

Jani Hölttä

Lämpökuvaaminen sähköjärjestelmien laadun- ja kunnonvalvontaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

12.4.2017



Tekijä(t)	Jani Hölttä
Otsikko	Lämpökuvaaminen sähköjärjestelmien laadun- ja kunnonvalvontaan
Sivumäärä	39 sivua + 4 liitettä
Aika	12.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Toimitusjohtaja, Jarkko Hölttä Sähkövoimatekniikan lehtori, Vesa Sippola
<p>Lämpökuvaaminen on yleistynyt monilla aloilla lämpökameroiden tarkkuuksien noustessa ja hintojen laskiessa. Sähköalalla kuvaamisen yleistyminen ei ole tehnyt poikkeusta vaan on ottamassa itselleen pysyvän paikan kunnonvalvonnan ja laadutarkkailun apuvälineenä.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli Holtansähkö Oy:n toimesta laatia Laatuohje lämpökuvauksille kunnonvalvontaan, sekä ottaa selvää kameran hyödyllisyydestä laaduntarkkailussa sähkötöiden välittömiin tarkastuksiin.</p> <p>Työssä käydään pinta tasolla läpi lämpökuvaus teknologiaa, lämpökuvaamista sekä sähkö kunnossapidon muotoja ja määreitä. Kunnonvalvontaan on lämpökuvaamiselle asetettu standardeja jotka opastavat laadukkaaseen kuvaamiseen ja tulosten analysointiin, standardit asettavat myös rajoitteita lämpökameroiden tarkkuuksille. Laaduntarkkailussa omien asennusten tarkasteluun ei sen sijaan ole standardeja tai suosituksia, joten työssä otetaan selvää halvemman kameran hyödyllisyydestä laaduntarkkailuun. Työn loppuosio koostuu lämpökuvien analysoinnista, kameroiden vertailusta ja laatuohjeesta.</p> <p>Opinnäytetyöstä selviää lämpökuvaamisen ja kunnonvalvonnan perusteet ja, että heikompilaatuisellakin kameralla voi tehdä pikaisia päätelmiä laitteistojen kunnosta, mutta tarkemmat tarkastelut ovat välttämättömiä todellisen kunnan selvittämiseksi. Johtopäätöksen seurauksen Holtansähkö Oy investoi yhden kalliinkameran lisäksi muutamaan halvempaan lämpökameraan, joilla voi tehdä nopeita tarkastuksia sähköjärjestelmille.</p>	
Avainsanat	Lämpökuvaus

Author(s)	Jani Hölttä
Title	Thermal imaging for electrical systems quality control and condition monitoring
Number of Pages	
Date	39 pages + 4 appendices
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electric Power Engineering
Instructor(s)	CEO, Jarkko Hölttä Senior lecturer, Vesa Sippola
<p>Thermal imaging has rapidly increased its usage in many fields. Electrical engineering has not made an exception. Thermal imaging is taking its place as an auxiliary tool at condition monitoring and quality control.</p> <p>This thesis is made for Holtansähkö Oy's need for a thermal imaging camera to provide condition monitoring services and to create a quality guide for the services. And to investigate the usage of a cheap thermal imager as an auxiliary quality control tool for fast inspections for new installations.</p> <p>As a result of the acquired information this thesis gives a basic understanding of thermal imaging technology, thermal imaging, condition monitoring for electrical systems and analyzing of thermal images. The cheap thermal imager proved to be beneficial tool at quickly locating possible problems.</p>	
Keywords	thermal imaging

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto.....	7
2	Lämpökuvaus teknologia	8
2.1	Infrapunasäteily	8
2.2	Lämmönsiirtyminen	9
2.3	Kappaleen ominaisuudet	10
3	Lämpökuvaamisen periaate.....	12
3.1	Lämpökameran osat.....	12
3.2	Lämpökuvaamisen tarkkuus	14
3.3	Lämpökuvaamisen valmistelu ja lämpökuvaaminen	14
3.4	Kameran asetukset.....	16
3.5	Lämpökuvauksen raportointi.....	16
4	Komponenttien lämpenemisominaisuudet	18
5	Sähkökunnossapito	20
5.1	Sähtöturvallisuuslaki	21
6	Kuvatut kohteet.....	21
6.1	Ryhmäkeskus 2.1 Siltasaari.....	22
6.2	Flir One vs Fluke Ti450.....	24
6.3	Siltasaari 16.....	25
6.3.1	Siltasaari RK00.2.....	26
6.3.2	Siltasaari RK00.3.....	27
6.4	Villa Smeds	29
6.4.1	Pääkeskus.....	30
6.4.2	RK 1.1	31
7	Yhteenveto	32

- Liite 1. Lämpökuvaus raporttipohja
- Liite 2. Laatuohje
- Liite 3. Lämpenemätaulukoita
- Liite 4. Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 44 §

Lyhenteet

IR InfraRed

(ϵ) Emissiokerroin

NETD Noise Equivalent Temperature Difference

L1, L2 Vaihe 1, 2

A Ampeeri

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheen sain Holtansähkö Oy:n tarpeesta hankkia lämpökamera, jolla tehdään laadukkaita kuvauksia erilaisten sähköjärjestelmien kuvaamiseen sekä myydä palvelua myös ulkopuolisille asiakkaille. Aloitin työn etsimällä laitevalmistajia ja vertailemalla laitteiden ominaisuuksia sekä hintoja, löytääkseni parhaan mahdollisen hinta/laatu suhteeltaan olevan kameran. Työn alkuvaiheilla hankimme myös edullisen puhelimeen liitettävän lämpökameran kokeiltavaksi ja vertailtavaksi, sekä selvittääksemme, voiko sen avulla tehdä ennakkopäätöksiä laajemman kuvauksen tarpeelle ja voiko sitä käyttää laadunvalvonnassa omien asennustöiden tarkastamiseen.

Opinnäytetyön alussa käydään läpi lämpökameran toimintaa ja työn runko muodostuu lämpökuvaamisen perusteista ja kunnan valvonnasta. Työn viimeiset osiot muodostuvat kuvaamistani jakokeskuksista ja kuvien analysoinnista, niin mahdollisten kuvaus virheiden kuin kuvista tehtävistä päätelmistä sähkölaitteiston kunnosta ja sähköasennusten laadusta.

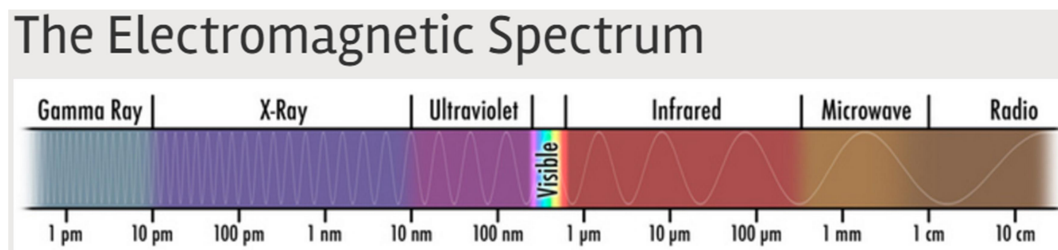
2 Lämpökuvaus teknologia

2.1 Infrapunasäteily

Infrapunasäteily on valon muoto jota ei havaitse paljaalla silmällä, mutta sen voi tuntea ihollaan lämpönä. Valo usein mielletään valon spektrin näkyvänä osana, todellisuudessa tämä näkyvä osuus on murto osa kaikesta valosta. (1.)

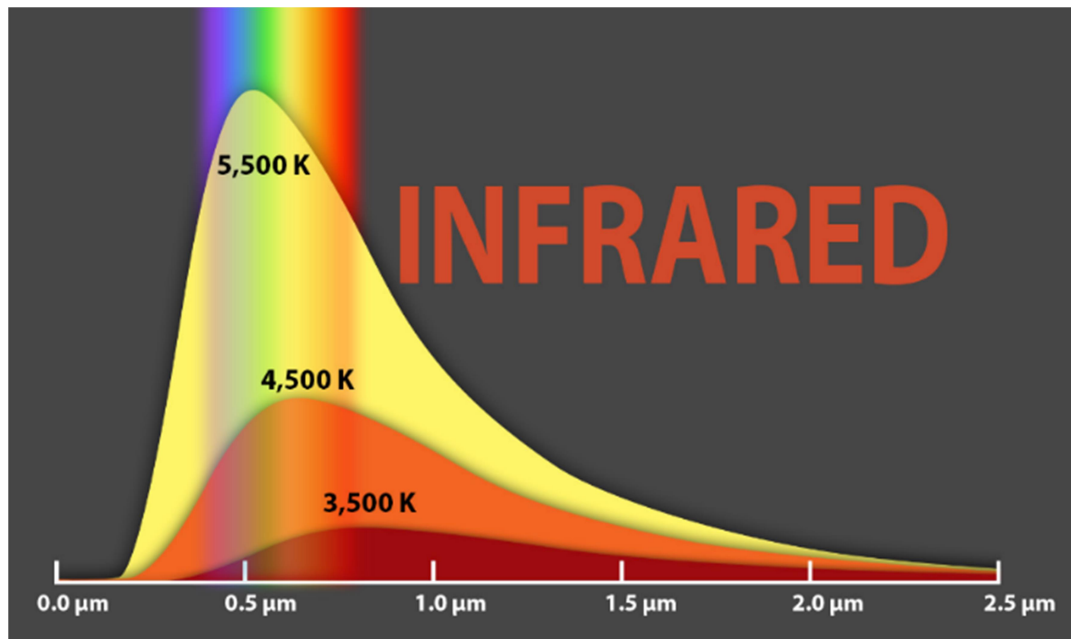
Infrapuna valo on valon näkyvän osan ulkopuolella punaisen värin yläpuolella. Infrapuna säteilyn olemassaolo havaittiin ensimmäisen kerran 1800- luvulla William Herschel nimisen tieteilijän toimesta. Kokeissaan hän hajotti valon näkyvän osan lasiprismalla ja asetti lämpömittarit näille valon eri aallonpituuksille, sekä yhden vertailtavaksi näkyvien värien ulkopuolelle. Näkyvän valon ulkopuolelle jääneen mittarin lämpötila nousi vastoin odotuksia ja päätelmänä syntyi, että punaisen värin yläpuolella on oltava näkymätön valonmuoto, infrapuna. (1.)

