



Jesse Leinonen

Sähkölaitteiston lämpökuvaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

31.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Jesse Leinonen
Otsikko: Sähkölaitteiston lämpökuvaus
Sivumäärä: 35 sivua
Aika: 31.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat: Lehtori Eero Kupila
Projektipäällikkö Heikki Sinkko

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä lämpökuvaukseen ennakoivana vikojen hakumenetelmänä, tutustua yleisimmin vikaantuviin sähkölaitteistojen komponentteihin sekä tuottaa lämpökuvauksen raportointipohja täyttöohjeineen Caverion Suomi Oy:n käyttöön.

Lämpökuvaukseen perehtymisessä käytettiin tiedonlähteinä lämpökameran ohjeita, lämpökameran käyttäjän tutkintovaatimuksia, standardeja, sähköturvallisuuslakia ja opinnäytetöitä ja yhtä maisteritasoista tutkimusta. Käytännön kokemusta ja tietoa hyvän raporttipohjan tekemiseen sain tekemällä lämpökuvauksen yritykselle. Näiden perusteella laadittiin ohjeistus ja lopullisen raporttimuoto.

Tavoitteena on oppia tunnistamaan tyypillisimmät vikaantumismekanismit ja niiden oikea raportointi. Työn lopputuloksena sai Caverion Suomi Oy raportointimallin ja sen täyttöohjeen, jolloin yrityksen raportointi olisi mahdollisimman yhteneväinen tuoden lisäarvoa yrityksen tekemiin lämpökuvauksiin.

Avainsanat: lämpökuvaus, lämpökamerakuvaus

Abstract

Author: Jesse Leinonen
Title: Thermal Imaging of Electrical Equipment
Number of Pages: 35 pages
Date: 31 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation engineering
Professional Major: Electrical power engineering
Supervisors: Eero Kupila, Senior Lecturer
Heikki Sinkko, Project manager

The purpose of the thesis work was to clarify thermal imaging as a predictive fault retrieval method and familiarize the reader with the most commonly failed components of electrical equipment, and to produce a thermal imaging reporting template with filling instructions for Caverion Suomi Oy.

The information sources used for this thesis were the thermal camera instructions, the degree requirements of the thermal camera user, the standards, the Electrical Safety Act and one master's degree thesis study. I gained practical experience and knowledge to make a good report template by doing a thermal imaging for the one property. On the basis of these, guidelines and the final form of the report were prepared.

The aim was to learn to identify the most typical failure mechanisms and their correct reporting. The result of the work was Caverion Suomi Oy's reporting model and its filling instructions, so that the company's reporting would be as consistent as possible, adding value to the company's thermal imaging.

Keywords: Thermal, imaging, camera

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleistä lämpökameroista	1
2.1	Lämpökuvaus	2
2.2	Lämpökameran tärkeimmät ominaisuudet	3
2.2.1	Optiikka	3
2.2.2	Herkkyys eli lämpökameran kyky erottaa lämpötilaeroja	5
2.2.3	Lämpökameran tarkkuus	5
2.2.4	Lämpökameran käyttöönotto ja kalibrointi	6
3	Lämpenemisen aiheuttamat vaarat sähkölaiteistossa	6
3.1	Sähköpalot	6
3.2	Sähkölaiteiston vikaantumismekanismit	7
4	Sähkölaiteistot	9
4.1	Sähkölaiteiston määrittely	9
4.2	Sähkölaiteistojen lämpeneminen	9
4.3	Sähkölaiteistojen komponentit ja niiden lämpökuvaus	10
4.3.1	Johtimet ja kaapelit	10
4.3.2	Sulakkeet	11
4.3.3	Johdonsuojakatkaisijat	14
4.3.4	Muuntajat ja moottorit	17
4.3.5	Releet, moottorisuojat, kontaktorit ja lämpöreleet	17
4.4	Sähkölaiteiston tarkastukset	18
4.4.1	Varmennustarkastus	18
4.4.2	Varmennustarkastuksen ajankohta, sisältö ja suorittaja	19
4.4.3	Määräaikaistarkastus	19
4.4.4	Lämpökuvaus määräaikaistarkastuksen yhteydessä	20
5	Lämpökuvaajan vaatimukset	21
5.1	Lämpökuvaustutkinto	21
5.2	Lämpökuvaajan tarvitsema yleistietoisuus	22
5.3	Lämpökuvauspätevyyden ylläpito	22

6	Lämpökuvaaminen	23
6.1	Lämpökuvaajan varusteet	23
6.2	Ennakoivat työvaiheet	23
6.3	Lämpökuvaus	25
6.4	Raportin sisältämät tiedot	27
7	Raportointi	28
7.1.1	Kohteen yksilöinti ja kuvauksen tekijä	29
7.1.2	Lämpökuvaamisen tiedot ja kohteen yleiskuvaus	30
7.1.3	Kuvauksessa käytetyt mittalaitteet	30
7.1.4	Kuvauksen yhteenveto	31
7.1.5	Kuvien raportointi	31
8	Yhteenveto	34
	Lähteet	36
	Liitteet	
	Liite vain työn tilaajan käyttöön.	

Lyhenteet

FPA: Focal Plane Array. Lämpökameran "pikseleiden" määrää kuvaava arvo.

FOV: Field OF View. Lämpökameran linssin aukeamiskulma.

IFOV: Instantaneus Field Of View. Arvo, joka kertoo lämpökameran pikseleiden koon.

1 Johdanto

Oikein ja laadukkaasti tehdyllä lämpökuvauksella voidaan ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa ja myöhemmin huoltojen yhteydessä havaita vikoja, joita ei muuten havaittaisi ja jotka voisivat aiheuttaa vaara- ja riskitilanteista. Oikein ajoitettujen korjaustoimenpiteiden avulla voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä lämpökuvaukseen, kuvattaviin komponentteihin ja luoda Caverion Suomi Oy:lle lämpökuvausmittausten raporttipohja, jota käytetään jatkossa sähköasennusprojekteissa sähkölaitteistojen viareitsinnässä. Opinnäytetyössä käydään läpi myös lämpökuvaukselle asetetut vaatimukset.

Opinnäytetyön tekeminen ja lämpökameran toimintaan perehtyminen perustuu Caverion Suomi Oy:lle tekemääni lämpökuvaukseen, jonka yhteydessä suoritin lämpökuvauksen tutkinnon. Työssä ei esitetä tekemiäni mittauksia, vaan lopputuloksena on raporttipohja, joka on hyväksytty Caverion Suomi Oy:ssä käytettäväksi kaikissa lämpökuvauksissa, joita tehdään yrityksen toimesta.

2 Yleistä lämpökameroista

Oikein ja laadukkaasti tehdyllä lämpökuvauksella voidaan ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa ja myöhemmin huoltojen yhteydessä havaita vikoja, joita ei muuten havaittaisi ja jotka voisivat aiheuttaa vaara- ja riskitilanteista. Oikein ajoitettujen korjaustoimenpiteiden avulla voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä lämpökuvaukseen, kuvattaviin komponentteihin ja luoda Caverion Suomi Oy:lle lämpökuvausmittausten raporttipohja, jota käytetään jatkossa sähköasennusprojekteissa sähkölaitteistojen

vianetsinnässä. Opinnäytetyössä käydään läpi myös lämpökuvaajalle asetetut vaatimukset.

Opinnäytetyön tekeminen ja lämpökameran toimintaan perehtyminen perustuu Caverion Suomi Oy:lle tekemääni lämpökuvaukseen, jonka yhteydessä suoritin lämpökuvaajan tutkinnon.

2.1 Lämpökuvaus

Lämpökuvauksessa kappaleiden lähettämä infrapunasäteily mitataan ja mitaustieto muutetaan visuaaliseen muotoon eli lämpökuviksi. Kaikki huonelämpötilaa lähellä olevat kappaleet emissoivat infrapunasäteilyä, ja koska tämä säteily on verrannollinen kappaleen lämpötilaan, voidaan lämpökuvauksella kuvastaa ympäristöä ilman näkyvää valoa. Lämpökuvausta voidaan sähkölaitteiden vianetsinnän lisäksi käyttää monissa kohteissa kuten tulipaloissa savun läpi näkemiseen, palopesäkkeiden löytämiseen ja terveysthuollossa fysiologisten muutosten seurannassa. Lämpökuvat ovat visualisointeja ympäristön lähettämästä infrapunasäteilyn energian määrästä, mutta kappaleiden lämpötiloja niillä ei voida mitata tarkasti. (Similä 2019, 2.)

Similän (2019, 2) mukaan tietyistä kappaleista tulevan infrapunasäteilyn energiamäärä koostuu seuraavista komponenteista: emittoitunut energia, siirtynyt energia ja heijastunut energia, joista emissioinen energia on se kokonaisenergian osa, jota halutaan mitata määritettäessä jonkin kappaleen absoluuttista lämpötilaa.

Lämpökamerat suorittavat useita laskutoimituksia ja algoritmeja ilmoittaessaan kappaleen lämpötilamuutoksen. Lämpökuvauksella on paljon etuja perinteiseen lämpötilojen mittaustapoihin nähden ja sillä on nykyisin suuri merkitys erilaisissa käyttökohteissa. Arvelen, että lämpökameroiden kehittyessä mahdollisuudet kasvavat entisestään. Esimerkiksi James Webb -teleskoopissa käytetään täysin uudelleen suunniteltua IR-aaltopituudella toimivaa sensoria teleskoopin

pääinstrumenttina. Infrapunalaitteille keksitään jatkuvasti uusia sovelluksia.

