



Matti Mustonen

Akustisen kameran käyttö sähkölaitteistojen huolto- toiminnassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

9.2.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Matti Mustonen
Otsikko:	Akustisen kameran käyttö sähkölaitteistojen huoltotoiminnassa
Sivumäärä:	31 sivua
Aika:	9.2.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Tuomo Heikkinen Huoltotoimintojen päällikkö Ari-Pekka Laakkonen

Insinööritö tehtiin Hitachi Energy Finland Oy:lle. Tavoitteena oli selvittää mahdollisuutta integroida akustinen kamera osaksi yrityksen huoltoliiketoimintaa. Työssä tarkasteltiin kirjallisuutta hyväksikäyttäen kunnossapidon teoriaa, sähkökentän vaikutusta eristykseen sekä osittaispurkauksia. Lisäksi tarkasteltiin akustisia mittauksia ennakoivan huollon näkökulmasta. Akustiset mittaukset suoritetaan ilman käyttökatkoja, jotka jo itsessään ovat rahallisesti merkittäviä, puhumattakaan mahdollisten vikaantuneiden komponenttien aiheuttamista haitoista.

Aluksi selvennettiin kunnossapitoon liittyviä lakeja ja asetuksia, kunnossapidon tavoitteita sekä eri kunnossapitolajeja. Lisäksi käsiteltiin ehkäisevää kunnossapitoa sekä sen yhtä osa-aluetta, kunnonvalvontaa. Perustiedot ehkäisevästä kunnossapidosta ovat olennaisia ymmärtääkseen kunnonvalvontaa sekä siihen olennaisesti liittyviä erilaisia mittaustapoja, joihin myös akustiset mittaukset kuuluvat.

Pääpaino työssä pidettiin akustisen emission teoriassa sekä kameran hyödyntämisessä huoltotoiminnassa. Näin ollen mutkikkaat kaavat sekä laskutoimitukset jätettiin työstä pois. Asioita pyrittiin selventämään niin, että alaa tuntematonkin voi ne sisäistää.

Lopuksi käsiteltiin Flir Si124 -akustisen kameran käyttöä ja sen toimintaa. Työssä esitettyjä kuvauksia tehtiin viidessä eri kohteessa syksyn 2021 aikana. Akustisen kameran kuvat, mittaustulokset sekä niiden tarkempi tulkinta jää toimeksiantaja yrityksen käyttöön. Työ selventää akustiseen kuvaukseen liittyviä seikkoja, sekä pohtii akustisen kameran tuomia mahdollisia lisähyötyjä toimeksiantajan huoltotoimintaan. Työssä selostettuihin akustisen kameran ominaisuuksiin tutustumalla saa vähintäänkin auttavat edellytykset laitteen onnistuneeseen käyttämiseen ja sekä tuloksien käsittelyyn.

Avainsanat: akustinen kamera, akustinen emissio, osittaispurkaus, ehkäisevä kunnossapito, Flir Si124

Abstract

Author: Matti Mustonen
Title: Using an Acoustic Camera in Electrical Equipment Service Activities
Number of Pages: 31 pages
Date: 9 February 2022
Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer
Ari-Pekka Laakkonen, Service Operations Manager

This engineering work was done for Hitachi Energy Finland Oy. The objective was to study the possibility to integrate an acoustic camera as a part of existing service functions. The work addressed the theory of maintenance, the effects of an electric field on insulation as well as partial discharges. Acoustic measurements as a part of preventive service were also discussed. The focus of the thesis is on acoustic emission and operating the acoustic camera. Acoustic measurements with the camera are carried out without any downtime in operations. Downtime in production is very expensive by itself, let alone the costs brought about by components that have broken down.

At first the thesis clarifies laws and regulations governing maintenance, objectives of maintenance and the different types of maintenance. Basics of preventive maintenance and condition monitoring are also introduced. It is crucial to understand the basic theory of preventive maintenance in order to comprehend condition monitoring and acoustic measurements as a part of it.

The focus of the engineering work was on acoustic emission and utilizing the acoustic camera in service functions. Complicated calculations and functions were left out from the work in order to clarify the discussed topics so that someone lacking previous knowledge on the matter can understand them.

Finally, the acoustic camera Flir Si124 and its features are discussed. The presented measurements were carried out at five different locations during fall 2021. Data gathered from the measurements and interpretation of the results are intended to be left to the commissioner for later use. The engineering work points out facts concerning acoustic measurements and discusses the potential benefits for the commissioner's service functions brought about by using an acoustic camera. Discussion about the functions of the acoustic camera and its use will give the reader a good starting point for successful usage as well as handling the results obtained.

Keywords: Acoustic Camera, Acoustic Emission, Partial Discharge, Preventive Maintenance, Flir Si124

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kunnossapito	2
2.1	Kunnossapitoon liittyvät lait ja asetukset	2
2.2	Kunnossapidon tavoitteet ja lajit	3
3	Ehkäisevä kunnossapito	4
3.1	Kunnonvalvonta	5
3.2	Mittausmenetelmät	6
3.3	Akustinen mittaus	8
4	Eriste sähkökentässä	10
5	Eristysten vanheneminen	10
6	Osittaispurkaukset	11
6.1	Osittaispurkausten tyypit	12
6.2	Osittaispurkausten synnyttämät äänet	15
7	Akustinen kamera Flir Si124	16
7.1	Akustinen kamera Flir Si124 ja sen toiminta	16
7.2	Akustiset kuvaukset	18
8	Kustannukset	27
9	Yhteenveto	28
	Lähteet	30

1 Johdanto

Työn tilaajana on Hitachi Energy Finland Oy. Työssä perehdytään kunnossapidon teoriaan sekä akustiseen mittaukseen. Työn tarkoituksena on tutkia akustisen kameran soveltuvuutta osaksi toimeksiantajan huoltotoimintaa. Työssä käytetään Flir Si124 -akustista kameraa. Laitteen ominaisuuksista johtuen työn pääpaino on osittaispurkausten havaitsemisessa.

Teoriaosuudessa käydään läpi kunnossapitoa, sitä ohjaavia lakeja ja asetuksia sekä eri kunnossapitolajeja. Akustiset mittaukset ovat osa kunnonvalvontaa, joten perusymmärrys ehkäisevästä kunnossapidosta on olennaista. Edellä mainittujen asioiden lisäksi työssä perehdytään akustiseen emissioon sekä osittaispurkauksiin yhtenä akustisen emission lähteenä. Osittaispurkausmittausten teorian esittelyn jälkeen päästään kameralla suoritettuihin kuvauksiin.

Akustisella kameralla otetut kuvat sekä niistä saatu tieto jäävät toimeksiantajalle jatkokäsittelyä varten. Opinnäytetyön aikana ei käsitelty tarkemmin kuvista saatuja tietoja, sillä vertailukelpoisia tuloksia kohteista ei ollut saatavilla. Työn lopussa pohditaan kameran yritykselle tuomia mahdollisia hyötyjä.

Kunnossapidon lisäksi Hitachi Energy Finland Oy suunnittelee, valmistaa sekä toimittaa muuntajia ja reaktoreita sekä sähköverkon hallintaan liittyviä ohjaus-, automaatio- ja valvontajärjestelmiä. Lisäksi valikoimaan kuuluvat erilaiset jakeluverkkojen ratkaisut, kuten sähköasemat, teollisuudelle, energia- ja sähköyhtiöille, liikenteen tarpeisiin sekä infrastruktuurikohteisiin. [1.]

Hitachi osti 1.7.2020 valtaosan ABB Power Grids -liiketoiminnasta. Työntekijöitä on maailmanlaajuisesti noin 36000, 90 eri maassa. Hitachin liiketoimintaan kuuluu neljä osa-aluetta: automaatio, muuntajat, suurjännitetuotteet ja sähköverkot. [2.] Marraskuussa 2021 yrityksen nimi vaihtui Hitachi Energyksi.

2 Kunnossapito

Kunnossapito tarkoittaa asioiden pitämistä toimintakunnossa, siten että niiden toiminta on luotettavaa, niissä ilmenevät viat korjataan sekä mahdolliset turvallisuus- ja ympäristöriskit ovat hallinnassa. [3, s. 14.]

2.1 Kunnossapitoon liittyvät lait ja asetukset

Sähköturvallisuuslain mukaisesti sähkölaitteiston haltijan tulee huolehtia laitteiston kunnan ja turvallisuuden tarkkailusta sekä havaittujen puutteiden sekä vikojen riittävän nopeasta poistamisesta [4, 47 §]. Sähkölaitteistot jaetaan kolmeen eri luokkaan niiden varmennus-, määräaikaistarkastuksia sekä kunnossapito-ohjelmia koskevien vaatimusten mukaisesti [4, 44 §]. Edelleen Sähköturvallisuuslaki määrittää enimmäismääräajat sähkölaitteistoille, niiden luokituksesta riippuen. Sähkölaitteiston haltijan tulee huolehtia sähkölaitteiston määräaikaistarkastuksesta. Lisäksi luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistoille tulee laatia kunnossapito-ohjelma. Luokan 1 ja 2 käytössä olevien sähkölaitteistojen määräaikaistarkastusten aikaväli on kymmenen vuotta ja vastaavasti luokan 3 sähkölaitteistoilla viisi vuotta. [4, 48–49 §.]

