

Tuomas Similä

## **SÄHKÖLAITTEISTON LÄMPÖKUVAUS**

# **SÄHKÖLAITTEISTON LÄMPÖKUVAUS**

Tuomas Similä  
Opinnäytetyö  
Kevät 2019  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka, sähkötekniikka

---

Tekijä: Tuomas Similä  
Opinnäytetyön nimi: Sähkölaitteiston lämpökuvaus  
Työn ohjaaja: Ismo Pitkänen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019  
Sivumäärä: 31 + 2 liitettä

---

Opinnäytetyön aiheena oli laatia lämpökuvausohje sekä lämpökuvauksen raportointiohje. Opinnäytetyö tehtiin Are Oy:lle. Lämpökuvausohjeen tarkoituksena on tukea lämpökuvaajan turvallista ja tehokasta toimintaa sähkölaitteistossa lämpenemää aiheuttavien vikojen havaitsemiseksi. Raportointiohjeen tarkoituksena on nopeuttaa Fluke Ti10 -lämpökameralla tehtävien kuvausten raportointia Fluke smartview 4.3 -ohjelmalla.

Lämpökuvausohje on koottu pääasiassa ST53.62 Sähkölaitteistojen lämpökuvaus -kortin pohjalta. Siihen on myös käytetty aihetta käsittelevien suomalaisten tutkimusten ja opinnäytetöiden sisältöä. Opinnäytetyön aikana käytettiin kahta lämpökameraa FLIR E50 ja Fluke Ti10, sekä perehdyttiin tarkemmin Fluke smartview 4.3 -ohjelman käyttöön. Työhön kuului myös yhden Oulun keskustassa olevan liikekiinteistön pääkeskusten lämpökuvaus sekä sen pohjalta tehdyt havainnot.

Työn lopputuloksena syntyi lämpökuvausohje, joka on kattava tietopaketti lämpökuvaajalle avuksi kuvausten suorittamiseen. Lämpökuvausohjeeseen on koottu eri sähkölaitteistojen komponenttien lämpötilarajat, ohjeistus lämpökuvauksen suorittamiseen sekä oleellisimmat menetelmät lämpenemän arviointiin sähkölaitteiston kuormitusolosuhteiden vaihdellessa. Lämpökuvausohje toimii selkeänä tietopaketina, jota voi helposti hyödyntää lämpökuvauksia suorittaessa. Lisäksi syntyi lämpökuvauksen raportointiohje Fluke smartview 4.3 -ohjelmalle.

---

Asiasanat: lämpökuvaus, kunnossapito, vianetsintä, lämpökuvausohje

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Electrical and Automation Engineering, Option of Electrical Engineering

---

Author: Tuomas Similä  
Title of thesis: Thermal Imaging of Electrical Equipment  
Supervisor: Ismo Pitkänen  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019  
Number of pages: 31 + 2 appendices

---

The purpose of this thesis was to create instructions for thermal imaging and to make a guideline for reporting with Fluke smartview 4.3 program. Thesis was made for Are Oy. The purpose of thermal imaging instructions is to support thermal imager's safety and effective work in order to notice failures causing heating in electrical equipment. The thermal imaging instructions function as a clear information package that can be easily utilized while performing thermal imaging. The instructions are composed of temperature limits of electrical components, guidance for thermal imaging and most essential means for estimating the heating while the load conditions in electrical equipment changes. The purpose of the drafting of the instructions for thermal imaging report was to quicken and clarify the reporting of the imaging made by Fluke Ti10 thermal camera.

The thermal imaging instructions were mainly assembled using ST53.62 Sähkölaitteistojen lämpökuvaus document. The content of Finnish research and theses addressing the subject were also used to create the instructions. During the making of the thesis two thermal cameras, FLIR E50 and Fluke Ti10, were used and the usage of Fluke smartview 4.3 was familiarized with more deeply. The thesis also included the thermal imaging of one real estate's switchboards and observations founded on these thermal imagings.

The end result of the thesis is a thermal imaging guideline, that includes a comprehensive fact package to help an imager in his work. In addition, a thermal imaging report guideline for Fluke smartview 4.3 program was created.

---

Keywords: thermal imaging, maintenance, troubleshooting, thermal imaging instruction

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 LÄMMÖN SIIRTYMINEN SÄTEILYN AVULLA	6
2.1 Lämpösäteily	6
2.2 Emission vaikutus lämpösäteilyyn	7
3 SÄHKÖLAITTEISTON LÄMPENEMINEN	12
3.1 Virran ja resistanssin vaikutus lämpenemiseen	12
3.2 Lämpenemän laskenta kuormituksen muuttuessa	14
3.3 Tyypillisiä lämpenemän aiheuttajia	15
3.3.1 Liitosviat	15
3.3.2 Yliaallot	17
3.3.3 Epäsymmetrinen kuormitus	18
3.3.4 Mitoitusvirheet	19
4 LÄMPÖKUVAUSLAITTEISTO JA VARUSTEET	20
4.1 Lämpökuvaajan varusteet	20
4.2 Lämpökameran toiminta ja erottelukyky	20
4.3 Lämpökuvauslaitteiston vaatimukset	21
4.4 Lämpökameran kalibrointi	22
5 LÄMPÖKUVAAJAN PÄTEVYYS	23
5.1 Lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset	23
5.2 Pätevöityminen ja pätevyyden ylläpito	23
6 SÄHKÖLAITTEISTON LÄMPÖKUVAUS	25
6.1 Sähköturvallisuus	25
6.2 Lämpökuvauksen valmistelu	25
6.3 Emissioarvon määrittäminen	26
6.4 Lämpötilahälytyksen käyttö	26
7 LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI	28
8 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	30
LIITTEET	
Liite 1 Lämpökuvausohje	

## Liite 2 Raportointiohje Fluke smartview 4.3 -ohjelmalla

# 1 JOHDANTO

Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että sähkölaitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan, sekä havaitut puutteet ja viat korjataan riittävän nopeasti. Sähköturvallisuuslaissa on määritetty, että luokan 2 ja 3 sähkölaitteistoille on laadittava sähköturvallisuutta ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Sähkölaitteiston lämpökuvaukset ovat usein osa kiinteistöjen kunnossapito-ohjelmaa. Lämpökuvauksilla voidaan tehokkaasti ennaltaehkäistä laitteistossa esiintyviä vikoja. Lämpökuvaus on sähkölaitteiston ennakoivaa kunnossapitoa, jossa kunnossapitotoimet pyritään tekemään ennen vikojen syntymistä. Lämpökuvauksilla voidaan nopeasti ja kustannustehokkaasti ennaltaehkäistä sähkölaitteistossa esiintyviä vikoja ja vähentää huomattavasti palovaaraa. Merkittävä osa tulipaloista saa alkunsa juuri sähkölaitteiden vikaantumisen vuoksi.

Sähkölaitteistossa piilevien vikojen havaitsemiseksi vaaditaan erityistä tietotaitoa. Lämpökuvaajalta vaaditaan muun muassa sähkötekniikan osaamista, sähkökomponenttien tuntemusta, lämpökuvauslaitteiston hallintaa, sekä taitoa tulkita lämpökuvia. Lisäksi keskeinen osa lämpökuvaukseen liittyvää osaamista on lämpösäteilyn käyttäytymisen ymmärtäminen eri materiaaleissa. Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy myöntää lämpökuvaajan pätevyksiä Suomessa, pätevoitynyt lämpökuvaaja on tae sähkölaitteiston haltijalle laadukkaasta lämpökuvauksesta.

Are Oy:lle tehdyn opinnäytetyön tavoitteena oli laatia sekä lämpökuvaus- että raportointiohje. Lämpökuvausohjeen tarkoitus on olla lämpökuvaajan apuväline ja tietopankki lämpökuvauksia suorittaessa. Raportointiohje nopeuttaa Fluke Ti10 -lämpökameralla tehtävien kuvausten raportointia.

