluminen ovat tekijöitä, joita on haastavaa ratkaista suunnittelu- tai valmistusvaiheessa. Loppukäyttäjän merkittävänä vastuuna on valvoa, ettei edellä mainitut ajan patinat aiheuta riskejä laitteelle. Yksi merkittävä riskitekijä on hapertuneet tai kuumuudesta sulaneet kaapelin eristeet. (Lepistö, Valkeinen 2013, 31.)

Jokin edellisistä tai useat yhdessä saattavat aiheuttaa tulipaloon johtavan oikosulun, mikäli suojaustoimet eivät katkaise sähkönsyöttöä riittävän nopeasti. Toisaalta valokaaret ja kipinäinti – tai jo resistiivinen lämpeneminen – voi aiheuttaa tulipaloja otollisissa olosuhteissa. Joissain tapauksissa on saatettu laiminlyödä jopa päävirtakatkaisimen poiskytkemistä, mikä on täysin tarpeeton riski. Sähkölaitteiden kunnossapidon tuleekin olla ennakkoivaa. (Alhanen 2017, 68-70).

#### 3.2 Kolmivaihe-epäsymmetria

Kaikkein yksinkertaisimmillaan epäsymmetrinen kolmivaihekuorma syntyy, kun yksivaiheisia kuormia on jaettu epätasaisesti vaiheiden kesken. Toisaalta on myös tärkeää jakaa kuorma putki- ja levykaapelikengien suhteen tasaisesti siten, ettei samalla putkikaapelikengällä tai sen johtimilla ole tarpeettoman suurta taakkaa. Tasaisissa kuormissa epäsymmetria voi olla seurausta jonkin syötetyn laitteen epänormaalista toiminnasta. Moottoreissa virtaepäsymmetrian voi aiheuttaa esimerkiksi vioittunut

moottorin käämitys tai toisaalta syöttöjännitekin voi olla epäsymmetrinen. (Rousku 2017, 96.) Erityisesti epätahtimoottorien roottorit lämpenevät epäsymmetrian seurauksena ja jännite-epäsymmetrian ollessa jatkuvasti yli 1 %, on harkittava kuormituksen pienentämistä moottorivaurioita estääkseen. (Tirkkonen 2019, 82.)

### 3.3 Yliaallot

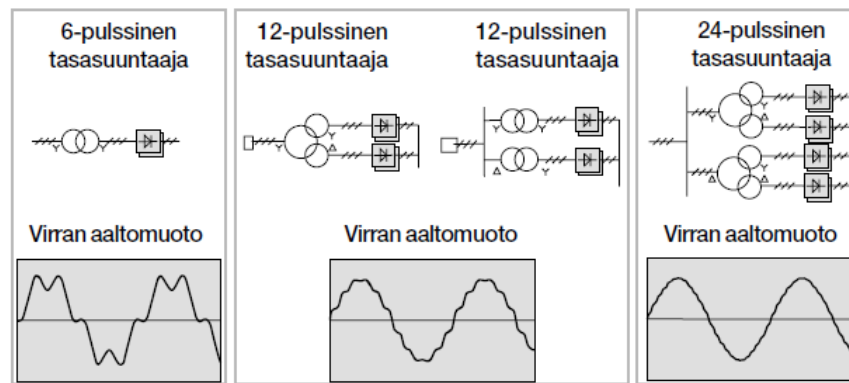
Resistanssin  $R$  ja impedanssin  $Z$  ero on, että impedanssi on vaihtovirtajärjestelmien, taajuusriippuvainen vastussuure, joka resistanssin lisäksi koostuu induktiivisesta ja kapasitiivisesta reaktanssista, jonka arvo on riippuvainen taajuudesta. Taajuusriippuvaisena vaihtovirtajärjestelmät synnyttävät yliaaltovirtoja- ja jännitteitä, kun sähköjärjestelmään on kytketty epälineaarisia kuormia, kuten moottorikäynnistimiä, hitsauslaitteita, elektroniikkaa ja UPS-laitteita. Myös taajuusmuuttajat aiheuttavat yliaaltoja – niille on tyypillistä harmonisten yliaaltojen tuotto. (ABB Industry 2001, 6-8.)

Yliaallot saattavat aiheuttaa samaan sähkönsyöttöön kytkettyjen kaapelien, muuntajien, moottorien, generaattorien ja kondensaattorien ylikuumenemista ja lämpöhäviöiden kasvua. Muita yliaaltojen ongelmia ovat johdonsuojakatkaisemien laukeaminen, mittalaitteiden virheelliset tiedot, tietokoneiden kaatuminen ja elektroniikan erilaiset häiriöt kuten näyttöjen ja valojen vilkkuminen. Mikäli edellä mainittuja oireita ilmenee tuntemattomasta syystä, on syytä tutkia yliaaltosärö ja varmistua ettei sallittuja tasoja ylitetä (kuva 8). (ABB Industry 2001, 26.)

Nollajohtimeen summautuvista kolmannen yliaallon kerrannaisista aiheutuu usein merkittävimpiä ongelmia, aiheuttaen rasituksia järjestelmän paluujohtimissa  $N$  tai  $PEN$ . Summautuvat yliaaltovirrat saattava ylitää jopa vaihevirrat aiheuttaen merkittäviä paloriskejä, erityisesti jos paluujohtimet on mitoitettu vaihejohtimia pienemmiksi Yliaallot saattavat saada myös komponentit ja rakenteet resonoimaan, minkä on todettu avaavan jopa ruuviliitoksia. (Alhanen 2017, 58.) Mikäli on todennettavissa, että erilaiset tärinät avaavat ruuviliitoksia, voi olla tarve harkita esimerkiksi jousivoimariviliittimiä ruuviliitäntäisien riviliittimien tilalle.

Vaarallisinta on, jos yliaaltotaajuus ja verkon resonanssitaajuus ovat samalla taajuudella, mikä voimistaa merkittävästi yliaaltoja. Erityisesti kompensointikondensaattorien osalta on tärkeää varmistaa, ettei niiden mitoitus ole verkon resonanssitaajuudella aiheuttaen yliaaltojen kerrannaisia. (Alhanen 2017, 58.)





Kuva 8. Verkkovirran yliaallot erilaisilla tasasuuntaajarakenteilla. 24-pulssinen tasasuuntaaja tuottaa huomattavasti vähemmän yliaaltohäiriöitä kuin esimerkiksi 6-pulssinen tasasuuntaaja (ABB Industry 2001, 18).

### 3.4 Jänniteenvaihtelut

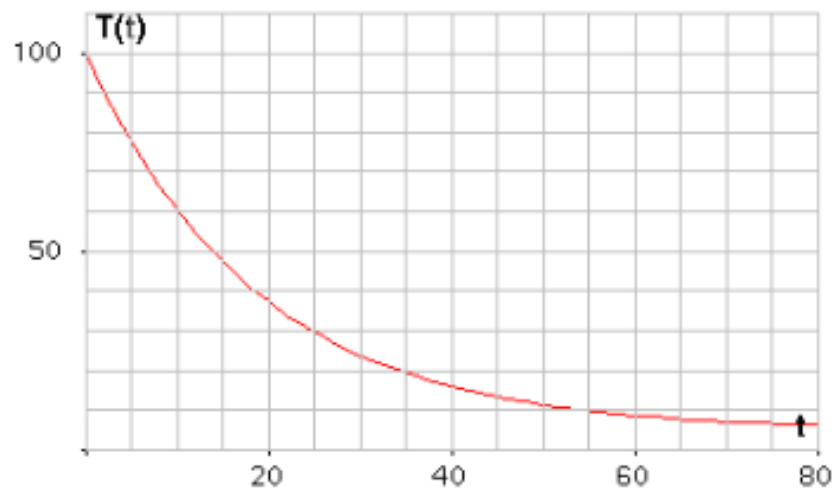
Jännitteenjakelussa voi esiintyä vaihteluja useista syistä joko paikallisesti tai sähköverkon tasolla. Transientit eli nopeat jännitevaihtelut ovat joko värähteleviä tai värähtelemättömiä ylijännitteitä, jotka voivat pahimmillaan aiheuttaa läpilyönnin ylittäessään eristeen jännitekestoisuuden. Ilmiötä on hankala havaita lämpökuvaamalla vain muutaman millisekunnin kestoja vuoksi, ellei se satu toistumaan useita kertoja. Transienttiepäilyn kohdallakin on syytä analysoida jännitteen laatu siihen kykenevällä mittalaitteella. (Alhanen 2017, 59.)

Hitaiksi jännitevaihteluiksi kutsutaan usein pidempikestoisia ylä- tai alijännitteitä, joihin vaikuttaa kuormituksen vaihtelu tai esimerkiksi kompensointikondensaattorien viallisesta toiminnasta, kuten ylikompensoinnista. Pitkäkestoinen ylijännite aiheuttaa virran nousua ja täten tehohäviöitä ja ylikuormitusta, jotka pitkällä aikavälillä kuormittavat järjestelmää usealla tavalla eristeiden vanhentamisesta komponenttien ennenaikaiseen vanhenemiseen. Toisaalta vikaantumisen voi aiheuttaa lyhytaikainenkin jännitteenmuutos. Vanhojen tehölähteiden pienkondensaattorit saattavat rikkua, jos jännite katkeaa ja palaa äkisti. Hyvin herkälle elektroniikalle epävakaata jännitettä saattaa myös koitua kohtaloksi. (Alhanen 2017, 59.)

### 3.5 Kuormitustyyppit ja komponenttien lämpötila

Kuormitus aiheuttaa komponenttien lämpenemistä ja lämpenemisen suuruus riippuu kuormitusajasta ja toisaalta jäähtymistaoista. Suuret massat ja lämpökapasiteetit tarkoittavat hitaita lämpötilanmuutoksia, kun toisaalta laajat pinnat ja hyvä lämmönsiirto-ominaisuudet edistävät

lämpötilan muutosta. Hyvänä esimerkkinä toimii jäähdytys-elementit, joissa on kolmiulotteisuuden myötä erityisen laaja pinta-ala.



Kuva 9. Lämpöaikavakio  $T$  (University of British Columbia Department of Mathematics 2007.)

Lämpöaikavakio  $T$  (kuva 9) on ajanmääre, jonka myötä suunnilleen 63 % potentiaalisesta lämpötilan muutoksesta on tapahtunut, jolloin viiden aikajakson myötä lopullinen lämpötilan muutos voidaan katsoa saavutetuksi – tasaisella kuumentumisella tai viilentymisellä. (University of British Columbia Department of Mathematics 2007.)

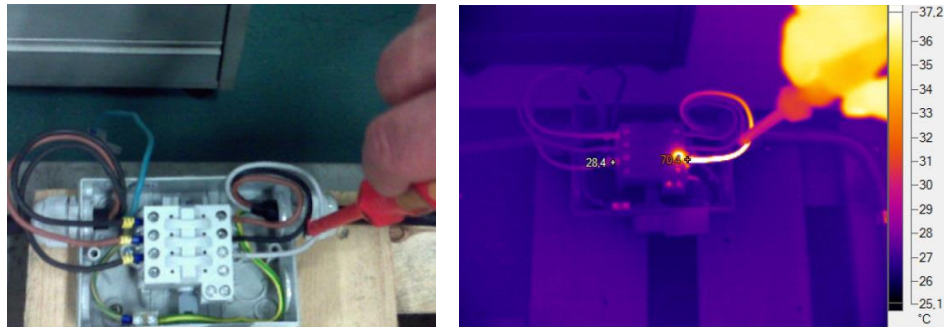
Lämpötila on erittäin merkittävässä osassa komponenttien iässä, sillä suositeltua kuumempina käyvät komponentit alkavat kansankielellä ”riisuuntua”, eli ne kuluvat elinkaarensa loppuun huomattavasti nopeammin kuin hyvin viilennetyt komponentit. (University of British Columbia Department of Mathematics 2007.)