Turvallisuus ja kemikaaliviraston (Tukes) mukaan sähkölaitteiston haltijan vastuulla on hoitaa sähkölaitteistoa niin että kenenkään henki, terveys tai omaisuus ei vaarannu. Laitteiston kunto tulee tarkastaa säännöllisesti ja havaitut virheet korjata. [5, s. 3.]

Tarkastusten suorittamisen tiheyteen voivat vaikuttaa myös muut erinäiset seikat. Näitä voivat olla esimerkiksi laitteiston valmistajan antamat ohjeet, kyseisen laitteiston ikä, edellisissä tarkastuksissa kirjatut havainnot laitteiston kunnosta sekä se, kuinka tärkeä osa kyseisellä laitteistolla on kokonaistoiminnan kannalta.

Kunnossapitoa käsitellessä voidaan tarkastella kahta eri standardia, joissa määritelmät poikkeavat hieman toisistaan. Standardin SFS-EN 13306 mukaan kunnossapito sisältää ne tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joilla ylläpidetään tai palautetaan kyseisen kohteen toimintakyky sellaiseksi, että se kykenee suorittamaan tarvittavan toiminnon [6, s. 5]. Standardi PSK 6201 puolestaan määrittää kunnossapidon kokonaisuudeksi, johon kuuluu kaikki tekniset, hallinnolliset ja johtamiseen liittyvät toimenpiteet. Kyseisten toimenpiteiden tarkoitus on säilyttää tila tai palauttaa kohde siihen tilaan, jossa se suoriutuu siltä vaaditusta toiminnosta läpi koko sen elinjakson ajan [7, s. 3].

Edellä mainittujen lisäksi Sähkötyöturvallisuusstandardi SFS 6002 määrittelee kunnossapidon tarkoituksiksi sähkölaitteiston pitämisen vaaditussa kunnossa. Kunnossapitotyö voi olla joko ennakkoivaa, jolloin työtä tehdään laitteiden rikkoutumisen ehkäisemiseksi tai niiden pitämiseksi hyvässä kunnossa tai korjaavaa kunnossapitotyötä, jossa rikkonainen osa pyritään joko korjaamaan tai vaihtamaan. [8, s. 34.]

2.2 Kunnossapidon tavoitteet ja lajit

Kunnossapito on yksi suuri kuluerä yritysten kustannuksista puhuttaessa [3, s. 27]. Yrityksen panostaessa kunnossapitoon, saadaan suuri hyöty niin laitteistojen käyttöiässä kuin toimintavarmuudessakin. Hyvän liiketuloksen varmistamiseksi on yrityksen pyrittävä pitämään tuotantokustannukset mahdollisimman pieninä. Yksi merkittävä kustannuserä ovat häiriökustannukset. Näin ollen onkin erinomaisen tärkeää laatia laitteistoille mahdollisimman kattavat huoltosuunnitelmat, jo niiden ollessa uusia.

Kunnossapitoa koskevan standardin SFS-EN 13306 mukaan kunnossapitotoiminta on jaettavissa ehkäisevään, korjaavaan sekä parantavaan kunnossapitoon [6, s. 22]. Korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan jo vikaantuneen laitteen palauttamista toimintakuntoon korjaamalla kyseinen vika. Ehkäisevän kunnossapidon tarkoituksena on nimensä mukaisesti pyrkiä ehkäisemään vikaantumista ennalta. [9, s. 179–180.]

Laitteen toimintakyky pyritään pitämään halutulla tasolla erilaisin huoltotoimenpitein, joiden lisäksi laitteen kuntoa tarkkaillaan mittauksin, tarkastuksin sekä erilaisten valvontamenetelmien avulla. Voidaan ajatella, että ehkäisevä kunnossapito käsittää kaikki ne huollon toimenpiteet, jotka tehdään ilman että tiedetään laitteessa olevan vikaa. Parantavalla kunnossapidolla pyritään vaikuttamaan laitteen huollon tarpeeseen tai parantamaan sen toiminnallisia ominaisuuksia erilaisin keinoin. Näihin keinoihin voivat kuulua esimerkiksi komponenttien vaihdot, erilaiset korjaukset tai laitteen modernisointi. [9, s. 179–180.]

3 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevän kunnossapidon tarkoituksena on taata mahdollisimman tasainen toimintakyky käytössä oleville laitteille sekä ennakoida niiden kulumista, niin että huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa suunnitellusti. Tavoite on pyrkiä välttämään tilanteita, joissa joudutaan korjaamaan kunnossapitoon, toisin sanoen tilanteeseen, jossa laite tai jokin sen komponentti on jo vaurioitunut.

Ehkäisevällä kunnossapidolla voidaan olennaisesti alentaa varsinaisen kunnossapidon kokonaiskustannuksia, mikäli huollot ja niihin mahdollisesti liittyvät käyttökätkot voidaan toteuttaa ajallaan. Näiden rinnalla kulkevat myös häiriötilanteiden aiheuttamat kustannukset tuotannolle.

SFS-EN 13306 -standardin mukaan ehkäisevää kunnossapitoa tehdään tietyin väliajoin tai ennalta määriteltyjen kriteereiden täytyessä. Tavoite on vähentää laitteen rikkoutumisen mahdollisuutta tai toimintakyvyn alentumista. [6, s. 13.]

PSK 6201 -standardin mukaan ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, estetään vaurioiden syntymistä tai palautetaan alennunut toimintakyky ennen vian syntymistä [7, s. 22].

Vaikka standardien määritelmät eroavat toisistaan ei kumpikaan standardi ole varsinaisesti väärässä. Käytännön työ kunnossapidossa on varmasti jotain näiden kahden määritelmän välimaastossa.

Perimmäinen tavoite on kuitenkin pyrkiä estämään koneen tai laitteen rikkoutuminen tietyin väliajoin tehtävien mittausten ja huoltojen keinoin.

3.1 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonta on osa ehkäisevää kunnossapitoa (kuva 2).



Kuva 2. Kunnossapitolajit (PSK 7501:2010). [3, s. 47.]

Tavoitteena on kerätä olennaisia tietoja laitteiden kunnosta. Nämä tiedot vaikuttavat oleellisesti laitteiden käyttöön kuten myös tuleviin investointeihinkin. Tietoja käytetään hyväksi kunnossapidon tai häiriöiden aiheuttamien tuotantotappioiden minimoimisessa.

Kunnonvalvonta (condition monitoring) on joko käytönaikaista tai käytön keskeyttävää. Valvontaa suoritetaan aistihavainnoin tai erilaisin mittauksin. Eri instrumentein suoritettujen mittausten ollessa tarkkoja, ovat ammattitaitoisen henkilöstön aistihavainnot edelleen tehokkaita. Käytönaikainen valvonta voi olla jatkuvaa tai jaksottaista. Erilaiset mittausanturit voidaan liittää automaatiojärjestelmään, jolloin tieto poikkeavista mittaustuloksista näkyy suoraan valvomossa (kuva 3).



Kuva 3. Langaton I-Care värähtelyanturi. [10.]

Laitteen kuntoa tai mahdollisen vaihdon tarvetta voidaan arvioida diagnostisilla mittauksilla. Kunnonvalvontamittaus sekä vikojen diagnosointi eivät ainoastaan ehkäise vakavia vaurioita tai keskeytyksiä, vaan mahdollisesti ohjaavat käyttäjää suorittamaan tarvittavia huoltotoimenpiteitä laitteen eliniän pidentämiseksi. Jäljempänä tässä työssä esiteltävä akustinen osittaispurkausmittaus kuuluu käytön-aikaiseen kunnonvalvontaan. [9, s. 180–181.]

3.2 Mittausmenetelmät

Kunnonvalvonnan menetelmät ja mittauslaitteet ovat kehittyneet olennaisesti vuosien varrella. Vaikka avuksi on kehitetty lukuisia erilaisia mittalaitteita, tulee mittauksia suorittavan henkilön luottaa omiin aisteihinsa. Ihmisen omien aistien lisäksi yleisimpiä mittausmenetelmiä ovat värähtelymittaus, ultraäänimittaus sekä lämpökuvaus.

Värähtelymittauksella voidaan valvoa pyöriviä laitteita ja niiden laakereita. Mittaus paljastaa mahdollisen poikkeavasti värähtelevän laitteen osan (kuva 4). Värähtelymittausta voidaan käyttää esimerkiksi laakerivikojen, akseleiden

epätasapainon, kiinnitysten löystymisen sekä moottoreiden ja vaihdelaatikkojen kunnan selvittämiseksi. Kokonaisvärähtelyn taajuusalue on tyypillisesti 10–1000 Hz. [11.]

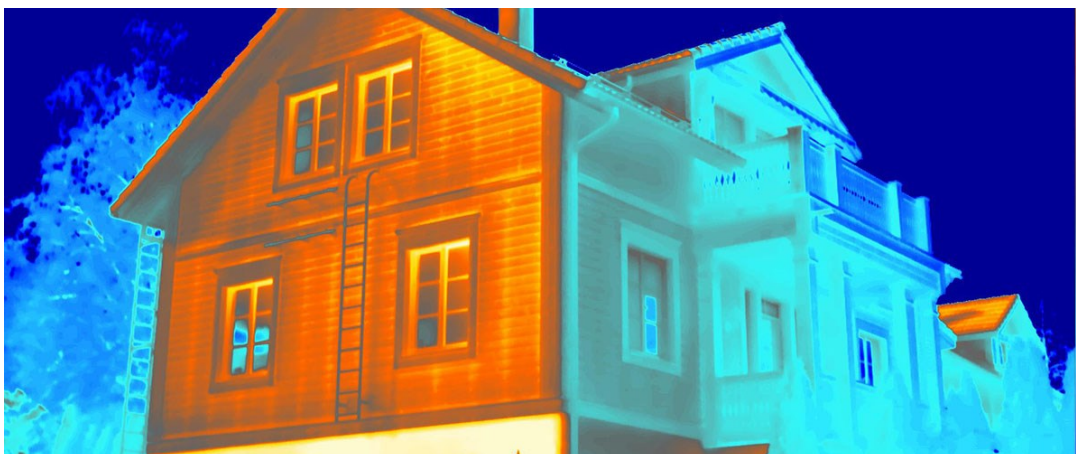


Kuva 4. Värähtelymittaus Fluke 805-värähtelymittarilla. [12.]