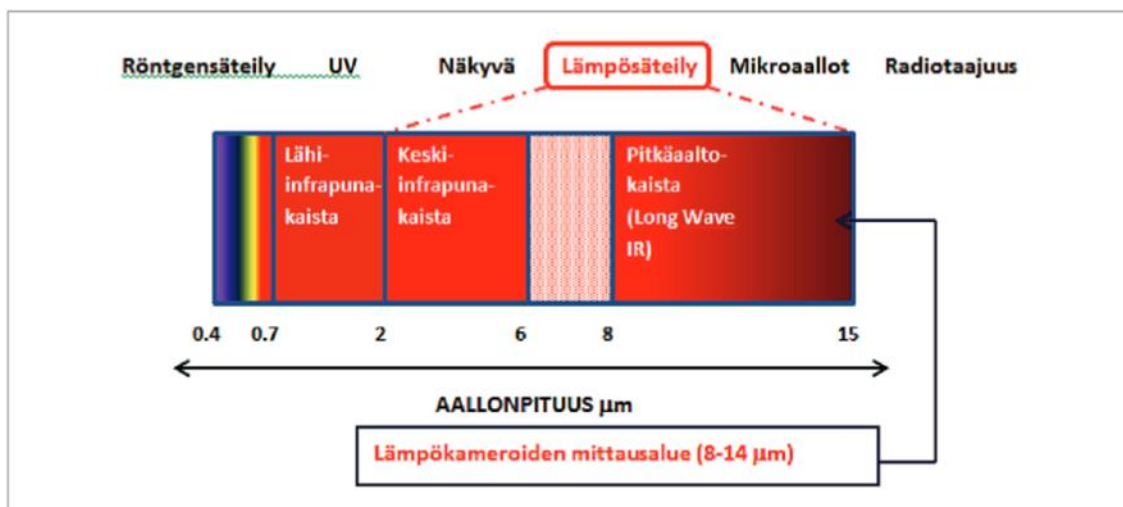
Are Oy on talotekniikka- ja kiinteistöpalvelualan yritys, jolla on toimintaa koko Suomen alueella, Ruotsissa ja Venäjällä Pietarissa. Are Oy on osa Conficap-konsernia, joka on merkittävä suomalainen perheyritys. Are Oy:n pätevoityneet lämpökuvaajat tekevät lämpökuvauksia Are Oy:lle kuuluvissa käytönjohtokohteissa osana sähkölaitteiston kunnossapito-ohjelmia, mutta myös palveluna muille kiinteistönomistajille ja sähkölaitteistojen haltijoille.

## 2 LÄMMÖN SIIRTYMINEN SÄTEILYN AVULLA

### 2.1 Lämpösäteily

Lämpösäteily eli infrapunasäteily on näkymätöntä sähkömagneettisen säteilyn avulla siirtyvää lämpöä, joka ei tarvitse väliainetta. Kaikki materiaalit, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen (0 K eli  $-273^{\circ}\text{C}$ ) yläpuolella, säteilevät lämpöä. Lämpösäteily on osa sähkömagneettista spektriä, johon kuuluu järjestyksessä pienimmästä suurimpaan: röntgensäteily, ultraviolettisäteily, näkyvä valo, infrapunasäteily, mikroaallot ja radioaallot. Sähkömagneettisen spektrin eri kaistojen säteily eroaa vain aallonpituutensa osalta ja nämä aallonpituudet käyttäytyvät fysikaalisesti samalla tavalla. (1, s. 105.)

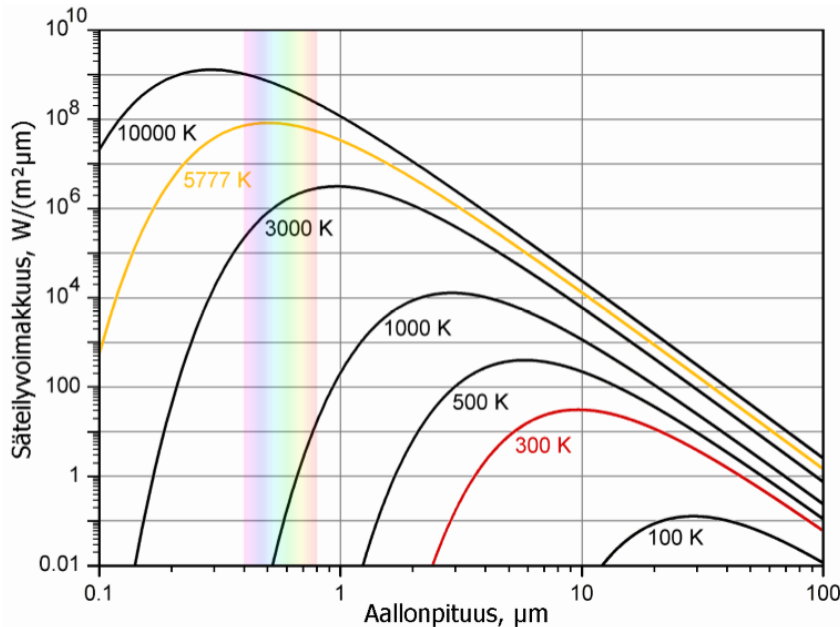
Kuvassa 1 on esitetty, kuinka Infrapunasäteily jaetaan neljään kapeampaan kaistaan, lähi-infrapuna-kaista ( $0,75\text{--}3\mu\text{m}$ ), keski-infrapuna-kaista ( $3\text{--}6\mu\text{m}$ ), pitkäaaltokaista ( $6\text{--}15\mu\text{m}$ ) ja ääri-infrapuna-kaista ( $15\text{--}100\mu\text{m}$ ). Lämpökuvauksessa hyödynnetään vain lämpösäteilyn pitkäaaltokaistaa. (1, s. 105.)



KUVA 1. Sähkömagneettisen säteilyn kaistat (2, s. 5)

Kappaleen lämpötila vaikuttaa lämpösäteilyn aallonpituuteen. Mitä korkeampi lämpötila on, sitä lyhytaaltoisempaa lämpösäteilyä kappale lähettää. Lämpösäteily muodostuu materiaalin elektronien ja protonien varausten liikkeestä. Lämpötilan kasvaessa liike kiihtyy, jolloin elektronit ja protonit liikkuvat nopeammin ja kappaleesta lähtevä lämpösäteily on

taajuudeltaan korkeampaa. Kuvassa 2 on esitetty kappaleen eri lämpötilojen aallonpituuden spektrit. (3, s. 6.)



KUVA 2. Lämpösäteilyn voimakkuuden vaikutus aallonpituuteen (3, s. 7)

## 2.2 Emission vaikutus lämpösäteilyyn

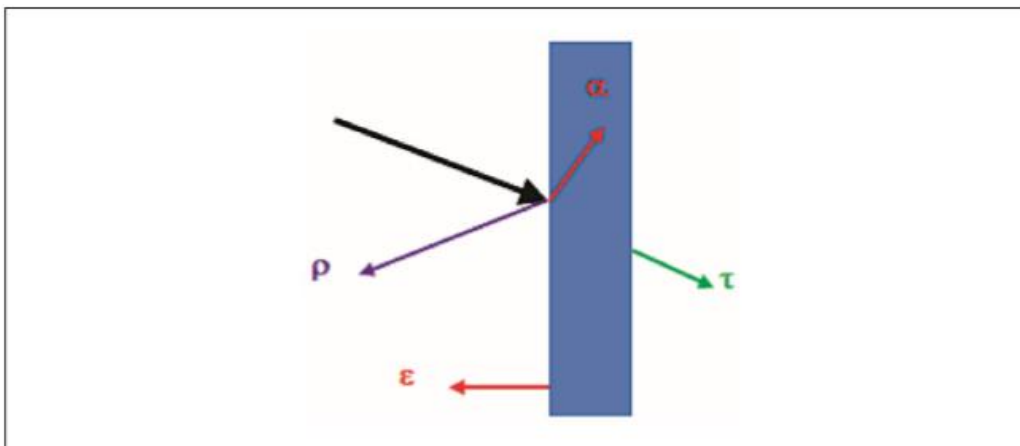
Emissio on kappaleen pinnan ominaisuus, joka kuvaa sen kykyä lähettää lämpösäteilyä. Emissioluku kertoo kappaleen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn osuuden kappaleeseen sitoutuneesta energiasta. Kappaleen pinnan emissioarvo on aina nollan ja yhden välillä. Täysin lämpösäteilyä heijastamaton pinta on arvoltaan 1, ja täydellinen heijastin on arvoltaan 0. Todellisuudessa kaikkien todellisten materiaalien pintojen emissioarvo on aina jossain nollan ja yhden välissä. Taulukossa 1 on esitetty tyypillisesti sähkölaitteistossa esiintyvien materiaalien emissioarvoja. (2, s. 5.)

Sähkölaitteiston lämpökuvauksessa tulisi mittaukset kohdistaa suuren emissioarvon omaaviin pintoihin, kuten johdineristeisiin sekä maali- tai muovipintoihin. Vain suuren emissioarvoisten kohteista saadaan lämpökuvauksilla luotettavia lämpötila-arvoja. Heijastavat pinnat ovat emissioarvoltaan pieniä, tällaisia ovat esimerkiksi kiiltävät metallipinnat. (2, s. 6.)