Laitestandardien mukaiset lämpötilarajat ja toisaalta valmistajan määrittelemät lämpötilarajat ovat hyvä lähtökohta tarkasteluun, milloin komponenttien lämpö on normaaleissa rajoissa. Toisaalta kuormitus vaikuttaa vahvasti siihen, miten lähellä sallittuja lämpötilarajoja ollaan. (Alhainen 2017, 52.) Paras lämpökuvaamisen hyöty saavutetaan riittävällä laitetuntemuksella ja kokemuksella tai riittävän kattavalla vertailuarvoilla vastaaviin laitteisiin tai komponentteihin vastaavalla kuormituksella.

### 3.6 Liitosongelmat ja resistiivisyys

Johtimien resistanssin ja siinä kulkevan virran aiheuttama tehohäviö muuttuu lämmöksi. Erityisesti niin kutsutuissa aggressiivisissa olosuhteissa on ongelmana liitosten hapettuminen ja syöpyminen, kun ilman kosteus on korkea ja liitokset joutuvat pahimmillaan vielä alttiiksi ilman mukana kulkeutuville syövyttävälle aineille. Hapettuminen hankaloittaa

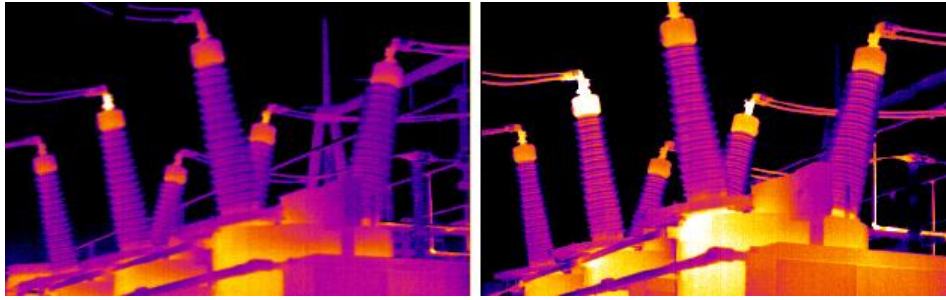
virran esteetöntä kulkua aiheuttaen ylimenoresistanssia, joka puolestaan virran vaikutuksesta tuottaa yhä enemmän lämpöä. Hapettuminen myös heikentää liitosmateriaaleja ja saattaa aiheuttaa aineen läpisyöpmisen. Toisaalta löystyneet tai jo alkujaan heikosti kytketyt liitokset vastaavat ikään kuin liian ohutta johdinta, aiheuttaen odottamatonta lämpötilan kasvua (kuva 10). (Rousku 2017, 92.) Sähköjohteiden resistiivisyys p muuttuu lämpötilan mukaan, mikä tuo oman haasteensa sähkön toiminnallisuuden suunnittelulle ja lämpötilojen seurannalle. (ABB Strömberg 1990, 66.)



Kuva 10. Testiolosuhteissa tuotettu kuva löystyneen johtimen lämpiämisestä (Laine 2012, 18).

## 4 SÄHKÖLAITTEIDEN LÄMPÖKUVAAMINEN

Lämpökuvatessa sähkölaitteistoja, on tutkittavat kohteet käytävä läpi säännöllisesti ja poikkeamia etsien. Huomio on kiinnitettävä erityisesti samanlaisten komponenttien merkittävästi erilaisiin lämpötiloihin. Lämpökuvauksen etuja muihin mittaustapoihin nähden on esimerkiksi mittauksen sujuvuus näkyvän valon määrästä riippumatta, hankalasti sijoittuneiden kohteiden mittaus, jopa liikkuvien kohteiden mittaus ja erittäin kuumien kohteiden mittaus. Nykyaikaisilla ohjelmilla saadaan asialliset raportit ja visualisoinnit kohteen lämpötilaeroista. Mittaus myös sujuu äärettömän nopeasti ja turvallisesti. Toisaalta lämpökameran lämpötila-asteikko on tärkeä asettaa tai vähintään tarkistaa siten, että automaattiaseteikko ei aseta liian kapeaa skaalaa, se kun skaalaa kuvassa näkyvien maksimi- ja minimilämpötilojen mukaan, mikä ennen kaikkea vaikeuttaa merkittävien ongelmien havainnointia ja mittatavien laitteiden vertailua. Mikäli kuvassa on kuumin kohta 27,4 °C astetta ja kylmin 24,4 °C astetta, ei ole tarkoituksenmukaista, että 27,4 °C astetta hehkuu tulipunaisena. (Rousku 2017, 85.) Myös tuuli saattaa jäähdyttää kuumana käyviä komponentteja merkittävästi (kuva 11).

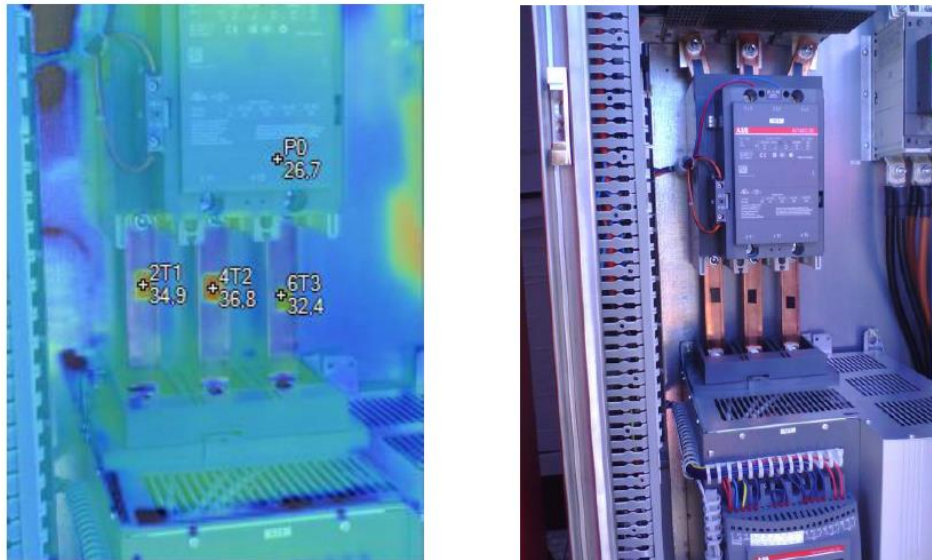


Kuva 11. Tuulen vaikutus. Oikealla 0 m/s ja vasemmalla 6,7 m/s. Lämpötilaero jopa 20°C (Fluke 2018).

#### 4.1 Hallittavat asiat

Ensisijaisesti kaikessa sähköön liittyvässä työssä, kuten myös lämpökuvaamisessa, on hallittava sähkötyöturvallisuus. Mittaustuloksen kannalta tärkeitä huomion kohteita ovat kohteen kuormituksen huomiointi ja ympäristön lämpötila. Luonnollisesti myös mitattavan kohteen emissioeroin vaikuttaa tuloksiin. Yleispäteviä sääntöjä itse kuvan tulkintaan ei ole, sillä kohteen arveluttavuus on selvittettävä tapauskohtaisesti. Nyrkkisääntönä sama kuormitus samanlaisella komponentilla ja samanlaisissa olosuhteissa ei saa tuottaa merkittävästi suurempaa lämpökuormaa.

Ennen lämpömittauksia kuormituksen tulisi ollut olla vähintään 40 % vähintään 30 minuutin ajan ja jos kuormitus on alle 20 %, mittauksia ei tule tehdä, koska suuri osa ongelmista jää havaitsematta. (Hietanen 2018, 77.) Parhaat mittaustulokset saadaan heijastamattomista pinnoista, sillä esimerkiksi kaapelikengät, kupari ja ruostumaton teräs ovat huonoja mitauskohteita suuren heijastavuuden takia. Parhaimman mittaustuloksen sähköjen osalta saakin kumista ja maalatuista pinnoista. Heikosti emissiiviseen pintaan voikin siis asettaa sähköteipin paljastamaan kohteen todellisen lämpötilan. Toisaalta, juuri heikosti emissiivisiä pintoja varten lämpökamerassa ja lämpökamerakuvan tarkasteluun tarkoitetuilla tietokoneohjelmilla, kuten Fluke SmartViewillä, voidaan valita kuvalle emissioeroin paljastamaan oikea lämpötila. On kuitenkin huomioitava, että alle 0,6 emissiokertoimet yleensä aiheuttavat epäluotettavia lämpötiloja. (Hietanen 2017, 21.)



Kuva 12. Erinomainen havainnointikuva kuparin ja teipin emissiivisyyserosta (Hakkarainen 2015, 24).

Emissiokerroin muuttuu merkittävästi kuvauskulmasta riippuen. Yli 60°:n kuvauskulma pienentää emissiokerrointa aiheuttaen kuvauksen epäluotettavuutta. Toisaalta alle 15°:n kuvauskulmassa kuvaaja saattaa heijastaa lämpösäteilyä kohteeseen ja vääristää tulosta. Virheellinen heijastuma voidaan tarkistaa liikkumalla. Heijastuma liikkuu tällöin mukana ja aidosti kuuma kohta pystyy paikallaan. (Tirkkonen 2018, 100; Westermann, Buchner, Schramel, Tichy. & Stanek 2013, 388.)

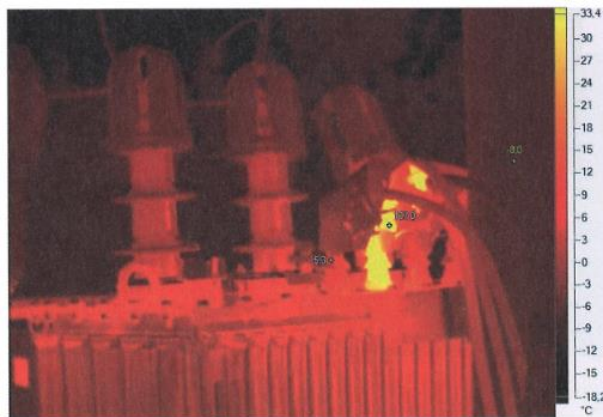
#### 4.1.1 Sähkölaitteiston sallitut lämpötilat

Vaikka on tärkeää tietää komponentin sallitut lämpötilarajat, harvoin pääsee mittaamaan kriittisen räikeitä lämpötilapoikkeamia ainakaan testitilanteissa. Paras onkin, jos pääsee vertaamaan muihin vastaavanlaisiin komponentteihin ja laitteisiin. Erityinen etu tästä on tuotantolaitteille, kun mitattavia laitteita kertyy samoja paljon, niin pienetkin erot pystytään huomaamaan vajaallakin kuormituksella. (Tiainen 2017, 51.) Muutamia varauksella otettavia nyrkkisääntöjä voidaan pitää hyvinä ohjenuorina: löysä liitos on yleensä kuuma piste, joka kauempana pisteestä on viileämpi. Ylikuormitettu komponentti näkyy usein selkeästi erottuvana kuumana kappaleena. Hapettuneen liitoksen tuottama lämpö johtuu usein muuallekin, jolloin ongelmakohta voi olla haastavaa havaita. Pienikin lämpötilaero voi olla merkittävä, jonka havaitsemisessa auttaa vastaavanlaisista tuotantolaitteista kerrytetyt tilastot ja havainnot. Usein kuvauskohteen lämpötilan vertailu keskuksen muihin lämpötiloihin – tai muiden vastaavien laitteiden vastaaviin lämpötiloihin – on tärkeämpi työkalu kuin kameran ilmoittama lämpötila, erityisesti kun kyse on lämpökuvaamisesta testiolosuhteissa. (Rousku 2017, 90-97.)