Ultraäänimittaus sopii paineilmapuotojen kartoittamiseen, toimilaitteohjattujen venttiilien kunnonvalvontaan, värähtelymittauksiin sekä lauhteenpoistajien toiminnan kartoittamiseen. Ultraäänimittari koostuu normaalista mikrofonia ja signaalinkäsittelylaitteesta. Ultraääni muutetaan signaalinkäsittelylaitteen avulla ihmiskorvin kuultavaan muotoon. Tällä tavoin saadaan kohde paikannettua tarkasti. [13.]

Lämpösäteily on valonnopeudella kulkevaa sähkömagneettista säteilyä, jota ei voi havaita ihmissilmällä, koska infrapunaa aallonpituus on näkyvän valon vastaavaa suurempi. Lämpökuvasta tehdään, niin mekaanisille kuin sähköisille laitteille ja se soveltuu käytettäväksi kohteissa, joissa lämpötilaerot ovat havaittavissa. Lämpökamera vastaanottaa eli mittaa kuvauskohteen pinnasta

lähtevää lämpösäteilyä. Lämpösäteilyvoimakkuus muutetaan ilmaisimen avulla lämpötilatiedoksi, josta muodostetaan lämpökuva (kuva 5). [14.]



Kuva 5. Lämpökameran kuva rakennuksesta. [15.]

3.3 Akustinen mittaus

Akustisella mittauksella pyritään keräämään osittaispurkauksen aiheuttamaa ääntä mitattavasta kohteesta. Osittaispurkauksissa vapautuu ultraääniaaltoja, jotka on mahdollista havaita mittauslaitteistolla. Nämä akustiset aallot leviävät rakenteen sisällä eri etenemisnopeuksilla, kunnes ne kohtaavat ulkopinnan. Rajapinnat heijastavat ääniaaltoja, aiheuttaen äänen vaimenemista, absorboitumista sekä hajaantumista. Kohteen normaali akustinen ultraäänitaso mitataan ensin ja siihen verrataan mittauksissa saatua akustista emissiota. Akustiset aallot ilmaistaan ja muutetaan antureilla sähköisiksi signaaleiksi. Mittaustapa ja etäisyys mitattavasta kohteesta on erinomaisen tärkeä säilyttää samana, jotta tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Vertailuarvoja vaaditaan puolestaan mittaustulosten ymmärtämiseen. [9, s. 200–201.] Akustista mittausta on myös esimerkiksi laakerivian etsiminen pyörivästä koneesta värähtelymittauksen avulla.

Akustisten mittalaitteiden taajuusalue on tavallisesti 10 kHz–500 kHz, käytännön taajuusalueen ollessa 30–50 kHz. Ultraääniä tuottavat osittaispurkaukset sijoittuvat pääsääntöisesti tälle taajuusalueelle. Haitalliset osittaispurkaukset ovat noin 40 kHz:n alueella.

Akustista osittaispurkausten ilmaisua voidaan käyttää mittamuuntajien, läpivientien, kaapelijatkosten, kaapelipäätteiden sisäisten purkauksien, osittaispurkausten paikantamiseksi ja havaitsemiseksi (kuva 6.) Erot mitattavien kohteiden eristysten tasoissa vaikuttavat osittaispurkauksen aiheuttamaan akustiseen signaaliin, tietyn laitetyypin ominaisella ultraäänitaajuusalueella. Akustinen signaali on myös riippuvainen eri osittaispurkaustyypeistä, niille tyyppillisellä ultraäänitaajuusalueella.



Kuva 6. Akustisen kameran havaitsema mahdollinen koronapurkaus.

Akustista mittausta voidaan käyttää myös suuremmissa muuntajissa tai kaasueristeisissä kytkinlaitoksissa osittaispurkausten havainnoimiseksi. Muuntajissa sydänlohkojen magnetrostriktiosta johtuva hurina ja muut äänet eivät normaalisti häiritse mittaamista. Magnetrostriktiivisyys on ilmiö, jossa ferromagneettisten materiaalien mittasuhteet muuttuvat vähittäin ulkoisen magneettikentän vaikutuksesta. Ilmiön löytäjä oli James Joule. Kaasueristeisissä kojeistoissa osittaispurkausten akustiset signaalit esiintyvät 20–250 kHz:n ultraäänialueella, muiden vikojen aiheuttaessa erilaisen signaalin. [9, s. 201, 498.]

4 Eriste sähkökentässä

Eristysrakenteet eivät ole täysin johtamattomia vaan niissä kulkee aina jonkin verran vuotovirtaa. Eristeen läpi kulkee vuotovirta silloin kun sen yli vaikuttaa jännite, laitteen turvallisen toiminnan kannalta tulee vuotovirran olla erittäin pieni. Vuotovirran merkittävä kasvu on merkki eristeessä tapahtuvista sähköpurkauksista tai siitä että eriste on vaurioitumassa. Eriste on riippumaton sähkökentän voimakkuudesta ja eristysrakenteella on määrätty läpilyöntilujuus. Kun sähkökentän voimakkuus ylittää paikallisesti eristeen sähkölujuuden syntyy tämän eristeen osan yli osittaispurkaus tai läpilyönti. [9, s. 21, 80.]

Lämpilyönti on ilmiö, jossa eristemateriaali oikosulkeutuu jännitteen, mekaanisten tai termisten rasitusten seurauksena kiinteissä eristyksissä. Muistetaan, että eristeen tehtävänä on eristää kaksi eri potentiaalinen omaavaa elektrodia toisistaan. Oikosulku tapauksessa eriste pettää täysin, aiheuttaen elektrodien välisen potentiaalieron romahtamisen. Tästä aiheutuu elektrodien välille huomattavan suuri virta. Suurjännitelaitteissa oikosulku voi tapahtuessaan aiheuttaa suurtakin tuhoa. Kiinteät eristeet ovat palautumattomia eristeitä. Useat kaasun- sekä neste-eristeet ovat palautuvia, eli niiden ominaisuudet pysyvät muuttumattomina läpilyönnin jälkeenkin. [9, s. 128.]

5 Eristysten vanheneminen

Eristysrakenteilla on oltava uutena riittävät sähköiset, termiset sekä mekaaniset ominaisuudet. Niiden tulee myös kestää käytön aikaiset rasitukset ilman edellä mainittujen ominaisuuksien heikkenemistä. Myös käyttämätön eriste voi muuttua vanhetessaan. Eriste tai sen osa muuttuu vanhetessaan ajan tai käytön mukana. Vanhenemisella tarkoitetaan materiaalin yhden tai useamman ominaisuuden palautumatonta muuttumista normaalin käytön seurauksena tai sähköisen, termisen, mekaanisen ja/tai ympäristön ajallisen rasituksen vaikutuksesta. Vähittäinen rappeutuminen saattaa johtaa eristyksen vaurioitumiseen.

Sähkölaitteiden vaurioitiheys on yleensä suurimmillaan, kun niitä otetaan käyttöön. Suurin vaikuttava tekijä tähän on sopimattomat tai vialliset komponentit. Suurjännitelaitteissa tämä ongelma ei ole niin yleinen, koska oletus on, että vialliset tai sopimattomat komponentit karsiutuvat pois jo tuotannon testausvaiheessa. Käyttöönoton jälkeen vaurioitiheys asettuu normaalisti vakiintuneelle tasolle ja vaurioita esiintyykin erityisten rasitusten aikana. Vaurioitiheys kasvaa laitteiden alkaessa saavuttaa niiden oletetun elinikänsä pään. [9, s. 181.]

Suurin yksittäinen eristysrakenteiden käyttöikään negatiivisesti vaikuttava tekijä on pitkäaikainen rasitus korkeissa lämpötiloissa. Materiaalien kemialliset, mekaaniset ja sähköiset ominaisuudet muuttuvat peruuttamattomasti, sillä näiden molekyyliketjut pilkkoutuvat. Lämpömuutokset esiintyvät laajalla alueella eristeessä. Kemialliset muutokset tuottavat eristeeseen happoja, jotka saattavat heikentää eristeen mekaanista kestävyttä. Kemialliset muutokset eivät yleensä muuta eristeen sähköisiä ominaisuuksia merkittävästi. Eristysrakenteiden haurastumisen yhteydessä syntyvät halkeamat voivat johtaa osittaispurkauksiin, jotka aiheuttavat eroosiota. Eroosion edetessä mahdollisen läpilyönnin mahdollisuus kasvaa. [9, s. 180–189.]