TAULUKKO 1. Materiaalien pintojen emissioarvoja (2, s. 5)

Ihmisen iho	0,98
Vesi	0,98
Sähköteippi	0,95
Maali	0,90
Paperi	0,90
Posliini, lasitettu	0,92
Posliini , kiiltävä valkoinen	0,70–0,75
Kupari (hapettunut)	0,68
Kupari (kiilloitettu)	0,02
Alumiini (kiilloitettu)	0,05
Alumiini, voimakkaasti hapettunut	0,20–0,30
Alumiini, karkeistettu	0,18
Volframi, hehkulanka	0,39

Kuvassa 3 on esitetty kappaleeseen kohdistuvan säteilyn käyttäytymistä. Musta nuoli kuvaa säteilyä, joka kohdistuu kappaleeseen. Kun säteily kohtaa kappaleen pinnan, osa siitä voi heijastua ( $\rho$ ), osa absorboitua ( $\alpha$ ) eli imeytyä kappaleeseen lämpöenergiaksi ja osa voi kulkea läpi ( $t$ ) (2, s. 5). Kuvassa pinnan emissiota kuvaa epsilon ( $\epsilon$ ). Lämpökamera vastaanottaa kohteen pinnasta heijastuvaa säteilyä ( $\rho$ ) sekä kappaleesta lähtevää lämpösäteilyä ( $\epsilon$ ). Matalan emissioarvon pintamateriaalit heijastavat enemmän ympäristöstä tulevaa säteilyä kuin kappaleesta lähtevää säteilyä, jolloin lämpökuvauksella kappaleen todellista lämpötilaa on vaikea todeta.



KUVA 3. Lämpösäteilyn käyttäytyminen (2, s. 5)

Termodynamiikan 1. lain mukaan kappaleen pinnaista heijastuneen, kappaleeseen absorboituneen ja kappaleen läpi kulkevan säteilyn summa on 1. Heijastunut, imeytynyt ja läpikulkenut säteily on yhteensä yhtä suurta kuin kappaleeseen kohdistuva säteily. Kappaleeseen kohdistuvaa säteilyä kuvaa kaava 1. (2, s. 5.)

$$\rho + \alpha + t = 1$$

*KAAVA 1*

$\rho$  = pinnasta heijastunut säteily

$\alpha$  = absorboitunut säteily

$t$  = kappaleen läpi kulkeva säteily

Kirchhoffin laki lämpösäteilystä toteaa, että kappaleen emissio on yhtä suuri kuin absorptio ( $\epsilon = \alpha$ ) tietyllä aallonpituudella tai kaistan leveydellä. Tällöin termodynamiikan lain mukainen kaava muuttuu kaavan 2 muotoon. (2, s. 5.)

$$\rho + \epsilon + t = 1$$

*KAAVA 2*

$\epsilon$  = emissio

Kaava 3 kuvaa kohteita, joiden läpi lämpösäteily ei kulkeudu. Tällöin voidaan todeta, että heijastuneen säteilyn määrä on kohteeseen tulleen säteilyn määrän ja kappaleeseen absorboituneen säteilyn erotus. (2, s. 5.)

$$\rho = 1 - \epsilon$$

*KAAVA 3*

Taulukossa 2 on eräitä sähkölaitteistossa esiintyvien pintamateriaalien emissioarvoja ja pinnasta heijastuneen säteilyn arvoja. Taulukon heijastuneen säteilyn arvot on päätelty sillä olettamuksella, että kappaleiden läpi kulkeva säteily on nolla, jolloin heijastunut säteily on kappaleen emissioarvo miinus yksi.

TAULUKKO 2. Laskennassa käytettävät arvot

Kappale	Emissio ( $\epsilon$ )	Heijastunut säteily ( $\rho$ )
Sähköteippi	0,95	0,05
Hapettunut kupari	0,68	0,32
Kiillotettu kupari	0,02	0,98

Lasketaan taulukon 2 kappaleiden ulkopuolelta havaittavan lämpösäteilyn määrää kaavalla 4, erilaisilla kappaleen emissioarvoilla ja oletuksella, että läpi kulkeva lämpösäteily  $t = 0$ . Kappaleiden todellinen lämpötila on  $40^\circ\text{C}$  ja ympäristön lämpötila  $20^\circ\text{C}$ .

$$\epsilon * T_{\text{kappale}} + \rho * T_{\text{ympäristö}} = T_{\text{havaittava säteily}}$$

KAAVA 4

$T$  = lämpötila ( $^\circ\text{C}$ )

Vesi  $0,95 * 20^\circ\text{C} + 0,05 * 40^\circ\text{C} = 21^\circ\text{C}$

Hapettunut kupari  $0,68 * 20^\circ\text{C} + 0,32 * 40^\circ\text{C} = 26,4^\circ\text{C}$

Kiillotettu kupari  $0,02 * 20^\circ\text{C} + 0,98 * 40^\circ\text{C} = 39,6^\circ\text{C}$

Laskennasta voidaan havaita, että mitä suurempi on kappaleen pinnan emissio, sitä suurempi osa kappaleen lähettämästä säteilystä on kappaleeseen sitoutunutta lämpöenergiaa. Tästä syystä lämpökuvauksessa saadaan tarkempi tulos suuren emission omaavista pinnoista. Suuren emission ansioista esimerkiksi kuvaajasta säteilevä lämpösäteily ei juurikaan vaikuta mittaustulokseen. Laskennassa kiillotetun kuparin lämpösäteily on lähes täysin ympäristöstä heijastuvaa säteilyä. Lämpökameroissa voidaan asettaa sekä emissiokerroin että taustalämpötila oikeaksi, siitä huolimatta mittaus on yleensä epäluotettava matalilla emissiokertoimilla. Mitattavan kappaleen ympäröivät rakenteet, koneet, laitteet tai ihmiset heijastavat lämpöä, jolloin pienen emissiokertoimen omaavat pinnat heijastavat suurimmalta osaltaan tätä epätasaista ympäristön lämpötilaa.

Eri kuvakulmista mitatessa tulokset poikkeavat myös toisistaan, koska kappaleen pinnan emissiokerroin alkaa muuttua, kun kuvauskulma ylittää  $60^\circ$ . Kuvattaessa täysin pinnan suuntaisesti, eli kuvattavaan pintaan nähden  $90^\circ$ :n kulmalla, pinnan emissiokerroin on nolla. Kohtisuoraan kuvattaessa kuvaajasta heijastuu omaa lämpösäteilyä lämpökameraan, mikä häiritsee mittaustulosta. Kuvauskulman tulisi olla  $15^\circ$ – $45^\circ$ , jotta kuvaajan lämpö ei heijastuisi kuvaan ja pinnan emission muutos ei myöskään häiritsisi mittaustulosta. (2, s. 12.)

### 3 SÄHKÖLAITTEISTON LÄMPENEMINEN

Kun sähkölaitteiston osan kautta kulkee sähkövirta, muuttuu se resistanssin aiheuttamana tehohäviöksi eli lämmöksi. Sähkölaitteisto lämpenee myös normaaleissa käyttöolosuhteissa, mutta erilaiset viat voivat aiheuttaa sähkölaitteistolle vaarallista lämpenemää. Vaikka sähkölaitteisto olisi oikeaoppisesti rakennettu, voi siitä huolimatta jokin sähkölaitteiston osa kuumentua liikaa, jolloin seurauksena voi olla osan vaurioituminen tai jopa tulipalo. Johtimien ja komponenttien oikealla mitoituksella sähkölaitteiston lämpenemä pyritään pitämään sallituissa ja turvallisissa rajoissa.

#### 3.1 Virran ja resistanssin vaikutus lämpenemiseen

Sähkölaitteiston läpi kulkeva virta muuttuu resistanssin aiheuttamana tehohäviöksi eli lämmöksi. Tehohäviö voidaan laskea kaavalla 5. Kaavasta voidaan todeta, että kun resistanssin läpi kulkeva virta kaksinkertaistuu, niin lämpöhäviö nelinkertaistuu. (3, s. 21.)

$$P = I^2 * R$$

KAAVA 5

$P$  = tehohäviö (W)

$I$  = virta (A)

$R$  = resistanssi ( $\Omega$ )

Kun sähkölaitteisto on normaalissa kuormitustilanteessa, on resistanssi määräävä tekijä lämpenemän aiheuttajana. Yksi tyypillisistä lämpenemän aiheuttajista sähkölaitteistossa on liian pienet johtimien poikkipinta-alat, jotka lisäävät virtapiirin resistanssia ja sen myötä lämpenemää. Resistanssin suuruutta johtimen pituuden ja poikkipinta-alan mukaan voidaan kuvata kaavalla 6. Taulukossa 3 on esitetty metallien ominaisvastusarvoja 20°C:n lämpötilassa.