Myös keskusten ulkopuoliset kohteet – kuten muuntajat (kuva 14) - vaativat erityishuomiota. Sähkömoottori saattaa vikaantuessaan kuumeta vaarallisesti (kuva 13). Lämpömittauksen arviointi koteloituista kohteista on hankalaa, koska koteloinnin eristysluokka vaikuttaa kohteen pinnan lämpötilaan. Hyvä nyrkkisääntö on, että käämitys on 15 °C:n kotelosta mitattua lämpötilaa korkeampi. (Tiainen 2017, 49.)



Kuva 13. Moottori on lämmennyt vaarallisesti jo 137 °C asteeseen (Fluke 2018).



Kuva 14. Myös muuntajissa voi olla heikkoja liitoksia tai vaarallista lämpenemistä kotelon alla. Kuvassa pienjännite-navan liitos kuumentunut 137 °C asteeseen (Suurinkeroinen).

#### 4.1.2 Virran mittaus

Koska virran suuruus on merkittävässä osassa komponentin ja johtimen lämpötilassa, on lämpökuvaajalla hyvä olla mahdollisuus myös virran mittaukseen. Pihtimittari (Kuva 15) on jännitteellisen laitteessa ylivoimaisesti paras tapa mitata virtaa koneeseen jo asennettujen virtamittarien jälkeen. Siinä missä tavanomaiset virtamittarit on oltava sarjassa virtapiirin kanssa, pihtimittarilla voidaan mitata suuriakin virtoja avaamatta virtapiiriä, luontevasti asettamalla pihti johtimen ympärille. Mikäli turvallisuusmääräykset estävät virran mittauksen, on tulkinta kuormittuneisuudesta



tehtävä kuvausta edeltäneeseen kuormitukseen laitetuntemukseen ja kokemukseen perustuen.

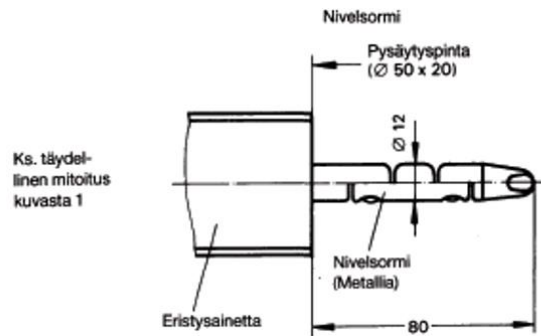


Kuva 15. Virta (I) on tärkeä tieto lämpökuvien yhteydessä, mikäli sen mitaus on turvallisuuden ja käytäntöjen mukaan mahdollista (Fluke 2018).

#### 4.1.3 Kannet ja suojat lämpösäteilyn esteenä

Ristiriitaisesti merkittävimpiä haasteita sähköturvallisuutta edistävän lämpökuvauksen hyödyille on sähköturvallisuuden tärkeys. Erilaiset kosketussuojat ja kannet, läpinäkyvätkin, estävät lämpösäteilyn läpäisyä yleensä niin tehokkaasti, ettei mittaustuloksista ole hyötyä. Suojat on poistettava kuvauksen ajaksi, mutta mikäli määräykset sen kieltävät, ongelmaa voidaan kiertää standardien mukaisilla tarkastelurei'illä, tulpilla tai kansilla.

Jos keskuksen avaamisen jälkeen on riski jäännösjännitteistä, on kyseiset osat suojattava IP2X suojauksella, jossa ei saa olla yli 12,5 mm reikiä. Reikien paikat on suunniteltava siten, että lämpökuvaus on mahdollista suorittaa erityisesti kriittisimmistä kohteista todenmukaisia lämpötiloja saaden. Toisaalta, IP2X edellyttää myös, että vaikka 12 mm paksuinen sormi työntyisi aukosta, se ei silti saa koskettaa vaarallisiin osiin (kuva 16). (SFS-EN 60529 + A1/2010, 28.) Toisin sanoen reiän on oltava halkaisijaltaan pienempi kuin 12 mm, mikäli syvyysvaatimus ei täyty. Mikäli standardin mukaisia vaatimuksia on haasteellista täyttää – tai niistä on mahdotonta kuvata luotettavasti – on syytä harkita tulppaa reiän päälle.



Kuva 16. "Nivelsormella, jonka halkaisija on 12 mm ja pituus 80 mm, on oltava riittävä etäisyys vaarallisiin osiin. Voima kokeessa n. 10N (SFS-EN 60529 + A1/2010, Taulukko 6).

#### 4.2 Mitä kuvataan ja miten tulkitaan

Ensisijaisesti lämpökuvauksessa kannattaa kuvata kaikkea, mikä epäilyttää aistinvaraisessakin riskiarvioinnissa. Kaikkiin kuvauskohteisiin on kuitenkin syytä olla laitevalmistajan määrittelemä kuvausmenetelmä. Aina-kin seuraaviin tulee kiinnittää huomiota: kolmivaihelähdöt ja vaiheiden poikkeavat lämpötilat erilaiset kolmivaihe-epäsymmetriat huomioiden. Johtimet tulee kuvata mahdollisten eristevaurioiden varalta ja toisaalta johdinniput kuumenemisen osalta. Johtimet saattavat paljastaa myös johtunutta lämpöä, joka saattaisi vikakohteen alhaisen emissiivisyyden tai suojien vuoksi jäädä huomaamatta. Riviliittimet, kontaktorit ja lämpöreleet on kuvattava hapettumien, heikkojen liitosten tai puristeliitosten varalta. Usein pienemmälle huomiolle jäävä nollakisko nollajohtimiin on tärkeää kuvata harmonisten yliaaltojen vaikutusten varalta. (Rousku 2017, 79-98.)

Lämpökuvaa tulee tarkastella jo kuvaustilanteessa, jotta selviää mahdollisten lisäkuvien tarve ongelmatapauksista. Tarkista, ettei lämpötila-asteikko ole harhaanjohtava ja ettei ilman lämpötila ole väärä tai emissio-kerroin väärässä suuruusluokassa. Vikoja havaitessasi tarkista yksinkertaisimmat syyt ensimmäiseksi: onko kyseessä löysä liitos tai onko lämpeneminen komponenttien normaalia toimintaa kyseenomaisella kuormituksella? Jopa puolet vioista on seurausta löystyneistä liitoksista. Oleta aina ensin yksinkertaista vikaa ja poissulje niitä edeten monimutkaisempiin vikoihin, mikäli vika ei löydy. (Rousku 2017, 98.) Mikäli samoja laitteita on ollut käytössä jo vuosia, vika tuskin on suunnittelussa. Toisaalta prototyypeissä ja markkinoiden uusissa laitteissa suunnittelua on epäiltävä korostetusti. Mitään juurisyytä ei voi kuitenkaan sulkea pois oletuksin – hyvinkin toiminut laite saattaa paljastaa suunnittelullisen ongelman uusissa tilanteissa tai olosuhteissa.



### 4.3 Raportointi ja reagointi

Lämpökuvauksesta on tehtävä raportti, josta selviää kuvaaja, kuvattava kohde, kuvauspäivämäärä ja käytetty lämpökuvauslaitteisto. Raporttiin liitetään lämpökuvauksen kuvat ja yhteenveto lämpökuvauksesta. Yhteenvetoon on kirjattava huolellisesti merkittävät ja epäilyttävät havainnot, mieluiten mahdollisilla syillä ja toimenpide-ehdotuksilla ryyditettynä. Raportista tulee käydä ilmi myös ympäristön lämpötila ja kuormitus prosentuaalisesti kokonaiskuormituksesta. Viat ja toimenpide-ehdotukset on priorisoitava, jotta tärkeimmät ongelmat ja tarpeet käyvät raportista ilmi. (Kari 2017,112.)

On muistettava, että löytynyt lämpöongelma ei aina osoita ongelman juurisyitä. Uuteen vaihdettu komponentti saattaa edelleen vikaantua, jos vika onkin muualla. Usein vika on helposti korjattavissa, mutta joskus monimutkaisempi vika - esimerkiksi yliaaltopitoisen verkon häiriöiden summautuminen voi olla haastavaa ratkaista ilman sähkön laadun mittauksia. Raportit lähetetään turvallisuusvastaaville, mutta myös kohteesta vastaavaan sähkösuunnitteluun. Kriittisistä havainnoista lähetetään viesti korkealla prioriteetilla. (Alhanen 2017, 71.)

### 4.4 Lämpökuvaajan sertifiointi

Suomessa SETI Oy myöntää lämpökuvaajan pätevyksiä henkilöille, jotka ovat hyväksytysti suorittaneet SETI Oy:n, STUL ry:n, sähkötarkastusyhdistyksen, finanssialan keskusliiton ja Fluke Finlandin laatimaan ohjeeseen perustuvan arvioinnin. SETI myöntää myös rekisteröintejä samaan ohjeeseen perustuen alan yrityksille. Pätevyysluokkia kuvaajille on kaksi, LK1 ja LK2. (SETI 2017.)

”LK 1 luokan pätevyystodistuksen omaava henkilön tulee olla itsenäiseen sähkötyöhön kykenevä sähköalan ammattilainen (KTMp 561/1996 11§). Hän voi suorittaa sähkölaitteiden lämpökuvausta itsenäisesti ilman toisen sähköalan ammattilaisen valvontaa” (SETI 2017).

”LK 2 luokan pätevyystodistuksen omaava henkilö ei ole sähköalan ammattilainen eikä näin ollen voi tehdä itsenäisesti sähkölaitteiden lämpökuvauksia. Hänellä tulee olla tarvittava tietotaito sähkölaitteistojen lämpökuvauksesta ja hänen tulee tehdä lämpökuvaus aina yhteistyössä KTM päätöksen 516/96 11 § edellytykset täyttävän sähköalan ammattilaisen kanssa. Lämpökuvausta tehdessään LK2 lämpökuvaaja ei saa ulottua jännitetyöalueelle (työkaluilla tai kehonsa osalla)” (SETI 2017).

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Työn tavoitteet ja tulokset

Työn tavoitteena oli lämpökuvausjärjestelmän määrätietoinen ja sulava liittäminen osaksi Sandvikin tuotannon laadunvarmistamisjärjestelmää sähkö tarkastusten ja testiporausten yhteyteen. Luontevimpia kohteita maanalaisten porauslaitteiden (kuva 17) lämpökuvaukselle on testiporauksen myötä saavutettu oikeaa käyttöä simuloiva kuormittuneisuus, jota ei saavuteta ilman porausta.

