

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Talotekniikan koulutusohjelma

Viljami Ihanus
Vili Kovapohja

SÄHKÖKESKUKSEN KUNNOSSAPITOTARKASTUKSEN MERKITYS JA MENETELMÄT

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2020
Talotekniikan koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijät
Viljami Ihanus
Vili Kovapohja

Nimeke
Sähkökeskuksen kunnossapitotarkastuksen merkitys ja menetelmät

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä käsitellään sähkökeskusten kunnossapitotarkastuksien toimintapoja ja näiden tarkastusten merkitystä sähkökeskuksen käytön sekä toiminnan kannalta. Sähköturvallisuuslaki määrää sähkölaitteiston haltijan huolehtimaan niiden kunnosta ja säännölliset kunnossapitotarkastukset ovat erinomainen keino varmistaa niiden hyvä kunto.

Työssä tutustuttiin aihepiiristä jo olemassa olevaan materiaaliin ja suoritettiin tarkastuksia tehdasympäristössä sijaitseviin sähkökeskuksiin käyttämällä apuna lämpökuvausta sekä virtamittausta. Tarkastuksiin kuului myös aistinvaraiset tarkastukset ja sähkökeskustilojen tarkastaminen. Työssä perehdyttiin sähkökeskusten kunnossapitotarkastusten merkitykseen sähkö- ja paloturvallisuuden kannalta. Samalla tutustuttiin sähkökeskusten viikatilanteiden aiheuttamiin taloudellisiin vahinkoihin tehdasympäristössä.

Opinnäytetyön keskeisenä tuloksena todettiin kunnossapitotarkastusten olevan merkittävä turvallisuustekijä. Opinnäytetyön tuloksena selkeytyi myös kunnossapitotarkastusten suorittamisen menetelmät.

Kieli
suomi

Sivuja 34
Liitteet 2
Liitesivumäärä 2

Asiasanat

lämpökuvaus, sähkökeskus, kunnossapito, sähköturvallisuus



THESIS
January 2020
Degree Programme in Building Services Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Authors
Viljami Ihanus
Vili Kovapohja

Title
The Significance and Methods of Maintenance Control of Electricity Center

Abstract

This thesis deals with the methods of maintenance inspections of electricity centers and the significance of these inspections for the use and operation of these electricity centers. The Electrical Safety Act requires the owner of the electrical equipment to maintain good condition of the said equipment and maintenance inspections are an excellent tool for ensuring the good condition of the electrical equipment.

In this thesis, existing material on this subject was studied and inspections carried out on electricity centers in a local factory by using thermal imaging and current measurement. These inspections also included sensory inspections and inspecting the electrical rooms. The study focused on the significance of these inspections for electrical safety and fire safety. This thesis also deals with the economic damage caused by the failures of electrical centers in factories.

Language

Finnish

Pages 34

Appendices 2

Pages of Appendices 2

Keywords

thermal imaging, electrical center, maintenance, electrical safety

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Asetukset, määräykset ja lait sähkölaitteiston kunnossapidosta	5
3	Sähkökeskusten kunnossapitotarkastus.....	7
3.1	Kunnossapitotarkastuksen merkitys taloudellisesti.....	7
3.2	Kunnossapitotarkastuksen merkitys sähköturvallisuuden kannalta	8
4	Sähkökeskusten kunnossapitotarkastusten menetelmät	12
4.1	Aistinvarainen tarkastus	13
4.2	Virtamittaus.....	13
4.3	Sähkökeskuksen lämpökuvaus.....	14
4.4	Sähkökeskustilojen tarkastaminen	16
4.5	Sähkökeskus dokumenttien tarkastaminen.....	18
5	Opinnäytetyössä suoritettavat tarkastukset	19
5.1	Käytetyt mittalaitteet.....	19
5.2	Tarkastettavat sähkökeskukset	20
5.3	Sähkökeskustilojen tarkastus	21
5.4	Aistinvarainen tarkastus	22
5.5	Virtamittaus ja lämpökuvaus.....	26
6	Pohdinta	32
	Lähteet	34

Liitteet

Liite 1	Tarkastuspöytäkirja A31
Liite 2	Tarkastuspöytäkirja B31

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena oli sähkökeskusten ja sähkökeskustilojen kunnossapitotarkastus. Tarkoituksena oli perehtyä sähkökeskusten kunnossapitotarkastuksen toimintamenetelmiin, syihin ja merkitykseen erityisesti tehdasympäristössä. Opinnäytetyössä suoritettiin kunnossapitotarkastukset tehdasympäristössä useampaan sähkökeskukseen lämpökuvausta ja virtamittausta käyttäen. Samalla suoritettiin myös aistinvaraiset tarkastukset, kuten sähkökeskusten merkinnät, suojaukset sekä sähkökeskustilojen kunto.

Opinnäytetyössä perehdyttiin myös sähkökeskusten haltijan vastuuseen sähkökeskusten kunnossapidon ja tarkastusten suhteen, sähkökeskusten kunnossapitotarkastuksien ennaltaehkäisevään vaikutukseen niiden turvallisuuden ja toiminnan suhteen sekä sähkökeskusten sähköturvallisuuteen lakien ja määräysten kannalta. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään lyhyesti sähkövioista mahdollisesti aiheutuvia ongelmia ja tapaturmia.

2 Asetukset, määräykset ja lait sähkölaitteiston kunnossapidosta

Kunnossapitotarkastuksella tarkoitetaan sähkölaitteiston säännöllistä tarkastamista, jolla varmistetaan laitteiston kunto sekä turvallisuus. SFS 6000-6:2017 pienjännitesähköasennukset mukaan tarkastusten suorittajan on oltava sähköalan ammattihenkilö ja pätevä suorittamaan tarkastuksia. Näistä tarkastuksista laaditaan tarkastuspöytäkirja, joka sisältää kaikki tarkastuksessa havaitut viat, puutteet ja suoritettavat tarkastustoimenpiteet. Kunnossapitotarkastuksen raportti luovutetaan lopuksi laitteiston haltijalle.

Sähköturvallisuuslaki määrittelee sähkölaitteiston kiinteäksi asennukseksi tai muuksi vastaavaksi sähkölaitteeksi ja mahdollisesti muista laitteista, tarvikkeista ja rakenteista koostuvaksi toiminnalliseksi kokonaisuudeksi. Kyseinen laki määrittää sähkölaitteiston haltijalle tietyt vastuut sekä velvoitteet laitteiston kunnan sekä turvallisuuden ylläpitämiseksi. [2]

”Sähkölaitteiston haltija on vastuussa laitteiston turvallisuudesta, sen ylläpitämiseksi tarvittavasta kunnossapidosta ja siitä, että laitteisto täyttää tämän lain vaatimukset. Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että laitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan ja että havaitut puutteet ja viat poistetaan riittävän nopeasti.” [2.]

”Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistoille laaditaan sähköturvallisuuden ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Sähkölaitteiston haltija vastaa siitä, että kunnossapito-ohjelmaa noudatetaan. Kunnossapito-ohjelmaa laadittaessa tulee ottaa huomioon sähkölaitteiston käyttöympäristöstä aiheutuvat tarpeet.” [2.]

Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes 2020) määrittää sähkölaitteistojen laitteistoluokat niiden tarkastuksien sekä kunnossapito-ohjelmia koskevien vaatimusten mukaan. Taulukossa 1 on esitetty Tukesin laitteistoluokitukset ja niiden määritelmät.