Kuvassa 1 sähkömagneettinen spektri, jossa infrapuna löytyy näkyvän valon ja mikroaaltojen väliltä, aallonpituudeltaan $n\sim 0,7\mu\text{m}-1\text{mm}$. (1.)



Kuva 1. Sähkömagneettinen spektri (1.).

Kuvassa 2 nähdään, että lämpösäteilyä on myös näkyvän valon ulkopuolella. Sähköjärjestelmien kunnon ja laadun valvonnassa tehdyissä mittauksissa kohteet eivät vielä loista valon näkyvän spektrin osalla, ne voivat silti olla ylikuumentuneita ja vaarassa rikkoutua, mikäli niitä ei ole suunniteltu kestäväksi korkeita lämpötiloja. Infrapuna tekniikalla voidaan nopeasti ja turvallisesti kosketusetäisyyden ulkopuolelta havaita suurten kohteiden tai useiden kohteiden lämpötilat kerralla.



Kuva 2. Lämpösäteily (1.).

2.2 Lämmönsiirtyminen

Konduktiossa lämpö siirtyy materiaalissa tai materiaalien välillä korkeammasta matalampaan lämpötilaan, kunnes lämpötila on sama. Lämmön siirtymisen aiheuttaa hiukkasten törmäily toisiinsa, jolloin energiaa siirtyy eteenpäin aina seuraavan hiukkasen törmätessä seuraavaan. (2.)

Konvektiossa lämpö siirtyy aineen, kaasun tai nesteen, mukana esimerkiksi virtaavassa vedessä. Kulkeminen voi aiheutua pakotettuna esimerkiksi pumpun avustamana, tai vapaasti aineen sisäisen lämpötilan ja tiheyden muutosten myötä. (3.)

Lämpösäteily on aineessa olevien varattujen hiukkasten lämpöliikkeen aiheuttamaa sähkömagneettista säteilyä, joka voidaan havaita esimerkiksi näkyvänä valona, lämpönä tai lämpökameralla otetulla termografisena kuvana. Kaikki aine jonka lämpötila on suurempi kuin absoluuttinen nollapiste 0°K lähettää lämpösäteilyä. (4, s.50)

2.3 Kappaleen ominaisuudet

Materiaalin pinnan ominaisuudet vaikuttavat sen kykyihin heijastaa ulkopuolista säteilyä. Pinnan heijastuskertoimen on teoriassa väliltä 0-1. Käytännössä osa lämpösäteilystä imeytyy kappaleeseen ja osa heijastuu tai läpäisee sen. (4, s.50)

Musta kappale on kappale joka ei heijasta tai läpäise säteilyä vaan absorboi kaiken saamansa säteilyn ja säteilee vain pintalämpötilaansa verrannollista lämpösäteilyä. (4, s.50)

Emissiivisyys (ϵ) on samassa pintalämpötilassa olevaan mustaan kappaleeseen suhteutettu lämpösäteily. Emissiokerroin on väliltä 0-1. Emissiokerroin on riippuvainen kappaleen pinnan ominaisuuksista, kuten sen materiaali ja tasaisuus. Emissiokertoimeen vaikuttaa myös aallonpituus, säteilykulma sekä kappaleen pinnan materiaallinen puhtaus. (4, s.50)

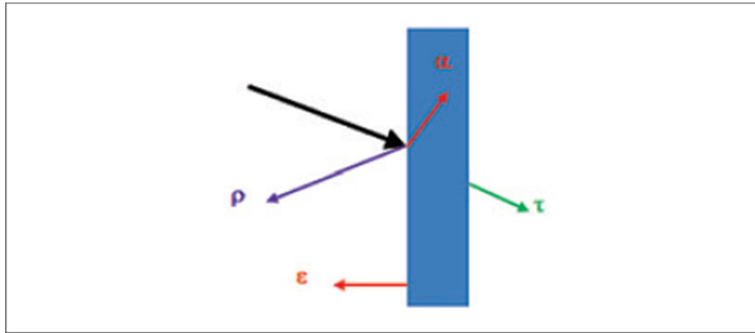
Taulukossa 1 joidenkin materiaalien emissiokertoimia.

Materiaali	Emissiokerroin (ϵ)
Teräs	0,35
Teräs (oksidoitunut)	0,85
Ruostumaton teräs	0,30
Ruostumaton teräs (vähän oksidoitunut)	0,40
Ruostumaton teräs (oksidoitunut)	0,80
Kupari	0,06
Kupari (oksidoitunut)	0,80
Alumiini	0,13
Alumiini (oksidoitunut)	0,40
Tiili	0,85
Asfaltti	0,85
Iho	0,99
Vesi (syvyys yli 50 mm)	0,95
Puu	0,85

Taulukko 1. Emissiokertoimia (4.).

Säteilyn saapuessa kappaleen pinnalle se voi kuvan 3 mukaisesti

- heijastua (ρ)
- imeytyä eli absorboitua (α)
- kulkea kappaleen läpi (τ)



Kuva 3. Kappaleen ominaisuudet heijastaa, absorpoida tai läpäistä säteilyä (5).

Termodynamiikan 1. laki

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

Kirchhoffin laki lämpösäteilyssä: tietyillä aallonpituuksilla tai kaistan leveyksillä ($\alpha = \varepsilon$)

$$\rho + \varepsilon + \tau = 1$$

Lämpösäteilylle näkymättömät kappaleet

$$\tau = 0 \Rightarrow \rho = 1 - \varepsilon$$

(5, s.5)

3 Lämpökuvaamisen periaate

Lämpökuvaamisessa siis hyödynnetään infrapuna tekniikkaa lämpösäteilyn havaitsemiseksi. Kohteita kuvataan infrapunatekniikkaa hyödyntävillä lämpökameroilla. Lämpökameroilla saadut kuvat ovat termografisia, väriskaalattuja kuvia pintojen lähettämästä lämpösäteilystä.

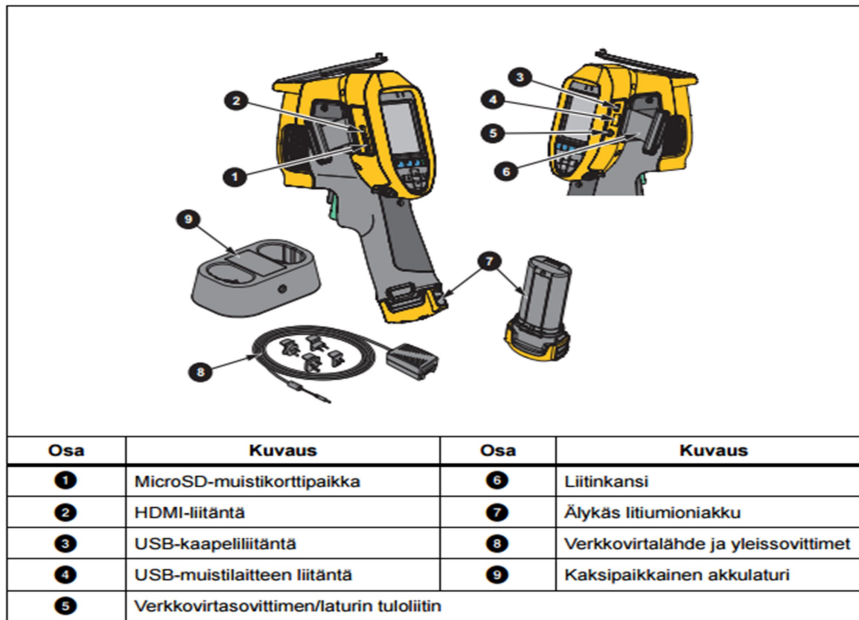
Lämpökuvaamisella saavutetaan monia etuja. Lämpökuvaamalla voidaan suorittaa kunnonvalvontaa erittäin nopeasti ja rikkoutuvat komponentit paljastuvat lämpökuvasta vaivattomasti. Kun kuvattavan kohteen kunto on tiedossa, voidaan sille tarpeen mukaan laatia huoltoaikataulu ennen yllättävää rikkoutumista ja huolto voidaan suorittaa silloin kun laitteella olisi vähiten käyttöä. Laitteiden rikkoutumiset voivat olla myös vaaraksi ympäristölleen rikkomalla muuta laitteistoa, aiheuttamalla valokaaria tai tulipalon. Lämpökamerat lisäävät myös tarkastustöiden turvallisuutta, koska jännitteisiin osiin ei tarvitse olla kosketusetäisyydellä. (6.)

Ennakoivilla huolto toimenpiteillä voidaan siis säästää suuriakin summia rahaa, vaihtamalla hajoavat komponentti uusiin, mahdollisesti ilman työtä keskeyttävää huoltokatkoa. Uuden komponentin vaihtaminen vaatii pienen sijoituksen, verrattuna tilanteeseen jossa sähkökeskuksessa vikaantunut komponentti hajoaa, aiheuttaen keskuksen tai jopa koko rakennuksen tuhoavan tulipalon. (6.)