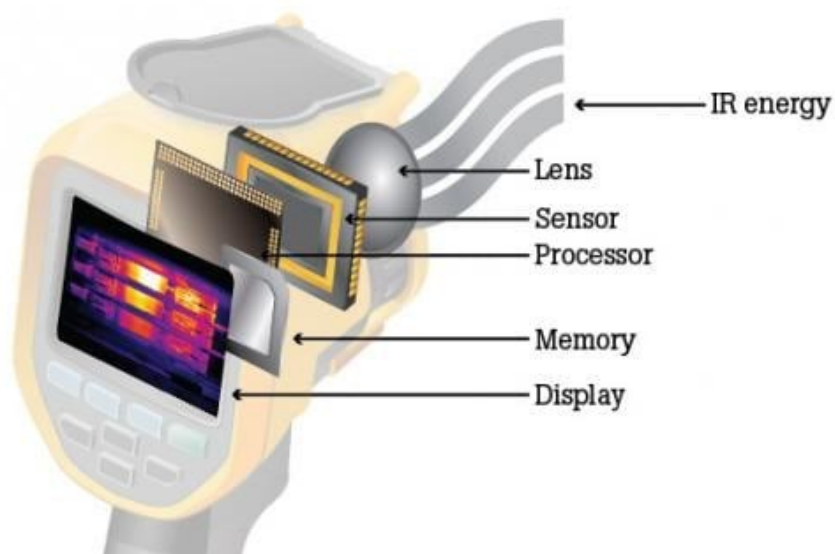
2.2 Lämpökameran tärkeimmät ominaisuudet

Lämpökameran valmistajalla on vastuu teknisten ominaisuuksien määrittelyssä. Valmistaja toimittaa laitteen mukana tekniset ominaisuudet. (ST 53.62 2019, 3.)
Opinnäytetyössä käyttämäni laite oli Fluke Ti300.

Lämpökameran kolme tärkeintä osaa, ovat linssit, kuvasensori ja prosessori. Linssit kokoavat heijastuvan valon sensorille, joka koostuu pikseleistä, joista jokainen on valonilmaisin kuten valokuvadiodi. Lämpökameran prosessori muuttaa pikseleiden diodien synnyttämän jännitteen värikuvaksi. (Zaeed 2021, 18.)

2.2.1 Optiikka

Lämpökameran optiikalla on suuri merkitys mittausten onnistumiseen. Lämpökameroiden linssi on usein valmistettu hiilipinnoitetusta germaniumista, joka päästää IR-aallonpituudella olevan säteilyn lävitseen ja kohdistaa säteilyn ilmaimeen. Ilmaisimien yhteydessä puhutaan usein FPA (Focal Plane Array) arvosta, joka tarkoittaa, montako pikseliä kuvassa on. Kuvassa 1 on esitetty lämpökameran rakenne. Sähkölaitteiston lämpökuvaamiseen käytettävän lämpökameran sensorin on Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy:n lämpökuvauslaitteistolle asetettujen vaatimusten mukaan oltava vähintään 160 x 120 pikseliä eli yhteensä 19 200 pikseliä. (Sähkölaitteistojen lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä 2021, 7.)



Kuva 1. Lämpökameran rakenne (Kuinka infrapunakamera toimii 2022.)

Lämpökuvaan mahtuvaa kuvausaluetta määritetään FOV (Field OF View) arvolla, joka kertoo linssin avauskulman. Esimerkiksi Fluke TiS55+ -kameralle on ilmoitettu linssin avauskulmaksi $28^\circ \times 20^\circ$ mistä pystytään laskemaan kuvattavan alueen pinta-ala halutulle etäisyydelle (katso kaava 1 alla). (TiS55+/TiS75+, tuotteen tekniset tiedot 2022, 2.)

Lämpökameroiden pikselien erottelukyky kerrotaan IFOV (Instantaneous Field Of View) arvolla, joka annetaan yleensä milliradiaaneissa (mRad). Esimerkiksi IFOV voidaan kertoa lämpökameran tiedoissa muodossa $\text{IFOV} = 2,5 \text{ mRad}$ mikä tarkoittaa kameras pikseleiden koon olevan $2,5 \text{ mm} \times 2,5 \text{ mm}$, kun kuvausmatka on yksi metri. (ST 53.62 2019, 4.)

Kuvausalueen pinta-ala voidaan laskea kaavalla 1, jossa käytetään Fluke Ti55+-arvoja ja metrin kuvausetäisyyttä.

$$A = \left(\left(\tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) * l \right) * 2 \right) * \left(\left(\tan \left(\frac{\beta}{2} \right) * l \right) * 2 \right) \quad (1)$$

A = Pinta-ala

l = Kuvausetäisyys = 1 m

α = Vaakasuunnan aukeamiskulma 28 °

β = Pystysuunnan aukeamiskulma 20 °

Syöttämällä arvot kaavaan 1, saadaan kuvattavan alueen pinta-alaksi 176 cm² kun kuvausetäisyys on 1 m ja käytetty kamera on Fluke Ti55+.

2.2.2 Herkkyys eli lämpökameran kyky erottaa lämpötilaeroja

Lämpökameran tärkeimpiä ominaisuuksia on kyky erottaa tarkasti lämpötilaeroja. Lämpökameroiden herkkyydestä käytetään termiä NETD (Noise Equivalent Temperature Difference), joka kertoo lämpökameran sensorin erottelukyvyn. NETD arvo kerrotaan esimerkiksi muodossa NETD ≤100 mK, mikä kertoo kameralan pystyvän erottamaan 0,1 °C (100 mK = 0,1 K = 0,1 °C) eron pikseleiden välillä. Esimerkiksi Fluken TiS55+ lämpökameran NETD arvo on 40 mK.

(TiS55+/TiS75+ tuotteen tekniset tiedot 2022, 2.)

2.2.3 Lämpökameran tarkkuus

Lämpökamerat eivät ole erityisen tarkkoja pelkän lämpötilan mittaukseen ja lähes poikkeuksetta lämpökameroiden lämmönmittaustarkkuus on ±2 °C, mikä kertoo lämpökameran tarkkuuden, kun mitataan lämpötiloja-, jotka ovat alle 100 °C. Kameroiden epätarkkuudesta johtuen lämpökameroita ei voida käyttää

tarkkuusmittalaitteina. Ne on kehitetty mittaamaan lämpötilaeroja. (Lämpökameratermistö 2022.)

2.2.4 Lämpökameran käyttöönotto ja kalibrointi

Kuten kaikki mittalaitteet tulee lämpökameratkin kalibroida säännöllisesti. Lämpökuvauslaitteisto tulee kalibroida vähintään kahden vuoden välein suorittamalla vertailukuvaus vertailulaitteistolla tai toimittaa laitteet kalibrointeja tekeväälle yritykselle. Kalibroinnilla varmistetaan, että laitteella saadaan valmistajan lupaamat luotettavat tulokset ja vältetään virheellisistä tuloksista mahdollisesti aiheutuvat vahingot. (ST 53.62 2019, 7.)

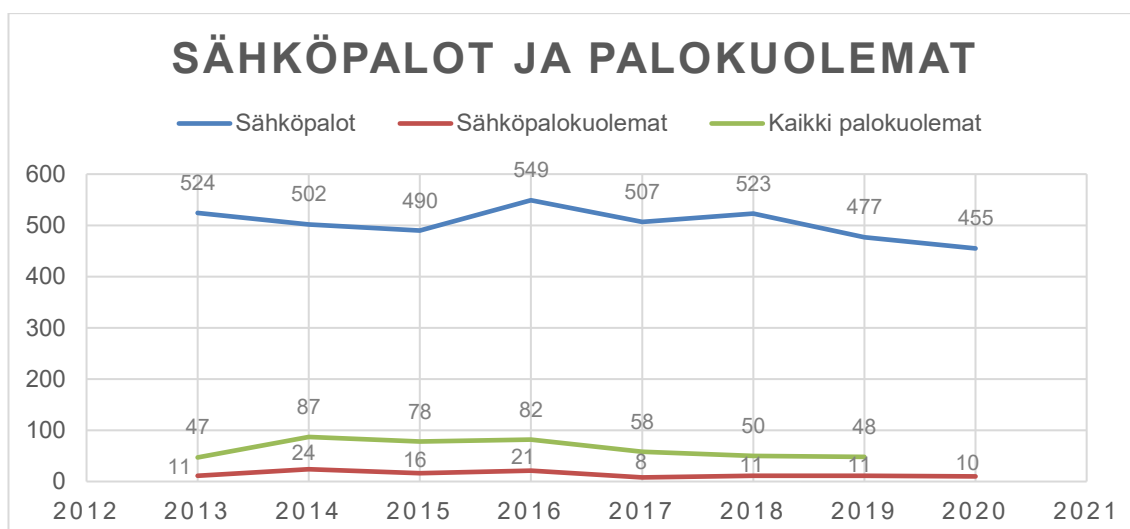
3 Lämpenemisen aiheuttamat vaarat sähkölaitteistossa

Sähkölaitteiston lämpeneminen on aina haitaksi laitteistolle. Laitteistojen lämpeneminen vähentää laitteiston käyttöikää merkittävästi ja liiallinen lämpeneminen voi aiheuttaa vaaratilanteita kuten sähköpalot, hehkuvat liitokset ja laitteistojen vikaantumiset.

3.1 Sähköpalot

Sähköpaloiksi lasketaan palot, joissa syttymisen aikaansaavana energiana ovat olleet sähköenergia. Useimpina sähköpalojen aiheuttajina on sähkölaitteiden tai laitteistojen viat, väärä tai huolimaton käyttö tai laitteistojen huono kunto. (Sähköpalot ja -tapaturmat 2020.)

Suomessa tapahtui vuosien 2013–2020 välillä keskimäärin noin 500 sähköpaloa vuodessa, jotka johtivat keskimäärin 14 ihmisen kuolemaan. Sähköpalojen osuus kuolemaan johtaneista tulipaloista on keskimäärin 22 % kaikista palokuolemista. Kaaviossa 1 on esitetty sähköpalot ja palokuolemat vuosilta 2013–2020. (Sähköpalot ja -tapaturmat 2020)



Kaavio 1. Sähköpalot ja palokuolemat (Pelastuslaitosten Pronto- rekisteri).