Taulukko 1. Sähkölaitteistojen laitteistoluokat. [3]

Laitteistoluokka ▲	Laitteisto ▲
Luokka 3	verkkoyhtiöiden sähköverkot
Luokka 2	yli 1000 V:n osia sisältävät sähkölaitteistot rakennuksissa tai rakennusten ulkopuolella (suurjänniteliittyvät) ja teholtaan yli 1600 kVA:n pienjänniteliittyvät
Luokka 1	asuinrakennukset, joissa on enemmän kuin kaksi asuinhuoneistoa muu kuin asuinrakennuksen sähkölaitteisto, jossa pääsulakkeet tms. ovat yli 35 A, mm. julkiset rakennukset, liike-, teollisuus- ja maatalousrakennukset, ulkoalueet

Sähkötalalla tarkoitetaan tilaa tai huonetta, jossa sähkökeskus sijaitsee. Näille tiloille ja niiden kunnossapidolle sekä käytölle on määritelty vaatimuksia ja määräyksiä standardissa SFS-EN 61439-1 sekä ST-kortistossa ST 53.61.

3 Sähkökeskusten kunnossapitotarkastus

Sähkökeskukset sekä niiden komponentit kuluvat ajan saatossa, joten sähkölaitteiston tarkastaminen säännöllisesti on tärkeää oikeellisen toiminnan ja sähköturvallisuuden kannalta. Säännöllisillä, huolellisesti toteutetuilla kunnossapitotarkastuksilla sekä niistä laadituilla kunnossapitotarkastuspöytäkirjoilla voidaan todentaa, että sähkökeskuksen käyttö on häiriötöntä ja suojaus sähköiskua sekä palovaaraa vastaan on kunnossa. Sähkölaitteiston haltija voi tarkastuspöytäkirjan avulla laatia huolto- sekä kunnossapitosuunnitelman sähkökeskuksille, jota noudattamalla voidaan havaita, korjata sekä estää syntyvä vika ennen kuin se aiheuttaa minkäänlaista vahinkoa.

3.1 Kunnossapitotarkastuksen merkitys taloudellisesti

Sähkökeskusten käyttövarmuus on tärkeää esimerkiksi tehtaan tuotannon kannalta. Jos sähkökeskuksen tarkastuksia laiminlyödään, voi suurikin vika jäädä huomaamatta, mikä voi lopulta johtaa keskuksen toimimattomuuteen. Keskuksen toimimattomuus johtaa usein sähkökatkokseen, joka taas aiheuttaa tehtaan tuotantolinjojen sähkölaitteiden toimimattomuuden.

Pidemmät sähkölaitteiden häiriötilanteet aiheuttavat tehtaalle tuntuvia tappioita, sillä vianetsintä sekä viankorjaus on usein aikaa vievää. Kunnossapitotarkastuksien avulla saadaan ylläpidettyä huoltohenkilöstön ajantasainen tietoisuus kyseessä olevan keskuksen yleisestä kunnosta. Tarkastuksilla voidaan myös todentaa keskuksen komponenttien käyttövarmuus ja tarvittaessa uusia ajan saatossa kuluneet komponentit. Useilla tehtailla on käytäntönä varastoida tiheämmän vaihtovälin omaavia keskuskomponentteja omaan varastoon, joka mahdollistaa häiriötilanteessa viallisen komponentin nopean vaihdon uuteen.

Tarkastuksissa selviää myös keskuksien kuormitukset, jotka kirjataan tarkastuspöytäkirjaan ylös. Tarkastuspöytäkirjan avulla on siten helppo suunnitella mahdollisten uusien sähköasennuksien tuomat kuormat oikeisiin keskuksiin. Tällä voidaan estää keskuksen liiallinen kuormitus, mikä lisää keskuksen ja sen syöttämien sähkölaitteiden käyttövarmuutta.

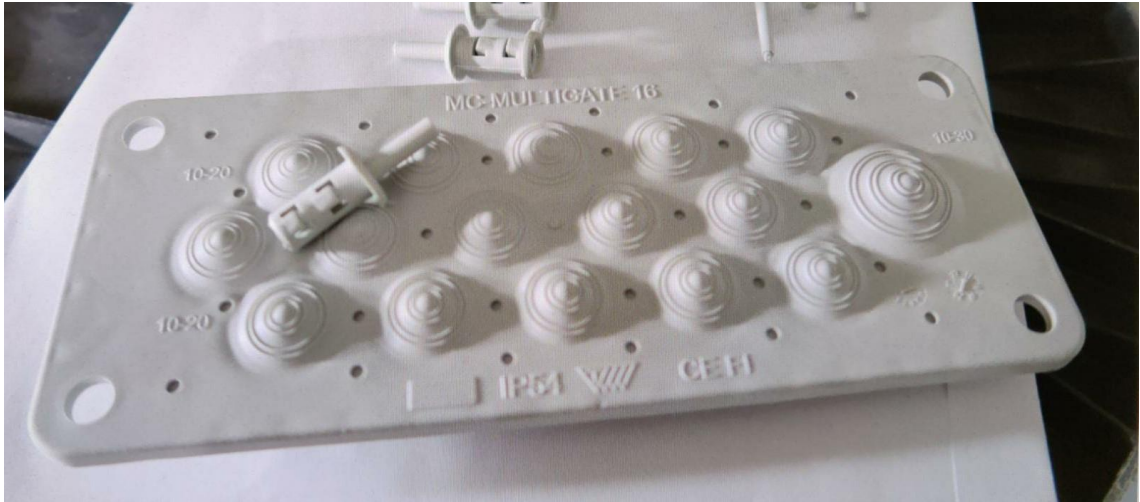
Kunnossapitotarkastuksen perusteella voidaan ennakkoon suunnitella sähkökeskuksen huoltotoimenpiteet ja huollolle varattavan ajan tarpeen huoltokatkoksessa. Tämä lisää kustannustehokkuutta.

Nämä taloudelliset vaikutukset ovat yksi syy siihen, että useissa tehtaissa sähkökeskusten kunnossapitotarkastus suoritetaan vuosittain, jotta mahdolliset tuotantotappiot pysyvät alhaisina.

3.2 Kunnossapitotarkastuksen merkitys sähköturvallisuuden kannalta

Sähkökeskuksen kunnossapitotarkastuksessa huomioidaan erityisesti sähkökeskuksen turvallisuus sen käytön kannalta.

Sähkökeskuksen kotelon suojauksen tulee olla kunnossa ja määräysten mukainen. Sähkökeskuksen koteloinnissa on huomioitava sähkökeskusta ympäröivät olosuhteet. Virheettömällä suojauksella estetään veden ja lian pääsy sähkökeskukseen. Vesi voi aiheuttaa keskuksessa oikosulun ja liiallinen pöly tai lika voi johtaa palovaaraan. On myös varmistuttava sähkökeskuksen mekaanisesta kunnosta tarkastamalla sähkökeskuksen kansien eheys, paikalleen istuvuus, mahdollisten tiivisteiden käyttökelpoisuus sekä kansien kiinnitysruuvien kireys ja määrä. Kaapeleiden läpiviennissä estetään ulkoisten nesteiden ja materiaalien pääsy sähkökeskuksen sisälle käyttämällä läpivientilaippoja. Kuvassa 1 on esitetty läpivientilaippa.