TAULUKKO 3. Materiaalien ominaisvastusarvoja (4)

Aine	Ominaisvastus (20 °C)	Ominaisvastuksen lämpötilakerroin (20 °C)
<a href="#">Hopea</a>	$0,0159 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$	$4,0 \cdot 10^{-3} /\text{K}$
<a href="#">Kupari</a>	$0,0168 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$	$3,9 \cdot 10^{-3} /\text{K}$ <sup>[4][5]</sup>
<a href="#">Kulta</a>	$0,024 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$	$3,4 \cdot 10^{-3} /\text{K}$
<a href="#">Alumiini</a>	$0,028 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$	$4 \cdot 10^{-3} /\text{K}$
<a href="#">Messinki</a>	$0,070 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$	$1,5 \cdot 10^{-3} /\text{K}$
<a href="#">Rauta</a>	$0,097 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$	$6 \cdot 10^{-3} /\text{K}$
<a href="#">Teräs</a> (arvo vaihtelee laadun mukaan)	$0,8 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$	$3 \cdot 10^{-3} /\text{K}$

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

KAAVA 6

$R$  = johtimen resistanssi ( $\Omega$ )

$\rho$  = johtimen ominaisresistanssi ( $\Omega\text{m}$ )

$l$  = johtimen pituus (m)

$A$  = johtimen pinta-ala ( $\text{m}^2$ )

Lämpötilan vaikutus johtimen resistanssiin voidaan laskea kaavalla 7 (5, s. 10).

$$R = R_0(1 + \alpha(T - T_0))$$

KAAVA 7

$R$  = johtimen resistanssi tarkasteltavassa lämpötilassa ( $\Omega$ )

$R_0$  = johtimen ominaisvastus lämpötilassa +20°C ( $\Omega$ )

$\alpha$  = johdinmateriaalin resistiivisyyden lämpötilakerroin (K)

$T$  = johtimen mitattu lämpötila (°C)

$T_0$  = tyypillinen taulukkoarvojen referenssi lämpötila +20°C (°C)

Sähkölaitteistossa tyypillisesti lämpenemää aiheuttaa liitoksen huono kontakti. Mittaamalla ylimenovastus ja sähkövirta voidaan laskea liitoksen tehohäviö kaavalla 8.

$$P = U * I$$

KAAVA 8

$P$  = tehohäviö (W)

$U$  = jännitehäviö (V)

$I$  = virta (A)

Kun sähkölaitteistossa alkaa kulkea vakiosuuruinen sähkövirta, lämpeneminen lisääntyy tiettyyn pisteeseen saakka ajan kuluessa. Lämpötilataso, jolle lämpenemä lopulta asetuu, riippuu johdinmateriaalista, ympäristön olosuhteista ja sähkövirran suuruudesta. Sähkölaitteiston lämpötilan tasaantuminen ja sen myötä liitosten ja komponenttien tasainen lämpötila varmistetaan siten, että sähkölaitteisto pidetään vakiokuormituksella vähintään 30 minuutin ajan ennen lämpökuvauksia. (2, s. 7.)

### 3.2 Lämpenemän laskenta kuormituksen muuttuessa

Yleensä lämpökuvattavan laitteiston kuormitus on alle nimellisarvon, tällöin lämpökuvauksen tulee osata laskea sähkölaitteiston lämpenemä tilanteessa, jossa sähkölaitteiston kuormitus on huipussaan. Kuormituksen poiketessa nimelliskuormituksesta voidaan nimelliskuormituksessa syntyvä lämpenemä laskea karkeasti käyttäen mitattuja virtoja sekä lämpötila-arvoja. Sähkölaitteiston lämpenemä nimelliskuormituksessa voidaan laskea kaavalla 9. (6, s. 11.)

$$T_{max} = (T_m - T_a) * \left( \frac{100}{\left( \frac{I_m}{I_{max}} \right) * 100} \right)^2 + T_a \quad \text{KAAVA 9}$$

$T_{max}$  = laskennallinen lämpötila nimelliskuormituksella (°C)

$T_m$  = mitattu lämpötila osakuormituksella (°C)

$T_a$  = ympäristön lämpötila (°C)

$I_m$  = mitattu virta osakuormalla (A)

$I_{max}$  = kohteen nimellisvirta (A)

Lämpötilan muutosta mitattavassa kohteessa voidaan arvioida myös seuraavalla yksinkertaistetulla menetelmällä. Kaavalla 10 lasketaan ympäristön lämpötilan ja kappaleen lämpötilan erotus ja tätä lämpötilaeroa hyödynnetään kaavalla 11. (2, s. 11.)

$$dT_{todellinen} = T_{mitattu} - T_{ympäristö} \quad \text{KAAVA 10}$$

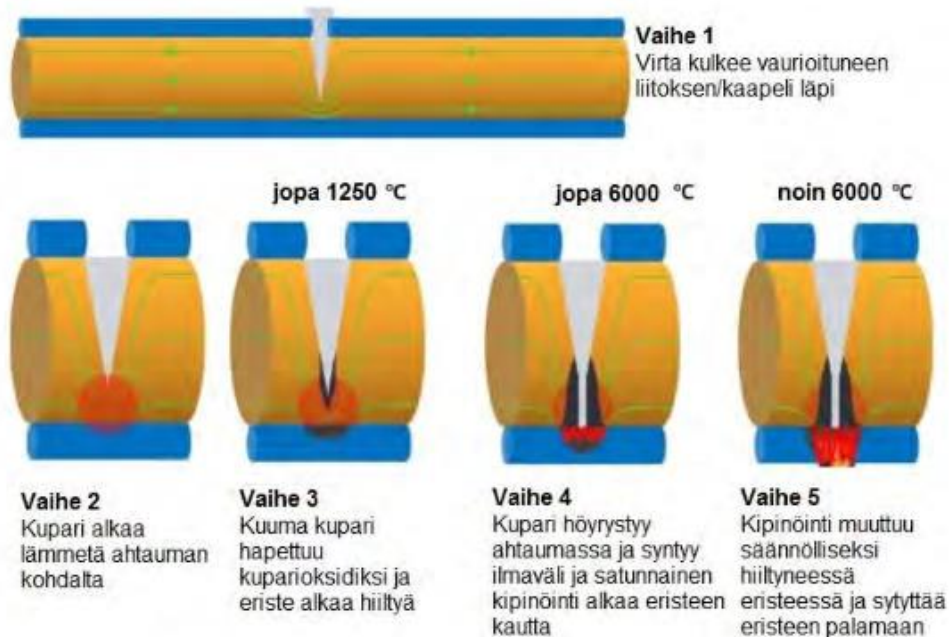
$$dT_{50\%kuormalla} = dT_{todellinen} * \left( \frac{I_{50\%kuormalla}}{I_{mitattu}} \right)^2 \quad \text{KAAVA 11}$$

### 3.3 Tyypillisiä lämpenemän aiheuttajia

#### 3.3.1 Liitosviat

Löysä liitos on yksi yleisimmistä sähkölaitteiston vikatyypeistä. Löysä liitos aiheuttaa lämpenemistä, joka tyypillisesti lisääntyy ajan kuluessa. Myös likaantuminen ja kosketuspintojen hapettuminen voivat kasvattaa liitoskohdan resistanssin niin suureksi, että läpi kulkeva virta ylikuumentaa liitoksen. Ylikuumentuneesta liitoksesta seuraa yleensä ensin johdineristeen sulaminen. Kun vierekkäisten johtimien väliltä sulaa eristeaine pois, aiheuttaa tämä usein myös oiko- tai maasulun. Liitokset ovat aina jossain määrin sähkövirtaa vastustavia, liitospintojen epäpuhtaudet, epätasaisuus ja pieni puristusvoima lisäävät piirin resistanssia. Täysin kunnossa olevissa sähkölaitteistoissa on tyypillisesti liitokset lämmenneet enemmän kuin muut sähkölaitteiston osat. (7, s. 7.)

Kuvassa 4 on esitetty huonon liitoksen tai kaapelivian etenemistä. Huono kontakti lämmittää liitosta, liitokseen syntyy hapettunut kerros, joka kasvattaa liitoksen resistanssia, syntyy hehkuva liitos, joka voi aiheuttaa tulipalon. Hehkuvan liitoksen voi tunnistaa siitä, että liitoksessa on kuumenemisen jälkiä, kuten liitoksen pinnat ovat tummuneet tai syöpyneet, liitoksen eriste on hiiltynyt liitoksen läheltä tai viereisissä liitoksissa on kuumuuden aiheuttamia jälkiä. Kaapelin tai liittimen pinnan hapettuminen heikentää aina sähköjohtavuutta, koska suurin osa sähkövirrasta kulkee materiaalin pinnassa. (7, s. 8.)