Vuonna 2015 paloista 13 % sai alkunsa sähkölaitteistosta kuten sähkökeskuksesta, pistorasioista, tai kaapeloinneista.

Sähkölaitteistojen lämpökuvauksella voidaan havaita ajoissa vikoja, jotka voivat korjaamattomina johtaa pahimmillaan suuronnettomuuksiin, valtaviin korjauskustannuksiin ja vahingonkorvauksiin. Lämpökuvaukset on todettu tehokkaaksi keinoksi sähkölaitteistojen vianetsinnässä ja parhaimmillaan niillä voidaan estää ihmishenkien menetyksiä. (Sähköpalot ja -tapaturmat 2020.)

3.2 Sähkölaitteiston vikaantumismekanismit

Sähkölaitteistojen vikaantuminen on yleensä hidaskeski, jossa eri laitteistojen komponenttien ominaisuudet ensin muuttuvat, kunnes laitteisto saavuttaa lopullisen vikaantumisen pisteen. Laitteiston lämpötilan nousu aiheuttaa yleensä ketjureaktion, joka voi esimerkiksi olla seuraavanlainen.

- Materiaalissa on valmiiksi vaurio, joka aiheuttaa esim. liitoksen lämpenemisen ja lämpenemisen seurauksena materiaalin ominaisuudet muuttuvat.

- Liitoksen rakenteet heikkenevät lämpenemisen seurauksena heikentäen liitoksen sähkömekaanisia ominaisuuksia.
- Liitoksen ja sitä ympäröivissä materiaaleissa syntyy kemiallisia muutoksia.
- Kemialliset muutokset edesauttavat vian leviämistä ja eristerakenteiden vaurioitumista.
- Liitoksesta saattaa tulla hehkuva, kun liitokset löystyvät materiaalien ominaisuuksien pettäessä. (Sähkölaitteiston lämpökuvauus 2022, 62.)

Hehkuvat liitokset ovat aina paloturvallisuusriski leimahduspistettä korkeamman lämpötilansa vuoksi. Taulukossa 1 on esitetty yleisimpiä vikaantumissyitä, jossa huono liitos on yleisin vikaantumissyö.

Taulukko 1. Sähkökomponenttien yleisimmät vikaantumissyöt. (Cawfield 2003, Infrared inspection Data).

Sähkökomponenttien yleisimmät vikaantumissyöt	
Huono liitos	55,12 %
Komponenttien löystyminen	11,81 %
Materiaalien väsyminen	11,02 %
Ylikuormitus	6,30 %
Huono jäähdytys	3,94 %
Ali-/ylijännite	3,15 %
Riittämätön johdinpinta-ala	2,36 %

4 Sähkölaitteistot

4.1 Sähkölaitteiston määrittely

Sähkölaitteisto muodostuu toiminnallisesta kokonaisuudesta, johon sisältyy sähköjohdot, keskuskeskukset, asennustarvikkeet ja muut toiminnallisuuteen vaadittavat komponentit. (Sähkölaitteistot 2022.)

Sähkölaitteiston tulee täyttää laitteistolle asetetut säädökset ja määräykset, jolloin laitteisto on turvallinen. Laitteiston turvallisuudesta vastaa laitteiston haltija.

Sähkölaitteistot jaetaan kolmeen luokkaan riippuen mitä asennuksia laitteisto sisältää.

- Luokan 3 sähkölaitteisto sisältää verkkoyhtiöiden sähköverkot.
- Luokan 2 sähkölaitteisto sisältää yli 1000 V:n osia tai yli 1600kVA pienjänniteliittymän.
- Luokan 1 sähkölaitteistossa on enemmän kuin kaksi asuinhuoneistoa tai se koostuu muista kuin asuinrakennuksista, joissa pääsulakkeen koko on yli 35 A kuten liike, - teollisuusrakennukset ja julkiset rakennukset.

Oheiset luokitukset määritetään sähköturvallisuuslaissa 1135/20216, 44 §.

4.2 Sähkölaitteistojen lämpeneminen

Sähkölaitteiden lämpeneminen syntyy, kun sähkölaitteistojen johtimissa kulkeva virta resistanssin johdosta muuttuu lämpöhäviöksi. Lämpöhäviöiden johdosta sähkölaitteisto voi kuumentua liiallisesti, vaikka laitteiston johtimet ovat mitoitettu oikein. Tästä syystä on tärkeää mitata laitteiston kuormitustaso lämpökuvauksen yhteydessä. (Suomalainen 2011, 6.)

4.3 Sähkölaitteistojen komponentit ja niiden lämpökuvaus

Sähkölaitteistot koostuvat useista komponenteista, jotka muodostavat kokonaisuuden. Kokonaisuus voi muodostua useiden komponenttien yhdistelmästä tai se sisältää yksinkertaisimmillaan vain muutaman komponentin. Komponentteihin kuuluu passiivisia komponentteja kuten kaapelit, johtimet, liittimet, muuntajat ja sulakkeet sekä aktiivisia komponentteja, joita voivat olla esimerkiksi releet, kontaktorit ja aktiivikatkaisijat. Kaikissa edellä mainituissa komponenteissa voi tapahtua lämpenemistä ja seuraavissa kappaleissa käydään läpi joitain niiden lämpenemiseen liittyviä yksityiskohtia. (Sähkölaitteistot 2022.)

4.3.1 Johtimet ja kaapelit

Johtimet ja kaapelit ovat oikein mitoitetuna turvallisia, eivätkä vikaannu kovin helposti ilman ulkoisia mekaanisia vaurioita. Väärin mitoitetut kaapelit voivat kuitenkin aiheuttaa tulipalovaaran, mikäli kaapelit kuumentuvat liikaa liian suuren kuormituksen johdosta. Tästä syystä kaapelivalmistajat antavat kaapeleille lämpöarvot, joiden sisällä kaapeli toimii turvallisesti ja luotettavasti. Kaapeleiden ja johtimien lämpötilan ylärajana pidetään yleisesti 70 °C rajaa, mikäli eristeen materiaali on PVC tai PEX. (Asennuskaapelit 2022.)

Kaapelivalmistajat määrittelevät kaapelillensa korkeimman lämpötilakestoisuuden. Esimerkiksi Prysmian AFUX™-HF C-PRo 300/500 V asennuskaapelin lämpötilaraja on jatkuvassa käytössä 70 °C ja vikatilanteessa 160 °C viiden sekunnin ajan. (Asennuskaapelit 2022.)

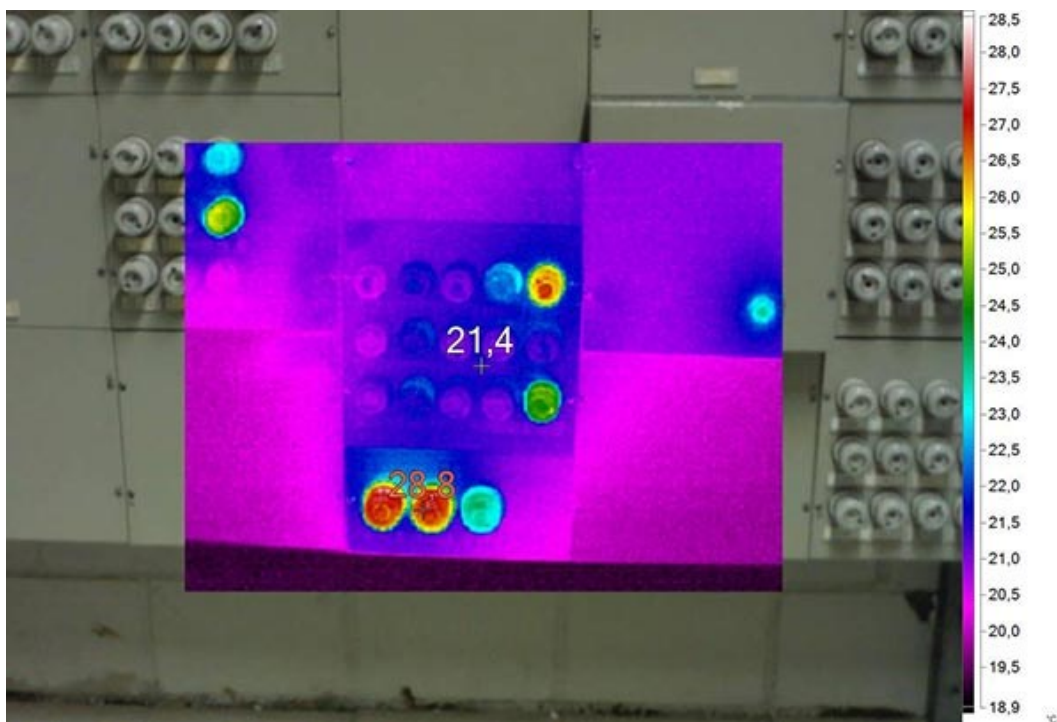


Kuva 2. Prysmian asennuskaapeli (Asennuskaapelit 2022.)

Jos kaapelin lämpötilarajat ylittyvät, voi kaapelin ulkoinen suoja-kuori vaurioitua ja aiheuttaa oikosulkuriskin, mikä voi aiheuttaa sähköpalon ja vaurioittaa muita rakenteita.