Kuva 1. Läpivientilaippa MC-Multigate 16 IP51

Erityisesti suurien syöttöjohtimien läpivientilaipat on tarkistettava. Käyttämättömät läpiviennit on tukittava, ettei niistä pääse mitään ylimääräistä sähkökeskukseen sisälle.

Sähkökeskusten kosketussuojauksien tarkastamisella kartoitetaan sähkökeskusten käyttöturvallisuutta. Kosketussuojauksella tarkoitetaan ihmisen suojaamista sähköiskulta eristämällä, koteloimalla tai suojaamalla esteillä jännitteiset osat. Sähkökeskuksessa suojaus on useimmiten toteutettu sormisuojuilla, jotka estävät ihmisen kosketuksen jännitteisiin osiin esimerkiksi sulaketta vaihdettaessa. Kuvasssa 2 on esimerkki sormisuojuksesta.



Kuva 2. Oikein toteutettu sormisuojaus [4]

Tarkastuksessa on suotavaa varmistaa posliinisten sulakekansien kunto mahdollisten vaurioiden varalta, sillä ne ovat usein lohjenneet väärinkäytöstä. Sähkökeskusten eri osastoiden väliset tippumissuojat on myös tarkistettava. Tippumissuojan puuttuminen tai viallisuus voi johtaa esimerkiksi siihen, että asentajan työskennellessä sähkökeskuksessa hänen työkalunsa putoaa osastoiden lävitse jännitteiseen osastoon ja koskettaa jännitteisiä osia. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi ruuvimeisselin putoaminen keskuksen läpi keskuksen alalaidassa kulkevien virtakiskojen väliin aiheuttaen oikosulun.

Sähkökeskuksen yleisellä siisteydellä on merkitystä sähkökeskuksen turvallisuuden kannalta. Sähkökeskuksen sisällä ei saa säilyttää mitään ylimääräistä. Tarkastuksessa on suotavaa varmistaa, ettei keskuksen sisällä ole runsaasti pölyä tai mitään sinne kuulumatonta. Myöskään sähkökeskuksen edessä ei saa varastoida mitään sellaista, mikä estää pääsyn laitteiston luo tai muuten haittaa sen käyttöä.

Sähkökeskuksen merkintöjen tulee olla kunnossa. Erityisesti sähkökeskuksen lähtöjen tulee olla oikein merkitty. Virheellisesti merkityt lähdöt voivat johtaa ta-

paturmiin, sillä väärä merkintöjä noudattamalla halutussa poiskytkettävässä lähdössä voi edelleen kulkea virta. Tämä johtaa usein sähköiskuun, jos käyttäjä tai asentaja ei varmista asiaa mittaamalla. Puuttuvat tai virheelliset merkinnät vaikeuttavat myös kaapelin kytkemistä keskukseseen. Keskustunnuksen tulee olla näkyvissä, jotta käyttäjä tietää toimivansa oikean sähkökeskuksen parissa.

Sähkökeskuksen kunnossapitotarkastuksella pyritään vähentämään riskiä sähköpaloihin sekä palokuolemiin tarkastamalla sähkökeskukseen liittyvien kaapeleiden rakenteellinen kunto sekä niiden liitoskohdat. Löysät liitokset ja sähköjohtimien virrankeston ylittävät virrat aiheuttavat kuumentumista, mitkä palokuorman kanssa yhdistettynä johtavat sähköpaloon. Kyseiset tarkastustoimenpiteet pätevät myös sähkökeskuksen sisältämiin sähkökomponentteihin, jotka ikääntyessään lisäävät riskiä sähköpaloihin. Sähkökeskuksen hyvän yleissiisteyden ylläpitämisellä estetään pölystä, keskuksen sisään väärin sijoitetuista keskusasiakirjoista ja muista sinne kuulumattomista materiaaleista aiheutuvia palotilanteita.

Taulukossa 2 on esitetty kaikki sähkölaitteistoista sekä sähkölaitteista aiheutuneet sähköpalojen ja sähköpalokuolemien määrät vuosina 2013 - 2018.

Taulukko 2. Sähköpalot ja palokuolemat Suomessa vuosina 2013-2018. [5]

▲	2013 ▲	2014 ▲	2015 ▲	2016 ▲	2017 ▲	2018 ▲
Sähköpalot*	524	502	490	549	507	523
Sähköpalokuolemat	11	24	16	21	8	11
Kaikki palokuolemat	47	87	78	82	58	50

Tukes (2017) on myös selvittänyt sähköenergiasta aiheutuneet sähköpalot sekä raportoinut tulokset dokumenttiin "Sähkölaitteistoista (sähköasennuksista) aiheutuneet tulipalot ja palovaarat Suomessa vuonna 2017". Raportista ilmenee sähkökeskusten vikaantumissyöt palohälytystehtävissä vuodelta 2017. [6]. Nämä tulokset ovat nähtävissä taulukossa 3.

Taulukko 3. Sähkökeskusten vikaantumissytyt palohälytystehtävissä vuonna 2017. [6]

Kiinteistöjen sähkökeskusten aiheuttamat palohälytystehtävät n=102		
Tehtävän aiheuttaja	lukumäärä	rakennuspallo
... ei tiedossa	40	21
... oikosulku	14	2
... ”komponentti”	8	-
... johdot/ johtimet	7	1
... ”löysä liitos”	6	5
... rele/ kontaktori	6	-
... katkaisija	5	-
... varoke	4	1
... muuntaja keskuksessa	2	-
... keskuksen tausta	2	1
... kiskosto	2	-
... syttyi asennustyön yhteydessä	1	-
... epäsiisti	1	-
... ukkonen	1	1
Kiinteistöllä rakennuksen ulkopuolella ...		
... ”tonttikeskus”	2	”Muu tulipalo”
... työmaakeskus	1	”Muu tulipalo”
Yhteensä	102	Rakennuspalot 32

Taulukon mukaisista hälytystehtävien aiheuttajista olisi useamman voinut ennaltaehkäistä säännöllisillä kunnossapitotarkastuksilla. Löysien liitoksien sekä ikääntyneiden sähkökomponenttien tuottamat lämpöenergiat olisi esimerkiksi voinut havaita sähkökeskuksen lämpökuvauksen yhteydessä. Aistinvaraisen tarkastuksen perusteella sähkökeskuksen siisteyteen olisi voitu kiinnittää huomiota, jolloin epäsiisteydestä ei olisi aiheutunut hälytystehtävää.

4 Sähkökeskusten kunnossapitotarkastusten menetelmät

Sähkökeskuksen kuntoa tarkastetaan suorittamalla aistinvaraisia tarkastuksia, mittauksia, testauksia sekä koestuksia. Näin varmistetaan sähkökeskuksen turvallisuus ja varma toiminta sähköturvallisuusvaatimusten mukaisesti.

4.1 Aistinvarainen tarkastus

Aistinvaraista tarkastusta suoritetaan koko kunnossapitotarkastuksen ajan, ja käytännössä se tapahtuu katselemalla, että kaikki sähkökomponentit, johtimet, liittimet, kosketussuojaukset ja sähkökeskuksen rakenteet ovat ehjiä sekä asiallisesti asennettu. Sähkökeskusta tarkastaessa tulee kiinnittää myös huomiota sähkökeskuksen merkintöihin, tunnuksiin ja varoituskyltteihin.