Sen sijaan, että resursseja olisi käytetty ongelmien etsintään yksittäisestä laitteesta, huomattavasti hedelmällisempää oli varmistaa, että lämpökamerakuvauksesta tulee Sandvikin laitteille täysin rutiininomainen osa tarkastuksia, mahdollistaen pitkäjänteisen työn tuotannosta maailmalle siirtyvien laitteiden laadun ylläpitämisen ja varmistamisen. Tässä työssä keskitytään sähköjärjestelmän sähkökeskusten kuvaamiseen, mutta muista osajärjestelmistä vastaavat voivat tarpeen mukaan harkita omien vastuualueidensa lämpökuvaustarpeita.



Kuva 17. Sandvik DD422iE kaivosjumbo (Sandvik 2017).

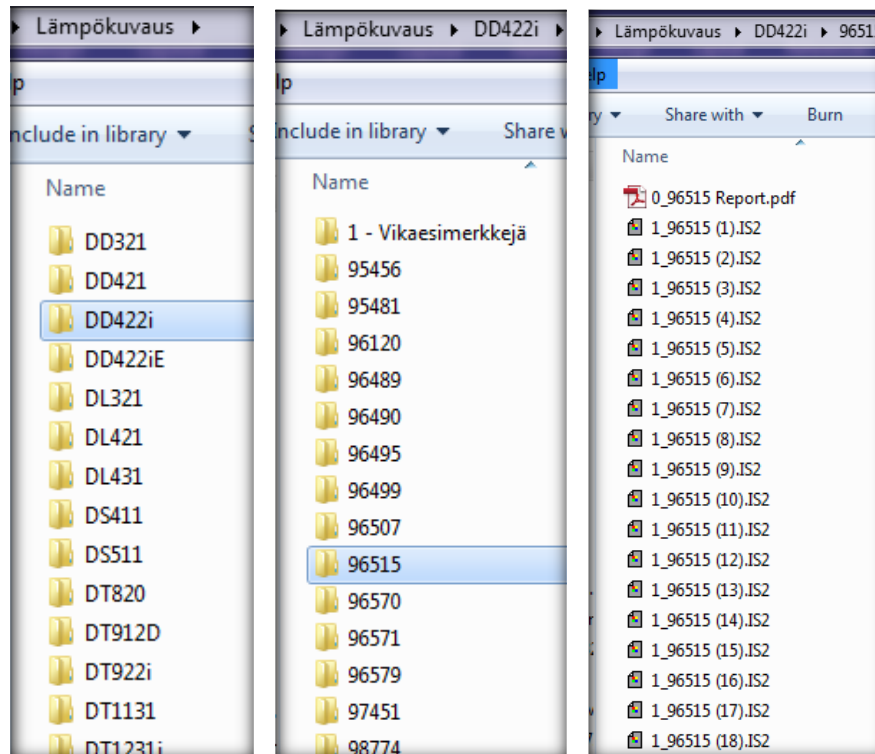
### 5.2 Suositukset

Tutkimusten perusteella suositellaan, että lämpökuvaus otetaan selkeäksi osaksi testiporauksia ja kuvaus suoritetaan välittömästi testiporauksen päätyttyä kaikille laitteille porausreikien luona ennen kuin laite jäähtyy. Tarkemmat lämpökuvausohjeet ja käytännöt ovat luettavissa liitteistä (liitteet 1-4). Jokaisesta lämpökuvauksesta tehdään raportti (liitteet 5 tai 6), joka tallennetaan laitteen sarjanumerolla varustettuun kansioon, johon liitetään ohjeiden mukaiset kuvat ja tarvittavat lisäkuvat automaattisine raportteineen. Lisäksi vikoja paljastaneet kuvat liitetään laitetyypin pääkansioon "Vikaesimerkkejä" -kansioon. Yhtenevät kansiorakenteet

(kuva 18) helpottavat huomattavasti laitteiden keskinäistä vertailua muodostuen vuosien saatossa merkittäväksi tietokannaksi laitteiden tyyppillisestä käyttäytymisestä tietyllä kuormituksella.

Kosketussuojiiin on suositeltavaa tehdä tarkastusaukkoja standardien sallimissa rajoissa siten, että lämpökuvauksella on mahdollisuus osoittaa laitteiden laadukkuuden olevan korkealla tasolla tai tarvittaessa osoittaa virheet korjausta varten. Kohteiden, joiden kuvaaminen ei ole turvallista tai sujuvaa, turvallisuus on varmistettava eri keinoin kuin lämpökuvaamalla. Tällaisia kohteita on esimerkiksi liukurengasyksiköiden liitokset ja hiiliharjat. Muita menetelmiä korkeiden lämpötilojen seurantaan on esimerkiksi PT1000-anturit.

Erityistä huomiota tulee kiinnittää haastavissa olosuhteissa työskenteleviin laitteisiin. Vaikeimmilla alueilla ulkolämpötila saattaa kohota jopa +50 °C asteeseen, mikä asettaa huomattavasti merkittävämmän vaatimuksen komponenttien rasituskestävyydelle. Lyhyen tiedustelukierroksen perusteella tällaisia riskialueita kaivoslaitteille ovat esimerkiksi Australia kuumimmillaan ja Intia. Erityistä huomiota haluttiin kiinnittää keskustun lisäksi kompressorien ja pääkeskuksen muuntajiin. Laitteiden sähköturvallisuutta edistäisi osaltaan myös maailmalla kiertävien porames-tarien kouluttaminen ja ohjeistus lämpökuvaamiseen, jolloin saataisiin kentältä arvokasta tietoa suunnittelulle ja turvallisuusosastolle. Mikäli isot lämpökamerat ovat liian hankalia kuljettaa mukana, voidaan harkita älypuheliin liitettävää perusmallia ja kuvata sillä Sandvikin ohjeita soveltuvilta osin hyödyntäen.



Kuva 18. Lämpökuvauksen tietokannan kansiorakenne. Laitteiden sarjanumerot ovat tekaistuja. Tällä menetelmällä näkee heti laiteyksilön ja kuvauskohdan (ks. liitteet 7-10)

### 5.3 Lämpökuvaus osana vianetsintää ja kunnossapitoa

Tuotannossa tehtaalla tapahtuva lämpökuvaus paljastaa hyvin tuotannolliset virheet, kuten löysät liitokset ja selkeimpiä suunnittelun virheitä, mutta suurin osa ongelmista esiintyy vasta myöhemmin asiakkaalla: vaikeissa olosuhteissa kosteudesta aiheutuneita hapettumia ja hankauksesta kuluneita kaapelieristeitä ei voi huomata vielä tehtaalla. Sähkökomponenttien yleisistä vikaantumistaipumuksista vaikeissa olosuhteissa voidaan päätellä, että jatkossa asiakkaita voidaan aktiivisesti neuvoa ottamaan lämpökuvaus osaksi normaalia kunnossapitoa. Kevyimmillään tämä voidaan toteuttaa lisäämällä laitteiden ohjekirjaan luvun lämpökuvauksesta osana suositeltavaa kunnossapitoa. Asiakkaat voisivat myös tilata yrityksen kautta lämpökuvauslaitteistoa, ohjeistusta sekä halutessaan suostua yhteistyöhön - eli jakamaan kuvia ja raportteja - laitteiden turvallisuuden jatkokehittämisessä.

Parhaassa tapauksessa raportit huolestuttavista löydöistä lähetetään suoraan suunnitteluun ja suositeltavaa olisi saada kaikki kuvat pilvipalveluun osaksi maailmanlaajuista tietokantaa, joka osoittaa suunnittelulle millainen tietyn kuvauskohteen lämpökuva ja lämpötilojen käyttäytyminen tulisi olla eri olosuhteissa. Kattava otos samanlaisia laitteita helpottaa huomattavasti oikeiden vikojen löytymistä. Asiakkaan suorittama

lämpökuvaus yhteistyössä yrityksen asiantuntijuuden kanssa vähentää paitsi laiterikoista johtuvaa seisokkia, estää parhaimmillaan vikaantumisesta aiheutuneita tulipaloja. Toisaalta samoja lämpökuvauksen periaatteita voidaan hyödyntää myös tehtaalla tai huollossa tapahtuvassa vianhaussa.

#### 5.4 Tulevaisuuden mahdollisuudet

Mielenkiintoisena lisänä turvallisuuteen - nykyisten suojausmekanismien rinnalle - voi tutkia yhtenä mahdollisuutena konenäköä osana lämpötarkastelua. Kiinteä ja suojattu lämpökamera mittaa esimerkiksi sähkökeskusta toistuvalla syklillä aina päävirran ollessa kytkettynä. Kamera säätyy anturitietojen perusteella mahdollisimman oikeille säätöalueille ja tietokone analysoi kuvat mahdollisen ylikuumenemisen varalta. Mahdollisuuksien mukaan kuvat lähetettäisiin myös laitevalmistajan palveluun, jossa on tuhansien laitteiden ja kuvien tietokanta auttamaan ongelmien haarukoinnissa.

Kevyempi versio konenäköavusteisesta lämpöongelmien tulkinnasta on laitevalmistajan tarjoama ohjelmisto, jolle syötetään lämpökuvaajan standardisoidulla kuvaustavalla ottamat lämpökuvat. Ohjelmisto kykenee mahdollisesti havaitsemaan joitain ongelmia, joita käyttäjä ei normaalisti havaitse.

#### 5.5 Loppusanat

Sähkölaitteiston lämpökuvaaminen lämpökameralla ei poista sähkötarkastuksien tarvetta, mutta se tukee niiden tavoitteita erinomaisesti. Lämpökuvaus on oleellinen osa modernia sähköturvallisuutta. Tämän opinäytetyön ohjeistukset antavat hyvät lähtökohdat pitkäjänteiselle työlle lämpökuvauksesta kertyvän ja yhtenevän kuvaustietokannan myötä. Silti sen määritelmiä tulee tarkastella paitsi dynaamisesti, myös puolen vuoden välein lämpökuvauksen määrätietoisen rutiinin aloittamisesta.

## LÄHTEET

ABB Industry. (2001). Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas. Tekninen opas nro 6. Haettu 6.8.2018 osoitteesta [https://library.e.abb.com/public/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/Tekninen\\_opas\\_nro\\_6.pdf](https://library.e.abb.com/public/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/Tekninen_opas_nro_6.pdf)

ABB Strömberg (1990). Teknisiä tietoja ja taulukoita. Vaasa : ABB.  
Bhutajata 2015. Hues of the Planckian locus on a logarithmic scale. Wikipedia Commons. Haettu 23.8.2018 osoitteesta [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Color\\_temperature\\_black\\_body\\_800-12200K.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Color_temperature_black_body_800-12200K.svg)

Cawlfild, S. (2009) Infrared Inspection Data: What's hot and what's not? Neta World: 2009. Haettu 6.8.2018 osoitteesta [https://www.neta-world.org/sites/default/files/public/neta-journals/NWsu09\\_Cawlfild.pdf](https://www.neta-world.org/sites/default/files/public/neta-journals/NWsu09_Cawlfild.pdf)

Fagerholm, N-E. (1986). Termodynamiikka. Espoo: Otakustantamo.