4.3.2 Sulakkeet

Sulakkeiden tehtävänä on sähkölaitteistossa toimia joko ylikuormitus- tai oikosulkusuojana. Tyypillisimmät sulakkeet toimivat gG -käyrän katkaisuaajalla, joka ei ole liian nopeatoiminen sähkökäyttöihin, joissa on suuria käynnistysvirtoja kuten esimerkiksi moottoreissa ja puhaltimissa. Tyypillisesti laitteen vaatiman käynnistysvirran jälkeen virta putoaa alhaisemmalle nimellisvirralle, jolloin sulake toimii optimaalisella käyttövirralla. Sulakkeiden hitaampi toiminta-aika tekee sulakkeesta edullisen ja käytännöllisen suojausmenetelmän sähkökeskuksiin, jotka syöttävät kiinteitä sähkölaitteita. Kuvassa 3 on esitetty tulppasulakekeskuksen lämpökuva. (D1-2017 käsikirja, 135.)



Kuva 3. Tulppasulakekeskuksen lämpökuva, jossa huomataan tulppasulakkeille ominainen lämpeneminen, kun ryhmiä kuormitetaan. Lämpenemisestä ilmoittaa kuvassa näkyvä punainen väri. (Lämpökameroista on moneksi 2022.)

Sulakkeet voivat lämmetä liikaa esimerkiksi tilanteissa, joissa niissä olevaa varokekanta ei ole kierretty tarpeeksi tiukalle, jolloin sulakkeen ja pohjakosketin välillä oleva resistanssi kasvaa lämmittäen sulaketta. Jos sulakkeita vaihdetaan virrallisena, voi sulake myös hitsaantua syntyvän valokaaren seurauksena varokepohjaan kiinni aiheuttaen resistanssin kasvun.

Kahvasulakkeita käytetään suurissa keskuksissa, joissa tarvitaan suurta virran-
katkaisukykyä joka useimmilla valmistajilla-, on yli 100 kA. Kahvasulakkeita valmistetaan 10–1250 A virroille. (ABB kahvasulakkeet 2022).

Kahvasulakkeiden (kuva 4) yleisin lämpenemisen syy on huono liitos. Esimerkiksi jos kahvaa ei ole painettu liittimeen kunnolla pohjaan asti tai jos liittimen liitosta ei ole kiristetty oikeaan momenttiin, seuraa sulakkeen kuumeneminen.



Kuva 4. ABB 250 A:n kahvasulake (Pienjännitetuotteet 2022).

Sulakkeiden ja liittimien metalliosien kestävät maksimilämpenemät (Kelvin) on esitetty taulukoissa 2 ja 3.

Taulukko 2. Sulakkeiden korkeimpia sallittuja lämpenemiä (ST 53.62 2019, taulukko 6).

Koskettimet	Jousikuormitteinen kosketin		Ruuvi kiinnitteinen kosketin	
	Koteloimaton	Koteloitu	Koteloimaton	Koteloitu
Paljas kupari	40	45	55	60
paljas messinki	45	50	60	65
Tinapäällysteinen	55	60	65	65
Nikkelipäällysteinen	70	75	80	85
Hopeapäällysteinen	Viereisten osien lämpötilojen mukaan			

Taulukko 3, Liittimien korkeimpia sallittuja lämpenemiä (ST 53.62 2019, taulukko 7).

Liittimet	Koteloimaton	Koteloitu
Paljas kupari	55	60
paljas messinki	60	65
Tinapäällysteinen	65	65
Nikkelipäällysteinen	70	70
Hopeapäällysteinen	Viereisten osien lämpötilojen mukaan	

4.3.3 Johdonsuojakatkaisijat

Johdonsuojakatkaisijoita käytetään nimensä mukaisesti johdonsuojaukseen ylikuormitukselta ja oikosululta. Esimerkiksi ABB S200 -sarjan johdonsuojakatkaisijat toimivat kahdella mekanismilla, joista ensimmäinen on terminen laukaisu, joka toimii ylikuormitussuojana ja toinen on magneettinen laukaisu, joka toimii oikosulkusuojauksena. (Pienjännitekojeet 2022, 6.)

Johdonsuojakatkaisijoita (kuva 5) käytetään yleensä virtapiireissä ennen sähkölaitetta jakokeskuksen virtaa syöttäville ryhmäjohdoille, joiden perässä voi olla mm. pistorasioita, valaisimia tai pieniä moottoreita.

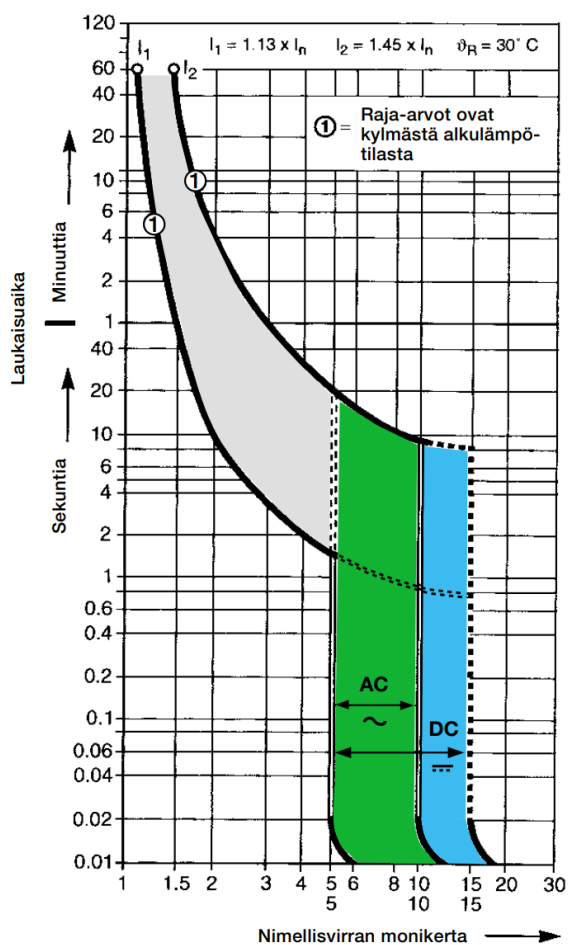


Kuva 5. ABB 3- vaiheinen johdonsuojakatkaisija (Pienjännitekojeet 2022, 6).

Johdonsuojakatkaisijoita on saatavilla erilaisilla laukaisukäyrillä (kuva 6), jotka kuvaavat johdonsuojakatkaisijoiden toiminta-aikaa kuormituksessa:

- B-käyrä, joka soveltuu käytettäväksi resistiivisille kuormille kuten lämminvesivaraajille.
- C-käyrä soveltuu käytettäväksi resistiivisille ja induktiivisille kuormille kuten valaistukselle ja pistorasioille.
- D-käyrä, joka soveltuu käytettäväksi voimakkaasti induktiivisille kuormille kuten suurille moottoreille.
- K-käyrän johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät ovat valmistaja kohtaisia ja soveltuvat käytettäväksi muuntajille ja suurille moottoreille.
- Z- ja A-käyrä, joka soveltuu käytettäväksi puolijohteiden ja virta- ja mittamuuntajien suojaamiseen. (Sähkösuunnittelua 2018, Automaattisulakkeet)

Laukaisukäyrä: C



Kuva 6. C-tyypin laukaisukäyrä (Pienjännitekojeet 2022, 33.)

Yleisimmin johdonsuojakatkaisijoiden lämpeneminen johtuu löysistä liitoksista. Johdonsuojakatkaisijoiden lämpenemä ei saa ylittää taulukon 4 arvoja nimellis-kuormitusvirralla.

Taulukko 4. Johdonsuojakatkaisijoiden korkeimpia sallittuja lämpenemiä (ST 53.62 2019, taulukko 5.)

Osa	K
Liittimet	60
Ulkoiset osat, joihin voi koskea käsin, kun laitetta käytetään	40
Käyttöelinten ulkoiset metalliosat	25
Muut ulkoiset osat kuten kiinnityskohdat ja katkaisijan sivut	60

4.3.4 Muuntajat ja moottorit

Muuntajat ja moottorit lämpenevät normaalin käytön aikana. Muuntajan kestämä suurin lämpötila määräytyy muuntajan eristeaineen mukaisesti. Yleisesti voidaan olettaa muuntajien olevan lämmönkestoisuudeltaan luokissa B 130 °C, F 155 °C tai R 180 °C. Moottoreiden lämmönkestoisuus on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5, Moottoreiden korkeimpia sallittuja lämpenemiä (ST 53.62 2019, taulukko 8.)

Määritelmä	Eristysluokka		
	B	F	H
Sallittu kuumimman pisteen lämpötila	130	155	180
Sallittu vastusmittauksen avulla määritetty käämityksen lämpötila	120	145	165
Sallittu käämityksen lämpenemä, kun ympäristön korkein lyhytaikainen lämpötila on +40	80	105	125

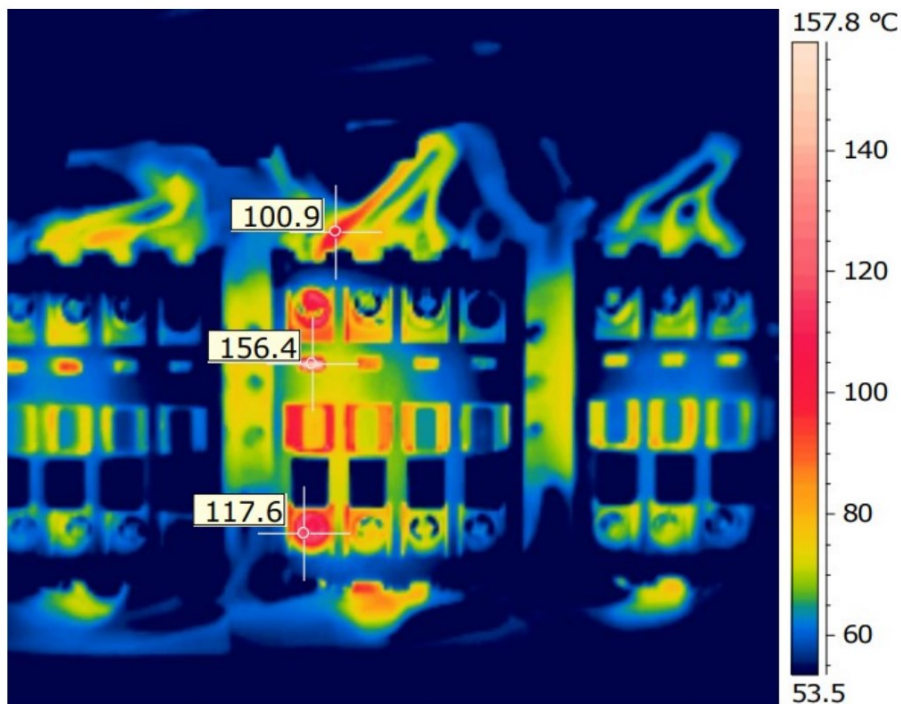
Lämpökuvattaessa muuntajia tai moottoreita on syytä keskittyä virtapiiriin liittimiin, joissa voi ilmetä samankaltaisia vikoja kuin muissakin sähkölaitteistojen komponenteissa.