4.2 Virtamittaus

Sähkökeskuksen kunnossapitotarkastuksen yhteydessä on suotavaa mitata keskuksen virrat. Nämä mittaukset voi suorittaa pihtiampeerimittaria käyttäen nollajohtimesta sekä jokaisesta vaihejohtimesta. Virtamittauksella varmistetaan johtimien ja sähkökeskuksen kuorman suuruus sekä kuorman tasainen jako vaiheiden välillä. Kolmivaihejärjestelmässä kuormituksen jakaminen tasaisesti estää vinokuorman syntymistä. Vinokuormalla kuvataan tilannetta, jossa kolmivaihejärjestelmässä kuormitus on jaettu epätasaisesti vaiheille. Vinokuorma tilanteen ongelmaksi muodostuu nollajohtimeen syntyvä virta, joka aiheuttaa johtimen kuumentumista ja eristeiden kulumista. Vinokuorman syntyminen on vaarallista varsinkin vanhoissa sähköjärjestelmissä, joissa nollajohtimen poikkipinta-ala on mitoitettu pienemmäksi kuin vaihejohtimien poikkipinta-ala. Sähkökeskuksen kunnossapitotarkastuksessa suoritettavan virtamittauksen perusteella voidaan selvittää, sietääkö sähkökeskus uusista ryhmälisäyksistä syntyvät kuormat.



Kuva 3. Pihtivirtamittari Victor DM6266

4.3 Sähkökeskuksen lämpökuvaus

Sähkökeskusten lämpökuvaus on tärkeä osa kunnossapitotarkastusta. Sähkölaitteistojen yleisin ongelma on liian suurista virroista tai vastuksista aiheutuva kuumeneminen. Näitä epänormaaleja tilanteita pyritään sähkökeskuksen lämpökuvauksella havaitsemaan ja niiden tuottamia vikatilanteita ennaltaehkäisemään. Lämpötilapoikkeamia voi myös aiheuttaa esimerkiksi eristysviat, johdotusvirheet, alimitoitettut komponentit sekä harmoniset yliaallot.

Sähkökeskusta lämpökuvatessa on tärkeää kiinnittää huomiota sähkötyöturvallisuuteen, koska lämpökuvaus suoritetaan sähkökeskuksen ollessa virrallisena, on mittauksen suorittajan oltava sähköalan ammattilainen ja hänellä on oltava voimassaolevat sähköalan pätevyudet. Lämpeneminen voi johtua monesta eri tekijästä, joten mittausta suorittavan henkilön on ymmärrettävä sähkö- ja mittauslaitteiston toiminta sekä termodynamiikan perusteet.

Lämpökuvaus kertoo kappaleen pintalämpötilan, joten on tärkeää poistaa sähkökomponenttien edestä mahdolliset sormisuojuukset sekä kotelot ja suorittaa lämpökuvaus suoraan sähkökomponenttien pinnasta. Jos esteetöntä mittausrakennetta ei ole mahdollista saavuttaa, voidaan lämpökuvaus suorittaa esteen ympäriltä ja tarkastella näin komponentista ympäristöön johtuvaa lämpöä. Koska keskuksessa on yleensä useampi samanlainen johdin tai komponentti, niiden lämpötiloja on helppo vertailla toisiinsa. Yleisenä periaatteena on, että yli $+15^{\circ}\text{C}$ lämpötilaero kahden identtisen ja symmetrisesti kuormitetun komponentin välillä kertoo välittömästi korjattavasta viasta.

Lämpökuvauksella havaitaan helposti löysät liitokset, ylikuormittumisesta lämpenevät johtimet ja sähkökomponenttiviivat. Lämpökuvaus kertoo ryhmäjohtimien lämpötilat niiden nykyisellä kuormituksella. Jos ryhmäjohtimella on korkea lämpötila jo alhaisella kuormituksella, voidaan päätellä, että kuormituksen lisääntyessä riski sähköpalolle ryhmäjohtimen ylikuumentumisen takia kasvaa. Sähköjohtimen eriste vaurioituu ylikuumentumisesta, ja tästä voi seurata valokaari, joka aiheuttaa tulipalon.

Lämpökuvaamalla sähkökeskusta syöttävät johtimet voidaan havaita vaiheiden epäsymmetrinen kuormitus tai niiden mahdollinen alimitoitus. Kuormituserot on hyvä varmistaa mittaamalla kuorma virtamittarilla.

Lämpökuvausta suorittaessa on kiinnitettävä huomiota mitattavan kohteen emissiivisyyteen eli kappaleen lähettämän säteilyn määrän. Erittäin heijastavat pinnat, kuten keskusten alumiiniset taustalevyt, heikentävät mittaustulosta. Lämpökameroissa on usein valittavissa esimääritettyjä emissiivisyyskertoimia erilaisille pintamateriaaleille, kuten kuvassa 4 näkyy. Emissiivisyys on pieni, jos kappaleen heijastavuus on suuri.



Kuva 4. Fluke Ti25 esimääritetyt emissiivisyyskertoimet

4.4 Sähkökeskustilojen tarkastaminen

Sähkökeskustilojen siisteyteen ja toimivuuteen on kiinnitettävä huomiota kunnossapitotarkastusta suorittaessa. Sähkökeskustilat tulee pitää puhtaina, eikä niissä ole suotavaa säilyttää mitään sinne kuulumatonta. Sähkökeskustilojen epäsiisteys lisää paloturvallisuusriskiä ja sähkökeskustiloissa säilytettävät tavarat lisäävät pahimmillaan palokuormaa.

Sähkökeskuksien edessä ei saa säilyttää mitään. Tällä pidetään huoli siitä, että sähkökeskuksien luoksepäästävyys on kunnossa. Sähkökeskuksien ympärillä on suotavaa pitää vähintään 0.8m hoitotilaa koko sähkökeskuksen leveydeltä, joka mahdollistaa sähkökeskuksessa suoritettavat asennus-, huolto-, tarkastus- ja käyttötoimenpiteet. ST-kortiston 53.34 mukaan vähintään 63A sähkökeskuksille tulee olla vähintään tällainen edellä mainittu hoitokäytävä.

Sähkökeskustiloissa olisi hyvä olla sen sisältämän sähkökeskuksen käyttöä helpottavat ja turvallisuutta parantavat sähkötyökalut, kuten kahvasulakkeiden vaihtokahva suojakäsineellä (Kuva 5).



Kuva 5. Kahvasulakkeen vaihtokahva suojakäsineellä [7]

Sähkökeskustilan rakenteissa ei saa olla ylimääräisiä aukkoja, jotka heikentävät tilan paloluokitusta. Läpiviennit sähkökeskustiloissa tulee olla paloeristetty palo-osastoinnin vaatimusten mukaisesti. Sähkökeskustiloja tarkastaessa on suotavaa kiinnittää huomiota tilojen ilmanvaihtoon sekä suodatukseen, ettei sähkökeskustilaan tarpeettomasti kulkeudu pölyä tai likaa. Sähkökeskustilan liian korkea lämpötila aiheuttaa keskuksen komponenttien heikkenemistä ja ennenaikaista hajoamista. Taulukossa 4 on esitetty ST-kortiston 53.61 määrittelemät sallitut lämpötilat eri tiloissa [8]

Taulukko 4. Eri sähkötiloissa sallitut lämpötilat [8]