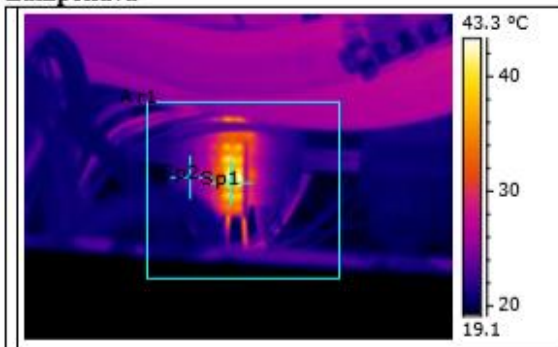
*KUVA 4. Lämpenemän eteneminen viallisessa liitoksessa (7, s. 94)*

Huonot alumiinikaapelin liitokset ovat alttiita löystymiselle. Liittimissä kosketuspaine saattaa pienentyä alumiinin virumisen eli väsymisen vuoksi. Tämä tarkoittaa, että liitoksen staattinen puristusvoima vähenee ajan myötä, jolloin liitoksen resistanssi kasvaa. Virheellisesti tehdyt liitokset lisäävät liitoksen yli olevaa resistanssia. Esimerkiksi suoraan toisiinsa liitetyt alumiini- ja kuparijohtimet aiheuttavat nopeasti kasvavaa hapettumista. Tällä tavoin liitoksen yli oleva resistanssi kasvaa ja sähkövirran vaikutuksesta kasvaa myös lämpenemä. (5.)

Puristusliitoksissa, joissa liitinmateriaali on eri materiaalia kuin johdin, saattaa liitoksen puristusvoima pienentyä materiaalien erisuuruisen lämpölaajenemisen takia. Tällaisia liittimiä, joissa liittimen materiaali on eri kuin johtimen käytetään muun muassa sähkökiukaissa ja lämminvesivaraajissa. (7, s. 7.)

Riviliittimissä voi olla kymmeniä tai satoja vierekkäisiä liitoksia, tällöin asennusvirheestä johtuva huonon liitoksen mahdollisuus on suurempi. Riviliittimet ovat alttiita ylikuumentumiselle senkin vuoksi, että vierekkäiset liitokset lämmittävät toisiaan ja lisäävät lämpenemää entisestään. Kuvassa 5 oikeanpuoleisin riviliitin on viallinen, mutta ylikuumentuneen liittimen lämpö johtuu myös viereisiin liittimiin sekä johtimiin.

Lämpökuva



Juokseva kuvanumero 1.

Valokuva



Todellinen kuvanumero/nimi: IR\_2297.jpg

Korjausprioriteetti: 2 Korjattava 2 kuukauden kuluessa

Mittauksen riviliitin on lämmennyt muita liittimiä enemmän. Virta kaikissa n. 2A. Liitin pitää vaihtaa.

**Mittaustyökalut ja niiden paikallisparametrit**

Mittaustyökalun nimi	lämpötila maksimi	lämpötila minimi	lämpötila keskiarvo	Heijastunut lämpötila	Emissiivisyys	Etäisyys
Sp 1	41.9 °C	41.9 °C	41.9 °C	20.0 °C	0.95	1.0 m
Sp 2	24.2 °C	24.2 °C	24.2 °C	20.0 °C	0.95	1.0 m
Sp 3	-	-	-	-	-	-
Alue 1	45.3 °C	-	23.2 °C	20.0 °C	0.95	1.0 m

**Kameran yleiset tiedot ja käytetyt mittausparametrit suoraan lämpökuvan kuvadatasta**

Kameratyyppi	FLIR E50	Kameran sarjanumero	49001255
Lämpötila-alue minimi	-20.0 °C	Optiikan kuvaus mm	FOL18
Lämpötila-alue maksimi	120.0 °C	Ulkoisen ikkunan läpäisy	1.00
Emissiivisyys	0.95	Ulkoisen ikkunan lämpötila	20.0 °C
Heijastuva lämpötila	20.0 °C	Suhteellinen kosteus	40.0 %
Sisäilman lämpötila	20.0 °C	Etäisyys kohteeseen	1.0 m

KUVA 5. Riviliittimen liitosvika

**3.3.2 Yliaallot**

Yliaaltoja synnyttävät sähköverkkoon virran ja jännitteen suhteen epälineaariset virtapiirin osat. Yliaaltoja aiheuttavien laitteiden verkosta ottama virta ei ole puhdasta siniaallon muotoista sähkövirtaa. Yliaaltoja aiheuttavat muun muassa kondensaattoriparitot, tasa-suuntaussillat, tyristorit, epätahtimoottorit ja generaattorit. Selkeimmin havaittava yliaaltovirroista johtuva lämpeneminen on nollajohdon ylikuormittuminen. Tämä johtuu yliaaltovirtojen erilaisesta käyttäytymisestä perustaajuiseen vaihtovirtaan verrattuna. Yliaalloista eniten ongelmia aiheuttavat kolmella jaolliset harmoniset yliaallot, jotka summautuvat nollajohtoon aiheuttaen tähän ylikuormitusta. (8, s. 14.)

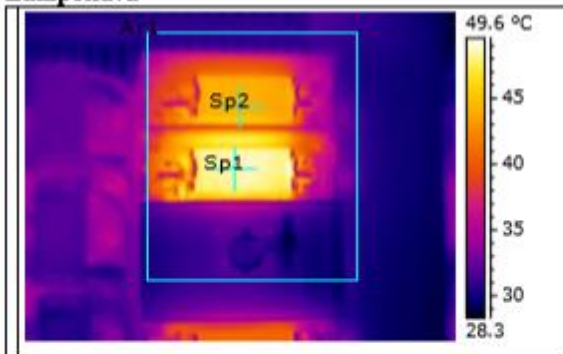
Yliaalloilla on paljon haitallisia vaikutuksia sähköverkossa. Yliaallot kasvattavat häviöitä sähkömoottoreilla tapahtuvassa voimansiirrossa ja sähköverkon muissa komponenteissa aiheuttaen lämpenemää. Yliaallot nopeuttavat muun muassa eristeiden vanhenemista ja kondensaattoreissa yliaalloista johtuva lämpeneminen lyhentää pariston elinikää. Muuntajissa yliaallot aiheuttavat ylimääräisiä häviöitä ja lämpenemistä, joka lyhentää muuntajan käyttöikä. Moottoreissa yliaallot aiheuttavat lisääntyneitä virtalämpöhäviöitä, heilurimomentteja, tärinää ja ääni-ilmiöitä. Yliaallot vaikuttavat haitallisesti myös elektronisiin laitteisiin kuten kelloihin, puolijohdekytkimiin ja katkaisijoihin. Yliaallot heikentävät sähkölaitteiden tehokertoimia sekä häiritsevät puhe- ja radiotaajuuksilla toimivia viestijärjestelmiä. (9.)

### **3.3.3 Epäsymmetrinen kuormitus**

Epäsymmetrinen kuormitus eli vinokuormitus tarkoittaa kolmivaiheverkossa sähkövirtojen suuruuden poikkeamaa eri vaihejohtimissa. Epäsymmetrian yleisin syy on, että sähkölaitteiston yksivaiheisia kuormia ei ole jaoteltu tasaisesti kaikille kolmelle vaiheelle, vaan kuormaa on kytketty huomattavasti enemmän yhdelle vaiheelle. Kuvassa 6 on vinokuormitustilanne. Lämpökuvasta voidaan selvästi nähdä, kuinka 2 vaiheen kahvasulake on lämmennyt muiden vaiheiden sulakkeita enemmän. Epäsymmetria voi johtua myös sähkönsyötön ongelmista, esimerkiksi sähköverkon yhden vaiheen yli- tai alijännite voi aiheuttaa epäsymmetriaa. Viat sähkölaitteissa, jotka käyttävät kolmivaihesähköä, voivat aiheuttaa myös vinokuormituksen. (10, s. 31.)

Kolmivaihejärjestelmässä nollajohtimessa ei kulje virtaa kuormituksen ollessa tasainen kaikilla vaiheilla. Vinokuormituksessa nollajohdossa kulkee kuormituksen epäsymmetrinen osuus, joka voi ylikuormittaa nollajohtoa aiheuttaen siihen lämpenemää (8, s. 14).

Lämpökuvakuva



Juokseva kuvanumero 2.

Valokuva



Todellinen kuvanumero/nimi: IR\_2301.jpg

Korjausprioriteetti: 3 Kohdetta seurattava säännöllisesti poikkeamien varalta

Kirkkokatu PK: 01 JK 01 varokekytkimellä ainakin hetkellisesti vinokuormaa. Tilannetta seurattava.