4.3.5 Releet, moottorisuojat, kontaktorit ja lämpöreleet

Releet, moottorisuojat, kontaktorit ja lämpöreleet ovat sähkölaitteistojen aktiivisia komponentteja, jotka toimivat virtapiirien ohjauksessa ja sähkölaitteiden suojana.

Aktiivisissa komponenteissa on tyypillisesti kela tai bi-metallitoiminen aukeava tai sulkeutuva kosketin, joka kytkee virran joko päälle tai pois. Tyypillisesti kelat ja bi-metalli kytkimiä sisältävät laitteet lämpenevät kuormituksessa ja etenkin lämpöreleille on tyypillistä lämmitä normaalikuormituksellakin, mikä voi lämmitää myös ympärillä olevia laitteita. Kyseisten laitteiden lämmittävä vaikutus on syytä huomioida, kun lämpökuvataan laitteistoa. Mikäli näitä ei ole huomioitu, voi raportista syntyä virheellinen kuva sähkölaitteiston kunnosta.

Kuvassa 7 on lämpökuvattu kontaktori, joka on vaurioitunut ja kuumentunut yli sallitun lämpötilan. Lämpötilan korkeus aiheuttaa johtimen PVC-suojakuoren sulamisen, mikä johtaa oikosulkuun ja sähköiskun vaaraan.



Kuva 7. Lämpökuvattu vaurioituneesta kontaktorista (Tainio 2019).

4.4 Sähkölaitteiston tarkastukset

4.4.1 Varmennustarkastus

Sähtöturvallisuuslaki määrittää varmennustarkastuksen pidettäväksi käyttöönottotarkastuksen lisäksi kaikille 1, 2 ja 3 - luokan sähkölaitteistoille koskien myös merkittäviä muutos - ja laajennustöitä. Merkittäviä muutos - ja laajennustöitä voivat olla esimerkiksi pääkeskuksen vaihtaminen tai rakennukseen rakennettava lisäosa, joista on säädetty tarkemmin valtioneuvoston asetuksissa sähkölaitteiston lisä- ja laajennustyöt. (Sähtöturvallisuuslaki 1135/2016, 45 §.)

4.4.2 Varmennustarkastuksen ajankohta, sisältö ja suorittaja

Sähköturvallisuuslaissa 1135/2016 on varmennustarkastuksen ajankohta, sisältö ja suorittaja määritelty seuraavasti:

46 § Varmennustarkastuksen ajankohta, sisältö ja suorittaja

Varmennustarkastus on tehtävä ennen sähkölaitteiston ottamista varsinaiseen käyttötarkoitukseensa tai tietyn ajan kuluessa sen jälkeen. Varmennustarkastuksessa on riittävässä laajuudessa pistokokein tai muulla soveltuvalla tavalla varmistettava, että sähkölaitteisto täyttää sähköturvallisuudelle ja sähkömagneettiselle yhteensopivuudelle säädetyt vaatimukset ja sähkölaitteistolle on tehty asianmukainen käyttöönottotarkastus. Varmennustarkastukseen on aina sisällytettävä kohteessa mahdolliset olevat lääkintätilat, räjähdysvaaralliset tilat ja palovaaralliset tilat.

Varmennustarkastuksen voi tehdä 75 §:ssä tarkoitettu valtuutettu laitos tai valtuutettu tarkastaja.

Varmennustarkastuksen tekijän on laadittava sähkölaitteiston haltijan käyttöön tarkastustodistus ja kiinnitettävä pääkeskukseen tai vastaavaan kohtaan tarkastustarra. Laitteiston haltijan on säilytettävä tarkastustodistus vähintään kymmenen vuotta.

Valtioneuvoston asetuksella säädetään tarkemmin varmennustarkastuksen ajankohdasta erityyppisille laitteistoille sekä tarkastustodistuksen ja tarkastustarran sisällöstä.

4.4.3 Määräaikaistarkastus

Kaikille luokan 1 ja 2 sähkölaitteistoille on tehtävä määräaikaistarkastus kymmenen vuoden välein lukuun ottamatta asuinrakennuksia. Mikäli asuinrakennuksen yhteydessä on yli 35 A:n pääsulakkeilla varustettuja muita kuin asuinikäytössä olevia tiloja, tulee näihin tiloihin myös tehdä määräaikaistarkastus kymmenen vuoden välein (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 49 §).

Määräaikaistarkastuksesta huolehtiminen kuuluu sähkölaitteiston haltijan tehtäviin (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 49 §). Sähkölaitteiston haltijalla tarkoitetaan kiinteistön tai laitteen omistajaa.

Määräaikaistarkastuksen suorittaja on määritelty Sähköturvallisuuslaissa 1135/2016 seuraavalla tavalla: "Määräaikaistarkastuksen voi tehdä 75 §:ssä tarkoitettu valtuutettu laitos tai valtuutettu tarkastaja".

Yritykselle tai henkilölle myönnettävän valtuutuksen myöntää Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy.

4.4.4 Lämpökuvaus määräaikaistarkastuksen yhteydessä

Lämpökuvauksen tekeminen määräaikaistarkastuksen yhteydessä lisää tarkastuksen varmuutta, jolloin voidaan havaita vikoja tai tulevia riskejä, joita ei silmin voida havaita. Ennen varsinaista vikaantumista tehdyt korjaavat toimenpiteet säästävät huollon kustannuksia.

Lämpökuvausraportti voidaan esimerkiksi vaatia tehtäväksi ennen rakennuksen luovutusta tilaajalle, jolloin raportti toimii lähtötason tarkastuksena. Tämän lisäksi voidaan vaatia kuvaus tehtäväksi esimerkiksi kolmen vuoden päähän luovutuksesta tai määräaikaistarkastuksen yhteyteen, jolloin kuvauksen vertailukohtana käytetään ennen luovutusta tehtyä raporttia.

Kahden lämpökuvausraportin vertailu voi auttaa määräaikaistarkastajaa havaitsemaan tulevia ongelmia. Esimerkiksi lämpökuvauksessa voidaan havaita luovutuksen jälkeen syntynyt vinokuorma, jossa kolmivaiheisen sähköjärjestelmän yksi vaiheista toimii suuremmalla kuormituksella, joka rasittaa sähkölaitteistoa. Tällainen esimerkin mukainen vinokuorma voi syntyä luovutuksen jälkeen monella eri tavalla, jos tiloja ei käytetä alkuperäisesti suunnitellulla tavalla. Esimerkiksi jos ATK-luokan laitteisto on siirretty tavalliseen koululuokkaan, jossa tietokoneiden pistorasiat eivät ole tasaisesti jaoteltuna vaiheille, aiheutetaan tällä vinokuorma, joka voi kuormittaa sähkölaitteistoa ei toivotulla tavalla aiheuttaen lämpenemän sähkökeskukseen tai syöttäviin kaapeleihin.

5 Lämpökuvaajan vaatimukset

Sähkölaitteiston lämpökuvaajalta vaaditaan Suomessa LK1 tai LK2 (Lämpökuvaus pätevyys 1 ja 2) pätevyys, jonka myöntää Henkilöstö- ja yritysarviointi SETI Oy. LK2 pätevyys eroaa LK1 pätevyydestä niiltä osin, että kuvauksen suorittajan ei tarvitse olla sähköalan ammattilainen. LK2-pätevyuden omaava henkilö ei saa yksin lämpökuvata sähkölaitteistoa. Vuoden 2019 jälkeen on myönnetty vain LK1 pätevyksiä. LK1 pätevyuden voi saada vain itsenäiseen työhön kykenevä sähköasentajan pätevyuden omaava henkilö. (Sähkölaitteistojen lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä 2021.)

Pätevyysvaatimukset on määritelty SETI Oy:n ohjeessa (Sähkölaitteistojen lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä). Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy on lakisääteisten pätevyystodistusten myöntäjä. SETI Oy myöntää tele-, turva- ja kuntotutkijapätevyksiä sekä vaaditut ehdot täyttävälle yrityksille tele - ja rakennusautomaatiourakoitsija hyväksyntöjä sekä TU- ja TT- sertifiointeja. SETI Oy noudattaa pätevyuden todentamisessa standardia EN ISO/IEC 17024/2003 soveltuvin osin. (Yleiset vaatimukset henkilösertifiointia varten perustetuille elimille 2021.)

5.1 Lämpökuvaustutkinto

Lämpökuvaustutkinto koostuu kahdesta osuudesta: ensimmäinen on teoriakoe, jossa testataan tutkinnon suorittajan teoreettista osaamista ja toinen on käytännön koe, jossa testataan tutkinnon suorittajan lämpökameran käytön osaamista. Molemmat osakokeet on suoritettava hyväksytysti. Tutkinnossa hallittavaksi vaadittavat asiat kerrotaan SETI Oy:n ohjeessa. (Sähkölaitteiston lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä 2021.)