Tila	Maksimi-lämpötila	Minimi-lämpötila	Käyttö-lämpötila	Huomautuksia	Ylipaine	Suodatustarve
Muuntajatilat luokka 01	Huom. 1a	Huom. 2	20 °C	100 % jatkuva kuormitus	Huom. 3	
Muuntajatilat luokka 10K1	Huom. 1a	Huom. 2	20 °C	88 % jatkuva kuormitus	Huom. 3	
Muuntajatilat luokka 20K1	Huom. 1a	Huom. 2	20 °C	77 % jatkuva kuormitus	Huom. 3	
Muuntajatilat luokka 30K1	Huom. 1a	Huom. 2	20 °C	63 % jatkuva kuormitus	Huom. 3	
Pääkeskustila	40 °C	5 °C	15...28 °C	Suosittelava kosteus 20 % – 85 %	Huom. 3	Huom. 4 tai 5
Kaapelitilat tai vastaavat	40 °C	5 °C	10...30 °C	Kaapeli kuormitus!		Huom. 6
Moottorigeneraattoritilat	35 °C	5 °C	10...30 °C			Huom. 6
Akustilat	25 °C	15 °C	20 °C	SFS-EN 50272-2 Tarkista tilan räjähdysvaarallisuus		Huom. 6
UPS-tilat	30 °C	15 °C	20 °C		Huom. 3	Huom. 4 tai 5
Automaattitilat yleensä	30 °C	15 °C	25 °C	Suosittelava kosteus 20 % – 75 %	Huom. 3	Huom. 4 tai 5
Tietokoneilat yleensä	27 °C	20 °C	22 °C	toleranssi yksi aste Suositeltava kosteus 45 % – 55 % huom 7	Huom. 3	Huom. 4 tai 5
Inverteri- ja tasavirtakäytöt	25 °C	15 °C	18...22 °C		Huom. 3	Huom. 4 tai 5
Erillinen kompensointitila	40 °C	5 °C	15...25 °C			Huom. 4 tai 5

- Lämpötilat positiivisia lukuja.
- Huom. 1. IEC 61 330 mukainen koteloitiluokka.
- Huom. 1a. Maksimiarvon määrää muuntajan lämpeneminen.
- Huom. 2. Mitä alhaisempi sen parempi. Ympäriällä olevat tilat otettava huomioon.
- Huom. 3. Tarvittaessa pieni ylipaineistus ympäristöön nähden. Suosituksena on 20 Pa ylipaine.
- Huom. 4. Mekaaninen suodatus.
- Huom. 5. Tarvittaessa kemiallinen suodatus.
- Huom. 6. Harkinnan mukaan.
- Huom. 7. Energian säästön takia voidaan käyttää korkeampia lämpötiloja. Tiloihin sijoitettavien laitteiden maksimi käyttölämpötila tulee tällöin sallia korotetun lämpötilan.

4.5 Sähkökeskus dokumenttien tarkastaminen

Sähkökeskusten kunnossapitotarkastuksen yhteydessä tulee tarkastaa myös sähkökeskuksen eri dokumenttien ajantasaisuus ja olemassaolo. Sähkökeskusten dokumentit kuten pääkaaviot, tulee olla lukukelpoisia ja ajan tasalla, sillä se helpottaa sekä nopeuttaa keskuksen käyttöä ja lisää turvallisuutta sähkökeskusta huoltaessa.

Sähkökeskuksen dokumentit olisi suotavaa säilyttää kyseessä olevan sähkökeskuksen tilassa sellaisessa paikassa, jossa dokumentit ovat suojassa sekä helposti saatavilla. Sähkökeskusdokumenteja voidaan säilyttää esimerkiksi muovitaskussa, joka on kiinnitetty sähkökeskuksen kylkeen.

5 Opinnäytetyössä suoritettut tarkastukset

Opinnäytetyössä suoritettiin kunnossapitotarkastus kahdelle sähkökeskukselle. Tässä osiossa käydään läpi suoritettut tarkastukset sekä niiden tulokset. Molemmille sähkökeskuksille suoritettiin aistinvarainen tarkastus, virtamittaus sekä ne tarkistettiin lämpökuvaamalla. Sähkökeskusten tiedot ja mittaustulokset esitetään tarkastuspöytäkirjoissa, jotka ovat opinnäytetyön liitteissä 1 ja 2.

Tarkastukset suoritettiin 20.1.2020.

5.1 Käytetyt mittalaitteet

Virtamittarina tarkastuksessa käytimme pihtivirtamittaria Victor DM6266 ja käyttämämme lämpökamera oli Fluke Ti25.

Victor DM6266 toimii muuten kuten normaali yleismittari, mutta siinä on lisäksi myös pihtivirtamittaus ominaisuus. Pihtivirtamittari mittaa sähköjohtimessa kulkevan virran määrän sen ympärilleen muodostaman magneettikentän avulla, joka mahdollistaa virran mittauksen katkaisematta itse virtapiiriä. Victor DM6266 näkyy aikaisemmassa kuvassa 3.

Fluke Ti25-lämpökuvain (Kuva 6.) on kädessä pidettävä lämpökamera, jota tavallisesti käytetään ehkäisevään huoltoon, laitteiston vianmääritykseen ja tarkistukseen. Lämpökuvan lämpötila-alue kyseisessä lämpökamerassa on -20°C ja ulottuu $+350^{\circ}\text{C}$ asti. Fluke Ti25-lämpökameran etuihin kuuluu myös mahdollisuus tallentaa kuvia muistikortille ja nauhoittaa niille äänileikkeet huomautuksien varalta. Lämpökameran toiminta perustuu kappaleen pintalämpötilan muodostamaan infrapunasäteilyyn, josta lämpökamera muodostaa kuvan.



Kuva 6. Fluke Ti25 Lämpökuvain [9]

5.2 Tarkastetut sähkökeskukset

Kunnossapitotarkastus suoritettiin kahteen sähkökeskukseen, jotka sijaitsevat tehdasympäristössä varastotiloissa vierekkäin. Sähkökeskusten tunnuksat, joita käytetään tässä raportissa sähkökeskuksiin viittaamiseen, olivat A31 ja B31. Kuvassa 7 on kuvattu molemmat keskukset, vasemmalla B31 ja oikealla A31.

A31-sähkökeskuksen pääkytkimen nimellisvirta on 630A ja se on varustettu 630A pääsulakkeilla. Sähkökeskusta syötetään kahdella AMMK 4x185 mm² kaapelilla ja potentiaalintasaus maadoitusjohtimen laji on MK 50 mm² ja keskuksen rungon suojajohdin on toteutettu kahdella MKEM 50 mm² johtimella. Sähkökeskuksen nimellisarvot ovat 400V/630A.

B31-sähkökeskuksen pääkytkimen nimellisvirta on 250A ja se on varustettu 80A pääsulakkeilla. Sähkökeskusta syötetään MMJ 4x25N mm² kaapelilla. Keskuksen rungon suojajohdin on toteutettu MKEM 35 mm² johtimella. Sähkökeskuksen nimellisarvot ovat 400V/200A.



Kuva 7. Tarkastetut sähkökeskukset B31 ja A31

5.3 Sähkökeskustilojen tarkastus

Sähkökeskuksilla A31 ja B31 ei ollut varsinaista sähkökeskustilaa, vaan ne sijaitsivat varastotilan seinustalla jalankulkukäytävän vieressä. Tarkastuksessa tulee silti huomioida sähkökeskusten vaatima hoitotila ja varmistaa, ettei sähkökeskusten edessä varastoida mitään. Kyseessä olevien sähkökeskusten kohdalla nämä asiat olivat muuten kunnossa, lukuunottamatta muoviastia pinoa sähkökeskuksen edessä, kuten kuvassa 7 näkyy. Kuvassa 8 kuvattu sähkökeskuksen edusta toisesta suunnasta.