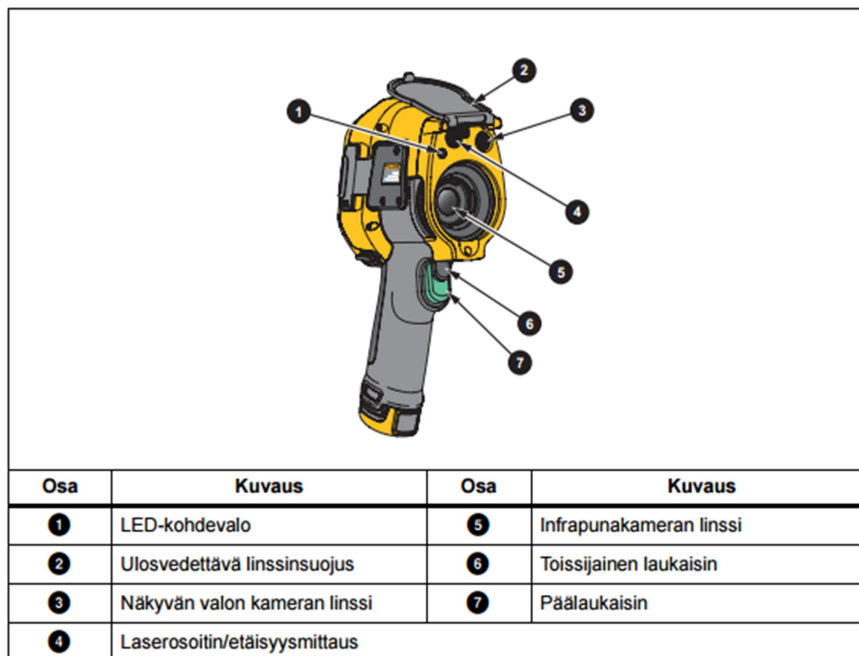
3.1 Lämpökameran osat

Lämpökameroita on erimallisia, mutta niiden tärkeimmät osat esimerkiksi IR optiikka on kaikissa lämpökameroissa.

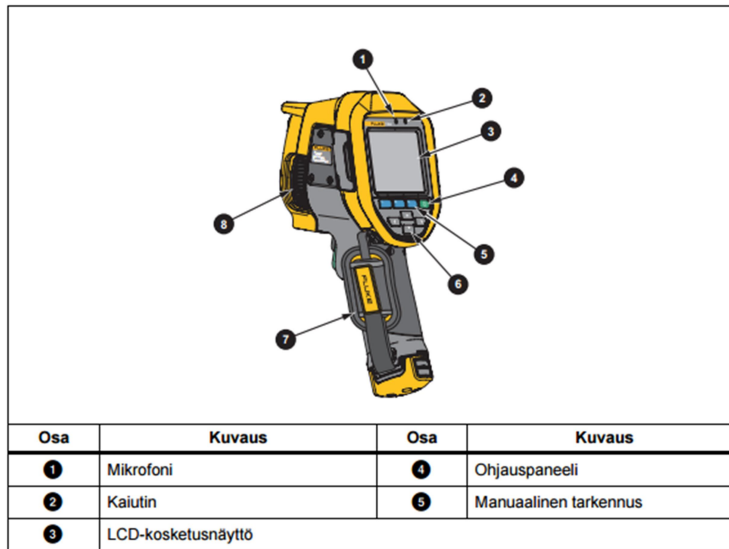
Kuvissa 4,5 ja 6 Fluke Ti200, Ti300, Ti400, Ti450 ja Ti480 kameroiden osat



Kuva 4. Kameran osat (7.).



Kuva 5. Kameran osat edestä (7.).



Kuva 6. Kameran osat takaa (7.).

3.2 Lämpökuvaamisen tarkkuus

Lämpökamerat eivät ole tarkkoja mittaamaan lämpötilaa, kohteen todellinen lämpötila on kameran virheen verran $\pm 2^{\circ}\text{C}$ tai yli 100°C $\pm 2\%$. Lämpökuvan tarkkuus IR resoluutiona tulee olla tarpeeksi suuri yli 19.200 pikseliä. (5, s.6)

Lämpökameran erotteluerkkyys (NETD) eli kameran matriisi ilmaisimen kyky mitata lämpötilamuutosta. Mitä tarkempi erottelu sen pienempiä muutoksia kameralla näkee. Kameroiden erotteluerkkyys on normaalisti $0,15-0,02^{\circ}\text{C}$. (8, s.4)

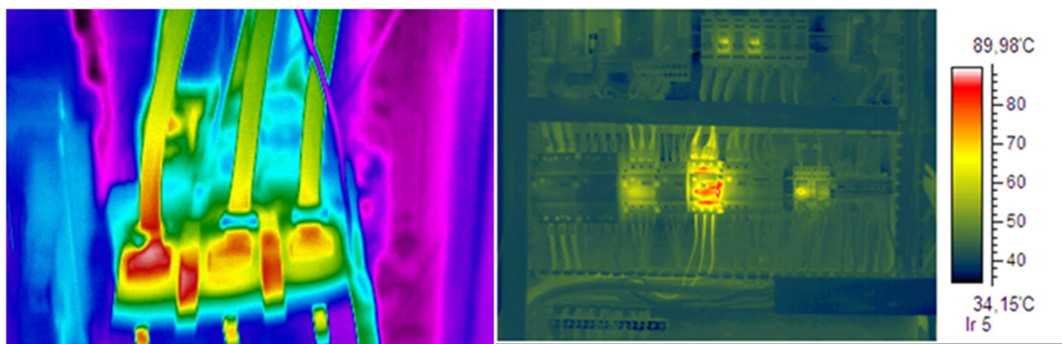
3.3 Lämpökuvaamisen valmistelu ja lämpökuvaaminen

Sähkölaitteiston lämpökuvaamista kannattaa valmistella jo sopimusvaiheessa. Lämpökuvauksista on hyvä tehdä ilmoitus, ainakin laitteen käytöstä vastaavalle henkilölle. Sähkölaitteen on oltava normaalissa kuormitustilassa kuvausten aikana. Kuvauskohteessa kannattaa myös olla mukana kohteen tilat ja laitteet tunteva henkilö. Jos kuvauksia suorittava henkilö ei ole sähköalan ammattilainen, hän ei voi suorittaa kuvauksia itsenäisesti. (5, s.7)

Lämpökameralla kuvattaessa etäisyys täytyy valita niin, että kuvattava kohde on selkeästi esteettä esillä. Kuvattavan kohteen ja kameran välissä ei saa olla edes

silmälle läpinäkyviä suoja. Kohteessa on hyvä olla reaaliaikainen virranmittaus kuvausten ajaksi. Kuormituksen tulee olla laitteen normaalikäytön tasolla tai yli 40% maksimista, jo ennen kuvausten aloittamista. Huomioi kuvatussa kuvauskulma, heijastumat sekä taustalämpö. (5. s.7)

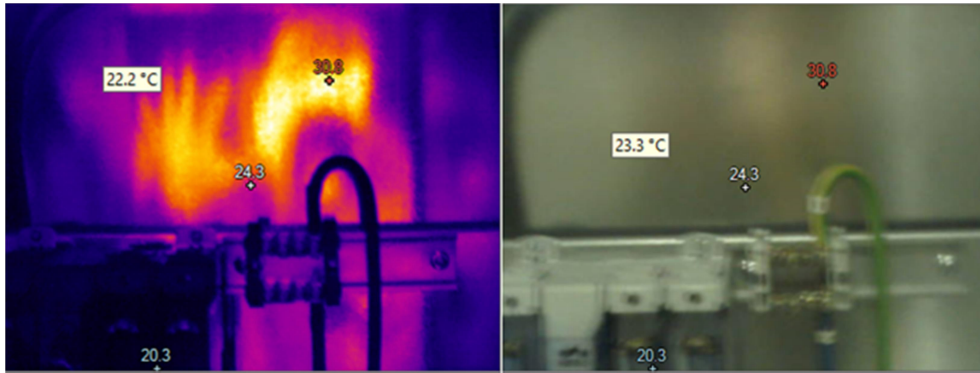
Kuvauksissa on hyvä käyttää laajaa väripalettia, jolloin kuva on selkeä. Kuviin kannattaa liittää automaattisesti skaalautuva lämpöasteikko, jolloin lämpötilaerojen havainnollistaminen on tarkempaa. Kuvasta 7 vasemmalla ei pysty tulkitsemaan muuta kuin, että erivärisillä pinoilla on erilämpötilat. Kuvasta 7 oikealla näkee mitkä värit ovat lämpimiä, ja minkä asteisia ne ovat.



Kuva 7. Lämpökuva ilman asteikkoa ja asteikolla (9.).

Vaikka tutkimuksia tehdessä vahingoilla ja virheillä on joskus iso osuus uusien löydösten tekemiseen, virheiden välttäminen kannattaa. Lämpökuvaamisen tuloksiin vaikuttavia tekijöitä on useita eivätkä ne välttämättä ole itsestään selviä.

Lämpökameralla kuvattaessa on otettava huomioon kohteen ominaisuudet sekä vallitsevat ympäristötekijät. Kuvattava kohteen materiaali ja pinnan heijastavuus vaikuttavat saatuihin kuviin, jos esimerkiksi auringonvalo heijastuu kohteesta voimakkaasti, se näkyy lämpökuvissa kuumana alueena. Lämpökamera ei pysty erottelemaan kappaleen itsensä säteilemää ja heijastamaa lämpösäteilyä. Toisin sanoen kameran kuvasta ei erota johtuuko näennäinen lämpötila kohteen tuottamasta lämpösäteilystä vai sen heijastamasta ulkopuolisesta säteilyn lähteestä. Ympäristön olosuhteet kuvausten aikana on hyvä merkitä mittauspöytäkirjaan. Vallitseva ympäristön lämpötila vaikuttaa kuvattavan kohteen lämpötilaan. Jos lämpötila on muuttunut merkittävästi edellisestä mittaus kerrasta, voi tämä aiheuttaa virheellisiä päätelmiä kohteen kunnosta. (10, s.27)



Kuva 8. Kuvaajan lämpösäteily heijastuma keskuksen takalevyssä.