Tutkintoa suorittavan on teoriaosuudessa hallittava termodynamiikan ja säteilyn perusteet, joihin kuuluvat keskeiset aiheet kuten: konduktio, konvektio, säteily, emissio, läpäisy, heijastuma ja sähkömagneettinen spektri. Lisäksi on hallittava infrapunamittauksen tekniikka eli tutkintoa suorittavan tulee pystyä tulkitsemaan

lämpökuvia ja ymmärtää ympäristötekijöiden vaikutukset kuvaamiseen. Tutkinossa tulee myös pystyä erottelemaan virheellisten mittaustulosten aiheuttajat kuten heijastavat pinnat ja ymmärtää laitteiston tekniset vaatimukset. Käytäntöosuudessa tutkinnon suorittajan on osattava käyttää lämpökameraa ja tunnettava kameran ominaisuudet, kuten mittausalueet, tarkennus ja laitteiston kalibroinnin tarkistus. (Sähkölaitteiston lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä 2021.)

5.2 Lämpökuvaajan tarvitsema yleistietoisuus

Lämpökuvaajan on ymmärrettävä, miten erilaisten lämpösäteilyilmiöiden avulla voidaan tarkistaa järjestelmän tila ja kunto. Hänen on osattava sähkölaitteiden lämpökuvauksen perusteet, kuvattavien sähköisten komponenttien ominaisuudet ja niiden toimintalämpötilat tai osattava etsiä oikea tieto niistä, hallittava tyypillisten vikojen diagnosointi ja arviointi sekä turvallinen työskentelytapa lämpökuvaustilanteessa. (Sähkölaitteiston lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä 2021, 7.)

Lisäksi lämpökuvaajan on ymmärrettävä ja osattava tulkita kuormitusvirran vaikutukset ja hänellä pitää olla käytettävissä virran mittaukseen soveltuvat mittalaitteet. (Sähkölaitteiston lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä 2021, 7.)

5.3 Lämpökuvauspätevyyden ylläpito

Lämpökuvaustutkinto on myöntämisen jälkeen voimassa viisi vuotta, jonka jälkeen pätevyyden haltija voi hakea pätevyyden uusimista. Pätevyyttä uusiessa tulee hakijan toimittaa SETI Oy:lle todistus voimassa olevasta SFS6002 sähköturvallisuuskortista, todistus voimassa olevasta ensiapukortista (hätäensiapu riittää) ja lämpökuvausraportti pätevyyden viimeiseltä voimassa olevalta vuodelta. (Sähkölaitteiston lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä 2021.)

6 Lämpökuvaaminen

6.1 Lämpökuvaajan varusteet

Lämpökameran lisäksi kuvaajalla pitää olla mukanaan jännitetyöhön soveltuvat pihtiampeerimittari ja yleismittari sähkölaitteistojen jännitteiden ja sähkövirtojen mittaamista varten. Jotta lämpökuvaus voidaan tehdä turvallisesti, on mittaajalla oltava suojavarustus, jännitteenkoetin ja jännitetyövälineet. Lisäksi tarvitaan työkaluja kuten meisseleitä ja ruuvinvääntimiä keskusten ja sähkölaitteiden avaamiseen. (Similä 2019, 20.)

6.2 Ennakoivat työvaiheet

Ennen kuvaamisen aloittamista on hyväkäytännön mukaista tehdä työn tilaajalle ilmoitus, josta ilmenee kuvauksen kesto ja kuvattavat sähkölaitteistot. Tilaajalta varmistetaan, että laitteistolle on esteetön pääsy.

Ennen kuvauksen aloittamista on varmistettava laitteiston riittävä kuormitus, mikä tehdään virtamittauksella. Monilla lämpökameravalmistajilla kuten Flukella on saatavilla langattomia virtamittareita, jotka tallentavat virtamittaukset lämpökuvan metadataan. Suositeltava kuormitus on vähintään 40 % nimellisestä kuormituksesta, mutta kuvauksen voi suorittaa, jos keskuksen nimellinen kuormitus on yli 20 %, mikä kuitenkin edellyttää, että lämpenemä todennetaan las-kemalla. (ST 53.62 2019, 7.)

Kaava 2, jolla lasketaan lämpenemä 50 % kuormituksella. (ST 53.62 2019, 12.)

$$\Delta T_{50\% \text{ kuormalla}} = \Delta T_{\text{Todellinen}} * (\alpha/\beta)^2 \quad (2)$$

α = Haluttu kuormitusprosentti

β = Todellinen kuormitusprosentti

$\Delta T_{\text{Todellinen}}$ = Todellinen lämpötilaero

$\Delta T_{50\% \text{ kuormalla}}$ = Laskennallinen lämpötilaero

Seuraavassa on esimerkki laskusta, jossa lasketaan korkeamman kuormitustason lämpenemä:

Keskuksen kuormitus on 20 % nimellisestä kuormituksesta ja halutaan todentaa keskuksen lämpenemä, kun kuormitus on 60 % nimellisestä kuormituksesta. Ympäristön lämpötila on 21 °C ja lämpökuvauksessa todettu nousukaapelin liittimen lämpötila on 33 °C.

Lasketaan ensin todellinen lämpenemä $\Delta T_{\text{Todellinen}}$ seuraavasti.

$$\Delta T_{\text{Todellinen}} = T_{\text{Mitattu}} - T_{\text{Ympäristö}} = 33 \text{ °C} - 21 \text{ °C} = 12 \text{ °C} \quad (3)$$

Kun $\Delta T_{\text{Todellinen}}$ on laskettu. Voidaan kaavalla 4 laskea lämpenemä, kun kuormitus on 60 %.

$$\Delta T_{60\% \text{ kuormalla}} = \Delta T_{\text{Todellinen}} * \left(\frac{60\%}{\text{mitattu kuormitus}} \right)^2 = 12 \text{ °C} *$$

$$\left(\frac{60\%}{20\%} \right)^2 = 108 \text{ °C} \quad (4)$$

Laskemalla voidaan siis todeta esimerkin nousukaapelin liittimen ylikuumentuvan, kun kuormitus nousee 60 prosenttiin nimellisestä kuormasta. PVC-eristettyjen kaapeleiden suurin sallittu lämpenemä on 70 °C, joten kuormituksen kasvassa PVC-eriste sulaa. Tässä tapauksessa on siis suositeltavaa tarkastaa liittimen kunto ja kiristysmomentti. Ennen kuvaamisen aloittamista tulee varmistaa lisäksi esteetön näkymä kohteeseen, joka tarkoittaa kaikkien kosketussuojien, kansien ja kytkentäkoteloiden avaamista.

6.3 Lämpökuvaus

Lämpökuvaamisessa on kiinnitettävä huomiota tarkennukseen, jotta kuvista tulee riittävän hyviä. Kun kuva otetaan, on huomioitava mistä suunnasta kuva otetaan, koska useimmissa sähkökeskuksissa on metallinen pohjalevy, metallisia ruuveja tai muita heijastavia pintoja, jotka heijastavat kuvaajan tuottaman lämpösäteilyn kameraan, aiheuttaen virheellisiä tuloksia tai ”kuumia pisteitä”, jotka voivat osoittaa esimerkiksi ruuvin kannan olevan tulikuuma, vaikka todellisuudessa ruuvissa ei ole lämpenemää.

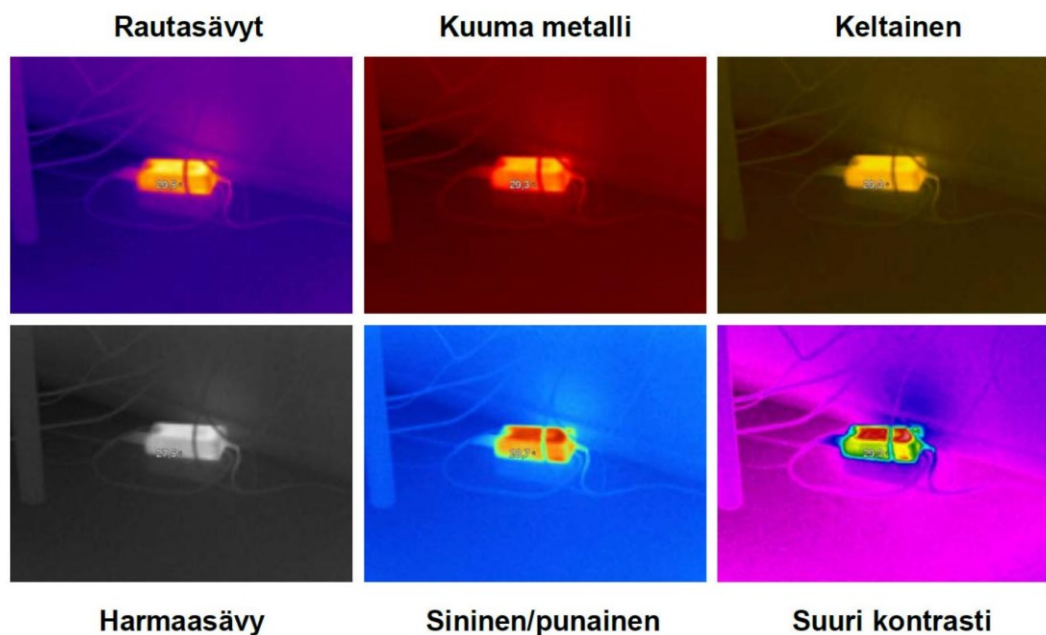
Kun kuvataan sähkölaitteistoa, pitää kuvaajan huomioida kohteen emissiivisyys, jotta voidaan todeta lämpökuvien mittaustulosten oikeellisuus. Taulukossa 6 on esitetty yleisimpien materiaalien emissiivisyys-kertoimia. Kiiltävistä pinnoista on haasteellista saada lämpötiloja mitattua niiden matalan emissiivisyyden johdosta. Tällöin kiiltävälle pinnalle voidaan asettaa esimerkiksi pala mustaa sähköteippiä, jonka emissiokerroin on suurempia ja täten antaa tarkemman mittaustuloksen.