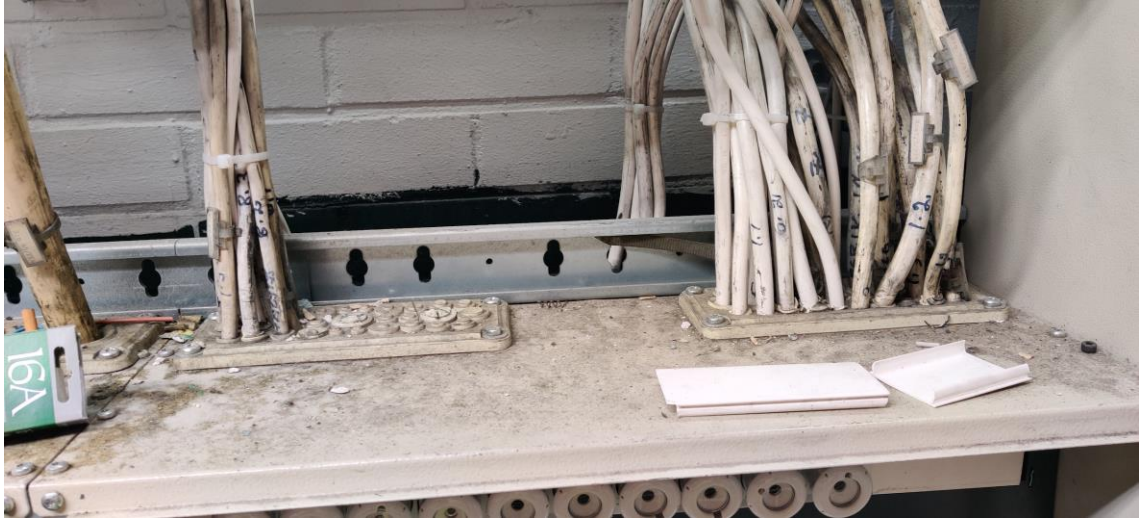


Kuva 8. Sähkökeskusten A31 ja B31 edusta.

5.4 Aistinvarainen tarkastus

Tarkastimme aluksi sähkökeskuksien tunnuksien paikkansa pitävyyden sekä näkyvyyden ja totesimme niiden olevan kunnossa. Sähkökeskuksien kahvalähtöjen merkinnät olivat oikein ja ajan tasalla. Sähkökeskuksien varoitus- sekä huomiokilvet olivat myös oikein sijoitettu. Sähkökeskuksen dokumentit oli sijoitettu pilariin sähkökeskusten viereen, dokumentit olivat osittain ajan tasalla ja osittain lisäyksiä oli merkattu asentajan toimesta mustekynin, kuitenkin olisi suotavaa piirtää sähkökeskuksen pääkaaviot puhtaaksi suunnitteluohjelmalla. Huoltotoimenpiteenä tulisi sähkökeskuksen pääkaavio päivittää vastaamaan nykyistä tilannetta ja päivittää sähkökeskuksen ryhmätunnukset oikeaoppisesti.

Sähkökeskuksien päällä oli kuitenkin jonkin verran likaa ja niiden päältä löytyi sormisuojaletyviä, sulakkeita sekä muuta sinne kuulumatonta pientä roskaa. Sähkökeskusten päälliset siistittiin tarkastuksen yhteydessä. Läpiviennit olivat kuitenkin ehjiä ja sen suhteen kotelon suojaukset olivat kunnossa. Keskukseen tulevat kaapelit oli merkitty osittain merkintäliuskalla varustetuilla nippusiteillä ja osittain merkitsemällä kaapelin ryhmänumero tussilla kaapelin kylkeen. Jälkimmäinen merkintätapa on ajan mittaan huonompi sillä merkintä kuluu hyvin helposti kaapelin kuoresta. Kuvassa 9 kuvattu B31 sähkökeskuksen päällinen puoli.



Kuva 9. Sähkökeskuksen B31 päällinen puoli

Seuraavaksi siirryimme tarkastamaan sähkökeskusten sisätilat ja mekaanisen kunnon. Heti aluksi huomasimme sähkökeskuksen sormisuojuuksessa puutteita. Kuten kuvissa 10 ja 11 näkyy, oli sormisuojulevyt osittain kiinnitetty teipillä ja paikotellen niitä ei ollut ollenkaan. Sormisuojuuksen puuttellisuus kirjattiin ylös ja korjattiin tarkastusten jälkeen.



Kuva 10. Teipillä kiinnitetyt sormisuojat



Kuva 11. Puuttuvat sormisuojat

Sähkökeskuksen sisällä oli myös varastoitu sulakkeita, kuten kuvassa 12 näkyy. Irtonaisten sulakkeiden säilyttäminen sähkökeskuksen sisällä luo riskin niiden puotumisesta osastosta toiseen, jos kyseisen osaston alla sellainen on. Huoltotoimenpiteenä irtonaiset sulakkeet poistettiin sähkökeskuksen sisältä.



Kuva 12. Sähkökeskuksen sisällä säilötyt sulakkeet

Sähkökeskuksen lähtöjen merkinnät oli muutostöiden jälkeen merkitty uudestaan kirjoittamalla mustekynällä merkintäliuskaan uusi ryhmätunnus kuten kuvassa 13 näkyy. Nämä merkintäliuskat olisi merkinnän kestävyys ja luettavuuden kannalta hyvä tehdä uudestaan.



Kuva 13. Tulppasulakelähdöt

5.5 Virtamittaus ja lämpökuvaus

Kun aistinvarainen tarkastus oli suoritettu, niin siirryttiin suorittamaan lämpökuvausta. Lämpökuvaus on suoritettava silloin kun sähkökeskus on kuormitettu, jotta tulokset ovat oikeellisia. Avattiin sähkökeskuksen jokainen osasto joka oli otettu käyttöön ja purettiin kaikki kuvauksen estävät suojaukset pois keskukselta, jotta saatiin paras mahdollinen mittaustulos. Aloitettiin lämpökuvaukset tulppasulake lähdöistä, kuva 14.