Kuvasta 8 huomataan lämpösäteilyä joka ei lähde kohteesta itsestään.

3.4 Kameran asetukset

Vaikka lämpökameroissa on usein paljon automatisoituja asetuksia, on kuvattaessa tärkeää säätää lämpökameran asetukset kohteelle sopiviksi. Lämpökameroissa on valittavana lämpötilojen mitta-alue esimerkiksi $-20\dots+120^{\circ}\text{C}$ tai $0-1200^{\circ}\text{C}$. Tarkemman kuvauksen lisäksi väriskaalan ja lämpötila asteikon valinta sopivaksi kuvauskohteelle on tärkeää. Lämpökameran zoomi täytyy myös asettaa kohdilleen mahdollisimman terävän kuvan aikaansaamiseksi.

Kuvattavan kohteen emissiokerroin (ϵ) on myös valikoitava. Joissain tapauksissa, tämä voi aiheuttaa ongelmia, mikäli emissiokerroin on tuntematon tai muuttuva. Emissiokertoimen valintaan on olemassa taulukoita, joista voi valita kohteelle oikean kertoimen. (4, s.50)

3.5 Lämpökuvauksen raportointi

Niin kuin kaikessa tutkimuksessa myös lämpökuvauksessa mittauspöytäkirjat ovat oleellinen osa työn onnistumisessa. Mittauspöytäkirjaan on raportoitava selkeästi kaikki mittauksille oleellinen tieto. SFS-ISO 18434-1 standardin mukaan lämpökuvien raportoinnissa tulisi ilmetä mm.

Kaikista kuvauksista

- kuvaajan/kuvaajien nimet
- kuvaajien pätevyudet
- asiakkaan nimi ja yhteystiedot
- lämpökameran tiedot, valmistaja, malli ja kalibrointipäivä
- kohteen/kohteiden tiedot
- havaitut lämpöpoikkeamat
- kokeen käyttö- ja ympäristöolosuhteet
- päivämäärä ja kellonaika
- raportointipäivä

Laadullinen kuvaus

- poikkeamisten täsmällinen sijainti
- kuva jokaisesta poikkeamasta
- vaimentavat väliaineet
- suurempien poikkeamien ympäristölliset vaikutustekijät
- kuvaukseen vaikuttavat lisälaitteet mm optiikka
- poikkeaman arviointi turvallisuuden ja käytettävyyden kannalta
- viittaus tai selvitys arviointi kriteereistä

- kaikki havainnot ympäristön vaikutuksesta kuvausten toistettavuuteen ja tulkintaan

Määrällinen kuvaus

- kuvaus etäisyys kamerasta kohteeseen
- kohteen kuormitus ja maksimikuorma
- emissiokerroin, heijastuneen säteilylämpötilan ja lämmönsiirto arvot

Lisäksi kuvauskohteen raporttiin on merkittävä ilmenneet vaaralliset olosuhteet käytännöt sekä suoritettut toimenpiteet. (11, s.24)

4 Komponenttien lämpenemisominaisuudet

Lämpökuvaamisella etsitään sähkökomponenttien normaalista toiminnasta eriäviä tilanteita, esimerkiksi johtimien nousset resistanssit ja ylikuormat, viallisten liitosten aiheuttamat ongelmat, viallisten tai väärinmitoitettujen laitteiden lämpenemät sekä vinokuormat. (5, s.8)

Komponentin kohonnut lämpötila ei välttämättä kerro vikatilanteesta, joidenkin komponenttien toiminta perustuu lämpenemiseen. Esimerkiksi moottorinsuojajytkimien lämpötilat voivat nousta kymmeniä asteita huoneenlämpötilaan verrattuna.

Komponentin lämmönkestoisuus määräytyy usein sen eristeen mukaan. SFS 6000 – standardista löytyy taulukoita ja kertoimia kaapeleille ja asennustavoille. (5, s.8)

Komponentit määritetään lämpöluokkiin taulukon 2 mukaisesti.

Lämpötilaluokka	Aiempi kirjaintunnus	Kuumimman pisteen lämpötila °C
90	Y	90
105	A	105
120	E	120
130	B	130
155	F	155
180	H	180
200		200
220		220
250		250

Taulukko 2. Standardin IEC34-1 mukaiset lämpöluokat (5, s.9).

Komponentin lämpenemällä tarkoitetaan sen lämmön nousua suhteessa ympäristön lämpötilaan. Liitteessä 3 lämpenemä taulukoita komponenteille.

Lämpötilaero samanlaisten komponenttien välillä yhtä suuren kuormituksen alaisena	Lämpötilaero komponenttien ja ympäristön lämpötilan välillä	Suosittelava toimenpide
1 °C – 3 °C	0 °C – 10 °C	Mahdollisesti ongelma, seuranta
4 °C – 15 °C	11 °C – 20 °C	Todennäköinen ongelma. Korjattava, kun tilanne sallii.
–	21 °C – 40 °C	Jatkuva seuranta korjaustoimenpiteisiin asti
> 16 °C	> 40 °C	Suurella todennäköisyydellä ongelma, korjattava välittömästi

Taulukko 3. Lämpötila erot ja toimenpidesuosituksukset (5, s.10)

Taulukon 3 mukaan komponenttien lämpötilaa voidaan verrata toisiinsa sekä ympäröivään lämpötilaan. Lämpötilaerojen perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä laitteen kunnosta. Taulukon 3 arvot ovat kuitenkin vain suosituksia, eikä niiden mukaan voida myöskään määrittää komponenttien maksimilämpötiloja. (5, s.10)

5 Sähkökunnossapito

Kunnossapitoon kuuluvat kaikki ne toimenpiteet joilla on tarkoitus ylläpitää tai palauttaa laitteiston tai sen osien toiminta niin, että se kykenee toimimaan sille tarkoitetulla tavalla. (12.)

Kunnossapito voidaan jakaa kolmeen osaan, Ehkäisevä kunnossapito, korjaava kunnossapito ja parantavakunnossapito. (13, s.48)

Ehkäisevä kunnossapito pitää sisällään suunniteltuja säännöllisiä toimenpiteitä, joilla pyritään ehkäisemään kohteen ajautuminen toimintakyvyttömäksi. Ehkäisevää kunnossapitoa suoritetaan seuraavin toimenpitein, toimintakuntoa voidaan ylläpitää tarkastuksilla, kunnostuksilla sekä toimintaympäristöstä huolehtimalla. (13, s.50)

- vikaantumisen syyn ja olosuhteiden havainnointi
- kaikki toimenpiteet jotka ylläpitävät kohteen tarkoituksellista toimintakykyä mm, toimintaympäristön siisteys ja perushuollot kuten voitelut.
- havaittujen alkavien vikojen korjaaminen ennen toimintaa rajoittavaa vikatilannetta.

(13, s.72)

Korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan toimenpiteitä, jossa vikaantuneet laitteet tai laitteen osat korjataan. Korjaava kunnossapito muodostuu suunnitelluista kunnostuksista ja suunnittelemattomista häiriötilanteiden korjauksista. Korjaavalla kunnossapidolla paikannetaan vika, tutkitaan vian laatu ja korjaus toimintakuntoon. Korjaavan kunnossapidon yhteydessä voidaan myös tehdä arvioita korjattavan kohteen elinkaaresta, ja ajoittaa seuraava huolto. (13, s.49)

Parantavalla kunnossapidolla pyritään parantamaan laitteiston käytettävyyttä ja toimintavarmuutta. Parantavalla kunnossapidolla on kolme pääryhmää, kahdessa ensimmäisessä ei pyritä laitteiston suorituskyvyn nostamiseen, sen sijaan laitteen toimintavarmuutta nostetaan joko (1) uusilla osilla tai (2) suunnittelulla ja korjaus

toimilla. Kolmannessa ryhmässä laitteisto voidaan modernisoida, jos se ei ole vielä elinkaarensa lopussa ja on vielä kilpailukykyinen uusiin laitteisiin verrattuna. (13, s.51)

Kunnossapidon suunniteluun voidaan tehdä kuntokartoituksia. Termi kuntokartoitus on yleistermi kuntotutkimukselle ja kuntoarvioinnille.

Kuntoarviolla tarkoitetaan kohteen kunnan määrittäminen pääosin aistienvaraisesti kokemuksella. (14, s.2)

Kuntotutkimuksella tarkoitetaan yksittäisen kohteen kunnan yksityiskohtainen tutkiminen. Kuntotutkimuksella pyritään selvittämään ongelman tai vaurion laajuus sekä ongelman aiheuttaja. Tutkimuksen perusteella kohteelle ehdotetaan toimenpiteitä. (14, s.2)

5.1 Sähköturvallisuuslaki

Sähkölaitteistojen käyttöä ja huoltoa varten on laadittu sähköturvallisuuslaki (1135/2016). Sähkölaitteistot ovat sähkölaitteista koostuvia kokonaisuuksia joihin kuuluu mm. sähkökeskukset ja kaapeloinnit.

Sähköturvallisuuslaissa (1135/2016) 44§ sähkölaitteistot jaotellaan luokkiin, jonka mukaan niille suoritetaan tarvittavat määräyksiin pohjautuvat varmennus- ja määräaikaistarkastukset. (1135/2016) 49§ asettaa laitteistoluokkien määräaikaistarkastukset, 1 ja 2 luokan laitteistoille kymmenen vuodenvälein, ja luokan 3 laitteistoille viiden vuoden välein. Laitteistoluokkien määrittely liitteessä 4.