6 Osittaispurkaukset

Osittaispurkausmittaukset ovat yksi osa toimeksiantajayrityksen huoltoliiketoimintaa. Edellä mainitusta syystä sekä mittalaitteen teknisistä ominaisuuksista johtuen eri osittaispurkaustyyppit käydään seuraavassa tiivistetysti läpi. Pienjännitteisistä järjestelmän osista osittaispurkauksia ei luonnollisesti ole mahdollista mitata.

Osittaispurkaus on sähköpurkaus, joka syntyy eristeen materiaaliviasta tai sen vanhenemisesta johtuen. Toisin kuin läpilyönnissä, osittaispurkaus ei sulje elektrodiväliä. Osittaispurkaus pääsee syntymään, kun eristeen sähkölujuus ylittey. Eristyksen vaurioituminen etenee osittaispurkauksen ilmennyttyä ja tämä saattaa johtaa edelleen läpilyöntiin. Osittaispurkauksia saattaa esiintyä eristeiden rajapinnoilla, kaasuisissa, nesteissä ja kiinteissä eristeissä.

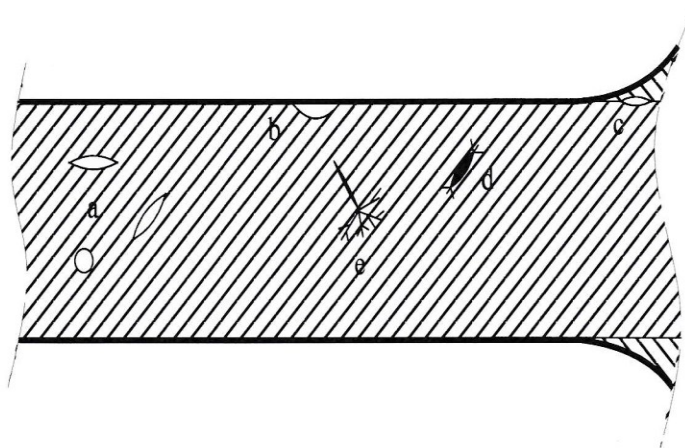
Osittaispurkauksien energia muuttuu sähköenergiasta neljäksi eri energiaksi, joita ovat akustinen, kemiallinen, lämpö, ja optinen energia. Osittaispurkaukset ovat puolestaan jaettavissa kipinäpurkauksiin, koronapurkauksiin, pinta- ja liukupurkauksiin sekä sisäisiin purkauksiin. [9, s. 80–91.]

6.1 Osittaispurkausten tyypit

Sisäiset purkaukset

Sisäinen purkaus on eristeen sisällä tapahtuva osittaispurkaus. Ne ovat haitallisia, sillä eristys kuluu peruuttamattomasti ja sisäisten purkausten havaitseminen on hankalaa. Eristeissä ja eristysrakenteissa on useasti kaasukuplia tai onteloita ja näissä kohdissa jännitelujuus on alhaisempi kuin ympäröivässä eristeessä. Jänniterasitus ontelossa on eristettä suurempi silloin kun ontelossa olevan aineen permitiviteetti on pienempi kuin sitä ympäröivän eristeen.

Osittaispurkauksia esiintyy, kun ontelossa olevan kaasun jännitelujuus on ylittynyt. Ontelon seinämiin syntyy eroosiota purkauksessa vapautuneiden positiivisten ionien sekä elektronien törmäillessä niihin. Ontelon seinämässä oleva mahdollinen uloke tai epätasaisuus aiheuttaa sähkökentän tiheytyvän ja näissä kohdin purkaukset voivat kaivautua ajan mittaan itse eristeeseen asti. Toisin sanoen sähkökenttä on näissä kohdin epähomogeeninen. Kuvassa 7 on esitetty osittaispurkauksille alttiita vikapaikkoja eristeessä. [9, s. 90.]

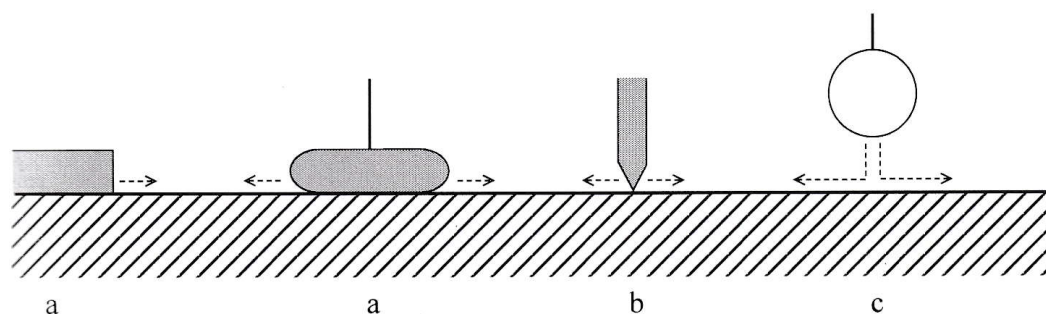


Kuva 7. Osittaispurkauksille alttiita vikapaikkoja eristeessä. a) Sisäisiä kaasunonteloita. b) Ontelo eristeen ja metallin rajapinnalla (elektrodilla). c) Ontelo

eristeiden rajapinnalla. d) Eristeessä olevan metallihiukkasen tai muun vieraan hiukkasen ja varsinaisen eristeen rajapinnat. e) Jo kehittynyt sähköpuu. [9, s. 80.]

Pinta- ja liukupurkaukset

Pintapurkaus on osittaispurkaus, joka tapahtuu elektrodin pinnan suuntaisesti (kuva 8). Tyypillisesti pintapurkauksia esiintyy suurjännitelaitteistojen positiivisellä ja negatiivisella polymeerikuorissa. Liukupurkauksella tarkoitetaan puolestaan erittäin voimakasta ja haitallista pintapurkausta. Liukupurkausten esiintymiskohta on kahden eristeen rajapinta ja edellytys niiden syntymiselle on suuri edellä mainitun rajapinnan suuntainen voima. Tämä voima on huomattavasti voimakkaampi kuin pintapurkauksessa. Tärkeitä rajapintoja ovat kiinteän eristeen ja nesteen rajapinta sekä kiinteän eristeen ja ilman rajapinta. Yleisiä liukupurkausrakenteita ovat esimerkiksi läpivientieristimet ja kaapelipäätteet. [9, s. 80–91.]

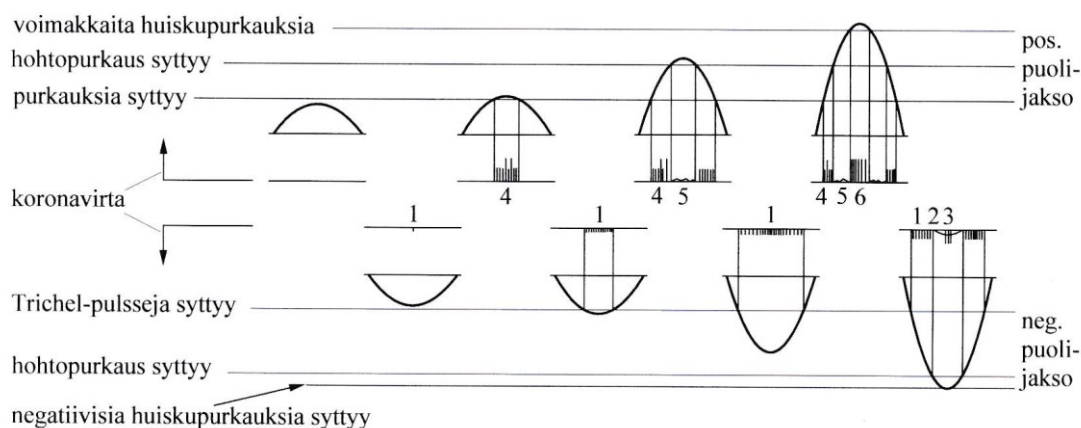


Kuva 8. Pintapurkauksia eristyksen pinnalla. a) Elektrodin reuna-alueella. b) Terävän elektrodin vieressä. c) Sarjaeristyksessä kiinteän eristeen pinnalla. [9, s. 81.]

Koronapurkaukset

Korona on ilmiö, jossa ilmassa tai muussa kaasussa elektrodin pinnalla esiintyy osittaispurkauksia. Koronaa voi ilmetä avojohdoilla sekä verkon suurjännitteisten osien terävissä kärjissä. Koronapurkauksia voi esiintyä myös terävien kärkien ympärillä maapotentiaalissa, sähkökentän ollessa riittävän vääristynyt sekä kentän voimakkuuden ollessa suuri. Koronapurkaus on pinta- tai sisäisiä purkauksia harmittomampi mutta se voi peittää alleen muita osittaispurkausten aiheuttamia signaaleja. [16, s. 15.] Koronaa esiintyy lähinnä 400 kV:n jännitetasolla [17].

Koronalla on eri ilmenemismuotoja, joita ovat Trichel-pulssit, negatiiviset hohtopurkaukset (glow discharge), positiiviset purkaukset, negatiiviset huiskupurkaukset (streamer), hohtopurkaukset sekä voimakkaat positiiviset huiskupurkaukset. Kuvassa 9 esimerkkejä edellä mainituista ilmenemismuodoista eri napaisuuksilla, kun jännitettä suurennetaan. [9, s. 90–91.]



Kuva 9. Esimerkkejä koronan eri ilmenemismuodoista eri napaisuuksilla jännitettä suurennettaessa. 1. Trichel-pulsseja 2. Negatiivinen hohtopurkaus 3. negatiivisia huiskupurkauksia 4. Positiivisia purkauksia 5. Hohtopurkauksia 6. voimakkaita positiivisia huiskupurkauksia. [9, s. 91.]