#### Mittaustyökalut ja niiden paikallisparametrit

Mittaustyökalun nimi	lämpötila maksimi	lämpötila minimi	lämpötila keskiarvo	Heijastunut lämpötila	Emissiivisyys	Etäisyys
Sp 1	48.4 °C	48.4 °C	48.4 °C	20.0 °C	0.95	1.0 m
Sp 2	44.0 °C	44.0 °C	44.0 °C	20.0 °C	0.95	1.0 m
Sp 3	-	-	-	-	-	-
Alue 1	49.7 °C	-	36.7 °C	20.0 °C	0.95	1.0 m

#### Kameran yleiset tiedot ja käytetyt mittausparametrit suoraan lämpökuvan kuvadatasta

Kameratyyppi	FLIR E50	Kameran sarjanumero	49001255
Lämpötila-alue minimi	-20.0 °C	Optiikan kuvaus mm	FOL18
Lämpötila-alue maksimi	120.0 °C	Ulkoisen ikkunan läpäisy	1.00
Emissiivisyys	0.95	Ulkoisen ikkunan lämpötila	20.0 °C
Heijastuva lämpötila	20.0 °C	Suhteellinen kosteus	40.0 %
Sisäilman lämpötila	20.0 °C	Etäisyys kohteeseen	1.0 m

## KUVA 6. Epäsymmetrinen kuormitus

### 3.3.4 Mitoitusvirheet

Sähkölaitteiston suunnittelu tai asennusvaiheessa tehdyt mitoitusvirheet voivat aiheuttaa sähkölaitteistossa vaarallisen korkeita lämpötiloja. Liian pieni johdinpoikkipinta lisää resistanssia ja näin ollen sähkövirran vaikutuksesta lämpenemää.

Sähkölaitteiston alimitoitettut komponentit ovat myös vaarallisen lämpenemän aiheuttajia. Standardinmukaisella mitoituksella pyritään varmistamaan, ettei sähkölaitteiston normaaliikäytössä aiheudu lämpenemän vaikutuksesta haittaa sähkölaitteiston komponenteille tai tulipalon vaaraa.

## 4 LÄMPÖKUVAUSLAITTEISTO JA VARUSTEET

### 4.1 Lämpökuvaajan varusteet

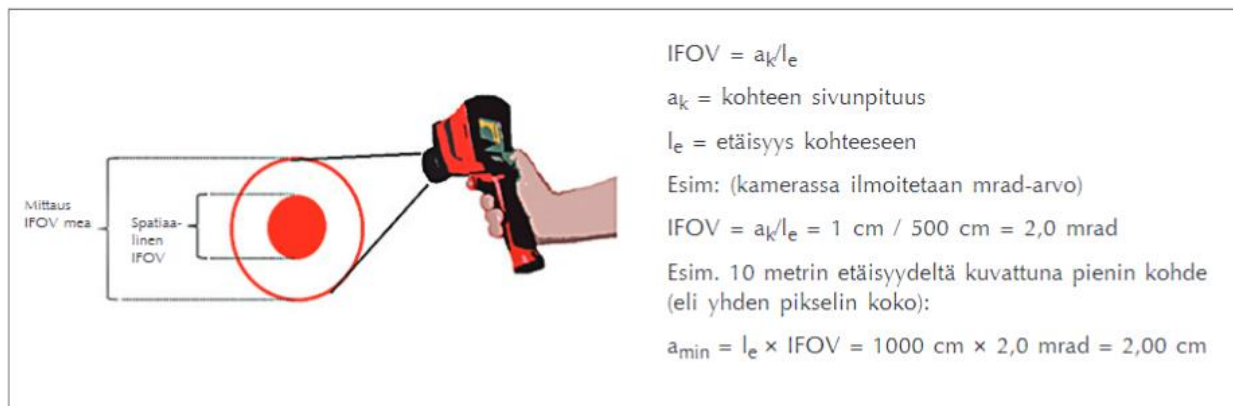
Lämpökameran lisäksi lämpökuvaajalla tulisi olla mukana myös muita työtä helpottavia ja sähköturvallisuutta parantavia välineitä. Lämpökuvaajalla tulisi olla mukana jännitetyöhön soveltuvat pihtiampeerimittari ja yleismittari sähkölaitteiston virtojen ja jännitteiden mittaamista varten. Sähköturvallisuuden varmistamiseksi on oltava jännitteenkoetin, riittävä suojavaatetus ja jännitetyövälineet. Sähkölaitteiden ja keskusten kansien avaamiseen tulee olla tarvittavat työkalut, kuten meisselit ja ruuvinvääntimet.

Mikäli lämpökameralla ei voi ottaa kuvattavasta kohteesta digitaalista kuvaa, täytyy mukana olla myös digitaalikamera. Lämpökameroiden akkujen kesto on tavallisesti jatkuvassa käytössä noin kolmesta neljään tuntia. Mikäli kuvauksia tehdään pitempiä aikoja tai kylmissä olosuhteissa, kannattaa kameraan hankkia lisäakku ja ulkoinen laturi. (2, s. 6.)

### 4.2 Lämpökameran toiminta ja erottelukyky

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin. Se mittaa kuvattavan kohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn määrää. Lämpökamera muuttaa säteilyn lämpötilatiedoksi, josta se muodostaa digitaalisen lämpökuvan kameran näytölle (2, s. 4). Lämpökamera mittaa infrapunasäteilyn pitkäaaltoaistia, eikä kohteen värillä ole merkitystä mittaustulokseen. (2, s. 11.)

Lämpökameroille määritellään kahdenlaista erottelukykyä, jotka ovat spatiaalinen- ja mittauserottelukyky. Lämpökameran spatiaalinen erottelukyky kertoo, kuinka pieni yksityiskohta voidaan nähdä lämpökameran näytöllä (IFOV). Mittauserottelukyky on pienin yksityiskohta, jonka lämpökamera kykenee mittaamaan. Luotettavan lämpötilatiedon saamiseksi mitattavan kohteen tulisi aina olla suurempi kuin kameran kuvaruudulla oleva tähtäin. Kuvassa 7 on havainnollistettu lämpökameran erottelukykyä. (2, s. 4.)



KUVA 7. Lämpökameran erottelukyky (2, s. 4)

### 4.3 Lämpökuvauslaitteiston vaatimukset

Lämpökameran valmistaja tai toimittaja on vastuussa laitteiston teknisten ominaisuuksien määrittelystä. Valmistajan tai toimittajan on mainittava laitteiston tarkkuus teknisissä dokumenteissa. Sähkölaitteiston lämpökuvaukseen käytettävän laitteiston tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- näytöltä on nähtävä vähintään yhden pisteen reaaliaikainen lämpötila
- lämpötila-arvot on voitava mitata jälkikäteen koko kuva-alueelta ohjelmistoa apuna käyttäen
- lämpökuvaa-aineisto on voitava arkistoida sähköisessä muodossa
- lämpötilamittauksen tarkkuuden on oltava  $\pm 2^\circ\text{C}$ :een tarkkuudella  $100^\circ\text{C}$ :eeseen asti ja yli  $100^\circ\text{C}$ :n lämpötiloilla  $\pm 2 \%$ :n tarkkuudella.
- mahdollisuus tehdä korjauksia emission ja taustaheijastuksen osalta ohjelmallisesti
- lämpökameran pikselimäärän on oltava vähintään 19200
- yhden pikselin esittämä pinta-ala tulee olla alle  $30\text{mm}^2$  yhden metrin etäisyydeltä kuvattaessa
- lämpötilaerojen tulee olla mitattavissa  $0,1^\circ\text{C}$ :n tarkkuudella (2, s. 3.)

#### **4.4 Lämpökameran kalibrointi**

Lämpökameran tarkkuus tulee tarkistaa vähintään kahden vuoden välein käyttämällä vertailulaitteistoa, jonka tarkkuus on varmennettu vertailulaitteiston valmistajan ohjeiden mukaan. Kalibrointi tulee teettää kalibrointeja tekevässä yrityksessä. (2, s. 7.)

Lämpökuvaaja voi itse tarkkailla kuvauslaitteistonsa tarkkuutta vertaamalla lämpökameran tarkkuutta toiseen kalibroituun lämpökameraan. Lämpökameroita vertaamalla ei kuitenkaan päästä kovin tarkkaan lopputulokseen, koska parhaimmillaan lämpökameran tarkkuus on  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Suuntaa antavaa kuvauslaitteiston tarkkuuden seuranta voi tehdä myös niin, että mittaa lämpötilan korkean emission omaavasta kohteesta kalibroidulla ja säädetyllä pintalämpötilamittarilla ja vertaa sen tulosta lämpökameralla mitattuun lämpötila-arvoon. (2, s. 7.)

## **5 LÄMPÖKUVAAJAN PÄTEVYYS**

### **5.1 Lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset**

Lämpökuvaajan pätevyyttä hakevan henkilön on hallittava kuvauslaitteiston toiminta, ja hänen on tiedettävä sen rajallisuudet sekä mittaustulosten vaihtelut. Lämpökuvaajan tulee myös osata arvioida kuvauslaitteistonsa toimintavalmius ja tarkkuus. Kuvaajan on osattava tarvittaessa myös kalibroida laitteistonsa. (2, s. 2.)

Lämpökuvaajan on hallittava sähkötekniikan perusteet, tunnettava kuvattavan laitteiston komponentit ja niiden normaalit käyttölämpötilat. Lämpökuvaajan on myös tiedettävä milloin lämpötilat eivät ole normaaleja sekä tiedettävä lämpötilaerojen syyt. (2, s. 2.)