Flir. Flir One Pro-Series. Haettu 23.8.2018 osoitteesta <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-one-pro-series-datasheet.pdf>

Fluke (2018). Fluke Ti400 -lämpökamera. Haettu 6.8. osoitteesta <https://www.fluke.com/fi-fi/tuote/lampokuvaus/lampokamerat/profesional-sarja/fluke-ti400>

Hakkarainen, M. (2015). Materiaalinkäsittelykoneen sähköjärjestelmän lämpökuvaus ja dokumentointi. Opinnäytetyö. Karelia-ammattikorkeakoulu.

Hamamatsu (2011). Characteristics and use of infrared detectors. Technical information SD-12. Haettu 6.8.2018 osoitteesta [https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/infrared\\_kird9001e.pdf](https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/infrared_kird9001e.pdf)

Hänninen, H., Karppinen, M., Leskelä, M., Pohjakallio, M. (2018). Tekniikan Kemia. Helsinki: Edita.

Hietanen, M. (2018). Fluke Ti200 / Ti300 / Ti400 / Ti450 / Ti480 käyttökoulutus ja lämpökuvausten teoriaa. Koulutusmateriaali. Fluke Finland Oy 2018.

Hietanen, M., Tiainen, E., Alhanen, J. Rousku, H. & Kari, A. (2017). Sähkölaitteiston lämpökuvaus. Termodynamiikan perusteita & Lämpökameroiden toiminta. Helsinki: Sähköinfo Oy.

Infradex (2018). Lämpösäteily ja infrapuna. Haettu 4.8.2018 osoitteesta <https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera/>

ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä. Haettu 6.8.2018 osoitteesta <http://www.seti.fi/doc/lampokuvaus/LK-Patevyys SETI 7-2017-uusi.pdf>

Kari, A., Hietanen, M., Tiainen, E., Alhanen, J. & Rousku, H. (2017). Sähkölaitteiston lämpökuvaus. Henkilö- ja yritysarviointi SETI OY:n lämpökuvaajan pätevyydet ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä. Helsinki: Sähköinfo Oy.

Laine, P. (2012). Turvakytkimien ja sähkökeskusten ennakkohuollon kehittäminen. Opinnäytetyö. SAMK.

Lepistö, J., Valkeinen, H. (2013.) Sähkö palon syttymissyynä. Tutkimusraportti 1/2013. TUKES.

Letonsaari, M. & Tallikka, A. Otavan Opisto. Absorbtio- ja emissiospektrit. Haettu 23.8.2018 osoitteesta [http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materialit/lukio/fy/fy8/1\\_modernin\\_fysiikan\\_alku/102?C:D=2136237&m:selres=2136237](http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materialit/lukio/fy/fy8/1_modernin_fysiikan_alku/102?C:D=2136237&m:selres=2136237)

Lienhard, J (2017). A Heat transfer textbook. Cambridge Massachusetts: Phlogiston Press.

National Instruments (2016). Overview of Temperature Sensors. Haettu 6.8.2018 osoitteesta <http://www.ni.com/white-paper/4218/en/>

Oliva, Ai & Maldonado, R & A. Díaz, E & I. Montalvo, A. (2013). A high absorbance material for solar collectors' applications. Materials Science and Engineering Conference Series. 45. 2019-. 10.1088/1757-899X/45/1/012019. Haettu 23.8.2018 osoitteesta [https://www.researchgate.net/publication/258805650\\_A\\_high\\_absorbance\\_material\\_for\\_solar\\_collectors%27\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/258805650_A_high_absorbance_material_for_solar_collectors%27_applications)

Opetushallitus (2018). Laboratorioanalyysit. Spektrometriset menetelmät. Haettu 6.8.2018 osoitteesta [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat\\_5-1\\_yleista\\_spektroskopiasta.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_5-1_yleista_spektroskopiasta.html)  
Paloniitty, S. (2016). Lämpökuvaus rakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto.

Rousku, H., Hietanen, M., Tiainen, E., Alhanen, J. & Kari, A. (2017). Sähkölaitteiston lämpökuvaus. Sähkölaitteiston lämpökuvauksen suorittaminen. Helsinki: Sähköinfo Oy.

Sandvik Mining And Construction Oy. DD422iE Development Drill Rig. Tampere. Haettu 23.8.2018 osoitteesta <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/underground-drill-rigs-and-bolters/mining-jumbos/dd422ie-development-drill-rig/>

SETI (2017). Sähkölaitteistojen lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset.

SFS-EN 60529 + A1/2010. Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi). SFS Online. Haettu 23.8.2018 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS 60204-1 (2010). Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Yleiset vaatimukset. SFS Online. Haettu 6.8.2018 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

Suurinkeroinen, S. Kymenlaakson sähköverkko Oy. Kuva muunatajan liitosviasta. Kirjasta Sähkölaitteiston lämpökuvaus. 2017. Espoo: STUL ry.

The Engineering Toolbox (2003). Thermal Conductivity of common Materials and Gases. Haettu 22.8.2018 osoitteesta [https://www.engineering-toolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](https://www.engineering-toolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html)

Tiainen, E., Rousku, H., Hietanen, M., Alhanen, J. & Kari, A. (2017). Sähkölaitteiston lämpökuvaus. Sähkölaitteiston lämpökuvauksen suorittaminen. Helsinki: Sähköinfo Oy.

Tirkkonen, J. (2018). *Ennakoivan kunnossapito-ohjelman suunnittelu*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

University of British Columbia Department of Mathematics (2007). Newton's Law of Cooling. Haettu 7.8.2018 osoitteesta <http://www.ugrad.math.ubc.ca/coursedoc/math100/notes/diffegs/cool.html>.

Vollmer, M. & Möllman, K.-P. (2010). Infrared Thermal Imaging. Fundamentals, Research and Applications. Weinheim: WILEY-VCH.

Westermann, S., Buchner, H., Schramel, J., Tichy, A. & Stanek, C. (2013). Effects of infrared camera angle and distance on measurement and reproducibility of thermographically determined temperatures of the distal aspects of the forelimbs in horses. JAVMA, Vol 242, No. 3. Haettu 6.8.2018 osoitteesta [https://www.infratec.de/downloads/en/company/publications/2013\\_02\\_javma\\_242\\_3\\_thermography\\_horses.pdf](https://www.infratec.de/downloads/en/company/publications/2013_02_javma_242_3_thermography_horses.pdf)



## OHJE SÄHKÖKESKUSTEN LÄMPÖKUVAUKSESTA – YLEISET

1. Lämpökuvauksen valmistelu
  - Laitteen on oltava vähintään 40 % kuormituksen alaisena 30 minuutin ajan ennen kuvaamista. Testiolosuhteissa sama kuormitus eri laitteiden välillä on suositeltavaa erojen korostamiseksi.
  - Kytke sähköt pois ennen kuvaamista ja varmista kuvaamisen turvallisuudesta.
2. Lämpökuvausperiaatteet
  - Kuvauskulma kohteeseen nähden: 15° – 45°
  - Kuvausetäisyys sama eri laitteiden kesken, kohde oltava suurempi kuin kameran tähtäin
  - Estä tuulen ja auringon vaikutus
3. Tarkasteltavat kohteet liikalämpenemisen osalta
  - Liitokset: löysyys, hapettumat, epäsymmetria
  - Johtimet: eristeiden kunto, johtoniput
  - Komponentit: poikkeava lämpötila komponentissa tai läheisyydessä.
4. Huomioitavaa lämpötiloja arvioidessa
  - Matalan emissiivisyyden materiaaleista, kuten alumiinista ja kuparista, on haastavaa mitata totuudenmukainen lämpötila. Tarkkaile, onko lämpötila johtunut epäilyttävän paljon viereisiin materiaaleihin. Johtimien eristemateriaaleilla on usein hyvä lämpöluettavuus.
  - Tarvittaessa aseta pala sähköteippiä huonosti luettaviin kohteisiin.
  - Komponenttien lämpötilakestoisuus ja ulkolämpötila vaikuttavat.
5. Raportoi
  - Liitteenä malliraportti.
  - Toimita raportti Sandvikin laatujärjestelmään.

**Huom!** Ks. Liite 3 toiminnallisempia ohjeita varten.

## THERMAL IMAGING INSTRUCTIONS FOR THE ELECTRIC DEVICES – OVERVIEW

1. Setting up the thermal imaging
  - The machine needs to be exposed to 40 % load for at least 30 minutes before thermal imaging. In a test circumstances, it is recommended to have the same warm up with different units in order to highlight the subtle deviations.
  - Before thermal imaging, disconnect the main supply and verify it is safe to open the enclosures and to perform the thermal imaging.
2. Thermal imaging principles
  - Do not possess the objects to a sunlight or in a windy condition
  - Take images in an angle of 15° - 45°
  - Maintain an equivalent distance to object to be photographed between the different devices. The object must be larger than a camera's viewfinder.
3. Targets that need especially careful observations (Three C rule)
  - **C**onnections: loosen, oxidized, asymmetric load
  - **C**onduits: condition of the insulation, tight wire harnesses
  - **C**omponents: unexpected temperature in the component or near it
4. Estimating measured temperatures
  - Materials with low emissivity, such as aluminum and copper, hardly expose the actual temperature. Thus, observing the near objects such as connected conduits' insulations it provides a much clear indication of temperature deviations.
  - If needed, set a piece of electric tape in a low emissivity materials.
  - The outside temperature and the thermal endurance of the components affect to the severity of findings.
5. Report
  - Fill the report.
  - Send the report to Sandvik quality program.

**Important! See the attachment 4 for further instructions.**

## OHJE SANDVIKIN PORLAUSLAITTEIDEN LÄMPÖKUVAUKSESTA – TUOTANNON TESTAUS

Tämä yleisohje on tarkoitettu Sandvikin sähkö tarkastajille tai lämpökuvauksia suorittavalle taholle osaksi sähköjärjestelmien tarkastusta. Ohjeessa oletetaan hyvä tietämys laitteesta, koska lämpökuvausta tulee suorittaa vain kokeneen ammattilaisen.

1. Käytä porauslaitetta 40 % kuormituksella 30 min ajan – suorita testiporaus sovitettujen käytäntöjen mukaan. Kaksi- tai kolmipuomisisä laitteissa kuvaus suoritetaan heti kahden puomin yhteysporauksen jälkeen laitteen ollessa vielä kuuma.
2. Varmista laitteen sähköttömyys ja avaa keskus tai keskukset. Kosketussuojauks- vaatimus on voimassa mittausten ajan. Olemassa olevia suojauksia ei pureta.
3. Lämpökuvaa laite **liitteiden [1 ja 7 - 10]** ohjeiden mukaan ja tallenna kuvat käyttöönottotarkastusmittausraporttien kansion Lämpökuvaus-kansioon.
4. Vertaa lämpökuvia edellisiin laitteisiin ja etsi mahdollisia ongelmia.
5. Raportoi ja tarvittaessa ota nopeasti yhteys vastaaviin tahoihin korjaavia toimenpiteitä aikaansaadaksesi niin suunnittelussa kuin kyseenomaisessa laitteessa.
6. Vikatapauksessa raportissa on nähtävä lämpökuva ennen korjausta ja korjauksen jälkeen. Tämä edellyttää uuden kuormituksen ja lämpökuvauksen.

### Kameran asetukset:

- Lämpötilaskaala 0 – 90 degC
- Palettina Blue Red

## INSTRUCTIONS FOR DRILLING EQUIPMENT THERMAL IMAGING

These instructions are meant for Sandvik customers who perform thermal image testing for the drilling equipment. These instructions presume that reader has a good knowledge of the machinery being inspected.