Koronaa esiintyy yleisesti vähemmän sumuisilla keleillä, koska kosteuden sekä ilman tiheyden kasvaminen lisää ilman lämpilyöntilujuutta. Sumun tiivistyminen vesipisaroiksi lisää koronailmiöiden esiintymistä. Sama ilmiö esiintyy vesisateella, varsinkin uuden ja rasvaisen avojohdon pinnalla. Vesipisara pysyy herkemmin johtimen pinnalla ja sähkökentän vaikutuksesta venyvä pisara aiheuttaa entistä enemmän koronaa. Käytetyn johtimen tapauksessa vesipisarot pääsevät helpommin tippumaan alas säikeiden välistä. Myös lumi lisää koronailmiöitä. Korona aiheuttaa äänihäiriöitä ja selvästi korvin kuultavia purkauksia. Mittaajan on tärkeä tiedostaa tämä seikka, koska mittausten tarkoituksena on paikallistaa eristeille haitallisia osittaispurkauksia. [9, s. 80–91.]

6.2 Osittaispurkausten synnyttämät äänet

Osittaispurkaukset synnyttävät akustista emissiota eli toisin ilmaistuna ultraääniä. Osittaispurkauksia voidaan paikantaa tämän emissioon kasvuna, jonka aiheuttavat eristyksen rasituspisteestä tulevat purkaukset tai niiden synnyttämät akustiset aallot pistelähteestä. Pistemäinen äänilähde voi olla sisäisen osittaispurkauksen, tai pinta- ja liukupurkauksien tai koronan aiheuttamaa. Ääniaallot etenevät pallonmuotoisena pitkittäisenä paineaaltona neste- ja kaasueristyksessä. Paineaalto on muodoltaan paljon mutkikkaampi kiinteässä eristyksessä tai pinnalla. Ultraääni tarvitsee edetäkseen väliaineen ja purkauksien synnyttämä teho liikkuu juuri ultraääniaaltona akustiselle sensorille. Sensorin saavutettuaan energia muuttuu sähköisiksi signaaleiksi ja edelleen akustista tasoa ilmaiseviksi desibeleiksi. [9, s. 88–89, 200–201.]

Akustinen emissio, joka syntyy syvällä eristeen sisällä, vaimenee voimakkaasti riippuen käytetystä eristysmateriaalista. Osittaispurkauksen aiheuttama ultraääni erottuu intensiteetiltään taustamelusta. Ultraääni pääsee kulkemaan rikkoutuneen eristeen, särön tai ontelon väliaineen läpi. Ilmassa ultraääni pääsee kulkeutumaan suoraan sitä mittaavalle sensorille. Edellä mainituista seikoista johtuen mittausten oikean herkkyyden löytäminen on ensiarvoisen tärkeää. Kirjatuista tuloksista kartutetaan tietopankkia, jonka tietojen avulla voidaan tukea kunnonvalvontaa. Kerätyn tiedon avulla voidaan päätellä komponenttien tulevia huollon tarpeita tai suunnitella elinkaarensa päähän tulevien komponenttien vaihtoa, ennen kuin ne hajoavat lopullisesti. [9, s. 200–201, 498.]

Ilmassa osittaispurkaukset aiheuttavat ultraääniä 16–80 kHz:n taajuusalueella. Ihmisen normaalin kuulon taajuusalue on noin 0,2–20 kHz. Kiinteissä ja neste-
mäisissä eristeissä osittaispurkaukset aiheuttavat ultraääniä normaalisti 20–300 kHz:n taajuusalueella. [9, s. 90–96, 199–204.]

7 Akustinen kamera Flir Si124

Käytönaikaisella mittaamisella voidaan löytää mahdollisesti pettämässä olevat sähköeristeet ja näin kartoittaa tulevia huollettavia tai korjattavia kohteita. Osittaispurkaukset aiheuttavat eristeiden rappeutumista sekä heikentymistä ja Flir Si124 -kameralla purkausten aiheuttama akustinen emissio on mahdollista havaita.

7.1 Akustinen kamera Flir Si124 ja sen toiminta

Laitteen 124 matalan kohinan MEMS-mikrofonia on sijoitettu laitteen etupuolelle ja niiden keskellä on digitaalikameran linssi. Akustisen kameras avulla voidaan selvittää, onko kuvattavassa laitteistossa osittaispurkauksia tai vaatiiko havaittu osittaispurkausaktiivisuus lisää tutkimuksia tai jopa mahdollisen käyttökätkon asian selvittämiseksi. Kameran taajuusalue on 2–35 kHz ja kuvausetaisyys 0,3–100 metriä. [16.] Kuvassa 10 nähdään Flir Si124 -kamera.



Kuva 10. Flir Si124-akustinen kamera. [17.]

Flir Si124 havaitsee mahdolliset osittaispurkaukset välittömästi ja merkitsee ne näytölle eri värein. Itse kameran kuva on mustavalkoinen ja potentiaalinen purkaukko merkitään näytölle värillisen ympyrän sekä hiusristikon avulla (kuva 11). Laitteen havaitessa mahdollisen osittaispurkauksen tulee näytön oikeaan yläreunaan palkkiasteikko, joka ilmaisee purkauksen voimakkuuden.



Kuva 11. Flir Si124 näyttökuva. [18.]

Kameralla otetut kuvat on mahdollista ladata Flir -pilvipalveluun, joka tekee kuville tarkemman analyysin. Yksityiskohtaisiin tietoihin kuten kuvattavan kohteen jännitetasoon palvelu ei ota millään tavalla kantaa, vaan käyttäjän on itse syötettävä tarvittavat tiedot järjestelmään. Pienjänniteisistä sähköjärjestelmän osista osittaispurkauksia ei luonnollisesti ole mahdollista kuvata, vaan kuvauksen tarkoituksena on saada tietoja järjestelmän eri osien äänitasosta. Tuloksia referenssiarvoihin vertailemalla ovat siten mahdolliset poikkeavuudet löydettävissä. Palvelusta on mahdollista osittaispurkauksen osalta ladata valmis raportti, jossa järjestelmä arvioi otetuista kohteista purkauksen tyypin ja kriittisyyden. Luukuisissa asiakaskohteissa kuvia ei edes ole tietosuojan takia mahdollista viedä kohteesta pois, saati ladata internetiin, joten tällaisissa tapauksissa laitteen käyttäjän itsensä tekemä analyysi on ainoa vaihtoehto.

7.2 Akustiset kuvaukset

Kuvauksia suoritettiin viikon aikana useassa kohteessa ympäri Suomen. Kohteiksi valittiin sähköasemia sekä erilaisia sähkölaitteistojen komponentteja kuten muuntajia, katkaisijoita sekä pyöriviä koneita mahdollisimman laajan otoksen aikaan saamiseksi. Yksittäiset akustiset mittaukset eivät pysty antamaan tarpeeksi tarkkaa tietoa mahdollisen vian vakavuudesta vaan pikemminkin tulosten perusteella voidaan ohjata mahdollisia tarkistus- tai huoltotoimenpiteitä oikeisiin kohtiin.

Mittauksista on kuitenkin mahdollista kerätä referenssiarvoja, joihin seuraavien, vastaavien, kohteiden arvoja voidaan verrata. Näin toimimalla voidaan arvioida mitkä kohteet tai komponentit ovat ensin huollon tarpeessa, vaikka yksittäinen mittaus ei antaisikaan tarkkaa arviota vian vakavuudesta. Mittaajien kokemus kasvaa ja referenssiarvojen datapankki kertyy mittauksia tehdessä, jolloin jatkossa myös yksittäisten mittausten tuloksia osataan tulkita tarkemmin. Laitteistoja käyttöönotettaessa voidaan myös suorittaa referenssimittauksia, näin saada uuden asennuksen akustinen taso selvitettyä.

Ensimmäinen kuvauskohde oli sähköasema, jossa kamera havaitsikin mahdollisia koronapurkauksia (kuva 12). Normaalisti koronapurkaukset eli osittaispurkaukset ilmaan, eivät aiheuta välittömiä toimenpiteitä, mikäli komponenteissa ei ole silminnähtävää vikaa tai kohteesta ei lähde korvin kuultavaa ääntä.



Kuva 12. Mahdollinen koronapurkaus.

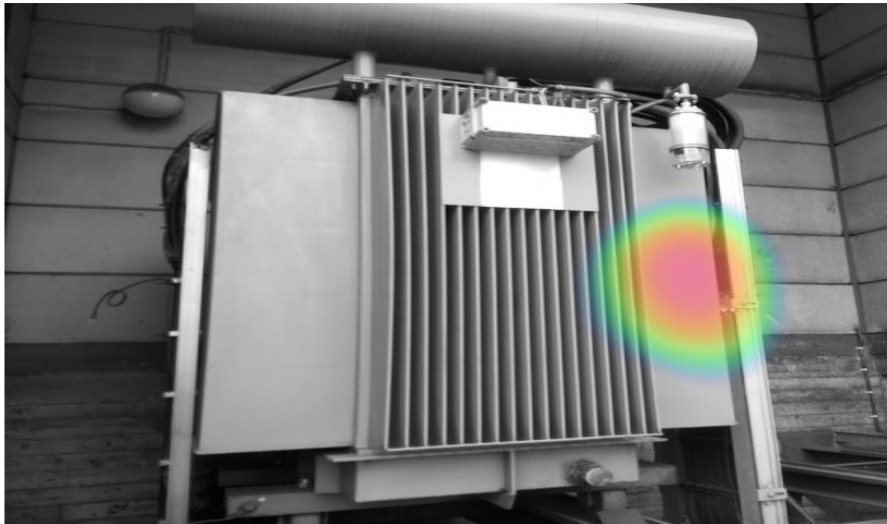
Muuntajia kuvattaessa ilmeni nopeasti, että kyseinen akustinen kamera ei välttämättä ole oikea laite muuntajan akustisen emission mittaamiseen, sillä kameran havaitsemaa äänilähdettä ei ollut mahdollista paikallistaa tarkasti (kuva 13).