Taulukko 6. Aineiden emissiokertoimia ST 53.62 2019, 6).

Aineiden emissiokertoimia	
Ihmisen iho	0,98
Vesi	0,98
Sähköteippi	0,95
Maali	0,9
Paperi	0,9
Posliini, lasitettu	0,92
Posliini, kiiltävä valkoinen	0,70–0,75
Kupari (hapettunut)	0,68
Kupari (kiillotettu)	0,02
Alumiini (kiillotettu)	0,02
Alumiini, voimakkaasti hapettunut	0,20–0,30
Alumiini, karkeistettu	0,18
Volframi, hehkulanka	0,39

Yleisesti suositellaan kuvattavan vain kohteita, joiden emissiokerroin on $\geq 0,95$, koska kun emissiokerroin on alle 0,6, lämpökuvien luotettavuus laskee merkittävästi. (ST 53.62 2019, 6.)

Kuvattaessa kohdetta saadaan lämpökameran tai IR-lämpömittarin avulla mitattua kuvauskohteen lämpötila, jonka avulla asetellaan lämpökameran lämpöasteikko ja riippuen minkälainen kuva halutaan, valitaan väripaletti. Lämpöasteikkona useimmissa kohteissa toimii kameran automaattinen skaalaus. Kuvassa 8 on esitetty Fluken Ti25-lämpökameran väripalettivaihtoehdot. (Hietanen 2009)



Kuva 8. Fluken Ti25-lämpökameran väripalettivaihtoehdot (Hietanen 2009).

Lämpökuvattaessa sähkölaitteistoa otetaan ensin kohteesta yleiskuva, mikäli se on tilojen puolesta mahdollista. Jos tilat ovat erityisen ahtaita, pyritään siitä huolimatta ottamaan yleiskuva kohteesta niiltä osin kuin se on mahdollista. Kun kuva otetaan, tulee kuvauskohteesta ottaa myös normaali digikuva. Ammattikäyttöön tarkoitetut laadukkaat lämpökamerat ottavat lämpökuvan lisäksi digikuvan automaattisesti, mikä helpottaa kuvaajan työmäärää.

Kuvattaessa sähkölaitteistoa ei kuvia oteta jokaisesta osasta, vaan kameralla käydään läpi laitteiston jokainen osa ja kuva otetaan vain kohdista, joissa havaitaan poikkeuksia tai mahdollisia lämpenemiä. Poikkeamat kirjataan ylös ja raportointia varten kirjataan mahdolliset ehdotetut toimenpiteet.

6.4 Raportin sisältämät tiedot

Raportin tulee sisältää kohteen yleiset tiedot sekä kuvattavan laitteiston yksilölliset tiedot yksiselitteisesti ja tarvittaessa tulee esittää korjaavat toimenpiteet prioriteettien mukaisesti. Esimerkiksi Prioriteetti 1 tarkoittaa palo- tai turvallisuusrisiä, joka laitteiston haltijan pitää korjata välittömästi tai viimeistään ennen

laitteiston käyttöönottoa. Prioriteetti 2 tarkoittaa tulevaa mahdollista vikaantumista, joka vaatii laitteiston haltijan tarkkailua, jotta voidaan puuttua riittävän ajoissa riskien muodostumiseen. (ST 53.62 2019, 12–13.)

Raportista pitää ilmetä seuraavat tiedot:

- Lämpökuvauksen tiedot ja LK1 pätevyystodistuksen numero.
- Käytettyjen mittalaitteiden mallit ja sarjanumerot sekä tiedot mahdollisista lisäoptiikoista.
- Yksilöidyt tiedot kuvattavasta kohteesta kuten osoite tai keskustunnus ja kuvauksen ajankohta.
- Raportissa on esitettävä ympäristön lämpötila ja ulkotiloissa myös tuulennopeus.
- Kuvauksetäisyys tulee ilmoittaa metrin tarkkuudella mutta mielellään 10 cm tarkkuudella, jos kuvataan pienempiä osia kuten riviliittimiä.
- Käytetyt lämpötila-asteikot ja väripaletit tulee olla esillä kuvien yhteydessä. (ST 53.62 2019, 13)

7 Raportointi

Lämpökuvauksen jälkeen tärkein osuus on selkeä raportointi. Se toimitetaan työn tilaajalle tai tallennetaan vertailupohjaksi yrityksen järjestelmiin. Raportin tulee sisältää olennaiset tiedot kuvauksen suorittamisesta sekä havaitut puutteet tai korjaustoimenpiteitä vaativien komponenttien erittelyt. ST-kortissa 53.62 on esitetty vaatimukset tiedoista, jotka tulee esittää lämpökuvauksraportissa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena tehdä raportointimalli (liite 1) Caverion Suomi Oy:n käyttöön. Olen suorittanut lämpökuvaustutkinnon, joten minulla on pätevyys tehdä lämpökuvauksia. Liitteenä oleva malli perustuu tekemääni pääkeskuksen lämpökuvaukseen, josta on poistettu kohteeseen kohdistavat tiedot. Kyseisessä kuvauskohteessa kuormitustaso jäi liian pieneksi antaakseen kohteen pääkeskuksen kunnosta tarkan kuvan. Alhaisen kuormitustason vuoksi voidaan saamiani mittaustuloksia käyttää ainoastaan vertailupohjana tulevissa määräaikaistarkastuksissa.

Raportissa käytetään Word-tiedostopohjaa, jonka kansilehdelle kirjataan yksilöintitiedot, jolla raportti osataan yhdistää oikeisiin lämpökuvauksiin. Lämpökuvaukset ja niiden datatiedot käsitellään Fluke Connect -sovelluksen avulla, joka mahdollistaa laajan ja monipuolisen kuvien käsittelyn, jotka voidaan tulostaa osaksi raporttia yksilöidysti.

7.1.1 Kohteen yksilöinti ja kuvauksen tekijä

Lämpökuvausraportin kohteen tiedot esitetään raportin alussa, jossa on myös kuvauksen suorittaja yrityksen logo, lämpökuvaajan nimi, pätevyystodistuksen numero ja kuvattavan sähkölaitteiston yksilöinti, joka tässä tapauksessa oli PK (pääkeskus). Yksilöinti-tietojen asetteluesimerkki on esitetty kuvassa 9.



Lämpökuvausraportti

31.5.2021

Lämpökuvaus

Aika	2.5.2022 klo. 8:00
Paikka	Esimerkkikatu 1, Helsinki
Läsnä	Jesse Leinonen, Caverion Suomi Oy, LK 1 pätevyysnumero 34449
Keskus	PK (Pääkeskus)

Kuva 9. Kansilehdelle merkittävät kuvauksen tiedot.

7.1.2 Lämpökuvaamisen tiedot ja kohteen yleiskuvaus

Lämpökuvauksen suorittamisajankohtana kuvataan ympäristötekijöiden vaikutus sekä kuormitustaso. Tekemässäni lämpökuvauksessa piti huomioida ympäristöolosuhteet, koska kuvaushetkellä sää oli pilvinen ja sateinen, mikä vaikutti katolla olevien aurinkopaneelien toimintaan ja pääkeskuksen virransyöttöön. Tämä piti ottaa huomioon, vaikka kuvaukset tehtiin sisätiloissa. Kuvauksen suorittamisesta kertovat tiedot on esitetty kuvassa 10.

1 Lämpökuvauksen suorittaminen

- Ympäristön lämpötila 21,3°C
- Emissiokerroin 0,95
- Kuvausetäisyys kaikissa pääkeskuksen kennoissa 0,5 m.
- Keskus ei ollut riittävästi kuormitettu vikojen havaitsemiseksi.
- Sää sateinen ja viileä, joka esti aurinkosähkön lämpökuvaamisen.

Suurin mitattu kuormitus oli ryhmässä 26 (A-osa IV ja lämpö) jossa mitattu virta vaiheilta oli L1=33,4A L2=28,2A ja L3=32,4A. Ohessa nimelliskuorman laskenta.

- $L1=33,4A \cdot 100/160A = \underline{20,88\%}$
- $L2=28,4A \cdot 100/160A = \underline{17,75\%}$
- $L3=32,4A \cdot 100/160A = \underline{20,25\%}$

Lämpötilaero keskuksen kuumimman ja kylmimmän kohdan välillä oli ($T_{\max} - T_{\text{ympäristö}}$) 26,6°C - 21,32°C = 5,28°C.

Kuva 10. Lämpökuvauksen suorittamiseen liittyvät tiedot

7.1.3 Kuvauksessa käytetyt mittalaitteet

Kuvauksessa käytetyt lämpökameran ja mittalaitteiden tiedot eritellään kansilehdelle. Virtamittareiden sarjanumeroita ei tarvitse kirjata, koska ne pystytään jäljittämään virtamittareiden mallitiedoilla. Kuvauksessa käytettyjen mittalaitteiden tiedot on esitetty kuvassa 11.

2 Käytetyt mittalaitteet

Lämpökamera

- Malli: Fluke Ti300
- IR resoluutio: 240x180
- Kameran sarjanumero: Ti300-17060162
- Kameran herkkyys (NETD): ≤ 0.05 °C at 30 °C target temp (50 mK)
- IFOV: 1.75 mRad
- Tarkkuus: ± 2 °C tai 2 % (at 25 °C)
- Optiikka: Vakio

Virtamittari x3

- Malli: Fluke a3001 FC

Kuva 11. Käytettyjen mittalaitteiden tietojen kirjaus.