6 Kuvatut kohteet

Mittaukset suoritettiin kahdessa eri kohteessa, kahdella eri kameralla. Kohteissa oli pääkeskuksia ja jakokeskuksia, joista osa on uusia. Osassa vanhoissa keskuksissa oli uusia asennuksia. Ennakko odotuksena oli, että uudet asennuksen ja laitteistot ovat kunnossa, eikä kuvauksista löydy mitään poikkeavaa. Vanhemmista asennuksista toivoin löytäväni jotain merkillepantavaa tai huomioitavaa näyttääkseni eron vikaantuvan ja toimivan laitteen kuvissa. Ensimmäisessä kuvauskohteessa oli tarkoitus

tehdä vertailevaa kuvaamista eritasoisilla kameroilla. Lähtökohtaisena oletuksena oli, että halvemmalla kameralla otetut kuvat ovat huonolaatuisempia ja näin ollen kuvaamisesta saadut tulokset ja niistä tehtävät johtopäätökset eivät olisi tarpeeksi luotettavia.

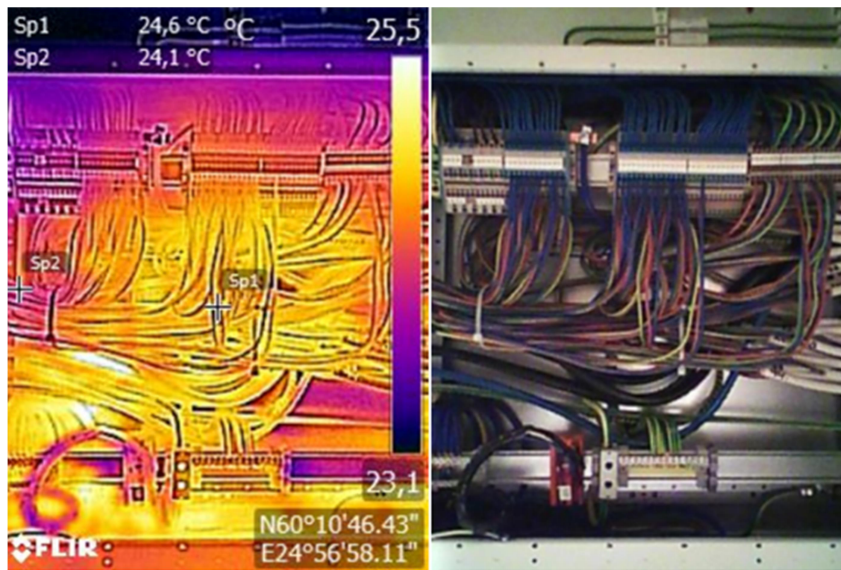
6.1 Ryhmäkeskus 2.1 Siltasaari

Kuvat 9, 10 ja 11 ovat Flir One puhelimeen liitettävällä lämpökameralla otettuja kuvia. Tämän kuvauksen tarkoituksena oli tutustua kamerasäädöksiin ja arvioida kännykkään liitettävän kamerasäädösten kuvien laatua. Huoneen lämpötila kuvaushetkellä 21°C ja kuormitus normaalikäytössä.

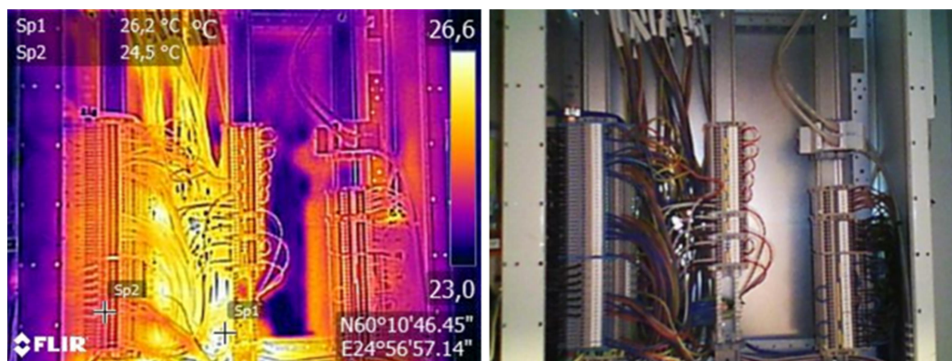


Kuva 9. RK 2.1 Siltasaari

Ryhmäkeskuksen koko kuvassa ei ole merkittäviä lämpötila poikkeamia normaaliin verrattuna. Kaikki vaikuttaisi silmämääräisesti olevan kunnossa ja komponentit ovat lämpötiloiltaan sallituissa rajoissa. Kuvatessani huomasin myös, että metallipinnalta heijastui kuviin kehoni lähettämää säteilyä. Tämä näkyi lämpönä keskuksen taustassa johtojen ja komponenttien takaa. Jos taustan heijastumat heikentävät kuvaustulosten analysointia, tausta kannattaa peittää asianmukaisilla suojilla.



Kuva 10. RK2.1 oikea ylälohko



Kuva 11. RK2.1 Vasen ylälohko

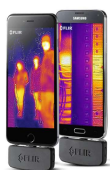
Lähikuvissakaan komponenteista ja kytkennöistä ei löydy mainittavaa poikkeamaa tai huomautettavaa.

Oletusarvo uusien asennusten laadusta ja komponenttien kunnosta täyttyi. Lisäksi kuvien laadusta voi todeta, että halvemmallakin kameralla voi tehdä laaduntarkkailua. Esim. Oman työn tarkastaminen.

6.2 Flir One vs Fluke Ti450

Verrattujen kameroiden lyhyt esittely

Kamera	Flir One	Fluke Ti450
Hinta	250-350€	7000-9000€
IR resoluutio	160x120	320x240
Mittausalue	-20°C... +120°C	-20°C... +1200°C
Lämpö herkkyys	0,1°C	≤0,03°C
Paino	29g	1,04kg
Mitat	7,2 × 2,6 × 1,8 cm	27,7 × 12,2 × 16,7 cm



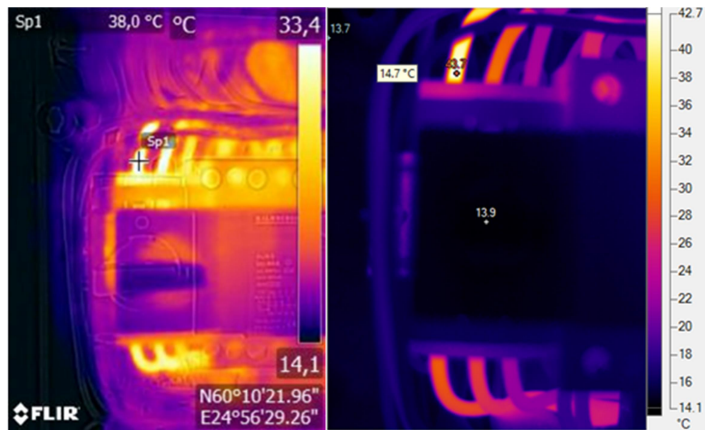
Kuva 12. Flir One. (16.)



Kuva 13. Fluke Ti 450. (17.)

Flir One kamerassa on vain perusominaisuudet, joilla kuvaamiseen saa heikosti apua. Fluke Ti450 kamerassa on monia ominaisuuksia, joilla kuvaamista voidaan helpottaa ja parantaa kuvien laatua. Lisäksi Fluke Ti450 kameraan on saatavilla useita lisävarusteita, joista tärkeimmät ovat vaihdettavat optiikat.

Tarkastelin kameroilla otettuja kuvia ja niistä nähtäviä eroja, kameran luotettavuuden ja kuvan tarkkuuden kannalta. Kuvien vertailun tarkoituksena on saada selville voiko halvemman kameran kuvauksien perusteella saada selville riittäviä tietoja kohteen kunnosta tarkempaa tarkastelua varten.



Kuva 12. Pääkytkimen lämmennyt 1.vaihe. Vasemmalla Flir One, oikealla Fluke ti450.

Kuvien 4 ja 5 eron näkee nopeasti, Fluken Ti450 kameran 320x240 resoluutio on huomattavasti tarkempi kuin verrattavan halvan Flir One kameran 160x120. Kuvista näkee myös lämpötilojen maksimi kohdissaan olevan eri suuruinen, tämä ero voi johtua esimerkiksi kameroiden tarkkuudesta mitata lämpötilaa tai kalibraatiosta. Eroon voi vaikuttaa myös muuttunut kuorma. Kiinteistössä oli useita lämmittimiä ja liesi/uuneja mekaanisella ja elektronisella termostaatilla, jotka sammuivat tai rajoittivat virran kulutustaan saavuttaessaan asetetun lämpötilan. Kuorman muuttumista kannattaa seurata reaaliajassa vaikkapa pihtimittareilla, näin voidaan mahdollisesti tarkastella kuorman muutoksen vaikutusta mittaustuloksiin.

Flir One kameran kuvasta kuitenkin näkee kuvauskohteen kuumat pisteet, näistä pisteistä voidaan tehdä havaintoja tarkempien tutkimusten tarpeelle, mutta ne eivät tämän vertailun perusteella itsessään riitä takaamaan kunto- tai laatuvarvion todellisuutta.

6.3 Siltasaari 16

Siltasaarella on tehty liiketila saneerauksia eri kerroksissa, sekä siellä on meneillään käyttötarkoitus ja tila muutoksia uuden metrotunnelin liittymälle ylä- ja alakellarikerroksiin. Siltasaaren kohteessa pääsin suorittamaan lämpökuvauksia pääkeskukseen, jossa tutkittiin nousujen liitoksia sekä komponenttien kuntoa. Osa sähköjärjestelmästä oli kohtalaisen uutta, ja yllättävästi pieneksi pettymyksekseni niistä ei löytynyt mainittavia vikoja, joista olisin saanut hyviä esimerkkejä opinnäytetyöhöni.

Lisäksi kohteen kuormitus oli normaalitasolla vähäistä, reilusti alle 40%, eivätkä komponentit näin ollen päässeet lähellekään toimintalämpötilojen maksimi arvoja.