1. Use drilling equipment with 40 % load for 30 minutes using all the functions in a determined way. Different machinery need to have agreed testing routine that versatily puts the strain on the machine supporting the long-term thermal imaging tests. 2 or 3 boom machinery shall be photographed immediately after 2 boom simultaneous drilling.
2. Disconnect the machine from a supply and ensure it is safe to open the enclosures. Open them but do **not** remove the protective covers.
3. Perform a thermal imaging procedure for the machinery according to **attachments [1 and 7 - 10]**.
4. Compare the thermal images to previous machinery. It is important to pay attention even to small varieties considering the sensitiveness of thermal imaging.
5. Write a report and if needed, contact briefly to production managers to make sure that found faults are fixed. Also, contact to research and design: safety department to prevent corresponding failures.
6. When a fault is found, the report must include thermal images before fix and after the fix.

### Thermal imaging settings:

- Temperature scale: 0 – 90 degC
- Palette: Blue Red

## PORAUSLAITTEIDEN LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

Sarjanumero	Laitetyyppi	Kuvaaja	Päivämäärä

Kuormitus ennen kuvausta	Tuulen nopeus	Ilman lämpötila
%	h	m/s °C

Käytetty lämpökuvauslaitteisto

- ☐ Fluke TI400                      Liitteenä lämpökuvaraportteja \_\_\_\_\_ kpl  
☐ \_\_\_\_\_                      ☐ Raportit lämpökuvauskansiossa

### Yhteenveto lämpökuvauksesta

Mahdollinen ongelma 1	Poikkeava lämpötila
	°C
Lisätietoja (ongelman aiheuttaja, muuta huomioitavaa)	Virta (I) kohteessa*
	A
Suositeltu toimenpide	Korjausprioriteetti – (heti / 2kk kuluessa / tarkkailtava)
Korjaustoimenpiteet (suunnittelu täyttää)	Suunnittelija

\*Jos mahdollista mitata

Mahdollinen ongelma 2	Poikkeava lämpötila
	°C
Lisätietoja (ongelman aiheuttaja, muuta huomioitavaa)	Virta (I) kohteessa*
	A
Suositeltu toimenpide	Korjausprioriteetti – (heti / 2kk kuluessa / tarkkailtava)
Korjaustoimenpiteet (suunnittelu täyttää)	Suunnittelija

\*Jos mahdollista mitata

Mahdollinen ongelma 3	Poikkeava lämpötila
	°C
Lisätietoja (ongelman aiheuttaja, muuta huomioitavaa)	Virta (I) kohteessa*
	A
Suositeltu toimenpide	Korjausprioriteetti – (heti / 2kk kuluessa / tarkkailtava)
Korjaustoimenpiteet (suunnittelu täyttää)	Suunnittelija

\*Jos mahdollista mitata

## THE REPORT OF DRILLING MACHINE THERMAL IMAGING

Serial number	Model	Thermal Photographer	Date
Load before thermal imaging	Wind	Temperature**	
%	h	m/s	

\*\*Mark also unit

Used thermal imaging equipment

- ☐ Fluke TI400 Thermal images as attachment \_\_\_\_\_ pages  
☐ \_\_\_\_\_

Thermal Imaging Summary

Possible concern 1	Unexpected temperature**
Additional info (Root cause of the problem, etc.)	Current (I)*
	A
Preferred repair or service - Priority (immediately / 2 months / scheduled observing)	
Action (filled by designer)	Designer

\*If possible to measure

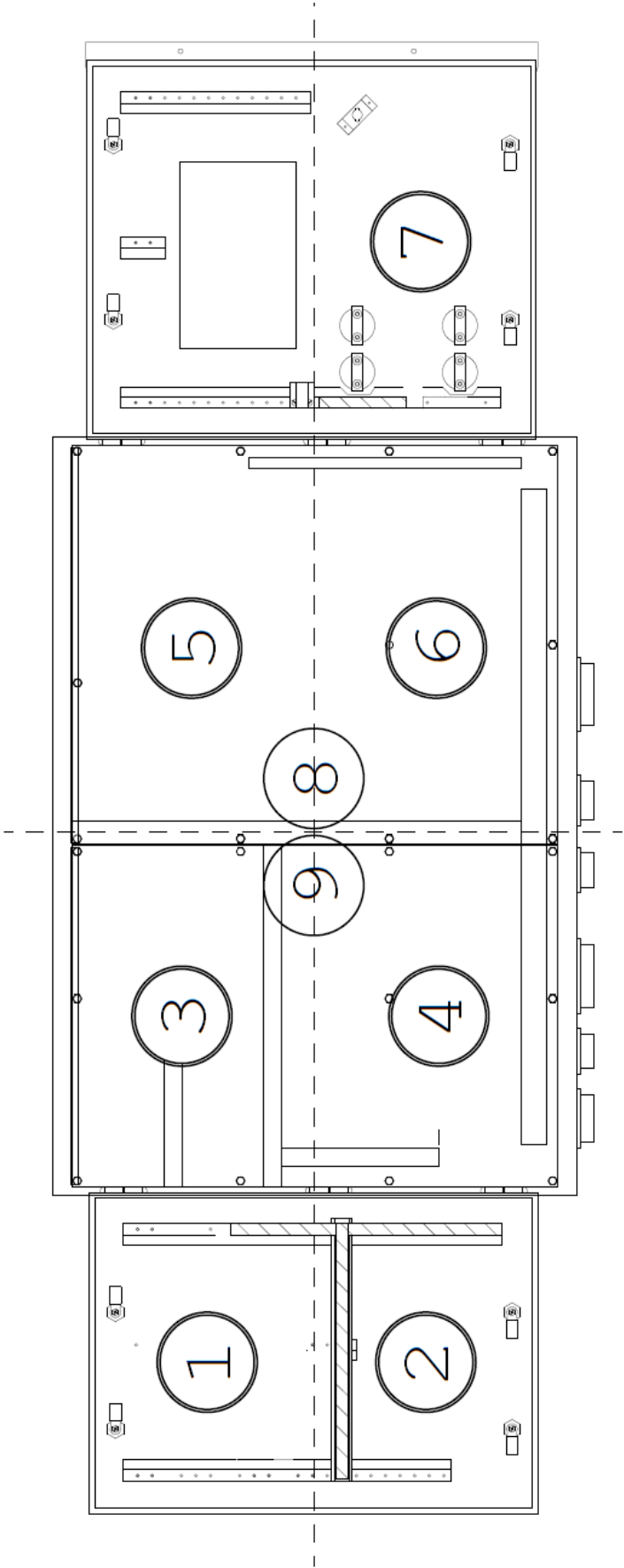
Possible concern 1	Unexpected temperature**
Additional info (Root cause of the problem, etc.)	Current (I)*
	A
Preferred repair or service - Priority (immediately / 2 months / scheduled observing)	
Action (filled by designer)	Designer

\*If possible to measure

Possible concern 1	Unexpected temperature**
Additional info (Root cause of the problem, etc.)	Current (I)*
	A
Preferred repair or service - Priority (immediately / 2 months / scheduled observing)	
Action (filled by designer)	Designer