Kameran merkitsemä äänilähde oli mahdollisesti mekaanisen värähtelyn resonanssipiste, sillä käynnissä ollessaan muuntaja värisee aina.



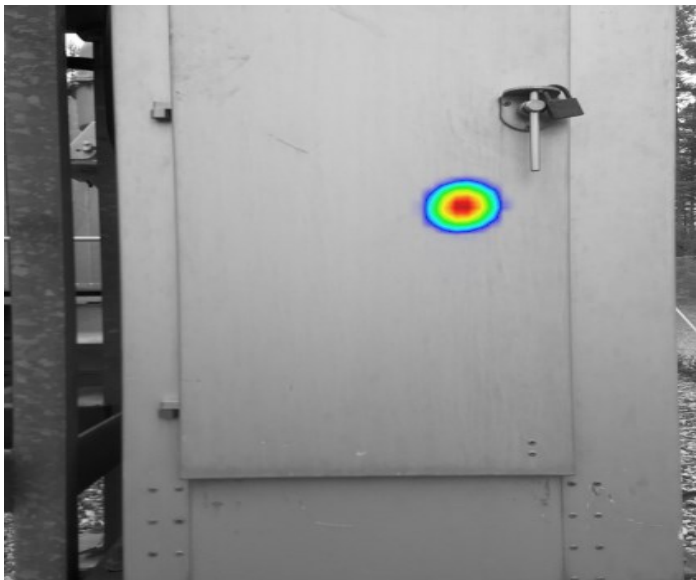
Kuva 13. Äänilähde muuntajan kotelossa.

Lisäksi emission lähteen sijainti muuttui kuvakulman mukana (kuva 14). Suositeltavaa olisikin käyttää muuntajaan kiinnitettäviä mitta-antureita sekä mittalaitetta. Näin saavutettaisiin tarkempia mittaustuloksia, vaikka edelleen signaalin oikean herkkyyden saavuttaminen on vaimenemisen takia ongelmallista. [9, s. 201.]



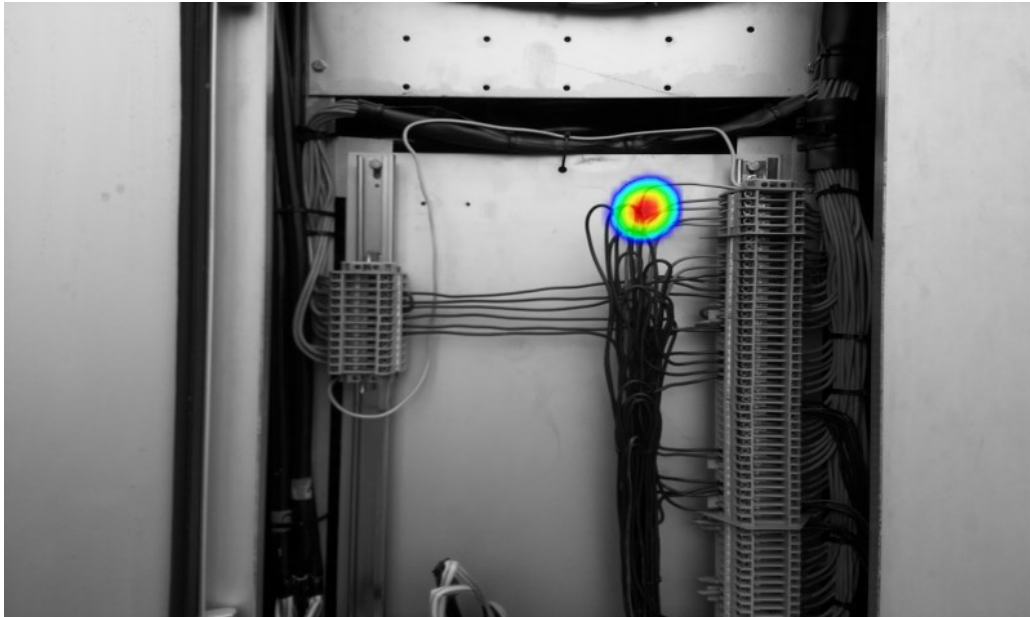
Kuva 14. Äänilähde muuntajassa.

Akustisella kameralla kuvattiin myös katkaisijaa niin ulko- kuin sisäpuoleltakin. Kamera havaitsi äänilähteen katkaisijan kuoren läpi (kuva 15). Kohdetta kuvattiin useasta eri kuvakulmasta mutta kamera ei havainnut emissiota muualta kuin kuvan esittämästä kohdasta.



Kuva 15. Äänilähde katkaisijakaapin sivuoovessa.

Asian tarkempi tutkiminen oli mahdotonta, sillä laitteisto oli kuvaushetkellä virallinen, joten katkaisija kuvattiin sisältäpäin yhden metrin etäisyydeltä, ovi auki (kuva 16).



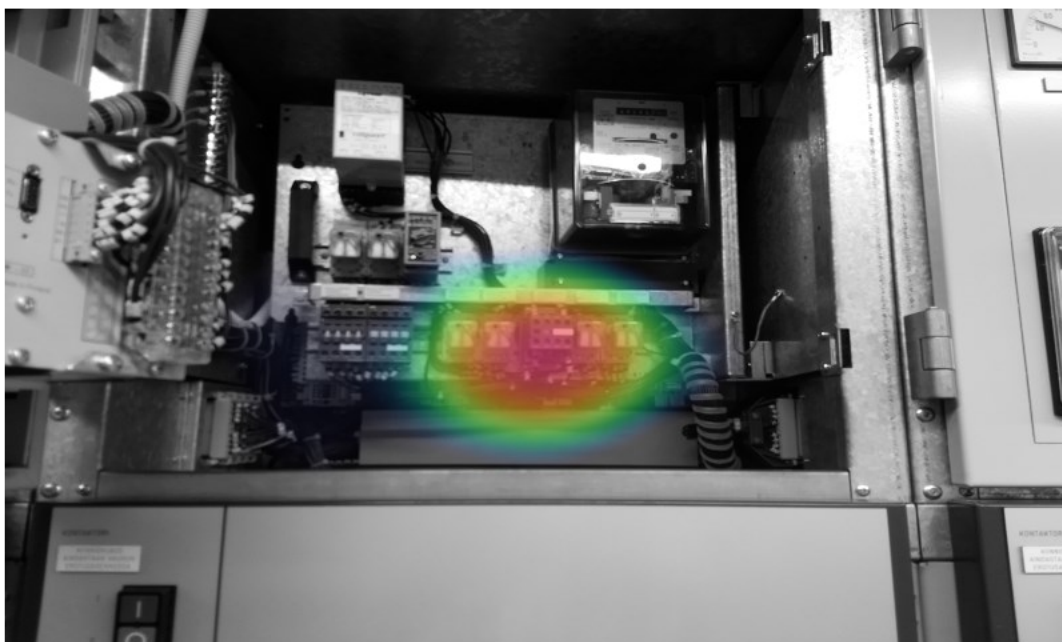
Kuva 16. Akustisen emission lähde katkaisijan sisällä.

Kuvassa 16 emission lähde näyttää olevan merkitty johtimiin, mutta todellisuudessa kameran havaitsema värinä tulee suojapellin takana sijaitsevasta katkaisijan viritysmekanismista. Katkaisijoita kuvattiin viikon aikana useassa muussakin kohteessa, mutta tulokset olivat edellä mainitun kaltaiset. Sähkökeskuksia kuvattaessa akustinen kamera ei vielä pysty täysipainoisesti kilpailemaan lämpökameran kanssa (kuva 17). Kuvan alareunassa kameran havaitsema äänilähde. Flir-pilvipalvelun mukaan kyseessä osittaispurkaus mutta kyseessä todennäköisemmin häiriöääni toisesta lähteestä.



Kuva 17. Akustisen kameran kuva sähkökeskuksesta.

Kuvassa 18 nähdään kontaktori niin sanotussa vetäneessä tilassa, jolloin se värisee juuri sen verran, että kamera on sen havainnut.