7.1.4 Kuvauksen yhteenveto

Lämpökuvauksen yhteenvetoon kirjoitetaan kohteesta tehdyt havainnot kuten tässä tapauksessa keskuksen alhainen kuormitus. Mikäli kuvaksessa ilmenee vikoja, kirjoitetaan tähän kohtaan tarkat tiedot viasta tai huomioita vaativat kohdat. Yhteenvedosta esimerkki on esitetty kuvassa 12.

3 Yhteenveto

Kohteen pääkeskuksessa (PK) ei havaittu poikkeamia. Keskuksen kuormitustaso oli liian alhainen vikojen havaitsemiseksi.

Lämpökuvauus suoritettiin myös aurinkosähkön kennoon, mutta johtuen sateisesta päivästä jäi virrat liian alhaisiksi lämpökuvauusta varten.

Kuva 12. Yhteenveto lämpökuvauksesta.

7.1.5 Kuvien raportointi

Tekemässäni lämpökuvauksessa kuormitus jäi liian alhaiseksi, joten käytän tässä esimerkkikuvia, joista ilmenee missä muodossa ne esitetään raportissa ja

mitä tietoja niiden tulee sisältää. Kuvat luetteloidaan raporttiin, josta havainne kuvassa 13.

Table of Contents

IR_01012.IS2.....	1
-------------------	---

Kuva 13. Kuvaluettelo, joka esitetään raporttilehdellä.

Raportissa esitettävät lämpökuvaja digikuva asetellaan sivulle vierekkäin auttamaan kohteen hahmottamista. Lämpökuvan viereen tulee asetella käytetty väriasteikko. Esimerkki asettelusta on kuvassa 14.

IR_01012.IS2



Kuva 14. Lämpö- ja digikuvan asettelu.

Jokaisen lämpökuvan jälkeen esitetään kuvan metatiedot (kuva 15), joista ilmenee käytetyn lämpökameran lisäksi kamerasetelutiedot.

Kuvan tiedot

Taustalämpötila	22,0 °C
Emissiivisyys	0,95
Läpäisy	1,00
Keskilämpötila	21,7 °C
Kalibrointialue	-20,00 °C ... 80,00 °C
Kuva-asteikko	20,8 °C to 24,0 °C
Kameran malli	Ti300
IR-anturin koko	240X180
Kameran sarjanumero	Ti300-17060162
OCA-versio	6.0.28
Kameran valmistaja	Fluke Corporation
Kuvan aika	5.4.2022 7.49.20

Kuva 15. Kuvan metatiedot.

Lämpökuvassa merkityt lämpötilapisteiden arvot kirjataan raportin merkintätietoihin (kuva 16), koska itse lämpökuvasta arvojen lukeminen on haastavaa niiden pienen koon vuoksi. Kuvan huomatuskenttään (kuva 17) kirjataan muut havainnot, joilla helpotetaan raportin lukijaa löytämään vikakohteet ja arvioimaan korjattavat toimenpiteet.

Merkintätiedot

Marker Name	Maximum	Minimum	Average	BG Temp	Std.Dev	Delta T
Kuuma	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C	22,0 °C	0,00	
Kylmä	20,8 °C	20,8 °C	20,8 °C	22,0 °C	0,00	
Keskipiste	22,3 °C	22,3 °C	22,3 °C	22,0 °C	0,00	
Keskiruutu	24,0 °C	20,8 °C	22,1 °C	22,0 °C	0,43	

Kuva 16. Lämpöpisteiden merkitseminen.

Huom.

Kuvaus
Ryhmässä 135 virrat L1 9,0A L2 8.6A L3 17.5A. Ryhmässä havaittu vinokuroma, joka johtuu pumppuohjauskeskuksesta. Kuormitus ei aiheuta lämpenemistä.

Kuva 17. Muut havainnot.

Esitetyt kuvat ja taulukot ovat riittävät antamaan tilaajalle, tässä tapauksessa Caverion Suomi Oy:lle, tarvittavat tiedot sähkölaitteiston lämpökuvauksesta ja kunnosta. Sen pohjalta voidaan tehdä tarvittavat korjaustoimenpiteet ja käyttää saatuja mittaustuloksia vertailupohjana tulevilla määräaikaistarkistuksissa sekä huolloissa.

8 Yhteenveto

Lämpökuvaukset ovat hyvä ja tehokas tapa havaita sähkölaitteistojen ongelmia hyvissä ajoin ennen niiden vikaantumista tai sähköpaloriskien muodostumista, mikä vähentää huolto- ja muita kustannuksia kiinteistöissä ja teollisuudessa.

Opinnäytetyön tuloksena tein Caverion Suomi Oy:lle riittävän kattavan tietopaketin lämpökuvauksen suorittamisesta hallitusti ja turvallisesti. Jatkossa tulosten raportointi tekemääni pohjaa käyttäen on yhtenevä ulkoasultaan ja laadultaan. Yhtenevä ja selkeä raportointitapa tuo lisäarvoa yrityksen lämpökuvauksiin uudiskohteissa, saneerauskohteissa ja huollon kohteissa, koska tulosten hyödynnettävyys paranee ja nopeutuu kuvaajien käyttäessä samaa raportointipohjaa. Se myös antaa luotettavamman kuvan tilaajalle yrityksen pätevydestä tehdä lämpökuvauksia.

Varsinaisen lämpökuvauksen aikana tekemäni mittaustulokset eivät olleet alhaisen sähkövirran kuormituksen vuoksi luotettavia, mikä jäi harmittamaan. Valitettavasti kuvauksia ei ollut mahdollista tehdä uudelleen lyhyen aikataulun vuoksi. Olisi ollut mielenkiintoista esittää tuloksia, joista olisin voinut tehdä vikailmoituksia ja ehdottaa toimenpiteitä niiden korjaamiseksi. Tämä työ oli kuitenkin hyvä

oppikokemus, josta sain pätevyystutkinnon lisäksi paljon uutta tietoa ja pohdittavaa.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen projekti ja olen erityisen kiinnostunut infrapunatekniikasta ja siihen liittyvistä sovelluksista. Tutustuin muiden opiskelijoiden tekemiin opinnäytetöihin ja yksi mielenkiintoinen sovellus oli terveydenhuollossa tehty tutkimus, jossa infrapunasäteilyn mittaamista käytettiin hengityksen analysoinnissa. Mahdollisuudet ovat laajat ja opinnäytetyön tekeminen kehitti ammatillista osaamistani. Jatkossa pystyn hyödyntämään sitä työpaikallani Caverion Suomi Oy:llä.

Lähteet

Kahvasulakkeet. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/kytkimet/kahvasulakkeet>>. Luettu 10.5.2022.

Pienjännitekojeet. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<https://library.e.abb.com/public/6b2e3b61cdc65b49c2256e7e0026aeb4/1SCC400004C1801.pdf>>. Luettu 10.5.2022.

Cawfield, Scott. 2004. Infrared Inspection Data: What's hot and what's not?. Verkkoaineisto. <<https://irinfo.org/01-01-2004-cawfield/>>. Luettu 10.5.2022.

D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2017. Sähköinfo.

Kuinka infrapunakamera toimii. Fluke Finland Oy. Verkkoaineisto. <<https://www.fluke.com/fi-fi/lue-lisaa/blogi/lampokuvaus/kuinka-infrapunakamera-toimii>>. Luettu 8.5.2022.

TiS55+/TiS75+, tuotteen tekniset tiedot. Verkkoaineisto. Fluke Finland Oy. <https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/tis55p_spin0000.pdf?OUDSYoxgCOFrcXOOvO5PCDi4eazmIndl>. Luettu 8.5.2022.

Hietanen, Mika. 2009. Lämpökuvaus koulutusmateriaali. Fluke Finland O.

Lämpökamera nimikkeistö. Verkkoaineisto. Infadex Oy <<https://www.infra-dex.com/lampokameratermisto/>>. Luettu 7.5.2022.

Asennuskaapelit. Verkkoaineisto. Prysmian Group Finland Oy. <<https://fi.prysmiangroup.com/node/10253>>. Luettu 4.5.2022.

Lämpökameroista on moneksi. Verkkoaineisto. Promainlehti. <<https://promaintlehti.fi/Laite-ja-korjaustekniikat/Lampokameroista-on-moneksi>>. Luettu 4.5.2022

Similä, Tuomas. 2019. Sähkölaitteiston lämpökuvaus. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Sähkölaitteistojen lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä. Verkkoaineistot. SETI Henkilö- ja yritysarviointi Oy. <<https://www.seti.fi/wp-content/uploads/2021/11/LK-Patevyys-SETI-5.11.2021.pdf>>. Luettu 4.5.2022.

Sähkölaitteiston lämpökuvaus. 2019. ST 53.62. ST-kortisto.

Sähkölaitteiston lämpökuvaus. 2017. STUL Oy.

Suomalainen, Mikko. 2011. Lämpökuvaus sähkökunnossapidossa. Opinnäyte-työ. Saimaan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Automaattisulakkeet. Verkkoaineisto. Sähkösuunnittelua. <<https://www.sahkosuunnittelua.com/blogimme/category/sulake>>. Luettu 4.5.2022.

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016

Sähkölaitteistot. Verkkoaineisto. Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes). <<https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot#18bb90ba>>. Luettu 3.5.2022.

Sähkötapaturmat ja sähköpalot. Verkkoaineisto. Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes). <<https://tukes.fi/onnettomuudet/yhteenvedot-onnettomuuksista-toimialoittain/sahkotapaturmat-ja-sahkopalot>>. Luettu 10.5.2022.

Zaeed, Khan. 2021. Joint use of thermal camera and optical camera for respiration measurement. Master's Programme in Life Science Technologies. Aalto University. Aaltodoc-tietokanta.