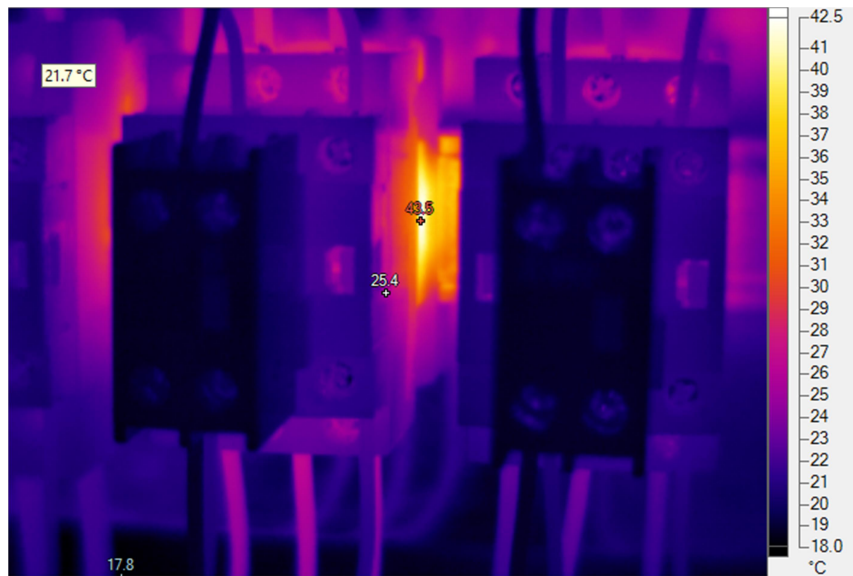
6.3.1 Siltasaari RK00.2

Sain luvan kuvata myös muita kohteita vanhemmista asennuksista. Vanhoihin asennuksiin suoritin lämpökuvauksen avusteisen kunto arvioinnin, poikkeavista tuloksista tehtiin merkinnät kuntotutkimusta varten. Vanhemmista asennuksista löysin selkeästi lämmentä komponentteja sekä sähköturvallisuuteen liittyvän huomautuksen.

Kuvista 13 ja 14 havaittiin kontaktoreilla lämpötila eroja. Kuvasin kuumimman kontaktorin lähempää, tarkempaa tarkkailua varten. Kontaktorin lämpötilaksi sain $43,5 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Komponenttien käyttölämpötilojen raja-arvot vaihtelevat mallista ja valmistajasta riippuen. Kuvan kontaktoreille käyttölämpötilan raja arvoksi on ilmoitettu $+50^{\circ}\text{C}$, kuvan kontaktorit alittavat annetun arvon ja ovat käyttökunnossa.



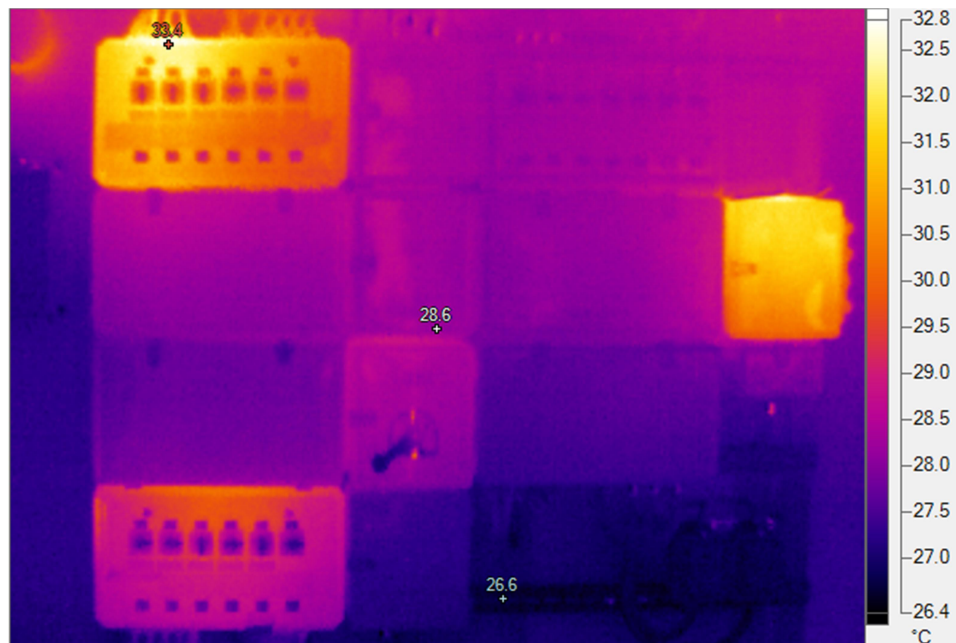
Kuva 13. Lämpöä kontaktorin kyljessä.



Kuva 14. Lämpöä kontaktorin kyljessä.

6.3.2 Siltasaari RK00.3

Kuvan 15 lämmenneet kotelot herättivät mielenkiinnon tutkia komponentteja tarkempaa.

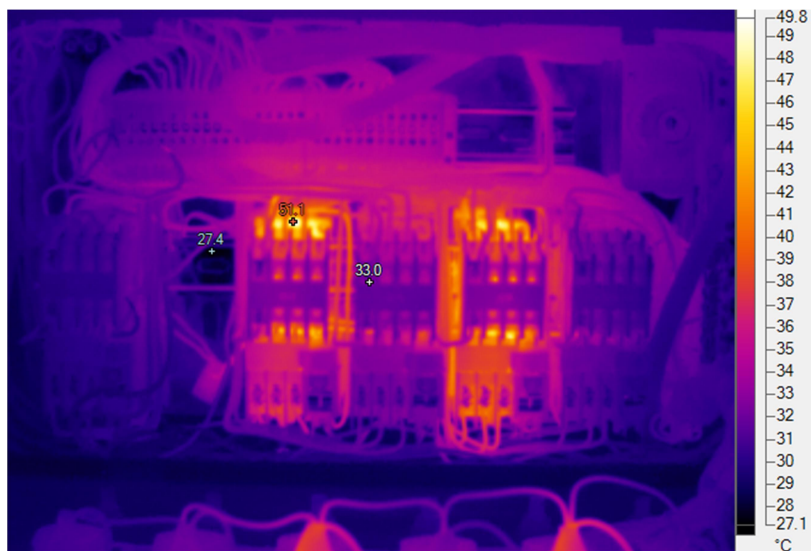


Kuva 15. RK 00.3 Lämmenneet kotelot.



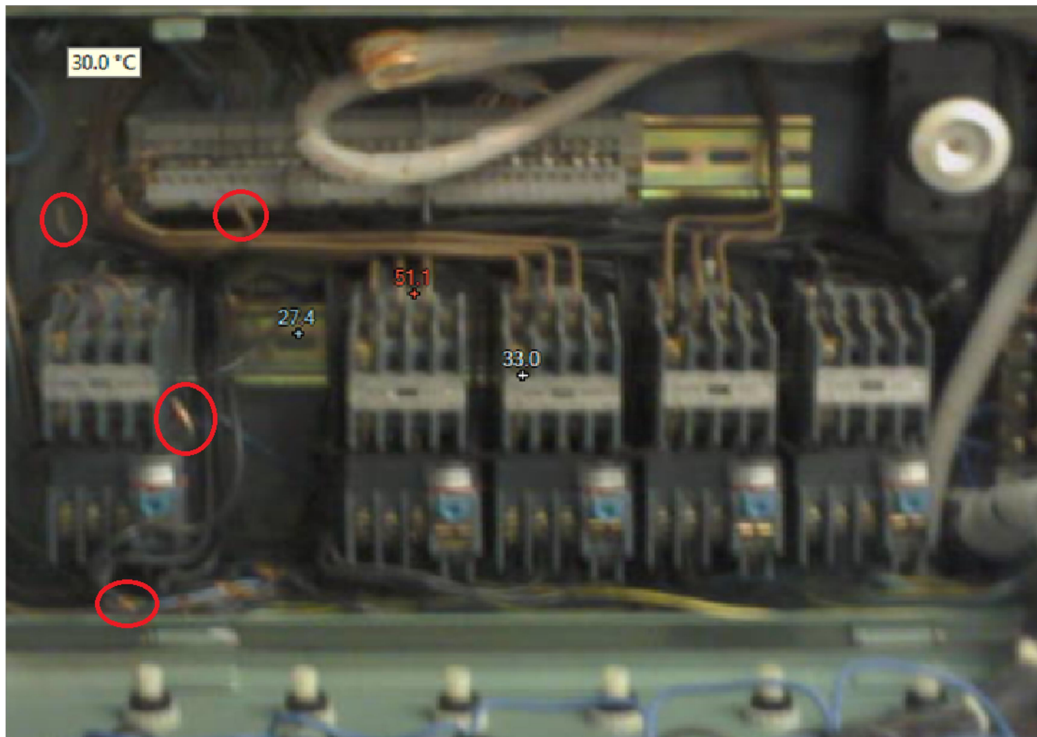
Kuva 16. RK 0.03 Vasen ylälohko.

Kuvassa 16 Kontaktoreiden lämmöt ylittävät 50°C rajan. Huomioon ottaen huoneen lämpötila noin 27°C, kontaktorin lämpötila ei välttämättä ole välittömäksi vaaraksi. Komponentin tilasta merkataan huomautus kuntotutkimusta varten.



Kuva 17. RK 00.3 Vasen alalohko.

Kuvassa 17 kahden kontaktorin lämpötila on hieman yli 50°C, tästäkin merkataan huomautus tarkempia tutkimuksia varten.



Kuva 18. Normaalinvalon kuva, irralliset johtimet.