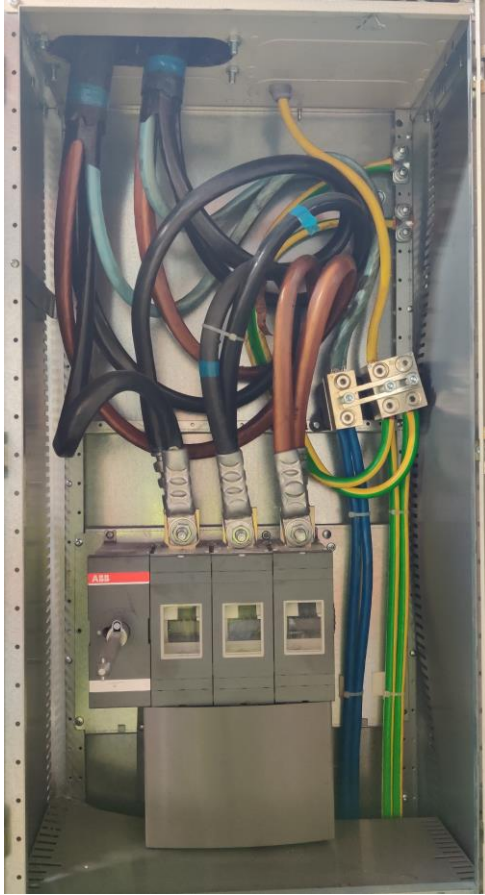
Kuva 14. Tulppasulakkeet lämpökamerassa

Lämpökameran asetuksista saa näytössä näkymään automaattisesti suurimman ja pienimmän mitatun pisteen lämpötilat. Tällöin näytöllä voi lämpimin kohde näyttää värin mukaan todella kuumalta, vaikka lämpötila ei todellisuudessa suuri olisikaan. Samalla pienemmän lämpötilan omaava kappale voi vaikuttaa kylmältä. Kuvassa 13 esimerkiksi vasen tulppasulake esitetään väritykseltään kuumana ja viereiset näyttävät kylminä, vaikka lämpötilaeroa näiden välillä on vain 16.4°C. Tehdasasetuksilla lämpökamera esittää lämpötilojen suuruutta pelkillä väreillä, joten kuvaa on hieman hitaampi tulkita. Emissiivisyyden arvona käytettiin arvoa 0.95. Kuvaa 13 tarkasteltaessa voidaan tulkita, että vasemman puolen tulppasulakkeella on suurempi kuorma ja tästä syystä sen lämpötila on hieman muita suurempi. Tämä varmistettiin sähkökeskuksen pääkaaviosta tarkastamalla kyseisen ryhmän syöttämä kohde. Virtamittaus olisi ollut liian hankala suorittaa kyseisessä osastossa sähkökeskuksen ollessa jännitteellinen. Sähkökeskusten tulppasulakkeiden lämpötiloissa ei havaittu mitään toimenpiteitä vaativia lämpötiloja. Tavallisesti on syytä ryhtyä toimenpiteisiin, jos lämpötilat alkavat lähestyä +60°C. Kuvassa 15 on nähtävissä toinen lämpökuva tulppasulakkeista. Kyseisten tulppasulakkeiden lämpötilat olivat väliltä +28.2°C - +24.9°C.



Kuva 15. Tulppasulakkeiden lämpökuvaus

Tulppasulakkeiden kuvauksen jälkeen siirryttiin kuvaamaan sähkökeskuksen pääkytkin ja kahvalähdöt. Sähkökeskuksen pääkytkimen lämpökuvaus yhdistettynä virtamittauksen kanssa antaa hyvän kuvan sähkökeskuksen kuormituksesta. Kuvassa 16 on esitetty keskuksen A31 pääkytkin ja syöttöjohtimet.



Kuva 16. A31 Sähkökeskuksen pääkytkin

A31 sähkökeskuksen pääkytkimen kuvauksen suorittamiseen ei tarvinnut purkaa suojaus, sillä niitä ei ollut. Kyseistä sähkökeskusta syötettiin kahdella voimavirtakaapelilla. Suoritetun lämpökuvauksen perusteella todettiin ettei päävirtakytkin eikä siihen kytketyt johtimet olleet liian kuumia. Kuvassa 17 on esitetty syöttöjohtimien kaapelien lämpötilat.

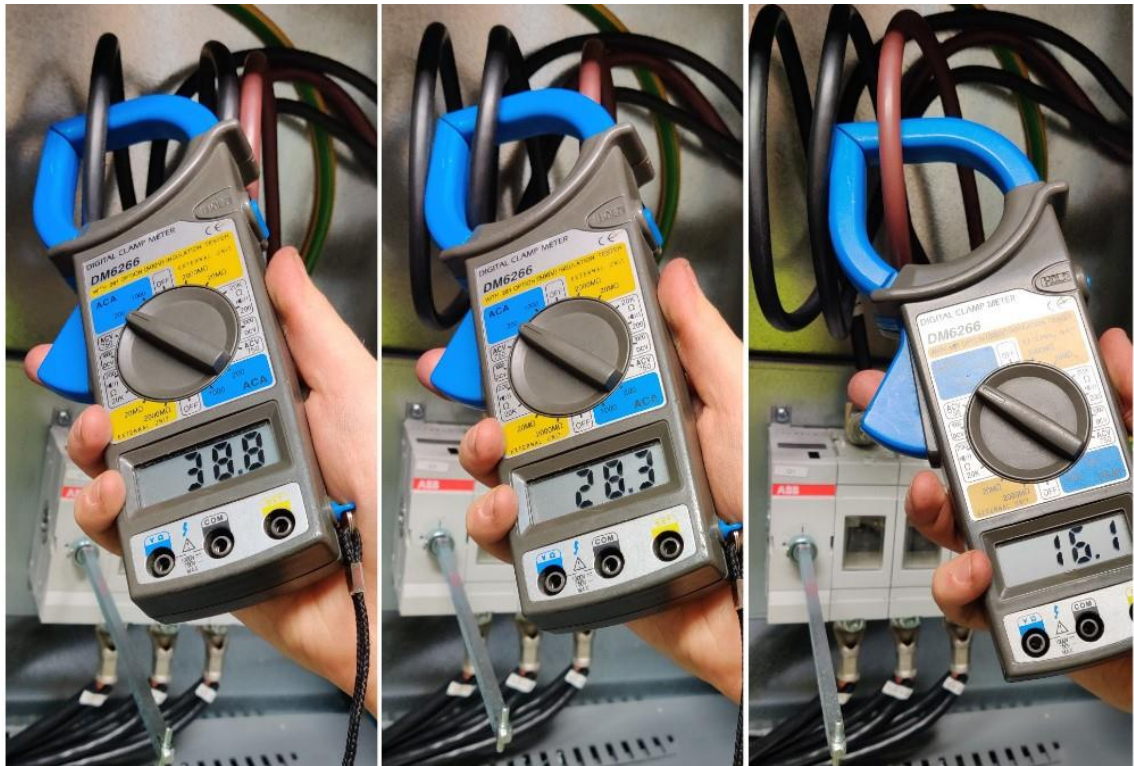


Kuva 17. Sähkökeskuksen A31 syöttöjohtimet

Kuvassa 16 on myös nähtävissä taustalevyn heijastava vaikutus lämpökuvauksessa. Lämpökamera näyttää korkeimmaksi lämpötilaksi +30°C, johtuen sähkökeskuksen alumiinisesta taustalevystä, joka heijastaa lämpökuvaajaa itseään. Kuvasta on kuitenkin nähtävissä, että kaapelikengät on lämpötilaltaan noin +24°C. Tästä johtuen näyttö ilmaisee johtimien kaapelikengät sinisellä värillä ja kuvaajan heijastuksen punaisella. Molempien sähkökeskusten pääkytkimien kuvauksen jälkeen kuvattiin sähkökeskusten kahvalähdöt ja todettiin kuvauksien perusteella niiden olevan kunnossa. Sähkökeskuksen B31 ensimmäinen vaihejohdin näytti korkeampaa lämpötilaa mitä vaiheiden 2 ja 3 johtimet, koska sähkökeskuksessa oli kuormitusta eniten vaiheella 1. Tämä varmistettiin virtamittauksella, joka näkyy kuvassa 18.

Muuta kuvattavaa sähkökeskuksissa oli virtakiskot ja muut keskuskojeet kuten kelat. Sähkökeskuksien lämpötiloissa ei havaittu niidenkään kohdalla mitään toimenpiteitä vaativia lämpötiloja.