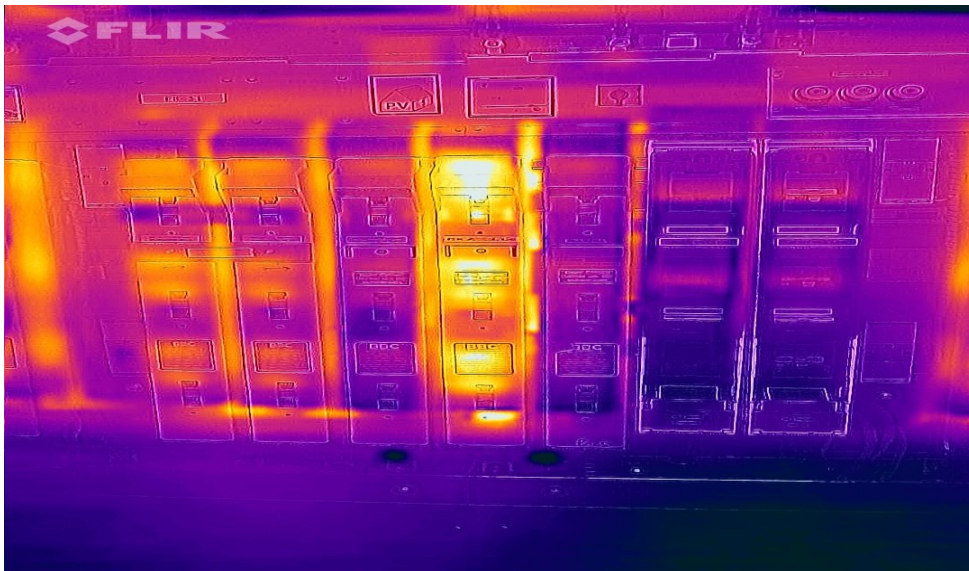
Kuva 18. Kontaktori vetäneessä tilassa.

Lämpökameralla on helposti havaittavissa esimerkiksi löysät riviliittimet niiden lämpenemisen perusteella (kuva 19).



Kuva 19. Akustisen kameran kuva 400 VAC:n jonovarokekeskuksesta.

Kuvasta on selkeästi nähtävissä, että kamera ei havainnut poikkeavaa ääntä, mitattu äänen taso oli 13,9 dB. Kuvan reunoilla nähtävät merkkaukset ovat todennäköisesti heijastuksia, sillä niitä ei saatu enää toistettua toisesta



kuvakulmasta kuvattaessa. Referenssiarvojen puuttuessa tulosten vertailu ei ollut mahdollista. Lämpökameralla otetussa kuvassa 20 näkyy selkeästi enemmän informaatiota, vaikka laite ei ääntä mittaakaan.

Kuva 20. Lämpökameran raakakuva.

Kuvia vertailemalla on selkeästi nähtävissä erot mittalaitteiden välillä. Siinä missä akustinen kamera ei havainnut selkeää äänilähdettä, nähdään lämpökameran ottaman kuvan keskellä kuumempi kohta. Mitattu maksimilämpötila oli kuitenkin normaalin rajoissa, eikä näin ollen antanut aihetta toimenpiteisiin.



Kuva 21. Akustisella kameralla kuvattu kompensointilaitteisto.

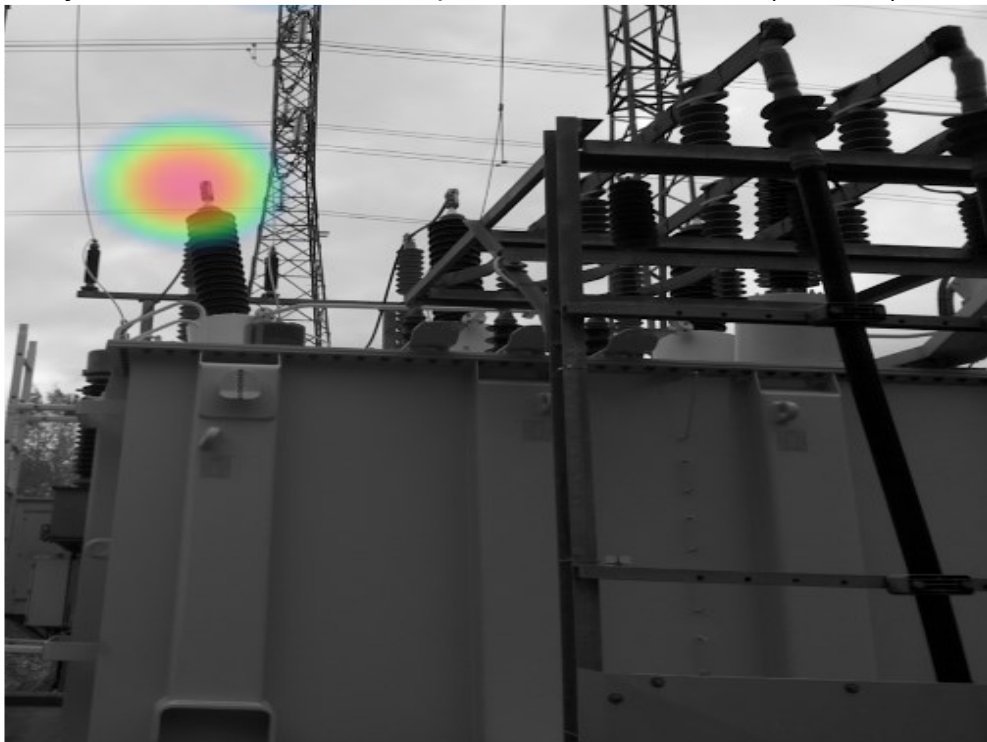
Kattavamman vertailun saamiseksi kuvattiin myös muita komponentteja (kuva 21). Kuvasta on jälleen nähtävissä, että merkittävää äänilähdettä ei havaittu. Kuvan oikeassa yläreunassa on häiriöääni, jonka akustinen kamera merkitsi laitekaapin runkoon.

Sama kohde kuvattiin myös lämpökameralla (kuva 22). Lämpökameran tuottama kuva on paljon informatiivisempi. Tulevia investointeja ajatellen tulisikin harkita akustisen kameran sekä lämpökameran yhteiskäyttöä, jolloin mittauksista saatava hyöty saataisiin maksimoitua. Mittaustulosten tietokannan karttuessa sekä mittaajan ammattitaidon kehittyessä on luonnollista, että myös akustisen kameran tuottamasta informaatiosta saadaan enemmän irti. Hyvälaatuisella pistelämpökameralla sekä koulututtuneella käyttäjällä on tällä hetkellä kuitenkin mahdollista saada enemmän tietoa sähkölaitteiston kunnosta kuin pelkällä akustisella kameralla.



Kuva 22. Lämpökameran raakakuva.

Akustinen kamera soveltuu mittauksiin sähköasemilla, erityisesti kaapelipäätteiden ja muiden vastaavien komponenttien tutkimiseen (kuva 23).



Kuva 23. Akustisen kameran havaitsema mahdollinen koronapurkaus.

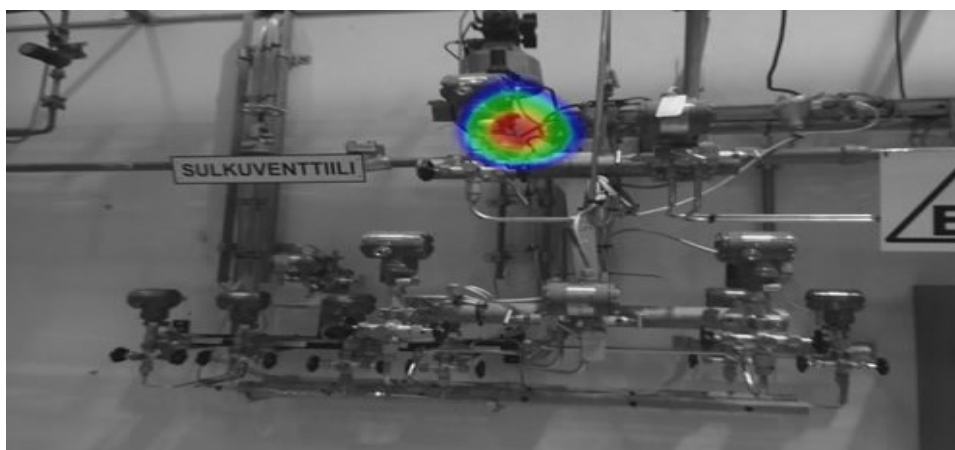
Kamera havaitsi sähköasemalla useissa kohdissa mahdollisia koronapurkauksia sekä yhden mahdollisen pintapurkauksen (kuva 24).



Kuva 24. Akustisen kameran havaitsema mahdollinen pintapurkaus.

Mittaajan ammattitaito tulee tärkeään arvoon mittaustuloksia tulkitessa, kameran merkitsemä kohta kuvattiin myös digitaalikameralla, eikä kuvan perusteella havaittu vaurioita tai merkittävää likaantumista. Kohde kuvattiin useasta eri kuvakulmasta ja riippuen kuvauskohdasta, kamera tulkitse purkauksen joko koronaksi tai pintapurkaukseksi. Korvin kuultavaa ääntä ei ollut havaittavissa.

Viikon aikana kameralla suoritettiin kuvauksia myös pyöriville koneille kuten generaattoreille, tarkoituksena selvittää soveltuisiko kamera näiden laitteiden kunnonvalvontaan. Taustamelu näissä kohteissa oli pahimmillaan yli 120 dB, eikä kameralla pystynyt saamaan julkaisukelpoisia tuloksia. Työssä jo aiemmin käsitellyt värähtelymittaukset ovat edelleen luotettavin mittaustapa. Lisäksi kameralla kuvattiin paineenalaisia jäähdytysjärjestelmiä mutta merkittäviä tuloksia kuvauksista ei saatu. Akustinen kamera soveltuu hyvin paineilmauotojen etsimiseen (kuva 25) mutta sellaista kohdetta ei ollut mahdollisuutta aikaikkunan puitteissa päästä kuvaamaan.