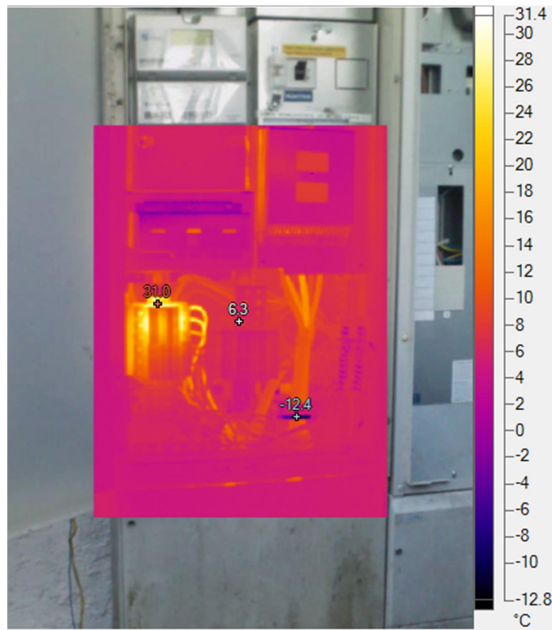
Kuvasta 18 näkyy yhden kontaktorin olevan poistettu, mutta johtimia ei ole poistettu tai suojattu asianmukaisesti.

6.4 Villa Smeds

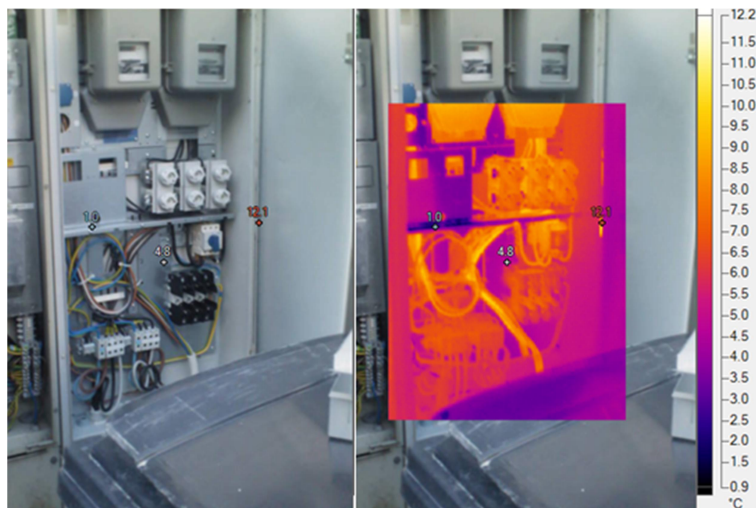
Villa Smeds on vanha museoviraston suojelema maatila miljö, johon yhteen n. satavuotta vanhan hevostallin tiloihin on rakennettu iso juhlatila, keittiö ja sosiaalitilat. Samaan rakennukseen on rakenteilla kokoustilat, jonka sähköistys on vielä kesken. Kuvauksen tarkoituksena oli tarkastaa juhlatilojen ryhmäkeskusten ja kiinteistön pääkeskuksen kunto. Kohde oli kuvausten kannalta suotuisa, sillä kohteessa pääsimme kuormittamaan sähköjärjestelmää maksimikuormalla ja kuvien tulkinnoista on enemmän hyötyä. Ennako odotuksena oletin kaiken olevan kunnossa.

6.4.1 Pääkeskus

Pääkeskuksessa ei ollut mitään huomioimisen arvoista, ulkolämpötila oli noin 4 °C. Pääkeskuksen kuvaaminen myös lämpimällä säällä antaisi enemmän tietoa kohteesta. Kuvan 19 mittarikeskuksen kuumin mitattu piste on heijastuma kuvaajan lähettämästä säteilystä. Pää- ja mittarikeskus olivat ainoat ulkotiloissa kuvaamani kohteet, ja ovat siis ainoat joihin sääolosuhteet voivat vaikuttaa suuresti.



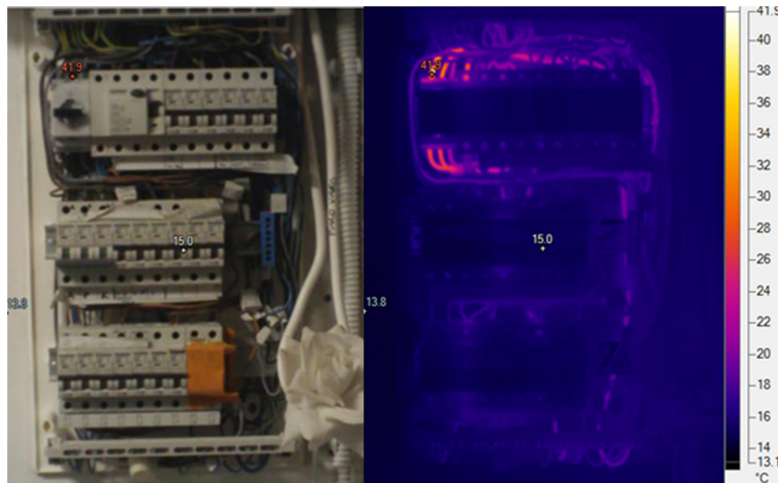
Kuva 19. Pääkeskus.



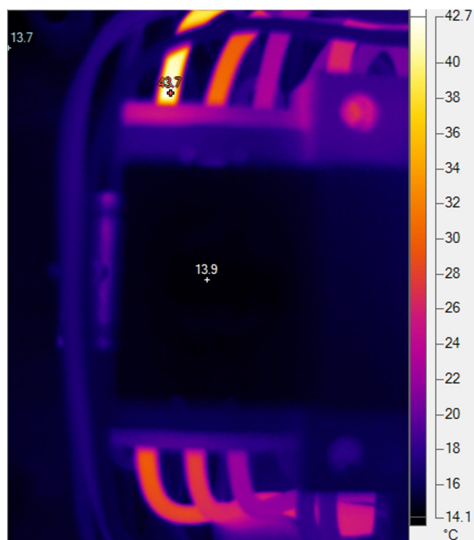
Kuva 20. Mittarikeskus, kuumin piste oven karmissa.

6.4.2 RK 1.1

RK 1.1 keittiön ja sosiaalitilojen sähköistys. Ryhmäkeskuksen komponenteissa ei ole mainittavaa, mutta johtimissa pääkytkimeen liittyessä näyttäisi olevan korkeammat lämpötilat.



Kuva 21. RK 1.1.



Kuva 22. RK 1.1 Pääkytkin läheltä.

Tarkastellaan pääkytkimen johtimia lähempää. Ensimmäinen vaihe näyttäisi olevan muita vaiheita lämpimämpi, mutta senkään lämpötila ei ole huolestuttava. Vaiheiden virranmittaus paljasti ensimmäisen vaiheen kuorman olevan selkeästi muita korkeampi.

Ensimmäisen vaiheen virta oli 29,1A kun toisessa oli 21,3A ja kolmannessa vain 13,8A. Kuormaa jaettiin tasaisemmin vaiheiden kesken. Korjauksen jälkeen arvot olivat hetkellisesti, L1 26,8A, L2 23,5A ja L3 18,9A. Mittauksen aikana keskusta pyrittiin kuormittamaan normaali käytön maksimi kuormalla. Uunien ja liesien termostaattiohjaukset vaikuttivat vaihevirtojen heittelyyn 3-5 A / vaihe.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua lämpökuvaamiseen ja kameroihin Holtansähkö Oy:n lämpökameran hankintasuunnitelman vuoksi. Kunnonvalvontaan käytettävän laadukkaan kameran lisäksi oli määrä selvittää halvan kameran käytettävyys laaduntarkkailun apuna. Tämän ohella laadin Holtansähkö Oy:lle laatuohjeen sekä raporttipohjan, jotta kuvaajien työntulokset ovat yhteneviä, selkeitä ja laadukkaita.

Opinnäytetyöstä selviää, perusvaatimukset kameroille kunnonvalvontaan ja että halvemalla, huonompilaatuisella kameralla otetuista kuvista pystyy tekemään nopeita havaintoja tarkempaa tarkkailua varten ja näin nopeuttaa laaduntarkkailua.

Halvemman kameran ongelmana on kuvien huonompi tarkkuus, joka pakottaa lähempää kuvaamiseen. Läheltä kuvatessa isommat kokonaisuudet eivät mahdu yhteen kuvaan. Käyttämäni Flir One:n IR resoluutio 160x120 on kuitenkin tarpeeksi tarkka lämpötilaerojen havainnointiin. Kauempaa kuvatuista kuvista poikkeavat lämpimämmät kohdat voidaan kuvata lähempää, jolloin mahdolliset pienet kuumat pisteet voidaan havaita.