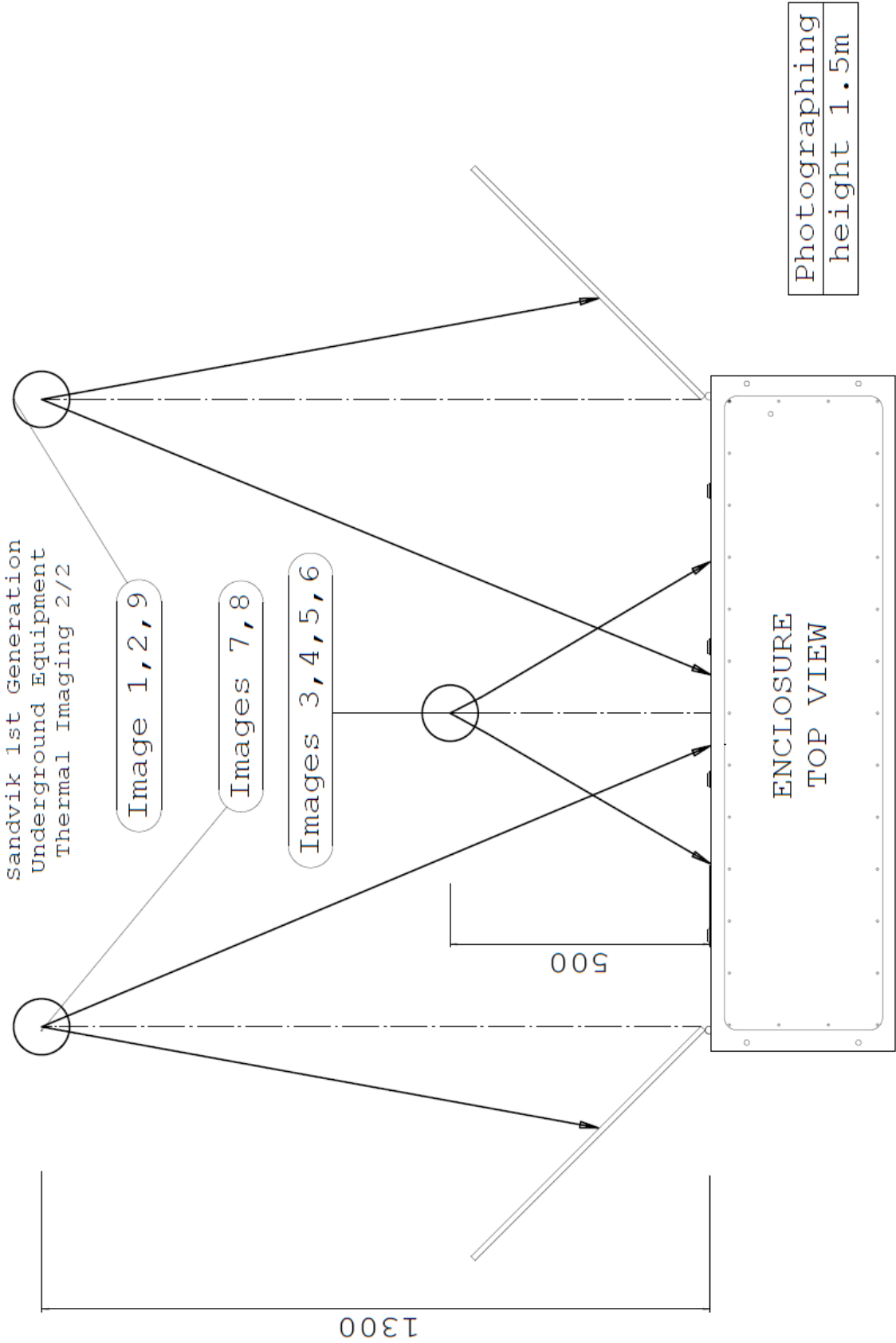
\*If possible to measure

Sandvik 1st Generation  
Underground Equipment  
Thermal Imaging 1/2



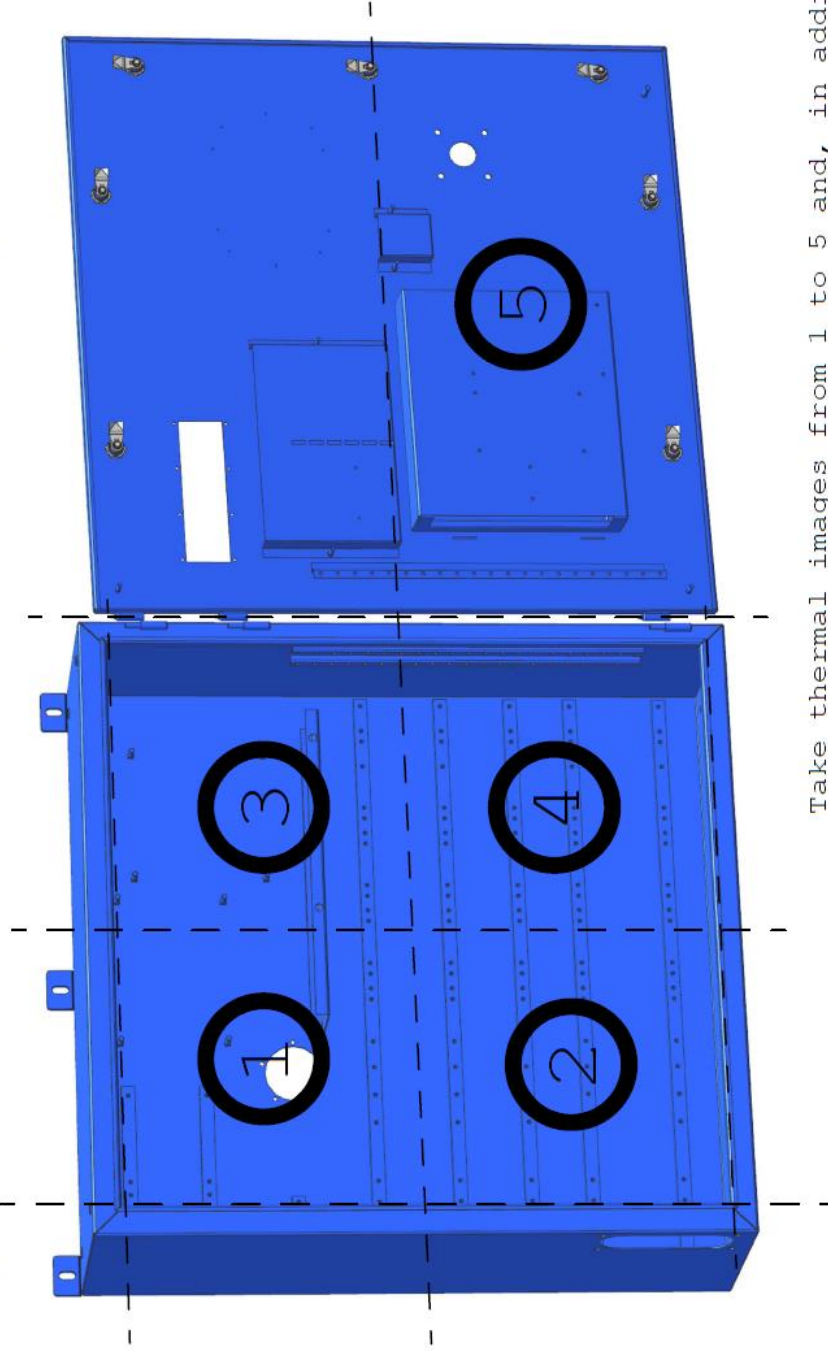
Take thermal images from 1 to 9 and, in addition,  
thermal images from inspection holes in the covers.

Also, take extra thermal images if any suspicions arise.  
Name all the extra images in ascending numbers 10...12.





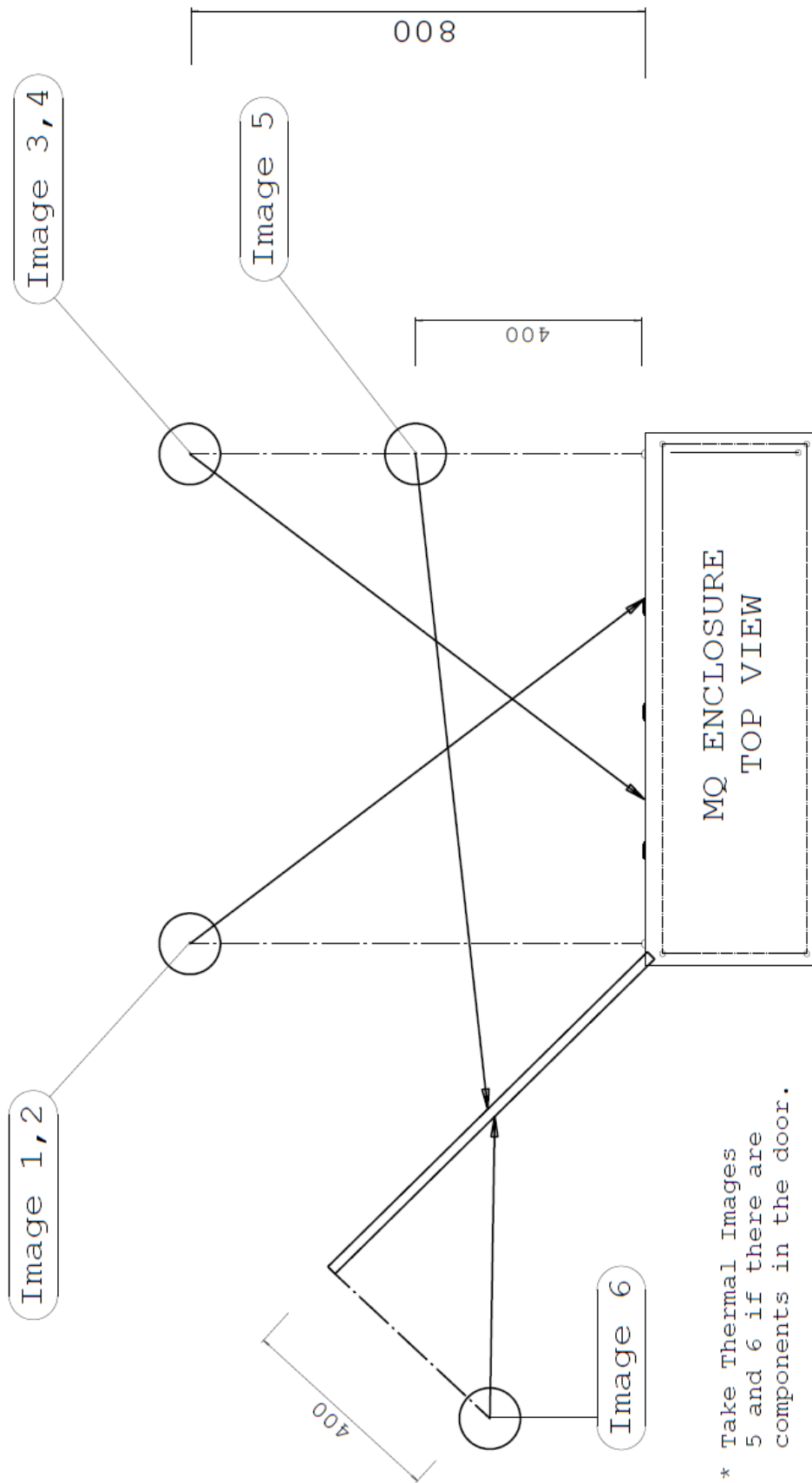
# Sandvik 2nd Generation UG Equipment MQ Enclosure Thermal Imaging 1/2



Take thermal images from 1 to 5 and, in addition,  
thermal images from inspection holes in the covers.

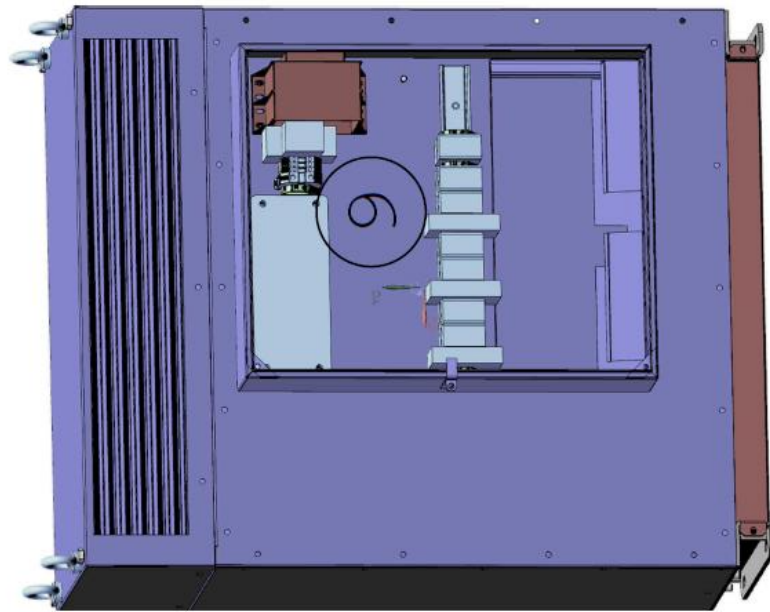
Also, take extra thermal images if any supsicions arise.  
Name all the extra images in ascending numbers 6...10.

# Sandvik 2nd Generation UG Equipment MQ Enclosure Thermal Imaging 2/2



\* Take Thermal Images  
5 and 6 if there are  
components in the door.

# Sandvik 2nd Generation UG Equipment DQ Enclosure and Transformers Thermal Imaging 1/2



Take Thermal Images of  
all transformers available.  
Use 45° angle.

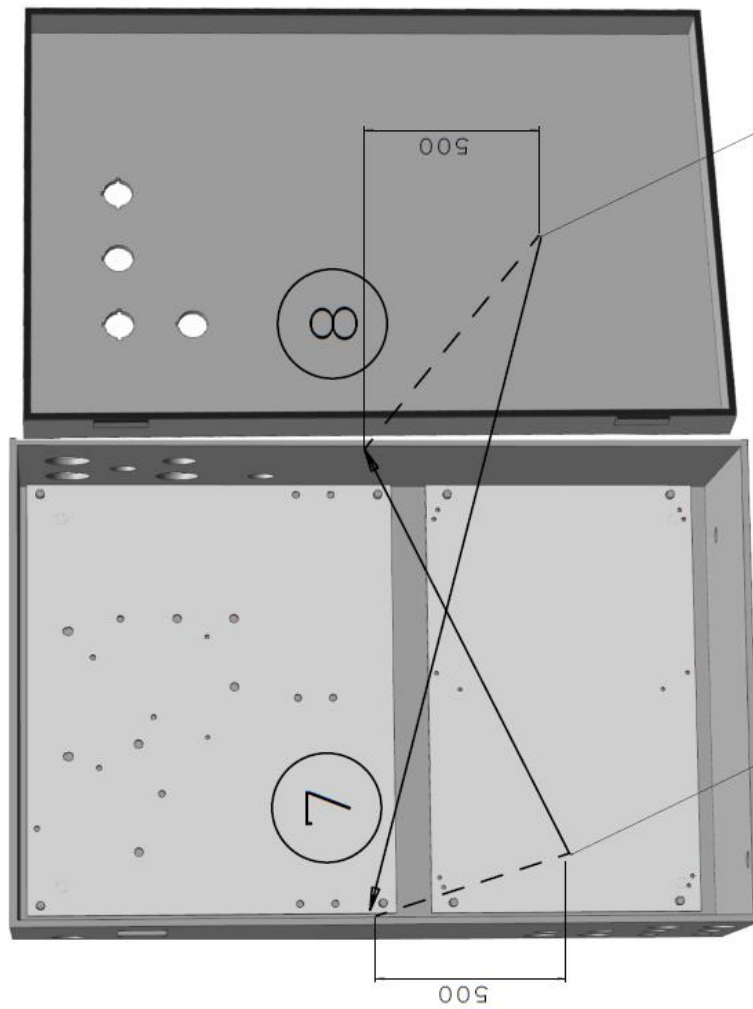


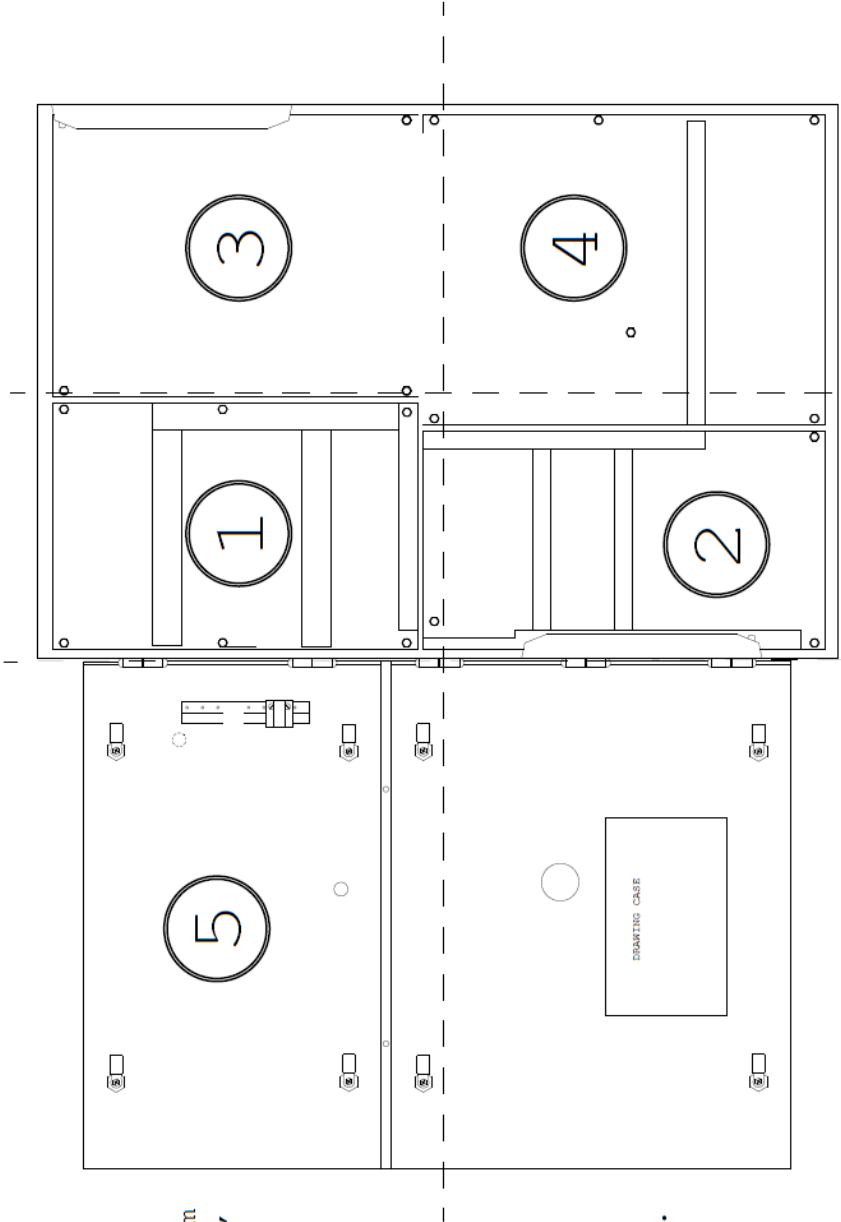
Image 7

Image 8

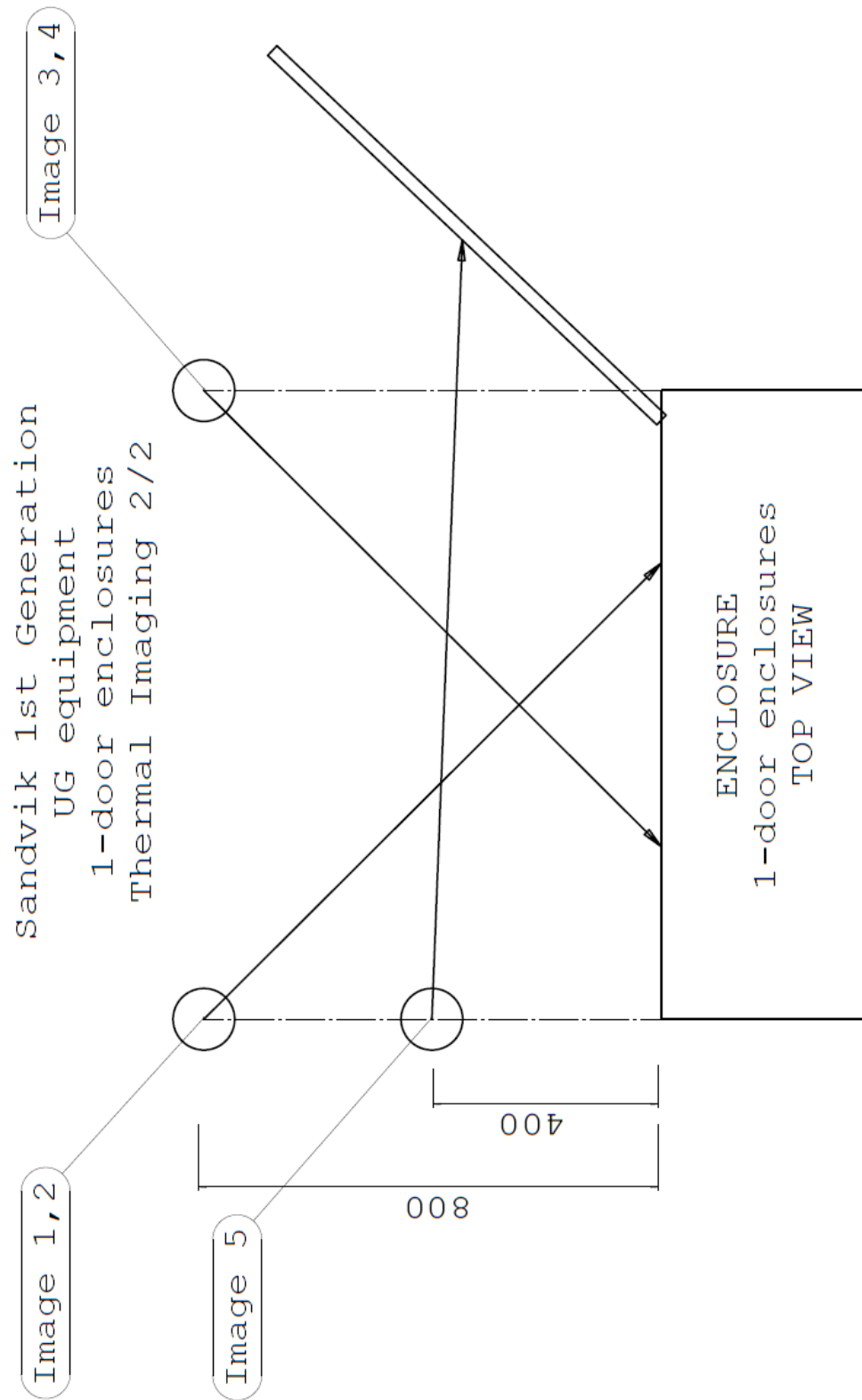
Sandvik 1st Generation UG Equipment  
(1 door enclosures) Thermal Imaging 1/2

Take thermal images from 1 to 5 and, in addition, thermal images from inspection holes in the covers.

Take additional images if you notice very suspicious temperatures.



Also, take thermal images if necessary to cover all the areas behind the objects.  
Name all the extra images in ascending numbers 6,7,8...



Note: if the enclosure under inspection isn't included in these instructions, please apply the provided instructions to practice in order to cover all the areas in the enclosure.

## Sandvik settings for Fluke SmartView report with Fluke Ti400

Pikaraportin asetukset

Valitse raporttimalli jota käytetään pikaraportissa Basic Building Diagn

Otsikkosivu Asettelu Ulkoasu Yhteenveto

<input checked="" type="checkbox"/> Sisällytä pääkuva	<input checked="" type="checkbox"/> Sisällytä merkkitaulukko
<input checked="" type="radio"/> Käytä näkymän asetuksia <input type="radio"/> Vain infrapuna	<input checked="" type="checkbox"/> Emissiivisyys
<input checked="" type="checkbox"/> Sisällytä paletti	<input checked="" type="checkbox"/> Taustalämpötila
<input type="checkbox"/> Sisällytä IR PhotoNotes™	<input checked="" type="checkbox"/> Alin lämpötila
<input checked="" type="checkbox"/> Sisällytä infrapunakuva	<input type="checkbox"/> Keskilämpötila
<input checked="" type="checkbox"/> Sisällytä IR-Fusion®-viite	<input checked="" type="checkbox"/> Korkein lämpötila
<input type="radio"/> Käytä näkymän asetuksia <input checked="" type="radio"/> Vain näkyvä valo	<input type="checkbox"/> Vakiopoikkeama
<input type="checkbox"/> Sisällytä kaavio	<input checked="" type="checkbox"/> Sisällytä kuvatieto
<input checked="" type="checkbox"/> Sisällytä huomautustaulukko	<input checked="" type="checkbox"/> Emissiivisyys
<input checked="" type="checkbox"/> Sisällytä sisällysluettelo	<input checked="" type="checkbox"/> Taustalämpötila
<input checked="" type="checkbox"/> Jokainen kuva uudelle sivulle	<input checked="" type="checkbox"/> Lämpäisy
<input checked="" type="checkbox"/> Numeroi sivut	<input type="checkbox"/> Keskilämpötila
<input checked="" type="checkbox"/> Pidä tietotaulukot yhdessä	<input type="checkbox"/> Kuva-asteikko
<input type="checkbox"/> Sisällytä tarkastusyhteenveto	<input type="checkbox"/> Kuvan aika
	<input type="checkbox"/> Tiedoston sijainti
	<input checked="" type="checkbox"/> Kameran malli
	<input checked="" type="checkbox"/> Kameran sarjanumero
	<input type="checkbox"/> Valmistaja
	<input type="checkbox"/> Kalibrointialue
	<input checked="" type="checkbox"/> Linssin kuvaus
	<input checked="" type="checkbox"/> Linssin sarjanumero
	<input type="checkbox"/> OCA-versio
	<input type="checkbox"/> DSP-versio
	<input type="checkbox"/> Kompassi
	<input type="checkbox"/> Vakavuus
	<input checked="" type="checkbox"/> Fluke CNX™
	<input type="checkbox"/> GPS
	<input type="checkbox"/> Ilman lämpötilasäädöt

OK Peruuta Ohje

Raportti liitetään aina kuvien yhteyteen PDF-muodossa. Nimen tulee sisältää laitteen sarjanumero: "96515 Report.pdf".