Lämpökuvauksen jälkeen mitattiin syöttöjohtimista niiden virrat. A31 keskuksen vaiheiden virrat olivat toisiinsa nähden melko tasaiset, joten kuormituksessa ei vaiheiden välillä ole suuria eroja. B31 keskuksen vaiheiden välillä oli suurempia eroja virtojen suhteen. Esimerkiksi ensimmäisen vaiheen mitattu virta oli 38,8A, toisen vaiheen 28A ja kolmannen vaiheen 16,1A. Vaihevirtojen eroavaisuudet johtuu kuormituksen epätasaisesta jaottelusta vaiheiden kesken. Kuvassa 17 on esitetty virtamittaukset sähkökeskuksen B31 syötöstä.



Kuva 18. B31 syöttöjohtimien L1,L2 ja L3 virtamittaukset

Tulevaisuudessa on huolehdittava siitä, että mahdolliset kuorman lisäykset jaetaan tasaisesti vaiheiden kesken. Sähkökeskuksen B31 vinokuorma aiheuttaa virtaa nollajohtimeen, josta mittasimme virraksi 10,2A. Symmetrisessä ja ihan-teellisessä tilanteessa nollajohtimen virran tulisi olla 0A.

6 Pohdinta

Sähkökeskusten kunnossapitotarkastus osoittautui todella laajaksi aiheeksi ja siitä löytyi paljon lähdemateriaalia. Lisäksi tehdasalueella toimivilta sähköasentajilta saatiin paljon kokemuseräistä tietoa tarkastuksista sekä mahdollisista huoltotoimenpiteistä.

Suorittaessa tarkastuksia huomattiin niiden tärkeyden sekä ymmärsi paremmin niiden vaikutukset ja merkitykset. Sähkökeskusten kunnossapidolla on merkittävä vaikutus sähkö- ja paloturvallisuuden kannalta, joten tarkastuksen suorittaminen määräajoin on tärkeää. Sähkökeskuksen tarkastuksilla ja kunnossapidolla voidaan myös ehkäistä mahdollisia taloudellisia vahinkoja, jos vian sattuessa esimerkiksi tehtaan tuotanto hidastuu tai pysähtyy.

Vaikka tarkastettavista sähkökeskuksista ei suuria vikoja tai puutteita löytynyt, saatiin jo pelkästään lähdemateriaaleista hyvä käsitys huonosti hoidettujen sähkökeskusten ja sähkölaitteistojen vaaroista.

Tarkastusta suoritettaessa tulee tarkastajan olla ammattitaitoinen sekä tarkkana sähkötyöturvallisuuden sekä tulosten oikeellisuuden suhteen. Lämpökuvauksessa voi tulla virheitä, jos lämpökameran käyttäjä ei osaa tulkita lämpökameran tuottamaa dataa tai osaa säätää lämpökameraa olosuhteiden mukaiseksi. Sekä virtamittauksissa että lämpökuvauksessa on sähköiskun vaara. Lämpökuvauksessa sähköiskun vaara esiintyy sähkökeskuksen kosketussuojauksia purkaessa ja virtamittauksissa voi itse mittaaja tai mittari koskettaa jännitteellistä osaa, kuten syöttöjohtimen kaapelikenkää. Lämpökuvatessa sähkökeskuksia on tärkeää mitata myös sähkökeskusten virtoja, koska siten voi perehtyä mahdollisten vikojen syntymis syyhin, kuten johtimien korkeasta kuormituksesta johtuva lämpötilan nousu. Mittauksia suorittaessa kävi ilmi sähkökeskusten tarkastusten ajankohdan merkitys, joka on suoritettava kun kuormitus vastaa sähkökeskuksen tavalista käyttötilaa tai kun kuormitus on suurimmillaan. Näin varmistetaan mittaustulosten oikeellisuus sekä luotettavuus.

Havaitut puutteet ja viat tulee kaikki kirjata ylös ja korjata, riippumatta vian tai puutteen vakavuudesta. Pienikin vika voi ajan mittaa kasvaa suuremmaksi ja aiheuttaa siten vaaratilanteita.

Kunnossapitotarkastuksia suorittaessa huomattiin myös kuinka suuri merkitys ajantasalla olevilla keskusdokumenteilla on. Kun keskuksen pääkaavion pitää ajantasalla, niin siitä on merkittävä apu jaettaessa lisäkuormitusta vaiheiden välille, tulevien tarkastuksien apuna sekä mahdollisissa vikatilanteissa.

Kehitysehdotuksena tälle kyseiselle kohteelle ehdottaisimme sähkökeskusten edustojen merkkausta, jottei tavaroita epähuomiossa kerääntyisi sähkökeskusten hoitotilaan. Lisäksi suosittelemme kaikille kohteille sellaista tarkastuspöytäkirjaa, jossa listataan kaikki tarkastettavat asiat, että kaikki tarkastettavat kohdat tulee tarkastettua. Kunnossapitotarkastuksen suorittajan on näin helppo edetä tarkastuspöytäkirjan mukaan tarkastuksia suorittaessaan.

1. Lähteet

1. Suomen Standardisoimisliitto, 2017, SFS 6000-6:2017 Pienjännitesähköasennukset, [Viitattu 29.1.2020] Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/SFS/ID2/6/537515.html.stx>
2. Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Annettu Helsingissä 16.12.2016. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135#Pidp446462000>
3. Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes). Sähkölaitteistot <https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot> [Viitattu 29.1.2020]
4. Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes). 2018. Sähköturvallisuus maa- ja puutarhatalouksissa, Tukes opas, <https://tukes.fi/documents/5470659/8237195/S%C3%A4hk%C3%B6turvallisuus+maa-+ja+puutarhatalouksissa+2018/20e65f2b-58b6-323b-6558-46c93f203d8a/S%C3%A4hk%C3%B6turvallisuus+maa-+ja+puutarhatalouksissa+2018.pdf?version=1.1> [Viitattu 4.2.2020]
5. Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes). 2017. Sähköpalot ja palokuolemat Suomessa vuosina 2013-2018. <https://tukes.fi/onnettomuudet/yhteenvedot-onnettomuuksista-toimialoitain/sahkotapaturmat-ja-sahkopalat> [Viitattu 4.2.2020]
6. Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes). 2019. Sähkökeskusten vikaantumissytyt palohälytystehtävissä vuonna 2017. <https://tukes.fi/documents/5470659/11781251/S%C3%A4hk%C3%B6laitteistoista+aiheutuvat+tulipalot+ja+palovaarat+2017/99a199f4-fd7d-4d9a-50b4-d3dcd0d5e9d5/S%C3%A4hk%C3%B6laitteistoista+aiheutuvat+tulipalot+ja+palovaarat+2017.pdf?version=1.0> [Viitattu 4.2.2020]
7. Kahvasulakkeen vaihtokahva suojakäsineellä, <https://www.google.com/url?q=https://kauppa.elkristools.fi/fi/tuotteet/luetelo/900/sulakkeen-vaihtokahva-1000v&sa=D&ust=1581425887686000&usq=AFQjCNFvEOxCvxqZ-nleYrxl4yShlaoqXJw> 4.2.2020
8. ST-kortisto 53.61 Sähkötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys, Sähkötieto ry, [Viitattu 4.2.2020]. Saatavissa: <http://severi.sahkoinfo.fi/Content/Index/0?new-sid=436>
9. Fluke Ti25 Lämpökuvain <https://www.transcat.com/fluke-ti25-flk-ti25-9hz> 4.2.2020