### **5.2 Pätevytyminen ja pätevyyden ylläpito**

Lämpökuvaajan pätevyyteen vaaditaan Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy:lle hyväksytysti suoritettu kirjallinen koe, sekä hyväksytysti suoritettu näyttökoe. Lisäksi Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy:lle on toimitettava yhden todellisen lämpökuvauskohteen lämpökuvausraportti. Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy myöntää vain yhdenlaisia lämpökuvaajan pätevyksiä. Vain LK-1-luokan pätevyksiä on myönnetty 21.9.2017 jälkeen. Tätä ennen on myönnetty myös LK-2-luokan pätevyksiä. Kokeen voi uusia kerran, mikäli kokeen uusija ei saa toisella yrittämällä koetta hyväksytysti suoritettua, on hänellä mahdollisuus osallistua uuteen kirjalliseen kokeeseen ja näyttökokeeseen vuoden kuluttua. (2, s. 3.)

LK-1-luokan lämpökuvaajan tulee olla itsenäiseen työhön kykenevä sähköalan ammattilainen. Hän voi suorittaa sähkölaitteiston lämpökuvauksia itsenäisesti ilman toisen henkilön valvontaa. LK-1-luokan lämpökuvaajan todistuksen saaminen edellyttää, että hakijalla on sähköturvallisuuslain edellyttämä kelpoisuus tehdä sähköalan työtehtäviä, tämä tulee osoittaa joko sähköpätevyytodistuksella tai sähköalan koulu- ja työtodistuksilla. Hakijalla tulee olla voimassa oleva SFS 6002 -sähköturvallisuuskoulutus sekä vähintään voimassa oleva hätäensiapukoulutus. (2, s. 2.)

LK-2-luokan lämpökuvaajan pätevyyden omaava henkilö ei ole sähköalan ammattilainen, mutta hänellä on riittävä tietotaito lämpökuvauksien suorittamista varten. LK-2-luokan lämpökuvaaja ei voi tehdä sähkölaitteistojen lämpökuvauksia itsenäisesti, vaan ainoastaan itsenäiseen työskentelyyn kykenevän sähköalan ammattihenkilön kanssa. Vain sähköalan ammattihenkilö saa avata tai poistaa jännitteisten osien kansia tai koteloita. LK-2-luokan lämpökuvaaja ei saa millään kehon osallaan ulottua jännitetyöalueelle lämpökuvauksen aikana. Jännitetyöt tulee suorittaa aina sähköalan ammattihenkilö. Lämpökuvausraporttia laatiessa tulee myös olla mukana sähköalan ammattihenkilö. (2, s. 2.)

Lämpökuvaajan pätevyys on voimassa viisi vuotta. Pätevyystodistus uusitaan, mikäli hakija ylläpitää ammattitaitoaan tekemällä sähkölaitteistojen lämpökuvauksia sekä huolehtii, että SFS 6002 -koulutus ja hätäensiapukoulutus ovat voimassa. Pätevyyden uusimista anottaessa on SETI Oy:lle toimitettava todistukset voimassaolevista SFS 6002 – ja hätäensiapukoulutuksesta. Lisäksi on lähetettävä selvitys tehdyistä lämpökuvauksista sekä täydellinen raportti yhdestä suoritetusta lämpökuvauskohteesta pätevyyden viimeisen voimassaolovuoden aikana. (2, s. 3.)

## 6 SÄHKÖLAITTEISTON LÄMPÖKUVAUS

Ennen lämpökuvauksen aloittamista tulisi miettiä kuvattavan kohteen mahdollisia vikoja ja suunnitella, kuinka lämpökuvauksen avulla viat voitaisiin havaita. Lämpökuvauksella löydetään tyypillisesti löysät liitokset, lian tai hapettumisen aiheuttamat huonot kontaktit, väärin tehdyt liitokset, epäsymmetriset kuormitukset, ylikuormitukset, väärin mitoitettut suojalaitteet ja -kaapeloinnit, sekä harmonisten yliaaltojen aiheuttamat lämpenemät. (2, s. 11.)

### 6.1 Sähköturvallisuus

Lämpökuvaus tehdään aina sähkökeskusten jännitteisiin osiin, jolloin on otettava huomioon sähköiskun ja valokaaren vaara. Lämpökuvaukset on tehtävä aina riittävän etäisyyden päästä sähkölaitteiston jännitteisistä osista. Vain sähköturvallisuuslain 1135/2016 73 § edellyttämä sähköalan ammattihenkilö saa avata tai poistaa jännitteisten osien suoja-levyjä tai osia. (2, s. 7.)

Sähkökeskusten lämpökuvausta helpottamaan on mahdollista asentaa lämpösäteilyä läpäiseviä ikkunoita keskusten kansiin. IR -ikkunoita hyödyntämällä voidaan säästyä keskusten kansiin avaamiselta ja lämpökuvaukset voidaan tehdä turvallisemmin koskematta jännitteisiin osiin. Mikäli lämpökuvaaja joutuu olemaan kosketuksissa jännitteisiin osiin, tulee kuvaajalla olla jännitetyöhön tarkoitettut suojavälineet ja työkalut. Kumihanskat ja visiiri tulee lämpökuvaajalla olla mukana. Lämpökuvausta ei luokitella jännitetyöksi, vaikka toimenpiteet kohdistuisivatkin jännitetyöalueelle. Lämpökuvauksessa ei tehdä muutoksia sähkölaitteistoon, joten sitä ei lueta jännitetyöksi. (2, s. 7.)

### 6.2 Lämpökuvauksen valmistelu

Kuvattavan sähkölaitteiston tulee olla normaalikuormituksessa kuvaushetkellä. Sähkölaitteiston kuormitus on oltava vähintään 40% nimelliskuormituksesta vähintään puolen tunnin ajan ennen lämpökuvauksien aloittamista. Mikäli sähkölaitteiston kuormitus on alle 20%, ei kuvauksia tulisi suorittaa ollenkaan, koska tällöin ei kaikkia sähkölaitteistossa piileviä vikoja voisi lämpökuvauksella havaita. (2, s. 8.)

Ulkona kuvatessa on selvitettävä ulkoilman tiedot ja huomioitava ne lämpökameran asetuksissa. Huomioitavia asioita ulkona kuvatessa ovat lämpötila, tuulen nopeus, sekä onko sää pilvinen vai poutainen. Ääriolosuhteissa lämpökuvauksia ei tulisi suorittaa. (2, s. 8.)

Kiinteistön sähkölaitteiston lämpökuvausta suunnitellessa olisi hyvä tietää kiinteistön lämmitys- tai jäähdytysjärjestelmät sekä järjestelmien kuormitustilanteeseen vaikuttavat asiat. Jos rakennuksessa on sähkölämmitys tai jäähdytys, on ulkoilman lämpötilalla tällöin vaikutusta näiden kuormitusvirtoihin. Kuvaukset olisi parasta suorittaa, kun sähkölaitteiston kuormitus on korkeimmillaan, tällöin lämpötilavaihtelut havaitaan lämpökuvauksella helpommin. Lämpökuvattavaan kohteeseen on oltava esteetön näkymä, lämpösäteily ei läpäise edes esimerkiksi läpinäkyviä kosketussuojia. Keskusten ja koteloiden kannet on poistettava tai avattava riittävästi ennen lämpökuvausta. (2, s. 7.)

### **6.3 Emissioarvon määrittäminen**

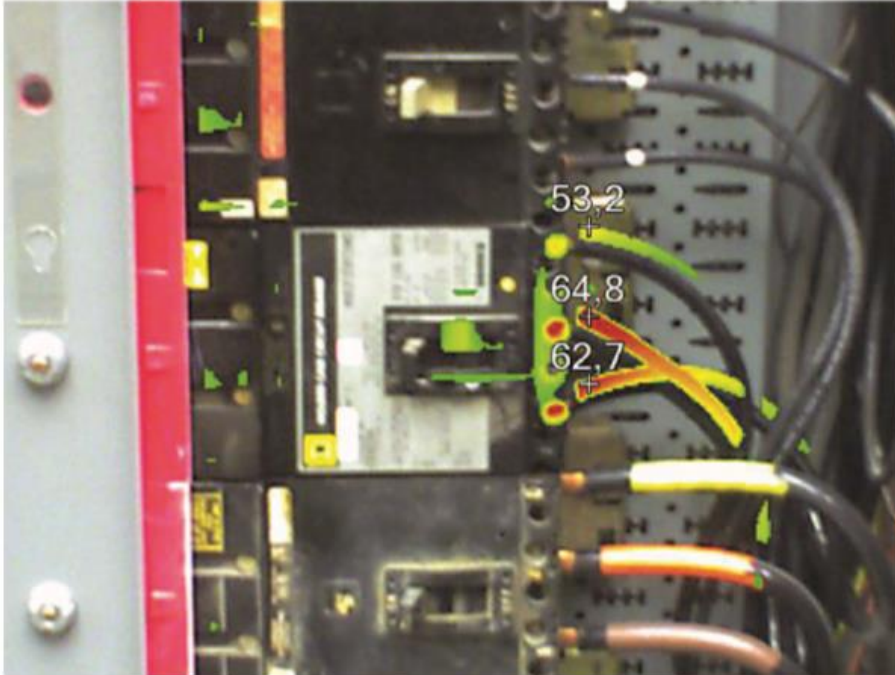
Lämpökameran avulla voidaan määrittää kappaleen pinnan emissioarvo. Mikäli halutaan määrittää kappaleen pinnan emissioarvo tarkasti tai sitä ei muuten tiedetä, voidaan se määrittää mittaamalla ensin kappaleen pintalämpötila luotettavalla lämpötilamittarilla ja asettamalla kameran emissiokerroin siten, että lämpökamera näyttää samaa lämpötilaarvoa kuin lämpömittari.