Lähteet

1. California Institute of Technology
<http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/page/what_is_infrared>. Luettu 14.4.2017
2. Tools and basic information for design, engineering and construction of technical applications <http://www.engineeringtoolbox.com/conductive-heat-transfer-d_428.html>. Luettu 14.4.2017
3. Tools and basic information for design, engineering and construction of technical applications <http://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d_430.html>. Luettu 14.4.2017
4. Thua Wecström, Lämpötilan mittaus 2005. Helsinki
<<http://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2005-J4.pdf>>. Luettu 14.4.2017
5. Sähkölaitteistojen lämpökuvaus 2014. 53.62 ST kortisto
6. Fluke Training Library <<http://www.fluke.com/fluke/czcs/centra-reseni/termalni-zobrazovani/Benefits-of-Electrical-Mechanical-Infrared-Thermal-Imaging-and-Thermal-Cameras.html>>. Luettu 16.4.2017
7. Fluke Ti 450 Käyttöohje
<http://assets.fluke.com/manuals/Ti200___umfin0300.pdf>. Luettu 20.4.2017
8. Sauli Paloniitty, Juho Paloniitty, Jouni Haimilahti 2015 Lämpökuvaus rakentamisessa. Vaasa, OY FRAM AB
9. Industrial Thermography <http://saige.it/en_GB/termografia-industriale/>. Luettu 19.4.2017
10. Thermal imaging guidebook for industrial applications
<http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf> Luettu 21.4.2017

11. SFS-ISO 18434-1 Koneiden kunnonvalvonta ja diagnostiikka. Lämpökuvaus. Osa 1: Yleiset menettelytavat 2011
12. Kunnossapito yleisesti <http://www.edu.fi/koneautomaatio/kunnossapito_yleisesti>. Luettu 21.4.2017
13. Järviö, Piispa, Parantainen, Åström. 2007 Kunnossapito Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 10. Hamina Oy Kotkan Kirjapaino Ab
14. Asuinkiinteistöjen kuntoarviointi 90-00534. 2013. KH-kortisto
15. Sähköturvallisuuslaki <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135#Pidm2129888>>. Luettu 25.4.2017
16. Flir One esittely <<http://www.flir.eu/flirone/ios-android/>>. Luettu 5.5.2017
17. Fluke Ti 450 esittely <<http://www.fluke.com/fluke/fifi/lampokamerat/fluke-ti450.htm?pid=80858>>. Luettu 5.5.2017

PERUSTIEDOT				
Kohteentiedot	Kohteen nimi		Rakennusvuosi	
	Katuosoite		Postinumero	Postitoimipaikka
	<input type="checkbox"/>	Uusi asennus	Lisätietoja	
	<input type="checkbox"/>	Lisä, muutos- tai laajennustyö		
<input type="checkbox"/>	Korjaustyö			
Lämpökuvauksen tekijä(t)				
Kuvaaja	Yrityksen nimi		Kuvaajan nimi	
	Kuvaajan pätevyys		Pätevystodistuksen numero	
	Katuosoite		Postitoimipaikka	postinumero
	Puhelinnumero		Sähköpostiosoite	
Kuvaaja/ Avustaja	Yrityksen nimi		Kuvaajan nimi	
	Kuvaajan pätevyys		Pätevystodistuksen numero	
	Katuosoite		postinumero	Postitoimipaikka
	Puhelinnumero		Sähköpostiosoite	
Kuvaaja/ Avustaja	Yrityksen nimi		Kuvaajan nimi	
	Kuvaajan pätevyys		Pätevystodistuksen numero	
	Katuosoite		postinumero	Postitoimipaikka
	Puhelinnumero		Sähköpostiosoite	
Tilaaajan tiedot	Nimi			
	Katuosoite		postinumero	Postitoimipaikka
	Puhelinnumero		Sähköpostiosoite	

Lämpökameran tiedot	Valmistaja	Malli	Kalibrointipäivä	
Kohde/laite	Kuormitus	Kuormitus taso	Ympäristön lämpötila	Emissiokerroin
	Muut olosuhteet (tuuli, tuulensuunta, ilmankosteus yms)			
	Muuta mainittavaa			
IR Kuva		näkyvänvalon kuva		
Analyysi				
Prioriteetti	Toimenpiteet			

Laatuohje sähköjärjestelmien kuvaamiseen

1. Henkilöstö vaatimukset

Holtansähkö Oy vaatii lämpökuvaajiltaan (KTMP (516/1996) 11§) mukaista sähköalan töiden pätevyyttä. Kuvaukset suoritetaan vähintään yhden SETI Oy:n myöntämää standardin EN ISO/IEC 17024/2003 LK-1 pätevyyden omaavan henkilön läsnä ollessa.

2. Laitteisto vaatimukset

Kuvaukset on suoritettava laitteistolla, jossa on riittävän suuri IR resoluutio, 320x240 vastaava tai suurempi. Laitteen tulee olla toimiva, tarkkuus on todennettava vähintään 2 vuoden välein ja mittaus alue ($^{\circ}C_{\min}$ - $^{\circ}C_{\max}$) kohteelle sopiva.

3. Kuvausten suorittaminen

3.1 Yleisohjeet

- Säädä laitteen ominaisuudet mitattavalle kohteelle.
- Huomioi ja vältä kohteen ominaisuuksista johtuvat virheet esim. heijastavat pinnat.
- Huomioi ja vältä ympäristön aiheuttamat virheet esim. auringonvalo.
- Kuvaa kohde sopivalta etäisyydeltä niin, että kuvattava kohde on selkeästi esillä, ja säädä tarkennus, jos automaatti tarkennus ei tarkenna riittävästi.
- Rajaa kuvasta kohteen ulkopuoliset kuumat kohteet, tarkemman lämpöalueen saamiseksi.
- Kuvissa on aina kerrottava käytetty väriskaala.
- Kuvissa täytyy olla esillä lämpöasteikko väreille.
- Merkitse raporttiin kaikki tarvittavat arvot

3.2 Kojeistojen kuvaaminen

- Kuvaa kojeisto sen käynnistyessä, päällä ollessa sekä sammutettaessa.
- Kuvaa tarvittaessa kojeisto eri kuormitusasteilla

Taulukko 1. Jakokeskukset (5, s.9).

Keskuksen osa	Lämpenemä K
Sisäänrakennetut komponentit Tavanomaiset kytkin- ja ohjauslaitteet Elektroniikkaosat (esim. tasasuuntaussilta) Kojeen osat (esim. säädin, vakiojännitelähde)	Kunkin komponentin omien tuotestandardien mukaan, tai komponentin valmistajan ohjeiden mukaan ottaen huomioon keskuksen sisätilan lämpötila
Ulkoisten eristettyjen johtimien liittimet	70
Käsiikäyttöiset ohjauslaitteet	15
Metalliset	25
Eristemateriaalista	
Kiskot ja johtimet Paljaiden kiskojen ja johtimien suurinta sallittua lämpenemistä 105 K ei saa ylittää (myös kaikkien muiden kriteerien on täyttyvä)	Lämpenemistä rajoittavat Johtavan materiaalin mekaaninen lujuus Mahdolliset vaikutukset lähellä olevaan laitteeseen Johtimeen kosketuksessa olevan eristysaineen sallittu lämpötila Johtimen lämpötilan vaikutus siihen liitettyyn laitteeseen Kytkeätkoskettimien aine ja pintakäsittely
Koskeltavissa olevat ulkoiset kotelot ja kannet	30
Metallipintaiset	40
Eristeaineiset pinnat	
Erilliset pistokytkintyyppiset liittimet	Rajoitetaan arvoon, joka sallitaan sen laitteen komponenteille, joiden osa liittämällä on

Taulukko 2. Johdonsuojakatkaisijoiden lämpenemät. (5, s.9)

Osa	Lämpenemä K
Liittimet ulkoisille liitännöille	60
Ulkoiset osat, joita todennäköisesti kosketellaan katkaisijan käsikäytön yhteydessä eristeaineiset käyttöelimet ja useiden napojen eristysaineisten käyttöelimiä yhteen kytkemiseen käytetyt metalliosat mukaan lukien	40
Käyttöelinten ulkoiset metalliosat	25
Muut ulkoiset osat kiinnitysalustaan suorassa kosketuksessa oleva katkaisijan sivu mukaan lukien	60

Taulukko 3. Sulakkeiden lämpenemät. (5, s.9)

Koskettimet	Jousikuormitteinen kosketin		Ruuvikiinnitteinen kosketin	
	Koteloi-maton	Kote-loitu	Koteloi-maton	Kote-loitu
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 lämpötilan mukaan			

Taulukko 5 Katkaisijoiden sallitut lämpenemät (5, s.9)

Osa	Lämpenemä K
Ulkopuolisten johtimien liittimet	80
Käyttöelimet	
Metallia	25
Muuta kuin metallia	35
Osat, jotka on tarkoitettu koskeltaviksi, muttei pidettäväksi kädessä	
Metallia	40
Muuta kuin metallia	50
Osat, joita ei tarvitse koskettaa normaalikäytössä	
Metallia	50
Muuta kuin metallia	60

Taulukko 4 Liittimen sallitut lämpenemät (5, s.10).

Liittimet	Koteloi-maton	Koteloi-tu
Paljas kupari	55	60
Paljas messinki	60	65
Tinapäällysteinen	65	65
Nikkelipäällysteinen	70	70
Hopeapäällysteinen	Viereisten osien lämpötilan mukaan	

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016

44§

Sähkölaitteistot jaetaan niiden varmennus- ja määräaikaistarkastusten vaatimusten sekä kunnossapito-ohjelmaa koskevien vaatimusten osalta luokkiin seuraavasti:

1) luokan 1 sähkölaitteisto:

a) sähkölaitteisto asuinrakennuksessa, jossa on enemmän kuin kaksi asuinhuoneistoa;

b) muu kuin asuinrakennuksen sähkölaitteisto, jonka suojalaitteena toimivan ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 ampeeria ja joka ei kuulu luokkiin 2 tai 3;

2) luokan 2 sähkölaitteisto:

c) sähkölaitteisto, johon kuuluu yli 1 000 voltin nimellisjännitteisiä osia, lukuun ottamatta sellaista sähkölaitteistoa, johon kuuluu vain enintään 1 000 voltin nimellisjännitteellä syötettyjä yli 1 000 voltin sähkölaitteita tai niihin verrattavia laitteistoja;

d) sähkölaitteisto, jonka liittymisteho, jolla tarkoitetaan sähkölaitteiston haltijan kiinteistölle tai yhtenäiselle kiinteistöryhmälle rakennettujen liittymien liittymistehojen summaa, on yli 1 600 kilovoltiampeeria.

3) luokan 3 sähkölaitteisto:

c) verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muu vastaava sähköverkko.

Sähkölaitteistoluokitusta ei sovelleta viestintäverkkojen, hissien, ilma-alusten eikä maa- ja vesikulkuneuvojen sähkölaitteistoihin. (15.)