Kuva 25. Akustisen kameran kuva paineilmajärjestelmästä. [20.]

8 Kustannukset

Työssä käytetyn akustisen kameran arvonlisäveroton hinta on noin 17000 €. Mittauspalvelun näkökulmasta tulisikin miettiä mitä mittauksia on kannattavaa suorittaa ja millä tavoin olisi mahdollista saada mahdollisimman kattava kuva laitteiston kunnosta, mahdollisimman vähin laittein sekä mittauksin. Investointikulujen takia olisi suositeltavaa selvittää myös asiakkaiden tarvetta eri

mittauksille, tällä tavoin saataisiin kartoitettua palvelun hinta ja edelleen arvioida investointien takaisinmaksuaikaa. Mikäli mittauspalvelun kuvitteellinen tuntihinta olisi 130 €, tulisi alkeellisella laskutoimituksella takaisinmaksuajaksi pyöristettynä noin 131 tuntia. Kyseinen aika ei luonnollisesti pidä paikkaansa, sillä laskelmassa ei ole otettu huomioon muita oleellisia kuluja tai katteen osuutta.

Paras hyöty kamerasta saadaan, kun äänitasot mitataan uusien toimitusten valmistuessa. Asiakkaan suorittaessa maksun toimituksesta, osa summasta jätetään varalle takuuajan korjauksia varten. Kun asennetun laitteiston äänitaso on tiedossa jo uudesta asti, päästään mahdollisiin vikoihin nopeammin käsiksi. Tällä tavoin toimiessa työhön kuluva aika on lyhyempi ja saadaan asiakkaalle säästöjä.

Osittaispurkauksien mittaamista varten on useita menetelmiä ja näin ollen myös mittalaitteita on olemassa lukuisia. Laittevalintaan liittyy tiettyjä hankaluuksia, esimerkiksi ulkoiset häiriöt, jotka vaikuttavat eri tavoin eri mittausmenetelmiin. Lisäksi eri menetelmät havaitsevat purkauksia eri tavalla. Kuten aiemmin todettiin, mittalaitteet ovat kalliita ja investointia harkitessa tulee ottaa huomioon, että esimerkiksi muuntajille tarkoitettut mittalaitteet eivät sovi toisten laitteiden, kuten kaapelien tai pyörivien koneiden mittauksiin. Hankintaa ajateltaessa tulisikin harkita laitetta, joka täydentäisi jo olemassa olevia mittalaitteita mahdollisimman kattavasti. Toimeksiantajayrityksellä on useissa huoltokohteissa pyöriviä koneita. Näiden kohteiden laakereiden kunnon selvittämiseksi ja alkavien vikojen löytämiseksi on laadukas värähtelymittari parempi vaihtoehto kuin akustinen kamera.

9 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli selvittää, voisiko akustisella kameralla löytää vikoja, joihin ei jo olemassa olevilla laitteilla ole päästy käsiksi. Toisin sanoen tavoitteena oli huollon laadun parantaminen entisestään ja lopulta säästöjen tuominen asiakkaalle. Kunnossapito sekä huollot ovat olennainen osa yrityksen liiketoimintaa. Akustiset mittaukset ovat kasvava osa sähkölaitteistojen huoltoa ja tähän

työhön valikoitui yksi kyseiseen tarkoitukseen tehty mittalaite. Tuotantotappiot ovat merkittävä menoerä yritykselle, näin ollen luotettavuuden kasvattaminen esimerkiksi vikaantuneiden komponenttien paikallistamisella tuo merkittäviä taloudellisia säästöjä. Vikaantuneen osan hinta voi olla mitätön verrattuna sen aiheuttamiin kustannuksiin nähden. Edellä mainituista syistä johtuen kunnossapidon monipuolinen ymmärrys on tarpeen.

Työn kirjoittamista varten käytettiin hyväksi kerättyä alan kirjallisuutta sekä muita lähteitä. Kirjallisuuden, ohjaajan neuvojen sekä itse laitteen käytön avulla saatiin tämä työ aikaiseksi. Kunnossapidon sekä akustisten mittausten teoriaa käsiteltiin työssä monipuolisesti.

Insinööri työ oli mielenkiintoinen toteuttaa koska kaikki akustisiin mittauksiin liittyvät asiat olivat minulle uusia. Tästä johtuen työn aloittaminen tuntui alussa myös erittäin haastavalta. Opeteltavaa sekä sisäistettäviä asioita oli todella paljon. Kesän ja syksyn aikana riitti tekemistä niin tietojen keräämisessä kuin itse laitteen käytössäkin. Haasteellisinta oli asioiden sisäistäminen, niin että niistä pystyy ymmärrettävästi kirjoittamaan sekä puhumaan eteenpäin.

Akustiseen mittaukseen liittyy monia eri asioita, jotka täytyy ottaa huomioon toimintaa kehitettäessä. Yksi oleellinen näistä asioista on vertailumittausten suorittaminen. Työssä kuvaukset suoritettiin yhden viikon aikana, joten aikaa oli käytössä hyvin rajallisesti. Vertailukelpoisten mittaustulosten saamiseksi tulisi samassa kohteessa suorittaa useampia mittauksia eri vuoden aikoina ja mikäli mahdollista silloin kun laitteisto on uusi.

Työssä käytetyn kameran taajuusalue rajasi työn osittaispurkauksien mittaamiseen. Kameran mikrofonit eivät sovellu mekaanisten värinöiden mittaamiseen. Näihin mittauksiin soveltuvat paremmin toisenlaiset mittalaitteet, joissa käytetään hyväksi mitattavaan kohteeseen kiinnitettäviä antureita tai kameraa, jossa kuvaaja voi itse määrittellä kuvattavan kohteen. Salassapitosopimusten vuoksi kaikkia raportteja tai yksityiskohtaisempia tietoja ei tässä työssä käsitelty.

Lähteet

- 1 About us, who are we in Finland. 2021. Verkkoaineisto. <<https://www.hitachienergy.com/about-us/country-and-regional-information/finland/yhtiotietoja>>. Luettu 13.11.2021.
- 2 Historiallinen yrityskauppa sai sinetin – ABB Power Grids on nyt Hitachin omistama. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/uutiset/3-11427911>>. Luettu 6.7.2021.
- 3 Järviö, J. 2017. Kunnossapito. 6. painos. Helsinki. Promaint ry.
- 4 Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161135>>. Luettu 7.7.2021.
- 5 Tukes ohje 16/2017. Sähkölaitteistot ja tarkastukset. Luettu 17.8.2021.
- 6 SFS-EN 13306. 2017. Kunnossapito: Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 7 PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 8 SFS 6002. Sähkötyöturvallisuus. 2015 + A1:2018. 17.8.2018. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 9 Martti Aro; Jarmo Elovaara; Matti Karttunen; Kirsi Nousiainen; Veikko Palva. Suurjännitetekniikka. 2015. Neljäs painos. Otatieto. Gaudeamus Helsinki University Press.
- 10 Langaton kunnonvalvonta ja anturit (I-care). Verkkoaineisto. YTM-Industrial Oy. <<https://www.ytm.fi/tuotteet/prosessitekniikka/langaton-kunnonvalvontasovellus-ja-anturit-i-care/>>. Luettu 13.9.2021.
- 11 Värähtelymittaus. Verkkoaineisto. Yleiselektroniikka. <<https://www.yeint.fi/tyokalut-mittalaitteet/varahtelymittaus>>. Luettu 19.8.2021.
- 12 Fluke 805-värähtelymittari. 2021. Verkkoaineisto. Litemaster Oy. <<http://www.litemaster.fi/index.php?page=fluke-805-vaeraehtelymittari>>. Luettu 13.9.2021.

- 13 Vuodenhaku ja kunnonvalvonta ultraäänen avulla. 2013. Verkkoaineisto <<http://www.promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Vuodenhaku-ja-kunnonvalvonta-ultraaanen-avulla>>. Luettu 18.8.2021.
- 14 Lämpösäteily ja lämpökamera. 2020. Verkkoaineisto. Infradex Oy. <<https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera/>>. Luettu 18.8.2021.
- 15 Lämpökuvaus. 2020. Verkkoaineisto. Infradex Oy. <<https://www.infradex.com/lampokuvaus/>>. Luettu 18.8.2021.
- 16 Nepola, K. 2013. Radiotaajuisten osittaispurkausmittausten soveltuvuus suurjännitteisten sähköasemalaitteiden kunnonvalvontaan. Aalto-yliopisto. Sähkötekniikan korkeakoulu. Diplomityö. Luettu 7.11.2021.
- 17 Koronan ja tuulen aiheuttamat äänet. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/turvallisuus/usein-kysyttya/>>. Luettu 7.11.2021.
- 18 FLIR Si124-PD. 2020. Verkkoaineisto. Infradex Oy. <<https://www.infradex.com/flir-si124-pd/>>. Luettu 19.8.2021.
- 19 FLIR-Si124-datasheet. Verkkoaineisto. Monroe Infrared. <<https://monroeinfrared.com/product/flir-ti124-industrial-acoustic-imaging-camera/>>. Luettu 20.9.2021.
- 20 Teledyne FLIR Si124-LD (In Field). Verkkoaineisto. Fotronic Corporation. <<https://www.testequipmentdepot.com/flir/acoustic-imagers/industrial-ultrasound-leak-detection-imaging-camera-si124ld.htm>>. Luettu 21.9.2021.