Toinen tapa emissioarvon määrittämiseksi on, että asettaa kappaleen pintaan materiaalia, jonka emissioarvo tiedetään, ja mitataan lämpötila tästä materiaalista. Tämän jälkeen osoitetaan lämpökameralla kappaleeseen ja säädetään emissioarvoa niin, että kuvaruudulla näkyy kappaleen todellinen lämpötila. (3, s. 10.)

### **6.4 Lämpötilahälytyksen käyttö**

Lämpötilahälytys on lämpökuvan muoto, jossa vain liiallisesti lämmenneet kohteet näkyvät korostetusti. Valokuvan päälle piirtyy korostus lämpökuvana kohteista, jotka ylittävät kameraan määritellyt raja-arvot. Tämä helpottaa liiallisesti lämmenneiden kohteiden havaitsemista. Tämän toiminnon käyttö helpottaa erityisesti sellaisten kohteiden lämpökuvauksia, joissa on paljon pieniä erillisiä kohteita, esimerkiksi riviliittimien kuvaksessa toiminto on hyvin käyttökelpoinen. Kuvasta 8 voidaan nähdä, kuinka lämpötilahälytystoiminnolla kuumat kohteet erottuvat tavanomaista lämpökuvaa selvemmin. (2, s. 6.)

Lämpökuvauksia ei tulisi kuitenkaan tehdä pelkästään lämpötilahälytystoiminnolla, koska tällöin ei havaita poikkeavia lämpötilaeroja lämpökameraan asetetun lämpötilahälytyksen lämpötilan raja-arvon alapuolella. Lämpökuvauksella pyritään etsimään ylikuumentuneiden sähkölaitteiston osien lisäksi lämpötilan poikkeamia samanlaisten komponenttien ja kuormitusilanteiden välillä.



*KUVA 8. Lämpötilahälytys (2, s. 6)*

## 7 LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

ST -kortti 53.62:ssa on ohjeistettu, mitä asioita lämpökuvauksraportin tulisi sisältää. Raportissa tulee olla selostus lämpökuvauksen laajuudesta, sekä selkeä luettelo laitteistoista, jotka ovat lämpökuvauksen kohteena. Mikäli jotain alkuperäiseen suunnitelmaan kuuluvaa kohdetta ei kuvattu, tulee kohteen tietoihin merkitä ”ei kuvattu”, sekä ilmoitettava syy, miksi kyseistä kohdetta ei kuvattu. Jos kuvaukset toteutettiin suunnitellusti, on merkittävä ”ei poikkeamia”. Raporttiin on merkittävä myös kuvattavan keskuksen nimelisivirta ja kuvaushetken kuormitusvirta. Raportin vaadittu sisältö:

- kansilehti
  1. lämpökuvauksen tehneen yrityksen nimi ja yhteystiedot
  2. raportin laatijan nimi ja pätevyystodistuksen numero
  3. lämpökuvauksen tilaaja, yhteystiedot ja yhteyshenkilö
  4. lämpökuvauksen aika ja ajanjakso
- sisällysluettelo
- jokaisen lämpökuvan yhteydessä
  1. lämpökuvan ottajan nimi ja pätevyystodistuksen numero
  2. käytetyn kameran malli ja sarjanumero sekä tieto käytetystä optiikasta
  3. kuvauskohteen yksilöinti
  4. lämpökuvan päivämäärä ja aika
  5. hetkelliset kuvauksen aikana mitatut kuormitusvirrat
  6. kuvaustilan sisäilman lämpötila
  7. kuvausetaisyys metrin tarkkuudella
  8. käytetyt emissiokertoimet ja taustalämpötilat piste tai aluekohtaisesti
  9. käytetty lämpötila-asteikko ja väriskaala
  10. digitaalinen kuva ja lämpökuva vain havaituista poikkeamista
- raportin lopussa
  1. yhteenveto, josta tulee selvittää toimenpiteitä vaativat kohteet riittävän selvästi
  2. asiakkaan kanssa mahdollisesti sovittu uusintakuvausajan ajankohta (2, s. 12.)

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä lämpökuvausohje sekä raportointiohje. Molemmat työn tavoitteena olleet asiat saatiin toteutettua suunnitellusti. Lämpökuvausohje toimii lämpökuvaajan apuna kuvauskohteissa ja raportointiohje nopeuttaa lämpökuvauksien oikeanlaista raportointia.

Lämpökuvausohje päätettiin tehdä Excel -ohjelmalla, jotta sitä olisi helppo muokata ja kehittää. Lämpökuvausohjeeseen on tarkoitus lisätä tulevaisuudessa lämpökuvauksien havaintoja ja kehittää näin koko ajan lämpökuvausohjetta. Lämpökuvauksissa löydettyjen vikojen jatkuva kokoaminen lämpökuvausohjeeseen auttaa pitkällä aikavälillä lämpökuvaajaa ymmärtämään, mitkä sähkölaitteiston komponentit ovat riskialttiimpia lämpenemän aiheuttajia. Lämpökuvauksessa kaikki kirjaukset, kuten virtamittaustulokset, lämpökuvien numerot ja muut huomiot on tavallisesti kirjattu vapaasti paperille tai kenttätyöloMAKEESEEN. Mikäli lämpökuvaajalla olisi mukana pieni kannettava tietokone tai tabletti, kaikki kirjaukset voisi tehdä sähköisenä. Samalla lämpökuvausohjetta voisi hyödyntää tehokkaasti lämpökuvausten aikana ja tarvittaessa päivittää siihen tehtyjä havaintoja.

Tämän opinnäytetyön aikana perehdyin lämpökameroihin, lämpökameroiden ohjelmistoihin, lämpökuvausraportin laadintaan, lämpösäteilyn käyttäytymiseen ja lämpökuvauksessa käytettäviin suojavälineisiin. Teorian lukeminen lämpösäteilystä ja sähkölaitteiston lämpenemisestä vei alkuvaiheessa huomattavasti aikaa, jotta ymmärsin riittävästi aiheen taustoja. Opinnäytetyö oli todella hyödyllinen Are Oy:lle mutta myös minulle, mikäli tulevaisuudessa haen lämpökuvaajan pätevyyttä.

## LÄHTEET

1. Lämpökuvauksen teoria. 2003. Saatavissa: <https://www.infradex.com/wp-content/uploads/2016/08/teoria.pdf> . Hakupäivä 10.3.2019.
2. Sähkölaitteistojen lämpökuvaus. 2018. ST-kortisto, ST 53.62. Espoo: Sähköinfo Oy
3. Aspelin, Saku 2011. Sähkökomponenttien lämpökuvaus. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma.
4. Ominaisvastus. 2019. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Ominaisvastus> . Hakupäivä 10.3.2019.
5. Sähkölaitteiston lämpökuvaajan koulutus, kurssimateriaali. 2015. Espoo: Sähköinfo Oy.
6. Suurtalo, Ismo 2014. Sähkökeskusten lämpökuvaus osana ennakoivaa kunnossapitoa. Opinnäytetyö. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma.
7. Alhanen, Juha 2015. Jakokeskusten sähköisten liitosten vikaantumismekanismit ja sähköpalot. Saatavissa: <https://docplayer.fi/1436107-Jakokeskusten-sahkoisten-liitosten-vikaantumismekanismit-ja-sahkopalot.html> . Hakupäivä 10.3.2019.
8. Nilsson, Antti 2015. Elektronisten laitteiden yliaallot. Insinöörityö. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma.
9. Korpinen, Leena. Yliaalto-opus. Saatavissa: <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/ylialto-opus.pdf> . Hakupäivä 10.3.2019.

10. Hakkarainen, Ilkka 2014. Lämpökuvaus sähkökunnossapidossa. Opinnäytetyö.  
Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma.